

УДК 632.651 : 633.282 : 632.3

Фітопаразитичні нематоди ризосфери міскантусу гігантського (*Miscanthus × giganteus*): фітосанітарні ризики та засади інтегрованого захисту насаджень від нематодозів

К. А. Калатур^{1*} , А. І. Медков² , Л. А. Янсе^{2,3} ¹ Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна² Інститут агроєкології і природокористування НААН, вул. Метрологічна, 12, м. Київ, 03143, Україна³ Національна академія аграрних наук України, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 9, м. Київ, 01010, Україна*Автор для листування: Катерина Калатур, kcalatur@meta.ua

Цитування: Калатур К. А., Медков А. І., Янсе Л. А. Фітопаразитичні нематоди ризосфери міскантусу гігантського (*Miscanthus × giganteus*): фітосанітарні ризики та засади інтегрованого захисту насаджень від нематодозів. *Біоенергетика*. 2025. № 2. С. 74–90. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp74-90>

Мета. Провести комплексний аналіз сучасних наукових досліджень щодо поширеності, видового складу та шкідливості фітонематод у насадженнях міскантусу гігантського для оцінки фітосанітарних ризиків та обґрунтування стратегії інтегрованого захисту культури від ураження її нематодозами в Україні. **Методи.** Пошук наукових публікацій в електронних базах даних і на бібліографічних платформах Scopus, Web of Science Core Collection, CAB Abstracts, AGRIS (FAO) та Google Scholar. **Результати.** За результатами моніторингових досліджень, проведених у США, Україні та Польщі, у ризосфері міскантусу гігантського (*Miscanthus × giganteus*) виявлено комплекс фітопаразитичних нематод, який включає представників родів *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Xiphinema*, *Longidorus*, *Paratrichodorus*, *Trichodorus*, *Heterodera*, *Hoplolaimus*, *Rotylenchus*, *Tylenchorhynchus*, *Criconemella*, *Amplimerlinius* та *Paratylenchus*. Установлено, що ектопаразитичні види родів *Xiphinema*, *Longidorus*, *Trichodorus* і *Paratrichodorus* становлять значну фітосанітарну загрозу як вектори патогенних фітовірусів. Доведено, що паразитування фітонематод ряду *Tylenchida* пригнічує основні фізіологічні процеси в рослинному організмі, що істотно знижує вихід сухої біомаси, а також створює сприятливі умови для проникнення всередину збудників грибних хвороб. Обґрунтовано необхідність впровадження обов'язкового передсадивного аналізу ґрунту та регулярного моніторингу нематодних угруповань у ризосфері міскантусу протягом усього періоду експлуатації плантацій. Запропоновано інтегровану систему захисту насаджень міскантусу від нематодозів. **Висновки.** Для підвищення ефективності вирощування міскантусу *M. × giganteus* в Україні необхідним є проведення системних досліджень комплексу фітопаразитичних нематод у його ризосфері. Ключовою передумовою ефективного управління нематодними ризиками у насадженнях міскантусу є передсадивний моніторинг, який дасть змогу своєчасно виявити економічно значущі види фітонематод, оцінити структуру їхніх угруповань та встановити щільність їхніх популяцій. На основі результатів цих досліджень будуть розроблені стратегії інтегрованого захисту міскантусу від ураження його нематодозами, у яких пріоритет надаватиметься профілактичним, агротехнічним та біологічним заходам, а також системному контролю нематодних угруповань впродовж усього періоду експлуатації плантацій.

Ключові слова: міскантус гігантський; фітонематоди; видовий склад; шкідливість; порogi шкідливості; моніторинг; система інтегрованого захисту рослин.

Одержано 07.11.2025 • Погоджено 10.12.2025 • Опубліковано онлайн 29.12.2025



© Автор(и), 2025. Видавець Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Це стаття відкритого доступу, що розповсюджується на умовах ліцензії CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), яка дозволяє використання, розповсюдження та відтворення на будь-яких носіях за умови належного цитування оригінальної роботи.

Вступ

Сучасний розвиток біоенергетики та зростання потреби у відновлюваних джерелах енергії зумовлюють інтенсивний пошук енергетичних культур, що вирізняються високою продуктивністю, екологічною безпечністю та стійкістю до впливу абіотичних і біотичних чинників [1, 2]. Однією з найперспективніших рослин для виробництва біомаси як в Україні, так і у світі є міскантус гігантський *Miscanthus × giganteus* J.M.Greef & Deuter ex Hodk. & Renvoize [2, 3]. На сьогодні ця біоенергетична культура відповідає ключовим глобальним і національним викликам, серед яких – необхідність зменшення викидів парникових газів, оптимізація землекористування, збільшення частки біопалива в енергетичному балансі країни, а також відновлення деградованих земель [1, 4, 5]. Особливо актуально це для України, де внаслідок тривалого антропогенного впливу та військових дій значні території зазнали суттєвої деградації [4, 6]. Вирощування на таких землях міскантусу забезпечує не лише отримання високоякісної біомаси, а й сприяє їхній фітостабілізації та фіторемедіації [1, 7–9]. Завдяки потужній, добре розвиненій кореневій системі та високій стійкості до стресових чинників ця культура допомагає відновити структуру деградованих ґрунтів і підвищити вміст в них органічної речовини [8, 9]. Наукові дослідження також свідчать, що її довготривале (20–25 років) вирощування на одному місці сприяє стабілізації ґрунтового покриву, зменшенню ерозійних процесів та підтриманню сталого вуглецевого балансу [1, 4]. Крім того, міскантус досить невимогливий до родючості ґрунтів, завдяки чому його можна використовувати на малопродуктивних землях, економічно не вигідних для традиційного землеробства [2, 3, 10].

Водночас варто відзначити, що, як і інші монокультурні агроєкосистеми, насадження *M. × giganteus* зазнають впливу низки біотичних чинників, серед яких особливе місце посідають фітопаразитичні нематоди [11–19]. Відомо, що ці облігатні паразити здатні уражувати кореневу систему рослин, спричиняючи істотні зниження їх продуктивності, а також створюючи умови для проникнення всередину вторинних патогенів – збудників вірусних та грибних хвороб [14–16, 20–24]. Такі «фітопатологічні комплекси» не лише негативно впливають на врожайність і якість біомаси, але можуть призводити до повної загибелі рослин [16–18, 20–23]. Однак, попри активне впровадження міскантусу до європейських систем агровиробництва, інформація щодо видового складу та шкідливості фітонематод у його насадженнях залишається недостатньо повною й потребує поглибленого вивчення [11, 12, 19]. А відсутність чіткої системи інтегрованого захисту рослин від ураження їх нематодозами може стати критичним обмежувальним чинником для подальшого сталого вирощування міскантусу як стратегічної енергетичної культури.

Мета дослідження – провести комплексний аналіз сучасних наукових досліджень щодо поширеності, видового складу та шкідливості фітонематод у насадженнях міскантусу гігантського для оцінки фітосанітарних ризиків та обґрунтування стратегії інтегрованого захисту культури від ураження її нематодозами в Україні.

Матеріали та методи дослідження

З метою узагальнення сучасних наукових досліджень щодо видового складу, поширеності та шкідливості фітопаразитичних нематод у ризосфері міскантусу гігантського *M. × giganteus*, а також аналізу підходів до оцінки фітосанітарних ризиків і формування інтегрованих стратегій захисту його насаджень від нематодозів, здійснювали пошук наукових публікацій в електронних базах даних і на бібліографічних платформах *Scopus*, *Web of Science Core Collection*, *CAB Abstracts*, *AGRIS (FAO)* та *Google Scholar*. Додатково використовували перехресний пошук за списками літератури ключових статей та пошук публікацій, які їх цитують. Пошук проводили українською та англійською мовами із застосуванням операторів AND/OR та ключових слів: *Miscanthus × giganteus*, фітонематоди, ризосфера, шкідливість, фітосанітарний ризик, інтегрований захист рослин.

Інформацію узагальнювали за напрямками:

- таксономічна структура нематодних комплексів у ризосфері міскантусу гігантського;
- видовий склад нематод-векторів фітовірусів;

- економічно значущі енто- та ектопаразитичні види нематод, симптоми ураження ними рослин та шкідливість;
- підходи до моніторингу фітонематод, визначення порогів їхньої шкідливості та оцінки фітосанітарних ризиків;
- елементи інтегрованого захисту насаджень міскантусу від нематодозів (моніторинг, профілактичні, агротехнічні, біологічні та хімічні заходи).

Результати дослідження

Незважаючи на те, що міскантус гігантський *M. × giganteus* є новою культурою, яка вирощується в промислових масштабах лише протягом останніх двох десятиліть, дослідження біорізноманіття її ризосфери привертає дедалі більшу увагу наукової спільноти [11–13, 16, 18]. Значною мірою це стосується найпоширенішої та найчисельнішої групи безхребетних тварин – фітонематод, які мешкають в ґрунті та відіграють важливу роль у функціонуванні ґрунтової екосистеми [24–33]. Наразі відомо, що вони не тільки беруть участь у кругообігу поживних речовин, впливають на здоров'я ґрунту і можуть бути індикаторами його стану, а й одночасно є небезпечними паразитами кореневої системи багатьох культурних рослин, зокрема й міскантусу [27–31, 33].

На сьогодні у різних країнах світу вже проведено низку фундаментальних досліджень щодо визначення видового складу фітонематод та оцінки їхньої потенційної шкідливості в насадженнях міскантусу [11–19]. Зокрема, за результатами масштабного обстеження, проведеного на 35 ділянках міскантусу в США (штати Айова, Іллінойс, Джорджія, Кентуккі, Південна Дакота та Теннессі), було ідентифіковано 20 видів фітопаразитичних нематод, які потенційно можуть завдати шкоди цій біопаливній культурі. До них належать представники родів *Xiphinema* (*X. americanum*, *X. rivesi*, *Xiphinema* spp.), *Longidorus* (*L. breviannulatus*, *Longidorus* spp.), *Paratrichodorus* spp., *Pratylenchus* (*Pr. penetrans*, *Pr. hexincisus*, *Pr. scribneri*, *Pr. crenatus*), а також *Hoplolaimus galeatus*, *Heterodera glycines*, *Helicotylenchus* (*H. pseudorobustus*, *H. digonicus*, *H. platyurus*), *Tylenchorhynchus* (*T. agri*), *Criconemella* spp. та *Paratylenchus* spp. [14–16].

