

УДК 57.01:636.4.082.26
doi 10.37143/2786-7730-2023-2(80)10

БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЕФЕКТУ ГЕТЕРОЗИСУ ЗА ПОРОДНО-ЛІНІЙНОЇ ГІБРИДИЗАЦІЇ ТА ПРОМИСЛОВОГО СХРЕЩУВАННЯ У СВИНАРСТВІ (оглядова)

В. П. Шабля,¹ Г. М.Ткаченко², О. М. Церенюк³, П. В. Шабля,³ І. О. Бугай,³
В. О. Скрипник³

¹Державний біотехнологічний університет,
вул Алчевських, 44, м. Харків, 61002

²Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk
22B Arciszewskiego St., Słupsk, Poland 76-200

³Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН
вул. Шведська Могила, 1, м. Полтава, Україна, 36013

Мета. Узагальнити біологічні особливості й результати застосування ефекту гетерозису шляхом аналізу організаційно-методичних підходів з формування та впровадження систем породно-лінійної гібридизації і промислового схрещування в свинарстві та інших галузях. **Методи.** Вітчизняні та зарубіжні джерела літератури за тематикою досліджень та їх камеральний аналітичний аналіз. **Результати.** Сучасне промислове свинарство ґрунтується на застосуванні промислового схрещування та породно-лінійної гібридизації. Ці два методи розведення використовуються для отримання в потомстві тих переваг, котрих надає прояв біологічного ефекту гетерозису за поєднання відселекційованих за певною групою показників продуктивності батьківських форм свиней. Для забезпечення подібної системи галузь свинарства розподіляється на дві головні складові – селекційну (племінну) та товарну. До селекції проміжних батьківських форм (або перших батьківських) виставляються більші вимоги, адже має бути забезпечено і прояв ефекту гетерозису за групою ознак відтворної здатності свиноматок, і спрямована селекція за швидкістю росту молодняка. Заключною формою в системах схрещування та гібридизації є так звані термінальні кнури. **Висновки.** Огляд джерел літератури щодо узагальнення особливостей та результатів застосування ефекту гетерозису шляхом аналізу біологічних і організаційно-методичних підходів з формування та впровадження систем породно-лінійної гібридизації і промислового схрещування в

Шабля Володимир Петрович, д. с.-г. н., професор, професор кафедри технологій тваринництва і птахівництва,

e-mail: shabliavladimir@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0001-6510-5397>

Ткаченко Галина Михайлівна, д. біол. н., професор, професор кафедри зоології,

e-mail: halina.tkaczenko@upsl.edu.pl

<https://orcid.org/0000-0003-3951-9005>

Церенюк Олександр Миколайович, д. с.-г. н., професор, директор Інституту

e-mail: tserenyuk@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4797-9685>

Шабля Петро Володимирович, аспірант,

e-mail: fimngine2905@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-1248-9925>

Бугай Іван Олексійович, аспірант,

e-mail: agkprime@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-1476-0903>

Скрипник Віталій Олександрович, аспірант,

e-mail: Skrypnykvo@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-4819-5325>

свинарстві та інших галузях вказує на достатню пластичність системи використовуваних підходів. За будь-якого підходу до причин та наслідків гетерозису одним з основних, якщо не ключовим, лімітуючим чинником при практичному його впровадженні виступає співвідношення між витратами засобів і часу на організацію процесу, з одного боку, та приростом ефективності від його застосування, з іншого. Відпрацьовані загально-методичні підходи стосовно організації систем промислового схрещування та породно-лінійної гібридизації у свинарстві дають змогу отримувати гетерозисні ефекти за низкою господарсько-корисних ознак у відповідності до поставлених вимог. Сучасні світові тренди на отримання більшої кількості високоякісної м'ясної продукції можуть бути забезпечені за рахунок використання у свинарстві окремих батьківських форм та результативних варіантів ефекту гетерозису в системах промислового схрещування та породно-лінійної гібридизації. Розроблені моделі оцінки племінної цінності свиней повинні враховувати біологічні особливості успадкування господарсько-корисних ознак при породно-лінійній гібридизації та промислового схрещуванні, а також прогнозовані ефекти гетерозису за низкою економічно цінних характеристик свиней.

Ключові слова: свині, біологічні особливості, гетерозис, породно-лінійна гібридизація, генетичний потенціал, чиста лінія, схрещування, добір, племінна цінність, домінантний генетичний ефект.

Посилатися на статтю так:

БІБЛІОГРАФІЯ за ДСТУ: Шабля В. П., Ткаченко Г. М., Церенюк О. М., Шабля П. В., Бугай І. О., Скрипник В. О. Біологічні основи застосування ефекту гетерозису за породно-лінійної гібридизації та промислового схрещування у свинарстві (оглядова). *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2023. Вип. 2(80). С. 144–168. doi: 10.37143/2786-7730-2023-2(80)10

REFERENCES за APA style: Shablia, V. P., Tkachenko H. M., Tsereniuk, O. M., Shablia, P. V., Buhai, I. O., & Skrypnik, V. O. (2023). Biologichni osnovy zastosuvannya efektu heterozysu za porodno-liniinoi hibrydyzatsii ta promyslovoho skhreshchuvannya u svynarstvi (ohljadova) [Biological basis of the application of the heterosis effect by breed-line hybridization and industrial crossing in pig breeding (review)]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 2(80), 144–168 [in Ukrainain]. doi: 10.37143/2786-7730-2023-2(80)10

Вступ. На сьогоднішній день існує кілька теорій про біологічні, генетичні та селекційні причини гетерозису [1–4]. Ці теорії мають дещо різні спрямованості, а їх смисл багато в чому різниться залежно від низки факторів впливу, серед котрих можна виділити чинники, пов'язані з:

- типом та видом об'єкта досліджень (рослини, тварини, мікроорганізми чи їх підгрупи);
- метою отримання гетерозисного ефекту (підвищення продуктивності об'єктів, покращення їх життєздатності, інтенсифікація відтворення тощо);
- часом, за який слід або бажано отримати гетерозис;
- ступенем цього ефекту, який вважається доцільним.

У даному аспекті низкою дослідників розглядаються й ураховуються також інші суттєві впливаючі на гетерозис фактори, які, в свою чергу, вносять свої корективи у розуміння суті цього явища [5–7].

Разом з тим, за будь-якого підходу до причин та наслідків гетерозису одним з основних, якщо не ключовим, лімітуючим чинником при практичному його впровадженні виступає співвідношення між витратами засобів і часу на

організацію процесу, з одного боку, та приростом ефективності від його застосування, з іншого [8–11].

Щодо витрат часу на створення передумов для отримання ефекту гетерозису на перший план виходить здатність конкретних біологічних об'єктів до швидкого та масового розмноження, що надає додаткову можливість для здійснення інтенсивнішого добору при виведенні інбредованих груп селекційованих організмів, наприклад, чистих ліній [12–14].

З цієї точки зору в царині тваринництва цінними можна вважати у першу чергу такі види сільськогосподарських тварин як тутовий шовкопряд [15, 16] та різні види птиці [17, 18]. Як твердять автори, з огляду на незначні обмеження щодо розмноження, для цих об'єктів селекції можливий інтенсивний, а разом з тим і не надто тривалий за мірками тваринництва, відбір одночасно на життєздатність та різні види продуктивності. В ідеалі він може призвести до досить швидкого створення таких чистих ліній, які будуть володіти одночасно як ефективним компенсаційним комплексом генів (що забезпечує виживання), так і непересічним набором генів, котрі обумовлюють бажаний високий рівень певного напрямку продуктивності.

При гібридизації представників двох чистих ліній у поколінні F1 негативний ефект від інбридингу по життєздатності буде зазвичай із надлишком компенсований експресією відповідних алелів. У свою чергу, взаємодоповнюючі впливи різноспрямованих генів, які відповідають за різні аспекти продуктивності, виявлять свою дію у формі потужного розвитку гібридів і отримання суттєвої кількості додаткової продукції високої якості [19, 20].

Механізм такої дії полягає насамперед у тому, що надлишкова кількість сприятливих генів у гібридного організму, позбавлена стримуючого ефекту гомозигот-напівлеталей, часто-густо викликає спалах життєдіяльності, що й призводить до підвищеної стійкості та потужнішого розвитку продуктивних ознак, або ж, іншими словами, до гетерозису [21–23]. Такий підхід до розуміння гетерозисного ефекту узгоджується зі класичними положеннями генетики, зокрема щодо домінування й наддомінування. Одночасно він логічно пояснює необхідність та доцільність досить тривалого і рутинного процесу створення інбредованих, а відтак, значною мірою гомозиготних особин, з яких мають складатися вихідні чисті лінії. Отже, якщо вести мову про тутових шовкопрядів і птицю, здатних до досить інтенсивного розмноження, то описаний підхід дозволяє активно та цілеспрямовано вести процес створення вихідного матеріалу для гібридної селекції, а також ефективно впроваджувати на практиці гібридизацію чистих ліній.

У той же час позитивні якості такого розуміння гетерозису стикаються зі значними технологічними труднощами при спробі організації подібного алгоритму дій на сільськогосподарських тваринах, менш орієнтованих на швидке розмноження. До прикладу, вкрай проблематичними щодо можливих темпів розмноження є коні, велика рогата худоба, вівці та кози [24–27]. Мало того, повільні темпи розмноження тягнуть за собою також і практичну недосяжність отримання на таких біологічних об'єктах класичних достатньо інбредованих чистих ліній, а отже, і отримання «вибухового» високого ступеня гетерозисного ефекту. Напевно через ці обмеження відносно вказаних видів тварин застосування класичних методів гетерозису із використанням інбредованих чистих ліній на практиці не набуло широкого вжитку.

Особливої уваги з точки зору і розуміння теоретичних підвалів гетерозису, і прийнятності та доцільності застосування цього біологічного ефекту в умовах

реального сільськогосподарського виробництва заслуговує такий вид сільськогосподарських тварин, як свині. Справа в тому, що за своїми біологічними особливостями щодо інтенсивності розмноження свині займають проміжне положення між дуже швидко розмножуваними комахами і птахами, з одного боку, та крупними тваринами, котрі характеризуються малоплідністю, тривалим досягненням репродуктивного віку й довгим генераційним інтервалом, з іншого [28].

Слід зазначити, що в Україні свинарство завжди вважалось національною підгалуззю тваринництва і у дбайливих господарів майже ніколи не ставало збитковим. Були часи, коли свинина в загальному виробництві м'яса сягала 58,7 %, що майже в два рази вище за середньосвітовий відсоток на сьогодні [29–33].

Чисельність свиней в Україні з 2009 по 2020 рр. змінювалася по-різному: з основних причин суттєвого скорочення поголів'я свиней в країні можна виділити: диспаритет цін на сільськогосподарську та промислову продукцію; зростання цін на корми; неспроможність більшості вітчизняних товаровиробників застосовувати новітні технології утримання та відгодівлі свиней; ліквідація спеціалізованих свинарських господарств (до 300 свиноматок); насичення вітчизняного ринку сировиною іноземного виробництва; скорочення обсягів державної підтримки; ускладнення епізоотологічної ситуації (АЧС); скрутне економічне положення пересічних українців [34].

