

ШЛЯХОВИЙ АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЇЇ КОМПОНЕНТНИХ ОЗНАК ЛІНІЙ КУКУРУДЗИ

С. Г. Понуренко, В. П. Коломацька, Л. М. Чернобай

Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва НААН, проспект Московський, 142, м. Харків, 61060, Україна

Встановлені генотипові значення продуктивності і її компонентів у середньоранніх та середньостиглих ліній кукурудзи, створених в лабораторії селекції і насінництва кукурудзи Інституту рослинництва імені В. Я. Юр'єва, що увійшли до складу робочої колекції.

Виявлено, що середня продуктивність середньостиглих ліній була вищою, ніж у середньоранніх за наявності відмінностей щодо типу зернини.

З'ясовано генотипові кореляційні взаємозв'язки продуктивності та її компонентних ознак в системі прямих і побічних ефектів. Встановлено, що парні коефіцієнти кореляції продуктивності з її складовими були додатними та переважно низькими або середніми за силою і коливались від 0,327 для ознаки «кількість зерен на качані» до 0,656 для ознаки «діаметр качана». Відмічено високі значення прямих шляхових коефіцієнтів за впливом на продуктивність лише для ознак «кількість зерен на качані» та «маса 1000 зерен» (0,835 та 0,812 відповідно). Такі ознаки, як «діаметр качана», «кількість рядів зерен» і «кількість зерен в ряду», мали дуже низькі значення прямих шляхових коефіцієнтів (від 0,041 до 0,098), але впливали на продуктивність опосередковано через ознаку «кількість зерен на качані». При цьому найбільший опосередкований вплив на продуктивність через ознаку «кількість зерен на качані» мали ознаки «кількість рядів зерен» (0,622) та «кількість зерен в ряду» (0,544). Для ознаки «маса 1000 зерен» простежувався суттєвий від'ємний побічний вплив ознак «кількість зерен на качані» і «кількість рядів зерен» з шляховими коефіцієнтами -0,350 та -0,362 відповідно.

Встановлено, що добір за ознаками «діаметр качана», «кількість рядів зерен», «кількість зерен в ряду» є опосередкованим, оскільки вони є компонентними для ознаки «кількість зерен на качані» та містяться на іншому рівні в модулі ознаки «продуктивність». Найбільш ефективним може бути добір на продуктивність безпосередньо за кількістю зерен на качані та за масою 1000 зерен, але для останньої ознаки слід враховувати від'ємний побічний вплив ознак «кількість зерен на качані» та «кількість рядів зерен».

Ключові слова: кукурудза, інбредні лінії, продуктивність, кореляційний аналіз, шляховий аналіз.

Індивідуальна продуктивність рослини є визначальною характеристикою ліній кукурудзи, від якої значною мірою залежать селекційна перспективність нового вихідного матеріалу та урожайність гібридів [1, 2]. Продуктивність є складною мультиплікативною ознакою залежною від компонентних ознак організованих в багаторівневу ієрархічну (модульну) систему. Її поліпшення можливе лише за рахунок зміни значень елементарних ознак нижніх рівнів, в основі яких є генетично детерміновані морфогенетичні реакції та фізіологічні системи перерозподілу продуктів асиміляції. Отже, чітке уявлення про внесок кожного компонента в остаточне значення продуктивності як інтеграль-

ної ознаки є важливим з точки зору оптимальних поєднань рівнів компонентних ознак в межах прийнятних для екологічних умов зони вирощування та технологічних вимог виробництва [3].

Комплексний характер ознаки «продуктивність» вимагає для її аналізу методичних прийомів, які можуть охопити в єдиній аналітичній процедурі весь спектр взаємозв'язків компонентних ознак. Широко вживаний кореляційний аналіз взаємозв'язків компонентних ознак продуктивності не розкриває всіх особливостей їх організації, що ускладнює визначення провідних ознак для непрямого добору на продуктивність [4, 5]. Оскільки компоненти продуктивності вза-

Інформація про авторів:

Понуренко Сергій Геннадійович – науковий співробітник лабораторії селекції та насінництва кукурудзи Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН, кандидат с.-г. наук, <https://orcid.org/0000-0003-0397-636X>

Коломацька Валерія Павлівна – заступник директора з наукової роботи Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник, <https://orcid.org/0000-0001-5408-4244>

Чернобай Лариса Миколаївна – завідувач лабораторії селекції та насінництва кукурудзи Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН, доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник, <https://orcid.org/0000-0003-1277-3409>

ємопов'язані і розвиваються послідовно на різних стадіях росту та розвитку рослин, парні кореляції не забезпечують чіткої ілюстрації важливості кожного компонента при визначенні урожайності зерна [6, 7].

