Review Article

Biological Method as a Constituent of Integrated Plant Protection in Modern Conditions

Received: 06 February 2020
Revised: 11 February 2020
Accepted: 12 February 2020

Uman National University of Horticulture,
Instytutska Str., 1, Uman, 20305, Ukraine

Tel.: +38-067-680-12-43
E-mail: mostovjak@gmail.com

Cite this article: Mostoviak, I. I. (2020).
Biological method as a constituent of integrated
plant protection in modern conditions.
Agrology, 3(1), 46–51. doi: 10.32819/020007

I. I. Mostoviak

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Abstract. The current state of application of the biological method in integrated plant protection in the world, and in the Ukraine in particular, is analyzed and generalized. The biological method is recognized as a strategic ecological and biological method of control of hazardous organisms in modern agricultural production of many countries of the world, the European Union and also it is consolidated at legislative level. The biological method of plant protection is used on an area of more than 30 million hectares in the world. It is conditioned by its environmental safety for agricultural producers and consumers of agricultural products and for natural environment. Due to natural origin and high specificity for a particular type of pests, biological methods of plant protection have a high degree of environmental safety, ensure the conservation and expansion of biodiversity to support ecosystem services in agroecosystems, as well as positively impact on soil biota, promote the reduction of greenhouse gas emissions, in comparison with the traditional technologies, in which one chemical pesticides are used. According to the forecasts of international experts, by 2020 the market for biopesticides will reach the level 6 billion US dollars. The situation in the Ukraine today is completely different: the dominance of the chemical method of plant protection with a small part (4–5%) of the application of the biological method and biological preparations, the lack of state control and strategy for the introduction of biological preparations. And this requires radical changes in the current legislation of the country. The available data on the application of the biological method of plant protection are summarized. The world production of biopesticides used in the integrated plant protection for control of harmful organisms, which insure environmental safety in agroecosystems, quality and safety of agricultural products, is analyzed. The positive aspects of the application of the biological method of plant protection in the system of integrated plant protection as a basis for support of balanced development and ecological safety of agroecosystems are determined.

Keywords: integrated plant protection; agroecosystem; harmful organisms; environmental safety; biodiversity; ecosystem services.

**Біологічний метод
як складова інтегрованого захисту рослин у сучасних умовах**

I. I. Мостов'як

Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна

Анотація. Проаналізовано та узагальнено сучасний стан застосування біологічного методу в інтегрованому захисті рослин у світі, і в Україні зокрема. Біологічний метод визнаний стратегічним еколого-біологічним методом контролю шкідливих організмів у сучасному агропромисловому виробництві багатьма країнами світу, Європейського Союзу та закріплений на законодавчому рівні. Біологічний метод захисту рослин застосовують на площі понад 30 млн га у світі, що обумовлено його екологічною безпекою для агропромислових і споживачів сільськогосподарської продукції та навколишнього природного середовища. Завдяки природному походженню та високій специфічності до конкретного виду шкідників біологічні засоби захисту рослин мають чималий ступінь екологічної безпеки, забезпечують збереження та розширення біорізноманіття для підтримки екосистемних послуг в агроекосистемах, а також позитивно впливають на ґрунтову біоту, сприяють скороченню викидів парникових газів порівняно з традиційними технологіями, в яких використовуються хімічні пестициди. За прогнозами міжнародних експертів, до 2020 року ринок біопестицидів сягне рівня 6 млрд дол. США. В Україні нині зовсім інша ситуація: домінування хімічного методу захисту рослин із незначною часткою (4–5%) використання біологічного методу і біологічних препаратів, відсутність державного контролю і стратегії впровадження біологічних препаратів. І це потребує кардинальних змін у чинному законодавстві країни. Узагальнено наявні дані щодо застосування біологічного методу захисту рослин. Проаналізовано світове виробництво біопестицидів, які використовуються в інтегрованому захисті рослин для контролю шкідливих організмів та забезпечують екологічну безпеку в агроценозах, якість і безпечність агропродукції. Визначено позитивні аспекти застосування біологічного

методу захисту рослин у системі інтегрованого захисту рослин як основи забезпечення збалансованого розвитку і екологічної безпеки агроценозів.

Ключові слова: інтегрований захист рослин; агроценоз; шкідливі організми; екологічна безпека; біорізноманіття; екосистемні послуги.

