

Перспективи створення та використання джерел амілопектинових крохмалів в Україні

Тимчук С., кандидат біологічних наук, Панченко І., кандидат сільськогосподарських наук, Діденко С., Інститут рослинництва ім. В.Я. Юрьєва УААН
Лісюк Г., доктор технічних наук, Кучерук З., кандидат технічних наук, Немирич О., кандидат технічних наук, Харківський державний університет харчування та торгівлі

Крохмалі, що складаються виключно з амілопектину, відкривають можливості значного розширення асортименту харчових продуктів та поліпшення їх якості. Вони, зокрема, можуть використовуватися як ефективні натуральні згущувачі, емульгатори, цінний компонент дитячого, дієтичного та лікувального харчування [1]. Саме тому виробництво і промислове використання амілопектинових крохмалів в високорозвинених країнах світу досягло значних обсягів [2].

Їх основним джерелом на світовому ринку вважається кукурудза [3], і утворення у неї амілопектинових крохмалів забезпечується мутантним геном *waxy* [4]. За сучасними уявленнями він контролює утворення пасивної ізоформи 60-кДа крохмаль-синтази і практично повністю блокує синтез амілози [5]. Останнім часом генетичні фактори із схожим ефектом знайдені також у картоплі [6], ячменю [7], рису [8], гороху [9] та м'якої пшениці [10].

Використання цих ортологічних мутацій в селекції культурних рослин забезпечує реальні можливості створення джерел крохмалів амілопектинового типу, які значною мірою могли б забезпечити розвиток харчової промисловості України. На жаль, в національному сортовому складі крохмаленосних рослин джерела амілопектинових крохмалів відсутні, хоча перспективи їх створення та промислового використання слід визнати безумовними.

Ці розуміння і викликали необхідність виконання спеціальної селекційно-генетичної програми по створенню національних імпортозамінних джерел амілопектинових крохмалів, що здійснюється в Інституті рослинництва ім. В.Я. Юрьєва УААН протягом останніх п'ятнадцяти років.

Основним об'єктом генетичного поліпшення якості крохмалю було обрано кукурудзу. Ця культура за виходом крохмалю з одиниці площі та економічністю його отримання переважає всі інші крохмаленосні рослини, а собівартість кінцевої продукції у неї найнижча. Сучасні гібриди кукурудзи добре пристосовані до індустріальних технологій вирощування

в ґрунтово-кліматичних умовах більшості зон України і забезпечені системою власного насінництва. На відміну від картопляного, виробництво кукурудзяного крохмалю не має сезонного характеру, що дозволяє протягом всього року забезпечувати сировиною виробничі потужності крохмале-патокових заводів, а сам кукурудзяний крохмаль відрізняється значно більшою екологічною чистотою. Нарешті, виробництво кукурудзяного крохмалю супроводжується отриманням принаймні двох комерційно цінних супутніх продуктів промислової переробки - олії та глютену.

Наші моделі гібридів кукурудзи, що пристосовані до отримання амілопектинового крохмалю, передбачали сполучення високої та стабільної по роках продуктивності, високого вмісту крохмалю в зерні, а також високого вмісту та якості олії та білка.

В ході виконання досліджень було встановлено, що внутрішньовидовий генофонд кукурудзи може бути з успіхом використаний в селекції на продуктивність за вмістом крохмалю, олії та білка. Розмах генотипової мінливості цих ознак виявився дуже широким. В межах практично кожного ботанічного підвиду є можливість ідентифікувати надійні джерела крохмаленосної сировини (табл. 1).

Однак вимогам крохмале-патокової промисловості найкращим чином відповідали кремениста і, особливо, зубовидна кукурудза, їх переваги полягають у більш високій продуктивності, кращій адаптації до кліматичних умов України і широкому генетичному різноманітті за ознаками якості зерна. Використання зерна респіти

підвидів в якості крохмаленосної сировини уявляється менш привабливим. Крохмалиста кукурудза відрізняється пухкою борошністою консистенцією ендосперму, яка збільшує збиральну вологість зерна, ступенем його травмованості, ураження хворобами та шкідниками. Цукровій кукурудзі був властивий різко знижений вміст крохмалю і висока частка декстринів в комплексі вищих полісахаридів, розлусній - твердо- та дрібнонасінистість, а восковидній - низька продуктивність та обмежене генетичне різноманіття.

На продуктивність та основні ознаки якості продукції сильно впливали погодні умови вирощування, ефект яких часто перекивав генотипові відмінності. Як правило, в роки із сприятливими для вегетації кукурудзи гідротермічними режимами вміст крохмалю в зерні підвищувався, а вміст білка - знижувався. Разом з тим, в дослідях було виділено сорти та лінії, що стабільно відтворювали достатньо високий рівень продуктивності, вмісту крохмалю, білка та олії навіть у контрастних кліматичних умовах.

