



BIOPESTYCYDY – ALTERNATYWA DLA SYNTETYCZNYCH ŚRODKÓW OCHRONY ROŚLIN ZGODNA Z KONCEPCJĄ ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU

Justyna Mirek

Streszczenie

Współczesne rolnictwo w najbliższym czasie będzie musiało podjąć produkcję żywności dla stale rosnącej populacji. Intensywna gospodarka rolna wiąże się z wysokimi kosztami środowiskowymi, co w przyszłości może doprowadzić do całkowitej degradacji środowiska naturalnego. Z tego względu należy wprowadzić rozwiązania zgodne z koncepcją zrównoważonego rozwoju. Szacuje się, że szkodniki roślin uprawnych są odpowiedzialne za około 20% strat plonów rocznie. Stosowanie ogromnych ilości syntetycznych pestycydów ma negatywny wpływ na środowisko naturalne oraz na organizmy niebędące przedmiotem zwalczania. Potencjalnym rozwiązaniem tego problemu są biopestycydy. To środki pochodzenia naturalnego, które pozbawione są wad syntetycznych pestycydów.

Słowa kluczowe: rolnictwo zrównoważone, biopestycydy, naturalne środki ochrony roślin

BIOPESTICIDES – AN ALTERNATIVE TO SYNTHETIC PLANT PROTECTION PRODUCTS IN LINE WITH THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Abstract

In the near future, modern agriculture will have to cope with the production of food for the constantly growing population. Intensive farming is associated with high environmental costs, which in the future will lead to the complete degradation of the natural environment. For this reason, solutions consistent with the concept of sustainable development should be introduced. It is estimated that crop pests are responsible for about 20% of crop losses per year. The use of huge amounts of synthetic pesticides has a negative impact on the environment and on non-target organisms. Biopesticides are a potential solution to this problem. These are agents of natural origin that are devoid of the disadvantages of synthetic pesticides.

Keywords: sustainable agriculture, biopesticides, natural plant protection products

Autorka:

Justyna Mirek

Szkoła Doktorów, Politechnika Śląska, Gliwice, Polska

E-mail: justyna.mirek@polsl.pl

Cytowanie: Mirek J. (2023), Biopestycydy – alternatywa dla syntetycznych środków ochrony roślin zgodna z koncepcją zrównoważonego rozwoju. *Etyka Biznesu i Zrównoważony Rozwój. Interdyscyplinarne studia teoretyczno-empiryczne*, 2, 44–53.

Wprowadzenie

Wyzwaniem współczesnego rolnictwa jest wytworzenie dużych ilości, wysokiej jakości żywności, bez destrukcyjnego wpływu na środowisko. Oszacowano, że liczba ludności na świecie osiągnie 10 miliardów do 2050 roku. Aby zaspokoić potrzeby żywieniowe tak ogromnej populacji, produkcja żywności do tego czasu powinna wzrosnąć o przynajmniej 50% w porównaniu z rokiem 2005 (Alexandratos, 2012). Dotychczas gospodarka rolna osiągnęła znaczny postęp w zakresie produktywności, niestety odbyło się to kosztem rodzimej flory i fauny. Naturalne ekosystemy zostały przekształcone w uproszczone środowiska, składające się z dużych obszarów gruntów rolnych, na których często przez wiele lat uprawia się tylko jeden gatunek rośliny tzw. monokultury. Prowadzi to nie tylko do utraty rodzimych gatunków, ale również do zmniejszenia licznych korzyści zapewnianych przez różnorodność biologiczną. Brak równowagi ekologicznej zwiększa podatność gospodarstw na liczne zagrożenia takie jak choroby czy szkodniki (He i in., 2019). Ponadto, intensywna gospodarka rolna często wiąże się ze zwiększonym stosowaniem chemikaliów w postaci środków ochrony roślin takich jak pestycydy, czy nawozów sztucznych, które wykazują szkodliwy wpływ zarówno na środowisko, jak i ludzi (Bezak i in., 2021).

