Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie

Instytut Nauk o Żywieniu Człowieka i Rolnictwie

mgr Natalia Iwanicka

Agronomiczne, jakościowe i ekonomiczne efekty stosowania wybranych biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej (*Phaseolus vulgaris* L.) odmiany Orzeł

Agronomic, qualitative and economic effects of using selected biostimulants in the cultivation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Orzeł variety

Praca przedstawiona Radzie Naukowej Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie celem uzyskania stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo

Promotor- dr hab. inż. Anna Kocira, prof. PANS w Chełmie

Promotor pomocniczy- dr inż. Rafał Kornas, PANS w Chełmie

Katedra Rolnictwa

Chełm, 2022

Oświadczenie promotora pracy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora.

Data……Podpis promotora pracy…….

Oświadczenie autora pracy

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca doktorska została napisana przeze mnie samodzielnie pod kierunkiem promotora oraz promotora pomocniczego i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przypisami.

Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego.

Oświadczam, że niniejsza wersja pracy jest tożsama z załączoną na płycie CD wersją elektroniczną

Data…….. Podpis autora pracy ……

Streszczenie

Agronomiczne, jakościowe i ekonomiczne efekty stosowania wybranych biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej (*Phaseolus vulgaris* L.) odmiany Orzeł

W warunkach klimatycznych Polski jedną z ważniejszych roślin bobowatych dostarczających białko o wysokiej biologicznej wartości jest fasola zwykła. Ze względu na fakt, że jest gatunkiem o dużych wymaganiach termicznych, co w efekcie decyduje o jej plonowaniu, poszukiwane są rozwiązania sprzyjające poprawie jakości i wielkości plonu, niezależnie od wystąpienia czynników stresowych. W dostępnej literaturze istnieją opracowania dotyczące wpływu biostymulatorów na plonowanie wielu roślin uprawnych, szczególnie po wystąpieniu niekorzystnych czynników środowiskowych. Jednakże stwierdzono, że reakcja rośliny na dany biostymulator zależy nie tylko od liczby wykonanych zabiegów czy stężenia preparatu, ale także od gatunku, a nawet odmiany. Celem niniejszej pracy było określenie wpływu biostymulatorów pochodzenia naturalnego (Kelpak SL, Terra Sorb Complex i Fylloton) i syntetycznego (Asahi SL i Tytanit) w formie jednokrotnej lub dwukrotnej aplikacji i w różnych stężeniach (w zależności od preparatu) na cechy kształtujące plon, wielkość i jakość plonu fasoli zwykłej (*Phaseolus vulgaris* L.) odmiany Orzeł, jak również na ekonomiczną opłacalność ich stosowania. Ścisłe doświadczenie polowe prowadzono w latach 2016–2018, w Strupinie Dużym (w województwie lubelskim), w układzie w układzie bloków losowych, w 4 powtórzeniach. Wykazano, że stosowanie biostymulatorów korzystnie wpłynęło na cechy kształtujące plon nasion, wielkość plonu i skład chemiczny nasion oraz opłacalność stosowania preparatów. Dolistna aplikacja biostymulatorów korzystnie wpłynęła na badane cechy, przy czym najlepsze efekty dało stosowanie naturalnych preparatów. Biostymulator Kelpak SL stymulował zwiększenie liczby strąków i nasion, plon nasion, wydajność białka oraz zawartość antocyjanów, celulozy, aktywność przeciwutleniającą i siłę redukcji w nasionach. Zwiększenie liczby strąków, masy 1000 nasion, wydajności i zawartości białka, zawartości antocyjanów, włókna neutralnego, hemicelulozy, makroelementów (K, P, Mg, Ca, S), mikroelementów (Zn, Al, Mo) oraz aktywności antyoksydacyjnej nasion stwierdzono po zastosowaniu Terra Sorb Complex. Natomiast Fylloton stymulował zwiększenie liczby strąków, wydajności białka, zawartości włókna neutralnego, hemicelulozy i wybranych składników pokarmowych (S, Al, Ni i Se) w nasionach fasoli. Biostymulatory syntetyczne Asahi SL i Tytanit zwiększyły liczbę strąków, a ponadto zanotowano zwiększenie zawartości polifenoli w nasionach po aplikacji preparatu Asahi SL zawierającego związki nitrofenolowe. Stosowanie biostymulatorów w obu

stężeniach i liczbach aplikacji stymulowało zwiększenie liczby strąków i nasion, plonu nasion, wydajność białka oraz zawartość w nasionach antocyjanów, fosforu, aktywność antyoksydacyjną i siłę redukcji. Aplikacja obu stężeń biostymulatorów w formie jednokrotnego oprysku spowodowało zwiększenie zawartości cynku, a dwukrotne ich stosowanie pozytywnie wpłynęło na zawartość włókna neutralnego, hemicelulozy i siarki w nasionach. Jednokrotne traktowanie roślin fasoli niższym stężeniem zwiększyło zawartość białka, potasu i magnezu, a wyższym stężeniem preparatu – zawartość polifenoli, włókna neutralnego i celulozy. Stwierdzono interakcję czynników doświadczenia w kształtowaniu badanych cech. Najkorzystniej na cechy kształtujące plon nasion, wielkość plonu i skład chemiczny nasion fasoli wpłynęła aplikacja biostymulatorów naturalnych. Przeprowadzone doświadczenie nie dało jednoznacznej odpowiedzi odnośnie pozytywnego wpływu podwójnej aplikacji preparatów na badane cechy ze względu na różną reakcję roślin na ich stosowanie. Synteza z trzech lat badań wykazała, że najkorzystniej na opłacalność stosowania biostymulatorów wpłynęło jednokrotne stosowanie preparatu Kelpak SL w obu stężeniach. W uprawie fasoli zwyklej odmiany Orzeł rekomendowane jest jednokrotne stosowanie biostymulatora Kelpak SL w 1% stężeniu lub Terra Sorb Complex w 0,3 i 0,5% stężeniu, bowiem po ich zastosowaniu uzyskano poprawę większości badanych cech, w szczególności plonu nasion fasoli.

Summary

Agronomic, qualitative and economic effects of using selected biostimulants in the cultivation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Orzeł variety

In climatic conditions of Poland, one of the most important legume plants that provide protein with high biological value is bean. Due to the fact that it is a temperature-sensitive species, which in turn determines its yield, solutions are sought to improve the quality and size of the yield, regardless of the occurrence of stress factors. In the available literature, there are studies on the effect of biostimulants on the yielding of many crops, especially after the occurrence of unfavourable environmental factors. However, it was found that the response of a plant to a given biostimulator depends not only on its application method or concentration of the preparation, but also on the species and even the variety. The aim of this study was to determine the effect of natural (Kelpak SL, Terra Sorb Complex, Fylloton) and synthetic (Asahi SL, Tytanit) biostimulants in the form of single or double application, and in various concentrations (depending on the preparation) on the yield quantity and chemical composition of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Orzeł variety, as well as to analyze the profitability of using these preparations. It was shown that most of the research factors positively influenced the morphological features, yield and quality of seeds, as well as an economic profitability analysis of using biostimulants. A strict field experiment was carried out in 2016-2018, in Strupin Duży (in the Lubelskie Voivodeship), in a random block system, in 4 repetitions. It was shown that the use of biostimulants positively influenced the yield-forming features, yield and chemical composition of seeds, as well as the profitability of using these preparations. Foliar application of biostimulators positively influenced of the studied features, with the best results being achieved by the use of natural preparations. Kelpak SL stimulated an increase in the number of pods and seeds, seed yield, protein yield, anthocyanin and cellulose content, antioxidant activity and reduction power in seeds. The increase in the number of pods, weight of 1000 seeds, protein yield and content, anthocyanin content, neutral fiber, hemicellulose, macronutrients (K, P, Mg, Ca, S), microelements (Zn, Al, Mo) and the antioxidant activity of seeds were found after using Terra Sorb Complex. On the other hand, Fylloton stimulated an increase in the number of pods, protein efficiency, content of neutral fiber, hemicellulose and selected nutrients (S, Al, Ni and Se) in bean seeds. The synthetic biostimulants Asahi SL and Tytanit increased the number of pods, and there was also an increase in the content of polyphenols in seeds after the application of Asahi SL containing nitrophenol compounds. The use of biostimulants in both concentrations and numbers of applications stimulated an increase

in the number of pods and seeds, seed yield, protein yield, and the content of anthocyanins and phosphorus in seeds, antioxidant activity and reduction power. The application of both concentrations of biostimulants in the form of a single spraying increased the zinc content, and their double use had a positive effect on the content of neutral fiber, hemicellulose and sulphur in seeds. A single treatment of the bean plants with a lower concentration increased the content of protein, potassium and magnesium, and with a higher concentration of the preparation - the content of polyphenols, neutral fiber and cellulose. The interaction of study factors in forming the majority of the studied features was found. The application of natural biostimulators had the most favourable effect on the yield-forming features and chemical composition of bean seeds. Study did not give an unequivocal answer regarding the positive effect of the double application of the preparations on the yield and chemical composition of bean seeds, due to the different reaction of plants to their application. The synthesis from three years of research showed that the most beneficial effect on the profitability of using biostimulants was a single application of Kelpak SL in both concentrations. In the cultivation of beans of Orzeł variety, a single application of the biostimulant Kelpak SL at 1% concentration or Terra Sorb Complex at 0.3 and 0.5% concentration is recommended, because after their application, improvements were obtained in most of the studied features, especially in bean seed yield.

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP 9
2. PRZEGLĄD LITERATURY 11
   2.1. Bobowate ich znaczenie, skład i zastosowanie 11
   2.2. Bobowate i ich rola w rolnictwie 15
   2.3. Wpływ czynników abiotycznych i biotycznych na wzrost, rozwój i plonowanie fasoli 19
   2.4. Aplikacja dolistna w uprawie roślin 25
   2.5. Rola biostymulatorów w uprawie roślin bobowatych grubonasiennych 27
   2.6. Wpływ stosowania biostymulatorów na opłacalność uprawy roślin 41
3. HIPOTEZA BADAWCZA I CEL PRACY 43
4. MATERIAŁ I METODY BADAŃ 44
   4.1. Doświadczenie polowe 44
   4.2. Analizy chemiczne 48
      4.2.1. Zawartość białka ogółem 48
      4.2.2. Zawartość fenoli ogółem 48
      4.2.3. Zawartość flawonoidów ogółem 48
      4.2.4. Zawartość antocyjanów 48
      4.2.5. Aktywność przeciwrodnikowa 49
      4.2.6. Siła redukcji 49
      4.2.7. Zawartość makro- i mikroelementów 49
      4.2.8. Zawartość włókna surowego 50
   4.3. Analiza statystyczna danych 51
   4.4. Analiza ekonomiczna opłacalności stosowania biostymulatorów 51
   4.5. Warunki meteorologiczne 52
5. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA 54
   5.1. Cechy kształtujące plon nasion 54
   5.2. Plon nasion, zawartość białka w nasionach i wydajność białka 67
      5.2.1. Plon nasion 67
      5.2.2. Zawartość białka i wydajność białka 74
   5.3. Skład chemiczny i wartość nutraceutyczna nasion 81
      5.3.1. Zawartość związków fenolowych 81
      5.3.2. Aktywność antyoksydacyjna i siła redukcji 91
      5.3.3. Frakcje włókna i celulozy 97
      5.3.4. Zawartość makroelementów 112
      5.3.5. Zawartość mikroelementów 124
      5.3.6. Opłacalność stosowania biostymulatorów 140

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI 145
7. LITERATURA.....153
8. SPIS TABEL.....184
9. SPIS RYSUNKÓW.....187

1. WSTĘP

W ostatnich latach na świecie obserwowane jest zwiększone zapotrzebowanie na lepszą jakościowo żywność, co związane jest ze wzrostem populacji ludzkiej, zmianami w preferencjach żywieniowych ludności i zwiększeniem zużycia biopaliw. Bezpieczeństwo żywnościowe jest jedną z najważniejszych kwestii XXI wieku i dlatego, aby sprostać tym oczekiwaniom globalna produkcja roślinna w ciągu lat 2005 - 2050 powinna wzrosnąć dwukrotnie. Ponadto postęp technologiczny, w tym innowacje w hodowli roślin, zwiększenie asortymentu środków do produkcji rolniczej i stosowanie zasad dobrej praktyki rolniczej sprzyja zwiększeniu produkcji rolniczej na świecie (Najafi i in. 2018, Ray i in. 2014).

Istotnym problemem staje się też ograniczona pula zasobów naturalnych i szkody wyrządzone środowisku naturalnemu wskutek stosowania tradycyjnych praktyk rolniczych. W kontekście tego pojawiły się nowe narzędzia technologiczne poświęcone zrównoważonemu rozwojowi agroekosystemów (Le Mire i in. 2016). Stwierdzono, że metody produkcji roślinnej opierające się na doskonaleniu technologii rolniczej, m.in. uprawy, nawożenia, nawadniania przy pojawieniu się warunków stresowych związanych ze zmianami klimatycznymi, zagrożeniami środowiskowymi, czy czynnikiem antropogenicznym mogą być niewystarczające, gdyż nie pozwalają na wykorzystanie w pełni potencjału biologicznego roślin uprawnych. Ponadto rosnąca akceptacja dla rolnictwa zrównoważonego i rolnictwa ekologicznego, w celu zaspokojenia zwiększonego zapotrzebowania na żywność, stwarza też ogromne możliwości dla poszukiwania nowych rozwiązań technologicznych, które pozwolą na uzyskanie wysokich i dobrych jakościowo plonów przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia pestycydów i nawozów mineralnych, negatywnie wpływających na ekosystem i zdrowie ludzi (Kocira i in. 2020a). Dlatego też w celu zapobiegania szkodom powstałym wskutek działania czynników abiotycznych i biotycznych na rośliny uprawne należy w produkcji roślinnej zastosować zabiegi sprzyjające stymulowaniu wzrostu i rozwoju roślin przy jednoczesnym ograniczeniu zagrożenia dla człowieka i środowiska naturalnego, dostarczające bezpiecznych i dobrych jakościowo płodów rolnych (Posmyk i Szafrańska 2016). Gawrońska i Przybysz (2011) stwierdzili, że o wielkości i jakości uzyskiwanego plonu decyduje zarówno umiejętność przeciwdziałania niekorzystnym warunkom środowiskowym, jak i możliwość szybkiej regeneracji roślin. W odpowiedzi na to wyzwanie pojawiły się biostymulatory, które wspomagają regenerację roślin po wystąpieniu niekorzystnych czynników biotycznych i abiotycznych, przyczyniając się do poprawy ich plonowania (Kozak i in. 2016).

Biostymulatory mogą być otrzymywane zarówno z materiałów pochodzenia biologicznego, tj. substancji humusowych, ekstraktów z alg morskich i różnych części roślin, żywych kultur drobnoustrojów, hydrolizatów białkowych, peptydów i aminokwasów, chityny i chitozanu lub związków otrzymywanych na drodze syntetycznej, tj. regulatorów wzrostu, związków fenolowych, soli nieorganicznych oraz korzystnych składników pokarmowych (sód, glin, selen, kobalt, krzem, tytan) (Calvo i in. 2014, du Jardin 2015, Przybysz i in. 2014). Wykazano, że działanie składników aktywnych występujących w tych preparatach zachodzi na różnym poziomie metabolicznym, co w efekcie korzystnie wpływa na lepsze przyswajanie, przemieszczanie i wykorzystywanie składników pokarmowych (Szparaga i in. 2021a). Chociaż w praktyce rolniczej można zaobserwować różny efekt końcowy zależny od gatunku, odmiany i stadium rozwoju roślin, warunków klimatyczno - glebowych, jak również rodzaju i dawki preparatu oraz czasu i metody aplikacji (Ertani i in. 2016, Kocira i in. 2018a).

Aplikacja biostymulatorów jest uzasadniona w uprawie roślin, które cechują się większą wrażliwością na stresowe czynniki abiotyczne, jak niska temperatura, do których należy fasola. Jest ona ważną gospodarczo rośliną zarówno w kraju, jak i na świecie. Szacuje się, że uprawa tego gatunku jest na drugim miejscu po soi pod względem popularności oraz wielkości uprawy bobowatych na świecie (de Ron i in. 2015). Nadeem i in. (2021) stwierdzili, że fasola zaspokaja 30% zapotrzebowania energetycznego dla ludzi na świecie, a jej regularne spożycie jest rekomendowane ze względu na dużą zawartość białka roślinnego o wysokiej wartości biologicznej (Szafirowska i Kaniszewski 2014). Powierzchnia uprawy fasoli w naszym kraju w 2021 r. wynosiła 35 668 ha, z czego w województwie lubelskim uprawiano 94 ha (https://rejestrupraw.arimr.gov.pl/).

Wykazano, że rośliny bobowate są bogatym źródłem białka i związków mineralnych, zmniejszają i zapobiegają wystąpieniu różnych problemów zdrowotnych, jak również są ważnym filarem rolniczego systemu produkcyjnego (Nadeem i in. 2021, Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020).

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. Bobowate ich znaczenie, skład i zastosowanie

Bobowate (*Fabaceae*) należą do roślin okrytonasiennych, rząd bobowce (*Fabales*). W systematyce stosuje się podział na bobowate grubonasienne oraz bobowate drobnonasienne. Pod względem agronomicznym największą rolę wśród bobowatych grubonasiennych, zwanych strączkowymi odgrywają: łubin (*Lupinus* L.), groch siewny (*Pisum sativum*), wyka (*Vicia* L.), bób (*Vicia faba* var. *major*), bobik (*Vicia faba*), fasola (*Phaseolus* L.), soja (Gl*ycine* Willd.), soczewica jadalna (*Lens culinaris* Medik.). Rośliny motylkowate drobnonasienne uprawia się głównie ze względu na wartość paszową. Do kluczowych zalicza się koniczynę (*Trifolium* L.), lucernę (*Medicago sativa* L.), seradelę (*Ornithopus* L.), komonicę (*Lotus* L.) (Wiśniewska 2020).

Rośliny bobowate, uprawiane w płodozmianie, przyczyniają się do trwałej poprawy stanu środowiska dzięki zdolności do biologicznego wiązania azotu, ich korzystnemu wpływowi na glebę i plon rośliny następczej, a także ze względu na usługi świadczone innym elementom agroekosystemów, takim jak zapylacze (de Ron i in. 2015). Umiejętność wiązania azotu atmosferycznego sprawia, że rośliny bobowate wchodzące w symbiozę z bakteriami z rodzaju *Rhizobium, Bradyrhizobium lub Sinorhizobium* wytwarzają więcej materii organicznej bogatej w cenne związki mineralne. Stwierdzono, że przyswajalność biologiczna azotu wiązanego z atmosfery wynosi 100%, podczas gdy azot pochodzenia nawozowego jest wiązany w roślinach w około 50 % (Kocoń 2014). Rośliny wykształcają dobrze rozwinięty system korzeniowy palowy, który sięgając głęboko w profil glebowy umożliwia uruchomienie trudno dostępnych związków wapnia i fosforu, jak również zwiększa pojemność sorpcyjną kompleksu glebowego i poprawia strukturę gleby w wyniku tworzenia kanałów powietrznych w podłożu. Ponadto pozostawienie w glebie bogatych w związki mineralne resztek pożniwnych znacząco zwiększa ilość próchnicy. Długoterminowy rozkład pozostałości roślin bobowatych w glebie oraz zdolność do uruchamiania trudno dostępnych związków wapnia, magnezu i fosforu korzystnie wpływa na plonowanie roślin następczych. Atutem jest także ich rozłożystość i wysoki stopień pokrycia powierzchni gleby, przez co następuje ograniczenie rozwoju chwastów oraz zmniejsza się rozprzestrzenianie patogenów chorobotwórczych (Jasińska i Kotecki 2003).

Uprawa roślin bobowatych niesie za sobą także inne korzyści, przyczyniając się do zwiększenia bioróżnorodności na powierzchni i pod powierzchnią gleby pod względem makro- i mikroorganizmów żyjących w agroekosystemie oraz zmniejszenia zanieczyszczenia

środowiska, wzmacniając korzystny wpływ bioróżnorodności na wydajność upraw i utrzymanie usług agroekosystemowych dla przyszłych pokoleń. Rośliny te odgrywają kluczową rolę w dywersyfikacji i zrównoważonej intensyfikacji rolnictwa, zwłaszcza w świetle nowych wyzwań, takich jak zmiana klimatu (de Ron i in. 2015).

Niektóre gatunki, przykładowo soja, fasola, bobik, groch, ciecierzyca i soczewica, są kluczowym elementem globalnego rolnictwa i odżywiania, stanowiąc główne źródło białka roślinnego w żywieniu ludzi i zwierząt. Przyczyniają się do zwiększenia trwałości łańcucha żywnościowego i paszowego na wszystkich jego etapach, spełnienia wymagań ludzi dotyczących bezpiecznej, zdrowej i przystępnej cenowo żywności poprzez zapobieganie chorobom dietozależnym oraz zapewnienie wysokiej jakości żywności (de Ron i in. 2015).

Spożywanie roślin bobowatych wiąże się z korzyściami fizjologicznymi i zdrowotnymi, takimi jak zapobieganie chorobom układu krążenia, otyłości, cukrzycy i nowotworom. Wartości odżywcze tej grupy roślin i ich korzystny wpływ na zdrowie niewątpliwie przyczyniło się do wzrostu zainteresowania i rozszerzenia ich zastosowania w produktach spożywczych. Niemniej jednak rosnące globalne wyzwania w zakresie bezpieczeństwa żywności i niedożywienia białkowego nadal mają kluczowe znaczenie w wielu krajach na całym świecie (de Ron i in. 2015). Rośliny bobowate uważane są za podstawowe źródło składników odżywczych, a także uznawane jako zamiennik białka zwierzęcego, co jest szczególnie istotne dla mieszkańców krajów rozwijających się, gdzie spożycie białka zwierzęcego może być ograniczone przez brak jego dostępności albo z powodów religijnych czy kulturowych. Ponadto nasiona tych roślin zawierają wiele związków bioaktywnych i/lub antyodżywczych, takich jak fityniany, oligosacharydy, związki fenolowe, aminokwasy niebiałkowe, lektyny i inhibitory enzymów, które odgrywają ważną rolę w metabolizmie ludzi i zwierząt (Champ 2002).

Nasiona roślin bobowatych grubonasiennych mają zróżnicowany skład chemiczny, także w obrębie gatunków. Ponadto zawartość składników odżywczych i antyodżywczych może być modyfikowana przez czynniki środowiskowe podczas rozwoju roślin, gdyż wiele związków bioaktywnych to metabolity wtórne wytwarzane podczas rozwoju i dojrzewania nasion (Rochfort i Panozzo 2007). Ich nasiona zawierają duże ilości białka, pełniącego głównie funkcję magazynującą, przy czym fasola zwykła zawiera około 20,9–30,1 % białka ogólnego (Chibbar i in. 2010), choć inne źródła podają niższą jego zawartość dla tego gatunku wynoszącą w zakresie 21-25 % (Kapusta 2012). Białko tej grupy roślin charakteryzuje się znacznie wyższym udziałem lizyny i treoniny w składzie aminokwasowym niż u zbóż. Lizyna jest najliczniejszym aminokwasem egzogennym białka nasion fasoli zwykłej. Czynnikiem

ograniczającym ich wartość biologiczną jest niższy udział metioniny i cystyny, czyli aminokwasów siarkowych oraz tryptofanu (Jasińska i Kotecki 2003). Główne białka zapasowe nasion roślin bobowatych, które są syntetyzowane podczas rozwoju nasion to oligomeryczne globuliny i albuminy, stanowiące odpowiednio około 70 i 20% całkowitego białka (de Ron i in. 2015). Jednak zawartość tych frakcji białka zależna jest od gatunku. Globuliny mogą stanowić nawet do 80-90% białka ogółem u fasoli i bobiku. Nieco mniejsza ich zawartość, na poziomie 60-75% znajduje się w nasionach soi czy łubinu. Globuliny to najważniejsze białka zapasowe fasoli zwykłej, o stosunku legumin do wicylin na poziomie 6:1. Leguminy zawierają objętościowo więcej metioniny i cystyny, a więc aminokwasów siarkowych. Z kolei albuminy decydują o wartości odżywczej roślin. Ich drugorzędowa struktura oraz obecność mostków disiarczkowych sprawia, że są odporne na obróbkę termiczną. Są to białka, które tworzą kompleksy z węglowodanami, lipidami kwasami nukleinowymi. Dobrze rozpuszczają się w wodzie. U roślin bobowatych grubonasiennych ich zawartość mieści się w przedziale 10-25 % białka ogólnego (Jasińska i Kotecki 2003).

Węglowodany stanowią dominujący składnik ilościowy roślin strączkowych. Ich średnia zawartość może wynosić około 60%, ale jest zróżnicowana ze względu na sposób spożycia. Nasiona fasoli zwykłej zawierają około 63% węglowodanów, podczas gdy ciecierzycy, soczewicy i grochu około 50-65% suchej masy nasion (Cichoń i Wądołowska 2010). U większości gatunków najważniejszym węglowodanem jest skrobia, która w nasionach fasoli zwykłej występuje w ilości 41,5% suchej masy nasion (Hedley 2001). Wyjątkami są łubin i soja, u których skrobia stanowi znikomą ilość, za to dominują węglowodany nieskrobiowe (Písaříková i Zralý 2009). Natomiast najczęściej występującymi oligosacharydami w nasionach bobowatych są α-galaktozydy, przy czym w nasionach fasoli zwykłej dominuje stachioza (Diaz-Batalla i in. 2006).

Zawartość tłuszczu w nasionach u większości bobowatych waha się w granicach 0,5 do 2,5%, przy czym jego zawartość w nasionach fasoli zwykłej wynosi 1,3-2,5% (Chibbar i in. 2010). Typowo oleistymi gatunkami jest soja i łubin andyjski z zawartością tłuszczu na poziomie 12-22% oraz orzech ziemny, u którego ten poziom wynosi około 50%. O ich wartości odżywczej decyduje duża zawartość wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, głównie linolowego i linolenowego (Gładyszewska 2012) oraz kwasu oleinowego, które łącznie mogą stanowić ponad 70% profilu kwasowego (Rybiński i in. 2013). Wśród kwasów tłuszczowych największy udział w nasionach fasoli mają kwas linolenowy, oleinowy, zaś palmitynowy jedynie w niewielkich ilościach (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020).

Włókno u bobowatych zlokalizowane jest głównie w okrywie nasiennej. Zawartość włókna surowego zależna jest w dużej mierze od odmiany, warunków pogodowych, dostępności składników pokarmowych z gleby oraz przede wszystkim od stopnia dojrzałości strąków i nasion. Jego głównym składnikiem jest celuloza, a w mniejszym stopniu ligniny. Najwyższą zawartością włókna surowego w składzie charakteryzuje się łubin, u którego zawartość włókna może wynosić około 15% (Buraczewska i in. 2010), natomiast nasiona fasoli zwykłej zawierają 10% włókna (Hedley 2001). Przeciętna zawartość włókna surowego w nasionach tej grupy roślin wynosi od 3 do 8% składu chemicznego (Jasińska i Kotecki 2003).

Istotnym elementem składu chemicznego nasion roślin strączkowych jest zawartość mikroelementów. Popiół surowy stanowi od 3,5 do 6,5 % składu ogólnego. Dominującymi mikroelementami popiołu są potas i fosfor, a z pozostałych składników należy wymienić magnez, wapń, molibden, mangan, żelazo, miedź i cynk. W żelazo szczególnie bogate są nasiona soi i fasoli zwykłej, a nasiona łubinu białego są bogatym źródłem manganu. Natomiast nasiona fasoli zwykłej zawierają: 54-280 µg/g s.m. żelaza, 10-65 µg/g s.m. cynku, 562-4065 µg/g s. m. wapnia, 1845-2983 µg/g s. m. magnezu, 3,38-7,30 µg/g s. m. fosforu, 14,6-20,6 µg/g s. m. potasu, 5,76-15,99 µg/g s. m. miedzi i 9,19-36,78 µg/g s. m. manganu (Cabrera i in. 2003, Doria i in. 2012, Grant i in 2003, Guzman-Maldonado i in. 2000, Muzquiz i in. 2012, Trinidad i in. 2010, Ray i in. 2014, Ribeiro i in. 2011, Silva i in. 2012). Ich przyswajalność ogranicza duża zawartość błonnika pokarmowego i obecność fitynianów. Poza mikroelementami w skład chemiczny nasion roślin strączkowych wchodzą witaminy, głównie B_1, B_2, E i PP oraz związki antyoksydacyjne, które występują głównie w okrywie nasiennej (Kuchanowicz i in. 2005).

Nasiona fasoli zwykłej wykazują działanie antyoksydacyjne, a włączenie ich do diety pozytywnie wpływa na zmniejszenie ryzyka występowania cukrzycy i otyłości, choroby niedokrwiennej serca, raka jelita grubego czy zaburzeń żołądkowo-jelitowych (Ganesan i Xu 2017). Badania wykazują, że czarne i czerwone odmiany fasoli zwykłej zawierają najwyższy poziom związków fenolowych i flawonoidów spośród wszystkich gatunków bobowatych, które zlokalizowane są w okrywie nasiennej (Xu i in. 2007). Nyau i in. (2016) dodatkowo wykazali wysoką korelację między aktywnością antyoksydacyjną fasoli a całkowitą zawartością polifenoli. Im wyższa zawartość polifenoli w nasionach, tym korzystniejszy wpływ na wzrost rośliny, właściwości reprodukcyjne czy odporność na patogeny. Dodatkowo mogą pełnić funkcje ochronne w warunkach stresowych takich jak susza, niska temperatura czy niedostateczna ilość światła (Weidner i in. 2018). Są również niezbędne w procesach regeneracji organów roślinnych po ich uszkodzeniu. Za właściwości te odpowiadają inhibitory

enzymów proteolitycznych, które są obecne w fasoli. Mogą one powodować hipertrofię trzustki oraz hamowanie rozwoju i wzrostu niedojrzałych zwierząt, przez co związki te uznawane są za czynniki powodujące obniżenie wartości odżywczej pasz. Liczne badania wykazują natomiast pozytywny wpływ obecności białek bogatych w inhibitory proteaz w diecie człowieka. Ich wysokie spożycie wiąże się ze zmniejszoną umieralnością na nowotwory złośliwe (Baraniak i in. 1999, Borresen i in. 2016).

Nasiona roślin strączkowych zawierają również składniki nieodżywcze. Należą do nich alkaloidy i inhibitory proteaz występujące przykładowo w łubinie, taniny w bobiku, glikozydy cyjanowodorowe w fasoli i wyce oraz lektyny w grochu (Kapusta 2012). Ich ograniczone spożycie może pozytywnie wpływać na zdrowie, jednak w nadmiarze wykazują właściwości toksyczne. Jednakże inaktywowane inhibitory białek mogą odgrywać pozytywną rolę w żywieniu ze względu na wysoką zawartość aminokwasów zawierających siarkę w porównaniu z większością białek nasion (de Ron i in. 2015). Dodatkowo niektóre z alkaloidów wyekstrahowane z odmian łubinu gorzkiego badane są pod kątem wykorzystania w przemyśle środków ochrony roślin jako ekologiczne i nieszkodliwe dla roślin fungicydy i insektycydy (Kapusta 2012). Z kolei w nasionach fasoli zwykłej występują inhibitory α- amylazy, jak lektyny i arceliny, których obecność często kojarzona jest z odpornością na fitofagiczne owady (Pueyo i Delgado Salinas 1997, Zaugg i in. 2013).

2.2. Bobowate i ich rola w rolnictwie

Obecnie w rolnictwie wraz ze zwiększeniem produktywności dąży się do zrównoważonego jego rozwoju. Jednak w dłuższej perspektywie do zwiększenia produktywności i zrównoważenia systemów rolniczych konieczne jest uzupełnienie rezerw składników pokarmowych, które mogą być utracone w wyniku procesów wymywania i uwsteczniania w glebie czy ulatniania do atmosfery. W związku z powyższym włączenie roślin bobowatych do systemu upraw wydaje się celowe, gdyż nie tylko poprawia zrównoważenie gleby, ale też przyczynia się do lepszego bezpieczeństwa żywnościowego i żywieniowego bez zmniejszenia potencjału żyzności gleby (Kakraliya i in. 2018).

Najważniejszą cechą tej grupy roślin jest zdolność do wiązania azotu atmosferycznego. Rośliny bobowate osiągnęły tę możliwość dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi z grupy *Rhizobium, Bradyrhizobium, Sinorhizobium i Mesorhizobium* (Andrews i Andrews 2017), które należą do diazotrofów (Król 2006, Łyszcz i Gałązka 2016). Biologiczne wiązanie azotu (BNF- biological nitrogen fixation) jest to proces, w którym następuje aktywacja azotu atmosferycznego (N_2) i zredukowanie go do amoniaku (NH_3). Proces ten reguluje

bakteroidowy kompleks enzymatyczny nitrogenazy, w którego składzie znajduje się dinitrogenaza zawierająca żelazo i molibden oraz reduktaza nitrogenazy z kompleksem żelazowo - siarkowym. W wyniku tego procesu powstają elektrony niezbędne do redukcji azotu (Dance 2007, Łyszcz i Gałązka 2016, Liu i in. 2020). Ilość związanego azotu zależy w dużej mierze od warunków środowiskowych, w których uprawiane są rośliny oraz od gatunku i aktywności fizjologicznej rośliny (Santachiara i in. 2019). Jak podaje Król (2006) w procesie biologicznego wiązania ilość azotu związanego przez mikroorganizmy jest 4-krotnie wyższa niż wyprodukowanego metodami przemysłowymi. Dzięki zdolności do biologicznego wiązania azotu atmosferycznego zarówno resztki pożniwne, jak i cała biomasa bobowatych może być wykorzystywana jako zielony nawóz, który wzbogaca glebę w składniki pokarmowe, w tym węgiel organiczny i azot, co jest korzystne z punktu widzenia rośliny następczej (Wortman i in. 2012).

Światowe roczne zużycie azotu mineralnego w produkcji rolnej sukcesywnie rośnie i w 2019 r. wynosiło 107 mln ton, a w przeliczeniu na powierzchnię upraw wynosiło prawie 70 kg/ha. Natomiast roczna światowa produkcja azotu jako czystego składnika w 2019 r. wynosiła 122 mln ton (FAOSTAT 2021). Tymczasem rośliny bobowate są w stanie związać w ciągu roku około 172 mln ton azotu pochodzenia atmosferycznego (Jasińska i Kotecki 2003). Azot atmosferyczny związany przez roślinę jest przez nią wykorzystywany w całości (w 100%). Z kolei azot mineralny pochodzący z nawozów jest przyswajany przez rośliny tylko w 50% (Gaj 2013, Kocoń 2014). Za uprawą roślin bobowatych przemawia zatem fakt, że nie tylko wymagają niższych dawek nawozów azotowych, ale same w sobie są cennym źródłem azotu dla roślin towarzyszących.

Rośliny bobowate wzbogacają glebę w materię organiczną, charakteryzującą się niskim stosunkiem C:N, co korzystnie wpływa na uwalnianie większej ilość azotu mineralnego do gleby. Głęboki, palowy system korzeniowy roślin bobowatych przyczynia się do poprawy obiegu składników mineralnych zawartych z glebie, poprawia infiltrację wód opadowych oraz skutecznie ogranicza spływ powierzchniowy. Przyczynia się także do rozluźnienia warstw powierzchniowych, pozwala napowietrzyć glebę i stwarza lepsze warunki do ukorzeniania się roślin towarzyszących i następczych wpływając na poprawę jakości plonu i różnorodność płodozmianu (Preissel i in. 2015). Staniak i in. (2017) wykazali, że zastosowanie w płodozmianie mieszanek trawiasto-motylkowatych poprawia żyzność gleby, przyczyniając się do reprodukcji materii organicznej w glebie. Bałuch i in. (2004) zauważyli, że rzepak uzyskiwał istotnie wyższe plony w uprawie następczej po mieszankach motylkowato-trawiastych. Pozytywne wyniki uzyskano także w badaniach plonowania pszenicy zwykłej

i orkiszowej w poplonie po grochu siewnym, gdzie wykazano wyższą zawartość białka i mikroelementów w ziarnie zbóż (Wanić i in. 2018). Obecność brodawek na korzeniach roślin bobowatych oraz wydzieliny korzeniowe wpływają pozytywnie na stabilność strukturalną gleby i jej jakość, zwiększając przystępność składników pokarmowych, w tym mikroelementów (Antil i Raj 2020).

Wraz ze wzrostem znaczenia upraw ekologicznych i zrównoważonych rośnie znaczenie roślin bobowatych w rolnictwie. Związane jest to z ograniczeniem stosowania nawozów azotowych, dzięki wiązaniu azotu atmosferycznego przez te rośliny oraz pozytywnym wpływie na właściwości fizyczne i mechaniczne gleby (Łyszcz i Gałązka 2016, Rubiales i Mikič 2015). Liczni autorzy wskazują, że rośliny bobowate przyczyniają się do uwalniania z gleby fosforu i zwiększania jego dostępności dla roślin następczych (Li i in. 2007, Tian i in. 2020). Ułatwiają także obieg innych składników pokarmowych dla roślin towarzyszących i następczych, takich jak węgiel czy wapń. Dodatkowo wprowadzenie tych roślin do płodozmianu poprawia bioróżnorodność gleby poprzez zwiększenie różnorodności mikroflory glebowej (Meena i Lal 2018). Brookes i in. (2008) potwierdzili, że resztki pożniwne i wydzieliny korzeniowe bobowatych zwiększają ilość związków węgla i azotu wprowadzanych do gleby, co jest głównym źródłem energii dla mikroorganizmów glebowych. Ponadto wykazano, że bogata mikroflora glebowa korzystnie wpływa na utrzymanie żyzności gleby oraz zdrowotność roślin, warunkując ich prawidłowy wzrost i rozwój, a w konsekwencji plonowanie (Peralta 2018). Ponadto wprowadzenie do upraw rotacji zmianowania z udziałem bobowatych i mieszanek bobowato-trawiastych wpływa na dodatni bilans substancji organicznej w glebie, a współczynnik reprodukcji glebowej wyrażony w $t \cdot ha^{-1}$ dla gleb lekkich wynosi 1,89; dla gleb średnich 1,96; dla gleb ciężkich 2,10 (Gaweł 2011). Lal (2015) potwierdził, że wysoka zawartość materii organicznej stabilizuje strukturę gleby, zmniejsza jej podatność na zagęszczanie i erozję, a ponadto jest wskaźnikiem żyzności gleby. Rośliny bobowate stosowane jako rośliny okrywowe nie tylko zwiększają bioróżnorodność w płodozmianie i zwiększają zawartość materii organicznej w glebie, ale również przyczyniają się do zmniejszenia presji chwastów, ograniczania rozprzestrzeniania się patogenów oraz ochrony gleby w okresach pomiędzy uprawami głównymi (D'Acunto i in. 2018, Venter i in. 2016). Wykazano, że zastosowane jako rośliny okrywowe zmniejszają dostępność światła dla chwastów, a jednocześnie ograniczają transpirację z wierzchnich warstw gleby (Kocira i in. 2020a, Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020). Lebrazi i Fikri- Benbrahim (2018) zwracają uwagę na istotny ich wpływ w procesie fitoekstrakcji i fitostabilizacji metali ciężkich

zawartych w środowisku. Genetycznie modyfikowane bakterie brodawkowe roślin bobowatych mogą przyczynić się do ograniczenia spożycia metali ciężkich przez człowieka.

Monokultury upraw oraz intensyfikacja konwencjonalnego systemu rolnictwa doprowadziła do wyjałowienia gleb oraz zanieczyszczenia hydrosfery (Sulieman i Tran 2015). Stosowanie roślin okrywowych w płodozmianach, poprzez wprowadzenie roślin bobowatych wiążących azot atmosferyczny i zwiększających pulę organiczną azotu w glebie korzystnie wpływa na produktywność upraw następczych (Vijayakumar 2017). Dodatkowo rośliny te charakteryzuje tzw. trójstronny mutualizm, polegający na wzajemnej współpracy bakterii brodawkowych i innych niesymbiotycznych bakterii i grzybów w tych samych niszach ekologicznych. Dzięki temu symbiotycznemu współdziałaniu rośliny lepiej wykorzystują dostępne w ekosystemie składniki pokarmowe (Ossler 2015). Wykazano, że oddziaływania międzygatunkowe często decydują o żywotności i produktywności ekosystemów (Łyszcz i Gałązka 2016). Kirkegaard i in. (2008) stwierdzili, że zastosowanie roślin bobowatych w płodozmianie może zmniejszać zapotrzebowanie na stosowanie pestycydów. Ponadto ograniczenie zabiegów agrotechnicznych, m.in. orki w uprawie roślin bobowatych pozytywnie wpływa na efektywność ekonomiczną gospodarstwa wraz ze wzrostem sekwestracji C, N, P i K (Reckling i in. 2014). Zmniejszenie zużycia nawozów i środków stosowanych w produkcji rolniczej pozwala ograniczyć emisję gazów cieplarnianych i potencjalne globalne ocieplenie, jak również zwiększoną emisję azotu pochodzącego z nawozów, który zwiększa eutrofizację oraz zakwaszenie gleb (Gogoi i in. 2018).

Wysoka zawartość białka nie tylko w nasionach, ale także w nadziemnych częściach roślin sprawia, że rośliny bobowate są powszechnie stosowane jako składnik pasz dla przeżuwaczy oraz zwierząt monogastrycznych (Kocoń 2006). Około 65% ogólnej produkcji nasion bobowatych w Polsce ma zastosowanie paszowe, a tylko 25% jako pokarm dla ludzi. Pozostałe 10% przeznaczone jest na eksport i jako materiał siewny (Podleśny 2005). Wobec konieczności zastępowania poekstrakcyjnej śruty sojowej innymi komponentami wysokobiałkowymi, rośnie potrzeba wykorzystania innych gatunków bobowatych w celach paszowych (van Krimpen i in. 2016, Witten i in. 2018, Grela i Czech 2019). Nasiona grochu są komponentem mieszanek paszowych w żywieniu drobiu, ze względu na najwyższą wartość energii metabolicznej spośród bobowatych grubonasiennych (Smulikowska i Rutkowski 2005). Mieszaniny nasion bobowatych i rzepaku mogą z powodzeniem zastępować śrutę sojową w żywieniu świń, nie powodując osłabienia wzrostu i rozwoju zwierząt (Hanczakowska i Świątkiewicz 2015). Kiszonki z bobowatych drobnonasiennych, m.in. koniczyny czerwonej stosowane w żywieniu krów mlecznych mają lepszą przyswajalność

białka i energii, dzięki czemu uzyskiwana jest lepsza jakość mleka (Brito i in. 2007, Broderick i in. 2007). Lucerna wykorzystywana jest jako główny składnik wysokobiałkowych pasz objętościowych w żywieniu przeżuwaczy. Natomiast susz z lucerny stanowi dodatek pasz dla drobiu, trzody chlewnej, królików i zwierząt. Preparaty zawierające w składzie lucernę i surowce huminowe wykazują działanie poprawiające zdrowotność drobiu, wzrost produkcyjności niosek oraz poprawę jakości jaj (Gaweł 2011). Ze względu na obecność inhibitorów trypsyny oraz innych substancji nieżywieniowych, nie jest możliwe całkowite zastąpienie śruty sojowej innymi gatunkami, m.in. grochem siewnym, bobikiem czy łubinem (Milczarek i Osek 2016). Włókno pokarmowe, stanowiące część włókna całkowitego stanowi istotną wartość w żywieniu ludzi i zwierząt, jednak spełnia odmienne role. W żywieniu zwierząt monogastrycznych duża zawartość włókna powoduje utratę właściwości pasz, ze względu na mniejsze możliwości wykorzystania tłuszczów, białek i energii z pokarmu (Michalak i in. 2003). Z drugiej zaś strony wskazuje się, że wysoka zawartość hemiceluloz w roślinie jest pożądana ze względu na zdolność pęcznienia i wiązania wody w świetle przewodu pokarmowego zwierząt monogastrycznych. Duża koncentracja lignin może powodować zmniejszenie strawności węglowodanów ściany komórkowej. Według koncepcji Van Soesta ograniczenie pobrania pasz, ich strawność i wartość energetyczną ograniczają frakcje włókna surowego takie jak NDF i ADF. NDF, czyli włókno obojętno- detergentowe określa się mianem wskaźnika możliwości pobrania pasz, natomiast ADF (włókno kwaśno-detergentowe) traktuje się jako indykator związany z możliwością strawienia poszczególnych pasz (Szparaga i in. 2019).

Mając na uwadze wysoką wartość żywieniową bobowatych zarówno w użytkowaniu kośnym jak i pastwiskowym należy pokreślić fakt, iż mają one zastosowanie w regeneracji terenów użytkowanych przemysłowo, w zagospodarowaniu nieużytków, terenów trudnych gospodarczo a także gleb czasowo odłogowanych (Gaweł 2011).

2.3. Wpływ czynników abiotycznych i biotycznych na wzrost, rozwój i plonowanie fasoli

Aby przyczynić się do rozwoju zrównoważonego rolnictwa, należy zwrócić szczególną uwagę na czynniki ograniczające plonowanie roślin bobowatych, w tym fasoli. Dlatego aby uzyskać bardziej zrównoważoną produkcję należy wprowadzić zabiegi agrotechniczne mające na celu poprawę produkcji tych roślin w warunkach stresowych (de Ron i in. 2015).

Fasola zwykła (*Phaseolus vulgaris* L.) to jednoroczna roślina należąca do klasy dwuliścienne (*Dicotyledoneae*), podklasy różowe (*Rosidae*), nadrzędu różowce (*Rosiflorae*),

rzędu bobowce (*Fabales*), rodziny bobowate (*Fabaceae*), rodzaj fasola (*Phaseolus* L.) (Schoch i in. 2020, http://bomax.botany.pl/ib-db/check/#gatinfo=2637). Znanych jest około 200 gatunków fasoli zwykłej, z czego uprawianych jest 20 gatunków, a 9 o dużym znaczeniu agronomicznym i żywnościowym (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020). Polimorfizm cech morfologicznych, fizjologicznych, agronomicznych i genetycznych przyczynił się do rozpowszechnienia jej uprawy na całym świecie (Singh i in. 1991). Warunki klimatyczne Europy sprzyjają uprawie dwóch gatunków: fasoli zwykłej (*Phaseolus vulgaris* L.) i fasoli wielokwiatowej (*Phaseolus multiflorus* Wild.). Odmiany fasoli zwyczajowo dzieli się na trzy typy morfologiczne: tyczne, karłowate i biczykowate. Ze względu na zastosowanie jej odmiany można podzielić na szparagowe i uprawiane na suche nasiona (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020).

Fasola zwykła (*Phaseolus vulgaris* L.) zajmuje drugie miejsce pod względem powierzchni uprawy spośród roślin bobowatych (Szparaga i in. 2019), a w Polsce po grochu spośród roślin strączkowych jadalnych (Niszczota i in. 2018). Ze względu na walory odżywcze uprawa tego gatunku jest popularna, pomimo że ma on najniższy poziom plonowania spośród bobowatych grubonasiennych.

O wielkości plonowania roślin decydują zarówno cechy biologiczne gatunku/odmiany, jak i uwarunkowania agrotechniczne i siedliskowe. Fasola nie ma wysokich wymagań odnośnie gleb, jednak źle znosi uprawę na glebach kwaśnych, zalewowych czy lekkich. Najkorzystniej na wzrost i rozwój roślin oraz symbiozę z bakteriami brodawkowymi wpływa pH gleby w zakresie 6,0-7,8. Ponadto dużym utrudnieniem, szczególnie w fazie wschodów, jest uprawa na glebie łatwo zaskorupiającej się. Najwyższe plony fasola osiąga na glebach ciepłych, szybko nagrzewających się, bogatych w próchnicę o uregulowanych warunkach wodno-powietrznych (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020).

Norma wysiewu nasion zależy od wielkości nasion, zdolności ich kiełkowania, metody siewu i rozstawy, a zawiera się w zakresie 70-200 kg ha^{-1} (Wierzbicka 2007). Nasiona można wysiewać od początku do połowy maja w rozstawie rzędów co 40 - 50 cm, w rzędzie co 5-8 cm na głębokość 2 - 4 cm. Na glebach lekkich nasiona wysiewa się głębiej niż na glebach ciężkich (Anyszka 2015).

Plonowanie fasoli jest silnie skorelowane z temperaturami i rozkładem opadów w okresie wegetacji. Zbyt niskie temperatury w okresie kwitnienia negatywnie wpływają na wytworzenie zalążni, przez co zmniejsza się liczba wytworzonych strąków. Niektóre odmiany fasoli zwykłej, w warunkach zbyt wysokiej temperatury, mogą stać się owadopylne. Pyłek odmian bardziej odpornych na wysokie temperatury może być przeniesiony na rośliny

o mniejszej tolerancji temperaturowej, co przyczynia się do zwiększenia różnorodności genetycznej roślin (de Ron i in. 2015). Najkorzystniej na plonowanie fasoli wpływa temperatura w miesiącach czerwiec- sierpień na poziomie średniej dobowej około 17ºC. Podczas wschodów rośliny potrzebują ogrzania gleby do temperatury 8-10ºC. Fasola jest rośliną wrażliwą na przymrozki, która wymaga dla prawidłowego rozwoju minimum 140 dni bez spadku temperatury poniżej 0ºC. Temperatury poniżej -5ºC powodują uszkodzenie pęczniejących nasion. Natomiast pędy uszkadzane są przy temperaturze w zakresie 1-2ºC, a kwiaty w temperaturze od -2ºC do -3ºC. Przy niskich temperaturach łatwiej dochodzi do porażenia pęczniejących nasion przez patogeny grzybowe. Z drugiej strony zbyt wysoka temperatura również powoduje zahamowanie wzrostu i wyraźne zmniejszenie plonowania fasoli. Rośliny narażone na długotrwałe temperatury w zakresie 27-35ºC mogą zrzucać kwiaty i gorzej zawiązywać strąki (Anyszka 2015, Gross i Kigel 1994). Optymalne warunki dla wzrostu i plonowania fasoli występują w zakresie temperatur 10-25ºC i na stanowiskach w pełni nasłonecznionych. Umiarkowane zacienienie nie hamuje wzrostu roślin, ale wpływa na pogorszenie jakości plonu (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020).

Fasola nie ma wysokich wymagań wodnych, ale najbardziej wrażliwa na niedobór wody jest w okresie od siewu do wschodów. W fazie wzrostu rośliny są bardziej odporne na krótkotrwałe niedobory wody. Jednak okresem krytycznym jest faza kwitnienia i zawiązywania strąków. Występujące w okresie kwitnienia niedobory wody powodują zrzucanie kwiatów oraz mogą spowodować gorsze plonowanie poprzez zmniejszenie liczby nasion w strąkach, zwiększenie zawartości włókna oraz liczby zdeformowanych strąków. Dodatkowo dochodzi do pękania strąków i utraty części zbioru. Niekorzystny wpływ na jakość plonów niesie również nadmiar wody. Obfite opady w fazie wykształcania się i dojrzewania strąków wpływają na częstsze porażenie roślin przez patogeny grzybowe i bakteryjne. Utrudniony jest także proces dojrzewania i dosychania strąków (Ghassemi-Golezani i Mazloomi-Oskooyi 2008).

Występujące w okresie wegetacji silne prądy powietrzne sprzyjają uszkodzeniom mechanicznym roślin, dotyczy to w szczególności młodych pędów, które są wrażliwe na tego typu uszkodzenia. W uprawie należy stosować pasy ochronne, utworzone przez wyższe rośliny osłonowe. Zapobiegają one uszkodzeniom mechanicznym młodych pędów, usychaniu liści szczytowych czy pękaniu i wysypywaniu dojrzałych nasion ze strąków (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020).

Wzrost i rozwój fasoli jest silnie skorelowany z dostępnością składników odżywczych w glebie. Jest to związane z prawem minimum Lebiega, które mówi, że niedostatek jednego

składnika mineralnego przyswajanego przez roślinę ogranicza funkcjonalność pozostałych. Tym samym wpływa na ograniczenie wzrostu oraz plonowania roślin. Zatem wpływ na plonowanie fasoli ma zawartość składników pokarmowych w glebie oraz ich wzajemny stosunek. Dla roślin bobowatych za optymalny uznaje się następujący schemat proporcji N: P_2O_5: K_2O: CaO: MgO: Na_2O jako 1,70: 0,45: 1,00: 1,10: 0,15: 0,03 (Grzebisz 2011).

Najważniejszym składnikiem pokarmowym decydującym o wielkości i jakości plonu jest azot (N) (Kraiser i in. 2011). W głównej mierze pobierany jest z gleby i wykorzystywany do produkcji kwasów nukleinowych, białek, cząstek sygnałowych. Jest składnikiem chlorofilu, fitohormonów, witamin a także alkaloidów czy glikozydów (Garnett i in. 2009). Rośliny bobowate, w tym fasola zwykła, są samowystarczalne pod względem zapotrzebowania na azot. Nawożenie gleby azotem mineralnym może być niezbędne jedynie w początkowych fazach wzrostu rośliny w dawce startowej 20-30 kg $N \cdot ha^{-1}$, zanim nawiąże ona pełną symbiozę z bakteriami brodawkowymi. Jest to jednak uzależnione od jego zawartości w glebie. Jeśli analizy wykazują, że zawartość azotu mineralnego w glebie wynosi więcej niż 30 mg w 1 dm^3, to dodatkowe nawożenie można pominąć (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020). Wykazano, że biologiczne wiązanie azotu atmosferycznego (BNF) zachodzi intensywnie przy optymalnych warunkach żywienia rośliny i przy optymalnych warunkach siedliskowych dla rośliny bobowatej i mikrosymbionta. Rośliny fasoli przy współudziale bakterii symbiotycznych *Rhizobium leguminosarum* biotyp *phaseoli* mogą związać od 40 do 200 kg $N \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$, w zależności od warunków siedliskowych i metody uprawy (Kocoń 2014). Carranca (2013) podaje, że dodatkowe nawożenie azotem może być potrzebne w okresie kwitnienia, jeśli ilość brodawek korzeniowych jest mała lub kiedy się starzeją. Stają się wtedy silnym konkurentem dla strąków względem przyswajania węglowodanów, wpływając tym samym na pogorszenie jakości nasion. Reinprecht i in. (2020) wykazali, że dodatkowe nawożenie azotem w ilości 100 $kg \cdot ha^{-1}$ w grupie 22 odmian fasoli zwykłej opóźniło kwitnienie i dojrzewanie strąków, ale wpłynęło znacząco na poprawę plonowania.

Rośliny bobowate biorące udział w BNF są wrażliwe na niedobory fosforu (P), potasu (K) i siarki (S). Fosfor dostępny dla roślin w glebie jest szczególnie ważny dla wystarczającego tworzenia brodawek korzeniowych i wiązania azotu. Jest niezbędnym składnikiem odżywczym w różnych procesach metabolicznych, między innymi fotosyntezie, oddychaniu i przekazywaniu sygnałów. Nawożenie fosforem w uprawie fasoli w postaci aplikacji doglebowej podczas wysiewu nasion korzystnie wpłynęło na plon nasion, suchą masę pędów i liczbę strąków (Turuko i Mohammed 2014). Fosfor pozytywnie wpływa na wytwarzanie brodawek korzeniowych zwiększając ich liczbę i wielkość, dzięki czemu znacząco poprawia

ilość przyswajalnego azotu w brodawkach na jednostkę masy (Korir i in 2017). Zalecana dawka fosforu dla fasoli zwykłej przy optymalnej zasobności gleby wynosi 60-80 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$, natomiast dla gleb o nieznanej zasobności wynosi 80-100 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020).

Potas (K) to kolejny makroelement, którego dostępność jest silnie skorelowana z rozwojem roślin. Bierze udział w procesach metabolizmu węglowodanów, syntezie białek oraz aktywacji enzymów roślinnych. Reguluje transport wody oraz wpływa na gospodarkę kationowo - anionową. Niedobory potasu objawiają zahamowaniem wzrostu systemu korzeniowego, zmniejszeniem plonowania czy żółknięciem liści. Występujący przy niedoborze tego składnika pokarmowego słabszy wzrost roślin zwiększa podatność na uszkodzenia mechaniczne oraz straty spowodowane żerowaniem szkodników czy porażeniem przez patogeny (Wang i in. 2013). Obecność potasu decyduje również o procesie nodulacji (Divito i Sadras 2014). Optymalna zasobność gleby w potas, dla fasoli zwykłej wynosi 125-175 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$, a dla gleb o nieznanej zasobności należy zastosować dawkę 140-160 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$ (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020).

Na plonowanie fasoli zwykłej, podobnie jak innych roślin bobowatych, wpływa także zawartość siarki w glebie. Siarka (S) związana jest z syntezą enzymów roślinnych związanych z metabolizmem azotu, takich jak reduktaza azotanowa i reduktaza azotynowa (Droux 2004). Ponadto jest ona składnikiem metioniny, cysteiny i cystyny, witamin, koenzymów, aminokwasów (Scherer i in. 2008). Głowacka i in. (2019) wykazali, że nawożenie siarką w połączeniu z molibdenem wpływa na poprawę plonowania fasoli zwykłej średnio o 14,5% oraz zwiększa zawartość białek siarkowych i niektórych makroelementów w nasionach. W okresie wegetacji fasola pobiera około 20-30 kg $S \cdot ha^{-1}$ (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020).

Magnez (Mg) bierze udział w procesach fizjologicznych oraz przemianach biochemicznych. Jest najważniejszym składnikiem budulcowym chlorofilu, bierze udział w syntezie węglowodanów oraz kwasów nukleinowych i białek, jest nośnikiem związków fosforanowych (Guo i in. 2016). Jony magnezu Mg^{2+} łatwo ulegają wymywaniu z gleb, co jest związane małą powłoką hydratacyjną magnezu. Howladar i in. (2014) wykazali, że nawożenie dolistne magnezem korzystnie wpływa na zmniejszenie niedoborów tego składnika, jak również zwiększa plon strąków i nasion grochu siewnego.

Molibden (Mo) jest jednym z najważniejszych mikroelementów warunkujących prawidłowy wzrost i plonowanie roślin bobowatych. Stanowi niezbędny czynnik do nawiązania symbiozy pomiędzy roślinami a bakteriami brodawkowymi (*Rhizobium*

leguminosarum bv. *phaseoli*), stymuluje proces fotosyntezy, czy poprawia przyswajanie innych składników pokarmowych (Szpunar-Krok i Bobrecka-Jamro 2020). Majda i in. (2019) stwierdzili, że zastosowanie nawozu zawierającego 0,1 % molibdenianu amonu poprawia asymilację azotu, dwutlenku węgla oraz zwiększa plon fasoli.

Badania prowadzone przez El-Dahshouri (2017) wskazują na istotną rolę boru (B) i wapnia (Ca) w plonowaniu fasoli zwykłej. Bor jest niezbędny w procesach związanych z podziałem czy elongacją komórek roślinnych a także wpływa na przyswajalność wapnia. Z kolei Aref (2010) potwierdził, że przy rosnącym pH gleby maleje przyswajalność mikroelementów takich jak Zn, Cu, B.

Żelazo (Fe) jest niezbędnym mikroelementem dla roślin bobowatych, ponieważ odgrywa kluczową rolę w procesach metabolicznych, takich jak synteza DNA, oddychanie i fotosynteza. Ponadto wiele szlaków metabolicznych jest aktywowanych przez żelazo, które wchodzi w skład grupy protetycznej wielu enzymów. Brak równowagi między rozpuszczalnością żelaza w glebie a jego zapotrzebowaniem przez roślinę jest główną przyczyną chlorozy (Rout i Sahoo 2015). Wykazano, że fasola należy do roślin wrażliwych na niedobór tego mikroelementu reagując zmniejszoną liczbą zawiązanych strąków i nasion w strąku (Brear 2013).

Cynk (Zn) jest mikroelementem, który, pomimo iż pobierany jest w niewielkich ilościach przez roślinę to jest istotnym składnikiem budulcowym i kofaktorem enzymów (Prasad i in. 2012). Grzebisz i in. (1999) potwierdzili istotność cynku we wzroście i rozwoju, a w efekcie wpływie na wielkość i jakość plonu roślin. Zn uczestniczy w wielu procesach metabolicznych roślin bobowatych, w tym tworzeniu chlorofilu, aktywności aparatów szparkowych, wymianie jonowej czy w procesach związanych z rozmnażaniem roślin i tworzeniem brodawek korzeniowych (Hassanein 2000, Raj i Raj 2019). Monreal i in. (2015) potwierdzili, że niedobory cynku i boru powodują przebarwienia i obumieranie górnych liści.

Kolejnym mikroelementem, który bierze udział w syntezie chlorofilu, procesie biologicznego wiązania azotu, metabolizmie niektórych białek oraz jest kofaktorem wielu enzymów jest miedź (Cu) (Fageria i Gheyi 1999). Niedobory tego pierwiastka negatywnie wpływają na wzrost roślin, powodując zniekształcenie pędów, mniejsze wysycenie ścian komórkowych ligniną, co w efekcie zwiększa ich podatność na wyleganie (Marschner 1995). Wielu autorów zwraca uwagę na toksyczne działanie miedzi na ontogenezę roślin bobowatych. Murtaza i in.(2017) wykazali, że doglebowa aplikacja miedzi i cynku zwiększa przyswajanie kadmu. Z kolei Fageria (2001) potwierdził, że toksyczność Cu zależy od uprawianego gatunku

roślin bobowatych, a optymalny poziom tego mikroskładnika dla fasoli zwykłej wynosi 6 $mg \cdot kg^{-1}$.

Mangan (Mn) bierze udział w wielu przemianach metabolicznych i procesach fizjologicznych roślin, jak oddychanie, fotosynteza, reakcje hormonalne czy aktywna obrona przed czynnikami patogenicznymi (Alejandro i in. 2020). Ponadto jest niezbędny do biosyntezy metabolitów wtórnych, przykładowo ligniny, flawonoidów, kwasu cynamonowego (Li i in. 2019). Zaliczany jest do mikroelementów o niskiej mobilności w tkankach roślinnych, a pierwszymi objawami niedoboru tego składnika są chlorozy młodych liści (Ifuku i in. 2010). Fageria (2001) oraz Li i in. (2019) wskazują na fitotoksyczne działanie manganu na rośliny rosnące w zakwaszonej glebie, przy przekroczeniu stężenia 50 mg kg^{-1} s.m., które powoduje stres oksydacyjny, zaburza aktywność enzymów, hamuje biosyntezę chlorofilu i proces fotosyntezy oraz negatywnie wpływa na pobieranie i translokację fosforu i magnezu.

Glin (Al) postrzegany był jako pierwiastek nieistotny w ontogenezie roślin bobowatych, jednak badania Hairiah i in. (1991) wykazały, pozytywny wpływ aplikacji tego pierwiastka na zwiększenie masy korzeni fasoli. Jednak fitotoksyczne działanie glinu powoduje zahamowanie wzrostu korzeni, tym samym przyczyniając się do zmniejszenia przyswajalności pozostałych mikro- i makroskładników, szczególnie wapnia. Toksyczność glinu wzrasta wraz ze spadkiem odczynu gleby. Filipek i Dechnik (1995) stwierdzili silne toksyczne działanie glinu na zboża przy pH roztworu glebowego w zakresie 3,6-3,8. Stwierdzono, że niewielkie ilości tego pierwiastka pozytywnie wpływają na pobieranie potasu i poprawiają jego mobilność w tkankach roślinnych.

Badania Łukaszewicz i Polityckiej (2020) wykazały istotną rolę selenu (Se) i niklu (Ni) w funkcjonowaniu roślin. Stwierdzono, że akumulacja tych pierwiastków w ilościach śladowych jest jednym z elementów strategii obronnej roślin przez agrofagami. Zwrócono także uwagę na rolę selenu w indukowaniu odporności roślin na czynniki stresowe poprzez właściwości antyoksydacyjne. Poza poprawą jakości plonu, w tym odporności na agrofagi wykazano, że akumulacja tych mikroelementów przyczynia się do redukcji niedoborów selenu w diecie człowieka.

2.4. Aplikacja dolistna w uprawie roślin

Zmiany użytkowania gruntów i intensyfikacja uprawy wpływają na obieg azotu (N) w glebie, powodując zwiększone straty N w postaci emisji tlenku azotu (NO) lub podtlenku azotu (N_2O) lub wymywania azotanów (NO^{3-}) (Ding i in. 2010). Zhang i in. (2012) wykazali, że długotrwałe, powtarzane stosowanie mineralnego lub organicznego nawozu azotowego

stymuluje mineralizację gleby. Jednakże Dinesh i in. (2010) stwierdzili, że wieloletnie stosowanie dużych dawek nawozów mineralnych przyczyniło się do zmniejszenia zawartości materii organicznej w glebie, co w konsekwencji spowodowało pogorszenie jakości gleby, a nawet zwiększenie zakwaszenia gleby i zanieczyszczenia środowiska. Ning i in. (2017) wykazali, że ograniczenie stosowania nawozów mineralnych lub/i włączenie do użycia nawozów organicznych powoduje wzrost żyzności gleb, ograniczenie zawartości metali ciężkich oraz jest ekonomicznie i ekologicznie uzasadnione. Zdaniem Mitran i in. (2018) w związku z rosnącym zapotrzebowaniem na żywność, stosowanie nawozów mineralnych wciąż jest ważne dla intensywnego rolnictwa. Malejąca ilość nieodnawialnych zasobów naturalnych powoduje jednak konieczność badania i wdrażania alternatywnych metod nawożenia roślin.

Coraz więcej uwagi zwraca się na stosowanie nawożenia dolistnego, jak alternatywnej formy dostarczania roślinom składników odżywczych. Niu i in. (2021) podali, że nawożenie dolistne jest skuteczniejsze w uzupełnieniu niedoborów składników pokarmowych w porównaniu do stosowania nawozów mineralnych. Wynika to z bezpośredniej formy podania i łatwiejszej absorpcji składnika pokarmowego, bez okresu jego retencji w glebie. Ponadto przy dokarmianiu dolistnym stężenie i czas aplikacji jest precyzyjniej dobierany do potrzeb rośliny w danej fazie rozwojowej. Synergiczne oddziaływanie między poszczególnymi składnikami nawozów dolistnych ma pozytywny wpływ na ich przyswajalność i działanie.

Nawożenie dolistne jest metodą dokarmiania rośliny, w której niewielka ilość składników pokarmowych podawana w formie płynnej stymuluje jej wzrost i rozwój, szczególnie w krytycznych fazach rozwoju. Składniki pokarmowe mogą być absorbowane poprzez aparaty szparkowe lub kutykulę na powierzchni blaszki liściowej (Fernández i in. 2013). Patil i Chetan (2018) dowiedli, że dolistna aplikacja jest uzasadniona dopiero po pojawieniu się objawów niedoboru składnika, gdyż zmniejszenie wielkości i jakości plonu zwykle poprzedza pojawienie się objawów wizualnych. Autorzy podają, że aby nawożenie dolistne było skuteczne, nawozy powinny być rozpuszczalne w wodzie lub tworzyć zawiesiny, a składniki pokarmowe podane w formie dobrze przyswajalnych chelatów lub kompleksów mineralnych. Aminokwasy będące składnikiem m.in. biostymulatorów pozwalają na schelatyzowanie składników, czyli zobojętnieniu ich ładunku oraz skrócenie czasu przyswajania ich przez roślinę (Pecio 2020). Istotny jest również odczyn roztworu, który powinien być dostosowany do optymalnej skuteczności pobierania składników, jednocześnie nie podwyższając ryzyka fitotoksyczności roślin. Preferowany zakres stężeń roztworów składników pokarmowych do stosowania dolistnego należy dobierać według takich

czynników, jak rodzaj składnika (np. makro lub mikroelement), gatunek i wiek rośliny, stan odżywienia czy warunki atmosferyczne (Kannan 2010). Aby składnik pokarmowy mógł spełniać swoją rolę, musi zostać zaabsorbowany przez głębsze warstwy komórek tkanki miękiszowej. Musi zatem pokonać naturalną barierę ochronną rośliny, czyli kutykulę i ścianę komórkową epidermy. Po pokonaniu tych barier i przedostaniu się do cytoplazmy, składniki pokarmowe mają podobną przyswajalność jak te dostarczane przez system korzeniowy. Składniki aplikowane dolistnie powinny mieć rozmiary nanocząsteczek i niską masę cząsteczkową (Patlil i Chetan 2018). Kocoń (2016) podaje, że składniki pokarmowe są przez rośliny lepiej i szybciej przyjmowane w postaci kationów niż anionów. Najszybciej przyswajanym makroelementem jest azot, a następnie magnez i sód. W dalszej kolejności absorbowane są cynk, mangan oraz bor. Czas absorpcji 50 % żelaza czy molibdenu waha się między 10 a 20 dniem (Patil i Chetan 2018). Na optymalną przyswajalność makro- i mikroelementów z nawozu, jak również składników zawartych w biostymulatorach wpływają czynniki abiotyczne związane z ich aplikacją. Dolistne stosowanie nawozów/biostymulatorów jest zalecane w godzinach porannych do godziny 9.00 lub wieczorem po godzinie 18.00, przy zakresach temperatury 18-22ºC, jednak najbardziej optymalne jest 21ºC. Najkorzystniej na absorpcję składników pokarmowych przez aparaty szparkowe wpływa wilgotność względna powietrza powyżej 70%. Ważnym aspektem jest także brak opadów atmosferycznych w ciągu 48 godzin od aplikacji, gdyż przyswajalność niektórych składników podanych dolistnie wymaga więcej czasu. Poza czynnikami meteorologicznymi, na absorbcję nawozu/biostymulatora wpływa powierzchnia liści oraz dodatek adjuwantu, który zmniejsza napięcie powierzchniowe epidermy, poprawia wchłanianie składników oraz dłużej zatrzymuje składniki pokarmowe na powierzchni blaszki liściowej (Fernández i in. 2013).

2.5. Rola biostymulatorów w uprawie roślin bobowatych grubonasiennych

Aby przyczynić się do rozwoju zrównoważonego rolnictwa, należy zwrócić szczególną uwagę na czynniki ograniczające plonowanie roślin bobowatych, w tym fasoli. Dlatego aby uzyskać bardziej zrównoważoną produkcję należy wprowadzić zabiegi agrotechniczne mające na celu poprawę produkcji tych roślin w warunkach stresowych (de Ron i in. 2015).

Rosnąca akceptacja dla rolnictwa zrównoważonego i rolnictwa ekologicznego, w celu zaspokojenia zwiększonego zapotrzebowania na żywność, stwarza ogromne możliwości dla poszukiwania nowych rozwiązań technologicznych, które pozwolą na uzyskanie wysokich i dobrych jakościowo plonów przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia środków ochrony roślin i nawozów mineralnych. Ponadto przy pojawieniu się warunków stresowych w uprawie

roślin związanych ze zmianami klimatycznymi, zagrożeniami środowiskowymi, czy czynnikiem antropogenicznym stosowanie tradycyjnych zabiegów agrotechnicznych może okazać się niewystarczające. Dlatego też coraz powszechniejsze jest stwierdzenie, że o wielkości i jakości uzyskiwanego plonu decyduje zarówno umiejętność przeciwdziałania niekorzystnym warunkom środowiskowym, jak i możliwość szybkiej regeneracji roślin (Gawrońska i Przybysz 2011). W odpowiedzi na to wyzwanie pojawiły się biostymulatory, które wspomagają regenerację roślin po wystąpieniu czynników stresowych, przyczyniając się do poprawy ich plonowania (Kozak i in. 2016).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 definiuje biostymulatory jako substancje, mieszaniny lub mikroorganizmy, które nie dostarczają składników pokarmowych, ale stymulują naturalne procesy odżywiania roślin niezależnie od zawartości składników pokarmowych w produkcie. W wyniku stosowania biostymulatorów można uzyskać poprawę co najmniej jednej z właściwości rośliny lub ryzosfery roślin, takich jak: zwiększenie efektywności wykorzystania składników pokarmowych, zwiększenie odporności na stres abiotyczny, poprawę cech jakościowych i przyswajalności składników pokarmowych z form trudnodostępnych w glebie lub ryzosferze. Ponadto działanie biostymulatorów uzupełnia działanie nawozów w celu optymalizacji ich skuteczności oraz ograniczenia ilości stosowanych składników pokarmowych.

