Д.Д. СІГАРЬОВА, доктор біологічних наук

Т.І. БОНДАР, кандидат біологічних наук

К.С. НІКІШИЧЕВА, кандидат біологічних наук

Л.П. НІКОЛАЙЧУК, науковий співробітник

Інститут захисту рослин НААН, вул. Васильківська, 33, м. Київ, 03022,

Україна, e-mail: dd.sigareva@ukr.net, tt.bondar@gmail.com

ОСНОВНІ ЕТАПИ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ НЕМАТОЛОГІЇ

Мета. Проаналізувати біологічні закономірності, покладені в основі принципів створення методів моніторингу та контролю нематодозів польових культур та деревних рослин, а також — можливості створення біопрепаратів на основі ЕПН із місцевих штамів, визначених лабораторією нематології. **Методи.** Аналіз результатів розробок лабораторії за 30 років досліджень. **Результати.** Високий рівень чисельності паразитичних видів нематод (200—800 особин у 100 см³ ґрунту) має суттєвий вплив на ріст, розвиток та врожайність основних польових та квіткових декоративних культур. Втрати можуть сягати 35—55% біомаси (або декоративності) культур та 20—30% врожаю. Агроценози більш чутливі, ніж природні ценози, до змін зовнішнього середовища. Такі агротехнічні заходи як сівозмінна, видовий та сортовий склад культур у сівозміні, система удобрення, способи обробітку ґрунту тощо істотно впливають на щільність популяцій паразитичних нематод, тому можуть бути використані для регулювання їхньої чисельності. За результатами обстежень лабораторії в Україні виявлено соснову деревинну нематоду *B. mucronatus*, яка є причиною пригнічення і всихання насаджень сосни звичайної. Розроблено методи моніторингу цього нового для країни виду фітопаразитичних нематод. Багаторічні дослідження поширення ентомопатогенних нематод в Україні дали можливість виявити три види, які досить щільно (21,2% проаналізованих проб) заселяють біотопи України, проявляють високу ефективність проти ґрунтових та інших прихованоживучих шкідників, тому є перспективними для створення біопрепаратів на основі ЕПН. **Висновки.** Використання розроблених в лабораторії методів моніторингу та контролю чисельності популяцій фітопатогенних нематод дасть змогу тримати шкідливість цієї групи патогенів на низькому рівні, зберігаючи до 20—30% врожаю, та попереджати всихання хвойних лісів від бурсафеленхозу.

**фітогельмінти; нематодні хвороби; моніторинг нематодозів;
екологічно безпечні технології захисту; протинематодні захисні
заходи**

Склад нематодних угруповань та динамічних популяцій, які до них входять, пов'язаний із рівнем стабільності екосистеми, в яких вони функціонують. Стабільність означає здатність системи повертатись до вихідного стану після різних порушень та змін цього стану в процесі розвитку системи: чим більшою є стабільність, тим скорішим є повернення. В природних екосистемах стабільність досягається завдяки генетичному, структурному та функціональному різноманіттю складових її угруповань: рівноважність або гомеостаз підтримується завдяки різноманіттю екологічних ніш, сприятливих для організмів на всіх трофічних рівнях [1]. У таких екосистемах популяції різних видів в угрупованні нематод мають стабільність щодо змін щільності популяцій і генетичного складу, будучи збалансованими з іншими компонентами [2].

Агроєкосистемам, на відміну від природних, не достає послідовності, різноманіття та стабільності. Одноманітність є суттю агроєкосистеми: як відомо на полях зазвичай вирощують одну культуру. Більшість вирощуваних культур мають однакові чи схожі генотипи в межах окремих видів, щільність популяцій рослин — регульована, усі рослини майже одного віку, із однаковою системою живлення та контрольованим прополюванням. Спільною рисою агроєкосистем, як нестійких систем, є поява у масовій кількості шкідників та хвороб, коли популяції окремих видів паразитів або патогенів виходять за межі динамічного балансу [3].

Нематодні хвороби не є винятком. В умовах агроєкосистем з'явилась тенденція до звуження спектра угруповань паразитичних нематод до кількох видів, які на сприятливих рослинах-хазяях можуть досягати дуже високої чисельності [4, 5]. Крім того, нестійкі агроєкосистеми більш чутливі до змін зовнішнього середовища, ніж стійкі. Зміни ці в агроєкосистемах пов'язані насамперед із різними прийомами агротехніки, які й зумовлюють динамізм нематодних популяцій. Рослина-хазяїн є одним із найбільш важливих детермінаторів сезонних та щорічних змін у структурі та щільності популяцій паразитичних нематод. В агроєкосистемах зміна рослини-хазяїна пов'язана із сівозміною. У зв'язку з цим не лише рослина-хазяїн, але й уся система сівозмін у більшості випадків визначають структуру нематодних угруповань. Ступінь насичення сівозміни окремими культурами та порядок їхнього чергування на полях, а також — попередники, значною мірою визначають щільність популяцій фітонематод, найбільшою мірою — паразитичних видів. Поряд із сівозміною всі інші агротехнічні заходи (попередники, живлення рослин, обробка ґрунту тощо) також позначаються на популяціях нематод та їхніх угрупованнях [6—11].

Майже тридцять років тому в Інституті захисту рослин було створено лабораторію нематології. Очолила її доктор біологічних наук Діна Дмитрівна Сігарьова, відома в Україні та за її межами вчена-нематолог, засновниця нового в країні напрямку у захисті рослин — сільськогосподарської нематології.

Мета досліджень — проаналізувати біологічні закономірності, покладені в основу принципів створення методів моніторингу та контролю нематодозів польових культур та деревних рослин, а також вивчити можливості створення біопрепаратів на основі ЕПН із місцевих штамів, визначених лабораторією нематології.