Більш інформативним біометричним інструментом є так званий шляховий аналіз, запропонований Райтом (Wright, 1921), який на основі стандартизованої частинної регресії забезпечує поглиблений аналіз внеску різних ознак шляхом поділу коефіцієнта кореляції на компоненти прямого і непрямого впливу [8, 9]. Шляховий аналіз досить широко використовується в селекційних дослідженнях сільськогосподарських культур [5], причому використовують різні категорії дослідного матеріалу – сорти, лінії та гібриди [10–13]. Коло завдань, для вирішення яких залучають шляховий аналіз, включає визначення критеріїв добору на продуктивність за компонентними ознаками, як безпосередньо, так і за допомогою індексів, встановлення мінливості структури кореляційних зв'язків морфобіологічних ознак та ознак продуктивності в різних екологічних умовах і за дії конкретних стресових чинників, визначення оптимально збалансованої структури ознак, пов'язаних з продуктивністю для формування параметрів моделі сорту, розширення розуміння фізіологічних механізмів формування продуктивності сільськогосподарських культур [7, 14–16]. Залежно від агроекологічних умов регіону та напряму селекційної роботи асоціації ознак, пов'язаних з продуктивністю, можуть змінюватись, що потребує спеціального вивчення для формування зональних моделей ліній та гібридів кукурудзи, оцінки відповідності організації структури компонентних ознак продуктивності нового вихідного матеріалу цим моделям та визначення критеріїв добору на продуктивність.

Мета дослідження – встановити структуру шляхових взаємозв'язків між компонентними ознаками продуктивності ліній кукурудзи (*Zea mays* L.). Визначити селекційну цінність ознак як критеріїв для добору на продуктивність. Встановити генотипові рівні ознак, пов'язаних з продуктивністю ліній кукурудзи робочої колекції.

Матеріали і методи дослідження. Впродовж 2006–2020 рр. вивчали продуктивність та її компонентні ознаки 227 серед-

ньоранніх та середньостиглих ліній кукурудзи, які були створені в лабораторії селекції і насінництва кукурудзи Інституту рослинництва імені В. Я. Юр'єва та увійшли до складу робочої колекції. До аналізу залучали генотипові значення досліджуваних ознак, узагальнені в електронній базі даних лабораторії.

Польові досліди закладались на полях наукової сівозміни інституту, розміщених в с. Елітне Харківського району Харківської області в умовах, типових для східної частини Лісостепу України.

Погодні умови під час проведення досліджень відзначались нестабільністю термічного режиму та зволоження. При аналізі метеорологічних умов за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова (ГТК) за період травень - серпень встановлено, що найбільшу частку становили посушливі з ГТК від 0,7 до 1 (2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2015 рр.) та гостропосушливі роки з ГТК менше 0,7 (2017, 2018, 2019 рр.). Умови 2014, 2016, 2020 рр. характеризувались достатнім (ГТК 1–1,3), а 2003, 2004, 2005, 2011 рр. надмірним зволоженням (ГТК більше 1,3).

Насіння лінії висівали ручними саджалками на однорядкових ділянках площею 4,9 м², ширина міжрядь 70 см, густина стояння 60 тис. рослин/га. Стандартами слугували ранньостигла лінія F₂, середньоранні – Харківська 215 та Харківська 164, середньостигла – ХА 408. Стандарти розміщували через кожні 20 ділянок посіву. Агротехніка вирощування на дослідних ділянках відповідала прийнятій в зоні і була спрямована на оптимізацію росту та розвитку рослин, включала своєчасне проведення комплексу заходів по обробітку ґрунту, захисту від бур'янів та догляду за посівами.