Аналогічні обстеження насаджень міскантусу були проведені також в Україні та Польщі. Згідно з результатами спільного нематологічного моніторингу, у цих країнах було ідентифіковано 53 види нематод, що належать до 22 родів і 10 родин [11–13, 17–19]. Серед паразитичних видів було виявлено: *Longidorus elongatus*, *L. attenuatus*, *Paralongidorus rex*, *Xiphinema brevicole*, *X. diversicaudatum*, *Trichodorus sparsus*, *T. similis*, *T. viruliferus*, *Paratrichodorus pachydermus*, *P. teres*, *Paratylenchus bukowinensis*, *P. nanus*, *P. projectus*, *P. neoamblycephalus*, *Amplimerlinius macrurus*, *Pratylenchus crenatus*, *Pr. neglectus*, *Pr. fallax*, *Pr. thornei*, *Helicotylenchus digonicus*, *H. pseudorobustus*, *Rotylenchus pumilus*, *R. robustus*, *R. reniformes*, *R. agnetis* (табл. 1) [11–13, 17–19]. Також траплялися представники родів *Mesocriconema*, *Criconema*, *Geocenamus*, *Bitylenchus*, *Merlinius*, *Neodolichorhynchus*, *Sauertylenchus* та *Scutylenchus* [11, 12, 18].

Окрім фітопаразитичних видів, у зразках ґрунту були виявлені представники чотирьох родів вільноживучих нематод – *Cylindrolaimus*, *Rhabditis*, *Plectus* і *Anaplectus*, які живляться гіфами грибів або органічними рештками (сапрофаги). Їхня присутність вказує на відносно стабільний ґрунтовий біоценоз і наявність складної трофічної структури нематодного угруповання у ризосфері міскантусу [11].

Аналіз нематологічного комплексу, який був виявлений у різних ґрунтово-кліматичних умовах, дозволив науковцям встановити, що міскантус є господарем для широкого спектра нематод, зокрема фітопаразитичних, які можуть негативно впливати на ріст і продуктивність цієї біоенергетичної культури. Особливу увагу привертає присутність ектопаразитичних видів нематод родів *Xiphinema*, *Longidorus*, *Trichodorus* та *Paratrichodorus*, які не лише пошкоджують кореневу систему рослин, але й можуть переносити два типи фітовірусів – неповіруси і тобравіруси [14, 20, 21, 34–40].

Наразі встановлено, що *X. americanum*, *X. diversicaudatum* та *X. rivesi*, які виявлені у ризосфері міскантусу, переносять цілий ряд небезпечних вірусів, а саме вірус мозаїки резухи (ArMV), мозаїки стоколосу (BMV), скручування листків вишні (CLRv), латентної кільцевої плямистості суниці (SLRSV), кільцевої плямистості гвоздики (CRSV), томатів (TomRSV) та тютюну (TobRSV) [20, 21, 34, 35, 39–41].

Таблиця 1. Видовий склад та систематичне положення фітопаразитичних нематод у ризосфері міскантусу гігантського [11–19]

Родина	Рід	Вид	Трофічна група	Країна виявлення
<i>Dorylaimida</i>				
<i>Longidoridae</i>	<i>Xiphinema</i>	<i>Xiphinema americanum</i> , <i>X. rivesi</i> , <i>Xiphinema</i> spp.	Ектопаразит	США
		<i>X. brevicole</i> , <i>X. diversicaudatum</i>	Ектопаразит	Україна, Польща
	<i>Longidorus</i>	<i>Longidorus breviannulatus</i> , <i>Longidorus</i> spp. <i>L. elongatus</i> , <i>L. attenuatus</i>	Ектопаразит	США Україна, Польща
	<i>Paralongidorus</i>	<i>Paralongidorus rex</i>	Ектопаразит	Україна, Польща
<i>Triplonchida</i>				
<i>Trichodoridae</i>	<i>Paratrichodorus</i>	<i>Paratrichodorus</i> spp.	Ектопаразит	США
		<i>Paratrichodorus pachydermus</i> , <i>P. teres</i>	Ектопаразит	Україна, Польща
	<i>Trichodorus</i>	<i>Trichodorus sparsus</i> , <i>T. similis</i> , <i>T. viruliferus</i>	Ектопаразит	Україна, Польща
<i>Tylenchida</i>				
<i>Pratylenchidae</i>	<i>Pratylenchus</i>	<i>Pratylenchus penetrans</i> , <i>P. hexincisus</i> , <i>P. scribneri</i> , <i>P. crenatus</i> <i>P. crenatus</i> , <i>P. neglectus</i> , <i>P. fallax</i> , <i>P. thornei</i>	Мігруючий ендопаразит Мігруючий ендопаразит	США Україна, Польща
		<i>Hoplolaimidae</i>	<i>Hoplolaimus</i>	<i>Hoplolaimus galeatus</i>
	<i>Helicotylenchus</i>	<i>Helicotylenchus pseudorobustus</i> , <i>H. digonicus</i> , <i>H. platyurus</i> <i>H. pseudorobustus</i> , <i>H. digonicus</i>	Екто- / напівендопаразит Екто- / напівендопаразит	США Україна, Польща
	<i>Rotylenchus</i>	<i>Rotylenchus pumilus</i> , <i>R. robustus</i> , <i>R. agnetis</i>	Екто- / напівендопаразит	Україна, Польща
	<i>Rotylenchulus</i>	<i>Rotylenchulus reniformes</i>	Екто- / напівендопаразит	Україна, Польща
<i>Heteroderidae</i>	<i>Heterodera</i>	<i>Heterodera glycines</i>	Седентарний ендопаразит	США
<i>Telotylenchidae</i>	<i>Tylenchorhynchus</i>	<i>Tylenchorhynchus agri</i>	Ектопаразит	США
<i>Merliniidae</i>	<i>Amplimerlinius</i>	<i>Amplimerlinius macrurus</i>	Ектопаразит	Україна, Польща
<i>Criconematidae</i>	<i>Criconemella</i>	<i>Criconemella</i> spp.	Ектопаразит	США
<i>Paratylenchidae</i>	<i>Paratylenchus</i>	<i>Paratylenchus</i> spp.	Ектопаразит	США
		<i>Paratylenchus bukowinensis</i> , <i>P. nanus</i> , <i>P. projectus</i> , <i>P. neoamblycephalus</i>	Ектопаразит	Україна, Польща

Види, які належать до роду *Longidorus*, зокрема *L. elongatus* та *L. attenuatus*, сприяють ураженню рослин вірусами чорної кільцевої плямистості томатів (TBRV) та кільцевої плямистості малини (RRSV) [36, 38, 40]. Щодо фітонематод з родів *Trichodorus* (*T. similis*, *T. viruliferus*) та *Paratrichodorus* (*P. pachydermus*, *P. teres*), то вони можуть передавати два віруси – вірус погремковості тютюну (TRV) та раннього побуріння гороху (PEBV) [20, 21, 34, 36, 37].

Із переліку наведених вище вірусів особливе занепокоєння викликає вірус мозаїки стоколосу (*Brome mosaic virus*, BMV). Цей вірус уражує багато важливих сільськогосподарських культур родини Злакові (*Poaceae*), зокрема ячмінь, пшеницю, кукурудзу, просо, овес, рис, сорго, а також багаторічні трави, до яких належить і міскантус [42–44]. На відміну від багатьох інших фітовірусів, BMV характеризується високою стабільністю та здатністю легко поширюватися механічним шляхом (через пошкодження тканин технікою), за допомогою комах-переносників, зокрема попелиць та деяких видів жуків, а також переноситися нематодою *X. diversicaudatum* [20, 34, 39, 41, 45].

Дослідження довели, що ураження рослин вірусом мозаїки стоколосу спричиняє деформацію, пожовтіння та відмирання листків, значне відставання в рості та зниження врожайності. Так, за раннього інфікування посівів пшениці BMV втрати врожаю зерна можуть досягати 61%, що призводить до суттєвих економічних збитків [42, 43]. З огляду на те, що міскантус

вирощується як монокультура впродовж багатьох років (більше 20 років на одному місці), накопичення в ґрунті інфекції та збільшення чисельності фітонематод з роду *Xiphinema*, які здатні посилити вразливість кореневої системи до збудників вірусних хвороб, може становити серйозну загрозу для виробництва біопалива в майбутньому [14].

Також не варто недооцінювати присутність у ризосфері міскантусу нематод родини *Trichodoridae* (роди *Trichodorus* та *Paratrichodorus*). Хоча вони більше відомі як переносники вірусів для картоплі, ці нематоди завдають значної шкоди і зерновим культурам – пшениці, ячменю, вівсу та кукурудзі [20, 21, 36, 37]. Внаслідок їхнього живлення бічні корені рослин стають короткими та потовщеними, утворюючи характерні симптоми «обірваних коренів» (*stubby root*), що призводить до порушення водо- та мінерального живлення, пригнічення росту, а іноді – до загибелі рослин [37, 38]. Наразі в Україні та Польщі виявлено п'ять видів фітонематод цієї родини, що необхідно враховувати під час проведення подальших нематологічних досліджень [11].

Окрім фітонематод ряду *Dorylaimida* та *Triplonchida*, у переліку паразитичних видів, виявлених у насадженнях міскантусу, значну частку становлять представники, які належать до ряду *Tylenchida*. Насамперед привертає увагу присутність видів двох родів – *Heterodera* та *Pratylenchus*, оскільки саме ці фітонематоди посідають відповідно другу та третю позиції у світовому рейтингу найбільш економічно шкідливих паразитів багатьох сільськогосподарських культур [46, 47].

Зокрема, у США було виявлено соєву цистоутворювальну нематоду *H. glycines*, яка уражує посіви сої, викликаючи захворювання під назвою жовта карликовість (*yellow dwarf disease* або *daizu-iwo-byo*) [16, 48, 49]. Проте відомо, що цей вид нематоди передусім завдає шкоди рослинам із родини бобові (*Fabaceae*), тому його присутність у ризосфері міскантусу не призведе до ураження цієї культури, адже міскантус, як зазначалося раніше, належить до родини злакові (*Poaceae*), які не є рослинами-господарями *H. glycines* [48, 50].

Дослідженнями доведено, що вирощування злакових культур (пшениці, кукурудзи та ін.) на полях, заражених соєвою нематодою, сприяє суттєвому зниженню її популяції в ґрунті, оскільки личинки *H. glycines* не здатні жити та завершити свій життєвий цикл на таких рослинах [48, 51]. Водночас повністю знищити цього паразита в насадженнях міскантусу буде складно, адже він може підтримувати свою чисельність, харчуючись на понад 100 видах бур'янів, серед яких найсприятливішими господарями є глуха кропива пурпурова *Lamium purpureum*, глуха кропива стеблообгортна *Lamium amplexicaule*, талабан польовий *Thlaspi arvense* та інші види [52]. Варто зазначити, що в Україні станом на 2025 рік соєву цистоутворювальну нематоду *H. glycines* внесено до Переліку регульованих шкідливих організмів (список А-1) як карантинний об'єкт, що наразі відсутній на території нашої держави [53].

На відміну від попереднього виду, представники родини *Pratylenchidae* (рід *Pratylenchus*) мають надзвичайно широке коло господарів, уражуючи майже 400 видів рослин із різних родин [46, 47]. Зокрема, вони завдають суттєвої шкоди посівам пшениці, кукурудзи, картоплі, цукрових буряків та тростини, а також бобовим, овочевим, плодовим, хвойним і декоративним культурам [27, 54].