Вступ

Альтернативним та екологічним методом забезпечення високих стандартів якості і безпечності аграрної продукції є зниження застосування хімічних засобів захисту рослин та широке впровадження екологічно безпечних технологій, в яких чільне місце займає застосування біологічних препаратів та біологічний метод захисту рослин (Krutjakova, Hulych, & Pylypenko, 2018; Mostoviak, 2019).

Біологічний метод і засоби захисту рослин у багатьох країнах світу є невід'ємною складовою інтегрованої системи захисту в сучасному рослинництві. Нині біологічний метод захисту рослин застосовують на площі понад 30 млн га у світі, що насамперед обумовлено такими позитивними моментами, як екологічна безпечність для навколишнього природного середовища, безпечність для працівників аграрного сектору і мешканців прилеглих територій, відсутність інтервалу між збиранням урожаю і звільненням від хімічних сполук, відсутність фітотоксичного ефекту для рослин, зниження забруднення продукції залишковими кількостями пестицидів, підвищення якості та безпечності сільськогосподарської продукції і сировини (van Lenteren, Bolckmans, Köhl, Ravensberg, & Urbaneja, 2018). Крім того, біологічний метод визнано стратегічним еколого-біологічним методом контролю шкідливих організмів у сучасних агроекосистемах, а в країнах ЄС закріплено на законодавчому рівні Постановою Ради Європи № 834/2007. Проте в Україні, на жаль, домінуючим залишається хімічний метод захисту рослин, відсутній загальнодержавна програма впровадження біологічного методу їх захисту, а також стратегія виробництва і промислового застосування біологічних препаратів в аграрному виробництві. Номенклатура і обсяги випуску біозасобів мають визначатися сільськогосподарською спеціалізацією і потребою кожного регіону, що дасть змогу своєчасно реагувати на кон'юнктуру споживчого ринку, оперативно забезпечувати сезонне постачання біологічних засобів (Fedorenko, 2014; Krutjakova et al., 2018). Біологічні продукти повинні бути економічно вигідними виробництву, мати стійкість до зберігання, бути легкими в застосуванні та забезпечувати стабільний ефективний контроль цільових шкідників. Саме за таких умов вітчизняний агровиробник буде зацікавлений у введенні ефективних біозасобів в агротехнологіях.

Однією з головних причин зацікавленості потенціалом біологічного контролю, як частини інтегрованої системи боротьби зі шкідниками та хворобами, є попит на ринку безпечних і якісних продуктів харчування, обізнаність населення в питаннях охорони навколишнього природного середовища та здоров'я людини, які викладено у програмах сталого розвитку, в низці міжнародних програм та ініціатив зі захисту довкілля (Naranjo, Ellsworth, & Frisvold, 2015).

Відчуваючи невідкладну потребу в забезпеченні збалансованого розвитку агроекосистем, у зниженні хімічного навантаження на навколишнє природне середовище і необхідність у виробництві високоякісної та безпечної сільськогосподарської продукції, вважаємо, що аграрний сектор країни має перейти на екологічно безпечні технології з широким застосуванням біологічних засобів у сучасному вітчизняному рослинництві. Тому й метою нашого дослідження було проаналізувати сучасний стан застосування біологічного методу в інтегрованому захисті рослин у світі і в Україні.

Матеріал та методи

Дослідження виконано в Уманському національному університеті садівництва, в Інституті агроєкології та природокористування НААН. Методами системного підходу, порівняльного аналізу та узагальнення проведено аналітичне і економіко-статистичне дослідження інформації сучасних наукових джерел, статистичних даних ФАО, Державної служби статистики України та ін. Обрахунок статистичних даних проведено з використанням сучасних комп'ютерних програм Microsoft Office Excel.

Результати та їх обговорення

Біологічний метод контролю шкідливих організмів у посівах сільськогосподарських культур має давню історію і застосовується близько двох тисяч років, але активне його впровадження в сучасній сільськогосподарській практиці розпочалося наприкінці XIX ст. (van Lenteren & Godfray, 2005). Поштовхом до розробки біологічних препаратів були наукові напрацювання І. І. Мечникова, який обґрунтував і реалізував можливість використання ентомопатогенних грибів проти комах-фітофагів сільськогосподарських культур. Науковий інтерес і новітні на той час розробки викликали зростання уваги до біологічних препаратів і попит на них. Співвідношення використання біологічних і хімічних методів захисту від шкідників у 1915 р. становило 1 : 1, а в 1946 р. зросло до 1 : 20 (Shternshis, 2004).

