



PHARMACOLOGICAL ANALYSIS AND SYSTEMATIZATION OF MODERN INSECTOACARICIDES IN VETERINARY MEDICINE: WORLD EXPERIENCE AND PROSPECTS OF APPLICATION

D.V. Konkin¹, Ye.V. Vashchuk¹, A.V. Kiptenko¹, O.V. Ladogubets², K.A. Duchenko²

¹National Scientific Center “Institute of Experimental and Clinical Veterinary Medicine”,
Kharkiv, Ukraine

²State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

ORCID

D.V. Konkin: <https://orcid.org/0009-0008-1581-4783>

Ye.V. Vashchuk: <https://orcid.org/0000-0002-5980-6290>

A.V. Kiptenko: <https://orcid.org/0009-0002-6289-1745>

O.V. Ladogubets: <https://orcid.org/0000-0002-0977-5940>

K.A. Duchenko: <https://orcid.org/0009-0009-2518-9296>

E-mail: teremok1031@gmail.com

Abstract. Ectoparasites have not only a direct pathogenic effect on the animal body, but are also key vectors of transmissible infections, including zoonoses. In veterinary medicine, the following groups of insectoacaricides are mainly used: isoxazolines, spinosyns, macrocyclic lactones, neonicotinoids, phenylpyrazoles, formamidines, pyrethrins and synthetic pyrethroids, carbamates, organophosphates, insect growth regulators, plant repellents. A review and analysis of the effectiveness under the conditions of safety of modern insectoacaricides indicates the priority of innovative highly selective compounds (isoxazolines, spinosyns, macrocyclic lactones). Market development is focused on the gradual displacement of traditional groups of insectoacaricides (organophosphates and carbamates) due to high non-target toxicity and development of resistance in ectoparasites. The conducted pharmacological analysis of molecular targets of the presented groups of insecticides confirms that modern agents – isoxazolines, spinosyns, macrocyclic lactones are highly selective and safe, which is justified by the specific affinity for invertebrate receptors (nAChRs, GluCl_s, GABA_{Cl}s, etc.), which are significantly different from similar structures in mammals or are completely absent in them. The most pronounced prolonged effect is provided by systemic agents of the isoxazoline and macrocyclic lactone groups. The development of combined drugs, which demonstrate an advantage over monodrugs, is promising. An important aspect is the formation of resistance in parasites to active substances, which necessitates the rational use of drugs and the development of new drug rotation and control strategies aimed at slowing the development of resistance. An integrated approach to combating ectoparasites will help increase the effectiveness of preventive measures and reduce economic losses in livestock farming, and is also important within the framework of the «One Health» concept.

Key words: *isoxazolines, spinosyns, macrocyclic lactones, neonicotinoids, phenylpyrazoles, insect growth regulators, plant repellents, formamidines.*

ФАРМАКОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ СУЧАСНИХ ІНСЕКТОАКАРИЦИДНИХ ЗАСОБІВ У ВЕТЕРИНАРНІЙ МЕДИЦИНІ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ

Д.В. Конкін¹, Є.В. Ващик¹, А.В. Кіптенко¹, О.В. Ладогубець², К.А. Дученко²

¹Національний науковий центр «Інститут експериментальної і клінічної ветеринарної медицини», Харків, Україна

²Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

E-mail: teremok1031@gmail.com

Анотація. Ектопаразити чинять не лише прямий патогенний вплив на організм тварин, а й є ключовими векторами трансмісивних інфекцій, в тому числі зоонозів. У ветеринарній медицині переважно застосовують групи інсектоакарицидів: ізоксазоліни, спіносини, макроциклічні лактони, неонікотиноїди, фенілпіразоли, формамідини, піретрини та синтетичні піретроїди, карбамати, органофосфати, регулятори росту комах, рослинні репеленти. Огляд та аналіз ефективності за умов безпечності сучасних інсектоакарицидних препаратів свідчить про пріоритетність інноваційних високоселективних сполук (ізоксазоліни, спіносини, макроциклічні лактони). Розвиток ринку акцентований на поступове витіснення традиційних груп інсектоакарицидів (органіофосфатів та карбаматів) по причині високої нецільової токсичності та розвитку резистентності ектопаразитів. Проведений фармакологічний аналіз молекулярних мішеней представлених груп інсектицидів підтверджує, що сучасні засоби – ізоксазоліни, спіносини, макроциклічні лактони є високоселективними та безпечними, що обґрунтовано специфічною спорідненістю до рецепторів безхребетних (nAChRs, GluCl_s, GABA_ACl_s та інш.), які істотно різняться від аналогічних структур ссавців або повністю у них відсутні. Найбільш виражену пролонговану дію мають системні засоби груп ізоксазолінів та макроциклічних лактонів. Перспективною є розробка комбінованих препаратів, які демонструють перевагу над монопрепаратами. Важливим аспектом є також формування резистентності у паразитів до діючих речовин, що знижує ефективність традиційних схем лікування та профілактики. Це обумовлює необхідність раціонального застосування препаратів і розробки нових стратегій ротації препаратів та контролю, спрямованих на уповільнення розвитку стійкості. Комплексний підхід до боротьби з ектопаразитами сприятиме підвищенню ефективності профілактичних заходів і зменшенню економічних втрат у тваринництві, а також має позитивне значення в соціальному аспекті з огляду концепції «Єдине Здоров'я».

Ключові слова: ізоксазоліни, спіносини, макроциклічні лактони, неонікотиноїди, фенілпіразоли, регулятори росту комах, рослинні репеленти, формамідини.

Вступ. *Актуальність.* Протипаразитарні засоби використовуються у ветеринарній медицині фактично з моменту виникнення організованого тваринництва. Спочатку домінував емпіризм – безсистемний пошук лікарських засобів із усього, що оточувало людину – який у давні часи та середньовіччі часто поєднували із релігією. «В природі не існує такої речовини, яка б не була придатна в якості лікарського засобу» – одне із правил древньої медицини Тибету (Хмельницький et al., 2001). Наука пройшла шлях від рослинних, тваринних і мінеральних засобів у поєднанні з містичними практиками в античності та середні віки до появи синтетичних антигельмінтиків у 20-му ст., продовжуючи розвиватися. Сучасні протипаразитарні препарати поділяють на кілька основних груп в залежності від виду паразитів і однією з найбільших із них є інсектоакарицидні препарати, дія яких спрямована проти членистоногих паразитів, таких як воші, блохи, кліщі, комарі, мошки, гедзі.

Ектопаразити чинять не лише прямий патогенний вплив на організм тварин, а й є ключовими векторами трансмісивних інфекцій, в тому числі зоонозів, що обґрунтовує контроль їх чисельності як стратегічне завдання ветеринарної медицини згідно концепції «Єдине здоров'я» (One Health). Стрімкий розвиток фармакологічної науки забезпечив розробку інноваційних молекул, а саме ізоксазолінів та продуктів мікробної ферментації - макроциклічні лактони, спіносини, які істотно різняться у порівнянні до класичних препаратів за механізмом дії, безпечністю та тривалістю захисного ефекту. Розвиток резистентності популяцій членистоногих до традиційних синтетичних інсектицидів та зміна екологічних вимог до ветеринарних засобів спричиняють необхідність оновлення розроблених схем інсектоакарицидних обробок. Тому систематизація інформації про сучасні інсектоакарициди є дуже важливою для науково обґрунтованого вибору засобів, які будуть забезпечувати ефективність за мінімального екологічного навантаження на довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Новітні розробки та впровадження інсектоакарицидних препаратів представлено у працях провідних світових науковців. Так, аспекти молекулярних механізмів дії та класифікації за класифікацією IRAC ґрунтовно досліджено та висвітлено у працях Sparks & Nauen, 2015, а також у більш пізніх оглядах Sparks et al., 2020, 2021, в яких представлено розвиток класифікації та її оновлення з урахуванням нових груп діючих речовин та розвитку резистентності.

Аналіз фармакокінетичних особливостей ізоксазолінів останнього покоління представлений у роботах Zhou et al. (2022); Geurden et al. (2023); Ireland et al. (2023). Проблему розвитку резистентності ектопаразитів до макроциклічних лактонів вивчали Salman et al. (2022); Gernandt et al. (2025) та до піретроїдів Obaid et al., (2022); Mavromati & Mehmedi (2023). У той же час, у вітчизняній науковій літературі, наряду із достатньою кількістю прикладних досліджень щодо ефективності препаратів окремих торгових марок, недостатньо комплексних аналітичних оглядів, що поєднують світові класифікаційні стандарти із систематизацією новітнього асортименту засобів, наявних на ринку України.

Мета роботи. Провести комплексний фармакологічний аналіз та вивчити систематизацію сучасних груп інсектоакарицидних препаратів, які застосовуються у ветеринарній медицині, на основі їх хімічної природи, молекулярних механізмів дії та токсичності.

Завдання:

- визначити загальні принципи класифікації інсектоакарицидних засобів згідно світового досвіду;
- провести теоретичний аналіз та систематизацію сучасних інсектоакарицидних засобів за розташуванням від інноваційних високоселективних засобів до класичних груп препаратів;
- дати характеристику головних груп діючих речовин в аспекті молекулярних мішеней та оцінку їх ефективності на основі аналізу світових наукових джерел;
- зробити порівняльний аналіз тривалості захисного ефекту та рівня безпечності різних груп засобів для тварин, людей та довкілля;
- вивчити ефективність та перспективність груп препаратів природного походження (спіносинів, макроциклічних лактонів, фіторепелентів) у сучасних схемах боротьби із ектопаразитами;
- дослідити наявність головних фармакологічних груп інсектоакарицидів іноземних та вітчизняних препаратів на ринку ветеринарних засобів в Україні.

Основна частина. У сучасній науковій та практичній діяльності, зокрема у таких галузях, як ветеринарна та гуманна медицина, сільське господарство, санітарно-епідеміологічна практика, використовуються класифікації інсектоакарицидних засобів за різними принципами згідно їх ключових характеристик та сфери застосування. Актуальними є систематика за механізмом дії, хімічною структурою діючих речовин, походженням (синтетичні або природні), способом потрапляння в організм членистоногих,

а також за призначенням та спектром активності. Кожен із цих підходів застосовується відповідно до мети дослідження або практичного застосування засобів.

У міжнародній практиці популярною є класифікація за механізмом дії – IRAC MoA Classification (Mode of Action Classification), розроблена Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). Така класифікація обґрунтована поділом діючих речовин препаратів на групи в залежності від впливу на біохімічні та фізіологічні процеси в організмі членистоногих (в першу чергу, на нервову систему, процеси росту та розвитку). На основі MoA класифікації будують стратегії управління резистентністю інсектоакарицидних препаратів.

Водночас, IRAC MoA Classification базується на систематиці з поділом на групи за хімічною структурою: у системі IRAC діючі речовини групують насамперед за механізмом дії, але всередині групи препарати представлені за хімічними класами. Таким чином, поділ за хімічною структурою використовується як другий рівень систематики.

В роботі представлено огляд найбільш актуальних груп інсектоакарицидів у ветеринарній медицині: ізоксазоліни, спиносини, макроциклічні лактони, неонікотинοїди, фенілпіразоли, формаїдини, піретрини та синтетичні піретроїди, карбамати, органофосфати, регулятори росту комах, рослинні репеленти. За основу систематизації було обрано класифікацію за хімічною структурою діючих речовин, що забезпечує логічну послідовність представлення матеріалу, зрозуміле групування препаратів як в академічних посібниках та можливість їх комплексної характеристики. Порядкове розташування груп препаратів здійснюється від сучасних високоселективних синтетичних та напівсинтетичних сполук до класичних нейротоксичних речовин, із виділенням окремих груп засобів із регуляторною дією та фіторепелентів, що забезпечує додаткову систематизацію матеріалу.

Ізоксазоліни – це клас ветеринарних інсектицидних та акарицидних засобів, які діють шляхом селективного пригнічення глутамат- та ГАМК- залежних хлоридних каналів (Glutamate-gated chloride channels, GluCl_s та Gamma-aminobutyric acid-gated chloride channels, GABACl_s відповідно) у нервовій системі безхребетних, спричинюючи параліч та загибель ектопаразитів, таких як блохи, воші та кліщі (Zhou et al., 2022; Jiang & Old, 2025). Активними діючими речовинами є флураланер, афоксоланер, сароланер та лотиланер, які мають швидкий початок дії та високу ефективність проти різних видів паразитів (Zhou et al., 2022; Ireland et al., 2023; Jiang & Old, 2025).

