

С. В. Єрмоленко¹, В. Я. Гассо¹✉, В. А. Спіріна², А. О. Гуслистий¹

¹*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010*

²*Дніпровський державний медичний університет,
вул. Володимира Вернадського, 9, м. Дніпро, Україна, 49044*

ВПЛИВ ПІРЕТРОЇДНИХ ТА НЕОНІКОТИНОЇДНИХ ІНСЕКТИЦИДІВ НА ЛАЦЕРТИД (REPTILIA, SQUAMATA) (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)

Піретроїдні та неонікотиноїдні пестициди – синтетичні речовини, які поширені у різних сферах господарської діяльності та до недавніх часів вважалися одними з безпечних типів інсектицидів. Відомо, що використання піретроїдних та неонікотиноїдних інсектицидів несе певні екологічні ризики для популяції тварин. Рептилії проявляють значну чутливість до цього сімейства інсектицидів. Ящірки (Lacertilia) – чисельна група тварин, велика кількість видів якої пов'язана з біотопами, що знаходяться в зоні впливу пестицидів. Особливості токсичного впливу піретроїдних та неонікотиноїдних інсектицидів досліджені на незначній кількості видів та переважно на дрібних ящірках. Аналіз попередніх досліджень дозволив виявити певні особливості токсичного впливу на організм ящірок піретроїдів та неонікотиноїдів. За впливу цієї групи інсектицидів у ящірок може підвищуватися смертність та неврологічні відхилення, симптоми яких з часом зменшуються. Лабораторні дослідження вказують на те, що ці речовини можуть призвести до зростання летальності ящірок та спричинити гормональні, біохімічні та невралгічні відхилення. Проведені дослідження свідчать про те, що ці інсектициди мають антиандрогенну дію, що може впливати на успішність розмноження ящірок. Метаболізм інсектицидів в організмі ящірок викликає утворення токсичних речовин-метаболітів, що може супроводжуватися більшим отруєнням організму, ніж детоксикацією. Енантіомери інсектицидів, що досліджувалися, проявляють різну ступінь токсичності. Ряд параметрів токсичного впливу пропонується як біомаркери інтоксикації піретроїдними та неонікотиноїдними інсектицидами. Ящірки можуть використовуватися для біоіндикації забруднення синтетичними інсектицидами, однак активність досліджень стосовно цього питання почала зростати тільки в останні десятиріччя.

Ключові слова: циперметрин, цигалотрин, імідаклоприд, токсичність, Lacertilia.

S. V. Yermolenko¹, V. Y. Gasso¹✉, V. A. Spirina², A. O. Huslysty¹

¹*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine*

²*Dnipro State Medical University, Dnipro, Ukraine*

INFLUENCE OF PYRETHROID AND NEONICOTINOID INSECTICIDES ON LIZARDS (REPTILIA, SQUAMATA) (A REVIEW)

✉ Tel.: +38097-302-56-83. E-mail: viktor.gasso@gmail.com

DOI: 10.15421/442109

Pyrethroid and neonicotinoid pesticides are synthetic substances that are distributed in different economic activity spheres and until recent times were considered one of the safe types of insecticides. It is known that the use of pyrethroid and neonicotinoid insecticides have certain environmental risks for animal populations. Reptiles manifest a significant sensitivity to this family of insecticides. Lizards (Lacertilia) is a numerous group of animals, a large number of species of which is associated with biotopes located in the landscapes influenced by pesticides. Features of toxic effects of pyrethroid and neonicotinoid insecticides are investigated on a small number of Lacertilia species and mainly on small lizards. An analysis of previous studies allowed identifying certain features of the toxic effect of pyrethroids and neonicotinoids on the lizards. Affecting this group of insecticides in lizards may increase mortality and neurological deviations, whose symptoms may reduce over time. Laboratory studies indicate that these substances can lead to increased lizard lethality and to hormonal, biochemical, and neuralgic deviations. The conducted studies indicate that these insecticides have an antiandrogenic effect that may decrease the reproductive success of lizards. The metabolism of insecticides in the lizard organism causes the formation of toxic metabolites, which may be accompanied by a greater poisoning of the lizard body than detoxification. Enantiomers of the investigated insecticides, exhibit a different degree of toxicity. A number of parameters of toxic effects are proposed as biomarkers of intoxication with pyrethroid and neonicotinoid insecticides. Lizards can be used for bioindication of synthetic insecticides, but the research activities on this issue began to grow in recent decades.