Підгалузь змогла адаптуватись до нових реалій, і на сьогодні все більшого значення набуває подальше підвищення ефективності виробництва. При цьому найбільший інтерес у майбутньому, скоріше за все, буде спрямований на генетичне вдосконалення переважно ознак зі значною економічною вагою, таких як відтворна здатність свиноматок, якість м'яса. Пов'язано це із тим, що інтереси виробників спрямовані на збільшення виробництва продукції з розрахунку на одну свиноматку, в той час як споживачі продукції починають звертати більше уваги переважно на споживання якісного та смачного м'яса [35, 36].

Враховуючи високі смакові якості свинини та популярність м'ясних продуктів з неї, світове виробництво продукції свинарства останнім часом щорічно збільшується приблизно на 2–3 %, що супроводжується подальшим нарощуванням поголів'я свиней, покращенням умов годівлі та утримання свиней тощо. Рушійною силою цього зростання є селекція [37–40].

В той же час, фактичний стан галузі нині не відповідає її потенційним біологічним можливостям і потребує додаткової уваги з боку держави, практиків і особливо науковців. Останні можуть передусім надати цій галузі суттєвого додаткового імпульсу за рахунок широкого впровадження у практику виважених раціональних методів породно-лінійної гібридизації та промислового схрещування, котрі засновані на застосуванні гетерозисного ефекту.

З огляду на наведені вище аргументи, залучення ефекту гетерозису за поєднань різних порід, типів та спеціалізованих ліній свиней, безумовно, може стати вже сьогодні одним зі шляхів зниження собівартості виробництва свинини на рівні товарних господарств. Різноманітні системи схрещувань порід дають можливість виробникам розробити програми розведення свиней, які засновані на сучасному розумінні біологічних законів, найкраще відповідають їхнім цілям та забезпечують відповідний додатковий гетерозисний ефект [41]. В цьому напрямі проведено значну кількість досліджень як вітчизняними так і зарубіжними науковцями. Накопичені результати мають бути узагальнені з метою подальшого використання їх як у селекційній роботі з вітчизняними породами свиней, так і при

формуванні нових поєднань та схем промислового схрещування й породно-лінійної гібридизації.

Мета досліджень. Узагальнити біологічні особливості й результати застосування ефекту гетерозису шляхом аналізу організаційно-методичних підходів з формування та впровадження систем породно-лінійної гібридизації і промислового схрещування в свинарстві та інших галузях.

Матеріали та методи досліджень. Вітчизняні та зарубіжні джерела літератури за тематикою досліджень та їх камеральний аналітичний аналіз.

Результати дослідження та їх обговорення. Сучасне промислове свинарство, котре займає значну частку в загальному виробництві м'ясної продукції України, ґрунтується на застосуванні промислового схрещування та породно-лінійної гібридизації. Ці два методи розведення використовуються з однією метою – використання тих біологічних переваг, які надає прояв ефекту гетерозису за поєднання відселекційованих за певною групою показників продуктивності батьківських форм свиней [18].

Генетичні досягнення, які отримують в результаті схрещування, мають два основних джерела: адитивні (прямі та материнські) та домінантні генетичні ефекти. Практична важливість цих двох джерел оцінюється за допомогою таких статистико-біологічних параметрів, як середній прямий генетичний ефект, середній материнський генетичний ефект, загальна комбінаційна здатність, специфічна комбінаційна здатність, реципрокний, прямий гетерозисний і материнський гетерозисний ефект. У випадку значного реципрокного ефекту можна ураховувати також зчеплені зі статтю та аутосомні ефекти. Для оцінки результативності схрещування та ступеня гетерозису застосовуються різні підходи. А результати оцінки використовуються задля оптимізації діалельного схрещування між різними наявними породами з точки зору параметрів схрещування та впливу на виробництво й удосконалення свиней [43].

Для забезпечення подібної системи галузь свинарства розподіляється на дві головні складові – селекційну (племінну), що базується переважно на чистопорідному розведенні, та товарну, де застосовується поєднання різних порід, типів та ліній свиней з метою отримання і прояву ефекту гетерозису. Стосовно самої дефініції, то *ефект гетерозису в свинарстві* – це біологічне явище, яке виникає при поєднанні тварин, що генетично віддалені між собою та проявляється на рівні першого покоління нащадків спалахом життєвості й підвищенням продуктивного рівня за основними господарсько-корисними ознаками, має складний механізм формування, обумовлений взаємодією різного характеру між генами, їх комплексами та продуктами [44].

Розвиток галузі тваринництва, зокрема свинарства, є важливим питанням вирішення проблеми продовольчої безпеки України та задоволення потреб населення білковими продуктами харчування. Відомо, що свинина відіграє значну роль у формуванні м'ясного балансу країни, адже свині ефективніше, ніж низка інших тварин, використовують поживні речовини корму. Тому забезпечення вітчизняного споживача якісною свининою на сьогодні є стратегічним завданням свинарства. Свині є одними з найбільш швидкорозвивальних сільськогосподарських тварин. Тому важливими факторами, що впливають на ефективність галузі свинарства, є підвищення рівня відтворювальних якостей свиноматок, одержання та максимальне збереження здорового поголів'я поросят [45].

Важливість специфічних продуктивних характеристик свиней підкреслює значна кількість науковців та практиків [46–52]. Серед цих специфічних ознак

свиней значну економічну вагу мають багатоплідність, молочність та поліестричність. За рахунок саме цих характеристик у поєднанні з застосуванням відповідних біологічно обґрунтованих схем схрещування та породно-лінійної гібридизації, отриманням гетерозисних ефектів, а також з високою конверсією корму та коротким періодом відгодівлі до забійних кондицій, від однієї свиноматки на рік можна отримати значну кількість високоякісної м'ясної продукції [53].

Відповідно основним завданням племінного свинарства є спрямована селекція за обраною групою показників. Для першої батьківської (материнської) форми це передусім – група ознак з низьким ступенем успадкованості, тобто відтворною здатністю свиноматок.

Свиноматки відрізняються за репродуктивними характеристиками (наприклад, розміром гнізда, вагою поросят при народженні), їхньою здатністю підтримувати фізичний стан і материнськими характеристиками, які вони надають нащадкам (материнські антитіла, кількість та якість молока, тощо). Ці особливості свиноматок впливають на виживання поросят, кількість відлучених поросят і якість поросят під час відлучення. Усі ці риси можна описати як «материнські» характеристики продуктивності. Зрештою, материнський вплив переноситься на продуктивність потомства після відлучення, на кількість племінних свиней, отриманих від свиноматки (хряків-плідників і свиноматок) [54–56]. При цьому, якщо ще років 20–30 тому лідерство тварин великої білої породи за рівнем відтворної здатності свиноматок і, відповідно, використанням їх в якості материнської форми, не ставилось під сумнів, то в подальшому зацікавленість була переключена на інші породи, які відзначилися високим рівнем цих показників.

Так, низкою дослідників зазначалось, що недостатньо вивченим напрямом було використання м'ясних генотипів в якості материнської та проміжної батьківської форми в системах схрещування та гібридизації. Особливо це стосувалось порід ландрас та уельс. Разом з тим, ефективність поєднання за відтворювальною здатністю залежить не лише від індивідуальних якостей маток та кнурів, але й від їх біологічної поєднуваності та здатності порід в певних схрещуваннях проявляти свої репродуктивні якості на високому рівні, реалізуючи, зокрема, ефект гетерозису [57].

Детальні дослідження цього питання довели ефективність використання свиноматок порід ландрас та уельс як в якості материнської, так і батьківської форми [58].

До прикладу, це добре проілюстровано в дослідженнях [59] щодо визначення ефектів гетерозису та рекомбінації за ознаками молочної продуктивності, складу молока та ряду ознак приплоду помісних свиноматок порід гемпширська × ландрас за дванадцятьма типами спарювання у поколіннях F1, F2 й F3. Дослідниками було доведено значущі ($P < 0,05$) ефекти гетерозису для кількості народжених живими поросят і для маси приплоду при народженні. У той же час невірогідними були ефекти гетерозису і рекомбінації для молочної продуктивності або складу молока.

Слід зазначити, що до помісних свиноматок (F1) різних поєднань виставляються певні вимоги, котрі спочатку зводились лише до показника багатоплідності. Відповідно, селекція за цим показником, хоча й призвела до зростання цієї ознаки, однак загострила проблему в більшій кількості необхідних поживних речовин під час лактації. Це відобразилось у тому, що окремі тварини активніше за інших втрачали живу масу під час підсисного періоду, і, відповідно або швидше потрапляли під бракування, або переводились до нетехнологічних

груп з-за необхідності відновлення до наступного осіменіння [61–66]. Відповідно, селекційні параметри проміжних батьківських форм повинні враховувати потреби ринку, що мають забезпечити отримання високопродуктивних двопорідних свинок. Отже, до селекції проміжних батьківських форм (або перших батьківських) виставляються більші вимоги, адже має бути забезпечено і прояв ефекту гетерозису за групою ознак відтворної здатності свиноматок, і спрямована селекція за швидкістю росту молодняку.

Є окремі повідомлення й про можливість використання тварин м'ясо-сального та сального напрямку як материнської форми за міжпородного промислового схрещування. Так, в дослідженнях встановлено, що за багатоплідністю такі породи як велика біла, українська степова біла – універсального напрямку, а також українська степова ряба – сального типу – майже не відрізнялись [67]. З метою отримання свинини високої якості також можна використовувати як материнську форму свиноматок миргородської породи [68, 69].

У той же час, за аналогією з українськими традиційними породами першої хвилі породотворного процесу, й інші чистопородні місцеві генотипи мають нижчі середньодобові прирости і коефіцієнт конверсії корму, ніж європейські комерційні породи свиней і тому є малоприсадибними для промислового виробництва свинини.

Утім і їх вдається залучити до вдалого й ефективного породно-лінійного схрещування з високопродуктивними заводськими породами. Так, нігерійські вчені оцінили параметри схрещування за участю аборигенних та екзотичних порід Нігерії та визначили кращі комбінації для поліпшення ростових і зовнішніх ознак. Діалельне схрещування 3x3 було проведено між трьома породами свиней – великою білою, ландрас та місцевою нігерійською породою. При цьому дослідники довели наявність значних гетерозисних і материнських ефектів за ознаками маси поросят при відлученні у 6 тижнів, у віці 20 тижнів та за середньодобовим приростом до 20 тижнів [70].

Одночасно місцеві породи за рахунок своїх біологічних особливостей часто дають змогу підвищити якість м'яса, наприклад, забезпечуючи підвищену ніжність, соковитість і достатню кількість внутрішньом'язового жиру, і таким чином, більше задовольняють вимоги споживачів [71, 72]. Відповідно, в якості материнської форми можуть бути використані будь-які породи, що відзначаються високим рівнем відтворної здатності свиноматок, в залежності від поставлених вимог до фінальних товарних помісних тварин та гібридів.