Флураланер має високу біодоступність і найтриваліший період напіввиведення (12–15 діб), що забезпечує пролонгований захист до 12 тижнів. При цьому сполука повільніше за інші сполуки створює максимальну концентрацію в плазмі крові (від 1 до 3 діб) (Zhou et al., 2022). Наприклад, препарати на основі флураланеру:

- Bravecto жувальні таблетки для собак (MSD Animal Health, США);
- Bravecto Spot-On краплі для собак та котів (MSD Animal Health, США);
- Bravecto PLUS (MSD Animal Health, США) – комбінований препарат для котів, що містить флураланер та моксидектин та захищає від кліщів, бліх та гельмінтів;
- Exzolt (MSD Animal Health, США) – системний препарат, призначений для лікування та профілактики зараження червоним курячим кліщем у курей-несучок, племінної птиці і молодняку.

Афоксоланер характеризується швидким всмоктуванням (пік через 2–6 годин), має період напіввиведення 10–14 діб та забезпечує захист протягом 4 тижнів (Zhou et al., 2022). Наприклад, препарати з діючою речовиною афоксоланер:

- NexGard (Boehringer Ingelheim Animal Health, Німеччина) – препарат у вигляді жувальних таблеток, призначений для лікування та профілактики собак від зараження блохами та іксодовими кліщами);
- NexGard Spectra (Boehringer Ingelheim Animal Health, Німеччина) – комбінований препарат у вигляді жувальних таблеток, який, окрім бліх та кліщів, захищає від шлунково-кишкових нематодозів та дирофіляріозу).

Сароланер демонструє стабільну концентрацію в плазмі протягом 4 тижнів; пік досягається через 3–12 годин, а період напіввиведення становить 10–12 діб (Zhou et al., 2022). Наприклад, засоби, що містять сароланер:

- Simparica (Zoetis, США) – жувальні таблетки для собак для лікування та профілактики зараження блохами та іксодовими кліщами;
- Simparica TRIO (Zoetis, США) – комплексний препарат, який окрім сароланера містить моксидектин та пірантел й забезпечує захист від бліх, кліщів, а також шлунково-кишкових нематод та дирофілярій.

Лотиланер має найкоротший період напіввиведення в порівнянні з іншими ізоксазолінами (4–6 діб), досягає максимальної концентрації близько 2–4 годин й достатній для застосування протягом місяця (Zhou et al., 2022). Препарати з активною речовиною лотиланер:

- Credelio (Elanco Animal Health, США) – жувальні таблетки для котів для лікування та профілактики зараження блохами та іксодовими кліщами, також є аналогічний засіб для собак;
- Credelio Plus (Elanco Animal Health, США) – жувальні таблетки для собак, що, крім бліх та кліщів, захищають від дирофіляріозу та шлунково-кишкових гельмінтів.

Сполуки класу ізоксазолінів призначають перорально або місцево собакам та котам, показання включають профілактику та лікування зараження блохами та кліщами. Протипоказання обмежені, але рекомендується обережність для деяких чутливих порід або тварин з неврологічними розладами, що підтверджують вчені у своїх публікаціях (Zhou et al., 2022; Geurden et al., 2023; Ireland et al., 2023). Побічні ефекти, як правило, легкі, але в рідкісних випадках можуть включати неврологічні ознаки. Також існують екологічні проблеми через досить тривалий період виведення та потенційну токсичність для нецільових видів, таких як бджоли (Jiang et al., 2025). Rodrigues et al. (2025) свідчать, що резистентність до ізоксазолінів ще не була широко зареєстрована, але необхідне постійне спостереження, враховуючи збільшення їхнього використання. Дослідження безпеки у роботі Zhou et al. (2022) були проведені для всіх чотирьох ізоксазолінових сполук у дозах, які щонайменше у п'ять разів перевищують рекомендовані, без очевидних побічних ефектів, за винятком спостережуваних неврологічних ефектів. Обмежені дослідження безпеки показали, що ізоксазоліни є безпечними для котів. Безпека застосування афоксоланеру, флураланера та лотиланера цуценят або кошенят була підтверджена при пероральному або місцевому застосуванні в дозах, що в 1, 3 або 5 разів перевищували максимальну дозу, схвалену Управлінням з санітарного нагляду за якістю харчових продуктів та медикаментів США, тоді як легка та самообмежувальна атаксія та тремор із судомами спостерігалися у 8-тижневих цуценят, яких лікували підвищеними дозами. Обмежені теріогенетичні дані показали, що лікування ізоксазолінами не має помітного впливу на репродуктивний статус або аналіз сперми, але може призвести до деформації кінцівок, збільшення серця та селезінки, а також розщеплення піднебіння у новонароджених цуценят. На думку дослідників, ветеринари повинні бути обережними під час призначення ізоксазолінів вагітним та годуючим сукам, доки не будуть проведені подальші дослідження безпеки (Zhou et al., 2022). Порівняльні дослідження авторів підтверджують ефективність всіх сполук групи ізоксазолінів, але відмічають різницю в тривалості дії, профілях безпеки та смакових якостях лікарської форми, що впливає на клінічний вибір, а майбутні дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію цих агентів для ширшого використання видів та мінімізацію впливу на навколишнє середовище (Zhou et al., 2022; Geurden et al., 2023; Jiang & Old, 2025).

Спіносини – це клас інсектицидних та акарицидних засобів, отриманих з продуктів природної ферментації *Saccharopolyspora spinosa*, де речовина спіносад є активним інгредієнтом, який широко використовується у ветеринарній медицині. Вони діють головним чином, впливаючи на нікотинові ацетилхолінові рецептори (nAChRs) у нервовій

системі комах, викликаючи безперервну активацію, що призводить до паралічу та смерті (Sparks et al., 2025).

Спіносад є сумішшю двох основних макроциклічних лактонів – спіносину А та спіносину D, які утворюються під час ферментації бактерії *Saccharopolyspora spinosa*. Речовина характеризується швидким початком інсектицидної дії та високою ефективністю проти бліх. Після перорального застосування у собак спіносад добре всмоктується у шлунково-кишковому тракті, досягаючи максимальної концентрації в плазмі крові приблизно через 2–4 години, а період напіввиведення сягає 10–20 год. Механізм його дії полягає у стимуляції nAChR нервової системи комах, що викликає неконтрольовану нервову активність, параліч і загибель паразитів. У ветеринарній практиці спіносад застосовується переважно для лікування та профілактики зараження ектопаразитами у тварин та птиці. Він забезпечує швидке знищення дорослих бліх після їхнього живлення на тварині та знижує рівень контамінації навколишнього середовища яйцями паразитів, забезпечуючи захист протягом 2–3 тижнів (Sparkset al., 2025). Наприклад, засоби, що містять спіносад:

- Comfortis (Elanco Animal Health, США) – жувальні таблетки для собак і котів, призначені для лікування та профілактики зараження блохами;
- Trifexis (Elanco Animal Health, США) – комбінований препарат для собак у формі жувальних таблеток, що містить спіносад і мілбеміцин оксим та забезпечує захист від бліх, а також профілактику дирофіліаріозу і лікування шлунково-кишкових нематодозів;
- Superium Spinosad / спіносад (Collar Company, Україна) – таблетки від бліх для котів та собак;
- Elector PSP (Elanco Animal Health, США) – високоефективний інсектицид на основі спіносаду, призначений для боротьби з мухами, жуками-чорнотілками і кліщами (включаючи курячих кліщів) у тваринницьких приміщеннях. Він діє як ларвіцид і адультицид, безпечний для використання в присутності тварин: птахів, свиней, великої рогатої худоби (ВРХ) і дозволений в органічному тваринництві.

Фармакокінетика спіносинів передбачає пероральне або місцеве застосування з високою біодоступністю, метаболізм відбувається переважно в печінці через окислювальні шляхи, що призводить до відносно низької токсичності для ссавців, але високої ефективності проти ектопаразитів (Sparks et al., 2025). Спіносини показані для лікування та профілактики зараження блохами та іншими ектопаразитами у котів, собак та сільськогосподарських тварин, при цьому протипоказання зазвичай обмежуються реакціями гіперчутливості. Amaral et al. (2024); Sparks et al. (2025) повідомляють про рідкісні побічні ефекти у вигляді легкого подразнення або розладу шлунково-кишкового тракту у тварин, також акцентують увагу про потенційні ризики для водної фауни при значних концентраціях (Amaral et al., 2024; Sparks et al., 2025). Повідомлялося про резистентність, але вона залишається менш поширеною порівняно з іншими класами, часто пов'язаною з мутаціями в субодиницях nAChR або посиленою метаболічною детоксикацією, що підкреслює необхідність інтегрованих стратегій боротьби зі шкідниками (Sparks et al., 2025). Сучасні дослідження зосереджені на підвищенні виходу похідних спінозину за допомогою генної та ферментативної інженерії, дослідженні криптичних біосинтетичних шляхів для нових сполук та підвищенні стабільності рецептур для розширення їх ветеринарного застосування (Al-Fadhli et al., 2022; Zhao et al., 2024). Наприклад, бутеніл-спінозин – це високоефективний та екологічно чистий біологічний інсектицид широкого спектру дії, який виробляється бактеріями *Saccharopolyspora pogona*, однак масштабування його використання ускладнене через низький титр у штаммах дикого типу. У дослідженні Zhao et al. (2024) для посилення продукції бутеніл-спінозину було використано мутагенез ARTP/UV та інженерію рибосом, що дозволило отримати стабільний мутант *Saccharopolyspora pogona* aG6 з високим виходом бутеніл-спінозину. Мутант виробляє у 4 рази більше речовини у порівнянні з штамом дикого типу (Zhao et al., 2024).

Макроциклічні лактони – це група природних високоефективних антипаразитарних сполук. Вони діють шляхом зв'язування з GluClс та GABA_{Clс} в нервових та м'язових клітинах паразитів, що викликає посилений приплив іонів хлориду, гіперполяризацію, параліч та загибель паразита (Salman et al., 2022; Gernandt et al., 2025). Діючі речовини поділяються на дві основні групи за хімічною структурою: авермектини (івермектин, абамектин, дорамектин епріномектин, селамектин) та мільбеміцини (моксидектин, мільбеміцина оксим) (Salman et al., 2022; Gernandt et al., 2025).

Івермектин характеризується високою ліпофільністю, швидким розподілом у тканинах і тривалим періодом напіввиведення (близько 1–3 доби залежно від виду тварин і способу введення). Він ефективний проти широкого спектру нематод, личинок дирофілярій та деяких ектопаразитів, забезпечуючи захист протягом 2–4 тижнів (Salman et al., 2022). Препарати на основі івермектину:

- Ivomec (Boehringer Ingelheim Animal Health, Німеччина) – ін'єкційний препарат для лікування та профілактики нематодозів і ектопаразитозів у сільськогосподарських тварин;
- Heartgard (Boehringer Ingelheim Animal Health, Німеччина) – жувальні таблетки для собак для профілактики дирофіляріозу;
- Iverhart (Virbac, Франція) – оральний препарат для профілактики дирофіляріозу у собак;
- Бровермектин (ТОВ Бровафарма, Україна) – 1% ін'єкційний препарат для лікування та профілактики нематодозів і ектопаразитозів у тварин.

Абамектин характеризується високою інсектицидною та акарицидною активністю і відносно швидким метаболізмом. Після застосування він добре розподіляється у тканинах, досягаючи максимальної концентрації у плазмі крові протягом 2–6 год, а період напіввиведення становить приблизно 1 добу. Забезпечує ефективний контроль кліщів, бліх і деяких нематод протягом 2–3 тижнів (Salman et al., 2022), наприклад:

- Avotan Pour-On (MSD Animal Health, США) – засіб зовнішнього використання для захисту від нематод та кліщів у ВРХ.

Дорамектин є напівсинтетичним похідним авермектину з підвищеною ліпофільністю, досягаючи максимальної концентрації у плазмі крові протягом 3–5 днів, та подовженим періодом напіввиведення (приблизно 5–7 діб). Це забезпечує більш тривалу протипаразитарну дію порівняно з івермектином, забезпечуючи захист протягом 4 тижнів (Salman et al., 2022), наприклад:

- Dectomax (Zoetis, США) – ін'єкційний та топічний препарат для лікування нематодозів і ектопаразитозів у ВРХ та дрібної рогатої худоби (ДРХ) та свиней.

Епріномектин характеризується низьким рівнем системної токсичності та мінімальним проникненням у молоко, що дозволяє застосовувати його у молочних тварин без тривалого періоду каренції. Максимальна концентрація в плазмі крові досягається приблизно через 1–2 доби, період напіввиведення становить приблизно 3–5 діб, захист протягом 3–4 тижнів (Salman et al., 2022). Препарати на основі епріномектину:

- Eprinex (Boehringer Ingelheim Animal Health, Німеччина) – топічний препарат pour-on для контролю нематод і ектопаразитів у великої рогатої худоби);
- LongRange (Boehringer Ingelheim Animal Health, Німеччина) – ін'єкційний препарат пролонгованої дії для контролю паразитів у ВРХ.

