

ОЦІНКА ГІБРИДІВ РОЗЛУСНОЇ КУКУРУДЗИ (ZEA MAYS L. EVERTA STURT.) ЗА ВРОЖАЙНІСТЮ І ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЗЕРНА

КУПРІЧЕНКОВ Д.С. – аспірант

orcid.org/0000-0003-0543-0686

Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Розлусна кукурудза (*Zea mays L. everta Sturt.*), на відміну від інших підвидів, має специфічну властивість – її зерно під дією нагрівання розлускується, перетворюючись на корисний продукт харчування – попкорн [1].

Попкорн – поширена у світі закуска, яка готується, як індивідуально вдома, так і на переробних підприємствах із додаванням різних наповнювачів. Лише в США за рік споживають 4,5×10⁸ кг попкорну, або 1,36 кг за рік одну людину [2].

Оскільки зерно розлусної кукурудзи використовуються для харчових цілей, виникає конфлікт інтересів між виробниками сільськогосподарської продукції і її споживачами: з одного боку, гібриди мусять бути врожайними й адаптованими до умов вирощування, з іншого – мати високі технологічні показники зерна. Такі труднощі пояснюються існуванням негативної кореляції між врожайністю і об'ємним розширенням зерна (popping expansion) [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Об'ємне розширення зерна (ОРЗ) – це головний технологічний показник розлусної кукурудзи, який є відношенням об'єму попкорну до початкової маси зерна й вимірюється в см³/г [5]. ОРЗ – спадкова ознака, але її величина залежить від багатьох чинників: вологості зерна, способу розлуснення, пошкодження зернівки хворобами і шкідниками тощо [6–8]. Є прямий кореляційний зв'язок між ОРЗ і кількістю розлуснених зерен, та обернений – між ОРЗ і діаметром качана та масою 1000 насінин [9]. За даними деяких авторів висота рослин і тривалість періоду «сходи – цвітіння 50% жіночих суцвіть» мають позитивний вплив на ОРЗ [10]. Отже, добір на підвищення об'ємного розширення зерна буде ефективнішим, якщо базуватиметься на високорослих, пізноквітучих рослинах із меншим діаметром качана та розміром зерна.

Arnhold E. та ін. установили, що використання змішаної лінійної моделі REML-BLUP, дає нагоду провести адекватне коригування генетичних цінностей з урахуванням спільного аналізу трьох середовищ. Унаслідок цього стало можливим ідентифікувати генотипи гібридів розлусної кукурудзи із кращим поєднанням урожаю і об'ємного розширення зерна. Загалом гібриди з більшою врожайністю зерна не були гібридами з найвищим ОРЗ, що підтверджують попередні дослідження цієї культури [11].

Santos J. S. та ін. не виявили жодної лінії, відповідальної за одночасне збільшення середніх показників урожайності й ОРЗ. Лінія Р 8 мала найвищі оцінки

загальної комбінаційної здатності для ОРЗ, а лінії Р 1 та L 88 – для врожайності [12].

Для визначення кращого гібрида розлусної кукурудзи використовують систему ранжування, в якій ознаки класифікують за економічною цінністю з оцінками від 0 до 1. Технологічні показники попкорну посідають найвищі місця, а потім врожайність і агрономічні ознаки. Кількість днів від сходів до цвітіння не використовується для визначення рангу, оскільки має мінімальну економічну цінність [13].

За результатами рекурентного добору в синтетичній популяції розлусної кукурудзи UENF-14 середня врожайність сімей повних сибсів збільшилася з 2,394 т/га в С5 до 3,124 т/га в С8, а об'ємне розширення зерна – з 25,1 до 33,2 см³/г [14]. У середньому за 3 роки врожайність зерна гібридів і сортів розлусної кукурудзи коливалася від 3,535 до 5,399 т/га, а об'ємне розширення зерна – від 38,2 до 46,5 см³/г. Для подальшого вивчення був обраний гібрид TCM-05-07, який поєднував високу врожайність – 4,324 т/га з ОРЗ – 45,3 см³/г [15].

Для подолання негативної кореляції між двома основними ознаками до Amaral Júnior A. T. та ін. запропонували суперознаку – об'єм попкорну на гектар посіву, яка водночас асоціюється, як із врожайністю, так із якістю попкорну. Суперознака обчислюється, як добуток урожайності на об'ємне розширення зерна й вимірюється в м³/га [16]. Незважаючи на те, що ймовірність одночасного покращення обох ознак дуже мала, добір на суперознаку опосередковано призводить до підвищення, як врожайності, так і ОРЗ.

Крім об'ємного розширення зерна до технологічних показників відносять крупність зерна, відсоток нерозлуснених зерен, тип розлуснення зернівки та смакові якості попкорну.