Zgodnie z definicją du Jardina i in. (2020) biostymulatory są substancjami stosowanymi w uprawie roślin, które wykazują pozytywny wpływ na wzrost i rozwój roślin oraz ich tolerancję na warunki stresowe, pomimo, że nie zawierają składników pokarmowych. Wykazują też efektywność już w niewielkich dawkach, co sugeruje, że mają działanie podobne do fitohormonów. Jednak charakterystyczne ich cechy wynikają z definicji, w której biostymulatory przedstawione są jako preparaty zawierające substancję/e i/lub mikroorganizmy, przeznaczone do stosowania na roślinę lub strefę korzeniową w celu stymulowania naturalnych procesów zwiększających efektywność wykorzystania składników pokarmowych, tolerancję na stres abiotyczny i cechy jakościowe roślin, niezależnie od zawartości składników odżywczych. Autorzy potwierdzili, że biostymulatory nie są definiowane ze względu na ich skład i pochodzenie, które są bardzo zróżnicowane, ale poprzez wpływ na rośliny. W szczególności brane są pod uwagę korzyści uzyskiwane dla całych roślin, zarówno dla cech ilościowych (np. plonu w warunkach stresowych lub nie stresowych czy efektywności wykorzystania składników pokarmowych), jak i cech jakościowych płodów rolnych i ogrodniczych. Ponadto ich korzystne właściwości nie są spowodowane zawartością

składników pokarmowych lub bezpośrednim/pośrednim wpływem ochronnym na rośliny, ale regulowaniem metabolizmu, a tym samym rozwoju roślin.

Zgodnie z nową definicją biostymulatory są uważane za nowe modulatory procesów życiowych roślin, poszerzające dotychczasowe działanie nawozów, regulatorów wzrostu i pestycydów. Ponadto nowa interpretacja mechanizmów działania biostymulatorów i ich związków bioaktywnych opiera się na prostych, bezpośrednich korelacjach pomiędzy pobieraniem składników pokarmowych a działaniem pojedynczych fitohormonów. Wykluczenie efektu odżywczego jako podstawowego wpływu biostymulatora na rośliny jest uważane za kryterium definiujące te produkty, a opiera się ono na zastosowaniu niskiej dawki preparatu, która dla większości składników pokarmowych jest zwykle wyższa (du Jardin i in. 2020). Działanie biostymulatorów może być wielokierunkowe, ale najważniejszy jest fakt, że w przeciwieństwie do fitohormonów poprawiają procesy metaboliczne roślin bez zmiany ich naturalnej ścieżki (Polo i Mata 2018, Posmyk i Szafrańska 2016).

Większość biostymulatorów zawiera złożone substancje lub ich mieszaniny pochodzenia organicznego lub nieorganicznego, w tym fermentowanych mikrobiologicznie produktach zwierzęcych lub roślinnych, żywych kulturach mikroorganizmów, makro- i mikroalgach, hydrolizatach białkowych, substancjach humusowych i fulwowych, kompostach, oborniku, odpadach spożywczych i przemysłowych przygotowanych przy użyciu zróżnicowanych przemysłowych procesów produkcyjnych, co utrudnia zrozumienie ich mechanizmów i sposobów działania. Ponadto oprócz biostymulatorów naturalnych w praktyce rolniczej stosowane są biostymulatory syntetyczne oparte są na związkach fenolowych, regulatorach wzrostu, solach nieorganicznych czy niezbędnych pierwiastkach (Al, Co, Na, Ti, Se, Si). W związku z powyższym prawdopodobne jest wystąpienie interakcji pomiędzy niektórymi bioaktywnymi składnikami, co może wpływać na wzmocnienie lub osłabienie ich reakcji na roślinę (Brown i Saa 2015, du Jardin i in. 2020). Stwierdzono, że biostymulatory działają na kaskady sygnalizacyjne roślin, w sposób bezpośredni lub pośredni poprzez stymulację endofitycznych i nieendofitycznych bakterii, drożdży i grzybów, które uwalniają substancje chemiczne o korzystnym działaniu na rośliny (Brown i Saa 2015).

Wykazano także, że fitohormony i związki podobne do fitohormonów odgrywają główną rolę w regulacji wzrostu i rozwoju roślin i są uważane za związki odpowiedzialne za bioaktywność biostymulatorów. Wspólną cechą hormonów z biostymulatorami jest to, że działają one w niskich dawkach i często powodują zahamowanie wzrostu, gdy są stosowane w wysokich stężeniach lub dawkach. Liczni autorzy potwierdzili działanie hormonalne niektórych biostymulatorów, opartych na ekstraktach z alg morskich, związkach humusowych

i hydrolizatach białkowych (Battacharyya i in. 2015, Canellas i in. 2011, Colla i in. 2015). Z kolei hormonopodobne działanie biostymulatorów sugeruje, że działają na sygnalizację i odpowiedź hormonów, jak również ich syntezę, degradację, koniugację, sekwestrację i transport tych związków.

Biostymulatory wpływają na podstawowe procesy i mechanizmy obronne u roślin, umożliwiając utrzymanie im homeostazy, tak aby zapewnić długoterminową adaptację, średnioterminową aklimatyzację i krótkoterminową reakcję na zmieniające się warunki otoczenia (du Jardin i in. 2020). Powodują zmiany w aktywności enzymatycznej i zwiększoną syntezę związków antyoksydacyjnych, co prowadzi do zwiększenia odporności na stres abiotyczny (susza, przymrozki, zasolenie, zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi) i biotyczny (działalność szkodników i patogenów), (Basak 2008, Calvo i in. 2014). W związku z powyższym stosowanie biostymulatorów w celu poprawy wzrostu, rozwoju i plonowania roślin w warunkach polowych wydaje się istotne (du Jardin i in. 2020). Stwierdzono, że biostymulatory pozytywnie wpływają na wzrost i rozwój roślin uprawnych w różnych fazach jej rozwoju, tj. od kiełkowania aż do dojrzałości zbiorczej, przy czym różnice w działaniu biostymulatorów mogą wynikać z liczby zabiegów przeprowadzonych w odpowiednich fazach rozwoju (Azcona i in. 2011, Ertani i in. 2012, 2014, Szparaga i in. 2018). Z kolei Grabowska i in. (2012), wykazali, że efektywność stosowania biostymulatorów, zależy przede wszystkim od warunków metrologicznych w okresie wzrostu i rozwoju roślin. Tak duży ich wpływ wynika przede wszystkim z faktu, iż biostymulatory są preparatami systemowymi, których składniki aktywne muszą być przetransportowane do aktywnych miejsc tkanek roślinnych. Zatem działanie tych preparatów jest uzależnione również od warunków hydrotermicznych panujących po ich aplikacji w odpowiednich fazach wzrostu roślin (Kolomaznik i in. 2012).

Wpływając na metabolizm roślin, w tym aktywność i syntezę hormonów roślinnych biostymulatory przyczyniają się do lepszego wzrostu części nadziemnej i podziemnej, co w efekcie poprawia pobieranie, translokację i wykorzystanie makro- i mikroelementów determinując zarówno wielkość, jak i jakość plonu roślin (Kocira i in. 2017a). Pierwsze traktowanie roślin biostymulatorami zwane krótkotrwałym oddziaływaniem wpływa na zwiększenie liczby i masy liści, czyli wzrost i rozwój części nadziemnej. Z kolei stosowanie tych preparatów w fazie kwitnienia roślin, prowadzi do efektu długofalowego, powodując istotne zmiany w plonie i jego jakości (Ertani i in. 2014, Nardi i in. 2009). Silva i in. (2016) wykazują w swoich badaniach, że stosowanie biostymulatorów wzrostu koreluje ze wzrostem stężenia giberelin, co w konsekwencji prowadzi do zmian w procesie tworzenia się włókna surowego i w składzie jego frakcji.

Biostymulatory postrzegane jako preparaty bezpieczne dla otoczenia coraz częściej są stosowane w uprawach roślin ze względu na zwiększenie świadomości polskich rolników, ale również na możliwość ich stosowania w rolnictwie ekologicznym. Jako że nadrzędnym celem produkcji roślinnej jest uzyskiwanie wysokiego plonu przy zachowaniu dobrej jakości płodów rolnych poszukiwanie rozwiązań technologicznych takich jak aplikacja biostymulatorów, w przypadku, gdy tradycyjne praktyki rolnicze nie wystarczają, wydaje się uzasadnione.

Ponadto obserwowany jest światowy rozwój rynku biostymulatorów, co związane jest nie tylko z ich pozytywnym wpływem na wzrost i rozwój roślin, ale także ze wzrostem zapotrzebowania na zrównoważone rolnictwo i ograniczeniem stosowania syntetycznych nawozów konwencjonalnych. W odniesieniu do 2021 roku prognozowany jest w 2026 roku wzrost globalnego rynku biostymulatorów o 12,1%, a Europa jest zaliczana do największego potentata tego rynku, gdyż jej udział stanowi 42% (www.marketsandmarkets.com).

Stosowanie biostymulatorów jest celowe w uprawie roślin, które cechują się większą wrażliwością na niekorzystne warunki środowiskowe, jak niska temperatura, do których należy fasola. Jest ona ważną gospodarczo rośliną zarówno w kraju, jak i na świecie, która ceniona jest ze względu na dużą zawartość białka roślinnego o wysokiej wartości biologicznej (Szafirowska i Kaniszewski 2014). Biorąc pod uwagę, że rośliny bobowate zmniejszają i zapobiegają wystąpieniu różnych problemów zdrowotnych, oczekuje się, że rynek ich wzrośnie w ciągu najbliższych kilku lat. Szacowane jest też wzrost wartości na światowym rynku fasoli w ciągu lat 2017-2025 aż o 7,1% (www.businesswire.com).

W uprawach roślin na świecie najczęściej stosowane są biostymulatory oparte na ekstraktach z alg morskich, stanowiące prawie 95% udziału globalnego rynku biostymulatorów zawierających ekstrakty pochodzenia roślinnego (Stirk i in. 2020). Podobna tendencja utrzymuje się na polskim rynku biostymulatorów. Do produkcji biostymulatorów wykorzystywane są wodorosty należące do brunatnic (*Phaeophyta*), krasnorostów (*Rhodophyta*) i zielenic (*Chlorophyta*), najczęściej pozyskiwane u wybrzeży Norwegii, Chin, Japonii, Irlandii, Indonezji, Francji, Kanady, Islandii i Afryki Południowej (FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations 2018). Najpopularniejsze gatunki alg wykorzystywane w procesie produkcji biostymulatorów to: *Ascophyllum nodosum, Macrocystis pyrifera, Ecklonia maxima, Ecklonia radiata, Durvillaea potatorum, Durvillaea antarctica, Laminaria digitata, Sargassum* spp. *i Fucus serratus* (Khan i in. 2009, Sharma i in. 2014).

Najczęstszym sposobem otrzymywania ekstraktów z alg morskich jest ekstrakcja w warunkach alkalicznych z lub bez użycia wysokich temperatur. Najpierw algi są mielone

w niskiej temperaturze i otrzymywana jest lekko kwaśna zawiesina albo zniszczenie ich struktury następuje przy pomocy wysokiego ciśnienia. Ekstrakty z alg mogą być produkowane przy użyciu wody, kwasów lub zasad. Proces ekstrakcji może być przyspieszony poprzez wysokie ciśnienie lub wysoką temperaturę (Craigie 2011). W celu usunięcia związków fenolowych i zwiększenia skuteczności ekstrakcji alkalicznej można stosować wstępną obróbkę kwasem siarkowym (Sharma i in. 2014). Wysoka zawartość humusowych polifenoli i florotanin jest charakterystyczna dla ekstrakcji alkalicznej (Craigie 2011). Alternatywną metodą pozyskiwania tych ekstraktów jest „cold cellular-burst", w której komórki alg wskutek wysokiego ciśnienia są rozrywane na rozpuszczalne składniki cytozolowe odzyskiwane z przefiltrowanej cieczy. Przykładem takiego preparatu jest Kelpak SL (Stirk i in. 2020). Ekstrakty mogą być też pozyskiwane z użyciem nadkrytycznego CO_2 lub w wyniku rozbijania komórek niskimi temperaturami (krio) (Sharma i in. 2014).

Finalny produkt ekstrakcji może być w formie płynnej o pH 7-10 albo wysuszony do postaci proszku rozpuszczalnego w wodzie. Płynne ekstrakty są rozcieńczone i mają niską zawartość składników pokarmowych, dlatego też mogą być wzbogacane w dodatkowe substancje, jak makro- i mikroelementy. Dodatkową zaletą są właściwości chelatujące płynnych ekstraktów z alg morskich, które zapobiegają wytrącaniu się pierwiastków śladowych (Craigie 2011).

Podczas produkcji tych ekstraktów zachodzą przemiany chemiczne lub denaturacja niektórych bioaktywnych związków, które są wrażliwe na wysoką temperaturę lub pH. Może to wpływać na biologiczną aktywność, a w efekcie na skuteczność działania ekstraktów z alg (Sharma i in. 2014, Stirk i in. 2014).

Biostymulatory oparte na ekstraktach z alg morskich, stosowane nawet w niskich stężeniach, korzystnie wpływają na procesy fizjologiczne roślin uprawnych stymulując ich wzrost, rozwój, wielkość i jakość plonu, dodatkowo zwiększając ich tolerancję na abiotyczne warunki stresowe (susza, ekstremalne temperatury, zasolenie) (Battacharya i in. 2015). Obserwowany pozytywny wpływ aplikacji ekstraktów z alg na rośliny może być powiązany z synergistycznym działaniem ich składników (Jannin i in. 2013). Stwierdzono lepszą dostępność składników pokarmowych, poprawę tekstury gleby i zdolności zatrzymywania wody oraz pozytywny wpływ na wzrost pożytecznych mikroorganizmów ryzosferowych (Khan i in. 2009). Jednak skuteczność niskich dawek tych preparatów stosowanych w uprawach roślin wskazuje, że inne składniki wspierają ich wzrost i rozwój (Craigie 2011). Zaliczamy do nich związki o małej masie cząsteczkowej (Stirk i van Staden 1997, Tarakhovskaya i in. 2007) o działaniu promującym wzrost roślin, do których zaliczamy

hormony roślinne. Wykazano również obecność związków bioaktywnych działających jako elicytory, zwiększające wzrost roślin i wywołujące reakcje na stres poprzez aktywację szlaków molekularnych i biochemicznych, jak polisacharydy i florotaniny (Calvo i in. 2014, Craigie 2011, Rioux i in. 2007, Zhang i in. 2006).

Wyciągi z alg morskich zawierają związki organiczne i mineralne, jednak skład i zawartość tych składników zależy od wielu czynników m.in. gatunku, pory roku, miejsca zbioru, co ma decydujący wpływ na ich biologiczną skuteczność (Calvo i in. 2014, Stirk i in. 2020). Spośród ważniejszych składników bioaktywnych należy wymienić: białka i aminokwasy (aminokwasy egzogenne, metaloproteiny, glikoproteiny), fitohormony (cytokininy, auksyny, gibereliny, brassinosteroidy, kwas abscysynowy), enzymy, poliaminy, polifenole (florotaniny), fitoaleksyny, witaminy (z grupy B, karotenoidy, witamina C, E i D), oligosacharydy, polisacharydy (kwas alginowy, kwas hialuronowy, agar, karageniany, mannitol, fukany, laminaryna, sorbitol), makro- i mikroelementy (Mg, Cu, Fe, Br, Zn, I, Mn), niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (arachidonowy, γ-linolenowy, eikozapentenowy) (Godlewska i in. 2014, Papenfus i in. 2012, Rengasamy i in. 2015, Stirk i in. 2009, 2014, Yokoya i in. 2010).

W uprawach roślin ekstrakty z alg morskich aplikowane są dolistnie w formie oprysku roślin, doglebowo w pobliżu ryzosfery (fertygacja), jak również do przedsiewnego moczenia nasion. W przypadku nalistnego stosowania najefektywniejsze są poranne godziny, gdy aparaty szparkowe są otwarte. Jednak większość autorów twierdzi, że o skuteczności działania tych preparatów decyduje stadium rozwojowe rośliny (Battacharya i in. 2015, Sharma i in. 2014).

Stwierdzono, że zastosowanie ekstraktów z makroalg pozytywnie wpływa na plonowanie wielu roślin uprawnych, w tym należących do bobowatych, jak fasola (Beckett i in. 1994, Kocira i in. 2018a, 2018b, 2020a, Kumar i in. 2012, Zodape i in. 2010), soja (Kocira i in. 2018c, Rathore i in. 2009, Tandon i Dubey 2015,), jak z innych grup roślin, tj. zboża (kukurydza, pszenica, jęczmień, pszenżyto) (Matysiak i in. 2012a, Matysiak i Kaczmarek 2008, Mondal i in. 2015), okopowe (ziemniak) (Matysiak i Adamczewski 2010, Matysiak i Kaczmarek 2008, Prajapati i in. 2016), oleiste (rzepak) (Matysiak i in. 2012b), warzyw (papryka, pomidor, sałata, bakłażana, cebuli) (Abd El-Gawad i Osman 2014, Ali i in. 2016, Arthur i in. 2003, Crouch i van Staden 1992, Dogra i Mandradia 2014, Mikiciuk i Dobromilska 2014, Zodape i in. 2011) i owoców (truskawki, arbuza) (Abdel-Mawgoud i in. 2010, Alam i in. 2013).

Potwierdzono także efektywność stosowania biostymulatorów opartych na ekstraktach z alg morskich w warunkach stresowych dla rośliny uprawnej, poprzez zwiększenie plonu pszenicy (stres wodny) (Matysiak i in. 2012a), kukurydzy (stres wodny) (Kumar i in. 2020), pomidora (stres wodny) (Murtic i in. 2018), *Vigna unguiculata* (zasolenie) (Manaf 2016) i cukinii (zasolenie) (Rouphael i in. 2017a).

Pozytywny wpływ stosowania wyciągów z alg na jakość płodów rolnych i ogrodniczych stwierdzono w wielu badaniach. Aplikacja wyciągu z alg zwiększyła zawartość makro- i mikroelementów oraz związków organicznych w liściach sałaty (K, Mg, Ca) (Crouch i in. 1990), liściach bakłażana (N, K, białko) (Abd El-Gawad i Osman 2014), owocach pomidora (N, P, K, Ca, Zn, Fe, azotany) (Dobromilska i in. 2008), nasionach fasoli (P, Mo, białko, węglowodany, tłuszcze, związki fenolowe, karotenoidy) (John i Yuvaraj 2014, Kumar i in. 2012, Zodape i in. 2010) i nasionach ciecierzycy (białko, karotenoidy, węglowodany) (Gurusaravanan i in. 2011). Dolistna aplikacja ekstraktu z *E. maxima* pozytywnie wpłynęła na aktywność antyoksydacyjną nasion soi (Kocira i in. 2017b, Kocira 2018). Stwierdzono również zwiększenie zawartości polifenoli, antocyjanów, aktywności przeciwrodnikowej i siły redukującej w nasionach fasoli, choć uzyskane wyniki zależały od odmiany, stężenia preparatu i liczby wykonanych zabiegów (Kocira i in. 2018a).

Rośliny rosnące w warunkach stresowych pozytywnie reagowały na stosowanie wyciągów z alg morskich poprzez poprawę jakości plonu, przykładowo zwiększenie zawartości K w owocach cukinii (zasolenie) (Rouphael i in. 2017a), zwiększenie zawartości witaminy C i likopenu w owocach pomidora (stres wodny) (Murtic i in. 2018) oraz zwiększenie zawartości białka, aminokwasów, węglowodanów w siewkach *Vigna unguiculata* (stres suszy) (Ananthi i in. 2021).

W produkcji roślinnej stosowane są także biostymulatory oparte na produktach białkowych, tj. hydrolizaty białkowe będące mieszaniną peptydów, aminokwasy pochodzenia roślinnego albo zwierzęcego, pojedyncze aminokwasy (prolina, glutaminian, betaina, glutamina) (du Jardin 2012). Aminokwasy oprócz funkcji budulcowej pełnią rolę prekursorów i aktywatorów hormonów roślinnych, uczestniczą w syntezie puryn, pirymidyn, amin, enzymów, terpenów, witamin czy alkaloidów (Marschner 1995, Pratelli i Pilot 2007). W trakcie ontogenezy uczestniczą w procesie zapylania i tworzenia owoców (Stitt i in. 2002), a ponadto stosowanie aminokwasów egzogennych aktywnych w sygnalizacji metabolicznej (prolina, betaina, glicyna, glutaminian) indukuje mechanizm obronny roślin zwiększając ich odporność na czynniki stresogenne, np. zasolenie, suszę, zbyt niską lub wysoką temperaturę czy stres oksydacyjny (Calvo i in. 2014, Colla i in. 2015).

Stwierdzono, że aplikacja hydrolizatów białkowych korzystnie wpływa na regulację metabolizmu ważnych pierwiastków biogennych (np. azotu, węgla) w roślinie, jak również pobieranie i wykorzystanie składników pokarmowych (Calvo i in. 2014, Colla i in. 2015). Liczni autorzy potwierdzili korzystny wpływ aplikacji hydrolizatów białkowych w uprawach roślin na pobieranie makro- i mikroelementów wskutek poprawy aktywności enzymatycznej i mikrobiologicznej gleby, mobilności i rozpuszczalności Fe, Zn, Mn, Cu, modyfikacji struktury korzeniowej czy wpływu na metabolizm roślin poprzez zwiększenia syntezy lub aktywności enzymów (reduktaza azotanowa, reduktaza żelaza) (Cerdán i in. 2009, Colla i in. 2014, Ertani i in. 2009, García-Martínez i in. 2010, Lucini i in. 2015). Preparaty białkowe odpowiedzialne są także za równowagę hormonalną rośliny, gdyż zawierają specyficzne peptydy i prekursory biosyntezy hormonów roślinnych, np. tryptofan (Colla i in. 2014). Biostymulatory oparte na związkach białkowych wpływają na wzrost, rozwój, a w efekcie na wielkość i jakość plonu roślin uprawnych poprzez zwiększenie koncentracji związków bioaktywnych, jak flawonoidy, karotenoidy, polifenole (Ertani i in. 2014, Parrado i in. 2007) i zmniejszenie azotanów jako związków niepożądanych (Liu i in. 2008).

Hydrolizaty białkowe otrzymywane są w procesie hydrolizy chemicznej (zasadowej lub kwasowej), termicznej lub enzymatycznej produktów ubocznych pochodzenia roślinnego (m.in. susz z lucerny, nasiona bobowatych) lub zwierzęcego (m.in. kazeina, krew, skóra). Jednak bioaktywne, lewoskrętne aminokwasy (tzw. wolne aminokwasy) o małej masie cząsteczkowej można uzyskać w procesie hydrolizy enzymatycznej (Przybyszewska 2013). Hydrolizaty uzyskiwane w tym procesie zawierają głównie: argininę, walinę, alaninę, glutaminę, glicynę, leucynę, prolinę i glutaminian (Calvo i in. 2014, Colla i in. 2015). Ertani i in. (2014) wykazali, że stosowanie niskich dawek tych biopreparatów jest skuteczne w stymulowaniu wzrostu i rozwoju roślin, choć o efekcie końcowym decyduje gatunek/odmiana rośliny, faza fenologiczna, warunki klimatyczno-glebowe, sposób aplikacji i zdolność do wnikania biostymulatora przez blaszkę liściową/korzenie, skład mieszaniny aminokwasów i stężeń poszczególnych aminokwasów. Przy aplikacji doglebowej/dolistnej aminokwasy i małe cząsteczki peptydów pobierane są przez korzenie/liście i transportowane do dalszych części rośliny. Jednak przy doglebowym stosowaniu tych biostymulatorów duży wpływ na skuteczność ich działania ma aktywność mikrobiologiczna gleby i abiotyczne warunki glebowe. W związku z powyższym przy aplikacji nalistnej ilość absorbowanych aminokwasów i peptydów jest większa wskutek braku konkurencji pomiędzy mikroorganizmami glebowymi a rośliną o te związki (Colla i in. 2015).

Biostymulatory oparte na hydrolizatach białkowych stymulują wzrost i rozwój roślin poprzez poprawę absorbcji składników pokarmowych, co przyczynia się do uzyskania większego i dobrego jakościowo plonu roślin. Biostymulatory oparte na hydrolizatach białkowych pochodzenia roślinnego (z kiełków drzewa świętojańskiego) mogą być bardziej skuteczne w poprawie plonu niż preparaty pochodzenia zwierzęcego (Siapton), co widać na przykładzie pomidora (Parrado i in. 2008). Badania prowadzone na biostymulatorze Siapton (Aminoplant) wykazały zróżnicowaną reakcję roślin, jak zwiększenie plonowania papai (Morales-Payan i Stall 2003) i marchwi (Grabowska i in. 2012) lub brak wpływu na plon szpinaku (Kunicki i in. 2010) i endywii (Gajc-Wolska i in. 2012). Stosowanie biostymulatorów opartych na aminokwasach poprawiło plonowanie wielu roślin uprawnych, m.in. pszenicy orkisz (Gheoltan i Morar 2007), buraka cukrowego (El-Gamal i in. 2016), fasoli szparagowej (Abdel-Mawgoud i in. 2011), bobu (Shafeek i in. 2016) melona siatkowatego (Abd El-Aal 2012), pomidora (Koukounararas i in. 2013), bakłażana (El-Nemr i in. 2015), ogórka (Raeisi i in. 2013) i sałaty (Moghazy 2014).

Stwierdzono także poprawę jakości plonu płodów rolnych po zastosowaniu hydrolizatu białkowego pochodzenia zwierzęcego wskutek zwiększenia zawartości karotenoidów i cukrów rozpuszczalnych w korzeniach marchwi, choć reakcja roślin zależała od odmiany i warunków środowiskowych (Grabowska i in. 2012). Ertani i in. (2013a) potwierdzili pozytywny wpływ hydrolizatu białkowego pochodzenia zwierzęcego na jakość siewek kukurydzy poprzez poprawę absorpcji mikroelementów i zmniejszenie koncentracji azotanów, fosforanów i siarczanów. Z kolei zastosowanie hydrolizatu białkowego roślinnego (z lucerny) w hydroponicznej uprawie kukurydzy zwiększyło koncentrację cukrów i zmniejszyło azotanów w liściach (Schiavon i in. 2008), a w warunkach stresowych (zasolenie NaCl) zaobserwowano zwiększenie jonów Na^+ i zmniejszenie jonów K^+ w liściach i korzeniach kukurydzy (Ertani i in. 2013b). Stwierdzono także korzystny wpływ stosowania aminokwasów i peptydów w połączeniu ze składnikami pokarmowymi na absorpcję makro- i mikroelementów w liściach pomidora (K, Ca, Mg, Fe, Cu i Zn) (Garcia i in. 2011). Z kolei zwiększenie zawartości białka, N, K i P w nasionach bobu wykazano po dolistnym zastosowaniu biostymulatora opartego na aminokwasach (Shafeek i in. 2016). Dolistna aplikacja biostymulatora opartego na wolnych aminokwasach zwiększyła także aktywność antyoksydacyjną nasion soi (Kocira i in. 2017b, Kocira 2018).

Hydrolizaty białkowe poprzez indukowanie procesów fizjologicznych i molekularnych, które stymulują wzrost, rozwój i plonowanie roślin, łagodzą wpływ stresowych czynników abiotycznych na rośliny uprawne (Colla i in. 2017). Bezpośredni wpływ

na aktywność biostymulacyjną hydrolizatów białkowych i łagodzenie stresu abiotycznego ma: indukowanie kluczowych enzymów zaangażowanych w asymilację azotu (reduktaza azotanowa, reduktaza azotynowa, syntetaza glutaminy, syntetaza glutaminianowa) i metabolizm węgla (syntetaza cytrynianowa, dehydrogenaza jabłczanowa, dehydrogenaza izocytrynianowa), podwyższona aktywność auksyno- i giberelinopodobna oraz wzrost aktywności enzymów antyoksydacyjnych, biosyntezy pigmentu i produkcji metabolitów wtórnych (Ertani i in. 2009, 2013b, 2017, Rouphael i in. 2017b, 2018, Schiavon i in. 2008, Sestili i in. 2018).

Colla i in. (2015) potwierdzili, że glutamina i arginina pełnią ważną rolę sygnalizacyjną w regulacji pobierania N przez system korzeniowy. Z kolei Teixeira i in. (2017) wykazali, że glutaminian, cysteina, fenyloalanina i glicyna mogą działać jako aminokwasy sygnalizacyjne w roślinach soi, ponieważ małe dawki wystarczą, aby zwiększyć aktywność enzymów antyoksydacyjnych.

Biostymulatory mogą stanowić też mieszaninę różnych związków bioaktywnych. Przykładem jest Fylloton zawierający ekstrakt z brunatnicy *Ascophyllum nodosum* i wolne aminokwasy uzyskane w wyniku hydrolizy enzymatycznej. Aktywne składniki tego biostymulatora pozytywnie wpływają na wzrost i rozwój roślin, przyczyniając się w ten sposób zarówno do poprawy wielkości, jak i jakości plonów. Dolistna aplikacja Fyllotonu stymuluje wzrost i plonowanie soi bez negatywnego wpływu na właściwości nutraceutyczne i odżywcze jej nasion. Jednak o działaniu biostymulatora decyduje też sposób jego aplikacji. Wykazano, że korzystniejszy dla zwiększenia liczby nasion i plonu soi jest dwukrotny oprysk preparatem w wyższym stężeniu, a na zwiększenie liczby strąków pozytywnie wpływa jednokrotne traktowanie roślin niższym stężeniem. Biorąc pod uwagę zawartość związków odżywczych i bioaktywnych w nasionach stwierdzono, że aplikacja Fyllotonu zwiększa koncentrację białka, tłuszczu, związków fenolowych, flawonoidów i antocyjanów (Kocira i in. 2018c). Zaobserwowane zmiany w składzie nasion soi mogą być związane z reakcją krzyżową pomiędzy czynnikami abiotycznymi i biotycznymi, które wywołują stres u roślin. Z kolei warunki stresowe mogą wpływać na metabolizm roślin, prowadząc do zwiększenia właściwości antyoksydacyjnych (Tenhaken 2015, Złotek i in. 2016).

Do grupy syntetycznych biostymulatorów należą preparaty oparte na związkach nitrofenolowych naturalnie występujących w komórkach roślinnych, jak para-nitrofenol sodu, orto-nitrofenol sodu i 5-nitroguajakol sodu (Kocira i in. 2017a, Przybysz i in. 2014). W praktyce rolniczej stosowany jest syntetyczny biostymulator Asahi SL, znany pod nazwą Atonik lub Chaperone. Wykazano, że polifenole wchodzą w interakcje z fitohormonami, m.in.

z giberelinami (Taiz i Zeiger 2002) stymulując wzrost i rozwój siewek (Djanaguiraman i in. 2005a) i auksynami stymulując wzrost elongacyjny roślin (Djanaguiraman i in. 2005b). Aplikacja Atoniku (Asahi SL) pozytywnie wpływa na wzrost wielu roślin, stymulując także wzrost i rozwój części generatywnej, co w efekcie pozwala na uzyskanie większego plonu roślin, m.in. soi (Kozak i in. 2008a), fasoli (Kocira i in. 2017a), kukurydzy (Księżak 2008), rzepaku i *Arabidopsis thaliana* (Budzyński i in. 2008, Przybysz i in. 2014), ziemniaka (Gugała i in. 2017a, Sawicka i Mikos-Bielak 2008,), marchwi (Szczepanek i in. 2017) i bawełny (Djanaguiraman i in. 2005b).

W metabolizmie roślin traktowanych Atonikiem stwierdzono wyższą inhibicję oksydazy IAA, co aktywuje zwiększoną naturalną syntezę endogennych auksyn (Djanaguiraman i in. 2004a, 2004b, 2005a, Stutte i Clark 1990). Liczni autorzy zaobserwowali także wpływ tego preparatu na metabolizm azotu, przejawiający się zwiększoną aktywnością reduktazy azotanowej (Gawrońska i in. 2008, Przybysz i in. 2014, Sharma i in. 1984). Atonik stymuluje także produkcję prolin i polioli, dwóch ważnych kompatybilnych metabolitów zaangażowanych w mechanizmy antystresowe (Djanaguiraman i in. 2004b, 2009). Stwierdzono zmniejszenie poziomu ROS (reaktywnych form tlenu) u roślin traktowanych Atonikiem (Djanaguiraman i in. 2010), co może oznaczać, że biostymulator aktywuje mechanizmy ochronne w roślinach, umożliwiając im lepsze radzenie sobie ze stresem oksydacyjnym, wpływając na zwiększenie aktywności enzymów układu przeciwutleniającego oraz całkowitej zdolności antyoksydacyjnej (Djanaguiraman i in. 2004a, 2005a, 2009, Wrochna i in. 2008). Zdaniem Djanaguiraman i in. (2010) niska zawartość O_2 i H_2O_2 w roślinach traktowanych nitrofenolami może wynikać z uwięzienia wolnych rodników przez związki fenolowe. Fenole mają bowiem zdolność do hamowania utleniania lipidów i białek przez oddanie fenolowego wodoru do wolnego rodnika (Aruoma i in. 1993, Halliwell i in. 1995). Stereofoniczne działanie fenoli i rodników fenoksylowych, zawartych w Asahi SL jest w dużej mierze związane z ich reaktywnością z rodnikami (Burton i in. 1985). Zdaniem Frankel i in. (1996) oraz Jang i in. (2007) działanie Atoniku na metabolizm ROS jest przede wszystkim związane z właściwościami przeciwutleniającymi dostarczanych fenoli, które mogą działać jako zmiatacze rodnikowe lub rozszczepiać łańcuchy rodnikowe, gasząc silnie utleniające wolne rodniki (Stadler i in. 1995, Moran i in. 1997). Potwierdzają to badania przeprowadzone przez Djanaguiraman i in. (2010), w których wykazano, że rośliny opryskiwane nitrofenolami miały większą zdolność do eliminacji ROS poprzez wyższą aktywność peroksydazy (POX), spowodowaną większą dostępnością substratu w postaci guajakolu, który jest aktywnym składnikiem Asahi SL. Dodatkowo Zancani i Nagy (2000) zaproponowali hipotezę, że POX

działa skutecznie jako system wychwytywania H_2O_2 w wakuolach roślinnych w obecności związków fenolowych.

Stwierdzono także, że reakcja roślin na stosowanie Asahi SL prawdopodobnie wynika z modyfikacji profilu ekspresji genów, związanych z mechanizmem obronnym u roślin *Arabidopsis thaliana* L. w warunkach stresowych (Cambri i in. 2008, Przybysz i in. 2014). Natomiast badania Gawrońskiej i in. (2008), dowiodły, że u roślin traktowanych Asahi SL nastąpiła zmiana w ekspresji genów profilowych. Autorzy wykazali, że biostymulator oparty na związkach nitrofenolowych, zmienił ekspresję 801 genów w roślinach *A. thaliana* L, przy czym spośród genów regulowanych w górę były geny odpowiedzialne za metabolizm białek, transkrypcję, transport, transport elektronów lub ścieżki energii, procesy rozwojowe, odpowiedź na stres i bodźce abiotyczne lub biotyczne.

W związku z powyższym stosowanie tego biostymulatora jest celowe po wystąpieniu warunków stresowych dla roślin, jak w przypadku kukurydzy (niedobór azotu w glebie) czy soi (zbyt wysoka temperatura) (Grzyś i in. 2008, Gulluoglu i in. 2006).

Pozytywny wpływ aplikacji Asahi SL na metabolizm roślin widoczny jest w lepszej jakości płodów rolnych. Kwiatkowski i in. (2013, 2015) stwierdzili zwiększenie zawartości związków fenolowych, cukru, kwasu L-askorbinowego, sodu i magnezu, przyczyniając się jednocześnie do zmniejszenia zawartości azotanów w korzeniach marchwi. Autorzy stwierdzili także zmniejszenie zawartości wapnia i w niewielkim stopniu azotu, fosforu i potasu w korzeniach marchwi po zastosowaniu tego preparatu. Opryskiwanie roślin pomidora tym biostymulatorem zwiększyło zawartość suchej masy, makro- i mikroelementów (P, K, Mg, Na, Zn), witaminy C, polifenoli i potencjał antyoksydacyjny, ale zmniejszyło zawartość wapnia w owocach (Ambroszczyk i in. 2016). Stwierdzono także pozytywny wpływ aplikacji dolistnej Asahi SL na aktywność antyoksydacyjną nasion soi potwierdzili (Kocira i in. 2017b, Kocira 2018).

Kolejnym preparatem o działaniu biostymulującym jest nawóz Tytanit, który zawiera kompleks tytanu. Jego formuła została opracowana i wdrożona do praktyki rolniczej w celu poprawy plonu roślin uprawnych poprzez stymulację aktywności wybranych enzymów, zwiększenie zawartości chlorofilu i pozytywny wpływ na przebieg procesu fotosyntezy, wspomaganie pobierania składników pokarmowych, zwiększenie tolerancji na stres oraz poprawę jakości plonów (Lyu i in. 2017). Tytan jest postrzegany jako „korzystny składnik" stymulujący wzrost i rozwój roślin, jednak mechanizmy leżące u podstaw tych pozytywnych efektów nadal pozostają niejasne (Ghooshchi 2017, Lyu i in. 2017). Pozytywny wpływ Tytanitu na procesy fizjologiczne roślin, co w konsekwencji wpływa na poprawę wzrostu,

rozwoju i plonowania, przypisywane jest stymulacji aktywności niektórych enzymów (katalazy, peroksydazy, lipoksygenazy, reduktazy azotanowej), zwiększeniu aktywności jonów żelaza w komórkach, syntezie barwników asymilacyjnych i szybszym tempie pobierania składników pokarmowych w biostymulatorach opartych na związkach tytanu (Carvajal i Alcaraz 1998, Grenda 2003). Niestety mechanizmy, które są aktywowane przez ten biostymulator są trudne do zidentyfikowania, m.in. ze względu na fakt, iż tytan jest jednym z tak zwanych "składników korzystnych" dla roślin, tzn. pierwiastków chemicznych, które poprawiają stan zdrowia organizmu, ale organizm może rosnąć i zdrowo się rozwijać pod ich nieobecność (Bartnik i in. 2017, Lyu i in. 2017). Jednak istnieją hipotetyczne teorie dotyczące mechanizmu działania tytanu w roślinach. Niektórzy autorzy zasugerowali, że efekty biologiczne tytanu opierają się na indukowaniu mechanizmów obronnych organizmu roślinnego przeciwko temu składnikowi. Dodatkowo stwierdzono, że niska dawka tego pierwiastka zwiększa mechanizmy obronne, a duża (toksyczna) dawka je zmniejsza, na co wpływa efekt hormezy (Bartnik i in. 2017, Carvajal i Alcaraz 1998, Hrubý i in. 2002). Dumon i Ernst (1988) zasugerowali, że mechanizmy i efektów wywierane przez tytan mogą być spowodowane zwiększoną dostępnością pierwiastków w wyniku wzrostu bezpośredniej lub pośredniej możliwości procesów ich absorpcji (różne formy ATPaz). Z kolei Lyu i in. (2017) stwierdzili, że korzystna rola, jaką ten pierwiastek odgrywa w roślinach, polega przede wszystkim na interakcji z innymi składnikami pokarmowymi, przede wszystkim z żelazem, z którym tytan może tworzyć zarówno związki synergistyczne, jak i antagonistyczne. Gdy w roślinach występuje niedobór żelaza, tytan może indukować ekspresję genów związanych z jego pobieraniem, poprzez zwiększenie jego wychwytu i wykorzystania, przyczyniając się do poprawy wzrostu roślin. Rośliny mogą bowiem mieć białka, które mają zdolność do specyficznego lub niespecyficznego wiązania się z tytanem. Jednak wysoka zawartość tytanu w tkankach roślinnych może to prowadzić do konkurencji tego pierwiastka z żelazem o ligandy lub białka. Zjawisko konkurencji może być zagrożeniem dla roślin, ze względu fitotoksyczność tytanu przy podwyższonych jego stężeniach w roślinach (Ghooshchi 2017, Lyu i in. 2017).

W uprawie roślin mogą być stosowane różne formy tytanu, które wpływają na metabolizm sprzyjając wzrostowi, rozwojowi i plonowaniu roślin (Carvajal i Alcaraz 1998, Carvajal i in. 1994, Kleiber i Markiewicz 2013, Kwiatkowski i in. 2013, Prusiński i Kaszkowiak 2005). Wykazano, że dolistna aplikacja chlorku tytanu lub askorbinianu tytanu korzystnie wpłynęła na plonowanie różnych gatunków roślin uprawnych, m.in. papryki i fasoli (Carvajal i in. 1994, Martínez-Sánchez i in. 1991, Ram i in. 1983). Zastosowanie Tytanitu, który w składzie ma schelatowaną formę tytanu, pozytywnie wpływa na procesy generatywne

roślin, stymulując ich zapylanie i zawiązywanie owoców u roślin psiankowatych (pomidor, papryka, oberżyna), co w efekcie istotnie zwiększa ich plon (Janas i in. 2002). Potwierdzono także korzystny wpływ Tytanitu na plonowanie fasoli tycznej (Szewczuk i Juszczak 2003), łubinu żółtego (Prusiński i Kaszkowiak 2005) i marchwi (Kwiatkowski i in. 2013).

Aplikacja preparatów opartych na związkach tytanu wpływa na metabolizm roślin poprzez stymulowanie aktywności enzymów, jak reduktazy azotanowej, peroksydazy, katalazy, lipoksygenazy, zwiększa zawartość chlorofilu (Carvajal i Alcaraz 1998) i pobieranie składników pokarmowych (Giménez i in. 1990, Pais 1983, Ram i in. 1983). Dolistne stosowanie Tytanitu w połączeniu z nawożeniem mineralnym wpływa na skład chemiczny części użytkowych roślin uprawnych, powodując zwiększenie zawartości Na i K, ale i zmniejszenie Mg i Ca u selera naciowego. Ponadto zastosowanie zbyt wysokiego stężenia Tytanitu niekorzystnie wpływa na zawartość składników pokarmowych w roślinach (Kalembasa i in. 2014). Aplikacja tego preparatu determinuje jakość korzeni marchwi, zwiększając zawartość Na, Mg, kwasu L-askorbinowego i cukru oraz zmniejszając Ca i azotanów (Kwiatkowski i in. 2013, 2015). Potwierdzenie pozytywnego wpływu Tytanitu na pobieranie i akumulację składników pokarmowych w roślinach jest też w badaniach innych autorów (Kalembasa i in. 2014, Klamkowski i in. 1999, Kleiber i Markiewicz 2013, Radkowski i Radkowska 2010).

2.6. Wpływ stosowania biostymulatorów na opłacalność uprawy roślin

Wdrażanie i upowszechnianie najnowocześniejszych technologii w produkcji rolnej powinno opierać się na ocenie ich efektywności ekonomicznej (Szparaga i in. 2019). Dlatego też analiza ekonomiczna opłacalności stosowania biostymulatorów w uprawach jest ważnym ogniwem, łączącym aspekt agronomiczny z osiągnięciem zrównoważenia w zarządzaniu uprawą roślin, przy czym jej istotnym elementem jest maksymalizacja wydajności (Szparaga i in. 2021a). Wykazano, że zarówno wielkość i jakość plonów roślin, jak również koszty poniesione na ich uprawę decydują o opłacalności uprawy, ale przede wszystkim wpływają na dochody rolnika (Zarzecka i in. 2018). Gugała i in. (2017b) doszli również do wniosku, że stosowanie tych preparatów nie tylko korzystnie wpływa na przyrost plonu, ale także determinuje jakość nasion, co wiąże się z wyższą ceną sprzedaży. Dodatkowo Kocira i in. (2018b) dowiedli, że ocena opłacalności ekonomicznej stosowania tych preparatów umożliwia rolnikowi wybór optymalnego wariantu technologicznego, zapewniającego wysokie zyski z jednostki powierzchni, wysoką jakość plonu oraz niskie nakłady. Aplikacja tych preparatów przynosi korzyści zarówno dla środowiska przyrodniczego, jak i zdrowia ludzi, jak również

jest rodzajem zaprojektowanego narzędzia, spełniającego wymagania producentów rolnych odnośnie uzyskania optymalnego plonu i korzystnych efektów ekonomicznych (Szparaga i in. 2021a).

Stosowanie biostymulatorów jako jeden z elementów agroekologicznego zarządzania uprawami, powinno spełniać przede wszystkim wymagania producentów rolnych w zakresie zapewnienia optymalnej wydajności upraw, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów nakładów, a także kompatybilności stosowanych biostymulatorów, warunków glebowych, maszyn i urządzeń rolniczych (Bashan i in. 2014). Liczni autorzy potwierdzili, że oprócz stymulowania wzrostu i rozwoju roślin, zastosowanie tych preparatów w uprawach przyczynia się do obniżenia kosztów i zwiększa wydajność upraw (Brown i Saa 2015, Kocira i in. 2020b, van Oosten i in. 2017). W związku z powyższym o włączeniu biostymulatorów do praktyk rolniczych decyduje przede wszystkim ich znaczenie ekonomiczne w porównaniu do konwencjonalnych praktyk agronomicznych (Kocira i in. 2020a).

3. HIPOTEZA BADAWCZA I CEL PRACY

W ostatnich latach obserwujemy zwiększoną świadomość konsumentów odnośnie wpływu czynników biotycznych i abiotycznych na kształtowanie jakości płodów rolnych. W Polsce jedną z ważniejszych roślin bobowatych grubonasiennych dostarczających białka o wysokiej biologicznej wartości jest fasola zwykła. Ze względu na fakt, że zaliczana jest ona do roślin o dużych wymaganiach termicznych, co w efekcie decyduje o jej plonowaniu, poszukiwane są rozwiązania sprzyjające poprawie jakości i wielkości plonu, niezależnie od wystąpienia czynników stresowych. W dostępnej literaturze istnieją opracowania dotyczące wpływu biostymulatorów na plonowanie wielu roślin uprawnych, szczególnie po wystąpieniu niekorzystnych czynników środowiskowych. Jednakże stwierdzono, że reakcja rośliny na dany biostymulator zależy nie tylko od liczby wykonanych zabiegów czy stężenia preparatu, ale także od gatunku, a nawet odmiany.

Do rozwiązania problemów badawczych sformułowano następujące hipotezy badawcze:

1. Dolistna aplikacja badanych biostymulatorów pozytywnie wpływa na cechy kształtujące plon i wielkość plonu oraz modyfikuje skład chemiczny nasion fasoli.
2. Zastosowanie biostymulatorów pochodzenia naturalnego oddziałuje korzystniej na badane cechy w porównaniu do preparatów syntetycznych.
3. Stosowanie biostymulatorów w uprawie fasoli jest ekonomicznie uzasadnione.

W związku z powyższym podjęto badania mające na celu zbadanie wpływu stosowania biostymulatorów pochodzenia naturalnego (Kelpak SL, Terra Sorb Complex i Fylloton) i syntetycznego (Asahi SL i Tytanit) w formie jednokrotnej lub dwukrotnej aplikacji dolistnej w różnych stężeniach (w zależności od preparatu) na cechy kształtujące plon, wielkość i jakość plonu fasoli zwykłej (*Phaseolus vulgaris* L.) odmiany Orzeł, jak również na ekonomiczną opłacalność ich stosowania.

4. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

4.1. Doświadczenie polowe

Biologiczny materiał do badań stanowiła forma karłowa fasoli zwykłej (*Phaseolus vulgaris* L.) odmiany Orzeł, uprawianej na suche nasiona. Rośliny tej odmiany mają wzniesiony pokój i wykształcają zielone strąki. Gładkie nasiona są owalne, podłużne, w przekroju nieco spłaszczone, średniej wielkości, białe, nakrapiane, o rysunku wokół znaczka barwy wiśniowo-czerwonej przypominającym wyglądem piastowskiego orła (rys. 1). Masa 1000 nasion wynosi około 640 g [https://www.gov.pl/web/rolnictwo/polska-fasola-z-orzelkiem].

Rysunek 1. Suche strąki (a) i nasiona (b) fasoli zwykłej odmiany Orzeł (fot. Natalia Iwanicka).

Ścisłe doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2016–2018 na polu doświadczalnym Instytutu Nauk o Żywieniu Człowieka i Rolnictwie (dawniej Instytut Nauk Rolniczych) Państwowej Akademii Nauk Stosowanych w Chełmie (dawniej Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie) w gospodarstwie rolnym, w miejscowości Strupin Duży (51°05'N 23°30'E) w powiecie chełmskim, województwie lubelskim. Doświadczenia założono na glebie o składzie granulometrycznym średnim należącej do podtypu rędziny brunatne, charakteryzującej się odczynem zasadowym (pH w 1 M KCl – 7,4), zaliczanej do kompleksu pszennego dobrego, klasy bonitacyjnej IIIb. Zasobność gleby w przyswajalne składniki pokarmowe była następująca: fosfor – średnia (12,9–13,9 mg $P_2O_5 \cdot 100\ g^{-1}$), potas – średnia (15,5–17,0 mg $K_2O \cdot 100\ g^{-1}$), magnez – średnia (6,3–6,8 mg $Mg \cdot 100\ g^{-1}$) (Kęsik 2016).

Doświadczenia realizowano w układzie bloków losowych, w czterech powtórzeniach, na poletkach doświadczalnych o powierzchni 10 m^2 (3,00×3,33 m) (rys. 2).

Rysunek 2. Doświadczenie polowe z fasolą zwykłą odmiany Orzeł (fot. Natalia Iwanicka).

Zastosowano następujące czynniki doświadczenia:
I czynnik –zastosowany biostymulator:
– kontrola (K) - nie stosowano biostymulatorów,
– Kelpak SL (Ke),
– Terra Sorb Complex (Te),
– Fylloton (Fy),
– Asahi SL (As),
– Tytanit (Ty),
II czynnik – stężenie i liczba aplikacji biostymulatora:
– jednokrotny oprysk roślin niższym stężeniem (1 N),
– dwukrotny oprysk roślin niższym stężeniem (2 N),
– jednokrotny oprysk roślin wyższym stężeniem (1 W),
– dwukrotny oprysk roślin wyższym stężeniem (2 W).

Biostymulatory aplikowano dolistnie w stężeniach: Kelpak SL 0,7% i 1%, Terra Sorb Complex 0,3% i 0,5%, Fylloton 0,7 i 1%, Asahi SL 0,1% i 0,2% oraz Tytanit 0,07 i 0,13% (tab. 1), a otrzymane wyniki porównywano z obiektem kontrolnym, w którym nie stosowano biostymulatorów, a do opryskiwania roślin używano takiej samej ilości wody.

Tabela 1. Skład chemiczny, stężenia i terminy stosowania biostymulatorów

Biostymulator	**Charakterystyka biostymulatorów**	**Liczba oprysków (faza rośliny)**	**Stężenie**
Kelpak SL	Zawiera ekstrakt z brunatnic gatunku *Ecklonia maxima* pozyskiwany metodą „cold cellular-burst technology". Skład: auksyny (11 $mg \cdot l^{-1}$) i cytokininy (0,031 $mg \cdot l^{-1}$), alginiany, brassinosteroidy, gibereliny, florotaniny (Eckol), poliaminy. W uprawie roślin zaleca się 1–3-krotne stosowanie biostymulatora w dawce 2 - 4 $l \cdot ha^{-1}$ (Kelp. Products Ltd.) (Kelpak ulotka 2021).	jednokrotny oprysk (BBCH 12-13)	0,7% 1,0%
		dwukrotny oprysk (fazy BBCH 12-13 i BBCH 61)	0,7% 1,0%
Terra Sorb Complex	Zawiera 20% wolnych aminokwasów (ASP, SER, GLU, GLY, HIS, ARG, THR, ALA, PRO, CIS, TYR, VAL, MET, LYS, ILE, LEU, PHE, TRP), 5,5% ogólnego N (w tym 5% organicznego N), 0,8% MgO, 1,5% B, 1% Fe, 0,1% Mn, 0,001% Mo, 0,1% Zn i 25% materii organicznej. W uprawie roślin zaleca się 1–3-krotne stosowanie w formie oprysku w dawce 1,25 – 1,5 $l \cdot ha^{-1}$ (Bioiberica, S.A.U.) (www.agrotech-ogrodniczy.pl 2016).	jednokrotny oprysk (BBCH 12-13)	0,3% 0,5%
		dwukrotny oprysk (fazy BBCH 12-13 i BBCH 61)	0,3% 0,5%
Fylloton	Zawiera 27% wolnych aminokwasów (ASP, SER, GLU, GLY, HIS, ARG, THR, ALA, PRO, CIS, TYR, VAL, MET, LYS, ILE, LEU, TRP, HYP), 6% azot organiczny, 20,8% węgiel organiczny pochodzenia biologicznego, 35% ekstrakt z alg morskich *Ascophyllum nodosum.* W uprawie roślin zaleca się 1–3-krotne stosowanie w formie oprysku w dawce 1 – 2 $l \cdot ha^{-1}$ (Biolchim Polska Sp z o.o.) (http://biolchim.pl/project/fylloton/, http://biolchim.pl/wp-content/uploads/2017/05/FYLLOTON-firmy-Biolchim.pdf)	jednokrotny oprysk (BBCH 12-13)	0,7% 1,0%
		dwukrotny oprysk (fazy BBCH 12-13 i BBCH 61)	0,7% 1,0%
Asahi SL	Zawiera substancje aktywne z grupy nitrofenoli, występujące naturalnie w komórkach roślinnych. Skład: 0,3% para-nitrofenolanu sodu, 0,2% orto-nitrofenolanu sodu i 0,1% 5-nitrogwajakolanu sodu. W uprawie roślin zaleca się 1–3-krotne stosowanie biostymulatora w dawce 0,5 - 0,6 $l \cdot ha^{-1}$, w odstępie 7-30 dni, rozpoczynając pierwszy oprysk w fazie 2 liścia właściwego (Arysta LifeScience Sp. z o.o.) (Etykieta środka ochrony roślin Asahi SL 2020).	jednokrotny oprysk (BBCH 12-13)	0,1% 0,2%
		dwukrotny oprysk (fazy BBCH 12-13 i BBCH 61)	0,1% 0,2%
Tytanit	Zawiera organiczną formę tytanu 8,5 $g \cdot l^{-1}$ (molekuła aTIUM®). W uprawie roślin zaleca się 2–4-krotne stosowanie w formie oprysku w dawce 0,2 – 0,4 $l \cdot ha^{-1}$ (Intermag Sp. z o.o.) (https://intermag.pl/uprawa-roslin/produkt/tytanit)	jednokrotny oprysk (BBCH 12-13)	0,07% 0,13%
		dwukrotny oprysk (fazy BBCH 12-13 i BBCH 61)	0,07% 0,13%

W poszczególnych latach badań biostymulatory stosowano w następujących terminach, uzależnionych od fazy rozwojowej roślin:

- 2016 r. – jednokrotny oprysk w fazie BBCH 12-13 wykonano 7 czerwca oraz dwukrotny oprysk 7 i 23 czerwca (fazy BBCH 12-13 i BBCH 61);
- 2017 r. – jednokrotny oprysk 9 czerwca (faza BBCH 12-13) oraz dwukrotny oprysk 9 i 26 czerwca (fazy BBCH 12-13 i BBCH 61);
- 2018 r. – jednokrotny oprysk 11 czerwca (faza BBCH 12-13) oraz dwukrotny oprysk 11 i 27 czerwca (fazy BBCH 12-13 i BBCH 61).

Rośliny opryskiwano za pomocą opryskiwacza plecakowego akumulatorowego GARLAND FUM 12B. Do wykonania tego zabiegu agrotechnicznego zastosowano rozpylacz Lechler LU 120–03 oraz następujące parametry: ciśnienie robocze 0,30 MPa i zużycie 300 $l \cdot ha^{-1}$ cieczy roboczej.

W każdym roku badań przedplonem dla fasoli zwykłej była pszenica ozima odmiany Wilejka. Po zbiorze pszenicy przeprowadzano zespół uprawek pożniwnych i orkę przedzimową (na głębokość 25–28 cm). Wiosną wykonywano włókowanie, a następnie przed zabiegami doprawiającymi glebę wysiano nawozy mineralne ustalając ich dawkę na podstawie analizy chemicznej gleby: 30 kg $N \cdot ha^{-1}$, 60 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ i 120 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$. Następnym zabiegiem agrotechnicznym było doprawianie gleby agregatem uprawowym biernym, który składał się z kultywatora o zębach zakończonych gęsiostopkami i podwójnego wału strunowego.

Przy użyciu siewnika punktowego mechanicznego nasiona fasoli zwykłej odmiany Orzeł wysiano w następujących terminach: 2 maja 2016 r. oraz 1 maja 2017 i 2018 r. Zastosowano następujące parametry wysiewu nasion: głębokość 3-4 cm, rozstaw rzędów co 45 cm i obsada 30 roślin $\cdot 1\ m^2$. W trakcie wegetacji rośliny odchwaszczano ręcznie. W uprawie fasoli nie stosowano pestycydów, gdyż patogeny i szkodniki nie przekroczyły progu szkodliwości.

Przed zbiorem, na każdym poletku pobrano losowo rośliny z czterech parcelek (za pomocą ramki o wymiarach 0,5m x 0,5 m) i na tej podstawie obliczono liczbę strąków i nasion z 1 m^2.

Zbiór roślin wykonano kombajnem poletkowym w trzeciej dekadzie sierpnia (29 sierpnia 2016 r., 24 sierpnia 2017 r., 26 sierpnia 2018 r.), w fazie BBCH 89. W trakcie zbioru nasiona zebrano z każdego poletka, a następnie pobierano z nich próby w celu analiz chemicznych oraz ustalenia ich wilgotności. Plon nasion i masę 1000 nasion podano przy stałej wilgotności 12%.

Z zebranych nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł pobrano próby pierwotne w ilości ok. 1 kg dla każdej kombinacji. Z prób pierwotnych nasion fasoli pobranych z każdego poletka utworzono próby zbiorcze w ilości 50 g, po pięć z każdej kombinacji. Nasiona zmielono przy użyciu młynka laboratoryjnego firmy ChemLand model FW100 (Polska). Dla każdej próby laboratoryjnej wykonano po trzy powtórzenia danego oznaczenia składu chemicznego nasion.

4.2. Analizy chemiczne

4.2.1. Zawartość białka ogółem

Azot ogółem - oznaczono metodą Dumasa (1831), (AOAC 1995) przez wysokotemperaturowe utlenianie, aparatem FLASH 2000 firmy Thermo Scientific. W cynkowych tyglach do badań metodą Dumasa odważono po 1 g zhomogenizowanej próbki nasion fasoli. Tygle szczelnie zamknięto, po czym nastąpił ponowny pomiar wagi. Naczynka z próbką umieszczono w autosamplerze aparatu FLASH 2000 i poddano analizie chromatograficznej. Zawartość białka ogółem wyliczono w oparciu o wzór: N ogółem x 6,0 (Drywień 2018). W oparciu o uzyskany plon nasion fasoli zwykłej i zawartość białka w nasionach wyliczono wydajność białka z 1 hektara uprawy.

4.2.2. Zawartość fenoli ogółem

Zawartość fenoli ogółem – oznaczono modyfikowaną spektrofotometryczną metodą Singletona i in. (1999), z wykorzystaniem spektrofotometru UV-VIS, model UV-2600 firmy Shimadzu (Japan). Zhomogenizowaną próbkę nasion fasoli poddano trzykrotnej ekstrakcji roztworem do ekstrakcji (aceton: woda: kwas solny 70: 29:1) i wytrząsaniu na wytrząsarce laboratoryjnej przez 15 minut. Ekstrakt badano z użyciem odczynnika Folina-Ciocalteu'a, a zawartość polifenoli obliczono z krzywej kalibracyjnej dla kwasu galusowego (1 $mg \cdot ml^{-1}$) przy długości fali γ= 750 nm, wobec próby zerowej.

4.2.3. Zawartość flawonoidów ogółem

Zawartość flawonoidów ogółem – oznaczono modyfikowaną metodą spektrofotometryczną Lamaisona i Carneta (1991) z wykorzystaniem spektrofotometru UV-2600 firmy Shimadzu (Japan). Zhomogenizowaną próbkę nasion fasoli poddano ekstrakcji roztworem kwas octowy: metanol 1:19 i wytrząsano 15 minut. Ekstrakt badano w obecności metanowego roztworu sześciowodnego chlorku glinu. Zawartość flawonoidów w próbkach wyznaczano z krzywej kalibracyjnej dla kwercetyny (0,2 $mg \cdot ml^{-1}$).

4.2.4. Zawartość antocyjanów

Zawartość antocyjanów – oznaczono zmodyfikowaną metodą różnicową pH opisaną przez Fulekiego i Francisa (1968). Ekstrakty próbek połączono w stosunku 1:20 (v:v)

z chlorkiem potasu i z buforami octanu sodu o pH odpowiednio 1,0 i 4,5, w oddzielnych naczyniach. Po okresie równoważenia (15 min) absorbancję każdego roztworu mierzono przy długości fali γ=520 nm i γ=700 nm. Skorygowana wartość absorbancji została obliczona jako $A=[(A_{520nm} - A_{700nm})$ pH 1,03 - $(A_{520nm} - A_{700nm})$ pH 4,52]. Zawartość antocyjanów obliczono na podstawie chłonności molowej (ϵ) i mas cząsteczkowych (MW) 3-glukozydu cyjanidyny (ϵ=26900; MW=449.2). Wyniki zostały wyrażone jako ekwiwalent 3-glukozydu cyjanidyny (Cy3-GE) w $mg \cdot g^{-1}$ s.m.

4.2.5. Aktywność przeciwrodnikowa

Aktywność przeciwrodnikową - oznaczono zgodnie ze zmodyfikowaną metodą opracowaną przez Re i in. (1999). ABTS (diamon 2,2'-azyno-bis (3-kwas etylobenzotiazolino-6-sulfonowy) rozpuszczono w wodzie destylowanej do uzyskania stężenia 7mM. Rodnik kationowy $ABTS^+$ otrzymano w wyniku reakcji ABTS z 2,45 mM nadsiarczanem potasu ($K_2S_2O_8$). Mieszaninę reakcyjną inkubowano w temperaturze pokojowej przez 12 godzin. Roztwór $ABTS^+$ rozcieńczano wodą destylowaną do osiągnięcia absorbancji 0,700 (±0,02) przy długości fali λ = 734. Oznaczenie aktywności przeciwrodnikowej polegało na pomiarze spadku absorbancji podczas redukcji rodników kationowych $ABTS^+$ w warunkach wpływu antyoksydantów zawartych w analizowanych ekstraktach, skutkujący powstaniem bezbarwnego ABTS. W tym celu 250 µl roztworu $ABTS^+$ dodano do 5 µl ekstraktu i mieszaninę dokładnie wymieszano. Absorbancję powstałego roztworu mierzono po 2h przy długości fali λ = 734, stosując czytnik mikropłytek EPOCH2 (BioTek, USA). Aktywność przeciwrodnikową wyrażono jako ekwiwalent Trolox (TE) w $mg \cdot g$ s.m.$^{-1}$.

4.2.6. Siła redukcji

Siła redukcji – określono modyfikowaną metodą Pulido i in. (2000). Próbkę (2,5 cm^3) do analizy zmieszano z buforem fosforanowym (2,5 cm^3, 200 mM, pH 6,6) i żelazicyjanek potasu $K_3[Fe(CN_6)]$ (2,5 cm^3, 1%). Mieszaninę inkubowano w 50°C przez 20 min. Reakcje zatrzymywano 0,5 cm3 10% TCA i wirowano przez 10 min (6800 obr/min.). Górną warstwę roztworu (2,5 cm^3) zmieszano z wodą destylowaną (2,5 cm^3) i 0,5 cm^3 0,1% $FeCl_3$ i zmierzono absorbancję przy 700 nm. Wskazywana zwiększona absorbancja mieszaniny reakcyjnej wzrost mocy redukcyjnej. Zmniejszenie mocy wyrażono jako równoważnik Trolox w $mg \cdot g$ s.m.$^{-1}$.

4.2.7. Zawartość makro- i mikroelementów

W celu przeprowadzenia analizy, próbki fasoli poddano mineralizacji. Około 500 mg zhomogenizowanej próbki nasion fasoli poddano mineralizacji w roztworze 9 cm^3 65% kwasu azotowego i 1 cm^3 nadtlenku wodoru w mineralizatorze mikrofalowym Ethos Easy firmy

Milestone (Italy). Zawartość pierwiastków takich jak fosfor (P), potas (K), wapń (Ca) i magnez (Mg) w nasionach fasoli oznaczono metodą spektrometrii emisji optycznej w plaźmie wzbudzanej indukcyjnie (Galas i Kita 1995) przy użyciu aparatu ICP-OES Spectro Arcos firmy Spectro AMETEK (USA), z poziomą plazmą. Zawartość pierwiastków: żelaza (Fe), siarki (S), miedzi (Cu), glinu (Al), cynku (Zn), manganu (Mn), molibdenu (Mo), niklu (Ni) i selenu (Se) oznaczono na optycznych spektrometrach emisyjnych z plazmą sprzężoną indukcyjnie (Thermo iCAP Dual 6500, USA) z poziomą plazmą promieniową i osiową. Próg wykrywalności nie był niższy niż 0,01 mg kg^{-1} dla każdego pierwiastka (zdolność wykrywania dla aparatu powyżej 1 μg L^{-1}). Krzywe kalibracji zostały zbudowane na certyfikowanych modelach Merck (10000 ppm dla Fe i 1000 ppm dla S, Cu, Al, Zn, Mn, Mo, Ni i Se). Dla każdego elementu zbudowano trzypunktową krzywą kalibracji. Korekcję optyczną wprowadzono za pomocą wewnętrznych modeli wzorcowych (Y = 2 mg L-1 i Yb = 5 mg L-1) (Zaguła i in. 2017).

4.2.8. Zawartość włókna surowego

Zawartość włókna surowego w nasionach fasoli w postaci frakcji włókna obojętno-detergentowego, włókna kwaśno-detergentowego i ligniny oznaczono z wykorzystaniem metody Van-Soesta (1991), przy użyciu automatycznego analizatora włókna surowego oraz frakcji detergentowych. W analizie wykorzystano woreczki filtracyjne według procedury AOCS (2009) Ba 6a-05 Crude Fiber Analysis in Feeds By Filter Bag Technique. Korzystano z aparatu ANKOM220 Automated Fiber Analyzer, ANKOM Technology. Odważono ok. 1 gram zhomogenizowanej próbki nasion fasoli i umieszczono w woreczku do analizy. Następnie próbę umieszczono w uchwycie aparatu i poddano analizie. Frakcję włókna obojętno-detergentowego oznaczono z użyciem roztworu neutralnego detergentu (siarczan sodowo-laurylowy, etylenodwuaminoczterooctowa dwusodowa sól, boran sodowy, dwuzasadowy fosforan sodu, glikol trójetylowy), alfa-amylazy i siarczynu sodu. Frakcję kwaśno-detergentową oznaczono przy użyciu detergentu kwaśnego, złożonego z bromku trimetyloamonowego i znormalizowanego kwasu siarkowego (VI). Do oznaczania ligniny zastosowano roztwór kwasu siarkowego (VI). Z różnicy między zawartością włókna frakcji kwaśno-detergentowej i ligniny wyznaczono zawartość celulozy. Ilościowe oznaczenie hemicelulozy wyznaczono z różnicy frakcji włókna obojętno-detergentowego i kwaśno-detergentowego.

4.3. Analiza statystyczna danych

Analizę statystyczną wykonano za pomocą programu Statistica 13.0PL firmy TIBCO Software Inc. (Palo Alto, CA, USA). Normalność rozkładu zmiennych zbadano za pomocą testu Shapiro-Wilka. Do opracowania uzyskanych wyników badań zastosowano analizę wariancji ANOVA. Istotność zróżnicowania średnich określono za pomocą testu post hoc Tukey'a przy poziomie istotności $\alpha < 0,05$.

4.4. Analiza ekonomiczna opłacalności stosowania biostymulatorów

Opłacalność stosowania biostymulatorów obliczono na podstawie analizy przyrostu plonu, który wynika ze stosowania biostymulatorów tj. kosztu zakupu preparatu i kosztu wykonania oprysku dolistnego. W uproszczonej kalkulacji uwzględniono koszt wykonania jednokrotnego oprysku roślin preparatem, który wynosił 63,0 PLN·ha^{-1} oraz koszt zakupu preparatów będący średnią ich ceną z ofert u znaczących dystrybutorów z województwa lubelskiego (tab. 2).

Tabela 2. Cena zakupu biostymulatorów [w PLN za 1 l preparatu].

Biostymulator	Lata badan		
	2016	2017	2018
Kelpak SL	55,0	55,0	55,0
Terra Sorb Complex	60,0	60,0	63,0
Fylloton	51,0	51,0	52,0
Asahi SL	110,0	110,0	113,0
Tytanit	60,0	60,0	65,0

Cenę skupu nasion wynoszącą 7000,0 PLN·t^{-1} przyjęto w oparciu o średnią cenę hurtową skupu nasion fasoli z przedsiębiorstw prowadzących na obszarze powiatów chełmskiego, zamojskiego i hrubieszowskiego działalność gospodarczą związaną ze skupem nasion. Wartość przyrostu plonu wynikającą z zastosowania biostymulatorów obliczono według następującej formuły (Nowosad i in. 2020):

$$P = (P_{nb} - P_{nk}) \cdot C_n$$

gdzie:

P – wartość przyrostu plonu [PLN·ha^{-1}];

Pnb – plon nasion w kombinacji z aplikacją biostymulatora [t·ha^{-1}];

Pnk – plon nasion w obiekcie kontrolnym [t·ha^{-1}];

Cn – cena nasion [PLN·t^{-1}].

4.5. Warunki meteorologiczne

Dane meteorologiczne obejmujące lata prowadzenia badań (2016-2018) i wielolecie (tab. 3 i 4) zostały pobrane ze stacji meteorologicznej PANS w Chełmie znajdującej się w Depułtyczach Królewskich, położonej 5 km od miejsca prowadzenia badań.

W 2016 roku średnia temperatura zanotowana w kwietniu była wyższa o 0,4°C (tab. 3), podobnie jak suma opadów atmosferycznych, która była wyższa o 17,7 mm (tab. 4) w porównaniu z danymi pluwiotermalnymi uzyskanymi dla średniej wieloletniej, co stworzyło korzystne warunki wilgotnościowe przed siewem nasion fasoli. W miesiącu przypadającym na siew nasion (maj) średnia temperatura powietrza była wyższa o 1,1°C i warunki wilgotnościowe także były korzystne (opady wyższe o 5 mm) w odniesieniu do danych z wielolecia, stwarzając dobre warunki dla wschodów i początkowych faz rozwojowych fasoli. W czerwcu zanotowano korzystne warunki termiczne i wilgotnościowe dla uprawy fasoli, przy czym wartości tych elementów meteorologicznych były większe odpowiednio o 0,9°C i 36,4 mm w porównaniu z danymi wieloletnimi. Kolejny miesiąc charakteryzował się średnią temperaturą wyższą o 0,6°C i sumą opadów większą o 30,4 mm w odniesieniu do średniej wieloletniej. Ponadto w lipcu w 2016 roku zanotowano najwyższą sumę opadów w odniesieniu do pozostałych lat badań, co mogło niekorzystnie wpłynąć na zdrowotność roślin. Pomimo mniej sprzyjających warunków wilgotnościowych nie zanotowano w tym roku przekroczenia progu szkodliwości przez patogeny grzybowe. Natomiast w sierpniu zanotowano średnią temperaturę niższą o 0,9°C i sumę opadów wyższą o 30,6 mm w porównaniu z danymi wieloletnimi, co niewątpliwie wydłużyło okres dojrzewania fasoli.