Key words: cypermethrin, cyhalothrin, imidacloprid, toxicity, Lacertilia.

Вступ

Активне землекористування – поширене явище, яке відбувається в багатьох країнах світу. Для підвищення врожайності це супроводжується вилученням земель та внесенням великої кількості хімічних речовин. Внаслідок цього відбувається трансформація екосистем і втрата біорізноманіття [14, 27]. Пестициди – найбільш масові забруднювачі навколишнього середовища. Хребетні – цільові об'єкти лише 2 % відсотків пестицидів. Однак доведено, що інші види пестицидів можуть опосередковано впливати на біологічні та екологічні особливості цих тварин [16]. Рептилії – одна з груп хребетних, для яких пестициди відносять до одних з факторів зменшення чисельності популяцій [33]. Дослідження негативного впливу пестицидів на рептилій проведено тільки для невеликої кількості речовин, оскільки ці тварини не включені в обов'язкову групу визначення екологічних ризиків при використанні пестицидів [28]. Агентство з охорони навколишнього середовища США вважає, що птахів можливо використовувати як сурогатів рептилій при оцінці ризиків застосування пестицидів [17]. Проте відомо, що порівняно з теплокровними тваринами рептилії можуть проявляти більшу чутливість до деяких видів пестицидів [33].

Відомо, що синтетичні інсектициди можуть накопичуватись у компонентах навколишнього середовища та завдають токсичного впливу на нецільові організми [35]. Піретроїди та неонікотиноїди – сімейства синтетичних інсектицидів, які мають широке застосування у світі [1, 30]. Варто зазначити, що обсяги використання цих отрутохімікатів значно зросли в останні два

десятиліття [29]. На сьогодні токсичний механізм піретроїдних та неонікотиноїдних інсектицидів не досліджений у повному обсязі. При потраплянні в навколишнє середовище ці речовини можуть існувати у трьох агрегатних станах і здатні потрапляти в харчові ланцюги [34]. Варто зазначити, що метаболіти піретроїдів та неонікотиноїдів можуть проявляти значну токсичність [32, 42].

Ящірки вважаються корисним об'єктом для біоіндикації екосистем, оскільки часто проживають у місцях забруднення, у тому числі на територіях застосування інсектицидів [7, 31]. На території України ящірки входять до складу герпетофауни агроценозів та прилеглих до них екосистем, де в певних умовах мають значну чисельність [2, 5]. Також місцеві види ящірок представлені ентомофагами, раціон яких може включати види комах, на яких направлена дія інсектицидів [3, 4, 25, 26].

В останні роки спостерігається зростання кількості досліджень, які стосуються механізму токсичної дії пестицидів в організмі ящірок: генетичні пошкодження, поведінкові реакції, оксидативний стрес, гормональні відхилення тощо [15]. Мета нашої роботи – аналіз сучасних наукових джерел, які стосуються токсичної дії піретроїдних та неонікотиноїдних інсектицидів на організм ящірок у контрольованих умовах: біохімічні та фізіологічні зміни, летальність. Визначити аспекти подальших досліджень, які можуть виявити токсичну дію синтетичних інсектицидів у ящірок.

Летальність, нейротоксичність та розподіл

Важливо враховувати, що смертність тварин залежить від якості розчинності інсектициду та тривалості впливу. Weir et al. [40] в експериментальних умовах завдавали токсичного впливу λ -цигалотрину (ЛЦТ) на організм західної огорожевої ящірки (*Sceloporus occidentalis* Baird and Girard, 1852) пероральним та перкутальним шляхом. Інсектицид застосовувався у двох видах: чистому вигляді та розчиненому в ацетоні. В результаті було виявлено, що LD50 чистого інсектициду для *S. occidentalis* (9,8 мкг/г перорально; 17,5 мкг/г перкутально) була значено менша, ніж розчиненого в ацетоні (916,5 мкг/г перорально; > 1750 мкг/г перкутально) [40]. Cardone [8] при проведенні гострого перорального тесту (24 години) різних концентрацій імідаклоприду на ящірках *Podarcis sicula* (Rafinesque, 1810) (12 особин у кожній групі) виявлено, що введення концентрацій 0, 21,5, 46,4, 100 мг/кг маси тіла (м. т.) тварин не викликали жодного летального ефекту серед тварин. У той же час у групах рептилій, яким вводили 215 та 464 мг/кг маси тіла (м. т.), смертність становила 1 та 5 особин відповідно. Таким чином, розрахована LD50 для цього виду становила 503,76 мг/кг м. т. Також автор зазначає, що у ящірок, яким вводили 46,4, 100, 215, 464 мг/кг м. т., спостерігалось зниження спонтанної рухової активності та тремор, які поступово зникли протягом наступних 7 днів після введення імідаклоприду [8]. При дослідженні смертності ящірок *Merolea suborbitalis* (Peters, 1854) та *Pedioplanis namaquensis* (A.M.C. Duméril & Bibron, 1839) Alexander et al. [6] створили контрольовані умови прямого (обприскування ящірок) та опосередкованого (обприскування субстрату) впливу піретроїдного інсектициду дельтаметрину. Ящірок утримували два місяці, концентрації внесення дельтаметрину складали 17,5 г та 25 г активної речовини/га. Встановлено, що за умов прямого та опосередкованого контакту з інсектицидом смертність *M. suborbitalis* та *P. namaquensis* була значно вище, ніж у

