

КОЗАЧЕНКО М. Р., НАУМОВ О. Г.<sup>✉</sup>, ВАСЬКО Н. І., СОЛОНЕЧНИЙ П. М.,  
СОЛОНЕЧНА О. В., ВАЖЕНІНА О. Є., ЗИМОГЛЯД О. В.

Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН України,

Україна, 61060, м. Харків, проспект Московський, 142, e-mail: yuriev1908@gmail.com

<sup>✉</sup> [alnaum@ukr.net](mailto:alnaum@ukr.net)

## ГЕНЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ СЕЛЕКЦІЇ СОРТУ ЯЧМЕНЮ ВАКСІ ШЕДЕВР В УКРАЇНІ

**Мета.** Метою досліджень було встановлення генетичних закономірностей селекції ячменю ваксі на основі визначення генетичних і селекційних особливостей зразків із різним фракційним складом крохмалю впродовж 10–11-річних циклів селекційного процесу зі створення сортів ячменю ваксі. **Методи.** Використано дисперсійний, варіаційний, кореляційний і генетичний та селекційний методи аналізу особливостей генотипів у системах топкросів, діалельних і парних схрещувань. **Результати.** Вирішено важливу наукову проблему з встановлення генетичних закономірностей селекції ячменю ярого ваксі. Визначено морфо-біологічні особливості, варіабельність, кореляцію та генетичні особливості за успадкуванням, успадковуваністю, генетичним варіюванням, комбінаційною здатністю кількісних ознак рослин та вмістом амілопектину в крохмалі зразків у F<sub>1</sub> гібридів від схрещування форм із різним фракційним складом крохмалю. Внаслідок встановлених закономірностей показано ефективність створення цінних ліній і сорту Шедевр ячменю ваксі з амілопектиновим крохмалем. **Висновки.** Визначено морфо-біологічні, селекційні та генетичні особливості ознак рослин із різним фракційним складом крохмалю, на основі чого встановлено генетичні закономірності селекції ячменю ваксі та створено перший в Україні сорт ячменю ваксі Шедевр (з амілопектиновим крохмалем).

**Ключові слова:** *Hordeum vulgare* L., зразок, сорт, амілопектиновий крохмаль, генетичні особливості.

Важливою сировиною для багатьох галузей промисловості є крохмаль із різним фракційним складом залежно від співвідношення основних поліцукридів – амілози та амілопектину. Зокрема, у ячменю, по-перше, звичайний крохмаль зерна з 25–30 % амілози (лінійний полімер

глюкози) і 70–75 % амілопектину – розгалужений полімер глюкози (широко використовують для виробництва сиропів, ізоглюкози та як гелетворювач), по-друге, це високоамілозний крохмаль із вмістом амілози до 40 % і більше та амілопектину до 60 % і менше (використовують як джерело сировини для виробництва біодеградуємих матеріалів і ензимрезистентних крохмалів, для дієтичного харчування завдяки уповільненому перетравлюванню, для крохмальної локшини, виготовлення фотоплівок), по-третє, це амілопектиновий крохмаль (широко використовують як загущувач або стабілізатор для виробництва стійких гелів, стабілізаторів, клеючих матеріалів, згущувачів, гелів для піноутворування, для швидкого засвоювання продуктів, для виробництва концентратів супів, пудингів, киселів, желе, десертів, соусів, паштетів, паст). У зерні ячменю ваксі підвищено (до 10 %) вміст β-глюканів (цінної розчинної клітковини), що підвищує його харчову цінність.

Для одержання крохмалю з певними властивостями, зокрема амілопектинового з майже 100 % амілопектину, проводять хімічну модифікацію рослинної сировини зі звичайним крохмалем або ж в результаті селекції створюють сорти з амілопектиновим крохмалем [1].

У селекції одним із основних завдань є пошук необхідного вихідного матеріалу, який є в світових колекціях рослин і створюється генетичними методами гібридизації, генетичної інженерії, мутагенезу, поліплоїдії тощо та ідентифікується для виявлення генотипів із важливими ознаками.

Для використання в селекції, зокрема комбінаційній, підбирають генотипи з цінними ознаками. У зв'язку з цим важливо досліджувати їх селекційно-генетичні особливості.

Методом комбінаційної селекції з використанням мутантних форм ячменю з високим вмістом амілопектину в крохмалі створюють

вихідний матеріал і сорти ячменю ваксі [2].

