

18. Bhatti T.A., Nizamani Z.A., Gadhi M.A., Soomro F., Kumar R., Abro S.A., Soomro A.H., Qazi S., Jarwar U., Kandhro A.G., Khan M. Management of Downy Mildew of Onion Through Selective Fungicides in the Field Condition. *Journal of Applied Research in Plant Sciences*. 2021, 2(1), 92–107. <https://doi.org/10.38211/joarps.2021.2.1.13>

19. Bhatia J.N., Chahal D. Studies on effectiveness of certain new fungicides in controlling stemphylium blight of onion seed crop. *Agricultural Science Digest - A Research Journal*. 2014, Vol. 34, Issue : 3. P. 237–239. Article DOI: 10.5958/0976-0547.2014.01011.8

20. Sharma A.B., Kumar A., Sidhu A. Relative performance of fungicides and crude leaf extract of *Azadirachta indica* against leaf blight of onion. *Indian Phytopathology*. 2022. Vol. 75, p. 1085–1093. Cite this article 49.

21. Ретьман С.В. Реєстраційні випробування фунгіцидів у сільському господарстві; за ред. С.В. Ретьмана. Київ: Колобій, 2014. С. 134–139 (Хвороби цибулі й часнику).

22. Ідентифікація збудників хвороб сільськогосподарських культур. Методичні рекомендації. Одеса. 2018. Укладачі: Мілкус Б.Н., Балан Г.О. 26 с.

Borzykh O.,

ORCID: 0000-0002-9802-5622

¹Sergienko V.,

ORCID: 0000-0003-4386-9307

²Dzham M.,

ORCID: 0000-0001-8183-5488

³Shyta O.,

ORCID: 0000-0002-0795-5120

⁴Mykhaylenko S.,

ORCID: 0000-0003-1746-7419

Institute of Plant Protection of NAAS, 33, Vasylkivska str., Kyiv, 03022, Ukraine
e-mail: ¹v-serg@ukr.net, ²mayadzham@

gmail.com, ³oksanashitaya@ukr.net, ⁴mvsvzeta@gmail.com

Fungicidal control of the most common onion mycoses during the growing season

Goal. To investigate the effectiveness of fungicidal control of the most common onion diseases during the growing season. **Methods.** Informational and analytical (collection of materials and analysis of literary sources), field research (setting up experiments, carrying out treatments and records of plant damage by diseases, monitoring the development of plants, harvesting), phytopathological (determination and identification of pathogens), mathematical and statistical (processing of results studies). Experiments were conducted on different varieties and hybrids using modern fungicides with different active substances. **Results.** During the years of research, onion crops were dominated by mycoses, namely, peronosporosis, alternaria, stemphylliosis, and fusarium wilt. Downy mildew and leaf spots were observed on all varieties and hybrids. The investigated fungicides most effectively controlled the development of downy mildew of onions. Their efficiency during the growing season averaged 55.1–100%, depending on the drug, the degree of disease development and the variety. The highest effectiveness against downy mildew of onions was provided by fungicides Fandango 200 ES, KE (fluoxystrobin, 100 g/l + proteconazole, 100 g/l) at the rate of 1.25 l/ha and

Signum VG (boskalid, 267 g/kg + pyraclostrobin, 67 g/kg) — 1.5 kg/ha. Fungicides were 45.8–89.1% effective against leaf spots (alternaria and stemphylliosis), 57.9–70.5% against fusarium wilt. Treatments with fungicides, due to the reduction of plant damage by diseases, contributed to the increase in onion yield by 1.3–6.9 t/ha, depending on the variety and preparation. Among the studied varieties, the highest yield was obtained on the Medusa variety (40.7 t/ha), among fungicides, the highest yield increase was provided by Fandango 200 ES, KE fungicide (1.25 l/ha). **Conclusions.** Fungicides effectively controlled the main mycoses of onion (peronosporosis, alternariosis, stemphylliosis and fusarium wilt) during the growing season. The effectiveness of fungicides against onion diseases was 45.8–100%, depending on the type of disease, drug and crop variety. The highest protective effect of fungicides was provided against downy mildew of onions. The yield of the researched varieties and hybrids increased by an average of 5–25% due to the reduction of plant damage by diseases. The highest technical efficiency against identified diseases and increase in onion yield was obtained by using Fandango 200 ES, KE fungicide with a consumption rate of 1.25 l/ha.