контрольних групах. Також в експериментах з прямого обприскування спостерігалось погіршення координації та реакції, спазми та чутливість до світла [6]. Chen et al. [13] при введенні перорально 20 мг/кг м. т. β -цигалотрину в організм ящірки монгольської (*Eremias argus* Peters, 1869) виявили, що після 24 годин у ящірок виникало порушення рухливості, погіршення риючої активності, тремор та рясне слиновиділення. До 72-ї години стан ящірок помітно покращився, однак хижацька діяльність була ще пригнічена. Після 72 годин неврологічні ознаки впливу β -цигалотрину поступово зникли [13].

Wang et al. [36] у ході своєї роботи визначили, що імідаклоприд та його метаболіти мають різний характер розподілення в органах *E. argus*. Імідаклоприд-олефін-гуанідин найбільше накопичувався у мозку ящірок, що спричинило нецитотоксичну дію. Найбільша кількість залишків імідаклоприду була виявлена в шлунку рептилій. Виявилось, що печінка ящірок відігравала найбільшу роль у гідрокси-відновному та нітро-відновному метаболізмі імідаклоприду. Автори припускають, що линька та екскреція неперетравлених решток – основні шляхи виведення імідаклоприду та його метаболітів з організму ящірки [36]. Chen et al. [13] вводили монгольській ящірці розчин β -цигалотрину перорально у концентрації 20 мг/кг м. т. Найбільша концентрація β -цигалотрину була виявлена у кишечнику та шлунку ящірок. В цілому вміст β -цигалотрину в організмі був представлений наступним розподілом: кишечник > шлунок > серце > нирки > кров > легені > печінка > мозок. Після 72 годин в органах спостерігалась загальна тенденція зниження вмісту β -цигалотрину, за винятком крові, де відбувалося незначне зростання інсектициду. Також автори зазначають, що β -цигалотрин викликав гістопатологічні зміни та збільшував морфо-фізіологічні індекси печінки в організмі *E. argus*, що вказує на гепатотоксичні властивості цього інсектициду [13].

Зміни біохімічних показників

Введення в організм калота садибного (*Calotes versicolor* Daudin, 1802) ін'єкцій 0,1 та 1%-ного розчинів циперметрину викликає зниження показників активності холінестерази, аспартатамінотрансферази (AST), аланінамінотрансферази (ALT) та загального білка в органах ящірок (табл. 1).

Таблиця 1

Показники активності холінестерази, аспартатамінотрансферази, аланінамінотрансферази та загального білка у *C. versicolor* після ін'єкцій циперметрину

Показник	Орган	Концентрація циперметрину, %	Зниження показника, %	Джерело
1	2	3	4	5
Холінестераза	печінка	0,1	27	[20, 21]
		1	54	
	нирки	0,1	20	
		1	35	
Загальний білок	печінка	0,1	16	[19]
		1	40	
	нирки	0,1	17	
		1	35	

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
Аспартатаміно- трансфераза	печінка	0,1	33	[18]
		1	37	
	нирки	0,1	23	
		1	66	
	мозок	0,1	38	
		1	61	
Аланінаміно- трансферази	печінка	0,1	23	[18]
		1	31	
	нирки	0,1	26	
		1	42	
	мозок	0,1	21	
		1	23	