Фенологічні спостереження, польові оцінки та обліки, лабораторні аналізи проводили відповідно до «Методичних рекомендацій польового і лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи» [17]. Розподіл ознак на класи залежно від рівня ознак проводили відповідно до «Класифікатора-довідника виду *Zea mays* L.» [18].

Обробку експериментальних даних, що включала розрахунки описових статистик та парних коефіцієнтів кореляції, а також шляховий аналіз відповідно до рекомендацій

Седловського та ін. [8], проводили з використанням штатних можливостей ліцензійної комп'ютерної програми MS Excel 2007.

Результати дослідження. Встановлено ряд особливостей за продуктивністю та її компонентними ознаками (табл. 1).

В робочій колекції переважно були середньоранні (76 %) та з напівзубовидним типом зерна (67 %) лінії, що відображає основні напрями селекційної роботи за останні роки. Найбільш продуктивними є групи середньостиглих кременистих та середньостиглих напівзубовидних ліній (99,6 та 92,1 г зерна з рослини відповідно) та група середньоранніх зубовидних ліній (84,3 г зерна). Продуктивність інших груп ліній коливається в межах 78,0–80,2 г зерна. Зокрема, кременисті середньостиглі лінії, порівняно з іншими групами, також відзначались більшою кількістю зерен на качані (508 шт.), більшими довжиною та діаметром качана (15,5 та 4,2 см відповідно) і більшою кількістю рядів зерен на качані (16,7 шт.). Слід зауважити, що ця група ліній була найменшою за кількістю зразків, тому не можна виклю-

чати можливість похибки, зумовленої недостатньою репрезентативністю вибірки. Група середньоранніх кременистих ліній, навпаки, характеризувалась найнижчими середніми значеннями продуктивності, діаметра качана та кількості зерен в ряду. Серед напівзубовидних зразків найбільш чітко виявилась різниця між середньоранніми та середньостиглими зразками за продуктивністю, кількістю зерен на качані, масою 1000 зерен, довжиною качана та кількістю зерен в ряду. Більш продуктивні напівзубовидні середньостиглі лінії мали високу масу 1000 зерен (266,8 г), більшу довжину качана та кількість зерен в ряду. Серед ліній з зубовидним типом зернини різниця за продуктивністю між середньоранніми та середньостиглими лініями була в межах статистичної похибки, але середньоранні зубовидні лінії порівняно із середньостиглими характеризувались більшою кількістю зерен на качані (476,9 та 395,4 шт. відповідно), більшою кількістю рядів зерен (15,6 та 14,0 відповідно) та меншою масою 1000 зерен (224,0 та 258,2 г відповідно).

Таблиця 1. Ознаки продуктивності зразків робочої колекції кукурудзи (у середньому за 2006–2020 рр.)

Ознака	Середньоранні			Середньостиглі			HP _{0,05}
	1*	2**	3***	1	2	3	
Кількість зразків, шт.	36	116	20	5	36	14	–
Кількість зразків, %	16	51	9	2	16	6	–
Продуктивність рослини, г зерна	78,0	79,6	84,3	99,6	92,1	80,2	5,1
Кількість зерен на качані, шт.	393,6	432,9	476,9	507,9	433,3	395,4	18,6
Маса 1000 зерен, шт.	247,6	234,5	224,0	241,7	266,8	258,2	10,1
Довжина качана, см	14,2	13,9	14,5	15,5	15,2	14,5	2,2
Діаметр качана, см	3,6	3,8	3,9	4,2	3,9	3,8	0,4
Кількість рядів зерен, шт.	14,1	15,1	15,6	16,7	14,3	14,0	1,2
Кількість зерен в ряду, шт.	28,0	28,9	30,6	31,1	30,7	28,4	3,3

* Кременисті. ** Напівзубовидні. *** Зубовидні.

Таким чином, при розподілі зразків ліній кукурудзи робочої колекції за типом зернини та групами стиглості відмічено їх диференціацію як за рівнем продуктивності, так і рівнем прояву ознак, пов'язаних з продуктивністю.

