

БЕЗПЕЧНІСТЬ ВЖИВАННЯ ГЛІФОСАТ-РЕЗИСТЕНТНОЇ ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНОЇ СОЇ

Г. В. Дроник¹, І. В. Чорна¹, М. С. Рогозинський²
chorna8@ukr.net, RMyron@ukr.net

¹Буковинська державна сільськогосподарська дослідна станція НААН,
вул. Богдана Крижанівського, 21, м. Чернівці, 58026, Україна, тел.: (0372) 52-92-20

²Чернівецький факультет Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»,

вул. Головна, 203А, м. Чернівці, 58018, Україна, тел.: (03722) 4-56-39

В публікації узагальнені дані літератури щодо впливу «Roundup»-стійкої генетично модифікованої сої на організм тварин. Розглядається вплив гербіциду гліфосату, який широко використовують у сільському господарстві більшості країн світу, на організм рослин і тварин. Оскільки бур'яни стають стійкими до гліфосату, щороку збільшується застосування гербіциду «Roundup». В останні роки традиційну та трансгенну сою широко використовують як у сільському господарстві, так і в харчовій промисловості. З сої виготовляють соуси, її додають до ковбасних та кондитерських виробів, тому зростає її вплив на організм людини і тварин. У статті також висвітлюються сучасні наукові дослідження впливу штучно внесених генів сої на організм тварин та наслідки впливу гліфосату на живі організми (мікроорганізми, риб та ссавців).

Наведені наукові дослідження українських та зарубіжних вчених, які виявили, що гербіцид «Roundup» здатний накопичуватися в насінні сої, крім того, може викликати анатомічні патології, зміни у сечі та біохімічних показниках крові, морфологічні та функціональні зміни печінки і нирок, а також призводити до порушення клітинного окиснення. У літературних джерелах є повідомлення про те, що гербіцид «Roundup» викликає некроз печінки у риб, блокує роботу деяких ферментів у ссавців. У великій рогатій худобі за впливу цього гербіциду спостерігається знищення мікрофлори кишечника та розмноження шкідливих бактерій. Описані дослідження пренатального введення шурам гліфосату, який є основною діючою речовиною гербіциду «Roundup», що призводить до зміни клінічних показників (АлАт, АсАт, МСМ та лужної фосфатази). Підшкірне введення шурам гліфосату призводить до зміни біохімічних показників та функціонування фізіологічних механізмів. Однозначної відповіді щодо впливу генетично модифікованої гліфосат-резистентної сої та гербіциду «Roundup» немає, тому у подальшому потрібно проводити дослідження для з'ясування, як саме на живі організми впливають трансгенна соя та гербіцид.

Ключові слова: ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНИ ОРГАНІЗМИ, СОЯ, ГЕРБІЦИДИ, ГЛІФОСАТ, РОСЛИНИ, ТВАРИНИ, БІОБЕЗПЕКА

SAFETY ASSESSMENT OF ROUNDUP READY SOYBEAN

G. V. Dronyk¹, I. V. Chorna¹, M. S. Rogozynskyi²
chorna8@ukr.net, RMyron@ukr.net

¹Bukovyna State Agricultural Experimental Station NAAS,
21 Bohdan Kryzhanivsky str., Chernivtsi 58026, Ukraine, tel.: (+38 0372) 52-92-20

²Chernivtsi faculty of the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
203A Holovna str., Chernivtsi 58018, Ukraine, tel.: (+38 03722) 4-56-39

This article summarises data about glyphosate-tolerant (“Roundup ready”) genetically modified soybean influence on animals’ organism. The influence of herbicide glyphosate on the organism of plants and animals, which is widely used herbicide in agriculture in the most countries of the world, is considered. Each year, the use of “Roundup” herbicide increases, as weeds become resistant to glyphosate, therefore data that confirms the ability to accumulate herbicide in the seed is provided. In last years, traditional and transgenic soy has been widely used, both in agriculture and in the food’s industry. Soybeans produce sauces; they are added to sausages and pastries, so the question of its effects on the human health and animals remains open. The article also covers modern scientific researches of the influence of artificially introduced soy genes on the organism of animals and the effects of the influence of glyphosate on living organisms (microorganisms, fish and mammals).

The latest scientific research of Ukrainian's and foreign scientists who discovered that the "Roundup" herbicide can accumulate in soybean, it leads to anatomical pathologies, causes changes in urine and biochemical parameters of blood, leads to morphological and functional changes in the liver and kidneys, also leads to disturbance of cellular oxidation. In literary sources there is a message that the "Roundup" herbicide causes liver's necrosis in fish; in mammals, this herbicide blocks the activity of some enzymes; in cattle causes the death of useful microorganisms and the proliferation of harmful bacteria is observed. There is no answer to the influence of genetically modified "Roundup ready" soybeans and "Roundup" herbicides further research is needed on the effects of transgenic soybeans and herbicides on living organisms.