На сьогодні в країнах, де проводили нематологічні обстеження насаджень міскантусу, було виявлено сім видів пратиленхів: *Pr. thornei*, *Pr. penetrans*, *Pr. neglectus*, *Pr. hexincisus*, *Pr. scribneri*, *Pr. crenatus* та *Pr. fallax* [11, 15, 16]. На думку вчених, перші три види є найбільш шкідливими серед понад 100 описаних представників цього роду [46, 47, 54].

Ці мігруючі ендопаразити проникають у корінь у зоні його росту та кореневих волосків, після чого мігрують і живляться переважно всередині клітин кортикальної паренхіми, утворюючи тунелоподібні порожнини; окремі особини здатні проникати навіть у центральну стелу кореня [47, 54]. Унаслідок їхньої життєдіяльності на поверхні коренів утворюються глибокі некротичні рани темно-коричневого або майже чорного кольору, з подальшим розтріскуванням епідермісу [27, 47].

Паразитовання пратиленхів спричиняє затримку росту й розвитку рослин, порушення водного режиму, хлороз та зменшення розміру листя [47, 54]. Саме ці фітонематоди є однією з основних причин явища «ґрунтовтомлення» [47]. Встановлено, що за сумісного ураження посівів пшениці нематодами *Pr. thornei* та *Pr. neglectus* втрачають врожаю можуть сягати 56–74% [55]. Крім того, численними дослідженнями підтверджено, що механічне пошкодження пратиленхами тканин кореневої системи пшениці та кукурудзи підвищує вразливість цих культур до ураження грибами родів *Fusarium* та *Colletotrichum* відповідно, що призводить до додат-

кових втрат урожаю [21, 23]. Наразі дані щодо суттєвої шкідливості виявлених видів *Pratylenchus* у насадженнях міскантусу обмежені, що зумовлює необхідність проведення подальших досліджень для оцінки їхнього реального впливу на продуктивність культури [11].

Окрему групу серед виявлених фітонематод становлять представники роду *Paratylenchus* – одні з найдрібніших паразитів кореневої системи рослин [24, 56–60]. У насадженнях міскантусу ідентифіковано чотири види цього роду: *P. bukowinensis*, *P. nanus*, *P. projectus* та *P. neotamblycephalus* [11, 16].

За типом живлення паратиленхи є ектопаразитами – за допомогою подовженого стилета вони проколюють епідермальні клітини кореня, не занурюючись у тканини рослини-живителя [31, 56, 61–64]. Попри малі розміри, за високої щільності популяції в ґрунті ці нематоди спричиняють помітне пригнічення росту та розвитку рослин [60, 61, 64]. Особливо небезпечним вважається вид *P. projectus*, який здатний викликати затримку росту та пожовтіння вегетативної маси злакових культур [60]. Хоча пряма загибель посівів від цього виду спостерігається вкрай рідко, встановлено, що він суттєво знижує ефективність використання рослинами мінеральних добрив та води, а також зменшує інтенсивність їхнього кушення [60].

У багаторічних насадженнях, таких як міскантус, поступове накопичення в його ризосфері *P. projectus* може спричинити передчасне старіння плантації та зниження виходу біомаси [12, 13, 56, 60]. Хоча нематоди роду *Paratylenchus* вважаються менш агресивними порівняно з ендопаразитичними видами (наприклад, роду *Pratylenchus*) [27, 54], їхня присутність у складі паразитарного комплексу може призвести до зниження продуктивності культури, особливо на легких за механічним складом ґрунтах [57, 60–61, 64]. Тому подальші дослідження мають бути спрямовані на встановлення економічних порогів шкідливості паратиленхів та вивчення динаміки їхньої чисельності залежно від віку насаджень.

До переліку паразитичних видів також увійшли представники родів *Rotylenchus* та *Helicotylenchus* (родина *Hoplolaimidae*), відомі як спіральні нематоди [31, 65–68]. Ці мігруючі ектопаразити та напівендопаразити мають широке коло рослин-живителів і відіграють важливу роль у зниженні продуктивності різних сільськогосподарських культур, зокрема й багаторічних злакових культур, до яких належить міскантус [26, 27, 61, 62, 64, 66, 67].

Зокрема, в Україні було виявлено декілька видів роду *Rotylenchus*, а саме *R. agnetis*, *R. pumilus*, *R. robustus*, а також представник спорідненого роду *Rotylenchulus reniformis* [11, 19]. Особливу увагу привертає *R. agnetis*, який визначено як специфічний паразит насаджень міскантусу в умовах нашої країни [19]. На відміну від типових ектопаразитів, цей вид є напівендопаразитом (*semi-endoparasite*) [65–67]. Завдяки подовженому стилету *R. agnetis* здатний частково занурюватися в корінь, руйнуючи клітини кортикальної паренхіми, що спричиняє утворення некротичних ділянок та знижує абсорбційну здатність кореневої системи рослини [65, 66]. Ще одним небезпечним видом є *R. robustus*, який часто зустрічається у різних агроценозах [47, 66–69]. Через значні розміри тіла (до 1,2–1,8 мм) та довгий стилет він завдає рослинам глибоких механічних пошкоджень, що призводить до помітного пригнічення росту не лише злакових, а й овочевих культур (морква, салат) та сіянців хвойних дерев у лісорозсадниках [66, 69].

Постійно трапляється у ризосфері багаторічних насаджень також вид *R. pumilus*. Хоча він вважається дрібним представником роду, його роль у патогенезі енергетичних культур наразі активно досліджується в межах моніторингу сталого розвитку плантацій [19].

Науковці встановили, що для багаторічних плантацій міскантусу накопичення в ґрунті таких видів як *R. agnetis* та *R. pumilus* є критичним біотичним чинником [13, 19]. Адже відомо, що саме ці види часто зумовлюють явище «втоми ґрунту», яке згодом може призвести до помітного зниження виходу біомаси рослин [26, 40, 47].

Значне місце у родині *Hoplolaimidae* посідають представники роду *Helicotylenchus* [61, 62, 64, 66, 70–72]. У посівах енергетичних культур наразі виявлено три види: *H. digonicus*, *H. platyurus* та *H. pseudorobustus* [11, 16]. Останній вважається одним із найбільш агресивних видів цього роду [71, 72]. За типом живлення він є мігруючим ектопаразитом, проте здатний до напівендопаразитизму, частково занурюючи передню частину тіла в кортикальну паренхіму кореня [66, 71]. Його паразитування спричиняє утворення чітких некротичних плям на корінні рослин, що призводить до деформації кореневої системи та зниження її поглинальної здатності [67, 72].

Значно поширений у посівах злакових трав і добре адаптований до різних типів ґрунтів вид *H. digonicus* [70, 72]. Висока щільність популяції в ґрунті цього виду призводить до затримки

росту рослин та підвищення їхньої чутливості до водного стресу через порушення гідравлічної провідності уражених коренів [26, 27, 72].

Найменш агресивним, порівняно з попередніми видами, є вид *H. platyurus* [66, 72]. Проте науковці вже відмітили тенденцію до зростання його чисельності в ризосфері багаторічних насаджень міскантусу, що створює ризики для продуктивності рослин у довгостроковій перспективі [13].

Також варто додати, що механічні пошкодження кореневої системи рослин, спричинені фітонематодами родів *Rotylenchus* та *Helicotylenchus*, стають «вхідними воротами» для проникнення всередину вторинних ґрунтових патогенів. Зокрема, це сприяє інфікуванню рослин грибами роду *Fusarium* та ін., що сприяє розвитку комплексних корневих гнилей [21, 23].

На сьогодні вчені розглядають сумарну шкідливість спіральних нематод у насаджень міскантусу як чинник «хронічного виснаження рослин» [26, 40, 47]. За прогностичними оцінками, це може призвести до недобору сухої біомаси в межах 10–15% [12, 13]. З огляду на таку ситуацію, регулярний моніторинг чисельності цих паразитичних видів у ґрунті є обов'язковою умовою для прогнозування довговічності та рентабельності енергетичних плантацій [13, 18].

У США в насаджень міскантусу був виявлений ще один представник родини *Hoplolaimidae* – *H. galeatus*, відомий як «ланцетоподібна нематода» [16]. Цей вид є одним із найнебезпечніших фітопаразитів, здатним уражати широкий спектр культур – від багаторічних злакових трав до лісових дерев [73, 75, 76]. Біологічною особливістю *H. galeatus* є те, що він може житися клітинами кореня, перебуваючи як зовні (ектопаразит), так і повністю занурюючись усередину рослинної тканини (ендопаразит) [73, 76].

Механічне руйнування клітин кореня потужним стилетом нематоди у поєднанні з виділенням агресивних ферментів призводить до появи на його поверхні характерних коричневих або чорних плям та спричиняє масове відмирання корневих волосків [74–76]. Унаслідок цього уражені рослини стають низькорослими, спостерігається їхнє передчасне в'янення, а через неспроможність пошкодженої кореневої системи засвоювати азот та інші мінеральні речовини листя поступово жовтіє [26, 40, 75]. Крім прямої шкоди, пошкодження, завдані *H. galeatus*, сприяють ураженню рослин збудниками грибних хвороб, що може значно прискорити загибель насаджень [21, 23, 73].

На сьогодні в Україні та країнах ЄС цей вид перебуває під пильним наглядом фітосанітарних служб [53, 73]. Попри те, що станом на 2025 рік *H. galeatus* ще не внесено до офіційного переліку карантинних організмів України (списки А1 та А2), фахівці Держпродспоживслужби та науковці класифікують цей вид як об'єкт високого фітосанітарного ризику [53, 73]. Є реальна загроза занесення цього паразита на територію нашої держави разом з імпортованим ґрунтом або зараженим садивним матеріалом [73–76]. Здатність нематоди успішно акліматизуватися в умовах помірного клімату Європи створює потенційно високий рівень небезпеки для стратегічних галузей – зернового господарства, лісівництва та вирощування енергетичних культур, зокрема і міскантусу [40, 73]. У зв'язку з цим експерти наголошують на необхідності посиленого лабораторного контролю за імпортованими рослинами-господарями та проведенні регулярного моніторингу плантацій [73]. Своєчасна діагностика за допомогою молекулярно-генетичних методів (ПЛР) є критично важливою для недопущення поширення цього небезпечного фітопаразиту в Україні [70, 71, 73].