Вплив на ендокринну систему

Доведено, що неонікотиніоїди та піретроїди можуть впливати на концентрацію тетраодтироніну (Т4) у плазмі крові та на перетворення цього гормону у трийодтиронін (Т3). Wang et al. [37] при дослідженні впливу неонікотиніоїдів динотефурану, тіаметоксаму та імідаклоприду на щитоподібну залозу ящірки монгольської через шлунковий зонд вводили по 20 мг інсектицидів на кг маси тіла ящірок. В результаті було встановлено, що за впливу імідаклоприду відбувається інгібування секреції гормонів. Також під впливом динотефурану відбувалися зміни у надходженні йоду до щитоподібної залози та його подальше застосування, що призводило до недостатньої функції ендокринної системи та, як наслідок, гіперплазії епітелію і збільшення обсягу фолікулів. У той же час у групі ящірок, якій вводили тіаметоксам, було виявлено, що цей інсектицид може активувати функцію щитоподібної залози, через що у тварин збільшувалася концентрація Т3 і Т4 у плазмі та створення більш сприятливих умов для зв'язування рецепторів Т3 і гормонів щитоподібної залози. За аналогічних умов внесення та концентрацій до організму *E. argus* [37] Yang et al. [41] було виявлено, що імідаклоприд та його метаболіти мають здібність акумулюватися у головному мозку ящірок та інгібувати секрецію гонадотропін-рилізінг-гормону (ГРГ). Через це в подальшому може виникати відхилення в регуляції зворотних зв'язків гормонів, пов'язаних з гіпоталамусом, гіпофізом та статевими залозами. Також встановили, що імідаклоприд спричиняє гістологічне пошкодження гонад та зниження експресії генів *sup17*, *sup19* *hsd17β*, що відповідало зниженню рівня тестостерону та естрадіолу в плазмі *E. argus*. В результаті автори зробили висновок, що у самців *E. argus* під впливом імідаклоприду може виникати недостатня секреція андрогенів і зниження сперматогенезу. У свою чергу, самиці мали менший ефект впливу інсектициду, однак спостерігалось погіршення експресії *sup19* в яєчниках та зниження синтезу естрадіолу [41].

Wang et al. [38] у ході свого дослідження визначали токсичний вплив трьох неонікотиніоїдів (динотефурану, тіаметоксаму та імідаклоприду) на гормональну вісь гормон росту/інсуліноподібні фактори росту (GH/IGF) і печінку дрібних ящірок. Інсектициди вводились ящіркам перорально у

концентраціях 20 мг/кг м.т. два рази на тиждень протягом 35 днів. Після завершення експерименту було виявлено, що динотефуран через окислювальний стрес викликав порушення печінки. Також інсектицид зменшував експресію генів *ghr*, *igf1*, *igfbp2* та концентрацію гормону росту у плазмі. Автори зробили висновок, що динотефуран має значний вплив на вісь GH/IGF і погіршує ріст ящірок. Імідаклоприд також викликав значні порушення печінки, однак не проявляв впливу на вісь GH/IGF. Тіаметоксам викликав менші, порівняно з імідаклопридом та динотефураном, порушення печінки та мав незначний вплив на вісь GH/IGF [38].

Chang et al. [11] дослідили експресію генів *E. argus*, пов'язаних з віссю гіпоталамус-гіпофіз-гонади. Для цього у штучних умовах ящірки контактували з субстратами, де номінальна експозиційна концентрація ЛЦТ і 3-феноксibenзойної кислоти (ФБК) була на рівні 3 мг/г. У групі впливу ЛЦТ було виявлено, що у сім'яниках рептилій був пригнічений сперматогенез через зниження експресії генів *ar*, *cyp17*, *hsd3 β* , які впливають на синтез і транспортування тестостерону. У групі впливу ФБК відбувалося зниження естрадіолу, яке корелювало з експресією генів *hsd17 β* , *era*, *ugt*. Автори зазначають, що метаболізм піретроїдів може проявляти значний токсичний вплив. Chang et al. [10] було порівняно вплив ЛЦТ та його метаболіту ФБК на функціонування осі гіпоталамус-гіпофіз-щитоподібна залоза в організмі *E. argus*, які були вирощені на різних субстратах, де концентрації ФБК та ЛЦТ становили 3 та 15 мкг/г. За результатами досліджень було виявлено, що ЛЦТ спричинив збільшення рівня Т3, Т4 у сироватці та експресію генів *ugt* та *dio2* у печінці, що не спостерігалось в значній мірі за впливу ФБК. Також Chang et al. в умовах *in silico* встановили, що ЛЦТ – антагоніст рецептора тиреоїдних гормонів α (TR α), а ФБК більш направлений на рецептор тиреоїдних гормонів β (TR β). Це вказує на те, що ЛЦТ та його метаболіт впливають на ендокринну систему, однак мають різні механізми впливу [10].