Keywords: GENETICALLY MODIFIED ORGANISMS, SOYBEAN, HERBICIDES, PLASMIDES, GLIFOSAT, PLANTS, ANIMALS

БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛИФОСАТ-РЕЗИСТЕНТНОЙ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СОИ

Г. В. Дроньк¹, И. В. Чорна¹, М. С. Рогозинский²
chorna8@ukr.net, RMyron@ukr.net

¹Буковинская государственная сельскохозяйственная опытная станция НААН,
ул. Богдана Крыжановского, 21, г. Черновцы, 58026, Украина, тел.: (0372) 52-92-20

²Черновицкий факультет Национального технического университета
«Харьковской политехнический институт»,
ул. Главная, 203А, г. Черновцы, 58018, Украина, тел.: (03722) 4-56-39

В публикации обобщены данные литературы о влиянии раундапстойкой генетически модифицированной сои на организм животных. Рассматривается влияние широко используемого в сельском хозяйстве большинства стран мира гербицида глифосата на организм растений и животных. Ежегодно увеличивается применение гербицида «Roundup», поскольку сорняки становятся устойчивыми к глифосату. В последние годы традиционная и трансгенная соя широко используется как в сельском хозяйстве, так и пищевой промышленности. Из сои изготавливают соусы, ее добавляют в колбасные и кондитерские изделия, поэтому вопрос о ее влиянии на организм человека и животных остается открытым. В статье также освещаются современные научные исследования влияния искусственно внесенных генов сои на организм животных и последствия влияния глифосата на живые организмы (микроорганизмы, рыб и млекопитающих).

Приведены научные исследования украинских и зарубежных ученых, которые обнаружили, что гербицид «Roundup» способен накапливаться в семенах сои, может вызывать анатомические патологии, изменения в моче и биохимических показателях крови, приводит к морфологическим и функциональным изменениям печени и почек, а также к нарушениям клеточного окисления. В литературных источниках есть сообщения о том, что гербицид «Roundup» вызывает некроз печени у рыб, блокирует работу некоторых ферментов у млекопитающих. У крупного рогатого скота при влиянии этого гербицида наблюдается уничтожение микрофлоры кишечника и размножение вредных бактерий. Приведены исследования пренатального введения крысам глифосата, который является основным действующим веществом гербицида «Roundup», что приводит к изменению клинических показателей (АлАТ, АсАТ, МСМ и щелочной фосфатазы). Подкожное введение крысам глифосата приводит к изменению биохимических показателей и функционирования физиологических механизмов. Однозначного ответа о влиянии генетически модифицированной глифосат-резистентной сои и гербицида «Roundup» нет, поэтому в дальнейшем нужно проводить исследования для обоснования как именно влияет трансгенная соя и гербицид на живые организмы.

Ключевые слова: ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОРГАНИЗМЫ, СОЯ, ГЕРБИЦИДЫ, ГЛИФОСАТ, РАСТЕНИЯ, ЖИВОТНЫЕ

В останні десятиліття на зміну традиційним методам селекції, що є інструментом досягнення бажаних властивостей рослинної культури, стали генні технології, які полягають у штучній зміні геному не тільки рослини (генній модифікації), але й інших організмів,

вилученням генів з ДНК одного організму та внесенням їх в організм-реципієнт. Штучно внесені гени кодують бажану властивість чи ознаку (посухостійкість, морозостійкість, стійкість до дії гербициду тощо), при цьому генетично модифіковані рослини набувають

нових корисних ознак. Внаслідок цього трансгенні рослини почали широко використовуватись у сільському господарстві, медичній та харчовій промисловості, в інших сферах людської діяльності [37, 49, 51].

Внаслідок контрольованого та неконтрольованого вирощування генетично модифікованих організмів у багатьох країнах, перед вченими постало питання: чи безпечно вживати такі рослини та продукти їх переробки людині й тваринам? Щоб дати відповідь на це запитання, необхідно перевірити такі фактори: токсичність, стабільність внесених генів, здатність спровокувати алергічні реакції, вміст специфічних компонентів та інше [50, 19]. Хоча вченими різних країн було проведено багато наукових досліджень щодо впливу генетично модифікованих рослин на організм тварин, однозначної відповіді досі немає. При створенні нового модифікованого організму вносять інші гени та використовують інші методи, тому необхідно проводити дослідження кожного нового модифікованого організму та його вплив на організм людини і тварин.

Проведені численні дослідження щодо впливу трансгенних рослин на організм тварин. Науковці поділилися на прихильників і противників використання генетично модифікованих організмів у сільському господарстві й харчовій промисловості. Прихильники застосування трансгенних організмів наводять такі аргументи: вони стійкі до гербіцидів та збудників інфекцій, стійкіші до негативних факторів навколишнього середовища, довше зберігаються, швидше ростуть, невибагливі, мають кращі смакові якості. Противники, навпаки, вказують, що вплив трансгенних рослин на організм недостатньо вивчений, що вони можуть спричиняти захворювання як у тварин, так і в людей, викликати алергію, призводити до порушення обміну речовин, спричиняти розвиток онкологічних захворювань тощо [45, 48]. Противники говорять, що чужорідні вставки модифікованих організмів повністю не перетравлюються і можуть вбудовуватися в геном людини і тварин, прихильники ж стверджують, що чужорідні вставки повністю розщеплюються у кишковому тракті. Однак були виявлені плазмиди і генетично модифіковані вставки в різних органах

тварин і людей, які споживають ГМО: у слині, крові та кишковій мікрофлорі людини та мишей [27, 42, 43]. Такі вчені, як Arpad Pusztai (Rowett Research Institute, 1999) [9, 33, 34], І. В. Єрмакова (Інститут вищої нервової діяльності і нейрофізіології РАН, 2007) [5–7], Жиль-Ерік Сераліні (Університет Кан, Франція) [41], виявили, що трансгенні рослини пригнічують імунну систему, можуть порушувати діяльність внутрішніх органів і призводити до морфологічних змін у печінці, селезінці та щитоподібній залозі, до змін у шлунково-кишковому тракті [41], до виникнення онкологічних захворювань та порушення інстинктів (зокрема материнського). Ці роботи були розкритиковані, була низка зауважень щодо чистоти проведення експериментів, більшу частину цих даних спростовано.