Результати та обговорення. За результатами наукових досліджень лабораторії обґрунтовано включення сільськогосподарської нематології до спектра провідних розділів науки із захисту рослин. На основі наробок лабораторії визначено стратегічні напрями першочергових досліджень у нематології: розробка методів моніторингу нематодозів та системи захисних заходів, дослідження ентомопаразитичних нематод, як бази для створення біопрепаратів нового типу.

Шлях до створення сільськогосподарської нематології був непростим, і його можна розділити на 5 послідовних етапів.

Перший етап повинен був відповісти на такі запитання — чи є паразитичні нематоди в польових агроценозах України, до яких видів вони належать і чи завдають відчутної шкоди основним сільськогосподарським культурам.

Другим етапом досліджували еколого-біологічні особливості фітогельмінтів при їхньому паразитуванні на сільськогосподарських культурах. Зміст його полягав у вирішенні питання — які саме біологічні особливості окремих видів нематод дають їм можливість не лише виживати в агроценозах, а й досягати максимальної чисельності популяцій, та які фактори агроценозів регулюють їхню чисельність.

Третій етап був присвячений розробці комплексного підходу до вивчення фітогельмінтозів сільськогосподарських культур, який би забезпечив можливість пов'язати між собою два основних компоненти взаємодії в системі патоген-рослина-хазяїн, а саме — залежність між накопиченням популяцій фітогельмінтів та їх шкодочинністю.

Далі можна було переходити до вирішення основних завдань сільськогосподарської нематології, як розділу науки по захисту рослин. Зрозуміло, що такими завданнями стали: розроблення методів моніторингу нематодозів та заходів з їх контролю. Ці завдання вчені лабораторії виконували водночас, але в сільськогосподарському виробництві вони застосовуються в такій послідовності: спочатку проводиться моніторинг, а потім за його результатами застосовують захисні заходи.

Четвертим етапом сільськогосподарської нематології слід вважати

розробку методів моніторингу нематодозів. Цей етап потребує постійного розвитку й удосконалення.

П'ятий етап — розробка методів контролю чисельності паразитичних нематод та захисту від них культурних рослин. Він є найважливішим у науці по захисту рослин і подібно до попереднього етапу має виконуватись і удосконалюватись постійно.

Серед наукових досягнень лабораторії нематології заслуговують на увагу такі:

- сформульовано положення про наявність в польових агроценозах стабільного комплексу нематод, який складається з порівняно невеликої кількості видів (49—51), адаптованих до виживання в нестабільних умовах агроценозів, що чутливо реагують на них кількісними змінами в популяції;
- виявлено зворотну залежність маси рослин і врожаю від сумарної чисельності характерних для кожної культури видів паразитичних нематод;
- теоретично обґрунтовано та практично доведено ефективність впливу на щільність популяцій нематод агротехнічних факторів і прийомів (видовий і сортовий склад культур на полях, сівозміни, попередники, добрива, спосіб обробітку ґрунту, протруювання насіння тощо);
- зроблено висновки про можливість використання агротехнічних прийомів для регулювання чисельності паразитичних нематод в агроценозах.

Ці теоретичні положення та практично одержані результати свідчать про необхідність прогнозування фітогельмінтозів і розмірів збитків від них, а також про можливість регулювання чисельності паразитичних нематод звичайними і специфічними прийомами вирощування сільськогосподарських культур. Тому необхідно було створити основи сільськогосподарської нематології, які б задовольняли потреби державної служби захисту рослин. А для цієї служби, яка, до речі, займається всіма шкідливими для рослин патогенними організмами, потрібні методи моніторингу та системи контролюючих заходів. Нова методологія проведення досліджень знайшла своє втілення в «комплексному підході до вивчення нематодозів», який і став третім етапом становлення сільськогосподарської нематології.

Отже, постало нове, своєрідне завдання наукових пошуків. Вони почалися з дослідження еколого-біологічних особливостей найбільш важливих видів фітопаразитичних нематод. Було встановлено, що шкодять сільськогосподарським культурам та деревним рослинам представники тих же родів нематод, які мають статус найбільш патогенних в інших країнах Європи та розташовуються за зниженням значимості у такому порядку: *Heterodera* — *Globodera* — *Meloidogyne* —

Ditylenchus — Pratylenchus — Aphelenchoides — Xiphinema — Trichodorus — Longidorus — Bursaphelenchus.

Багаторічні дослідження дали змогу виділити зовнішні ознаки нематодозів, які дозволять їх вирізнити з-поміж інших хвороб рослин. Їх вдалося поділити на 6 основних груп, що викликані:

- цистоутворюючими нематодами родів *Heterodera* та *Globodera*;
- галовими нематодами роду *Meliodogyne*;
- ендопаразитичними раневими нематодами роду *Pratylenchus*;
- ендопаразитами стебел, листя та бульб (роди *Ditylenchus* та *Aphelenchoides*);
- мігруючими ектопаразитичними нематодами родів *Longidorus* та *Xiphinema*;
- деревинними нематодами роду *Bursaphelenchus*.

Окремі представники інших родів фітопаразитичних нематод викликають хвороби, що мають своєрідні ознаки, але вони менше поширені в Україні.

Нематодози польових та квітково-декоративних культур

Загальним для нематодозів є те, що вони зазвичай проявляються на рослинах наступним чином: пригнічення росту, дрібнолистість, хлоротичність, пожовтіння, в'янення, наявність деформації стебел, листя, квітів, деформація коренів (гали, бородатість, пригнічення росту), утворення на коренях цист і жовтих чи бурих ранок, кореневі некрози та гнилі.