W kolejnym roku badań zanotowano najniższą spośród pozostałych lat średnią temperaturę w miesiącu kwietniu, która była niższa o 1,2°C w porównaniu do danych wieloletnich. W połączeniu z niższą o 12,3 mm sumą opadów w odniesieniu do wieloletnich danych meteorologicznych dało to mniej korzystne warunki klimatyczne dla wschodów i rozwoju roślin w początkowych fazach wzrostu. W maju zanotowano wyższą o 1,4°C średnią temperaturę powietrza. Jednak 2017 rok charakteryzował się występowaniem w kwietniu i maju najniższych minimalnych temperatur w odniesieniu do pozostałych lat badań, stwarzając niekorzystne warunki dla rozwoju fasoli, która w początkowych fazach rozwojowych cechuje się dużą wrażliwością na niskie temperatury. Z drugiej strony w maju zanotowano wyraźną poprawę warunków wilgotnościowych, tj. suma opadów była wyższa o 41,6 mm w porównaniu do średniej wieloletniej. Miesiąc czerwiec wyróżniał się nieznacznie wyższą (o 0,6°C) średnią temperaturą oraz wyraźnie niższą (o 25,3 mm) sumą opadów

atmosferycznych w porównaniu do wielolecia, co przełożyło się na gorsze warunki dla kwitnienia i zawiązywania strąków przez rośliny. Warunki termiczne w kolejnych miesiącach wegetacji fasoli nie odbiegały od średniej wieloletniej. Natomiast warunki wilgotnościowe panujące w lipcu i sierpniu były niższe odpowiednio o 18,8 i 40,3 mm w porównaniu do średniej wieloletniej, co wpłynęło na szybsze zakończenie wegetacji przez rośliny.

W 2018 roku zanotowano w kwietniu najwyższą średnią temperaturę i najmniej opadów atmosferycznych spośród wszystkich lat badań, przy czym wartość tych parametrów była odpowiednio wyższa o 2,6°C i niższa o 19,8 mm w porównaniu z danymi wieloletnimi. Ponadto w maju zanotowano podobne warunki pluwiotermalne tj. temperatura wyższa o 2,0°C i opady niższe o 3,5 mm w odniesieniu do średniej wieloletniej, co w efekcie stworzyło gorsze warunki wilgotnościowe do wschodów roślin. W miesiącu czerwcu i lipcu zanotowano średnią temperaturę wyższą o 0,7°C oraz sumę opadów atmosferycznych wyższą odpowiednio o 16,3 i 17,3 mm w porównaniu do średniej wieloletniej, co poprawiło warunki wzrostu i rozwoju roślin. Natomiast w ostatnim miesiącu warunki pluwiotermalne były bardzo zbliżone do warunków odnotowanych dla średniej wieloletniej.

Tabela 3. Temperatura w okresie wegetacji fasoli zwykłej w latach badań (2016-2018) i wieloleciu.

Miesiąc	Rok						
	2016		2017		2018		2005-2015
	Temperatura, °C						
	średnia	min/max	średnia	min/max	średnia	min/max	średnia
Kwiecień	9,1	-1,1/22,2	7,5	-1,5/22,9	11,3	-1,1/22,6	8,7
Maj	13,5	2,5/27,0	13,8	1,4/27,4	14,4	1,8/26,3	12,4
Czerwiec	18,4	4,3/32,2	18,1	5,8/31,1	18,2	5,3/31,4	17,5
Lipiec	19,2	8,9/31,9	18,7	5,5/33,7	19,3	7,8/32,6	18,6
Sierpień	18,4	7,4/31,4	19,2	4,2/33,9	19,6	6,6/32,4	19,3

Tabela 4. Opady w okresie wegetacji fasoli zwykłej w latach badań (2016-2018) i wieloleciu.

Miesiąc	Rok			
	2016	2017	2018	2005-2015
	Opady, mm			
Kwiecień	63,5	33,5	26,0	45,8
Maj	65,8	102,4	57,3	60,8
Czerwiec	102,6	40,9	82,5	66,2
Lipiec	112,6	63,4	99,5	82,2
Sierpień	98,8	28,0	68,4	68,3

5. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

5.1. Cechy kształtujące plon nasion

Synteza trzyletnich wyników badań potwierdziła, że biostymulator, jego aplikacja jak również warunki pogodowe panujące w latach badań istotnie wpływały na liczbę strąków, liczbę nasion zawiązanych na roślinach oraz masę 1000 nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (tab. 5). W badaniach własnych stwierdzono, że zastosowanie biostymulatora modyfikowało liczbę strąków wykształconych na roślinach. Wartości uzyskane dla tej cechy nie różniły się istotnie pomiędzy poszczególnymi preparatami, były natomiast istotnie wyższe w porównaniu z obiektem kontrolnym. W zależności od zastosowanego biostymulatora liczba strąków była wyższa o 8-12% w odniesieniu do kontroli. Dolistna aplikacja preparatu Ke zwiększyła liczbę nasion o 23% w odniesieniu do kontroli. Natomiast istotnie największą masę 1000 nasion uzyskano po dolistnej aplikacji Te, co zwiększyło wartość badanej cechy średnio o 6% w porównaniu do obiektu kontrolnego i pozostałych kombinacji ze stosowaniem biostymulatora.

Stężenie i liczba aplikacji biostymulatora wpływała na liczbę strąków w porównaniu z kontrolą. Jednak nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy tymi czynnikami na badaną cechę, a uzyskane wartości były wyższe średnio o 10% w odniesieniu do kontroli. Potwierdzono także istotny wpływ stężenia preparatu i liczby wykonanych zabiegów na liczbę nasion, średnio o 19% w odniesieniu do kombinacji, w której nie stosowano biostymulatora. Z kolei nie stwierdzono istotnego wpływu zarówno stężenia, jak i liczby aplikacji preparatu na masę 1000 nasion.

Biorąc pod uwagę warunki pluwiotermalne stwierdzono, że w 2016 i 2018 r. liczba strąków na roślinie nie różniła się istotnie między sobą, była natomiast istotnie wyższa odpowiednio o 8,4 i 5,7% w porównaniu z rokiem 2017. Analizując wpływ warunków meteorologicznych na liczbę nasion stwierdzono, że w 2018 roku uzyskano istotnie najniższą wartość tej cechy, odpowiednio o 7 i 5%, w porównaniu z latami 2016 i 2017. Natomiast rośliny, które rosły w 2018 roku charakteryzowały się najwyższą masą 1000 nasion. W porównaniu do pierwszego i drugiego roku badań wartość tej cechy była wyższa odpowiednio o 4 i 6%.

Wykazano także korzystny wpływ stosowania biostymulatora na liczbę strąków we wszystkich latach prowadzenia doświadczenia (rys. 3). Opryskiwanie roślin biostymulatorami w 2016 roku spowodowało istotne zwiększenie liczby strąków w stosunku do kontroli, średnio o 12%. W roku 2017 rośliny, które wyrosły w obiekcie kontrolnym charakteryzowały się

mniejszą o 12% liczbą strąków w stosunku do roku poprzedniego. W tym roku istotnie najwyższą wartość tej cechy odnotowano w kombinacji, w której rośliny traktowano biostymulatorem Te, uzyskując jej zwiększenie o 21% w odniesieniu do kontroli. Dolistna aplikacja preparatu naturalnego opartego na ekstrakcie z *E. maxima* (Ke) dała w 2018 roku zwiększenie liczby strąków o 6% w odniesieniu do kontroli.

Badania własne potwierdziły istotny wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na liczbę wykształconych strąków fasoli w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia (rys. 4). W pierwszym roku badań uzyskano średnio o 12% więcej strąków w kombinacjach ze stosowaniem biostymulatora w porównaniu do kontroli. Jednak nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy zastosowanymi stężeniami preparatu i liczbą aplikacji na badaną cechę. W 2017 roku liczba strąków uzyskanych z kombinacji, w których rośliny traktowano biostymulatorami była średnio o 16,4% wyższa od obiektu kontrolnego. Najkorzystniej na analizowaną cechę wpłynął dwukrotny oprysk preparatem w wyższym stężeniu, kiedy uzyskano zwiększenie liczby strąków o 20%. W ostatnim roku badań stwierdzono wzrost tej cechy średnio o 4% po aplikacji biostymulatorów w stosunku do kontroli. W tym roku zanotowano podobną zależność jak w 2017 r., kiedy najwięcej strąków wykształciły rośliny dwukrotnie traktowane wyższym stężeniem preparatu w odniesieniu do kontroli (zwiększenie o 6%). Jednak jednokrotne zastosowanie wyższego stężenia preparatu spowodowało zmniejszenie wartości tej cechy w porównaniu z kombinacją, w której nie stosowano biostymulatora.

Analizując wyniki uzyskane dla 2016 roku stwierdzono istotne zwiększenie liczby nasion po dolistnej aplikacji biostymulatorów opartych na ekstrakcie z alg morskich lub wolnych aminokwasach (Ke, Te i Fy) w porównaniu do kontroli, odpowiednio o 13, 16 i 11% (rys. 5). Z kolei w 2017 i 2018 roku najlepsze efekty w zwiększeniu liczby nasion, odpowiednio o 40 i 19%, uzyskano po dolistnej aplikacji preparatu Ke w porównaniu do kombinacji, w której nie stosowano biostymulatora.

Otrzymane wyniki badań własnych potwierdziły, że w pierwszym roku prowadzenia doświadczenia jednokrotny oprysk biostymulatorem, niezależnie od stężenia, istotnie zwiększał liczbę nasion fasoli (średnio o 15%) w odniesieniu do kontroli (rys. 6). W kolejnym roku badań najkorzystniej na badaną cechę wpłynął dwukrotny oprysk roślin wyższym stężeniem preparatu, co dało wyraźny wzrost liczby nasion (o 42%) w porównaniu do obiektu kontrolnego. Traktowanie roślin biostymulatorem w 2018 roku istotnie zwiększyło liczbę nasion, średnio o 12%, w porównaniu z kontrolą. Jednak wartości uzyskane dla liczby nasion

nie różniły się istotnie pomiędzy poszczególnymi stężeniami biostymulatora i liczbą wykonanych zabiegów.

Z kolei masa 1000 nasion była istotnie różnicowana przez zastosowany biostymulator i warunki meteorologiczne panujące w latach badań (rys. 7). W pierwszych dwóch latach prowadzenia doświadczenia istotny wzrost masy 1000 nasion zanotowano w kombinacji, w której rośliny opryskiwano Te w porównaniu do kombinacji ze stosowaniem Ty. W tej kombinacji uzyskano wartości tej cechy wyższe odpowiednio dla lat 2016 i 2017 o 7 i 12%. Dobre efekty w zwiększeniu masy 1000 nasion o 4% w 2016 roku uzyskano także po aplikacji biostymulatora opartego na algach morskich (Ke) w odniesieniu do kombinacji ze stosowaniem Ty. W ostatnim roku badań preparatami wpływającym istotnie na wyższą masę 1000 nasion były Te i As w odniesieniu do obiektu kontrolnego oraz kombinacji z aplikacją Ke i Fy. Odnotowano średni wzrost badanej cechy w tych kombinacjach w zakresie 8-11%.

Liczba aplikacji i stężenie biostymulatora wraz z warunkami meteorologicznymi występującymi w latach 2017 i 2018 istotnie wpłynął na masę 1000 nasion fasoli (rys. 8). W pierwszym roku badań nie stwierdzono wpływu stężenia i częstotliwości aplikacji na masę 1000 nasion. Warunki pogodowe panujące w 2017 roku sprzyjały istotnemu zwiększeniu badanej cechy w obiekcie kontrolnym (o 7%) w porównaniu do dwukrotnej aplikacji niższego stężenia biostymulatora. Z kolei w ostatnim roku badań rośliny, które wyrosły w kombinacji z jednokrotnym stosowaniem preparatu w niższym stężeniu charakteryzowały się istotnie najwyższą masą 1000 nasion (o 8%) w porównaniu do kontroli.

Interakcja pomiędzy czynnikami doświadczenia wykazała istotny wpływ biostymulatora i jego aplikacji na cechy biometryczne fasoli, tj. liczbę strąków, liczbę nasion i masy 1000 nasion (tab. 6). Wykazano, że dwukrotne opryskiwanie roślin niższym stężeniem Te, As i Ty oraz opryskiwanie roślin w tych samych fazach rozwojowych w wyższym stężeniu biostymulatorów Ke i Te, jak również jednokrotne traktowanie rośliny preparatem Ke niezależnie od zastosowanego stężenia istotnie zwiększyło liczbę strąków (średnio o 14%) w porównaniu z obiektem kontrolnym. Natomiast najwięcej nasion wykształciły rośliny jednokrotnie traktowane wyższym stężeniem biostymulatora opartego na ekstrakcie z alg gatunku *E. maxima* (Ke). Dolistne zastosowanie tego preparatu istotnie zwiększyło badaną cechę o 30% w odniesieniu do kontroli. Stwierdzono także, że jednokrotne zastosowanie niższego stężenia Te stymulowało zwiększenie o 20% masy 1000 nasion w porównaniu do kombinacji, w której rośliny dwukrotnie opryskiwano niższym stężeniem Ty.

Badanie wpływu stosowania biostymulatorów na komponenty plonowania roślin uprawnych było przedmiotem wielu badań (Battacharya i in. 2015, Bulgari i in. 2015, Calvo

i in. 2014, Colla i in. 2015, Craigie 2011, Kocira i in. 2018a, 2020a, 2020b, Sharma i in. 2014, Szparaga i in. 2018). Wykazano, że ekstrakty z alg morskich stymulowały zwiększenie liczby strąków roślin bobowatych w porównaniu do obiektu kontrolnego, jak 15% ekstrakt z *Kappaphycus alvarezii* u soi o 64% (Rathore i in. 2009), ekstrakt z *E. maxima* u fasoli zwykłej odmiany Aura, wykształcającej białe nasiona, o 16–85% - w zależności od stężenia i liczby aplikacji preparatu (Kocira i in. 2013). Amin i in. (2020) potwierdzili, że dolistne stosowanie ekstraktu z alg morskich spowodowało zwiększenie liczby strąków fasoli zwykłej o 6-19% w porównaniu do kontroli, w zależności od stężenia preparatu. Stwierdzono, że reakcja fasoli zwykłej na nalistne stosowanie biostymulatora opartego na algach morskich zależy nie tylko od stężenia i liczby wykonanych zabiegów, ale również od odmiany (Kocira i in. 2018a). Autorzy wykazali, że traktowanie roślin fasoli odmiany Aura preparatem Kelpak SL w formie jednokrotnego oprysku 0,4% roztworem biostymulatora zwiększyło o 9% liczbę strąków, a w przypadku odmiany Toska, charakteryzującej się nasionami barwy czerwonej, dobre efekty uzyskano po dwukrotnym zastosowaniu preparatu w tym samym stężeniu (zwiększenie tej cechy o 9%) w porównaniu do obiektu bez stosowania biostymulatora. Jednak lepsze efekty uzyskano po jednokrotnej dolistnej aplikacji 1% roztworu preparatu Kelpak SL w uprawie fasoli zwykłej odmiany Oczko o nasionach kolorowych. U tej odmiany uzyskano zwiększenie liczby strąków o 26% w odniesieniu do obiektu kontrolnego (Kocira i in. 2020a). Dolistne dwukrotne stosowanie 1% roztworu ekstraktu z *E. maxima* stymulowało zwiększenie liczby strąków u soi odmiany Mavka o 37% i u odmiany Annushka o 47% (Kocira 2017). Ponadto nalistne stosowanie ekstraktu z *A. nodosum* przy uprawie soi w niekorzystnych warunkach, bezpośrednio po zbiorze pszenicy jako druga roślina w plonie ogólnym, zwiększyło liczbę strąków o 6% (Gulluoglu i in. 2006).

Liczne badania potwierdziły, że rośliny bobowate pozytywnie reagują na dolistną aplikację biopreparatów opartych na ekstraktach z alg morskich zwiększeniem liczby nasion (Kocira 2017, Kocira i in. 2018a, 2020a, Rathore i in. 2009). Badania prowadzone na soi potwierdziły, że traktowanie roślin ekstraktem z gatunku *K. alvarezii* w wyższym stężeniu (15%) zwiększyło liczbę nasion w strąku o 61% (Rathore i in. 2009), a zastosowanie ekstraktu z *E. maxima* w formie dwukrotnego oprysku roślin 1% roztworem zwiększyło badaną cechę o 29% u odmiany Annushka i o 32% u odmiany Mavka, w porównaniu do kontroli (Kocira 2017). Traktowanie roślin soi uprawianej w niekorzystnych warunkach, tj. po zbiorze pszenicy jako druga roślina w plonie głównym, ekstraktem z *A. nodosum* poprawiło liczbę nasion zawiązanych w strąku o 18% w porównaniu z kontrolą (Gulluoglu i in. 2006). Ekstrakt z alg morskich gatunku *E. maxima* stosowany w uprawie fasoli zwykłej w formie oprysku roślin

stymulował zwiększenie liczby nasion po jednokrotnej aplikacji preparatu o 9% u odmiany Aura po zastosowaniu 0,4% stężenia i o 11% u odmiany Toska po aplikacji 0,2% stężenia biostymulatora w porównaniu do obiektu kontrolnego (Kocira i in. 2018a). Natomiast dwukrotne, dolistne zastosowanie tego biostymulatora w stężeniu 1% stymulowało zwiększenie liczby nasion u fasoli zwykłej odmiany Oczko o 32% w odniesieniu do kontroli (Kocira i in. 2020a).

Zastosowanie ekstraktów z alg morskich może stymulować zwiększenie masy 1000 nasion u roślin bobowatych, choć reakcja roślin często zależała od gatunku, odmiany, stężenia i liczby aplikacji preparatu. Wykazano, że dwukrotna dolistna aplikacja ekstraktu z *E. maxima* w stężeniu 0,4% zwiększyła masę 1000 nasion o 3% w odniesieniu do kontroli u fasoli zwykłej odmiany Aura (Kocira i in 2018a). Z kolei reakcja roślin soi na zastosowanie tego biostymulatora była zróżnicowana. Odmiana Annushka dała lepsze efekty w zwiększeniu masy 1000 nasion o 1% po jednokrotnym oprysku roślin 0,7% roztworem Kelpaku SL w porównaniu do kombinacji bez stosowania biostymulatora. Natomiast odmiana Mavka reagowała zwiększeniem wartości tej cechy o 0,6 - 2% po dwukrotnej aplikacji preparatu w obu stężeniach w odniesieniu do kontroli (Kocira 2017). Traktowanie roślin ekstraktem z alg gatunków *Caulerpa racemosa, A. nodosum* spowodowało zwiększenie masy 1000 nasion o 7–20% u fasoli zwykłej (Zewail 2014, Abo-Sedera 2016), fasoli mung (Sujatha i Vijayalakshmi 2013) i bobu (Jasim i Obaid 2014).

Istnieją także doniesienia o zmniejszeniu się liczby strąków u fasoli mung po aplikacji wyższego stężenia *Sargassum wightii* (2%) w odniesieniu do kontroli (Kumar i in. 2012). Ponadto wykazano, że stosowanie dolistne preparatów zawierających ekstrakty z alg nie powoduje zwiększenia lub nawet zmniejsza masę 1000 nasion u roślin bobowatych, przykładowo zastosowanie ekstraktu z *E. maxima* u fasoli zwykłej odmiany Toska (Kocira i in. 2018a) i Oczko (Kocira i in. 2020a) lub grochu (Matysiak i Kaczmarek 2008), jak również wyższego stężenia *A. nodosum* u ciecierzycy (Boghdady i in. 2016).

Aplikacja biostymulatorów zawierających wolne aminokwasy korzystnie wpłynęła na zwiększenie o 26–35% liczby strąków u fasoli zwykłej (Zewail 2014), bobu (Sadak i in. 2015) i grochu (Shafeek i in. 2014), jak również o 10% plon strąków fasoli szparagowej (Abdel-Mawgoud i in. 2011) w odniesieniu do kontroli. Z kolei wyraźny wzrost, ponad dwukrotny, liczby strąków u bobu w odniesieniu do kontroli po opryskiwaniu roślin preparatem zawierającym aminokwasy stwierdzili El-Ghamry i in. (2009). Jednak efekt plonotwórczy zależy nie tylko od stężenia i liczby aplikacji biostymulatora zawierającego aminokwasy, ale także i reakcji odmiany na dany preparat. Odmiana fasoli zwykłej Aura najkorzystniej

reagowała na jednokrotną aplikację 0,5% stężenia Terra Sorb Complex poprzez zwiększenie liczby strąków o 38%, a odmiana Toska na jednokrotną aplikację 0,3% stężenia preparatu (zwiększenie cechy o 22%) w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2015). Z kolei odmiana Oczko charakteryzowała się większą o 21% liczbą strąków zawiązanych na roślinie po dwukrotnej aplikacji tego preparatu w stężeniu 0,5% w odniesieniu do kontroli (Kocira i in. 2020a). Nalistne stosowanie wolnych aminokwasów w postaci biostymulatora Terra Sorb Complex wyraźnie zwiększyło liczbę strąków u soi, jednak uzyskane efekty zależały do odmiany, stężenia preparatu i liczby wykonanych zabiegów. U odmiany Mavka zwiększenie tej cechy o 29% stwierdzono po jednokrotnym opryskiwaniu roślin 0,5% roztworem tego biostymulatora, a u odmiany Anunshki lepsze efekty uzyskano po jednokrotnym stosowaniu 0,3% roztworu biopreparatu w odniesieniu do kontroli (zwiększenie cechy o 47%) (Kocira 2017). Natomiast odmiana Atlanta reagowała zwiększeniem liczby strąków o 27-40% po zastosowaniu tego biostymulatora, niezależnie od stężenia i liczby aplikacji, w odniesieniu do kontroli (Kocira 2019).

Reakcja roślin fasoli zwykłej na stosowanie preparatu Terra Sorb Complex zależała zarówno od stężenia i liczby wykonanych zabiegów, jak również od odmiany i warunków pluwiotermalnych panujących w latach prowadzenia badań. Stwierdzono, że odmiana Aura silniej reagowała na badany biostymulator, który zastosowany w formie jednokrotnej aplikacji 0,5% stężenia zwiększył liczbę nasion średnio o 42% w porównaniu do kontroli. Natomiast odmiana Toska korzystniej reagowała na niższe stężenie (0,3%) biopreparatu w formie jednokrotnego oprysku roślin, co w efekcie zwiększyło badaną cechę średnio o 22% w odniesieniu do obiektu, w którym nie stosowano biostymulatora (Kocira i in. 2015). Aplikacja tego biopreparatu w formie dwukrotnego oprysku roślin fasoli zwykłej odmiany Oczko wyższym stężeniem (0,5%) spowodowała zwiększenie badanej cechy o 24% w odniesieniu do kontroli (Kocira i in. 2020a). Podobnie jak w przypadku fasoli reakcja soi także istotnie zależała od odmiany. Istotnie największą liczbę nasion u odmiany Mavka stwierdzono po jednokrotnej aplikacji Terra Sorb Complex w stężeniu 0,5%, a u odmiany Annushka lepsze efekty uzyskano po zastosowaniu 0,3% stężenia preparatu w tej samej fazie rozwoju roślin. W tych kombinacjach uzyskano zwiększenie wartości tej cechy odpowiednio o 29 i 38% dla odmiany Mavka i Annushka (Kocira 2017). Dolistne zastosowanie tego biostymulatora w formie oprysku roślin 0,5% stężeniem preparatu, w obu sposobach aplikacji, zwiększyło badaną cechę u soi odmiany Atlanta o 34-40% (Kocira 2019). Ponadto dolistna aplikacja aminokwasów spowodowała zwiększenie o 14-37% liczby nasion u bobu (Sadak i in. 2015), grochu (Shafeek i in. 2014) i fasoli zwykłej (Zewail 2014).

Stwierdzono, że biostymulator oparty na aminokwasach, tj. Terra Sorb Complex zastosowany w formie dwukrotnego oprysku roślin soi odmiany Mavka w stężeniu 0,3% zwiększył masę 1000 nasion o 1,5% w odniesieniu do obiektu kontrolnego (Kocira 2017). Ponadto biostymulator Amino mix zastosowany w uprawie grochu w dawce 2 $cm \cdot l^{-1}$ spowodował wzrost masy 100 nasion o 13% (Shafeek i in. 2014). Jednak zastosowanie tego preparatu w wyższej dawce (8 $cm \cdot l^{-1}$) w połączeniu z dwukrotną aplikacją preparatu zawierającego baterie wiążące azot (Netropein) zwiększyło masę 100 nasion od 3-35% w zależności od roku badań (Shafeek i in. 2018).

Istnieją także doniesienia, w których nie stwierdzono pozytywnego wpływu aplikacji aminokwasów na zwiększenie masy 1000 nasion (lub masy 100 nasion) lub zanotowano zmniejszenie wartości tej cechy, przykładowo zastosowanie Terra Sorb Complex u fasoli zwykłej odmiany Aura i Toska (Kocira i in. 2015) lub soi odmiany Annushka i Atlanta (Kocira 2017, 2019) oraz Power mix i Super mix w uprawie fasoli zwykłej (Mohamed i in. 2018).

Stosowanie preparatu zawierającego zarówno wolne aminokwasy, jak i ekstrakt z *A. nodosum*, tj. Fyllotonu także stymulowało liczbę strąków u soi odmian Annushka, Mavka i Atlanta. Wykazano, że najlepsze efekty uzyskano po jednokrotnej aplikacji 0,7% stężenia tego preparatu, kiedy stwierdzono zwiększenie tej cechy o 34 – 47%, w zależności od odmiany (Kocira i in. 2018c). Biostymulator Fylloton pozytywnie wpływał także na zawiązywanie strąków u fasoli zwykłej odmiany Oczko, co potwierdziły badania prowadzone przez Kocira i in. (2020a). Wykazano zwiększenie tej cechy o 20% po dwukrotnej dolistnej aplikacji 1% stężenia tego biopreparatu w porównaniu do obiektu, w którym rośliny opryskiwano wodą.

Biostymulator Fylloton stosowany w uprawie fasoli zwykłej odmiany Oczko w formie dwukrotnego oprysku 1% stężeniem przyczynił się także do istotnego zwiększenia liczby nasion o 31% (Kocira i in. 2020a). W uprawie soi najlepsze efekty uzyskano po dwukrotnej aplikacji 1% stężenia preparatu, co dało zwiększenie tej cechy o 29, 27 i 23%, odpowiednio dla odmiany Annushka, Mavka i Atlanta (Kocira i in. 2018c).

O braku istotnego wpływu biostymulatora Fylloton zawierającego ekstrakt z alg morskich i wolne aminokwasy na masę 1000 nasion soi odmiany Mavka i Atlanta donieśli Kocira i in. (2018c). Z kolei w badaniach tych autorów stwierdzono mniejszą wartość tej cechy o 4-10% u soi odmiany Annushka po aplikacji tego preparatu. Fasola zwykła odmiana Oczko również reagowała mniejszą masą 1000 nasion po dolistnym zastosowaniu Fyllotonu (Kocira i in. 2020a).

Dolistna aplikacja biostymulatorów syntetycznych również stymulowała zwiększenie liczby strąków u roślin bobowatych. Badania prowadzone na fasoli zwykłej odmianie Aurze

potwierdziły korzystny wpływ jednokrotnego oprysku roślin 0,3% stężeniem Asahi SL na zwiększenie liczby strąków o 9% w porównaniu do kontroli. Z kolei odmiana Toska lepiej reagowała na dwukrotną aplikację biostymulatora w tym samym stężeniu, co dało zwiększenie badanej cechy o 6% w porównaniu do obiektu, w którym rośliny opryskiwano wodą (Kocira i in. 2017a). Natomiast rośliny fasoli zwykłej odmiany Mexican Black silniej reagowały na dwukrotny oprysk 0,2% roztworem Asahi SL, co spowodowało zwiększenie liczby strąków o 58% w porównaniu do kontroli (Szparaga i in. 2019). Wykazano, że jednokrotne traktowanie roślin 0,1% roztworem Asahi SL zwiększyło badaną cechę u soi odmiany Atlanta o 39% w porównaniu do kontroli. W przypadku biostymulatora opartego na tytanie (Tytanit) stwierdzono zwiększenie liczby strąków u soi na podobnym poziomie, tj. o 40% w odniesieniu do kontroli po dwukrotnym opryskiwaniu roślin 0,07% roztworem preparatu (Szparaga i in. 2018). Stosowanie w uprawie soi biostymulatorów syntetycznych poprawiło także zawiązywanie strąków na roślinie. Biostymulator oparty na związkach nitrofenolowych (Asahi SL), naturalnie występujących w komórce roślinnej, przyczynił się do zwiększenia strąków u soi odmiany Mavka i Annushka, odpowiednio o 22 i 41%, po dwukrotnej aplikacji preparatu w stężeniu 0,2% w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Ponadto odmiana Mavka dobrze reagowała na jednokrotnie stosowanie tego biostymulatora w stężeniu 0,1%, co dało zwiększenie tej cechy o 22% w porównaniu do obiektu, w którym do opryskiwania roślin czystą wodą (Kocira 2017).

Biostymulator oparty na związkach nitrofenolowych (Asahi SL) stymulował także zwiększenie liczby nasion u roślin bobowatych. Dwukrotna aplikacja tego preparatu w uprawie soi w stężeniu 0,2% istotnie zwiększyła badaną cechę o 27, 25 i 38%, odpowiednio dla odmiany Mavka, Annushka (Kocira 2017) i Atlanta (Szparaga i in. 2018) w odniesieniu do obiektu bez stosowania biostymulatora. Z kolei fasola zwykła reagowała zwiększeniem tej cechy o 8% u odmiany Aura i o 13% u odmiany Toska po dwukrotnym opryskiwaniu roślin 0,3% roztworem preparatu w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2017a). Natomiast odmiana fasoli zwykłej o czarnych nasionach Mexican Black zwiększyła liczbę nasion o 27 - 45% po aplikacji dolistnej Atoniku, niezależnie od stężenia i liczby aplikacji preparatu w porównaniu z obiektem, w którym nie stosowano biostymulatora (Szparaga i in. 2019).

Badania prowadzone na fasoli zwykłej wykazały pozytywny wpływ dolistnej aplikacji Asahi SL na masę 1000 nasion tylko u odmiany Aura po zastosowaniu biostymulatora w stężeniu 0,3% w obu aplikacjach preparatu (zwiększenie cechy o 2-3% w porównaniu do kontroli) (Kocira i in. 2017). Natomiast nie stwierdzono takiego wpływu w przypadku zastosowania tego biostymulatora u fasoli zwykłej odmian Toska (Kocira i in. 2017a)

i Mexican Black (Szparaga i in. 2019). Dolistne zastosowanie wyższego stężenia (0,2%) Asahi SL w uprawie soi odmiany Annushka i Mavka, niezależnie od liczby aplikacji, spowodowało zwiększenie masy 1000 nasion odpowiednio o 2-3 i 0,3-2% (Kocira 2017).

Biostymulator zawierający tytan (Tytanit) stymulował zawiązywanie strąków u soi po zastosowaniu wyższego stężenia, tj. 0,13% w formie jednokrotnego oprysku u odmiany Annushka (o 31%) i dwukrotnego oprysku u odmiany Mavka (o 21%) w porównaniu do kontroli. Odmiana Mavka i Atlanta dobrze reagowała także na dwukrotny oprysk roślin 0,07% stężeniem Tytanitu, co w odniesieniu do kontroli zwiększyło liczbę strąków odpowiednio o 31 i 40% (Kocira 2017, Szparaga i in. 2018). Badania prowadzone na fasoli zwykłej odmianie Mexican Black wykazały, że dwukrotna aplikacja preparatu w stężeniu 0,13% wyraźnie zwiększyła liczbę strąków w odniesieniu do kontroli (o 59%) (Szparaga i in. 2019).

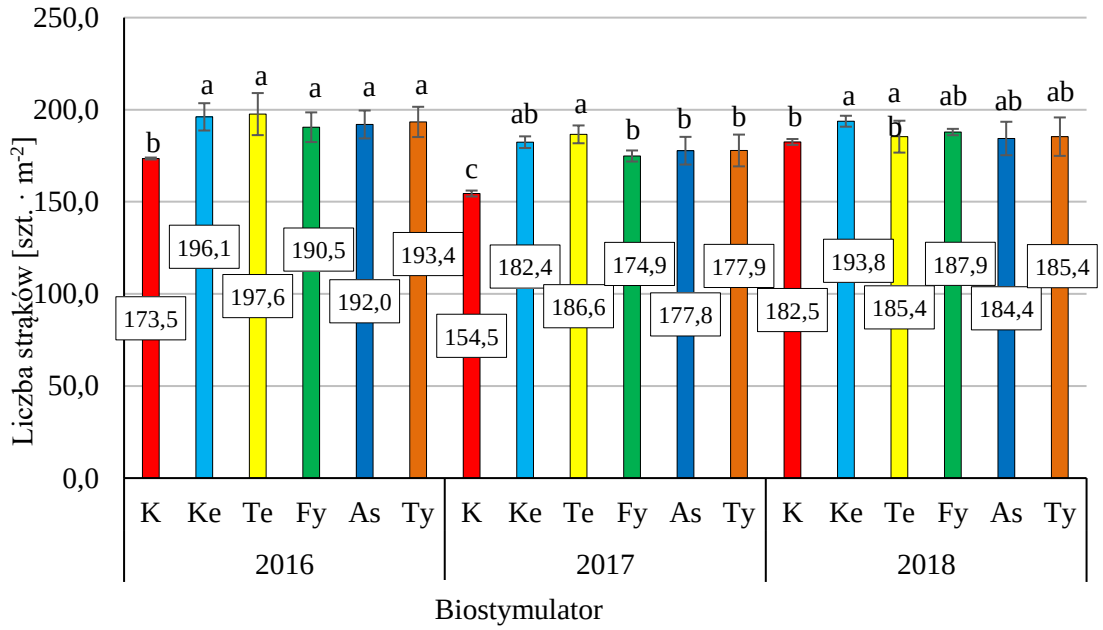
Zastosowanie tytanu w formie oprysku roślin fasoli zwykłej odmiany Mexican Black, we wszystkich zastosowanych stężeniach i liczbach aplikacji Tytanitu, spowodowało zwiększenie liczby nasion o 26 - 38% w odniesieniu do kontroli (Szparaga i in. 2019). Ponadto dolistna aplikacja tytanu w formie jednokrotnego lub dwukrotnego oprysku roślin soi 0,13% roztworem Tytanitu zwiększyła liczbę nasion o 28 i 30%, odpowiednio u odmiany Annushka i Mavka, porównując z obiektem, w którym rośliny opryskiwano czystą wodą (Kocira 2017). Z kolei reakcja soi odmiany Atlanty na dwukrotną aplikację Tytanitu w stężeniu 0,13% dała istotne zwiększenie tej cechy o 40% w porównaniu do kontroli (Szparaga i in. 2018).

Reakcja fasoli zwykłej odmiany Mexican Black oraz soi odmiany Annushka i Mavka na dolistną aplikację Tytanitu wykazała zmniejszenie masy 1000 nasion lub brak wpływu tego preparatu na badaną cechę (Kocira 2017, Szparaga i in. 2019).

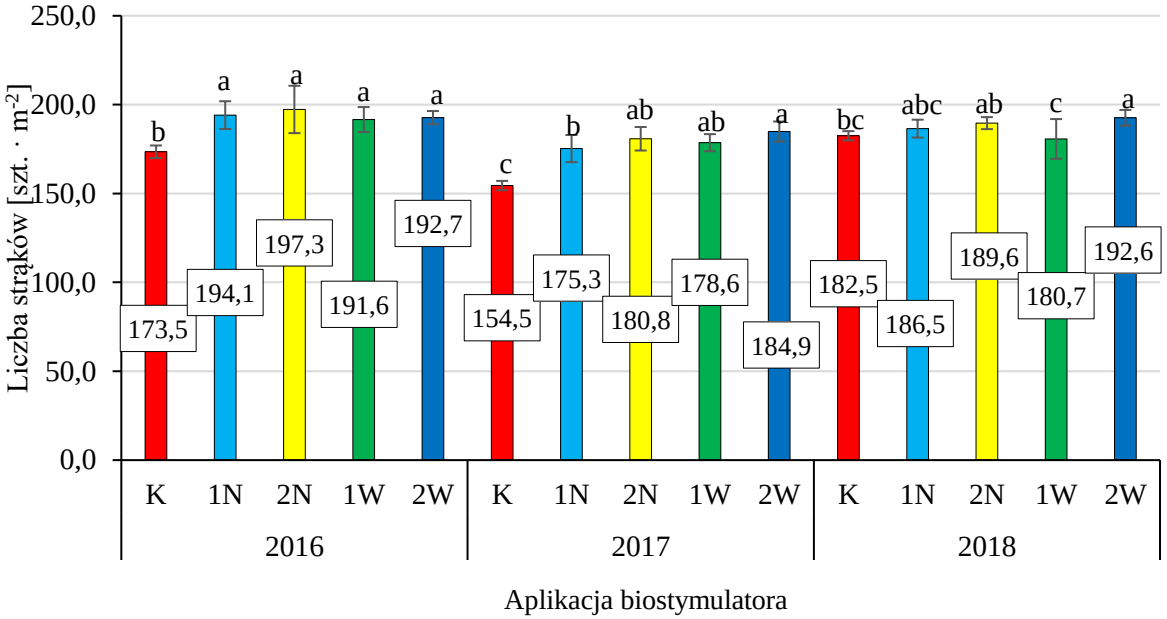
Tabela 5. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na cechy kształtujące plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Liczba strąków [szt.·m^{-2}]	Liczba nasion [szt.·m^{-2}]	Liczba 1000 nasion [g]
Biostymulator	K	170,2±10,2b	509,3±37,2c	584,0±41,5b
	Ke	190,8±7,7a	627,8±42,7a	589,6±13,9b
	Te	189,9±9,4a	589,4±53,6b	616,2±34,5a
	Fy	184,4±8,5a	615,3±40,9ab	574,5±15,4b
	As	184,7±9,8a	590,3±43,9b	586,8±34,1b
	Ty	185,5±10,9a	600,9±45,3ab	570,4±33,6b
Aplikacja preparatu	K	170,2±10,2b	509,3±37,2b	584,0±41,5a
	1N	185,3±10,3a	600,2±47,4a	594,3±47,3a
	2N	189,2±10,9a	599,6±48,1a	575,4±21,8a
	1W	183,6±9,5a	610,0±53,2a	590,9±21,1a
	2W	190,1±5,8a	609,2±40,7a	589,4±21,2a
Lata	2016	190,5±10,9a	604,1±45,5a	586,9±26,1b
	2017	175,7±11,4b	597,5±72,7a	577,0±28,3b
	2018	185,8±8,1a	566,8±37,8b	609,3±38,9a

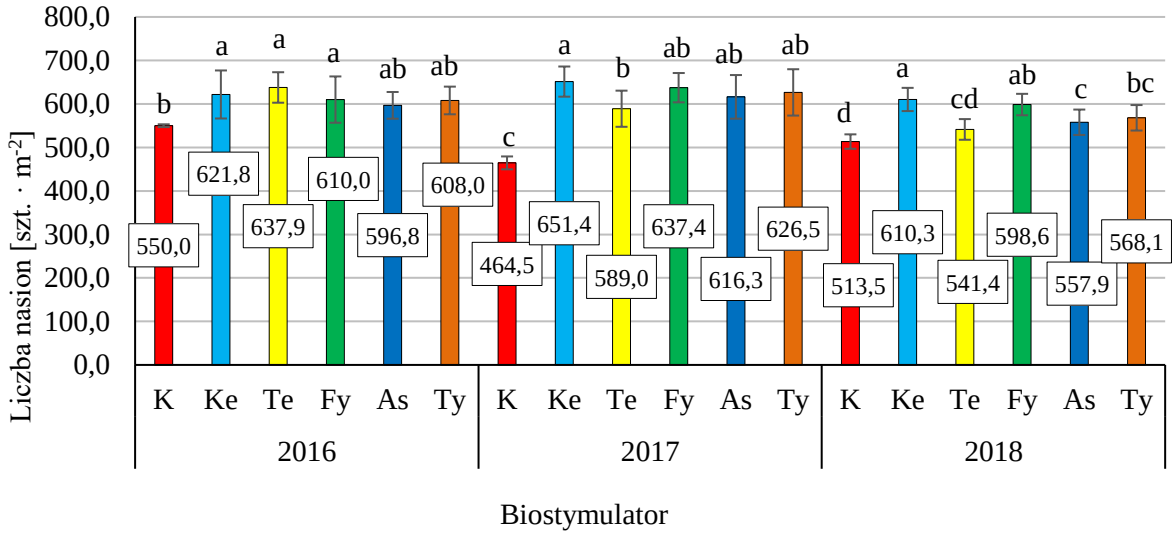
Oznaczenia skrótów: K – kontrola; Ke – Kelpak SL, Te – Terra Sorb Complex, Fy – Fylloton, As – Asahi SL, Ty – Tytanit; 1N – jednokrotny oprysk biostymulatorem w niższym stężeniu; 2N – dwukrotny oprysk biostymulatorem w niższym stężeniu; 1W – jednokrotny oprysk biostymulatorem w wyższym stężeniu; 2W – dwukrotny oprysk biostymulatorem w wyższym stężeniu. Dane wyrażono jako średnie ± SD. Średnie w kolumnach dla poszczególnych czynników doświadczenia oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy p<0,05 (test post hoc Turkey'a).



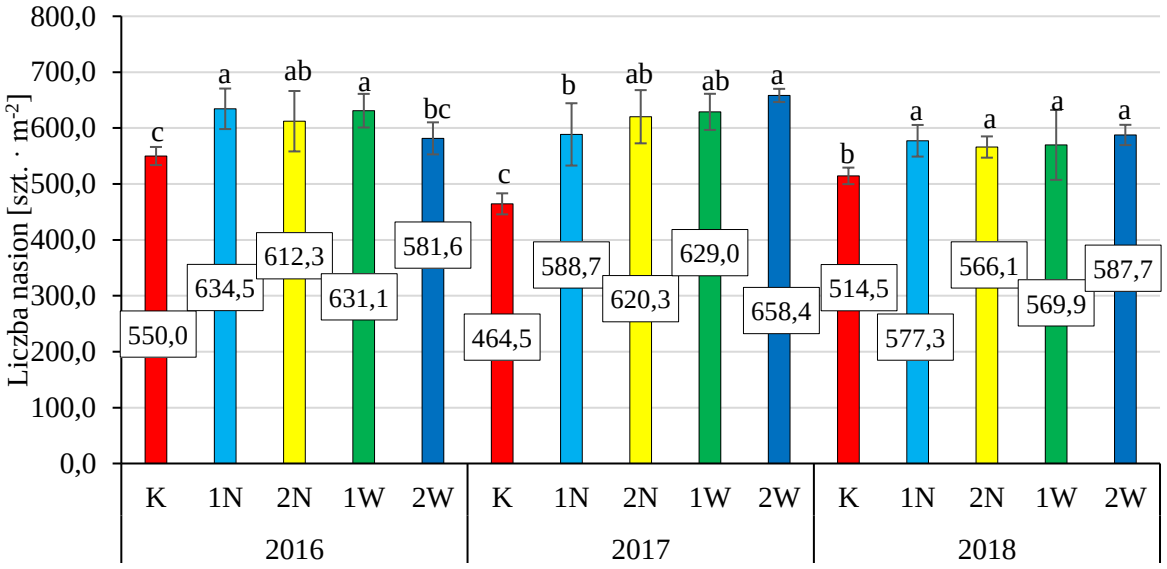
Rysunek 3. Wpływ biostymulatora na liczbę strąków fasoli zwykłej odmiany Orzeł [szt.·m^{-2}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



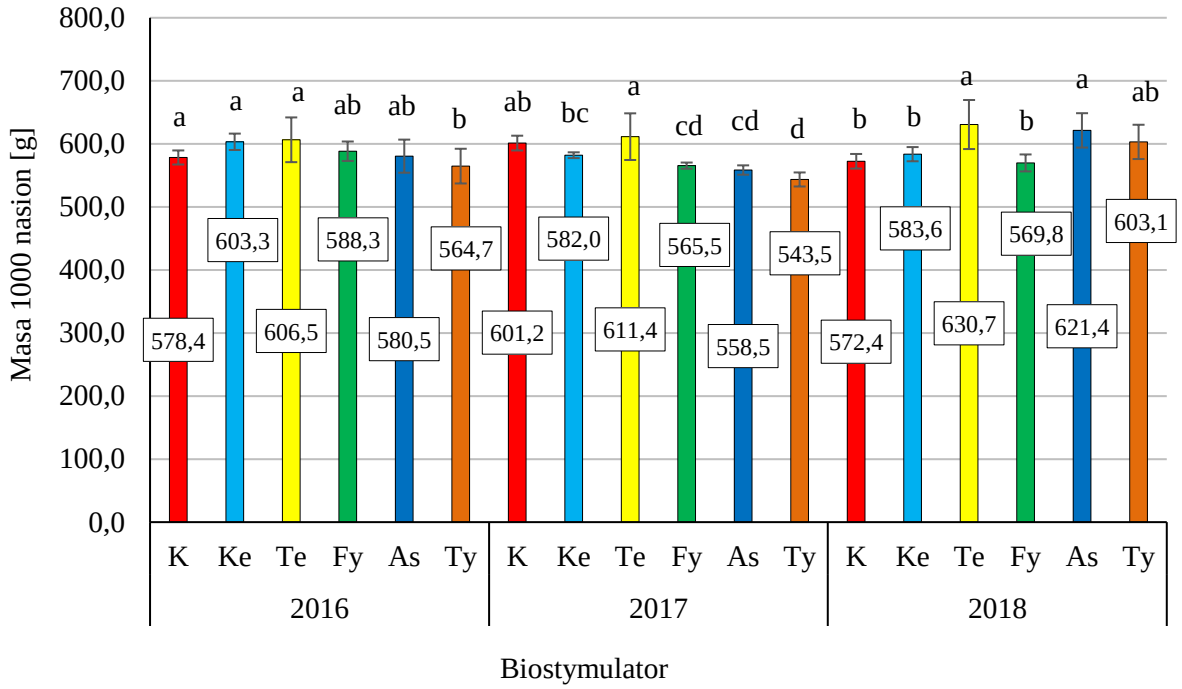
Rysunek 4. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na liczbę strąków fasoli zwykłej odmiany Orzeł [szt.·m^{-2}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



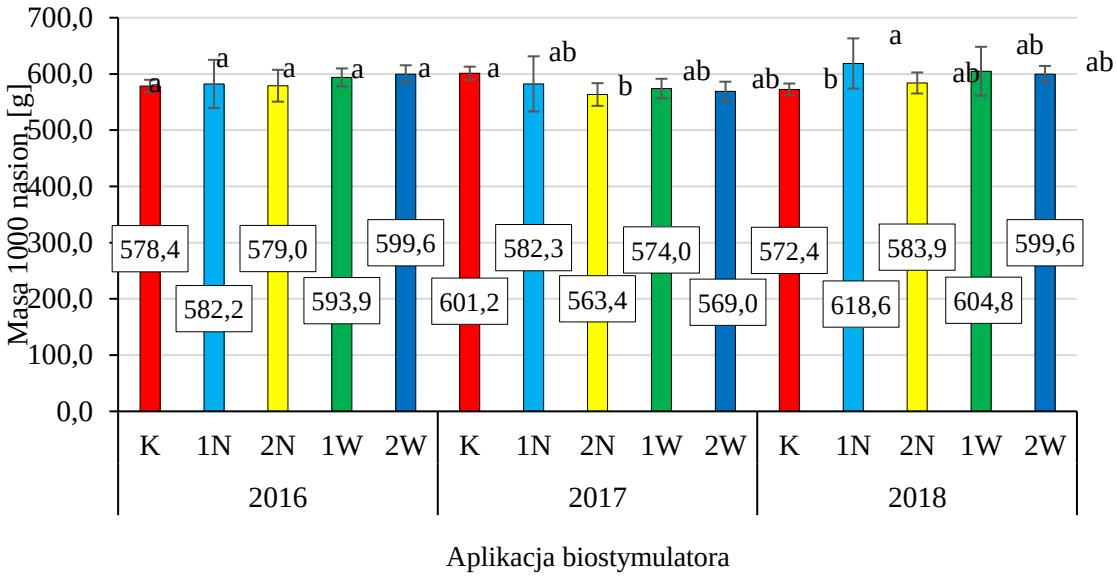
Rysunek 5. Wpływ biostymulatora na liczbę nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [szt.·m^{-2}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 6. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na liczbę nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [szt.·m^{-2}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 7. Wpływ biostymulatora na masę 1000 nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [g] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 8. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na masę 1000 nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [g] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 6. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na cechy kształtujące plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Liczba strąków [szt.·m^{-2}]	Liczba nasion [szt.·m^{-2}]	Liczba 1000 nasion [g]
K	K	170,2±10,9b	509,3±39,9d	584,0±44,5bcd
Ke	1N	192,3±8,7a	644,7±40,6ab	584,3±7,1bcd
	2N	186,2±7,3ab	579,5±18,3a-d	597,7±13,5bcd
	1W	193,3±9,3a	662,3±11,4a	588,0±22,3bcd
	2W	191,2±5,0a	624,7±41,1abc	588,6±6,4bcd
Te	1N	187,2±10,4ab	551,5±31,3cd	660,5±7,4a
	2N	196,8±12,2a	595,7±69,3abc	578,9±3,1bcd
	1W	181,3±2,7ab	592,3±60,9a-d	616,8±15,2ab
	2W	194,2±2,9a	618,2±30,6abc	608,6±11,9bc
Fy	1N	186,7±9,4ab	632,2±39,3abc	565,8±6,6cd
	2N	179,7±8,6ab	569,5±16,5bcd	585,5±15,9bcd
	1W	186,8±9,1ab	646,8±12,6ab	575,1±21,3bcd
	2W	184,5±6,8ab	612,8±40,5abc	571,7±9,8bcd
As	1N	179,5±9,3ab	580,2±28,3a-d	588,6±54,6bcd
	2N	191,2±9,6a	621,5±45,0abc	566,4±17,0cd
	1W	178,0±8,0ab	569,0±43,6bcd	595,5±24,8bcd
	2W	190,2±4,8ab	590,5±48,0a-d	596,6±27,3bcd
Ty	1N	180,8±11,4ab	592,3±33,0a-d	572,5±53,9bcd
	2N	192,3±10,9a	631,7±50,7abc	548,7±18,7d
	1W	178,7±9,7ab	579,5±43,4a-d	579,1±22,0bcd
	2W	190,3±5,9ab	600,0±46,0abc	581,5±25,2bcd

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

5.2. Plon nasion, zawartość białka w nasionach i wydajność białka

5.2.1. Plon nasion

Analiza wariancji wykazała, że zarówno biostymulator, stężenie i liczba jego aplikacji oraz warunki pluwiotermiczne panujące w latach badań istotnie determinowały komponenty plonotwórcze fasoli zwykłej odmiany Orzeł. Synteza wyników uzyskanych dla trzech lat badań potwierdziła wpływ czynników doświadczenia na wielkość uzyskanego plonu nasion (tab. 7).

Uzyskane wyniki badań udowodniły istotny wpływ biostymulatora na wielkość uzyskanego plonu nasion. Rośliny traktowane preparatem Ke charakteryzowały się istotnie najwyższym plonem nasion, który w porównaniu z obiektem kontrolnym był wyższy o 25%. W doświadczeniu wykazano także istotny wpływ sposobu stosowania biostymulatora na plon nasion niezależnie od stężenia i liczby wykonanych zabiegów, który w odniesieniu do kontroli był wyższy o 16 - 21%. Natomiast nie stwierdzono wpływu warunków meteorologicznych w poszczególnych latach badań na wielkość badanej cechy.

Wyniki uzyskane z doświadczenia prowadzonego w latach 2016-2018 potwierdziły istotny wpływ zastosowanego biostymulatora na wielkość plonu nasion fasoli (rys. 9). Przebieg warunków pogodowych w pierwszym roku badań sprzyjał istotnemu zwiększeniu plonu o 21% po zastosowaniu preparatu Te w porównaniu z kontrolą. W kolejnym roku badań dolistna aplikacja preparatu zawierającego ekstrakt z *E. maxima* (Ke) najkorzystniej wpłynęła na zwiększenie plonu nasion (o 36%) w odniesieniu do kombinacji bez stosowania biostymulatora. Stwierdzono, że plon nasion uzyskany w 2018 roku nie różnił się istotnie pomiędzy badanymi biostymulatorami, był natomiast istotnie wyższy, średnio o 19%, w porównaniu z obiektem kontrolnym.

Istotny wpływ na wielkość plonu nasion fasoli oprócz aplikacji biostymulatora miał przebieg warunków pogodowych w latach badań (rys. 10). W 2016 i 2018 roku stosowanie preparatu w formie jednokrotnego oprysku roślin niższym stężeniem sprzyjała istotnemu zwiększeniu plonu nasion w stosunku do kontroli, odpowiednio o 16 i 21%. Ponadto w pierwszym roku badań istotny przyrost plonu nasion uzyskano zarówno po dwukrotnej aplikacji niższego stężenia, jak i jednokrotnej wyższego stężenia preparatu w odniesieniu do obiektu kontrolnego, odpowiednio o 11 i 18%. Analizując rok 2017 stwierdzono, że dwukrotne traktowanie roślin wyższym stężeniem biostymulatora dało wyraźne efekty w zwiększeniu badanej cechy o 34% w porównaniu z kontrolą.

W doświadczeniu wykazano istotne współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby zastosowania preparatu na kształtowanie wielkości plonu nasion fasoli (tab. 8).

Największy plon nasion stwierdzono przy jednokrotnym oprysku roślin wyższym stężeniem preparatu Ke, co wpłynęło na zwiększenie badanej cechy o 31% w porównaniu do kontroli.

Opryskiwanie fasoli ekstraktem z *E. maxima* stymulowało plonowanie roślin poprzez istotne zwiększenie masy nasion, jednakże uzyskany efekt zależał od reakcji odmiany na zastosowane stężenie i liczbę aplikacji. Rośliny korzystniej reagowały na jednokrotną aplikację Kelpaku SL, przy czym u odmiany Aura istotne zwiększenie tej cechy uzyskano po zastosowaniu 0,4% stężenia, a u odmiany Toski – 0,2% (zwiększenie wartości odpowiednio o 9 i 12% w odniesieniu do obiektu kontrolnego) (Kocira i in. 2018a). Z kolei wyraźny przyrost plonu nasion fasoli odmiany Oczko (o 27% w porównaniu do kontroli) uzyskano po dwukrotnej dolistnej aplikacji ekstraktu z alg gatunku *E. maxima* stosując stężenie 1% (Kocira i in. 2020a). Fasola o czarnych nasionach, odmiana Mexican Black reagowała także zwiększeniem plonu nasion, jednak jedynie w poszczególnych latach badań wykazano różnice pomiędzy zastosowanymi stężeniami i liczbami aplikacji Kelpaku SL. Wykazano, że dwukrotny oprysk roślin 1% stężeniem biostymulatora dało najlepsze efekty w zwiększeniu tej cechy we wszystkich latach badań (Kocira i in. 2020b).

Liczne badania potwierdziły stymulujący wpływ ekstraktu z alg, m.in. *A. nodosum* i *Caulerpa racemosa* na zwiększenie plonu nasion (o 31–74%) u fasoli zwykłej (Zewail 2014, Abo-Sedera 2016), fasoli mung (Sujatha i Vijayalakshmi 2013) i bobu (Jasim i Obaid 2014).

Boghdady i in. (2016) wykazali, że dwukrotna dolistna aplikacja ekstraktu z *A. nodosum* w dawce 1 $ml \cdot l^{-1}$ zwiększyła prawie dwukrotnie plon nasion ciecierzycy w porównaniu do kontroli. Wysoki przyrost plonu nasion po aplikacji ekstraktu z alg powiązano z korzystnymi zmianami w budowie anatomicznej łodygi i liścia rośliny, tj. zwiększeniu średnicy łodygi poprzez pogrubienie warstwy kory, łyka i ksylemu, poszerzenie perforacji płytki w naczyniach ksylemu co ułatwia przewodzenie wody z solami mineralnymi, zwiększenie grubości blaszki liściowej wskutek pogrubienia miękiszu gąbczastego i palisadowego.

Z kolei traktowanie roślin soi ekstraktem z *K. alvarezii* w stężeniu 15% spowodowało istotne zwiększenie plonu nasion o 58% w odniesieniu do kontroli (Rathore i in. 2009). Ponadto dwukrotny oprysk roślin ekstraktem z *E. maxima* w stężeniu 1% stymulowało przyrost plonu nasion soi u odmiany Annushka i Mavka, odpowiednio o 27 i 32% (Kocira 2017). Niewielki przyrost masy nasion soi, o 4% w porównaniu do kontroli, uzyskano po dolistnej aplikacji ekstraktu z *A. nodosum* (w dawce 1 $kg \cdot ha^{-1}$) przy uprawie roślin w niekorzystnych warunkach, tj. przy siewie nasion bezpośrednio po zbiorze pszenicy (Gulluoglu i in. 2006).

Zodape i in. (2009) wykazali, że zawartość mikroelementów i fitohormonów, m.in. cytokinin w ekstraktach z alg gatunku *K. alvarezii* jest odpowiedzialne za poprawę plonowania roślin bobowatych (*Vigna radiata*).

Poprawa plonowania fasoli zwykłej uprawianej w warunkach stresu suszy po aplikacji dolistnej ekstraktu z alg morskich w dawce 4 $l \cdot ha^{-1}$ spowodowana była prawdopodobnie poprawą właściwości biochemicznych, m.in. zawartości chlorofilu, względnej zawartości wody, wydajności białka, zawartości cukru rozpuszczalnego oraz aktywności katalazy i dysmutazy ponadtlenkowej (Ziaei i Pazoki 2022).

Aplikacja dolistna biostymulatora opartego na wolnych aminokwasach Terra Sorb Complex stymulowała przyrost masy nasion fasoli. Jednak efekt plonotwórczy zależał zarówno od odmiany, jak również od stężenia, liczby aplikacji preparatu i warunków pogodowych w latach badań. Odmiana o białych nasionach (Aura) reagowała zwiększeniem tej cechy o 19-64% po jednokrotnej aplikacji preparatu w stężeniu 0,5%, a o czerwonych nasionach (Toska) o 11–33% po zastosowaniu stężenia 0,3% w tej samej fazie rozwoju roślin w porównaniu z kontrolą (Kocira i in. 2015). Dwukrotne zastosowanie 1% roztworu tego biostymulatora spowodowało zwiększenie plonu nasion fasoli zwykłej odmiany Oczko o 12% w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2020a).

Podobnie jak w uprawie fasoli reakcja roślin soi na zastosowanie Terra Sorb Complex zależała od odmiany, stężenia i liczby aplikacji preparatu. Jednokrotny oprysk roślin odmiany Annushka 0,3% roztworem biostymulatora zwiększyło plon nasion o 31%, a w przypadku odmiany Mavka i Atlanta lepsze efekty uzyskano po dwukrotnej aplikacji 0,5% stężenia biostymulatora - wzrost cechy odpowiednio o 29 i 32% w porównaniu do obiektu kontrolnego (Kocira 2017, 2019).

Biostymulatory oparte na aminokwasach spowodowały także przyrost plonu nasion o 38–40% w porównaniu z kontrolą u bobu (El-Ghamry i in. 2009, Sadak i in. 2015), grochu (Shafeek i in. 2014, 2018) i fasoli zwykłej (Zewail 2014). Jednakże aplikacja aminokwasów w połączeniu z jednokrotną inokulacją bakteriami wiążącymi azot (preparat Netropien) zwiększyła plon nasion grochu o 56% w porównaniu do kontroli (Shafeek i in. 2018).

Wyraźny przyrost plonu nasion bobu po aplikacji aminokwasów uzyskano po wystąpieniu stresu abiotycznego (zasolenie), co spowodowało przyrost wartości tej cechy o 35-82% w porównaniu z kontrolą (Sadak i in. 2015).

Mohamed i in. (2018) potwierdzili, że efekt plonotwórczy biostymulatorów opartych na aminokwasach zależy od ich składu. Preparat Power mix zawierający aminokwasy, ryboflawinę, cytokininy, kwas giberelinowy, cytrynian K oraz mikroelementy, co sprzyjało

akumulacji suchej masy podczas wzrostu i rozwoju roślin bobu, a w efekcie przyrostowi plonu nasion niż preparat Super mix zawierający aminokwasy, magnez i naturalne stymulatory wzrostu. W szczególności mikroelement bor występujący w Power mix odgrywa kluczową rolę w metabolizmie roślin, ułatwiając transport cukru na krótkie i dalekie odległości poprzez tworzenie kompleksów boranowo-cukrowych (Dugger 1983). Mady (2009) wykazała, że aplikacja cynku w uprawie bobu stymulowała wzrost części nadziemnej, przyczyniając się do większej akumulacji suchej masy. Natomiast Al-Whaibi i in. (2010) stwierdzili, że zastosowanie kwasu giberelinowego pozytywnie wpłynęło na plonowanie bobu.

Wykazano, że biostymulatory oparte na aminokwasach, jak hydrolizat białkowy pochodzenia roślinnego, indukują wzrost roślin i pobieranie azotu, wykazując działanie podobne do fitohormonów, co w efekcie poprawia wielkość i jakość plonu (Colla i in. 2014).

Biostymulator składający się głównie z dwóch komponentów, tj. aminokwasów i ekstraktu z *A. nodosum* (Fylloton) stymulował plonowanie fasoli zwykłej odmiany Oczko, zwiększając badaną cechę o 18% po dwukrotnej aplikacji preparatu w stężeniu 1% w porównaniu z kontrolą (Kocira i in. 2020a). W uprawie soi biostymulator także pozytywnie wpłynął na plon nasion, ale uzyskane efekty zależały od odmiany i jej reakcji na zastosowane stężenie i liczbę aplikacji preparatu. Wszystkie badane odmiany soi, tj. Annushka, Mavka i Atlanta pozytywnie reagowały na dwukrotny oprysk roślin 1% roztworem biostymulatora, co wpłynęło na zwiększenie plonu nasion odpowiednio o 18, 23 i 24% w porównaniu z wynikami otrzymanymi dla obiektu kontrolnego. Dodatkowo jednokrotna aplikacja 0,7% stężenia preparatu Fylloton dała także dobre efekty w uprawie soi odmiany Annushka zwiększając badaną cechę o 20% w odniesieniu do obiektu, w którym rośliny opryskiwano czystą wodą (Kocira i in. 2018c). Hussein i Ali (2021) wykazali, że dolistną aplikacja Fyllotonu w połączeniu z aplikacją boru spowodowała zwiększenie plonu nasion fasoli aż o 50% w porównaniu z kontrolą, co potwierdza korzystny wpływ tego mikroelementu na wzrost i rozwój roślin bobowatych.

Rośliny fasoli pozytywnie reagowały na dolistną aplikację Asahi SL, w szczególności na dwukrotny oprysk roślin 0,3% roztworem biostymulatora, co wpłynęło na zwiększenie masy nasion u odmiany Aura i Toska, odpowiednio o 10 i 14% w porównaniu z kontrolą (Kocira i in. 2017a). Z kolei dwukrotne opryskiwanie fasoli odmiany Mexican Black 0,2% roztworem Atoniku (inna nazwa handlowa Asahi SL) zwiększyło plon nasion o 42% w porównaniu do kontroli (Szparaga i in. 2019). Dwukrotne opryskiwanie roślin soi 0,2% roztworem Asahi SL zwiększyło plon nasion o 27 i 28%, odpowiednio u odmiany Annushka i Mavka w odniesieniu do kontroli (Kocira 2017). Z kolei trzykrotny oprysk Atonikiem roślin

soi odmiany A 3935 w dawce 0,5 $l \cdot ha^{-1}$ spowodowało przyrost plonu nasion o 14% w porównaniu do kontroli (Gulluoglu i in. 2006). O skuteczności działania biostymulatora decyduje często faza rozwoju rośliny. Potwierdziły to badania Kozaka i in. (2008a), w których opryskiwanie roślin soi preparatem Asahi SL bezpośrednio przed kwitnieniem soi (faza pąkowania) stymulowało zwiększenie plonu nasion o 12% w porównaniu z kontrolą.

Pozytywny wpływ na ontogenezę roślin wynika prawdopodobnie z faktu, że polifenole występujące w tym biostymulatorze wchodzą w interakcje z fitohormonami, m.in. z giberelinami (Taiz i Zeiger 2002) i auksynami stymulując wzrost elongacyjny roślin (Djanaguiraman i in. 2005b) oraz usprawniają procesy metaboliczne w roślinach bez modyfikowania ich naturalnych ścieżek (Posmyk i Szafrańska 2016). Przybysz i in. (2014) dowiedli, że biostymulator Asahi SL stymuluje wzrost i rozwój części nadziemnej rośliny, a w szczególności fazy generatywnej poprzez lepszy rozwój kwiatostanów, owoców i nasion w porównaniu z fazą wegetatywną.

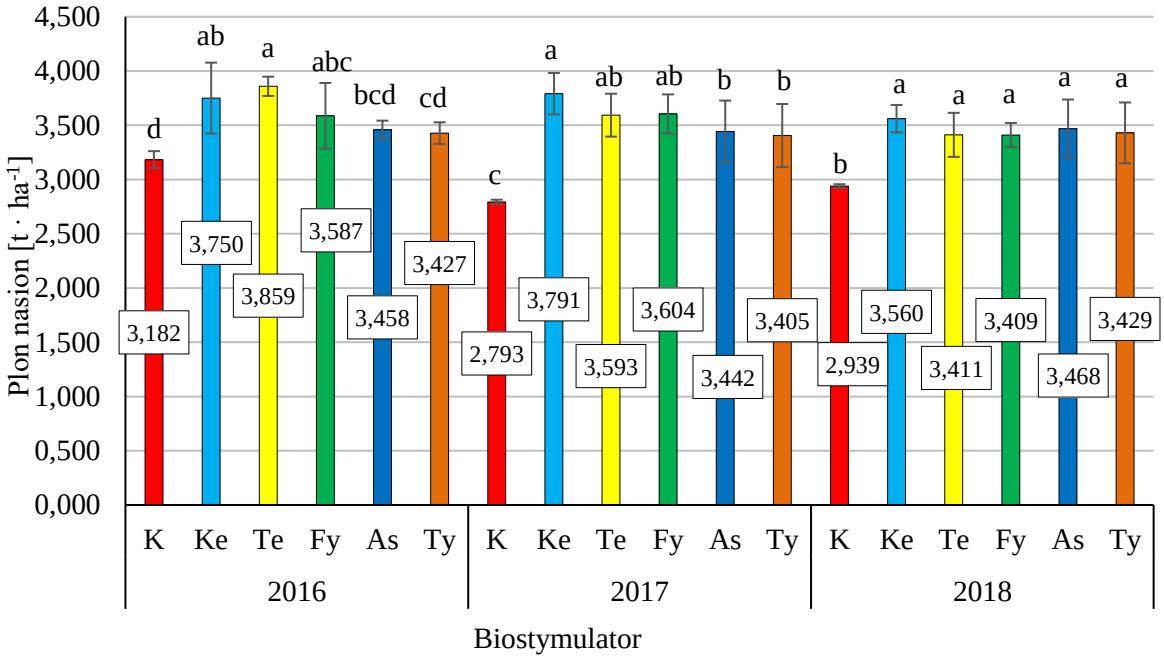
Dolistna aplikacja Tytanitu, niezależnie od zastosowanego stężenia preparatu i liczby wykonanych zabiegów, pozytywnie wpłynęła na plonowanie fasoli zwykłej odmiany Mexican Black zwiększając plon nasion o 27-39% w odniesieniu do kontroli (Szparaga i in. 2019). W uprawie soi reakcja roślin na preparat Tytanit była zróżnicowana w zależności od zastosowanego stężenia i liczba aplikacji biostymulatora, jak również odmiany. Dwukrotny oprysk roślin niższym stężeniem Tytanitu (0,07%) spowodowało zwiększenie plonu nasion o 22% w porównaniu do kontroli (Kocira 2017). Natomiast u odmiany Mavka i Atlanta lepsze efekty uzyskano po zastosowaniu 0,13% roztworu biostymulatora w tych samych fazach rozwojowych roślin, co zwiększyło plon nasion odpowiednio o 29 i 34% w odniesieniu do obiektu bez stosowania preparatu (Kocira 2017, Szparaga i in. 2018).

Stymulowanie wzrostu i rozwoju roślin, a w efekcie ich plonowania wskutek stosowania tytanu wynika prawdopodobnie z faktu, że wchodzi on w interakcje z innymi składnikami pokarmowymi, w szczególności z żelazem. Jednak zarówno tytan, jak i żelazo mogą tworzyć związki synergistyczne lub antagonistyczne. W przypadku niedoboru żelaza wroślinach, tytan może indukować ekspresję genów związanych z pobieraniem żelaza, zwiększając jego wychwytywanie i zatrzymywanie, co pozytywnie wpływa na wzrost i rozwój roślin, stymulując też poprawę plonowania (Lyu i in. 2017).

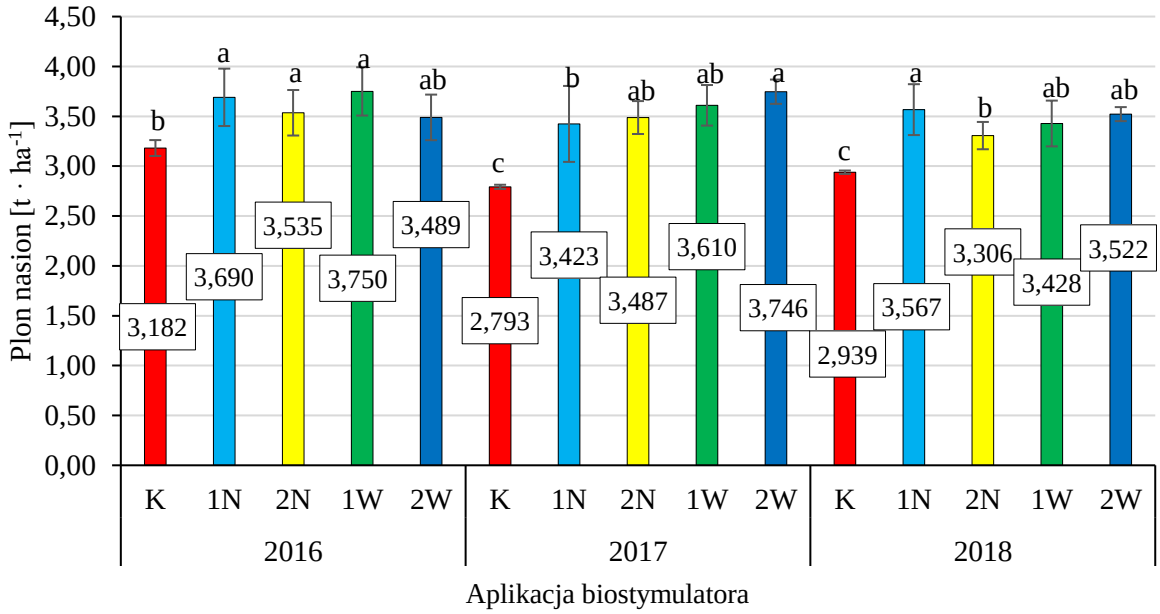
Tabela 7. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Plon [t·ha^{-1}]
Biostymulator	K	2,971±0,321d
	Ke	3,700±0,243a
	Te	3,621±0,315ab
	Fy	3,533±0,223abc
	As	3,456±0,221bc
	Ty	3,420±0,229c
Aplikacja preparatu	K	2,971±0,321b
	1N	3,560±0,321a
	2N	3,443±0,201a
	1W	3,596±0,305a
	2W	3,586±0,189a
Lata	2016	3,544±0,288a
	2017	3,438±0,373a
	2018	3,446±0,217a

Oznaczenia skrótów jak w tabeli 5.