Сьогодні досить широко використовують стійку до гербіциду «Roundup» генетично модифіковану сою. Проведено дослідження про вплив трансгенної сої на організми різних видів тварин, але питання про її шкідливість залишається відкритим [3, 8]. Соя містить в середньому 38–42 % білка, амінокислотний склад цього білка подібний до амінокислотного складу білка тварин, соєвий білок здатний засвоюватися людиною на 90 %. Насіння сої містить вуглеводи, жири, фосфатиди та деякі інші поживні речовини, кількість яких значно більша, ніж у багатьох злакових і олійних культурах. Соя, як і інші бобові культури, містить вітаміни (β-каротин, піридоксин, рибофлавін, вітамін Е, ніацин, біотин, фолієву кислоту, пантотенову кислоту, тіамін, холін). Встановлено, що у соєвих бобах вітаміну В₂ міститься у шість разів більше, ніж у насінні пшениці, ячменю, вівса, гороху, а вітаміну В₁ — у три рази більше, ніж в сухому коров'ячому молоці. Насіння сої багате на макро- й мікроелементи (Фосфор, Магній, Калій, Кальцій, Сульфур, Хлор, Кремній, Манган, Натрій, Ферум, Йод, Бор, Алюміній, Купрум тощо). Разом з поживними речовинами соя містить також антипоживні, рівень яких залежить від сорту. До антипоживних речовин належать: інгібітори протеаз (трипсин, хіотрипсин), лектини, сапоніни, антивітаміни, уреаза, гемаглютиніни, конгліцінін (алергічні речовини), білок соїн, неперетравлювані вуглеводи — раффіноза і стахіоза, антиендокринні

і рахіт-стимулювальні агенти. Більшість з цих речовин мають білкову структуру, тому вони інактивуються за дії високої температури [22, 26, 31], хоча після термічної обробки активними залишаються ізофлавонони (геністеїн, дайдзеїн). У кишечнику ці речовини підлягають гідролізу та подальшому метаболізму, у результаті чого утворюються сполуки з естрогенною активністю: дайдзеїн, формонетин, біоканін-А, геністеїн тощо.

Соєа входить до складу великої кількості продуктів: макаронних, м'ясо-ковбасних виробів, солодошів, соусів тощо [32]. Світовим лідером з виробництва та поставки трансгенної сої є американська фірма «Монсанто», яка у 1995 р. випустила генетично модифіковану соєа з новою ознакою «Roundup Ready» (RR). «Roundup» є торговою маркою гербіциду гліфосату. У 1970 р. Джоном Францем, який працював в американській компанії «Монсанто», вперше були виявлені гербіцидні властивості цієї речовини.

Для стійкості сої до гербіциду гліфосату у неї був внесений ген бактерії *Agrobacterium tumefaciens*. Трансгенна соєа синтезує бактеріальну EPSPS, що замінює інгібований гербіцидом ензим в рослині. Тому генетично модифікована соєа стійка до гліфосату і продовжує рости при обробці поля гербіцидом «Roundup», тоді як бур'яни гинуть. Механізм стійкості трансгенної сої до гліфосату, здавалось би, не має викликати занепокоєння щодо використання ГМ-сої у харчових продуктах, але встановлено, що водна витяжка з ГМ-сої призводить до пригнічення росту рослин. Витяжка «Roundup»-стійкої сої в 1,9–2,5 рази пригнічує інтенсивність росту проростків зерна пшениці, жита і тритикале порівняно з такою ж витяжкою традиційної сої. Ці дослідження можна провести в будь-якій лабораторії [14, 17].

Гліфосат (N-(фосфонометил)-гліцин, $C_3H_8NO_5P$) — похідний амінокислоти гліцину, на сьогодні це найпоширеніший у світі гербіцид [37, 10], токсична дія якого обумовлена тим, що він інгібує ензим 5-енолпірувилшикімат-3-фосфат синтазу. Останній синтезує хоризмат — рослинний попередник трьох ароматичних амінокислот: фенілаланіну, тирозину, триптофану та деяких інших важливих компонентів

рослин. Потрапляючи на рослину, хоризмат блокує синтез цих важливих амінокислот і рослина гине. Синтез цих же амінокислот у тварин гліфосатом не інгібується, оскільки відбувається інакше [1]. Тому гліфосат належить до малотоксичних гербіцидів, що підтверджується його летальною дозою $LD_{50}=5600$ мг/кг маси за внутрішнього застосування в експериментах на щурах. ГМ-соєа містить повну копію гену 5-енолпірувилшикімат-3-фосфат синтази з ґрунтової бактерії *Agrobacterium sp. strain CP4*, що робить соєа стійкою до гербіциду гліфосату, який застосовують для боротьби з бур'янами [47, 30].

