

Л. В. ГОРБУНОВ, Н. В. ЛАРИНЦЕВА, О. В. ЗВЯГІНЦЕВА

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВИ СПІВСТАВНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ У ПОЛЬОВИХ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

При проведенні біотехнологічних польових досліджень з використанням рослинних об'єктів існує проблема обліку гетерогенності результатів, недосконалість методів призводить до необхідності багаторазового повторення дослідів та не вирішується питання відтворюваності і порівнянності результатів досліджень, тому застосування математичних моделей в дослідженнях дає можливість не тільки виявити, але й пояснити отримані закономірності. Предметом вивчення в статті є імітаційна модель оцінки маси зернівок кукурудзи з урахуванням їх генотипу і умов вирощування. В основу моделі покладено аналітичний вираз, що відображає основні причини зростання насіння кукурудзи після запилення рослини. Маса зернівок кукурудзи залежить від ряду біологічних факторів (генотип), технологічних – структури ґрунту (її родючість і способи обробки), а також кліматичних умов (вологість, інтенсивність освітлення). Метаю дослідження є створення імітаційної моделі для забезпечення порівнянності результатів, отриманих при вирощуванні кукурудзи на зерно в різних умовах. В якості методів для отримання та побудови результатів використовувалися біологічний (вирощування) і математичний (імітаційна модель) методи. Розбіжність оцінки маси зерна однакового генотипу вирощених в різних дослідних господарствах різних кліматичних зон України і отриманих розрахунковим способом склало не більше 18 % і отриманих експериментально до 64 %. Особливістю моделі є незалежність гетерогенності біооб'єкту (досліджуваних ліній і гібридів) від умов їх вирощування (структури ґрунту і кліматичних умов). Застосування математичного моделювання дає можливість знизити розходження досліджуваних показників до 25 разів отриманих в різних дослідях, тим самим значно скоротити час, грошові витрати і забезпечити умова порівнянності результатів для отримання достовірного результату.

Ключові слова: математичне моделювання, імітаційна модель, біооб'єкт, кукурудза, ендоспермові мутанти, гетерогенність.

Л. В. ГОРБУНОВ, Н. В. ЛАРИНЦЕВА, О. В. ЗВЯГІНЦЕВА

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСЛОВИЙ СОПОСТАВИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ В ПОЛЕВЫХ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

При проведении биотехнологических полевых исследований с использованием растительных объектов существует проблема учета гетерогенности результатов, несовершенство методов приводит к необходимости многократного повторения опытов, но не решается вопрос воспроизводимости и сопоставимости результатов исследований, поэтому применение математических моделей в исследованиях дает возможность не только выявить, но и объяснить полученные закономерности. Предметом изучения в статье является имитационная модель оценки массы зерновок кукурузы с учетом их генотипа и условий выращивания. В основу модели положено аналитический выражение, отражающее основные причины роста семян кукурузы после опыления растения. Масса зерновок кукурузы зависит от ряда биологических факторов (генотип), технологических – структуры почвы (ее плодородие и способы обработки), а также климатических условий (влажность, интенсивность освещения). Цель исследования является создание имитационной модели для обеспечения сопоставимости результатов, полученных при выращивании кукурузы на зерно в различных условиях.

В качестве методов для получения и построения результатов использовались биологический (выращивание) и математический (имитационная модель) методы. Расхождение оценки массы зерна одинакового генотипа выращенных в различных исследовательских хозяйствах различных климатических зон Украины и полученных расчетным способом составило не более 18 % и полученных экспериментально до 64 %. Особенностью модели является независимость гетерогенности биообъекта (исследуемых линий и гибридов) от условий их выращивания (структуры почвы и климатических условий). Применение математического моделирования дает возможность снизить различия исследуемых показателей до 25 раз, которые получены в разных опытах, тем самым значительно сократить время, денежные расходы и обеспечить условие сопоставимости результатов для получения достоверного результата.

Ключевые слова: математическое моделирование, имитационная модель, биообъект, кукуруза, эндоспермальные мутанты, гетерогенность.

L. GORBUNOV, N. LARINTSEVA, O. ZVIAHINTSEVA

PROVISION OF CONDITIONS OF COMPARABILITY OF RESULTS IN FIELD BIOTECHNOLOGICAL RESEARCH USING A COMPUTER EXPERIMENT.

When conducting biotechnological field studies using plant objects, there is a problem of taking into account the heterogeneity of the results, the imperfection of methods leads to the need for multiple repetitions of experiments, but the issue of reproducibility and comparability of research results is not resolved, therefore, the use of mathematical models in research makes it possible not only to identify, but also to explain the obtained

© Л.В. Горбунов, Н.В. Ларинцева, О.В. Звягинцева, 2021

patterns. The subject of the study in the article is a simulation model for estimating the mass of corn grains taking into account their genotype and growing conditions. The model is based on an analytical expression that reflects the main reasons for the growth of corn seeds after pollination of the plant. The mass of corn grains depends on a number of biological factors (genotype), technological – soil structure (its fertility and methods of cultivation), and climatic conditions (humidity, light intensity). The aim of the study is to create a simulation model to ensure the comparability of the results obtained when growing corn for grain in different conditions.