Селекцію зі створення сортів ячменю ваксі ведуть в різних країнах – США, Китаї, Японії, Кореї, Австралії, Чехії [3].

У лабораторії селекції та генетики ячменю Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН такі роботи розпочато з 2005 р.

Метою досліджень було встановлення генетичних закономірностей селекції ячменю ваксі на основі визначення генетичних і селекційних особливостей зразків ячменю з різним фракційним складом крохмалю упродовж повних 10–11-річних циклів селекційного процесу і створення на цій основі сортів ячменю ваксі.

### Матеріали і методи

Матеріалом для досліджень були колекційні зразки та лінії ячменю ваксі, сорти і лінії зі звичайним крохмалем,  $F_1$  та інші покоління гібридів.

Дослідження проведено в 2005–2018 рр. в повних 10–11-річних циклах селекційного процесу, починаючи з біохімічного вивчення вихідного матеріалу за фракційним складом крохмалю, гібридизації за системами топкросів, діалельних і парних схрещувань, визначення морфо-біологічних особливостей зразків за продуктивністю та її структурними елементами і генетичних закономірностей успадкування, кореляції, компонентів генетичної дисперсії, загальної (ЗКЗ) і специфічної (СКЗ) комбінаційної здатності, успадкованості в широкому ( $H^2$ ) і вузькому ( $h^2$ ) розумінні за ознаками вміст амілопектину в крохмалі, продуктивність рослини та її структурні елементи, продовжуючи доборами рослин у гібридних популяціях та виділенням ліній-джерел цінних ознак у селекційних і контрольному розсадниках, закінчуючи попереднім і конкурсним випробуванням кращих ліній.

Селекційно-генетичні дослідження проведено з використанням методів дисперсійного, варіаційного, кореляційного аналізів за Б. А. Доспеховим [4] та генетичного аналізу за М. А. Федіним та ін. [5]. Зразки ячменю ваксі визначали методом Джуліана за червоно-брунатним забарвленням крохмалю.

### Результати та обговорення

Упродовж 10–11-річних циклів селекційного процесу зі створення сортів ячменю ваксі встановлено генетичні закономірності селекції на основі визначення генетичних і селекційних особливостей зразків із різним фракційним

складом крохмалю.

У результаті біохімічних аналізів вихідного матеріалу визначено п'ять колекційних зразків (UA 0804955, UA 039699, UA 039701, UA 039748, IR 6912), у яких крохмаль майже повністю складається з амілопектину. Тому їх використано в селекції ячменю ваксі шляхом гібридизації за системами топкросів, діалельних і прямих схрещувань із залученням також восьми зразків зі звичайним крохмалем із вмістом 70–74 % амілопектину та 26–30 % амілози (Джерело, Етикет, Вакула, Philadelphia, IR 6575, IR 6586, короткоостий 83-47-6, безостий 05-393 та ін.).

Унаслідок установа морфо-біологічних особливостей зразків за рівнем, варіабельністю, кореляцією ознаки продуктивності рослин та її структурних елементів (продуктивна кущистість, кількість зерен у колосі, маса 1000 зерен) та інших кількісних ознак визначено сорти Джерело, Етикет, Вакула, Philadelphia з високим рівнем показників ознак (табл. 1), що є цінним для їх використання в комбінаційній селекції методом гібридизації, яку здійснювали впродовж 2005–2017 рр.

Оскільки ген *wax* ячменю рецесивний, то у  $F_2$  було моногенним успадкування за розщеплення на рослини зі звичайним і амілопектиновим крохмалем у співвідношенні 3:1 (табл. 2).

У результаті дослідження  $F_1$  від схрещування зразків із різним фракційним складом крохмалю встановлено селекційно-генетичні особливості ознак вміст амілопектину в крохмалі та морфологічних за успадкуванням, компонентами генетичної дисперсії, комбінаційною здатністю та успадкованістю.

Особливості зразків за рівнем і співвідношенням компонентів генетичного варіювання визначали за компонентами адитивних ефектів генів D, доміnantних ефектів генів  $H_1$  і  $H_2$ , середнього ступеня домінування  $H_1/D$  і його міри  $\sqrt{H_1/D}$ , відносної частоти розподілу доміnantних і рецесивних алелів генів F.