Вміст крохмалю в зерні простих гібридів, як правило, переважав обидві батьківські форми або ухилився до кращої з них. Навпаки, вміст білка у гібридів або поступався обом батькам, або ухилився до гіршого з них.

В цілому, отримані дані свідчать про результативність використання ефекту полігенних комплексів при підвищенні вмісту крохмалю, білка та олії. При цьому підвищення вмісту крохмалю в зерні не тільки не обмежувало рівень продуктивності, але й позитивно корелювало з нею.

Таблиця 1. Продуктивність і основні показники якості продукції сортів та ліній, що належать до основних підвидів кукурудзи (результати трирічних випробувань)

| Підвиди | Продуктивність, г зерна з рослини | Вміст в зерні, % | | |
|-------------|-----------------------------------|------------------|-----------|----------|
| | | Крохмалю | Білка | Олії |
| Крохмалиста | 48,5-111,7 | 61,9-67,6 | 9,5-13,7 | 3,2-7,8 |
| Кремениста | 31,2-170,8 | 59,1-66,6 | 9,8-17,0 | 2,2-7,7 |
| Зубовидна | 31,8-183,5 | 61,4-67,0 | 9,8-16,1 | 2,2-8,8 |
| Розлусна | 41,3-119,6 | 58,8-65,3 | 11,9-17,4 | 2,7-6,8 |
| Цукрова | 45,6-132,4 | 31,9-43,3 | 9,6-16,7 | 5,6-11,4 |
| Восковидна | 50,8-108,0 | 61,3-65,0 | 11,0-14,2 | 2,6-7,1 |

Однак селекція кукурудзи на звичайній генетичній основі виявилася малорезультативною при поліпшенні фракційного складу крохмалю. Вміст амілози в крохмалі сортів, ліній та гібридів традиційного типу був досить стабільним і варіював у вузьких межах (22-27%). Тому для практичного поліпшення якості крохмалю ми спробували використати біохімічний ефект мутантних генів структури ендосперму, які успадковуються як менделюючі фактори та мають надійні фенотипічні маркери алейного стану.

Було встановлено, що утворення крохмалів, які представлені виключно амілопектином, викликають тільки рецесивні гомозиготи *wx*. Цей ефект був однозначний і не залежав ані від генотипу рекурентної батьківської форми, ані від кліматичних умов вирощування (табл. 2). Порівняно з іншими мутантами структури ендосперму носії рецесивних гомозигот *wx* відрізнялися найменшим зниженням вмісту крохмалю та продуктивності. Гіпотеза про плейотропний ефект мутації *wx* щодо вмісту, фракційного та амінокислотного складу білка, а також вмісту та жирнокислотного складу олії експериментального підтвердження не отримала.

Загалом, біохімічний ефект мутації *wx* створює сприятливі можливості для се-

лекції гібридів кукурудзи, що пристосовані для отримання крохмалю та супутніх продуктів промислової переробки.

Основним методом отримання інбредних ліній з крохмаліями амілопектинового типу в наших дослідках була гібридизація джерел мутантного гену *wx* з кращими лініями кременистого та зубовидного типу. Добір рекурентних батьківських форм здійснювали на основі оцінок сукупності господарсько цінних ознак і для розширення генетичної основи рекомбіногенезу до схрещувань залучали лінії з нетотожним походженням.

Гібриди від схрещування експериментально отриманих ліній восковидної кукурудзи забезпечували отримання амілопектинових крохмалів при достатньо високому рівні гетерозису за продуктивністю (табл. 3).

Кращі з отриманих на даний час гібридів восковидної кукурудзи на 17-20% поступалися зерновому стандарту за продуктивністю і на 2-3% - за вмістом крохмалю в зерні, але перевищували його на 8-10% за вмістом білка і на 20-25% - за вмістом олії. Розрахунковий збір амілопектину з одиниці площі у них був на 8-10% вищий. Також до їх безумовних переваг слід віднести відсутність необхідності відділення амілопектину від амілози.

Таблиця 2.

Варіювання основних показників якості зерна у інбредних ліній кукурудзи - носіїв мутації *wx* (результати трирічних випробувань)