Виходячи з особливостей прояву нематодозів лабораторією розроблено комплексний підхід до вивчення нематодозів сільськогосподарських культур, характерною особливістю якого є вивчення всього комплексу видів фітонематод, що заселяють ризосферу, і співставлення його з віковими та патологічними змінами, які спостерігаються в рослинах під час вегетаційного періоду, а також — з їх продуктивністю. Комплексний підхід базується на таких засадах:

- встановлення видового складу фітонематод та їхніх трофічних угруповань;
- дослідження динаміки чисельності фітонематод за фазами розвитку рослин;
- співставлення кількісних показників всього комплексу та окремих видів нематод з ростом і розвитком рослин, їх врожайністю за допомогою кореляційного і регресійного аналізів;
- розрахунки порогів шкідливості.

Комплексний підхід дав змогу встановити значну шкідливість нематодозів, втрати від яких становлять: 15—17% врожаю пшениці озимої, 10—20 — ріпаку, 15—25 — коренеплодів буряків цукрових,

15—55 — врожаю картоплі, до 70 — на овочевих культурах закритого ґрунту, 20—80% декоративності квіткових рослин або повну загибель їхньої розсади. Ці дані доводять необхідність впровадження в інтегровані системи захисту польових, овочевих та декоративних культур протинематодних елементів.

Застосування комплексного підходу до вивчення нематодозів польових культур дало можливість зробити крок від фауністичних і таксономічних робіт до вирішення практичних питань моніторингу та прогнозування розвитку нематодозів, а також — до розробки заходів контролю їх поширення і шкідливості.

Складність розробки методів фітосанітарного моніторингу полягає в тому, що патогенні для рослин організми мають різне походження, а відтак і еколого-біологічні особливості. Наприклад, якщо порівняти спосіб життя шкідливих комах, грибів і нематод, то, на перший погляд, у них немає нічого спільного. Але всі вони шкодять рослині-хазяїну і їхній моніторинг можна проводити за принципово однаковою схемою, замінивши термін «нематоди» на назву іншого класу патогенів (комахи, гриби тощо) [9, 10].

Те ж стосується різних родів та видів нематод. Одні види, наприклад цистоутворюючі нематоди, знаходяться у коренях та ґрунті, інші — стеблові й листкові — у стеблах і листі (рисовий афеленх — у насінні рису і т.п.). А тому при спостереженні за ними будуть застосовувати різні методи, але порядок їхнього використання ранжуватиметься за тією ж схемою.

Таким чином, нематологам, що прийшли у захист рослин пізніше від ентомологів, мікологів та бактеріологів, на прикладі нематодозів вдалося віднайти спільні для хвороб рослин закономірності та виокремити етапи процесу спостережень за ними, які можуть стати загальноприйнятними для фітосанітарного моніторингу.

Щодо методів моніторингу різних нематодозів, то вони визначаються як видом паразитичних нематод, так і рослиною-хазяїном. Якщо нематодози рослин виникають внаслідок паразитування окремих, властивих для цього виду рослин фітогельмінтів, то за проведення його моніторингу використовують специфічні для дослідження даного виду методи. Якщо ж причиною захворювань рослин є комплекс паразитичних видів, то і методи спостережень за ними будуть іншими. Наприклад, розроблені лабораторією методи моніторингу глободерозу картоплі мало чим подібні до методів моніторингу нематодозів пшениці озимої чи хвороби в'янення сосни [9, 10, 12]. Але при цьому етапи та їхня послідовність залишаються однаковими. Методи моніторингу нематодозів інших господарськи важливих рослин ще потребують своєї розробки.

Працюючи над контролюючими заходами, брали до уваги по-

ширеність та шкідливість нематодозів на основних сільськогосподарських культурах. Такими культурами виявились: пшениця озима, буряки цукрові, картопля, овочеві та квітково-декоративні культури закритого ґрунту.

Ефективність окремих прийомів агротехніки може бути використана для контролю чисельності паразитичних нематод у технологіях вирощування польових культур.

Мінеральні добрива у більшості випадків сприяють підвищенню чисельності паразитичних нематод, така ж тенденція спостерігається за поверхневої обробки ґрунту. Глибока обробка ґрунту та органічні добрива знижують чисельність паразитичних видів нематод.

Система контролю чисельності паразитичних нематод на пшениці озимій включає агротехнічні, хімічні та біологічні заходи. Агротехнічні елементи технології передбачають: обмеження в сівозміні частки зернових культур до 50%, вибір кращої культури-попередника (кукурудза на силос), спосіб обробки ґрунту (звичайна оранка), оптимально відрегульовані дози і строки внесення мінеральних та органічних добрив. До біологічних способів контролю чисельності паразитичних нематод відноситься використання стійких та толерантних сортів. Це питання ще потребує своєї доробки, але вже зараз відомо, що деякі з досліджених сортів виявились відносно стійкими проти нематодозів (Миронівська 27, Крижинка та Дон 85).

Сприятлива дія пшениці озимої, як попередника буряків цукрових, пояснюється неадекватним, а часто — прямопротилежним впливом цих культур на популяції паразитичних нематод. Види, що досягають високої чисельності на пшениці озимій (вівсяна цистоутворююча нематода, пратиленхи, гелікотиленхи, тіленхоринхи) — малочисельні на буряках цукрових. Навпаки, характерні для буряків цукрових види (бурякова цистоутворююча нематода, паратиленхи) — не розмножуються на пшениці.

Протинематодні заходи на буряках цукрових через відсутність на ринку України комерційних нематодостійких сортів зводяться до впровадження науково обґрунтованої сівозміни, використання пожнивних посівів капустових культур та винищення бур'янів.

Система протинематодних заходів при вирощуванні картоплі містить елементи, спрямовані проти глободерозу та дитиленхозу. Зниженню глободерозної інвазії сприяє сівозмінна з вирощуванням рослин-неживителів. Проте, найбільш ефективним і дієвим способом контролю чисельності картопляної золотистої цистоутворюючої нематоди є застосування стійких проти глободерозу вітчизняних сортів картоплі. Кількість таких у Держреєстрі вже перевищила 30, вони створені селекціонерами Інституту картоплярства та інших науково-дослідних установ країни за безпосередньої участі нематологів.

