

УДК 635.54

© 2022

КОМБІНАЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ РАННЬОСТИГЛИХ ЛІНІЙ ПОМІДОРА З ПІДВИЩЕНИМ УМІСТОМ ЛІКОПЕНУ В ПЛОДАХ

Л.А. Рудас¹, М.В. Торбанюк²

¹кандидат сільськогосподарських наук

²доктор філософії (201 Агрономія)

Черкаська державна сільськогосподарська дослідна станція

ННЦ «Інститут землеробства НААН»

вул. Докучаєва, 13, с. Холодніанське Черкаського р-ну Черкаської обл., 20731, Україна

e-mail: ¹rudasl@ukr.net, ²mariyatr@ukr.net

ORCID: ¹0000-0002-5099-4328, ²0000-0001-6748-3172

Надійшла 25.10.2022

Мета. Визначити загальну (ЗКЗ) і специфічну (СКЗ) комбінаційну здатність нових ліній помідора методом тестерних схрещувань і виділити кращі для селекції на створення високогетерозисних гібридів. **Методи.** Польовий — для встановлення відмінностей між варіантами досліду; лабораторний — визначення вмісту лікопену в плодах; генетичний — визначення показників комбінаційної здатності; математично-статистичний — для оцінки достовірності отриманих результатів досліджень. **Результати.** За ознакою товарної продуктивності серед ранньостиглих ліній більшість мали середні значення ЗКЗ, найкращі достовірні ефекти були в 2019 р. у № 532 (0,15), 2020 р. — № 536 (0,6). Високі значення варіанс СКЗ за товарною продуктивністю в 2019 р. мали лінії № 534 (0,19), № 532 (0,07), № 536 та № 462 — 0,05; у 2020 р. — № 523 (0,15), № 539 (0,07) і № 531 (0,05). Тобто лінії № 532 і № 536 потрібно використовувати для створення гетерозисних гібридів, № 534 і № 462 — для створення сортів. Високі (для тривалості періоду «сходи – досягання» – від’ємні) ефекти ЗКЗ за 2 роки досліджень мали лінії № 462 (–3,96... –1,41) і № 533 (–1,31... –0,86); у 2019 р. — № 523 (–2,11), № 539 (–1,46); у 2020 р. — № 533 (–0,86). Високі достовірні значення ефектів ЗКЗ за вмістом лікопену в плодах за 2 роки досліджень встановлено в ліній № 537 (1,21 і 2,29); у 2019 р. — № 536 (3,16), № 531 (1,90); у 2020 р. — № 462 (4,19) і № 539 (1,70). Високі варіанси СКЗ мали в 2019 р. лінії № 531 (5,51) і № 539 (4,62); 2020 р. — № 537 (13,55), № 534 (4,42), № 536 (4,05). Для створення гетерозисних гібридів за вмістом лікопену в плодах слід використовувати лінії № 537, № 536, № 531, № 462 і № 539. **Висновки.** Встановлено лінії з високими значеннями загальної і специфічної комбінаційної здатності, які можна використовувати під час створення високогетерозисних гібридів помідора з підвищеним вмістом лікопену в плодах.

Ключові слова: гібрид, товарна продуктивність, тестер, період «сходи – досягання».

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202212-05>

Помідор (*Solanum lycopersicum* L.) — економічно важлива культура в структурі світового виробництва овочів [1, 2]. Останнім часом зростає споживчий інтерес до продукції з підвищеним умістом лікопену, що зумовлено його корисними властивостями для організму [3]. Каротиноїд лікопен є основним пігментом, що надає плодам помідора темно-червоного забарвлення [4]. Це потужний антиоксидант, який має позитивний ефект у профілактиці та лікуванні багатьох захворювань [5–10].

Сучасна селекція овочевих культур розвивається в напрямі поліпшення поживних складових і підвищення товарної продуктивності [11]. Дослідженнями багатьох учених доведено, що практична цінність мутантних ліній помідора з генами підвищеного вмісту лікопену в плодах $hp-2^{dg}$, B^{og} , B^c знижується

через їх низьку продуктивність, пізній і розтягнутий період досягання [12–14]. Залучення в схрещування ранньостиглих батьківських форм дало нам змогу отримати вихідний матеріал зі скороченим періодом «сходи–досягання» та підвищеним умістом якісних показників. Нами створено 9 ліній від схрещування сорту зі скороченим періодом «сходи–досягання» Ляна та лінії Morioka 20, носія гена hp .