Селамектин характеризується високою біодоступністю при топічному застосуванні та системною дією після всмоктування через шкіру. Максимальна концентрація в плазмі крові досягається приблизно через 1–3 доби, а період напіввиведення становить близько 8 діб. Забезпечує захист від бліх, кліщів, вушних кліщів та деяких нематод протягом 4 тижнів (Salman et al., 2022), наприклад:

- Revolution (Zoetis, США) – краплі spot-on для собак і котів проти бліх, кліщів та дирофілярій;

- Stronghold (Zoetis, США) – аналогічний препарат для лікування та профілактики ектопаразитозів у собак і котів.

Моксидектин характеризується високою ліпофільністю та одним із найдовших періодів напіввиведення серед макроциклічних лактонів (до 20–30 діб залежно від форми препарату). Завдяки цьому забезпечує пролонгований протипаразитарний ефект протягом 4–6 тижнів. Максимальна концентрація в плазмі досягається протягом 1–3 діб після застосування (Salman et al., 2022). Препарати на основі моксидектину:

- Advocate (Elanco Animal Health, США) – комбінований spot-on препарат для собак і котів, що містить імідаклоприд та моксидектин і застосовується проти бліх, кліщів і нематод;

- ProHeart (Zoetis, США) – ін'єкційний препарат пролонгованої дії для профілактики дирофіляріозу у собак;

- Bravecto Plus (MSD Animal Health, США) – комбінований препарат для котів, що містить флураланер та моксидектин;

- СкайВет Мульти Протект ТАБ (SkyVet, Україна) – комбінований препарат для собак та котів проти екто- та ендо-паразитів: люфенурон + моксидектин + празіквантел;

- Cydectin (Zoetis, США) – препарат для зовнішнього та внутрішнього застосування для боротьби з вошами, коростяніми кліщами, личинками підшкірного оводу та нематодами у сільськогосподарських тварин.

Мільбеміцин оксим характеризується швидким всмоктуванням після перорального застосування та досягненням максимальної концентрації у плазмі приблизно через 2–4 години. Період напіввиведення становить близько 1–2 діб. Він ефективний проти личинок дирофілярій та шлунково-кишкових нематод, а також деяких кліщів, тривалість захисту становить близько 4 тижнів (Salman et al., 2022). Препарат з діючою речовиною мільбеміцину оксим:

- Sentinel (Merck Animal Health, США) – комбінований препарат для собак, що містить мільбеміцин оксим та люфенурон і забезпечує контроль бліх і гельмінтів;

- Квадромідас протипаразитарні таблетки для собак (ModeS, Україна) – протипаразитарні таблетки для собак (імідаклоприд+люфенурон+мільбеміцину оксим). Паразитицидний засіб, що застосовується для профілактики та лікування екто- та ендо-паразитозів ендопаразитозів собак.

Фармакокінетично макроциклічні лактони мають змінну біодоступність залежно від сполуки та шляху введення (пероральний, місцевий або парентеральний), з обмеженим метаболізмом та тривалим періодом напіввиведення, що сприяє стійкій ефективності. Наприклад, епріномектин демонструє низьку екскрецію з молоком та ефективні концентрації у плазмі у кіз після нанесення на шкіру (Gao et al., 2022). Показання охоплюють широкий спектр паразитарних інфекцій у сільськогосподарських та домашніх тварин. Протипоказання включають обережність у породах з мутаціями гена MDR1 через ризик нейротоксичності. Побічні ефекти можуть включати нейротоксичність, гепатотоксичність, нефротоксичність, репродуктивну токсичність та екотоксичність, однак вони зазвичай рідко трапляються при терапевтичних дозах (Salman et al., 2022). Cabaret (2025), Melntyre et al. (2025) підкреслюють, що резистентність до макроциклічних лактонів є новою проблемою в усьому світі та зумовлена субтерапевтичним дозуванням та генетичним відбором у спільних локусах резистентності, що впливають на чутливість до івермектину та моксидектину, відповідно стратегії боротьби з резистентністю повинні підкреслювати правильне дозування та інтегрований контроль паразитів (Cabaret, 2025; Melntyre et al., 2025). Серед макроциклічних лактонів івермектин залишається найчастіше використовуваним завдяки широкому спектру дії та численним лікарським формам, постійні дослідження зосереджені на структурних модифікаціях для підвищення ефективності та зменшення розвитку резистентності, а також на оптимізації систем доставки як для ветеринарного використання, так і для людини (Dong & Zhang, 2022; Gernandt et al., 2025). Dong & Zhang (2022) зазначають, що, так як авермектини та їх похідні

містять реакційноздатні -ОН групи, подвійні зв'язки та кислотні протони, схильні до епімеризації та глікозидного зв'язку, ці структурні особливості є особливо корисними для подальших структурних модифікацій, завдяки активним фізико-хімічним властивостям цієї структури, вдосконалені продукти можуть бути розроблені швидко та з низькими витратами. Наразі велика кількість похідних авермектину була синтезована шляхом маніпулювання замісниками у відомих реакційних центрах цієї молекули.

Неонікотиноїди – це системні інсектицидні та акарицидні засоби, що широко використовуються у ветеринарній медицині, в першу чергу спрямовані на нікотинові ацетилхолінові рецептори (nicotinic acetylcholine receptors, nAChRs) у комах, що призводить до нейротоксичності шляхом порушення синаптичної передачі. Активними діючими речовинами є ацетаміприд, клотіанідин, імідаклоприд, нітенпірам, динотефуран тіаметоксам та тіаклоприд, які відрізняються своєю спорідненістю до зв'язування, стійкістю в навколишньому середовищі та профілями токсичності. Наприклад, ацетаміприд відомий нижчою токсичністю за розпилювання, але все ще становить ризик для ссавців (Casillas et al., 2022; Zuščíková et al., 2023).

Ацетаміприд характеризується контактнo-кишковою інсектицидною дією та високою спорідненістю до nAChRs комах, що призводить до порушення передачі нервових імпульсів, паралічу та загибелі паразита. У ветеринарній медицині ацетаміприд використовується переважно для обробки приміщень, де утримується худоба, забезпечуючи інсектицидний ефект протягом близько 3–4 тижнів (Casillas et al., 2022).

Клотіанідин є системним інсектицидом із тривалою дією, який зв'язується з nAChRs нервової системи комах, спричинюють їх перезбудження та загибель. У ветеринарній медицині застосовується обмежено і переважно входить до складу комбінованих препаратів або інсектицидних засобів для обробки середовища утримання тварин. Форми препаратів включають інсектицидні спреї та концентрати для обробки приміщень тваринницьких господарств, забезпечуючи захист протягом близько 2–4 тижнів після застосування (Casillas et al., 2022).

Імідаклоприд характеризується вираженою контактною інсектицидною активністю та швидким розподілом у ліпідному шарі шкіри тварини після місцевого застосування. Речовина практично не всмоктується у системний кровообіг, накопичується у волосяних фолікулах і сальних залозах та забезпечує захист від ектопаразитів протягом близько 4 тижнів. Імідаклоприд є одним із найбільш широко застосовуваних неонікотиноїдів у ветеринарній медицині (Casillas et al., 2022). Наприклад, засоби з активним компонентом імідаклоприд:

- Advantage (Elanco, США / Bayer Animal Health, Німеччина) – краплі spot-on для собак та котів для лікування та профілактики зараження блохами;
- Advantage II (Elanco, США / Bayer Animal Health, Німеччина) – краплі spot-on (імідаклоприд + пірипроксифен) для знищення бліх на різних стадіях розвитку;
- Advantage Multi / Advocate (Elanco, США / Bayer Animal Health, Німеччина) – краплі spot-on (імідаклоприд + моксидектин), що застосовуються для лікування та профілактики зараження ектопаразитами, дирофіляріозу та деяких нематодозів;
- K9 Advantix / Advantix II (Elanco, США / Bayer Animal Health, Німеччина) – краплі spot-on для собак (імідаклоприд + перметрин) для захисту від бліх, кліщів, вошей та комах;
- Seresto (Elanco Animal Health, США) – інсектицидний нашійник (імідаклоприд + флуметрин) для тривалого захисту собак і котів від бліх і кліщів;
- Advecta II (Elanco Animal Health, США) – краплі spot-on (імідаклоприд + пірипроксифен) для собак і котів;
- Квадромідас ([ModeS](#), Харківська біофабрика, Україна) – протипаразитарні таблетки для собак (імідаклоприд+люфенурон+мільбеміцину оксим). Паразитицидний засіб, що застосовується для профілактики та лікування екто- та ендопаразитозів собак;

- Іміприн (ТОВ Бровафарма, Україна) – інсектоакарацидний розчин для зовнішнього застосування (Імідаклоприд, Перметрин).

Нітенпірам характеризується дуже швидким всмоктуванням після перорального застосування та швидким початком інсектицидної дії. Максимальна концентрація у плазмі крові досягається близько 1–2 год, що забезпечує швидке знищення дорослих бліх. Період напіввиведення сягає 3–4 год, тривалість захисного ефекту є короткою і становить приблизно 24 год, тому препарат застосовується для швидкого усунення інфестації, але не забезпечує тривалого профілактичного ефекту (Casillas et al., 2022). Препарати на основі нітенпіраму:

- Capstar (Elanco Animal Health, США) – таблетки для собак та котів для швидкого знищення дорослих бліх;

- Capguard (Sergeant's Pet Care Products, США) – таблетки для собак і котів для лікування інфестації бліхами;

- PetArmor CapAction (Sergeant's Pet Care Products, США) – таблетки для собак і котів для швидкого знищення бліх;

- Sentry CapGuard (Sergeant's Pet Care Products, США) – таблетки для перорального застосування при інфестації бліхами.

Динотефуран характеризується високою водорозчинністю та швидким розподілом по поверхні шкіри після місцевого застосування. Має контактну інсектицидну дію і забезпечує швидке знищення бліх та інших ектопаразитів із тривалістю захисного ефекту до 4 тижнів (Casillas et al., 2022), наприклад:

- Vectra 3D (Ceva Santé Animale, Франція) – краплі spot-on для собак (динотефуран + перметрин + пірипроксифен) для боротьби з блохами, кліщами, комарами та мухами;

- Vectra для котів (Vectra Felis / Vectra 2D) (Ceva Santé Animale, Франція) – краплі spot-on (динотефуран + пірипроксифен) для лікування та профілактики інфестації блохами.

Тіаметоксам характеризується системною інсектицидною дією та високою активністю щодо широкого спектру комах. Речовина зв'язується з нікотиновими ацетилхоліновими рецепторами нервової системи паразитів, спричинює порушення передачі нервових імпульсів. У ветеринарній медицині застосовується обмежено і переважно входить до складу інсектицидних препаратів для боротьби з комахами у місцях утримання тварин. Форми препаратів включають інсектицидні порошки, водорозчинні концентрати для обробки приміщень, спреї для боротьби з мухами у тваринницьких господарствах, забезпечуючи захист протягом близько 2–4 тижнів після застосування (Casillas et al., 2022).

Тіаклоприд характеризується контактної-кишковою інсектицидною дією та високою активністю щодо бліх, вошей і деяких інших ектопаразитів. Речовина порушує передачу нервових імпульсів у центральній нервовій системі комах. У ветеринарії для лікування тварин тіаклоприд не застосовується, він є токсичним для бджіл, водних організмів та має обмеження у використанні для ссавців. Форми препаратів включають спреї для обробки приміщень і місць утримання тварин. Тривалість захисту зазвичай становить 2–3 тижні (Casillas et al., 2022).

Фармакокінетичні дослідження Zuščíková et al. (2023); Wrobel et al. (2024); Oladosu & Flaws (2025) свідчать, що неонікотиноїди мають різну біодоступність та метаболізм у різних видів, при цьому зазвичай спостерігається швидке виведення, але повідомляється про потенційне накопичення та ефекти оксидативного стресу в репродуктивних тканинах ссавців (Zuščíková et al., 2023; Wrobel et al., 2024; Oladosu & Flaws, 2025). Показання до ветеринарного застосування зосереджені на боротьбі з блохами та кліщами у домашніх тварин. Протипоказання пов'язані з потенційною токсичністю для нецільових видів та ризиками забруднення навколишнього середовища; побічні ефекти включають репродуктивну токсичність та можливі нейротоксичні ефекти у ссавців (Zuščíková et al.,

2023; Oladosu & Flaws, 2025). Fuentes et al. (2023), Klaas-Fábregas et al. (2024) підкреслюють, що розвиток резистентності не є широко задокументованим, але залишається проблемою через широке використання; до того ж, стійкість у навколишньому середовищі призводить до ризиків впливу на диких тварин, таких як птахи та водні організми (Fuentes et al., 2023; Klaas-Fábregas et al., 2024). Порівняльний аналіз Francisco et al. (2022), Tan et al. (2025) виявив відмінності всередині групи щодо профілів ефективності та безпеки, тоді як нові аналоги неонікотиноїдів з модифікованими молекулярними каркасами розробляються для посилення інсектицидної активності та зменшення впливу на нецільові види. Автори свідчать, що матеріали на основі іонних рідин є перспективними для видалення неонікотиноїдів із забрудненого середовища (Francisco et al., 2022; Tan et al., 2025). Майбутні пріоритети досліджень включають детальне фармакокінетичне профілювання різних видів тварин, механізми резистентності, довгострокові оцінки безпеки та розробку безпечніших ветеринарних препаратів (Francisco et al., 2022; Tan et al., 2025).