Rysunek 9. Wpływ biostymulatora na plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [t·ha-1] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 10. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [t·ha^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 8. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Plon [t·ha^{-1}]
K	K	2,971±0,344c
Ke	1N	3,769±0,281ab
	2N	3,462±0,042ab
	1W	3,895±0,168a
	2W	3,675±0,206ab
Te	1N	3,642±0,193ab
	2N	3,447±0,390b
	1W	3,634±0,383ab
	2W	3,761±0,169ab
Fy	1N	3,578±0,254ab
	2N	3,333±0,037bc
	1W	3,721±0,190ab
	2W	3,501±0,180ab
As	1N	3,417±0,383b
	2N	3,514±0,156ab
	1W	3,380±0,150bc
	2W	3,512±0,125ab
Ty	1N	3,393±0,390bc
	2N	3,459±0,185ab
	1W	3,349±0,171bc
	2W	3,480±0,119ab

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

5.2.2. Zawartość białka i wydajność białka

Jakość nasion fasoli związana z zawartością białka i jego wydajnością istotnie zależała od czynników doświadczenia (tab. 9). Aplikacja biostymulatorów istotnie modyfikowała zawartość białka w nasionach. Najwyższą wartość badanej cechy uzyskano przy zastosowaniu preparatu opartego na wolnych aminokwasach (Te), kiedy zawartość białka była wyższa o 11 - 12% w odniesieniu zarówno do obiektu kontrolnego, jak i kombinacji z zastosowaniem syntetycznych biostymulatorów, tj. As i Ty. Analiza wariancji potwierdziła stymulujący wpływ jednokrotnej aplikacji niższego stężenia biostymulatora na zawartość białka w nasionach w odniesieniu do kontroli (zwiększenie tej cechy o 7%). Warunki meteorologiczne panujące w latach badań nie wpływały istotnie na zawartość białka w nasionach fasoli.

Biostymulatory pochodzenia naturalnego, oparte na wolnych aminokwasach i algach morskich (Ke, Te i Fy) istotnie zwiększyły wydajność białka, odpowiednio o 22, 26 i 20%, w porównaniu do kontroli. Wykazano, że stosowanie biostymulatora, niezależnie od stężenia i liczby aplikacji, istotnie zwiększa wydajność białka (średnio o 17%) w odniesieniu do obiektu, w którym nie stosowano preparatu. Nie stwierdzono wpływu warunków pogodowych panujących w poszczególnych latach badań na badaną cechę.

Wyniki badań wskazują na istotny wpływ liczby wykonanych zabiegów i stężenia biostymulatora oraz lat badań w kształtowaniu zawartości białka w nasionach fasoli (rys. 11). We wszystkich latach badań najkorzystniej na badaną cechę wpłynęła aplikacja biostymulatora zawierającego wolne aminokwasy (Te) w porównaniu do kontroli, kiedy uzyskano wzrost tej cechy dla lat 2016, 2017 i 2018 odpowiednio o 14, 11 i 12%. Dodatkowo w 2016 roku zanotowano zwiększenie zawartości białka w kombinacji ze stosowaniem Te w odniesieniu do kombinacji, w której rośliny opryskiwano Ke, As i Ty, odpowiednio o 9, 11 i 13%. Z kolei w drugim roku badań stwierdzono także istotne zwiększenie tej cechy w kombinacji z aplikacją Te w odniesieniu do kombinacji, w której rośliny traktowano As i Ty, odpowiednio o 13 i 11%.

Analiza wariancji potwierdziła brak wpływu warunków pogodowych na zawartość białka w nasionach w latach 2016 i 2017 (rys. 12). Jedynie w ostatnim roku badań wykazano istotnie największą zawartość białka w nasionach jednokrotnie traktowanych niższym i dwukrotnie wyższym stężeniem biostymulatorów w porównaniu z jednokrotną aplikacją wyższego stężenia preparatu, uzyskując odpowiednio wzrost o 9 i 11%.

Wydajność białka z 1 ha uprawy fasoli zwykłej zależała od biostymulatora i przebiegu warunków pogodowych w latach badań (rys. 13). W pierwszym roku badań uzyskano wzrost

wydajności białka u roślin traktowanych biostymulatorem Te w odniesieniu do kontroli i kombinacji z aplikacją preparatu Ty, odpowiednio o 38 i 27%. W 2017 roku rośliny reagowały zwiększeniem wydajności białka w kombinacji z dolistną aplikacją Ke i Te w porównaniu do obiektu kontrolnego, odpowiednio o 40 i 42%. Z kolei w ostatnim roku prowadzenia doświadczenia rośliny traktowane biostymulatorami, niezależnie od zastosowanego preparatu, charakteryzowały się wyższą wydajnością białka w zakresie 18-30% w porównaniu do kontroli.

Wykazano istotny wpływ stosowania niższego stężenia preparatu w obu aplikacjach oraz jednokrotnego stosowania wyższego stężenia biostymulatora na wydajność białka fasoli w odniesieniu do kontroli w pierwszym roku badań (rys. 14). Uzyskano w tych kombinacjach wzrost badanej cechy średnio o 22%. W drugim roku badań stosowanie biostymulatora, niezależnie od stężenia i częstotliwości aplikacji, zwiększyło wydajność białka, średnio o 33%, w porównaniu z kombinacją, w której do oprysku roślin stosowano czystą wodę (K). W trzecim roku badań stwierdzono zwiększenie tej cechy, odpowiednio o 31 i 32%, przy jednokrotnej aplikacji niższego i dwukrotnej aplikacji wyższego stężenia preparatu w odniesieniu do kontroli.

W doświadczeniu wykazano istotne współdziałanie preparatu, liczby wykonanych zabiegów i stężenia biostymulatora na kształtowanie jakości nasion poprzez modyfikację zawartości białka (tab. 10). Dobre efekty w istotnym zwiększeniu koncentracji białka w nasionach uzyskano po jednokrotnej aplikacji Te w niższym stężeniu w odniesieniu do kombinacji z jednokrotnym stosowaniem As w wyższym stężeniu. W tej kombinacji stwierdzono zwiększenie tej cechy o 25 %.

Analizując wydajność białka stwierdzono istotne zwiększenie tej cechy o 37% po jednokrotnej aplikacji preparatu Te w niższym stężeniu w porównaniu z obiektem kontrolnym.

Stwierdzono, że dolistne zastosowanie ekstraktu z alg morskich stymulowało zwiększenie zawartości białka w nasionach fasoli i bobu o 18-23% w odniesieniu do kontroli (Jasim i Obaid 2014, Zewail 2014). Dwukrotna dolistną aplikacja ekstraktu z *E. maxima* spowodowała zwiększenie koncentracji białka w nasionach fasoli zwykłej odmiany Oczko o 10% w odniesieniu do kontroli (Kocira i in. 2020a). Wykazano także nieistotne statystycznie zwiększenie koncentracji białka w nasionach fasoli zwykłej Mexican Black i soi odmiany Mavka po dwukrotnej aplikacji 1% roztworu Kelpaku SL, odpowiednio o 3 i 8% w odniesieniu do kontroli (Kocira 2017, Kocira i in. 2020b).

Traktowanie fasoli zwykłej ekstraktem z *E. maxima* w stężeniu 0,2%, niezależnie od liczby aplikacji, spowodowało istotne zmniejszenie zawartości białka (frakcje albuminy +

globuliny) w nasionach odmiany Aura. Natomiast odmiana Toska reagowała istotnym zmniejszeniem tej cechy po jednokrotnym oprysku roślin 0,4% stężeniem biostymulatora (Kocira i in. 2018a). Podobnie reagowała soja odmiany Annushka, u której stwierdzono mniejszą zawartość białka po dolistnej aplikacji Kelpaku SL (Kocira 2017).

Liczni autorzy prowadzili także badania nad wpływem dolistnego stosowania ekstraktu z alg morskich na zawartość białka w liściach roślin bobowatych (Latique i in. 2013, Kumar i in. 2012, Selvam i Sivakumar 2016, Sathya i in. 2010). Wykazano, że wysokie stężenie ekstraktów z alg, jak 25% roztwór *Ulva rigida i Fucus spiralis* oraz 20% roztwór *Grateloupia lithophila* i *Chaetomorpha linum* spowodowało zwiększenie zawartości białka w liściach fasoli zwykłej (o 27-42%) i nikli indyjskiej (o 33–48% w stosunku do kontroli) (Latique i in. 2013, Sathya i in. 2010). Natomiast zastosowanie 1% ekstraktu z *S. wightii* oraz 2% ekstraktu z *Hypnea musciformis* spowodowało zwiększenie koncentracji białka w liściach fasoli mung, odpowiednio o 84 i 36% (Kumar i in. 2012, Selvam i Sivakumar 2016). Natomiast dwukrotny wzrost zawartości białka w liściach *Vigna radiata* i *Vigna mungo* stwierdzono po traktowaniu roślin 3% ekstraktem *Sargassum polycystum* (Bharath i in. 2018).

W literaturze istnieją też doniesienia o negatywnym wpływie wyższych stężeń ekstraktów z alg (*U. lactuca*, *S. wightii*, *H. musciformis*) na zawartość białka w liściach roślin bobowatych (Ramya i in. 2010, Selvam i Sivakumar 2014).

Z kolei Zodape i in. (2009) wykazali, że zwiększenie zawartości białka w roślinach bobowatych jest powiązane z występowaniem mikroelementów i fitohormonów w ekstraktach z alg, m.in. w gatunku *K. alvarezii*.

Biostymulatory oparte na aminokwasach również wpływały na zawartość białka w nasionach roślin bobowatych. Zastosowanie Terra Sorb Complex w formie jednokrotnego oprysku roślin 0,5% roztworem biostymulatora stymulowało zwiększenie zawartości białka w nasionach fasoli zwykłej odmiany Aura, Toska i Oczko, odpowiednio o 23, 11 i 11% w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2015, 2020a). Również dwukrotna aplikacja tego biostymulatora w stężeniu 0,5% spowodowała zwiększenie badanej cechy o 12% u fasoli odmiany Oczko (Kocira i in. 2020a). Z kolei fasola zwykła odmiana Mexican Black reagowała zwiększeniem koncentracji białka o 20-25% po jednokrotnej aplikacji Terra Sorb Complex w obu stężeniach w porównaniu do kombinacji, w której rośliny dwukrotnie opryskiwano tym preparatem w wyższym stężeniu (0,5%) (Kocira i in. 2020b).

Liczni autorzy potwierdzili pozytywny wpływ preparatów zawierających aminokwasy na zawartość białka u roślin bobowatych, przykładowo w nasionach grochu o 15-23% (Shafeek

i in. 2014), w nasionach bobu o 15-17% (Sadak i in. 2015) oraz u fasoli zwykłej w nasionach o 32–36% (Zewail 2014) i strąkach o 51–63% (Abdel-Mawgoud i in. 2011).

Badania prowadzone na soi potwierdziły korzystny wpływ jednokrotnego oprysku 0,3% i dwukrotnego 0,5% roztworem Terra Sorb Complex na zwiększenie koncentracji białka u odmiany Mavka (Kocira 2017). Jednakże nie stwierdzono wpływu tego biostymulatora na badaną cechę u odmiany Atlanta (Kocira 2019), a u odmiany Annushka zaobserwowano zmniejszenie zawartości białka po aplikacji tego preparatu (Kocira 2017).

Wykazano, że biostymulator Fylloton stosowany w uprawie soi determinował zawartość białka w nasionach w zależności od stężenia i liczby aplikacji preparatu. Odmiany Annushka i Atlanta pozytywnie reagowały na jednokrotny oprysk 0,7% roztworem Fyllotonu, co spowodowało zwiększenie tej cechy odpowiednio o 6 i 9% w odniesieniu do kontroli. Jednakże wraz ze wzrostem stężenia i liczby aplikacji biostymulatora zmniejszała się koncentracja białka w nasionach. Z kolei odmiana Mavka reagowała zwiększoną zawartością białka wraz ze wzrostem stężenia i liczby aplikacji biostymulatora, osiągając najwyższą wartość po dwukrotnym oprysku 1% roztworem preparatu uzyskując 15% wzrost cechy w porównaniu z jednokrotną aplikacją 0,7% roztworu Fyllotonu (Kocira i in. 2018c). Natomiast jednokrotna aplikacja Fyllotonu w stężeniu 1% stymulowała zwiększenie zawartości białka w nasionach fasoli zwykłej odmiany Oczko (Kocira i in. 2020a).

Fasola zwykła reagowała zmniejszeniem wartości lub brakiem reakcji na zastosowanie biostymulatora Asahi SL, jak w przypadku dwukrotnej aplikacji preparatu w 0,1% stężeniu u odmiany Aura i Toska, która spowodowała zmniejszenie zawartości białka (frakcji globulin) odpowiednio o 15 i 21% w porównaniu z kontrolą (Kocira i in. 2017a). Ponadto nie stwierdzono istotnego wpływu aplikacji Atoniku (Asahi SL) na zawartość białka w nasionach fasoli zwykłej Mexican Black, ale zanotowano tendencję do zwiększania się wartości badanej cechy wraz ze wyższym stężeniem i liczbą aplikacji preparatu (Szparaga i in. 2019).

Dolistne stosowanie tego biostymulatora w uprawie soi wpłynęło na zwiększenie o 7% koncentracji białka w nasionach odmiany Mavka po dwukrotnej aplikacji preparatu w stężeniu 0,2% w porównaniu z obiektem kontrolnym. Z kolei reakcja odmiany Annushka na zastosowany biostymulator była odmienna, gdyż zanotowano istotne zmniejszenie wartości tej cechy. Istnieją także doniesienia o braku wpływu Asahi SL (Atoniku) na zawartość białka w nasionach soi odmian Aldana i Nawiko (Kozak i in. 2008b). Z kolei u odmiany Atlanta zanotowano nieistotny wzrost koncentracji białka po dwukrotnej aplikacji Atoniku w stężeniu 0,2% (Szparaga i in. 2018).

Natomiast u fasoli zwykłej odmiany Mexican Black wykazano jedynie tendencję do zwiększania się zawartości białka w nasionach przy zwiększaniu stężenia i liczby aplikacji Tytanitu (Szparaga i in. 2019). Stwierdzono, że reakcja soi na zastosowanie tego preparatu była zależna od odmiany. Zarówno jednokrotna aplikacja 0,07%, jak i dwukrotne stosowanie 0,13% stężenia Tytanitu spowodowało zwiększenie koncentracji białka o 6-8% w porównaniu do kontroli u odmiany Mavka (Kocira 2017). U odmiany Atlanta zanotowano jedynie nieistotne zwiększenie się koncentracji białka po dwukrotnej aplikacji preparatu w stężeniu 0,13% (Szparaga i in. 2018). Natomiast odmiana Annushka reagowała zmniejszeniem wartości tej cechy po zastosowaniu Tytanitu (Kocira 2017).

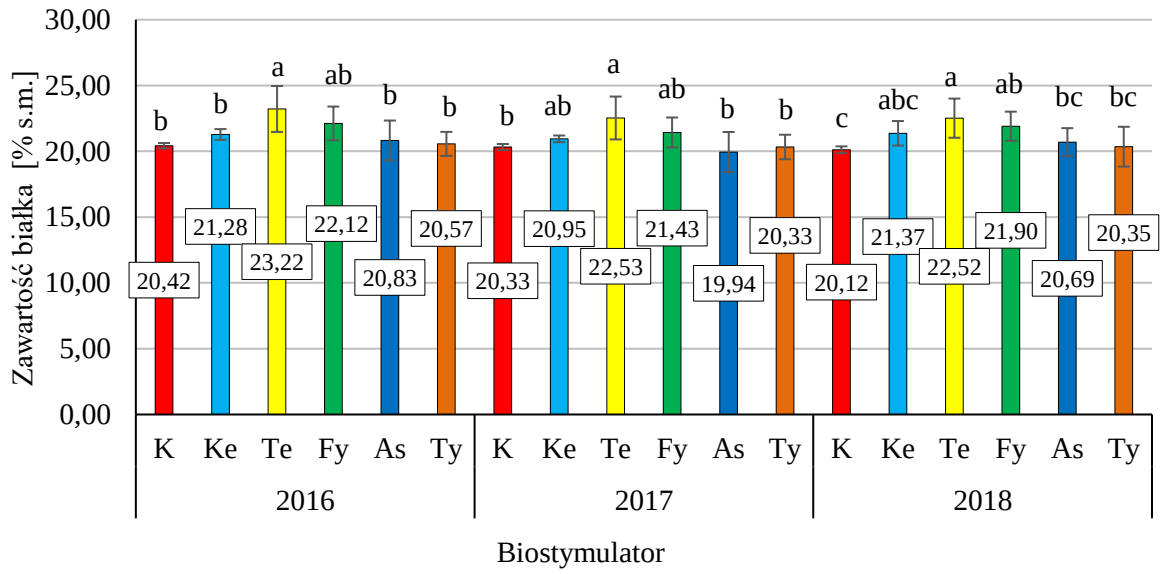
Badania prowadzone przez Raliya i in. (2015) potwierdziły, że reakcja roślin na tytan zależy od formy aplikacji. Autorzy wykazali, że korzystniejszą formą była dolistna aplikacja nanocząsteczek TiO_2, która dwukrotnie zwiększyła koncentrację białka w liściach fasoli mung w porównaniu ze stosowaniem TiO_2.

W dostępnej literaturze istnieje niewiele doniesień dotyczących wpływu biostymulatorów na wydajność białka z 1 ha u roślin bobowatych. Kozak i in. (2017) wykazali, że wydajność białka z 1 ha bobiku zwiększyła się po aplikacji stymulatora wzrostu Multipro w wczesnej fazie kwitnienia rośliny. Jednocześnie potwierdzono, że na wydajność białka w uprawie bobiku wpływały przede wszystkim zróżnicowane warunki wilgotnościowo-termiczne w latach badań i odmiana (Kozak i in. 2010, 2017).

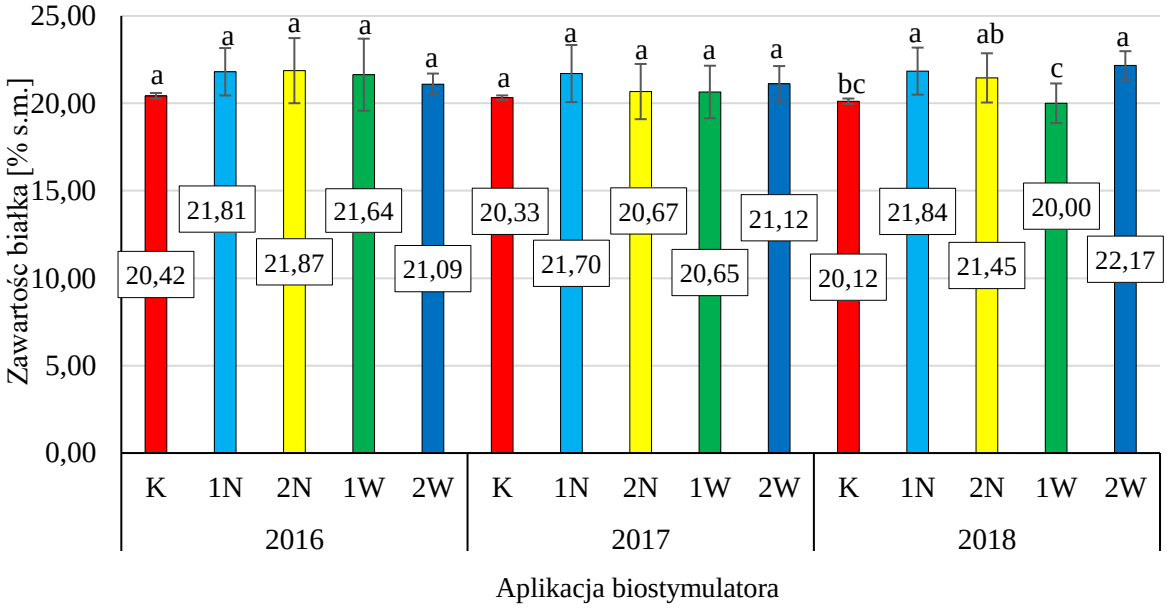
Tabela 9. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość i wydajność białka fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Białko [% s.m.]	Wydajność białka [kg·ha^{-1}]
Biostymulator	K	20,29±0,17c	566,72±55,04c
	Ke	21,20±0,61bc	690,08±47,09a
	Te	22,76±1,59a	714,91±80,41a
	Fy	21,82±1,16b	677,94±49,59a
	As	20,49±1,38c	622,95±57,68b
	Ty	20,42±1,11c	615,48±63,69bc
Aplikacja preparatu	K	20,29±0,17c	566,72±55,04b
	1N	21,78±1,40a	683,23±81,31a
	2N	21,33±1,65ab	645,72±56,59a
	1W	20,76±1,70bc	651,25±90,76a
	2W	21,46±0,95ab	676,88±42,27a
Lata	2016	21,41±1,46a	668,71±82,60a
	2017	20,92±1,34a	633,74±87,80a
	2018	21,16±1,37a	641,58±56,67a

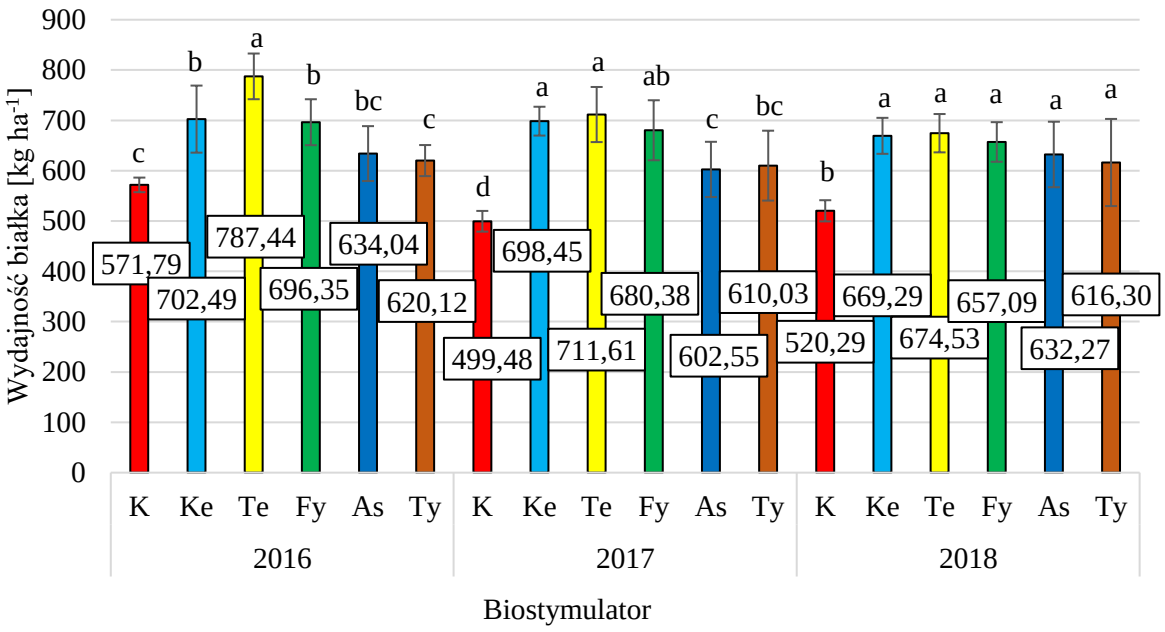
Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



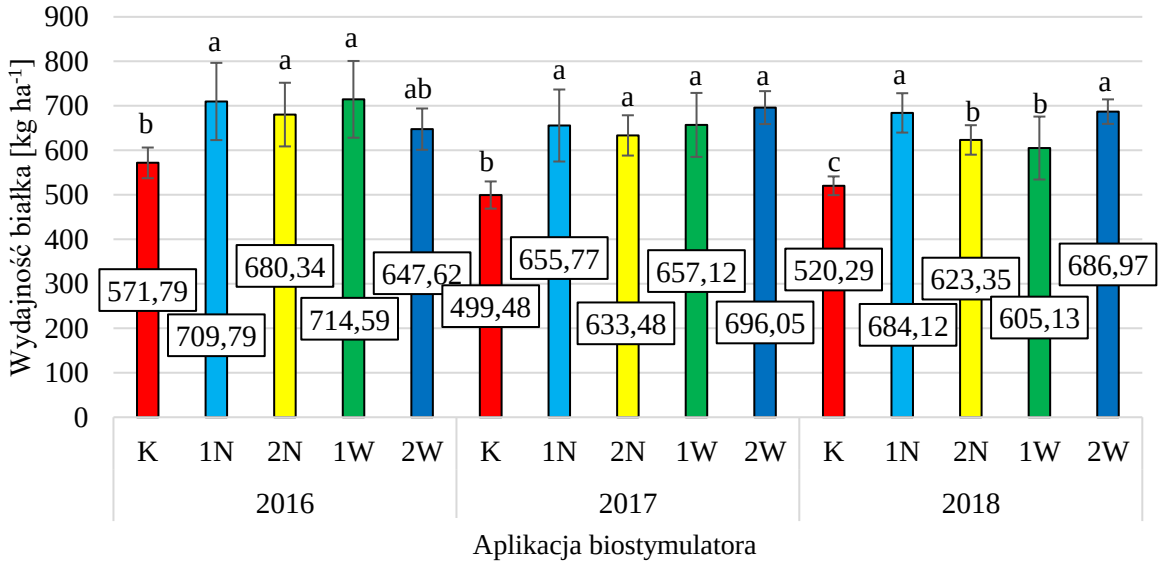
Rysunek 11. Wpływ biostymulatora na zawartość białka fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 12. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość białka fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 13. Wpływ biostymulatora na wydajność białka fasoli zwykłej odmiany Orzeł [kg·ha^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 14. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na wydajność białka fasoli zwykłej odmiany Orzeł [kg·ha^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 10. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość i wydajność białka nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Białko [% s.m.]	Wydajność białka [kg·ha^{-1}]
K	K	20,29±0,18fgh	566,72±34,39e
Ke	1N	21,27±0,53c-g	704,95±50,19ab
	2N	20,91±0,35c-h	636,93±16,06b-e
	1W	20,94±0,53c-h	718,16±47,60ab
	2W	21,67±0,74b-f	700,27±30,92abc
Te	1N	24,28±0,24a	777,97±41,04a
	2N	22,67±0,77abc	686,38±65,74a-e
	1W	23,28±1,77ab	706,81±53,36ab
	2W	20,81±0,37c-h	688,48±32,80a-e
Fy	1N	21,87±0,34b-f	689,1355,60±a-d
	2N	22,23±1,67b-e	651,82±48,62b-e
	1W	20,62±0,33e-h	675,54±41,06a-d
	2W	22,55±0,81a-d	695,26±53,24a-d
As	1N	20,74±0,34d-h	622,99±62,92b-e
	2N	20,63±2,35e-h	636,87±67,25b-e
	1W	19,37±0,22h	576,19±27,79de
	2W	21,21±0,94c-h	655,76±43,63b-e
Ty	1N	20,76±0,69d-h	621,10±84,91b-e
	2N	20,23±1,17fgh	616,61±62,56b-e
	1W	19,61±1,27gh	579,58±65,91cde
	2W	21,07±0,86c-h	644,64±24,23b-e

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

5.3. Skład chemiczny i wartość nutraceutyczna nasion

5.3.1. Zawartość związków fenolowych

Stwierdzono, że zawartość związków fenolowych istotnie zależała od biostymulatora, jego stężenia i liczby wykonanych oprysków, jak również od warunków meteorologicznych w poszczególnych latach badań (tab. 11). Nasiona fasoli wykształcone przez rośliny opryskiwane As charakteryzowały się istotnie największą zawartością związków fenolowych ogółem w porównaniu z kombinacjami, w których w okresie wegetacji zastosowano preparaty Ke i Ty - uzyskano zwiększenie tej cechy odpowiednio o 26,4 i 36,5 %. Dolistne zastosowanie preparatów Ke i Te ponad dwukrotnie zwiększyło zawartość antocyjanów w nasionach w porównaniu do obiektu kontrolnego. Z kolei nasiona pozyskane z obiektu kontrolnego miały największą zawartość flawonoidów, większą o 66,7 % w porównaniu do kombinacji z dolistną aplikacją Ty.

Analiza wariancji potwierdziła zwiększenie zawartości antocyjanów po zastosowaniu biostymulatorów w odniesieniu do kontroli, niezależnie od liczby wykonanych oprysków i stężenia preparatu, kiedy uzyskano zwiększenie tej cechy średnio o 94%. Stwierdzono, że rośliny, które wyrosły w obiekcie kontrolnym charakteryzowały się wyższą zawartością polifenoli i flawonoidów w porównaniu do kombinacji z aplikacją biostymulatora. Ponadto wykazano, że jednokrotne traktowanie biostymulatorem w wyższym stężeniu istotnie zwiększyło koncentrację związków fenolowych w nasionach fasoli. Istotnie najmniejszą zawartość polifenoli odnotowano w kombinacji z dwukrotnym stosowaniem preparatu w wyższym stężeniu. Natomiast w odniesieniu do zawartości flawonoidów stosowanie biostymulatorów niezależnie od stężenia i liczby aplikacji istotnie zmniejszyło wartość badanej cechy.

Warunki meteorologiczne panujące w latach badań istotnie różnicowały jedynie zawartość związków fenolowych w nasionach. Największą zawartość tych związków uzyskano w pierwszym roku badań, kiedy to odnotowano zwiększenie tej cechy o 12 % w porównaniu do 2017 roku. W przypadku zawartości białka i flawonoidów nie stwierdzono istotnego wpływu tego czynnika doświadczenia na badane cechy.

Analiza wyników otrzymanych w pierwszym roku badań wykazała, że rośliny z obiektu kontrolnego charakteryzowały się istotnie największą koncentracją związków fenolowych w nasionach (wzrost o 32%) w porównaniu do kombinacji ze stosowaniem Ty (rys. 15). W 2017 roku uzyskano istotne zwiększenie tej cechy, odpowiednio o 60 i 66%, w kombinacji ze stosowaniem Fy i As w odniesieniu do kombinacji, w której rośliny traktowano Ty. Warunki meteorologiczne panujące w ostatnim roku badań sprzyjały zwiększeniu zawartości polifenoli zarówno w kombinacji ze stosowaniem As, jak i kontroli (odpowiednio o 24 i 22%) w porównaniu z kombinacją, w której rośliny opryskiwano Ty.

Wykazano, że zawartość związków fenolowych w nasionach w pierwszym roku badań nie zależała istotnie od liczby aplikacji i stężenia biostymulatora (rys. 16). W 2017 roku stwierdzono istotne zwiększenie koncentracji tych związków w kombinacji, w której rośliny traktowano biostymulatorem w formie jednokrotnego oprysku wyższym stężeniem (wzrost o 77%) w porównaniu do dwukrotnego stosowania niższego stężenia preparatu. W ostatnim roku prowadzenia doświadczenia potwierdzono istotne zwiększenie zawartości polifenoli zarówno po aplikacji niższego stężenia preparatu w obu częstotliwościach stosowania, jak również w obiekcie kontrolnym, średnio o 26%, w porównaniu do dwukrotnego stosowania wyższego stężenia biostymulatora.

W pierwszym i drugim roku badań ponad dwukrotne zwiększenie zawartości antocyjanów w nasionach fasoli stwierdzono w kombinacji, w której rośliny traktowano biostymulatorami Ke i Te w porównaniu do kontroli (rys. 17). Z kolei warunki meteorologiczne panujące w 2018 roku sprzyjały ponad dwukrotnemu zwiększeniu koncentracji antocyjanów w nasionach po aplikacji preparatu Ke w porównaniu do kontroli.

Wykazano, że stosowanie biostymulatorów, niezależnie od stężenia czy liczby aplikacji korzystnie wpłynęło na ponad dwukrotne zwiększenie zawartości antocyjanów w nasionach we wszystkich latach badań w porównaniu do kontroli (rys. 18).

W poszczególnych latach badań koncentracja flawonoidów w nasionach fasoli była istotnie najwyższa w obiekcie kontrolnym w porównaniu do kombinacji ze stosowaniem Ty (rys. 19). W latach 2016, 2017 i 2018 uzyskano zwiększenie tej cechy odpowiednio o 53, 76 i 67%. Jedynie w ostatnim roku badań nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości flawonoidów pomiędzy kontrolą a stosowaniem biostymulatora As.

Zawartość flawonoidów w nasionach w poszczególnych latach badań była największa w kombinacji, w której nie stosowano biostymulatora (rys. 20). Wartość tej cechy uzyskana w latach 2016, 2017 i 2018 w obiekcie kontrolnym była wyższa od pozostałych kombinacji, odpowiednio o 31, 47 i 40% (wartości średnie). Jedynie w 2018 roku kombinacja, w której rośliny dwukrotnie opryskiwano niższym stężeniem nie różniła się istotnie z kontrolą w zawartości flawonoidów w nasionach.

W doświadczeniu wykazano istotne współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby wykonanych zabiegów na jakość nasion wyrażoną zawartością związków fenolowych (tab. 12). Dobre efekty w istotnym zwiększeniu zawartości związków fenolowych ogółem uzyskano w kombinacji, w której rośliny jednokrotnie traktowano wyższym stężeniem As w porównaniu do dwukrotnego stosowania Ty w wyższym stężeniu, kiedy zanotowano wzrost o 76,6 % wartości tej cechy. Analizując zawartość antocyjanów w nasionach stwierdzono istotne zwiększenie ich koncentracji w kombinacji z preparatem Ke, niezależnie od stężenia i liczby aplikacji, jak również po dwukrotnym zastosowaniu Te, w obu stężeniach. Uzyskane wartości w tych kombinacjach były wyższe o średnio o 121% w porównaniu do kontroli. Istotne zwiększenie zawartości flawonoidów, średnio o 74%, stwierdzono zarówno po dwukrotnym zastosowaniu niższego stężenia As, jak i w obiekcie kontrolnym w odniesieniu do kombinacji z dwukrotnym stosowaniem niższego i wyższego stężenia Ty, jednokrotnym stosowaniem wyższego stężenia Fy oraz dwukrotnym stosowaniem wyższego stężenia Te.

Zastosowanie w uprawie roślin bobowatych ekstraktów z alg morskich wpłynęło na zawartość polifenoli w nasionach, która była zróżnicowana w zależności od liczby aplikacji

i stężenia badanych preparatów. Wykazano, że zarówno niskie stężenie (0,2%), jak i wysokie stężenie (1%) biostymulatora Kelpak SL zastosowane w formie dwukrotnego oprysku roślin stymulowało zwiększenie zawartości związków fenolowych w nasionach fasoli, odpowiednio o 9% u odmiany Toska i o 33% u odmiany Oczko, w porównaniu z kontrolą (Kocira i in. 2018a, 2020a). Z kolei odmiana Mexican Black silniej reagowała na jednokrotną aplikację 0,7% roztworu ekstraktu z *E. maxima*, uzyskując zwiększenie zawartości polifenoli o 57% w odniesieniu do obiektu kontrolnego (Kocira i in. 2020b). W uprawie soi jedynie w przypadku odmiany Annushka stwierdzono zwiększenie tej cechy o 4% po dwukrotnym oprysku roślin 0,7% stężeniem tego preparatu w porównaniu z kombinacją bez stosowania biostymulatora. Natomiast u odmiany Mavka zaobserwowano mniejszą koncentrację związków fenolowych, w szczególności po dwukrotnej aplikacji 1% roztworu Kelpaku SL – zmniejszenie o 7% w porównaniu z kontrolą (Kocira 2017).

Dwukrotne zastosowanie 1% roztworu ekstraktu z *E. maxima* spowodowało wyraźne zwiększenie o 89% koncentracji flawonoidów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Oczko w porównaniu z kontrolą (Kocira i in. 2020a). Dolistna aplikacja tego biostymulatora w stężeniu 0,2%, w obu liczbach aplikacji, zwiększyła o 15% wartość badanej cechy w odniesieniu do obiektu, w którym rośliny opryskiwano czystą wodą. Natomiast u odmiany Aura stwierdzono mniejszą wartość tej cechy (o 45%) po jednokrotnej aplikacji 0,2% roztworu Kelpaku SL w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2018a). Pomimo, że u odmiany Mexican Black nie stwierdzono istotnych różnic to zauważono tendencję do czterokrotnego zwiększania zawartości flawonoidów po dwukrotnej aplikacji 1% stężenia tego biostymulatora. Ponadto stwierdzono, że wraz ze wzrostem stężenia i liczby aplikacji biostymulatora zwiększała się koncentracja tych bioaktywnych związków (Kocira i in. 2020b).

Zawartość antocyjanów potwierdzono u nasion o ciemnej okrywie nasiennej. Wykazano, że najlepsze efekty uzyskano u odmiany fasoli zwykłej o czarnych nasionach (Mexican Black) po zastosowaniu preparatu Kelpak SL, niezależnie od jego stężenia i liczby wykonanych zabiegów, tj. ponad 30-40-krotne zwiększenie koncentracji antocyjanów w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2020b). Natomiast odmiana o ciemno czerwonych nasionach (Toska) uzyskała 22% wzrost tej cechy po dolistnej aplikacji tego biostymulatora (Kocira i in. 2018a).

Jednokrotny oprysk roślin fasoli zwykłej odmiany Oczko 0,5% stężeniem Terra Sorb Complex wpłynął na zwiększenie zawartości polifenoli w nasionach o 29% w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2020a). U odmiany Mexican Black wykazano nieistotny statystycznie wzrost tej cechy o 33 i 36% po dwukrotnej aplikacji biostymulatora opartego na aminokwasach

w stężeniu 0,3 i 0,5% w odniesieniu do obiektu kontrolnego (Kocira i in. 2020b). Rośliny soi odmiany Annushka dwukrotnie traktowane 0,3% roztworem Terra Sorb Complex reagowały zwiększeniem koncentracji związków fenolowych o 4% w porównaniu z kombinacją bez stosowania biostymulatora. Jednocześnie u odmiany Mavka stwierdzono brak statystycznych różnic lub zmniejszenie wartości cechy w porównaniu z kontrolą, przy czym największe zmniejszenie koncentracji polifenoli (o 7%) zanotowano po jednokrotnej aplikacji 0,3% roztworu biostymulatora (Kocira 2017).

Zawartość flawonoidów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Oczko wzrosła o 66% po zastosowaniu 0,5% roztworu Terra Sorb Complex, w obu liczbach aplikacji, w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2020a). Silniejszą reakcję na dolistne zastosowanie tego biostymulatora zaobserwowano u odmiany Mexican Black, tj. dwukrotne zastosowanie preparatu w obu stężeniach spowodowało 4-5 krotny wzrost koncentracji flawonoidów w odniesieniu do obiektu kontrolnego (Kocira i in. 2020b).

Zastosowanie biostymulatora Terra Sorb Complex stymulowało wyraźne zwiększenie zawartości antocyjanów u fasoli zwykłej odmiany Mexican Black, tj. o 20-50 razy w porównaniu z kontrolą (Kocira i in. 2020b).

Aplikacja biostymulatora Fylloton w formie dwukrotnego oprysku roślin fasoli zwykłej odmiany Oczko w stężeniu 1% wpłynęła na zwiększenie zawartości polifenoli w nasionach o 38%, choć uzyskane wartości były nieistotne statystycznie (Kocira i in. 2020a). Ponad dwukrotny wzrost zawartości związków fenolowych w nasionach soi odmiany Atlanta stwierdzono po dwukrotnej aplikacji Fyllotonu w stężeniu 1%. Odmiana Annushka także pozytywnie reagowała na zastosowanie 1% roztworu tego biostymulatora, w obu liczbach aplikacji, co spowodowało zwiększenie tej cechy o 68-89% w odniesieniu do kontroli. Natomiast u odmiany Mavka nie stwierdzono istotnego wpływu tego preparatu na zawartość polifenoli (Kocira i in. 2018c).

Wykazano, że jednokrotny oprysk roślin fasoli zwykłej odmiany Oczko 1% roztworem Fyllotonu stymulowało zwiększenie zawartości flawonoidów w nasionach o 87% w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2020a).

Biorąc pod uwagę zawartość flawonoidów w nasionach soi odmiany Atlanta stwierdzono zwiększenie koncentracji tych związków o 87% po jednokrotnej aplikacji 0,7% roztworu Fyllotonu w porównaniu do kontroli. Odmiana Mavka reagowała zwiększeniem koncentracji flawonoidów po jednokrotnej aplikacji 0,7% i dwukrotnej 1% tego biostymulatora w odniesieniu do kombinacji z dwukrotnym zastosowaniem 0,7% i jednokrotnym 1% stężenia preparatu, co spowodowało wzrost cechy od 82-200%. Natomiast

odmiana Annushka reagowała zmniejszeniem zawartości tych związków o 79-96% po dwukrotnej aplikacji 0,7% stężenia Fyllotonu w odniesieniu do kombinacji z jednokrotnym stosowaniem 0,7%, dwukrotnym stosowaniem 1% roztworu preparatu i kontrolą (Kocira i in. 2018c).

Biostymulator oparty na związkach nitrofenolowych (Asahi SL) stosowany w formie dwukrotnego oprysku spowodował zwiększenie zawartości polifenoli w nasionach fasoli zwykłej u odmiany Toska (wzrost cechy o 8% po aplikacji 0,1% stężenia) i Mexican Black (wzrost cechy o 45% po aplikacji 0,2% stężenia) (Kocira i in. 2017a, Szparaga i in. 2019). Natomiast u odmiany Aura stwierdzono brak istotnych różnic pomiędzy wartościami tej cechy po aplikacji Asahi SL (Kocira i in. 2017a). Z kolei dwukrotne stosowanie 0,1% stężenia, jak również jednokrotna aplikacja 0,2% stężenia biostymulatora zwiększyła zawartość polifenoli w nasionach soi, odpowiednio o 6% u odmiany Annushka oraz o 66% u odmiany Atlanta. Jednocześnie stwierdzono brak istotnego wpływu lub zmniejszenie zawartości tych bioaktywnych związków w nasionach odmiany Mavka, w szczególności po dwukrotnej aplikacji 0,2% roztworu Asahi SL (o 9% w porównaniu do kontroli) (Kocira 2017).

W uprawie fasoli zwykłej nie stwierdzono istotnego wpływu aplikacji Asahi SL na zawartość antocyjanów w nasionach odmiany Mexican Black i Toska (Kocira i in. 2017a, Szparaga i in. 2019). Natomiast stwierdzono zwiększenie zawartości antocyjanów w nasionach soi odmiany Atlanta po zastosowaniu 0,2% stężenia Asahi SL, w obu liczbach aplikacji, w porównaniu do kombinacji, w których nie stwierdzono występowania tych związków, tj. z jednokrotnym stosowaniem 0,1% stężenia biostymulatora i kontroli (Szparaga i in. 2018).

Fasola zwykła odmiana Toska reagowała zwiększeniem zawartości flawonoidów w nasionach o 14% po jednokrotnej aplikacji 0,3% stężenia Asahi SL w odniesieniu do kombinacji bez stosowania biostymulatora (Kocira i in. 2017a). Z kolei u odmiany Aura i Mexican Black stwierdzono brak istotnego wpływu tego preparatu na cechę, choć u drugiej odmiany zanotowano tendencję do zwiększania zawartości flawonoidów o 36% po dwukrotnej aplikacji 0,2% stężenia biostymulatora w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2017a, Szparaga i in. 2019). Ponadto dwukrotny wzrost zawartości flawonoidów stwierdzono u soi odmiany Atlanta po jednokrotnej aplikacji tego biostymulatora w stężeniu 0,2% (Szparaga i in. 2018).

Rośliny fasoli zwykłej odmiany Mexican Black reagowały nieistotnym statystycznie zwiększeniem zawartości polifenoli w nasionach (o 38%) po dwukrotnej aplikacji 0,07% stężenia Tytanitu w porównaniu do kontroli (Szparaga i in. 2019). Natomiast jednokrotna aplikacja 0,07% roztworu Tytanitu zwiększyła zawartość związków fenolowych w nasionach soi, odpowiednio o 3 i 41% u odmiany Annushka i Atlanta (Kocira 2017, Szparaga i in. 2018).

Z kolei odmiana Mavka reagowała zmniejszeniem zawartości tych związków w nasionach, przy czym największe zmniejszenie cechy (o 10%) po dwukrotnym oprysku roślin 0,13% stężeniem preparatu w odniesieniu do kontroli (Kocira 2017).

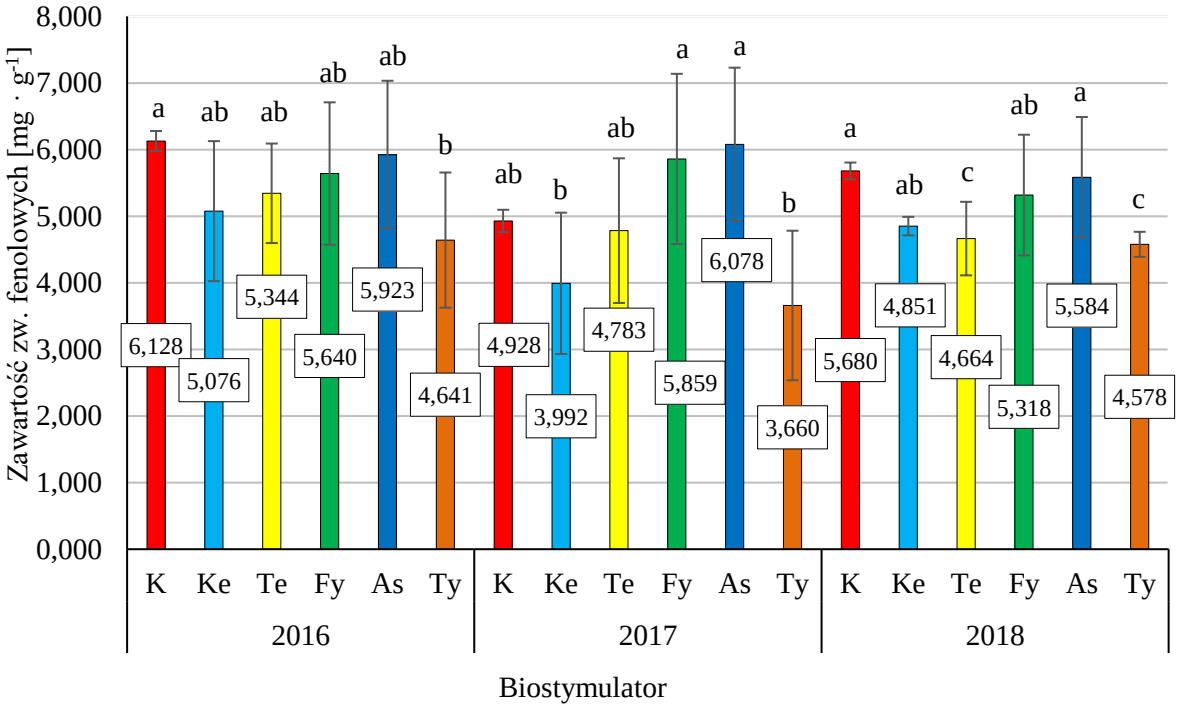
Zastosowanie Tytanitu w uprawie fasoli zwykłej odmiany Mexican Black spowodowało ponad 3-4-krotne zwiększenie zawartości antocyjanów w nasionach w odniesieniu do kombinacji z dwukrotnym stosowaniem najwyższego stężenia (0,13%) preparatu (Szparaga i in. 2019). Z kolei dwukrotna aplikacja tytanitu w stężeniu 0,07% korzystnie wpłynęła na zwiększenie zawartości antocyjanów w nasionach soi odmiany Atlanta w odniesieniu do kontroli, w której nie zanotowano występowania tych związków (Szparaga i in. 2018).

Szparaga i in. (2019) dowiedli, że dwukrotny oprysk roślin fasoli zwykłej odmiany Mexican Black 0,13% stężeniem Tytanitu spowodowało nieistotnie statystycznie zwiększenie zawartości flawonoidów w nasionach (o 47%) w porównaniu do jednokrotnego zastosowania tego preparatu w tym samym stężeniu. Ponadto u soi odmiany Atlanta stwierdzono wzrost koncentracji flawonoidów w nasionach o 71% po jednokrotnej aplikacji 0,07% roztworu Tytanitu w porównaniu do dwukrotnego stosowania tego samego stężenia oraz aplikacji wyższego (0,13%) stężenia preparatu, niezależnie od liczby aplikacji (Szparaga i in. 2018).

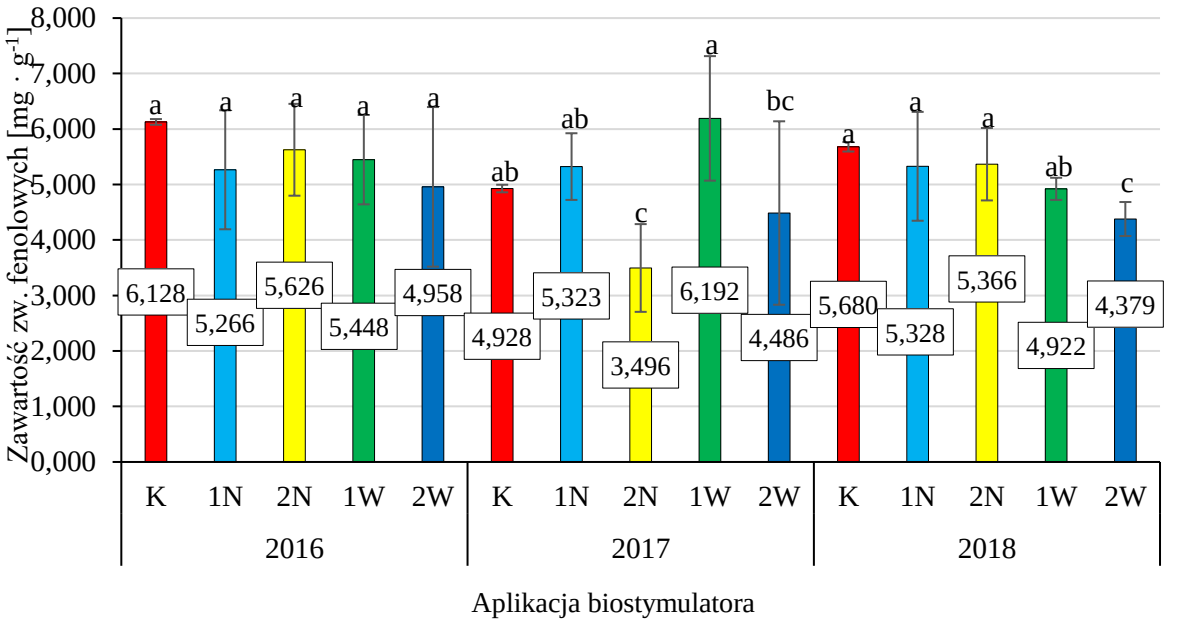
Tabela 11. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość związków fenolowych w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Polifenole ogółem [mg·g^{-1}]	Antocyjany [mg·g^{-1}]	Flawonoidy [mg·g^{-1}]
Biostymulator	K	5,5787±0,5101ab	0,0359±0,0021e	0,0060±0,0001a
	Ke	4,6397±0,9899c	0,0795±0,0017a	0,0041±0,0004cd
	Te	4,9304±0,8445bc	0,0791±0,0013a	0,0044±0,0010c
	Fy	5,6057±1,0711ab	0,0765±0,0016b	0,0046±0,0010bc
	As	5,8616±1,0361a	0,0574±0,0013c	0,0051±0,0009b
	Ty	4,2926±0,9580c	0,0566±0,0007d	0,0036±0,0005d
Aplikacja preparatu	K	5,5787±0,5101a	0,0359±0,0021b	0,0060±0,0001a
	1N	5,3059±0,8766ab	0,0696±0,0108a	0,0044±0,0007b
	2N	4,8296±1,2126ab	0,0697±0,0107a	0,0046±0,0012b
	1W	5,5207±0,9409a	0,0700±0,0109a	0,0042±0,0008b
	2W	4,6078±1,2589b	0,0699±0,0107a	0,0043±0,0009b
Lata	2016	5,4586±0,9971a	0,0635±0,0155a	0,0049±0,0009a
	2017	4,8833±1,3287b	0,0627±0,0161a	0,0044±0,0011a
	2018	5,1124±0,6951ab	0,0628±0,0164a	0,0046±0,011a

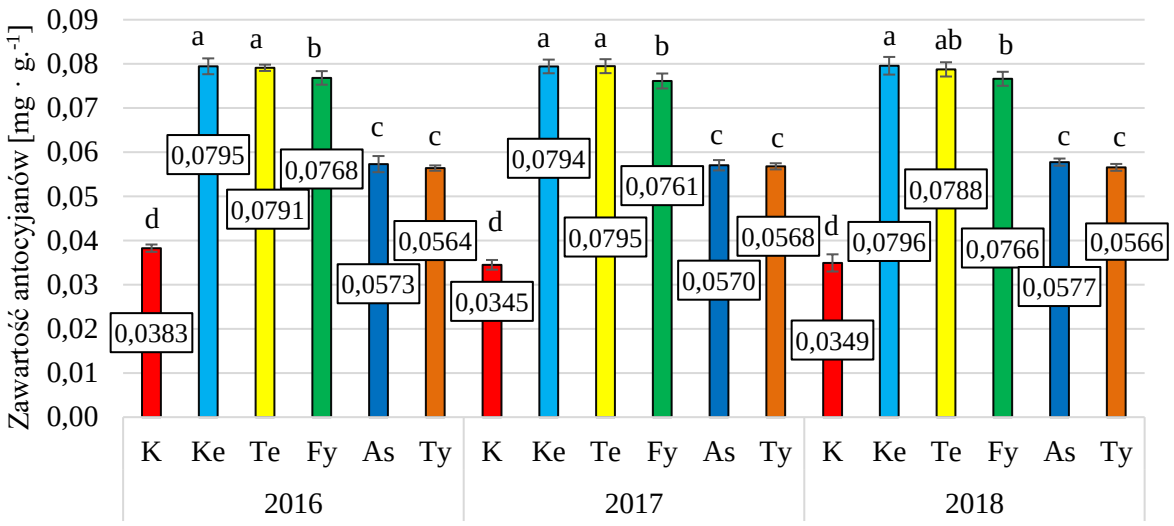
Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



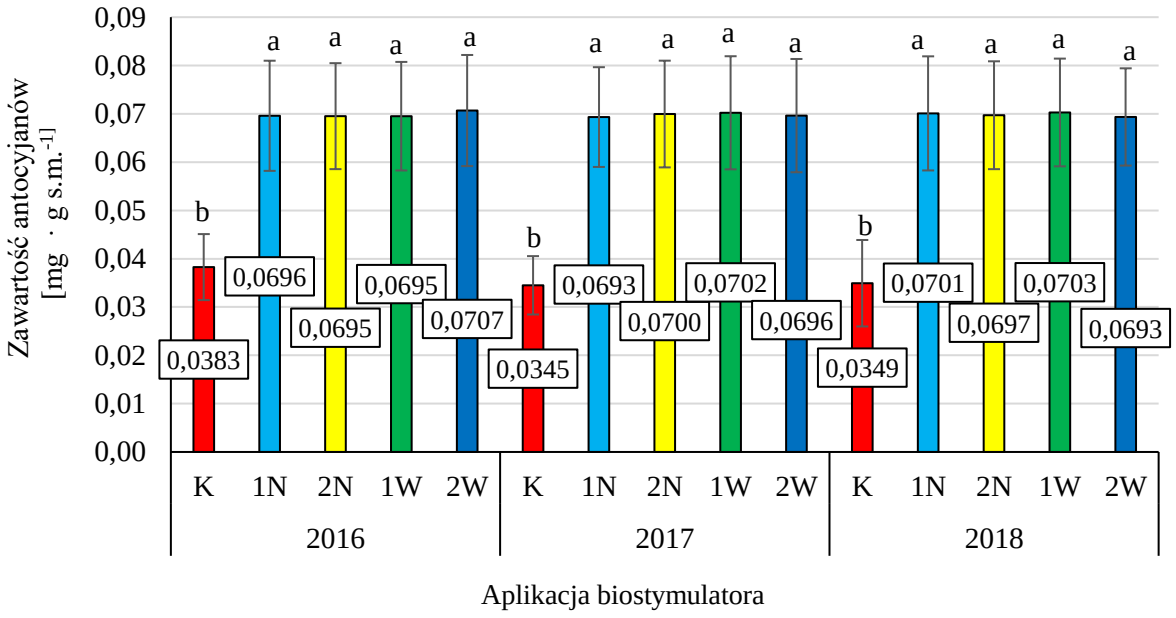
Rysunek 15. Wpływ biostymulatora na zawartość związków fenolowych w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



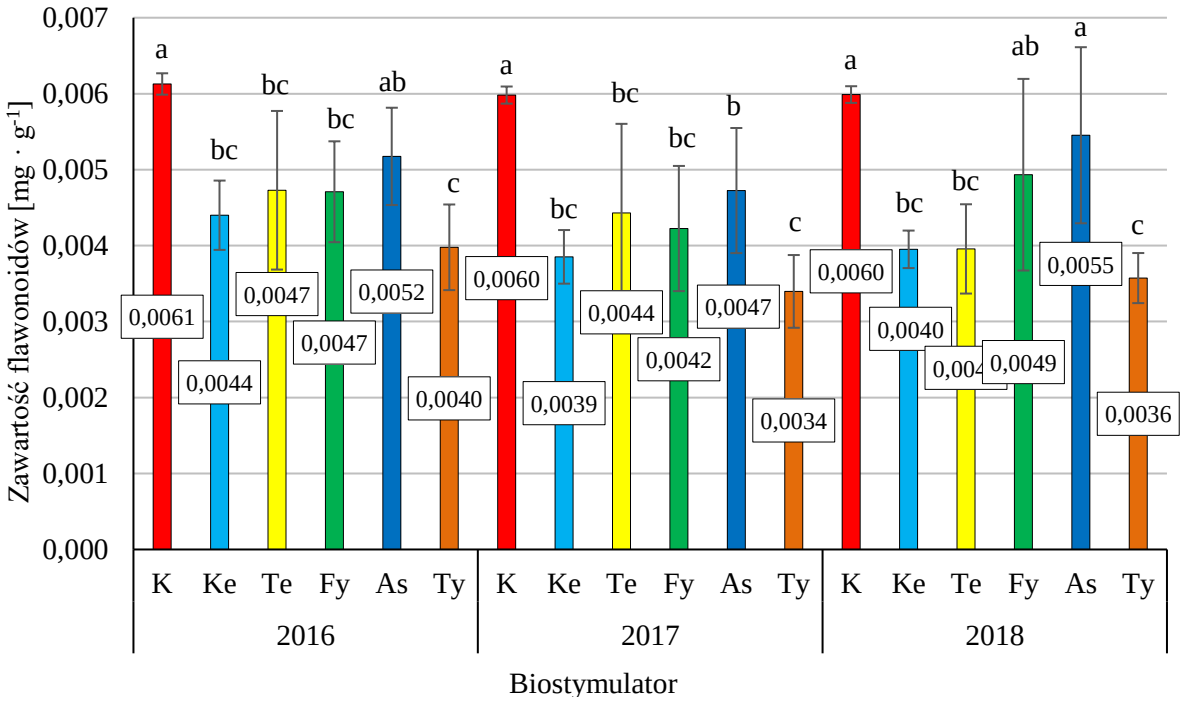
Rysunek 16. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość związków fenolowych w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.


[mg · g-1]
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0,00
Zawartość
d
a
a
b
c
c
d
a
a
b
c
c
d
a
ab
b
c
c
0,0383
0,0795
0,0791
0,0768
0,0573
0,0564
0,0345
0,0794
0,0795
0,0761
0,0570
0,0568
0,0349
0,0796
0,0788
0,0766
0,0577
0,0566
K Ke Te Fy As Ty K Ke Te Fy As Ty K Ke Te Fy As Ty
2016
2017
2018
Biostymulator

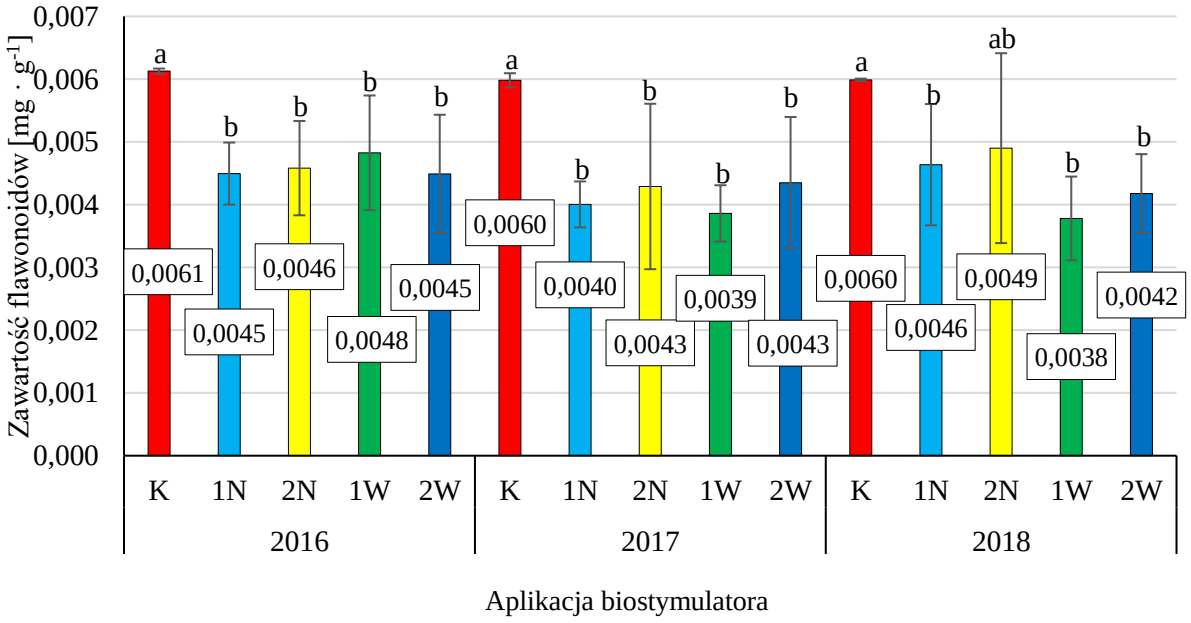
Rysunek 17. Wpływ biostymulatora na zawartość antocyjanów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.


[mg · g s.m.-1]
Zawartość
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0,00
b
a
a
a
a
b
a
a
a
a
b
a
a
a
a
0,0383
0,0696
0,0695
0,0695
0,0707
0,0345
0,0693
0,0700
0,0702
0,0696
0,0349
0,0701
0,0697
0,0703
0,0693
K 1N 2N 1W 2W K 1N 2N 1W 2W K 1N 2N 1W 2W
2016
2017
2018
Aplikacja biostymulatora

Rysunek 18. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość antocyjanów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 19. Wpływ biostymulatora na zawartość flawonoidów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 20. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość flawonoidów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 12. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość związków fenolowych w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Polifenole ogółem [mg·g^{-1}]	Antocyjany [mg·g^{-1}]	Flawonoidy [mg·g^{-1}]
K	K	5,5787±0,5471a-e	0,0359±0,0022d	0,0060±0,0001a
Ke	1N	5,3822±0,8276a-e	0,0791±0,0008a	0,0043±0,0001c-g
	2N	4,3573±1,2719b-f	0,0800±0,0017a	0,0039±0,0004fg
	1W	4,9845±0,2403a-f	0,0797±0,0022a	0,0041±0,0007d-g
	2W	3,8347±0,6853ef	0,0791±0,0021a	0,0040±0,0002efg
Te	1N	5,1200±0,6937a-f	0,0789±0,0017ab	0,0039±0,0003fg
	2N	4,5805±0,6652a-f	0,0791± 0,0009a	0,0036±0,0002g
	1W	5,8560±0,5703abc	0,0790±0,0012ab	0,0052±0,0009abc
	2W	4,1653±0,3328c-f	0,0794±0,0017a	0,0048±0,0012b-f
Fy	1N	5,3605±1,1212a-e	0,0767±0,0024ab	0,0048±0,0007b-f
	2N	5,4410±1,1466a-e	0,0757±0,0011b	0,0057±0,0007ab
	1W	5,9746±1,1280ab	0,0770±0,0013ab	0,0036±0,0003g
	2W	5,6467±1,0784a-d	0,0767±0,0011ab	0,0044±0,0007c-g
As	1N	5,6053±1,1324a-e	0,0571±0,0013c	0,0051±0,0007a-d
	2N	5,7760±1,0588a-d	0,0576±0,0017c	0,0062±0,0006a
	1W	6,1633±1,0998a	0,0571±0,0009c	0,0041±0,0002d-g
	2W	5,9017±1,0615abc	0,0578±0,0015c	0,0051±0,0006a-e
Ty	1N	5,0614±0,7215a-f	0,0565±0,0008c	0,0038±0,0002fg
	2N	3,9933±1,1522def	0,0566±0,0007c	0,0036±0,0006g
	1W	4,6251±0,2903a-f	0,0568±0,0006c	0,0037±0,0008fg
	2W	3,4904±0,7538f	0,0565±0,0008c	0,0034±0,0003g

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

5.3.2. Aktywność antyoksydacyjna i siła redukcji

W badaniach własnych stwierdzono, że biostymulator, liczba jego aplikacji i stężenie wpływało na właściwości antyoksydacyjne nasion fasoli (tab. 13). Rośliny traktowane preparatem Ke istotnie zwiększyły aktywność przeciwutleniającą wobec kationorodników $ABTS^{+}$ i siłę redukcji jonów żelaza w nasionach, odpowiednio o 155 i 57% w porównaniu do kontroli. Dobre efekty w zwiększeniu aktywności antyoksydacyjnej (o 150%) uzyskano także po dolistnej aplikacji Te w porównaniu do obiektu kontrolnego.

Aktywność antyoksydacyjna i siła redukcji zależała od stosowania biostymulatora, jednak nie stwierdzono wpływu stężenia i liczby aplikacji na badane cechy. Rośliny z kombinacji bez stosowania biostymulatora charakteryzowały się istotnie najniższą aktywnością przeciwutleniającą i siłą redukcji.

Nie wykazano także wpływu warunków pogodowych na badane cechy.

Analiza wariancji wykazała, że stosowanie biostymulatorów pozytywnie wpływa na aktywność antyoksydacyjną nasion fasoli (rys. 21). We wszystkich latach badań stwierdzono

istotnie większą aktywność przeciwutleniającą dla nasion uzyskanych z roślin traktowanych preparatem opartym na ekstrakcie z *E. maxima* (Ke), co w odniesieniu do obiektu kontrolnego dało ponad dwukrotne zwiększenie tej cechy.

Dolistne zastosowanie biostymulatora istotnie modyfikowało aktywność antyoksydacyjną nasion fasoli (rys. 22). W kombinacjach ze stosowaniem preparatów stwierdzono ponad dwukrotne zwiększenie tej cechy w porównaniu z kontrolą, niezależnie od stężenia i liczby wykonanych zabiegów. Jednak nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wartościami badanej cechy uzyskanymi dla różnych sposobów aplikacji biostymulatorów we wszystkich latach prowadzenia doświadczenia.

Rośliny opryskiwane naturalnymi biostymulatorami charakteryzowały się istotnie wyższą siłą redukcji w nasionach fasoli (rys. 23) we wszystkich latach badań. Wartość tej cechy uzyskana dla tych preparatów w latach 2016, 2017 i 2018 była średnio 1,5-krotnie większa w porównaniu do kombinacji, w której rośliny opryskiwano czystą wodą.

Zastosowanie we wszystkich latach badań biostymulatorów, niezależnie od stężenia i liczby aplikacji istotnie zwiększyło siłę redukcji w nasionach fasoli, średnio o 44% w porównaniu do kontroli (rys. 24). Jednak wartości uzyskane dla badanej cechy nie różniły się istotnie pomiędzy zastosowanymi stężeniami preparatu i liczbami wykonanych zabiegów.

Na podstawie otrzymanych wyników wykazano istotne współdziałanie czynników doświadczenia na właściwości przeciwutleniające nasion. Stwierdzono, że dwukrotne zastosowanie preparatu Ke w obu stężeniach, jak również jednokrotne zastosowanie tego preparatu w niższym stężeniu oraz Te w wyższym stężeniu najkorzystniej wpłynęło na aktywność antyoksydacyjną w nasionach fasoli (tab. 14). W kombinacjach tych stwierdzono istotne zwiększenie tej cechy średnio o 156% w porównaniu z obiektem kontrolnym. Biostymulatory oparte na ekstraktach z alg morskich bądź wolnych aminokwasach, tj. Ke, Te i Fy istotnie wpłynęły na zwiększenie siły redukcji średnio o 55% w porównaniu do kontroli.

Pozytywny wpływ dolistnej aplikacji ekstraktów z alg morskich na właściwości antyoksydacyjne roślin wykazano w badaniach prowadzonych w uprawie fasoli zwykłej (Kocira i in. 2018a, 2020b). Odmiana Aura najkorzystniej reagowała na dwukrotny oprysk ekstraktem z *E. maxima*, zastosowany w obu stężeniach, który spowodował dwukrotny wzrost aktywności przeciwutleniającej wobec kationorodników $ABTS^{+}$ w nasionach fasoli w odniesieniu do kombinacji bez biostymulatora. Natomiast u odmiany Toska zaobserwowano wzrost tej cechy o 13%, w porównaniu z kontrolą, po dwukrotnej aplikacji 0,4% stężenia biostymulatora (Kocira i in. 2018a).

Pomimo, że u odmiany Mexican Black nie stwierdzono istotnego wpływu stosowania Kelpaku SL na aktywność antyoksydacyjną nasion to zanotowano tendencję do zwiększania tej cechy o 34%, w porównaniu z kontrolą, po jednokrotnym stosowaniu preparatu w stężeniu 1% (Kocira i in. 2020b).

Jedynie u odmiany Aura stwierdzono istotne zwiększenie siły redukcji jonów żelaza w nasionach o 51-57%, w odniesieniu do kontroli, po zastosowaniu biostymulatora Kelpak SL, niezależnie od stężenia preparatu i liczby wykonanych zabiegów. Natomiast u odmiany Toska nie stwierdzono takiej zależności (Kocira i in. 2018a). Odmiana Mexican Black reagowała nieistotnym statystycznie zwiększeniem o 44% siły redukcji w nasionach wskutek jednokrotnego oprysku roślin 1% roztworem Kelpaku SL w odniesieniu do kombinacji bez biostymulatora (Kocira i in. 2020b).

Dolistna aplikacja Terra Sorb Complex spowodowała nieistotny statystycznie wzrost o 23% aktywności przeciwutleniającej nasion fasoli zwykłej odmiany Mexican Black wskutek jednokrotnej aplikacji 0,7% stężenia biostymulatora w porównaniu do kontroli. Z kolei tendencję do zwiększania trzykrotnie siłę redukcji charakteryzowały się nasiona odmiany Mexican Black dwukrotnie traktowane 1% stężeniem Terra Sorb Complex (Kocira i in. 2020b). O korzystnym wpływie preparatów opartych na aminokwasach w uprawie roślin bobowatych świadczy fakt, że zastosowanie nawet w małych dawkach aminokwasów będących jednym z elementów składowych tego biostymulatora tj. glutaminian, cysteina, fenyloalanina i glicyna zwiększyła w nasionach soi aktywność enzymów antyoksydacyjnych (Teixeira i in. 2017).

Kocira i in. (2018c). wykazali, że rośliny soi odmiany Annushka i Mavka dwukrotnie traktowane 0,7% roztworem Fyllotonu reagowały zwiększeniem siły redukcji, odpowiednio o 63 i 71% w porównaniu do kombinacji z jednokrotnym opryskiwaniem roślin tym samym stężeniem. Natomiast u odmiany Atlanta nie wykazano takiej zależności.

Nieistotne statystycznie zwiększenie o 35% aktywności przeciwutleniającej wobec ABTS+ w nasionach fasoli zwykłej odmiany Mexican Black stwierdzono po jednokrotnej aplikacji Asahi SL w stężeniu 0,2% w porównaniu z kontrolą. Natomiast nie stwierdzono takiej zależności w odniesieniu do cechy siły redukcji jonów żelaza (Szparaga i in. 2019).