В останні 20 років помічено стійку тенденцію до виробництва і застосування біологічних засобів захисту рослин, а світовий ринок виробництва біологічних продуктів сягає близько 4 млрд дол. США (рисунк), але це становить менше 2% загального обсягу ринку хімічних засобів захисту рослин (Dunham, 2015).

За прогнозними даними інших міжнародних аналітиків, світовий ринок біопестицидів у 2020 р. досягне 6,6 млрд дол. США за середньорічного темпу зростання 18,8% (MarketandMarkets, 2015a). Світовий ринок біогербіцидів у 2015 р. становив 973,13 млн дол., і прогнозується, що за середньорічного темпу зростання 20% за 2016–2021 рр. він дорівнюватиме 20 млн дол. (Mordor Intelligence, 2017).

Аналіз сучасного стану застосування біологічного методу рослин в Україні показав домінування хімічних методів захисту рослин над біологічними, які займають лише 4–5% у загальному об'ємі засобів захисту рослин, та простежується тенденція до подальшого їх скорочення (Krutjakova et al., 2018). Проте визнаючи високу економічну ефективність застосування хімічних засобів захисту рослин, необхідно врахувати їх потенційну екологічну небезпеку для навколишнього природного середовища з пролонгованою і невизначеною дією.

Біологічний контроль – це використання популяції одного організму для зменшення популяції іншого організму. Основний принцип біологічного методу полягає в тому, що зниження чисельності будь-якого небажаного виду організму (мікроорганізм, рослина або тварина) можна здійснити при використанні його паразитів чи антагоністів. Знання про фізіолого-біологічні особливості основних компонентів агроценозів та закономірності їх функціонування є основою оптимального регулювання складу та чисельності окремих видів. Виділяють

Рис. Динаміка показників ринку біологічних продуктів для сільського господарства у світі (Dunham, 2015)

чотири різні типи біологічного контролю: природний, природоохоронний, класичний та допоміжний біологічний контроль із використанням біопестицидів (Eilenberg, Hajek, & Lomer, 2001; Cock et al., 2010).

Природний біологічний контроль – це екосистемна послуга (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), завдяки якій чисельність і розвиток організмів шкідників знижуються корисними природними організмами. Це відбувається в усіх екосистемах світу без будь-якого втручання людини і з економічної точки зору є найбільшим внеском біологічного контролю в сільське господарство (Waage & Greathead, 1988). В умовах допоміжного біологічного контролю природні вороги (паразити, хижаки або мікроорганізми) масово вирощуються для випуску у великій кількості або для отримання негайного контролю шкідників на культурах із коротким виробничим циклом, або для контролю шкідників протягом декількох поколінь на посівах із тривалим виробничим циклом, наприклад, сезонний біологічний контроль під час щеплення (Cock et al., 2010; Lorito, Woo, Harman, & Monte, 2010; Parnell et al., 2016; van Lenteren, 2012).

Введення нових правил безпеки харчових продуктів на світовому ринку та підвищена увага до охорони навколишнього природного середовища спонукали до пошуку і розробки нових природних (натуральних) сполук для захисту рослин як альтернативи хімічним пестицидам. Такі сполуки мають низку позитивних результатів для людини і довкілля, зокрема зменшення залишків пестицидів в об'єктах агроєкосистеми і суміжних територій та продуктах харчування, тим самим знижуючи ризик для споживача, а також вирішення проблеми резистентності шкідливих організмів до синтетичних пестицидів (Cantrell, Dayan, & Duke, 2012; Czaja et al., 2015; Singh, Kumar, Mittal, & Kumar, 2017).

Натуральні або природні продукти давно використовуються як пестициди і є основою для багатьох комерційних синтетичних органічних фунгіцидів, гербіцидів та інсектицидів. Зважаючи на постійну потребу в нових інструментах для боротьби з мінливим світом різних шкідників, натуральні продукти залишаються об'єктом для розробки нових засобів боротьби зі шкідниками (Gerwick & Sparks, 2014).