Крупність зерна – це кількість насінин в 10 г зерна. Розрізняють дуже велике зерно < 52 насінин, велике зерно – 52–67 насінин, середнє – 68–75 насінин, мале – 76–105 насінин і дуже мале > 105 насінин [17]. Крупність зерна цікавить виробників готової продукції з декількох причин, по-перше, велике зерно дає великі, привабливі пластівці, які краще глазурувати, а, по-друге, спрощується процес підготовки зерна до перероблення. Тому, для промислового виробництва вибирають гібриди з великим, або середнім зерном. Дрібне зерно, особливо незвичних для кукурудзи кольорів – фіолетове, чорне, червоне, зелене та ін., останнім часом набуває значної популярності серед індивідуальних споживачів цього продукту, бо має цікавий зовнішній вигляд, ніжнішу структуру і кращі смакові якості [1].

Розрізняють декілька типів розлуснення зерна (types of popcorn). У США попкорн, який має кулясту форму, або кулі з невеликими крильцями називають «гриб» (mushroom). «Пластівці» неправильної форми, з великою кількістю «крилець», які спрямовані в зрізні боки – «метелик» (butterfly), або «сніжинка» (snowflake), якщо попкорн білого кольору [1]. Sweley J. C. та ін. [2] запропонували подальшу диференціацію попкорну «метелик» залежно від того, як розташовані «крильця»: одностороннє, двостороннє та багатостороннє розширення. За результатами проведених досліджень вони встановили, що різні типи попкорну, одержані із зерна одного гібрида, різняться за об'ємами й мають неоднакові хімічні та смакові властивості. В Україні для визначення типу розлуснення попкорну користуються Методикою проведення експертизи сортів рослин кукурудзи звичайної (*Zea mays L.*) на відмінність, однорідність і стабільність (ВОС) [18]. Згідно із цією методикою розрізняють такі типи розлуснення зерна, як «кулястий», «метелик» і «проміжний». Форма, яку набуває зернівка після розлуснення, є сортовою ознакою, але вона може змінюватися під дією різних чинників. До 1998 р. в США не було гібридів, які б давали стовідсотковий попкорн «гриб», тимчасом як «метелик» стабілізувався швидше [1]. Найчастіше маємо суміш різних типів розлуснення, тому потрібно визначати частку кожного типу окремо.

Мета. Створити нові гібриди розлусної кукурудзи, адаптовані до умов Північного Степу України з високими врожайними й технологічними показниками зерна.

Матеріали та методика досліджень. Матеріалом для проведення досліджень були 170 трьохлінійних гібридів розлусної кукурудзи, створених за участю простих гібридів – Шанс, Веселка, ДН Циклон, Корал і 46 нових ліній власної селекції. Досліди проводилися впродовж 2021–2022 рр. на Синельниківській селекційно-дослідній станції ДУ Інститут зернових культур НААН України.

Агротехніка проведення досліджень – загальноприйнята для зони Північного Степу. Площа ділянки – 8,4 м², повторність трикратна. Посів гібридів розлусної кукурудзи здійснювали селекційною сівалкою, а збір врожаю – комбайном „Wintersteiger Delta”. Отримані результати зводили до стандартної 14% вологості зерна.

Для визначення технологічних показників зерна гібридів розлусної кукурудзи проводили штучне запилення 3 качанів сумішшю пилку з ділянки. Після настання 18% вологості зерна, качани збирали й досушували в добре провітрюваному приміщенні за температури 20–22 °С. Обмолочували вручну й опісля об'єднували зерно в межах однієї ділянки. Розлуснення кукурудзи відбувалося із допомогою апарату Clatronic PM 3635 потужністю 1200 Вт. Для створення однакових температурних умов, кожний наступний зразок засипався через 15 хв після закінчення процесу розлуснення попереднього. Використовували 2 наважки вагою 10 г. Об'єм попкорну вимірювався градуйованим циліндром на 1000 см³. Об'ємне розширення зерна (ОРЗ) розраховували за формулою: $ОРЗ = \frac{V}{m}$,

V – об'єм попкорну (см³); m – маса зерна до розлуснення (г).

Крупність зерна визначали, вимірюючи 10 г у двох повтореннях, а потім підраховуючи кількість зерен в 10 г.

Об'єм попкорну на гектар посіву (ОПНГ) розраховували за формулою:

$$ОПНГ = У \times ОРЗ, \text{ де}$$

У – урожайність зерна (т/га), ОРЗ – об'ємне розширення зерна (см³/г)

Тип розлуснення визначали візуально й рахували окремо, а потім переводили у відсоток від загальної кількості зерен. Смак попкорну визначали за п'ятибальною системою, де 5 – найкращий смак.

Математичну обробку даних проводили на персональному комп'ютері з використанням спеціальних прикладних програм Microsoft Office Excel (Statistica). Статистичну достовірність експериментальних даних розраховували за Літуном П. П. та ін. [19].

У 2021 р. склалися дуже сприятливі гідротермічні умови для вирощування розлусної кукурудзи. З травня по серпень випало 381 мм опадів, що становить 282% від середніх багаторічних даних, а середньомісячна температура повітря перевищувала норму в липні на 1,3 °С, а в серпні – на 1,2 °С. На противагу попередньому, 2022 р. був несприятливим для кукурудзи. У травні – липні було холодніше, ніж зазвичай, а недобір вологи за ці місяці становив 66 мм, або 50% від норми. Лише в серпні температура повітря підвищилася до 23,9 °С і пройшли сильні зливи.