Окрему увагу серед паразитичної фауни міскантусу в Україні заслуговує вид *A. macrurus* [17]. Це мігруюча ектопаразитична нематода, чия присутність у ризосфері *M. × giganteus* була вперше зафіксована вітчизняними та закордонними науковцями під час комплексного обстеження плантацій у зоні Лісостепу [17]. Як представник родини *Merliniidae*, цей вид спеціалізується на живленні тканинами коренів рослин родини злакові (*Poaceae*) [77]. Завдяки відносно масивному стилету *A. macrurus* проколює епідермальні клітини та клітини паренхіми кореня, висмоктуючи їхній вміст. На відміну від ендпаразитів, він не проникає всередину тканини, проте його постійна міграція та численні мікропроколи призводять до значного скорочення об'єму кореневої системи рослин, особливо тонких всисних корінців. Це знижує ефективність поглинання води та мінеральних речовин із ґрунту, що робить рослини вразливими до кліматичних стресів, зокрема посух, та суттєво обмежує вихід сухої біомаси [77].

З урахуванням того, що міскантус використовується не лише як енергетична культура, а й як інструмент фіторемедіації для відновлення техногенно забруднених, деградованих та малопродуктивних ґрунтів, дослідження *A. macrurus* набуває додаткового фундаментального значення. Динаміка чисельності цього виду в ризосфері може відображати загальний стан

грунтової екосистеми, зокрема рівень антропогенного навантаження, структуру мікробіоценозів і доступність поживних елементів. У цьому контексті *A. tacrurus* може розглядатися як біоіндикатор змін ґрунтового середовища в багаторічних насадженнях міскантусу [13, 17].

Хоча наразі тривають дослідження щодо визначення точного порогу шкідливості *A. tacrurus* саме для міскантусу, цей вид уже розглядається як потенційно небезпечний паразит і збільшення його чисельності в ґрунті є лише питанням часу [17]. Зважаючи на це, подальше вивчення біоекології *A. tacrurus* та впровадження системного моніторингу його популяцій є важливими завданнями, вирішення якого дасть змогу контролювати фітосанітарний стан сучасних плантацій міскантусу.

Ще одним із небезпечних видів фітонематод, який був виявлений у насадженнях міскантусу, є *T. agrii*, що належить до родини *Telotylenchidae* і є типовим мігруючим ектопаразитом злакових культур, а також багаторічних трав та газонних покриттів [16, 78, 79]. Він не занурюється в тканини кореня повністю, а переміщується в ґрунті від однієї рослини до іншої, живлячись клітинами епідермісу та кореневих волосків. За високої щільності популяції *T. agrii* в ґрунті спостерігається затримка росту рослин, коренева система стає слабо розгалуженою, а кореневі волоски відмирають. Це спричиняє зниження здатності рослини поглинати воду та поживні речовини та призводить до хлорозу листків. Хоча поодинокі особини не завдають суттєвої шкоди міскантусу, їхня висока чисельність може призвести до його виснаження. Це особливо небезпечно на ранніх етапах вирощування, т. б. в перші один-три роки, коли молоді рослини найбільш вразливі до ураження їх нематодозами. Тому моніторинг чисельності *T. agrii* в перші роки вегетації культури є необхідним для оцінки загального фітосанітарного стану енергетичних насаджень, оскільки його синергічна взаємодія з іншими видами нематод може призводити до суттєвих втрат біомаси, особливо в умовах обмеженого вологозабезпечення [16].

Варто також розглянути фітонематод роду *Criconemella*, відомих як кільчасті нематоди (*ring nematodes*) [80–83]. Представники цього роду є специфічною групою ектопаразитичних нематод, які все частіше зустрічаються в ризосфері багаторічних злакових культур. За допомогою потужного стилету вони проколюють клітини епідермісу та кортикальної паренхіми кореня рослин, що призводить до припинення поділу клітин у точках їхнього росту [80–83]. Зазвичай ураження міскантусу цими нематодами часто не має специфічних ознак на ранніх стадіях розвитку рослин, проте за високої щільності їхніх популяцій спостерігається пожовтіння пагонів, затримка росту та формування вкороченої, деформованої кореневої системи. Наукові дослідження підтверджують, що кільчасті нематоди є потенційними патогенами біоенергетичних культур [11, 16]. Їхня присутність у ґрунті може спричинити зниження виходу сухої біомаси, особливо на плантаціях старше 5 років, де чисельність паразитів здатна досягнути критичних рівнів. Враховуючи малорухливий спосіб життя цих фітонематод, їхня присутність у ґрунті є негативним біотичним чинником, що вимагає регулярного моніторингу на всіх етапах вирощування міскантусу.

Окрім визначення видового складу фітопаразитичних нематод у насадженнях міскантусу, науковці також намагалися встановити економічні пороги їхньої шкідливості (ЕПШ) для цієї культури [16]. Проте розрахунок критичного рівня чисельності нематод саме для міскантусу виявився надзвичайно складним і методично проблематичним. Основною причиною цього є біологічні й агротехнічні особливості культури, зокрема її довготривалий цикл вирощування – міскантус зазвичай вирощується як монокультура протягом 20–25 років [2, 3, 5, 10].

Сьогодні переважна більшість методик щодо визначення ЕПШ розроблена для короткочасних однорічних культур, таких як пшениця, кукурудза, ячмінь та інші зернові, де шкідливість від ураження їх нематодозами проявляється вже протягом одного вегетаційного періоду і може безпосередньо впливати на урожайність посівів [84–88]. Приміром, Mekete et al. у своїх дослідженнях спираються на пороги шкідливості нематод, які були визначені для газонних трав [16]. За їхніми даними, пороговими значеннями на 100 см³ ґрунту вважається чисельність: для *Pratylenchus* spp. – 50–100 особин, *Helicotylenchus* spp. – 300 і більше, *Xiphinema* spp. – 50–100, *Hoplolaimus* spp. – 40–150, *Longidorus* spp. – 5–25, *Tylenchorhynchus* spp. – 150–300, *Criconemella* spp. – 300–600 [84, 85]. Водночас, за даними українських вчених, втрати врожаю пшениці спостерігаються вже за сумарної чисельності фітопаразитичних нематод у межах 28–479 особин на 100 см³ ґрунту [88]. Натомість застосування таких підходів до багаторічних насаджень міскантусу є некоректним, оскільки накопичувальний ефект ураження кореневої системи нематодами проявляється поступово і часто стає помітним лише

через кілька років після закладання плантації. Адже, як було зазначено раніше, негативний вплив окремих видів або всього комплексу паразитичних нематод на ріст і розвиток міскантусу не має миттєвого характеру. Їхня шкідливість у ризосфері рослин стає очевидною, коли внаслідок тривалої «діяльності» цих паразитів відбувається значне відмирання кореневої системи, зниження інтенсивності поглинання води й елементів живлення, а також погіршення загального фітосанітарного стану насаджень. Для однорічних культур, що вирощуються в сівозміні, подібний довгостроковий кумулятивний ефект не є характерним, що ще більше ускладнює пряме порівняння рівнів шкідливості для різних культур.

Додатковою складністю є розрахунок кількісної оцінки втрат урожаю біомаси рослин. Якщо для зернових культур зниження врожайності легко вимірюється у фізичних одиницях (тонах зерна з гектара), то для міскантусу, який формує суху біомасу протягом багатьох років, така оцінка є менш стандартизованою та залежить від низки чинників – віку насаджень, погодних умов, технології вирощування та інтенсивності ураження кореневої системи фітопаразитами [2]. За прогностичними даними, втрати врожаю сухої біомаси міскантусу внаслідок ураження його нематодозами можуть становити в середньому 10–15%, однак ці показники потребують подальшого уточнення в довгострокових польових експериментах.

Значною проблемою також є те, що багато видів нематод, зокрема представники ряду *Dorylaimida*, є переносниками фітовірусів, тоді як представники ряду *Tylenchida*, ушкоджуючи кореневу систему рослин, відкривають так звані «вхідні ворота» для проникнення збудників фітопатогенних грибів, зокрема *Fusarium*, *Pythium* та ін. [20, 21, 23, 89]. У результаті формується складний фітопатологічний комплекс, сукупна шкода від якого істотно перевищує негативний вплив кожного окремого патогену [89]. Це значно ускладнює визначення ЕПШ для кожного виду нематод окремо, оскільки фактичні втрати врожаю є результатом взаємодії кількох біотичних, а також абіотичних чинників [47].

Вирощування міскантусу на одному місці впродовж багатьох років також визначає особливу специфіку контролю фітопаразитичних нематод у його ризосфері. На відміну від системи захисту однорічних культур, де після збирання врожаю можна провести глибоку оранку ґрунту, застосувати сівозміну та інші заходи, на багаторічних плантаціях міскантусу після висаджування ризом захистити рослини від нематод стає майже неможливо без знищення самої плантації. Тому, на думку науковців, стратегія контролю цих паразитів у ризосфері цієї культури повинна базуватися на принципі «попередити краще, ніж компенсувати» [90–92].

Ключовим елементом такого підходу є, по-перше, ретельний нематологічний моніторинг ділянки ще до закладання насаджень, а, по-друге, системні обстеження ґрунту впродовж усього періоду їх експлуатації [62, 92, 93]. Так, метою передпосадкового моніторингу є встановлення видового складу фітопаразитичних нематод, визначення щільності їхніх популяцій та структури нематодного угруповання. Це дозволяє ідентифікувати економічно значущі види та оцінити потенційні ризики зниження продуктивності плантації за ураження ними рослин [62, 90, 94].

Для цього до висаджування ризом міскантусу проводять відбирання проб ґрунту за сіткою або маршрутною схемою з формуванням середніх зразків для загальної нематологічної оцінки ділянки [62]. Водночас необхідно здійснювати цільовий відбір проб у зонах підвищеного ризику, зокрема у місцях перезволоження, зонах ущільнення ґрунту, по краях поля, а також на ділянках, де спостерігалось пригнічення росту і розвитку рослин попередніх культур [95].

Лабораторний аналіз зразків має включати екстракцію нематод із ґрунту, їхню морфологічну ідентифікацію, а для таксономічно складних або найбільш ризикових груп – підтвердження видової належності за допомогою молекулярних методів (наприклад ПЛР) [62, 93]. Результати проведених аналізів повинні містити дані як щодо якісного складу нематодних угруповань, так і кількісні показники щільності їх популяцій (особин/100 см³ ґрунту).

Оскільки універсальні пороги шкідливості фітонематод для міскантусу ще перебувають на стадії опрацювання, то рішення щодо закладання його плантації доцільно приймати на основі ризик-орієнтованого підходу. Цей підхід базується на аналізі наявності в ґрунті найбільш небезпечних таксонів – мігруючих ендопаразитів та нематод-переносників вірусів, а також оцінці їхньої чисельності та рівня домінування в нематодокомплексі [96, 97].

У разі виявлення високих ризиків рекомендується зміна ділянки або відтермінування садіння до проведення комплексу превентивних агротехнічних заходів, які включають: застосування сівозміни (один-три роки) з підбором культур-попередників або покривних культур, що знижують чисельність найбільш небезпечних видів нематод, вирощування та заорювання

в ґрунт біомаси сидеральних і біофумігаційних культур родини *Brassicaceae*, збагачення ґрунту органічною речовиною з метою підвищення його супресивності, підтримання належної аерації ґрунту та уникнення його ущільнення, забезпечення збалансованого мінерального живлення рослин [26, 29, 61, 64, 94, 95, 98, 99].