Проти галових нематод на овочевих та на квітково-декоративних культурах у закритому ґрунті рекомендовано біопрепарати Актофит і Нематофагін. Виділено селекційні зразки томатів, стійкі проти галових нематод, які дадуть можливість створити відповідні сорти та гібриди.

Нематодні хвороби соснових лісів

Хвороба в'янення сосни, яку спричиняє соснова стовбурова нематода *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhner, 1924; Nikle, 1975), завдає значних збитків сосновим лісам у Японії, Кореї, Китаї, на острові Тайвань, в Америці та Канаді. 1993 року Європейська та Середземноморська організація карантину та захисту рослин (ЄОКЗР) зробила висновок, що соснова деревинна нематода повинна входити до списку А1 як важливий карантинний організм, який відсутній на території країн-членів ЄОКЗР.

Соснова деревинна нематода досить специфічна. Вона розмножується і активно пересувається у тканинах сосни та здатна виживати у пиломатеріалах. Крім того, вона заселяє комах-ксилобіонтів (вусачів, златок) які її розносять [13, 14].

Україна є лісовою державою із значним щорічним об'ємом експорту деревини. У зв'язку з чим розробка методів фітосанітарного ризику щодо *Bursaphelenchus xylophilus* є актуальною темою наукових досліджень сьогодення.

Соснові деревинні нематоди роду *Bursaphelenchus* за останні 50 років стали причиною загибелі соснових лісів у багатьох країнах Азії та Європи.

Види *Bursaphelenchus xylophilus* та *B. mucronatus* викликають небезпечне в економічному плані захворювання — бурсафеленхоз (в'янення, вілт) сосни та інших комерційних хвойних дерев, тому вони одержали назву комплексу видів деревинних стовбурових нематод. Найпоширеніші види комплексу — близькі за морфологічними ознаками до *B. xylophilus* та *B. mucronatus* [15].

Вважається, що *B. xylophilus* завезено в Японію разом з лісоматеріалами із США. Підставою для такого припущення є те, що стійкими проти нематоди є тільки американські види хвойних, а для європейських та азіатських видів соснова нематода є небезпечним карантинним організмом [16].

Дуже близький вид *B. mucronatus* описав вчений Mamiya (1979). Морфологічно він відрізняється від *B. xylophilus* лише мукрою на хвості. Цей вид також виявляє патогенність [17].

За літературними даними хвойна деревинна нематода широко розповсюджена у хвойних лісах території Євразійського континенту. За штучного інвазування сіянців *B. mucronatus* виникає хвороба, яка має

симптоми хвороби в'янення сосни. Дані, одержані дослідженнями, проведеними у Франції, Норвегії, Німеччині, Росії з *B. Mucronatus*, підтверджують, що вони також патогенні [17–19].

Хвойні ліси в Україні займають 3,96 млн га, або 40% покритих лісами площ. Частина з них розташована у зоні, сприятливій за кліматичними умовами для появи та шкідливості соснової деревинної нематоди.

В останні роки збільшилась кількість випадків куртинного всихання ділянок лісу в Українському Поліссі, причину яких не було з'ясовано. Подібність зовнішніх симптомів до характерних ознак хвороби в'янення сосни дозволила нам припустити присутність у хворих деревах стовбурових нематод, а отже — не виключено локальних проявів хвороби в'янення сосни в Україні. Лабораторія нематології провела серію польових і лабораторних досліджень щодо деревинних нематод, за результатами яких було видано «Рекомендації з методів моніторингу соснових деревинних нематод роду *Bursaphelenchus*» (2012 р.) та монографію «Комплекс нематод-ксилобіонтів сосни звичайної Східного Полісся України. Особливості екології та біології» (2017 р.) [20, 21].

Для фіксування деревостану використали аеровізуальні обстеження. Крім ділянок всихаючого лісу, виявлених шляхом аерофотозйомок, для відбору зразків деревини також використовували свіжі лісоосіки та нижні склади на лісосіках.

За результатами авіаобстежень виявлено чимало лісових ділянок із поодинокими соснами та групами дерев, які всихають. Однак яскраво виражених ознак хвороби в'янення сосни, зокрема червоний колір хвої тощо, зареєструвати не вдалося. Ділянки було сфотографовано і позначено на картах лісгоспів для подальшого наземного обстеження. У позначених ділянках були проведені детальні наземні обстеження з відбором зразків деревини, ураженої стовбуровими шкідниками (вусачі, златки, короїди), для виділення нематод в лабораторних умовах.

Як свідчать одержані дані, вид *B. mucronatus* виявлено в 54% зразків деревини звичайної. Середня чисельність у 100 г деревини становила 139 екз., максимальна досягала 2124 екз. Всі зразки були відібрані із заражених жуками-ксилобіонтами дерев, а саме: від складованих колод на світлих лісоосіках, а також від пошкоджених комахами дерев, що збереглися по краях вирубок і мали гілки з побурілою хвоею. Як відомо, інтенсивне розмноження нематод відбувається у вегетуючому деревостой, де вони можуть живитися живими клітинами смоляних ходів, то ж слушно припустити, що виявлені нами популяції *B. mucronatus* причетні до пригнічення та всихання деревостою сосни звичайної.

Додатковим підтвердженням можливого прояву хвороби в'янення сосни у досліджуваному регіоні є той факт, що зібрані нами жуки-переносники соснової деревинної нематоди у більшості випадків були

заражені *B. mucronatus*. При цьому, популяції основного переносника (чорного соснового вусача *Monochamus galloprovincialis*) заражуються хвойною деревинною нематодою на 32,8%, златкою восьмикрапковою *Ancylocheira octoguttata* — на 80%. Кількість нематод, виділених з одного екземпляра чорного вусача, досягала 1230 особин, зі златки восьмикрапкової — 691 особину.