Біопестициди складають особливу групу активних речовин для захисту рослин, що відбувається природним шляхом, або є ідентичними природі синтетичними речовинами. Токсикологічний ризик застосування біопестицидів нижчий, ніж у більшості хімічних пестицидів. Вони, як правило, швидко розкладаються, а деякі з них, такі як асеміохімічні речовини, використовуються в дуже малих кількостях. Крім того, вони мають високу селективність, що знижує негативну дію на нецільові організми (Usta,

2013), включають низку живих організмів (біоконтрольні організми). Біопестициди поділяють на групи (Moshi & Matoju, 2017):

- продукти з феромонами або іншими семіохімічними речовинами як діюча речовина. Це хімічні сполуки, що продукуються тваринами або рослинами;
- мікробні пестициди. До них відносяться біологічні продукти на основі мікроміцетів, бактерій або вірусів;
- продукти, що містять живі організми – безхребетні (наприклад, хижаки) та нематоди родів *Heterorhabditis* та *Steinernema*;
- продукти на основі рослинних екстрактів та олій. Ця група значно відрізняється як із хімічної, так і функціональної точок зору. Пестициди цієї групи часто включають складні суміші, які хімічно досить важко класифікувати.

Серед біопестицидів мікробні пестициди займають найбільшу частину, що включає 53 зареєстровані продукти у США, 22 – у Канаді та 21 – у Європейському Союзі (Koul, 2011). Це пов'язано з тим, що більшість мікробних пестицидів є безпечними для природи, людей та інших організмів, володіють високою специфічною токсичною дією та сумісні зі синтетичними хімічними пестицидами. Однак завдяки біологічному походженню мікробні пестициди мають певні обмеження щодо застосування (специфічність та селективність), технологічних аспектів відносно внесення (висока чутливість до температури й ультрафіолету) та зберігання.

Мікробні пестициди, як діючу речовину, містять природний або генетично змінений мікроорганізм (бактерій, мікроміцетів або вірусів). Більшість токсинів, що утворюються мікробними агентами біопестицидів, – це пептиди, які різняться за структурою, токсичністю та специфічністю (Burgess, 1981). Вони здатні пригнічувати розвиток шкідників, відштовхувати, пом'якшувати чи знищувати багато різних видів шкочинних організмів (Matthews, 2014). У деяких випадках ефективність їх застосування має пролонговану дію і боротьба зі шкідниками відбувається внаслідок діяльності нових поколінь у подальші сезони (Usta, 2013).

Способи дії мікробних пестицидів включають екологічну конкуренцію, гальмування росту, пряму токсичність та паразитизм із використанням біомаси шкідників як субстрату (Gasic & Tanovic, 2013).

Висока специфічність до конкретного виду шкідників означає високий ступінь їх екологічної безпечності щодо інших видів та призводить до збереження інших природних ворогів і збільшення біорізноманіття в агроландшафтах. Це може бути основною причиною того, що мікробні інсектициди активно розробляються як біологічні засоби контролю протягом останніх трьох десятиліть (Usta, 2013).

Існує понад 1600 різних вірусів, які уражують 1100 видів комах та кліщів та використовуються як біоагенти біопестицидів у боротьбі зі шкідливою ентомофауною. Але широко застосовують препарати на основі бакуловірусів (Baculoviridae), які, зважаючи на особливості свого життєвого циклу, володіють достатньою стійкістю і можуть існувати тривалий час (до кількох років) поза організмом комахи (Illykh, 2015). Під час використання бакуловірусів застосовують дві стратегії в контролі шкідників. Найчастіше це обприскування посівів висококонцентрованим бакуловірусним препаратом. Інша стратегія – це колонізація, результатом якої є циркуляція бакуловірусів у популяції шкідника протягом одного покоління і більше.

Одним із важливих чинників у біологічному захисті рослин є застосування регуляторів росту рослин (PPP), які впливають на ростові процеси, підвищуючи стійкість рослин до збудників хвороб і шкідників, інших несприятливих чинників.