Nieustający wzrost liczby ludności wywiera ogromną presję na ten sektor gospodarki. Model rolnictwa ukierunkowany na krótkoterminową maksymalizację zysku w krótkim czasie doprowadziłby do całkowitej degradacji środowiska naturalnego. Aby osiągnąć długoterminowy zysk, należy wziąć pod uwagę koncepcję zrównoważonego rozwoju. Termin „zrównoważony” w rolnictwie odnosi się do zapewniania wystarczającej ilości żywności dla stale rosnącej populacji przy jednoczesnym minimalnym wpływie na środowisko naturalne oraz zapewnieniu godziwego wynagrodzenia rolnikom (Lykogianni i wsp., 2021). Zrównoważone rolnictwo zostało zdefiniowane jako alternatywne zintegrowane podejście, które można wykorzystać do rozwiązywania podstawowych i stosowanych problemów,

związanych z produkcją żywności w sposób ekologiczny. Integruje zasady biologiczne, fizyczne, chemiczne i ekologiczne w celu opracowania nowych praktyk, które nie są szkodliwe dla środowiska (That i in., 2020). Aby sprostać wymaganiom stawianym przez koncepcję zrównoważonego rozwoju, należy bardziej efektywnie wykorzystywać istniejące grunty rolne, wprowadzić bardziej zrównoważoną gospodarkę wodną, zredukować zużycie paliw kopalnianych, chronić różnorodność biologiczną i zredukować ilość śmieci (Calicioglu, 2019). Rozwiązania te mogą potencjalnie pomóc w zaspokojeniu potrzeb rolnictwa na całym świecie (That i in., 2020). Niestety w Polsce dotychczasowe doświadczenia związane z rozwojem terenów wiejskich i rolnictwa wykazują, że generują one wiele problemów związanych z brakiem równowagi między czynnikami gospodarczymi, społecznymi i środowiskowymi (Prus, 2008).

Intensywna gospodarka rolna wiąże się z wysokim kosztem środowiskowym. Rośnie konkurencja o zasoby wodne i tereny rolne, które kurczą się w zastraszającym tempie na rzecz procesu urbanizacji. Z tego względu na potrzeby rolnictwa wycina się coraz większe połacie lasu. Deforestacja stanowi ogromne zagrożenie dla planety, jest odpowiedzialna m.in. za postępującą degradację i erozję gleby. Przyczynia się również, obok zwiększonej emisji gazów cieplarnianych, do zmian klimatycznych (Glaros, 2021; Lawrence i Vandecar, 2015; Pereira, 2017). Do skutków globalnego ocieplenia można zaliczyć ekstremalne zjawiska pogodowe takie jak: wzrost częstotliwości fal upałów, okresów suszy, intensywnych opadów deszczu, powodzi, gwałtownych mrozów, huraganów, tornad, a także wzrostu poziomu wód w morzach i oceanach (Saini i Bhatt, 2020). Gwałtowne zmiany pogody mają negatywny wpływ na plonowanie. Niedobory wody i susza w oczywisty sposób przyczyniają się do znacznej obniżki plonów. W przypadku intensywnych opadów dochodzi do zniszczenia struktury powierzchni gleb – tzw. erozja wodna, polegająca na wyłukiwaniu mikroelementów oraz nawozów i środków ochrony roślin z wierzchnich warstw gleby, co w efekcie końcowym prowadzi do zanieczyszczenia okolicznych zbiorników wodnych (Zandalinas i in., 2021).

Nie należy zapominać, że skutkiem globalnego ocieplenia jest również rozszerzenie zasięgu występowania wielu gatunków owadów. Oznacza to, że wzrośnie liczba zarówno gatunków pożytecznych takich jak zapylacze, jak i szkodników uprawnych. Szacuje się, że szkodniki są odpowiedzialne rocznie za ok. 20% strat plonów w skali globalnej (Mateos i in., 2022). Co więcej, stanowią one zagrożenie dla naszych domów, ogrodów i zbiorników wodnych, ponieważ jako żywicieli pasożytów chorobotwórczych mogą przenosić wiele chorób. Z tego względu tak ważne jest łagodzenie oraz zwalczanie działalności szkodników, co w znaczący sposób może się przyczynić do ograniczenia światowego kryzysu żywnościowego oraz poprawy zdrowia ludzi i zwierząt (Souto i in., 2021).