Отже, за результатами власних досліджень хвойна деревинна нематода *B. mucronatus* широко розповсюджена у хвойних лісах України і може бути причиною випадіння соснових дерев.

Ентомопатогенні нематоди

Серед систем захистку рослин, направлених на збереження навколишнього середовища, є орієнтовані на біологічні методи. Останнє десятиріччя особливу увагу привертають до себе види родин Steinernematidae і Heterorhabditidae (ряд Rhabditidae), які паразитують на комах. Найбільш характерною особливістю їх біології є те, що вони мають мутуалістичні зв'язки з бактеріями *Enterobacteriaceae*. Проникнувши в підходящого хазяїна, нематоди виділяють бактерії в гемоціль, які вбивають комах за 24—48 год. Ця здатність дозволяє використовувати їх у захисті рослин. Ентомопатогенні нематоди (ЕПН) цих родин добре розмножуються на комах та на штучних живильних середовищах, їх можна застосовувати в системах інтегрованого захисту рослин поряд з хімічними препаратами [22].

Створення біопрепаратів на основі ентомопатогенних нематод дасть змогу знизити кількість хімічних обробок з 2—3 на рік до однієї на 2—3 роки. Крім того проти ґрунтових та приховано-живучих шкідників біопрепарати є більш ефективними ніж хімічні.

Лабораторією нематології проведено серію досліджень щодо наявності ЕПН в агроценозах України та АР Крим, визначено видову належність виявлених ізолятів, розроблено методи розмноження ЕПН в лабораторних умовах на комах-живителях, та методи їх використання проти приховано-живучих шкідників садово-ягідних культур. За результатами досліджень опубліковано близько 20-ти наукових статей та монографію «Ентомопатогенні нематоди: еколого-біологічні особливості та ефективність використання проти шкідливих комах» (2021).

На наявність нематод було обстежено біоценози АР Крим, Київської, Вінницької, Миколаївської, Хмельницької, Сумської і Запорізької областей України. Нематод виділяли з ґрунтових проб методом «живих пасток», у якості яких використовували гусениць вощаної моли *Galleria melonella*. В областях України виявили заражених 21,2% проб у біоценозах. Більш зараженими ЕПН виявились агроценози, де відсоток заражених проб становив 25%, в садах цей відсоток не переви-

щував 22%, а в соснових розсадниках і посадці горіху ЕПН взагалі не виявили. Шляхом співвідношення морфометричних показників всіх стадій розвитку (в першу чергу личинок і самців) ми встановили належність всіх виявлених нами в Україні ізолятів до трьох видів ентомонематод, а саме: двох видів роду *Steinernema* (*S. feltiae* і *S. carpocapsae*) і одного виду роду *Heterorhabditis* (*H. bacteriophora*).

Біоценози Криму менше заселені ЕПН, лише 5,5% зразків містили нематод. Під декоративними, лучними та декоративними культурами зафіксовано зараження на рівні 6,7%. У польових агроценозах Криму ентомонематод не виявили, що напевно пояснюється нестачею вологи. Видовий склад також бідніший, тут виявлено лише два види — *S. feltiae* та *H. bacteriophora*.

Значний обсяг робіт присвячено виділенню та опису морфологічних особливостей різних стадій розвитку (самців, самиць, личинок) трьох виявлених нами видів ентомопатогенних нематод. Лабораторне випробування виявлених ізолятів ЕПН показало високу смертність (80—100%) бурякового довгоносика, діабротики, колорадського жука, грибного комарика, східної та яблуневої плодожерок. Польові випробування також підтвердили високу сприйнятливість шкідників до місцевих ізолятів штейнернем та гетерорабдитид. Залежно від погодних умов, забезпеченості необхідним обладнанням та задля досягнення кращих результатів за найменших затрат краще використовувати спосіб поливу ґрунту під культурою водною суспензією нематод.

ВИСНОВКИ

Високий рівень чисельності паразитичних видів нематод (200—800 особин в 100 см³ ґрунту) має суттєвий вплив на ріст, розвиток і урожайність основних польових та квіткових декоративних культур в Україні. У роки, сприятливі для розвитку нематод, спостерігається зворотна залежність між масою рослин і врожаєм. Втрати можуть сягати 35—55% біомаси культур у перші місяці вегетації і 20—30% врожаю наприкінці [10].

Агроценози більш чутливі, ніж природні ценози, до змін зовнішнього середовища. Завдяки цьому такі звичайні для агроценозів заходи, як сівозмінна культур на полях, попередники, добрива, глибина обробітку ґрунту впливають на щільність популяції паразитичних нематод і можуть бути використані для регулювання їхньої чисельності. Наприклад, види що сягають високої чисельності на пшениці (пратиленхи, гелікотиленхи, тиленхорінхи) — малочисельні на буряку цукровому, для якого є характерними бурякова нематода і паратиленхи. Підвищенню чисельності фітогельмінтів також сприяють мінеральні добрива та поверхневий обробіток ґрунту. Навпаки, органічні добрива і глибока оранка — знижують чисельність паразитичних видів.

Особливу проблему в усьому світі, і в Україні зокрема, становлять соснові деревинні нематоди, життєвий цикл яких значно відрізняється від звичайних видів фітогельмінтів. В Україні, за результатами обстежень лабораторії нематології один із представників цієї групи, а саме *Bursaphelenchus mucronatus*, поширений в соснових лісах Київської і Чернігівської областей та є причиною пригнічення і всихання насаджень сосни звичайної [21].