Фенілпіразоли – це клас інсектицидних та акарицидних засобів, що використовуються у ветеринарній медицині, де фіпроніл є найпоширенішим активним інгредієнтом. Ці сполуки діють шляхом блокування гамма-аміномасляних кислот GABA_ACl_s у нервовій системі членистоногих, що призводить до гіперзбудження та смерті, водночас демонструючи селективність до рецепторів комах у порівнянні з ссавцями (Liu et al., 2024). Фіпроніл характеризується помірним всмоктуванням після топічного застосування, максимальна концентрація в плазмі крові досягається близько через 3–6 год, період напіввиведення становить близько 8–12 год у системній циркуляції, проте завдяки накопиченню в шкірі, волосяних фолікулах та сальних залозах забезпечується пролонгований інсектицидний ефект, тривалість захисту проти бліх та кліщів зазвичай становить 3–4 тижні після застосування (Dos Santos et al., 2022). Препарати на основі фіпронілу:

- Frontline (Boehringer Ingelheim Animal Health, Німеччина) – інсектицидно-акарицидний препарат, що випускається у кількох формах: Frontline Spray – спрей для собак та котів для лікування та профілактики інфестації бліхами, кліщами та вошами; Frontline Spot-On – краплі spot-on для собак і котів проти бліх і кліщів; Frontline Plus (Frontline Combo) – краплі spot-on, що містять фіпроніл та (S)-метопрен і забезпечують знищення дорослих бліх, а також пригнічують розвиток їх личинок і яєць; Frontline Tri-Act – комбіновані краплі spot-on для собак (фіпроніл + перметрин), що забезпечують захист від бліх, кліщів та кровосисних комах;

- Broadline (Boehringer Ingelheim Animal Health, Німеччина) – комбінований препарат у формі крапель spot-on для котів, що містить фіпроніл, (S)-метопрен, еприномектин і празіквантел, та забезпечує комплексний захист від бліх, кліщів, нематод і цестод;

- Fiprist (KRKA, Словенія) – інсектоакарицидний препарат на основі фіпронілу, що випускається у формах: Fiprist Spot-On – краплі для собак і котів для лікування та профілактики інфестації бліхами і кліщами; Fiprist Combo – краплі spot-on (фіпроніл + (S)-метопрен), що діють на дорослих бліх і перешкоджають розвитку їх яєць та личинок;

- Еприніл (ТОВ Бровафарма, Україна) – контактний інсектоакарицид, ефективний проти преімагінальних та імагінальних форм ектопаразитів (воші, блохи, волосоїди, кліщі) та ендopаразитів (Фіпроніл+Еприномектин+Празіквантел+S-метопрен).

Фармакокінетичні дослідження фіпронілу у собак демонструють швидке всмоктування, метаболізм переважно до фіпронілсульфону та повільне виведення, що підтверджує його ефективність проти бліх та кліщів при пероральному або місцевому застосуванні (Dos Santos et al., 2022). Показання включають лікування та профілактику ектопаразитозів, таких як сифункулятоз, акарози у різних видів тварин; протипоказання переважно пов'язані з потенційною токсичністю для нецільових видів та екологічними проблемами (Joachim et al., 2025). Bhatt et al. (2023), Joachim et al. (2025) зазначають про незначні побічні ефекти у тварин, що отримували препарат, але підкреслюють, що

токсичність для навколишнього середовища є значною, включно із ризиками гепатотоксичності та нейротоксичності у нецільових організмів (Bhatt et al., 2023; Joachim et al., 2025). Bhatt et al. (2023) продемонстрували гепатотоксичну, нефротоксичну, нейротоксичну дію фіпронілу та його метаболітів, а також їх здатність змінювати репродуктивний розвиток та ендокринну систему у людей і тварин. Токсичні пестициди потрапляють у харчовий ланцюг через сільськогосподарське та побутове застосування, а збільшення залишкових пестицидів на трофічному рівні, відоме як біомагніфікація, призвело до їх загального накопичення. Вже запроваджено кілька методів видалення токсичного фіпронілу: фізико-хімічні та за допомогою мікроорганізмів. Згідно висновків дослідників, мікробні методи деградації фіпронілу є найбільш перспективними та екологічно сталими. Автори наголошують, що очищення фіпронілу з навколишнього середовища є новим завданням завдяки його підвищеній залишковій концентрації. Розвиток резистентності залишається проблемою, але ще не є широко поширеним (Bhatt et al., 2023; Joachim et al., 2025). Порівняльний аналіз фенілпіразолів показує постійний розвиток нових похідних з покращеною ефективністю та профілями безпеки, таких як ціаноалкілзаміщені аналоги, що демонструють посилену акарицидну активність, тож майбутні дослідження ветеринарної науки мають бути зосереджені на оптимізації ефективності, зменшенні впливу на навколишнє середовище та вивченні методів біодеградації фенілпіразолів для безпечнішого використання (Bhatt et al., 2023; Liu et al., 2024).

Формамідини, представлені головним чином амітразом, – це група інсектицидних та акарицидних засобів, що широко використовуються у ветеринарній медицині для боротьби з кліщами та іншими ектопаразитами. Амітраз діє як агоніст альфа-2-адренергічних рецепторів (Alpha-2 adrenoceptors, Alpha2-ARs), спричиняючи нейротоксичні ефекти у паразитів, порушуючи функцію їхньої нервової системи, що призводить до паралічу та смерті (Obaid et al., 2022; Hasabi et al., 2025).

Амітраз є основним представником групи формамідинів, який широко застосовується у ветеринарній медицині як акарицидний засіб. Речовина проявляє високу ефективність проти різних видів кліщів, зокрема іксодових та коростяних, а також має певну активність щодо комах. Механізм дії амітразу полягає у стимуляції октопамінових рецепторів нервової системи членистоногих, що призводить до порушення нейрональної передачі, пригнічення рухової активності та загибелі паразитів. Крім того, амітраз може впливати на моноаміноксидазну систему, що додатково посилює його нейротоксичний ефект для паразитів. У ветеринарній практиці амітраз застосовується переважно для лікування акарозів у тварин, зокрема демодекозу та саркоптозу у собак, а також для боротьби з іксодовими кліщами. Він входить до складу різних лікарських форм, включно із розчинами для купання, спреї та акарицидні нашійники, захисний ефект триває протягом 2–4 тижнів (Obaid et al., 2022). Препарати на основі амітразу:

- Preventic (Virbac, Франція) – акарицидний нашійник для собак, що застосовується для профілактики нападу іксодових кліщів;
- Mitaban (Zoetis, США) – концентрат для приготування розчину для купання собак, який використовується для лікування демодекозу;
- Tactic (BeeWell, Україна) – акарицидний препарат для боротьби із вароатозом бджіл, має системну і контактну дію, застосовується шляхом обприскування або фумігації;
- Triatix (MSD Animal Health, США) – препарат зовнішнього застосування для боротьби з кліщами та вошами у ВРХ, ДРХ, страусів.

Фармакокінетично амітраз абсорбується місцевим або пероральним шляхом, метаболізм відбувається переважно в печінці, утворюючи метаболіти, такі як N'-(2,4-Dimethylphenyl)-N-methylformamidine (DMPF) та 2,4-dimethylaniline (DMA). Він має помірну біодоступність, але може спричинити системну токсичність при передозуванні (Hasabi et al., 2025). Показання включають лікування кліщових інвазій у дрібних та сільськогосподарських тварин, в той же час, протипоказання передбачають обережність у тварин з існуючими серцево-судинними або респіраторними захворюваннями через ризик

брадикардії, пригнічення дихання та впливу на ЦНС. Побічні ефекти можуть включати седацию, блювоту, а при високих дозах – важке отруєння, що потребує інтенсивної терапії (Bala et al., 2025; Hasabi et al., 2025). Obaid et al., 2022 свідчать, що резистентність до формамідинів, таких як амітраз, все частіше спостерігається у популяціях кліщів через мутації в місцях ураження та механізми метаболічної детоксикації, це відповідно, вимагає інтегрованих стратегій боротьби, які поєднують різні акарициди або альтернативні методи. Порівняльний аналіз авторів у межах групи показує, що амітраз залишається найпоширенішим формамідиновим акарицидом завдяки своїй широкій ефективності, незважаючи на проблеми з токсичністю, а майбутні дослідження повинні бути спрямовані на покращення профілів безпеки, краще розуміння механізмів резистентності та розробку нових лікарських форм або альтернатив зі зниженими побічними ефектами (Obaid et al., 2022; Pardiñas et al., 2025).

Піретрини – це природні інсектицидні сполуки, отримані з квітів далматської ромашки, тоді як **синтетичні піретроїди** (діючі речовини включають перметрин, дельтаметрин, флуметрин, етофенпрокс, цифлутрин) – це хімічно модифіковані похідні піретрину, призначені для підвищення стабільності та ефективності. Обидва діють, впливаючи на потенціалзалежні натрієві канали (Voltage-gated sodium channels, VGSCs) в нервовій системі комах та кліщів, спричинюючи тривале нервово збудження та параліч, але піретроїди загалом мають більшу стійкість у навколишньому середовищі та ефективність (Hodoşan et al., 2023).

Перметрин є синтетичним піретроїдом, що характеризується вираженою інсектицидною та акарицидною активністю. Механізм дії полягає у порушенні функціонування натрієвих каналів нервових клітин членистоногих, що спричиняє тривалу деполяризацію мембран, порушення передачі нервових імпульсів і загибель паразита. Перметрин проявляє контактну та репелентну дію проти бліх, кліщів, вошей, комарів і мух. Після місцевого нанесення розподіляється у ліпідному шарі шкіри та шерсті тварини, забезпечуючи захист протягом кількох тижнів. Слід зазначити, що перметрин є токсичним для котів, тому препарати на його основі застосовуються переважно у собак (Hodoşan et al., 2023). Наприклад, препарати з діючою речовиною перметрин:

- Advantix (Elanco Animal Health, США) – краплі spot-on для собак (імідаклоприд + перметрин) для захисту від бліх, кліщів та кровосисних комах;
- Ataxxa (KRKA, Словенія) – краплі spot-on для собак (імідаклоприд + перметрин), що застосовуються для лікування та профілактики інфекстації бліхами, кліщами та для відлякування комарів і мух;
- Vectra 3D (Ceva Santé Animale, Франція) – краплі spot-on для собак (динотефуран + перметрин + пірипроксифен) для боротьби з бліхами, кліщами та літаючими комахами;
- Frontline Tri-Act (Boehringer Ingelheim Animal Health, Німеччина) – краплі spot-on для собак (фіпроніл + перметрин) для контролю бліх, кліщів та комарів;
- STRONG EFFECT (Palladium, Україна) для собак спот-он: краплі протипаразитарні для собак (перметрин, імідаклоприд, пірипроксифен);
- інсектицидні спреї, нашійники та шампуні для собак проти ектопаразитів.

Дельтаметрин є синтетичним піретроїдом із високою інсектицидною та акарицидною активністю. Речовина діє на нервову систему членистоногих шляхом порушення функціонування натрієвих каналів нервових клітин, що призводить до паралічу та загибелі паразита. Дельтаметрин характеризується відносно тривалою дією (3–4 тижні) та використовується у вигляді нашійників або концентратів для обробки тварин і приміщень (Hodoşan et al., 2023). Препарати на основі дельтаметрину:

- Scalibor – інсектицидний нашійник для собак, що забезпечує тривалий захист від кліщів, комарів та піщаних мух;

- Бутокс (Butox) – концентрат емульсії для приготування робочого розчину на основі дельтаметрину, який застосовується для обробки великої рогатої худоби, овець, свиней, а також приміщень тваринницьких господарств проти кліщів, вошей та мух;

- інсектицидні спреї та концентрати для обробки тварин і місць їх утримання.

Флуметрин є синтетичним піретроїдом із вираженою акарицидною та інсектицидною дією. Механізм дії полягає у порушенні роботи натрієвих каналів нервових клітин членистоногих, що викликає параліч та загибель паразитів. Після місцевого застосування флуметрин повільно вивільняється з поверхні препарату, забезпечуючи тривалий захисний ефект протягом 3–5 тижнів (Hodoşan et al., 2023), наприклад:

- Seresto (Elanco Animal Health, США) – інсектицидно-акарицидний нашійник для собак і котів (флуметрин + імідаклоприд), що забезпечує тривалий захист від бліх і кліщів;

- нашійники та інсектицидні препарати для великої рогатої худоби та інших сільськогосподарських тварин для боротьби з кліщами та комахами.