Екологічна безпека та низька вартість застосування PPP за доволі високої ефективності характеризують їх значення в сучасних технологіях вирощування культур (Karpenko et al., 2012). Встановлено здатність PPP до регулювання процесів метаболізму рослин за рахунок впливу на активність фотосинтезу, синтезу АТФ та низки важливих ферментів, проникненість мембран, транспорт іонів тощо. Експериментами доведено, що застосування PPP сприяє індукції коренеутворення, регуляції цвітіння і дозрівання, підвищення стійкості до шкідників і хвороб. Тобто включення PPP до системи захисту рослин базується на їх здатності стримувати розвиток хвороб за рахунок підвищення стійкості рослин активізацією процесів обміну речовин. Крім того, деякі PPP виявляють антибактеріальну і фунгіцидну активність, безпосередньо впливаючи на збудників хвороб (Onyshchenko, Chaiuk, & Morhun, 2019).

Низькою досліджень доведено, що PPP є індукторами стійкості рослин із регуляторними і біозахисними властивостями, до культурних рослин вони проявляють антистресову, імуностимулювальну та антимутагенну дії (Ponomarenko & Cheremkha, 1997; Dukach, 2008; Onyshchenko et al., 2019). PPP підвищують стійкість рослин до фітопатогенної мікробіоти. Тому індукція захисних механізмів рослин за допомогою біологічних препаратів привертає все більшу увагу, оскільки вона є складовою екологічно безпечних агротехнологій (Ponomarenko & Cheremkha, 1997; Andreiuk, Iutynska, & Antypchuk, 2001).

Ринок регуляторів росту рослин у 2015 р. оцінювався в 1,6 млрд дол. і за прогнозами експертів зросте на 3,6% у 2020 р., досягнувши очікуваного значення 1,91 млрд дол. (MarketsandMarkets, 2015b). Серед різних видів регуляторів росту рослин найбільша частка ринку припадає на гібереліни, а потім – на цитокініни та ауксини. Світове споживання гіберелінової кислоти становить приблизно 60 тонн щорічно.

Ще одним позитивним моментом у використанні засобів біологічного контролю шкідників є їх вплив на ґрунтове середовище. Оскільки більшість біоагентів біологічних препаратів виділено з природного середовища, то їх вплив на мікробіоценоз ґрунту вважають позитивним (Usta, 2013). Це важливо, оскільки ґрунтові організми також беруть участь у біоконтролі шкідників та хвороб для сільськогосподарських культур (Bach & Wall, 2018). Доведено, що агротехнології, які забезпечують збереження і підвищення біорізноманіття ґрунтів, сприяють створенню аналогічних рівнів захисту посівів від шкідників (Crowder & Jabbour, 2014). До того ж ґрунтові організми є джерелом таких хімічних сполук, як пеніцилін (продуцент *Penicillium chrysogenum*) та тетрациклін (продуцент *Streptomyces spp.*) та ін.

Доведено, що дія PPP на ґрунтові мікроорганізми знаходиться в прямій залежності від впливу PPP на ростові та фотосинтетичні процеси в рослинах. За впливу PPP на 26–43% зростає маса кореневої системи, що значно збільшує площу для розвитку мікроорганізмів (Maltseva, Davydova, &

Kots, 2005; Volkohon & Salnyk, 2005). Це пояснюється тим, що механізми, детерміновані регуляторами росту рослин, обумовлюють зменшення негативного впливу гербіцидів на мікробіоту, особливо за умови їх сумісного використання з PPP та мікробними препаратами (Andreiuk et al., 2001; Karpenko et al., 2012).

Отже, у межах агроєкосистем екологічні агротехнології, які включають мінімальний обробіток ґрунту, багаторічні культури, органічні добрива, мікробні препарати і т.ін., можуть збільшити біорізноманіття ґрунту (мікроорганізми, ентомо- та зоофауна) та пов'язані з цим екосистемні послуги (Bardgett & van der Putten, 2014; Crowder & Jabbour, 2014; Tsiafouli et al., 2015). І такі агроєкосистеми будуть менш залежні від хімічних засобів захисту рослин, оскільки вони інтегрують біологічне функціонування ґрунту з екослужбами для сільського господарства.