Завершальним етапом передсадивної підготовки ділянки є обов'язкове повторне контрольне обстеження ґрунту для верифікації ефективності проведених агротехнічних заходів [90].

Після вибору ділянки для закладки багаторічних насаджень міскантусу особливу увагу слід приділяти профілактичним заходам для запобігання занесення нематод разом із ґрунтом і садивним матеріалом. Для цього необхідно використовувати ризоми виключно з сертифікованих розсадників, мінімізувати перенесення ґрунту з ними, ретельно очищати техніку та робочі органи при переміщенні між ділянками (особливо за умов підвищеної вологості), знищувати бур'яни-господарі та самосів попередніх культур, які можуть підтримувати розмноження популяцій нематод у ґрунті [61, 64, 96, 100].

Ще одним із важливих і перспективних компонентів інтегрованої системи захисту міскантусу від нематодозів є біологічні заходи. Вони охоплюють використання антагоністичних мікроорганізмів, спеціалізованих біопрепаратів нематоцидної дії, механізми індукції системної стійкості рослин та стимулювання регенеративних процесів їх кореневої системи [97–99, 101, 102]. Слід зауважити, що їхня ефективність критично залежить від початкової щільності популяцій фітонематод (що додатково підкреслює пріоритетність передсадивного моніторингу), едафічних чинників, вмісту органічної речовини в ґрунті, а також системності застосування біоагентів та їхньої інтеграції з іншими заходами захисту, зокрема профілактичними та агротехнічними [99]. На сьогодні впровадження біоконтролю фітонематод у промислових насадженнях міскантусу є актуальним напрямом, який потребує поглибленого вивчення для розроблення адаптованих схем захисту, що відповідали б екологічним та економічним вимогам до вирощування біоенергетичних культур.

Щодо застосування хімічних препаратів для зниження чисельності паразитичних видів нематод у насадженнях міскантусу, то на сьогодні дозволених до використання нематоцидів в Україні немає. Така ситуація зумовлена високою токсичністю більшості фумігантів та фосфорорганічних сполук і суперечить концепції екологічно безпечного вирощування біоенергетичних культур [91, 102]. Більше того, тривалий період вегетації міскантусу на одному місці робить суцільне хімічне знезараження ґрунту економічно недоцільним та небезпечним для корисного ґрунтового мікробіому. Враховуючи загальноєвропейську тенденцію до скорочення використання синтетичних пестицидів, основна увага в захисті міскантусу зміщується на превентивні агротехнічні та біологічні заходи контролю, які дозволяють стримувати зростання щільності популяцій фітонематод без негативного впливу на довкілля [90–92].

Після проведення передпосадкових заходів та безпосереднього закладання плантації міскантусу необхідно проводити регулярний нематологічний моніторинг його ризосфери, який доцільно здійснювати у ключові фази вегетації рослин та зі щорічною періодичністю. Це дозволить дослідникам і практикам відстежувати динаміку чисельності та сукцесійні зміни домінуючих груп фітонематод у багаторічному циклі вирощування культури, своєчасно виявляти вогнища пригнічення росту або випадання рослин, що дає змогу оперативного коригувати агротехнічні заходи на локальному рівні, об'єктивно оцінювати пролонговану ефективність застосованих біологічних агентів та агротехнічних методів контролю нематодозів, корелювати дані лабораторного аналізу з візуальними польовими індикаторами, такими як нерівномірність висоти стеблостою, передчасне в'янення, зрідження насаджень та прояви симптомів кореневих гнилей [62]. Особливого значення такий моніторинг набуває у контексті виявлення латентних інфекцій, спричинених мігруючими енто- та ектопаразитами, чия шкідливість часто маскується під дефіцит елементів живлення або посуху. Більше того, згодом, такий системний моніторинг може стати основою для формування комплексних баз даних щодо фітосанітарного стану багаторічних біоенергетичних агроценозів [12, 13, 18]. Це є дуже важливим для моделювання та прогнозування довгострокової продуктивності плантацій, оскільки дозволяє розраховувати кумулятивний негативний вплив нематодних угруповань на кореневу систему рослин протягом десятиліть. Крім того, результати нематологічного моніторингу можуть бути інтегровані з даними агрохімічного та мікробіологічного аналізу ґрунту, що дозволяє сформувати цілісне уявлення про функціонування ризосфери міскантусу та взаємозв'язки між фітонематодами, корисною і шкідливою мікрофлорою та рослиною-господарем [12, 13]. Саме такий міждисциплінарний підхід створює наукове підґрунтя для розроблення адаптивних,

екологічно безпечних систем захисту культури, орієнтованих не лише на зниження шкідливості цих паразитів, а й на підтримання ґрунтового біорізноманіття. Наразі такі дослідження активно проводять у багатьох країнах світу, зокрема в межах міжнародних програм із декарбонізації та відновлення деградованих ландшафтів [1, 7]. Тому регулярний нематологічний моніторинг слід розглядати не як разовий діагностичний захід, а як невід’ємний елемент довгострокового управління плантаціями міскантусу. Науковці впевнені, що його впровадження сприятиме підвищенню стабільності агроєкосистем, зниженню фітосанітарних ризиків і забезпеченню прогнозованої, економічно обґрунтованої продуктивності біоенергетичних насаджень упродовж усього періоду їх експлуатації, мінімізуючи при цьому пестицидне навантаження на довкілля [33, 92, 93].

Таблиця 2. Система інтегрованого захисту (СІЗ) насаджень міскантусу гігантського від фітопаразитичних видів нематод

Компонент СІЗ	Конкретні заходи	Цільові групи та фітосанітарні ризики	Етап застосування	Ключовий результат
Передсадивний нематологічний моніторинг (обов’язково)	Відбір зразків ґрунту та екстракція із них нематод; ідентифікація видового складу; розрахунок індексів різноманіття та щільності популяції	Комплекс фітопаразитичних видів нематод	До закладання плантації міскантусу (за 3–6 місяців)	Рішення про придатність ділянки та її зонування; вибір стратегії підготовки ґрунту до закладання плантації міскантусу
Профілактичні заходи та фітосанітарний контроль	Використання здорового садивного матеріалу (ризомів); очищення с.-г. техніки від ґрунту; знищення бур’янів-резерваторів нематод	Ризик інтродукції карантинних та інших фітопаразитичних видів нематод; транслюкація інвазійного фону між ділянками; підтримання популяцій нематод бур’янами-господарями	Перед садінням + протягом всього циклу вирощування міскантусу	Запобігання первинному зараженню ділянки фіто-нематодами та їхньому подальшому поширенню
Сівозміна	Дотримання перерви (один-три роки) після вирощування зернових культур (пшениця, кукурудза), які є спільними рослинами-господарями для фітонематод	Комплекс фітопаразитичних видів нематод	За один-три роки до закладання плантації міскантусу	Зниження початкової чисельності популяцій нематод в ґрунті
Використання сидератів / біофумігаційних культур	Вирощування та заорювання зеленої біомаси в ґрунт сидеральних культур (гірчиця біла, гірчиця сарептська, редька олійна)	Комплекси фітопаразитичних видів нематод та збудників хвороб рослин	Підготовчий етап перед закладанням плантації міскантусу	Оздоровлення та покращення структури ґрунту; пригнічення розвитку нематод та інших паразитів; стимуляція природної супресивності ґрунту
Посилення супресивності ґрунту	Внесення компосту та органічних меліорантів для стимуляції розвитку грибів-нематофагів (<i>Arthrobotrys</i> та ін.) і хижих нематод (<i>Mononchida</i>)	Дисбаланс ґрунтової біоти; накопичення вузькоспеціалізованих видів фітонематод у ґрунті	До закладання плантації міскантусу + регулярне підживлення впродовж експлуатації	Формування саморегульованої екосистеми; посилення природного антагонізму та біологічного стримування фітонематод
Оптимізація живлення та імунотуляція	Збалансоване внесення К, Са та Si для зміцнення клітинних стінок та посилення лігніфікації тканин кореня рослин	Фізіологічне виснаження та зниження толерантності рослин; ураження вторинними грибовими та вірусними патогенами	Протягом вегетації міскантусу (регулярно)	Підвищення механічної стійкості коренів до проникнення нематод; обмеження розвитку кореневих гнилей; активізація системної імунної відповіді рослин на ураження паразитами
Біологічний контроль та біостимуляція	Застосування біопрепаратів на основі грибів-антагоністів (<i>Trichoderma</i> , <i>Paecilomyces</i> / <i>Purpureocillium</i> й ін.) та ентомопатогенних бактерій (<i>Bacillus</i> spp.)	Личинки та яйця фітонематод; стимуляція росту кореневих волосків	Під час садіння (інокуляція ризомів) + щорічне внесення у міжряддя	Пролонговане стримування шкідливості фітонематод; швидка регенерація кореневої системи; активізація росту кореневих волосків
Хімічні заходи (терапевтичні)	Локальне застосування дозволених нематоцидів за умови перевищення чисельності нематод економічного порогу шкідливості (ЕПШ)	Висока чисельність деяких видів нематод; загроза повної загибелі молодих рослин міскантусу	Ранні етапи органогенезу рослин міскантусу (перший-другий рік вегетації)	Локалізація критичних вогнищ нематодозів; збереження густоти насаджень
Системний нематологічний моніторинг (обов’язково)	Періодичний нематологічний контроль ризосфери рослин; виявлення «гарячих точок» за допомогою GPS / NDVI-картування; корегування системи заходів захисту	Сукцесійні зміни в нематодних угрупованнях; ризик передчасної деградації плантації міскантусу	Щорічно (фаза активного росту рослин та перед зимівлею)	Об’єктивний аналіз нематод. стану насаджень міскантусу; оцінка ефективності заходів захисту; стратегічне прогнозування врожайності плантації на 10–15 років

Висновки

Для забезпечення сталого розвитку біоенергетичного сектору України та підвищення ефективності вирощування міскантусу (*M. × giganteus*) необхідним є проведення системних, довгострокових досліджень комплексу фітопаразитичних нематод, які формують приховану загрозу продуктивності цієї культури протягом усього періоду експлуатації його плантацій. Ключовою передумовою ефективного управління нематодними ризиками у багаторічних насадженнях міскантусу має стати передсадивний фітосанітарний моніторинг, який дозволить своєчасно виявити економічно значущі види фітонематод, оцінити структуру їхніх угруповань та встановити щільність їх популяцій. Лише на основі цих даних слід приймати обґрунтовані рішення щодо придатності ділянки для закладання плантації, необхідності її передсадивного «оздоровлення» та добору профілактичних заходів. Подальші дослідження у цьому напрямі мають бути спрямовані на встановлення економічних порогів шкідливості для ключових видів фітопаразитичних нематод із урахуванням багаторічного циклу вирощування культури, кумулятивного характеру шкоди та взаємодії з іншими фітопатогенними організмами, зокрема збудниками грибних та вірусних хвороб. Отримані наукові результати такої роботи мають стати теоретичним і практичним підґрунтям для розроблення адаптованих до умов України стратегій інтегрованого захисту насаджень міскантусу від ураження його нематодозами, у яких пріоритет надаватиметься передсадивному моніторингу, профілактичним, агротехнічним та біологічним заходам, а також подальшому системному контролю нематодних угруповань упродовж всього періоду експлуатації плантацій. Реалізація таких стратегій сприятиме підвищенню економічної доцільності вирощування міскантусу, збереженню родючості ґрунтів і зміцненню енергетичної безпеки країни.