Виробники гербіциду «Roundup» стверджують, що він не вступає у метаболізм рослини і дуже швидко виводиться, не завдаючи шкоди. Виникає питання, чи не залишаються гербіциди в неактивній формі у тканинах рослини і як вони себе поведуть у харчових ланцюгах? Групою вчених була висунута версія, що цей гербіцид може накопичуватися у рослинах і негативно впливати на тварин [39].

Французькі науковці досліджували механізми токсичного впливу на клітини людини чотирьох різних за складом гербіцидів «Roundup». Дослідження проводили на клітинах пуповинної крові новонароджених, при цьому брали мінімальну концентрацію гербіциду «Roundup». Під час експерименту було виявлено пошкодження клітинних мембран і ДНК, крім того, виявилось, що «Roundup» перешкоджає клітинному диханню. Порушення окиснення в дихальному ланцюзі може призвести до утворення вільних радикалів, що, своєю чергою, призведе до окиснення біомолекул — протеїнів, ліпідів, вуглеводів. Дослідники стверджують, що суміш допоміжних речовин, які входять до складу гербіциду «Roundup», посилюють дію основної речовини — гліфосату [1].

Останніми роками проведені дослідження щодо впливу генетично модифікованої «Roundup»-стійкої сої та самого гербіциду «Roundup» на мікроорганізми, тварин та рослин [2, 35, 21]. Такі дослідження також проводилися й українськими вченими. Дослідження Вінницького національного медичного університету показали, що за умов кип'ятіння в дистильованій воді внутрішніх органів щурів (печін-

ки, серця, нирок і легень) у водний розчин переходять термостійкі водорозчинні протеїни, нуклеїнові кислоти, мінеральні речовини та інші низькомолекулярні сполуки; також до розчину можуть потрапляти плазмідні, тобто кільцеві структури ДНК агробактерій, тому що продукти синтезу гена *Agrobacterium tumefaciens* наявні в бобах трансгенної сої (тобто токсичні низькомолекулярні сполуки чи залишки гліфосату та його метаболіти). Результати досліджень показали, що водний екстракт внутрішніх органів щурів, які тривалий час споживали трансгенну сою, містить біологічно активні сполуки, тому що біопроба (інфузорії) призвели до їх активного розмноження і підвищення життєздатності інфузорії. Існує ймовірність, що в організмі тварин та людини ці сполуки можуть стимулювати до неконтрольованого розмноження певних видів клітин, тому вплив «Roundup»-стійкої сої на організм тварин та людини залишається невивченим [18].

Також проведені дослідження вченими цього університету, які вивчали вплив гліфосат-резистентної сої на морфологічні показники. Експерименти проводили на свинях, до раціону яких додавали трансгенну сою (термічно оброблену, 15–20 % за сирим протеїном). Результати досліджень показали, що довготривале вживання генетично модифікованої сої спричиняє набряк та дистрофічні зміни наднирникових залоз, нирок та печінки, що призводить до зменшення адаптаційних можливостей органів. Інші дослідження науковців цього університету показали, що згодовування трансгенної сої призводить до змін концентрації протеїнових фракцій у крові 8-місячних свиней, до зниження рівня естрогенів у крові, що вказує на негативний вплив сої на статеву систему свиней [16, 15, 40].

Дослідження вчених Інституту біології тварин (О. П. Долайчук та ін.) [4] показали, що при вживанні гліфосат-резистентної генетично модифікованої сої спостерігалось підвищення рівня середніх молекул у крові щурів — $0,42 \pm 0,06$ г/л проти $0,35 \pm 0,008$ г/л у контрольній групі, але ця різниця була невірогідною. У дослідженнях І. М. Самсонюк [38], де 20 % корму було замінено на традиційну та генетично модифіковану сою, встановлено, що довготривале згодовування гліфосат-резистентної генетич-

но модифікованої сої призводить до зростання у сироватці крові активності лужної фосфатази у трьох поколіннях, АлАт і АсАт — у двох поколіннях щурів. Це може свідчити про ураження гепатоцитів печінки та про ушкодження печінкових жовчних шляхів. Результати інших досліджень з впливу гліфосату, яка є основною діючою речовиною гербіциду «Roundup», показали зміни активності МСМ в 1,8, АлАт — у 2,7 та АсАт — у 2,6 рази [5]. Дослідження російськими вченими підшкірного введення гліфосату піддослідним щурам призвело до негативних змін обміну речовин та функціонування фізіологічних механізмів [28]. Вплив генетично модифікованої сої «Roundup Ready» на активність АлАт і АсАт у крові свиней вивчав співробітник Інституту свинарства і АПВ НААН С. Г. Зинов'єв, у дослідженнях якого було показано, що за умов згодовування ГМ-сої впродовж восьми місяців підвищується активність трансфераз у крові свиней на 24,14 та 38,89 %, що свідчить про шкідливий вплив трансгенної сої на печінку та міокард свиней [53].

Вченими Харківського національного медичного університету були проведені дослідження з впливу генетично модифікованої сої на метаболізм та гістологію печінки і нирок щурів двох поколінь, у раціоні яких 50 % білка було замінено на «Roundup»-стійку трансгенну сою. Згодовування щурам ГМ-сої тривало дев'ять і три місяці. Результати досліджень показали підвищення катаболізму білків у тканинах печінки та нирок, яке супроводжувалося низькоенергетичними переміщеннями в аденіловій системі, що свідчить про швидкість старіння організму. Цей висновок підтверджується морфологічними дослідженнями печінки та нирок. Науковці припускають, що такі зміни можуть бути пов'язані з потраплянням в організм щурів гербіциду «Roundup», який може міститися в невеликих кількостях у сої. За короткотривалого згодовування сої тваринам не виявлено метаболічних порушень [53, 12].