Biological (cultivation) and mathematical (simulation model) methods were used as methods for obtaining and constructing results. The discrepancy in the estimation of the mass of grain of the same genotype grown in different research farms of different climatic zones of Ukraine and obtained by calculation was not more than 18 % and obtained experimentally up to 64 %. A feature of the model is the independence of the heterogeneity of the bioobject (studied lines and hybrids) from the conditions of their cultivation (soil structure and climatic conditions). The application of mathematical modeling makes it possible to reduce the differences in the studied indicators up to 25 times, which were obtained in different experiments, thereby significantly reducing time, money and provide a condition for comparability of results to obtain a reliable result.

Key words: mathematical modeling, simulation model, bioobject, corn, mutants of endosperm, heterogeneity.

Вступ. При проведенні біотехнологічних польових досліджень з використанням рослинних об'єктів існує проблема обліку гетерогенності результатів, недосконалість методів призводить до необхідності багаторазового повторення дослідів, і разом з цим не вирішується питання відтворюваності і порівнянності результатів досліджень. Застосування математичних моделей в дослідженнях дає можливість не тільки виявити, але й пояснити отримані закономірності, що дозволяє створити принципово нові сорти та гібриди сільськогосподарських цінних рослин, таких як кукурудза [1 – 2].

Сучасна методологія виділяє три етапи марематизації цього завдання: статистична обробка емпіричних даних, моделювання експерименту на основі застосування регресійних рівнянь і відносно повні математичні теорії, що представлені аналітичними виразами [3]. Досягнення в галузі рослинництва дають широку можливість застосування аналітичних методів математичного моделювання, за умови повної реалізації можливостей, заснованих на використанні статистичних методів аналізу та оптимізації багатofакторних експериментів.

Аналіз стану питання. Математичні моделі є потужним інструментом опису, аналізу та оптимізації отриманих даних. Рівень завершеності дослідницької роботи визначається адекватністю опису досліджуваного явища з можливістю його подальшого пояснення. Математичне абстрагування отриманих результатів може сприяти вирішенню проблеми непорівнянності експериментально отриманих даних при змінних умовах проведення дослідів і служити відправним моментом проведення подальших досліджень, особливо при біотехнологічних дослідженнях рослинних об'єктів [4].

Відсутність методів кількісного аналізу гетерогенності моногенних ендоспермових мутантів кукурудзи при оцінці технологічних операцій по створенню високопродуктивних сортів і гібридів призводить до непорівнянності і невідтворюваності

результатів отриманих при різних експериментальних умовах. Це ускладнює проведення багатofакторного аналізу та оптимізацію біотехнологічного експерименту. Використання математичних моделей в селекції цінних для сільськогосподарства рослин дає можливість виявити і пояснити залежності, які дозволять створювати принципово нові сорти та гібриди з поліпшеними цільовими характеристиками.

Мета дослідження. Мета дослідження полягає в створенні імітаційної моделі для забезпечення порівнянності результатів, отриманих при вирощуванні кукурудзи на зерно в різних умовах.

Постановка задачі. Задачею дослідження стало створення імітаційної моделі оцінки маси зерна ліній та гібридів кукурудзи з урахуванням їх генотипу та умов вирощування. В основу запропонованої моделі покладено аналітичний вираз, що відтворює основні фактори росту після запилення рослини, а саме, на масу одержаного зерна впливає ряд факторів: біологічні – генотип ліній і гібридів, технологічні – структура ґрунту (родючість і способи обробки) та кліматичні (вологість, інтенсивність освітлення).

Матеріали та методи дослідження. Матеріалом для досліджень служили серія неспоріднених за походженням інбредних ліній кукурудзи нормального типу, ліній – носіїв ендоспермальних мутацій wx , su_1 та, отриманих внаслідок їх діалельних схрещувань в рамках одного генотипу, простих гібридів за другим методом Гріфінга [5].

Батьківськими формами першої схеми послужили 6 ліній кукурудзи звичайного типу (ВІР–44, Р–346, Т–22, А–619, Р–165, В–37), другої – 6 ліній–носіїв мутації wax (ВК–11, ВК–13, ВК–19, ВК–36, ВК–64, ВК–69), третьої – 6 ліній–носіїв мутації $sugary\ endosperm\ 2$ (АС–13, АС–16, АС–28, АС–32, АС–37, АС–52). Всього для аналізу залучено 18 інбредних ліній і 63 простих гібридів врожаю 2012 року.

Вирощування ліній і гібридів проводили в Дослідницькому господарстві Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН (ІР НААН) «Елітне»,

яке розташоване в Харківському районі Харківської області, що відноситься до Східного Лісостепу України, і на Устимівській дослідній станції рослинництва (УДСР), яка розташована в Глобинському районі Полтавської області, що відноситься до Південного лісостепу України.