U odmiany Aura i Toska stwierdzono brak istotnych różnic pomiędzy wartościami uzyskanymi dla siły redukcji, choć reakcja tych odmian była zróżnicowana. Dwukrotny oprysk roślin odmiany Aura 0,3% roztworem Asahi SL spowodował zwiększenie tej cechy o 33% w odnie4sieniu do obiektu kontrolnego. Z kolei u odmiany Toska zanotowano tendencję do zmniejszania się siły redukcji wraz ze zwiększaniem się stężenia preparatu (Kocira i in. 2018a).

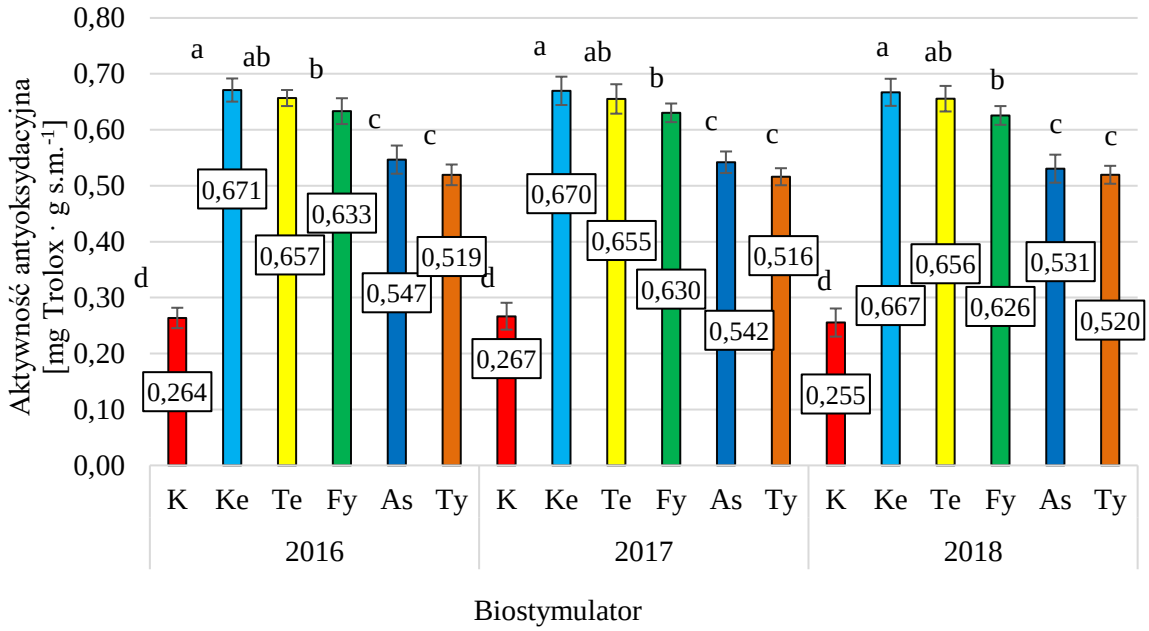
Najlepsze efekty w zwiększaniu siły redukcji w nasionach soi odmiany Atlanta, dwukrotny wzrost cechy w porównaniu z kontrolą i aplikacją niższego stężenia preparatu, wykazano w kombinacji z dwukrotnym zastosowaniem Asahi SL w stężeniu 0,2% (Szparaga i in. 2018).

Fasola zwykła odmiana Mexican Black dwukrotnie traktowana Tytanitem w stężeniu 0,07 i 0,13% reagowała zwiększeniem aktywności antyoksydacyjnej wobec $ABTS^+$ o 38% w odniesieniu do kombinacji bez stosowania biostymulatora. Natomiast nie stwierdzono istotnego statystycznie wpływu tego preparatu na zmianę siły redukcji w nasionach tej odmiany (Szparaga i in. 2019). Aplikacja Tytanitu w formie jednokrotnego oprysku roślin soi odmiany Atlanta 0,07% roztworem preparatu spowodowała ponad dwukrotny wzrost siły redukcji w nasionach w odniesieniu do kontroli i dwukrotnego zastosowania 0,07% stężenia Tytanitu (Szparaga i in. 2018).

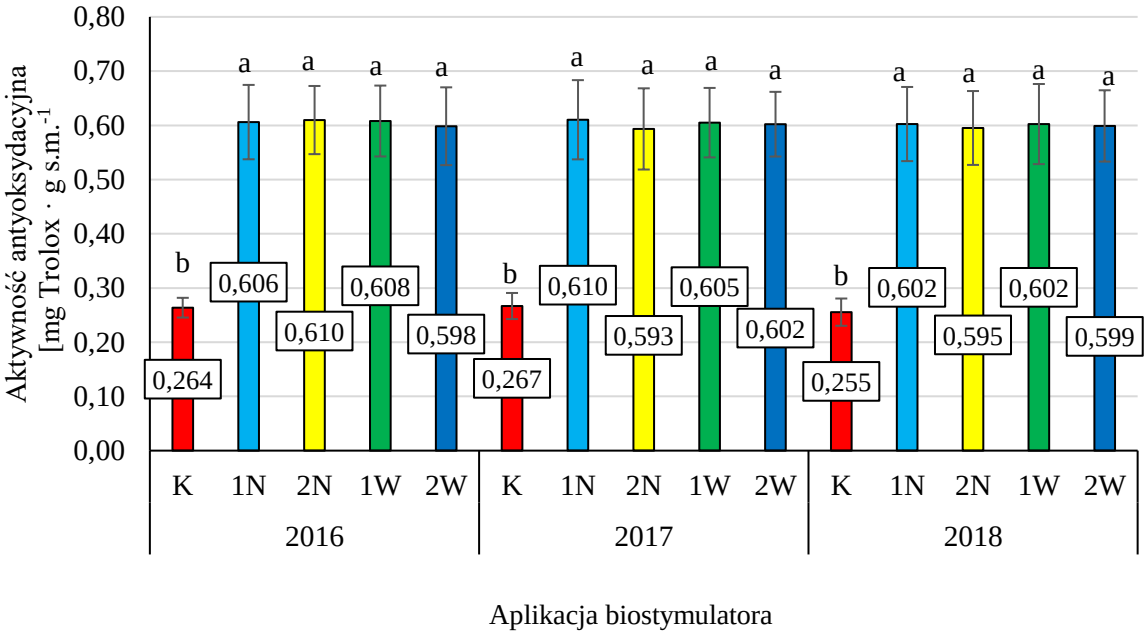
Tabela 13. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na właściwości antyoksydacyjne nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Aktywność antyoksydacyjna [mg Trolox g^{-1} s.m.]	Siła redukcji [mg Trolox g^{-1} s.m.]
Biostymulator	K	0,262±0,022e	0,192±0,008e
	Ke	0,669±0,023a	0,302±0,010a
	Te	0,656±0,021a	0,292±0,008b
	Fy	0,630±0,019b	0,295±0,011ab
	As	0,540±0,023c	0,255±0,012c
	Ty	0,518±0,016d	0,240±0,019d
Aplikacja preparatu	K	0,262±0,022b	0,192±0,008b
	1N	0,606±0,068a	0,278±0,026a
	2N	0,599±0,067a	0,277±0,026a
	1W	0,605±0,066a	0,276±0,026a
	2W	0,600±0,064a	0,276±0,032a
Lata	2016	0,537±0,142a	0,261±0,041a
	2017	0,535±0,137a	0,260±0,039a
	2018	0,531±0,143a	0,258±0,041a

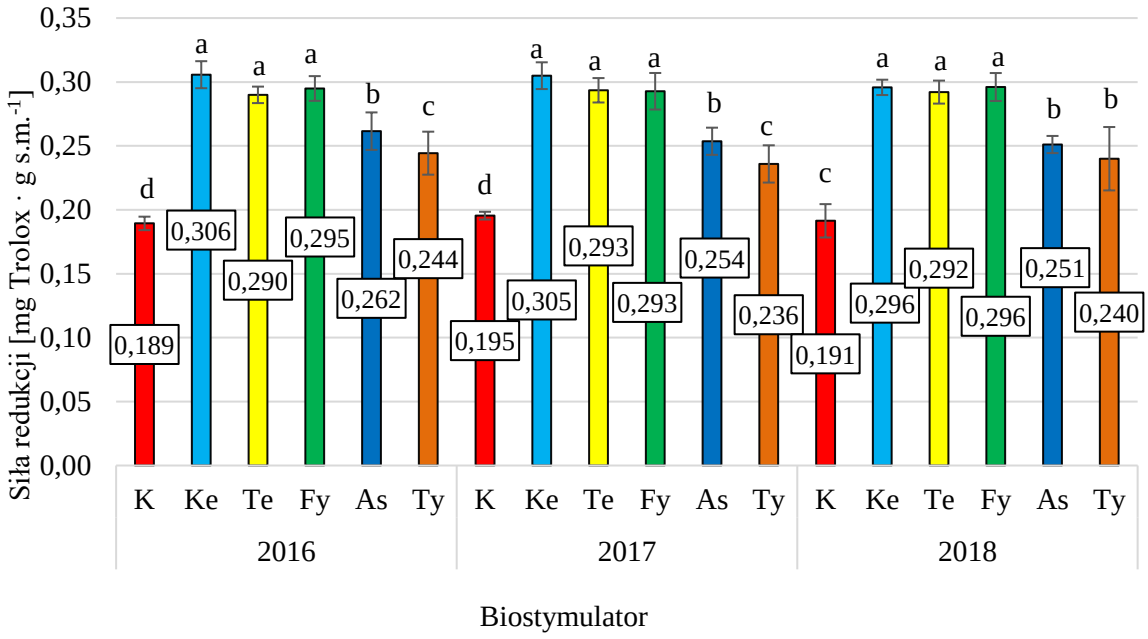
Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



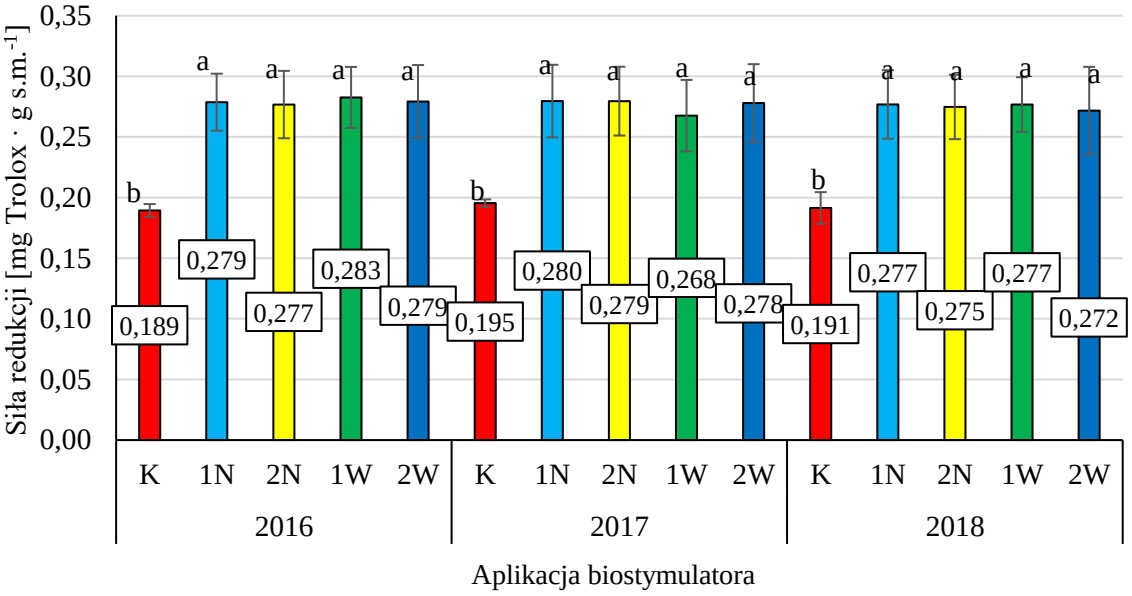
Rysunek 21. Wpływ biostymulatora na aktywność antyoksydacyjną wobec kationorodników ABTS+ w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg Trolox·g s.m.-1] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 22. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na aktywność antyoksydacyjną wobec kationorodników ABTS+ w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg Trolox·g s.m.-1] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 23. Wpływ biostymulatora na siłę redukcji jonów żelaza w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg Trolox·g s.m.-1] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 24. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na siłę redukcji jonów żelaza w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg Trolox·g s.m.-1] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 14. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na właściwości antyoksydacyjne nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Aktywność antyoksydacyjna [mg Trolox g^{-1} s.m.]	Siła redukcji [mg Trolox g^{-1} s.m.]
K	K	0,262±0,024e	0,192±0,009d
Ke	1N	0,671±0,019a	0,303±0,011a
	2N	0,670±0,023a	0,300±0,008a
	1W	0,665±0,028ab	0,300±0,009a
	2W	0,670±0,025a	0,307±0,012a
Te	1N	0,659±0,018abc	0,290±0,006a
	2N	0,643±0,019abc	0,296±0,011a
	1W	0,670±0,024a	0,288±0,008a
	2W	0,652±0,017abc	0,294±0,007a
Fy	1N	0,643±0,015abc	0,301±0,009a
	2N	0,636±0,020abc	0,290±0,013a
	1W	0,622±0,019bc	0,293±0,010a
	2W	0,618±0,009c	0,295±0,012a
As	1N	0,547±0,021d	0,250±0,009bc
	2N	0,530±0,021d	0,258±0,011b
	1W	0,544±0,030d	0,255±0,014b
	2W	0,539±0,023d	0,259±0,013b
Ty	1N	0,512±0,014d	0,249±0,015bc
	2N	0,518±0,017d	0,242±0,023bc
	1W	0,525±0,017d	0,242±0,018bc
	2W	0,520±0,017d	0,227±0,016c

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

5.3.3. Frakcje włókna i celulozy

W badaniach własnych wykazano, że zawartość poszczególnych frakcji włókna w nasionach fasoli zależna była od zastosowanego preparatu, jego stężenia i liczby aplikacji (tab. 15). Nasiona otrzymane z kombinacji, w której stosowano preparaty zawierające w składzie wolne aminokwasy (Te, Fy) charakteryzowały się ponad dwukrotnie większą zawartością włókna neutralno-detergentowego w odniesieniu do kontroli. Analizując frakcję kwaśną włókna stwierdzono istotne zwiększenie tej cechy o 71% w obiekcie kontrolnym w porównaniu z kombinacją, w której rośliny opryskiwano biostymulatorem Fy. Zawartość ligniny w nasionach była również istotnie najwyższa w kontroli, średnio ponad trzykrotnie, w odniesieniu do kombinacji z dolistnym stosowaniem Te, Fy i As.

Biorąc pod uwagę stężenie i liczbę aplikacji biostymulatora wykazano, że zastosowanie wyższego stężenia, niezależnie od liczby aplikacji, jak również dwukrotne stosowanie

niższego stężenia istotnie zwiększyło zawartość frakcji neutralnej włókna w nasionach, średnio ponad dwukrotnie, w porównaniu z kontrolą. Rośliny, które nie traktowano biostymulatorem charakteryzowały się istotnie wyższą zawartością frakcji kwaśnej włókna i ligniny w nasionach. Stosowanie biostymulatora niezależnie od stężenia i liczby wykonanych zabiegów zmniejszyło zawartość frakcji kwaśnej włókna. Z kolei wyższe stężenie biostymulatora, niezależnie od liczby aplikacji, negatywnie wpłynęło na zawartość ligniny.

Rośliny fasoli w poszczególnych latach badań różnie reagowały na aplikację biostymulatora. Zawartość frakcji neutralnej włókna była najwyższa w drugim roku badań. Natomiast w przypadku ligniny największą jej wartość uzyskano w pierwszym i trzecim roku badań. Nie stwierdzono istotnego wpływu warunków meteorologicznych panujących w poszczególnych latach badań na zawartość frakcji kwaśnej włókna w nasionach.

We wszystkich latach badań zastosowanie biostymulatora opartego na wolnych aminokwasach (Te) spowodowało istotne zwiększenie zawartości włókna neutralno-detergentowego w nasionach fasoli w porównaniu do obiektu, w którym nie stosowano preparatów (rys. 25). Wartości uzyskane dla tej cechy były 8-krotnie wyższe w latach 2016 i 2018 oraz 2-krotnie wyższe w drugim roku badań.

Analiza wariancji wykazała, że we wszystkich latach badań najkorzystniej na zawartość włókna neutralno-detergentowego w nasionach fasoli wpłynęło dwukrotne opryskiwanie roślin niższym stężeniem biostymulatora, co dało zwiększenie tej cechy o 87, 71 i 65% (odpowiednio dla lat 2016, 2017 i 2018) w porównaniu do kontroli (rys. 26). Dobre efekty w istotnym zwiększeniu badanej cechy uzyskano także przy zastosowaniu wyższego stężenia w obu aplikacjach w latach 2017 i 2018 oraz jednokrotnego oprysku roślin niższym stężeniem w ostatnim roku badań.

Zawartość włókna kwaśno-detergentowego w nasionach fasoli była zależna od stosowanego biostymulatora (rys. 27). W 2017 roku najkorzystniej na tą frakcję włókna wpłynęło opryskiwanie roślin preparatami Ke i Te, odpowiednio o 7 i 5% w porównaniu do kontroli. Z kolei w pierwszym i trzecim roku badań zastosowanie biostymulatorów istotnie zmniejszyło wartość tej cechy. W tych latach wyraźnie mniejszą zawartość włókna kwaśno-detergentowego otrzymano po aplikacji biostymulatora Fy, odpowiednio o 69 i 99% w odniesieniu do obiektu kontrolnego.

Analizując wyniki uzyskane dla zawartości włókna kwaśno-detergentowego w nasionach fasoli stwierdzono, że w 2016 i 2018 roku kombinacje, w których rośliny opryskiwano czystą wodą charakteryzowały się istotnym zwiększeniem tej cechy, średnio o 53%, w porównaniu z kombinacjami ze stosowaniem biostymulatorów (rys. 28). Jedynie

w drugim roku badań stosowanie biostymulatorów w formie dwukrotnego oprysku roślin wyższym stężeniem dało istotne zwiększenie tej cechy o 8% w porównaniu z kontrolą.

W oparciu o wyniki otrzymane dla zawartości ligniny kwaśno-detergentowej w nasionach fasoli stwierdzono, że stosowanie biostymulatorów w 2016 i 2018 roku wyraźnie zmniejszyło wartość tej cechy w odniesieniu do kontroli (rys. 29). Z kolei w drugim roku badań nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy poszczególnymi kombinacjami ze stosowaniem biostymulatora i obiektem kontrolnym.

Biorąc pod uwagę zawartość ligniny kwaśno-detergentowej w nasionach fasoli wykazano, że stosowanie biostymulatorów w 2016 i 2018 roku istotnie zmniejszyło wartość tej cechy, średnio 8-krotnie (rys. 30). Natomiast w 2017 roku istotnie największą zawartość ligniny otrzymano po jednokrotnej aplikacji preparatu w niższym stężeniu w odniesieniu do kontroli, uzyskując zwiększenie tej cechy o 45%.

Stwierdzono interakcję biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji odnośnie wpływu na badane cechy (tab. 16). Analiza wariancji wykazała, że frakcja neutralna włókna była determinowana stosowaniem biostymulatora, jego stężeniem i liczbą wykonanych zabiegów. Najkorzystniej na badaną cechę wpłynęło stosowanie wyższego stężenia Te, niezależnie od liczby aplikacji oraz dwukrotne stosowanie tego biostymulatora w wyższym stężeniu w odniesieniu do kontroli. W tych kombinacjach uzyskano ponad trzykrotne zwiększenie tej cechy.

Frakcja kwaśna włókna była istotnie najwyższa w obiekcie kontrolnym (o 112%) w porównaniu z jednokrotnym stosowaniem Fy w wyższym stężeniu. Ponadto stwierdzono, że rośliny nie traktowane biostymulatorem uzyskały największą zawartość ligniny w nasionach, która nie różniła się tylko z kombinacjami z dwukrotnym opryskiem roślin niższym stężeniem Te i As, dwukrotnym wyższym stężeniem Ke oraz niższym stężeniem Ty w obu aplikacjach.

Badania prowadzone przez Kocira i in. (2018d) potwierdziły korzystny wpływ jednokrotnego oprysku roślin soi odmiany Annushka, Mavka i Atlanta 0,7% roztworem Fyllotonu na zawartość frakcji neutralno-detergentowej włókna w nasionach. Odmiana Annushka pozytywnie reagowała także na zastosowanie 1% roztworu preparatu w obu liczbach aplikacji, co w odniesieniu do kontroli i dwukrotnego stosowania 0,7% stężenia dało zwiększenie wartości badanej cechy o 27-29%. Z kolei u odmiany Mavka wykazano zwiększenie włókna neutralnego o 24-25% w kombinacji z dwukrotnym stosowaniem wyższego (1%) stężenia Fyllotonu w porównaniu do obiektu kontrolnego. Natomiast u odmiany Atlanta dobre efekty w zwiększaniu tej frakcji włókna (o 28-37%) dał także

dwukrotny oprysk niższym oraz jednokrotny wyższym stężeniem Fyllotonu w odniesieniu do kombinacji z dwukrotnym stosowaniem 1% stężenia (Kocira i in. 2018d).

Zawartość frakcji kwaśnej włókna istotnie wzrosła u soi odmiany Annushka i Atlanta po jednokrotnym traktowaniu roślin niższym stężeniem Fyllotonu. Natomiast odmiana Mavka i Annushka dobrze reagowała na dwukrotną aplikację wyższego stężenia Fyllotonu. Biorąc pod uwagę wyżej wymienione kombinacje stwierdzono u odmiany Annushka i Mavka wzrost kwaśnej frakcji włókna odpowiednio o 8-14% i 18-21% w porównaniu z dwukrotnym stosowaniem 0,7% stężenia, a u odmiany Mavka dodatkowo w porównaniu z kontrolą. Natomiast u odmiany Atlanta wzrost o 39% w porównaniu z kontrolą (Kocira i in. 2018d).

Zawartość ligniny w nasionach soi odmiany Annushka i Mavka istotnie wzrosła po dwukrotnym zastosowaniu 1% roztworu Fyllotonu, jak również u odmiany Mavka w kombinacji z jednokrotnym opryskiem roślin 0,7% stężeniem preparatu lub czystą wodą w odniesieniu do dwukrotnej aplikacji 0,7% roztworu biostymulatora, co dało wzrost tej cechy odpowiednio o 42 i 44-55%. Jednak największy, ponad dwukrotny wzrost zawartości ligniny w nasionach zaobserwowano u odmiany Atlanta jednokrotnie traktowanej 0,7% roztworem Fyllotonu w porównaniu do kontroli (Kocira i in. 2018d).

Biostymulator oparty na związkach nitrofenolowych (Asahi SL) zastosowany w formie oprysku roślin soi odmiany Atlanta wyższym stężeniem, w obu liczbach aplikacji, lub czystą wodą spowodował wzrost zawartość włókna neutralnego w nasionach w porównaniu do zastosowania niższego stężenia preparatu, niezależnie od liczby jego aplikacji (Szparaga i in. 2018). Natomiast u fasoli zwykłej odmiany Mexican Black stwierdzono jedynie tendencję do wzrostu zawartości frakcji neutralnej włókna w nasionach (o 42%) po dwukrotnej aplikacji 0,1% stężenia Asahi SL w porównaniu do jednokrotnej zastosowaniu tego samego stężenia (Szparaga i in. 2019).

Wykazano, że nasiona soi odmiany Atlanta traktowane dwukrotnie Asahi SL w obu stężeniach charakteryzowały się największą zawartością włókna kwaśnego w porównaniu do kontroli i jednokrotnego stosowania biostymulatora (Szparaga i in. 2018). Z kolei u fasoli zwykłej odmiany Mexican Black stwierdzono nieistotny statystycznie wzrost wartości tej cechy o 50% po jednokrotnej aplikacji niższego stężenia w odniesieniu do dwukrotnej aplikacji 0,2% roztworu Asahi SL (Szparaga i in. 2019).

Zwiększenie zawartości ligniny w nasionach soi odmiany Atlanta o 40% stwierdzono w kombinacji z dwukrotnym stosowaniem Asahi SL w stężeniu 0,1% w odniesieniu do jednokrotnego stosowania tego preparatu w wyższym stężeniu (Szparaga i in. 2018). Fasola zwykła odmiana Mexican Black reagowała dwukrotnym wzrostem zawartości ligniny

w nasionach, ale nieistotnym statystycznie, w kombinacji z jednokrotnym opryskiem roślin wyższym stężeniem w porównaniu do kontroli. Jednak dwukrotne zastosowanie tego samego stężenia biostymulatora spowodowało trzykrotne zmniejszenie zawartości tej cechy w odniesieniu do obiektu kontrolnego (Szparaga i in. 2019).

Dolistna aplikacja Tytanitu w uprawie soi odmiana Atlanta w formie jednokrotnego oprysku roślin 0,13% stężeniem lub czystą wodą spowodowało wzrost zawartości neutralnej frakcji włókna o 18-24% w porównaniu do dwukrotnego oprysku roślin wyższym stężeniem (Szparaga i in. 2018). Natomiast u fasoli zwykłej odmiany Mexican Black zanotowano jedynie tendencję do zwiększenia tej frakcji włókna o 80% w kombinacji bez stosowania biostymulatora w odniesieniu do jednokrotnego oprysku roślin 0,07% roztworem Tytanitu (Szparaga i in. 2019).

Stwierdzono, że rośliny soi odmiany Atlanta charakteryzowały się tendencją do wzrostu o 13-17% zawartości włókna kwaśnego w nasionach zarówno po jednokrotnej aplikacji niższego, jak dwukrotnej wyższego stężenia Tytanitu w porównaniu do kontroli. Z kolei fasola zwykła odmiana Mexican Black wyróżniała się nieistotnym statystycznie wzrostem o 16-24% włókna frakcji kwaśnej po dwukrotnej aplikacji 0,13% stężenia Tytanitu w odniesieniu do kontroli i pozostałych kombinacji ze stosowaniem preparatu (Szparaga i in. 2019).

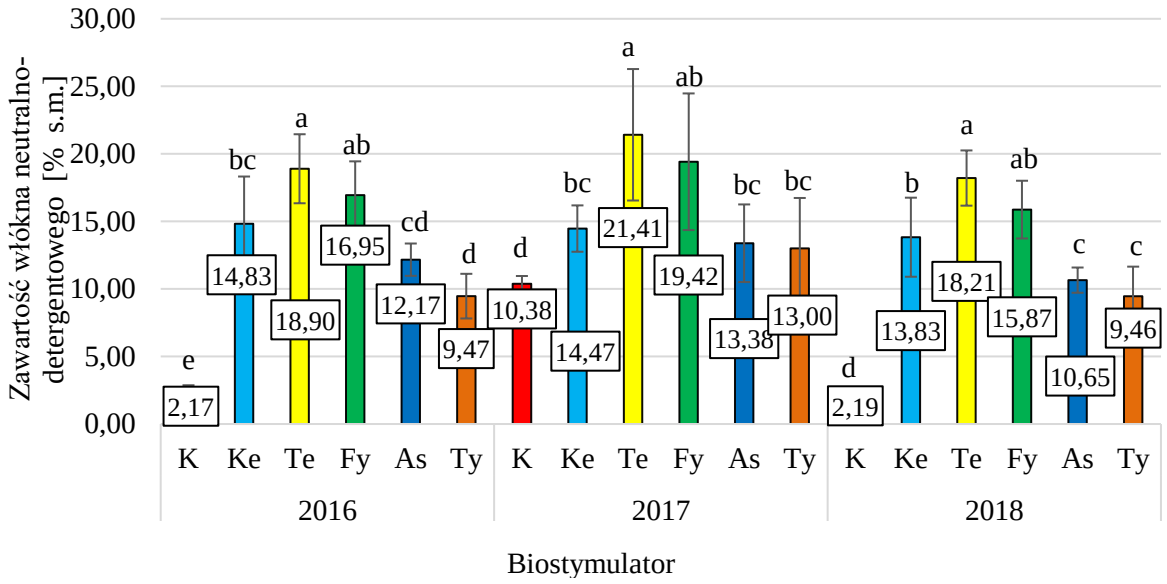
Zastosowanie Tytanitu w uprawie soi odmiana Atlanta w formie jednokrotnego oprysku niższym i dwukrotnego wyższym stężeniem preparatu spowodowało nieistotny statystycznie wzrost o 47-49% zawartości ligniny w nasionach w porównaniu z kontrolą (Szparaga i in. 2018). Natomiast u fasoli zwykłej odmiany Mexican Black stwierdzono występowanie tendencji do dwukrotnego zwiększenia tej cechy w kombinacji z jednokrotnym stosowaniem 0,07% roztworu Tytanitu w odniesieniu do dwukrotnego oprysku roślin tym samym stężeniem (Szparaga i in. 2019).

Silva i in. (2016) stwierdzili, że zwiększenie stężenia giberelin w roślinach wskutek dolistnego stosowania biostymulatorów powoduje zmianę w procesie tworzenia się włókna surowego włókna i jego frakcji

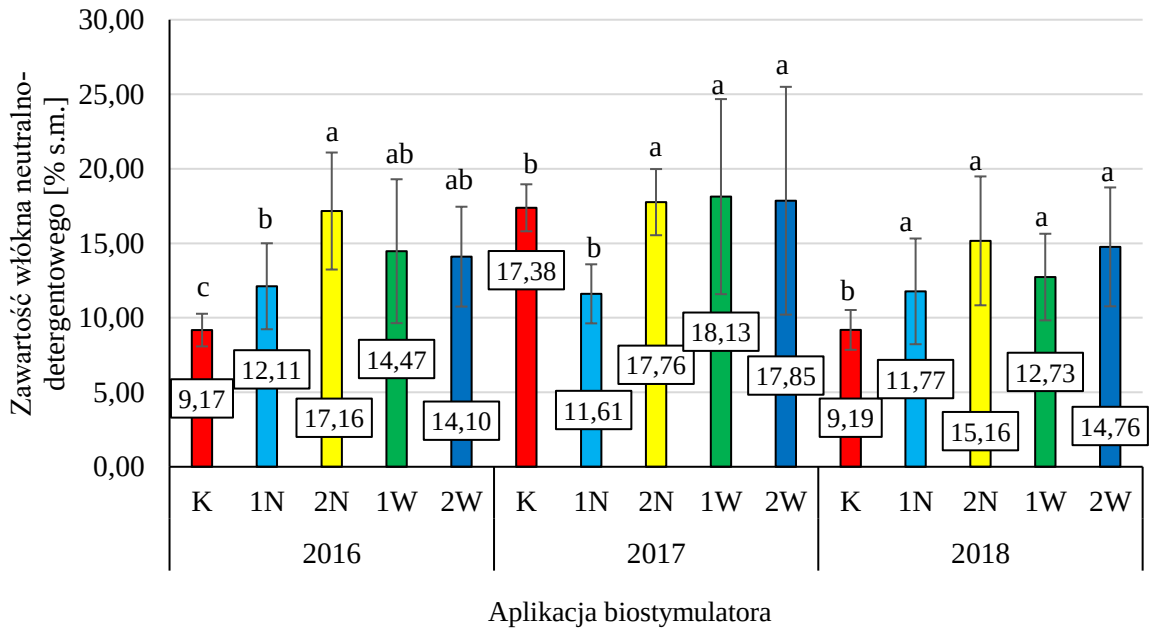
Tabela 15. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość włókna w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Włókno neutralno-detergentowe [% s.m.]	Włókno kwaśno-detergentowe [% s.m.]	Lignina kwaśno-detergentowa [% s.m.]
Biostymulator	K	4,91±3,97d	10,62±1,58a	5,79±3,36a
	Ke	14,37±2,72b	9,27±1,27b	2,03±0,84bc
	Te	19,51±4,43a	7,17±1,19cd	1,11±0,70c
	Fy	17,41±4,56a	6,21±1,33d	1,13±0,69c
	As	12,07±1,75bc	8,29±1,81bc	1,78±1,40c
	Ty	10,64±3,07c	8,08±2,00bc	3,61±3,79b
Aplikacja preparatu	K	4,91±3,97c	10,62±1,58a	5,79±3,36a
	1N	11,83±2,78b	7,96±1,84b	2,85±3,63b
	2N	16,69±3,67a	8,35±1,13b	2,44±1,16bc
	1W	15,11±5,33a	7,20±1,94b	1,21±0,55c
	2W	15,57±5,41a	7,70±2,17b	1,20±0,84c
Lata	2016	12,00±5,94b	8,56±1,93a	3,32±3,02a
	2017	15,15±5,79a	8,04±2,15a	1,65±2,14b
	2018	11,32±5,55b	8,50±2,23a	3,14±2,23a

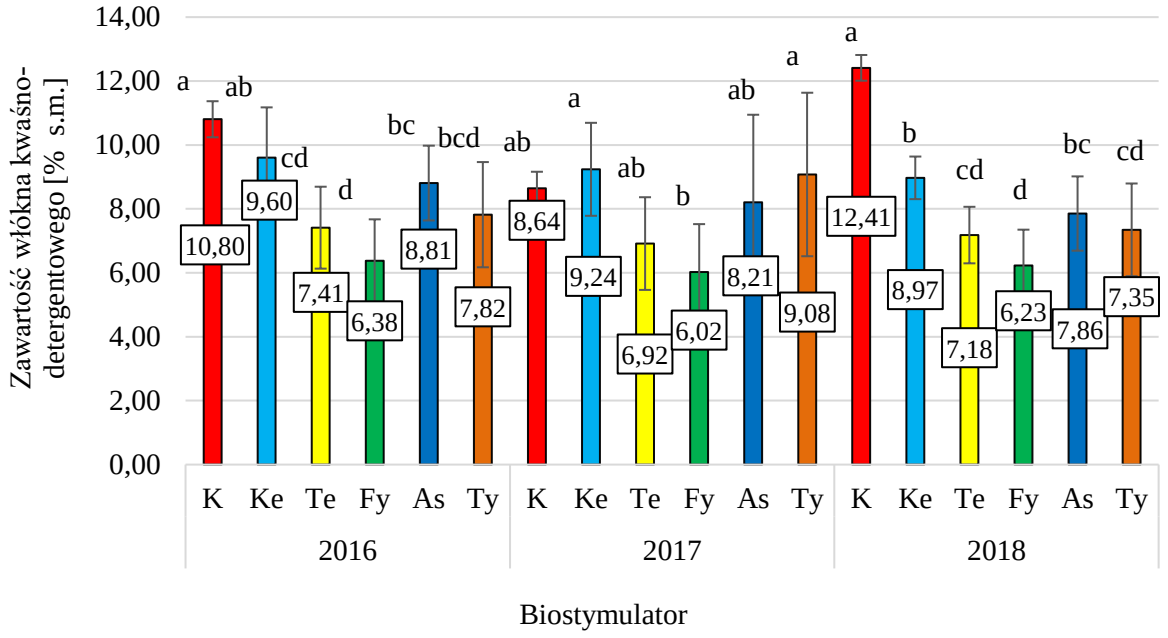
Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



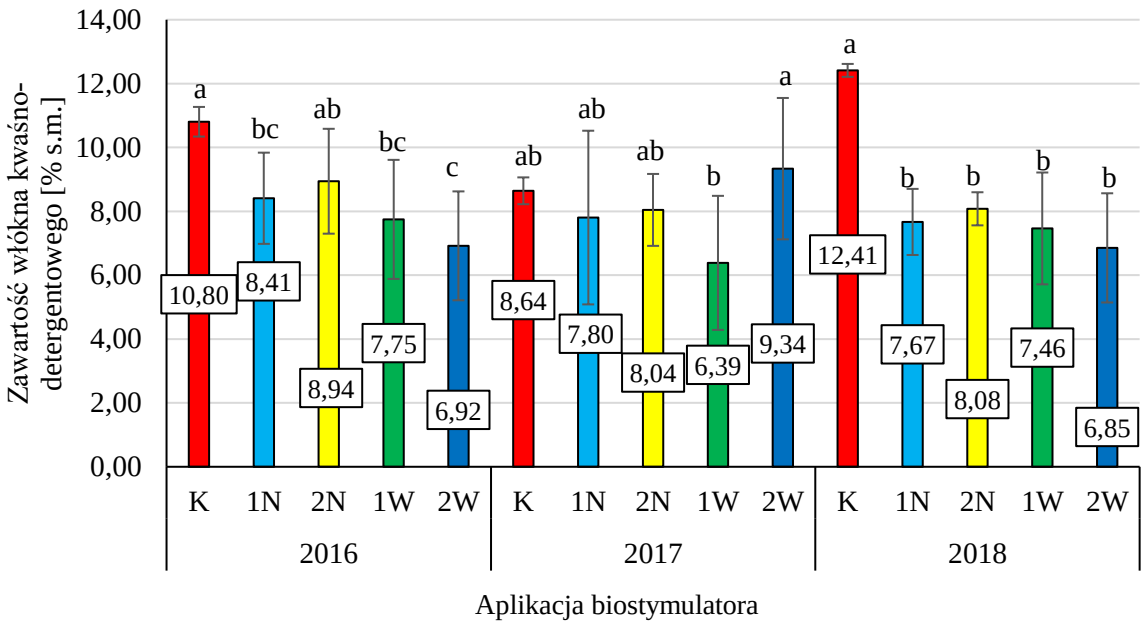
Rysunek 25. Wpływ biostymulatora na zawartość włókna neutralno-detergentowego w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



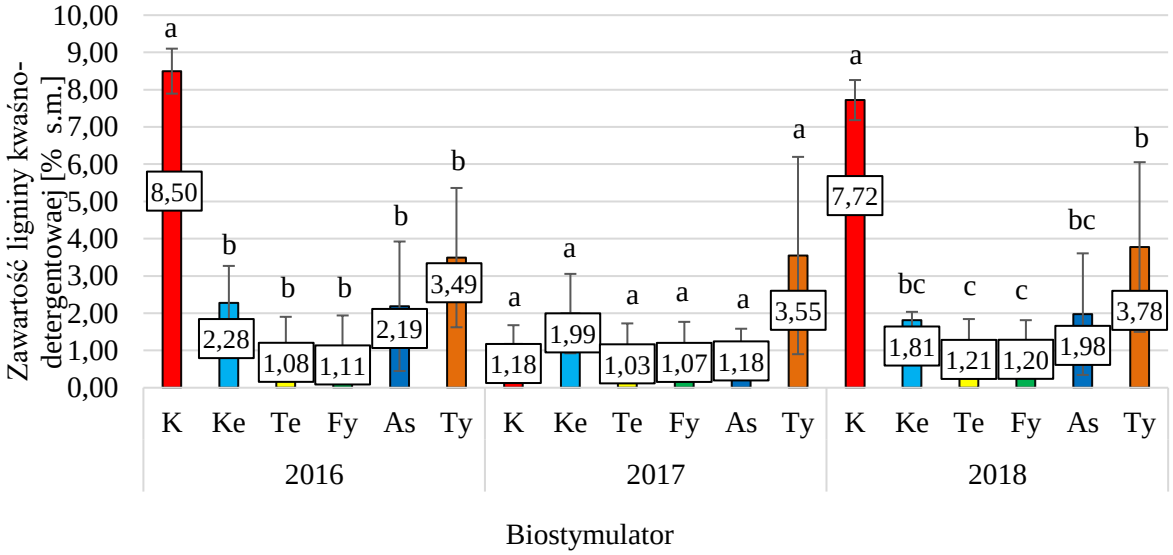
Rysunek 26. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość włókna neutralno-detergentowego w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



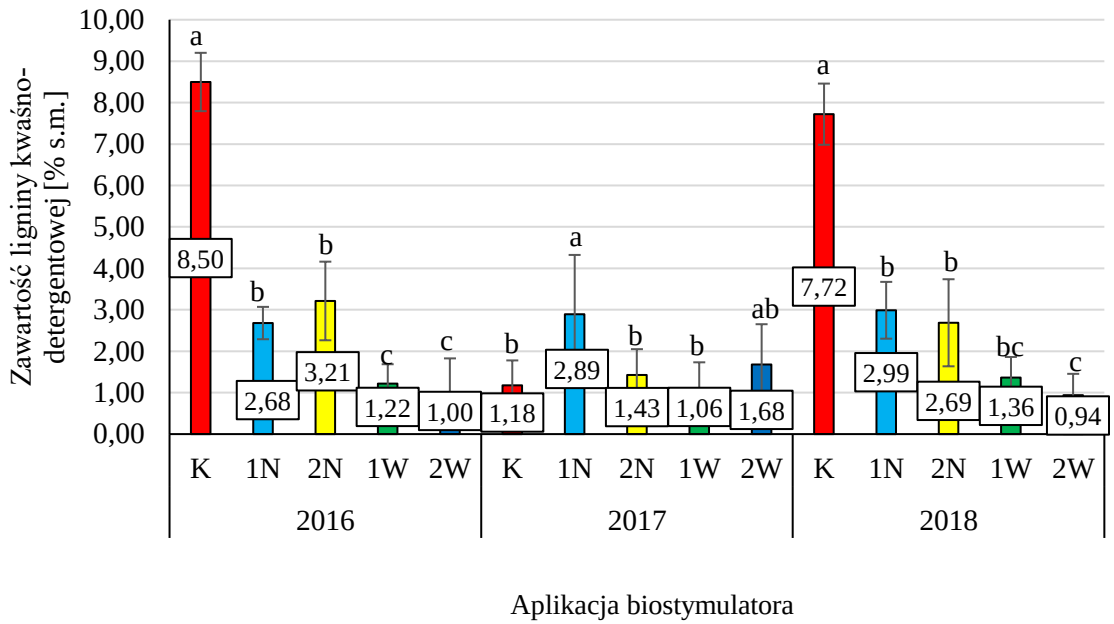
Rysunek 27. Wpływ biostymulatora na zawartość włókna kwaśno-detergentowego w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 28. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość włókna kwaśno-detergentowego w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 29. Wpływ biostymulatora na zawartość ligniny kwaśno-detergentowej w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 30. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość ligniny kwaśno-detergentowej w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 16. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość włókna w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Włókno neutralno-detergentowe [% s.m.]	Włókno kwaśno-detergentowe [% s.m.]	Lignina kwaśno-detergentowa [% s.m.]
K	K	4,91±4,25f	10,62±1,70a	5,79±3,60a
Ke	1N	12,71±1,06cde	9,21±1,15abc	1,90±0,68b
	2N	16,75±2,41a-d	9,03±1,49a-d	2,00±1,02b
	1W	11,61±1,04de	8,64±1,40a-d	1,58±0,68b
	2W	16,42±1,34a-d	10,19±0,55ab	2,63±0,75ab
Te	1N	14,19±2,48b-e	6,69±0,90cde	0,54±0,32b
	2N	21,22±0,73a	8,41±0,83a-d	2,21±0,14ab
	1W	21,33±4,04a	6,13±0,37de	0,79±0,15b
	2W	21,28±4,68a	7,46±1,17b-e	0,90±0,16b
Fy	1N	12,12±2,52de	5,99±0,83de	0,53±0,15b
	2N	18,87±1,19abc	7,61±0,93a-e	2,22±0,28ab
	1W	19,45±4,48ab	4,99±0,53e	0,79±0,13b
	2W	19,21±4,75ab	6,25±1,46cde	0,97±0,19b
As	1N	12,05±1,39de	9,84±1,90ab	1,47±0,18b
	2N	13,85±1,85b-e	8,93±0,57a-d	3,54±1,74ab
	1W	11,20±0,55def	7,89±1,88a-e	1,44±0,66b
	2W	11,17±1,67def	6,50±0,45cde	0,68±0,41b
Ty	1N	8,08±2,18ef	8,08±0,60a-d	2,81± 1,46ab
	2N	12,78±2,85cde	7,80±1,60a-e	2,23±1,31ab
	1W	11,95±3,57de	8,34±2,01a-d	1,46±0,44b
	2W	9,77±1,21ef	8,11±3,37a-d	0,90±0,28b

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Badania własne potwierdziły, że na zawartość hemicelulozy i celulozy w nasionach fasoli wpływał biostymulator, jego stężenie i liczba aplikacji, a na zawartość celulozy także warunki pluwiotermiczne panujące w latach badań (tab. 17).

Nasiona wykształcone przez rośliny traktowane w okresie wegetacji preparatami zawierającymi wolne aminokwasy (Te, Fy) charakteryzowały się istotnie większą koncentracją hemicelulozy, ponad dwudziestokrotnie wyższą w porównaniu do kontroli. Z kolei opryskiwanie roślin ekstraktem z *E. maxima* (Ke) istotnie zwiększyło, średnio o 49%, zawartość celulozy w nasionach fasoli w odniesieniu do kontroli i kombinacji ze stosowaniem Ty.

Nasiona charakteryzujące się wyraźnie większą koncentracją hemicelulozy, ponad trzynastokrotnie, zawiązały rośliny fasoli opryskiwane dwukrotnie niższym, jak również wyższym stężeniem w obu liczbach aplikacji, w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Istotne zwiększenie celulozy w nasionach fasoli stwierdzono po dwukrotnej aplikacji wyższego stężenia biostymulatora w porównaniu do kontroli.

Biorąc pod uwagę zawartość celulozy w nasionach stwierdzono, że najmniej korzystne warunki klimatyczne panowały w latach 2016 i 2018, gdyż spowodowały istotne zmniejszenie wartości badanej cechy odpowiednio o 24 i 19% w porównaniu z 2017 r. Nie stwierdzono wpływu warunków pogodowych w latach badań za zawartość hemicelulozy.

Zawartość hemicelulozy w nasionach fasoli była determinowana zastosowaniem biostymulatora (rys. 31). We wszystkich latach badań najlepsze efekty uzyskano po aplikacji preparatów zawierających wolne aminokwasy tj. Te i Fy, co dało zwiększenie tej cechy, średnio o 9-krotnie, w porównaniu do kontroli. Dodatkowo w latach 2016 i 2018 stosowanie biostymulatorów wpłynęło na zawartość hemicelulozy, która nie występowała w obiekcie kontrolnym.

Analiza wariancji wykazała, że w pierwszym i trzecim roku badań opryskiwanie roślin wyższym stężeniem w obu aplikacjach oraz dwukrotne stosowanie niższego stężenia istotnie zwiększyło koncentrację hemicelulozy w nasionach fasoli (rys. 32). Wartość tej cechy w tych kombinacjach była 5 – 8 krotnie wyższa niż w obiekcie kontrolnym, gdzie nie zanotowano zawartości hemicelulozy. Z kolei w 2017 roku najlepsze efekty uzyskano po jednokrotnym oprysku roślin wyższym stężeniem, co dało ponad 6-krotne zwiększenie tej cechy w porównaniu do kontroli.

Aplikacja biostymulatorów wpłynęła na zawartość celulozy w nasionach fasoli (rys. 33). Stwierdzono, że opryskiwanie roślin ekstraktem z *E. maxima* (Ke) w 2016 roku stymulowało trzykrotne zwiększenie zawartości celulozy w porównaniu do kontroli.

W kolejnym roku badań najwyższą wartość tej cechy stwierdzono zarówno po aplikacji Ke, jak i w obiekcie kontrolnym w odniesieniu do kombinacji ze stosowaniem Ty (zwiększenie średnio o 57%). Ostatni rok badań charakteryzował się istotnym zwiększeniem tej cechy, średnio o 63%, po aplikacji Ke w porównaniu do kontroli i stosowania Ty.

Jedynie w pierwszym roku badań stwierdzono korzystny wpływ stosowania biostymulatorów, niezależnie od stężenia i liczby wykonanych zabiegów, na zawartość celulozy w nasionach fasoli w porównaniu do kontroli (rys. 34). Wykazano zwiększenie tej cechy w zakresie 48-83% w odniesieniu do kombinacji, w której nie stosowano preparatów. W pozostałych latach badań nie stwierdzono istotnego wpływu stosowania różnych stężeń i liczby aplikacji na badaną cechę.

Wykazano interakcję czynników doświadczenia w kształtowaniu badanych cech. Zastosowanie biostymulatorów w uprawie fasoli istotnie różnicowało zawartość hemicelulozy i celulozy w nasionach (tab. 18). Najlepsze efekty w zwiększaniu koncentracji hemicelulozy uzyskano po zastosowaniu wyższego stężenia biostymulatorów opartych na wolnych aminokwasach, tj. Te i Fy, jak również dwukrotnej aplikacji niższego stężenia Te w porównaniu z kontrolą oraz jednokrotnym stosowaniem niższego stężenia Ty.

Z kolei istotne zwiększenie zawartości celulozy stwierdzono po jednokrotnym stosowaniu niższego stężenia As w porównaniu z takim samym sposobem aplikacji Ty.

Badania prowadzone w uprawie soi wykazały, że traktowanie roślin w formie jednokrotnego oprysku 0,7% i dwukrotnego 1% stężeniem biostymulatora Fylloton spowodowało wzrost zawartości hemicelulozy w nasionach w odniesieniu do kontroli i dwukrotnego stosowania niższego stężenia preparatu. Z kolei odmiana Mavka reagowała 10-krotnym zwiększeniem tej cechy po dwukrotnej aplikacji niższego stężenia tego biostymulatora w odniesieniu do jednokrotnego oprysku roślin 1% roztworem preparatu. Również u odmiany Atlanta stwierdzono 10-krotny wzrost zawartości hemicelulozy w obiekcie kontrolnym w odniesieniu do dwukrotnego stosowania wyższego stężenia Fyllotonu (Kocira i in. 2018d).

Zawartość celulozy w nasionach soi odmiany Annushka wzrosła o 16% po jednokrotnej aplikacji niższego w porównaniu do dwukrotnego stosowania wyższego stężenia Fyllotonu. Odmiana Mavka reagowała wzrostem o 32-44% zawartości celulozy w nasionach we wszystkich kombinacjach ze stosowaniem Fyllotonu w odniesieniu do kontroli. Natomiast u odmiany Atlanta zanotowano 12-18% wzrost tej cechy w kombinacji z jednokrotnym stosowaniem wyższego stężenia biostymulatora w porównaniu do wyników otrzymanych

w obiekcie kontrolnym i pozostałych kombinacjach ze stosowaniem Fyllotonu (Kocira i in. 2018d).

Wykazano trzykrotny wzrost zawartości hemicelulozy w nasionach soi odmiany Atlanta w kombinacji, w której do opryskiwania roślin użyto czystej wody w odniesieniu do kombinacji, w której nie stwierdzono jej występowania, tj. przy zastosowaniu niższego stężenia Asahi SL (Szparaga i in. 2018). Z kolei u fasoli zwykłej odmiany o czarnych nasionach (Mexican Black) zanotowano tendencję do trzykrotnego wzrostu zawartości hemicelulozy w nasionach po dwukrotnym stosowaniu 0,1% stężenia Asahi SL w odniesieniu do jednokrotnego zastosowania tego samego stężenia biostymulatora (Szparaga i in. 2019).

Rośliny soi odmiany Atlanta dwukrotnie traktowane 0,2% stężeniem Asahi SL charakteryzowały się największą zawartością celulozy w nasionach w odniesieniu do jednokrotnego zastosowania niższego stężenia biostymulatora (Szparaga i in. 2018). Z kolei w uprawie fasoli zwykłej odmiany Mexican Black nie stwierdzono istotnych różnic we wpływie tego biostymulatora na zawartość celulozy w nasionach (Szparaga i in. 2019).

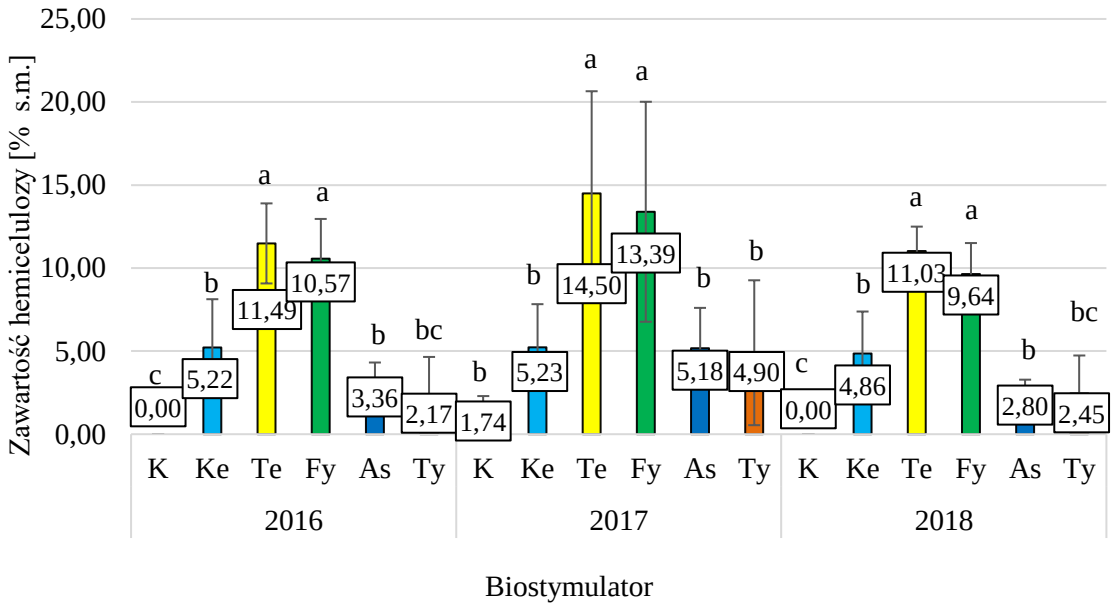
Wykazano, że rośliny soi odmiany Atlanta, które wyrosły w obiekcie kontrolnym charakteryzowały się 5-krotnym wzrostem zawartości hemicelulozy w odniesieniu do kombinacji z jednokrotnym stosowaniem 0,07% i dwukrotnym stosowaniem 0,13% stężenia Tytanitu (Szparaga i in. 2018). Z kolei u fasoli zwykłej odmiany Mexican Black stwierdzono występowanie tendencji do 7-krotnego wzrostu zawartości hemicelulozy w nasionach roślin, które traktowano w okresie wegetacji czystą wodą w odniesieniu do dwukrotnej aplikacji Tytanitu w wyższym stężeniu (Szparaga i in. 2019).

Natomiast nie stwierdzono występowania istotnych różnic we wpływie Tytanitu na zawartość celulozy w nasionach soi odmiany Atlanta oraz fasoli zwykłej odmiany Mexican Black (Szparaga i in. 2018, 2019).

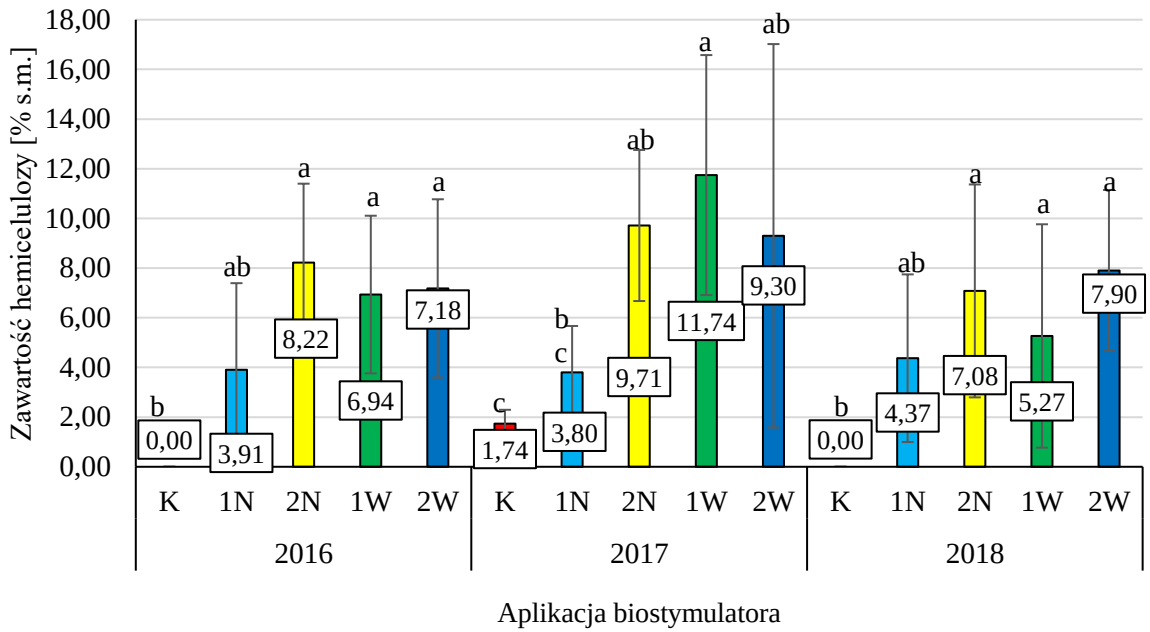
Tabela 17. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość celulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Hemiceluloza [% s.m.]	Celuloza [% s.m.]
Biostymulator	K	0,58±0,19c	4,82±2,16c
	Ke	5,10±2,57b	7,24±0,56a
	Te	12,37±4,05a	6,06±0,85abc
	Fy	11,20±4,33a	5,08±0,97bc
	As	3,78±1,80b	6,51±1,69ab
	Ty	3,17±3,29b	4,90±1,64c
Aplikacja preparatu	K	0,58±0,19c	4,82±2,16b
	1N	4,03±1,91b	5,46±3,12ab
	2N	8,34±3,65a	5,91±1,55ab
	1W	7,98±3,70a	5,99±1,46ab
	2W	8,13±3,15a	6,50±1,66a
Lata	2016	5,25±3,73a	5,25±2,27b
	2017	7,26±3,39a	6,50±2,33a
	2018	4,92±1,32a	5,45± 1,61b

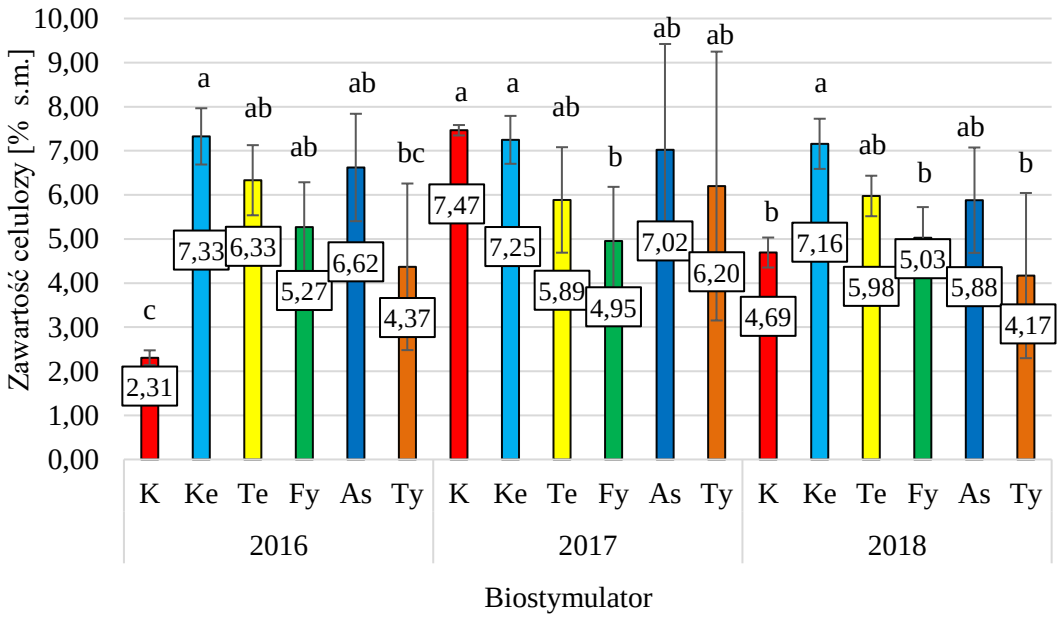
Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



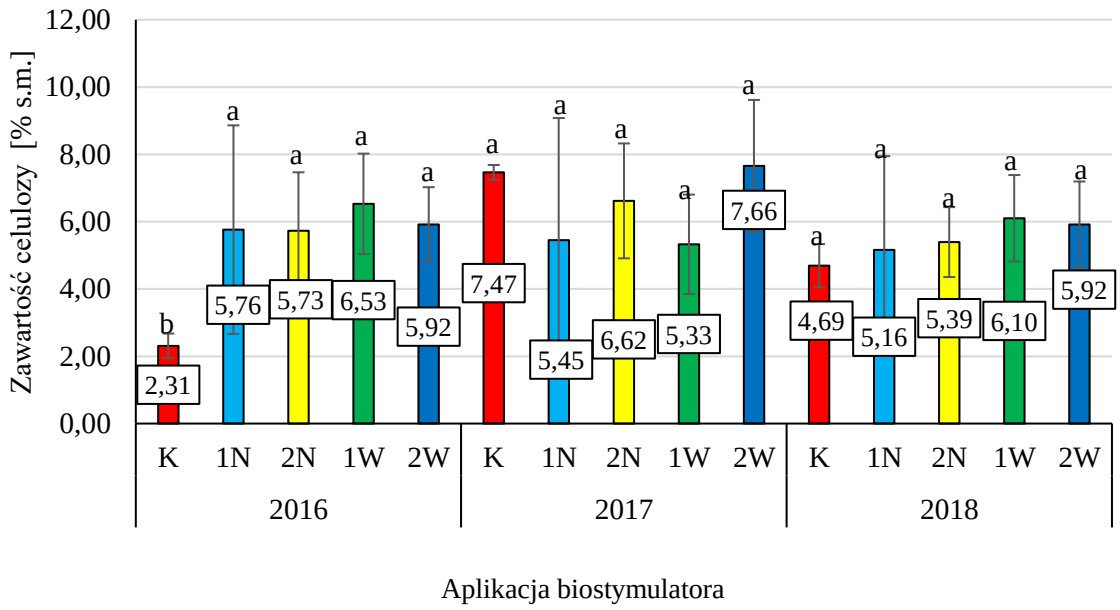
Rysunek 31. Wpływ biostymulatora na zawartość hemicelulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 32. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość hemicelulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 33. Wpływ biostymulatora na zawartość celulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 34. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość celulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 18. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość celulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Hemiceluloza [% s.m.]	Celuloza [% s.m.]
K	K	0,58±0,19e	4,82±2,31bc
Ke	1N	3,49±1,12cde	7,32±0,53abc
	2N	7,72±1,49bc	7,03±0,50abc
	1W	2,97±1,46cde	7,06±0,75abc
	2W	6,23±1,77cd	7,57±0,37ab
Te	1N	7,51±1,66bc	6,14±0,87abc
	2N	12,82±1,02a	6,19±0,71abc
	1W	15,21±4,24a	5,34±0,24abc
	2W	13,82±3,58a	6,59±1,01abc
Fy	1N	6,13±1,75cd	5,46±0,76abc
	2N	11,26±1,56ab	5,38±0,81abc
	1W	14,45±2,70a	4,21±0,43bc
	2W	12,95±2,41a	5,28±1,27abc
As	1N	2,21±0,65de	8,36±1,75a
	2N	4,91±1,94cde	5,39±1,43abc
	1W	3,31±1,62de	6,45±1,24abc
	2W	4,67±1,50cde	5,82±0,57abc
Ty	1N	0,79±0,22e	0,45±0,10d
	2N	4,98±1,73cde	5,56±2,89abc
	1W	3,97±1,21cde	6,87±1,77abc
	2W	2,96±1,55cde	7,21±2,94abc

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

5.3.4. Zawartość makroelementów

W badaniach własnych wybór preparatu, jego stężenia i liczby wykonanych oprysków w istotny sposób oddziaływał na zawartość potasu, fosforu i magnezu w nasionach fasoli (tab. 19). Biostymulator zawierający w składzie wolne aminokwasy (Te) istotnie zwiększył zawartość potasu, fosforu i magnezu w nasionach, odpowiednio o 23, 24 i 24% w porównaniu z kombinacją, w której nie stosowano preparatów.

Wykazano, że stężenie i liczba aplikacji biostymulatora determinuje zawartość tych makroelementów w nasionach. Jednokrotna aplikacja niższego stężenia biostymulatora dała najlepsze efekty w zwiększaniu koncentracji tych pierwiastków w odniesieniu do obiektu kontrolnego. Ponadto dobre efekty w zwiększaniu zawartości fosforu w nasionach uzyskano też przy stosowaniu pozostałych sposobów aplikacji preparatu.

Nie stwierdzono wpływu warunków pluwiotermicznych panujących w latach badań na zawartość tych makroelementów w nasionach fasoli.

We wszystkich latach badań opryskiwanie roślin biostymulatorem opartym na wolnych aminokwasach (Te) istotnie zwiększyło zawartość potasu w nasionach fasoli w porównaniu do kontroli (rys. 35). W tych kombinacjach wartość tej cechy była większa o 21-23% w odniesieniu to obiektu kontrolnego. Dodatkowo w ostatnim roku badań zastosowanie preparatów Ke i Ty zmniejszyło wartość tej cechy, odpowiednio o 20 i 16%, w odniesieniu do kombinacji bez aplikacji biostymulatorów.

Jednokrotna aplikacja biostymulatora w niższym stężeniu istotnie zwiększyła koncentrację potasu w nasionach fasoli w latach 2016, 2017 i 2018, odpowiednio o 19, 20 i 15%, w porównaniu do kontroli (rys. 36). Ponadto w pierwszym roku prowadzenia doświadczenia dwukrotna aplikacja niższego stężenia preparatu stymulowała zwiększenie zawartości potasu w nasionach o 15% w porównaniu do kombinacji, w której rośliny opryskiwano czystą wodą.

W pierwszych dwóch latach prowadzenia doświadczenia opryskiwanie roślin biostymulatorami spowodowało wzrost koncentracji fosforu w nasionach fasoli (rys. 37). Jednak nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy zawartością fosforu w nasionach w odniesieniu do zastosowanych biostymulatorów. W tych kombinacjach uzyskano zwiększenie badanej cechy o 16 – 31% w porównaniu do obiektu kontrolnego. Jedynie w trzecim roku badań zawartość tego makroelementu w nasionach była determinowana zastosowaniem preparatu. Najlepsze efekty uzyskano po aplikacji biostymulatorów

zawierających wolne aminokwasy, tj. Te i Fy, co w odniesieniu do kontroli dało zwiększenie tej cechy odpowiednio o 17 i 22%.

Wyniki uzyskane w pierwszym i drugim roku badań potwierdziły, że stosowanie biostymulatora w obu stężeniach i liczbach aplikacji stymulowało wzrost zawartości fosforu w nasionach fasoli (rys. 38). Pomimo, że nie stwierdzono występowania różnic pomiędzy liczbą aplikacji i stężeniem preparatu to w odniesieniu do kontroli zanotowano zwiększenie tej cechy o 17-26%. Z kolei w 2018 roku wykazano, że dwukrotna aplikacja preparatu w niższym stężeniu istotnie zwiększyła zawartość fosforu o 17% w porównaniu do kombinacji bez stosowania biostymulatora.

Zawartość magnezu w nasionach fasoli była zależna od zastosowanego biostymulatora (rys. 39). We wszystkich latach prowadzenia doświadczenia istotnie najwyższą zawartość tego pierwiastka stwierdzono po aplikacji biostymulatora partego na wolnych aminokwasach (Te). Wykazano wtedy zwiększenie tej cechy o 24, 23 i 21% odpowiednio dla lat 2016, 2017 i 2018 w porównaniu z kombinacją, w której nie stosowano preparatu. W ostatnim roku badań rośliny traktowane biostymulatorami Ke i Ty uzyskały zawartość magnezu nie różniącą się istotnie i na podobnym poziomie jak w kontroli.

Biorąc pod uwagę zawartość magnezu w nasionach fasoli dowiedziono, że rośliny jednokrotnie traktowane niższym stężeniem biostymulatora charakteryzowały się istotnie najwyższą wartością tej cechy w porównaniu do kontroli we wszystkich latach badań, odpowiednio o 19, 21 i 16%, kolejno w latach 2016, 2017 i 2018 (rys. 40). Dodatkowo w pierwszym roku badań dwukrotna aplikacja niższego stężenia preparatu dała dobre efekty zwiększając koncentrację magnezu o 15% w porównaniu do obiektu kontrolnego.

Stwierdzono istotną interakcję czynników doświadczenia w kształtowaniu zawartości makroelementów w nasionach fasoli. Wykazano, że zarówno jednokrotna aplikacja wyższego stężenia Te, jak i dwukrotna niższego stężenia Fy zwiększyła zawartość potasu i magnezu w nasionach fasoli średnio o 26% w porównaniu do kontroli, dwukrotnego stosowania Ke w obu stężeniach oraz jednokrotnego wyższego stężenia Ke i Ty (tab. 20).

Z kolei zawartość fosforu w nasionach istotnie była najwyższa w większości kombinacji ze stosowaniem biostymulatora z wyjątkiem jednokrotnego stosowania Ke w niższym stężeniu, dwukrotnego stosowania niższego stężenia Ke, Ty oraz jednokrotnego stosowania wyższego stężenia Fy, As i Ty w porównaniu do kontroli i dwukrotnej aplikacji As w wyższym stężeniu. Zanotowano w tych kombinacjach zwiększenie tej cechy w zakresie 19-30%.

Aplikacja biostymulatorów korzystnie wpływa na metabolizm roślin, poprawiając aktywność i syntezę fitohormonów, co stymuluje ich wzrost i rozwój, a jednocześnie przyczynia się do lepszego pobierania, translokacji i wykorzystania makro- i mikroelementów, a w efekcie determinuje uzyskanie wysokiego i dobrego jakościowo plonu płodów rolnych i ogrodniczych (Kocira i in. 2017a).

O pozytywnym wpływie ekstraktu z alg morskich na zawartość makroelementów w roślinach świadczą liczne doniesienia (Abbas 2013, Abd El-Gawad i Osman 2014, Crouch i in. 1990, Dobromilska i in. 2008, John i Yuvaraj 2014, Kumar i in. 2012, Rathore i in. 2009, Sosnowski i in. 2014, Zodape i in. 2010). W uprawie soi stwierdzono zwiększenie pobierania potasu o 49% i fosforu o 61% w nasionach po dolistnej aplikacji 15% ekstraktu z *K. alvarezii* (Rathore i in. 2009). Zastosowanie w uprawie fasoli mung 10% ekstraktu z alg tego samego gatunku stymulowało zwiększenie o 11% potasu, o 4% fosforu i o 19% magnezu w nasionach (Zodape i in. 2010). Ponadto wykazano korzystny wpływ dolistnej aplikacji ekstraktu z *E. maxima* na zwiększenie zawartości fosforu i potasu w biomasie lucerny, odpowiednio o 11 i 16% w porównaniu do kontroli, choć w przypadku koncentracji magnezu nie stwierdzono takiej zależności (Sosnowski i in. 2014). Natomiast 0,1% ekstrakt z alg morskich stymulował także zwiększenie zawartości magnezu, fosforu i potasu w nasionach bobu, odpowiednio o 19, 35 i 28% w porównaniu do obiektu bez stosowania biostymulatora (Abbas 2013). Dowiedziono, że na zwiększenie zawartości makro- i mikroelementów w roślinach bobowatych (m.in. fasoli mung) wpływa zawartość w ekstraktach z alg morskich mikroelementów i hormonów roślinnych, a w szczególności cytokinin (Zodape i in. 2009).

Ponadto opryskiwanie roślin bobu biostymulatorem opartym na aminokwasach spowodowało zwiększenie zawartości fosforu o 25% i potasu o 21% w nasionach, w odniesieniu do obiektu bez stosowania biostymulatora, co świadczy o pozytywnym wpływie tych preparatów na poprawę jakości płodów rolnych (Shafeek i in. 2016).

Oprócz ekstraktów z alg morskich stymulujące działanie wykazują też ekstrakty z roślin, przykładowo ekstrakt z korzeni *Levisticum officinale* Koch., który przyczynił się do zwiększenia zawartości fosforu, potasu i magnezu w nasionach soi odmiany Abelina, odpowiednio o 5, 10 i 13% w odniesieniu do kontroli (Szparaga i in. 2021b).