diseases; fungicides; varieties; efficiency; crop capacity

Надійшла до редакції: 27.04.2023

Прийнята до друку: 15.05.2023

Надруковано й опубліковано онлайн: листопад 2023

УДК: 635,21:632.38A/2

© С.О. Кириченко, Н.О. Козуб, 2023

DOI: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2023.2.9-13>

СКРИНІНГ ЛІНІЙ КАРТОПЛІ

за генами стійкості Ry_{chc} та Ry_{adg} проти вірусу Y картоплі

Мета. Молекулярна ідентифікація носіїв генів стійкості проти вірусу Y картоплі (PVY) Ry_{chc} та Ry_{adg} серед ліній картоплі Поліської дослідної станції Інституту картоплярства Національної академії аграрних наук України (НААН). **Методи.** Досліджено 70 зразків картоплі Поліської дослідної станції Інституту картоплярства. Використовували молекулярні маркери, що вказують на наявність у геномі лінії картоплі специфічного Ry гена, що відповідає за реакцію рослини на збудник за типом екстремальної стійкості (ER): маркер Ry_{0186} для ідентифікації гена Ry_{chc} та RYSC-3 для визначення гена стійкості Ry_{adg} . Ген Ry_{chc} ,

С.О. КИРИЧЕНКО,
молодший науковий співробітник

Н.О. КОЗУБ,

доктор біологічних наук
Інститут захисту рослин НААН,
вул. Васильківська, 33, м. Київ,
03022, Україна
e-mail: plant_prot@ukr.net,
natalkozub@gmail.com

походить від *Solanum chacoense*, а ген Ry_{adg} — від *S. tuberosum* ssp. *andigena*. Для визначення генів стійкості до

вірусу картоплі Y використовували метод ПЛР аналізу, продукти ПЛР аналізували електрофорезом в агарозному гелі з додаванням бромистого етидію для візуалізації ампліконів. **Результати.** Скринінг носіїв алелів стійкості за молекулярним маркером Ry_{0186} показав, що 53 зразки (75,72%) мають ген стійкості Ry_{chc} . Алель стійкості Ry_{adg} ідентифікували у 7-ми зразках (10%) за допомогою маркера RYSC-3. Серед проаналізованої вибірки ідентифіковано три зразки (4,2%), які водночас мали обидва шукані гени стійкості проти PVY: П.17.36-8, П.16.21-8, П.17.21/36. При порівнянні з дослідженнями інших авторів у на-

шій вибірці зразків картоплі маємо переважно близький відсоток трапляння гена Ry_{adg} та значно вищу частоту для гена Ry_{chc} . **Висновки.** Лінії картоплі Поліської дослідної станції Інституту картоплярства НААН з ідентифікованими генами стійкості мають потенціал екстремальної стійкості до більшості штамів PVY, у тому числі і до штаму PVY^{NTN}.

картопля; вірус Y картоплі; гени стійкості; молекулярні маркери

Картопля — четверта в світі культура за валовим збором, її річний врожай за 2014—2016 рр. склав в середньому 378 тис. т. У регіонах з нестабільною харчовою безпекою, як от Африка та деякі азійські регіони, дана культура з роками займає все більші площі [1]. Згідно з даними Держкомстату на 2018 р. площі під картоплю в Україні становлять 1319 тис. га, що втричі більше ніж усі інші овочеві культури за той самий період, а середня врожайність — 171 ц/га, що є вищим за медіанний врожай у світі, хоч значно відстає від розвинутих країн [2]. Причиною цьому слугують використання неякісного обладнання, пестицидів і добрив, а також недотримання в певних аспектах технології вирощування, як от, наприклад, сівозмінна тощо. Внаслідок цього на полях картоплі, що вирощується у монокультурі, спостерігається значне збільшення присутності шкідників і хвороб.

Однією з найнебезпечніших хвороб картоплі, розповсюдження якої на полі погано піддається контролю, є *Potivirus Y*. Втрати врожаю, викликані вірусом, залежать від взаємодії конкретного штаму вірусу та картоплі і багатьох інших природних факторів і можуть досягати 80% [3].

Вірус картоплі Y (PVY, вид *Potato virus Y*) є типовим представником роду *Potyvirus*, найбільшої групи вірусів рослин, що містить 128 затверджених і 89 орієнтованих видів [4]. PVY уражує багато економічно важливих видів рослин. До них відносяться картопля (*Solanum tuberosum*), тютюн (*Nicotiana tabacum*), помідор (*Solanum lycopersicum*) та перець (*Capsicum* spp.).