Список використаних джерел

1. Pidlisnyuk, V., Stefanovska, T., Lewis, E. E., & Erickson, L. E. (2014). Miscanthus as a productive biofuel crop for phytoremediation. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(1), 1–19. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.847616>
2. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Ivashchenko, O. O., Pyrkin, V. I., Kvak, V. M., Humentyk, M. Ya., Hanzhenko, O. M., Sabluk, V. T., Hryshchenko, O. M., Fuchylo, Ya. D., Honcharuk, H. S., Furman, V. A., Suslyk, L. O., Makukh, Ya. P., Remeniuk, S. O., Ivanina, V. V., Fursa, A. V., Bekh, N. S., Kotsar, M. I., ... Katelevskiy, V. M. (2019). *Miscanthus in Ukraine*. FOP Yamchynskiy O. V. <https://doi.org/10.47414/978-617-7804-11-5> [In Ukrainian]
3. Kurylo, V. L., Hanzhenko, O. M., Humentyk, M. Ya., Kvak, V. M., Fuchylo, Ya. D., Khivrych, O. B., Zykov, P. Yu., Honcharuk, H. S., Smirnykh, V. M., Horobets, A. M., & Zamoiskyi, O. I. (2016). *Methodological recommendations on the technology of growing and processing of giant miscanthus*. Kompynt. [In Ukrainian]
4. Kulyk, M., Galytska, M., Samoylik, M., & Zhornyk, I. (2019). Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine. *Agronomy*, 2(1), 65–73. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.14020>
5. Dekovets, V. O., & Kulyk, M. I. (2020). Ecological features and agricultural measures for growing *Miscanthus giganteus* biomass to ensure energy efficiency in rural areas. In T. O. Chaika, I. O. Yasnolob, & O. O. Horb (Eds.), *Energy efficiency of rural areas* (pp. 102–114). Astraia. [In Ukrainian]
6. Hanzhenko, O. M., Kravchuk, V. I., Humentyk, M. Ya., Kvak, V. M., Fuchylo, Ya. D., Pravdyva, L. A., Honcharuk, H. S., & Khivrych, O. B. (2025). *Scientific and methodological recommendations for the effective cultivation of perennial cereal bioenergy crops*. Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS. [In Ukrainian]
7. Pidlisnyuk, V. V., Erickson, L. E., Trögl, J., & Shapoval, P. (2017). Metals uptake behaviour in *Miscanthus × giganteus* plant during growth at contaminated soil from the military site in Sliač, Slovakia. *Polish Journal of Chemical Technology*, 20(2), 1–7. <https://doi.org/10.2478/pjct-2018-0016>
8. Al Souki, K. S., Burdová, H., Mamirova, A., Kuráň, P., Kříženecká, S., Oravová, L., Tolaszová, J., Nebeská, D., Popelka, J., Ust'ak, S., Honzik, R., & Trögl, J. (2021). Evaluation of the *Miscanthus × giganteus* short-term impacts on enhancing the quality of agricultural soils affected by single and/or multiple contaminants. *Environmental Technology & Innovation*, 24, Article 101890. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101890>
9. Bastia, G., Al Souki, K. S., & Pourrut, B. (2023). Evaluation of *Miscanthus × giganteus* Tolerance to Trace Element Stress: Field Experiment with Soils Possessing Gradient Cd, Pb, and Zn Concentrations. *Plants*, 12(7), Article 1560. <https://doi.org/10.3390/plants12071560>
10. Kvak, V. M. (2012). Growth, development and productivity of miscanthus (*Miscanthus*) under different fertilizer rates. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 14, 548–551. [In Ukrainian]
11. Stefanovska, T., Skwiercz, A., Zouhar, M., Pidlisnyuk, V., & Zhukov, O. (2021). Plant-feeding nematodes associated with *Miscanthus × giganteus* and their use as potential indicators of the plantations' state. *Inter-*

national Journal of Environmental Science and Technology, 18(1), 57–72. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02865-z>

12. Stefanovska, T., Skwiercz, A., Zhukov, O., & Pidlisnyuk, V. (2024). Soil nematodes as a monitoring tool of bioenergy crop production management: The case of *Miscanthus giganteus* cultivation on different soil types. *Biosystems Diversity*, 32(2), 217–224. <https://doi.org/10.15421/012423>

13. Stefanovska, T., Skwiercz, A., Pidlisnyuk, V., Zhukov, O., & Shapoval, P. (2023). Can nematode communities work as an indicator of soil health in a multiyear *Miscanthus × giganteus* plantation growing in lead-contaminated soil? *Agronomy*, 13(6), Article 1620. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061620>

14. Mekete, T., Gray, M. E., & Niblack, T. L. (2009). Distribution, morphological description, and molecular characterization of *Xiphinema* and *Longidorus* spp. associated with plants *Miscanthus* spp. and *Panicum virgatum* used for biofuels. *Global Change Biology Bioenergy*, 1(4), 257–266. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2009.01020.x>

15. Mekete, T., Reynolds, K., Lopez-Nicora, H. D., Gray, M. E., & Niblack, T. L. (2011). Distribution and diversity of root-lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.) associated with *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum* used for biofuels, and species identification by multiplex polymerase chain reaction. *Nematology*, 13(6), 673–686. <https://doi.org/10.1163/138855410X538153>

16. Mekete, T., Reynolds, K., Lopez-Nicora, H. D., Gray, M. E., & Niblack, T. L. (2011). Plant-parasitic nematodes are potential pathogens of *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum* used for biofuels. *Plant Disease*, 95(4), 413–418. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-10-0335>

17. Stefanovska, T., Skwiercz, A., Flis, Ł., Pidlisnyuk, V., & Zouhar, M. (2021). First record of the ectoparasitic nematode *Amplimerlinius macrurus* (Nematoda: Tylenchida) on the perennial grass *Miscanthus × giganteus* (Angiosperms: Poaceae) in Ukraine. *Journal of Nematology*, 53(1), Article e2021-24. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2021-024>

18. Stefanovska, T., Skwiercz, A., Pidlisnyuk, V., Zhukov, O., Kozacki, D., Mamirova, A., Newton, R. A., & Ust'ak, S. (2022). The short-term effects of amendments on nematode communities and diversity patterns under the cultivation of *Miscanthus × giganteus* on marginal land. *Agronomy*, 12(9), Article 2063. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092063>

19. Skwiercz, A., Stefanovska, T., Zouhar, M., Pidlisnyuk, V., & Flis, Ł. (2022). First report of *Rotylenchus agnetis* Szczygiel, 1968, *Rotylenchus pumilus* Perry, 1959, and *Paratylenchus nanus* Cobb, 1923 associated with *Miscanthus × giganteus* J. M. Greef & Deuter ex Hodk & Renvoize in Ukraine. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 21(5), 153–161. <https://doi.org/10.24326/asphc.2022.5.13>

20. Kalatur, K. A., Pylypenko, L. A., & Boiko, A. L. (2016). The role of phytonematodes of the families *Longidoridae* and *Trichodoridae* in the vector transmission of plant viral diseases pathogens. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 24, 100–111. <https://doi.org/10.47414/np.24.2016.216918> [In Ukrainian]

21. Kalatur, K. A., Borzykh, O. I., Siharova, D. D., & Janse, L. A. (2020). *Relationships between phytonematodes and other pathogenic organisms*. Lazuryt-Polihraf. [In Ukrainian]

22. Sharma, H., & Kumar Chaubey, A. (2023). Plant parasitic nematodes: Insights into the parasitic potential, adaptations and their interaction with other microorganisms. In *Nematodes – Ecology, Adaptation and Parasitism*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1003258>

23. Sigaryova, D. D., & Kalatur, K. A. (2012). Complex damage to crops by fungi and nematodes. *Plant Protection and Quarantine*, 58, 201–213. [In Ukrainian]

24. Siddiqi, M. R. (2000). *Tylenchida: Parasites of plants and insects* (2nd ed.). CAB International.

25. Mesa-Valle, C. M., Garrido-Cardenas, J. A., Cebrian-Carmona, J., Talavera, M., & Manzano-Agugliaro, F. (2020). Global Research on Plant Nematodes. *Agronomy*, 10(8), Article 1148. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081148>

26. Bernard, G. C., Egnin, M., & Bonsi, C. (2017). The impact of plant-parasitic nematodes on agriculture and methods of control. In M. M. Shah (Ed.), *Nematology – Concepts, Diagnosis and Control* (pp. 121–151). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68958>

27. Nicol, J. M., Turner, S. J., Coyne, D. L., Nijs, L. den, Hockland, S., & Maafi, Z. T. (2011). Current nematode threats to world agriculture. In J. Jones, G. Gheysen, & C. Fenoll (Eds.), *Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions* (pp. 21–43). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0434-3_2

28. Manzanilla-López, R. H., Evans, K., & Bridge, J. (2004). Plant diseases caused by nematodes. In Z. X. Chen, S. Y. Chen, & D. W. Dickson (Eds.), *Nematology Advances and Perspectives: Vol. 2. Nematode Management and Utilization* (pp. 637–716). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851996462.0637>

29. Lehman, P. S. (2004). Cost benefits of nematode management through regulating programs. In Z. Chen, S. Chen, & D. W. Dickson (Eds.), *Nematology – Advances and perspectives: Vol. 2. Nematode management and utilization* (pp. 1133–1177). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851996462.1133>

30. Lopes, E. A., & Ferraz, S. (2016). Importance of phytonematodes in agriculture. In C. M. G. Oliveira, M. A. Santos, & L. H. S. Castro (Eds.), *Diagnosis of phytonematodes* (pp. 1–10). Millenium Editora.