| Лінія | Вміст, % | | | |
|---------------------|---------------|--------------|------------------|--------------------|
| | Білка в зерні | Олії в зерні | Крохмалю в зерні | Амілози в крохмалі |
| ВК-11 | 12,0-12,8 | 5,0-5,9 | 62,6-63,8 | 0 |
| ВК-13 | 12,2-12,7 | 5,4-6,2 | 62,3-63,4 | 0 |
| ВК-16 | 11,9-12,4 | 5,1-5,5 | 62,9-64,6 | 0 |
| ВК-19 | 11,2-11,9 | 6,1-6,6 | 63,0-64,2 | 0 |
| ВК-36 | 10,8-11,6 | 4,9-5,4 | 63,8-66,2 | 0 |
| ВК-37 | 11,1-12,0 | 4,7-5,4 | 64,1-65,7 | 0 |
| ВК-38 | 10,9-11,8 | 6,0-6,5 | 63,7-65,1 | 0 |
| ВК-52 | 10,5-11,3 | 4,9-5,6 | 64,2 - 66,0 | 0 |
| ВК-64 | 11,1-12,0 | 4,9-5,4 | 62,7-63,9 | 0 |
| ВК-69 | 10,4-10,9 | 5,0-5,7 | 64,6-66,5 | 0 |
| ВІР - 44 (стандарт) | 10,9-11,6 | 4,3-4,8 | 65,1-66,2 | 23,9-24,7 |
| НСР05 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | - |

Таблиця 3.

Продуктивність та основні показники якості зерна кращих гібридів кукурудзи на основі мутації *wx* (середні з трирічних випробувань)

| Гібриди | Продуктивність, г зерна з | Вміст, % | | | |
|----------------------------|---------------------------|---------------|--------------|------------------|--------------------|
| | | Білка в зерні | Олії в зерні | Крохмалю в зерні | Амілози в крохмалі |
| ВК - 16 X ВК - 37 | 125,6 | 10,9 | 5,1 | 68,2 | 0 |
| ВК - 11 X ВК - 64 | 127,7 | 11,9 | 5 | 67,5 | 0 |
| ВК - 64 X ВК - 13 | 129 | 11,4 | 5,3 | 67,7 | 0 |
| Харківський 311 (стандарт) | 154,8 | 10,4 | 4,2 | 69,4 | 23,4 |
| НІР 05 | 9,6 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | - |

Таблиця 4.

Температури початку та закінчення клейстеризації крохмалю із восковидної кукурудзи порівняно з іншими крохмаліями

| Вид крохмалю | Температура клейстеризації, °С | |
|--------------------------|--------------------------------|--------|
| | Початок | Кінець |
| Картопляний | 68 | 90 |
| Із звичайної кукурудзи | 77 | > 100 |
| Із восковидної кукурудзи | 63 | 80 |

Результати технологічних випробувань крохмалю восковидної кукурудзи (табл. 4, 5) показали, що порівняно із традиційними крохмаліями він відрізняється більш низькою температурою початку та закінчення клейстеризації, більшою стабільністю крохмальних гранул при набряканні і здатністю формувати прозорі, стійкі до ретроградації клейстери підвищеної в'язкості.

Такі технологічні властивості крохмалю відкривають широкі можливості його використання в харчовій, фармацевтичній та технічних галузях промисловості України.

Внаслідок проведених досліджень в Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва УААН розгорнуто селекційну програму по створенню гібридів кукурудзи з амілопектиновими крохмаліями, а перший національний гібрид цього типу Сталкер в 2003 році передано до Державного сорто випробування.

Література

1. Starch: Properties and Potential // Ed. T. Galliard - John Wiley and Sons Pub. Chichester (UK), 1987. - 505 p.
2. Alexander D.E., Creech R.G. Breeding special industrial nutritional types // Corn and Corn Improvement, Ed. G.F. Sprague-Madison, Wis.: American Soc. Agron. (USA), 1977. - P. 363 - 390.
3. V. Ferguson: High amylose and waxy corns, in Specialty Corns (Ed.A.R. Hallauer) CRC Press, Boca Raton, 1994, 55-77.
4. E. Coe, M. Polacco: Maize Gene List and Working Maps. Maize Genet. Newslett., 1994, 68, 156-191.
5. Shure M., Wessler S.R., Fedoroff N. Molecular identification and isolation of the waxy locus in maize // Cell. - 1983. - v. 35. - p. 225 - 233.
6. Hovenkamp-Hermelink J.H.M., Bijmolt E.W., de Vries J.N., Witholt B., Freenstra W.J. Isolation of an amylose-free starch mutant of the potato (*Solanum tuberosum* L.) // Theor. Appl. Genet. - 1987. - v. 75. - p. 217-221.
7. W. Rohde, D. Becker, F. Salamini: Structural analysis of the waxy locus from *Hordeum vulgare*. Nucleic Acid Res., 1988, 16, 7185.
8. H. Hirano, Y. Sano: Molecular characterization of the waxy locus of rice (*Oryza sativa*). Plant Cell. Physiol., 1991, 32, 989-997.
9. Dry I., Smith A., Edvads E.A., Bhattacharya M., Dunn P., Martin C. Characterization of cDNAs encoding two isoforms of granule-bound starch pea and potato // Plant J. - 1992. - v.2. - p. 193 - 202.
10. J. Murai T. Taira, D. Ohta: Isolation and characterization of the three waxy genes encoding the granule-bound starch synthase in hexaploid wheat. Gene, 1999, 234, 71-79.