Польові дослідження виконували відповідно до загальноприйнятої методики польового експерименту [6] і «Методичних рекомендацій польового і лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи» [7].

Облікові площі ділянок для вирощування кожної лінії і гібрида складали по 9,8 м². Повторність польових досліджень – дворазова.

Польові обліки і спостереження проводили згідно «Класифікатора – довідника виду *Zea mays L.*» [8].

Обліки зернової продуктивності ліній і гібридів здійснювали подільською після висушування качанів до 14 % вологості і їх обмолоту.

Для лабораторного аналізу використовували матеріал виключно від контрольованого запилення. Контроль алейного стану генів структури ендосперму здійснювали за фенотипом зерна [9].

Масу 1000 зернівок визначали в дворазовій повторності згідно ДСТУ 4138:2002 [10].

Статистичний аналіз отриманих результатів проводили за загальноприйнятими формулами якісного і кількісного аналізу [11] на основі

застосування стандартних і розроблених нами програм для роботи на ЕОМ. Оцінку достовірності відмінності в досліді і контролі проводили на основі порівняння середніх величин збереження, життєздатності або ефективності отриманих в досліді і контролі за допомогою критерію Стюдента. Облік індивідуальних особливостей біооб'єкту проводили при усередненні різниці сполучених параметрів контроль – дослід [12]. Відтворюваність результатів експерименту визначали за допомогою величин середнє відхилення і коефіцієнта варіації C_v .

Результати чисельного моделювання. З метою визначення закономірностей впливу генотипу зерна і умов його вирощування, загальна структура дослідження розділена на три частини: вивчення кінетики росту насіння після запилення рослини, аналіз різних умов вирощування і приведення отриманих результатів до однакових умов вимірювання (рис. 1).

Для аналітичного опису гетерогенності біооб'єкту використовували насіння рослин, що мають різний генотип. Визначили ефективність різних способів вирощування при використанні загальноприйнятих методів селекції. Для цього встановлювали етапи, які мають низьку ефективність, і проводили оптимізацію їх параметрів за результатами розвитку біооб'єкту в умовах *in vivo*

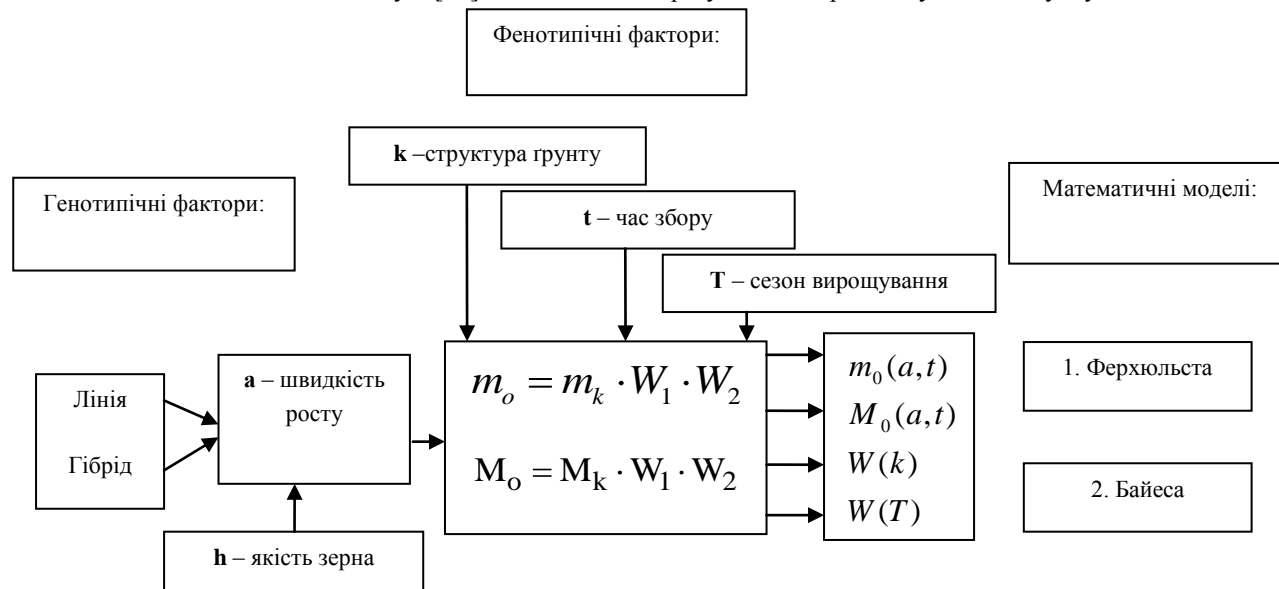


Рисунок 1 – Схема комп'ютерного дослідження гетерогенності зерна кукурудзи та умов їх вирощування:
 m – маса проби зерна (1000 зернівок кукурудзи); M – кількість цільового продукту у зернівках; a – швидкість росту;
 $W_1(k)$ і $W_2(T)$ – ефективність вирощування зерна, що залежить від структури ґрунту та сезону; T – рік, t – місяць

Створено математичну модель, що описує стан біооб'єкту в залежності від його початкового стану та ефективності вирощування. Підвищення порівнянності результатів забезпечувалося за рахунок усунення

групової варіації обумовленої різними умовами вирощування.