Здатність давати високий гетерозисний ефект є головною цінністю сортів і ліній для використання як батьківських компонентів у гібридних комбінаціях схрещувань [15, 16]. Він може бути виражений 2-ма способами: середньою величиною гетерозису, що проявляється за всіма гібридними комбінаціями — загальною комбінаційною здатністю (ЗКЗ), і відхиленням від цієї величини

1. Оцінка ефектів ЗКЗ і варіанс СКЗ (товарна продуктивність, кг)

Лінія	Рік	Тестер		σ_{gi}^2	Тестер		σ_{si}^2
		Кременчуцький	Товстий Джек		Кременчуцький	Товстий Джек	
532	2019	1,0	1,5	0,15*	–0,19	0,19	0,07*
	2020	0,7	0,7	–0,14	–0,01	0,01	0,00
533	2019	1,1	1,0	–0,05	0,14	–0,14	0,04
	2020	0,8	0,9	0,05	–0,08	0,08	0,01
534	2019	0,7	1,5	0,05	–0,31	0,31	0,19*
	2020	0,7	0,8	–0,05	–0,03	0,03	0,00
536	2019	1,0	0,9	–0,17*	0,15	–0,15	0,05*
	2020	0,9	1,1	0,16*	–0,12	0,12	0,03
537	2019	1,1	1,1	–0,01	0,11	–0,11	0,03
	2020	0,7	0,8	–0,15	–0,10	0,10	0,02
462	2019	1,1	1,0	–0,03	0,16	–0,16	0,05*
	2020	0,9	0,8	0,06	0,04	–0,04	0,00
523	2019	1,0	1,1	–0,06	0,02	–0,02	0,00
	2020	1,0	0,4	–0,11	0,28	–0,28	0,15
539	2019	1,1	1,2	0,04	0,03	–0,03	0,00
	2020	1,1	0,7	0,09	0,18	–0,18	0,07
531	2019	1,0	1,4	0,09	–0,11	0,11	0,02
	2020	0,7	1,0	0,01	–0,16	0,16	0,05
HIP ₀₅	2019			0,15			
	2020			0,13			
σ_{si}^2 cep	2019						0,05
	2020						0,04

*Результати достовірні на рівні довірчої імовірності 0,95. δ_{g1}^2 — варіанса загальної комбінаційної здатності, δ_{s1}^2 — варіанса специфічної комбінаційної здатності.

в певної конкретної комбінації — специфічна комбінаційна здатність (СКЗ) [15]. Для прояву високого гетерозису в гібридних комбінаціях потрібно, щоб хоча б одним із компонентів схрещування була лінія з високою ЗКЗ [17]. Проведення діалельних і тестерних схрещувань дає змогу найкраще оцінити комбінаційну здатність у досліджуваних батьківських компонентів для планування майбутніх селекційних програм.

Мета досліджень — визначити загальну (ЗКЗ) і специфічну (СКЗ) комбінаційну здатність нових ліній помідора методом тестерних схрещувань і виділити кращі для селекції на створення високогетерозисних гібридів.

Матеріали і методика досліджень. Дослідження комбінаційної здатності батьківських компонентів помідора проводили

впродовж 2019–2020 рр. у відділі рослинництва на полях селекційно-насіннєвої сівозміни Черкаської державної сільськогосподарської дослідної станції ННЦ «Інститут землеробства НААН» у с. Холоднянському Черкаського р-ну.

Методи досліджень: польовий — для встановлення відмінностей між варіантами досліду; лабораторний — визначення біохімічного складу плодів; генетичний — визначення показників комбінаційної здатності; математико-статистичний — для оцінки достовірності отриманих результатів досліджень.