31. Decraemer, W., & Geraert, E. (2006). Ectoparasitic nematodes. In R. N. Perry, & M. Moens (Eds.), *Plant Nematology* (pp. 153–184). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781780641515.0179>

32. Singh, S. K., Hodda, M., & Ash, G. J. (2013). Plant-parasitic nematodes of potential phytosanitary importance, their main hosts and reported yield losses. *EPPO Bulletin*, 43(2), 334–374. <https://doi.org/10.1111/epp.12050>
33. Dietrich, P., Cesarz, S., Liu, T., Roscher, C., & Eisenhauer, N. (2021). Effects of plant species diversity on nematode community composition and diversity in a long-term biodiversity experiment. *Oecologia*, 197(2), 297–311. <https://doi.org/10.1007/s00442-021-04956-1>
34. Singh, S., Awasthi, L. P., Jangre, A., & Nirmalkar, V. K. (2020). Transmission of plant viruses through soil-inhabiting nematode vectors. In L. P. Awasthi (Ed.), *Applied Plant Virology* (pp. 291–300). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818654-1.00022-0>
35. MacFarlane, S. A., & Robinson, D. J. (2004). Transmission of plant viruses by nematodes. In S. H. Gillespie, G. L. Smith, & A. Osbourn (Eds.), *Microbe-Vector Interactions in Vector-Borne Diseases* (pp. 263–286). Cambridge University Press.
36. Decraemer, W., & Robbins, R. T. (2007). The who, what and where of Longidoridae and Trichodoridae. *Journal of Nematology*, 39(4), 295–297.
37. Poudel, D., & Yan, G. (2025). *Trichodorus and Paratrichodorus*. In N. Amaresan, & K. Kumar (Eds.), *Compendium of Phytopathogenic Microbes in Agro-Ecology*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81999-5_30
38. Brown, D. J. F., & Trudgill, D. L. (1998). Nematode transmission of plant viruses – a 30 year perspective. *Annual Report from the Scottish Crop Research Institute (SCRI)*, 121–125.
39. Lamberti, F., Taylor, C. E., & Seinhorst, J. W. (Eds.). (1975). *Nematode vectors of plant viruses*. CABI. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0841-6>
40. Abd-Elgawad, M. M. M., & Askary, T. H. (2015). Impact of Phytonematodes on Agriculture Economy. In T. H. Askary, & P. R. P. Martinelli (Eds.), *Biocontrol Agents of Phytonematodes* (pp. 3–49). CABI.
41. Schmidt, H. B., Fritzsche, R., & Lehmann, W. (1963). Die Übertragung des Weidelgrasmosaik-Virus durch Nematoden. *Die Naturwissenschaften*, 50(10), 386–386. <https://doi.org/10.1007/BF00600766>
42. Nar, B., Ranabhat, J. P., Fellers, M. A., Bruce, J. L., & Shoup, R. (2023). Brome mosaic virus detected in Kansas wheat co-infected with other common wheat viruses. *Frontiers in Plant Science*, 14(3), Article 1096249. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1096249>
43. Hodge, B. (2020). *Wheat virus more serious than first thought*. Ohio Farmer. <https://www.farmprogress.com/wheat/wheat-virus-more-serious-than-first-thought>
44. Kyrychenko, A. M., Bohdan, M. M., Snigur, H. O., & Shcherbatenko, I. S. (2022). Weeds as virus reservoirs in agrobiocenoses of grain crops in Ukraine. *Microbiological Journal*, 84(6), 72–86. <https://doi.org/10.15407/microbiolj84.06.072> [In Ukrainian]
45. Ryzhkova, A. E., Polishchuk, V. P., Verves, Y. G., & Boyko, A. L. (2002). *Plant Virus Vectors*. Ukrainian Phytosociological Center. [In Ukrainian]
46. Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G. J., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G. K., Kikuchi, T., Manzanilla-López, R., Wesemael, W. M. L., & Perry, R. N. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 14(9), 946–961. <https://doi.org/10.1111/mpp.12057>
47. Kalatur, K. A., & Janse, L. A. (2021). Phytonematodes as a limiting biotic factor of agricultural production in the world (review). *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 29, 13–46. <https://doi.org/10.47414/np.29.2021.244423> [In Ukrainian]
48. Riggs, R. D., & Wrather, J. A. (Eds.). (1992). *Biology and management of the soybean cyst nematode*. American Phytopathological Press.
49. Wrather, J. A., Anderson, T. R., Arsyad, D. M., Gai, J., Ploper, L. D., Porta-Puglia, A., Ram, H. H., & Yorinori, J. T. (1997). Soybean disease loss estimates for the top 10 soybean producing countries in 1994. *Plant Disease*, 81(1), 107–110. <https://doi.org/10.1094/pdis.1997.81.1.107>
50. University of Missouri Extension. (2010). *Soybean cyst nematodes: Diagnosis and Management*. <https://extension.missouri.edu/publications/g4450>
51. Chen, S., MacDonald, D. H., Kurle, J. E., & Reynolds, D. A. (2001). *The soybean cyst nematode* (FO-03935). University of Minnesota Extension Service. <https://hdl.handle.net/11299/94033>
52. Venkatesh, S. K., Harrison, R. M., & Riedel, R. (2000). Weed hosts of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) in Ohio. *Weed Technology*, 14(1), 156–160.
53. *List of regulated harmful organisms defined by the Law of Ukraine “On Plant Quarantine”*. (2025). <https://data.gov.ua/dataset/44379f00-5555-4d22-a7e6-4fdd45dffab4/resource/93778064> [In Ukrainian]
54. Castillo, P., & Volvas, N. (2007). *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): *Diagnosis, biology, pathogenicity and management* (Nematology Monographs and Perspectives, Vol. 6). Brill.
55. Vanstone, V. A., Lonergan, P. F., & Rathjen, A. J. (1995). Resistance and tolerance of cereals to root lesion nematode (*Pratylenchus neglectus*) in South Australia. In *Proceedings of the 10th Biennial Conference of the Australasian Plant Pathology Society* (p. 40). Australasian Plant Pathology Society.
56. Clavero-Camacho, I., Cantalapiedra-Navarrete, C., Archidona-Yuste, A., Castillo, P., & Palomares-Rius, J. E. (2021). Remarkable cryptic diversity of *Pratylenchus* spp. (Nematoda: Tylenchulidae) in Spain. *Animals*, 11(4), Article 1161. <https://doi.org/10.3390/ani11041161>

57. Čermák, V., & Renčo, M. (2010). The family Paratylenchidae Thorne, 1949 in the rhizosphere of grass and woody species in Europe: A review of the literature. *Helminthologia*, 47(3), 139–146. <https://doi.org/10.2478/s11687-010-0021-z>
58. Ciobanu, M., Geraert, E., & Popovici, I. (2003). The genera *Paratylenchus* Micoletsky, 1922 and *Gracilacus* Raski, 1962 in Romania (Nematoda: Tylenchulidae). *Nematologia Mediterranea*, 31, 55–59.
59. Ghaderi, R., & Karegar, A. (2013). Some species of *Paratylenchus* (Nematoda: Tylenchulidae) from Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 49, 137–156. https://ijpp.areeo.ac.ir/article_15386.html?lang=en
60. Ghaderi, R. (2019). The damage potential of pin nematodes, *Paratylenchus* Micoletzky, 1922 sensu lato spp. (Nematoda: Tylenchulidae). *Journal of Crop Protection*, 8, 243–257.
61. Kalatur, K. A., Janse, L. A., & Janse, J. D. (2023). *Plant parasitic nematodes in sugar beet fields: management guide*. Agrarna nauka. <https://doi.org/10.31073/978-966-540-578-8> [In Ukrainian]
62. Kalatur, K. A., Janse, L. A., & Janse, J. D. (2024). *Nematological monitoring in sugar beet crops: Scientific and methodological recommendations*. IBCiSB. [In Ukrainian]
63. Geraert, E. (1965). The genus *Paratylenchus*. *Nematologica*, 11, 301–334. <https://doi.org/10.1163/187529265X00221>
64. Kalatur, K. A., Janse, J. D., & Janse, L. A. (2022). Sugar beet nematodes: Their occurrence, epidemiology, and management in Ukraine. In V. Misra, S. Srivastava, & A. K. Mall (Eds.), *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing* (pp. 711–736). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_35
65. Klinkenberg, C. H. (1963). Observations on the feeding habits of *Rotylenchus uniformis*, *Pratylenchus crenatus*, *P. penetrans*, *Tylenchorhynchus dubius*, and *Hemicycliophora similis*. *Nematologica*, 9, 502–506. https://brill.com/view/journals/nema/9/4/article-p502_3.xml?ebody=previewPdf-130794
66. Golden, A. M. (1956). *Taxonomy of the spiral nematodes (Rotylenchus and Helicotylenchus), and the developmental stages and host-parasite relationships of R. buxophilus, n. sp., attacking boxwood* (Bulletin). University of Maryland, Agricultural Experiment Station.
67. Castillo, P., & Vovlas, N. (2005). *Bionomics and identification of the genus Rotylenchus (Nematoda: Hoplolaimidae)*. Brill Academic Publishers. <https://doi.org/10.1163/9789047415077>
68. Tran, V. D., Vu, V. L., Nguyen, H. T., & Trinh, Q. P. (2024). An updated species list of the genus *Rotylenchus* (Nematoda: Hoplolaimidae) and a browser-based interactive key for species identification. *Australasian Plant Pathology*, 53, 79–88. <https://doi.org/10.1007/s13313-023-00962-4>
69. Winoto-Suatmadji, R., & Marks, G. C. (1989). *Rotylenchus robustus* in a *Pinus radiata* nursery in Victoria. *Australasian Plant Pathology*, 18, 38. <https://doi.org/10.1071/APP9890038>
70. Baldwin, J., Inserra, R., Yeates, G., Powers, T., van den Berg, E., Subbotin, S., Mullin, P., Marais, M., & Roberts, P. (2011). Diversity and phylogenetic relationships within the spiral nematodes of *Helicotylenchus* Steiner, 1945 (Tylenchida: Hoplolaimidae) as inferred from analysis of the D2–D3 expansion segments of 28S rRNA gene sequences. *Nematology*, 13, 333–345. <https://doi.org/10.1163/138855410X520936>
71. Subbotin, S. A., Vovlas, N., Yeates, G. W., Hallmann, J., Kiewnick, S., Chizhov, V. N., Manzanilla-López, R. H., Inserra, R. N., & Castillo, P. (2015). Morphological and molecular characterisation of *Helicotylenchus pseudorobustus* (Steiner, 1945) Golden, 1956 and related species (Tylenchida: Hoplolaimidae) with a phylogeny of the genus. *Nematology*, 17, 27–52. <https://doi.org/10.1163/15685411-00002850>
72. Fayyaz, S. (2015). Review of the genus *Helicotylenchus* Steiner, 1945 (Nematoda: Hoplolaimidae) with updated diagnostic compendium. *Pakistan Journal of Nematology*, 33, 115–160. <https://doi.org/10.18681/2015.v33.i02.p01201507310001>
73. EFSA Panel on Plant Health (PLH), Bragard, C., Baptista, P., Chatzivassiliou, E., Di Serio, F., Gonthier, P., Jaques Miret, J. A., Justesen, A. F., MacLeod, A., Magnusson, C. S., Milonas, P., Navas-Cortes, J. A., Parnell, S., Potting, R., Stefani, E., Thulke, H., Van der Werf, W., Vicent Civera, A., Yuen, J., ... Reignault, P. L. (2023). Scientific opinion on the pest categorisation of *Hoplolaimus galeatus*. *EFSA Journal*, 21(7), Article e08117. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8117>
74. Ahmed, M., & Chen, T. A. (1980). Effect of certain environmental factors and host plants on reproduction of *Hoplolaimus galeatus*. *Plant Disease*, 64, 479–480.
75. CABI. (2021). *Hoplolaimus galeatus*. CABI Compen. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.27520>
76. Crow, W. T., & Brammer, A. S. (2002). Lance Nematode. *Hoplolaimus galeatus* (Cobb, 1913) Thorne, 1935 (Nematoda: Secernentea: Tylenchida: Tylenchoidea: Hoplolaimidae). *EDIS*, 9. <https://edis.ifas.ufl.edu/in390>
77. Ghaderi, R., & Karegar, A. (2014). Description of *Amplimerlinius macrurus* sp. n. (Nematoda: Merliniidae) and observations on three other species of the genus from Iran. *Zootaxa*, 3869(1), 17–32. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3869.1.2>
78. Handoo, Z. A., Palomares-Rius, J. E., Cantalapiedra-Navarrete, C., Liébanas, G., Subbotin, S. A., & Castillo, P. (2014). (2014). Integrative taxonomy of the stunt nematodes of the genera *Bitylenchus* and *Tylenchorhynchus* (Nematoda, Telotylenchidae) with description of two new species and a molecular phylogeny. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 172(2), 231–264. <https://doi.org/10.1111/zoj12175>
79. Simon, A. (2018). First report of a stunt nematode (*Tylenchorhynchus agri*) from pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) in Guangxi Province of China. *Plant Disease*, 102(12), Article 2662. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-18-0343-PDN>