Для з'ясування механізмів комплектації компонентних ознак продуктивності та визначення їх взаємозв'язків в єдиній причинно-наслідковій системі прямих та побіч-

них ефектів був проведений шляховий аналіз продуктивності (табл. 2). Встановлено, що всі парні коефіцієнти кореляції продуктивності з її складовими були додатними, статистично значущими та переважно середніми за силою. Високе значення множинного коефіцієнта кореляції ($R^2 = 0,97$) свідчить про те, що система прямих та побічних ефектів даного набору ознак досить повно описує вплив на продуктивність, на що також вказує низьке значення

прямого шляхового коефіцієнта неврахованих в моделі факторів (0,17).

В інших дослідженнях також було визначено, що вплив на продуктивність таких ознак, як довжина качана, діаметр качана, кількість зерен в ряду, маса 1000 насінин та кількість рядів зерен, є майже вичерпним, і ці ознаки можуть слугувати критеріями від-

бору у програмах селекції, спрямованих на підвищення урожайності [12, 19, 20].

Високі значення прямих шляхових коефіцієнтів за впливом на продуктивність відмічено лише для ознак «кількість зерен на качані» та «маса 1000 зерен» (0,835 та 0,812 відповідно). Між цими ознаками також зафіксовано від'ємні побічні впливи на рівні -0,350 – -0,361.

Таблиця 2. Шляховий аналіз продуктивності ліній кукурудзи (2006–2020 рр.)

Номер ознаки	Ознака, що корелює з продуктивністю	Шляхові коефіцієнти						Парна кореляція з продуктивністю
		номер ознаки						
		1	2	3	4	5	6	
1	Кількість зерен на качані	<u>0,835</u> *	-0,350	0,008	0,023	0,033	0,064	0,613
2	Маса 1000 зерен	-0,361	<u>0,812</u>	0,006	0,005	-0,020	-0,013	0,429
3	Довжина качана	0,275	0,180	<u>0,025</u>	0,003	-0,008	0,071	0,545
4	Діаметр качана	0,470	0,102	0,002	<u>0,041</u>	0,028	0,013	0,656
5	Кількість рядів зерен	0,622	-0,362	-0,004	0,027	<u>0,044</u>	0,001	0,327
6	Кількість зерен в ряду	0,544	-0,106	0,018	0,006	0,000	<u>0,098</u>	0,559

* Прямі шляхові коефіцієнти підкреслено.

Такі ознаки, як «довжина качана», «діаметр качана», «кількість рядів зерен» та «кількість зерен в ряду», мали дуже низькі значення прямих шляхових коефіцієнтів (від 0,025 до 0,098), але впливали на продуктивність опосередковано через ознаку «кількість зерен на качані» із значеннями побічних шляхових коефіцієнтів від 0,275 до 0,622. Для ознаки «маса 1000 зерен» простежувався суттєвий від'ємний побічний вплив ознак «кількість зерен на качані» та «кількість рядів зерен» з шляховими коефіцієнтами -0,350 та -0,362 відповідно. Найбільший побічний вплив на кількість зерен на качані мали ознаки «кількість рядів зерен» та «кількість зерен в ряду» (0,622 та 0,544 відповідно). Слід зазначити, що ознака «кількість рядів зерен» мала від'ємний побічний вплив на ознаку «маса 1000 зерен», зіставлений за силою із впливом ознаки «кількість зерен на качані» (-0,362). При цьому ознака «кількість зерен в ряду» мала значно менший від'ємний побічний вплив на масу 1000 зерен (-0,106). Побічний вплив ознак «довжина качана» та «діаметр качана» на масу 1000 зерен виявився додатним, але незначним за силою (0,180 та 0,102 відповідно), що свідчить про можливість певної компенсації негативного впливу ознак «кількість зерен на качані» та «кіль-

кість зерен в ряду» на масу 1000 зерен за рахунок добору на змінену форму зерна та його об'ємну масу.

Висновки

За диференціації ліній кукурудзи робочої колекції відносно зернини та груп стиглості встановлено наявність різних типів асоціації генотипових значень компонентних ознак продуктивності. Це проявляється у середніх за силою значеннях коефіцієнтів кореляції продуктивності та її складових, що унеможлиблює визначення критеріїв добору на продуктивність за компонентними ознаками.