Подібні результати отримано в дослідженнях, присвячених вивченню впливу схрещування свиней ляншанської породи з генотипами дюррок і беркшир [73]. Дослідниками доведено, що схрещування беркширських свиней з ляншанськими може бути альтернативним генотипом у системі комерційного виробництва свинини. При цьому позитивні ефекти досягаються за рахунок встановлених вірогідних статистико-біологічних величин гетерозису за різними ознаками відтворення, росту, якості туші та м'яса. Так, дюррок-ляншанський (DL) та беркшир-ляншанський (BL) кроси в поколінні F1 показали кращі репродуктивні та ростові характеристики, ніж чистопородні ляншанські свині, мали кращу якість туші зі значним зменшенням товщини шпику і кількості шкірного сала. Оцінюючи гетерозис, автори вказують, що за рахунок нього репродуктивні ознаки були значно покращені як у DL, так і у BL. Товщина шпику і площа м'язового вічка у цих породних поєднань були також значно покращені. Хоча не було вірогідних відмінностей між оцінюваними групами по відсотку пісного м'яса і кількості сала. Показники росту також не показали суттєвої різниці між даними породно-

лінійними кросами. При цьому ВL показала покращений гетерозис, з відмінним внутрішньом'язовим жиром, вищим рН (45хв.) та нижчими втратами при кулінарній обробці.

Низка дослідників [74] вивчали адитивні й гетерозисні породні ефекти в генетичній оцінці плідників свиней порід дюрок, гемпшир, п'єтрен, велика біла (Чехія) або йоркшир (Словаччина), чеська м'ясна (Чехія), словацька м'ясна (Словаччина), бельгійський ландрас за ознаками середньодобового приросту від народження до забою, вмісту пісного м'яса та товщини шпикю. Встановлено, що оцінки гетерозисних ефектів для середньодобового приросту від народження до забою були позитивними в усіх випадках. Вони становили до 40 г/день (7%). Таким чином, дослідники дійшли висновку, що гетерозисні ефекти породи мають певне значення, особливо для вказаної ознаки. У той же час включення цих ефектів у рівняння для оцінки племінної цінності матиме лише незначний вплив на прогнозовану племінну цінність.

В окремих господарствах для спрощення процедури ремонтування поголів'я застосовуються схеми ротаційних схрещувань за участі двох (інколи більше) порід свиней. Дані схеми передбачають участь тих порід, що за своїми біологічними особливостями відзначаються високим рівнем відтворної здатності свиноматок. Це першочергово тварини порід, котрі відносяться до материнських проміжних батьківських форм. В Україні до таких порід належать велика біла, ландрас, уельс – м'ясного та переважно м'ясного напрямку продуктивності, а також миргородська, українська степова біла та рябі породи м'ясо-сального й сального напрямів продуктивності. Такі ротаційні системи схрещувань були тривалий час популярні в галузі свинарства. Вони прості для розуміння і потребують тільки придбання кнурів або сперми. Проте ці системи не дозволяють оптимально використовувати гетерозис. У перших трьох поколіннях ротації, залежно від кількості залучених порід, свині здебільшого демонструють високий рівень прояву ефекту гетерозису, і якщо прийняти його за 100 %, то в міру збільшення числа поколінь рівень прояву цього біологічного ефекту знижується. Так, гетерозис у ротації двох порід зменшується до 67 % порівняно з початковим схрещуванням, а ротація чотирьох порід стабілізує його величину на рівні близько 93 %, тим часом як ротація трьох порід забезпечує 86 % можливого прояву гетерозису [41, 75–77]. Відповідно, збільшення чисельності порід, що приймають участь у системі ротаційного спаровування ускладнює саму систему; при її спрощенні ж пропорційно зменшується ефективність схрещування через нівелювання прояву ефекту гетерозису. В цілому, будь-яка система розведення у товарному свинарстві повинна базуватись на основі певного поєднання чистопородного розведення і схрещування. А для формування високопродуктивного стада необхідно мати кнурів м'ясного типу і достатньо продуктивне маточне стадо [78].

Наприклад, [79] описують варіант ротаційного схрещування з використанням свиней італійської великої білої породи, бельгійського ландраса, дюрка та рябої польської породи. У результаті проведеного аналізу авторами встановлено, що прямий гетерозис мав місце у низці варіантів схрещування і позитивно вплинув, зокрема, на швидкість росту після відлучення (до +34 г/добу, $P < 0,05$). А ось для більшості ознак туші ефект гетерозису був невеликим і несуттєвим.

На додачу китайські дослідники оцінили економічну ефективність трьох систем виробництва свинини на комерційних підприємствах Китаю з

використанням схем схрещування трьох спеціалізованих імпорتنих порід свиней [80]. Було здійснено порівняльну оцінку трьох схем схрещування:

Схема 1 – використовувала трипородне термінальне схрещування з дюрок х (ландрас х йоркшир);

Схема 2 – базувалася на трипородному ротаційному схрещуванні дюрок, ландрас та йоркшир;

Схема 3 – була комбінованою системою схрещування з трипородним ротатермінальним схрещуванням дюрок х (ландрас, йоркшир).

Схема 1 виявилася найбільш вигідною (¥ 3895,15 на свиноматку), за нею йшла схема 3 (¥ 3749,02 на свиноматку), а потім схема 2 (¥ 3317,33 на свиноматку). Результати цього дослідження показали, що трипородне термінальне схрещування або трипородне ротаційно-термінальне схрещування максимально ефективно використовує біологічний ефект гетерозису і взаємодоповнюваність вказаних вище трьох імпортованих порід.

У промислового свинарстві, та й у товарному виробництві зокрема, в останні десятиріччя зростає частка використання гібридних свиней для відгодівлі. На сьогодні в країнах з розвиненим свинарством вже не менше ніж 75–80 % товарних свиней, призначених для отримання продукції, представлено саме гібридним поголів'ям. Завдяки гібридизації отримують товарний молодняк з високою енергією росту та кращою товщиною шпику, зокрема за використання термінальних кнурів [82–84].

Саме заключною формою в системах схрещування та гібридизації є так звані термінальні кнури. Враховуючи те, що м'ясні якості свиней відносяться до ознак із високим ступенем успадковування, – основним селекційним напрямом при роботі з заключними батьківськими (термінальними) формами є саме ця група показників. Основною породою свиней, що використовується як заключна форма, як в Україні так і в цілому у світі, є п'єтрен. Разом із тим, свині породи п'єтрен відзначаються рядом таких характеристик м'ясної продукції, що негативно відображаються на якості. Так, рН м'яса у тварин цієї породи нижче ніж у інших порід, а вміст вологи навпаки вищий. Також і за органолептичною оцінкою п'єтрени поступаються іншим породам [85]. На відміну від п'єтренив, друга за популярністю порода, що використовується як термінальна – це порода дюрок. Свині цієї породи, на відміну від п'єтренив, яким поступаються за м'ясністю туш, відзначаються вищим відсотком жирової тканини в м'язах і, відповідно, кращими органолептичними значеннями [85, 86]. Використання в різноманітних системах і схемах схрещування кнурів породи дюрок із аборигенними породами призводить до підвищення рівня більшості показників продуктивності, якості туші та м'яса [36].

Окрім чистопорідних кнурів, також часто в якості термінальних використовують помісних кнурів, або кнурів синтетичних ліній. Використання двопорідних кнурів сприяє уникненню проблем із їх відтворною здатністю, адже двопорідні кнури демонструють виражене лібідо та мають кращі еякуляти. Разом із тим, слід враховувати, що не всі варіанти схрещування дають однакові переваги з точки зору характеристик якості еякуляту [87]. Найголовнішим є те, що сучасні системи промислового схрещування та породно-лінійної гібридизації спрямовані на застосування прояву ефекту гетерозису на кожному з етапів системи. За біологічною суттю ж, гетерозис є покращеною або посиленою функцією певних біологічних систем в гібридному потомстві, що забезпечує більшу стабільність організму, спрощення утримання й управління та зазвичай надає можливість

пріоритетної реалізації та найкращого використання генетично відібраних найефективніших генотипів батьківських форм свиней [88].

При цьому слід враховувати, що тварини різних порід і помісі, знаходячись в однакових умовах, можуть дати не лише різні показники росту, але й різну динаміку накопичення основних тканин у тілі. Свині окремих генотипів відрізняються за величиною приросту, напруженістю і тривалістю росту, великорослістю, а отже, й за скоростиглістю, що не може не позначитися на рівні й напрямі їх продуктивності [89].

Біологічною, генетичною основою загальної комбінаційної здатності є адитивна дія генів та епістаз, що зумовлений взаємодією генів з адитивними ефектами. Специфічна комбінаційна здатність зумовлена домінуванням та епістазом. Ознаки, які визначаються адитивною дією генів, високоуспадкоковуються. Але більшість господарсько-корисних ознак тварин успадковуються за іншими типами – домінування і кодомінування, котрі викликаються взаємодією алелей одного локусу [90, 91].

У зв'язку з цим нині застосовуються підходи щодо розробки моделей оцінки племінної цінності свиней, які враховують указані біологічні особливості успадкування та прогнозовані ефекти гетерозису за низкою економічно цінних характеристик свиней. У якості прикладу можна навести двовимірну геномну модель з ефектами адитивності, домінування й інбридингової депресії для лінії плідника та трипородного схрещування свиней, яка враховує ефекти гетерозису [92]. За твердженням авторів, модель придатна для аналізу чотирьох виробничих ознак, а саме товщини шпику, показника конформації (CONF), середньодобового приросту та коефіцієнту конверсії корму свиней, отриманих при схрещуванні порід Данбред Дюрок, Ландрас і Йоркшир. Вона дає змогу отримати оцінки генетичних параметрів, адитивних генетичних кореляцій між чистопородними та помісними свинями, а також оціночну племінну цінність плідників з відповідною точністю для чистопородних та помісних свиней.

Висновки. 1. Огляд джерел літератури щодо узагальнення особливостей та результатів застосування ефекту гетерозису шляхом аналізу біологічних і організаційно-методичних підходів з формування та впровадження систем породно-лінійної гібридизації і промислового схрещування в свинарстві та інших галузях вказує на достатню пластичність системи використовуваних підходів.

2. За будь-якого підходу до причин та наслідків гетерозису одним з основних, якщо не ключовим, лімітуючим чинником при практичному його впровадженні виступає співвідношення між витратами засобів і часу на організацію процесу, з одного боку, та приростом ефективності від його застосування, з іншого.

3. Відпрацьовані загально-методичні підходи стосовно організації систем промислового схрещування та породно-лінійної гібридизації у свинарстві дають змогу отримувати гетерозисні ефекти за низкою господарсько-корисних ознак у відповідності до поставлених вимог.

4. Сучасні світові тренди на отримання більшої кількості високоякісної м'ясної продукції можуть бути забезпечені за рахунок використання у свинарстві окремих батьківських форм та результативних варіантів ефекту гетерозису в системах промислового схрещування та породно-лінійної гібридизації.

5. Розроблювані моделі оцінки племінної цінності свиней повинні враховувати біологічні особливості успадкування господарсько-корисних ознак при породно-лінійній гібридизації та промислового схрещуванні, а також

прогнозовані ефекти гетерозису за низкою економічно цінних характеристик свиней.