Результати досліджень. У результаті проведених досліджень було встановлено, що гібриди розлусної кукурудзи мали статистично достовірні відмінності за врожайністю й об'ємним розширенням зерна. Вплив умов вирощування на формування врожайності становив 57,2%, генотипу гібриду – 24,4%, а взаємодії – 15,3%. Мінливість об'ємного розширення зерна на 68,0% залежала від генотипу гібриду, на 28,4% – від взаємодії «рік × гібрид» і лише на 0,4% – від року.

У 2021 р. урожайність гібридів розлусної кукурудзи коливалася від 2,36 до 5,85 т/га й у середньому дорівнювала 4,02 т/га (табл. 1).

Встановлено, що 24,7 % тесткросних гібридів достовірно перевищили врожайність стандарту середньоранньої групи стиглості гібрида Шанс, а 15,9% – стандарту середньостиглої групи гібрида ДН Циклон. Кращими за цією ознакою були: Шанс × РК 25 – 5,82 т/га, Циклон × ІКР 11-9 – 5,76 т/га, Шанс × РР 4 – 5,69 т/га та ін.

За посушливих умов вирощування середня врожайність зерна зменшилася в 1,6 рази, що становило 2,51 т/га. Гібрид Шанс виявився найбільш адаптованим до посухи, тому втратив лише 18% від врожайності за попередній рік. Високу врожайність у цьому році продемонстрували такі гібридні комбінації: Корал × РБ 9 – 4,21 т/га, Циклон × РП 36 – 4,09 т/га, Циклон × РС 19 – 4,04 т/га та ін.

У середньому за 2 роки досліджень врожайність гібридів розлусної кукурудзи коливалася від 2,05 до 4,56 т/га. Достовірно 19% гібридів були кращими за стандарт ДН Циклон – 3,68 т/га і 8% – за стандарт Шанс – 3,94 т/га. Особливої уваги заслуговують такі комбінації:

Таблиця 1

Параметри варіювання врожайності й об'ємного розширення зерна у гібридів розлусної кукурудзи, 2021–2022 рр.

Показники		2021 р.	2022 р.
Врожайність зерна, т/га	N, шт.	170	170
	$\bar{x} \pm ts_{\bar{x}}$	4,02±0,18	2,51±0,18
	min – max	2,36–5,82	1,25–4,21
	Шанс, ст.	3,93	3,24
	ДН Циклон, ст.	4,13	2,53
	HIP _{0,05}	0,50	0,50
Об'ємне розширення зерна, см ³ /г	N, шт.	170	170
	$\bar{x} \pm ts_{\bar{x}}$	44,6±0,89	44,1±0,80
	min – max	34,7–54,9	32,4–52,5
	Шанс, ст.	42,3	43,3
	ДН Циклон, ст.	45,8	49,7
	HIP _{0,05}	2,47	2,22

Циклон × РС 19 – 4,56 т/га, Циклон × ІКР 15-2 – 4,38 т/га, Циклон × ІКР 11–9 – 4,35 т/га та ін.

Об'ємне розширення зерна – головний технологічний показник якості зерна розлусної кукурудзи. У 2021 р. значення ОРЗ у гібридів коливалося від 34,7 до 54,9 см³/г, і в середньому дорівнювало 44,6 см³/г (табл. 1). У 49% тесткросних гібридів об'ємне розширення зерна було більшим, ніж у стандарту Шанс, а в 16% – стандарту ДН Циклон. Кращими за цією ознакою були: Корал × РВ 6 – 54,9 см³/г, Корал × ІКР 8-2 – 52,3 см³/г, Циклон × РК 72 – 47,4 см³/г та ін.

Погодні умови не вплинули на середньопопуляційне значення об'ємного розширення зерна, тому у 2022 р. цей показник дорівнював 44,1 см³/г. ОРЗ у стандарту ДН Циклон збільшилося на 3,9 см³/г, тоді, як у Шансу – залишалось у межах довірчого інтервалу. Як і минулого року, значна частина гібридів – 38% мала достовірно вище ОРЗ, ніж гібрид Шанс, тоді, як лише одна гібридна комбінація Корал × РК 72 перевищила стандарт ДН Циклон на 2,8 см³/г.

У середньому за 2 роки об'ємне розширення зерна в гібридів розлусної кукурудзи варіювало від 34,5 до 52,3 см³/г, тоді, як у стандарту Шанс цей показник дорівнював 42,8 см³/г, а в ДН Циклон – 47,8 см³/г. Високі показники ОРЗ продемонстрували – Корал × ІКР 8-2 – 52,3 см³/г, Циклон × ІКР 36-3 – 50,5 см³/г, Циклон × РР 1 – 50,5 см³/г та ін.

За результатами проведених досліджень було встановлено, що крупність зерна гібридів розлусної кукурудзи коливалася від 48 зернин в 10 г. – дуже велике зерно, до 93 насінин в 10 г – мале зерно. У відсотковому відношенні гібриди розподілилися в такий спосіб: дуже велике зерно – 1,7%, велике – 64,1%, середнє – 18,2% та мале – 16,0%.

Отже, 84% гібридів розлусної кукурудзи мали зерно, придатне для промислового виробництва попкорну.