Крім того, було вивчено вплив гліфосату і гербіциду «Roundup» у нетоксичних концентраціях на ароматазу: гербіцид руйнує активність ароматази і знижує рівень мРНК, при цьому сам гліфосат такого впливу не спричиняє. Таким чином, було висунуто припущення,

що допоміжні речовини, які входять до складу гербіциду, підвищують біоаккумуляцію гліфосату [36]. Дослідження данських вчених вказують на шкідливий вплив гербіциду «Roundup» на ензими у ссавців. Гербіцид призначений для боротьби з бур'янами, але, з іншого боку, він є надзвичайно небезпечним для деяких видів тварин [46].

Вплив гліфосату пов'язують з низкою проблем зі здоров'ям тварин. Вчені виявили, що деякі ензими, необхідні для нормального функціонування організму, були заблоковані: ензими кишечника, які дозволяють виводити токсини з організму, не функціонували у мишей, яким згодовували гліфосатозалежну сою [44].

На прохання Міністерства сільського господарства Данії науковці з Орхуського університету [46] досліджували звіти фермерів і виявили ризики, пов'язані зі здоров'ям худоби через вплив гліфосату. Встановлено, що гліфосат має найбільший вплив під час критичних періодів життя тварини. Вивчаючи згубний вплив гліфосату на мікроорганізми у шлунково-кишковому тракті тварин, було зауважено, що гліфосат може пригнічувати доступність поживних речовин у рослини, в тому числі мікроелементів, які виконують важливі функції в організмі сільськогосподарських тварин. Незадовго після цього була опублікована праця німецьких науковців [44], у дослідженнях яких гліфосат було виявлено в сечі тварин, які мали низький рівень мікроелементів у крові. Данські вчені дослідили, що гліфосат не тільки порушує життєвий цикл корисних бактерій у шлунково-кишковому тракті, але й виснажує імунітет тварин і робить їх більш схильними до хвороб. У рогатої худоби спостерігали збільшення кількості бактерій, зокрема *Clostridium botulinum* — збудника ботулізму, який поширився в Німеччині; але це не єдина інфекційна хвороба сільськогосподарських тварин, які споживали генетично модифікований корм. Також було встановлено, що високу стійкість до гліфосату мали сальмонели і кластрідії, тоді як корисні бактерії *Enterococcus*, *Bacillus* і *Lactobacillus* виявилися найвразливішими і були практично знищені гліфосатом. Без достатньої кількості корисних бактерій кишечник худоби стає живильним середовищем для різних хвороб [46].

У дослідженнях про можливу шкоду, спричинену гліфосатом в організмі ссавців, показано пригнічення ензиму цитохром Р450. Це означає, що гліфосат викликає хімічне переважання організму токсичними речовинами [1].

Професор університету штату Вашингтон Чак Бренбук, провівши аналіз літературних даних, виявив, що у період з 1996 по 2011 рр. технологія ГМО фактично збільшила використання гербіцидів на 250 мільйонів кілограм — це на 11 % більше, ніж використовувалося раніше. Щоразу при зменшенні дози пестицидів та інсектицидів ГМО-рослини не дають необхідної врожайності. Бур'яни стали стійкими до гліфосату, що призводить до необхідності збільшення кількості пестицидів [20].

У 2015 р. Ч. Бенбрук і Ф. Лендріган розглянули перспективу провести нове оцінювання безпеки гліфосату, який був оголошений вірогідним людським канцерогеном [20, 13]. Сьогодні гербіцид «Roundup» найбільш широко використовуваний у сільському господарстві в багатьох країнах світу, що стало проблемою, оскільки гліфосат недостатньо вивчений, невідомий його вплив на здоров'я людини.

Дослідження, опубліковані в журналі «Environmental Sciences Europe», показують, що американці застосували 1,8 млн тонн гліфосату з моменту його введення в 1974 р. У всьому світі на поля було розпилено 9,4 млн тонн цієї хімічної речовини [11].

Зростання стійкості бур'янів до гліфосату призвело до використання дедалі більшої кількості гербіцидів. Такі компанії, як *Dow Agro Sciences*, розробляють культури, стійкі до ще більшої кількості гербіцидів — таких, як 2,4-D, що призведе до збільшення розпилюваних гербіцидів і необхідності створення в майбутньому стійкіших до гербіцидів видів рослин. Фінансування досліджень Ч. Бенбрук було здійснене компанією, яка виробляє органічні добрива, тому він був критикований [20].

Міжнародне агентство з вивчення онкології ВООЗ стверджує, що гліфосат — найпоширеніший в світі гербіцид, можливо, є канцерогеном. Агентство прийшло до цього висновку на підставі позицій 17 експертів в галузі онкології з 11 країн світу, які були озвучені

у рамках зустрічі (Франція, 2015) з визначення канцерогенності п'ятьох пестицидів [11].