Таким чином, біологічний контроль сумісний з теорією екологічної інтенсифікації аграрного виробництва, яка ґрунтується на збереженні та розширенні біорізноманіття для підтримки екосистемних послуг в агроєкосистемах (Geertsema et al., 2016). Упровадження біологічного контролю може сприяти значному скороченню викидів парникових газів відносно традиційних технологій з використанням хімічних пестицидів. Наприклад, за оцінками дослідників, виробництво, транспортування та застосування інсектицидів у посівах сої проти соєвої попелиці (*Aphis glycines*) призводить до викиду приблизно 10,6 кг/га парникових газів (у перерахунку на CO₂). Розрахунки показали, що в посівах сої з внесенням пестицидів викид парникових газів становив в еквіваленті CO₂ від 6 до 40 млн кг на рік, залежно від чисельності популяції шкідників (Heimpel, Yang, Hill, & Ragsdale, 2013).

Учені відзначають, що за 130-річний досвід застосування біологічного контролю досягнуто ефективного контролю щонайменше до 226 різних інвазійних шкідників та 57 видів інвазійних бур'янів у всьому світі, а співвідношення між отриманою користю та витратами зросло від 5 : 1 до понад 1000 : 1. Проте існують непередбачувані наслідки для природних екосистем від введення в агроценози чужорідних видів, які можуть бути як прямими, так і опосередкованими через вплив на нецільові об'єкти (Naranjo et al., 2015; Heimpel & Cock, 2018). Тобто досі відсутня однозначна думка щодо застосування біологічних продуктів в аграрному секторі. Навіть останнє покоління біопестицидів може створювати проблеми для природних екосистем, зокрема опосередковано через порушення взаємодій між видами (Köhler & Triebelskorn, 2013).

Висновки

Біологічний метод захисту рослин визнаний стратегічним еколого-біологічним методом контролю шкідливих організмів у сучасному рослинництві і у світі загалом. За прогнозами міжнародних експертів, у поточному році ринок біопестицидів сягне рівня 6 млрд дол. США. В Україні зовсім інша картина, а саме: панівний метод захисту рослин – хімічний з незначною часткою (до 5%) використання біологічного методу і біологічних препаратів; відсутність державного контролю і стратегії впровадження біологічних засобів захисту рослин. І це потребує кардинальних змін у чинному законодавстві, посилення екологічного контролю в аграрному виробництві країни. Біологічні засоби захисту рослин мають чималий ступінь екологічної безпеки, забезпечують збереження та розширення біорізноманіття для підтримки екосистемних послуг в агроєкосистемах, а також позитивно впливають на ґрунтову біоту, сприяють скороченню викидів парникових газів порівняно з традиційними технологіями, які використовують хімічні пестициди.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з вивченням застосування сучасних біопрепаратів у технологіях ви-

рошування основних сільськогосподарських культур та з обґрунтуванням шляхів переходу на екологічні методи захисту конкретних рослин у вітчизняному аграрному виробництві, більш широкому впровадженню біологічних методів контролю шкідливих організмів в агроценозах з метою поліпшення екологічної ситуації.