Необхідністю створення імітаційної моделі є отримання методу кількісного визначення біологічних

(швидкості росту лінії і гібридів) і ефективності технологічних факторів. Показник швидкості росту залежить від чотирьох біологічних факторів, що визначають стан біооб'єкту. Встановивши швидкість росту біооб'єкту, отриманого від конкретної лінії або гібрида, забезпечуємо сумісність результатів отриманих при різних умовах його проведення. Отримуємо чисельні показники ефективності аналізованих умов вирощування (структури ґрунту і сезону) і насіння, що не залежать від якості використаного біооб'єкту. В основу запропонованої математичної моделі покладено рівняння Ферхюльста для опису росту насіння при оцінці маси:

$$\frac{dm}{dt} = a \cdot m \cdot \left(1 - \frac{m}{K}\right), \quad (1)$$

де m – маса зернівок, г;

t – час у годинах;

a – коефіцієнт, що відображає швидкість росту зернівок залежить від генотипу;

K – коефіцієнт, що відповідає максимальному значенню маси зернівок.

Рішення диференціального виразу (1) дає чисельні значення для опису маси зерна в процесі їх вирощування в контролі:

$$m(t) = \frac{m_0 \cdot K \cdot \exp(a \cdot t)}{K - m_0 + m_0 \cdot \exp(a \cdot t)}, \quad (2)$$

де m_0 – значення відповідне початкової маси зерна в пробі.

Коефіцієнт, що відображає швидкість росту стану зернівок – a для даного аналітичного виразу $m(t)$, визначається методом комп'ютерного моделювання при аналізі експериментально отриманих значень маси зернівок у пробі відповідно (1).

Відповідно до формули Байєса [13], масу зерна $m(t)$ можна виразити як добуток умовно залежних ймовірностей (виражених в умовних одиницях) відповідних коефіцієнтів відносної зміни маси проби отриманої в контролі до досліду при різних умовах проведення експерименту:

$$m_0(t) = m_k(t) \cdot W_1 \cdot W_3 \quad (3)$$

де W_1 – коефіцієнт, що відповідає зміні умов вирощування зернівок та залежить від родючості ґрунту в контролі і досліді, ймовірність зміни маси залежить від ефективності умов їх вирощування на різних полях в однаковий час;

W_2 – коефіцієнт, що відповідає зміні умов вирощування насіння залежить від кліматичних умов в контролі і досліді, ймовірність зміни маси, що залежить від ефективності умов їх вирощування на одному полі в різні роки.

Для підвищення точності визначення аналітичної залежності $m(t)$ будуються регресійні рівняння зміни маси насіння $m(t)$ від часу методом найменших квадратів. Значення коефіцієнтів ефективності вирощування W_i розраховували за допомогою запропонованої моделі на основі експериментально отриманих значень маси зразків отриманих в контролі і досліді $m(t)$.

Помилку визначення емпірично отриманого показника маси під час вирощування $m(t)$ визначали при використанні загальноприйнятої методики [14]. При загальноприйнятому способі оцінки маси зерна заданого генотипу по усередненому показнику в залежності від його місця вирощування і сезону в різних дослідах відмінність може становити більше 100 %. Необхідність даного перетворення пов'язана з тим, що середні величини не несуть інформації про стан окремої проби, отриманої в досліді, тоді як запропонована модель $m_0(t)$ в сукупності з емпірично отриманими функціями в контролі $m(t)$, відображає індивідуальні властивості конкретного біооб'єкту і умови його вирощування.

Для спрощення процедури розрахунку основних біотехнологічних параметрів розроблено програмне забезпечення в середовищі Microsoft Excel. Графічне представлення результатів розрахунку представлено на рис. 2.

Для перевірки запропонованої імітаційної моделі (1) та (3) проаналізовані дані маси зерна різних ліній, вирощених в господарствах ДГ ІР НААН «Елітне» і УДСР [15–17]. Порівняльний аналіз різних умов вирощування різних ліній кукурудзи, показав, що максимальні значення маси 1000 зернівок в пробі і в одному качані відповідає вирощуванню в УДСР в 2012 році. У ДГ ІР НААН «Елітне» аналогічні показники, отримані в 2012 році дають значення в середньому на 27 % нижче. Тому нами в якості контролю при побудові моделі взяті дані отримані в УДСР.

За допомогою віртуального експерименту встановлено (табл. 1), що при вирощуванні насіння лінії кукурудзи нормального генотипу в умовах господарств ДГ ІР НААН «Елітне» і УДСР в 2012 році отримані різні значення маси проб містять по 1000 зернівок окремо для кожного генотипу.

Експериментально отримані значення дають розбіжності до 64 % тоді як модельні не перевищують 18 %. Кратність підвищення порівнянності результатів, при використанні запропонованої моделі, в середньому становить 7,3 рази і варіює від 0,9 до 25.