Використання ентомопатогенних нематод проти сисних комах та комах-шкідників кореневої системи є більш ефективним у порівнянні із використанням пестицидів. На цьому базується створення в багатьох країнах світу біопрепаратів на основі ЕПН. Багаторічні дослідження поширення нематод цієї групи в Україні дали можливість виявити три види, які досить щільно (21,2% проаналізованих проб) заселяють біотопи України та є ефективними проти ґрунтових та інших прихованоживучих шкідників [22].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Odum E.P. Fundamentals of ecology. Sanders: Philadelphia. 1959. 546 p.
2. Minderman A. Aims and methods in population researchers on soil-inhabiting nematodes. *Nematologica*. 1956. Vol. 1. N 4. P. 47—50.
3. Harris P.M. The effect of plant population and irrigation on sugar beet. *J.agric. Sci.* 1972. Vol. 78. P. 289—302.
4. Nusbaum C.J., Barker K.K. Population dynamics. In: *Plant Parasitic Nematodes*. New York. 1971. P. 303—323.
5. Nusbaum C.J., Ferris H. The role of cropping systems in nematode population management. *Annu.Rev.Phytopathol.* Vol. 11. Palo Alto, Calif. 1973. P. 423—440.
6. Сigareва Д.Д. Влияние насыщения севооборотов свеклой на поражаемость ее фитонематодами. *Теоретические основы и практические приемы выращивания сахарной свеклы и других культур*: сб. науч. трудов Всесоюзного ордена Ленина научно-исследовательского института сахарной свеклы (ВНИС). Киев, 1977. С. 99—101.
7. Сigareва Д.Д. Влияние глубины вспашки, удобрений и предшественников на численность фитонематод на сахарной свекле и озимой пшенице. *Борьба с вредителями сахарной свеклы при возделывании ее по индустриальной технологии*: Сб. научн. тр. ВНИС. Киев, 1984. С. 155—164.
8. Сігарьова Д.Д., Галаган Т.О., Нікішичева К.С. Нематодози озимой пшениці як об'єкти обліку та прогнозування Державною службою захисту рослин. *Інтегрований захист рослин на початку ХХІ століття*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. УААН. Ін-т захисту рослин. Київ, 2004. С. 91—97.
9. Сigareва Д.Д. Мониторинг и контроль численности паразитических нематод на сельскохозяйственных культурах в Украине. *Нематоды есте-*

ственных и трансформированных экосистем: сб. научных трудов. Петрозаводск, 2007. С. 85—87.

10. Сигарьова Д.Д., Пилипенко Л.А., Борзих О.І., Ковтун А.М. Сільсько-господарська нематологія: монографія. Київ: Аграрна наука, 2017. 340 с.

11. Murphy W.S., Brodie B.B., Good G.M. Population dynamics of plant nematodes in cultivated soil: effects of combinations of cropping systems and nematicides. *J.Nematol.* 1974. Vol. 6. № 3. P. 103—107.

12. Сигарьова Д.Д., Галаган Т.О., Жиліна Т.М., Нікішичева К.С. Методи моніторингу *Globodera rostochiensis* Woll. Інтегрований захист рослин. Проблеми та перспективи: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 13—16 лист. 2006 р.) Київ, 2006. С. 165—167.

13. Корма А.М., Сигарева Д.Д. Фауна нематод древесины сосны. Результаты исследования Полесской зоны Украины. Тр. VI Междунар. научн.-практ. конф «Паразитарные болезни человека, животных и растений». Витебск: ВМГУ, 2008. С. 277—279.

14. Evans H.F., McNamara D.G., Braasch H., Chadoeuf J., Magnusson C. Pest risk analysis (PRA) for the territories of the European union (as PRA area) on *Bursaphelenchus xylophilus* and its vectors in the genus *Monochamus*. *Bull. OEPP.* 1996. V. 26. № 2. P. 199—249.

15. Abad O., Tares S., Brugier N., de. Gurian G. Characterization of the relationships in the pine wood nematode species complex (PWNSC) (*Bursaphelenchus* spp.) using a heterologous unc-22 DNA probe from *Caenorhabditis elegans*. *Parasitology.* 1991. № 102. P. 303—308.

16. Mamiya Y. Pathology of pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. *Annual Revive of Phytopathology.* 1983. № 21. P. 201—220.

17. Mamiya Y. Review on the pathogenicity of *Bursaphelenchus mucronatus*. *Sustainability of pine forests En relation to pine wilt and decline: proc. of the Symp.* Tokyo, Japan, 26—30 Oct. 1998. Kyoto: Shokado Shoten. 1999. P. 57—63.

18. Кулинич О.А., Козырева Н.И. Сосновая древесная нематода *Bursaphelenchus xylophilus*: исследование в России и за рубежом. *Паразитические нематоды растений и насекомых.* Москва: Наука, 2004. С. 100—118.

19. Shauer-Blume M. Preliminary investigations on pathogenicity of European *Bursaphelenchus* species in comparison to *Bursaphelenchus xylophilus* from Japan. *Rev. nematol.* 1990. Vol. 13. № 2. P. 191—195.

20. Борзих О.І., Сигарьова Д.Д., Корма О.М., Бей П.О. Рекомендації з методів моніторингу соснових деревинних нематод роду *Bursaphelenchus*: монографія. Київ: Колобіг, 2012. 68 с.

21. Корма О.М., Сигарьова Д.Д. Комплекс нематод-ксилобіонтів сосни звичайної східного Полісся України: особливості екології та біології: монографія. Чернівці: ТОВ «ДеснаПоліграф», 2017. 375 с.

22. Сігарьова Д.Д., Борзих О.І., Бондар Т.І. Ентомопатогенні нематоди родин Steinernematidae і Heterorhabditidae: поширення в Україні, ефективність застосування проти прихованоживучих комах: монографія. Київ: ТОВ «Лазурит-Поліграф», 2021. 250 с.