Розподіл структури кореляційних взаємозв'язків продуктивності та її компонентних ознак на вектори прямих та побічних ефектів, здійснений з використанням шляхового аналізу, дав можливість встановити, що добір на продуктивність ліній кукурудзи доцільно проводити безпосередньо за кількістю зерен на качані та масою 1000 зерен. Добір за ознаками «довжина качана», «діаметр качана», «кількість рядів зерен», «кількість зерен в ряду» є опосередкованим, оскільки вони містяться на іншому рівні в модулі ознаки «продуктивність» і є компонентними для ознаки «кількість зерен на качані». При доборі на збільшення кількості зерен на качані ознаки «кількість рядів зерен», «кількість зерен в ряду»

мають більшу відносну селекційну цінність, ніж ознаки «довжина качана» та «діаметр качана». Встановлено значний від'ємний побічний вплив на ознаку «маса 1000 зерен» ознак «кількість рядів зерен» та «кількість зерен на качані» і значно менший від'ємний побічний вплив ознаки «кількість зерен в ряду». Додатний, але незначний за силою

побічний вплив ознак «довжина качана» та «діаметр качана» на масу 1000 зерен свідчить про можливість певної компенсації негативного впливу ознак «кількість зерен на качані» та «кількість зерен в ряду» на масу 1000 зерен за рахунок добору на змінену форму зерна та його об'ємну масу.

Використана література

- De Bossoreille de Ribou S., Douam F., Hamant O., Frohlich M. W., Negrutiu I. Plant science and agricultural productivity: Why are we hitting the yield ceiling? *Plant Science*. 2013. Vol. 210. P. 159–176. DOI:10.1016/j.plantsci.2013.05.010
- Tester M., Langridge P. Breeding Technologies to Increase Crop Production in a Changing World. *Science*. 2010. Vol. 327 (5967). P. 818–822. DOI:10.1126/science.1183700
- Duvick D. N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advanced Agronomy*. 2005. Vol. 86. P. 83–145. DOI: 10.1016/S0065-2113(05)86002-X
- Genetic variability, character association and path analysis in maize (*Zea mays* L.) / S. Begum et. al. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*. 2016. Vol. 41. No 1. P. 173–182. DOI: 10.3329/bjar.v41i1.27682
- Determination relevant breeding criteria by the path and factor analysis in maize / M. Filipovic et. al. *Genetika*. 2014. Vol. 46. No 1. P. 49–58. DOI: 10.2298/GENSR1401049F
- Shiri M., Momeni H., Geranmayeh B. The survey of the morphological and physiological basis of maize grain yield under drought stress condition through path analysis. *Tech J. Engin & App Sci*. 2013. Vol. 3 (24). P. 3647–3651.
- REML/BLUP and sequential path analysis in estimating genotypic values and interrelationships among simple maize grain yield-related traits / T. Olivoto et. al *Genetics and Molecular Research*. 2017. Vol. 16 (1). DOI: 10.4238/gmr16019525
- Седловский А. И., Мартынов С. П., Мамонов Л. К. Генетико-статистические подходы к теории селекции самоопыляющихся культур. Алма-Ата: Наука, 1982. 200 с.
- Bondari K. Path analysis in agricultural research. *Conference on Applied Statistics in Agriculture*. 1990. P. 133-145. DOI: 10.4148/2475-7772.1439
- Ahmed N., Chowdhury A. K., Uddin M. S., Rashad M. M. I. Genetic variability, correlation and path analysis of exotic and local hybrid maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Asian Journal of Medical and Biological Research*. 2020. Vol. 6 (1). P. 8–15. DOI: 10.3329/ajmbr.v6i1.46473
- Carvalho C. G. P., Borsato R., Cruz C. D., Viana J. M. S. Path Analysis Under Multicollinearity In S0 x S0 Maize Hybrids. 2001. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. Vol. 1(3), P. 263–270. DOI: 10.13082/1984-7033.v01n03a06
- Mohan Y.C., Singh K., Rao N.V. Path coefficient analysis for oil and grain yield in maize genotypes. *Natl J. Pl Improv*. 2002. Vol. 4. P. 75-76.
- Path analysis for morphological traits in maize (*Zea mays* L.) / J.Pavlov et. al. *Genetika*. 2015. Vol. 47 (1). P. 295–301. DOI: 10.2298/GENSR1501295P
- Musimwa T. R., Derera J. Why SR52 is such a great maize hybrid? II. Heritability, correlation and path-coefficient analyses. *Euphytica*. 2017. Vol. 213. 62. DOI:10.1007/s10681-017-1851-2
- Association and path analysis for grain yield and its attributing traits under heat stress condition in tropical maize (*Zea mays* L.) / K. Jodage et. al. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 2017. Vol. 8. No 1, P. 336–341. DOI: 10.5958/0975-928X.2017.00050.3
- Mason S., Kmail Z., Galusha T., Jukić Ž. Path analysis of drought tolerant maize hybrid yield and yield components across planting dates. *Journal of Central European Agriculture*. 2019. Vol. 20 (1). P. 194–207. DOI: 10.5513/JCEA01/20.1.2106
- Методичні рекомендації польового та лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи. Харків: Ін-т рослинництва імені В. Я. Юр'єва УААН, 2003. 43 с.
- Класифікатор – довідник виду *Zea mays* L. / І. А. Гур'єва та ін. Харків: Ін-т рослинництва імені В. Я. Юр'єва УААН, 2009. 82 с.
- El-Shouny K.A., El-Baguory O.H., Ibrahim K.I.M., Al-Ahmad S.A. Correlation and path coefficient analysis in four yellow maize crosses under two planting dates. *Arab-Univ J Agri Sci*. 2005. Vol. 13. P. 327–339
- Tollenaar M. F., Ahmaedzedah A., Lee E. A. Physiological basis of heterosis for grain yield in maize. *Crop Sci*. 2004. Vol. 44. No 6. P. 2086–2094. DOI: 10.2135/cropsci2004.2086