Етофенпрокс є синтетичним піретроїдоподібним інсектицидом, який характеризується контактною інсектицидною дією та високою стабільністю у зовнішньому середовищі, забезпечуючи захист протягом 2-3 тижнів. Механізм дії подібний до інших піретроїдів і полягає у порушенні функції натрієвих каналів нервових клітин комах. Етофенпрокс ефективний проти бліх, кліщів, вошей та інших ектопаразитів (Hodoşan et al., 2023). Препарати на основі етофенпроксу:

- Краплі Secfour 3D (для собак) (Нова Плюс, Україна) – трикомпонентний захист (етофенпрокс, фіпроніл, піріпроксифен);

- інсектицидні спреї для обробки шерсті тварин;

- засоби для боротьби з комахами у приміщеннях утримання тварин.

Цифлутрин є синтетичним піретроїдом із контактною інсектицидною та акарицидною активністю. Він діє на нервову систему членистоногих шляхом порушення функції натрієвих каналів, що призводить до швидкого паралічу паразитів. У ветеринарній медицині цифлутрин використовується переважно у препаратах для обробки сільськогосподарських тварин та приміщень тваринницьких господарств, забезпечуючи захист протягом 2–3 тижнів (Hodoşan et al., 2023). Наприклад, препарати з активною речовиною цифлутрин:

- Цифлур, Cyflur (ТОВ Бровафарма, Україна) – інсектицидний препарат на основі цифлутрину у формі концентрату емульсії для обробки тварин і приміщень проти мух, кліщів та інших комах;

- інсектицидні концентрати та спреї для обробки ВРХ, ДРХ та приміщень для утримання свиней;

- препарати для боротьби з мухами та іншими ектопаразитами у місцях утримання тварин.

Hodoşan et al., 2023 підтверджують, що фармакокінетика піретринів характеризується швидким початком дії (максимальна концентрація у плазмі або на поверхні комах досягається приблизно через 0,5–1 год), періодом напіввиведення близько 2–4 годин, однак відносно короткою тривалістю ефекту (4–6 год) через швидке розкладання під дією світла та кисню, для подовження ефекту піретрини часто комбінують із синтетичними піретроїдами або застосовують препарат повторно (Hodoşan et al., 2023). Препарати на основі піретринів включають інсектицидні шампуні для собак і котів для знищення бліх і вошей, інсектицидні спреї та аерозолі для обробки вовни тварин, комбіновані препарати з піперонілбутоксидом, який підсилює інсектицидну дію піретринів. Mavromati & Mehmedi, 2023 наголошують, що піретрини показані для лікування різних видів тварин за ектопаразитозів, а протипоказання зосереджені на чутливості виду (особливо котів), потенційних алергічних реакціях та токсичності для навколишнього середовища (Mavromati & Mehmedi, 2023). У свою чергу, Obaid et al., 2022; Mavromati & Mehmedi, 2023 теж свідчать, що побічні ефекти за ветеринарного застосування піретринів зазвичай легко

виражені, але можуть бути прояви токсикозу у випадках передозування або неправильного використання, особливо у котів, у яких повідомлялося про нейротоксичні симптоми, такі як тремор та судоми. Резистентність є новою проблемою через широке використання, що включає механізми метаболічної детоксикації у кліщів (Obaid et al., 2022; Mavromati & Mehmedi, 2023). Щодо рівня стійкості, Ravula & Yenugu, 2021; Hodoşan et al. (2023) повідомляють про проведений порівняльний аналіз, який показує, що піретрини забезпечують швидку дію з меншою стійкістю в навколишньому середовищі, тоді як синтетичні піретроїди забезпечують більш тривалий ефект, але створюють вищі ризики токсичності та резистентності. Більшість піретроїдів або їх метаболіти не накопичуються в жодних тканинах чи органах, оскільки вони метаболізуються протягом 16–24 годин після всмоктування, однак деякі з них виявляються в жирових тканинах через високу ліпофільність. Кислотний та спиртовий фрагменти піретроїдів повністю виводяться з сечею через кілька днів після перорального введення, тоді як атоми вуглецю виводяться неповністю та демонструють довшу біозатримку в шкірі та шлунку. На основі кількох досліджень, проведених на гризунах, встановлено, що метаболізм понад 30 піретроїдів включає окислення, гідроліз ефірного зв'язку (фаза I) та кон'югацію (фаза II) з утворенням гідрофільних та ліпофільних форм. Поточні дослідження науковців повинні бути спрямовані на оптимізацію рецептур для безпеки, зменшення розвитку резистентності та покращення профілів у навколишньому середовищі (Ravula & Yenugu, 2021; Hodoşan et al., 2023).

Карбамати – це група інсектицидних та акарицидних засобів, що широко використовуються у ветеринарній медицині, в основному діючи як оборотні інгібітори ацетилхолінестерази (Acetylcholinesterase, AChE), що призводить до накопичення ацетилхоліну та надмірної стимуляції холінергічних рецепторів у нервовій системі паразитів. На молекулярному рівні карбамати зв'язуються з активним центром AChE, пригнічуючи його функцію та викликаючи параліч і загибель ектопаразитів. Цей механізм подібний до органофосфатів, але зазвичай призводить до коротшого інгібування ферментів через оборотне зв'язування (Mdeni et al., 2022). Ключовими активними інгредієнтами є карбарил, пропоксур та карбофуран, які відрізняються своєю хімічною структурою, силою та тривалістю дії (Ostapiv et al., 2024).

Карбарил (1-нафтилметилкарбамат) є одним із найбільш відомих представників цієї групи. Він проявляє виражену контактну та кишкову інсектицидну дію і ефективний проти широкого спектру членистоногих, зокрема бліх, вошей і деяких кліщів. Речовина швидко проникає в організм членистоногих через кутикулу та викликає порушення нервової регуляції. У ветеринарній практиці карбарил раніше широко застосовувався у складі інсектицидних порошків, аерозолів і шампунів для обробки тварин і навколишнього середовища, однак через токсикологічні ризики та появу більш селективних препаратів його використання в сучасній практиці значно обмежене. Захисний ефект триває протягом 1–2 тижнів (Datorre & Mendes, 2024).

Пропоксур (2-ізопропоксифенілметилкарбамат) характеризується високою контактною активністю та швидким інсектицидним ефектом. Він ефективно інгібує ацетилхолінестеразу членистоногих, що призводить до швидкого паралічу та загибелі паразитів. Пропоксур тривалий час застосовувався для контролю бліх, кліщів, вошей і тарганів, зокрема у складі нашийників, спреїв і аерозольних препаратів для тварин. Разом з тим через потенційний токсичний вплив на теплокровних тварин і людей, а також екологічні обмеження використання цієї речовини у ветеринарній медицині в багатьох країнах поступово скорочується. Захисний ефект триває протягом 1–2 тижнів (Datorre & Mendes, 2024).

Карбофуран є високоефективним карбаматним інсектицидом і нематоцидом із вираженою системною активністю. Його механізм дії також пов'язаний з інгібуванням ацетилхолінестерази, що призводить до порушення функціонування нервової системи членистоногих. Речовина характеризується високою токсичністю не лише для комах, а й

для хребетних тварин, птахів і водних організмів. У зв'язку з цим карбофуран переважно застосовувався в сільському господарстві як інсектицид і нематоцид для захисту рослин, тоді як у ветеринарній практиці його використання обмежене або заборонене в багатьох країнах через значні токсикологічні ризики. Захисний ефект триває протягом 2–3 тижнів (Datorre & Mendes, 2024).

Метаболізм карбаматів зазвичай включає гідроліз та детоксикацію ферментами хазяїна, але стійкість препарату може призвести до ризиків токсичності, особливо у чутливих видів, таких як коти (Datorre & Mendes, 2024; Ostapiv et al., 2024). Показання включають лікування від бліх, кліщів та інших ектопаразитів у багатьох видів тварин, протипоказання зосереджені на чутливості виду та ризику отруєння внаслідок неправильного використання або незаконних продуктів. Побічні ефекти варіюються від легкого подразнення до тяжкої нейротоксичності у випадках передозування, резистентність була задокументована через мутації в генах-мішенях, таких як асе-2, що ускладнює зусилля контролю. За даними порівняльного аналізу Malhotra et al., 2021, встановлено відмінності в профілях стійкості в навколишньому середовищі та токсичності, при цьому продовжуються дослідження, що вивчають біокарбамати для безпечнішого використання та вдосконалені шляхи деградації для зменшення впливу на навколишнє середовище (Malhotra et al., 2021). Фізико-хімічні методи, такі як адсорбція, фотоліз, фотокаталіз, окислення та кавітація часто використовуються для очищення довкілля від карбаматних пестицидів. Хоча процес деградації швидкий, ці методи часто утворюють токсичні побічні продукти, є неефективними та витратними. Мікробна деградація часто призводить до повної мінералізації цих сполук, є економічно ефективною та екологічно чистою (Malhotra et al., 2021).

Органофосфати – це основний клас інсектицидних та акарицидних засобів, що використовуються у ветеринарній медицині, в основному функціонуючи як незворотні інгібітори ацетилхолінестерази, що призводить до накопичення ацетилхоліну та надмірної стимуляції холінергічних рецепторів у нервовій системі паразитів. До поширених активних інгредієнтів належать малатіон (відомий також як карбофос), діазинон, фенітротіон та хлорпірифос, які відрізняються за своєю хімічною структурою, ефективністю та стійкістю, але мають спільний основний механізм інгібування AChE, що викликає параліч та загибель ектопаразитів (Abobakr et al., 2022).

Малатіон (карбофос) є одним із найбільш відомих органофосфатних інсектицидів. Він проявляє контактну та кишкову дію щодо широкого спектру комах, включаючи бліх, вошей та деякі види кліщів. Малатіон відносно швидко метаболізується в організмі теплокровних тварин, що зумовлює дещо нижчу токсичність у порівнянні з багатьма іншими органофосфатами. У ветеринарній практиці він застосовувався у складі інсектицидних розчинів, спреїв і шампунів для обробки тварин та приміщень, забезпечуючи захист протягом 1–2 тижнів. У сучасних умовах його використання поступово скорочується через появу більш селективних і безпечних препаратів (Obaid et al., 2022).

Діазинон є органофосфатним інсектицидом із вираженою контактною та кишковою активністю. Він ефективно інгібує ацетилхолінестеразу членистоногих, що призводить до швидкого порушення функцій нервової системи та загибелі паразитів. Речовина тривалий час застосовувалася для контролю бліх, кліщів, вошей і мух у тваринницьких господарствах, зокрема у складі розчинів для купання та обробки тварин, забезпечуючи захист протягом 1–2 тижнів. Однак через потенційний токсичний вплив на теплокровних тварин, людей і навколишнє середовище застосування діазинону в багатьох країнах суттєво обмежене або заборонене (Obaid et al., 2022).

Фенітротіон характеризується широким спектром інсектицидної активності та проявляє контактну і кишкову дію. Після проникнення в організм членистоногих він інгібує ацетилхолінестеразу, що спричиняє порушення нервової регуляції та швидку загибель паразитів. Фенітротіон використовувався переважно в сільському господарстві та для боротьби з різними видами комах-шкідників, проте також застосовувався у програмах

контролю ектопаразитів тварин, забезпечуючи захист протягом 1–2 тижнів. Через токсикологічні ризики та екологічні обмеження його використання в сучасній ветеринарній практиці значною мірою скорочене (Obaid et al., 2022).

Хлорпірифос є одним із найпоширеніших органофосфатних інсектицидів, що характеризується контактною, кишковою та частково фумігантною дією. Він ефективно пригнічує активність ацетилхолінестерази, спричинюючи порушення нервової передачі та загибель членистоногих. Речовина застосовувалася для контролю широкого спектру комах і кліщів у сільському господарстві та ветеринарії, зокрема у вигляді розчинів і аерозолів для обробки тварин і приміщень, забезпечуючи захист протягом 1–3 тижнів. Водночас через встановлені ризики для здоров'я людини та навколишнього середовища використання хлорпірифосу в багатьох країнах значно обмежене або повністю заборонене (Obaid et al., 2022).

Органофосфати всмоктуються через шкіру або шлунково-кишковий тракт, метаболізуються переважно шляхом гідролізу та окислення в печінці, але їх стійкість може становити ризик токсичності для оброблених тварин та нецільових видів (Lescovac & Petrovic, 2023; Joachim et al., 2025). Органофосфати показані для боротьби із кліщами, блохами та іншими ектопаразитами у різних видів тварин, відмічена чутливість. Кішкам портипоказано застосування органофосфатів через особливості метаболізму в печінці (дефіцит глюкуронілтрансферази). Побічні ефекти варіюються від легкого подразнення до тяжкої нейротоксичності з такими симптомами, як дихальна недостатність. Abobakr et al. (2022); Obaid et al. (2022) наголошують, що резистентність до органофосфатів є значною проблемою через мутації в генах AChE, що знижують чутливість до засобів цієї групи, метаболічну детоксикацію та знижене проникнення, що вимагає інтегрованих стратегій управління, включаючи ротацію з іншими акарицидами та альтернативні методи контролю (Abobakr et al., 2022; Obaid et al., 2022).