Зручною моделлю для вивчення впливу різних дієт є печінка та нирки, тому що вони відіграють важливе значення в метаболізмі. Вплив генетично модифікованої сої на печінку висвітлюється в численних експериментах [23–25]. Були помічені зміни в мітохондріях і ядрах гепатоцитів, що вказують на зниження швидкості метаболізму.

Вплив «Roundup» та інших гербіцидів на організм риб досліджував О. О. Жиденко, вивчаючи роль катіонів кальцію у формуванні адаптативних реакцій до гербіцидів у коропа. Було показано, що у результаті поширення процесу вакуольно-крапельної дистрофії спостерігається некроз клітин печінки. Внаслідок пошкодження печінки гербіцидами утворюється вогнище некрозу, що, своєю чергою, призводить до виходу кальпаїну та гідролізу протеїнів плазматичної мембрани сусідніх клітин. Цей висновок підтверджується даними про зменшення вмісту загального протеїну у печінці коропа [52].

Інші результати досліджень показали, що «Roundup» викликає посилення захворюваності з ознаками анатомічних патологій; також спостерігається порушення клітинного окиснення, зміни у сечі та біохімічних показниках крові, що свідчить про функціональну недостатність печінки та нирок [29].

Останні дослідження, які проводили американські вчені впродовж 2016 і на початку 2017 р., показали, що гліфосат здатний накопичуватися як у рослині, так і в її насінні, причому його не можна позбутися ні вишіканням, ні варінням. 17 лютого 2016 р. FDA оголосила про необхідність визначення гліфосату у продуктах харчування [28].

Висновок

Вплив трансгенної раундапстійкої сої та гліфосату, який міститься у гербіциді «Roundup», на організм тварин та людини вивчений недостатньо. Необхідні подальші дослідження метаболічної та продуктивної дії трансгенної гліфосат-резистентної сої та гліфосату на живі організми.

Перспективи подальших досліджень.

Дослідити вміст гербіциду «Roundup» у насінні сої та залишок антипоживних речовин після її термічної обробки. Провести дослідження впливу раундапстійкої генетично модифікованої сої, обробленої гербіцидом, і «Roundup»-стійкої генетично модифікованої сої без обробки гербіцидом та самого гліфосату на масометричні, фізіологічні та біохімічні показники тварин за тривалого згодовування. З'ясувати, чи впливає «Roundup»-стійка генетично модифікована соя та гліфосат на біохімічні показники в організмі сільськогосподарських тварин. Встановити вплив трансгенної сої та гербіциду «Roundup» на фізіологічні та біохімічні показники у наступних поколіннях тварин.

1. Benachour N. Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells. *Chem. Res. Toxicol.*, 2009, vol. 22, no. 1, pp. 97–105. DOI: 10.1021/tx800218n.

2. Bohn T. Compositional differences in soybeans on the market: glyphosate accumulates in Roundup Ready GM soybeans. *Food chemistry*, 2014, vol. 153, pp. 207–215. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.12.054.

3. Cancer row over GM foods as study says it did THIS to rat and can cause organ damage and early death in humans. *The Daily Mail*. Available at: <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2205509> (Accessed 20 September 2012)

4. Dolaychuk O. P., Fedoruk R. S., Kovalchuk I. I., Khrabko M. I. Physiological influence of soybeans on native and transgenic varieties on the body of females of third generation rats. *Biol. Tvarin*, 2013, vol. 15, no. 3, pp. 22–30. (in Ukrainian)

5. Dmukhalska Ye. B., Gonsky Ya. I., Yaroshenko T. Ya. Biochemical parameters of the functional state of the liver under conditions of combined action of heavy metals and roundabout. Topical Issues of Experimental and Clinical Biochemistry and Pharmacology, Science-practice conf., October, 9–10 2014. *Medical Chemistry*, 2014, vol. 16, no. 3, pp. 73–78. (in Ukrainian)

6. Ermakova I. V. GM soybeans revisiting a controversial format. *Nature Biotechnology*, 2007, vol. 25, no. 12, pp. 1351–1354. DOI: 10.1038/nbt1207-1351. (in Russian)

7. Ermakova I. V. Most offspring of rats fed Roundup Ready soy died within three weeks. In: *Genetic Roulette. The Documented Health Risks of Genetically Engineered Foods*. USA, Fairfield, IOWA, 2007, pp. 48–50. (in Russian)

8. Ermakova I. V. New data on the influence of GMOs on the physiological state and higher nervous activity of mammals. 2nd All-Russian Symposium

“Physiology of Transgenic Plants and Problems of Biosafety”, Moscow, 2007, pp. 38–39. (in Russian)

9. Ermakova I. V. Prospects for the development of environmentally friendly food products. 5th Moscow Int. Congress “Biotechnology: state and development prospects”, Moscow, 2009, vol. 2, pp. 366–367. (in Russian)

10. Ewen S. W. Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis lectin* on rat small intestine. *Lancet*, 1999, vol. 354, pp. 9187–9196. DOI: 10.1016/S0140-6736(98)05860-7.

11. Fedketik K. *Biochemistry and physiology of action of herbicides*. Moscow, 1985, 223 p.

12. Gillam J. Scientists call for new review of herbicide, cite “flawed” U.S. regulations. Reuters. Retrieved (5 September 2015).