Перспективи подальших досліджень полягають у необхідності продовження комплексного вивчення ефективності застосування гетерозису на нових варіантах поєднання перспективних генотипів із залученням до систем промислового схрещування та породно-лінійної гібридизації вітчизняних порід з метою отримання свиней з унікальними біологічними особливостями, а також для виробництва більшої кількості високоякісної м'ясної продукції.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Lim K.-B., Huang H.-J., Schornack S., Kaeppler Shawn. Heterosis: Many Genes, Many Mechanisms – End the Search for an Undiscovered Unifying Theory. 2012. ISRN Botany. International Scholarly Research Network. doi: 10.5402/2012/682824
2. Getahun D., Alemneh T., Akebergn D., Getabalew M., Zewdie D. Importance of hybrid vigor or heterosis for animal breeding. *Biochem Biotechnol Res.* 2019. Vol. 7(1). P. 1–4. URL: <https://www.researchgate.net/publication/334416265>
3. Yu D., Gu X., Zhang S., Dong S., Miao H., Gebretsadik K., Bo K. Molecular basis of heterosis and related breeding strategies reveal its importance in vegetable breeding. *Hortic Res.* 2021. Vol. 8(1). P. 120. doi: 10.1038/s41438-021-00552-9.
4. Huyen N. T. Another explanation for the cause of heterosis phenomenon. *J. of Genetics.* 2016. Vol. 95. doi: 10.1007/s12041-016-0694-2
5. Vieira M. T., Daltro D. S., Cobuci J. A. Breed and heterosis effects on reproduction and production traits of Girolando cows. *Revista Brasileira de Zootecnia.* 2022. Vol. 51. e20200266. doi: 10.37496/rbz5120200266
6. Osorio-Arce Mario M., Segura-Correa J. C. Estimates of breed direct, maternal and heterosis effects for weaning and yearling weights of beef cattle in the humid tropics of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 2010. Vol. 12. № 3. 463469. URL: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93915170007.pdf>
7. Goddard M. E. Heterosis can be explained by thousands of partially recessive, deleterious mutations with very small effects at sites that are conserved across species. *Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP).* 2023. P. 992–995. doi: 10.3920/978-90-8686-940-4_234.
8. Akanno E. C., Abo-Ismael M. K., Chen L., Crowley J. J., Wang Z., Li C., Basarab J. A., MacNeil M. D., Plastow G. S. Modeling heterotic effects in beef cattle using genome-wide SNP-marker genotypes. *J. Anim Sci.* 2018. Vol. 96(3). P. 830–845. doi: 10.1093/jas/skx002
9. Sungkhapreecha P., Chankitisakul V., Duangjinda M., Boonkum W. Combining Abilities, Heterosis, Growth Performance, and Carcass Characteristics in a Diallel Cross from Black-Bone Chickens and Thai Native Chickens. *Animals.* 2022. Vol. 12. 1602. doi: 10.3390/ani12131602
10. Kargo M., Madsen P., Norberg E. Short communication: is crossbreeding only beneficial in herds with low management level? *J. of Dairy Science.* 2012. Vol. 95(2). P. 925–928. doi: h10.3168/jds.2011-4707
11. Thakur M. S. Basic Animal Breeding Methods. *Animal Husbandry.* 2022. Chapter 1. doi: 10.5772/intechopen.104136

12. Esfandyari H. Genomic selection for crossbred performance Joint PhD thesis, Aarhus University, Denmark and Wageningen University, the Netherlands. 2016. 182 p. ISBN: 978-94-6257-652-0
13. Tang G. Q., Yang R. F., Xue J., Liu T. F., Zeng Z. Y., Jiang A. A., Jiang Y. Z., Li M. Z., Zhu L., Bai L., Shuai S. R., Li X. W. Optimising a crossbreeding production system using three specialised imported swine breeds in south-western China. *Animal Production Science*. 2014. Vol. 54(8). P. 999–1007 doi: 10.1071/AN13308
14. Hill W., Mackay T. D. S. Falconer and Introduction to Quantitative Genetics. *Genetics*. 2004. Vol. 167. P. 1529–1536. doi : 10.1093/genetics/167.4.1529
15. Jingade A., Vijayan K., Somasundaram P., Srinivasababu G., Kamble C. A review of the implications of heterozygosity and inbreeding on germplasm biodiversity and its conservation in the silkworm *Bombyx mori*. *J. of Insect Science*. 2011. Vol. 11(1). P. 1–16. doi: 10.1673/031.011.0108
16. Ruiz X., Almanza M. Implications of genetic diversity in the improvement of silkworm *Bombyx mori* L. *Chilean journal of agricultural research*. 2018. Vol. 78(4). P. 569–579. doi: 10.4067/S0718-58392018000400569
17. Cavero D., Schumutz M., Preisinger R. Genetic evaluation for pure-line and cross-line performance in layers. In Proc. Of 9th WCGALP, August 1–6 in Leipzig, Germany, 2010. URL: <https://lohmann-breeders.com/lohmanninfo/genetic-evaluation-of-pure-line-and-cross-line-performance-in-layers/> (date of access: 12.11.23).
18. Saxena V. K., Kolluri G., Liu X. Selection Methods in Poultry Breeding: From Genetics to Genomics. *Application of Genetics and Genomics in Poultry Science*. Ch. 2. 2018. doi: 10.5772/intechopen.77966
19. Šimková A., Civaňová K., Vetešník L. Heterosis versus breakdown in fish hybrids revealed by one-parental species-associated viral infection. *Aquaculture*. 2022. Vol. 546. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737406
20. Birchler J. A., Yao H., Chudalayandi S., Vaiman D., Veitia R. A. Heterosis. *Plant Cell*. 2010. Vol. 22(7). P. 2105–2112. doi: 10.1105/tpc.110.076133
21. Dobzhansky T. Nature and origin of Heterosis. In *John W. Gowen et al. Heterosis: A Record of Researches Directed Toward Explaining and Utilizing the Vigor of Hybrids?* 1952
22. Pérez-Pereira N., Caballero A., García-Dorado A. Reviewing the consequences of genetic purging on the success of rescue programs. *Conserv Genet*. 2022. Vol. 23. P. 1–17. doi: 10.1007/s10592-021-01405-7
23. Rousselle Y., Thomas M., Galic N. et al. Inbreeding depression and low between-population heterosis in recently diverged experimental populations of a selfing species. *Heredity*. 2011. Vol. 106. P. 289–299. doi: 10.1038/hdy.2010.72
24. Hall S. Effective population sizes in cattle, sheep, horses, pigs and goats estimated from census and herdbook data. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*. 2016. Vol. 1. P. 1–8. doi: 10.1017/S1751731116000914
25. Gómez M. D., Sánchez M. J., Bartolomé E., Cervantes I., Poyato-Bonilla J., Demyda-Peyrás S., Valera M. Phenotypic and genetic analysis of reproductive traits in horse populations with different breeding purposes. *Animal*. 2020. Vol. 14(7). P. 1351–1361 doi: 10.1017/S1751731120000087
26. Shablia V., Chaliy O., Danilova T., Zadorozhna I., Krygina N. The significance of breeding value indicators for prediction of milk yield. *Animal Husbandry Products Production and Processing*. 2022. № 2. P. 19–25. doi: 10.33245/2310-9289-2022-175-2-19-25

27. Шабля В. П. Моделі передбачення віку першого отелення за екстер'єрними показниками. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН*. Харків, 2022. № 127. С. 196–203. doi: 10.32900/2312-8402-2022-127-196-203

28. Кунець В. В., Церенюк О. М., Сушко О. Б., Шабля В. П., Чалий О. І. Розвиток дослідництва в галузі штучного осіменіння свиней в контексті діяльності Інституту тваринництва НААН (друга половина ХХ – початок ХХІ століття) (оглядова). *Свинарство* : міжвідом. темат. наук. зб. / Інститут свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2022. Вип. 77–78. С. 34–54. doi: 10.37143/0371-4365-2022-77-78-03

29. Рибалко В. П. Селекційні підходи у формуванні та подальшому вдосконаленні червоної білопоясої породи м'ясних свиней. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 9(846). С. 37–43.

30. Рибалко В. П. Сучасний стан та напрями розвитку вітчизняного свинарства. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2010. Вип. 1 (52). Т. 2. С. 21–25.

31. Лихач В. Я. Обґрунтування, розробка та впровадження інтенсивно-технологічних рішень у свинарстві. Миколаїв: МНАУ, 2016. 227 с.

32. Бондаренко О. П. Підручник технікуму зі свинарства. Харків: Держсільгоспвидав, 1934. 158 с.

33. Zhang J., Chai J., Luo Z., He H., Chen L., Liu X., Zhou Q. Meat and nutritional quality comparison of purebred and crossbred pigs. *J. Anim Sci.* 2018. Vol. 89. P. 202–210.

34. Лихач В. Я., Лихач А. В., Фаустов Р. В., Кучер О. О. Сучасний стан та тенденції розвитку вітчизняного свинарства. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія : Тваринництво*. 2021. Вип. 1. С. 69–79.

35. Zhang S., Bidanel J.P., Burlot T., Legault C., Naveau J. Genetic parameters and genetic trends in the Chinese x European Tiameslan composite pig line. II. Genetic trends. *Genetics Selection Evolution*. 2000. Vol. 32. P. 57–71.

36. Glinoubol J., Jaturasitha S., Mahinchaib P., Wicke M., Kreuzer M. Effects of crossbreeding Thai native or Duroc pigs with Pietrain pigs on carcass and meat quality. *Agriculture and agricultural science procedia*. 2015. Vol. 5. P. 133–138.

37. Коробань М. П., Лихач В. Я. Відгодівельні якості молодняку свиней сучасних генотипів за різних вагових кондицій в умовах промислової технології. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. Vol. 41. P. 26–32.

38. Лихач В. Я., Повод М. Г., Шпетний М. Б., Нечмілов В. М., Лихач А. В., Михалко О. Г., Баркарь Є. В., Леньков Л. Г., Кучер О. О. Оптимізація технологічних рішень утримання і годівлі свиней в умовах промислової технології : монографія. Миколаїв : Ліон, 2023. 518 с.

39. Сусол Р. Л., Гарматюк К. В., Халак В. І. Оптимізація системи розведення і годівлі свиней м'ясного напрямку продуктивності в умовах півдня України. *Зернові культури*. Дніпро, 2018. Т. 2. № 12. С. 353–359.

40. Kaiü A., Škorput D., Lukoviü Z. Carcass quality of crossbred pigs with Pietrain as a terminal sire. *Italian Journal of Animal Science*. 2009. Vol. 8. P. 252–254.