References

- Andrieuk, K. I., Iutynska, H. O., & Antypchuk, A. F. (2001). Functioning of microbial cenoses under conditions of anthropogenic loading. Oberehy, Kyiv (in Ukrainian).
- Bach, E. M., & Wall, D. H. (2018). Trends in global biodiversity: soil biota and processes. In: D. A. DellaSala, M. I. Goldstein (Eds.), *The encyclopedia of the anthropocene* (pp. 125–130). Elsevier, Oxford.
- Bardgett, R., & van der Putten, W. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515(7528), 505–511. doi: [10.1038/nature13855](https://doi.org/10.1038/nature13855)
- Burges, H. D. (1981). Safety, safety testing and quality control of microbial pesticides. In: H. D. Burges (Ed.), *Microbial control of pests and plant diseases* (pp. 738–768). Academic Press Inc., London.
- Cantrell, C. L., Dayan, F. E., & Duke, S. O. (2012). Natural products as sources for new pesticides. *Journal of Natural Products*, 75(6), 1231–1242. doi: [10.1021/np300024u](https://doi.org/10.1021/np300024u)
- Cock, M. J. W., van Lenteren, J. C., Brodeur, J., Barratt, B. I. P., Bigler, F., Bolckmans, K. ... Parra, J. R. P. (2010). Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? *Biological Control*, 55, 199–218. doi: [10.1007/s10526-009-9234-9](https://doi.org/10.1007/s10526-009-9234-9)
- Crowder, D. W., & Jabbour, R. (2014). Relationships between biodiversity and biological control in agroecosystems: current status and future challenges. *Biological Control*, 75, 8–17. doi: [10.1016/j.biocontrol.2013.10.010](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.10.010)
- Czaja, K., Góralczyk, K., Struciński, P., Hernik, A., Korcz, W., Minorczyk, M. ... Ludwicki, J. K. (2015). Biopesticides – towards increased consumer safety in the European Union. *Pest Management Science*, 71(1), 3–6. doi: [10.1002/ps.3829](https://doi.org/10.1002/ps.3829)
- Dukach, V. (2008). Biostimulators of growth in plant life. *Ahrovisnyk*, 11, 23–25 (in Russian).
- Dunham, W. C. (2015). Evolution and future of biocontrol. Paper presented at the 10th Annual Biocontrol Industry Meeting (ABIM). Switzerland, Basel.
- Eilenberg, J., Hajek, A., & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *Biological Control*, 46, 387–400. doi: [10.1023/A:1014193329979](https://doi.org/10.1023/A:1014193329979)
- Fedorenko, V. P. (2014). Prospects entomologicheskikh research in Ukraine. *Plant Protection and Quarantine*, 60, 415–425 (in Ukrainian).
- Gasic, S., & Tanovic, B. (2013). Biopesticide formulations, possibility of application and future trends. *Pesticidi i fitomedicina*, 28, 97–102. doi: [10.2298/PIF1302097G](https://doi.org/10.2298/PIF1302097G)
- Geertsema, W., Rossing, W. A. H., Landis, D. A., Bianchi, F., van Rijn, P., Schaminée, J. ... van der Werf, W. (2016). Actionable knowledge for ecological intensification of agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(4), 209–216. doi: [10.1002/fee.1258](https://doi.org/10.1002/fee.1258)
- Gerwick, B. C., & Sparks, T. C. (2014). Natural products for pest control: an analysis of their role, value and future. *Pest Management Science*, 70(8), 1169–1185. doi: [10.1002/ps.3744](https://doi.org/10.1002/ps.3744)
- Heimpel, G. E., & Cock, M. J. W. (2018). Shifting paradigms in the history of classical biological control. *BioControl*, 63(1), 27–37. doi: [10.1007/s10526-017-9841-9](https://doi.org/10.1007/s10526-017-9841-9)
- Heimpel, G. E., Yang, Y., Hill, J. D., & Ragsdale, D. W. (2013). Environmental consequences of invasive species: greenhouse gas emissions of insecticide use and the role of biological control in reducing emissions. *PLoS ONE*, 8(8). e72293. doi: [10.1371/journal.pone.0072293](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072293)
- Ilinykh, A. V. (2015). Methods of molecular biology to control the numbers of the phytophagous insects. *Plant Protection and Quarantine*, 1, 31–33 (in Russian).
- Karpenko, V. P., Hrytsaienko, Z. M., Prytuliak, R. M., Poltoretskyi, S. P., Mostoviyak, I. I., & Fomenko, O. O. (2012). Biological basis of integrated action of herbicides and plant growth regulators. *Sochynskyi, Uman'* (in Ukrainian).
- Köhler, H.-R., & Triebskorn, R. (2013). Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond? *Science*, 341, 759–765. doi: [10.1126/science.1237591](https://doi.org/10.1126/science.1237591)
- Koul, O. (2011). Microbial biopesticides: opportunities and challenges. *CAB Rev.*, 6, 1–26. doi: [10.1079/pavsnnr20116056](https://doi.org/10.1079/pavsnnr20116056)
- Krutjakova, V. I., Hulych, O. I., & Pylypenko, L. A. (2018). Biological technique of protection of crops: prospects for Ukraine. *Bulletin of Agricultural Science*, 11, 159–167 (in Ukrainian). doi: [10.31073/agrovisnyk201811-20](https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-20)
- Lorito, M., Woo, S. L., Harman, G. E., & Monte, E. (2010). Translational research on Trichoderma: from omics to the field. *Annual Review of Phytopathology*, 48(1), 395–417. doi: [10.1146/annurev-phyto-073009-114314](https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114314)
- Maltseva, N. M., Davydova, O. Y., & Kots, S. Y. (2005). Phosphatase activity of rhizosphere and roots of cultivated plants in the application of new complex drugs. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 37(5), 443–451 (in Ukrainian).
- MarketsandMarkets. (2015a). Biopesticides market by type (bioinsecticides, biofungicides, bioherbicides, and bionematicides), origin (beneficial insects, microbials, and biochemical), mode of application, formulation, crop type & region – global forecast to 2020.
- MarketsandMarkets. (2015b). Plant growth regulators market by type (auxins, cytokinins, and gibberellins), crop type (cereals & grains, fruits & vegetables, oilseeds & pulses, and turfs, ornamentals & others), & by region – global trends & forecast to 2020.
- Matthews, K. A. (2014). Regulation of biopesticides by the environmental protection agency general overview of biopesticides regulation. In: J. N. Seiber, J. Coats, S. O. Duke, A. D. Gross (Eds.), *Biopesticides state of the art and future opportunities* (pp. 267–279). American Chemical Society, Washington, DC.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Mordor Intelligence. (2017). *Global bioherbicides market – growth, trends and forecast for the period 2017–2022*. Dublin.
- Moshi, A. P., & Matoju, I. (2017). The status of research on and application of biopesticides in Tanzania. *Review Crop Protection*, 92, 16–28. doi: [10.1016/j.cropro.2016.10.008](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.10.008)
- Mostoviyak, I. I. (2019). Ecological paradigm of integrated plant management. *Plant Protection and Quarantine*, 5–6(255), 12–16 (in Ukrainian).
- Naranjo, S. E., Ellsworth, P. C., & Frisvold, G. B. (2015). Economic value of biological control in integrated pest management of managed plant systems. *Annual Review of Entomology*, 60(1), 621–645. doi: [10.1146/annurev-ento-010814-021005](https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-021005)
- Onyshchenko, O. I., Chaiuk, O. O., & Morhun, O. V. (2019). Adjusters of growth plants as a possible factor of a cucumber against fungous disease. *Bulletin of Agricultural Science*, 8, 28–33 (in Ukrainian).
- Parnell, J. J., Berka, R., Young, H. A., Sturino, J. M., Kang, Y., Barnhart, D. M., & DiLeo, M. V. (2016). From the lab to the farm: an industrial perspective of plant beneficial microorganisms. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1110. doi: [10.3389/fpls.2016.01110](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01110)
- Ponomarenko, S., & Cheremkha, B. (1997). Biostimulants of growth. How to reduce pesticide pressures in the field. *Plant protection*, 1, 4–5 (in Ukrainian).
- Shternshis, M. V. (Ed.) (2004). *Biological plant protection*. Kolos, Moscow (in Russian).