За ознакою вміст амілопектину в крохмалі зерна загалом у досліді (за всіма зразками) компонент D адитивних ефектів генів (176,9—178,0) незначно переважає компоненти неадитивних ефектів генів  $H_1$  (168,4–172,6) і  $H_2$  (159,3–163,7), компоненти середнього ступеня домінування  $H_1/D$  і його міри  $\sqrt{H_1/D}$  близькі до одиниці, тобто вплив адитивних і неадитивних ефектів генів у середньому в досліді близький (табл. 3).

Таблиця 1. Продуктивність рослин зразків ячменю ярого, різних за вмістом амілопектину в крохмалі, маса зерна з рослини, г

Зразок	Дослід I	Дослід II	Середнє
UA 0804955	1,15*	1,25*	1,20*
UA 039699	1,90*	1,25*	1,58*
UA 039701	2,10*	0,75*	1,43*
UA 039748	4,25*	1,60	2,93*
IR 6912	1,70*	2,65*	2,18*
IR 6576	2,70	2,00	2,35
Philadelphia	2,90	1,10*	2,00*
Джерело	4,90*	2,90*	3,90*
Етикет	3,85*	2,40*	3,13*
Вакула	3,50*	2,80*	3,15*
IR 6586	1,80*	1,50*	1,65
Короткоостий мутант 83-47-6	2,35*	1,70	2,03
Безоста лінія 05-393	2,30*	1,60	1,95
Середнє по досліді	2,72	1,81	2,27
НІР <sub>05</sub> з середньою	0,21	0,23	0,22
V %	40,1	38,7	–

Примітка. \*Різниця достовірна на 5 % рівня значущості.

Таблиця 2. Розщеплення рослин за фракційним складом крохмалю в F<sub>2</sub>

Гібридна комбінація	Батьківський компонент		Кількість рослин з крохмалем			$\chi^2$ фактичне
	♀	♂	звичайним	амілопектиновим	співвідношення	
375/05	UA 039748 wx	Джерело	56	18	3,11:1	0,018
376/05	UA 039748 wx	Етикет	58	19	3,05:1	0,004
356/05	UA 039699 wx	Етикет	69	21	3,29:1	2,350
365/05	UA 039701 wx	Джерело	74	26	2,85:1	0,053
368/05	UA 039701 wx	IR 6576	68	22	3,09:1	0,0137
Усього			325	106	3,07:1	0,038

Примітка. \*Співвідношення відповідає розщепленню 3:1 за фактичним  $\chi^2$ , меншим від теоретичного  $\chi^2_{05}=3,84$ .

Таблиця 3. Компоненти генетичної дисперсії досліджених форм ячменю ярого за кількісними ознаками в F<sub>1</sub> гібридів

Компонент дисперсії	Продуктивна куцистість	Маса 1000 зерен	Маса зерна з рослини	Вміст амілопектину в крохмалі
D	0,35	76,88	1,22	176,9
F	0,85	44,70	0,90	77,5
H <sub>1</sub>	4,25	80,97	1,18	168,4
H <sub>2</sub>	4,01	70,52	0,86	159,5
H <sub>1</sub> /D	1,44	1,05	0,97	0,95
$\sqrt{H_1/D}$	1,20	1,03	0,98	0,98
H <sup>2</sup>	0,96	0,98	0,99	1,00
h <sup>2</sup>	0,52	0,54	0,59	0,58

За компонентом F відносно частоти розподілу домінантних і рецесивних алелів генів досліджені зразки в схемі діалельних схрещувань мають неоднакові ефекти генів, які визна-

чають рівень прояву ознак. За ознакою вміст амілопектину в крохмалі зерна у зразків ячменю UA 0804955, UA 039699, UA 039701, UA 039748, IR 6912 переважають адитивні ефекти

генів, оскільки F має негативне значення (від -335,6 до -371,1), що пов'язано з рецесивністю гена *wax* (табл. 4). У зразків зі звичайним крохмалем за цією ознакою переважають неадитивні ефекти генів за позитивного значення компонента F (334,8–353,8). Ефективність доборів зразків ваксі в ранніх поколіннях гібридів, у яких ознака визначається рецесивними генами, буде вищою за переважання адитивних ефектів генів.