41. Thiengpimol P., Tappreang S., Onarun P. Reproductive Performance of Purebred and Crossbred Landrace and Large White Sows Raised under Thai Commercial Swine Herd. *Thammasat International Journal of Science and Technology*. 2017. Vol. 22(2). P. 16–22. doi: 10.14456/tijsat.2017.13

42. Шабля П. В., Шабля В. П. Шляхи раціонального застосування породно-лінійної гібридизації у свинарстві. *Інтеграція наукового потенціалу України в галузі тваринництва в європейський простір* : Міжнар. наук.-практ. конф. (3 листоп. 2023 р.) / Інститут свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2023. С. 133–136.
43. Okoro V., Mbajiorgu C. Diallel cross in swine production : A review. *Indian Journal of Animal Research*. 2017. Vol. 51 Is. 2. P. 212–218. doi: 10.18805/ijar.v0iOF.7603
44. Церенюк О. М. Методологія визначення ефекту гетерозису в свинарстві. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН*. Харків, 2018. Vol. 119. P. 173–184.
45. Цибенко В. Г., Гришина Л. П., Перетятко Л. Г. Аналіз відтворювальних якостей помісних свиноматок та визначення ефекту поєднання за схрещування. *Свинарство* : міжвідом. темат. наук. зб. / Інститут свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2021. Вип. 75–76. С. 19–31. doi: 10.37143/0371-4365-2021-75-76-02
46. Tsereniuk O. M., Vashchenko P. A., Khokhlov A. M., Tsybenko V. H., Shostia G. M., Saenko A. M., Peka M. Y., Zhukorskyi O. M. Comparative characteristics of polymorphisms of melanocortin 4 and ryanodine 1 receptor genes of Myrhorod pigs before and after the African swine fever outbreak. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2023. Vol. 14(4). P. 601–608. doi: 10.15421/022387
47. Жукорський О. М., Церенюк О. М., Акімов О. В., Череута Ю. В., Кригіна Н. В., Боржак Т. М., Бабіч М., Кропивець-Доманська К. Ергономічні дослідження процесу штучного осіменіння. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2023. Вип. 1(79). С. 36–53. doi: 10.37143/0371-4365-2023-1/79-03
48. Сусол Р. Л. Напрями оптимізації технологій виробництва свинини з урахуванням потенційних проблем глобального потепління. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2023. Вип. 1(79). С. 144–160. doi: 10.37143/0371-4365-2023-1/79-09
49. Тацій О. В. Біологічні та господарсько-корисні ознаки у свиней породи п'єтрен на сучасному етапі її розвитку : дис. на здоб. наук. ступ. д-ра філософії за спец. 204 – Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва / Одес. держ. аграр. ун-т. Одеса, 2023. 222 с.
50. Mote B. E., Rothschild M. F. Modern genetic and genomic improvement of the pig. In *Animal Agriculture* : Academic Press, 2020. P. 249–262.
51. Ding R., Zhuang Z., Qiu Y., Wang X., Wu J., Zhou S., Ruan D., Cineng Xu, Hong L., Gu T., Zheng E., Cai G., Huang W., Wu Zh., Yang J. A composite strategy of genome-wide association study and copy number variation analysis for carcass traits in a Duroc pig population. *BMC genomics*. 2022. Vol. 23(1). P. 1–16. doi: 10.1186/s12864-022-08804-1
52. Aikins-Wilson S., Bohlouli M., König S. Maternal and direct genetic parameters for tail length, tail lesions, and growth traits in pigs. *Journal of animal science*. 2021. Vol. 99(1), skaa398.
53. Nielsen B., Velandar I., Ostersen T., Henryon M., Christensen O. F. Nurse capacity in crossbred sows and genetic correlation to purebred fertility. In *Proc. 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Vancouver, BC, Canada, 2014
54. Vargovic L., Harper J. A., Bunter K. L. Traits defining sow lifetime maternal performance. *Animals*. 2022. Vol. 12(18). 2451.

55. Trevisi P., Luise D., Won S., Salcedo J., Bertocchi M., Barile D., Bosi P. Variations in porcine colostrum oligosaccharide composition between breeds and in association with sow maternal performance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2020. Vol. 11. 21.
56. Merks J. W. M., Mathur P. K., Knol E. F. New phenotypes for new breeding goals in pigs. *Animal.* 2012. Vol. 6. P. 535–543.
57. Церенюк О. М., Акімов О. В., Нагорний С. А. Виробництво свинини на основі породно-лінійної гібридизації в Харківській області. *Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка.* Харків, 2012. Вип. № 120. С. 173–177.
58. Церенюк О. М., Акімов О. В., Мартинюк І. М., Онищенко А. О., Жукорський О. М., Костенко О. І., Бобрицька О. М., Хохлов А. М., Мірошникова О. С., Сусол Р. Л., Воловик М. Є., Стрижак Т. А. Програма селекції порід свиней ландрас та уельс в Україні на 2021-2025 роки; за заг. ред. д. с.-г. н., доц. О. М. Церенюка; Інститут тваринництва НААН. Харків : ІТ НААН, 2020. 54 с.
59. Baas T. J., Christian L. L., Rothschild M. F. Heterosis and Recombination Effects in Hampshire and Landrace Swine .1. Maternal Traits. *Journal of Animal Science.* 1992. Vol. 70. Is. 1 P. 89–98. doi : 10.2527/1992.70189x
60. Kanis E. Effect of food intake capacity on production traits in growing pigs with restricted feeding. *Animal Science.* 1990. Vol. 50(2). P. 333–341. doi: 10.1017/S0003356100004785
61. Auldist D. E., Morrish L., Eason P., King R. H. The influence of litter size on milk production of sows. *Animal Science.* 1998. Vol. 67(2). P. 333–337. doi: 10.1017/S135772980001010933
62. Noblet J., Fortune H., Dupire C., Dubois S. Valeur nutritionnelle de treize matières premières pour le porc en croissance: 1-Teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette. Conséquence du choix du système énergétique. *Journées Rech. Porc.* 1990. Vol. 22. P. 175–184.
63. Eissen J. J., Apeldoorn E. J., Kanis E., Verstegen M. W., deGreef K. H. The importance of a high feed intake during lactation of primiparous sows nursing large litters. *J. Anim Sci.* 2003. Vol. 81(3). P. 564–603.
64. Anil S. S., Anil L., Deen J. et al. Association of inadequate feed intake during lactation with removal of sows from the breeding herd. *J. Swine Health Prod.* 2006. Vol. 14(6). P. 296–301.
65. Ball R. O., Samuel R. S., Moehn S. Nutrient requirements of prolific sows. *Advances in Pork Production.* 2008. Vol. 19. P. 223–236.
66. Yoder C. L., Schwab C. R., Fix J. S., Duttlinge V. M., Baas T. J. Lactation feed intake in purebred and F1 sows and its relationship with reproductive performance. *Livestock Science.* 2012. Vol. 150(1–3). P. 187–199.
67. Яременко В. І., Карапуз В. Д. Комбінаційна здатність універсальних і сальних порід з спеціалізованими м'ясними родинними формами. *Таврійський науковий вісник / Херсон. держ. агро-екон. ун-т. Херсон,* 1998. Вип. 4. С. 53–56.
68. Войтенко С. Миргородська порода свиней: сучасний стан та ефективність використання. *Тваринництво України.* 2010. № 1. С. 2–5.
69. Войтенко С. Л. Генезис миргородської породи свиней. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* Полтава, 2012. Вип. 2. С. 94–99.
70. Okoro V. M. O., Mbajiorgu C. A. Estimates of Crossbreeding Parameters for Growth and Conformation Traits. In *Nigerian Indigenous and Exotic Pig Breeds. Applied Ecology and Environmental Research.* 2017. Vol. 5. Is.4. P. 117–128. doi: 10.15666/aeer/1504_117128

71. Jaturasitha S. Meat Management (4rd ed.). Chiang Mai, Thailand: Mingmuang Press. 2007. 171 p.
72. Jaturasitha S., Meat Technology (4rd ed.). Chiang Mai, Thailand: Mingmuang Press. 2012. 367 p.
73. Luo J., Shen L. Y., Tan Z. D., Cheng X., Yang D. L., Fan Y., Yang Q., Ma J. D., Tang Q. Z., Jiang A. A. Comparison reproductive, growth performance, carcass and meat quality of Liangshan pig crossbred with Duroc and Berkshire genotypes and heterosis prediction. *Livestock Science*. 2018. Vol. 212. P. 61–68. doi: 10.1016/j.livsci.2017.09.010
74. Wolf J., Peskovicová D., Záková E., Groeneveld E. Additive and heterotic breed effects in the genetic evaluation of pig sire breeds. *Animal Science*. 2006. Vol. 82. P. 455–462 doi: 10.1079/ASC200655
75. Кремезь М. І., Повод М. Г., Михалко О. Г., Сусол Р.Л., Трибрат Р. О., Онищенко Л. В., Кравченко О. О., Вербельчук Т. В., Щербина О. В. Відтворювальні ознаки свиней ірландської селекції та прояв різних форм гетерозису за різних методів розведення в сучасних умовах промислового виробництва свинини. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: С.-з. науки*. Львів, 2022. Т. 24(96). С. 78–88. doi: 10.32718/nvlvet-a9610
76. Ahlschwede W. T., Johnson R. K. EC88-217 Crossbreeding Systems for Commercial Pork Production. *Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension*. 1988. 4615. URL: <http://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/4615>
77. Buchanan D. S., Luce W. G., Clutter A. C. Swine crossbreeding systems. Oklahoma Cooperative Extension Service, Oklahoma State University. 1990. 3603. URL: <http://file.efeedlink.com/pdf/files/swinecrossbreedingsystems.pdf>
78. Онищенко А. О. Промислове схрещування і гібридизація, їх ефективність у свинарстві. *Свинарство : міжвідом. темат. наук. зб. / Інститут свинарства і АПВ НААН*. Полтава, 2013. Вип. 62. С. 72–76.
79. Bittante G., Gallo L., Montobbio P. Estimated Breed Additive Effects and Direct Heterosis for Growth and Carcass Traits of Heavy Pigs. *Livestock Production Science*. 1993. Vol. 34. Is. 1–2. P. 101–114. doi: 10.1016/0301-6226(93)90039-K
80. Tang G. Q., Yang R. Fg., Xue J., Liu T. F., Zeng Z. Y. Jiang A. A. Jiang Y. Z., Li M. Z., Zhu L., Bai L., Shuai S. R., Li X. W. Optimising a crossbreeding production system using three specialised imported swine breeds in south-western China. *Animal Production Science*. 2014. Vol. 54(8). P. 999–1007. doi: 10.1071/AN13308
81. Стрижак Т. А. До питання по використанню термінальних кнурів. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. Миколаїв, 2015. Вип. 2(2). С. 224–227. doi: 10.31521/2313-092X
82. Березовський М. Д. Проблемні питання з удосконалення племінного свинарства в Україні та їх вирішення. *Свинарство : міжвідом. темат. наук. зб. / Інститут свинарства і АПВ НААН*. Полтава, 2014. Вип. 64. С. 37–48.
83. Церенюк О. М., Акімов О. В., Чалий О. І., Черевта Ю. В. Комбінаційна здатність за поєднання полтавської м'ясної та уельської порід свиней. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Вип. 21. С. 270–273.
84. Сухно В. В. Ріст і розвиток свиней з різним генотипом за ДНК-маркерами SLC11A1 та FUT1. *Розведення і генетика тварин : міжвідом. темат. наук. зб.* Київ, 2022. Вип. 64. С. 135–164. doi: 10.31073/abg.64.12