Аналіз розбіжності результатів маси зерна гібридів мутації ваху (табл. 2) вирощених в різних

господарствах відображає значущу розбіжність даних отриманих експериментально (до 50,1 %) і в результаті застосування моделі не більше 15 %. Підвищення сумісності в середньому становить 5,7 разів, а варіація від 0,9 до 9,9.

Аналогічна закономірність спостерігається для

гібридів мутацій waxy і sugary endosperm 2 (табл. 2 і 3). Максимальне значення даних отриманих в результаті дослідження становить 317,9 і 78,69 %, а для моделі 14 і 23 %, відповідно. Застосування моделі підвищує порівнянність в середньому в 13,7 і 25,3 разів.

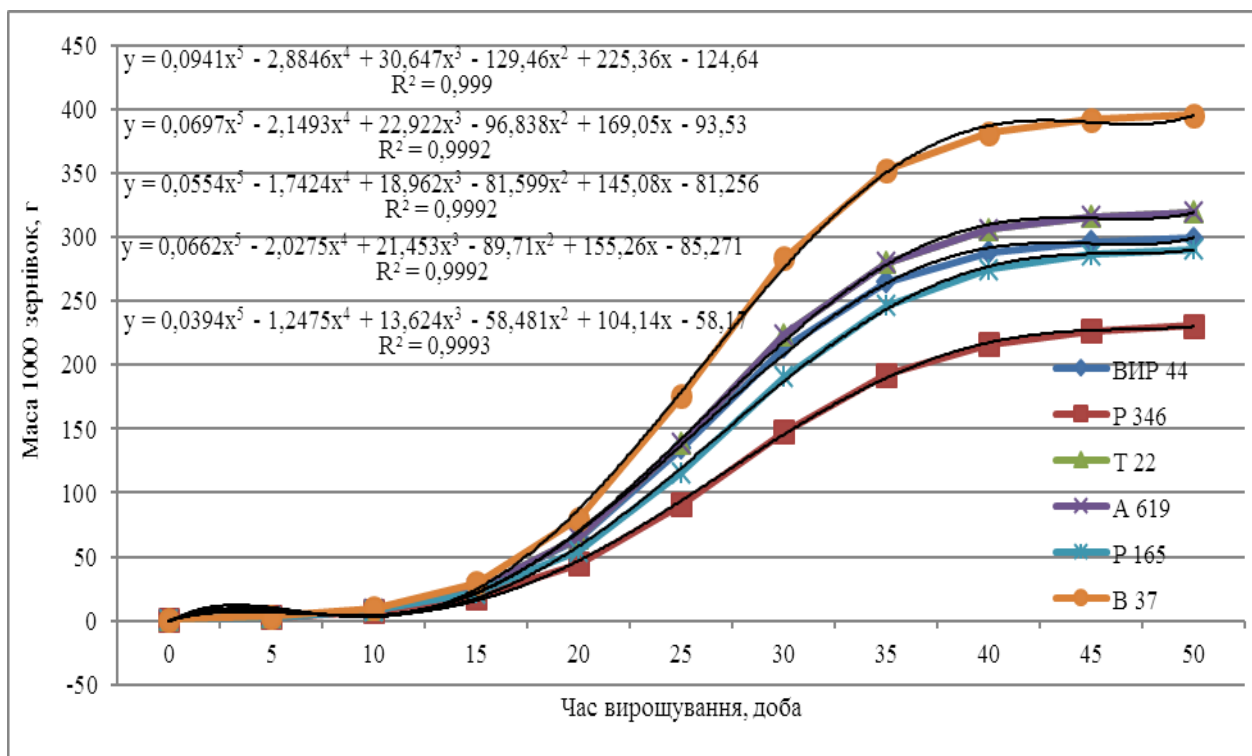


Рисунок 2 – Залежність маси 1000 зернівок ліній кукурудзи від часу вирощування на Устимівській дослідній станції рослинництва в 2012 році. Ефективність технологій вирощування складала для ґрунту $W_1 = 0,73$ і сезону $W_2 = 1$. Коефіцієнт, що відображає швидкість росту насіння залежні від їх генотипу, $a = 0,22$.