Для відбору вихідного матеріалу важливе значення має його комбінаційна здатність за певними ознаками. Високий (позитивний) рівень ефектів загальної комбінаційної здатності (ЗКЗ) за ознакою вміст амілопектину в крохмалі мали всі зразки ячменю ваксі (6,14–6,66), тобто в них більше алелів генів, які позитивно визначають високий рівень ознаки, і вони є перспективними в селекції ячменю ваксі. У зразків зі звичайним крохмалем ефекти ЗКЗ за цією ознакою були низькими (від -3,43 до -4,70) (табл. 5).

Рівні ефектів специфічної комбінаційної здатності за ознакою вміст амілопектину в крохмалі були неоднаковими в зразків із різним

фракційним складом крохмалю: високі – у F<sub>1</sub> від схрещування між зразками ячменю ваксі, а також між зразками зі звичайним крохмалем, але низькі – у F<sub>1</sub> між зразками з високим і низьким вмістом амілопектину, що пов'язано з рецесивністю гена *wax*.

Для визначення зумовленості мінливості ознак адитивними чи неадитивними ефектами генів важливо також знати успадковуваність їх у широкому (H<sup>2</sup>) і вузькому (h<sup>2</sup>) розумінні, перша з яких указує на частку загальної мінливості, зумовленої генетичними особливостями, а друга – частку генетичної мінливості, зумовленої адитивними ефектами генів у загальній мінливості, а також знати їх співвідношення.

Коефіцієнт H<sup>2</sup> за ознакою вміст амілопектину в крохмалі був дуже високим в усіх зразків (0,90–0,99), а коефіцієнт h<sup>2</sup> – високим у зразків ячменю ваксі (0,86–0,87) за незначної різниці між H<sup>2</sup> і h<sup>2</sup>, що зумовлює ефективність добору за переважання адитивних ефектів генів, і низьким у зразків зі звичайним крохмалем (0,34–0,43).

Таблиця 4. Параметри компонента F співвідношення домінантних і рецесивних алелів генів батьківських компонентів у F<sub>1</sub>

Батьківський компонент	Продуктивна кущистість	Маса 1000 зерен	Маса зерна рослини	Вміст амілопектину
UA 0804955	0,09	-161,43	0,73	-335,6
UA 039699	0,25	125,60	0,72	-360,0
UA 039701	0,30	130,99	1,42	-360,6
UA 039748	0,16	-103,23	-0,14	-340,8
Philadelphia	0,11	126,12	0,84	345,9
Джерело	0,13	115,29	0,60	335,1
Вакула	0,29	-21,40	0,43	334,8

Таблиця 5. Ефекти ЗКЗ батьківських компонентів ячменю ярого за кількісними ознаками (морфологічними і вмістом амілопектину в крохмалі) в F<sub>1</sub>

Зразок	Продуктивна кущистість	Маса 1000 зерен	Маса зерна з рослини	Вміст амілопектину в крохмалі
UA 0804955	-0,09*	-4,61*	-0,61*	<b>6,62</b>
UA 039699	<b>0,08*</b>	<b>4,02*</b>	-0,07*	<b>6,49</b>
UA 039701	-0,13*	<b>3,49*</b>	-0,34*	<b>6,44</b>
UA 039748	-0,40*	-1,98*	0,17*	<b>6,54</b>
Philadelphia	0,15*	<b>2,52*</b>	0,22*	-3,96
Джерело	<b>0,29*</b>	<b>4,09*</b>	<b>0,71*</b>	-4,69
Етикет	0,38*	<b>3,76*</b>	<b>0,61*</b>	-4,59
Вакула	0,10*	-1,41*	<b>0,46*</b>	-3,52
HP <sub>05</sub> середня	0,05	0,39	0,03	0,03

Примітка. \*Достовірність на 5 % рівня значущості.

Унаслідок установлених селекційно-генетичних закономірностей мінливості кількісних ознак визначено ефективність створення цінних ліній і сортів ячменю ваксі внаслідок комбінації ознак високого вмісту амілопектину в крохмалі та високих значень морфологічних ознак рослин.