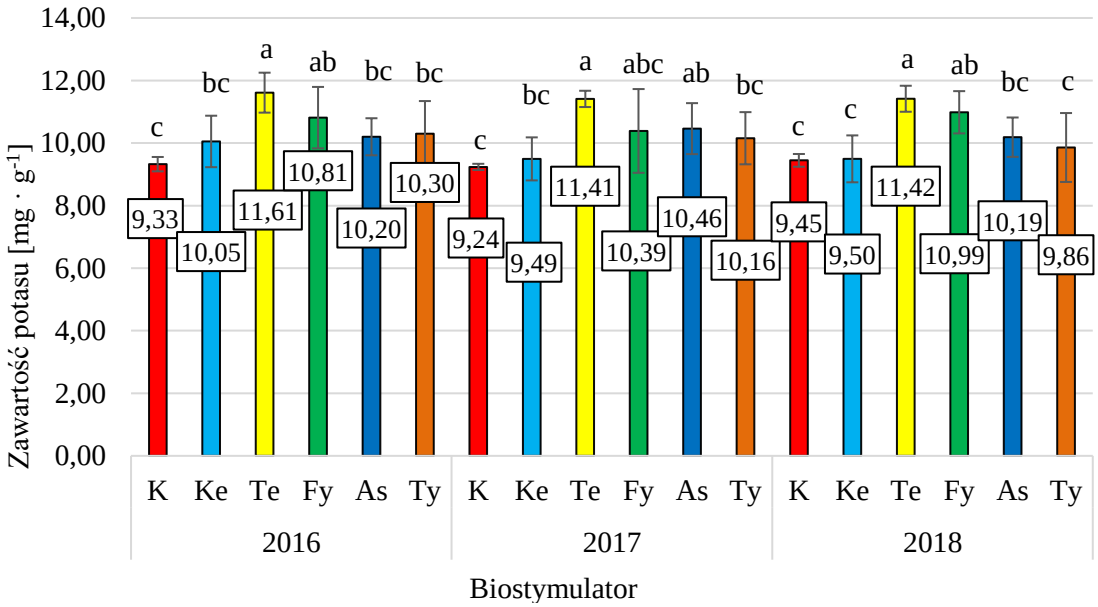
Dolistna aplikacja Tytanitu korzystnie wpłynęła na zawartość makroelementów w biomasie bobowatych, jednak koncentracja pierwiastka zależała od gatunku i stężenia preparatu. Stwierdzono, że 6-krotne zastosowanie tego preparatu w dawce 0,2 $dm^3 \cdot ha^{-1}$ spowodowało zwiększenie o 13% fosforu, o 46% potasu i o 39% magnezu w porównaniu z kontrolą. Ponadto wykazano, że lepsze efekty w zwiększaniu zawartości tych pierwiastków

w biomasie koniczyny czerwonej dała wyższa dawka Tytanitu stosowana 6-ktornie (0,4 $dm^3 \cdot ha^{-1}$), która zwiększyła o 8% zawartość fosforu, o 54% potasu i o 50% magnezu w odniesieniu do obiektu bez biostymulatora (Sosnowski i in. 2020).

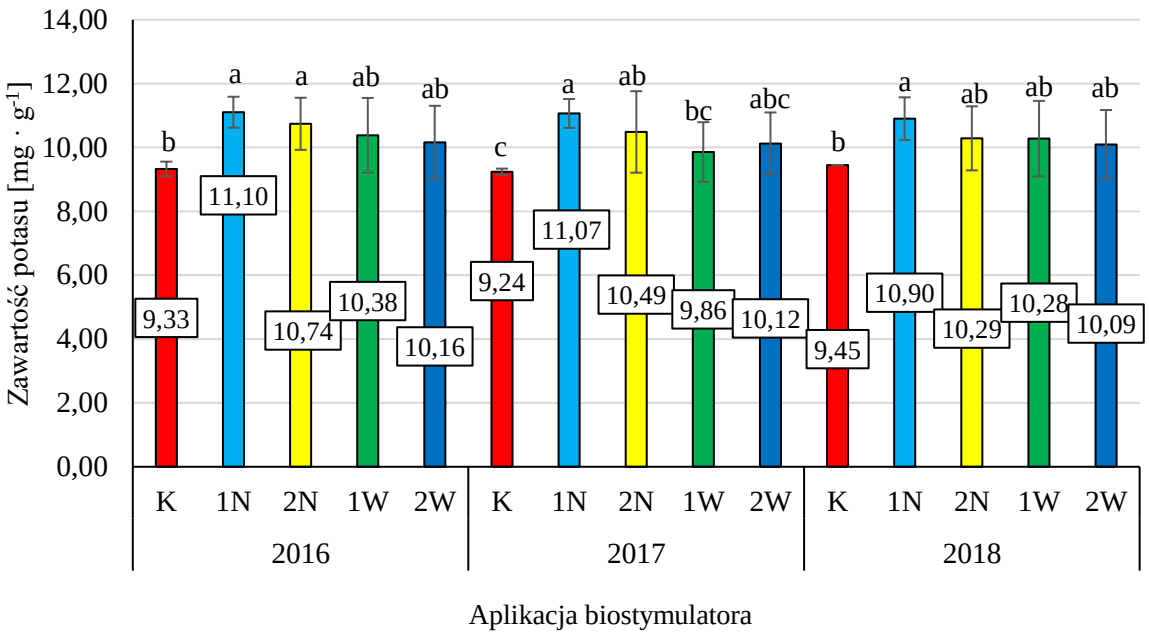
Tabela 19. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość makroelementów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		K [mg·g^{-1}]	P [mg·g^{-1}]	Mg [mg·g^{-1}]
Biostymulator	K	9,34±0,16d	3,14±0,21c	0,93±0,02d
	Ke	9,68±0,77cd	3,68±0,34ab	0,97±0,08cd
	Te	11,48±0,45a	3,89±0,18a	1,15±0,05a
	Fy	10,73±1,02b	3,82±0,29ab	1,07±0,10b
	As	10,28±0,67bc	3,62±0,41b	1,03±0,07bc
	Ty	10,10±0,97c	3,63±0,39b	1,01±0,10c
Aplikacja preparatu	K	9,34±0,16c	3,14±0,21b	0,93±0,02c
	1N	11,02±0,53a	3,79±0,31a	1,10±0,05a
	2N	10,50±1,03ab	3,73±0,31a	1,05±0,10ab
	1W	10,17±1,09b	3,67±0,35a	1,02±0,11b
	2W	10,12±1,03b	3,73±0,38a	1,01±0,10b
Lata	2016	10,34±1,02a	3,61±0,39a	1,03±0,10a
	2017	10,15±1,04a	3,60±0,40a	1,02±0,10a
	2018	10,20±0,98a	3,63±0,39a	1,02±0,09a

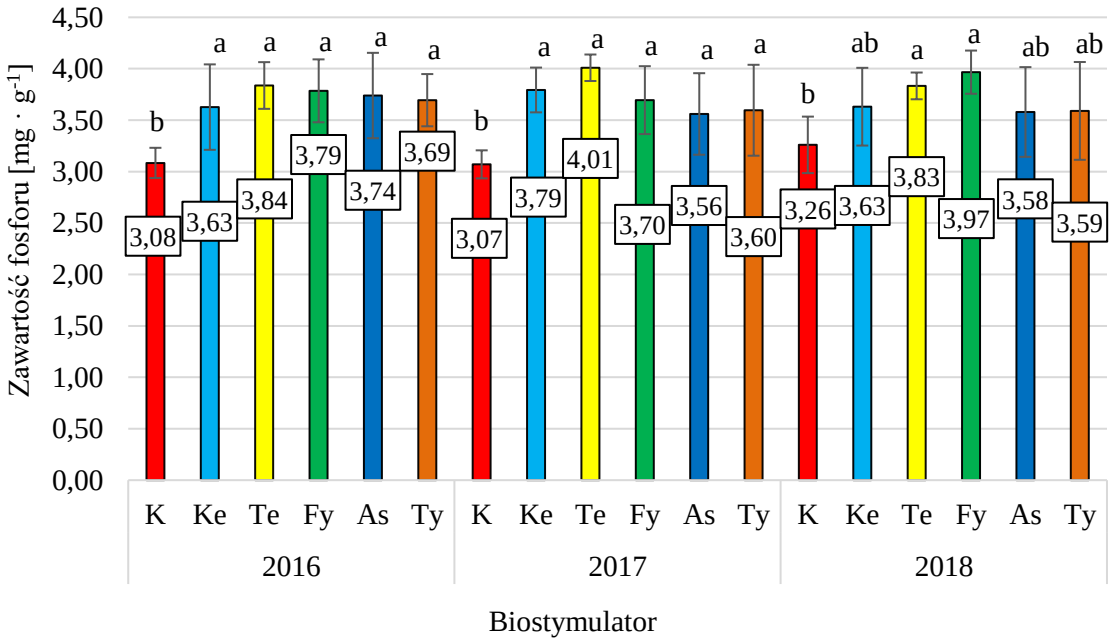
Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



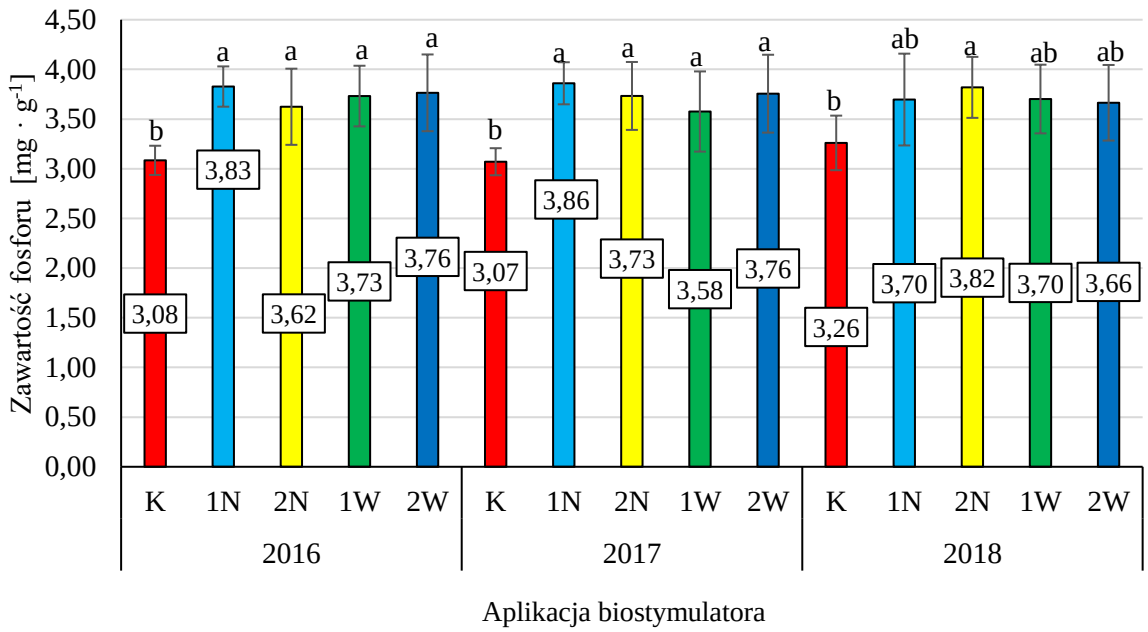
Rysunek 35. Wpływ biostymulatora na zawartość potasu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



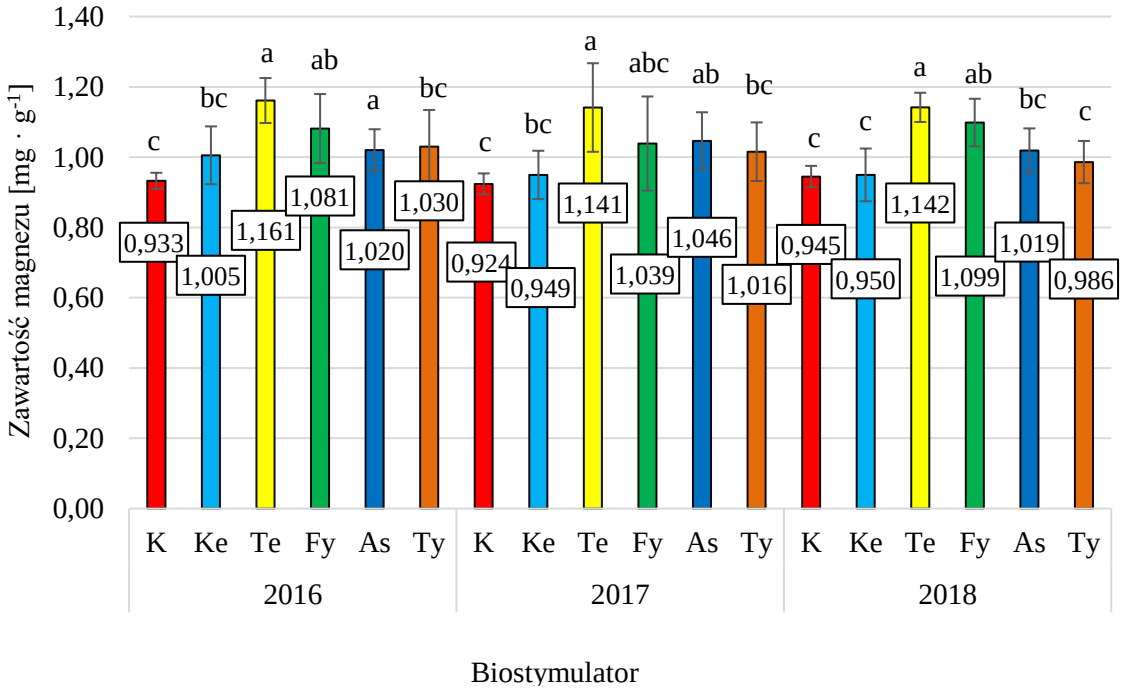
Rysunek 36. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość potasu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



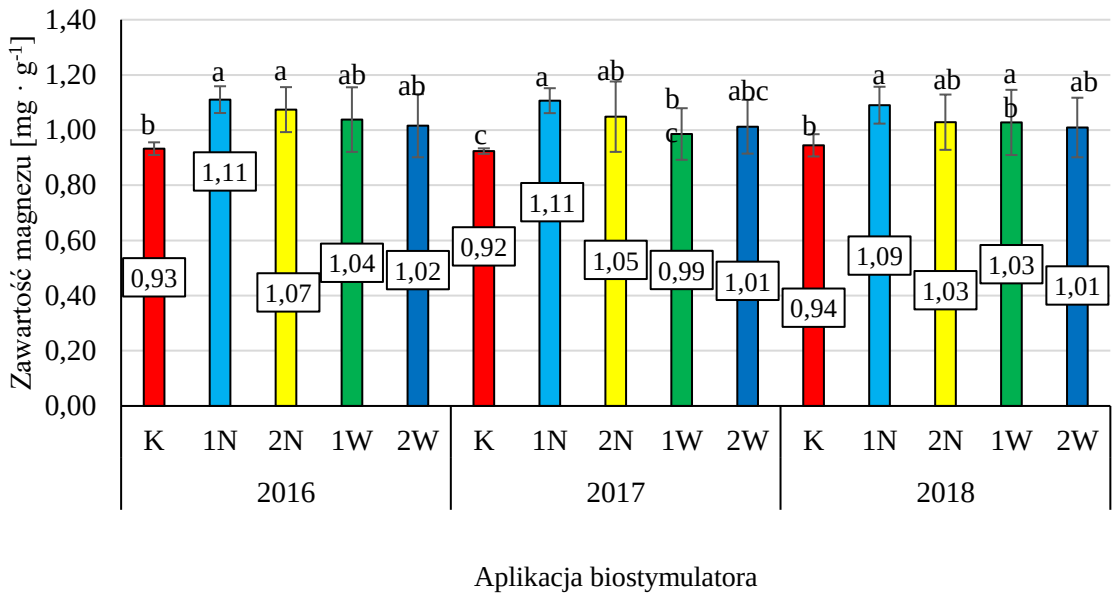
Rysunek 37. Wpływ biostymulatora na zawartość fosforu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 38. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość fosforu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 39. Wpływ biostymulatora na zawartość magnezu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 40. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość magnezu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 20. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość makroelementów (potasu, fosforu i magnezu) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	K [mg·g^{-1}]	P [mg·g^{-1}]	Mg [mg·g^{-1}]
K	K	9,34±0,18e	3,14±0,22b	0,93±0,02e
Ke	1N	10,69±0,46bcd	3,49±0,31ab	1,07±0,04bcd
	2N	9,40±0,57e	3,52±0,42ab	0,94±0,06e
	1W	9,32±0,68e	3,87±0,16a	0,93±0,07e
	2W	9,31±0,32e	3,86±0,28a	0,93±0,03e
Te	1N	11,23±0,34abc	3,80±0,12a	1,12±0,03abc
	2N	11,15±0,28abc	3,87±0,20a	1,12±0,02abc
	1W	11,81±0,54a	3,99±0,14a	1,18±0,05a
	2W	11,72±0,25ab	3,92±0,24a	1,17±0,02ab
Fy	1N	11,26±0,26abc	3,94±0,19a	1,13±0,03abc
	2N	11,80±0,45a	3,89±0,11a	1,17±0,04a
	1W	9,95±0,75de	3,48±0,38ab	0,99±0,07de
	2W	9,90±0,82 de	3,96±0,15a	0,99±0,08de
As	1N	10,63±0,60cd	3,99±0,12a	1,06±0,06cd
	2N	10,49±0,58cd	3,88±0,18a	1,05±0,06cd
	1W	10,38±0,69cde	3,55±0,32ab	1,04±0,07cde
	2W	9,64±0,43de	3,08±0,13b	0,96±0,04de
Ty	1N	11,31±0,58abc	3,75±0,47a	1,13±0,06abc
	2N	9,66±0,58de	3,47±0,45ab	0,97±0,05de
	1W	9,40±0,38e	3,46±0,36ab	0,94±0,04e
	2W	10,05±0,97de	3,82±0,10a	1,01±0,09de

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Analiza wariancji danych uzyskanych z badań własnych wykazała, że zawartość wapnia i siarki w nasionach fasoli determinowana była przez biostymulator, jego stężenie i liczbę aplikacji (tab. 21). Dolistne stosowanie Te zwiększyło o 57% zawartość wapnia w nasionach w porównaniu do obiektu kontrolnego. Zastosowanie w uprawie fasoli preparatów Te i Fy istotnie zwiększyło koncentrację siarki w nasionach, średnio o 7%, w odniesieniu do kontroli i aplikacji pozostałych biostymulatorów.

Dwukrotna aplikacja niższego stężenia biostymulatora dała najlepsze efekty w istotnym zwiększeniu zawartości wapnia i siarki w nasionach, odpowiednio o 40 i 5%, w porównaniu do kontroli. Dodatkowo dwukrotna aplikacja preparatu w wyższym stężeniu istotnie zwiększyła koncentrację siarki w nasionach o 5% w odniesieniu do kontroli.

Stwierdzono brak wpływu warunków meteorologicznych występujących w poszczególnych latach badań na zawartość tych makroelementów w nasionach.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że opryskiwanie roślin fasoli biostymulatorami korzystnie wpłynęło na koncentrację wapnia w nasionach (rys. 41). Biorąc pod uwagę badane biostymulatory wykazano, że preparat zawierający wolne aminokwasy (Te) dał najlepsze efekty w zwiększeniu zawartości tego makroelementu we wszystkich latach badań. W odniesieniu do kontroli uzyskano istotne zwiększenie zawartości wapnia o 63, 62 i 45% po zastosowaniu tego biostymulatora, odpowiednio dla lat 2016, 2017 i 2018. Ponadto zawartość wapnia w nasionach w ostatnim roku badań była także istotnie wyższa po aplikacji Fy (o 37%) w porównaniu z kontrolą, który oprócz wolnych aminokwasów zawiera ekstrakt z alg morskich. Po traktowaniu roślin pozostałymi preparatami w latach prowadzenia badań nie stwierdzono istotnych różnic w odniesieniu do obiektu kontrolnego.

Dwukrotna aplikacja biostymulatora w niższym stężeniu w 2016 i 2017 roku istotnie zwiększyła koncentrację wapnia w nasionach fasoli w odniesieniu do obiektu kontrolnego, odpowiednio o 44 i 43% (rys. 42). Z kolei ostatni rok badań charakteryzował się zwiększeniem tej cechy po jednokrotnym zastosowaniu preparatu w niższym stężeniu, co w porównaniu z kontrolą dało wzrost o 35%.

Rośliny opryskiwane w latach 2016 i 2017 biostymulatorem Te charakteryzowały się istotnie najwyższą zawartością siarki w nasionach w porównaniu do kontroli, odpowiednio o 10 i 12% (rys. 43). W pierwszym roku badań dobr4e efekty uzyskano także po aplikacji Fy, co w porównaniu do kontroli dało zwiększenie tej cechy o 10%. Wyniki otrzymane w roku 2018 wykazały, że zawartość tego makroelementu istotnie wzrosła o 10% po aplikacji Fy w odniesieniu do kombinacji ze stosowaniem As.

Jedynie w drugim roku badań stwierdzono istotny wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zwartość siarki w nasionach fasoli (rys. 44). Wykazano w tym roku zwiększenie tej cechy o 9% po dwukrotnej aplikacji preparatu w odniesieniu do kontroli.

Analiza wariancji wykazała występowanie interakcji pomiędzy biostymulatorem, jego aplikacją i użytym stężeniem na kształtowanie zawartości wapnia i siarki w nasionach fasoli (tab. 22). Udowodniono, że dwukrotna aplikacja niższego stężenia preparatu opartego na wolnych aminokwasach (Te) istotnie zwiększyła, średnio o 98%, zawartość wapnia w nasionach w odniesieniu do kontroli, jednokrotnego stosowania wyższego stężenia Ty oraz dwukrotnej aplikacji Ke w wyższym stężeniu.

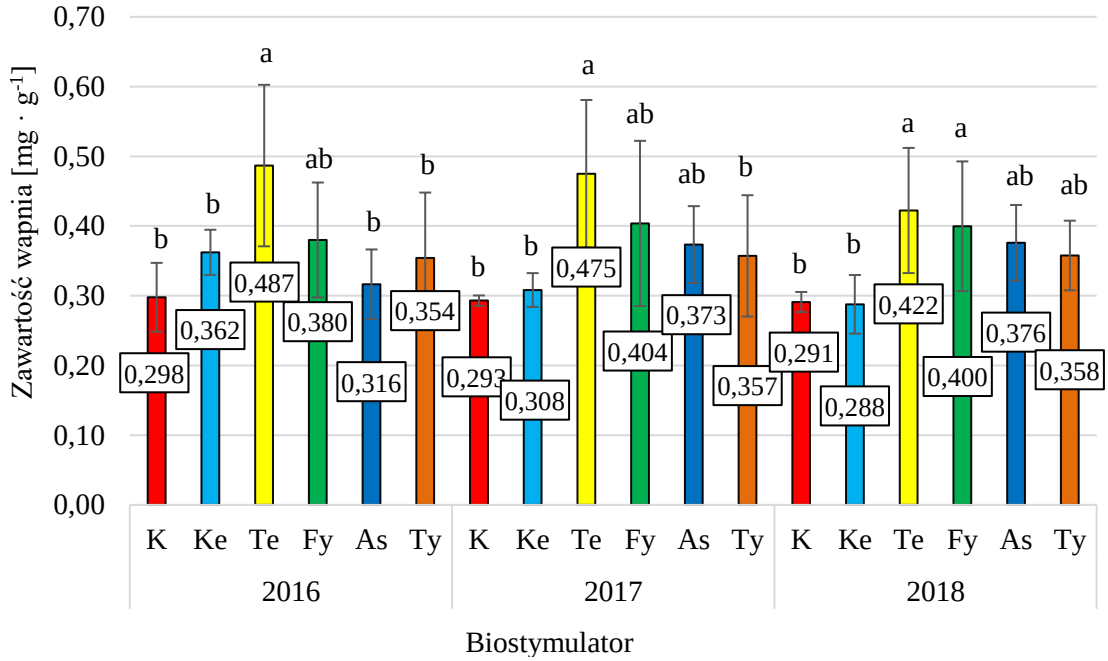
Biorąc pod uwagę zawartość siarki w nasionach najlepsze efekty uzyskano po zastosowaniu wyższego stężenia Te w obu aplikacjach (zwiększenie o 13%) w porównaniu do jednokrotnego oprysku roślin niższym stężeniem Ty.

Badania prowadzone przez Szparagę i in. (2021) potwierdziły, że stosowanie biostymulatorów istotnie wpływa na zawartość makroelementów w roślinach. Wykazano, że ekstrakt z korzeni *L. officinale* Koch. stymulował zwiększenie zawartości wapna o 12%, ale i jednocześnie nieznacznie zmniejszał koncentrację siarki (o 1,5%) w nasionach soi odmiany Abelina w porównaniu do kontroli. Rathore i in. (2009) wykazali, że zawartość makroelementów w nasionach soi zależy od zastosowanego stężenia preparatu. Autorzy potwierdzili, że wraz ze wzrostem stężenia ekstraktu z *K. alvarezii* zwiększała się koncentracja siarki w nasionach soi, tj. dolistne stosowanie 10, 12,5 i 15% stężenia ekstraktu spowodowało wzrost zawartości tego makroelementu odpowiednio o 64, 71 i 94% w porównaniu do kontroli. Z kolei zastosowanie 10% ekstraktu z tego gatunku alg zwiększyło o 17% koncentrację wapna w nasionach fasoli mung (Zodape i in. 2010). Ponadto Sosnowski i in. (2020) dowiedli, że na zawartość wapna w biomasie roślin wpływa dawka zastosowanego preparatu, jak i gatunek rośliny. Najkorzystniej na zwiększenie koncentracji tego makroelementu w części nadziemnej lucerny wpłynęło zastosowanie Tytanitu w dawce 0,2 $dm^3 \cdot ha^{-1}$ (wzrost o 33%) a u koniczyny czerwonej – dawka 0,4 $dm^3 \cdot ha^{-1}$ (wzrost o 27%). Jednocześnie nie stwierdzono istotnego wpływu dolistnej aplikacji ekstraktu z alg morskich na zawartość wapna w biomasie lucerny (Sosnowski i in. 2014) i bobu (Abbas 2013).

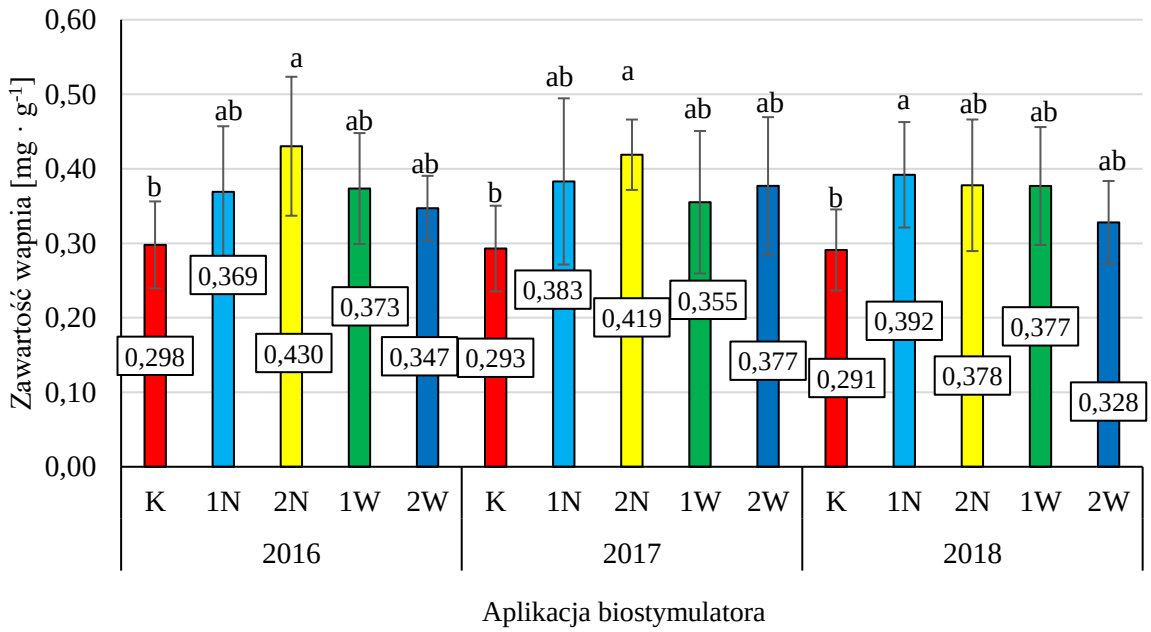
Tabela 21. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość makroelementów (wapnia, siarki) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Ca [mg·g^{-1}]	S [mg·g^{-1}]
Biostymulator	K	0,294±0,007d	1,33±0,05b
	Ke	0,319±0,045cd	1,36±0,07b
	Te	0,461±0,104a	1,44±0,10a
	Fy	0,394±0,095b	1,43±0,10a
	As	0,355±0,058bc	1,35±0,07b
	Ty	0,356±0,076bc	1,34±0,08b
Aplikacja preparatu	K	0,293±0,007c	1,33±0,05b
	1N	0,381±0,094ab	1,35±0,09ab
	2N	0,409±0,112a	1,40±0,10 a
	1W	0,368±0,081ab	1,38±0,087ab
	2W	0,351±0,068b	1,40±0,10a
Lata	2016	0,363±0,093a	1,36±0,10a
	2017	0,365±0,097a	1,36±0,09a
	2018	0,353±0,079a	1,40±0,09a

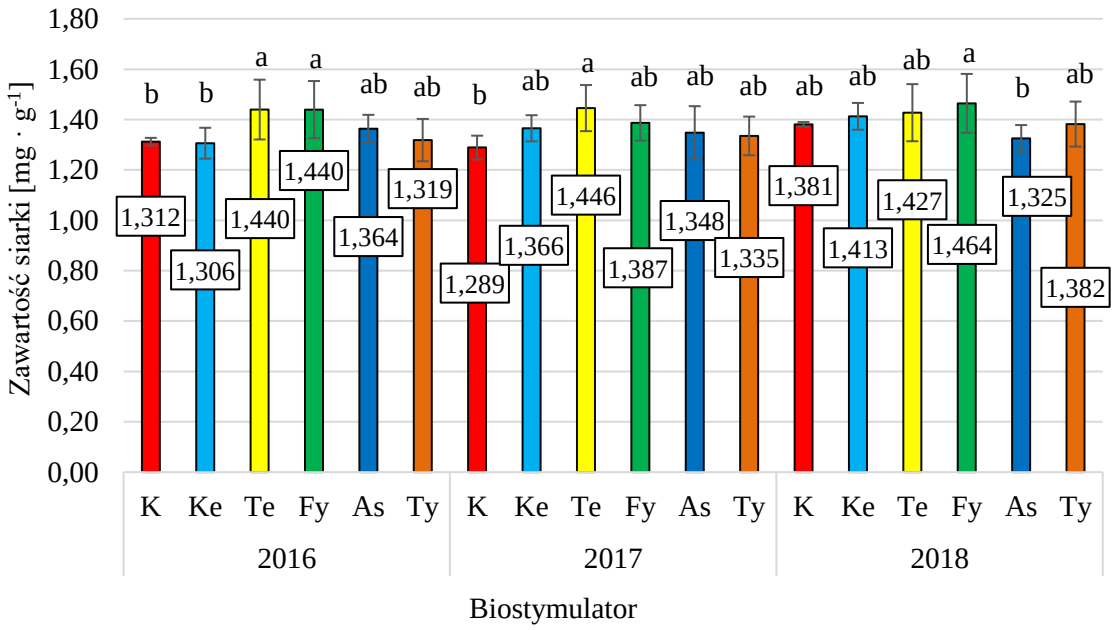
Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



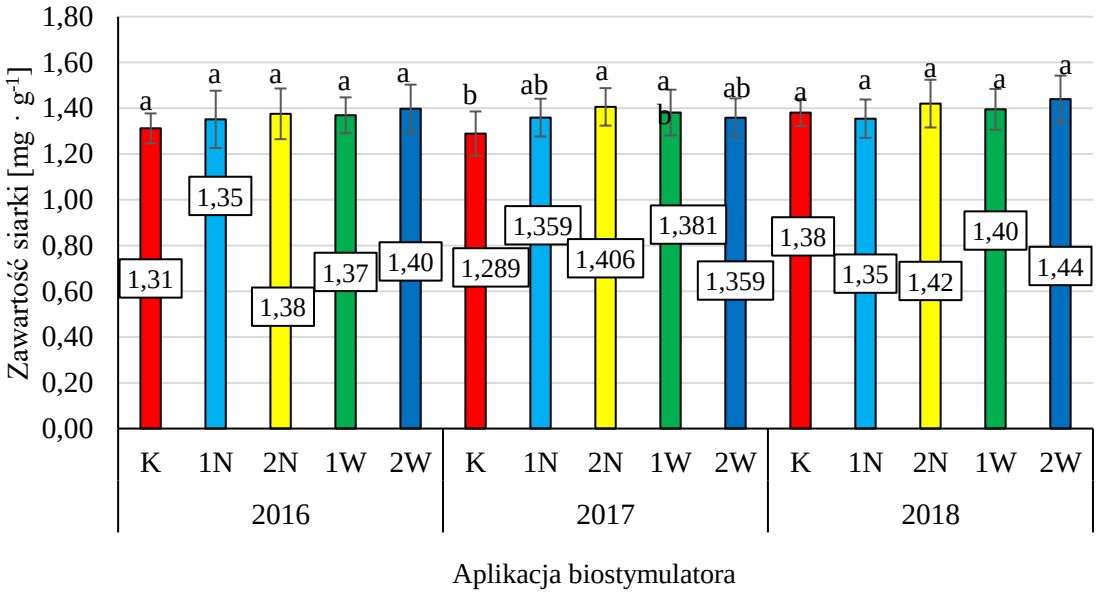
Rysunek 41. Wpływ biostymulatora na zawartość wapnia w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 42. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość wapnia w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 43. Wpływ biostymulatora na zawartość siarki w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 44. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość siarki w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 22. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość makroelementów (wapnia, siarki) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Ca [mg·g^{-1}]	S [mg·g^{-1}]
K	K	0,294±0,008g	1,33±0,05ab
Ke	1N	0,346±0,037d-g	1,36±0,09ab
	2N	0,313±0,037fg	1,37±0,06ab
	1W	0,325±0,039fg	1,37±0,08ab
	2W	0,293±0,059g	1,35±0,05ab
Te	1N	0,337±0,041efg	1,35±0,09ab
	2N	0,578±0,064a	1,46±0,10ab
	1W	0,492±0,015ab	1,47±0,10a
	2W	0,438±0,084b-e	1,47±0,09a
Fy	1N	0,457±0,038bc	1,44±0,11ab
	2N	0,459±0,050bc	1,46±0,11ab
	1W	0,325±0,022fg	1,37±0,06ab
	2W	0,337±0,016efg	1,45±0,12ab
As	1N	0,318±0,053fg	1,33±0,07ab
	2N	0,369±0,060c-g	1,37±0,07ab
	1W	0,409±0,040b-f	1,36±0,07ab
	2W	0,325±0,0311fg	1,33±0,09ab
Ty	1N	0,448±0,078bcd	1,30±0,08b
	2N	0,326±0,030fg	1,34±0,10ab
	1W	0,291±0,050g	1,34±0,07ab
	2W	0,359±0,026c-g	1,40±0,07ab

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

5.3.5. Zawartość mikroelementów

Analiza otrzymanych wyników badań wykazała brak istotnego wpływu biostymulatora, jego stężenia i liczby wykonanych zabiegów, jak również warunków meteorologicznych występujących w latach badań na zawartość miedzi i żelaza w nasionach fasoli (tab. 23).

Jedynie w przypadku koncentracji cynku stwierdzono istotne zwiększenie badanej cechy o 51% po dolistnej aplikacji biostymulatora Te w porównaniu z kontrolą. Zanotowano także istotne zwiększenie zawartości cynku w nasionach u roślin traktowanych niższym stężeniem preparatu w obu częstotliwościach aplikacji oraz wyższym stężeniem w formie jednokrotnego oprysku w porównaniu do kontroli. W tych kombinacjach stwierdzono zwiększenie wartości tej cechy średnio o 35%.

Zarówno w pierwszym, jak i w drugim roku badań nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanego biostymulatora na koncentrację miedzi w nasionach fasoli (rys. 45). Z kolei w 2018 roku najkorzystniej na zawartość tego pierwiastka wpłynęło opryskiwanie roślin preparatem Fy, co dało zwiększenie tej cechy o 47% w porównaniu z kontrolą.

W oparciu o otrzymane wyniki nie stwierdzono istotnych różnic we wpływie stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość miedzi w nasionach fasoli we wszystkich latach badań (rys. 46).

Analizując zawartość żelaza w nasionach fasoli nie stwierdzono istotnego wpływu biostymulatora na badaną cechę w latach 2016, 2017 i 2018 (rys. 47).

Zawartość żelaza w nasionach fasoli w 2017 roku zależała od stężenia biostymulatora i liczby jego aplikacji (rys. 48). Najkorzystniej na koncentrację tego mikroelementu wpłynęło opryskiwanie roślin wodą (K), co zwiększyło badaną cechę średnio o 40% w odniesieniu do zastosowania wyższego stężenia preparatu, niezależnie od liczby jego aplikacji. Ponadto stwierdzono, że zawartość żelaza otrzymana po dwukrotnej aplikacji biostymulatora w niższym stężeniu nie różniła się istotnie z wartością uzyskaną dla kontroli. Z kolei w 2016 i 2017 roku stwierdzono tendencję do zmniejszania się koncentracji żelaza w nasionach roślin, które wyrosły w obiekcie kontrolnym.

Rośliny fasoli traktowane w 2017 roku biostymulatorem Te charakteryzowały się istotnie największą zawartością cynku w nasionach. Stosowanie tego preparatu zwiększyło badaną cechę o 73% w porównaniu do kontroli (rys. 49). Nie stwierdzono istotnego wpływu traktowania roślin biostymulatorem na zawartość cynku w nasionach fasoli uzyskanych z roślin uprawianych w latach 2016 i 2018.

W pierwszych dwóch latach prowadzenia doświadczenia stwierdzono istotne zwiększenie zawartości cynku w nasionach fasoli, średnio o 63%, po dwukrotnej aplikacji niższego stężenia biostymulatora w odniesieniu do obiektu kontrolnego (rys. 50). Z kolei w ostatnim roku badań najlepsze efekty uzyskano po jednokrotnym oprysku roślin wyższym stężeniem preparatu (zwiększenie o 39%) w porównaniu z kombinacją z dwukrotną aplikacją niższego stężenia.

Analiza wariancji wykazała brak interakcji pomiędzy zastosowanym biostymulatorem a stężeniem i liczbą aplikacji preparatu na modyfikowanie zawartości miedzi, żelaza i cynku w nasionach fasoli (tab. 24).

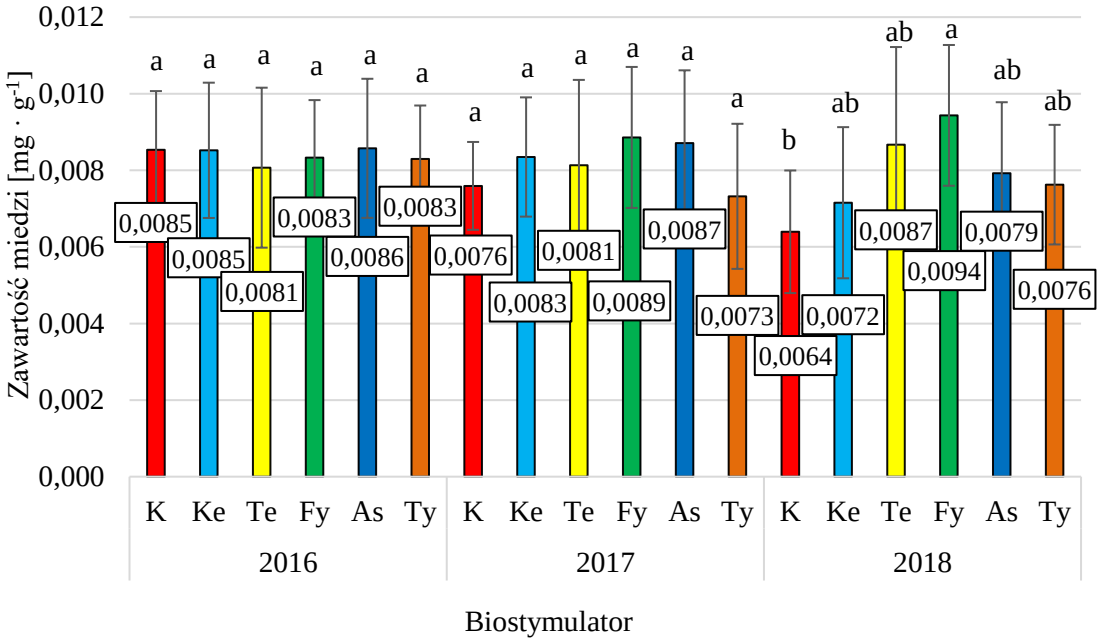
O korzystnym wpływie dolistnej aplikacji ekstraktu z *K. alvarezii* na zawartość mikroelementów w nasionach fasoli mung donieśli Zodape i in. (2010). Autorzy wykazali, że 10% ekstrakt tego gatunku alg morskich stymulował zwiększenie zawartości miedzi o 21% i żelaza o 16% w nasionach w porównaniu do kontroli, choć w przypadku koncentracji cynku nie stwierdzono takiej zależności. Szparaga i in. (2021b) donieśli o pozytywnym wpływie ekstraktu *L. officinale*, który stosowany dolistnie w uprawie soi odmiany Abelina spowodował dwukrotny wzrost koncentracji żelaza oraz 27% wzrost zawartości miedzi w nasionach. Jednak analizując zawartość cynku w nasionach soi nie stwierdzono takiej zależności (Szparaga i in. 2021b).

Ponadto opryskiwanie roślin ekstraktem z *E. maxima* spowodowało zwiększenie zawartości cynku w biomasie lucerny o 16% w odniesieniu do kontroli, ale nie zanotowano istotnego wpływu tego preparatu na koncentrację miedzi (Sosnowski i in. 2014).

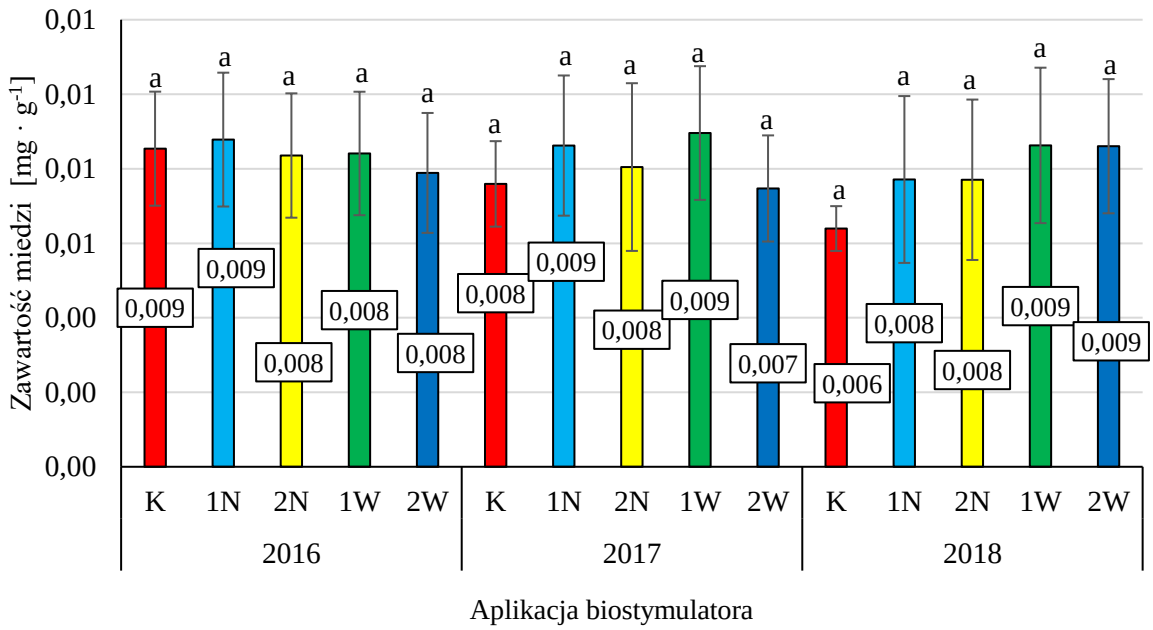
Tabela 23. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość mikroelementów (miedzi, żelaza, cynku) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Cu [mg·g^{-1}]	Fe [mg·g^{-1}]	Zn [mg·g^{-1}]
Biostymulator	K	0,0075±0,0014a	0,0823±0,0164a	0,0163±0,0032c
	Ke	0,0080±0,0018a	0,0762±0,0135a	0,0197±0,0068bc
	Te	0,0083±0,0022a	0,0813±0,0193a	0,0247±0,0060a
	Fy	0,0089±0,0017a	0,0877±0,0175a	0,0215±0,0068ab
	As	0,0084±0,0018a	0,0824±0,0185a	0,0221±0,0058ab
	Ty	0,0077±0,0016a	0,0771±0,0161a	0,0201±0,0054abc
Aplikacja preparatu	K	0,0075±0,0014a	0,0824±0,0164a	0,0163±0,0032b
	1N	0,0084±0,0019a	0,0830±0,0171a	0,0216±0,0065a
	2N	0,0080±0,0018a	0,0873±0,0174a	0,0223±0,0056a
	1W	0,0087±0,0020a	0,0770±0,0171a	0,0222±0,0069a
	2W	0,0079±0,0016a	0,0764±0,0165a	0,0203±0,0064ab
Lata	2016	0,0084±0,0016a	0,0824±0,0183a	0,0205±0,0064a
	2017	0,0081±0,0018a	0,0836±0,0182a	0,0202±0,0065a
	2018	0,0078±0,0019a	0,0777±0,0149a	0,0209±0,060a

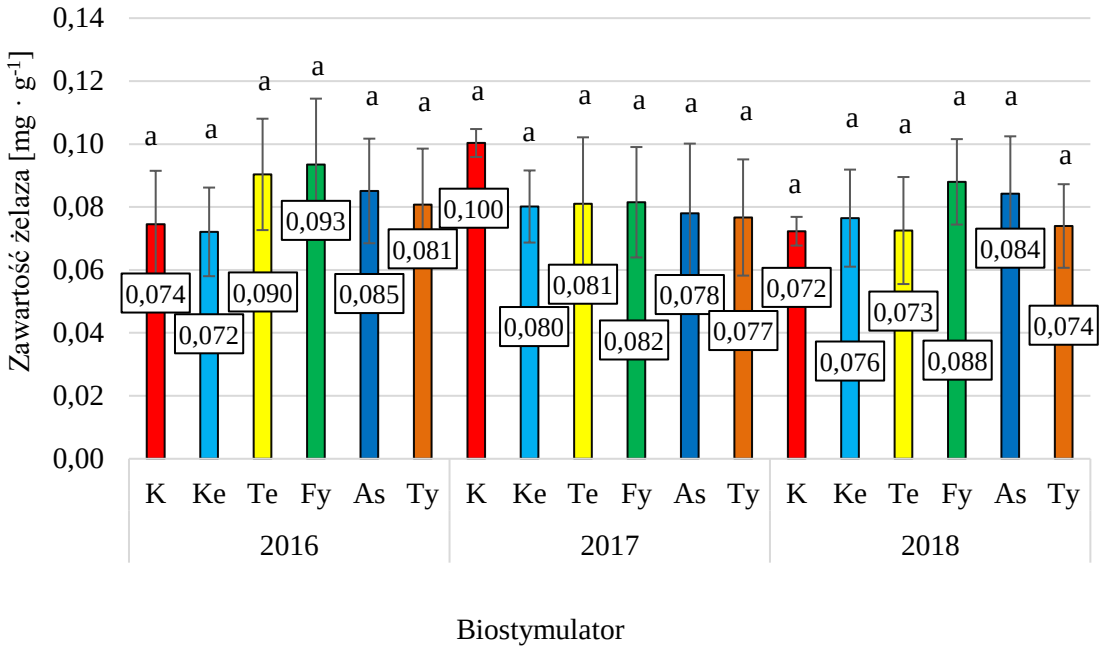
Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



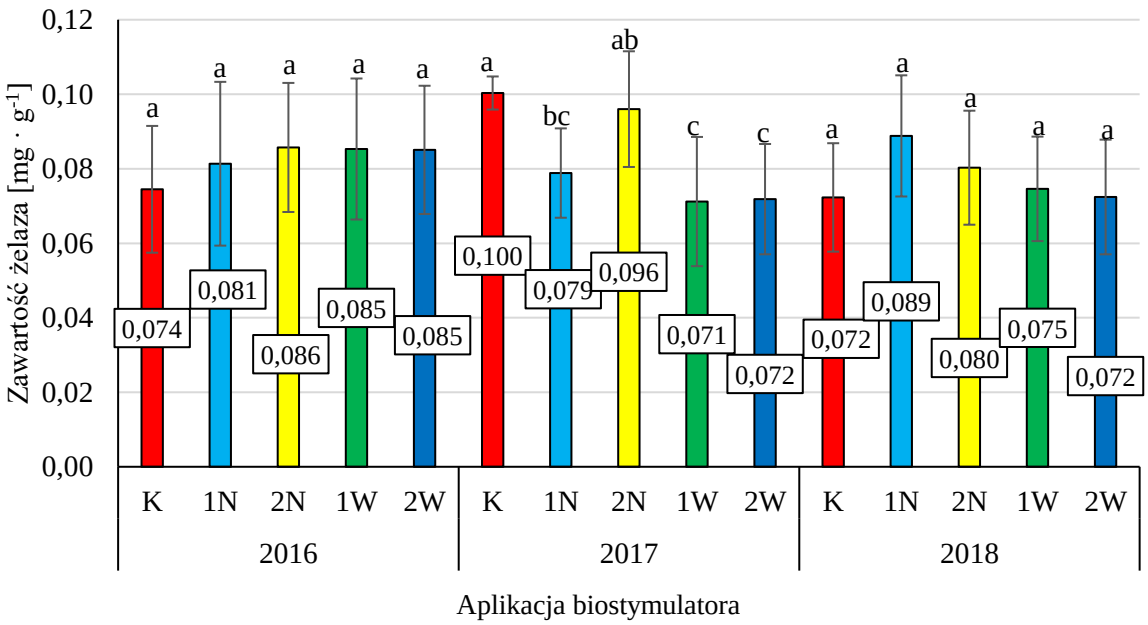
Rysunek 45. Wpływ biostymulatora na zawartość miedzi w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



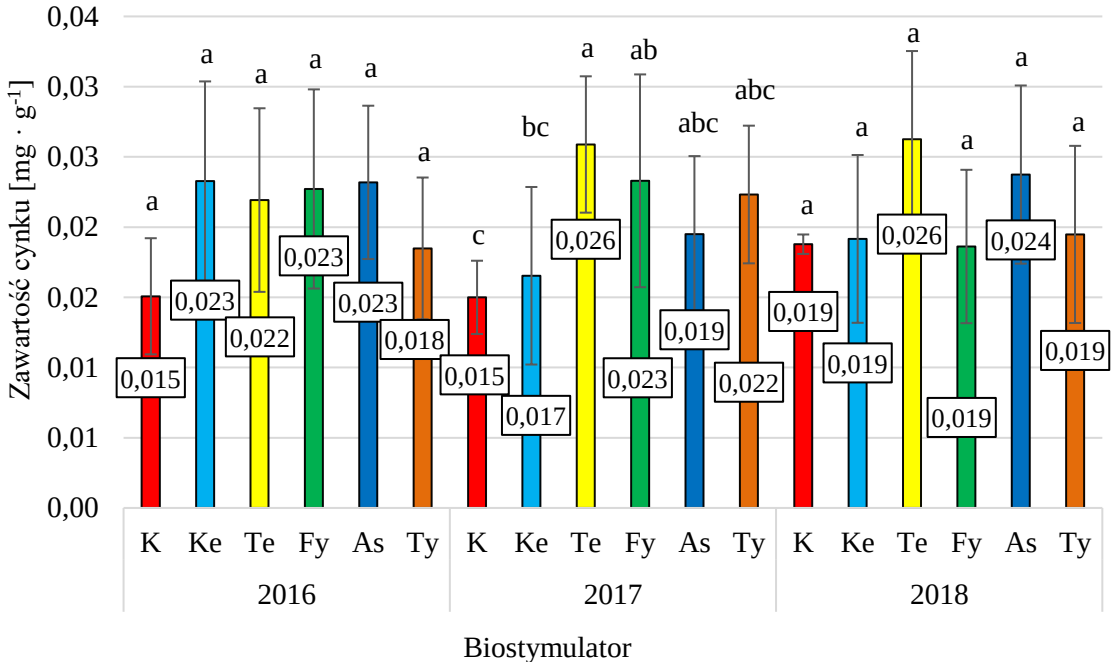
Rysunek 46. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość miedzi w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



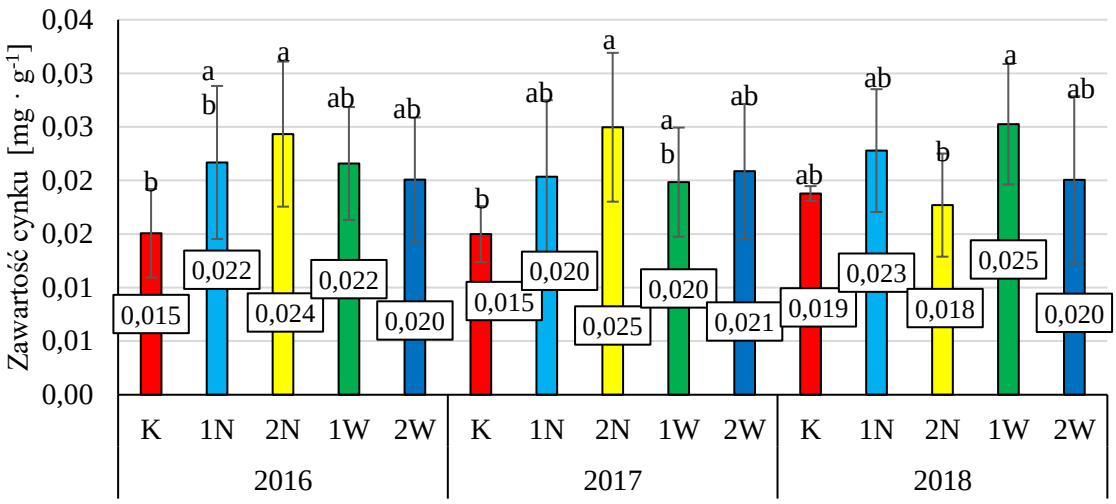
Rysunek 47. Wpływ biostymulatora na zawartość żelaza w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 48. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość żelaza w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 49. Wpływ biostymulatora na zawartość cynku w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 50. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość cynku w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 24. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość mikroelementów (miedzi, żelaza, cynku) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Cu [mg·g^{-1}]	Fe [mg·g^{-1}]	Zn [mg·g^{-1}]
K	K	0,0075±0,015a	0,082±0,017a	0,016±0,003a
Ke	1N	0,0084±0,0018a	0,077±0,015a	0,018±0,006a
	2N	0,0082±0,0023a	0,086±0,010a	0,019±0,007a
	1W	0,0077±0,0016a	0,071±0,012a	0,022±0,006a
	2W	0,0077±0,0018a	0,071±0,011a	0,020±0,007a
Te	1N	0,0080±0,0026a	0,078±0,016a	0,023±0,007a
	2N	0,0078±0,0022a	0,096±0,015a	0,023±0,006a
	1W	0,0086±0,0024a	0,072±0,020a	0,026±0,005a
	2W	0,0086±0,0019a	0,079±0,019a	0,026±0,004a
Fy	1N	0,0091±0,0013a	0,094±0,022a	0,024±0,006a
	2N	0,0086±0,0022a	0,092±0,016a	0,026±0,007a
	1W	0,0097±0,0018a	0,083±0,019a	0,021±0,004a
	2W	0,0079±0,0011a	0,081±0,009a	0,015±0,001a
As	1N	0,0090±0,0016a	0,090±0,011a	0,021±0,006a
	2N	0,0081±0,0022a	0,087±0,022a	0,021±0,007a
	1W	0,0092±0,0016a	0,081±0,017a	0,025±0,004a
	2W	0,0073±0,0014a	0,072±0,020a	0,021±0,005a
Ty	1N	0,0073±0,0022a	0,076±0,013a	0,021±0,005a
	2N	0,0074±0,0012a	0,076±0,015a	0,022±0,006a
	1W	0,0080±0,0008a	0,078±0,018a	0,018±0,004a
	2W	0,0083±0,0019a	0,079±0,020a	0,020±0,006a

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Badania własne wykazały, że traktowanie roślin biostymulatorami pozytywnie wpłynęło na zawartość glinu i molibdenu w nasionach fasoli (tab. 25). Jednak nie stwierdzono takiej zależności w przypadku zawartości manganu w nasionach. Opryskiwanie roślin biostymulatorem Te istotnie zwiększyło zawartość glinu i molibdenu w nasionach, odpowiednio o 10 i 25%, w porównaniu do kombinacji ze stosowaniem Ty. Dobre efekty uzyskano także przy traktowaniu roślin preparatem Fy, co istotnie zwiększyło o 10% koncentrację glinu w nasionach w porównaniu do dolistnej aplikacji Ty.

Stwierdzono brak wpływu liczby aplikacji i stężenia biostymulatora na zawartość glinu, manganu i molibdenu w nasionach.

Warunki meteorologiczne panujące w 2016 roku istotnie zwiększyły o 6% zawartość glinu w nasionach w odniesieniu do ostatniego roku badań. Jednak nie stwierdzono takiej zależności w przypadku koncentracji manganu i molibdenu.

W 2016 roku traktowanie roślin biostymulatorem Ke istotnie zmniejszyło o 17% zawartość glinu w nasionach fasoli w odniesieniu do aplikacji Fy i kontroli (rys. 51). Z kolei w ostatnim roku badań stosowanie biostymulatorów naturalnych (Ke, Te, Fy) i preparatu As istotnie zwiększyło o 18% badaną cechę w porównaniu do kontroli i aplikacji biostymulatora Ty. W 2017 roku nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości glinu w nasionach fasoli pomiędzy kontrolą a badanymi biostymulatorami.

Analiza wariancji wykazała brak istotnych różnic w zawartości glinu w nasionach fasoli pomiędzy obiektem kontrolnym a zastosowanym stężeniem i liczbą aplikacji biostymulatora w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia (rys. 52).

Na podstawie otrzymanych wyników wykazano brak istotnego wpływu biostymulatora na zawartość manganu w nasionach fasoli we wszystkich latach badań (rys. 53). Ponadto nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanego stężenia biostymulatora i liczby wykonanych zabiegów na koncentrację tego pierwiastka w nasionach fasoli w latach prowadzenia badań (rys. 54).

Biorąc pod uwagę zawartość molibdenu w nasionach fasoli dowiedziono brak istotnego wpływu biostymulatora na badaną cechę we wszystkich latach prowadzenia doświadczenia (rys. 55). Dodatkowo analiza wariancji potwierdziła brak istotnego wpływu stężenia preparatu i liczby aplikacji na zawartość molibdenu w nasionach fasoli w poszczególnych latach badań (rys. 56).

Nie stwierdzono współdziałania preparatu, jego stężenia i liczby wykonanych zabiegów na zawartość glinu, manganu i molibdenu w nasionach fasoli (tab. 26).

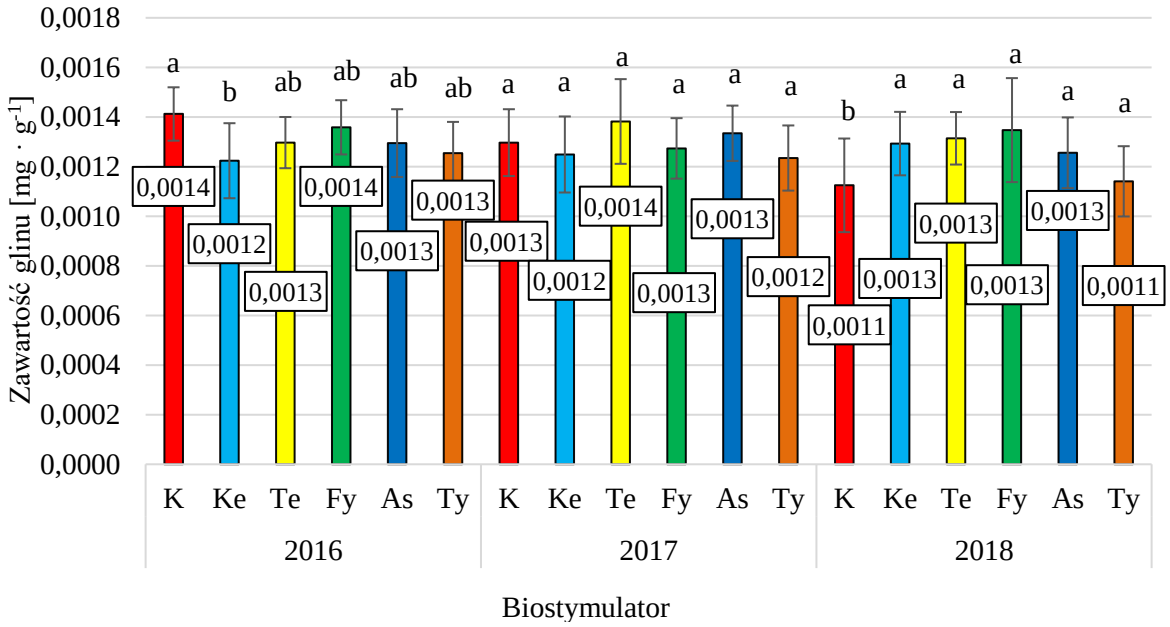
Nieliczne badania nad wpływem aplikacji biostymulatorów na zawartość mikroelementów w roślinach bobowatych wykazały, że dolistne stosowanie 10% ekstraktu z *K. alvarezii* stymulowało zwiększenie zawartości manganu o 37% i molibdenu o 53% w nasionach soi w odniesieniu do kontroli (Zodape i in. 2010). Natomiast dolistna aplikacja ekstraktu z korzeni *L. officinale* pozytywnie wpłynęło na jakość nasion soi odmiany Abelina poprzez 5-krotne zwiększenie koncentracji glinu oraz o 50% koncentracji molibdenu, choć w przypadku manganu stwierdzono brak istotnych różnic (Szparaga i in. 2021b).

Z kolei dolistne zastosowanie ekstraktu z *E. maxima* spowodowało zwiększenie zawartości manganu o 8% w biomasie lucerny w porównaniu z kombinacją bez aplikacji biostymulatora. Jednak aplikacja tego preparatu nie wpłynęła na istotne zróżnicowanie koncentracji molibdenu w lucernie (Sosnowski i in. 2014).

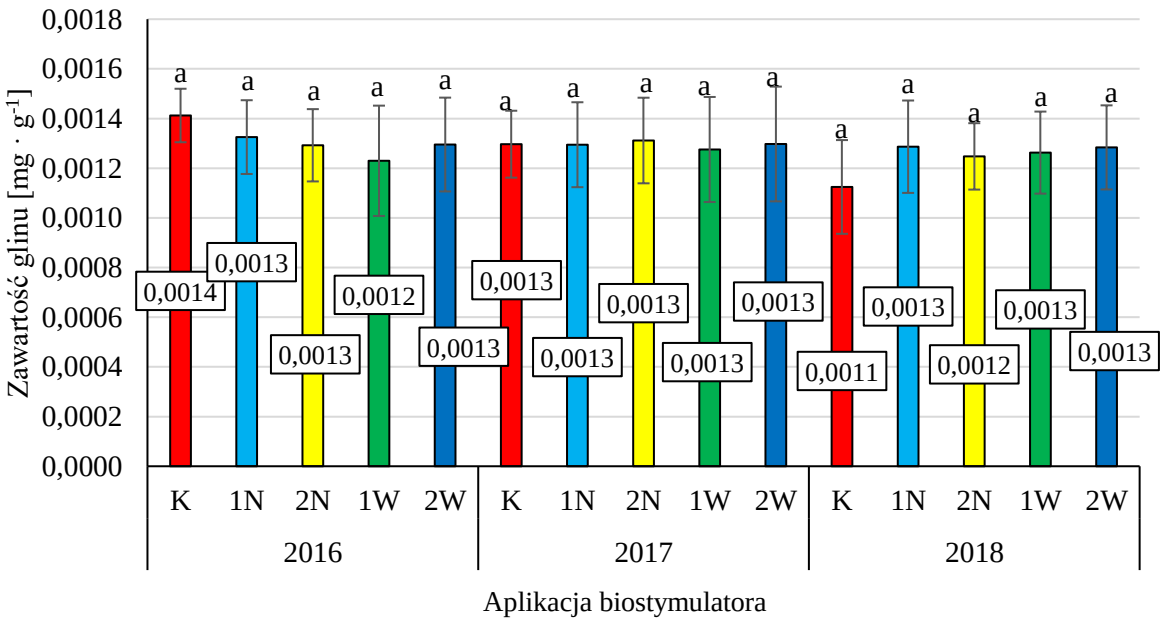
Tabela 25. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość mikroelementów (glinu, manganu, molibdenu) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Al [mg·g^{-1}]	Mn [mg·g^{-1}]	Mo [mg·g^{-1}]
Biostymulator	K	0,00128±0,00013ab	0,1244±0,0230a	0,0022±0,0003ab
	Ke	0,00126±0,00014ab	0,1440±0,0382a	0,0021±0,0005ab
	Te	0,00133±0,00013a	0,1479±0,0401a	0,0025±0,0005a
	Fy	0,00133±0,00015a	0,1529±0,0380a	0,0024±0,0006ab
	As	0,00130±0,00012ab	0,1459±0,0336a	0,0022±0,0006ab
	Ty	0,00121±0,00013b	0,1319±0,0389a	0,0020±0,0006b
Aplikacja preparatu	K	0,00128±0,00013a	0,1244±0,0230a	0,0022±0,0003a
	1N	0,00130±0,00016a	0,1454±0,0419a	0,0022±0,0006a
	2N	0,00128±0,00013a	0,1427±0,0373a	0,0021±0,0005a
	1W	0,00126±0,00015a	0,1438±0,0387a	0,0022±0,0006a
	2W	0,00129±0,00012a	0,1463±0,0355a	0,0024±0,0005a
Lata	2016	0,00131±0,00012a	0,1459±0,0373a	0,0023±0,0005a
	2017	0,00130±0,00013ab	0,1456±0,0333a	0,0022±0,0006a
	2018	0,00124±0,00015b	0,1300±0,0374a	0,0021±0,0006a

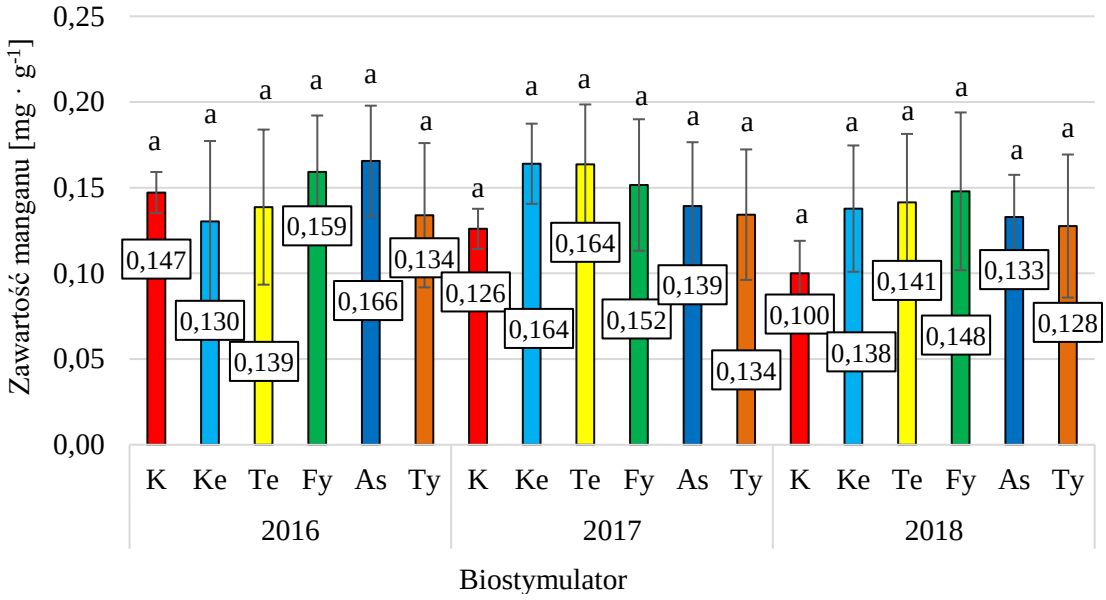
Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



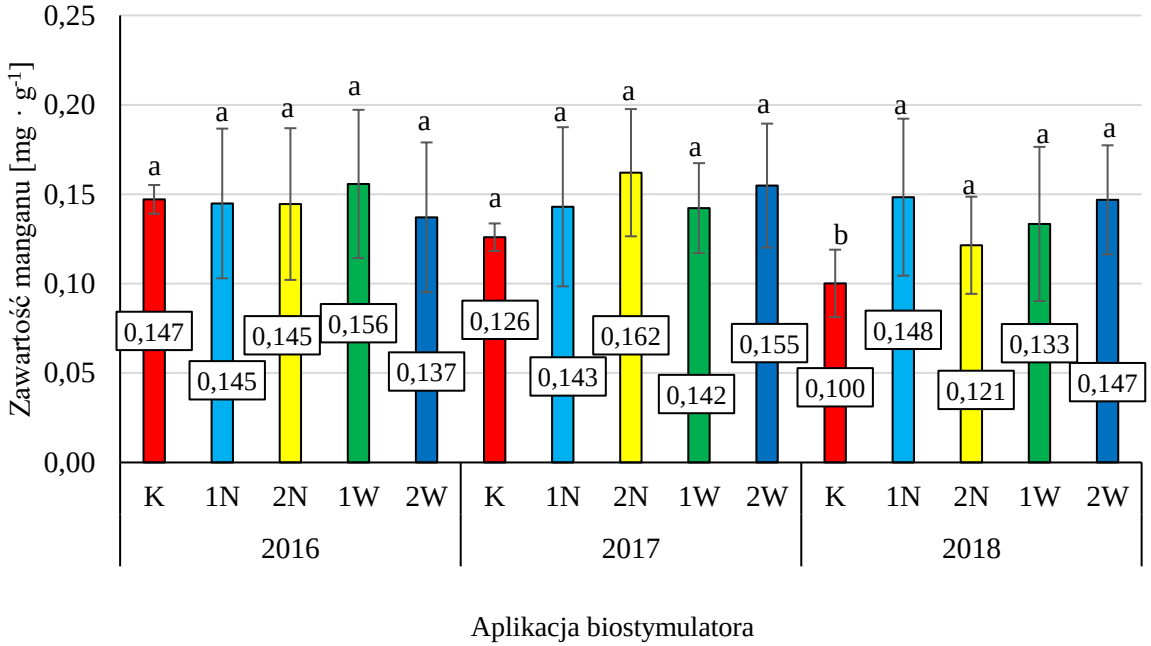
Rysunek 51. Wpływ biostymulatora na zawartość glinu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



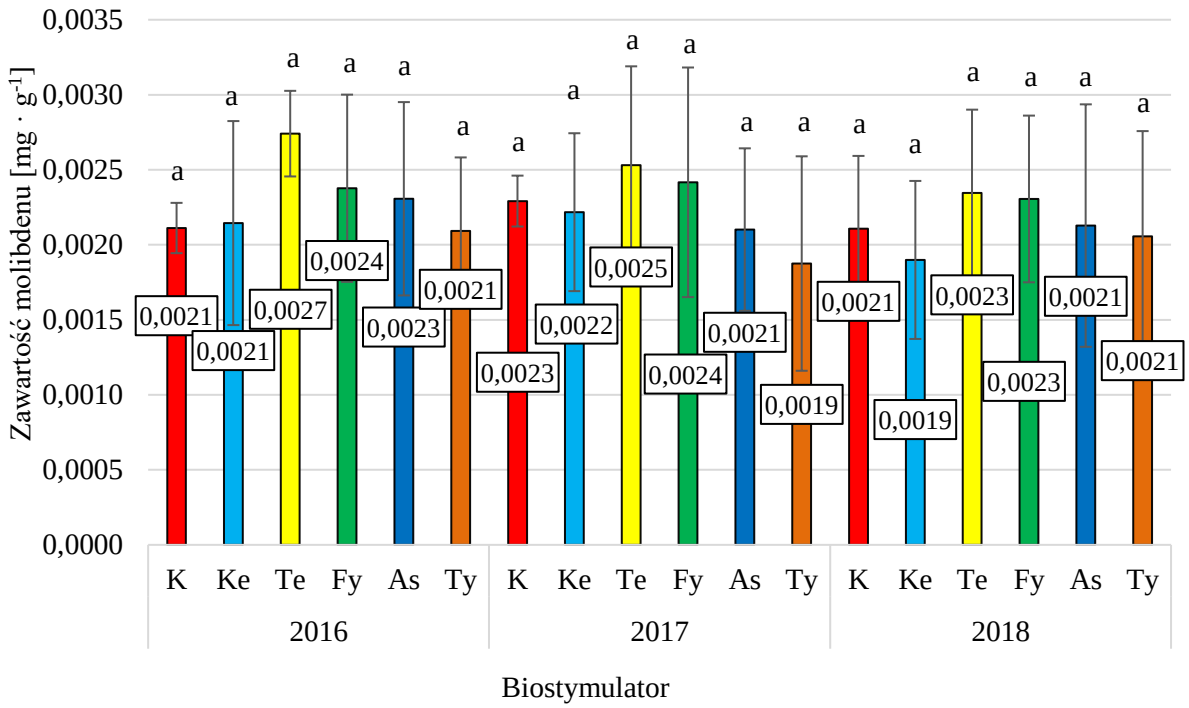
Rysunek 52. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość glinu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



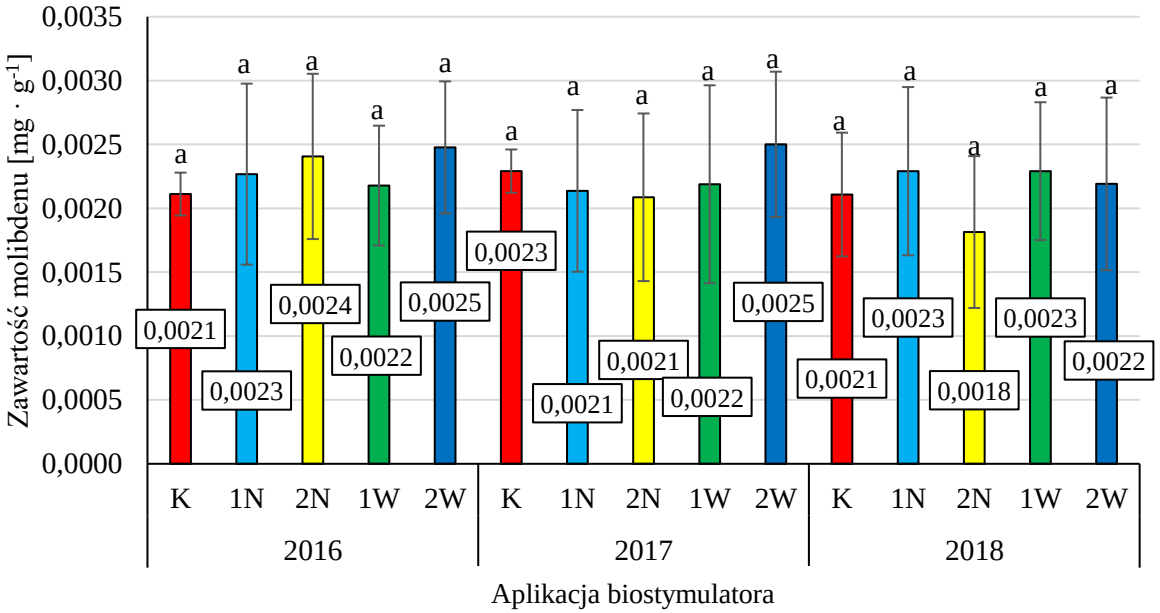
Rysunek 53. Wpływ biostymulatora na zawartość manganu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 54. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość manganu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 55. Wpływ biostymulatora na zawartość molibdenu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 56. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość molibdenu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 26. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość mikroelementów (glinu, manganu, molibdenu) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Al [mg·g^{-1}]	Mn [mg·g^{-1}]	Mo [mg·g^{-1}]
K	K	0,00128±0,00014a	0,1244±0,0247a	0,0022±0,0003a
Ke	1N	0,00124±0,00017a	0,1685±0,0416a	0,0019±0,0006a
	2N	0,00125±0,00015a	0,1363±0,0382a	0,0021±0,0006a
	1W	0,00129±0,00013a	0,1403±0,0414a	0,0019±0,0002a
	2W	0,00125±0,00015a	0,1310±0,0288a	0,0025±0,0005a
Te	1N	0,00134±0,00012a	0,1501±0,0371a	0,0027±0,0006a
	2N	0,00135±0,00017a	0,1314±0,0386a	0,0022±0,0004a
	1W	0,00129±0,00013a	0,1585±0,0481a	0,0026±0,0003a
	2W	0,00134±0,00012a	0,1516±0,0416a	0,0026±0,0005a
Fy	1N	0,00141±0,00017a	0,1542±0,0486a	0,0022±0,0006a
	2N	0,00127±0,00013a	0,1694±0,0421a	0,0023±0,0009a
	1W	0,00129±0,00015a	0,1558±0,0239a	0,0024±0,0004a
	2W	0,00133±0,00014a	0,1321±0,0327a	0,0025±0,0004a
As	1N	0,00134±0,00014a	0,1314±0,0441a	0,0024±0,0005a
	2N	0,00133±0,00012a	0,1453±0,0314a	0,0020±0,0007a
	1W	0,00124±0,00012a	0,1430±0,0340a	0,0023±0,0006a
	2W	0,00128±0,00014a	0,1640±0,0211a	0,0020±0,0007a
Ty	1N	0,00118±0,00014a	0,1227±0,0343a	0,0020±0,0006a
	2N	0,00123±0,00018a	0,1309±0,0394a	0,0019±0,0006a
	1W	0,00117±0,00013a	0,1213±0,0355a	0,0018±0,0007a
	2W	0,00126±0,00011a	0,1526±0,0474a	0,0023±0,0005a

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

W badaniach własnych wykazano, że zastosowanie biostymulatora determinuje zawartość niklu i selenu w nasionach fasoli (tab. 27). Istotne zwiększenie koncentracji tych mikroelementów zanotowano w kombinacji, w której rośliny opryskiwano w okresie wegetacji preparatem Fy w porównaniu do kontroli i aplikacji Ty. Wykazano w tych kombinacjach zwiększenie zawartości niklu o średnio 18% i selenu o 14%.