Сигарева Д.Д., Бондарь Т.И., Никишичева К.С., Николайчук Л.П.
Институт защиты растений НААН, ул. Васильковская, 33, г. Киев, 03022, Украина, e-mail: dd.sigareva@ukr.net, tt.bondar@gmail.com

Основные этапы развития сельскохозяйственной нематологии

Цель. Проанализировать биологические закономерности, на основании которых построены принципы создания методов мониторинга и контроля нематодозов полевых культур и древесных растений, а также — возможность создания биопрепаратов на основе энтомопатогенных нематод из местных штаммов, которые были определены в лаборатории нематологии. **Методы.** Анализ результатов разработок лаборатории за 30 лет проведения исследований. **Результаты.** Высокий уровень численности паразитических видов нематод (200—800 особей в 100 см³ почвы) существенно влияет на рост, развитие и урожайность основных полевых и цветочно-декоративных культур. Потери могут достигать 35—55% биомассы (или декоративности) культур и 20—30% урожая. Агроценозы более чувствительны, чем природные ценозы, к изменениям в окружающей среде. Поэтому, такие агротехнические приёмы, как севооборот, видовой и сортовой состав культур в севообороте, система удобрения, способы обработки почвы и другие имеют значительное влияние на изменение плотности популяций паразитических нематод, поэтому могут быть использованы для регулирования их численности. По результатам обследований лаборатории в Украине была выявлена сосновая древесная нематода *B. mucronatus*, которая является причиной угнетения и усыхания лесных насаждений сосны обыкновенной. Разработаны методы мониторинга этого нового для страны вида фитопаразитических нематод. Многолетние исследования распространения энтомопатогенных нематод в Украине дали возможность выявить три вида, которые довольно плотно (21,2% проанализированных образцов) заселяют биотопы Украины. Они показывают высокую эффективность против почвенных и других скрытноживущих насекомых-вредителей, поэтому являются перспективными для создания препаратов на основе ЭПН. **Выводы.** Использование разработанных в лаборатории методов мониторинга и контроля численности популяций фитопатогенных нематод даст возможность сдерживать вредоносность этой группы патогенов на низком уровне, сохраняя до 20—30% урожая, и предупредить усыхание хвойных лесов по причине бурсафеленхоза.

фитогельминты; нематодные заболевания; мониторинг нематодозов; экологически безопасные технологии защиты; противонематодные защитные мероприятия

Sigareva D., Bondar T., Nikishicheva K., Nikolaytchuk L.

Institute of Plant Protection of NAAS, 33, Vasilkovskaya str., Kyiv, 03022, Ukraine, e-mail: dd.sigareva@ukr.net, tt.bondar@gmail.com

The main stages of development of agricultural nematology

Goal. *Analyze the biological patterns underlying the principles of creating methods for monitoring and control of nematodes of field crops and woody plants, as well as the possibility of creating biological products based on EPN from local strains identified by the laboratory of nematology.* **Methods.** *Analysis of the results of laboratory developments for 30 years of research.* **Results.** *The high level of the number of parasitic species of nematodes (200—800 individuals in 100 cm³ of soil) has a significant impact on the growth, development and yield of the main field and flower ornamental crops. Losses can reach 35—55% of biomass (or ornamental) crops and 20—30% of the crop. Agro-cenoses are more sensitive than natural coenoses to changes in the environment. Due to this, such agrotechnical measures as crop rotation, species and varietal composition of crops in crop rotation, fertilization system, tillage methods, etc. significantly affect the population density of parasitic nematodes, so they can be used to regulate their numbers. According to the results of laboratory tests in Ukraine, the pine wood nematode *B. mucronatus* was found, which is the cause of suppression and drying of Scots pine plantations. Methods for monitoring this new species of phytoparasitic nematodes have been developed. Long-term studies of the spread of entomopathogenic nematodes in Ukraine have made it possible to identify three species that quite densely (21.2% of the analyzed samples) inhabit the habitats of Ukraine, show high effectiveness against soil and other pests, so are promising for biopreparations based on entomopathogenic nematodes.* **Conclusions.** *The use of methods developed in the laboratory for monitoring and controlling the number of populations of phytopathogenic nematodes will keep the damage from this group of pathogens at a low level, preserving up to 20—30% of the crop, and prevent drying of coniferous forests from bursaphelenchosis.*

phytohelminths; nematode diseases; nematode monitoring; environmentally friendly protection technologies; nematode protection measures

REFERENCES

1. Odum E.P. (1959). Fundamentals of ecology. Sanders: Philadelphia. 546 p.
2. Minderman A. (1956). Aims and methods in population researchers on soil-inhabiting nematodes. *Nematologica*. Vol. 1. N 4. P. 47—50.

3. Harris P.M. (1972). The effect of plant population and irrigation on sugar beet. *J. agric. Sci.* Vol. 78. P. 289—302.

4. Nusbaum C.J., Barker K.K. (1971). Population dynamics. In: *Plant Parasitic Nematodes*. New York. P. 303—323.

5. Nusbaum C.J., Ferris H. (1973). The role of cropping systems in nematode population management. *Annu. Rev. Phytopathol.* Vol. 11. Palo Alto, Calif. P. 423—440.

6. Sigareva D.D. (1977). Vliyanie насыщения севооборотов свеклой на поражение ее фитонематодами. [Influence of saturation of crop rotations with beets on its susceptibility to phytonematodes]. *Teoreticheskie osnovy i prakticheskie priemy vyrashchivaniya sakharnoy svekly i drugih kul'tur: sb. nauch. trudov Vsesoyuznogo ordena Lenina nauchno-issledovatel'skogo instituta sakharnoy svekly (VNIS)*. Kiev. S. 99—101. (in Russian).