References

- De Bossoreille de Ribou, S., Douam, F., Hamant, O., Frohlich, M. W., Negrutiu, I. (2013). Plant science and agricultural productivity: Why are we hitting the yield ceiling? *Plant Science*, 210, 159–176. DOI:10.1016/j.plantsci.2013.05.010
- Tester, M., Langridge, P. (2010). Breeding Technologies to Increase Crop Production in a Changing World. *Science*, 327 (5967), 818–822.

- DOI:10.1126/science.1183700
3. Duvick, D. N. (2005). The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advanced Agronomy*, 86, 83–145. DOI: 10.1016/S0065-2113(05)86002-X
 4. Begum, S., Ahmed, A., Omy, S., Rohman, M., Amiruzzaman, M. (2016). Genetic variability, character association and path analysis in maize (*Zea mays* L.). *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 41, 1, 173–182. DOI: 10.3329/bjar.v41i1.27682
 5. Filipovic, M., Babic, M., Delic, N., Bekavac, G., Babic, V. (2014). Determination relevant breeding criteria by the path and factor analysis in maize. *Genetika*, 46, 1, 49–58. DOI: 10.2298/GENSR1401049F
 6. Shiri, M., Momeni, H., Geranmayeh, B. (2013). The survey of the morphological and physiological basis of maize grain yield under drought stress condition through path analysis. *Tech J. Engin & App Sci.*, 3 (24), 3647–3651.
 7. Olivoto, T., Nardino, M., Carvalho, I. R., Follmann, D. N., Ferrari, M., Szareski, V. J., de Pelegrin, A. J., de Souza, V. Q. (2017). REML/BLUP and sequential path analysis in estimating genotypic values and interrelationships among simple maize grain yield-related traits. *Genetics and Molecular Research*, 16 (1). DOI: 10.4238/gmr16019525
 8. Sedlovskiy, A. I., Martynov, S. P., Mamonov, L. K. (1982). *Genetic-statistical approaches to the theory of breeding of self-pollinating crops* [Genetic-statistical approaches to the theory of breeding of self-pollinating crops]. Alma-Ata : Nauka, 200 p. [in Russian]
 9. Bondari, K. (1990). Path analysis in agricultural research. Conference on Applied Statistics in Agriculture. 133–145. DOI: 10.4148/2475-7772.1439
 10. Ahmed, N., Chowdhury, A. K., Uddin, M. S., Rashad, M. M. I. (2020). Genetic variability, correlation and path analysis of exotic and local hybrid maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Asian Journal of Medical and Biological Research*, 6 (1). 8–15. DOI: 10.3329/ajmbr.v6i1.46473
 11. Carvalho, C. G. P., Borsato, R., Cruz, C. D., Viana, J. M. S. (2001). Path Analysis Under Multicollinearity In S0 x S0 Maize Hybrids. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 1 (3), 263–270. DOI: 10.13082/1984-7033.v01n03a06