Nie stwierdzono wpływu stężenia biostymulatora i liczby wykonanych oprysków na zawartość niklu i selenu w nasionach fasoli. Dodatkowo warunki pogodowe panujące w latach badań nie wpłynęły na zawartość selenu w nasionach. Jedynie w pierwszym roku badań stwierdzono istotny wpływ warunków meteorologicznych na koncentrację niklu w nasionach. W tym roku zanotowano istotne zwiększenie tej wartości cechy, średnio o 15%, w porównaniu do pozostałych lat badań.

W pierwszym roku badań zastosowanie dolistne biostymulatora Fy istotnie zwiększyło zawartość niklu w nasionach fasoli, średnio o 33%, w porównaniu do kombinacji z aplikacją

preparatów syntetycznych, tj. As i Ty (rys. 57). W pozostałych latach prowadzenia doświadczenia nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowania preparatu na zawartość badanego mikroelementu w nasionach.

Nie stwierdzono istotnego wpływu zastosowanego stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość niklu w nasionach fasoli we wszystkich latach badań (rys. 58).

Jedynie w 2017 roku stwierdzono istotny wpływ biostymulatora na zawartość selenu w nasionach fasoli (rys. 59). Najlepsze efekty uzyskano po dolistnej aplikacji preparatu Fy, co dało zwiększenie tej cechy o 36% w porównaniu do kontroli. W pozostałych latach prowadzenia doświadczenia nie stwierdzono istotnego wpływu użytego preparatu na zawartość badanego mikroelementu.

Analiza wariancji potwierdziła brak istotnego wpływu zarówno stężenia, jak i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość selenu w nasionach fasoli w poszczególnych latach prowadzenia doświadczenia (rys. 60).

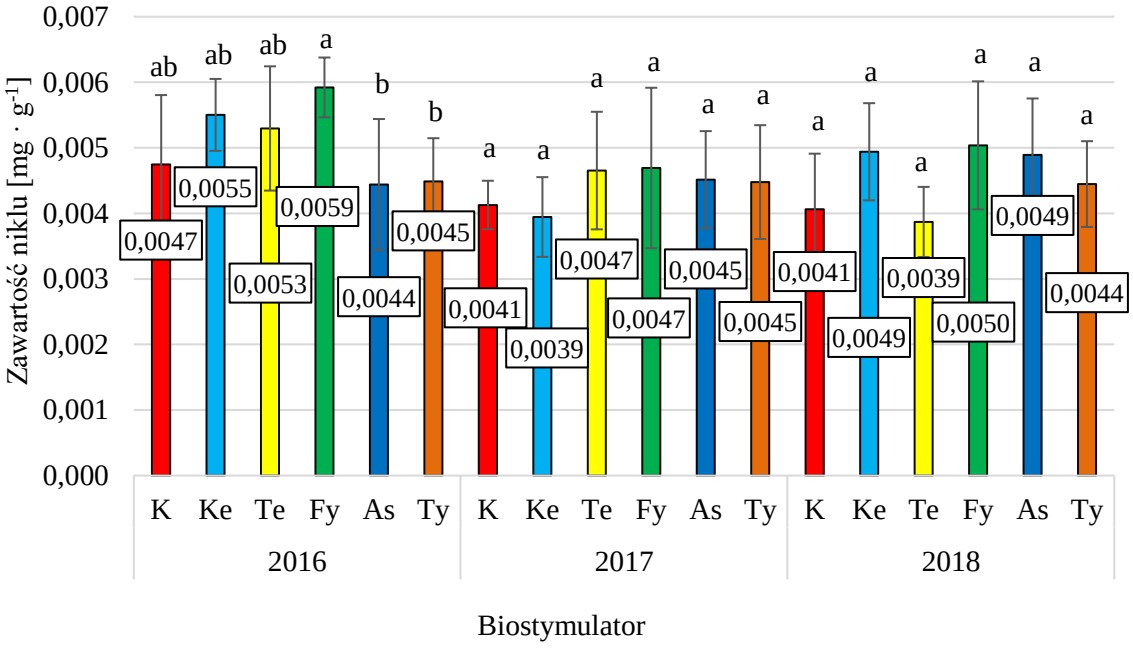
Stwierdzono jednak oddziaływanie biostymulatora, jego liczby aplikacji i stężenia na modyfikowanie zawartości niklu w nasionach fasoli (tab. 28). Traktowanie roślin preparatem Fy w formie dwukrotnej aplikacji niższego stężenia dało najlepsze efekty zwiększając zawartość niklu o 50% w porównaniu do kombinacji z jednokrotnym stosowaniem wyższego stężenia As. Nie stwierdzono występowania interakcji pomiędzy biostymulatorem, jego stężeniem i liczbą aplikacji na koncentrację selenu w nasionach fasoli.

Badania prowadzone przez Szparaga i in. (2021b) potwierdziły korzystny wpływ dolistnej aplikacji ekstraktu z *L. officinale* na zwiększenie zawartości niklu o 31% w nasionach soi odmiany Abelina, w porównaniu do kontroli, choć nie stwierdzono takiego wpływu na koncentrację selenu.

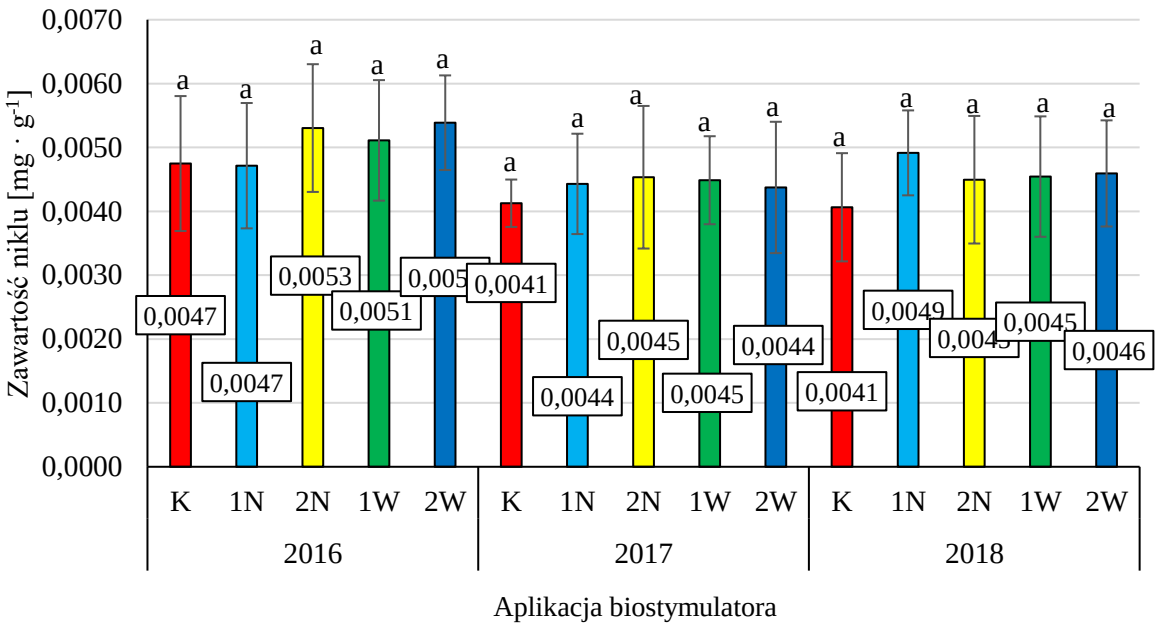
Tabela 27. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość mikroelementów (niklu, selenu) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Czynniki doświadczenia		Ni [mg·g^{-1}]	Se [mg·g^{-1}]
Biostymulator	K	0,0043±0,0008b	0,00028±0,00003b
	Ke	0,0048±0,0008ab	0,00031±0,00003ab
	Te	0,0046±0,0009ab	0,00031±0,00003ab
	Fy	0,0052±0,0010a	0,00032±0,00004a
	As	0,0046±0,0008ab	0,00029±0,00003ab
	Ty	0,0045±0,0007b	0,00028±0,00003b
Aplikacja preparatu	K	0,0043±0,0008a	0,00028±0,00003a
	1N	0,0047±0,0008a	0,00031±0,00004a
	2N	0,0048±0,0008a	0,00030±0,00003a
	1W	0,0047±0,0010a	0,00029±0,00004a
	2W	0,0048±0,0009a	0,00030±0,00003a
Lata	2016	0,0051±0,0009a	0,00030±0,00003a
	2017	0,0044±0,0008b	0,00029±0,00004a
	2018	0,0045±0,0008b	0,00029±0,00003a

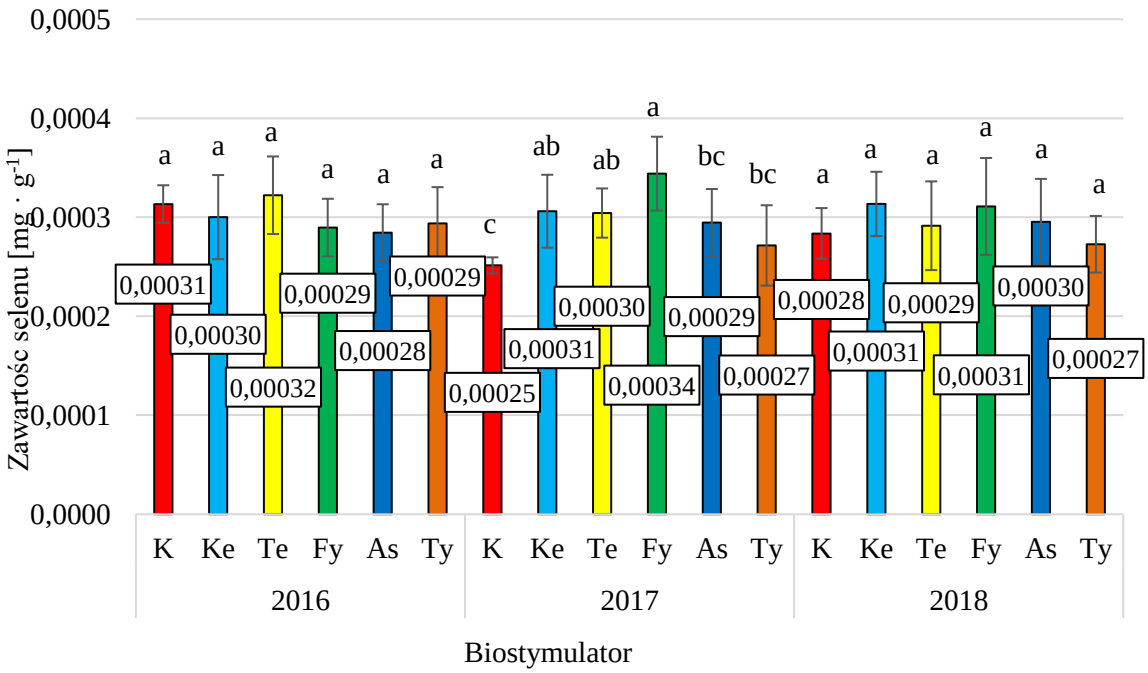
Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



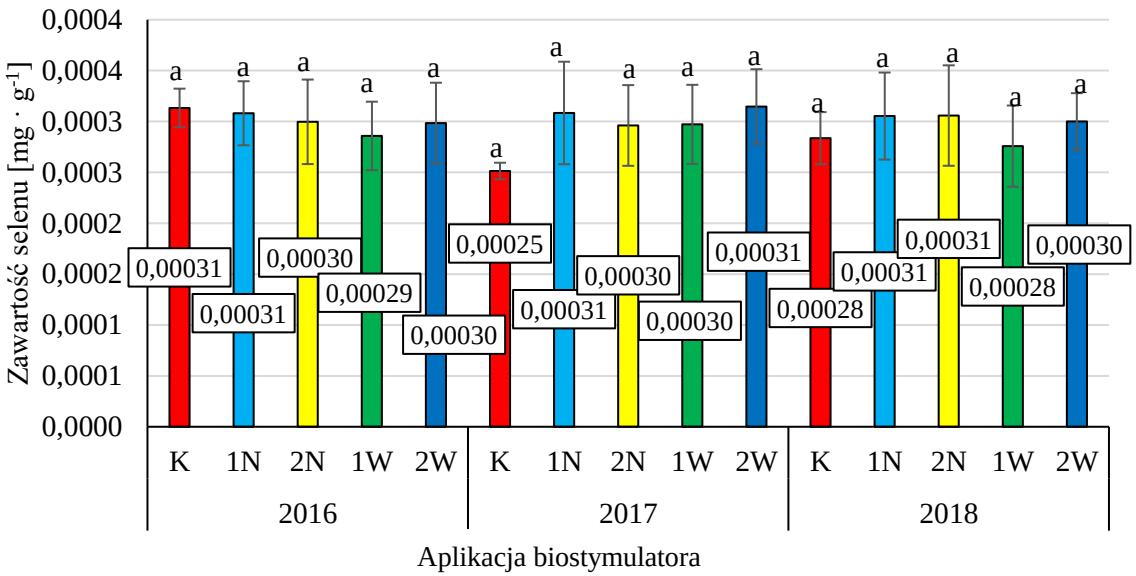
Rysunek 57. Wpływ biostymulatora na zawartość niklu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 58. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość niklu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 59. Wpływ biostymulatora na zawartość selenu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.



Rysunek 60. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość selenu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Tabela 28. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość mikroelementów (niklu, selenu) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).

Biostymulator	Aplikacja preparatu	Ni [mg·g^{-1}]	Se [mg·g^{-1}]
K	K	0,0043±0,0009ab	0,00028±0,00003a
Ke	1N	0,0047±0,0004ab	0,00032±0,00004a
	2N	0,0046±0,0011ab	0,00031±0,00004a
	1W	0,0054±0,0007ab	0,00029±0,00004a
	2W	0,0045±0,0010ab	0,00031±0,00004a
Te	1N	0,0042±0,0008ab	0,00033±0,00003a
	2N	0,0050±0,0011ab	0,00031±0,00004a
	1W	0,0047±0,0008ab	0,00027±0,00003a
	2W	0,0046±0,0010ab	0,00031±0,00004a
Fy	1N	0,0049±0,0010ab	0,00032±0,00005a
	2N	0,0057±0,0009a	0,00032±0,00004a
	1W	0,0050±0,0010ab	0,00031±0,00005a
	2W	0,0053±0,0012ab	0,00031±0,00005a
As	1N	0,0048±0,0008ab	0,00030±0,00004a
	2N	0,0047±0,0009ab	0,00029±0,00004a
	1W	0,0038±0,0006b	0,00029±0,00004a
	2W	0,0052±0,0002ab	0,00029±0,00002a
Ty	1N	0,0049±0,0008ab	0,00027±0,00002a
	2N	0,0040±0,0004ab	0,00028±0,00006a
	1W	0,0047±0,0003ab	0,00027±0,00002a
	2W	0,0043±0,0007ab	0,00030±0,00003a

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

5.3.6. Opłacalność stosowania biostymulatorów

Stwierdzono, że w pierwszym roku badań opłacalność stosowania biostymulatorów w uprawie fasoli wynosiła od 593,3 do 6075,0 PLN·ha^{-1}. Analiza opłacalności stosowania tych preparatów wykazała, że rośliny najlepiej reagowały na jednokrotne opryskiwanie preparatem opartym na ekstrakcie z *E. maxima* (Ke), w niższym lub wyższym stężeniu (tab. 29). Opłacalność stosowania biostymulatora w tych kombinacjach wynosiła odpowiednio 5722,0 i 6075,0 PLN·ha^{-1}. Z kolei najmniej opłacalne było dwukrotne stosowanie preparatu Fy w obu stężeniach, kiedy uzyskano wartości 593,3 i 498,0 PLN·ha^{-1}, odpowiednio dla niższego i wyższego stężenia.

Tabela 29. Opłacalność stosowania biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej odmiany Orzeł w 2016 r.

Kombinacja		Przyrost plonu względem kontroli t·ha^{-1}	Wartość przyrostu plonu PLN·ha^{-1}	Koszt zakupu biostymulatora PLN·ha^{-1}	Koszt wykonania oprysku PLN·ha^{-1}	Razem koszty PLN·ha^{-1}	Opłacalność stosowania biostymulatora PLN·ha^{-1}
Ke	1N	0,843	5897,5	115,5	60,0	175,5	5722,0
	2N	0,237	1659,0	231,0	120,0	351,0	1308,0
	1W	0,900	6300,0	165,0	60,0	225,0	6075,0
	2W	0,293	2051,0	330,0	120,0	450,0	1601,0
Te	1N	0,690	4830,0	54,0	60,0	114,0	4716,0
	2N	0,750	5246,5	108,0	120,0	228,0	5018,5
	1W	0,544	3808,0	90,0	60,0	150,0	3658,0
	2W	0,725	5075,0	180,0	120,0	300,0	4775,0
Fy	1N	0,725	4424,0	107,1	60,0	167,1	4256,9
	2N	0,133	927,5	214,2	120,0	334,2	593,3
	1W	0,725	5071,5	153,0	60,0	213,0	4858,5
	2W	0,132	924,0	306,0	120,0	426,0	498,0
As	1N	0,189	1323,0	33,0	60,0	93,0	1230,0
	2N	0,360	2516,5	66,0	120,0	186,0	2330,5
	1W	0,343	2397,5	66,0	60,0	126,0	2271,5
	2W	0,214	1498,0	132,0	120,0	252,0	1246,0
Ty	1N	0,189	1323,0	12,6	60,0	72,6	1250,4
	2N	0,290	2030,0	25,2	120,0	145,2	1884,8
	1W	0,330	2310,0	23,4	60,0	83,4	2226,6
	2W	0,173	1207,5	46,8	120,0	166,8	1040,7

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

W 2017 roku opłacalność stosowania biostymulatorów wynosiła w zakresie 1201,4 - 7450,5 PLN·ha^{-1} (tab. 30). Wykazano, że najbardziej opłacalne było jednokrotne stosowanie biostymulatora naturalnego zawierającego ekstrakt z alg morskich (Ke), zarówno w niższym (7328,5 PLN·ha^{-1}), jak i wyższym stężeniu (7450,5 PLN·ha^{-1}). Z kolei jednokrotna aplikacja

biostymulatorów syntetycznych, tj. As i Ty w niższym stężeniu okazała się najmniej opłacalna, kiedy uzyskano odpowiednio 1471,5 i 1201,4 PLN·ha^{-1}.

Tabela 30. Opłacalność stosowania biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej odmiany Orzeł w 2017 r.

Kombinacja		Przyrost plonu względem kontroli t·ha^{-1}	Wartość przyrostu plonu PLN·ha^{-1}	Koszt zakupu biostymulatora PLN·ha^{-1}	Koszt wykonania oprysku PLN·ha^{-1}	Razem koszty PLN·ha^{-1}	Opłacalność stosowania biostymulatora PLN·ha^{-1}
Ke	1N	1,072	7504,0	115,5	60,0	175,5	7328,5
	2N	0,693	4851,0	231,0	120,0	351,0	4500,0
	1W	1,097	7675,5	165,0	60,0	225,0	7450,5
	2W	1,131	7913,5	330,0	120,0	450,0	7463,5
Te	1N	0,812	5684,0	54,0	60,0	114,0	5570,0
	2N	0,525	3675,0	108,0	120,0	228,0	3447,0
	1W	0,831	5813,5	90,0	60,0	150,0	5663,5
	2W	1,033	7231,0	180,0	120,0	300,0	6931,0
Fy	1N	0,865	6055,0	107,1	60,0	167,1	5887,9
	2N	0,525	3675,0	214,2	120,0	334,2	3340,8
	1W	0,942	6590,5	153,0	60,0	213,0	6377,5
	2W	0,914	6394,5	306,0	120,0	426,0	5968,5
As	1N	0,224	1564,5	33,0	60,0	93,0	1471,5
	2N	0,879	6149,5	66,0	120,0	186,0	5963,5
	1W	0,627	4389,0	66,0	60,0	126,0	4263,0
	2W	0,869	6079,5	132,0	120,0	252,0	5827,5
Ty	1N	0,182	1274,0	12,6	60,0	72,6	1201,4
	2N	0,852	5964,0	25,2	120,0	145,2	5818,8
	1W	0,592	4144,0	23,4	60,0	83,4	4060,6
	2W	0,824	5764,5	46,8	120,0	166,8	5597,7

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Wyniki uzyskane dla ostatniego roku badań wykazały, że opłacalność stosowania biostymulatorów wynosiła od 920,5 do 6388,6 PLN·ha^{-1} (tab. 31). Najkorzystniej na opłacalność uprawy fasoli wpłynęło jednokrotne stosowanie niższego stężenia As i Ty, uzyskano wtedy wartości 6388,6 i 6195,4 PLN·ha^{-1}. Dobre efekty uzyskano także po dwukrotnej aplikacji niższego stężenia Ke, kiedy opłacalność stosowania tego biostymulatora wynosiła 5061,0 PLN·ha^{-1}. Najmniej opłacalne było jednokrotne stosowanie preparatu opartego na wolnych aminokwasach (Te) w wyższym stężeniu (920,5 PLN·ha^{-1}).

Tabela 31. Opłacalność stosowania biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej odmiany Orzeł w 2018 r.

Kombinacja		Przyrost plonu względem kontroli $t \cdot ha^{-1}$	Wartość przyrostu plonu $PLN \cdot ha^{-1}$	Koszt zakupu biostymulatora $PLN \cdot ha^{-1}$	Koszt wykonania oprysku $PLN \cdot ha^{-1}$	Razem koszty $PLN \cdot ha^{-1}$	Opłacalność stosowania biostymulatora $PLN \cdot ha^{-1}$
Ke	1N	0,480	3356,5	115,5	63,0	178,5	3178,0
	2N	0,774	5418,0	231,0	126,0	357,0	5061,0
	1W	0,542	3790,5	165,0	63,0	228,0	3562,5
	2W	0,689	4823,0	330,0	126,0	456,0	4367,0
Te	1N	0,511	3573,5	56,7	63,0	119,7	3453,8
	2N	0,613	4291,0	113,4	126,0	239,4	4051,6
	1W	0,154	1078,0	94,5	63,0	157,5	920,5
	2W	0,611	4277,0	189,0	126,0	315,0	3962,0
Fy	1N	0,325	2275,0	109,2	63,0	172,2	2102,8
	2N	0,585	4091,5	218,4	126,0	344,4	3747,1
	1W	0,428	2992,5	156,0	63,0	219,0	2773,5
	2W	0,543	3801,0	312,0	126,0	438,0	3363,0
As	1N	0,927	6485,5	33,9	63,0	96,9	6388,6
	2N	0,259	1809,5	67,8	126,0	193,8	1615,7
	1W	0,392	2740,5	67,8	63,0	130,8	2609,7
	2W	0,541	3783,5	135,6	126,0	261,6	3521,9
Ty	1N	0,896	6272,0	13,6	63,0	76,7	6195,4
	2N	0,213	1491,0	27,3	126,0	153,3	1337,7
	1W	0,322	2250,5	25,4	63,0	88,4	2162,2
	2W	0,530	3706,5	50,7	126,0	176,7	3529,8

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

Synteza z trzech lat badań potwierdziła, że najbardziej opłacalne było jednokrotne stosowanie w uprawie fasoli biostymulatora Ke w obu stężeniach, uzyskując dla niższego i dla wyższego stężenia wartość, odpowiednio 5409,5 i 5696,0 $PLN \cdot ha^{-1}$ (tab. 32). Natomiast najmniej opłacalne (2560,4 $PLN \cdot ha^{-1}$) okazało się dwukrotne stosowanie niższego stężenia Fy.

Tabela 32. Opłacalność stosowania biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016 - 2018).

Kombinacja		Przyrost plonu względem kontroli $t \cdot ha^{-1}$	Wartość przyrostu plonu $PLN \cdot ha^{-1}$	Koszt zakupu biostymulatora $PLN \cdot ha^{-1}$	Koszt wykonania oprysku $PLN \cdot ha^{-1}$	Razem koszty $PLN \cdot ha^{-1}$	Opłacalność stosowania biostymulatora $PLN \cdot ha^{-1}$
Ke	1N	0,798	5586,0	115,5	61,0	176,5	5409,5
	2N	0,568	3976,0	231,0	122,0	353,0	3623,0
	1W	0,846	5922,0	165,0	61,0	226,0	5696,0
	2W	0,704	4929,2	330,0	122,0	452,0	4477,2
Te	1N	0,671	4695,8	54,9	61,0	115,9	4579,9
	2N	0,629	4404,2	109,8	122,0	231,8	4172,4
	1W	0,510	3566,5	91,5	61,0	152,5	3414,0
	2W	0,790	5527,7	183,0	122,0	305,0	5222,7
Fy	1N	0,607	4251,3	107,8	61,0	168,8	4082,5
	2N	0,414	2898,0	215,6	122,0	337,6	2560,4
	1W	0,698	4884,8	154,0	61,0	215,0	4669,8
	2W	0,530	3706,5	308,0	122,0	430,0	3276,5
As	1N	0,446	3124,3	33,3	61,0	94,3	3030,0
	2N	0,499	3491,8	66,6	122,0	188,6	3303,2
	1W	0,454	3175,7	66,6	61,0	127,6	3048,1
	2W	0,541	3787,0	133,2	122,0	255,2	3531,8
Ty	1N	0,422	2956,3	13,0	61,0	74,0	2882,4
	2N	0,452	3161,7	25,9	122,0	147,9	3013,8
	1W	0,415	2901,5	24,1	61,0	85,1	2816,5
	2W	0,509	3559,5	48,1	122,0	170,1	3389,4

Oznaczenia skrótów: jak w tabeli 5.

W dostępnej literaturze jest niewiele doniesień na temat wpływu aplikacji biostymulatorów na opłacalność uprawy roślin bobowatych. O korzystnym wpływie biostymulatorów na poprawę opłacalności uprawy soi doniosła Kocira (2017) potwierdzając jednocześnie, że reakcja roślin zależy od odmiany, rodzaju, stężenia i liczby aplikacji biostymulatora. Ponadto w uprawie fasoli najbardziej opłacalne było jednokrotne, dolistne stosowanie biostymulatora opartego na związkach nitrofenolowych (Asahi SL) w stężeniu 0,2% (Nowosad i in. 2020). Jednocześnie autorzy dowiedli, że uzyskany efekt zależał od stężenia preparatu i warunków pluwiotermalnych panujących w latach badań. Potwierdzeniem tego są badania Szparagi i in. (2019), w których dwukrotne zastosowanie wyższego stężenia Atoniku w uprawie fasoli zwykłej odmiany Mexican Black przyczyniło się do osiągnięcia największego przyrostu plonu nasion i zapewniło stabilność zysków dla rolników. W związku z powyższym autorzy dowiedli, że wdrożenie zrównoważonej technologii rolniczej opartej na

stosowaniu biostymulatorów syntetycznych jest skuteczną metodą na zwiększenie produktywności roślin, a co za tym idzie korzyści ekonomicznych dla rolników.

Santoso i in. (2018) stwierdzili, że aplikacja biostymulatorów pozwoli rolnikom uzyskać dodatkowe dochody z wyższych plonów uzyskanych dzięki stosowaniu tych preparatów. Ponadto uzyskane dodatkowe dochody będą znacznie wyższe niż koszty materiałów, wykonania zabiegów agrotechnicznych i poniesionej pracy i mogą przekroczyć nawet 20-krotność poniesionych nakładów.

Przeprowadzona w badaniach własnych analiza ekonomiczna jest ważnym ogniwem, łączącym efekt agronomiczny z osiągnięciem zrównoważenia w zarządzaniu uprawą fasoli, a jej nieodłącznym elementem jest maksymalizacja wydajności. W niniejszych badaniach wykazano, że aplikacja biostymulatorów zwiększyła plonowanie fasoli, a tym samym dochód dla rolników.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonego w latach 2016-2018 doświadczenia polowego z fasolą zwykłą odmiany Orzeł stwierdzono, że dolistne stosowanie biostymulatorów korzystnie wpływa na cechy kształtujące plon, wielkość plonu i skład chemiczny nasion oraz zwiększa opłacalność uprawy tego gatunku w warunkach glebowo-klimatycznych powiatu chełmskiego. Korzystniejszy wpływ na powyższe cechy wywierało stosowanie naturalnych preparatów niż preparatów syntetycznych.

Biostymulator Kelpak SL zawierający ekstrakt z *E. maxima* stymulował zwiększenie liczby strąków i nasion, plon nasion i wydajność białka oraz jakość nasion, tj. zawartość antocyjanów, celulozy, jak również aktywność przeciwutleniającą i siłę redukcji. Zwiększenie liczby strąków, masy 1000 nasion i wydajności białka oraz cech związanych z jakością nasion, tj. zawartości białka, antocyjanów, włókna neutralnego, hemicelulozy, makroelementów (K, P, Mg, Ca, S), mikroelementów (Zn, Al, Mo) oraz aktywności antyoksydacyjnej stwierdzono po zastosowaniu preparatu opartego na wolnych aminokwasach. Ostatni z naturalnych biostymulatorów, Fylloton, stymulował zwiększenie liczby strąków, wydajności białka oraz zawartości włókna neutralnego, hemicelulozy i wybranych składników pokarmowych (S, Al, Ni i Se) w nasionach fasoli. Z kolei biostymulatory syntetyczne stosowane w uprawie fasoli, jak Asahi SL i Tytanit zwiększyły liczbę strąków. Dodatkowo preparat oparty na związkach nitrofenolowych spowodował zwiększenie zawartości polifenoli w nasionach. Jednak w przypadku niektórych badanych cech, jak zawartości flawonoidów, włókna kwaśnego i ligniny najwyższe wartości uzyskano w obiekcie kontrolnym. Natomiast zmniejszenie wartości badanych cech, jak: liczby strąków i nasion, plonu nasion, masy 1000 nasion, wydajności białka oraz zawartości białka, antocyjanów włókna neutralnego, hemicelulozy, celulozy, makroelementów (K, P, Mg, Ca, S), mikroelementów (Zn, Ni, Se) stwierdzono w obiekcie bez stosowania biostymulatora. Ponadto zarówno biostymulatory naturalne, jak i syntetyczne negatywnie wpłynęły na niektóre badane cechy. Spośród preparatów naturalnych zmniejszenie masy 1000 nasion, zawartości polifenoli i siarki stwierdzono po aplikacji Kelpaku SL, a masy 1000 nasion, zawartości ligniny i siarki po zastosowaniu Terra Sorb Complex. Preparat zawierający tytan spowodował zmniejszenie masy 1000 nasion oraz zawartości białka, polifenoli, flawonoidów, celulozy i niektórych składników pokarmowych (S, Al, Mo, Ni, Se). Natomiast opryskiwanie roślin biostymulatorem Asahi SL zmniejszyło masę 1000 nasion oraz zawartość białka, ligniny i siarki w nasionach. Brak negatywnego wpływu na badane cechy zanotowano tylko w przypadku aplikacji Fyllotonu. Ponadto nie

stwierdzono wpływu biostymulatorów na zawartość w nasionach miedzi, żelaza i manganu. Warunki pogodowe panujące w 2017 roku sprzyjały największemu przyrostowi cech kształtujących plon, tj. liczby nasion i plonu nasion po aplikacji Kelpaku SL oraz liczby strąków po aplikacji Terra Sorb Complex. Ponadto drugi rok badań korzystnie wpływał na zwiększenie zawartości włókna kwaśnego po aplikacji Kelpaku SL, cynku po aplikacji Terra Sorb Complex oraz związków fenolowych po aplikacji Fyllotonu i Asahi SL. W poszczególnych latach badań stwierdzono także pozytywny wpływ stosowania Terra Sorb Complex na cechy: masę 1000 nasion, wydajność białka, zawartość w nasionach białka, włókno neutralne, hemicelulozę, składników pokarmowych (K, Mg, Ca, S) oraz siłę redukcji. Dolistne stosowanie Kelpaku SL stymulowało zwiększenie zawartości antocyjanów, celulozy oraz aktywności antyoksydacyjnej i siły redukcji w nasionach w kolejnych latach badań. Ponadto biostymulator Fylloton stosowany w uprawie fasoli przyczynił się do zwiększenia w wybranych latach badań zawartości hemicelulozy i siły redukcji (wszystkie lata), fosforu i miedzi (2018 r.), siarki (2016 i 2018 r.) niklu (2016 r.), selenu (2017 r.). Aplikacja wszystkich preparatów spowodowała zwiększenie zawartości fosforu w 2016 i 2017 r. i glinu w 2018 r. Jednak opryskiwanie roślin czystą wodę korzystnie wpłynęło na zawartość związków fenolowych, włókna kwaśnego i ligniny (2016 i 2018 r.), flawonoidów (we wszystkich latach badań) i glinu (2016 r.). Rośliny, które wyrosły w obiekcie kontrolnym charakteryzowały się najniższymi wartościami następujących cech: liczby strąków i nasion, plonu nasion, wydajności białka oraz zawartości białka, antocyjanów, włókna neutralnego, hemicelulozy, potasu, fosforu, magnezu, wapnia, aktywności antyoksydacyjnej, siły redukcji w nasionach we wszystkich latach badań oraz celulozy (2016 i 2018 r.), siarki (2016 i 2017 r.), miedzi i glinu (2018 r.), cynku i selenu (2017 r.). Biostymulatory syntetyczne, jak Tytanit spowodowały zmniejszenie zawartości związków fenolowych i flawonoidów (we wszystkich latach badań); Asahi SL - zawartości siarki (w 2018 r.) oraz stosowanie Tytanitu i Asahi SL - zawartości niklu (w 2016 r.). Ponadto aplikacja Kelpaku SL spowodowała zmniejszenie zawartości wapna (we wszystkich latach badań) i glinu (w 2016 r.), aplikacja Fyllotonu – włókna kwaśnego (we wszystkich latach badań) i celulozy (w 2017 i 2018 r.), Terra Sorb Complex i Fyllotonu - ligniny (w 2018 r.) oraz wszystkich biostymulatorów - ligniny (w 2016 r.).

Stosowanie biostymulatorów w obu stężeniach i liczbach aplikacji stymulowało zwiększenie liczby strąków i nasion, plonu nasion, wydajność białka oraz zawartość w nasionach antocyjanów, fosforu, jak również aktywność antyoksydacyjną i siłę redukcji w porównaniu z obiektem kontrolnym. Aplikacja obu stężeń biostymulatorów w formie jednokrotnego oprysku spowodowała zwiększenie zawartości cynku, a dwukrotne ich

stosowanie najkorzystniej wpłynęło na zawartość włókna neutralnego, hemicelulozy i siarki w nasionach fasoli. Jednokrotne traktowanie roślin fasoli niższym stężeniem zwiększyło zawartość białka, potasu i magnezu, a wyższym stężeniem preparatu – zawartość polifenoli, włókna neutralnego i celulozy. Natomiast najmniejszą wartość badanych cech, jak koncentracji białka, włókna neutralnego, hemicelulozy, celulozy i składników pokarmowych (K, Mg, Ca, S, Zn) w nasionach stwierdzono w obiekcie kontrolnym. Opryskiwanie roślin wyższym stężeniem preparatu zmniejszyło zawartość ligniny i polifenoli. Istotnie najmniejszą zawartość flawonoidów i włókna kwaśnego w nasionach zanotowano po zastosowaniu biostymulatorów, niezależnie od stężenia i liczby wykonanych zabiegów. Z kolei brak istotnego wpływu zastosowanego stężenia i liczby aplikacji biostymulatora stwierdzono w przypadku masy 1000 nasion oraz większości składników mineralnych (Cu, Fe, Al, Mn, Mo, Ni, Se). Przebieg warunków pogodowych w 2016 roku spowodował zwiększenie zawartości celulozy i fosforu po zastosowaniu biostymulatorów niezależnie od stężenia i liczby wykonanych zabiegów oraz zawartości wapna i cynku po dwukrotnej aplikacji niższego stężenia preparatu. Warunki hydrotermiczne panujące w drugim roku badań sprzyjały wyraźnemu zwiększeniu liczby strąków i nasion, plonu nasion oraz zawartości włókna kwaśnego po dwukrotnej aplikacji wyższego stężenia biostymulatora, jak również zawartości siarki i cynku po aplikacji w tych samych fazach rozwojowych roślin niższego stężenia preparatu. W tym roku badań jednokrotna aplikacja niższego stężenia zwiększyła zawartość ligniny, a wyższego stężenia zwiększyła zawartość związków fenolowych. Stosowanie biostymulatorów we wszystkich stężeniach i liczbach aplikacji sprzyjało zwiększeniu zawartości fosforu w 2017 r. W 2018 r. jednokrotne stosowanie niższego stężenia preparatu zwiększyło plon nasion, zawartość białka, związków fenolowych, wapna, a wyższe stężenie preparatu aplikowane w tej samej fazie rozwojowej roślin korzystnie wpłynęło na koncentrację cynku w nasionach. We wszystkich latach badań jednokrotne stosowanie niższego stężenia biostymulatora stymulowało zwiększenie wydajności białka, a stosowanie preparatu w obu stężeniach i liczbach aplikacji – zawartość antocyjanów, aktywność antyoksydacyjną i siłę redukcji. Rośliny opryskiwane czystą wodą charakteryzowały się zwiększeniem następujących cech: masy 1000 nasion i zawartości żelaza (2017 r.), zawartości związków fenolowych (2018 r.), włókna kwaśnego i ligniny (2016 i 2018 r.) oraz flawonoidów (we wszystkich latach badań). Najmniejszą liczbę strąków i nasion (2017 r.), plonu nasion (2017 i 2018 r.), zawartości manganu (2018 r.) oraz wydajności białka i zawartości antocyjanów (we wszystkich latach badań) stwierdzono w obiekcie kontrolnym. Ponadto zanotowano zmniejszenie wartości następujących cech: masy 1000 nasion, zawartości ligniny i związków fenolowych (2017 r.) oraz cynku (2018 r.) po

dwukrotnej aplikacji niższego stężenia, zawartości włókna kwaśnego, ligniny i żelaza (2017 r.), białka (2018 r.) po jednokrotnej aplikacji wyższego stężenia, zawartości włókna kwaśnego (2016 r.), żelaza (2017 r.), związków fenolowych (2018 r.) oraz ligniny (2016 i 2018 r.), po dwukrotnej aplikacji wyższego stężenia biostymulatora. Stwierdzono także zwiększenie zawartości włókna kwaśnego (2018 r.) i flawonoidów (w trzech latach badań) we wszystkich kombinacjach ze stosowaniem biostymulatora.

W doświadczeniu stwierdzono interakcję czynników w kształtowaniu badanych cech. Najkorzystniej na cechy biometryczne roślin i skład chemiczny nasion fasoli wpływała aplikacja biostymulatorów naturalnych. Wykazano istotny wpływ interakcji jednokrotnego stosowania preparatu Kelpak SL na zwiększenie wartości cech: liczba strąków (0,7 i 1% stężenie), aktywność antyoksydacyjna (0,7% stężenie) liczba i plon nasion, zawartość fosforu (1% stężenie). Potwierdzono występowanie istotnego współdziałania dwukrotnego opryskiwania roślin ekstraktem z *E. maxima* w kształtowaniu cech poprzez zwiększenie aktywności antyoksydacyjnej (0,7 i 1% stężenie), liczby strąków i zawartości fosforu (1% stężenie). Dowiedziono także występowanie interakcji jednokrotnego opryskiwania roślin biostymulatorem Terra Sorb Complex w zwiększeniu wartości takich cech jak: masa 1000 nasion, wydajność białka, zawartość białka (0,3% stężenie), aktywność przeciwutleniająca, zawartość włókna neutralnego, hemicelulozy, potasu, magnezu, siarki (0,5% stężenie). W doświadczeniu wykazano także występowanie interakcji dwukrotnego stosowania biostymulatora opartego na wolnych aminokwasach w kształtowaniu cech poprzez zwiększenie liczby strąków, zawartości antocyjanów i hemicelulozy (0,3 i 0,5% stężenie), zawartości wapnia (0,3% stężenie) oraz zawartości włókna neutralnego i siarki (0,5% stężenie). Potwierdzono współdziałanie stosowania 0,7% stężenia Fyllotonu w kształtowaniu zawartości fosforu (jednokrotna aplikacja), potasu, magnezu i niklu (dwukrotna aplikacja) oraz 1% stężenia biostymulatora na zawartość hemicelulozy i fosforu (w obu aplikacjach preparatu) wykazując istotne zwiększenie ich wartości. Stwierdzono istotną interakcję jednokrotnego stosowania biostymulatora syntetycznego Asahi SL na zwiększenie zawartości celulozy, fosforu (0,1% stężenie) i polifenoli (0,2% stężenie). Natomiast dwukrotna aplikacja tego preparatu istotnie współdziałała powodując wzrost wartości cech: liczby strąków, zawartości flawonoidów i fosforu (0,1% stężenie). Zanotowano występowanie istotnej interakcji stosowania 0,07% roztworu Tytanitu na zwiększenie zawartości fosforu (jednokrotna aplikacja) i liczby strąków (dwukrotna aplikacja) oraz traktowania roślin 0,13% roztworem preparatu, co przyczyniło się do zwiększenia zawartości fosforu (dwukrotna aplikacja). Ponadto stwierdzono współdziałanie aplikacji biostymulatorów w obu stężeniach i liczbach

aplikacji na zwiększenie siły redukcji (Kelpak SL, Terra Sorb Complex, Fylloton), zawartości antocyjanów (Kelpak SL) i fosforu (Terra Sorb Complex). Dodatkowo wykazano występowanie współdziałania oprysku roślin czystą wodą na zwiększenie zawartości w nasionach flawonoidów, włókna kwaśnego i ligniny. Zaobserwowano istotną interakcję stosowania czystej wody do oprysku roślin w kształtowaniu cech poprzez zmniejszenie liczby strąków i nasion, plonu nasion oraz wydajności białka, a w nasionach aktywności antyoksydacyjnej, siły redukcji, zawartości antocyjanów, włókna neutralnego, hemicelulozy, potasu, fosforu, magnezu i wapnia. Jednak wykazano interakcję aplikacji wybranych biostymulatorów na zmniejszenie wartości cech, jak w przypadku jednokrotnego stosowania 0,07% stężenia Tytanitu, które zmniejszyło zawartość hemicelulozy, celulozy i siarki, a zastosowanie 0,13% stężenia preparatu w tej samej fazie rozwojowej roślin zmniejszyło zawartość ligniny, potasu, magnezu i wapnia. Zanotowano także interakcję dwukrotnej aplikacji 0,07% stężenia Tytanitu na zmniejszenie masy 1000 nasion, 0,13% stężenia preparatu na zmniejszenie zawartości polifenoli oraz 0,07 i 0,13% stężenia na uzyskanie najmniejszej zawartości flawonoidów. Biorąc pod uwagę drugi biostymulator syntetyczny Asahi SL wykazano interakcję jednokrotnego stosowania tego preparatu na zmniejszenie wartości badanych cech: zawartość ligniny (0,1 i 0,2% stężenie), białka i niklu (0,2% stężenie). Z kolei stwierdzono współdziałanie dwukrotnej aplikacji biostymulatora opartego na związkach nitrofenolowych w kształtowaniu cech poprzez zmniejszenie zawartości fosforu (0,2% stężenie). Stwierdzono istotną interakcję jednokrotnego oprysku roślin preparatem Kelpak SL, która spowodowała zmniejszenie zawartości ligniny (0,7 i 1% stężenie), potasu i magnezu (0,2% stężenie). Wykazano także współdziałanie dwukrotnej aplikacji ekstraktu z *E. maxima* w zmniejszeniu wartości badanych cech, tj. zawartości potasu i magnezu (0,1 i 0,2% stężenie) oraz ligniny (0,1% stężenie). Istotną interakcję jednokrotnej aplikacji Fyllotonu zanotowano w przypadku zmniejszenia zawartości ligniny (0,7 i 1% stężenie), flawonoidów i włókna kwaśnego, (1% stężenie) oraz dwukrotnego stosowania tego biostymulatora na uzyskanie najmniejszej koncentracji ligniny (1% stężenie). W przypadku stosowania Terra Sorb Complex stwierdzono współdziałanie jednokrotnej aplikacji tego biostymulatora na zmniejszenie zawartości ligniny (0,3 i 0,5% stężenie) oraz dwukrotnego oprysku roślin tym preparatem na zmniejszenie kumulacji flawonoidów (0,3% stężenie) i ligniny (0,5% stężenie).

Warunki hydrotermiczne w latach badań istotnie wpływały na liczbę strąków i nasion z 1 m^2, masę 1000 nasion, zawartość w nasionach polifenoli ogółem, włókna neutralnego, ligniny i celulozy oraz mikroelementów – glinu i niklu. Największą liczbę strąków uzyskano w pierwszym i trzecim roku badań w odniesieniu do drugiego roku. Natomiast liczba nasion

w 2016 i 2017 roku była najwyższa, choć jednocześnie zanotowano w tych latach najniższą masę 1000 nasion w odniesieniu do ostatniego roku badań. Z przeprowadzonych badań wynika, że warunki pluwiotermalne w 2016 roku pozytywnie wpływały na cechy biometryczne kształtujące plon nasion, stwarzając korzystne warunki dla roślin szczególnie w fazach krytycznych wzrostu i rozwoju, tj. podczas wschodów, kwitnienia i zawiązywania strąków. Przebieg warunków pogodowych w pierwszym roku badań korzystnie wpływał także na jakość nasion zwiększając zawartość w nich polifenoli ogółem, glinu i niklu. Natomiast w 2017 roku istotnie zwiększyła się zawartość włókna neutralnego i celulozy w nasionach w odniesieniu do pozostałych lat badań. Odwrotną zależność zanotowano w przypadku zawartości ligniny w nasionach, tj. największe wartości tej cechy stwierdzono w 2016 i 2018 roku. Warunki hydrotermiczne w latach badań nie wpływały na pozostałe badane cechy, tj. plon nasion, wydajność białka, cechy jakościowe nasion związane z zawartością białka, antocyjanów, flawonoidów, włókna kwaśnego, hemicelulozy, aktywnością antyoksydacyjną i siłą redukcji oraz zawartością makroelementów (K, P, Mg, Ca, S) i mikroelementów (Cu, Fe, Zn, Mn, Mo, Se).

Synteza z trzech lat badań wykazała, że najkorzystniej na opłacalność stosowania biostymulatorów wpłynęło jednokrotne stosowanie preparatu Kelpak SL w obu stężeniach. Z kolei dwukrotne stosowanie 0,7% roztworu Fyllotonu okazało się najmniej opłacalne. W pierwszych dwóch latach badań potwierdzono korzystny wpływ jednokrotnego oprysku 0,7 i 1% stężeniem preparatu opartego na ekstrakcie z *E. maxima* na opłacalność aplikacji biostymulatorów. W ostatnim roku zanotowano pozytywny wpływ jednokrotnej aplikacji niższego stężenia Asahi SL i Tytanitu, jak również dwukrotnej aplikacji niższego stężenia Kelpaku SL na opłacalność stosowania tych preparatów. Wykazano także duże zróżnicowanie wpływu biostymulatorów w poszczególnych latach badań na obniżenie opłacalności ich stosowania. W pierwszym roku najmniej opłacalny był Fylloton stosowany dwukrotnie w obu stężeniach, w drugim roku Asahi SL i Tytanit w formie jednokrotnej aplikacji niższego stężenia, a w trzecim roku Terra Sorb Complex stosowany jednokrotnie w wyższym stężeniu.

Wyniki badań uzyskane z trzyletniego doświadczenia polowego pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Dolistna aplikacja biostymulatorów pozytywnie wpływa na cechy kształtujące plon, wielkość plonu i skład chemiczny nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł oraz na ekonomiczną opłacalność jej uprawy, a uzyskane efekty zależą od biostymulatora, jego stężenia i liczby wykonanych zabiegów. Wykazano, że preparaty pochodzenia

naturalnego (Kelpak SL, Terra Sorb Complex, Fylloton) dają lepsze efekty niż preparaty pochodzenia syntetycznego (Asahi SL, Tytanit).

2. Dwukrotny oprysk roślin (w fazach BBCH 12-13 i BBCH 61) niższym stężeniem Terra Sorb Complex (0,3%), Asahi SL (0,1%) i Tytanitu (0,07%), jak również stosowanie w tych samych fazach rozwojowych roślin wyższego stężenia preparatów Terra Sorb Complex (0,5%) i Kelpak SL (1%) zwiększa liczbę strąków, a jednokrotny oprysk roślin (w fazie BBCH 12-13) 0,3% stężeniem Terra Sorb Complex zwiększa masę 1000 nasion, zawartość białka w nasionach i jego wydajność z 1 ha uprawy.
3. Rośliny jednokrotnie traktowane biostymulatorem Kelpak SL w 1% stężeniu charakteryzują się istotnie największą liczbą nasion i plonem nasion. Dobre efekty daje także jednokrotny oprysk roślin fasoli tym samym preparatem w stężeniu 0,7%.
4. Stosowanie biostymulatorów wpływa na jakość nasion fasoli modyfikując ich skład chemiczny:
    - Opryskiwanie roślin fasoli biostymulatorem Kelpak SL, niezależnie od stężenia i liczby aplikacji, wpływa na zwiększenie zawartości antocyjanów i siły redukcji jonów żelaza. Najkorzystniej na aktywność antyoksydacyjną oznaczoną wobec kationorodników $ABTS^{+}$ wpływa stosowanie tego biostymulatora w formie jednokrotnego oprysku roślin 0,7% stężeniem i dwukrotnej aplikacji preparatu w obu stężeniach (0,7 i 1%). Rośliny fasoli traktowane 1% stężeniem preparatu Kelpak SL w obu aplikacjach charakteryzują się największą zawartością fosforu.
    - Zastosowanie w uprawie fasoli biostymulatora Terra Sorb Complex w obu stężeniach i liczbach aplikacji zwiększa zawartość fosforu i siłę redukcji wobec jonów żelaza. Rośliny jednokrotnie traktowane 0,5% stężeniem tego preparatu charakteryzują się największą koncentracją potasu, magnezu i aktywnością antyoksydacyjną wobec kationorodników $ABTS^{+}$. Dwukrotna aplikacja Terra Sorb Complex w obu stężeniach najkorzystniej wpływa na zawartość antocyjanów. Fasola reaguje także istotnym zwiększeniem koncentracji włókna neutralno-detergentowego i hemicelulozy po zastosowaniu jednokrotnego oprysku roślin 0,5% stężeniem i dwukrotnej aplikacji preparatu w obu stężeniach (0,3 i 0,5%). Najkorzystniej na zawartość wapnia w nasionach wpływa dwukrotna aplikacja Terra Sorb Complex w 0,3% stężeniu, a na koncentrację siarki stosowanie 0,5% stężenia w obu aplikacjach. Na zawartość

glinu i molibdenu korzystnie wpływa opryskiwanie roślin tym biostymulatorem.

- Dolistna aplikacja biostymulatora Fylloton w uprawie fasoli, w obu stężeniach i liczbach wykonania zabiegu, istotnie zwiększa siłę redukcji wobec jonów żelaza. Zastosowanie tego preparatu w 1% stężeniu, niezależnie od liczby aplikacji, najkorzystniej wpływa na zawartość hemicelulozy. Dwukrotny oprysk roślin 0,7% roztworem biostymulatora zwiększa koncentrację potasu, magnezu i niklu. Natomiast jednokrotny oprysk 0,7% stężeniem Fyllotonu, jak również dwukrotne jego stosowanie w obu stężeniach istotnie zwiększa zawartość fosforu. Stosowanie Fyllotonu w uprawie fasoli zwiększa też koncentrację glinu, niklu i selenu.
- Istotne zwiększenie koncentracji polifenoli ogółem stwierdzono po jednokrotnej aplikacji 0,2% stężenia Asahi SL. Na zwiększenie koncentracji fosforu wpływa opryskiwanie roślin 0,1% roztworem Asahi SL w obu liczbach aplikacji, jak również jednokrotne stosowanie 0,07% i dwukrotne 0,13% roztworu Tytanitu.

5. Dolistna aplikacja biostymulatorów nie wpływa na koncentrację miedzi, żelaza i manganu w nasionach fasoli.
6. Przeprowadzone doświadczenie nie daje jednoznacznej odpowiedzi dotyczącej wpływu liczby wykonanych zabiegów badanymi biostymulatorami na wielkość plonu, jego jakość i cechy kształtujące plon nasion fasoli, ze względu na różną reakcję roślin. Wykazano jednak, że jednokrotna aplikacja biostymulatora Kelpak SL, niezależnie od stężenia, korzystnie wpływa na poprawę opłacalności uprawy fasoli.
7. Fasola zwykła odmiana Orzeł pozytywnie reaguje na dolistną aplikację badanych biostymulatorów, a w przypadku wystąpienia warunków stresowych zaleca się stosowanie tych preparatów w uprawie polowej. W praktyce rolniczej należy rekomendować jednokrotne stosowanie biostymulatora Kelpak SL w 1% stężeniu ze względu na uzyskanie najwyższego plonu nasion i ekonomicznej opłacalności uprawy.
8. W 2017 roku charakteryzującym się najmniej korzystnym przebiegiem warunków pogodowych stosowanie biostymulatorów przyczyniło się do istotnego przyrostu plonu, co złagodziło efekt stresu wywołany suszą i niską temperaturą, potwierdzając opinię o działaniu tych preparatów w warunkach stresowych.

7. LITERATURA

Abbas, S.M. (2013). The influence of biostimulants on the growth and on the biochemical composition of *Vicia faba* CV. Giza 3 beans. Romanian Biotechnological Letters 18(2), 8061-8068.

Abd El-Aal, M.M.M. (2012). Response of ananas melon plants to foliar spray with some natural extracts. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 8(2), 201-212.

Abd El-Gawad, H.G., Osman, H.S. (2014). Effect of exogenous application of boric acid and seaweed extract on growth, biochemical content and yield of eggplant. Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants, 6, 133-143.

Abdel-Mawgoud, A. M. R., El-Bassiouny, A. M., Ghoname, A., Abou-Hussein, S. D. (2011). Foliar application of amino acids and micronutrients enhance performance of green bean crop under newly reclaimed land conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(6), 51-55.

Abdel-Mawgoud, A. M. R., Tantaway, A. S., Hafez, M. M., Habib, H. A. (2010). Seaweed extract improves growth, yield and quality of different watermelon hybrids. Research Journal of Agriculture and Biological Science, 6(2), 161-168.

Abo-Sedera, F. A. (2016). Effect of organic fertilizer and foliar spray with some safety compounds on growth and productivity of snap bean. Annals of Agricultural Science, Moshtohor, 54(1), 105-118.

Alam, M. Z., Braun, G., Norrie, J., Hodges, D. M. (2013). Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. Canadian Journal of Plant Science, 93(1), 23-36.

Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., Peiter, E. (2020). Manganese in plants: from acquisition to subcellular allocation. Frontiers in Plant Science, 11, 300.

Ali, N., Farrell, A., Ramsubhag, A., Jayaraman, J. (2016). The effect of *Ascophyllum nodosum* extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions. Journal of Applied Phycology, 28(2), 1353-1362.

Al-Whaibi, M.H., Siddiqui, M.H., Al Amri, A., Basalah, M.O. (2010) Performance of faba bean under calcium and gibbrellic acid application. The International Journal of Developmental Biology, 4, 60-63.

Ambroszczyk, A. M., Liwińska, E., Bieżanowska-Kopeć, R. (2016). Zróżnicowanie wartości odżywczej oraz prozdrowotnej owoców pomidora w zależności od zastosowanych stymulatorów wzrostu. W: Rola procesów technologicznych w kształtowaniu jakości

żywności, Duda-Chodak, A., Najgebauer-Lejko, D., Drożdż I., Tarko, T. (red.). Polskie Towarzystwo Technologów Żywności, Kraków, 171-182.

Amin, M. S., Elshinawy, M. Z., Abdallah, M. M., El-Gawad, A. (2020). Effect of seaweed extract and biofertilizer on organic production of common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 28(1), 265-273.

Ananthi, K. J., Sornalakshmi, V., Kumar, V. (2021). Effect of *Ulva lactuca* seaweed liquid fertilizer on drought stressed *Vigna unguiculata*. Annals of the Romanian Society for Cell Biology, 15, 12968-12981.

Andrews, M., Andrews, M. E. (2017). Specificity in legume-rhizobia symbioses. International Journal of Molecular Sciences, 18, 4, 705.

Antil, R.S., Raj, D. (2020). Integrated nutrient management for sustainable crop production and improving soil health. In: Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production, Meena, R. (ed.). Springer, Singapore. 67-101.

Anyszka Z. (red.). (2015). Metodyka integrowanej ochrony fasoli (materiały dla producentów). Instytut Ochrony Roślin – PIB w Poznaniu, Skierniewice.

AOAC. (1995). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 16th ed. AOAC, Arlington, method 990.03 (Dumas).

AOCS. (2009). Approved procedure Ba 6a-05: Crude fiber analysis in feeds by filter bag technique. Official Methods and Recommended Practices.

Aref, F. (2011). Zinc and boron content by maize leaves from soil and foliar application of zinc sulfate and boric acid in zinc and boron deficient soils. Middle-East Journal of Scientific Research, 7(4), 610-618.

Arthur, G. D., Stirk, W. A., Van Staden, J., Scott, P. (2003). Effect of a seaweed concentrate on the growth and yield of three varieties of *Capsicum annuum*. South African Journal of Botany, 69(2), 207-211.

Aruoma, O. I., Murcia, A., Butler, J., Halliwell, B. (1993). Evaluation of the antioxidant and prooxidant actions of gallic acid and its derivatives. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 41, 1880–1885.

Azcona, I., Pascual, I., Aguirreolea, J., Fuentes, M., García-Mina, J. M., Sánchez-Díaz, M. (2011). Growth and development of pepper are affected by humic substances derived from composted sludge. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 174, 916–924.

Bałuch, A., Benedycki, S. Benedycka, Z. (2004). Wartość poplonowa mieszanek motylkowato-trawiastych. Annales UMCS. Sectio E, 59, 449–455.

Baraniak B., Kostecka M., Niezabitowska M. (1999). Kwasowa hydroliza grochu i fasoli szparagowej. Żywność Nauka Technologia Jakość, 6(3), 81-88.

Bartnik, M., Wierzchowska-Renke, K., Głowniak, P., Głowniak, K. (2017). Phenolic acids in *Crithmum maritimum* L. (Apiaceae) after Tytanit fertilization. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 86, 3560.

Calvo, A. (2008). Biostimulators. Definitions, classification and legislation. In: Biostimulators in modern agriculture: General Aspects, Gawrońska, H. (red.). Editorial House Wieś Jutra, Warszawa, 7-17.

Bashan, Y., de Bashan, L. E., Prabhu, S. R. Hernandez, J.-P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998–2013). Plant Soil, 378(1–2), 1–33.

Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae, 196, 39-48.

Beckett, R. P., Mathegka, A. D. M., van Staden, J. (1994). Effect of seaweed concentrate on yield of nutrient-stressed tepary bean (*Phaseolus acutifolius* Gray). Journal of Applied Phycology, 6(4), 429-430.

Bharath, B, Nirmalraj, S, Mahendrakumar, M, Perinbam, K. (2018). Biofertilizing efficiency of *Sargassum polycystum* extract on growth and biochemicalcomposition of *Vigna radiata* and *Vigna mungo*. Asian Pacific Journal of Reproduction, 7(1), 27-32.

Boghdady, M. S., Selim, D. A. H., Nassar, R. M. A. Salama, A. M. (2016). Influence of foliar spray with seaweed extract on growth, yield and its quality, profile of protein pattern and anatomical structure of chickpea plant (*Cicer arietinum* L.). Middle East Journal of Applied Sciences, 6, 207-221.

Borresen, E. C., Brown, D. G., Harbison, G., Taylor, L., Fairbanks, A., O'Malia, J., Bazan, M., Rao, S., Bailey, S. M., Wdowik, M., Weir, T. L., Brown, R. J., Ryan, E. P. (2016). A randomized controlled trial to increase navy bean or rice bran consumption in colorectal cancer survivors. Nutrition and Cancer, 68(8), 1269-1280.

Brear, E. M., Day, D. A., Smith, P. M. C. (2013). Iron: an essential micronutrient for the legume-rhizobium symbiosis. Frontiers in Plant Science, 4, 359-359.

Brito, A. F., Broderick, G. A., Colmenero, J. O., Reynal, S. M. (2007). Effects of feeding formate-treated alfalfa silage or red clover silage on omasal nutrient flow and microbial protein synthesis in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 90(3), 1392-1404.

Broderick, G. A., Brito, A. F., Colmenero, J. O. (2007). Effects of feeding formate-treated alfalfa silage or red clover silage on the production of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 90(3), 1378-1391.

Brookes, P.C., Cayuela, M.L., Contin, M., de Nobili, M., Kemmitt, S.J., Mondini, C. (2008). The mineralization of fresh and humified soil organic matter by the soil microbial biomass. Waste Management, 28, 716–722.

Brown, P., Saa, S. (2015). Biostimulants in agriculture. Frontiers in Plant Science, 5, 671.

Budzyński, W., Dubis, B., Jankowski, A. (2008). Response of winter oilseed rape to the biostimulator Asahi SL applied in spring. In: Biostimulators in modern agriculture: Field crops, Dąbrowski, Z.T. (red.). Editorial House Wieś Jutra, Warszawa, 47-55.

Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: a review. Biological Agriculture & Horticulture, 31(1), 1-17.

Buraczewska, L., Pastuszewska, B., Smulikowska, S. (2010). Wartość paszowa nasion łubinu w żywieniu świń, drobiu i ryb. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 550, 21-31.

Burton, G. W., Doba, T., Gabe, E., Hughes, L., Lee, F. L., Prasad, L., Ingold, K. U. (1985). Autoxidation of biological molecules. 4. Maximizing the antioxidant activity of phenols. Journal of the American Chemical Society, 107(24), 7053-7065.

Caballero, B., Trugo, L. C., Finglas, P. M. (2003). Encyclopedia of food sciences and nutrition. 2nd Edition, Academic Press, London.

Cabrera, C., Lloris, F., Gimenez, R., Olalla, M., Lopez, M. C. (2003). Mineral content in legumes and nuts: contribution to the Spanish dietary intake. Science of the Total Environment, 308(1-3), 1-14.

Calvo, P., Nelson, L. Kloepper, J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. Plant Soil, 383, 3–41.

Cambri, D., Filippino, L., Apone, F., Arciello, S., Colucci, G., Portoso, D. (2008). Effect of Amonoplant on expression of selected genes in *Arabidopsis thaliana* L. plants. In: Biostimulators in Modern Agriculture: General Aspects, Gawronska, H. (red.). Editorial House Wieś Jutra, Warszawa, 77–82.

Canellas, L. P., Dantas, D. J., Aguiar, N. O., Peres, L. E. P., Zsögön, A., Olivares, F. L., Dobbss, L.B., Façanha, A.R., Nebbioso, A., Piccolo, A. (2011). Probing the hormonal activity of fractionated molecular humic components in tomato auxin mutants. Annals of Applied Biology, 159(2), 202-211.

Carranca, C. (2013). Legumes: properties and symbiosis. In: Symbiosis: Evolution, Biology and Ecological Effects, Camisão, A. H., Pedroso, C. C. (eds). Nova Science Publishers, New York, 67-94.

Carvajal, M., Alcaraz, C. F. (1998). Why titanium is a beneficial element for plants. Journal of Plant Nutrition, 21, 655–664.

Carvajal, M. F., Martínez-Sánchez, F., Alcaraz, C. F. (1994). Effect of Ti (IV) on some physiological activity indicators of *Capsicum annuum* L. plants. Journal of Horticultural Sciences, 69, 427-432.

Cerdán, M., Sánchez-Sánchez, A., Oliver, M., Juárez, M., Sánchez-Andreu, J. J. (2008). Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. In: IV Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes, 830, 481-488.

Champ, M. M. J. (2002). Non-nutrient bioactive substances of pulses. British Journal of Nutrition, 88(S3), 307-319

Chibbar, R. N., Ambigaipalan, P., Hoover, R. (2010). Molecular diversity in pulse seed starch and complex carbohydrates and its role in human nutrition and health. Cereal Chemistry, 87(4), 342-352.

Cichoń, R., Wądołowska, L. (2010). Węglowodany W: Żywienie człowieka. Podstawy nauki o żywieniu, Gawęcki J. (red.). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R., Rouphael Y. (2017). Biostimulant action of protein hydrolysates: unraveling their effects on plant physiology and microbiome. Frontiers in Plant Science 8, 2202.

Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., Rouphael, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae, 196, 28-38.

Colla, G., Rouphael, Y., Canaguier, R., Svecova, E., Cardarelli, M. (2014). Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. Frontiers in Plant Science, 5, 448.

Craigie, J. S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. Journal of Applied Phycology, 23(3), 371-393.

Crouch, I. J., Beckett, R. P., van Staden, J. (1990). Effect of seaweed concentrate on the growth and mineral nutrition of nutrient-stressed lettuce. Journal of Applied Phycology, 2(3), 269-272.