7. Sigareva D.D. (1984). Vliyanie glubiny vspashki, udobreniy i predshestvennikov na chislennost' fitonematod na sakharnoy svekle i ozimoy pshenitse. [Influence of plowing depth, fertilizers and predecessors on the number of plant nematodes on sugar beet and winter wheat]. *Bor'ba s vreditelyami sakharnoy svekly pri vozdeleyanii ee po industrial'noy tekhnologii: Sb. nauchn. tr. VNIS*. Kiev, S. 155—164. (in Russian).

8. Siharova D.D., Halahan T.O., Nikishycheva K.S. (2004). Nematodozy ozymoi pshenytsi yak obiekty obliku ta prohnozuvannya Derzhavnoiu sluzhboiu zakhystu roslyn. [Nematodes of winter wheat as objects of accounting and forecasting by the State Plant Protection Service]. *Intehrovanyi zakhyst roslyn na pochatku XXI stolittia: materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. UAAN*. In-t zakhystu roslyn. Kyiv, S. 91—97. (in Ukrainian).

9. Sigareva D.D. (2007). Monitoring i kontrol' chislennosti paraziticheskikh nematod na sel'skokhozyaystvennykh kul'turakh v Ukrainie. [Monitoring and control of the number of parasitic nematodes on agricultural crops in Ukraine]. *Nematody estestvennykh i transformirovannykh ekosistem: sb. nauchnykh trudov. Petrozavodsk*, S. 85—87. (in Russian).

10. Siharova D.D., Pylypenko L.A., Borzykh O.I., Kovtun A.M. (2017). Silskohospodarska nematolohiia: monohrafiia. [Agricultural nematology: monograph]. Kyiv: Ahrarna nauka, 340 s. (in Ukrainian).

11. Murphy W.S., Brodie B.B., Good G.M. (1974). Population dynamics of plant nematodes in cultivated soil: effects of combinations of cropping systems and nematicides. *J. Nematol.* Vol. 6. № 3. P. 103—107.

12. Siharova D.D., Halahan T.O., Zhylyna T.M., Nikishycheva K.S. (2006). Metody monitorynhu Globodera rostochiensis Woll. [Monitoring methods Globodera rostochiensis Woll.]. *Intehrovanyi zakhyst roslyn. Problemy ta perspektyvy: materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (Kyiv, 13—16 lyst. 2006 r.) Kyiv. S. 165—167. (in Ukrainian).

13. Korma A.M., Sigareva D.D. (2008). Fauna nematod drevesiny sosny. Rezul'taty issledovaniya Polesskoy zony Ukrainy. [Fauna of pine wood nematodes.

Results of the study of the Polesie zone of Ukraine]. Tr. VI Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf «Parazitarnye bolezni cheloveka, zhivotnykh i rasteniy». Vitebsk: VMGU, S. 277—279. (in Russian).

14. Evans H.F., McNamara D.G., Braasch H., Chadoeuf J., Magnusson C. (1996). Pest risk analysis (PRA) for the territories of the European union (as PRA area) on *Bursaphelenchus xylophilus* and its vectors in the genus *Monochamus*. Bull. OEPP. V. 26. № 2. P. 199—249.

15. Abad O., Tares S., Brugier N., de. Gurian G. (1991). Characterization of the relationships in the pine wood nematode species complex (PWNSC) (*Bursaphelenchus* spp.) using a heterologous unc-22 DNA probe from *Caenorhabditis elegans*. Parasitology. № 102. P. 303—308.

16. Mamiya Y. (1983). Pathology of pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. Annual Revive of Phytopathology. № 21. P. 201—220.

17. Mamiya Y. (1999). Review on the pathogenicity of *Bursaphelenchus mucronatus*. Sustainability of pine forests En relation to pine wilt and decline: proc. of the Symp. Tokyo, Japan, 26—30 Oct. 1998. Kyoto: Shokado Shoten. P. 57—63.

18. Kulinich O.A., Kozyreva N.I. (2004). Sosnovaya drevesnaya nematoda *Bursaphelenchus xylophilus*: issledovanie v Rossii i za rubezhom. [Pine tree nematode *Bursaphelenchus xylophilus*: research in Russia and abroad]. Paraziticheskie nematody rasteniy i nasekomykh. Moskva: Nauka. S. 100—118. (in Russian).

19. Shauer-Blume M. (1990). Preliminary investigations on pathogenicity of European *Bursaphelenchus* species in comparison to *Bursaphelenchus xylophilus* from Japan. Rev. nematol. Vol. 13. № 2. P. 191—195.

20. Borzykh O.I., Siharova D.D., Korma O.M., Bei P.O. (2012). Rekomendatsii z metodiv monitorynhu osnovnykh derevyynykh nematod rodu *Bursaphelenchus*: monohrafiia. [Recommendations for methods of monitoring pine wood nematodes of the genus *Bursaphelenchus*: monograph]. Kyiv: Kolobih. 68 s. (in Ukrainian).

21. Korma O.M., Siharova D.D. (2017). Kompleks nematod-ksylobiontiv sosny zvychnoi skhidnoho Polissia Ukrainy: osoblyvosti ekologii ta biologii: monohrafiia. [Complex of nematodes-xylobionts of Scots pine of eastern Polissya of Ukraine: features of ecology and biology: monograph]. Chernihiv: TOV «DesnaPolihraf». 375 s. (in Ukrainian).

22. Siharova D.D., Borzykh O.I., Bondar T.I. (2021). Entomopatohenni nematody rodyn Steinernematidae i Heterorhabditidae: poshyrennia v Ukraini, efektyvnist zastosuvannia proty prykhovanozhyvuchykh komakh: monohrafiia. [Entomopathogenic nematodes of the families Steinernematidae and Heterorhabditidae: distribution in Ukraine, effectiveness of application against latent insects: monograph]. Kyiv: TOV «Lazuryt-Polihraf». 250 s. (in Ukrainian).

Надійшла 09.07.2021 р.