13. Gorbach T. V., Gubina-Vakulik G. I., Denisenko S. A. Influence of genetically modified soya in the diet of white rats on the metabolism and histology of the liver and kidneys from parents and descendants. *Problems of aging and longevity*, 2016, vol. 25, no. 1, pp. 80–86.

14. IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides. International Agency for Research on Cancer, 20 March 2015.

15. Kulik M. F., Korniyuchuk O. V., Bugayov V. D., Obertyukh Yu. V. Inhibition of growth in the germ of wheat grain, triticale and rye under the influence of water extraction of round-stable GM-soya compared to non-GM soybean. *Bulletin of Agrarian Science*, 2013, no. 6, pp. 21–21. (in Ukrainian)

16. Kulik M. F., Kulik Y. M., Obertyukh Yu. V. Chemical effect of long-term feeding of transgenic soy on reproductive capacity of pigs. *Breeding and genetics of animals*, 2015, no. 49, pp. 213–220. (in Ukrainian)

17. Kulik Y. M., Gavriyuk A. O., Rauzkiene V. T., Khimich O. V. Morphofunctional changes in the liver, kidney and adrenal glands of experimental animals in the long-term feeding of the round-resistant genetically modified soya. *Bulletin of morphology*, 2014, vol. 20, no. 1, pp. 149–153 (in Ukrainian)

18. Kulik Y. M., Rauzkiene V. T., Obertyukh Yu. V., Khimich O. V. Presence in the offspring of rats of the unidentified factor of transgenic soybeans during its feeding for several generations. *Bulletin of biological and medical problems*, 2015, Vip 4, vol. 1, no. 124, pp. 105–109. (in Ukrainian)

19. Kulik Y. M., Rauzkiene V. T., Obertyukh Yu. V., Khimich O. V., Rimsha O. I. Identification of the unidentified factor of trans genetic soy in the internal organs of rats with its long-term fed. *Bulletin of the Vinnytsya National Medical University University*, 2015, vol. 19, no. 2, pp. 144–150 (in Ukrainian)

20. Kuznetsov V. V. Genetically modified risks and products obtained from them: real and potential risks. *Russian Chemical Journal*, 2005, vol. 69, no. 4, pp. 70–83.

21. Landrigan I., Philip J. Benbrook, Charles GMOs, Herbicides, and Public Health. *New England*

Journal of Medicine, 2015, vol. 373, no.8, pp. 693–695. DOI: 10.1056/NEJMp1505660.

22. Larsen K., Najle R., Lifschitz A., Virkel G. Effects of sub-lethal exposure of rats to the herbicide glyphosate in drinking water: glutathione transferase enzyme activities, levels of reduced glutathione and lipid peroxidation in liver, kidneys and small intestine. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 2012, vol. 34, pp. 811–818. DOI: 10.1016/j.etap.2012.09.005.

23. Lysenko V. F. Use of soy in mixed fodders for dairy cows. *Problems of zoinengineering and veterinary medicine*, Kharkiv, Sb. Sciences Prospect KDZVA, 2008, vol. 17 no. 42, p. 1–2, pp. 61–65. (in Ukrainian)

24. Malatesta M., Biggiogera M. Fine structural analyses of pancreatic acinar cell nuclei from mice fed on GM soybean. *Eur. J. Histochem.*, 2003, vol. 47, pp. 385–388. DOI: 10.4081/851.

25. Malatesta M., Boraldi F., Annovi G. A long-term study on female mice fed on a genetically modified soybean: effects on liver ageing. *Histochem. Cell Biol.*, 2008, vol. 130, no. 5, pp. 967–977. DOI: 10.1007/s00418-008-0476-x.

26. Malatesta M., Caporalony C., Gavaudan S. Ultrastructural, morphometrical and immunocytochemical analysis of hepatocyte nuclei from mice fed on genetically modified soybean. *Cell Struct. Funct.*, 2002, vol. 27, pp. 173–180. DOI: 10.1247/csf.27.173.

27. Malyk O. G. *Phytoestrogens*. Lviv, Dobra sprava, 2006, 140 p. (in Ukrainian)

28. Maximovsky S. Yu., Kudrin B. I., Plotnikova O. M. Changes in the morphological and biochemical parameters of blood of small mammals under the influence of glyphosate. *News of the Orenburg State Agrarian University*, 2015, issue 4 (54), pp. 93–95. (in Russian)

29. Mercer D. K. Fate of free DNA and transformation of oral bacterium *Streptococcus gordonii* DL1 plasmid DNA in human saliva. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, vol. 65, pp. 6–10.

30. Mesnage R., Renney G., Séralini G.-E. Multiomics reveal non-alcoholic fatty liver disease in rats following chronic exposure to an ultra-low dose of Roundup herbicide. *Scientific reports*, 09 January 2017, pp. 1–15. DOI: 10.1038/srep39328.

31. Myers J. P., Michael N. A., Blumberg B. Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures. *Environmental Health*, 2016, pp. 2–13.

32. Natarajan S. Proteomic and genetic analysis of glycinin subunits of sixteen soybean genotypes. *Plant Physiol. Biochem.*, 2007, vol. 45, no. 6–7, pp. 436–444. DOI: 10.1016/j.plaphy.2007.03.031.