 12. Mohan, Y.C., Singh, K., Rao, N.V. (2002). Path coefficient analysis for oil and grain yield in maize genotypes. *Natl J Pl Improv*, 4, 75–76.
 13. Pavlov, J., Delic, N., Markovic, K., Crevar, M., Camdzija, Z., Stevanovic, M. (2015). Path analysis for morphological traits in maize (*Zea mays* L.). *Genetika*, 47 (1), 295–301. DOI: 10.2298/GENSR1501295P
 14. Musimwa, T. R., Derera, J. (2017). Why SR52 is such a great maize hybrid? II. Heritability, correlation and path-coefficient analyses. *Euphytica*, 213, 62. DOI:10.1007/s10681-017-1851-2
 15. Jodage, K., Kuchanur, P. H., Zaidi, P. H., Patil, A., Seetharam, K., Vinayan, M. T., Arunkumar, B. (2017). Association and path analysis for grain yield and its attributing traits under heat stress condition in tropical maize (*Zea mays* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 8, 1, 336–341. DOI: 10.5958/0975-928X.2017.00050.3
 16. Mason, S., Kmail, Z., Galusha, T., Jukić, Ž. (2019). Path analysis of drought tolerant maize hybrid yield and yield components across planting dates. *Journal of Central European Agriculture*, 20 (1), 194–207. DOI: 10.5513/JCEA01/20.1.2106
 17. The technique of field and laboratory investigation of maize genetic resources. (2003). Kharkiv: Plant Production Institute named VYa Yuriev UAAS, 43 p. [in Ukrainian]
 18. Gyr'eva I. A., Raybchyn V. K., Kyzminishna N. V., Vakylenko S. M., Stepanova V. P. (2009). *Classifier-reference book of the genus Zea mays L.* [Classifier-reference book of the genus Zea mays L.] / Kharkiv: Plant Production Institute named VYA Yuriev UAAS, 82 p. [in Russian]
 19. El-Shouny, K.A., El-Baguory, O.H., Ibrahim, K.I.M., Al-Ahmad, S.A. (2005). Correlation and path coefficient analysis in four yellow maize crosses under two planting dates. *Arab-Univ J Agri Sci*, 13, 327–339
 20. Tollenaar, M. F., Ahmaedzedah, A., Lee, E.A. (2004). Physiological basis of heterosis for grain yield in maize. *Crop Sci.*, 44, 6, 2086–2094. DOI: 10.2135/cropsci2004.2086

УДК 633.15:631.527:581.16:519.237.5

Понуренко С. Г., Коломацкая В. П., Чернобай Л. М. Путевой анализ взаимосвязей продуктивности и ее компонентных признаков линий кукурузы.

Зерновые культуры. 2021. Т. 5. № 2. С. 226–232

Институт растениеводства имени В. Я. Юрьева НААН, проспект Московский, 142, г. Харьков, 61060, Украина

Установлены генотипические значения продуктивности и ее компонентов у среднеранних и среднеспелых линий кукурузы, созданных в лаборатории селекции и семеноводства кукурузы Института растениеводства имени В. Я. Юрьева, которые вошли в состав рабочей коллекции.

Определено, что средняя продуктивность среднеспелых линий была выше, чем у среднеранних при наличии отличий в зависимости от типа зерна.