Таблиця 1 – Розбіжність маси 1000 зернівок гібридів F_1 ліній кукурудзи нормального генотипу отриманих в господарствах ДГ ІР НААН «Елітне» і УДСР в 2012 р

Гібриди F_1 кукурудзи нормального генотипу	Маса 1000 зернівок, г (ДГ ІР НААН «Елітне» 2012 г)		Розбіжність даних у різних господарствах, %		Кратність підвищення співставності, разів
	Дослід	Розрахунок	Дослід	Розрахунок	
ВІР-44хР-346	262,9	363,92	29,327	7,3938	3,97
ВІР-44хТ-22	291,15	402,66	51,125	-8,097	6,32
ВІР-44хА-619	239,85	331	45,1	4,27	10,5
ВІР-44хР-165	222,65	308	45,5	-4,6	10
ВІР-44хВ-37	297,3	409	21,1	14,7	1,43
Р-165хА-619	236,7	327	36,9	1,47	25,2
Т-22хР-346	251,1	346,4	64,08	-15,4	4,17
Т-22хА-619	259,6	359	64,9	-16	4,1
Т-22хР-165	295,6	403,2	19,08	15,04	1,27
Т-22хВ-37	276,05	377,7	44,901	-5,462	8,22
Р-165хР-346	275,6	376	16,1	18	0,9
Р-165хТ-22	255,9	350	50,1	-8,7	5,7
В-37хР-346	259,4	354	32,6	3,3	9,89
В-37хА-619	218,85	299	46,2	-6,3	7,3
В-37хР-165	208,6	285,4	47,65	-7,22	6,6

Таблиця 2 – Розбіжність маси 1000 зернівок гібридів F₁ ліній кукурудзи мутації waxy отриманих в господарствах ДГ ІР НААН «Елітне» і УДСР в 2012 р

Гібриди F ₁ мутації waxy	Маса 1000 зернівок, г (ДГ ІР НААН «Елітне» 2012 г)		Розбіжність даних у різних господарствах, %		Кратність підвищення співставності, разів
	Дослід	Розрахунок	Дослід	Розрахунок	
ВК–11хВК–64	232,55	232,55	317,9	6,19	4,69
ВК–19х ВК–11	229,35	229,35	312,5	7,60	3,60
ВК–19хВК–13	209,95	209,95	287	–6,62	7,05
ВК–19х ВК–64	205,95	205,95	282	–14	4,2
ВК 36 х ВК 64	226,75	226,75	310	0,85	42,2
ВК 36 х ВК 69	210,3	210,3	288	–11	4,9
ВК–69х ВК–11	233,35	318,95	28,56	6,55	4,36
ВК–69х ВК–13	230,75	314,36	26,54	8,25	3,22
ВК–69хВК–19	223,5	306	37,8	–0,6	63,4
ВК–69хВК–64 ф1	219,1	300	49,7	–8,5	5,9
ВК–69хВК–64 ф2	234,75	320	31,2	4,41	7,08

Таблиця 3 –Розбіжність мас 1000 зернівок гібридів F₁ ліній кукурудзи мутації sugary endosperm 2 отриманих в господарствах ДГ ІР НААН «Елітне» і УДСР в 2012 р

Гібриди F ₁ мутації sugary endosperm 2	Маса 1000 зернівок, г (ДГ ІР НААН «Елітне» 2012 г)		Розбіжність даних у різних господарствах, %		Кратність підвищення співставності, разів
	Дослід	Розрахунок	Дослід	Розрахунок	
АС 13 х АС 16	227,25	310,69	16,17	17,92	0,90
АС 13 х АС 32	209,25	285,39	45,28	–5,71	7,93
АС 13 х АС 37	219,7	300	43,8	–4,76	9,21
АС 13 х АС 23	197,25	269	33,8	2,35	14,4
АС 28 х АС 16	211,1	288	17,5	16,6	1,05
АС 32 х АС 16	200,43	274	35,7	0,94	37,9
АС 32 х АС 37	181,65	248,8	56,35	–12,38	4,55
АС 32 х АС 52	156,7	214,39	78,69	–23,34	3,37
АС 37 х АС 28	205,6	281	28,4	6,68	4,25
АС 52 х АС 16	192,35	263	37,2	–0,2	194
АС 52 х АС 28	193,35	264	30,3	5,1	5,94

Висновки. Розроблено імітаційну модель, що описує залежність маси зерна від їх генотипу і ефективності вирощування. Застосування моделі багаторазово підвищує відтворюваність результатів дослідження і забезпечує умови їх порівнянності при використанні різних умов вирощування. Застосування запропонованої моделі при проведенні комп'ютерного біотехнологічного дослідження дає можливість визначити умови вирішення поставленого завдання на етапі проведення пошукових дослідів.

2. Порівняльний аналіз різних умов вирощування різних гібридів насіння кукурудзи, показав, що максимальні значення маси 1000 зернівок в пробі і в одному качані відповідає вирощуванню в дослідному господарстві УДСР в 2012 році. У дослідному господарстві в господарствах ДГ ІР НААН «Елітне» аналогічні показники отримані в 2012 році дають значення в середньому на 27 % нижче. Застосування

моделі підвищує порівнянність в середньому до 25,3 разів.