Celem niniejszej pracy jest odpowiedź na następujące pytania: czy środki owadobójcze stosowane w rolnictwie, w celu ochrony roślin przed szkodnikami, mogą być zgodne z koncepcją zrównoważonego rozwoju oraz czy możliwe jest zastosowanie ich we współczesnym rolnictwie?

Pestycydy

Pestycydy to grupa substancji obejmująca insektycydy, fungicydy, herbicydy, moluskocydy, rodentocydy i nematocydy. Związki te odgrywają ważną rolę w rozwoju rolnictwa, ponieważ pomagają zmniejszać straty produkcji żywności powodowane przez szkodniki oraz prowadzą do poprawy jakości plonów (Tudi i in., 2021). Około jedna trzecia produktów rolnych jest wytwarzana przy użyciu pestycydów. Szacuje się, że w momencie zaprzestania stosowania tych środków ochrony roślin, nastąpiłby 78% spadek produkcji owoców, 54% spadek produkcji warzyw oraz 32% spadek produkcji zbóż (Lamichhane, 2017). Każdego roku na świecie stosuje się 5,6 bilionów kilogramów pestycydów. Niestety tylko niewielki procent stosowanych środków chemicznych jest poprawnie aplikowany, a pozostała część pestycydów kumuluje się w glebie i w wodzie, prowadząc do skażenia środowiska (Alavanja, 2009). Ponadto, w zależności od składu chemicznego, pestycydy mogą być toksyczne również dla innych organizmów, w tym ptaków, ryb, owadów pożytecznych, a także roślin niebędących celem ich działania. Po przedostaniu się do środowiska ich degradacja może trwać godziny, dni, a nawet lata (Tudi i in., 2021). Wymownym przykładem jest stosowany we Francuskich Indiach Zachodnich w latach 1972–1993 chlordekon (CLD), znany również pod nazwą „potwór Antyli”. Jest to związek chemiczny o niskiej biodegradowalności, nietłoczny, silnie absorbujący się w żyznych glebach. Te cechy sprawiają, że chlordekon pozostaje w glebie przez bardzo długi okres czasu, a także bioakumuluje się w organizmach żywych. Pomimo zakazu stosowania tego związku chemicznego na początku lat 90., cząsteczka ta jest obecna po dziś w wodach oraz glebach Francuskich Indii Zachodnich (Souto i in., 2021).

Mimo że pestycydy stanowią trzon sektora rolno-spożywczego, ich stosowanie jest postrzegane jako przeszkoda na drodze do osiągnięcia zrównoważonego rozwoju. Główne obawy są związane z negatywnym wpływem pestycydów na zdrowie ludzi oraz środowisko (Lykogianni, 2021). Świadomość dotycząca problemów ze szkodnikami oraz zanieczyszczeniem środowiska doprowadziła do poszukiwania bardziej przyjaznych środków, które w krótkim czasie ulegają degradacji, działają specyficznie na organizmy docelowe, a także są stosunkowo tańsze. Spełnienie wszystkich tych wymogów, pozwoliłoby na uzyskanie zrównoważonej produkcji żywności (Souto i in., 2021).

Biopestycydy

Naturalne środki ochrony roślin zwane biopestycydami mogą stanowić rozwiązanie problemów związanych z ochroną roślin uprawnych przed szkodnikami i patogenami. Są to środki pochodzenia naturalnego, pozyskiwane z mikroorganizmów, owadów oraz przede wszystkim roślin. Cechuje je wysoka biodegradowalność, niska toksyczność, wysoka specyficzność względem organizmu docelowego, skomplikowany mechanizm działania uniemożliwiający wykształcenie oporności przez owady i, co najważniejsze, wykazują skuteczność już w niskich stężeniach. Ponadto ich produkcja jest bezpieczna i stosunkowo tania oraz nie wymaga dużego nakładu energii (Dhakal i Singh, 2019; Fenibo i in., 2022; Kumar i in., 2021). Te cechy sprawiają, że biopestycydy stanowią obiecującą alternatywę dla sztucznych pestycydów (Tab. 1) (Samada i Tambunan, 2020).