Ґрунт дослідних ділянок — чорнозем типовий малогумусний і чорнозем сильнореґрадований, за гранулометричним складом — середньосуглинковий. Уміст гумусу в орному шарі (за Тюрнімом) — 3%; гідролізованого

2. Оцінка ефектів ЗКЗ і варіанс СКЗ (тривалість періоду «сходи – досягання», діб)

Лінія	Рік	Тестер		σ^2_{gi}	Тестер		σ^2_{si}
		Кременчуцький	Товстий Джек		Кременчуцький	Товстий Джек	
532	2019	98,0	99,3	4,69*	–0,73	0,73	1,08
	2020	100,0	95,3	–0,41	1,09	–1,09	2,37
533	2019	90,0	95,3	–1,31	–2,73	2,73	14,94*
	2020	97,7	96,7	–0,86*	–0,76	0,76	1,16
534	2019	96,7	96,0	2,39*	0,27	–0,27	0,14
	2020	99,3	97,3	0,24	–0,26	0,26	0,14
536	2019	94,0	94,0	0,04	–0,08	0,08	0,01
	2020	99,0	95,3	–0,91	0,59	–0,59	0,69
537	2019	97,7	93,3	1,54*	2,12	–2,12	8,96*
	2020	99,3	97,3	0,24	–0,26	0,26	0,14
462	2019	91,0	89,0	–3,96*	0,92	–0,92	1,68
	2020	97,3	96,0	–1,41	–0,61	0,61	0,75
523	2019	92,0	91,7	–2,11*	0,07	–0,07	0,01
	2020	101,7	100,0	2,79	–0,41	0,41	0,34
539	2019	93,0	92,0	–1,46*	0,42	–0,42	0,35
	2020	99,3	99,0	1,09	–1,11	1,11	2,47
531	2019	94,0	94,3	0,19	–0,23	0,23	0,11
	2020	100,3	94,3	–0,76	1,74	–1,74	6,05
HIP ₀₅	2019			1,19			
	2020			0,86			
$\sigma^2_{si\text{ сеп}}$	2019						3,03
	2020						1,57

*Результати достовірні на рівні довірчої імовірності 0,95. δ_{g1}^2 — варіанса загальної комбінаційної здатності, δ_{s1}^2 — варіанса специфічної комбінаційної здатності.

азоту (за Корнфільдом) — 92 мг/кг ґрунту; рухомих фосфору (за Чиріковим) — 213, калію — 85 мг/кг ґрунту. У 2019 і 2020 рр. обмежувальним фактором для вирощування помідора була відсутність необхідної кількості вологи за високого температурного фону. Значення гідротермічного коефіцієнта (ГТК) літнього періоду 2019 р. становило 0,39; 2020 р. — 0,24, що значно менше за значення лісостепової зони (1,3–1,0).

Проведено поверхневий обробіток ґрунту, закриття вологи, внесено мінеральні добрива (нітроамфоска 175 кг/га), здійснено 2 мікрядні розпушування, 3-разові обробки фунгіцидом Ридоміл голд (2,5 кг/га), Медян екстра (2,5 кг/га), інсектицидом Актара (0,05 кг/га).

Як батьківські компоненти було використано 9 ліній селекції Черкаської ДСГДС,

створені за участі ранньостиглого сорту Ляна та лінії Morigoka 20, носія гена hr. Як тестери залучено сорти зі скороченим періодом «сходи–достигання» Кременчуцький і Товстий Джек. Визначали комбінаційну здатність створених ліній з підвищеним умістом лікопену в плодах за ознаками: товарна продуктивність, тривалість періоду «сходи–достигання», уміст лікопену в плодах. Повторність досліду — 3-разова. Схема висаджування розсади — (110+50)×25 см.

Досліди було закладено згідно з методикою однофакторних дослідів [18]. Гібридний і вихідний матеріал оцінювали з урахуванням рекомендацій і методичних підходів [19, 20]. Оцінку комбінаційної здатності проводили методом тестерного аналізу за методичними рекомендаціями [21]. Уміст лікопену в плодах визначали за методикою [22].