Дуже велике зерно було в гібридів Веселка × ІКР 75-1, Веселка × РК 32 та Веселка × РВ 12, а найменше – у Шанс × РВ 6.

Значна кількість нерозлуснених зерен не тільки зменшує вихід готового продукту, але й погіршує якість попкорну, тому необхідною умовою для широкого використання гібриду розлусної кукурудзи є стовідсоткове розлуснення зерна.

Загалом за 2 роки досліджень таке розлуснення спостерігалось у 29 гібридів, а в 126 – кількість нерозлуснених зерен була менше 5%. Найбільша кількість нерозлуснених зерен за 2 роки досліджень виявлена в гібрида Корал × ІКР 3-1 – 10,1%.

Щоби покращити диференціацію типів розлуснення зерна, ми розділили «проміжний» тип на «троянда» і «гриб» (рис. 1). Завдячуючи цьому, українські відповідники американським «*types of popcorn*» такі: *mushroom-shaped popcorn* – «кулястий» тип розлуснення зерна; *butterfly-shaped popcorn*: *unilateral popcorn flakes* – тип розлуснення «гриб»; *bilateral popcorn flakes* – тип розлуснення «метелик»; *multilateral popcorn flakes* – тип розлуснення «троянда».

Оскільки жодна гібридна комбінація не мала одного типу розлуснення зернівки, а складалася із суміші 2, 3, або 4 типів, ми ввели поняття – «переважаючий тип розлуснення» – тобто такий тип розлуснення, відсоток якого за двома повтореннями перевищував 75%.

Умови року впливали на те, який тип розлуснення буде переважаючим, тому стабільною ця ознака виявилася лише у 39,4% гібридів. Тип розлуснення «троянда» спостерігався в 30 гібридів, «гриб» – у 22 гібридів, а «метелик» – в 15 гібридів.

Найбільшу зацікавленість викликають гібриди з «кулястим» типом розлуснення, оскільки слугують прекрасним матеріалом для виробництва глазурованого



Рис. 1. Типи розлуснення зерна розлусної кукурудзи

попкорну. Такий тип розлуснення впродовж 2 років був у гібридів Корал × РК 32 і Корал × РБ 21. Частково «кулястий» тип розлуснення спостерігався в гібридних комбінаціях: Шанс × ІКР 8-2, Шанс × ІКР 91-1, Веселка × РБ 3, Веселка × РР 7, Веселка × ІКР 15-2, Веселка × ІКР 75-1 та ін. Тип розлуснення «гриб» також підходить для кондитерської промисловості, тоді як «метелик» і «троянда» – незамінні для домашнього приготування, оскільки мають кращі смакові якості, але більш крихкі.

Основним критерієм визначення смакових якостей попкорну була наявність у зразках лушпиння. Лушпиння – це залишки перикарпію, які погіршують смакові відчуття від споживання попкорну. В ідеальному варіанті під час «вибуху» перикарпій мусить повністю зруйнуватися і розпастися на дуже дрібні часточки, які б не відчувалися під час жування. Але коли оболонка зернівки лопається лише в декількох місцях, лушпиння має значні розміри і спричиняє дискомфорт.

Здатність до «знищення» лушпиння контролюється генами, і передається спадково. Так, усі материнські форми за смаком були оцінені на 4 бали, але високоякісні батьківські компоненти частково покращили смак гібридів. У середньому за 2 роки, лише попкорн із гібриду Шанс × РР 2 смакував на 5 балів. В інших гібридних комбінаціях оцінка смакових якостей попкорну була в межах від 3,5 до 4,8 балів.

Для подолання протиріччя між врожайністю зерна і якістю попкорну ми скористалися суперознакою, тобто розраховували об'єм попкорну на 1 га посіву (ОПНГ). У середньому за 2 роки величина ОПНГ у гібридів розлусної кукурудзи коливалася від 88,4 до 213,6 м³/га. Було встановлено, що 31% гібридів перевищив за цією ознакою стандарт ДН Циклон, 38% – стандарт Шанс.

У табл. 2 представлені кращі гібридні комбінації за врожайними й технологічними показниками зерна. За об'ємом попкорну з 1 га посіву представлені гібриди перевищували стандарт Шанс на 26,3–59,9 м³/га; за врожайністю – на 0,16–0,97 т/га та за об'ємним розширенням зерна – на 1,8–7,4 см³/г. Попкорн, отриманий із цих гібридів мав смакові якості вище стандартів – 4,3–5 балів, а кількість нерозлуснених зерен була незначною – 0,0–2,9%. У більшості гібридів – 8 шт., зерно було велике, тому під час розлуснення отримували привабливий за розміром попкорн.