Fantatto et al. (2025) вивчали проблему розвитку резистентності до карбаматів та органофосфатів та свідчать, що інсектициди на основі зазначених сполук пригнічують AChE, проте популяції членистоногих набувають стійкості до цих сполук, коли особини в популяції розвивають структурно модифікований фермент AChE, який дозволяє їм вижити після впливу органофосфату та карбамату. Перспективи досліджень авторів зосереджені на вдосконаленні методів виявлення залишків органофосфатів за допомогою біосенсорів, розробці безпечніших рецептур, пом'якшенні впливу на навколишнє середовище та дослідженні синергетичних або нових сполук для подолання резистентності (Fantatto et al., 2025).

Регулятори росту комах (Insect Growth Regulators, IGR) – це клас інсектицидних та акарицидних засобів, що використовуються у ветеринарній медицині та порушують природній розвиток та процеси линьки членистоногих. На молекулярному рівні IGR перешкоджають синтезу або дії гормонів комах або пригнічують біосинтез хітину, що призводить до порушення линьки, зупинки розвитку або смерті. Нові сполуки діють на кілька мішеней одночасно для підвищення ефективності (Guo et al., 2024). Ключові активні інгредієнти включають такі сполуки, як луфенурон, дифлубензурон, метопрен, пірипроксифен та нові синтетичні похідні, такі як гексациклічні піразол-3-аміди, які відрізняються специфічними молекулярними мішенями та спорідненістю зв'язування з рецепторами, такими як рецептор екдизону та хітинази, що беруть участь у формуванні екзоскелету членистоногих (Abdelhamid et al., 2022; Guo et al., 2024; Luo et al., 2025).

Луфенурон належить до групи бензоїлсечовин і є інгібітором синтезу хітину. Механізм його дії полягає у порушенні формування кутикули під час линяння комах, що призводить до загибелі личинок і припинення розвитку популяції паразитів. Препарат не чинить безпосереднього інсектицидного ефекту на дорослих бліх, однак запобігає розвитку їхніх яєць та личинок. Луфенурон добре всмоктується після перорального застосування, досягаючи максимальної концентрації в крові через 8 годин, характеризується відносно тривалим періодом напіввиведення (близько 15–20 діб) і використовується переважно для

довготривалої профілактики зараження блохами, захисний ефект триває в середньому 4 тижні (Joachim et al., 2025). Препарати на основі луфенурону:

- Program (Elanco Animal Health, США) – препарат у формі таблеток або суспензії для собак і котів, призначений для контролю популяції бліх шляхом пригнічення розвитку їхніх яєць і личинок;
- Sentinel (Merck Animal Health, США) – комбінований препарат для собак, що містить луфенурон та мілбемицин оксим і забезпечує контроль інфестації блохами, а також профілактику дирофіляріозу та шлунково-кишкових нематодозів;
- Квадромідас протипаразитарні таблетки для собак (ModeS, Україна) протипаразитарні таблетки для собак (імідаклоприд+люфенурон+мільбемицину оксим). Паразитицидний засіб, що застосовується для профілактики та лікування екто- та ендопаразитозів собак;
- СУПЕРІУМ Панацея для собак, СУПЕРІУМ Панацея для котів (Collar Company, Україна) – протипаразитарні таблетки (люфенурон + нітенпірам + моксидектин + празиквантел).

Дифлубензурон також належить до інгібіторів синтезу хітину з групи бензоїлсечовини. Порушує формування кутикули під час розвитку личинок членистоногих, що перешкоджає нормальному линяю та призводить до їхньої загибелі. Речовина характеризується переважно овоцидною та ларвіцидною дією, не впливаючи безпосередньо на дорослі стадії паразитів. У ветеринарній практиці дифлубензурон застосовується головним чином для контролю для контролю чисельності комах у місцях утримання худоби. Захисний ефект триває 3–4 тижні (Joachim et al., 2025).

Метопрен є синтетичним аналогом ювенільного гормону комах. Його дія полягає у порушенні процесів метаморфозу: під впливом речовини личинки не здатні переходити до наступних стадій розвитку та гинуть, а яйця втрачають здатність до нормальної інкубації. Метопрен проявляє виражену овоцидну та ларвіцидну активність і широко застосовується для контролю популяцій бліх, забезпечуючи захисний ефект протягом 3–4 тижнів (Joachim et al., 2025). Препарати, що містять метопрен:

- Frontline Plus (Boehringer Ingelheim Animal Health, Німеччина) – комбінований препарат (фіпроніл + метопрен) у формі крапель Spot-on для собак і котів, що забезпечує знищення дорослих бліх і кліщів та пригнічення розвитку яєць і личинок бліх;
- Bio Spot Active Care (Farnam Companies, США) – краплі для собак, що містять метопрен у комбінації з інсектицидними компонентами для контролю різних стадій розвитку бліх;
- Фіпрен (ТОВ Бровафарма, Україна) – комбінований контактний інсектоакарицид (S-метопрен+Фіпроніл);
- Еприніл (ТОВ Бровафарма, Україна) – контактний інсектоакарицид, ефективний проти преімагінальних та імагінальних форм ектопаразитів (воші, блохи, волосоїди, кліщі) та ендопаразитів (Фіпроніл+Еприномектин+Празиквантел+S-метопрен).

Пірипроксифен є ще одним синтетичним аналогом ювенільного гормону, який порушує регуляцію розвитку комах. Він інгібує перетворення личинок у дорослі стадії, а також пригнічує ембріональний розвиток у яйцях бліх. Речовина характеризується високою активністю у дуже низьких концентраціях та тривалою дією (до 6 тижнів) в навколишньому середовищі (Joachim et al., 2025). Препарати на основі пірипроксифену:

- Nylar (McLaughlin Gormley King Company, США) – інсектицидний регулятор росту комах, який застосовується для контролю розвитку бліх та інших комах у середовищі;
- Vectra 3D (Ceva Santé Animale, Франція) – комбінований препарат для собак (динотефуран, перметрин, пірипроксифен), що забезпечує знищення дорослих бліх і кліщів та пригнічення розвитку їхніх незрілих стадій.

Гексациклічні піразол-3-аміди представляють перспективний напрям у створенні сучасних регуляторів росту комах. Ці сполуки характеризуються складною поліциклічною структурою та високою біологічною активністю щодо різних стадій розвитку

членистоногих. За результатами експериментальних досліджень вони можуть порушувати процеси формування кутикули та розвитку личинок, що призводить до пригнічення метаморфозу та зниження життєздатності популяції паразитів. Наразі ці сполуки перебувають переважно на стадії досліджень і розглядаються як потенційна основа для створення нових інсектицидних препаратів із селективною дією та підвищеною ефективністю, забезпечуючи захист протягом 4 тижнів (Joachim et al., 2025).

Фармакокінетика та біодоступність IGR залежать від хімічної структури та рецептури, так, Radwan et al. (2023), Zhang et al. (2025) повідомляють щодо ефективності останні розробок у вигляді наноемульсій: покращується доставка та ефективність проти кліщів шляхом посилення абсорбції та ферментативного руйнування (Radwan et al., 2023; Zhang et al., 2025). Аналіз за допомогою високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ) у дослідженні Radwan et al. (2023) показав, що екстракти містять поліфеноли та флавоноїди, які можуть посилювати їхню акарицидну дію. Наноемульсії підвищили ефективність неочищеного екстракту в 1–7 разів та прискорили швидкість знищення кліщів у 2–4 рази (Radwan et al., 2023). Показання охоплюють контроль кліщів, бліх та інших ектопаразитів у різних видів тварин, з протипоказаннями, пов'язаними з чутливістю виду та екологічними вимогами. Побічні ефекти, як правило, не значні, але можуть включати вплив на нецільові організми за неправильного застосування (Joachim et al., 2025). Guo et al. (2024), Luo et al. (2025), Zhang et al. (2025) підтверджують дані щодо того, що резистентність є новою проблемою через механізми метаболічної детоксикації у членистоногих, що спонукає до досліджень багатоцільових IGR та синергетичних формуляцій, що поєднують РНК-пестициди для покращення контролю за зниженні доз. Постійні розробки зосереджені на методах зеленого синтезу, підвищеній специфічності, зниженій токсичності та сталій боротьбі з членистоногими (Guo et al., 2024; Luo et al., 2025; Zhang et al., 2025).

Рослинні репеленти, що використовуються як інсектицидні та акарицидні засоби у ветеринарній медицині, переважно отримують з ефірних олій та фітохімічних речовин, таких як терпени, терпеноїди, флавоноїди, алкалоїди та таніни, що містяться в різних рослинах. Активні інгредієнти достатньо відрізняються між видами. Наприклад, терпени та сесквітерпени з *Cissus quadrangularis* (включно із α -оцимен та каріофілен оксидами) продемонстрували виражену акарицидну та репелентну дію проти стійких видів кліщів, тоді як основний компонент ефірної олії кориці, транс-циннамальдегід, проявляє потужну акарицидну активність та пригнічення репродуктивної функції кліщів (Mkwanazi et al., 2021; Li et al., 2023; Liao et al., 2023).

Цитронелла є ефірною олією, що отримується з рослин роду *Cymbopogon*, і містить суміш монотерпеноїдів, серед яких основними компонентами є цитронелаль, цитронелол та гераніол. Вона проявляє виражену репелентну активність щодо різних видів комах, зокрема комарів, бліх і мух. Механізм її дії пов'язаний з порушенням функціонування нюхових рецепторів комах, що ускладнює їхнє орієнтування на потенційного господаря. У ветеринарній практиці цитронелла застосовується у складі спреїв, шампунів і нашійників для тварин, а також у засобах для обробки навколишнього середовища, однак через високу леткість ефірної олії тривалість її репелентної дії зазвичай є обмеженою і складає від 2 до 6 год (Liao et al., 2023).

Гераніол є природним монотерпеновим спиртом, який входить до складу ефірних олій багатьох ароматичних рослин, зокрема герані, троянди та цитронели. Речовина характеризується вираженими репелентними та помірними інсектицидними властивостями щодо різних видів комах, включаючи бліх, кліщів і комарів. Гераніол впливає на сенсорні рецептори членистоногих, порушуючи їхню здатність виявляти господаря. Завдяки приємному запаху та відносно низькій токсичності ця сполука широко використовується у складі натуральних ветеринарних препаратів, таких як спреї, шампуні та нашійники для домашніх тварин, а також як атрактант для бджіл. Захисний ефект триває 2–6 год (Liao et al., 2023).

Евкалиптол (1,8-цинеол) є монотерпеновим оксидом, що є основним компонентом ефірної олії евкаліпта. Він проявляє репелентну активність щодо різних видів комах і деяких кліщів, а також характеризується помірними антисептичними властивостями. Механізм його дії пов'язаний із впливом на нюхові рецептори членистоногих, що знижує їхню здатність знаходити господаря. У ветеринарній практиці евкаліптол застосовується у складі натуральних репелентних засобів, зокрема спреїв, шампунів та інших препаратів на основі ефірних олій. Як і інші леткі компоненти ефірних олій, він забезпечує відносно короткочасний захисний ефект (2–6 годин) і часто використовується в комбінації з іншими рослинними компонентами для підвищення ефективності та тривалості дії (Liao et al., 2023).

За даними Liao et al. (2023), молекулярні механізми дії рослинних репелентів полягають у порушенні нервової системи паразитів або перешкоджанні їх розмноженню, до того ж, точні механізми дії можуть відрізнятися в залежності від сполуки та є менш вивченими, ніж у синтетичних агентів. Фармакокінетика та біодоступність залежать від методів застосування – місцеве застосування є поширеним явищем, – а метаболізм зазвичай зумовлений ферментативною деградацією хазяїна. Ці природні сполуки, як правило, мають нижчий ризик токсичності, але потребують ретельного формулювання для забезпечення ефективності та безпеки для різних видів тварин (Mkwanazi et al., 2021; Taħa & Ali, 2025). Показання передбачають контроль кліщів, бліх та інших ектопаразитів у тварин. Протипоказання переважно пов'язані із потенційним подразненням шкіри або алергічними реакціями у чутливих тварин. Розвиток резистентності є менш поширеним у порівнянні з синтетичними акарицидами, але є проблемою через багаторазове використання, тому рекомендується поєднувати репеленти на рослинній основі з іншими стратегіями контролю. Li et al. (2023), Schlittenlacher et al. (2025) встановлено, що рослинні екстракти, такі як бадьян, гвоздика та ромашка, демонструють високу акарицидну активність з високою залишковою репелентністю, тоді як нові рецептури демонструють польову ефективність навіть проти резистентних популяцій кліщів (Li et al., 2023; Schlittenlacher et al., 2025). Майбутні дослідження науковців мають бути зосереджені на оптимізації методів екстракції, покращенні стабільності рецептури, з'ясуванні молекулярних мішеней, промислового культивуванні біоактивних рослин, таких як *Carlina acaulis*, та інтеграції цих натуральних продуктів у програми сталого управління паразитами (Ayilara et al., 2023; Liao et al., 2023).