- Singh, R., Kumar, M., Mittal, A., & Kumar, M. P. K. (2017). Microbial metabolites in nutrition, healthcare and agriculture. 3 Biotech, 7(1), 15. doi: [10.1007/s13205-016-0586-4](https://doi.org/10.1007/s13205-016-0586-4)
- Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., de Ruiter, P. C., van der Putten, W. H., Birkhofer, K. ... Hedlund, K. (2015). Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. Global Change Biology, 21(2), 973–985. doi: [10.1111/gcb.12752](https://doi.org/10.1111/gcb.12752)
- Usta, C. (2013). Microorganisms in biological pest control – a review (bacterial toxin application and effect of environmental factors). In: M. Silva-Opps (Ed.). Current progress in biological research (pp. 133–147). InTech, Rijeka. doi: [10.5772/55786](https://doi.org/10.5772/55786)
- van Lenteren, J. C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. BioControl, 57, 1–20. doi: [10.1007/s10526-011-9395-1](https://doi.org/10.1007/s10526-011-9395-1)
- van Lenteren, J. C., & Godfray, H. C. J. (2005). European science in the enlightenment and the discovery of the insect parasitoid life cycle in The Netherlands and Great Britain. Biological Control, 32, 12–24. doi: [10.1016/j.biocontrol.2004.08.009](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.08.009)
- van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. Biological Control, 63(1), 39–59. doi: [10.1007/s10526-017-9801-4](https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4)
- Volkohon, V. V., & Salnyk, V. P. (2005). The importance of plant growth regulators in the formation of active nitrogen-fixing symbioses and associations. Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants, 37(3), 187–197 (in Ukrainian).
- Waage, J. K., & Greathead, D. J. (1988). Biological control: challenges and opportunities. Phil Trans R Soc Lond B., 318, 111–128.