Незмінним тип розлуснення був у 7 гібридів. Отже, аналізуючи представлені дані, можна сказати, що найкращим для виробництва глазурованого попкорну є трьохлінійний, жовтозерний гібрид Циклон × РК 72, який характеризується такими показниками: врожайність – 4,07 т/га; об'ємне розширення зерна – 47,4 см³/г; крупність зерна – 57 насінин в 10 г; розлуснення – стовідсоткове; тип розлуснення – «гриб»; смакові якості – 4,3 балів. Для приготування попкорну в домашніх умовах ми рекомендуємо трьохлінійний, червонозерний гібрид Шанс × РР 2 з такими показниками: врожайність – 3,93 т/га; об'ємне розширення зерна – 45,8 см³/г; крупність зерна – 91 насінина в 10 г; кількість нерозлуснених зерен – 2,9%; тип розлуснення – «метелик»; смакові якості – 5 балів.

Висновки. Встановлено, що нові гібриди розлусної кукурудзи адаптовані до природних умов Північного Степу України та мають значний потенціал врожайності й об'ємного розширення зерна. Доведено, що використовуючи об'єм попкорну на 1 га посіву, було виявлено гібридні комбінації, які поєднували у своєму генотипі високі врожайні й технологічні показники зерна. Рекомендовано для промислового виробництва глазурованого попкорну трьохлінійний, жовтозерний гібрид

Таблиця 2

Характеристика кращих гібридів розлусної кукурудзи за врожайними і технологічними показниками зерна, 2021–2022 рр.

Гібрид	Об'єм попкорну з га посіву, м ³ /га	Врожайність, т/га	Об'ємне розширення зерна, см ³ /г	Крупність зерна, шт. в 10 г	Нерозлуснені зерна, %	Переважаючий тип розлуснення (2021 р. і 2022 р)	Смак, бал
Шанс, st	153,7	3,59	42,8	55	2,7	троянда	4,0
ДН Циклон, st	159,2	3,33	47,8	62	1,0	метелик	4,0
Корал × РК 72	213,6	4,29	49,8	61	2,3	метелик і гриб	4,3
Циклон × РС 19	205,7	4,56	45,1	67	0,0	троянда	4,3
Циклон × РП 36	193,3	4,23	45,7	55	2,6	троянда	4,5
Циклон × РК 72	192,9	4,07	47,4	57	0,0	гриб	4,3
Шанс × РК 25	192,7	4,32	44,6	53	1,5	троянда	4,3
Шанс × РК 32	192,2	4,08	47,1	53	2,4	троянда і метелик	4,3
Шанс × РК 72	188,3	3,75	50,2	58	2,4	гриб і метелик	4,3
Циклон × РП 11	186,0	3,82	48,7	83	1,0	троянда	4,3
Шанс × РР 6	181,6	3,84	47,3	69	2,0	метелик	4,5
Шанс × РП 3	180,6	3,77	47,9	66	1,5	гриб і метелик	4,8
Шанс × РР 2	180,0	3,93	45,8	91	2,9	метелик	5,0
НІР 0,05	-	0,35	1,66	-	-	-	-

Циклон × РК 72, а для приготування високоякісного попкорну в домашніх умовах – трьохлінійний, червонозерний гібрид Шанс × РР 2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Hallauer A.R. Specialty corn: CRC Press LLC. 2001. P. 205–240. URL: <http://pustakapertanianub.staff.ub.ac.id/files/2012/12/Specialty-Corns.pdf>
- Sweley J.C., Rose D.J. and Jackson D.S. Composition and sensory evaluation of popcorn flake polymorphisms for a select butterfly-type hybrid. *Cereal Chemistry*. 2011. Vol. 88, No. 3. P. 321–327. DOI: 10.1094/cchem-09-10-0129.
- Pereira M.G. and do Amaral Júnior A. T. Estimation of genetic components in popcorn based on the nested design. *Crop breeding and Applied biotechnology*. 2001. Vol. 1. URL: <https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Junior-45/publication/275561784>.