Fantatto et al. (2025) розробили препарати на основі поєднання рослинних екстрактів з нанотехнологіями як альтернативу для подолання обмежень традиційних акарицидів, збільшуючи стабільність, біодоступність та загальну ефективність. Нанотехнології мають перевагу завдяки видатним фізичним та хімічним властивостям, таким як фізична міцність, проникність, хімічна реакційна здатність, електропровідність, оптичні ефекти та магнетизм. Ці унікальні характеристики пов'язані з їхнім нанорозміром, великою площею поверхні та складом, що робить цю технологію перспективною для застосування в галузі біомедицини, включаючи ветеринарну медицину. Проведені тести продемонстрували більшу ефективність наночастинок срібла, синтезованих з використанням водного екстракту *Commiphora molmol* (мірра) та *Zingiber officinale* (імбир) для боротьби з *Hyalomma dromedarii* (верблюжий кліщ); наночастинок оксиду цинку, синтезованих з використанням водного екстракту *Melia azedarach* для боротьби з *H. Dromedarii*; наночастинок діоксиду титану, синтезованих з водним екстрактом листя *Mangifera indica* (індійське манго) для боротьби проти кліщів *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (азіатський синій кліщ), *Hyalomma anatolicum anatolicum* та *Haemaphysalis bispinosa*; наночастинок на основі полімерів, синтезованих з зеїну (кукурудзяний білок) для контролю кліща *R. microplus*; наночастинок на основі ліпідів, синтезованих з цитралем, ментолом та лимоненом для протидії кліщам *R. microplus* (Fantatto et al., 2025).

Таким чином, в статті представлено огляд різних груп сучасних інсектоакарицидів, так як ізоксазоліни, спиносини, макроциклічні лактони, неонікотиноїди, фенілпіразоли, формамідини, піретрини та синтетичні піретроїди, карбамати, органофосфати, регулятори

росту комах, рослинні репеленти. Препарати вказаних груп різняться за рівнем токсичності (наприклад, препарати групи органофосфатів, карбаматів належать до високотоксичних речовин I–II класу небезпеки), тому їх використання обмежується обробкою тваринницьких приміщень, територій або забороняється зовсім на користь використання більш селективних і безпечних препаратів: ізоксазоліни, IGR, макроциклічні лактони, рослинні засоби (IV клас небезпеки, малонебезпечні).

Комбінація діючих речовин (наприклад, декілька сполук різних груп з інсектоакарицидною дією та регулятори росту комах, як в препаратах Bravecto PLUS, Bravecto Spot-On, Frontline Tri-Act, Broadline, Sentinel та інш.) дозволяє підвищити активність інсекто-акарицидної дії. Поєднання сполук із інсектоакарицидною дією та макроциклічних лактонів в таких препаратах, як NexGard Spectra, Simparica TRIO, Credelio Plus, Advantage Multi / Advocate, Trifexis та інші, розширює спектр дії препарату до антигельмінтної та інсектоакарицидної, в тому числі, забезпечує ефективність для лікування та профілактики дірофіляриозу.

Актуальною проблемою є резистентність, що зростає, до препаратів у цільових ектопаразитів. Тож комбінований підхід використання та розробка нових препаратів мають враховувати як проблему резистентності, так й економічну доцільність застосування препаратів, які насамперед мають бути екологічно безпечними, нетоксичними для тварин за збільшення тривалості захисту.

В результаті проведеного аналізу терапевтичної ефективності та перспектив застосування різних груп інсектоакарицидів, слід зазначити, що під час планування схем обробок проти ектопаразитів треба пам'ятати про чітку диференціацію застосування різних груп засобів в залежності від напряму використання та виду тварин. Наприклад, ізоксазоліни сьогодні є зразком швидкості та тривалості захисту від іксодових кліщів і бліх у дрібних домашніх тварин, в той же час в сільському господарстві для застосування переважають макроциклічні лактони завдяки можливості одночасного контролю екто- та ендопаразитозів. Спіносини та регулятори росту комах з успіхом використовуються як для дрібних, так і для та продуктивних тварин як екологічно безпечні сполуки, що мінімізують ризик накопичення хімічних залишків препаратів у тваринницькій продукції. Але водночас традиційні засоби з груп піретроїди та формамідини продовжують використовуватися для масових обробок поголів'я методом купання чи обприскування завдяки вираженому репелентному ефекту та економічній доступності. При цьому слід пам'ятати, що використання контактних засобів суворо регламентується вимогами харчової та екологічної безпеки. Так, піретроїди є пріоритетними для тваринництва завдяки мінімальному або нульовому терміну очікування. Використання органофосфатів у продуктивному тваринництві є обмеженим по причині тривалої каренції та заборони для лактуючих тварин, а фенілпіразоли переважно застосовуються для непродуктивних видів внаслідок ризику кумуляції в організмі. Таким чином, сучасна стратегія боротьби з паразитами повинна ґрунтуватися на комбінації системних сполук нового покоління (ізоксазоліни, спіносини, макроциклічні лактони), регуляторів росту комах та засобів рослинного походження з контактними препаратами, вибір яких визначається не лише ефективністю, а й суворим дотриманням регламентів безпеки харчової продукції та екології.

Висновки.

1. Сучасні інсектоакарициди у ветеринарній медицині класифікують за механізмом дії (IRAC MoA Classification), хімічною структурою, біологічним спектром активності, способом проникнення в організм паразита, походженням діючої речовини та за рівнем токсикологічної та екологічної небезпеки.

2. Огляд та аналіз ефективності за умов безпечності сучасних інсектоакарицидних препаратів свідчить про пріоритетність інноваційних високоселективних сполук (ізоксазоліни, спіносини, макроциклічні лактони). Відмічено,

що розвиток ринку акцентований на поступове витіснення традиційних груп інсектоакарицидів (органофосфатів та карбаматів) по причині високої нецільової токсичності та розвитку резистентності ектопаразитів.

3. Проведений фармакологічний аналіз молекулярних мішеней представлених груп інсектицидів підтверджує, що сучасні засоби - ізоксазоліни, спіносини, макроциклічні лактони є високоселективними та безпечними, що обґрунтовано специфічною спорідненістю до рецепторів безхребетних (nAChRs, GluCl, GABA_ACl та інш.), які істотно різняться від аналогічних структур ссавців або повністю у них відсутні.

4. Найбільш виражену пролонговану дію мають системні засоби груп ізоксазолінів та макроциклічних лактонів.

5. Відмічено ефективність та перспективність засобів природного походження (продуктів мікробної ферментації та фіторепелентів) як екологічно безпечних засобів контролю паразитів. Спіносини та рослинні репеленти є ефективною альтернативою для ослаблених, чутливих тварин та в екогосподарствах.

6. Моніторинг ринку ветеринарних інсектоакарицидів в Україні свідчить про високий ступінь впровадження світових фармацевтичних розробок. Поряд із наявною в реалізації продукцією провідних міжнародних брендів (MSD Animal Health, Zoetis, Merck Animal Health, Elanco Animal Health та інш.), вітчизняні виробники (ТОВ «Бровафарма», Collar Company, Arterium, Нова Плюс, SkyVet та інш.) активно застосовують аналогічні діючі речовини (івермектин, мільбеміцин оксим, фіпроніл, луфенурон), що забезпечує економічну доступність сучасної терапії та контролю ектопаразитозів для власників тварин компаньонів та тваринницьких господарств.

Перспективним напрямом подальших досліджень є вивчення та моніторинг молекулярно-генетичних маркерів резистентності ектопаразитів до сучасних інсектоакарицидів та подальша розробка комбінованих препаратів із синергічним ефектом для боротьби із стійкістю популяцій членистоногих.

References

- Хмельницький, Г. О., & Строкань, В. І. (2001). *Ветеринарна фармакологія з рецептурою: Підручник для вищих аграрних закладів освіти I-II рівнів акредитації із спеціальності «Ветеринарна медицина»*. Аграрна освіта.
- Abdelhamid, A. A., Aref, S. A., Ahmed, N. A., Elsaghier, A. M. M., Abd El Latif, F. M., Al-Ghamdi, S. N., & Gad, M. A. (2022). Design, synthesis, and toxicological activities of novel insect growth regulators as insecticidal agents against *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *ACS omega*, 8(1), 709–717. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05977>
- Abobakr, Y., Al-Hussein, F. I., Bayoumi, A. E., Alzabib, A. A., & Al-Sarar, A. S. (2022). Organophosphate insecticides resistance in field populations of house flies, *Musca domestica* L.: Levels of resistance and acetylcholinesterase activity. *Insects*, 13(2), 192. <https://doi.org/10.3390/insects13020192>
- Al-Fadhli, A., Threadgill, M., Mohammed, F., Sibley, P., Al-Ariqi, W., & Parveen, I. (2022). Macrolides from rare actinomycetes: structures and bioactivities. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 59(2), Article 106523. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2022.106523>
- Amaral, I., Antunes, S. C., Rebelo, D., Carvalho, A. P., & Rodrigues, S. (2024). Biopesticide spinosad: unraveling ecotoxicological effects on zebrafish, *Danio rerio*. *Environmental toxicology and pharmacology*, 108, 104458. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2024.104458>
- Ayilara, M. S., Adeleke, B. S., Akinola, S. A., Fayose, C. A., Adeyemi, U. T., Gbadegesin, L. A., Omole, R. K., Johnson, R. M., Uthman, Q. O., & Babalola, O. O. (2023). Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: a case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. *Frontiers in microbiology*, 14, 1040901. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1040901>

- Bhatt, P., Gangola, S., Ramola, S., Bilal, M., Bhatt, K., Huang, Y., Zhou, Z., & Chen, S. (2023). Insights into the toxicity and biodegradation of fipronil in contaminated environment. *Microbiological research*, 266, 127247. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127247>
- Cabaret J. (2025). Independent development of resistance to main classes of anthelmintics by gastrointestinal nematodes of ruminants and horses. *Pathogens (Basel, Switzerland)*, 14(9), 898. <https://doi.org/10.3390/pathogens14090898>
- Casillas, A., de la Torre, A., Navarro, I., Sanz, P., & Martínez, M. L. Á. (2022). Environmental risk assessment of neonicotinoids in surface water. *The Science of the total environment*, 809, 151161. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151161>
- Datorre, A., & Mendes, P. F. (2024). Intoxications of animals by carbamate class pesticides. *Pubvet*, 18(08), e1644. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v18n08e1644>
- Dos Santos, G. C. M., Scott, F. B., Campos, D. R., Magalhães, V. S., Borges, D. A., Miranda, F. R., Alves, M. C. C., Pereira, G. A., Moreira, L. O., Lima, E. A. S., Rocha, M. B. D. S., & Cid, Y. P. (2022). Oral pharmacokinetic profile of fipronil and efficacy against flea and tick in dogs. *Journal of veterinary pharmacology and therapeutics*, 45(1), 23–33. <https://doi.org/10.1111/jvp.13004>
- Dong, L., & Zhang, J. (2022). Research progress of avermectin: A minireview based on the structural derivatization of avermectin. *Advanced Agrochem*. <https://doi.org/10.1016/j.aac.2022.11.001>
- D. Tan, Y. Wang, W. Yang, X. Shao, & Z. Li. (2025). Design, synthesis, and insecticidal evaluation of neonicotinoid analogues with 1,2-dihydropyridine scaffold. *Journal of heterocyclic chemistry*. 62(10), 1050–1058. <https://doi.org/10.1002/jhet.70028>
- Fantatto, R. R., Constantini, J. V. C., Politi, F. A. S., Sorrechia, R., Medeiros, C. C. B., Luiz, M. T., Bechara, G. H., de Souza Chagas, A. C., Chorilli, M., & Pietro, R. C. L. R. (2025). Current tick control strategies and prospects for using nanotechnology as an efficient alternative - a review. *Veterinary sciences*, 12(2), 163. <https://doi.org/10.3390/vetsci12020163>
- Francisco, R., Almeida, C., Sousa, A. C. A., Neves, M. C., & Freire, M. G. (2022). High performance of ionic-liquid-based materials to remove insecticides. *International journal of molecular sciences*, 23(6), 2989. <https://doi.org/10.3390/ijms23062989>
- Fuentes, E., Gaffard, A., Rodrigues, A., Millet, M., Bretagnolle, V., Moreau, J., & Monceau, K. (2023). Neonicotinoids: still present in farmland birds despite their ban. *Chemosphere*, 321, 138091. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138091>
- Gao, X., Kvaternick, V., Rehbein, S., & Hamel, D. (2022). Pharmacokinetic-pharmacodynamic relationships of pour-on administered eprinomectin in nematode-infected lactating female and male castrated dairy breed goats. *Parasitology research*, 121(5), 1533–1538. <https://doi.org/10.1007/s00436-022-07483-x>
- Gernandt, N., Wentzel, C., van Staden, D., Liebenberg, W., Lemmer, H. J. R., & Gerber, M. (2025). Therapeutic and formulation advances of ivermectin in veterinary and human medicine. *Pharmaceutics*, 17(11), 1384. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17111384>
- Geurden, T., Chapin, S., McCall, J. W., Mansour, A., Mahabir, S. P., Kryda, K., & McTier, T. (2023). Insecticidal activity of Simparica and Simparica Trio against *Aedes aegypti* in dogs. *Parasites & vectors*, 16(1), 95. <https://doi.org/10.1186/s13071-023-05699-z>
- Guo, B., Chen, L., Luo, S., Wang, C., Feng, Y., Li, X., Cao, C., Zhang, L., Yang, Q., Zhang, X., & Yang, X. (2024). A potential multitarget insect growth regulator candidate: design, synthesis, and biological activity of novel acetamido derivatives containing hexacyclic pyrazole carboxamides. *Journal of agricultural and food chemistry*, 72(18), 10271–10281. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c00312>
- Hasabi, I. S., Yashwanth, M., Kalinga, B. E., Patil, V., Seetaram, N. K., & Shetty, S. V. (2025). Amitraz poisoning: An observational study from a tertiary care center in North Karnataka. *APIK Journal of Internal Medicine*, 13(2), 102–105. https://doi.org/10.4103/ajim.ajim_42_24
- Hodoşan, C., Gîrd, C. E., Ghica, M. V., Dinu-Pîrvu, C. E., Nistor, L., Bărbuică, I. S., Marin, Ş. C., Mihalache, A., & Popa, L. (2023). Pyrethrins and pyrethroids: a comprehensive review of natural occurring compounds and their synthetic derivatives. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(23), 4022. <https://doi.org/10.3390/plants12234022>