На всіх етапах селекційного процесу виділено різноманітні лінії ячменю ваксі, а також шестирядний сорт ячменю ваксі Шедевр (лінія 12-473), створений від схрещування шестирядного сорту Вакула, який мав високий рівень цінних кількісних ознак, із зразком ячменю ваксі UA 039701 різновиду *medicum* Коерн. Сорт ячменю ваксі Шедевр різновиду *rikotense* Regel передано до Державного сорто випробування з 2017 року. У сорто випробуванні інституту сорт мав урожайність за 2014–2016 рр. на рівні 5,54 т/га, яка на 17 % була вищою, ніж у стандарту Взірець, за стійкості до вилягання 9,0 балів. За

результатами Державного сорто випробування, сорт Шедевр перевищував урожайність умовного стандарту (в 2017 р. він мав урожайність 6,02 т/га, а в 2018 р. – 4,61 т/га за 3,94 т/га і 4,19 т/га відповідно умовного стандарту).

Шедевр є першим створеним в Україні сортом ячменю ваксі.

### Висновки

Установлено морфо-біологічні та генетичні (за успадкуванням, компонентами генетичної дисперсії, загальною та специфічною комбінаційною здатністю, успадковуваністю в широкому та вузькому розумінні) особливості зразків ячменю ярого з різним фракційним складом крохмалю в системах топкросів, діалельних і парних схрещувань. Унаслідок цього визначено генетичні закономірності селекції ячменю ваксі і вперше в Україні створено сорт ячменю ваксі Шедевр.

### References

1. Rybalka A.I. Barley quality of grain: genetical methodologia of selection. *Zbirnyk naukovykh praz SGI*. 2008. Issue 12 (52). P. 76–95. [in Ukrainian] / Рибалка О.І. Якість зерна ячменю: генетична методологія селекції. *Збірник наукових праць СГІ*. Одеса:СГІ-НЦНС, 2008. Вип. 12 (52). С. 76–95.
2. Rybalka A.I., Linchevskiy A.A. Wonderful barley. Forgotten champion among cereals. *Zerno I khlib*. 2004. № 1 (33). P. 34–35. [in Ukrainian] / Рибалка О.І., Лінчевський А.А. Диводійний ячмінь. Призабутий чемпіон серед злаків. *Зерно і хліб*. 2004. № 1 (33). С. 34–35.
3. Vaculova K., Ehrenbergerova J., Pouch M. Breeding of waxy barleys using molecular markers. Czech Republic: Agriculture Research Institute Kromeriz, 2000. 4 p.
4. Dospikhov B.A. Methods of field experience (with the fundamentals of statistical processing of study results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. [in Russian] / Доспихов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропроиздат, 1985. 351 с.
5. Fedin M.D., Silis D.Y., Smiryajev A.V. Statistical methods of genetical analysis. Moscow: Kolos, 1980. 207 p. [in Russian] / Федин М.Д., Силис Д.Я., Смирязев А.В. Статистические методы генетического анализа. М.: Колос, 1980. 207 с.

**KOZACHENKO M. R., NAUMOV A. G., VASKO N. I., SOLONECHNYI P. N., SOLONECHNA O. V., VAZHENINA O. Ye., ZYMOHLIAD A. V.**

*Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of NAAS of Ukraine, Ukraine, 61060, Kharkiv, Moskovskiy ave., 142, e-mail: yuriev1908@gmail.com*

### GENETIC REGULARITIES OF BREEDING WAXY BARLEY CULTIVAR SHEDEVVR IN UKRAINE

**Aim.** The study's purpose was to establish genetic patterns of waxy barley breeding on the basis of determination of genetic and breeding characteristics of accessions with different fractional composition of starch during 10/11-year cycles of the breeding process upon creation of waxy barley cultivars. **Methods.** Analysis of variance, calculus of variations, correlation analysis, genetic and breeding methods were used to investigate peculiarities of genotypes in topcross, diallel and pair-crossing designs. **Results.** The important scientific problem concerning establishment of genetic patterns of waxy spring barley breeding was solved. We determined morpho-biological features, variability, correlations and genetic peculiarities of inheritance, heritability, genetic variation and combining ability for quantitative traits of plants as well as for amylopectin content in starch of F<sub>1</sub> hybrids derived from forms with different fractional composition of starch. As a result of establishing the patterns, the effectiveness of creation of valuable lines and waxy barley cultivar Shedeavr with amylopectin starch was demonstrated. **Conclusions.** The morpho-biological, breeding and genetic peculiarities of plant traits with different fractional composition of starch were determined. On this basis, the genetic patterns of waxy barley breeding were established, and the first Ukrainian waxy barley cultivar Shedeavr (with amylopectin starch) was created.

**Keywords:** *Hordeum vulgare* L., accession, cultivar, amylopectin starch, genetic peculiarities.