- Olacojo O.O., Bancole F. and Ogunniyan D. Correlation, regression and cluster analyses on yield attributes and popping characteristics of popcorn (*Zea mays* L. everta) in derived savanna and rainforest agro-ecologies of Nigeria. *Acta agriculturae Slovenica*. 2021. Vol. 117. No. 3. P. 1–11. DOI: 10.14720/aas.2021.117.3.1625.
- De Oliveira G.H., Murray S.C., Cunha Júnior L.C., de Lima K.M., de Lelis Medeiros de Moraes C., de Almeida Teixeira G.H. and Moro G.V. Estimation and classification of popping expansion capacity in popcorn breeding programs using NIR spectroscopy. *Journal of Cereal Science*. 2020. Vol. 91. P. 1–8. URL: <http://www.elsevier.com/locate/jcs>.
- Cañizares L. D. C. C., da Silva Timm N., Ramos A. H., Neutzling H. P., Ferreira C. D. and de Oliveira M. Effects of moisture content and expansion method on the technological and sensory properties of white popcorn. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2020. Vol. 22. 100282. DOI:10.1016/j.ijgfs.2020.100282.
- Vázquez-Carrillo M. G., Santiago-Ramos D. and de Dios Figueroa-Cárdenas J. Kernel properties and popping potential of Chapalote, a Mexican ancient native maize. *Journal of Cereal Science*. 2019. Vol. 86. P. 69–76. DOI:10.1016/j.jcs.2019.01.010.
- Schwantes I. A., do Amaral Júnior A. T., Gerhardt I. F. S., Vivas M., de Lima e Silva F. H. and Kamphorst S. H. Diallel analysis of resistance to Fusarium ear rot in Brazilian popcorn genotypes. *Tropical plant pathology*. 2017. Vol. 42, P. 70–75. DOI:10.1007/s40858-017-0136-6.
- Scapim C. A., Braccini A. D. L., Pinto R. J. B., Amaral Júnior A. T. D., de Araujo Rodovalho M., da Silva R. M. and Moterle L. M. Average genetic components and inbreeding depression in popcorn populations. *Ciencia Rural*. 2006. Vol. 36. No. 1. P. 36–41. DOI: 10.1590/S0103-84782006000100006.
- Vijayabharathi A., Anandakumar C. R. and Gnanamalar R. P. Analysis of correlations and path effects for popping expansion in popcorn (*Zea mays* var. everta Sturt.). *Electronic Journal of Plant Breeding*. 2009. Vol. 1. P. 60–64. URL: <https://ejplantbreeding.org/index.php/EJPB/article/view/1845>
- Arnhold E., Mora F., Silva R. G., Good-God P. I. and Rodovalho M. A. Evaluation of top-cross popcorn hybrids using mixed linear model methodology. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2009. Vol. 69. No. 1. P. 46–53. DOI:10.4067/S0718-58392009000100006.
- Santos J. S., de Souza Y. P., Vivas M., do Amaral Junior A. T., de Almeida Filho J. E., Mafra G. S., Viana A. P., de Amaral Gravina G. and Ferreira F. R. Genetic merit of popcorn lines and hybrids multiple foliar diseases and agronomic properties. *Functional Plant Breeding Journal*. 2019. Vol. 2, No. 2. P. 33–47. DOI:10.35418/2526-4117/v2n2a2.
- Parsons L., Ren Y., Yob A., Hurst P., Angelovici R., Rodriguez O. and Holding D. R. Production and selection of quality protein popcorn hybrids using a novel ranking system and combining ability estimates.

- Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11, No. 698. P. 1–20. DOI:10.3389/fpls.2020.00698.
14. Do Amaral Junior A. T., de Jesus Freitas I. L., Guimarães A. G., Maldonado C., Arriagada O. and Mora F. Bayesian analysis of quantitative traits in popcorn (*Zea mays* L.) through four cycles of recurrent selection. *Plant Production Science*. 2016. Vol. 19. No. 4. P. 574–578. DOI:10.1080/1343943X.2016.1222870.
 15. Ahmet Ö. Z. and Kapar H. Determination of grain yield, some yield and quality traits of promising hybrid popcorn genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*. 2011. Vol. 16. No. 2. P. 233–238. URL:https://www.researchgate.net/publication/286355924.
 16. Do Amaral Júnior A. T., Dos Santos A., Gerhardt I. F. S., Kurosawa R. N. F., Moreira N. F., Pereira M. G., de A. Gravina G. and de L. Silva F. H. Proposal of a super trait for the optimum selection of popcorn progenies based on path analysis. *Genetics and Molecular Research*. 2016. Vol. 15. No. 4. P. 1–9. DOI:10.4238/gmr15049309.
 17. Jele C. P. Genetic analysis of agronomic and quality traits in popcorn hybrids. *A dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Plant Breeding. University of KwaZulu-Natal. Republic of South Africa*. 2012. 119 p.
 18. Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових на відмінність, однорідність і стабільність. *Український інститут експертизи сортів рослин / ред. С. О. Ткачик 2-ге вид., випр. і доп. Вінниця*. 2016. 164 с.
 19. Літун П. П., Кириченко В. В., Петренко В. П., Коломацька В. П. Системний аналіз в селекції польових культур: навч. посіб. Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. Харків, 2009. 354 с.
- REFERENCES:**
1. Hallauer, A. R. (2001). Specialty corn: CRC Press LLC, 205–240. URL:http://pustakapertanianub.staff.ub.ac.id/files/2012/12/Specialty-Corns.pdf
 2. Sweley, J. C., Rose, D. J., & Jackson, D. S. (2011). Composition and sensory evaluation of popcorn flake polymorphisms for a select butterfly-type hybrid. *Cereal Chemistry*, 88 (3), 321–327. doi: 10.1094/cchem-09-10-0129.
 3. Pereira, M. G., & do Amaral Júnior, A. T. (2001). Estimation of genetic components in popcorn based on the nested design. *Crop breeding and Applied biotechnology*, 1. URL:https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Junior-45/publication/275561784.
 4. Olacojo, O. O., Bancole, F., & Ogunniyan, D. (2021). Correlation, regression and cluster analyses on yield attributes and popping characteristics of popcorn (*Zea mays* L. everta) in derived savanna and rainforest agro-ecologies of Nigeria. *Acta agriculturae Slovenica*, 117 (3), 1–11. doi:10.14720/aas.2021.117.3.1625.
 5. De Oliveira, G. H., Murray, S. C., Cunha Júnior, L. C., de Lima, K. M., de Lelis Medeiros de Moraes, C., de Almeida Teixeira, G. H., & Moro, G. V. (2020). Estimation and classification of popping expansion capacity in popcorn breeding programs using NIR spectroscopy. *Journal of Cereal Science*, 91, 1–8. URL: http://www.elsevier.com/locate/jcs.
 6. Cañizares, L. D. C. C., da Silva Timm, N., Ramos, A. H., Neutzling, H. P., Ferreira, C. D., & de Oliveira, M. (2020). Effects of moisture content and expansion method on the technological and sensory properties of white popcorn. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22, 100282. doi:10.1016/j.ijgfs.2020.100282.
 7. Vázquez-Carrillo, M. G., Santiago-Ramos, D., & de Dios Figueroa-Cárdenas, J. (2019). Kernel properties and popping potential of Chapalote, a Mexican ancient native maize. *Journal of Cereal Science*, 86, 69–76. doi:10.1016/j.jcs.2019.01.010.
 8. Schwantes, I. A., do Amaral Júnior, A. T., Gerhardt, I. F. S., Vivas, M., de Lima e Silva, F. H., & Kamphorst, S. H. (2017). Diallel analysis of resistance to Fusarium ear rot in Brazilian popcorn genotypes. *Tropical plant pathology*, 42, 70–75. doi:10.1007/s40858-017-0136-6.
 9. Scapim, C. A., Braccini, A. D. L., Pinto, R. J. B., Amaral Júnior, A. T. D., de Araujo Rodovalho, M., da Silva, R. M., & Moterle, L. M. (2006). Average genetic components and inbreeding depression in popcorn populations. *Ciencia Rural*, 36 (1), 36–41. doi:10.1590/S0103- 84782006000100006.
 10. Vijayabharathi, A., Anandakumar, C. R., & Gnanamalar, R. P. (2009). Analysis of correlations and path effects for popping expansion in popcorn (*Zea mays* var. everta Sturt.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1, 60–64. URL:https://ejplantbreeding.org/index.php/EJPB/article/view/1845
 11. Arnhold, E., Mora, F., Silva, R. G., Good-God, P. I., & Rodovalho, M. A. (2009). Evaluation of top-cross popcorn hybrids using mixed linear model methodology. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69 (1), 46–53. doi:10.4067/S0718-58392009000100006.
 12. Santos, J. S., de Souza, Y. P., Vivas, M., do Amaral Junior, A. T., de Almeida Filho, J. E., Mafra, G. S., Viana, A. P., de Amaral Gravina, G., & Ferreira, F. R. (2019). Genetic merit of popcorn lines and hybrids multiple foliar diseases and agronomic properties. *Functional Plant Breeding Journal*, 2 (2), 33 – 47. doi:10.35418/2526-4117/v2n2a2.
 13. Parsons, L., Ren, Y., Yob, A., Hurst, P., Angelovic, R., Rodriguez, O., & Holding, D. R. (2020). Production and selection of quality protein popcorn hybrids using a novel ranking system and combining ability estimates. *Frontiers in Plant Science*, 11 (698), 1–20. doi:10.3389/fpls.2020.00698.
 14. Do Amaral Junior, A. T., de Jesus Freitas, I. L., Guimarães, A. G., Maldonado, C., Arriagada, O., & Mora, F. (2016). Bayesian analysis of quantitative traits in popcorn (*Zea mays* L.) through four cycles of recurrent selection. *Plant Production Science*, 19 (4), 574–578. doi:10.1080/1343943X.2016.1222870.
 15. Ahmet, Ö. Z., & Kapar, H. (2011). Determination of grain yield, some yield and quality traits of promising hybrid popcorn genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 16 (2), 233–238. URL:https://www.researchgate.net/publication/286355924.
 16. Do Amaral Júnior, A. T., Dos Santos, A., Gerhardt, I. F. S., Kurosawa, R. N. F., Moreira, N. F., Pereira, M. G., de A. Gravina, G., & de L. Silva, F. H. (2016). Proposal of a super trait for the optimum selection of popcorn progenies based on path analysis. *Genetics and Molecular Research*, 15 (4), 1–9. doi:10.4238/gmr15049309.
 17. Jele, C. P. (2012). Genetic analysis of agronomic and quality traits in popcorn hybrids. *A dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree*