- Ireland, E. M., Heller, J., Leister, E. M., & Padula, A. M. (2023). Reduced incidence of tick paralysis cases in dogs and cats at two emergency clinics in South-East Queensland since 2015: new generation prophylactics as possible explanatory variables. *Australian veterinary journal*, 101(9), 356–365. <https://doi.org/10.1111/avj.13269>
- Jiang, Y., & Old, J. M. (2025). A systematic review of fluralaner as a treatment for ectoparasitic infections in mammalian species. *PeerJ*, 13, e18882. <https://doi.org/10.7717/peerj.18882>
- Joachim, A., Robertson, L. J., Ferroglio, E., Bäumer, W., & Leschnik, M. (2025). Antiparasitics against ectoparasites in small animals - important pharmaceutical substances or underestimated environmental hazards?. *Veterinary parasitology*, 339, 110557. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2025.110557>
- Klaas-Fábregas, M., Gómez-Ramírez, P., Fernández-Gómez, L., Alfonso I Prieto, J., Garrido, I., Cava, J., Martínez-Escudero, C. M., Fenoll, J., & Pérez-García, J. M. (2024). First detection of thiamethoxam in a free-ranging insectivorous bird after its agricultural use ban in Spain. *Environmental toxicology and chemistry*, 43(8), 1836–1843. <https://doi.org/10.1002/etc.5899>
- Leskovac, A., & Petrović, S. (2023). Pesticide use and degradation strategies: food safety, challenges and perspectives. *Foods* (Basel, Switzerland), 12(14), 2709. <https://doi.org/10.3390/foods12142709>
- Li, D., Lu, S., Jian, Y., Cheng, S., Zhao, Q., Yuan, H., Wang, N., Liu, Y., Zhang, S., Zhang, L., Wang, R., & Jian, F. Acaricidal and repellent activities of ethanol extracts of nine chinese medicinal herbs against *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Experimental and applied acarology* 91, 69–87 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10493-023-00813-3>
- Liao, F., Han, C., Deng, Q., Zhou, Z., Bao, T., Zhong, M., Tao, G., Li, R., Han, B., Qiao, Y., & Hu, Y. (2023). Natural products as mite control agents in animals: a review. *Molecules* (Basel, Switzerland), 28(19), 6818. <https://doi.org/10.3390/molecules28196818>
- Liu, D., Bi, Q., Zhang, J., Gao, Y., Luo, C., Tian, H., He, J., & Zhang, L. (2024). Novel heptafluoroisopropyl N-phenylpyrazole aryl amides containing cyanoalkyl groups: design, synthesis, insecticidal activity, docking studies and theoretical calculations. *Bioorganic chemistry*, 143, 107024. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2023.107024>
- Luo, S., Guo, B., Liu, Y., Feng, Y., Cao, C., An, J., Chen, L., Zhang, L., Yang, Q., & Yang, X. (2025). Deuteration-based design, green synthesis, and insecticidal activity of hexacyclic pyrazol-3-amide derivatives as insect growth regulators. *Journal of agricultural and food chemistry*, 73(16), 9499–9507. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c09448>
- Malhotra, H., Kaur, S., & Phale, P. S. (2021). Conserved metabolic and evolutionary themes in microbial degradation of carbamate pesticides. *Frontiers in microbiology*, 12, 648868. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.648868>
- Mavromati, J., & Mehmedi, B. (2023). Monitoring cases of pyrethroid intoxications in cats in Tirana region, Albania during 2016–2020. *Journal of the Hellenic veterinary medical society*, 74(3), 6023–6028. <https://doi.org/10.12681/jhvms.30680>
- McIntyre, J., Morrison, A., Maitland, K., Devaney, E., Cotton, J. A., Britton, C., Kaplan, R. M., Bartley, D., & Laing, R. (2025). Analyses of emerging macrocyclic lactone resistance: speed and signature of ivermectin and moxidectin selection and evidence of a shared genetic locus. *PLoS pathogens*, 21(10), e1013578. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1013578>
- Mdeni, N. L., Adeniji, A. O., Okoh, A. I., & Okoh, O. O. (2022). Analytical evaluation of carbamate and organophosphate pesticides in human and environmental matrices: a review. *Molecules* (Basel, Switzerland), 27(3), 618. <https://doi.org/10.3390/molecules27030618>
- Mkwanazi, M. V., Ndlela, S. Z., & Chimonyo, M. (2021). Indigenous knowledge to mitigate the challenges of ticks in goats: a systematic review. *Veterinary and animal science*, 13, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100190>
- Murugan, B. S., Ahmed, I., & Chandrashekar, A. L. (2025). Clinical presentation and outcome of amitraz compound poisoning in the first 24 hours of admission at a rural tertiary care hospital. *International journal of scientific research*. <https://doi.org/10.36106/ijsr/8102191>

- Obaid M. K., Islam N., Alouffi A., Khan A. Z., da Silva Vaz Jr I., Tanaka T. and Ali A. (2022) Acaricides resistance in ticks: selection, diagnosis, mechanisms, and mitigation. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 12, 941831. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.941831>
- Oladosu, J. I., & Flaws, J. A. (2025). The impact of neonicotinoid pesticides on reproductive health. *Toxicological sciences: an official journal of the society of toxicology*, 203(2), 131–146. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfae138>
- Ostapiv, R. D., Tkachenko V. I., Humeniuk, S. L., Samarska, L. K., Bereziuk, M. I., & Harvas, H. D. (2024). Development and validation of HPLC-method for quantitative determination of propoxur in collars and sprays. *Scientific and technical bulletin of state scientific research control institute of veterinary medical products and fodder additives and institute of animal biology*, 25(1), 108–113. <https://doi.org/10.36359/scivp.2024-25-1.14>
- Pardiñas, C., Pellegrino, F., Padula, G., & Seoane, A. (2025). Genotoxicidad de pesticidas: el papel de los ingredientes no activos. *Revista Veterinaria*, 36(1), 1–6. <https://doi.org/10.30972/vet.3618111>
- Radwan, I. T., Eltaly, R. I., Baz, M. M., Yousif, M., Selim, A., Taie, H. A. A., Manaa, E. A., & Khater, H. F. (2023). Novel acaricidal and growth-regulating activity of Aloe vera and Rheum rhabarbarum extracts and their oil/water nanoemulsions against the camel tick, *Hyalomma dromedarii*. *Scientific reports*, 13(1), 16802. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43776-6>
- Ravula, A. R., & Yenugu, S. (2021). Pyrethroid based pesticides - chemical and biological aspects. *Critical reviews in toxicology*, 51(2), 117–140. <https://doi.org/10.1080/10408444.2021.1879007>
- Rodrigues, D., Gomes, G.W., Vale, F.L. et al. Acaricidal efficacy of fluralaner against *Rhipicephalus microplus* ticks under laboratory and field conditions in Brazil. *Parasites vectors* 18, 161 (2025). <https://doi.org/10.1186/s13071-025-06775-2>
- Salman, M., Abbas, R. Z., Mehmood, K., Hussain, R., Shah, S., Faheem, M., Zaheer, T., Abbas, A., Morales, B., Aneva, I., & Martínez, J. L. (2022). Assessment of avermectins-induced toxicity in animals. *Pharmaceuticals*, 15(3), 332. <https://doi.org/10.3390/ph15030332>
- Schlittenlacher, T., Egli, S., Walkenhorst, M., & Maurer, V. (2025). Shrubs and trees as natural insect protection for grazing animals in Switzerland and the alpine region: A systematic review of in vitro, in vivo and clinical trials. *Medical and veterinary entomology*, 10.1111/mve.70030. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/mve.70030>
- Sparks, T. C., Wessels, F. J., Perry, T., Price, M. J., Siebert, M. W., & Mann, D. G. J. (2025). Spinosyn resistance and cross-resistance – a 25 year review and analysis. *Pesticide biochemistry and physiology*, 210, 106363. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2025.106363>
- Sparks, T. C. & Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>
- Sparks, T. C., Crossthwaite, A. J., Nauen, R., Banba, S., Cordova, D., Earley, F., Ebbinghaus-Kintscher, U., Fujioka, S., Hirao, A., Karmon, D., Kennedy, R., Nakao, T., Popham, H. J. R., Salgado, V., Watson, G. B., Wedel, B. J., & Wessels, F. J. (2020). Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification—a tool for resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 167, 104587. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587>
- Sparks, T. C., Storer, N., Porter, A., Slater, R., & Nauen, R. (2021). Insecticide resistance management and industry: the origins and evolution of the Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) and the mode of action classification scheme. *Pest management science*, 77(6), 2609–2619. <https://doi.org/10.1002/ps.6254>
- Taha, M. A., & Ali, A. A. B. (2025). Evaluation of phytochemicals and essential oils of *Cupressus sempervirens* in controlling cattle tick *Rhipicephalus annulatus* (Acari: Ixodidae). *BMC plant biology*, 25(1), 307. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06222-5>
- Wrobel, S. A., Koslitz, S., Bury, D., Hayen, H., Koch, H. M., Brüning, T., & Käßlerlein, H. U. (2024). Human biomonitoring of neonicotinoid exposures: case studies after the use of a spray-agent to ornamental plants and a topical medication to pets. *Frontiers in public health*, 11, 1321138. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1321138>
- Zhang, Y., Jiang, Q., Wu, X., Qian, X., An, S., Shen, J., Meng, J., & Yan, S. (2025). Standardized synergistic strategy for insect growth regulators: incorporation of RNA pesticides via a co-delivery

- nanoplatform achieves high control efficacy with low-dosage application. *Journal of agricultural and food chemistry*, 73(41), 25916–25930. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c08250>
- Zhao, X., Hussain, M. H., Mohsin, A., Liu, Z., Xu, Z., Li, Z., Guo, W., & Guo, M. (2024). Mechanistic insight for improving butenyl-spinosyn production through combined ARTP/UV mutagenesis and ribosome engineering in *Saccharopolyspora pogona*. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 11, 1329859. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1329859>
- Zhou, X., Hohman, A. E., & Hsu, W. H. (2022). Current review of isoxazoline ectoparasiticides used in veterinary medicine. *Journal of veterinary pharmacology and therapeutics*, 45(1), 1–15. <https://doi.org/10.1111/jvp.12959>
- Zuščíková, L., Bažány, D., Greifová, H., Knížatová, N., Kováčik, A., Lukáč, N., & Jambor, T. (2023). Screening of toxic effects of neonicotinoid insecticides with a focus on acetamiprid: a review. *Toxics*, 11(7), 598. <https://doi.org/10.3390/toxics11070598>