85. Lee M. J., Choi T. J., Kim Y. M., Kim Y. S., Jeong Y. D., Kim N. H., Cho K. H. Comparison of meat quality characteristics of Yorkshire, Duroc, Pietrain and Crossbred pigs (Duroc× Pietrain). *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 2018. Vol. 19(11). P. 116–125.
86. Rybarczyk A., Pietruszka A., Jacyno E., Dvořák J. Carcass and meat quality traits of pig reciprocal crosses with a share of Pietrain breed. *Czech Journal of Animal Science*. 2011. Vol. 56(2). P. 47–52.
87. Kawęcka M. Relationship between growth rate and meatiness of young boars of sire populations and their reproductive usefulness. *Theses, Agricultural University, Szczecin*. 2002. Vol. 206. P. 1–80.
88. Iversen M. W., Nordbø Ø., Gjerlaug-Enger E., Grindflek E., Lopes M. S., Meuwissen T. Effects of heterozygosity on performance of purebred and crossbred pigs. *Genet. Sel. Evol.* 2019. Vol. 51. 8. doi: 10.1186/s12711-019-0450-1
89. Бірта Г. О., Бургу Ю. Г. М'ясо-сальна продуктивність помісних свиней. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. Полтава, 2012. Вип. 3. С. 91–95.
90. Коваленко В. П., Горбатенко І. Ю. Біотехнологія у тваринництві й генетиці. Київ: Урожай, 1992. 152 с.
91. Піотрович Н. А. Формування відтворювальних якостей свиноматок та оцінка їх комбінаційної здатності : дис ... канд. с.-г. наук : 06.02.01 – розведення та селекція тварин. С.-г. науки. Миколаїв : МНАУ, 2017. 173 с.
92. Christensen O. F., Nielsen B., Su G. S., Xiang T., Madsen P., Ostersen T., Velander I., Strathe A. B. A bivariate genomic model with additive, dominance and inbreeding depression effects for sire line and three-way crossbred pigs. *Genetics Selection Evolution*. 2019. Vol. 51. Is. 1 doi: 10.1186/s12711-019-0486-2

REFERENCES

1. Lim, K.-B., Huang, H.-J., Schornack, S., & Kaeppler Shawn (2012). Heterosis: Many Genes, Many Mechanisms – End the Search for an Undiscovered Unifying Theory. *ISRN Botany. International Scholarly Research Network*. doi: 10.5402/2012/682824
2. Getahun, D., Alemneh, T., Akeberg, D., Getabalew, M., & Zewdie, D. (2019). Importance of hybrid vigor or heterosis for animal breeding. *Biochem Biotechnol Res.*, 7(1), 1–4. URL: https://www.researchgate.net/publication/334416265_Importance_of_hybrid_vigor_or_heterosis_for_animal_breeding
3. Yu, D., Gu, X., Zhang, S., Dong, S., Miao, H., Gebretsadik, K., & Bo, K. (2021). Molecular basis of heterosis and related breeding strategies reveal its importance in vegetable breeding. *Hortic Res.*, 8(1), 120. doi: 10.1038/s41438-021-00552-9
4. Huyen, N. T. (2016). Another explanation for the cause of heterosis phenomenon. *J. of Genetics*, 95. doi: 10.1007/s12041-016-0694-2
5. Vieira, M. T., Daltro, D. S., & Cobuci, J. A. (2022). Breed and heterosis effects on reproduction and production traits of Girolando cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 51, e20200266. doi: 10.37496/rbz5120200266
6. Osorio-Arce, M. M., & Segura-Correa, J. C. (2010). Estimates of breed direct, maternal and heterosis effects for weaning and yearling weights of beef cattle in the humid tropics of Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(3), 463469. URL : <https://www.redalyc.org/pdf/939/93915170007.pdf>
7. Goddard, M. E. (2023). Heterosis can be explained by thousands of partially recessive, deleterious mutations with very small effects at sites that are conserved across

species. *Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP)*, 992–995. doi: 10.3920/978-90-8686-940-4_234

8. Akanno, E. C., Abo-Ismael, M. K., Chen, L., Crowley, J. J., Wang, Z., Li, C., Basarab, J. A., MacNeil, M. D., & Plastow, G. S. (2018). Modeling heterotic effects in beef cattle using genome-wide SNP-marker genotypes. *J. Anim Sci.*, 96(3), 830–845. doi: 10.1093/jas/skx002

9. Sungkhapreecha, P., Chankitisakul, V., Duangjinda, M., & Boonkum, W. (2022). Combining Abilities, Heterosis, Growth Performance, and Carcass Characteristics in a Diallel Cross from Black-Bone Chickens and Thai Native Chickens. *Animals*, 12. 1602. doi: 10.3390/ani12131602

10. Kargo, M., Madsen, P., & Norberg, E. (2012). Short communication: is crossbreeding only beneficial in herds with low management level? *J. of Dairy Science*, 95(2), 925–928. doi: 10.3168/jds.2011-4707

11. Thakur, M.S. (2022). Basic Animal Breeding Methods. *Animal Husbandry*. Chapter 1. doi: 10.5772/intechopen.104136

12. Esfandyari, H. (2016). Genomic selection for crossbred performance Joint PhD thesis, Aarhus University, Denmark and Wageningen University, the Netherlands

13. Tang, G. Q., Yang, R. F., Xue, J., Liu, T. F., Zeng, Z. Y., Jiang, A. A., Jiang, Y. Z., Li, M. Z., Zhu, L., Bai, L., Shuai, S. R., & Li, X. W. (2014). Optimising a crossbreeding production system using three specialised imported swine breeds in south-western China. *Animal Production Science*, 54(8), 999–1007. doi: 10.1071/AN13308

14. Hill, W., & Mackay, T. D. S. (2004). Falconer and Introduction to Quantitative Genetics. *Genetics*, 167, 1529–1536. doi: 10.1093/genetics/167.4.1529

15. Jingade, A., Vijayan, K., Somasundaram, P., Srinivasababu, G., & Kamble, C. (2011). A review of the implications of heterozygosity and inbreeding on germplasm biodiversity and its conservation in the silkworm *Bombyx mori*. *J. of Insect Science*, 11(1), 1–16. doi: 10.1673/031.011.0108

16. Ruiz, X., & Almanza, M. (2018). Implications of genetic diversity in the improvement of silkworm *Bombyx mori* L. *Chilean journal of agricultural research*, 78(4), 569–579. doi: 10.4067/S0718-58392018000400569

17. Cavero, D., Schumutz, M., & Preisinger, R. (2010). Genetic evaluation for pure-line and cross-line performance in layers. In Proc. Of 9th WCGALP, August 1–6 in Leipzig, Germany. URL: <https://lohmann-breeders.com/lohmanninfo/genetic-evaluation-of-pure-line-and-cross-line-performance-in-layers/> (date of access: 12.11.23).

18. Saxena, V. K., Kolluri, & G., Liu, X. (2018). Selection Methods in Poultry Breeding: From Genetics to Genomics. *Application of Genetics and Genomics in Poultry Science*. Ch. 2. doi: 10.5772/intechopen.77966

19. Šimková, A., Civaňová, K., & Vetešník, L. (2022). Heterosis versus breakdown in fish hybrids revealed by one-parental species-associated viral infection. *Aquaculture*, 546. doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.737406

20. Birchler, J. A., Yao, H., Chudalayandi, S., Vaiman, D., & Veitia, R. A. (2010). Heterosis. *Plant Cell*, 22(7), 2105–2112. doi: 10.1105/tpc.110.076133

21. Dobzhansky, T. (1952). Nature and origin of Heterosis. In *John W. Gowen et al. Heterosis: A Record of Researches Directed Toward Explaining and Utilizing the Vigor of Hybrids?*

22. Pérez-Pereira, N., Caballero, A., & García-Dorado, A. (2022). Reviewing the consequences of genetic purging on the success of rescue programs. *Conserv Genet.*, 23, 1–17. doi: 10.1007/s10592-021-01405-7

23. Rousselle, Y., Thomas, M., & Galic, N. et al. (2011). Inbreeding depression and low between-population heterosis in recently diverged experimental populations of a selfing species. *Heredity*, 106, 289–299. doi: 10.1038/hdy.2010.72

24. Hall, S. (2016). Effective population sizes in cattle, sheep, horses, pigs and goats estimated from census and herdbook data. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*. 2016. Vol. 1. P. 1–8. doi: 10.1017/S1751731116000914

25. Gómez, M. D., Sánchez, M. J., Bartolomé, E., Cervantes, I., Poyato-Bonilla, J., Demyda-Peyrás, S., & Valera, M. (2020). Phenotypic and genetic analysis of reproductive traits in horse populations with different breeding purposes. *Animal*, 14(7), 1351–1361. doi: 10.1017/S1751731120000087

26. Shablia, V., Chaliy, O., Danilova, T., Zadorozhna, I., & Krygina, N. (2022). The significance of breeding value indicators for prediction of milk yield. *Animal Husbandry Products Production and Processing*, 2, 19–25. doi: 10.33245/2310-9289-2022-175-2-19-25

27. Shablia, V. P. (2022). Modeli peredbachennia viku pershoho otelennia za ekster'iernymi pokaznykamy [Models for predicting the age of first calving by exterior indicators]. *Naukovo-tekhnichnyi biuletyn' Instytutu tvarynnytstva NAAN* [Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Animal Husbandry of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Kharkiv, 127, 196–203. doi: 10.32900/2312-8402-2022-127-196-203

28. Kunets, V. V., Tsereniuk, O. M., Sushko, O. B., Shablia, V. P., & Chalyi, O. I. (2022). Rozvytok doslidnyctva v haluzi sztuchnoho osimeninnia svynei v konteksti diialnosti Instytutu tvarynnytstva NAAN (druga polovyna KhKh – pochatok KhKhI stolittia) (ohliadova) [The development of research in the field of artificial insemination of pigs in the context of the Institute of Animal Husbandry of the National Academy of Sciences of Ukraine (second half of the twentieth - beginning of the twenty-first century) (review)]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 77–78, 34–54. doi: 10.37143/0371-4365-2022-77-78-03

29. Rybalko, V. P. (2023). Seleksiini pidkhody u formuvanni ta podalshomu vdoskonalenni chervonoj bilopoiasoj porody m'iasnykh svynei [Breeding approaches in the formation and further improvement of the red white-belt breed of meat pigs]. *Visnyk aharnoi nauky* [Bulletin of Agricultural Science], 9(846), 37–43 [in Ukrainian]. doi: 10.31073/agrovisnyk202309-05

30. Rybalko, V. P. (2010). Suchasnyi stan ta napriamy rozvytku vitchyznianoho svynarstva [Current state and directions of development of the domestic pig industry]. *Visnyk aharnoi nauky Prychornomor'ia* [Ukrainian Black Sea region agrarian science], 1(52), 2, 21–25 [in Ukrainian].

31. Lykhach, V. Ya. (2016). Obgruntuvannia, rozrobka ta vprovadzhennia intensyvno-tekhnologichnykh rishen u svynarstvi [Justification, development and implementation of intensive technological solutions in pig production]. Mykolaiv [in Ukrainian].