3. Оцінка ефектів ЗКЗ і варіанс СКЗ (уміст лікопену в плодах, мг/100г)

Лінія	Рік	Тестер		σ^2_{gi}	Тестер		σ^2_{si}
		Кременчуцький	Товстий Джек		Кременчуцький	Товстий Джек	
532	2019	5,5	5,4	–0,75	–0,10	0,10	0,02
	2020	3,5	4,3	–1,96	–0,79	0,79	1,26
533	2019	4,3	4,2	–1,99*	–0,08	0,08	0,01
	2020	6,7	3,3	–0,86	1,34	–1,34	3,58
534	2019	4,5	5,2	–1,36*	–0,49	0,49	0,49
	2020	3,8	6,0	–1,01	–1,49	1,49	4,42
536	2019	9,9	8,8	3,16*	0,40	–0,40	0,32
	2020	7,4	3,8	–0,29	1,42	–1,42	4,05
537	2019	8,1	6,7	1,21*	0,57	–0,57	0,64
	2020	11,1	5,2	2,29*	2,60	–2,60	13,55
462	2019	4,5	4,5	–1,71*	–0,16	0,16	0,05
	2020	10,1	10,0	4,19*	–0,36	0,36	0,26
523	2019	5,3	5,5	–0,81*	–0,26	0,26	0,13
	2020	2,7	3,8	–2,62	–0,93	0,93	1,72
539	2019	5,2	7,9	0,35	–1,52	1,52	4,62*
	2020	6,7	8,5	1,70*	–1,27	1,27	3,24
531	2019	9,9	6,3	1,90*	1,66	–1,66	5,51*
	2020	4,3	4,6	–1,45	–0,52	0,52	0,55
HIP ₀₅	2019			0,79			
	2020			1,31			
$\sigma^2_{si\text{ cep}}$	2019						1,31
	2020						3,62

*Результати достовірні на рівні довірчої імовірності 0,95. δ_{g1}^2 — варіанса загальної комбінаційної здатності, δ_{s1}^2 — варіанса специфічної комбінаційної здатності.

Результати досліджень. За результатами проведеного дисперсійного аналізу однофакторного дослідів встановлено істотні відмінності ($P < 0,01$) між гібридами. Їх показники за товарною продуктивністю, тривалістю періоду «сходи–достигання», вмістом лікопену в плодах неоднакові, тому в досліджуваних батьківських компонентів можна очікувати відмінності за загальною та специфічною комбінаційною здатністю.

1. Товарна продуктивність. Результати досліджень свідчать про те, що за ознакою «товарна продуктивність» найкращими достовірними ефектами ЗКЗ відзначилися в 2019 р. лінія № 532 (0,15), 2020 р. — № 536 (0,16), при цьому більшість зразків мали середні значення ЗКЗ (табл. 1).

2. Тривалість періоду «сходи — достигання». Під час проведення досліджень встановлено батьківські компоненти з високими

(для тривалості періоду «сходи–достигання» — від'ємними) ефектами ЗКЗ за 2 роки досліджень: № 462 (–3,96...–1,41) і № 533 (–1,31...–0,86), 2019 р. — № 523 (–2,11), № 539 (–1,46), 2020 р. — № 533 (–0,86) (табл. 2).

Не встановлено зразків із високою СКЗ за цією ознакою. Середні значення мали лінії № 534 (0,14 за 2 роки), у 2019 р. — № 536 і № 523 (0,01), № 531 (0,11), у 2020 р. — № 537 (0,14).

3. Вміст лікопену в плодах. Високі достовірні значення ефектів ЗКЗ за вмістом лікопену в плодах за 2 роки досліджень встановлено в ліній № 537 (1,21 і 2,29), 2019 р. — № 536 (3,16), № 531 (1,90), у 2020 р. — № 462 (4,19) і № 539 (1,70) (табл. 3).

Високі варіанси СКЗ мали в 2019 р. лінії № 531 (5,51) і № 539 (4,62), 2020 р. — № 537 (13,55), № 534 (4,42), № 536 (4,05).