Использованный в работе путевой анализ генотипических корреляционных взаимосвязей продуктивности и ее компонентных признаков позволил выяснить их структуру в системе прямых и побочных эффектов. Установлено, что парные коэффициенты корреляции продуктивности с ее составляющими были положительными, преимущественно низкими или средними по силе и колебались от 0,327 для призна-

ка «количество зерен на початке» до 0,656 для признака «диаметр початка». При разделении структуры корреляционных связей изучаемых признаков на прямые и побочные эффекты отмечены высокие значения прямых путей коэффициентов по влиянию на продуктивность только для признаков «количество зерен на початке» и «масса 1000 зерен» (0,835 и 0,812 соответственно). Такие признаки, как "диаметр початка", "количество рядов зерен" и "количество зерен в ряду" имели очень низкие значения прямых путей коэффициентов (от 0,041 до 0,098), но влияли на продуктивность опосредованно через признак "количество зерен на початке". При этом наибольшее опосредованное влияние на продуктивность через признак «количество зерен на початке» имели признаки «количество рядов зерен» (0,622) и «количество зерен в ряду» (0,544). Для признака «масса 1000 зерен» наблюдали существенное отрицательное побочное влияние признаков «количество зерен на початке» и «количество рядов зерен» с путевыми коэффициентами -0,350 и -0,362 соответственно.

Установлено, что отбор по признакам «диаметр початка», «количество рядов зерен», «количество зерен в ряду» является опосредованным, так как они являются компонентными для признака «количество зерен на початке» и находятся на другом уровне в модуле признака «продуктивность». Наиболее эффективным может быть отбор на продуктивность непосредственно по «количеству зерен на початке» и по «массе 1000 зерен», но для последнего признака следует учитывать отрицательное побочное влияние признаков «количество зерен на початке» и «количество рядов зерен».

Ключевые слова: кукуруза, инбредные линии, продуктивность, корреляционный анализ, путевой анализ.

UDC 633.15:631.527:581.16:519.237.5

S. H. Ponurenko, V. P. Kolomatska, L. M. Chernobay. Path analysis of the relationships between the performance and its constituents in corn lines. Grain Crops. 2021. 5 (2). 226–232

Plant Production Institute named after V.Ya.Yuriev of NAAS, Moscow Avenue, 142, Kharkiv, 61060, Ukraine

The article presents the results of studying the genotypic variability parameters and relationships between traits affecting the performance in corn lines. In a series of three-year trials in 2006–2020, genotypic levels of the performance and its constituents in mid-early and mid-ripening corn lines, which were bred in the Laboratory of Corn Breeding and Seed Production of the Plant Production Institute named after V. Ya. Yuriev and became a part of its working collection, were determined.

It was found that the average group performance of mid-ripening lines was higher than that of mid-early ones with differences depending on kernel type.

Path analysis of genotypic correlations between the performance and its constituents allowed for evaluation of direct and side effects. It was found that the coefficients of pair correlation between the performance and its constituents were positive and mostly low or moderate, ranging 0.327 for "kernel number per ear" trait to 0.656 for "ear diameter" trait. However, when the correlations between the studied traits were divided into direct and side effects, the direct path coefficients were only high for the impact of "kernel number per ear" and "1000-kernel weight" traits (0.835 and 0.812, respectively) on the performance. Such traits as the "ear diameter", "number of kernel rows" and "kernel number per row" had very low values of the direct path coefficients (0.041 – 0.098), but affected the performance indirectly through the "kernel number per ear" trait. The "number of kernel rows" (0.622) and "kernel number per row" (0.544) exerted the greatest indirect impact on the performance through the "kernel number per ear" trait. As to the "1000-kernel weight" trait, there were significant negative indirect effects of the "kernel number per ear" and "number of kernel rows" traits, with the path coefficients of -0.350 and -0.362, respectively.

It was shown that "ear diameter"-, "number of kernel rows"-, and "kernel number per row"-oriented selections were indirect, as they are components of the "kernel number per ear" trait and are at another level in the performance module. The "kernel number per ear"- and "1000-kernel weight"-oriented direct selections for performance can be most effective, but regarding the latter, one should take into account the negative side effects of the "kernel number per ear" and "number of kernel rows" traits, which can be achieved by building up aggregated indexes.

Keywords: corn, inbred line, performance, correlation analysis, path analysis.