Wyróżniamy kilka rodzajów biopestycydów ze względu na pochodzenie. Zdecydowanie najbardziej popularną i zarazem najbardziej skuteczną grupą są biopestycydy mikrobiologiczne, wykorzystujące mikroorganizmy owadobójcze. Na drugim miejscu znajdują się olejki eteryczne, następnie wtórne metabolity roślinne, biopestycydy biochemiczne i wreszcie naturalni wrogowie szkodników upraw. Naturalne środki ochrony roślin oferują szeroki zakres możliwości zwalczania szkodników, a co więcej, środki te można stosować razem bez szkody dla środowiska naturalnego czy zdrowia człowieka (Fenibo i in., 2022; Thakur, 2020). Przyjrzyjmy się pokrótce poszczególnym rodzajom biopestycydów.

Tab. 1 Porównanie syntetycznych i naturalnych środków ochrony roślin

Syntetyczne pestycydy	Naturalne biopestycydy
Syntetyzowane w sposób sztuczny	Pochodzenia naturalnego
Szerokie spektrum działania	Wąskie spektrum działania, tylko na organizmy docelowe
Wysoka toksyczność dla środowiska	Niska toksyczność dla środowiska
Prosty mechanizm działania, pozwalający na wykształcenie oporności	Skomplikowany mechanizm działania, niepozwalający na wykształcenie oporności
Duże zagrożenie dla zdrowia podczas aplikacji	Niskie zagrożenie dla zdrowia podczas aplikacji

Opracowanie własne

Biopestycydy mikrobiologiczne

Do biopestycydów mikrobiologicznych zaliczamy produkty zawierające: bakterie, grzyby, wirusy, pierwotniaki i glony, które są naturalnymi wrogami owadów roślinożernych, chorób roślin lub chwastów (Chandler i in., 2008; Samada i Tambunan, 2020). Najczęściej

wykorzystywanym komercyjnie gatunkiem bakterii jest *Bacillus thuringiensis*. Bakteria ta syntetyzuje toksynę, która po wnikięciu do układu pokarmowego owada prowadzi do sepsy bakteryjnej i śmierci szkodnika. Obecnie jest wykorzystywana do zwalczania szkodników roślin takich jak kapusta i ziemniak (Kumar i in., 2021). Grzyby również znalazły zastosowanie, jednakże tylko kilka rzadkich szczepów grzybów zostało opracowanych jako komercyjne mykoinsektycydy (de la Cruz Quiroz i in., 2019). Spośród wielu wirusów roślinnych, zastosowanie jako bioinsektycydy znalazły bakulowirusy. Wirusy te są bezpieczne dla kręgowców, w tym ludzi, wykazują wysoką specyficzność działania względem owadów oraz dużą skuteczność. W optymalnych warunkach powodują śmierć owada już w ciągu 3–7 dni (Kachhawa, 2017).

Olejki eteryczne

Olejki eteryczne stanowią przeważnie ciekłe i wonne mieszaniny organicznych związków chemicznych, które są pozyskiwane z roślin, najczęściej w wyniku destylacji. Możemy je znaleźć praktycznie w każdym organie rośliny aromatycznej: liściach, łodydze, korzeniach, pąkach, kwiatach, nasionach czy owocach (Klimek, 1957). Główną przewagą olejków eterycznych jako naturalnych środków ochrony roślin jest ich bogaty i złożony skład chemiczny, ponieważ w pojedynczym olejku może znajdować się od kilku (25) do nawet kilkuset (505) różnych związków chemicznych. Mnogość związków chemicznych wchodzących w ich skład, często oddziałujących ze sobą synergistycznie, sprawia, że angażują one różne mechanizmy działania, dzięki czemu środki te są bardziej efektywne, a nabycie oporności przez owady jest praktycznie niemożliwe (Pavela, 2015). Substancje aktywne, wchodzące w skład olejków eterycznych, wykazują szeroką aktywność biologiczną, która może przejawiać właściwości: owadobójcze, nicieniobójcze, jajobójcze, grzybobójcze oraz bakteriobójcze (Walkowiak-Nowicka i in., 2023).