Висновки

Серед ранньостиглих ліній встановлено батьківські компоненти з високими (для тривалості періоду «сходи–достигання» — від'ємними) ефектами ЗКЗ за 2 роки досліджень: № 462 (–3,96...–1,41) і № 533 (–1,31...–0,86), у 2019 р. — № 523 (–2,11), № 539 (–1,46), 2020 р. — № 533 (–0,86). За ознакою товарної продуктивності найкращими достовірними ефектами ЗКЗ відзначилися лінії: у 2019 р. — № 532 (0,15), 2020 р. — № 536 (0,16), більшість ліній мали середні значення ЗКЗ. Високі значення варіанс СКЗ за товарною продуктивністю в 2019 р. мали лінії № 534 (0,19), № 532 (0,07) і № 536 та 462 (0,05), у 2020 р. — № 523 (0,15), № 539 (0,07) і

№ 531 (0,05). Тобто лінії № 532 і № 536 слід використовувати для створення гетерозисних гібридів, № 534 і № 462 — для створення сортів.

Високі достовірні значення ефектів ЗКЗ за вмістом лікопену в плодах за 2 роки досліджень встановлено в ліній № 537 (1,21 і 2,29), у 2019 р. — № 536 (3,16), № 531 (1,90), 2020 р. — № 462 (4,19) і № 539 (1,70). Високі варіанси СКЗ мали в 2019 р. лінії № 531 (5,51) і № 539 (4,62), 2020 р. — № 537 (13,55), № 534 (4,42), № 536 (4,05). Для створення гетерозисних гібридів за вмістом лікопену в плодах потрібно використовувати лінії № 537, № 536, № 531, № 462 і № 539.

Rudas L.¹, Torbaniuk M.^{2,3}

Cherkassy state agricultural Scientific research station of NRC «Institute of Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine», 13 Dokuchayev Str., Kholodnyanske, Cherkassy district, Cherkassy Region, 20731, Ukraine; e-mail: ¹rudasl@ukr.net, ²mariyatr@ukr.net; ORCID: ¹0000-0002-5099-4328, ²0000-0001-6748-3172

Combining ability of early ripening tomato lines with increased lycopene content in fruits

Goal. To determine the general (GCA) and specific (SCA) combining ability of new tomato lines by the method of tester crossings and to select the

best for breeding to create highly heterotic hybrids.

Methods: field – to establish differences between research options; laboratory – to determine the content of lycopene in fruits; genetic – to determine indicators of combining ability; mathematical and statistical – to assess the reliability of the obtained research results. **Results.** As a sign of commercial productivity, among early-ripening lines, most had average values of GCA, the best reliable effects were in 2019 in № 532 (0.15), in 2020 — № 536 (0.6). Lines № 534 (0.19), № 532 (0.07), № 536 and № 462 had high values of variances of SCA in terms of product productivity in 2019 – 0.05, in 2020 – № 523 (0.15),

№ 539 (0.07) and № 531 (0.05). That is, lines № 532 and № 536 must be used to create heterotic hybrids, № 534 and № 462 – to create varieties. Lines № 462 (from minus 3.96 to minus 1.41) and № 533 (from minus 1.31 to minus 0.86) had high (for the duration of the «germination–ripening» period – negative) effects of GCA over two years of research), in 2019 — № 523 (minus 2.11), № 539 (minus 1.46), in 2020 — № 533 (minus 0.86). High reliable values of the effects of GCA on the content of lycopene in fruits for two years of research were established in lines № 537 (1.21 and 2.29), in 2019 — № 536

(3.16), № 531 (1.90), in 2020 — № 462 (4.19) and № 539 (1.70). In 2019, lines № 531 (5.51) and № 539 (4.62) had high variances of SCA, in 2020 № 537 (13.55), № 534 (4.42), № 536 (4.05). To create heterotic hybrids based on the № 462 and № 539.

Conclusions. Lines with high values of general and specific combining ability were established, which can be used in the creation of highly heterotic tomato hybrids with increased lycopene content in fruits.