33. Obertyukh Yu. V. Anti-nutrient substances of soy, their inactivation and technology of processing soybeans on an industrial basis and in the conditions of farms. *Fodder and fodder production*, 2012, vol. 71, pp. 62–71. (in Ukrainian)

34. Oehrle N. W., Sarma A. D., Waters J. K., Emerich D. W. Proteomic analysis of soybean nodule cyto-

sol. *Phytochemistry*, 2008, vol. 9, no. 13, pp. 426–438. DOI: 10.1016/j.phytochem.2008.07.004.

35. Pusztai A. Genetically Modified Foods: are they a risk to human animal health. *Biotechnology: genetically modified organisms*, 2001, vol. 43, pp. 613–621.

36. Pusztai A. Report of Project Coordinator on data produced at the Rowett Research Institute. SOAEFD flexible Fund Project RO 818, 22 October 1998.

37. Richard S., Moslemi S., Sipahutar H., Benachour N., Séralini G. E. Differential effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase. *Environ. Health Perspect.*, 2005, vol. 113, pp. 716–720. DOI: 10.1289/ehp.7728.

38. Richard S. Moslemi S., Sipahutaret H. Differential effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase. *Environ. health perspect.*, 2005, vol. 113, no. 6, pp. 716–720. DOI: 10.1289/ehp.7728.

39. Salyha N. O., Snitynskyi V. V. Genetically modified plants and their influence on the organism of animals. *Biol. Tvarin*, 2010, vol. 12, no. 2, pp. 61–74. (in Ukrainian)

40. Samsonuk I. M., Stronsky Yu. S. Activity of transaminases and alkaline phosphatase of serum of blood of rats of three generations, fed by genetically modified soybean. *Scientific herald of LNUVMBT named after S.Z. Gzhytsky*, 2013, vol. 15, no. 3 (57), part 2, pp. 279–283. (in Ukrainian)

41. Saz J. M., Marina M. L. High performance liquid chromatography and capillary electrophoresis in the analysis of soybean proteins and peptides in food-stuffs. *J. Sep. Sci.*, 2007, vol. 30, no. 4, pp. 431–451. DOI: 10.1002/jssc.200600247.

42. Semenov S. O., Bindyug O. A., Zinoviev S. G. Growth intensity and reproductive capacity of pigs under GM-soy consumption. *Pigs*, 2014, vol. 64, pp. 143–152. (in Ukrainian)

43. Séralini G.-E., Clair E., Mesnage R., Gress S., Defarge N., Malatestab M., Hennequin D., de Vendôme J. S. Long term toxicity of a *Roundup* herbicide and a *Roundup*-tolerant genetically modified maize. *Food and Chemical Toxicology*, 2012, no. 50, pp. 4221–4231. DOI: 10.1016/j.fct.2012.08.005.

44. Schubbert R. Ingested foreign (phage M13) DNA survives transiently in the gastrointestinal tract and enters the blood stream of mice. *Molecules, Genes and*

Genetics, 1994, vol. 242, pp. 495–504. DOI: 10.1007/BF00285273.

45. Schubbert R. On the fate of orally ingested foreign DNA in mice: chromosomal association and placental transmission in the fetus. *Molecules, Genes and Genetics*, 1998, vol. 259, pp. 569–576. DOI: 10.1007/s004380050850.

46. Sorensen M. T., Hojberg O., Poulsen H. D. Glyphosate in the food — can it prevent the animal health? The NOAH environmental organization “GMO Is there still cause for caution?”, Slotsholmen, 2016, pp. 2–20. (in Dutch)

47. Suman S. *Genetically Modified Crops: a resource guide for the Asia Pacific, Consumers International Asia Pacific office*, Kuala Lumpur, 2003, 289 p.

48. Tolstrup K. Feed of livestock with products from genetically modified soy. *Center for Food Production and Farming*, 2014. Available at: <http://dca.au.dk/fileadmin/DJF/DCA>.

49. Vecchio L., Cisterna B. Ultrastructural analysis of testes from mice fed on genetically modified soybean. *Eur. J. Histochem.*, 2003, vol. 48, pp. 449–453. DOI: 10.4081/920.

50. Wilson A. Transformation-Induced Mutations in Transgenic plants: Analysis and biosafety implications. *Biotechnology and genetic engineering reviews*, 2006, vol. 23, pp. 209–237. DOI: 10.1080/02648725.2006.10648085.

51. Vudmaska I. V., Paranyak R. P., Yanovych D. O., Semenovych V. K., Golubets R. A. Quality and safety assessment of genetically modified organisms. *Biol. Tvarin*, 2007, vol. 9, no. 1–2, pp. 55–64. (in Ukrainian)

52. Yeldyshev Yu. N. *Modern biotechnology. Myths and Reality*. Moscow, Taipex Co., 2004, 196 p. (in Russian)

53. Zagrebelny V. O., Gaydy O. S., Usachenko N. V. Analysis of results of determination of GMOs in raw materials of vegetable origin in 2013. *Veterinary Medicine*, 2014, vol. 98, pp. 158–161. (in Ukrainian)

54. Zhidenko A. A. The role of calcium cations in the formation of adaptive reactions to herbicides in carp organism (*Cyprinus carpio*). *Bulletin of the Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 2009, is. 17, vol. 1, pp. 70–79. (in Ukrainian)

55. Zinoviev S. G. Some biochemical parameters of blood of pigs using GM-soya in their diets. *Biol. Tvarin*, 2014, vol. 16, no. 1, pp. 76–82. (in Ukrainian)