У свою чергу, Wang et al. [39] в ході свого експерименту дослідили негативний вплив тіаметоксаму та його метаболіту клотіанідину на ендокринну систему *E. argus*. Зазначається, що токсиканти вводились тваринам перорально у кількості 20 мг/кг м.т. протягом 28 днів. Було встановлено, що тіаметоксам і клотіанідин при тривалому гострому пероральному введенні здатні накопичуватись в яєчниках і сім'яниках ящірок. Інсектицид та його метаболіт збільшували експресію генів *cyp17*, *cyp19*, *era* у сім'яниках *E. argus*. Автори зазначають, що збільшення експресії генів *cyp17*, *cyp19* у самців призвело до зменшення рівня тестостерону та збільшення рівня естрадіолу в плазмі. Це обумовлюється тим, що експресія *cyp19* була вища за експресію *cyp17*, внаслідок чого утворений тестостерон перетворювався в естрадіол. У самиць ящірок, яким вводили клотіанідин, фіксувалося зростання експресії генів *hsd17 β* у плазмі та *cyp19*, *hsd11 β* , *ahr*, *ar* у печінці. Тіаметоксам також призводив до збільшення експресії генів *cyp19*, *hsd11 β* , *ar* у печінці самиць, але ці показники були менші, ніж у ящірок, яким вводили метаболіт [39].

При моделюванні 15- та 30-добової субхронічної інтоксикації ящіркам *P. sicula* вводили імідаклоприд перорально у дозах 0, 10, 50 та 100 мг/кг м. т. тварин через день. Виявлено, що після 15 діб експерименту у ящірок виникали дозозалежні зміни у морфології сім'яників та прискорення апоптозу. Після 30 діб експерименту сперматогенез в організмі ящірок зупинявся на рівні

вторинних сперматоцитів. Також автором зазначається, що у всіх груп *P. sicula*, яким вводили імідаклоприд, відбувалося зниження рівня статевих гормонів у плазмі і мРНК рецепторів андрогенів і естрогенів [8].

Chang et al. [9] дослідили вплив енантіомерів ЛЦТ на щитоподібну залозу *E. argus*. Енантіомери вводились ящіркам перорально протягом 21 дня. Авторами встановлено, що збільшення (+)-ЛЦТ, на відміну від (-)-ЛЦТ, викликало більшу висоту фолікулярного епітелію щитоподібної залози. При цьому встановлено, що обидва енантіомера призвели до збільшення Т4, однак збільшення Т3 було виявлене тільки в особин з групи, якій вводили (-)-ЛЦТ [9]. У дослідженні Chang et al. [12] енантіомери ЛЦТ вводились *E. argus* перорально протягом 7 днів. Було встановлено, що в групі ящірок, яким вводили (+)-ЛЦТ, концентрація метаболітів ЛЦТ (ФБК, гідроксильний і сульфатний ЛЦТ) була вище, ніж у ящірок групи впливу (-)-ЛЦТ. Також зазначається, що енантіомер (+)-ЛЦТ викликав збільшення діаметру сім'яних каналців та значно збільшував експресію гена *ar*. Такі результати вказують на те, що енантіомер (+)-ЛЦТ має стрімкішу швидкість метаболізму та більш негативний вплив на вісь гіпоталамус-гіпофіз-гонади в організмі ящірок [12].

Комбінований ефект піретроїдів та неонікотиноїдів з іншими пестицидами

Оскільки в умовах агроценозів можуть застосовуватися різні сполуки, існує необхідність досліджень комбінованого ефекту синтетичних інсектицидів з іншими пестицидами. Mestre et al. [24] досліджували вплив суміші циперметрину, гліфосату і хлорпірифосу на організм ящірки *Salvator merianae* Duméril & Vibron, 1839. Аналіз загальної кількості лейкоцитів (TWBCC) і титрів природних антитіл (NAbs) указав, що в групі, на яку впливала суміш пестицидів, відбувалося зниження цих показників. Як наслідок, це може вказувати на можливий ефект імунодепресії. При визначенні індексу лобулярності (LI – індекс лобулярності або сегментованості, співвідношення кількості мононуклеарних фагоцитів до кількості полінуклеарних (поліморфноядерних)) встановлено підвищення частки лобулярних клітин, що відповідає симптомам хронічної інфекції. Також за впливу суміші спостерігається значне погіршення показників росту та високі рівні кортикостерону у плазмі крові *S. merianae*, що вказувало на активацію нейроендокринної осі [24].