Key words: tomato, hybrid, combining ability, tester.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202212-05>

Бібліографія

1. Salava H., Thula S., Mohan V. et al. Application of Genome Editing in Tomato Breeding: Mechanisms, Advances, and Prospects. *International J. of Molecular Sciences*. 2021. V. 22. Is. 2. P. 682. doi: 10.3390/ijms22020682
2. FAO. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 2016. 194 p.
3. Madia V.N., De Vita D., Ialongo D. et al. Recent Advances in Recovery of Lycopene from Tomato Waste: A Potent Antioxidant with Endless Benefits. *Molecules*. 2021. V. 26. Is. 15. P. 4495. doi: 10.3390/molecules26154495
4. Maoka T. Carotenoids as natural functional pigments. *J. of Natural Medicines*. 2020. V. 74. P. 1–16.
5. Imran M., Ghorat F., Ul-Haq I. et al. Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders. *Antioxidants*. 2020. V. 9. Is. 8. P. 706. doi: 10.3390/antiox9080706
6. Joshi B., Kar S.K., Yadav P.K. et al. Therapeutic and medicinal uses of lycopene: A systematic review. *International J. Research of Medical Sciences*. 2020. V. 8. P. 1195. doi: 10.18203/2320-6012.ijrms20200804
7. Przybylska S. Lycopene — a bioactive carotenoid offering multiple health benefits: A review. *International J. of Food Science Technology*. 2020. V. 55. P. 11–32. doi: 10.1111/ijfs.14260
8. Preedy V.R., Watson R.R. Tomatoes and Tomato Products: Nutritional, Medicinal and Therapeutic Properties. Enfield: Science Publishers, 2008. 664 p. doi: 10.1201/9781439843390
9. Di Gioia F., Tzortzakakis N., Roupheal Y. et al. Grown to Be Blue—Antioxidant Properties and Health Effects of Colored Vegetables. Part II: Leafy, Fruit, and Other Vegetables. *Antioxidants*. 2020. V. 9. Is. 2. P. 97. doi: 10.3390/antiox9020097
10. Pal R.S., Hedau N.K., Kant L., Pattanayak A. Functional quality and antioxidant properties of tomato genotypes for breeding better quality varieties. *Electronic J. of Plant Breeding*. 2018. V. 9. Is. 1. P. 1–8. doi: 10.5958/0975-928X.2018.00001.7
11. Natalini A., Acciarri N., Cardi T. Breeding for Nutritional and Organoleptic Quality in Vegetable Crops: The Case of Tomato and Cauliflower. *Agriculture*. 2021. V. 11. P. 606. doi: 10.3390/agriculture11070606
12. Konsler T.R. Three mutants appear in «Manapal» tomato. *HortScience*. 1973. V. 8. P. 331–333.
13. Mochizuki T., Ishiuchi D., Kamimura S. Early seedling growth, yield components and fruit chemical composition of high-pigment processing tomato lines. *Acta-Horticulturae*. 1988. № 220. P. 85–92. doi: 10.17660/ActaHortic.1988.220.11
14. Куземенский А.В. Эффекты взаимодействия гена лежкости alc (alcobaca) с генами повышенной пигментации плода. *Цитология и генетика*. 2007. Т. 41. № 6. С. 34–43.
15. Sprague G.F., Tatum L.A. General vs Combining Ability in Single Crosses of Corn. *Agronomy*. 1942. V. 34. P. 923–932.
16. Турбин Н.В. Современное состояние генетических исследований гетерозиса и задачи по разработке методов селекции растений на комбинационную ценность: тез. доклад. на объединенной науч. сессии по проблемам гетерозиса ВАСХНИЛ и АН СССР. москва, 1966. С. 9–11.
17. Тарутин Л.А., Хотылева Л.В. Взаимодействие генов при гетерозисе. Минск: Навука і тэхніка, 1990. 176 с.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов. Москва: Агропромиздат, 1985. 350 с.
19. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві; за ред. Г.Л. Бондаренка і К.І. Яковенка. Харків, 2001. 369 с.
20. Сучасні методи селекції овочевих і баштанних культур; за ред. Т.К. Горовой. Харків, 2001. 642 с.
21. Вольф В.Г., Литун П.П. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. Харьков, 1980. 76 с.
22. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И., Мурри И.К. Методы биохимического исследования растений. москва, ленинград: ГИСЛ, 1952. 520 с.