Crouch, I. J., van Staden, J. (1992). Effect of seaweed concentrate on the establishment and yield of greenhouse tomato plants. Journal of Applied Phycology, 4(4), 291-296.

D'Acunto, L., Andrade, J.F., Poggio, S.L., Semmartin, M. (2018). Diversifying crop rotation increased metabolic soil diversity and activity of the microbial community. Agriculture, Ecosystems & Environment, 257, 159–164.

Dance, I. (2007). Elucidating the coordination chemistry and mechanism of biological nitrogen fixation. Chemistry–An Asian Journal, 2(8), 936-946.

De Ron, A. M. (ed.). (2015). Grain legumes (10). Handbook of plant breeding. Springer Science+Business Media, New York.

Díaz-Batalla, L., Widholm, J. M., Fahey, G. C., Castaño-Tostado, E., Paredes-López, O. (2006). Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54(6), 2045-2052

Dinesh, R., Srinivasan, V., Hamza, S., & Manjusha, A. (2010). Short-term incorporation of organic manures and biofertilizers influences biochemical and microbial characteristics of soils under an annual crop [Turmeric (*Curcuma longa* L.)]. Bioresource technology, 101(12), 4697-4702.

Ding, W., Yagi, K., Cai, Z., Han, F. (2010). Impact of long-term application of fertilizers on N2O and NO production potential in an intensively cultivated sandy loam soil. Water, Air, & Soil Pollution, 212(1), 141-153.

Divito, G. A., Sadras, V. O. (2014). How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. Field Crops Research, 156, 161-171.

Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Sheeba, J. A., Bangarusamy, U. (2004b). The role of nitrophenol on delaying abscission of tomato flowersand fruit. Journal of Food, Agriculture and Environment, 2, 183–186.

Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Sheeba, J. A., Bangarusamy, U., Babu, C. (2004a). Effect of oxidative stress on abscission of tomato fruits and its regulation by nitrophenols. Tropical Agricultural Research, 16, 25–36

Djanaguiraman, M., Sheeba, J. A., Devi, D. D., Bangarusamy, U. (2005a). Effect of Atonik seed treatment on seedling physiology of cotton and tomato. Journal of Biological Sciences, 5(2), 163-169.

Djanaguiraman, M., Sheeba, J. A., Devi, D. D., Bangarusamy, U. (2005b). Response of cotton to Atonik and TIBA for growth, enzymes and yield. Journal of Biological Sciences, 5(2), 158-162.

Djanaguiraman, M., Sheeba, J. A., Devi, D. D., Bangarusamy, U. (2009). Cotton leaf senescence can be delayed by nitrophenolate spray through enhanced antioxidant defense system. Journal of Agronomy and Crop Science, 195, 213–224.

Djanaguiraman, M., Sheeba, J. A., Devi, D. D., Bangarusamy, U., Prasad, P. V. V. (2010). Nitrophenolates spray can alter boll abscission rate in cotton through enhanced peroxidase activity and increased ascorbate and phenolics levels. Journal of Plant Physiology, 167, 1–9.

Dobromilska, R., Mikiciuk, M., Gubarewicz, K. (2008). Evaluation of cherry tomato yielding and fruit mineral composition after using of Bio-algeen S-90 preparation. Journal of Elementology, 13(4), 491-499.

Dogra, B. S., Mandradia, R. K. (2012). Effect of seaweed extract on growth and yield of onion. International Journal of Farm Sciences, 2(1), 59-64.

Doria, E., Campion, B., Sparvoli, F., Tava, A., Nielsen, E. (2012). Anti-nutrient components and metabolites with health implications in seeds of 10 common bean (*Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus lunatus* L.) landraces cultivated in southern Italy. Journal of Food Composition and Analysis, 26(1-2), 72-80.

Droux, M. (2004). Sulfur assimilation and the role of sulfur in plant metabolism: a survey. Photosynthesis Research, 79(3), 331-348.

Drywień, M. (2018). Oznaczanie zawartości białka ogółem w wybranych produktach spożywczych. W: Analiza żywności, Zbiór ćwiczeń, Gronowska-Senger, A. (red.). Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 21-28.

Du Jardin, P. (2012). The Science of Plant Biostimulants–A bibliographic analysis, Ad hoc study on bio-stimulants product. Final report. Contract 30-CE0455515/00-96. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/169257/1/Plant_Biostimulants_final_report_bio_2012_en.pdf (dostęp 12.04.2021).

Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae, 196, 3-14.

Du Jardin, P., Xu, L., Geelen, D. (2020). Agricultural Functions and Action Mechanisms of Plant Biostimulants (PBs) an Introduction. The Chemical Biology of Plant Biostimulants, 1-30.

Dugger, W.M. (1983). Boron in Plant Metabolism. Encyclopedia of Plant Physiology, 15, 626-650.

Dumas, J.B.A. (1831). Procedes de l'Analyse Organique. Annales de Chimie et de Physique, 247, 198–213.

Dumon, J. C Ernst, W. H. O. (1988). Titanium in plants. Journal of Plant Physiology, 133, 203–209.

El-Dahshouri, M. F. (2017). Improving seed production of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants as a response for Calcium and Boron. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 10, 211-219.

El-Gamal, I. S., Abd El-Aal, M. M. M., El-Desouky, S. A., Khedr, Z. M., Abo Shady, K. A. (2016). Effect of some growth substances on growth, chemical compositions and root yield productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plant. Middle East Journal of Agriculture Research, 5(2), 171-185.

El-Ghamry, A. M., Abd El-Hai, K. M., Ghoneem, K. M. (2009). Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clayey soil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(2), 731-739.

El-Nemr, M.A., El-Bassiony, A.M., Tantawy, A.S., Fawzy, Z.F. (2015). Responses of eggplant (*Solanum melongena* var. *esculenta* L.) plants to different foliar concentrations of some biostimulators. Middle East Journal of Agriculture Research, 4, 860-866.

Ertani, A., Cavani, L., Pizzeghello, D., Brandellero, E., Altissimo, A., Ciavatta, C., Nardi S. (2009). Biostimulant activities of two protein hydrolysates on the growth and nitrogen metabolism in maize seedlings. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 172, 237–244.

Ertani, A., Nardi, S., Altissimo, A. (2012). Long-term research activity on the biostimulant properties of natural origin compounds. In I World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture 1009, 181-187.

Ertani, A., Pizzeghello, D., Altissimo, A., Nardi, S. (2013a). Use of meat hydrolyzate derived from tanning residues as plant biostimulant for hydroponically grown maize. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 176(2), 287-295.

Ertani, A., Pizzeghello, D., Francioso, O., Sambo, P., Sanchez-Cortes, S., Nardi, S. (2014). *Capsicum chinensis* L. growth and nutraceutical properties are enhanced by biostimulants in a long-term period: Chemical and metabolomic approaches. Frontiers in Plant Science, 5, 375.

Ertani, A., Pizzeghello, D., Francioso, O., Tinti, A. Nardi, S. (2016). Biological activity of vegetal extracts containing phenols on plant metabolism. Molecules, 21, 205–219.

Ertani, A., Schiavon, M., Muscolo, A., Nardi, S. (2013b). Alfalfa plant-derived biostimulant stimulate short-term growth of salt stressed *Zea mays* L. plants. Plant and Soil, 364(1), 145-158.

Ertani, A., Schiavon, M., Nardi, S. (2017). Transcriptome-wide identification of differentially expressed genes in *Solanum lycopersicon* L. in response to an alfalfa-protein hydrolysate using microarrays. Frontiers in Plant Science, 8, 1159.

Etykieta środka ochrony roślin Asahi SL 2020, załącznik nr 2 do decyzji MRiRW file:///C:/Users/Dell/Downloads/Asahi_SL_zastnieprof_-_ET_23-09-2020.pdf (dostęp 13.06.2021)

Fageria, N.K. (2001). Adequate and toxic levels of copper and manganese in upland rice, common bean, corn, soybean, and wheat grown on an oxisol. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32, 9-10, 1659-1676.

Fageria, N.K., Gheyi, H.R. (1999). Efficient crop production. Federal University of Paraiba, Campina Grande,:Brazil.

FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). FAO Yearbook: Fishery and Aquaculture Statistics 2016/FAO annuaire, Rome.

FAOSTAT 2021 https://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN (dostęp 11.07.2021)

Fernández, V., Sotiropoulos, T., Brown, P. H. (2013). Foliar fertilization: scientific principles and field pratices. International fertilizer industry association.

Filipek, T., Dechnik I. (1995). Glin wymienny jako wskaźnik żyzności gleby. Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych 1995, z. 421a, 67-76.

Frankel, E. N., Huang, S. W., Aeschbach, R., Prior, E. (1996). Antioxidant activity of a rosemary extract and its constituents, carnosic acid, carnosol and rosmarinic acid, in bulk oil and oil-in-water emulsion. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44, 131–135.

Fuleki, T., Francis, F. J. (1968). Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. Journal of Food Science, 33(1), 72-77.

Gaj, R. 2013. Efektywne wykorzystanie składników mineralnych z nawozów we współczesnym rolnictwie. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Oddział w Poznaniu, Poznań.

Gajc-Wolska, J., Kowalczyk, K., Nowecka, M., Mazur, K., Metera, A. (2012). Effect of organic-mineral fertilizers on the yield and quality of endive (*Cichorium endivia* L.). Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus, 11(3), 189-200.

Galas, W., Kita A. (1995). Zastosowanie metody ICP-AES w wielopierwiastkowej analizie wzorca liści tytoniu. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny, 46(1), 53-57.

Ganesan, K., Xu, B. (2017). Polyphenol-rich dry common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and their health benefits. International Journal of Molecular Sciences, 18(11), 2331.

Garcia, A. L., Madrid, R., Gimeno, V., Rodriguez-Ortega, W. M., Nicolas, N., Garcia-Sanchez, F. (2011). The effects of amino acids fertilization incorporated to the nutrient solution on mineral composition and growth in tomato seedlings. Spanish Journal of Agricultural Research, 9(3), 852-861.

Garcia-Martinez, A.M., Diaz, A., Tejada, M., Bautista, J., Rodriguez, B., Santa Maria, C.S., Revilla, E., Parrado, J. (2010). Enzymatic production of an organic soil biostimulant from wheat-condensed distiller solubles: Effects on soil biochemistry and biodiversity. Process Biochemistry, 2010, 45, 1127–1133.

Garnett, T., Conn, V., Kaiser, B. N. (2009). Root based approaches to improving nitrogen use efficiency in plants. Plant, Cell & Environment, 32(9), 1272-1283.

Gaweł, E. (2011). Rola roślin motylkowych drobnonasiennych w gospodarstwie rolnym. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 11, 73-91.

Gawrońska, H., Przybysz, A. (2011). Biostymulatory: mechanizmy działania i przykłady zastosowań. TSW, Materiały konferencyjne, Warszawa, 5–6 stycznia, 7-13.

Gawrońska, H., Przybysz, A., Szalacha, E., Słowinski, A. (2008). Physiological and molecular mode of action of Asahi SL biostymulator under optima and stress conditions. In: Biostimulators in Modern Agriculture: General Aspects, Gawronska, H. (red.). Editorial HouseWieś Jutra, Warszawa, 54–76.

Ghassemi-Golezani, K., Mazloomi-Oskooyi, R. (2008). Effect of water supply on seed quality development in common bean (*Phaseolus vulgaris* var.). International Journal of Plant Production, 2(2), 117-124.

Gheoltan O.O., Morar, G. (2007). Results of the researches regarding foliar fertilizers at spelta wheat crop (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) in ecological system. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine CLUJ-NAPOCA, 63, 233-236.

Ghooshchi, F. (2017). Influence of titanium and bio-fertilizers on some agronomic and physiological attributes of triticale exposed to cadmium stress. Global NEST Journal, 19, 458–463.

Giménez, J. L., Martínez-Sánchez, F., Moreno, A., Fuentes, J. L., Alcaraz, C. F. (1990). Titanium in plant nutrition. III. Effect of Ti (IV) on yield of *Capsicum annuum* L. In: SPIC-UIB (red.), Proceedings of III Simposium Nacional de Nutrición Mineral de las Plantas, Nutrición Mineral bajo condiciones de Estrés, 123-128.

Gładyszewska, B. (2012). Zmiana zawartości białka surowego i tłuszczu w okrywie nasiennej bobu podczas kiełkowania. Acta Scientiarum Polonorum, Technica Agraria, 11(1-2).

Głowacka, A., Gruszecki, T., Szostak, B., Michałek, S. (2019). The response of common bean to sulphur and molybdenum fertilization. International Journal of Agronomy, 3830712.

Godlewska, K., Michalak, I., Chojnacka, K. (2014). Glony na zdrowie. Wiadomości Chemiczne, 68(9-10), 834-852.

Gogoi, N., Baruah, K. K., Meena, R. S. (2018). Grain legumes: impact on soil health and agroecosystem. In: Legumes for soil health and sustainable management, Meena, R. S. (ed.). Springer, Singapore, 511-539.

Grabowska, A., Kunicki, E., Sekara, A., Kalisz, A., Wojciechowska, R. (2012). The effect of cultivar and biostimulant treatment on the carrot yield and its quality. Vegetable Crops Research Bulletin, 77, 37.

Grela, E.R., Czech, A. (2019). Pasze alternatywne w odniesieniu do soi genetycznie modyfikowanej w żywieniu zwierząt. Wiadomości Zootechniczne, 57(2), 66-67.

Grenda, A. (2003). Tytanit – an activator of metabolism processes. Chemicals in Sustainable Agriculture, 4, 263-269.

Gross, Y., Kigel, J. (1994). Differential sensitivity to hight temperature of stages in the reproductive development of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Field Crops Research, 36, 201-212.

Grzebisz, W. 2011. Technologie nawożenia roślin uprawnych. Fizjologia plonowania (1). Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.

Grzebisz, W., Wrońska, M., Diatta, J. B., Dullin, P. (1999). Effect of zinc foliar application at an early stage of maize growth on patterns of nutrients and dry matter accumulation by the canopy. I: Zinc uptake patterns and its redistribution among maize organs. Journal of Elementology, 13, 17–28.

Grzyś E., Demczuk A., Sacała E. (2008). Wpływ Asahi SL na aktywność reduktazy azotanowej, zawartość chlorofilu w liściach i plon kukurydzy w warunkach niedoboru azotu w glebie. Materiały Konferencyjne: Biostymulatory w nowoczesnej uprawie roślin, Warszawa 7-8 lutego 2008, 54.

Gugała, M., Sikorska, A., Zarzecka, K., Krasnodębska, E., Kapela, K., Mystkowska, I. (2017b). Opłacalność stosowania biostymulatorów wzrostu w uprawie rzepaku ozimego. Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, 19, 92–96.

Gugała, M., Zarzecka, K., Sikorska, A., Mystkowska, I., Dołęga, H. (2017a). Wpływ herbicydów i biostymulatorów wzrostu na ograniczenia zachwaszczenia i plonowanie ziemniaka jadalnego. Fragmenta Agronomica, 34(4), 59-66.

Gulluoglu, L., Arioglu, H., Arslan, M. (2006). Effects of some plant growth regulators and nutrient complexes on above-ground biomass and seed yield of soybean grown under heat-stressed environment. Journal of Agronomy, 5, 126-130.

Guo, W., Nazim, H., Liang, Z., Yang, D. (2016). Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. The Crop Journal, 4(2), 83-91.

Gurusaravanan, P., Pandiyarajan, V., Jayabalan, N. (2011). Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and biochemical constituents of *Cicer Arietinum* L. Journal of Basic and Applied Biology, 5(1-2), 301-306.

Guzmán-Maldonado, S. H., Acosta-Gallegos, J., Paredes-López, O. (2000). Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L). Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(13), 1874-1881.

Hairiah, K., Van Noordwijk, M. & Setijono, S. (1991). Tolerance to acid soil conditions of the velvet beans Mucuna pruriens var. utilis and M. deeringiana . Plant Soil 134, 95–105 (1991). https://doi.org/10.1007/BF00010721

Halliwell, B., Aeschbach, R., Löliger, J., Aruoma, O. I. (1995). The characterization of antioxidants. Food and Chemical Toxicology, 33(7), 601-617.

Hanczakowska, E., Świątkiewicz, M. (2015). Zastosowanie nasion bobowatych (strączkowych) w mieszankach z produktami rzepakowymi jako zamiennika śruty sojowej w żywieniu świń. Wiadomości Zootechniczne, 53(3), 163-172.

Hassanein, M.S., Shalaby, M.A.F., Rashad, E.M. (2000). Improving growth and yield of some faba bean cultivars by using some plant growth promoters in newly cultivated land. Annals of Agricultural Science, Moshtohor, 38, 2141–2155.

Hedley, C. L. (Ed.). (2001). Carbohydrates in grain legume seeds: improving nutritional quality and agronomic characteristics. CABI.

Howladar, S.M., Osman, A.S., Rady, M.M., Al-Zahrani H. S. (2014). Magnesium foliar application and phosphorien soil inoculation positively affect *Pisum sativum* L. plants grown on sandy calcareous soil. International Journal of Agricultural, Biosystems Science and Engineering, 8, 5, 239-243.

Hrubý, M., Cígler, P., Kuzel, S. (2002). Titanium in plant nutrition. The contribution to understanding the mechanism of titanium action in plants. Journal of Plant Nutrition, 25, 577–598.

Hussein, A. A., Ali, A. H. (2021). Effect of spraying with organic fertilizer (Fylloton) and boron on growth characteristics and yield of green beans grown in unheated plastic houses. Euphrates Journal of Agriculture Science,13 (4), 202-210.

Ifuku, K., Ishihar,a S., Satoh, F. (2010). Molecular functions of oxygen-evolving complex family proteins in photosynthetic electron flow. Journal of Integrative Plant Biology, 52, 723-734.

Janas, R., Szafirowska, A., Kolosowski, S. (2002). Effect of titanium on eggplant yielding. Vegetable Crops Research Bulletin, 57, 37-44.

Jang, H. D., Chang, K. S., Huang, Y. S., Hsu, C. L., Lee, S. H., Su, M. S. (2007). Principal phenolic phytochemicals and antioxidant activities of three Chinese medicinal plants. Food Chemistry, 103, 749–756.

Jannin, L., Arkoun M., Etienne, P., Laine, P., Goux, D., Garnica, M., Fuentes, M., San Francisco, S., Baigorri, R., Cruz F., Houdusse, F., Garcia-Mina, J.M., Yvin, J.C., Ourry, A. (2013). Brassica napus growth is promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. Journal of Plant Growth Regulation, 32(1), 31-52.

Jasim, A. H., Obaid, A. S. (2014). Effect of foliar fertilizers spray, boron and their interaction on broad bean (*Vicia faba* L.) yield. Scientific Papers Series B, Horticulture, 58, 271-27.

Jasińska Z., Kotecki A. 2003. Szczegółowa uprawa roślin (2). Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Kakraliya, S. K., Singh, U., Bohra, A., Choudhary, K. K., Kumar, S., Meena, R. S., Jat, M. L. (2018). Nitrogen and legumes: a meta-analysis. In: Legumes for soil health and sustainable management, Meena, R., Das, A., Yadav, G., Lal, R. (eds). Springer, Singapore, 277-314.

Kalembasa, S., Malinowska, E., Kalembasa, D., Symanowicz, B., Pakula, K. (2014). Effect of foliar fertilization with Tytanit on the content of selected macroelements and sodium in celery. Journal of Elementology, 19(3), 683-696.

Kannan, S. (2010). Foliar fertilization for sustainable crop production. Sustainable Agriculture Reviews, 4, 371-402.

Kapusta, F. (2012). Rośliny strączkowe źródłem białka dla ludzi i zwierząt. Engineering Sciences & Technologies/Nauki Inżynierskie i Technologie, 2(5).

Kelpak ulotka. (2021). https://chemirol.com.pl/media/products/other/broszury/kelpak_ulotka_podstawowa.pdf (dostęp 13.06.2021)

Kęsik, K. (2016). Zastosowanie metody Mehlich 3 w systemie doradztwa nawozowego. Studia i Raporty IUNG-PIB, 48(2), 95-104.

Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as

biostimulants of plant growth and development. Journal of Plant Growth Regulation, 28(4), 386-399.

Kirkegaard, J. A., Christen, O., Krupinsky, J., Layzell, D. B. (2008). Break crop benefits in temperate wheat production. Field Crops Research, 107,185–195.

Klamkowski, K., Wójcik, P., Treder, W. (1999). Biomass production and uptake of mineral nutrients by apple trees as influenced by titanium fertilization. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 7(4), 169-179.

Kleiber, T., Markiewicz, B. (2013). Application of "Tytanit" in greenhouse tomato growing. Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus, 12(3), 117-126.

Kocira, A. (2017). Biostymulatory w uprawie soi jako czynnik determinujący cechy biometryczne, plon i skład chemiczny nasion. Monografie i Rozprawy Naukowe, 54. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Państwowy Instytut Badawczy w Puławach.

Kocira, A. (2018). Biostimulants and the antiradical activity of soybean seeds. BIO Web of Conferences 10, 01008. Contemporary Research Trends in Agricultural Engineering.

Kocira, A., Kocira, S., Bronowicka-Mielniczuk, U., Kornas, R., Kozłowicz, K. (2017b). Foliar application of biostimulants and the antioxidant properties of soybean seeds. In: Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture, IX International Scientific Symposium, Lorencowicz E., Uziak J., Huyghebaert B. (eds.). Lublin, Poland, 164-169.

Kocira, A., Kocira, S., Świeca, M., Złotek, U., Jakubczyk, A. Kapela, K. (2017a). Effect of foliar application of a nitrophenolate–based biostimulant onthe yield and quality of two bean cultivars. Scientia Horticulturae, 214, 76-82.

Kocira, A., Kornas, R., Kocira, S. (2013). Effect assessment of Kelpak SL on the bean yield (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Central European Agriculture, 14(2), 67-76.

Kocira, A., Lamorska, J., Kornas, R., Nowosad, N., Tomaszewska, M., Leszczyńska, D., Kozłowicz, K., Tabor, S. (2020a). Changes in Biochemistry and Yield in Response to Biostimulants Applied in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agronomy, 2020, 10, 189.

Kocira, S. (2019). Effect of amino acid biostimulant on the yield and nutraceutical potential of soybean. Chilean Journal Of Agricultural Research, 79(1), 17-25.

Kocira, S., Kocira A., Kornas, R., Koszel, M., Szmigielski, M., Krajewska, M., Szparaga, A., Krzysiak, Z. (2018b). Effect of seaweed extract on yield and protein content of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. Legume Research, 41(4), 589-593.

Kocira, S., Kocira, A., Szmigielski, M., Piecak, A., Sagan, A., Malaga-Toboła, U. (2015). Wpływ działania biostymulatora zawierającego aminokwasy na plon fasoli zwykłej. Przemysł Chemiczny, 94(10), 1732-1736.

Kocira, S., Szparaga, A., Hara, P., Treder, K., Findura, P., Bartoš, P., Filip, M. (2020b). Biochemical and economical effect of application biostimulants containing seaweed extracts and amino acids as an element of agroecological management of bean cultivation. Scientific Reports, 10, 17759.

Kocira, S., Szparaga, A., Kocira, A., Czerwińska, E., Depo, K., Erlichowska, B., Deszcz E. (2018d). Effect of applying a biostimulant containing seaweed and amino acids on the content of fiber fractions in three soybean cultivars. Legume Research, LR-412.

Kocira, S., Szparaga, A., Kocira, A., Czerwińska, E., Wójtowicz, A., Bronowicka-Mielniczuk, U., Koszel, M., Findura, P. (2018c). Modelling biometric traits, yield and nutritional and antioxidant properties of seeds of three soybean cultivars through the application of biostimulant containing seaweed and amino acids. Frontiers in Plant Science. 9, 388.

Kocira. A., Świeca. M., Kocira. S., Złotek. U., Jakubczyk. A. (2018a). Enhancement of yield, nutritional and nutraceutical properties of two common bean cultivars following the application of seaweed extract (*Ecklonia maxima*). Saudi Journal of Biological Sciences, 25(3), 563-571.

Kocoń A. (2006). Dlaczego nie motylkowate? Wiadomości Rolnicze Polska, 18. http://matrix.ur.krakow.pl/Lakarstwo/Motylkowate-art.pdf (dostęp dn. 28.06.2021).

Kocoń, A. (2014). Nawożenie roślin strączkowych. Studia i raporty IUNG-PIB, 37(11), 127-137.

Kocoń A. (2016). Aktualne trendy i innowacje w dolistnym dokarmianiu roślin uprawnych. Studia i Raporty IUNG-PIB, 48, 2, 49-63.

Kolomaznik, K., Pecha, J., Friebrová, V., Janáčová, D., Vašek, V. (2012). Diffusion of biostimulators into plant tissues. Heat and Mass Transfer, 48(9), 1505-1512.

Korir, H., Mungai, N. W., Thuita, M., Hamba, Y., Masso, C. (2017). Co-inoculation effect of rhizobia and plant growth promoting rhizobacteria on common bean growth in a low phosphorus soil. Frontiers in Plant Science, 8, 141.

Koukounaras, A., Tsouvaltzis, P., Siomos, A. S. (2013). Effect of root and foliar application of amino acids on the growth and yield of greenhouse tomato in different fertilization levels. Journal of Food, Agriculture & Environment, 11(2), 644-648.

Kozak, M., Malarz, W., Kotecki, A. (2010). Wpływ ilości wysiewu na wysokość i jakość plonu nasion wybranych odmian bobiku. Część II. Plon nasion i wartość pokarmowa. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 550, 175-182.

Kozak, M., Malarz, W., Kotecki, A., Cerny, I. Serafin-Andrzejewska, M. (2008b). Wpływ zróżnicowanej ilości wysiewu i biostymulatora Asahi SL na skład chemiczny nasion i resztek pozbiorowych soi uprawnej. Rośliny Oleiste – Oilseed Crops, 29, 217-230.

Kozak, M., Malarz, W., Kotecki, A., Rudko, A. (2017). Wpływ aplikacji preparatu Multipro na rozwój i plonowanie bobiku (*Vicia faba* L. ssp. *minor* (Peterm. em. Harz) Rothm. ex Hanelt.). Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Rolnictwo, 623, 37-48.

Kozak, M., Malarz, W., Serafin-Andrzejewska, M., Kotecki, A. (2008a). The effect of sowing rate and Asahi SL biostimulator on soybean growth and yield. In: Biostimulators in Modern Agriculture: Field Crops, Dąbrowski, Z.T. (ed.). Editorial House Wieś Jutra, Warszawa, 77-84.

Kozak, M., Wondołowska-Grabowska, A., Serafin-Andrzejewska, M., Gniadzik, M., Kozak, M.K. (2016). Biostymulatory – wczoraj, dziś i jutro. W: Rolnictwo XXI wieku – problemy i wyzwania, Łuczycka, D. (red.). Idea Knowledge Future, Wrocław, 114-122.

Kraiser, T., Gras, D. E., Gutiérrez, A. G., González, B., Gutiérrez, R. A. (2011). A holistic view of nitrogen acquisition in plants. Journal of Experimental Botany, 62(4), 1455-1466.

Król, M. (2006). *Azospirillum* – asocjacyjne bakterie wiążące azot. Monografie i rozprawy naukowe, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa, Państwowy Instytut Badawczy w Puławach.

Księżak, J. (2008). Effect of biostimulator Asahi SL on yield of maize grain. In: Biostimulators in Modern Agriculture: Field Crops, Dąbrowski, Z.T. (ed.). Editorial House Wieś Jutra, Warszawa, 60-65.

Kumar, N. A., Vanlalzarzova, B., Sridhar, S., Baluswami, M. (2012). Effect of liquid seaweed fertilizer of *Sargassum wightii* Grev. on the growth and biochemical content of green gram (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). Recent Research in Science and Technology, 4(4), 40-45.

Kumar, R., Trivedi, K., Anand, K. G., Ghosh, A. (2020). Science behind biostimulant action of seaweed extract on growth and crop yield: Insights into transcriptional changes in roots of maize treated with *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract under soil moisture stressed conditions. Journal of Applied Phycology, 32(1), 599-613.

Kunachowicz, H., Nadolna, I., Przygoda, B., Iwanow, K. (2005). Tabele składu i wartości odżywczej żywności. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.

Kunicki, E., Grabowska, A., Sękara, A., Wojciechowska, R. (2010). The effect of cultivar type, time of cultivation, and biostimulant treatment on the yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). Folia Horticulturae, 22(2), 9-13.

Kwiatkowski, C. A., Haliniarz, M., Kolodziej, B., Harasim, E., Tomczynska-Mleko, M. (2015). Content of some chemical components in carrot (*Daucus carota* L.) roots depending on growth stimulators and stubble crops. Journal of Elementology, 20(4), 933-943.

Kwiatkowski, C. A., Kołodziej, B., Woźniak, A. (2013). Yield and quality parameters of carrot (*Daucus carota* L.) roots depending on growth stimulators and stubble crops. Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus, 12(5), 55-68.

Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. Sustainability, 7, 5875–5895.

Lamaison, J. L., Carnart, A. (1991). Teneurs en principaux falvonoïdes des fleurs et des feuilles de Crataegus monogyna Jacq. et de *Crataegus laevigata* (Poiret) DC. en fonction de la période de végétation. Plantes Médicinales et Phytothérapie, 25(1), 12-16.

Latique, S., Chernane, H., Mansori, M., El Kaoua, M. (2013). Seaweed liquid fertilizer effect on physiological and biochemical parameters of bean plant (*Phaesolus vulgaris* variety Paulista) under hydroponic system. European Scientific Journal, 9(30), 174-191.

Le Mire, G., Nguyen, M. L., Fassotte, B., du Jardin, P., Verheggen, F., Delaplace P., Jijakli, M. H. (2016). Implementing plant biostimulants and biocontrol strategies in the agroecological management of cultivated ecosystems. Biotechnology, Agronomy and Society and Environment, 20, 299–313.

Lebrazi, S., Fikri-Benbrahim, K. (2018). Rhizobium-Legume Symbioses: Heavy metal effects and principal approaches for bioremediation of contaminated soil. In: Legumes for soil health and sustainable management, Springer, Singapore, 205-233.

Li, J., Jia, Y., Dong, R., Huang, R., Liu, P., Li, X., Wang, Z., Liu, G., Chen, Z. (2019). Advances in the mechanisms of plant tolerance to manganese toxicity. International Journal of Molecular Sciences, 14, 20, 5096.

Li, L., Li, S. M., Sun, J. H., Zhou, L. L., Bao, X. G., Zhang, H. G., Zhang, F. S. (2007). Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(27), 11192-11196.

Liu, J., Yu, X., Qin, Q., Dinkins, R. D., Zhu, H. (2020). The impacts of domestication and breeding on nitrogen fixation symbiosis in legumes. Frontiers in Genetics, 11, 00973.

Liu, X. Q., Ko, K. Y., Kim, S. H., Lee, K. S. (2007). Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39(1-2), 269-281.

Lucini, L., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Canaguier, R., Kumar, P., Colla, G. (2015). The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. Scientia Horticulturae, 182, 124-133.

Lyu, S., Wei, X., Chen, J., Wang, C., Wang, X., Pan, D. (2017). Titanium as a beneficial element for crop production. Frontiers in Plant Science, 8, 597.

Łukaszewicz, S., Politycka, B. (2020). Selen w roślinach i jego wpływ na żerowanie i rozwój fitofagów. Progres in Plant Protection, 60 (2), 119-127.

Łyszcz, M., Gałązka, A. (2016). Proces biologicznego wiązania azotu atmosferycznego. Studia i Raporty IUNG-PIB, 49(3), 59-70.

Mady, M.A. (2009). Effect of foliar application with yeast extract and zinc on fruit setting and yield of faba bean (*Vicia faba* L). Journal of Biological Chemistry and Environmental Sciences, 4, 109-127.

Majda, C., Khalid, D., Aziz, A., Rachid, B., Badr, A.-S., Lotfi, A., Mohamed, B. (2019). Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Science of the Total Environment, 661, 654–663.

Manaf H.H. (2016). Beneficial effects of exogenous selenium, glycine betaine and seaweed extract on salt stressed cowpea plant. Annals of Agricultural Sciences 61(1), 41-48.

Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, UK.

Martínez-Sánchez, F., Carvajal, M., Frutos, M. J., Giménez, J. L., Alcaraz, C. F. (1991). Titanium in the nutrition of *Capsicum annuum* L. plants. Ciencia Agronómica, 11, 73-78.

Matysiak, K., Adamczewski, K. (2010). Wplyw preparatów Moddus 250 EC, Kelpak SL, Algaminoplant, Humiplant i Yeald Plus na wielkość i strukturę plonu bulw ziemniaka. Ziemniak Polski, 20(1), 28-33.

Matysiak, K., Kaczmarek, S. (2008). Potential advantages of Kelpak bioregulator applied to some field crops. In: Biostimulators in Modern Agriculture: Field Crops, Dąbrowski, Z.T. (ed.). Editorial House Wieś Jutra, Warszawa, 99-106.

Matysiak, K., Kaczmarek, S., Kierzek, R. (2012). Wpływ wyciągu z alg morskich *Ecklonia maxima* (Kelpak SL) na rośliny rzepaku ozimego. Rośliny Oleiste-Oilseed Crops, 33(1).

Matysiak, K., Kaczmarek, S., Leszczyńska, D. (2012). Wpływ ekstraktu z alg morskich *Ecklonia maxima* na pszenicę ozimą odmiany Tonacja. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 57(4), 44-47.

Meena, R.S., Lal, R. (2018). Legumes and sustainable use of soils. In: Legumes for soil health and sustainable management, Meena, R., Das, A., Yadav, G., Lal, R. (Eds). Springer, Singapore.

Michalak, M., Makarska, E., Lipiec, A., Wesołowska- Trojanowska, M. (2003). Wpływ systemu uprawy jęczmienia jarego na zmiany udziału frakcji włókna surowego. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 228, 39-103.

Mikiciuk, M., Dobromilska, R. (2014). Assessment of yield and physiological indices of small-sized tomato cv.'Bianka F1'under the influence of biostimulators of marine algae origin. Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus, 13(1), 31-41.

Milczarek, A., Osek, M. (2016). Partial replacement of soybean with low-tannin faba bean varieties (Albus or Amulet): effects on growth traits, slaughtering parameters and meat quality of Puławska pigs. Annals of Animal Science, 16(2), 477-487.

Mitran, T., Meena, R. S., Lal, R., Layek, J., Kumar, S., Datta, R. (2018). Role of soil phosphorus on legume production. In: Legumes for soil health and sustainable management, Springer, Singapore, 487-510.

Moghazy, A.M. (2014). Effect of some biostimulants and antioxidants on head and seed production of Balady lettuce. Journal of Plant Production Mansoura University, 5(10), 1675-1689.

Mohamed, H.F.Y., Mahmoud, A.A., Abdel-Wahab, E.I. (2018). Influences of ridge width and foliar spraying of amino acids compounds on yield and quality of two faba bean cultivars. Agricultural Sciences, 9, 1629-1651.

Mondal, D., Ghosh, A., Prasad, K., Singh, S., Bhatt, N., Zodape, S. T., Chaudhary, J. P., Chaudhari, J., Chatterjee, P. B., Seth, A. Ghosh, P. K. (2015). Elimination of gibberellin from *Kappaphycus alvarezii* seaweed sap foliar spray enhances corn stover production without compromising the grain yield advantage. Plant Growth Regulation, 75(3), 657-666.

Monreal, C.M., DeRosa, M., Mallubhotla, S.C., Bindraban, P.S., Dimkpa, C. (2015). The application of nanotechnology for micronutrients in soil-plant systems. VFRC Report 2015/3. Virtual Fertilizer Research Center, Washington, D.C., 44.

Morales-Payan, J. P., Stall, W. M. (2003). Papaya (*Carica papaya*) response to foliar treatments with organic complexes of peptides and amino acids. In: Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 116, 30-32.

Moran, J. F., Klucas, R. V., Grayer, R. J., Abian, J., Becana, M. (1997). Complexes of iron with phenolic compounds from soybean nodules and other legume tissues: pro oxidant and antioxidant properties. Free Radical Biology & Medicine, 22, 861–870.

Murtaza, G., Javed, W., Hussain, A., Qadir, M., Aslam M. (2017). Soil-applied zinc and copper suppress cadmium uptake and improve the performance of cereals and legumes, International Journal of Phytoremediation, 19:2, 199-206.

Murtic S., Oljaca R., Murtic R.M., Vranac A., Koleska I., Karic L. (2018). Effects of seaweed extract on the growth, yield and quality of cherry tomato under different growth conditions. Acta Agriculturae Slovenica, 111(2), 315-325.

Muzquiz, M., Varela, A., Burbano, C., Cuadrado, C., Guillamón, E., Pedrosa, M. M. (2012). Bioactive compounds in legumes: pronutritive and antinutritive actions. Implications for nutrition and health. Phytochemistry Reviews, 11(2), 227-244.

Nadeem M. A., Yeken M. Z., Shahid M. Q., Habyarimana E., Yılmaz E., Alsaleh A., Hatipoğlu R., Çilesiz Y., Khawar K. M., Ludidi N., Ercişli S., Aasim M., Karaköy T., Baloch F. S. (2021). Common bean as a potential crop for future food security: an overview of past, current and future contributions in genomics, transcriptomics, transgenics and proteomics. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 35(1), 759-787.

Najafi, E., Devineni, N., Khanbilvardi, R. M., Kogan, F. (2018). Understanding the changes in global crop yields through changes in climate and technology. Earth's Future, 6, 410–427.

Nardi, S., Carletti, P., Pizzeghello, D., Muscolo, A. (2009). Biological activities of humic substances, in biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems. In: Fundamentals and impact of mineral-organic-biota interactions on the formation, transformation, turnover, and storage of natural nonliving organic matter (NOM), Senesi, N., Xing, B., Huang, P.M. (eds.). John Wiley, Hoboken, NJ, USA.

Ning C., Gao P., Wang B., Lin W., Jiang N., Cai K. (2017). Impacts of chemical fertilizer reduction and organic amendments supplementation on soil nutrient, enzyme activity and heavy metal content. Journal of Integrative Agriculture, 16(8), 1819-1831.

Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., Yan, D. (2021). Effects of foliar fertilization: A review of current status and future perspectives. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21, 104–118.

Nowosad, N., Kocira, A., Kornas, R. (2020). Opłacalność stosowania biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej (*Phaseolus vulgaris* L.) odmiany 'Orzeł'. Agronomy Science, 75(1), 17-28.

Nyau, V., Prakash, S., Rodrigues, J., Farrant, J. (2016). Screening different zambian market classes of common beans (*Phaseolus vulgaris*) for antioxidant properties and total phenolic profiles. Journal of Food and Nutrition Research, 4(4), 230-236.

Ossler, J. N. (2016). Evolutionary and ecological outcomes of tripartite mutualisms (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign).

Pais, I. (1983). The biological importance of titanium. Journal of Plant Nutrition, 6(1), 3-131.

Papenfus, H. B., Stirk, W. A., Finnie, J. F., Van Staden, J. (2012). Seasonal variation in the polyamines of *Ecklonia maxima*. Botanica Marina, 55(5), 539-546.

Parrado, J., Bautista, J., Romero, E. J., García-Martínez, A. M., Friaza, V., Tejada, M. (2008). Production of a carob enzymatic extract: potential use as a biofertilizer. Bioresource technology, 99(7), 2312-2318.

Parrado, J., Escudero-Gilete, M. L., Friaza, V., García-Martínez, A., González-Miret, M. L., Bautista, J. D., Heredia, F. J. (2007). Enzymatic vegetable extract with bio-active components: Influence of fertiliser on the colour and anthocyanins of red grapes. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87(12), 2310-2318.

Patil, B., Chetan, H.T. (2018). Foliar fertilization of nutrients. Marumegh, 3, 1, 49-53.

Paul, J., Yuvaraj, P. (2014). Effect of seaweed liquid fertilizer of *Colpomenia sinuosa* (Mert. ex Roth) Derbes & Solier (brown seaweed) on *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. Koothankuzhi, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India. International Journal of Pure and Applied Bioscience, 2(3), 177-184.

Pecio, A. (2020). Innowacyjne produkty stosowane w produkcji roślinnej. Studia i raporty IUNG-PIB, 63(17), 163-178.

Peralta, A.L., Sun, Y., McDaniel, M.D., Lennon, J.T. (2018). Crop rotational diversity increases disease suppressive capacity of soil microbiomes. Ecosphere, 9, e02235.

Písaříková, B., Zralý, Z. (2009). Nutritional value of lupine in the diets for pigs (a review). Acta Veterinaria Brno, 78(3), 399-409.

Podleśny, J. (2005). Rośliny strączkowe w Polsce - perspektywy uprawy i wykorzystanie nasion. Acta Agrophysica, 6(1), 213-224.

Polo, J., Mata, P. (2018). Evaluation of a biostimulant (Pepton) based in enzymatic hydrolyzed animal protein in comparison to seaweed extracts on root development, vegetative growth,

flowering, and yield of gold cherry tomatoes grown under low stress ambient field conditions. Frontiers in Plant Science, 8, 2261.

Posmyk, M. M., Szafrańska, K. (2016). Biostimulators: A new trend towards solving an old problem. Frontiers in Plant Science, 7, 48.

Prajapati, A., Patel, C. K., Singh, N., Jain, S. K., Chongtham, S. K., Maheshwari, M. N., Patel, C. R., Patel, R. N. (2016). Evaluation of seaweed extract on growth and yield of potato. Environment & Ecology, 34(2), 605-608.

Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K. R., Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition, 35, 905–927.

Pratelli, R., Pilot, G. (2007). Altered amino acid metabolism in glutamine dumper1 plants. Plant Signaling and Behavior, 2(3), 182-184.

Preissel, S., Reckling, M., Schläfke, N., Zander, P. (2015). Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. Field Crops Research, 175, 64-79.

Prusiński, J., Kaszkowiak, E. (2005). Effect of titanium on yellow lupin yielding (*Lupinus luteus* L.). EJPAU, 8(2), 36.

Przybysz, A., Gawronska, H., Gajc-Wolska, J. (2014). Biological mode of action of a nitrophenolates-based biostimulant: case study. Frontiers in Plant Science, 5, 713.

Przybyszewska E. (2013). Hydroliza enzymatyczna – efektywna technologia pozyskiwania aminokwasów. Poradnik Gospodarski, 7-8, 16-17.

Pueyo, J. J., Delgado-Salinas, A. (1997). Presence of α-amylase inhibitor in some members of the subtribe Phaseolinae (Phaseoleae: Fabaceae). American Journal of Botany, 84(1), 79-84.

Pulido, R., Bravo, L., Saura-Calixto, F. (2000). Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48(8), 3396-3402.

Radkowski, A., Radkowska, I. (2010). Effect of foliar fertilization with Tytanit on the dry matter yield and macroelements' content in the meadow sward. Ecological Chemistry and Engineering. A, 17(12), 1607-1612.

Raeisi, M., Palashi, M., Babaie, Z. (2013). A study of the effect of biofertilizers containing amino acid on the yield and growth traits of cucumber (*Cucumis sativus*) var. Royal. International Journal of Farming and Allied Sciences, 2(20), 857-860.

Raj, A.B., Raj, S.K. (2019). Zinc and boron nutrition in pulses: A review. Journal of Applied and Natural Science, 11, 3, 673-679.

Raliya, R., Biswas, P., Tarafdar, J. C. (2015). TiO2 nanoparticle biosynthesis and its physiological effect on mung bean (*Vigna radiata* L.). Biotechnology Reports, 5, 22-26.

Ram, N., Verloo, M., Cottenie, A. (1983). Response of bean (*Phaseolus vulgaris*) to foliar spray of titanium. Plant Soil, 73, 285-290.

Ramya, S. S., Nagaraj, S., Vijayanand, N. (2010). Biofertilizing efficiency of brown and green algae on growth, biochemical and yield parameters of *Cyamopsis tetragonolaba* (L.) Taub. Recent Research in Science and Technology, 2(5), 45-52.

Rathore, S. S., Chaudhary, D. R., Boricha, G. N., Ghosh, A., Bhatt, B. P., Zodape, S. T., Patolia, J. S. (2009). Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. South African Journal of Botany, 75(2), 351-355.

Ray, H., Bett, K., Tar'an, B., Vandenberg, A., Thavarajah, D., Warkentin, T. (2014). Mineral micronutrient content of cultivars of field pea, chickpea, common bean, and lentil grown in Saskatchewan, Canada. Crop Science, 54(4), 1698-1708.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine, 26(9-10), 1231-1237.

Reckling, M., Preissel, S., Zander, P., Topp, K., Watson, C., Murphy-Bokern, D., Stoddard, F. L. (2014). Legume futures report 1.6 - Effects of legume cropping on farming and food systems, legume supported cropping systems for Europe. www.legumefutures.de. (dostęp 24.07.2021).

Reinprecht, Y., Schram, L., Marsolais, F., Smith, T. H., Hill, B., Pauls, K. P. (2020). Effects of nitrogen application on nitrogen fixation in common bean production. Frontiers in Plant Science, 11, 1172.

Rengasamy, K. R., Kulkarni, M. G., Stirk, W. A., van Staden, J. (2015). Eckol-a new plant growth stimulant from the brown seaweed *Ecklonia maxima*. Journal of Applied Phycology, 27(1), 581-587.

Ribeiro, N. D., Rosa, S. S. D., Jost, E., Rosa, D. P., Poersch, N. L., Maziero, S. M. (2011). Genetics of phosphorus content in common bean seeds. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 11, 250-256.

Rioux, L. E., Turgeon, S. L., Beaulieu, M. (2007). Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds. Carbohydrate Polymers, 69(3), 530-537.

Rochfort, S., Panozzo, J. (2007). Phytochemicals for health, the role of pulses. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(20), 7981-7994

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bonini, P., Colla, G. (2017b). Synergistic action of a microbial-based biostimulant and a plant derived-protein hydrolysate enhances lettuce tolerance to alkalinity and salinity. Frontiers in Plant Science, 8, 131.

Rouphael, Y., De Micco, V., Arena, C., Raimondi, G., Colla, G., De Pascale, S. (2017). Effect of *Ecklonia maxima* seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange, and leaf anatomy of zucchini squash grown under saline conditions. Journal of Applied Phycology, 29(1), 459-470.

Rouphael, Y., Spíchal, L., Panzarová, K., Casa, R., Colla, G. (2018). Hight hrough put plant phenotyping for developing novel biostimulants: from lab to field or from field to lab? Frontiers in Plant Science, 9, 1197.

Rout, G. R., Sahoo, S. (2015). Role of iron in plant growth and metabolism. Reviews in Agricultural Science, 3, 1-24.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiające przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 2003/2003.

Rubiales, D., Mikić, A. (2015). Introduction: legumes in sustainable agriculture. Critical Reviews in Plant Sciences, 34, 1-3, 2-6.

Rybiński W., Starzycki M., Rusinek R., Bocianowski J., Szot B. (2013). Zmienność składu chemicznego nasion roślin strączkowych i ich odporności na obciążenia mechaniczne. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 268, 193-209.

Sadak, M., Abdelhamid, M. T., Schmidhalter, U. (2015). Effect of foliar application of aminoacids on plant yield and some physiological parameters in bean plants irrigated with seawater. Acta Biológica Colombiana, 20(1), 141-152.

Santachiara, G., Salvagiotti, F., Rotundo, J. L. (2019). Nutritional and environmental effects on biological nitrogen fixation in soybean: A meta-analysis. Field Crops Research, 240, 106-115.

Santoso, D., Gunawan, A., Budiani, A., Sari, D. A. (2018). Plant biostimulant to improve crops productivity and planters profit. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 183(1), 012017. IOP Publishing.

Sathya, B., Indu, H., Seenivasan, R., Geetha, S. (2010). Influence of seaweed liquid fertilizer on the growth and biochemical composition of legume crop, *Cajanus cajan* (L.) Mill sp. Journal of Phytology, 2(5), 50-63.

Sawicka, B., Mikos-Bielak, M. (2008). Modification of potato tuber chemical composition by applications of the Asahi SL biostimulator. In: Biostimulators in Modern Agriculture: Solanaceous Crops, Dąbrowski, Z.T. (ed.). Editorial House Wieś Jutra, Warszawa, 61-67.

Scherer, H. W., Pacyna, S., Spoth, K. R., Schulz, M. (2008). Low levels of ferredoxin, ATP and leghemoglobin contribute to limited N2 fixation of peas (*Pisum sativum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) under S deficiency conditions. Biology and Fertility of Soils, 44(7), 909-916.

Schiavon, M., Ertani, A., Nardi, S. (2008). Effects of an alfalfa protein hydrolysate on the gene expression and activity of enzymes of the tricarboxylic acid (TCA) cycle and nitrogen metabolism in *Zea mays* L. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(24), 11800-11808.

Schoch C.L., Ciufo S., Domrachev M., Hotton C.L., Kannan S., Khovanskaya R., Leipe D., Mcveigh R., O'Neill K., Robbertse B., Sharma S., Soussov V., Sullivan J.P., Sun L., Turner S., Karsch-Mizrachi I. (2020). NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools, Database.

Selvam, G. G., Sivakumar, K. (2016). Micromorphological study of *Vigna mungo* L. using seaweed liquid fertilizer from *Hypnea musciformis* (Wulf.) Lamouroux. Indian Journal of Marine Sciences, 45(9), 1199-1207.

Sestili, F., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Pucci, A., Bonini, P., Canaguier, R., Colla G. (2018). Protein hydrolysate stimulates growth and N uptake in tomato coupled with N-dependent gene expression involved in N assimilation. Frontiers in Plant Science, 9, 1233.

Shafeek, M. R., Ali, A.H., Mahmoud, A.R., Helmy, Y. I., Omar, N.M. (2018). Bio fertilizer doses and foliar application of amino mix to enhance the performance of pea plant under newly reclaimed land conditions. Middle East Journal of Agriculture Research, 7, 254-263.

Shafeek, M. R., Hafez, M. M., Mahmoud, A. R., Ali, A. H. (2014). Comparative effect on N-fixing bacterial with foliar application of amino acid mixed on growth and yield of pea plants (*Pisum sativum* L.). Middle East Journal of Applied Sciences, 4(3), 755-761.

Shafeek, M.R., Ali, A.H., Mahmoud, A.R. (2016). Foliar application of amino acids and bio fertilizer promote execution of broad bean plant (*Vicia faba* L) under newly reclaimed land conditions. International Journal of PharmTech Research, 9(5), 100-109.

Sharma, H. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J. R., Martin, T. (2014). Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. Journal of Applied Phycology, 26(1), 465-490.

Sharma, R., Sharma, B., Singh, G. (1984). Phenols as regulators of nitrate reductase activity in *Cicer arietiman* L. Phyton, 44, 185–188.

Silva, C. A., de Fátima Barbosa Abreu, A., Ramalho, M. A. P., Silva Maia L. G. (2012). Chemical composition as related to seed color of common bean. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 12, 132-137.

Silva, R. A., Santos, J., Oliveira, L. S., Soares, M. R. S., Santos, S. M. S.(2016). Biostimulants on mineral nutrition and fiber quality of cotton crop. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 20, 12, 1062-1066.

Singh, S. P., Gepts, P., Debouck, D. G. (1991). Races of common bean (*Phaseolus vulgaris, Fabaceae*). Economic Botany 45(3), 379-396.

Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: Methods in Enzymology, 299, 152-178. Academic Press.

Smulikowska, S., Rutkowski, A. (2005). Normy żywienia drobiu. Zalecenia żywieniowe i wartość pokarmowa pasz. Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt im. J. Kielanowskiego, PAN, Jabłonna.

Sosnowski, J., Jankowski, K., Wisniewska-Kadzajan, B., Jankowska, J., Kolczarek, R. (2014). Effect of the extract from *Ecklonia maxima* on selected micro-and macroelements in aerial biomass of hybrid alfalfa. Journal of Elementology, 19(1), 209–217.

Sosnowski, J., Truba, M., Redzik, P., Toczyska, E. (2020). The effect of growth regulator Tytanit dose on *Medicago* x *varia* T. Martin and *Trifolium pratense* L. yield and nutritional value. Saudi Journal of Biological Sciences, 27, 2890–2901.

Stadler, R. H., Markovic, J., Turesky, R. J. (1995). In vitro anti and prooxidative effects of natural phenolics. Biological Trace Element Research, 47, 299.

Staniak, M., Bojarszczuk, J., Księżak, J. (2017). Changes in yield, gas exchange parameters, and chemical composition in *Festulolium* and alfalfa grown in pure sowing and in mixture under drought stress. Acta Agriculturae Scandinavica, section B, Soil and Plant, 68, 3, 255-263.

Stirk, W. A., Novák, O., Hradecká, V., Pěnčík, A., Rolčík, J., Strnad, M., Van Staden, J. (2009). Endogenous cytokinins, auxins and abscisic acid in *Ulva fasciata* (Chlorophyta) and

Dictyota humifusa (Phaeophyta): towards understanding their biosynthesis and homoeostasis. European Journal of Phycology, 44(2), 231-240.

Stirk, W. A., Rengasamy, K. R., Kulkarni, M. G., van Staden, J. (2020). Plant biostimulants from seaweed: an overview. The Chemical Biology of Plant Biostimulants, 31-55.

Stirk, W. A., Tarkowská, D., Turečová, V., Strnad, M., van Staden, J. (2014). Abscisic acid, gibberellins and brassinosteroids in Kelpak®, a commercial seaweed extract made from *Ecklonia maxima*. Journal of Applied Phycology, 26(1), 561-567.

Stirk, W. A., van Staden, J. (1996). Comparison of cytokinin-and auxin-like activity in some commercially used seaweed extracts. Journal of Applied Phycology, 8(6), 503-508.

Stitt, M., Müller, C., Matt, P., Gibon, Y., Carillo, P., Morcuende, R., Scheible, W.R., Krapp, A. (2002). Steps towards an integrated view of nitrogen metabolism. Journal of Experimental Botany, 53(370), 959-970.

Stutte, C. A., Clark, T. H. (1990). Radiolabeled Studies of Atonik in Cotton using HPLC. Arysta LifeScience Report. Altheimer Laboratory, University of Arkansas, Fayetteville, AR.

Sujatha, K., Vijayalakshmi, V. (2013). Foliar application of *Caulerpa racemosa* seaweed extract as bio-stimulant for enhancement of growth and yield of blackgram (*Vigna mungo* L.). IJOART, 2, 216-230.

Sulieman, S., Tran, L.S.P. (2015). Phosphorus homeostasis in legume nodules as an adaptive strategy to phosphorus deficiency. Plant Science, 239, 36–43.

Szafirowska, A., Kaniszewski, S. (2014). Instrukcja uprawy fasoli zwykłej (*Phaseolus vulgaris* L.) na nasiona w warunkach ekologicznych. Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice.

Szczepanek, M., Wilczewski, E., Pobereżny, J., Wszelaczyńska, E., Ochmian, I. (2017). Carrot root size distribution in response to biostimulant application. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science, 67(4), 334-339.

Szewczuk, C., Juszczak, M. (2003). Wpływ nawozów i stymulatorów na plon nasion fasoli tycznej. Acta Agrophysica, 85, 203-208.

Szparaga, A, Kuboń, M, Kocira, S, Czerwińska, E, Pawłowska, A, Hara, P, Kobus, Z, Kwaśniewski, D. (2019). Towards sustainable agriculture - agronomic and economic effects of biostimulant use in common bean cultivation. Sustainability, 11(17), 4575.

Szparaga, A., Kocira, S., Findura, P., Kapusta, I., Zaguła, G., Świeca, M. (2021b). Uncovering the multi-level response of *Glycine max* L. to the application of allelopathic biostimulant from *Levisticum officinale* Koch. Scientific Reports, 11, 15360.

Szparaga, A., Kocira, S., Kapusta, I., Zaguła, G. (2021a). Prototyping extracts from *Artemisia absinthium* L. for their biostimulating properties yield enhancing, and farmer income increasing properties. Industrial Crops and Products, 160, 113125.

Szparaga, A., Kocira, S., Kocira, A., Czerwińska, E., Świeca, M., Lorencowicz, E., Koszel, M., Oniszczuk, T. (2018). Modification of growth, yield, and the nutraceutical and antioxidative potential of soybean through the use of synthetic biostimulants. Frontiers in Plant Science, 9, 1401.

Szpunar-Krok, E., Bobrecka-Jamro, D. 2020. Fasola. W: Uprawa roślin, t. III, Kotecki, A. (red.). Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 207-230.

Taiz, L., Zeiger, E. (2002). Plant Physiology. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., Publishers.

Tandon, S., Dubey, A. (2015). Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merill]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46(7), 845-858.

Tarakhovskaya, E. R., Maslov, Y. I., Shishova, M. F. (2007). Phytohormones in algae. Russian Journal of Plant Physiology, 54(2), 163-170.

Teixeira, W. F., Fagan, E. B., Soares, L. H., Umburanas, R. C., Reichardt, K., Neto, D. D. (2017). Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. Frontiers in Plant Science, 8, 327.

Tenhaken, R. (2015). Cell wall remodeling under abiotic stress. Frontiers in Plant Science, 5, 771.

Tian, J., Tang, M., Xu, X., Luo, S., Condron, L.M., Lambers, H., Cai, K., Wang, J. (2020). Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) intercropping with reduced nitrogen input influences rhizosphere phosphorus dynamics and phosphorus acquisition of sugarcane (*Saccharum officinarum*). Biology and Fertility of Soils, 56, 1063–1075.

Trinidad, T. P., Mallillin, A. C., Loyola, A. S., Sagum, R. S., Encabo, R. R. (2010). The potential health benefits of legumes as a good source of dietary fibre. British Journal of Nutrition, 103(4), 569-574

Turuko, M., Mohammed, A. (2014). Effect of different phosphorus fertilizer rates on growth, dry matter yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). World Journal of Agricultural Research, 2(3), 88-92.

van Krimpen, M., van der Poel, A. F. B., Veldkamp, T. (2016). Alternative source for protein production. In: Book of abstracts of the 5th Global Feed & Food congress (GFFC).

van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 4(1), 1-12.

van Soest, P. V., Robertson, J. B., Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science, 74(10), 3583-3597.

Venter, Z. S., Jacobs, K., Hawkins, H. J. (2016). The impact of crop rotation on soil microbial diversity: A meta-analysis. Pedobiologia, 59(4), 215-223.

Vijayakumar, V. (2018). Symbiotic Tripartism in the Model Plant Family of Legumes and Soil Sustainability. In: Legumes for Soil Health and Sustainable Management, 173-203. Springer, Singapore.

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. International Journal of Molecular Sciences, 14(4), 7370-7390.

Wanić, M., Denert, M., Treder, K. (2019). Effect of forecrops on the yield and quality of common wheat and spelt wheat grain. Journal of Elementology, 24(1), 369-383.

Weidner, S., Król, A., Karamać, M., & Amarowicz, R. (2018). Phenolic compounds and the antioxidant properties in seeds of green-and yellow-podded bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. CyTA-Journal of Food, 16(1), 373-380.

Wierzbicka B. (2007). Uprawa fasoli szparagowej i na suche nasiona. Hortpress, Warszawa.

Wiśniewska A. (2020). Bobowate rośliny motylkowe. Warmińsko-Mazurski Ośrodek Doradztwa Rolniczego z siedzibą w Olsztynie

Witten, S., Grashorn, M., Aulrich, K. (2018). Precaecal digestibility of crude protein and amino acids of a field bean (*Vicia faba* L.) and a field pea (*Pisum sativum* L.) variety for broilers. Animal Feed Science and Technology, 243, 35-40.

Wortman, S. E., Francis, C., Lindquist, J. L. (2012). Cover crop mixtures for the western Corn Belt: Opportunities for increased productivity and stability. Agronomy Journal, 104, 699–705.

Wrochna, M., Łata, B., Borkowska, B., Gawronska, H. (2008). The effect Asahi SL of biostimulators on ornamenta amaranth (*Amaranthus* sp.) plants exposed to salinity in growing medium. In: Biostimulators in Modern Agriculture: Ornament and Special Plants, Łukaszewska, A. (ed.). Editorial House Wieś Jutra, Warszawa, 15–32.

Xu, B.J., Yuan, S.H., Chang, S.K.C. (2007). Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. Journal of Food Science, 72(2), S167-S177.

Yokoya, N. S., Stirk, W. A., Van Staden, J., Novák, O., Turečková, V., Pěnčí k, A., Strnad, M. (2010). Endogenous Cytokinins, Auxins, and Abscisic Acid in Red Algae From Brazil. Journal of Phycology, 46(6), 1198-1205.

Zaguła, G., Bajcar, M., Saletnik, B., Czernicka, M., Puchalski, C., Kapusta, I., Oszmiański, J. (2017). Comparison of the effectiveness of water-based extraction of substances from dry tea leaves with the use of magnetic field assisted extraction techniques. Molecules, 22(10), 1656.

Zancani, M., Nagy, G. (2000). Phenol- dependent H_2O_2 break down by soybean root plasma membrane-bound peroxidase is regulated by ascorbate and thiols. Journal of Plant Physiology, 156, 295–299.

Zarzecka, K., Gugała, M., Głuszczak, B., Mystkowska, I. (2018). Ekonomiczne uzasadnienie stosowania herbicydów i biostymulatorów w uprawie ziemniaków jadalnych. Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu, 20, 169–173.

Zaugg, I., Magni, C., Panzeri, D., Daminati, M. G., Bollini, R., Benrey, B., Bacher, S., Sparvoli, F. (2013). QUES, a new *Phaseolus vulgaris* genotype resistant to common bean weevils, contains the Arcelin-8 allele coding for new lectin-related variants. Theoretical and Applied Genetics, 126(3), 647-661.

Zewail, R. M. Y. (2014). Effect of seaweed extract and amino acids on growth and productivity and some biocostituents of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. Journal of Plant Production, 5(8), 1441-1453.

Zhang, J. B., Zhu, T. B., Cai, Z. C., Qin, S. W., Müller, C. (2012). Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil nitrogen transformations. European Journal of Soil Science, 63(1), 75-85.

Zhang, Q., Zhang, J., Shen, J., Silva, A., Dennis, D. A., Barrow, C. J. (2006). A simple 96-well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. Journal of Applied Phycology, 18(3), 445-450.

Ziaei, M., Pazoki, A. (2022). Foliar-applied seaweed extract improves yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars through changes in biochemical and fatty acid profile under irrigation regimes. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1-11.

Złotek, U., Szymanowska, U., Karaś, M., Świeca, M. (2016). Antioxidative and anti inflammatory potential of phenolics from purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves induced by jasmonic, arachidonic and b-aminobutyric acid elicitation. International Journal of Food Science & Technology, 51, 163–170.

Zodape, S. T., Gupta, A., Bhandari, S. C., Rawat, U. S., Chaudhary, D. R., Eswaran, K., Chikara, J. (2011). Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Journal of Scientific & Industrial Research 215, 215-219.

Zodape, S. T., Mukhopadhyay, S., Eswaran, K., Reddy, M. P., Chikara, J. (2010). Enhanced yield and nutritional quality in green gram (*Phaseolus radiata* L) treated with seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract. Journal of Scientific and Industrial Research, 69(6), 468-471.

Zodape, S.T., Mukherjee, S., Reddy, M.P., Chaudhary, D.R. (2009). Effect of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva. extract on grain quality, yield and some yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Plant Production,3 (2), 97-101.

Zasoby internetowe:

www.agrotech-ogrodniczy.pl 2016 (dostęp 13.06.2021)

www.businesswire.com (dostęp 13.06.2021)

www.marketsandmarkets.com (dostęp 13.06.2021)

http://biolchim.pl/project/fylloton/ (dostęp 13.06.2021)

http://biolchim.pl/wp-content/uploads/2017/05/FYLLOTON-firmy-Biolchim.pdf (dostęp 13.06.2021)

https://intermag.pl/uprawa-roslin/produkt/tytanit (dostęp 13.06.2021)

http://bomax.botany.pl/ib-db/check/#gatinfo=2637 (dostęp 20.06.2021)

https://rejestrupraw.arimr.gov.pl/ (dostęp 10.01.2022)

https://www.gov.pl/web/rolnictwo/polska-fasola-z-orzelkiem (dostęp 10.01.2022)

8. SPIS TABEL

Tabela 1. Skład chemiczny, stężenia i terminy stosowania biostymulatorów.....46
Tabela 2. Cena zakupu biostymulatorów [w PLN za 1 l preparatu].....51
Tabela 3. Temperatura w okresie wegetacji fasoli zwykłej w latach badań (2016-2018) i wieloleciu.....53
Tabela 4. Opady w okresie wegetacji fasoli zwykłej w latach badań (2016-2018) i wieloleciu. 53
Tabela 5. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na cechy kształtujące plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 63
Tabela 6. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na cechy kształtujące plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 66
Tabela 7. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).....72
Tabela 8. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).....73
Tabela 9. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość i wydajność białka fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).....78
Tabela 10. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość i wydajność białka nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 81
Tabela 11. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość związków fenolowych w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 87
Tabela 12. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość związków fenolowych w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 91
Tabela 13. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na właściwości antyoksydacyjne nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 94
Tabela 14. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na właściwości antyoksydacyjne nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 97
Tabela 15. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość włókna w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).....102
Tabela 16. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość włókna w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018).....105

Tabela 17. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość celulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 109
Tabela 18. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość celulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 111
Tabela 19. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość makroelementów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 115
Tabela 20. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość makroelementów (potasu, fosforu i magnezu) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 118
Tabela 21. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość makroelementów (wapnia, siarki) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 121
Tabela 22. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość makroelementów (wapnia, siarki) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 123
Tabela 23. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość mikroelementów (miedzi, żelaza, cynku) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 126
Tabela 24. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość mikroelementów (miedzi, żelaza, cynku) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 129
Tabela 25. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość mikroelementów (glinu, manganu, molibdenu) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 131
Tabela 26. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość mikroelementów (glinu, manganu, molibdenu) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 135
Tabela 27. Wpływ biostymulatora, jego stężenia, liczby aplikacji i lat badań na zawartość mikroelementów (niklu, selenu) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 137
Tabela 28. Współdziałanie biostymulatora, jego stężenia i liczby aplikacji na zawartość mikroelementów (niklu, selenu) w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016-2018). 139

Tabela 29. Opłacalność stosowania biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej odmiany Orzeł w 2016 r. 140
Tabela 30. Opłacalność stosowania biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej odmiany Orzeł w 2017 r. 141
Tabela 31. Opłacalność stosowania biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej odmiany Orzeł w 2018 r. 142
Tabela 32. Opłacalność stosowania biostymulatorów w uprawie fasoli zwykłej odmiany Orzeł (średnia z lat 2016 - 2018). 143

9. SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Suche strąki (a) i nasiona (b) fasoli zwykłej odmiany Orzeł. 44
Rysunek 2. Doświadczenie polowe z fasolą zwykłą odmiany Orzeł. 45
Rysunek 3. Wpływ biostymulatora na liczbę strąków fasoli zwykłej odmiany Orzeł [szt.·m^{-2}] w poszczególnych latach badań. 63
Rysunek 4. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na liczbę strąków fasoli zwykłej odmiany Orzeł [szt.·m^{-2}] w poszczególnych latach badań. 64
Rysunek 5. Wpływ biostymulatora na liczbę nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [szt.·m^{-2}] w poszczególnych latach badań. 64
Rysunek 6. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na liczbę nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [szt.·m^{-2}] w poszczególnych latach badań. 65
Rysunek 7. Wpływ biostymulatora na masę 1000 nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [g] w poszczególnych latach badań. 65
Rysunek 8. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na masę 1000 nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [g] w poszczególnych latach badań. 66
Rysunek 9. Wpływ biostymulatora na plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [t·ha-1] w poszczególnych latach badań.. 72
Rysunek 10. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na plon nasion fasoli zwykłej odmiany Orzeł [t·ha^{-1}] w poszczególnych latach badań. 73
Rysunek 11. Wpływ biostymulatora na zawartość białka fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. 79
Rysunek 12. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość białka fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. 79
Rysunek 13. Wpływ biostymulatora na wydajność białka fasoli zwykłej odmiany Orzeł [kg·ha^{-1}] w poszczególnych latach badań. 80
Rysunek 14. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na wydajność białka fasoli zwykłej odmiany Orzeł [kg·ha^{-1}] w poszczególnych latach badań.. 80
Rysunek 15. Wpływ biostymulatora na zawartość związków fenolowych w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 88
Rysunek 16. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość związków fenolowych w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań.. 88

Rysunek 17. Wpływ biostymulatora na zawartość antocyjanów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 89
Rysunek 18. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość antocyjanów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 89
Rysunek 19. Wpływ biostymulatora na zawartość flawonoidów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 90
Rysunek 20. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość flawonoidów w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 90
Rysunek 21. Wpływ biostymulatora na aktywność antyoksydacyjną wobec kationorodników ABTS+ w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg Trolox·g s.m.-1] w poszczególnych latach badań. 95
Rysunek 22. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na aktywność antyoksydacyjną wobec kationorodników ABTS+ w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg Trolox·g s.m.-1] w poszczególnych latach badań. 95
Rysunek 23. Wpływ biostymulatora na siłę redukcji jonów żelaza w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg Trolox·g s.m.-1] w poszczególnych latach badań. 96
Rysunek 24. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na siłę redukcji jonów żelaza w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg Trolox·g s.m.-1] w poszczególnych latach badań. 96
Rysunek 25. Wpływ biostymulatora na zawartość włókna neutralno-detergentowego w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. 102
Rysunek 26. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość włókna neutralno-detergentowego w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań 103
Rysunek 27. Wpływ biostymulatora na zawartość włókna kwaśno-detergentowego w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań.. 103
Rysunek 28. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość włókna kwaśno-detergentowego w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań.. 104
Rysunek 29. Wpływ biostymulatora na zawartość ligniny kwaśno-detergentowej w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. 104
Rysunek 30. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość ligniny kwaśno-detergentowej w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. 105

Rysunek 31. Wpływ biostymulatora na zawartość hemicelulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań 109
Rysunek 32. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość hemicelulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. 110
Rysunek 33. Wpływ biostymulatora na zawartość celulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. 110
Rysunek 34. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość celulozy w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [% s.m.] w poszczególnych latach badań. 111
Rysunek 35. Wpływ biostymulatora na zawartość potasu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 115
Rysunek 36. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość potasu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 116
Rysunek 37. Wpływ biostymulatora na zawartość fosforu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 116
Rysunek 38. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość fosforu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 117
Rysunek 39. Wpływ biostymulatora na zawartość magnezu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg· g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 117
Rysunek 40. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość magnezu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań 118
Rysunek 41. Wpływ biostymulatora na zawartość wapnia w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 121
Rysunek 42. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość wapnia w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 122
Rysunek 43. Wpływ biostymulatora na zawartość siarki w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 122
Rysunek 44. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość siarki w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 123
Rysunek 45. Wpływ biostymulatora na zawartość miedzi w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań.....126
Rysunek 46. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość miedzi w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 127
Rysunek 47. Wpływ biostymulatora na zawartość żelaza w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 127

Rysunek 48. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość żelaza w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 128
Rysunek 49. Wpływ biostymulatora na zawartość cynku w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań.....128
Rysunek 50. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość cynku w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 129
Rysunek 51. Wpływ biostymulatora na zawartość glinu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań.....132
Rysunek 52. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość glinu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 132
Rysunek 53. Wpływ biostymulatora na zawartość manganu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań.....133
Rysunek 54. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość manganu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 133
Rysunek 55. Wpływ biostymulatora na zawartość molibdenu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań.....134
Rysunek 56. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość molibdenu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 134
Rysunek 57. Wpływ biostymulatora na zawartość niklu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań.....137
Rysunek 58. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość niklu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 138
Rysunek 59. Wpływ biostymulatora na zawartość selenu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań.....138
Rysunek 60. Wpływ stężenia i liczby aplikacji biostymulatora na zawartość selenu w nasionach fasoli zwykłej odmiany Orzeł [mg·g^{-1}] w poszczególnych latach badań. 139