32. Bondarenko, O. P. (1934). Pidruchnyk tekhnimumu zi svynarstva [Textbook of technical minimum in pig breeding]. Kharkiv: Gosilhozvydav [in Ukrainian].

33. Zhang, J., Chai, J., Luo, Z., He, H., Chen, L., Liu, X., & Zhou, Q. (2018). Meat and nutritional quality comparison of purebred and crossbred pigs. *J. Anim Sci.*, 89, 202–210.

34. Lykhach, V. Ya., Lykhach, A. V., Faustov, R. V., & Kucher, O. O. (2021). Suchasnyi stan ta tendentsii rozvytku vitchyznianoho svynarstva [Current state and trends in the development of domestic pig production]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho*

ahrarnoho universytetu. Seriya : Tvarynnytstvo [Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series : Animal husbandry], 1, 69–79.

35. Zhang, S., Bidanel, J. P., Burlot, T., Legault, C., & Naveau, J. (2000). Genetic parameters and genetic trends in the Chinese x European Tiameslan composite pig line. II. Genetic trends. *Genetics Selection Evolution*, 32, 57–71.

36. Glinoubol, J., Jaturasitha, S., Mahinchaib, P., Wicke, M., & Kreuzer, M. (2015). Effects of crossbreeding Thai native or Duroc pigs with Pietrain pigs on carcass and meat quality. *Agriculture and agricultural science procedia*, 5, 133–138.

37. Koroban, M. P., & Lykhach, V. Ya. (2023). Vidhodivelni yakosti molodniaku svynei suchasnykh henotypiv za riznykh vahovykh kondytsii v umovakh promyslovoi tekhnolohii [Fattening qualities of young pigs of modern genotypes at different weight conditions under industrial technology.]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika* [Podilskyi Visnyk: agriculture, technology, economy], 41, 26–32 [in Ukrainian].

38. Lykhach, V. Ya., Povod, M. H., Shpetnyi, M. B., Nechmilov, V. M., Lykhach, A. V., Mykhalko, O. H., Barkar, Ye. V., Lenkov, L. H., & Kucher, O. O. (2023). Optyimizatsiia tekhnolohichnykh rishen utrymanna i hodivli svynei v umovakh promyslovoi tekhnolohii [Optimisation of technological solutions for keeping and feeding pigs in industrial technology]. Mykolaiv: Ilion [in Ukrainian].

39. Susol, R. L., Harmatiuk, K. V., & Khalak, V. I. (2018). Optyimizatsiia systemy rozvedennia i hodivli svynei m'iasnoho napriamku produktyvnosti v umovakh pivdnia Ukrainy [Optimisation of the system of breeding and feeding of meat pigs in the south of Ukraine]. *Zernovi kultury* [Cereals]. Dnipro, 2, 12, 353–359 [in Ukrainian].

40. Kaiü, A., Škorput, D., & Lukoviü, Z. (2009). Carcass quality of crossbred pigs with Pietrain as a terminal sire. *Italian Journal of Animal Science*, 8, 252–254.

41. Thiengpimol, P., Tappreang, S., & Onarun, P. (2017). Reproductive Performance of Purebred and Crossbred Landrace and Large White Sows Raised under Thai Commercial Swine Herd. *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 22(2), 16–22. doi: 10.14456/tijsat.2017.13

42. Shablia, P. V., & Shablia, V. P. (2023). Shliakhy ratsionalnoho zastosuvannia porodno-liniinoi hibrydyzatsii u svynarstvi [Ways of rational application of breed-line hybridisation in pig production.]. *Intehratsiia naukovoho potentsialu Ukrainy v haluzi tvarynnytstva v yevropeiskyi prostir* : mizhnar. nauk.-prakt. konf. [Integration of Ukraine's scientific potential in the field of animal husbandry into the European space, Proceedings of the 3rd International Conference]. Poltava, 133–136 [in Ukrainian].

43. Okoro, V., & Mbajiorgu, C. (2017). Diallel cross in swine production : A review. *Indian Journal of Animal Research*, 51(2), 212–218. doi: 10.18805/ijar.v0iOF.7603

44. Tsereniuk, O. M. (2018). Metodolohiia vyznachennia efektu heterozysu v svynarstvi [Methodology for determining the effect of heterosis in pig production]. *Naukovo-tekhnichniy biuleten Instytutu tvarynnytstva NAAN* [Scientific and technical bulletin of the Institute of Animal Husbandry of NAAS.]. Kharkiv, 119, 173–184 [in Ukrainian].

45. Tsybenko, V. H., Hryshyna, L. P., & Peretiatko, L. H. (2021). Analiz vidtvoriuvalnykh yakosteï pomisnykh svynomatok ta vyznachennia efektu poiednannia za skhreshchuvannia [Analysis of the reproductive qualities of commercial sows and determination of the effect of crossbreeding]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 75–76, 19–31 [in Ukrainian]. doi: 10.37143/0371-4365-2021-75-76-02

46. Tsereniuk. O. M., Vashchenko. P. A., Khokhlov. A. M., Tsybenko. V. H., Shostia. G. M., Saenko. A. M., Peka. M. Y., & Zhukorskyi. O. M. (2023). Comparative characteristics of polymorphisms of melanocortin 4 and ryanodine 1 receptor genes of Myrhorod pigs before and after the African swine fever outbreak. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14(4), 601–608. doi: 10.15421/022387
47. Zhukorskyi, O. M., Tsereniuk, O. M., Akimov, O. V., Chereuta Yu. V., Kryhina, N. V., Borzhak, T. M., Babich, M., & Kropyvets-Domanska, K. (2023). Erhonomichni doslidzhennia protsesu shtuchnoho osimeninnia [Ergonomic studies of the artificial insemination process]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 1(79), 36–53. [in Ukrainian]. doi: 10.37143/0371-4365-2023-1/79-03
48. Susol, R. L. (2023). Napriamy optymizatsii tekhnolohii vyrobnytstva svynyny z urakhuvanniam potentsiinykh problem hlobalnoho poteplinnia [Directions of the optimization of pork production technologies taking into account potential problems of global warming]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 1(79), 144–160. doi: 10.37143/0371-4365-2023-1/79-09
49. Tatsii, O. V. (2023). Biolohichni ta hospodarsko-korysni oznaky u svynei porody p'ietren na suchasnomu etapi yii rozvytku [Biological and economically useful traits in pigs of the Pietrene breed at the present stage of its development]: Candidate's thesis. Odesa: ODAU [in Ukrainian].
50. Mote, B. E., & Rothschild, M. F. (2020). Modern genetic and genomic improvement of the pig. In *Animal Agriculture* : Academic Press, 249–262.
51. Ding, R. Zhuang, Z., Qiu, Y., Wang, X., Wu, J., Zhou, S., Ruan, D., Cineng, Xu, Hong, L., Gu, T., Zheng, E., Cai, G., Huang, W., Wu, Zh., & Yang, J. (2022). A composite strategy of genome-wide association study and copy number variation analysis for carcass traits in a Duroc pig population. *BMC genomics*, 23(1), 1–16. doi: 10.1186/s12864-022-08804-1
52. Aikins-Wilson, S., Bohlouli, M., & König, S. (2021). Maternal and direct genetic parameters for tail length, tail lesions, and growth traits in pigs. *Journal of animal science*, 99(1), skaa398.
53. Nielsen, B., Velandar, I., Ostersen, T., Henryon, M., & Christensen, O. F. (2014). Nurse capacity in crossbred sows and genetic correlation to purebred fertility. In *Proc. 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Vancouver, BC, Canada
54. Vargovic, L., Harper, J. A., & Bunter, K. L. (2022). Traits defining sow lifetime maternal performance. *Animals*, 12(18), 2451.
55. Trevisi, P., Luise, D., Won, S., Salcedo, J., Bertocchi, M., Barile, D., & Bosi, P. (2020). Variations in porcine colostrum oligosaccharide composition between breeds and in association with sow maternal performance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 11, 21.
56. Merks, J. W. M., Mathur, P. K., & Knol, E. F. (2012). New phenotypes for new breeding goals in pigs. *Animal*, 6, 535–543.
57. Tsereniuk, O. M., Akimov, O. V., & Nahorny, S. A. (2012). Vyrobnytstvo svynyny na osnovi porodno-liniinoi hibrydzatsii v Kharkivskii oblasti [Pork production based on breed-linear hybridisation in the Kharkiv region]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. P. Vasylenka* [Bulletin of the Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture]. Kharkiv, 120, 173–177 [in Ukrainian].

58. Tsereniuk, O. M., Akimov, O. V., Martyniuk, I. M., Onyshchenko, A. O., Zhukorskyi, O. M., Kostenko, O. I., Bobrytska, O. M., Khokhlov, A. M., Miroshnykova, O. S., Susol, R. L., Volovyk, M. Ye., & Stryzhak, T. A. (2020). Prohrama selektsii porid svynei landras ta uels v Ukraini na 2021-2025 roky [Landrace and Welsh pig breeding programme in Ukraine for 2021-2025]. Kharkiv: IT NAAN [in Ukrainian].
59. Baas, T. J., Christian, L. L., & Rothschild, M. F. (1992). Heterosis and Recombination Effects in Hampshire and Landrace Swine .1. Maternal Traits. *Journal of Animal Science*, 70(1), 89–98. doi: 10.2527/1992.70189x
60. Kanis, E. (1990). Effect of food intake capacity on production traits in growing pigs with restricted feeding. *Animal Science*, 50(2), 333–341. doi: 10.1017/S0003356100004785
61. Auldist, D. E., Morrish, L., Eason, P., King, R. H. (1998). The influence of litter size on milk production of sows. *Animal Science*, 67(2), 333–337. doi: 10.1017/S135772980001010933
62. Noblet, J., Fortune, H., Dupire, C., & Dubois, S. (1990). Valeur nutritionnelle de treize matières premières pour le porc en croissance: 1-Teneurs en énergie digestible, métabolisable et nette. Conséquence du choix du système énergétique. *Journées Rech. Porc.*, 22, 175–184.
63. Eissen, J. J., Apeldoorn, E. J., Kanis, E., Verstegen, M. W., & deGreef, K. H. (2003). The importance of a high feed intake during lactation of primiparous sows nursing large litters. *J. Anim Sci.*, 81(3), 564–603.
64. Anil, S. S., Anil, L., & Deen, J. et al. (2006). Association of inadequate feed intake during lactation with removal of sows from the breeding herd. *J. Swine Health Prod.*, 14(6), 296–301.
65. Ball, R. O., Samuel, R. S., & Moehn, S. (2008). Nutrient requirements of prolific sows. *Advances in Pork Production*, 19, 223–236.
66. Yoder, C. L., Schwab, C. R., Fix, J. S., Duttlinge, V. M., & Baas, T. J. (2012). Lactation feed intake in purebred and F1 sows and its relationship with reproductive performance. *Livestock Science*, 150(1–3), 187–199.
67. Yaremenko, V. I., & Karapuz, V. D. (1998). Kombinatsiina zdatnist universalnykh i salnykh porid z spetsializovanymy m'iasnyy rodynnyy formamy [The combinability of versatile and fatty breeds with specialised meat family forms.]. *Tavriiskyyi naukovyi visnyk* [Tavrian Scientific Bulletin]. Herson, 4, 53–56 [in Ukrainian].
68. Voitenko, S. (2010). Myrhorodska poroda svynei: suchasnyi stan ta efektyvnist vykorystannia [Myrhorod pig breed: current state and efficiency of use]. *Tvarynyystvo Ukrainy*, 1, 2–5 [in Ukrainian].
69. Voitenko, S. L. (2012). Henezys myrhorodskoi porody svynei [Genesis of the Myrhorod pig breed]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii* [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy.]. Poltava, 2, 94–99 [in Ukrainian].
70. Okoro, V. M. O., & Mbajiorgu, C. A. (2017). Estimates of Crossbreeding Parameters for Growth and Conformation Traits. In *Nigerian Indigenous and Exotic Pig Breeds. Applied Ecology and Environmental Research*, 5(4), 117–128. doi: 10.15666/aeer/1504_117128
71. Jaturasitha, S. (2007). Meat Management (4rd ed.). Chiang Mai, Thailand: Mingmuang Press
72. Jaturasitha, S. (2012). Meat Technology (4rd ed.). Chiang Mai, Thailand: Mingmuang Press
73. Luo, J., Shen, L. Y., Tan, Z. D., Cheng, X., Yang, D. L., Fan, Y., Yang, Q., Ma, J. D., Tang, Q. Z., & Jiang, A. A. (2018). Comparison reproductive, growth