80. Brzeski, M., Choi, Y. E., & Loof, P. A. A. (2002). Compendium of the genus *Criconemoides* Taylor, 1936 (Nematoda: Criconematidae). *Nematology*, 4(3), 325–339. <https://doi.org/10.1163/156854102760199178>
81. Brzeski, M., Loof, P. A. A., & Choi, Y. E. (2002). Compendium of the genus *Mesocriconema* Andrassy, 1965 (Nematoda: Criconematidae). *Nematology*, 4(3), 341–360. <https://doi.org/10.1163/156854102760199187>
82. Cordero, M. A., Robbins, R. T., & Szalanski, A. L. (2012). Taxonomic and molecular identification of *Mesocriconema* and *Criconemoides* species (Nematoda: Criconematidae). *Journal of Nematology*, 44, 399–426. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23482878/>
83. Geraert, E. (2010). *The Criconematidae of the World: Identification of the Family Criconematidae*. Academia Press.
84. Zeng, Y. S., Ye, W. M., Martin, S. B., Martin, M., & Tredway, L. (2012). Diversity and occurrence of plant-parasitic nematodes associated with golf course turfgrasses in North and South Carolina, USA. *Journal of Nematology*, 44(4), 337–347.
85. Zeng, Y. S., Ye, W. M., Tredway, L., Martin, S., & Martin, M. (2012). Taxonomy and morphology of plant-parasitic nematodes associated with turfgrasses in North and South Carolina, USA. *Zootaxa*, 3452, 1–46. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3452.1.1>
86. Ferris, H. (1978). Nematode economic thresholds: Derivation, requirements, and theoretical considerations. *Journal of Nematology*, 10(4), 341–350.
87. Hill, N. S. (1988). Cultural practices for the management of plant-parasitic nematodes. *Ornamentals Northwest Archives*, 12, 7–9. <https://agsci.oregonstate.edu/sites/agscid7/files/horticulture/osu-nursery-greenhouse-and-christmas-trees/onn120407.pdf>
88. Nikishicheva, K. S. (2002). *Phytonematode complexes in winter wheat agroecosystems of different soil and climatic zones and measures for regulating their numbers* [Candidate dissertation abstract]. National Agrarian University, Kyiv. [In Ukrainian]
89. Parrado, L. M., & Quintanilla, M. (2024). Plant-parasitic nematode disease complexes as overlooked challenges to crop production. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1439951. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1439951>
90. Sikora, R. A., Padgham, J., & Desaegeer, J. (2022). The unpredictability of adapting integrated nematode management to climate variability. In R. A. Sikora, J. Desaegeer, & L. Molendijk (Eds.), *Integrated Nematode Management: State of the Art and Visions for the Future* (pp. 463–472). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781789247541.0064>
91. Sikora, R. A., Molendijk, L. P. G., & Desaegeer, J. (2021). Integrated nematode management and crop health: Future challenges and opportunities. In R. A. Sikora, J. Desaegeer, & L. Molendijk (Eds.), *Integrated Nematode Management: State-of-the-Art and Visions for the Future* (pp. 3–10). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781789247541.0001>
92. Sikora, R. A., Helder, J., Molendijk, L. P. G., Desaegeer, J., Eves-van den Akker, S., & Mahlein, A.-K. (2023). Integrated nematode management in a world in transition: Constraints, policy, processes, and technologies for the future. *Annual Review of Phytopathology*, 61, 209–230. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021622-113058>
93. Shao, H., Zhang, P., Peng, D., Huang, W., Kong, L., Li, C., Liu, E., & Peng, H. (2023). Current advances in the identification of plant nematode diseases: From lab assays to in-field diagnostics. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1106784. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1106784>
94. Ansari, T., & Saleem, M. (2023). Plant parasitic nematodes: A silent threat to agricultural output and sustainable approaches for their management. In M. Hasanuzzaman (Ed.), *Climate-Resilient Agriculture: Vol. 1* (pp. 781–803). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1_36
95. Trivedi, P. C., & Barker, K. R. (1986). Management of nematodes by cultural practices. *Nematropica*, 16(2), 213–236. <https://scispace.com/pdf/nematological-reviews-management-of-nematodes-by-cultural-0609qpc3s6.pdf>
96. Kantor, C., Eisenback, J. D., & Kantor, M. (2024). Biosecurity risks to human food supply associated with plant-parasitic nematodes. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1404335. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1404335>
97. Palomares-Rius, J. E., Hasegawa, K., Siddique, S., & Vicente, C. S. (2021). Protecting our crops: Approaches for plant parasitic nematode control. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 726057. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.726057>
98. Abd-Elgawad, M. M. M., & Askary, T. H. (2018). Fungal and bacterial nematicides in integrated nematode management strategies. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28(1), Article 74. <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0080-x>
99. Askary, T. H., & Martinelli, P. R. P. (Eds.). (2015). *Biocontrol agents of phytonematodes*. CAB International.
100. Kalatur, K. A., & Pylypenko, L. A. (2017). Weeds: reserves of parasitic phytonematode species populations. *Advanced Agritechnologies*, 5. <https://doi.org/10.21498/na.5.2017.122232> [In Ukrainian]
101. Abd-Elgawad, M. M. M., De Luca, F., & Askary, T. H. (2024). Editorial: Nematodes: An integrated pest management approach. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1355670. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1355670>

102. Döring, T. F., Pautasso, M., Finckh, M. R., & Wolfe, M. S. (2012). Concepts of plant health: Reviewing and challenging the foundations of plant protection. *Plant Pathology*, 61(1), 1–15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02501.x>

103. Gamalero, E., & Glick, B. R. (2020). The use of plant growth-promoting bacteria to prevent nematode damage to plants. *Biology*, 9(11), Article 381. <https://doi.org/10.3390/biology9110381>

Phytoparasitic nematodes of the rhizosphere of *Miscanthus × giganteus*: phytosanitary risks and principles of integrated nematode control

К. А. Калатур^{1*}, А. І. Медков², Л. А. Янсе^{2,3}

¹Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine

²Institute of Agroecology and Environmental Management, NAAS of Ukraine, 12 Metrolohichna St., Kyiv, 03143, Ukraine

³National Academy of Agricultural Sciences of Ukraine, 9 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka St., Kyiv, 01010, Ukraine

*Corresponding author: Kateryna Kalatur, kkalatur@meta.ua

Citation: Kalatur, K. A., Medkov, A. I., & Yanse, L. A. (2025). Phytoparasitic nematodes of the rhizosphere of *Miscanthus × giganteus*: phytosanitary risks and principles of integrated nematode control. *Bioenergy*, 2, 74–90. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp74-90>

Aim. To conduct a comprehensive analysis of current scientific research on the prevalence, species composition, and harmfulness of phytonematodes in *Miscanthus × giganteus* plantations, in order to assess phytosanitary risks and substantiate a strategy for integrated nematode control in Ukraine. **Methods.** Search of scientific publications in electronic databases and bibliographic platforms: Scopus, Web of Science Core Collection, CAB Abstracts, AGRIS (FAO), and Google Scholar. **Results.** According to monitoring studies conducted in the United States, Ukraine, and Poland, a complex of phytoparasitic nematodes was identified in the rhizosphere of giant miscanthus (*M. × giganteus*). This complex includes representatives of the genera *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Xiphinema*, *Longidorus*, *Paratrichodorus*, *Trichodorus*, *Heterodera*, *Hoplolaimus*, *Rotylenchus*, *Tylenchorhynchus*, *Criconemella*, *Amplimerlinius*, and *Paratylenchus*. It was established that ectoparasitic species of the genera *Xiphinema*, *Longidorus*, *Trichodorus*, and *Paratrichodorus* pose a significant phytosanitary threat as vectors of pathogenic phytoviruses. Parasitism by phytoparasitic nematodes of the order *Tylenchida* was shown to suppress key physiological processes in the plant organism, resulting in a substantial reduction in dry biomass yield and creating favorable conditions for the penetration of fungal pathogens. The necessity of implementing mandatory pre-planting soil analysis and regular monitoring of nematode communities in the miscanthus rhizosphere throughout the entire plantation lifecycle is substantiated. An integrated system for protecting miscanthus plantations against nematode diseases is proposed. **Conclusions.** To increase the efficiency of cultivating *M. × giganteus* in Ukraine, systematic studies of the complex of phytoparasitic nematodes in its rhizosphere are required. A key prerequisite for effective management of nematode-related risks in miscanthus plantations is pre-planting monitoring, which will enable the timely detection of economically significant phytoparasitic nematode species, assessment of the structure of their communities, and determination of population densities. Based on the results of these studies, integrated strategies for protecting miscanthus from nematode damage will be developed, with priority given to preventive, agronomic, and biological measures, as well as to the systematic control of nematode communities throughout the entire period of plantation exploitation.

Keywords: *Miscanthus × giganteus*; phytonematodes; species composition; harmfulness; thresholds of harmfulness; monitoring; integrated plant protection system.

ORCID

Катерина Калатур / Kateryna Kalatur <https://orcid.org/0000-0003-0364-8462>

Артем Медков / Artem Medkov <https://orcid.org/0000-0002-9305-8767>

Лілія Янсе / Liliia Yanse <https://orcid.org/0000-0002-2567-5907>