Wtórne metabolity roślinne

Wtórne metabolity roślinne to grupa związków chemicznych, których głównym zadaniem jest ochrona roślin przed szkodnikami, owadami, roślinożercami oraz grzybami poprzez nadanie tkankom roślinnym gorzkiego smaku. Po spożyciu przez organizmy żywe wtórne metabolity mogą wykazywać szerokie spektrum działania od narkotycznego do toksycznego (Chowański i in., 2016). Wyróżniamy wiele grup związków chemicznych należących do tej grupy, m.in. są to niebiałkowe związki azotowe takie jak alkaloidy i glikoalkaloidy, związki fenolowe oraz terpenoidy (Strzałka, 2020). W przypadku owadów wykazano, że działanie wtórnych

metabolitów roślinnych skutkuje obniżeniem płodności i rozrodczości, przyczyniając się tym samym do zmniejszenia populacji danego gatunku. Przeprowadzono badania, które wykazały, że glikoalkaloidy oddziałują z układem endokrynnym owadów, zaburzając tym samym ich rozwój i proces przeobrażenia (Lingampally i in., 2014). Ponadto, odnotowano zmiany w żerowaniu owadów po spożyciu glikoalkaloidów. W przeważającej liczbie przypadków zaobserwowano zmniejszenie ilości przyjmowanego pokarmu np. u takich gatunków jak: mszyca brzoskwiniowo-ziemniaczana (*Myzus persicae*), stonka ziemniaczana (*Leptinotarsa decemlineata*) czy trojszyk gryzący (*Tribolium castaneum*). Jest to istotna zależność z punktu widzenia agronomii, którą można wykorzystać przy tworzeniu alternatywnych pestycydów (Fragoyiannis i in., 1998; Friedman, 2002; Abbasipour i in., 2011).

Biopestycydy biochemiczne

Bioinsektycydy biochemiczne to preparaty wykorzystujące naturalnie występujące związki chemiczne, które poprzez nietoksyczne mechanizmy są w stanie kontrolować populację szkodników. Ich działanie polega w głównej mierze na zmianie zachowania owadów (Dhakal i Singh, 2019). Owady posiadają bardzo czuły system węchowy, wrażliwy już na śladowe ilości substancji zapachowych. Wykorzystując feromony, czyli związki chemiczne służące zwierzętom do komunikacji, przywabiania osobników płci przeciwnej lub też do odstraszenia konkurencji, możemy zakłócać komunikację owadów, procesy rozrodu, czy też odstraszać gatunki owadów od roślin uprawnych (Sarwar, 2015).

Zastosowanie biopestycydów w zrównoważonym rolnictwie

Mimo wielu zalet w dalszym ciągu biopestycydy mają tylko 5% udziału w światowym rynku pestycydów. Pełne przyjęcie biopestycydów jest utrudnione przez małą liczbę produktów spełniających wymagania rolników oraz powolne i krótkotrwałe działanie, które w większości wykazują (Fenibo i in., 2021). Również ich produkcja napotyka liczne przeszkody. Najważniejszą z nich jest standaryzacja produktu. Większość z wymienionych związków chemicznych cechuje szybka biodegradowalność, która z punktu widzenia środowiskowego jest dużym atutem, ale z punktu widzenia producenta ogromną wadą. Trudno jest wyprodukować środek o zadowalającej trwałości, który będzie wykazywał taką samą aktywność w momencie procesu produkcji oraz w chwili zastosowania. Trwałość tego typu produktów zależy od wielu czynników, m.in. od temperatury i czasu przechowywania, wiele z tych związków jest także światłoczułych (Pavela i Beneli, 2016). Jednym z rozwiązań tego problemu jest enkapsulacja. To proces polegający na uwieszczeniu składników aktywnych

w ścianie matrycy i odizolowanie od otaczającego środowiska, dopóki nie nastąpi ich uwolnienie na skutek zmiany czynników zewnętrznych takich jak temperatura czy pH (El Asbahani i in., 2015).