performance, carcass and meat quality of Liangshan pig crossbred with Duroc and Berkshire genotypes and heterosis prediction. *Livestock Science*, 212, 61–68. doi: 10.1016/j.livsci.2017.09.010

74. Wolf, J., Peskovicová, D., Záková, E., & Groeneveld, E. (2006). Additive and heterotic breed effects in the genetic evaluation of pig sire breeds. *Animal Science*. 82, 455–462 doi: 10.1079/ASC200655

75. Kremez, M. I., Povod, M. H., Mykhalko, O. H., Susol, R.L., Trybrat, R. O., Onyshchenko, L. V., Kravchenko, O. O., Verbelchuk, T. V., & Shcherbyna, O. V. (2022). Vidtvoriuvalni oznaky svynei irlandskoi selektsii ta proiav riznykh form heterozysu za riznykh metodiv rozvedennia v suchasnykh umovakh promyslovo-ho vyrobnytstva svynyny [Reproductive traits of pigs of Irish breeding and manifestation of different forms of heterosis under different breeding methods in modern conditions of industrial pork production]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii. Seria: S.-h. nauky* [Scientific Bulletin of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. Series: Agricultural sciences]. Lviv, 24(96), 78–88 [in Ukrainian]. doi: 10.32718/nvlvet-a9610

76. Ahlschwede, W. T., & Johnson, R. K. (1988). EC88-217 Crossbreeding Systems for Commercial Pork Production. *Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension*, 4615. URL: <http://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/4615> (date of access: 1.11.2023).

77. Buchanan, D. S., Luceb, W. G., & Clutter, A. C. (1990). Swine crossbreeding systems. Oklahoma Cooperative Extension Service, Oklahoma State University, 3603. URL: <http://file.efeedlink.com/pdffiles/swinecrossbreedingsystems.pdf> (date of access: 1.11.2023).

78. Onyshchenko, A. O. (2013) Promyslove skhreshchuvannia i hibrydyzatsiia, yikh efektyvnist u svynarstvi [Industrial crossbreeding and hybridisation and their effectiveness in pig production]. *Svynarstvo* [Pig Breeding]. Poltava, 62, 72–76 [in Ukrainian].

79. Bittante, G., Gallo, L., & Montobbio, P. (1993). Estimated Breed Additive Effects and Direct Heterosis for Growth and Carcass Traits of Heavy Pigs. *Livestock Production Science*, 34(1–2), 101–114. doi: 10.1016/0301-6226(93)90039-K

80. Tang, G. Q., Yang, R. Fg., Xue, J., Liu, T. F., Zeng, Z. Y. Jiang, A. A. Jiang, Y. Z., Li, M. Z., Zhu, L., Bai, L., Shuai, S. R., & Li, X. W. (2014). Optimising a crossbreeding production system using three specialised imported swine breeds in south-western China. *Animal Production Science*, 54(8), 999–1007. doi: 10.1071/AN13308

81. Stryzhak, T. A. (2015). Do pytannia po vykorystanniu terminalnykh knuriv [On the use of terminal boars]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria* [Bulletin of Agricultural Science of the Black Sea Region.]. Mykolaiv, 2 (2), 224–227 [in Ukrainian]. doi: 10.31521/2313-092X

82. Berezovskyi, M. D. (2014). Problemni pytannia z udoskonalennia plemynnoho svynarstva v Ukraini ta yikh vyrishennia [Problematic issues of improving breeding pig production in Ukraine and their solution]. *Svynarstvo* [Pig Breeding]. Poltava, 64, 37–48 [in Ukrainian].

83. Tsereniuk, O. M., Akimov, O. V., Chalyi, O. I., & Chereuta, Yu. V. (2017). Kombinatsiina zdatsnist za poiednannia poltavskoi m'iasnoi ta uelskoi porid svynei [Combinational ability in the combination of Poltava Meat and Welsh pigs]. *Faktory eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv* [Factors of experimental evolution of organisms], 21, 270–273 [in Ukrainian].

84. Sukhno, V. V. (2022). Rist i rozvytok svynei z riznym henotypom za DNK-markeramy SLC11A1 ta FUT1 [Growth and development of pigs with different genotypes according to DNA markers SLC11A1 and FUT1]. *Rozvedennia i henetyka tvaryn* [Animal breeding and genetics]. Kyiv, 64, 135–164 [in Ukrainian]. doi: 10.31073/abg.64.12
85. Lee, M. J., Choi, T. J., Kim, Y. M., Kim, Y. S., Jeong, Y. D., Kim, N. H., & Cho, K. H. (2018). Comparison of meat quality characteristics of Yorkshire, Duroc, Pietrain and Crossbred pigs (Duroc× Pietrain). *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 19(11), 116–125.
86. Rybarczyk, A., Pietruszka, A., Jacyno, E., & Dvořák, J. (2011). Carcass and meat quality traits of pig reciprocal crosses with a share of Pietrain breed. *Czech Journal of Animal Science*, 56(2), 47–52.
87. Kawęcka, M. (2002). Relationship between growth rate and meatiness of young boars of sire populations and their reproductive usefulness. *Theses, Agricultural University, Szczecin*, 206, 1–80.
88. Iversen, M. W., Nordbø, Ø., Gjerlaug-Enger, E., Grindflek, E., Lopes, M. S., & Meuwissen, T. (2019). Effects of heterozygosity on performance of purebred and crossbred pigs. *Genet. Sel. Evol.*, 51, 8. doi: 10.1186/s12711-019-0450-1
89. Birta, H. O., & Burhu, Yu. H. (2012). Miaso-salna produktyvnist pomisnykh svynei [Meat and fat productivity of domestic pigs]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii* [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy]. Poltava, 3, 91–95 [in Ukrainian].
90. Kovalenko, V. P., & Horbatenko, I. Yu. (1992). Biotekhnolohiia u tvarynnytstvi y henetytsi [Biotechnology in animal husbandry and genetics]. Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].
91. Piotrovych, N. A. (2017). Formuvannia vidtvoriuvalnykh yakosteï svynomatok ta otsinka yikh kombinatsiinoi zdatnosti [Formation of reproductive qualities of sows and assessment of their combining ability]: Candidate's thesis. Mykolaiv: MNAU [in Ukrainian].
92. Christensen, O. F., Nielsen, B., Su, G. S., Xiang, T., Madsen, P., Ostersen, T., Velander, I., & Strathe, A. B. (2019). A bivariate genomic model with additive, dominance and inbreeding depression effects for sire line and three-way crossbred pigs. *Genetics Selection Evolution*, 51(1). doi: 10.1186/s12711-019-0486-2

BIOLOGICAL BASIS OF THE APPLICATION OF THE HETEROSIS EFFECT BY BREED-LINE HYBRIDIZATION AND INDUSTRIAL CROSSING IN PIG BREEDING (review)

V. P. Shablia¹, H. M. Tkaczenko², O. M. Tsereniuk³, P. V. Shablia³, I. O. Buhai³, V. O. Skrypnyk³

¹State University of Biotechnology,
Alchevskykh Str., 44, Kharkiv, 61002

²Institute of Biology, Pomeranian University in Slupsk
22B Arciszewskiego St., Slupsk, Poland 76-200

³Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production NAAS
Shvedska Mohyla Str., 1, Poltava, Ukraine, 36013

Goal. To summarize the biological features and results of the application of the heterosis effect through the analysis of organizational and methodological approaches

to the formation and implementation of systems of breed-line hybridization and industrial crossing in pig breeding and other industries. **Methods.** Domestic and foreign sources of literature on the subject of research and their chamber analytical analysis. **The results.** Modern industrial pig breeding is based on the application of industrial crossing and breed-line hybridization. These two methods of breeding are used to obtain in the offspring those advantages provided by the manifestation of the biological effect of heterosis for the combination of the productivity indexes of the parental forms of pigs selected for a certain group. To ensure such a system, the pig breeding industry is divided into two main components - breeding and commercial. The selection of intermediate parental forms (or the first parental forms) is subject to higher requirements, because the manifestation of the effect of heterosis according to the group of signs of the reproductive capacity of sows must be ensured, and selection should be directed according to the growth rate of the young pigs. The final form in crossbreeding and hybridization systems are the so-called terminal boars. **Conclusions.** A review of literature sources regarding the generalization of the features and results of the application of the heterosis effect through the analysis of biological and organizational-methodical approaches to the formation and implementation of systems of breed-line hybridization and industrial crossing in pig breeding and other industries indicates sufficient plasticity of the system of used approaches. For any approach to the causes and consequences of heterosis, one of the main, if not the key, the limiting factor in its practical implementation is the ratio between the costs of means and time for the organization of the process, on the one hand, and the increase in efficiency from its application, on the other. The developed general-methodical approaches to the organization of systems of industrial crossing and breed-line hybridization in pig breeding make it possible to obtain heterosis effects for a number of economically useful traits in accordance with the set requirements. Modern world trends to obtain a greater number of high-quality meat products can be ensured due to the use in pig breeding of individual parental forms and effective variants of the effect of heterosis in the systems of industrial crossing and breed-line hybridization. The developed models for assessing the breeding value of pigs should take into account the biological features of the inheritance of economic and useful traits during breed-line hybridization and industrial crossing, as well as the predicted effects of heterosis on a number of economically valuable characteristics of pigs.

Key words: pigs, biological features, heterosis, breed-line hybridization, genetic potential, pure line, crossing, selection, breeding value, dominant genetic effect.

Отримано 25.10.2023

Отримано після доопрацювання 13.11.2023

Затверджено до видання 08.12.2023