Висновки

У ході дослідження літературних джерел встановлено, що особливості токсичного впливу піретроїдних та неонікотиноїдних інсектицидів досліджені на незначній кількості видів та переважно на дрібних ящірках. За впливу цієї групи інсектицидів у ящірок може підвищуватися смертність та неврологічні відхилення, симптоми яких з часом зменшуються. Проведені дослідження вказують на те, що ці інсектициди впливають на ендокринну систему плазунів. Також згідно з існуючими результатами досліджень піретроїди та неонікотиноїди мають антиандрогенну дію, що може впливати на успішність розмноження ящірок. Метаболізм інсектицидів в організмі ящірок викликає утворення токсичних речовин-метаболітів, що може супроводжуватися більшим отруєнням організму, ніж детоксикацією. Енантіомери інсектицидів, що досліджувалися, проявляють різну ступінь токсичності.

Бібліографічні посилання

1. [Гассо В.Я., Єрмоленко С.В., Бобильов Ю.П., Гагут А.М., Гуслистий А.О., Гассо І.А., Петрушевський В.Б. \(2020\). Біомаркери впливу](#)

- [піретроїдних та неонікотиноїдних інсектицидів на личинок земноводних // Екологія та ноосферологія. 2020. 30\(1\). С. 46–51.](#)
2. [Гассо В.Я., Єрмоленко С.В., Гуслистий А.О., Бобильов Ю.П., Гагут А.М., Петрушевський В.Б.](#) Стан герпетофауни лісосмуг на різних відстанях від агроценозів, які обробляються пестицидами // [Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель. 2020. 49. С. 84–93.](#)
 3. [Гончаров А.Г.](#) Характеристика питания разноцветной ящерицы *Eremias arguta* (Pallas, 1773) на севере ареала // [Вестник ТГУ. 2013. 18\(6\). С. 2994–2996.](#)
 4. [Куриленко В.Е., Вєрвєс Ю.Г.](#) Земноводные и пресмыкающиеся фауны Украины: Справочник-определитель. К.: Генеза. 1999. 205 с.
 5. [Єрмоленко С. В., Гассо В. Я., Гагут А. М., Бобильов Ю. П., Гассо І. А.](#) Роль лісозахисних насаджень у підтриманні біорізноманіття герпетофауни степового Придніпров'я // [Питання біоіндикації та екології. 2019. Вип. 24. С. 93–101.](#)
 6. [Alexander G.J., Horne D., Hanrahan S.A.](#) An evaluation of the effects of deltamethrin on two non-target lizard species in the Karoo, South Africa // [Journal of arid environments. 2002. 50\(1\). P. 121–133.](#)
 7. [Amaral M.J., Bicho R.C., Carretero M. A., Sanchez-Hernandez J.C., Faustino A.M.R., Soares A.M.V.M., Mann, R.M.](#) The use of a lacertid lizard as a model for reptile ecotoxicology studies: Part 2 – Biomarkers of exposure and toxicity among pesticide exposed lizards // [Chemosphere. 2012. 87\(7\). P. 765–774.](#)
 8. [Cardone A.](#) Imidacloprid induces morphological and molecular damages on testis of lizard (*Podarcis sicula*) // [Ecotoxicology. 2015. 24\(1\). P. 94–105.](#)
 9. [Chang J., Hao W., Xu Y., Xu P., Li W., Li J., Wang H.](#) Stereoselective degradation and thyroid endocrine disruption of lambda-cyhalothrin in lizards (*Eremias argus*) following oral exposure // [Environmental Pollution. 2018. 232. P. 300–309.](#)
 10. [Chang J., Pan Y., Liu W., Xu P., Li W., Wan B.](#) Lambda-cyhalothrin and its common metabolite differentially modulate thyroid disruption effects in Chinese lizards (*Eremias argus*) // [Environmental Pollution. 2021. 287. P. 117322.](#)
 11. [Chang J., Pan Y., Yang L., Xie Y., Xu P., Wang H.](#) Environmental relevant concentration of λ -cyhalothrin and 3-phenoxybenzoic acid caused endocrine-disrupting effects on male lizards (*Eremias argus*) // [Environmental Pollution. 2020. 265. P. 115077.](#)
 12. [Chang J., Xu P., Li W., Li J., Wang H.](#) Enantioselective elimination and gonadal disruption of lambda-cyhalothrin on lizards (*Eremias argus*) // [Journal of agricultural and food chemistry. 2019. 67\(8\). P. 2183–2189.](#)
 13. [Chen L., Xu P., Diao J., Di S., Li R., Zhou Z.](#) Distribution, metabolism and toxic effects of beta-cypermethrin in lizards (*Eremias argus*) following oral administration // [Journal of hazardous materials. 2016. 306. P. 87–94.](#)
 14. [Cordier J.M., Aguilar R., Lescano J.N., Leynaud G.C., Bonino A., Miloch D., Loyolaef R. Nori J.](#) A global assessment of amphibian and reptile responses to land-use changes. [Biological Conservation, 2021. 253. P. 108863.](#)
 15. [Freitas L.M., Paranaíba J.F.F.S., Pérez A.P.S., Machado M.R.F., Lima F.C.](#) Toxicity of pesticides in lizards // [Human & experimental toxicology. 2020. 39\(5\). P. 596–604.](#)