Список літератури

1. Тимчук С. М. Вміст та жирно кислотний склад олії у інбредних ліній кукурудзи на основі різних ендоспермових мутацій / С. М. Тимчук, О. Г. Супрун, В. В. Поздняков, В. М. Тимчук, Ю. В. Харченко, Л. Я. Харченко // Матеріали междунар. науч. конф. «Современные теоретические и практические аспекты селекции гибридов и сортов масличных культур и разработка технологий их выращивания». – Запорозьке: Інститут масличних культур НААН України, 2012.
2. Тимчук С. М. Вміст та жирно кислотний склад олії в зерні ендоспермових мутантів кукурудзи / О. Г. Супрун, В. М. Тимчук, Г.С. Потапенко // Вісник Центру наукового забезпечення агропромислового виробництва Харківської області. – 2013. – №14. – С. 128 – 136.
3. Горбунов Л. В. Математическое моделирование состояния деконсервированного биообъекта / Л. В. Горбунов // LAPLAMBERT Academic Publishing: 2014. – 116 с.
4. Gorbunov L.V. Mathematical model for describing the post-cryopreservation viability of fruit and berry cuttings / L. V.

- Gorbunov, I. V. Petrov, O. V. Zviahintseva // *Biotechnologia Acta*. – 2019. – V. 12, No 5. – P. 85–95
5. Турбин, Н. В. Диалельный анализ в селекции растений / Н. В. Турбин, Л. В. Хотылева, Л. А. Тарутина //– Минск: Наука и техника, 1974 – 179с.
 6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта/ Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985.–351с.
 7. Методичні рекомендації польового та лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи /Гур'єва І.А., Рябчун В.К., Козубенко Л.В., Літун П.П. та ін. – Харків. – 1993. – 29 с.
 8. Класифікатор–довідник виду Zeamays L./ І.А. Гур'єва, В.К. Рябчун, Л.В. Козубенко, М.М. Чупіков, Н.Б. Гур'єва.– Харків., 1994. – 73с.
 9. Neuffer M. G. Mutantsof maize / M. G. Neuffer, E. H. Coe, S. R. Wessler. – Cold Spring Harbor, NY : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1997. – 468 p.
 10. ДСТУ 4138–2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. – Введ. 2003–10–07. – К.: Держстандарт України, 2003. – 173 с.
 11. Complex analysis of flax seeds composition for breeding programs / V. V. Titok [et al.] // Proceedings of BSTU. No. 4. – Minsk : BSTU, 2014. – P. 169–174
 12. Punyasena S.W. Bioinformatic and biometric method sinplant morphology / S.W. Punyasena, S.Y. Smith. – Michigan: Department of Plant Biology, University of Illinois, 2014. – 2 p.
 13. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. // М.: Высшая школа, 2007. – 480 с.
 14. Савчук, В.П. Обработка результатов измерений. Физическая лаборатория. Ч.1. / В.П. Савчук//– О: ОНПУ, 2002. – 54 с.
 15. Горбунов Л.В. Обеспечение условий сопоставимости результатов исследования гибридов мутантных семян кукурузы при помощи компьютерного эксперимента //Л.В. Горбунов, Н.В. Решетняк, Н.М. Мартынюк // Матеріали міжнар. наук.–практ. конф. «Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» MICROCAD–2017. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – 343 с.
 16. Решетняк Н.В. Обеспечение условий сопоставимости количественных результатов выращивания линий и гибридов кукурузы на зерно при разных климатических условиях в разное время / Н.В. Решетняк, Л.В. Горбунов //Матеріали міжнар. наук.–практ. конф. «Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» MICROCAD–2017. – Харків : НТУ «ХП», 2017. – 343 с.
 17. Ларінцева Н.В. Забезпечення умов збіжності результатів за допомогою математичного моделювання у дослідженнях гібридів мутації зерен кукурудзи / Н.В. Ларінцева, Л.В. Горбунов, А.Р. Суполкіна // В кн.: Сучасні досягнення фармацевтичної технології і біотехнології : збірник наукових праць. Випуск 6. – Харків : Вид-во НФаУ, 2019. – С. 285.
 - zabezpechennya agropromy'sloвого vy'robny'cztva Xarkivs'kij oblasti. – 2013. – №14. – s. 128 – 136.
 3. Gorbunov L. V. Matematicheskoe modelirovanie sostoyaniya dekonservirovannogo bioob'ekta / L. V. Gorbunov // LAPLAMBERTAcademicPublishing: 2014. – 116 s.
 4. Gorbunov L.V. Mathematical model for describing the post-cryopreservation viability of fruit and berry cuttings / L. V. Gorbunov, I. V. Petrov, O. V. Zviahintseva // *Biotechnologia Acta*. – 2019. – V. 12, No 5. – P. 85–95
 5. Turbin, N. V. Dialellynyy analiz v seleksii rasteniy / N. V. Turbin, L. V. Hotyileva, L. A. Tarutina //– Minsk: Nauka i tehnika, 1974 – 179 с.
 6. Dospheov B. A. Metodika polevogo opyita/ B. A. Dospheov. – М.: Агропромиздат, 1985.–351 с.
 7. Metody'chni rekomendaciyi pol'ovogo ta laboratorного vy'vchennya genety'chny'x resursiv kukurudzy' /Gur'yeva І.А., Ryabchun V.K., Kozubenko L.V., Litun P.P. ta in. – Xarkiv. – 1993. – 29 s.
 8. Klasy'fikator–dovidny'k vy'du Zeamays L./ І.А. Gur'yeva, V.K. Ryabchun, L.V. Kozubenko, M.M. Chupikov, N.B. Gur'yeva.– Xarkiv., 1994. – 73s.
 9. Neuffer M. G. Mutantsof maize / M. G. Neuffer, E. H. Coe, S. R. Wessler. – Cold Spring Harbor, NY : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1997. – 468 p.
 10. DSTU 4138–2002. Nasinnya sil's'kogospodars'ky'x kul'tur. Metody' vy'znachennya yakosti.– Vved. 2003–10–07.– К.: Derzhstandart Ukrayiny', 2003. – 173 s.
 11. Complex analysis of flax seeds composition for breeding programs / V. V. Titok [et al.] // Proceedings of BSTU. No. 4. – Minsk : BSTU, 2014. – P. 169–174
 12. Punyasena S.W. Bioinformatic and biometric method sinplant morphology / S.W. Punyasena, S.Y. Smith. – Michigan: Department of Plant Biology, University of Illinois, 2014. – 2 p.
 13. Gmurman, V.E. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika / V.E. Gmurman. // М.: Vysshaya shkola, 2007. – 480 s.
 14. Savchuk, V.P. Obrabotka rezultatov izmereniy. Fizicheskaya laboratoriya. Ch.1. / V.P. Savchuk//– О: ONPU, 2002. – 54 s.
 15. Gorbunov L.V. Obespechenie usloviy sopostavimosti rezultatov issledovaniya gibridov mutantnyih semyan kukuruziy pri pomoschi kompyuternogo eksperimenta //L.V. Gorbunov, N.V. Reshetnyak, N.M. Martyniuk // Materlali mlzhnar. nauk.–prakt. konf. «InformatsIynI tehnologIyi: Nauka, tehnlka, tehnologIya, osvIta, zdorov'ya» MICROCAD–2017. – HarkIv : NTU «HPI», 2017. – 343 s.
 16. Reshetnyak N.V. Obespechenie usloviy sopostavimosti kolichestvennyih rezultatov vyiraschivaniya liniy i gibridov kukuruziy na zerno pri raznyih klimaticheskikh usloviyah v raznoe vreme / N.V. Reshetnyak, L.V. Gorbunov //Materlali mlzhnar. nauk.–prakt. konf. «InformatsIynI tehnologIyi: Nauka, tehnlka, tehnologIya, osvIta, zdorov'ya» MICROCAD–2017. – HarkIv : NTU «HPI», 2017. – 343 s.
 17. Larinceva N.V. Zabezpechennya umov zbizhnosti rezul'tativ za dopomogoyu matematy'chnogo modelyuvannya u doslidzhennyax gibry'div mutaciyi zeren kukurudzy' / N.V. Larinceva, L.V. Gorbunov, A.R. Supolkina // V kn.: Suchasni dosyagnennya farmacevty'chnoyi texnologiyi i biotexnologiyi : zbiry'k naukovy'x prac'. Vy'pusk 6. – Xarkiv : Vy'd–vo NFaU, 2019. – 285 s.