Wnioski

Naturalne środki ochrony roślin wykazują szereg cech, dzięki którym zyskują przewagę nad syntetycznymi pestycydami, mianowicie są łatwo dostępne i tanie w produkcji. Charakteryzują się skomplikowanymi mechanizmami działania, uniemożliwiającymi nabycie oporności przez owady. Działają selektywnie na wybrane gatunki, nie stanowiąc tym samym zagrożenia dla organizmów pośrednich takich jak owady pożyteczne. Właściwości takie jak biodegradowalność i skuteczność już w niewielkich stężeniach sprawiają, że są bezpieczne dla środowiska i ludzi. Ponadto oferują szeroki wybór związków lub organizmów o działaniu owadobójczym, co umożliwia zastosowanie ich dla wielu gatunków szkodników.

Podsumowując, zrównoważone rolnictwo oparte na naturalnych środkach ochrony roślin spełnia założenia stawiane przez koncepcję zrównoważonego rozwoju. Wykazują one również duży potencjał aplikacyjny we współczesnym rolnictwie, ale pod warunkiem opracowania efektywnej metody standaryzacji produktu. Co więcej, biopestycydy cieszą się akceptacją społeczną, promują produktywność ekonomiczną, a także sprzyjają zarządzaniu środowiskiem (Fenibo i in., 2021).

Bibliografia

- Abbasipour H., Mahmoudvand M., Rastegar F., Hosseinpour M.H. (2011). Bioactivities of jimson-weed extract, *Datura stramonium* L. (Solanaceae), against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Turk J Agric For* 35, 623–629.
- Alavanja M.C. (2009). Introduction: Pesticides use and exposure, extensive worldwide. *Reviews on environmental health*, 24(4), 303–310.
- Alexandratos N., & Bruinsma J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.
- Bezak N., Mikoš M., Borrelli P., Alewell C., Alvarez P., Anache J., & Panagos P. (2021). Soil erosion modelling: A bibliometric analysis. *Environmental research*, 197, 111087.
- Calicioglu O., Flammini A., Bracco S., Bellù L., & Sims R. (2019). The future challenges of food and agriculture: An integrated analysis of trends and solutions. *Sustainability*, 11(1), 222.
- de la Cruz Quiroz R., Cruz Maldonado J.J., Rostro Alanis M.D.J., Torres J.A., & Parra Saldívar R. (2019). Fungi-based biopesticides: Shelf-life preservation technologies used in commercial products. *Journal of Pest Science*, 92, 1003–1015.

- Chandler D., Davidson G., Grant W.P., Greaves J., & Tatchell G.M. (2008). Microbial biopesticides for integrated crop management: an assessment of environmental and regulatory sustainability. *Trends in Food Science & Technology*, 19(5), 275–283.
- Chowański S., Adamski Z., Marciniak P., Rosiński G., Büyükgüzel E., Büyükgüzel K., & Bufo S.A. (2016). A review of bioinsecticidal activity of Solanaceae alkaloids. *Toxins*, 8(3), 60.
- Dhakal R., & Singh D.N. (2019). Biopesticides: a key to sustainable agriculture. *Int J Pure App Biosci*, 7(3), 391–396.
- El Asbahani A., Miladi K., Badri W., Sala M., Addi E.A., Casabianca H., ... & Elaissari A. (2015). Essential oils: From extraction to encapsulation. *International journal of pharmaceutics*, 483(1–2), 220–243.
- Fenibo E.O., Ijoma G.N., & Matambo T. (2021). Biopesticides in sustainable agriculture: A critical sustainable development driver governed by green chemistry principles. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 619058.
- Fragoyiannis D.A., McKinlay R.G., D'Mello J.P.F. (1998). Studies of the growth, development and reproductive performance of the aphid *Myzus persicae* on artificial diets containing potato glycoalkaloids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, Vol. 88, Issue 1.
- Friedman M. (2002). Tomato glycoalkaloids: Role in the plant and in the diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5751–5780.
- Glaros E. (2021). Challenges for future agriculture. *Journal of Plant Biology and Agriculture Science*, 3(2):8.
- He H., Liu L., Munir S., Bashir N., Yi W., Jing Y., & Li C. (2019). Crop diversity and pest management in sustainable agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(9), 1945–1952.
- Kachhawa D. (2017). Microorganisms as a biopesticides. *J Entomol Zool Stud*, 5(3), 468–473.
- Klimek R. (1957). *Olejki eteryczne*. Wydawnictwo Przemysłu Lekkiego i Spożywczego, Warszawa.
- Kumar P., Kamle M., Borah R., Mahato D.K., & Sharma B. (2021). *Bacillus thuringiensis* as microbial biopesticide: uses and application for sustainable agriculture. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1), 1–7.
- Kumar J., Ramlal A., Mallick D., & Mishra V. (2021). An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants*, 10(6), 1185.
- Lamichhane J.R. (2017). Pesticide use and risk reduction in European farming systems with IPM: An introduction to the special issue. *Crop Prot*, 97, 1–6.
- Lawrence D., & Vandecar K. (2015). Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature climate change*, 5(1), 27–36.
- Lingampally V., Solanki V.R., Anuradha D.L., & Sabita Raja S. (2014). Effect of solasodine against last instar larvae of *Tribolium confusum*. *J. Entomol. Zool. Stud*, 2, 118–120.
- Lykogianni M., Bempelou E., Karamaouna F., & Aliferis K.A. (2021). Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of the Total Environment*, 795, 148625.