16. [Gibbons D., Morrissey C., Mineau P. A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife // Environmental Science and Pollution Research, 2015. 22\(1\). P. 103–118.](#)
17. [Jones R., Leahy J., Mahoney M., Murray L., Odenkirchen E., Petrie R., Stangel C., Sunzenauer I., Vaituzis Z., Williams A.J. 2004. Overview of the ecological risk assessment process in the office of pesticide programs. Washington \(DC\): UEP Agency. 2004. 92 pp.](#)
18. [Khan M., Fatima F. Comparison of induced effect of pyrethroid \(Cypermethrin\) with organophosphate \(Malathion\) on GOT and GPT in liver, kidney and brain of *Calotes versicolor* Daudin \(Agamidae: Reptilia\) // Online J. Biol. Sci. \(2002\). 2\(6\). P. 408–410.](#)
19. [Khan M.Z., Fatima F., Ahmad I. Effect of Cypermethrin on protein contents in lizard *Calotes versicolor* in comparison to that in Frog *Rana tigrina* // OnLine Journal of Biological Sciences \(Pakistan\). 2002. 2\(12\). P. 780–781.](#)
20. [Khan M.Z. Effect of agricultural chemicals on reptiles: comparison of pyrethroid and organophosphate with phytopesticide on cholinesterase activity // Pakistan Journal of Biological Sciences. 2003. 6\(9\). P. 821–825.](#)
21. [Khan M.Z. Effects of agro pesticides cypermethrin and malathion on cholinesterase activity in liver and kidney of *Calotes versicolor* Daudin \(Agamidae: Reptilia\). Turkish Journal of Zoology. 2005. 29\(1\). P. 77–81.](#)
22. [Klarich Wong K.L., Webb D.T., Nagorzanski M.R., Kolpin D.W., Hladik M.L., Cwiertny D.M., LeFevre G.H. Chlorinated byproducts of neonicotinoids and their metabolites: an unrecognized human exposure potential? // Environmental science & technology letters. 2019. 6\(2\). P. 98–105.](#)
23. [Mehlhorn H., Schmahl G., Mevissen I. Efficacy of a combination of imidacloprid and moxidectin against parasites of reptiles and rodents // Parasitology research. 2005. 97\(1\). P. 97–101.](#)
24. [Mestre A.P., Amavet P.S., Vanzetti A.I., Moleón M.S., Marcó M.V.P., Poletta G.L., Siroski P. A. Effects of cypermethrin \(pyrethroid\), glyphosate and chlorpyrifos \(organophosphorus\) on the endocrine and immune system of *Salvator merianae* \(Argentine tegu\) // Ecotoxicology and environmental safety. 2019. 169. P. 61–67.](#)
25. [Mollov I., Boyadzhiev P., Donev A. Trophic niche breadth and niche overlap between two lacertid lizards \(Reptilia: Lacertidae\) from south Bulgaria // Acta zoologica bulgarica. 2012. 4. P. 133–140.](#)
26. [Mollov I., Petrova S. A contribution to the knowledge of the trophic spectrum of three lacertid lizards from Bulgaria // Journal of BioScience & Biotechnology. 2013. 2\(1\). P. 57–62.](#)
27. [Nistreanu V., Savin A., Larion A., Sîtnic V., Chihai O. Ecological aspects of rodent communities in agrarian ecosystems of Moldova. // Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Veterinary Medicine. 2011. 68\(1\). P. 272–276.](#)
28. [Ortiz-Santaliestra M.E., Maia J.P., Egea-Serrano A., Lopes I. Validity of fish, birds and mammals as surrogates for amphibians and reptiles in pesticide toxicity assessment // Ecotoxicology. 2018. 27\(7\). P. 819-833.](#)
29. [Peterson E.M., Green F.B., Smith P.N. Toxic responses of blue orchard mason bees \(*Osmia lignaria*\) following contact exposure to neonicotinoids,](#)