References (transliterated)

1. Ty'mchuk S. M. Vmist ta zhy'rno ky'slotny'j sklad oliyi u inbredny'x linij kukurudzy' na osnovi rizny'x endospermovy'x mutacij / S. M. Ty'mchuk, O. G. Suprun, V. V. Pozdnyakov, V. M. Ty'mchuk, Yu. V. Xarchenko, L. Ya. Xarchenko // Матер'ялы mezhdunar. nauch.konf. «Sovremennye teorety'chesky'e y' prakty'chesky'e aspektj selekcy'y' gy'bry'dov y' sortov masly'chnyx kul'tur y' razrabotka texnolog'y' y'x vjrashhy'vany'ya». – Zaporozh'e: Y'nsty'tut masly'chnyx kul'tur NAAN Ukray'nj, 2012. – s. 36
2. Ty'mchuk S. M. Vmist ta zhy'rno ky'slotnij sklad oliyi v zerni endospermovy'x mutantiv kukurudzy' / O. G. Suprun, V. M. Ty'mchuk, G.S. Potapenko // Visny'k Centru naukovogo

Надійшла (received) 29.03.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Горбунов Леонід Володимирович (Горбунов Леонид Владимирович, Gorbunov Leonid) – кандидат сільсько–господарських наук, доцент кафедри біотехнології, біофізики та аналітичної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID ID:0000–0001–6546–036. e–mail: 4glv@i.ua.

Ларінцева Надія Вікторівна (Ларинцева Надежда Викторовна, Larintseva Nadiia) – старший викладач кафедри біотехнології, біофізики та аналітичної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000–0001–5169–2682 e–mail: nadyaelen2111@gmail.com.

Звягінцева Оксана Вікторівна (Звягинцева Оксана Викторовна, Zviahintseva Oksana) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біотехнології, біофізики та аналітичної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID ID: 0000–0003–1921–4204. e–mail: oksana.kaf.226@gmail.com.