- Mateos Fernández R., Petek M., Gerasymenko I., Juteršek M., Baebler Š., Kallam K., & Patron N.J. (2022). Insect pest management in the age of synthetic biology. *Plant Biotechnology Journal*, 20(1), 25–36.
- Pavela R. (2015). Acute toxicity and synergistic and antagonistic effects of the aromatic compounds of some essential oils against *Culex quinquefasciatus* Say larvae. *Parasitology research*, 114(10): 3835–3853.
- Pavela R., Benelli G. (2016). Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. *Trends in plant science*, 21(12): 1000–1007.
- Pereira L.S. (2017). Water, agriculture and food: challenges and issues. *Water Resources Management*, 31(10), 2985–2999.
- Prus P. (2008). Współczesne problemy rolnictwa i obszarów wiejskich w Polsce. *Problemy Rolnictwa Światowego*, 5.
- Tahat M., Alananbeh K., Othman Y., Leskovaar D. (2020). Soil health and sustainable agriculture. *Sustainability*, 12(12), 4859.
- Thakur N., Kaur S., Tomar P., Thakur S., & Yadav A.N. (2020). Microbial biopesticides: current status and advancement for sustainable agriculture and environment. In *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering* (pp. 243–282). Elsevier.
- Tudi M., Daniel Ruan H., Wang L., Lyu J., Sadler R., Connell D., Phung D.T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International journal of environmental research and public health*, 18(3), 1112.
- Samada L.H., & Tambunan U.S.F. (2020). Biopesticides as promising alternatives to chemical pesticides: A review of their current and future status. *Online J. Biol. Sci*, 20, 66–76.
- Saini J., & Bhatt R. (2020). Global warming-causes, impacts and mitigation strategies in agriculture. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(7), 93–107.
- Sarwar M. (2015). Information on activities regarding biochemical pesticides: an ecological friendly plant protection against insects. *International Journal of Engineering and Advanced Research Technology*, 1(2), 27–31.
- Souto A.L., Sylvestre M., Tölke E.D., Tavares J.F., Barbosa-Filho J.M., & Cebrián-Torrejón G. (2021). Plant-derived pesticides as an alternative to pest management and sustainable agricultural production: Prospects, applications and challenges. *Molecules*, 26(16), 4835.
- Strzałka K. (2020). Procesy anaboliczne. W: Szmidt-Jaworska A., Kopcewicz J. (red.). *Fizjologia roślin*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. ISBN: 9788301212780.
- Walkowiak-Nowicka K., Mirek J., Chowański S., Sobkowiak R., & Słocińska M. (2023). Plant secondary metabolites as potential bioinsecticides? Study of the effects of plant-derived volatile organic compounds on the reproduction and behaviour of the pest beetle *Tenebrio molitor*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 257, 114951.
- Zandalinas S.I., Fritschi F.B., & Mittler R. (2021). Global warming, climate change, and environmental pollution: recipe for a multifactorial stress combination disaster. *Trends in Plant Science*, 26(6), 588–599.