- [macrocyclic lactones, and pyrethroids // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021. 208. P. 111681.](#)
30. [Regan K., Ordosch D., Glover K.D., Tilmon K.J., Szczepaniec A.](#) Effects of a pyrethroid and two neonicotinoid insecticides on population dynamics of key pests of soybean and abundance of their natural enemies // *Crop Protection*. 2017. 98. P. 24–32.
31. [Silva J.M., Navoni J.A., Freire E.M.X.](#) Lizards as model organisms to evaluate environmental contamination and biomonitoring // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2020. 192(7). P. 1–13.
32. [Simon-Delso N., Amaral-Rogers V., Belzunces L.P., Bonmatin J.M., Chagnon M., Downs C., Furlan L., Gibbons D.W., Giorio C., Girolami V., Goulson D., Kreuzweiser D.P., Krupke C., Liess M., Long E., McField M., Mineau P., Mitchell E.A.D., Morrissey C.A., Noome D.A., Pisa L., Settele J., Stark J.D., Tapparo A., van Dyck H., van Praagh J., van der Sluijs J.P., Whitehorn P.R.](#) Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites // *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. 22(1). P. 5–34.
33. [Sparling D.W., Linder G., Bishop C.A., Krest S.](#) (Eds.). *Ecotoxicology of amphibians and reptiles*. CRC Press. 2010. 944 pp.
34. [Tang W., Wang D., Wang J., Wu Z., Li L., Huang M., Xu S., Yan D.](#) Pyrethroid pesticide residues in the global environment: An overview // *Chemosphere*. 2018. 191. P. 990–1007.
35. [Ullah S., Li Z., Zuberi A., Arifeen M.Z.U., Baig M.M.F.A.](#) Biomarkers of pyrethroid toxicity in fish // *Environmental Chemistry Letters*. 2019. 17(2). P. 945–973.
36. [Wang Y., Han Y., Xu P., Guo B., Li W., Wang X.](#) The metabolism distribution and effect of imidacloprid in Chinese lizards (*Eremias argus*) following oral exposure // *Ecotoxicology and environmental safety*. 2018. 165. P. 476–483.
37. [Wang Y., Xu P., Chang J., Li W., Yang L., Tian H.](#) Unraveling the toxic effects of neonicotinoid insecticides on the thyroid endocrine system of lizards // *Environmental Pollution*. 2020. 258. P. 113731.
38. [Wang Y., Zhang Y., Li W., Yang L., Guo B.](#) Distribution, metabolism and hepatotoxicity of neonicotinoids in small farmland lizard and their effects on GH/IGF axis // *Science of The Total Environment*. 2019. 662. P. 834–841.
39. [Wang Y., Zhang Y., Zeng T., Li W., Yang L., Guo B.](#) Accumulation and toxicity of thiamethoxam and its metabolite clothianidin to the gonads of *Eremias argus* // *Science of The Total Environment*. 2019. 667. P. 586–593.
40. [Weir S.M., Yu S., Talent L.G., Maul J.D., Anderson T.A., Salice C.J.](#) Improving reptile ecological risk assessment: Oral and dermal toxicity of pesticides to a common lizard species (*Sceloporus occidentalis*) // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2015. 34(8). P. 1778–1786.
41. [Yang L., Shen Q., Zeng T., Li J., Li W., Wang Y.](#) Enrichment of imidacloprid and its metabolites in lizards and its toxic effects on gonads // *Environmental Pollution*. 2020. 258. P. 113748.
42. [Zhu Q., Yang Y., Zhong Y., Lao Z., O'Neill P., Hong D., Zhang K., Zhao S.](#) Synthesis, insecticidal activity, resistance, photodegradation and toxicity of pyrethroids (A Review) // *Chemosphere*. (2020). 254 P. 126779.

Надійшла до редколегії 15.09.2021 р.