of Master of Science in Plant Breeding. University of KwaZulu-Natal. Republic of South Africa, N. p.

18. Tkachyk, S.O. (2016). *Metodyka provedennya ekspertyzy sortiv roslyn hrupy zernovykh na vidminnist, odnorodnist i stabilnist. Ukrayinskyy instytut ekspertyzy sortiv roslyn [Methods of examination of plant varieties of cereals for difference, homogeneity and stability. Ukrainian Institute of Plant Variety Examination] / S.O. Tkachyk (Ed.). Vynnytsya, N. p. [in Ukrainian]*
19. Litun P. P., Kyrychenko V. V., Petrenkova V. P., & Kolomats'ka, V. P. (2009). *Systemnyy analiz v selektsiyi pol'ovuykh kul'tur: navch. posib. Instytut roslynnytstva im. V. YA. Yur'yeva. [Institute of Plant Breeding named after V. Ya. Yuriev]. Kharkiv, N. p. [in Ukrainian].*

Купріченков Д.С. Оцінка гібридів розлусної кукурудзи (*Zea mays L. everta Sturt.*) за врожайністю і технологічними показниками зерна

Метою роботи було створення нових гібридів розлусної кукурудзи з високими врожайними й технологічними показниками зерна. Матеріалом для проведення досліджень слугували 170 гібридів розлусної кукурудзи селекції ДУ Інститут зернових культур НААН України. Дослід проводився впродовж 2021–2022 рр. на Синельниківській селекційно-дослідній станції. У результаті проведених досліджень було встановлено, що гібриди розлусної кукурудзи мали статистично достовірні відмінності за врожайністю і об'ємним розширенням зерна. У середньому за 2 роки врожайність гібридів розлусної кукурудзи коливалася від 2,05 до 4,56 т/га, а об'ємне розширення зерна – від 34,5 до 52,3 см³/г. Кращими за врожайністю були такі гібриди, як Циклон × РС 19 – 4,56 т/га, Циклон × ІКР 15-2 – 4,38 т/га, Циклон × ІКР 11-9 – 4,35 т/га, а високі показники об'ємного розширення зерна продемонстрували гібриди – Корал × ІКР 8-2 – 52,3 см³/г, Циклон × ІКР 36-3 – 50,5 см³/г, Циклон × РР 1 – 50,5 см³/г. Для подолання протиріччя між врожайністю зерна і якістю попкорну ми скористалися суперознакою, тобто розраховували об'єм попкорну на 1 га посіву. Кращі гібриди перевищували стандарт Шанс за об'ємом попкорну з 1 га посіву на 26,3–59,9 м³/га; за врожайністю на 0,16–0,97 т/га та за об'ємним розширенням зерна – на 1,8–7,4 см³/г. Попкорн, отриманий із цих гібридів мав смакові якості вище стандартів – 4,3–5 балів, а кількість нерозлуснених зерен була незначною – 0,0–2,9 %. Отже, найкращим для виробництва глазурованого попкорну є трьохлінійний жовтозерний гібрид Циклон × РК 72, який характеризується такими показниками: врожайність – 4,07 т/га; об'ємне розширення зерна – 47,4 см³/г; крупність зерна – 57 насінин в 10 г; розлуснення – сто-

відсоткове; тип розлуснення – «гриб»; смакові якості – 4,3 балів. Для приготування попкорну в домашніх умовах ми рекомендуємо трьохлінійний червонозерний гібрид Шанс × РР 2 з такими показниками: врожайність – 3,93 т/га; об'ємне розширення зерна – 45,8 см³/г; крупність зерна – 91 насінина в 10 г; кількість нерозлуснених зерен – 2,9%; тип розлуснення – «метелик»; смакові якості – 5 балів.

Ключові слова: об'ємне розширення зерна, об'єм попкорну з 1 га, тип розлуснення, розлуснення, нерозлуснені зерна.

Kuprichenkov D.S. Evaluation of popcorn hybrids (*Zea mays L. everta Sturt.*) by yield and technological indicators of grain

The aim of the work was the selection of new popcorn hybrids with high yield and technological indicators of grain. The research material was 170 popcorn hybrids selected by the SE Institute of Grain Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. The experiment was conducted at the Synelnykivska breeding and research station during 2021–2022. As a result of the research, it was established that popcorn hybrids had statistically significant differences in yield and popping expansion. On average, the yield of popcorn hybrids ranged from 2.05 to 4.56 t/ha, and popping expansion ranged from 34.5 to 52.3 cm³/g. The hybrids Zyklon × RS 19 – 4.56 t/ha, Zyklon × IKR 15-2 – 4.38 t/ha, and Zyklon × IKR 11-9 – 4.35 t/ha were the best in yield. The hybrids Coral × IKR 8-2 – 52.3 cm³/g, Cyclone × IKR 36-3 – 50.5 cm³/g, Cyclone × RR 1 – 50.5 cm³/g were the best in popping expansion. To overcome the contradiction between the yield of grain and the quality of popcorn, we used the super trait, that is, we calculated the volume of popcorn from 1 ha of sowing. The best hybrids exceeded the Shans standard by 26.3–59.9 m³/ha in the volume of popcorn from 1 ha of sowing; by 0.16–0.97 t/ha in yield and by 1.8–7.4 cm³/g in popping expansion. Popcorn obtained from these hybrids had taste qualities of 4.3–5 points, and the number of unpopped kernels was 0.0–2.9%. So, the best for the production of glazed popcorn is the three-line yellow grain hybrid Zyklon × RK 72, which is characterized by the following indicators: yield – 4.07 t/ha, popping expansion – 47.4 cm³/g, size – 57 kernels in 10 g, 100% popping, unilateral popcorn flakes, taste – 4.3 points. For making popcorn at home, we recommend the three-line red grain hybrid Shans × RR 2 with the following indicators: yield – 3.93 t/h, popping expansion – 45.8 cm³/g, size – 91 kernels in 10 g, the number of unpopped kernels – 2.9%, taste – 5 points.

Key words: popping expansion, volume of popcorn from 1 ha, types of popcorn, popping, unpopped kernels.