PVY поширений у всьому світі, і є однією з головних проблем для виробників насінневої та промислової картоплі. Основними штамми є PVY⁰, PVY^N та PVY^C [5, 6]. PVY передається понад 50-ма видами попелиць [7]. Вегетативне розмноження картоплі дає можливість вірусам зберігатися з року в рік, що призводить до загального зниження продуктивності. Залежно від сорту, часу вирощування, штаму вірусу та умов навколишнього середовища втрати врожаю, пов'язані з PVY, становлять 10—80% [8]. Існують також сорти картоплі, наприклад *Shepody*, для яких ураження PVY може протікати безсимптомно і не викликатися типових симптомів мозаїки на листках, що зумовлює серйозний ризик для поширення вірусу серед насаджень картоплі [9]. Крім того, відсутність симптомів у заражених рослин означає, що візуальний огляд, як правило, буде неефективним, і що такі рослини є джерелом інкуляції PVY у зонах сільськогосподарського виробництва.

Загальні стратегії контролю для зменшення поширення PVY і, отже, наступних втрат врожаю, залежать від використання здорового, сертифікованого насінневого матеріалу, а також стійких до вірусу сортів. Застосування молекулярних маркерів для ідентифікації цінних генотипів, зокрема форм із кількома генами стійкості, дозволяє значно підвищити ефективність відбору на ранніх етапах селекції.

Нині ідентифіковано три гени стійкості, які надають рослинам картоплі екстремальну стійкість (ER) до PVY, отже вони забезпечують високий рівень стійкості проти широкого спектра штамів вірусу [10]. Ці гени походять від *S. tuberosum* ssp. *andigena* (Ry_{adg}), *S. stoloniferum* (Ry_{sto}) та *S. chacoense* (Ry_{chc}) і знаходяться на хромосомах XI, XII та IX, відповідно [11]. Ry_{chc} було картовано та клоновано зі зразка *S. chacoense* 40-3. Ry_{chc} кодує білок TIR-NLR і забезпечує екстремальну стійкість у рослин картоплі проти штамів PVY⁰, PVY^{N:0} та PVY^{NTN} [12]. Першим картованим геном

стійкості проти PVY був Ry_{adg} . Він походить з культивованого *S. tuberosum* Group *Andigenum*. Локус, що містить Ry_{adg} , використовується в програмах виведення стійких сортів, він ефективний проти всіх відомих штамів PVY, у тому числі PVY^{NTN} [13]. Молекулярні маркери до цих генів мають велике значення для селекціонерів, оскільки вони дозволяють відібрати резистентне потомство від стійких проти PVY батьків на ранніх етапах селекції, коли ще немає достатньо селекційного матеріалу щоб тестувати вірус у полі для відповіді на зараження PVY [11].

Мета досліджень — молекулярна ідентифікація носіїв генів стійкості проти вірусу Y Ry_{chc} та Ry_{adg} серед ліній картоплі Поліської дослідної станції Інституту картоплярства НААН. Ці дані є ключем до розуміння потенціалу селекційних ліній картоплі, та їх відбору для подальшої селекції на якісні ознаки, такі як стійкість проти потівірусу картоплі Y. Порівняння наших даних з результатами, отриманими у інших дослідженнях, може допомогти зрозуміти потенціал ліній картоплі української селекції та визначити донорів стійкості проти *Potivirus Y*.

Матеріал і метод. Матеріалом дослідження слугувала вибірка з 70-ти сортозразків Поліської дослідної станції Інституту картоплярства НААН врожаю 2020 р. (табл.). ДНК виділяли з листя картоплі. Для цього використовували комерційний набір на основі силіки NeoPrep_100 (Неоген™, Україна).

Використовували генетичні маркери Ry_{186} [14] для визначення гена Ry_{chc} та $RYSC-3$ [15] для визначення гена стійкості Ry_{adg} . Для полімеразної ланцюгової реакції використовували суміш реагентів для ампліфікації ДНК PCR MIX 2x HOT (Неоген™, Україна). ПЛР проводили в термоциклері Applied Biosystems 2720 Thermal Cycler.

Для молекулярного маркера Ry_{186} умови ПЛР були такі: початкова денатурація — 10 хв 94°C, 35 циклів (денатурація у

*Вибірка зразків Поліської дослідної станції Інституту картоплярства НААН,
результат скринінгу на гени стійкості до PVY**

№	№ каталожний	Селекційний номер	Походження зразка	Результат (Ru _o -186 ⁵⁸⁷)	Результат (Rych-3)
1	1	П.17.1-4	10.11-5/Аладін	+	-
2	3	П.19.5/18	Ф.09.209-3/10.9-3	+	-
3	4	П.17.8-2	14.36-10/14.4-3	+	-
4	8	П.17.8-45	14.36-10/14.4-3	+	-
5	11	П.17.9-5	14.13/1/12.21/2	+	-
6	13	П.19.9/7	09.26/2/Альянс	+	-
7	14	П.19.9/17	09.26/2/Альянс	+	-
8	15	П.17.12-3	13.18/1/Ф.11.12-8	+	-
9	16	П.17.13/12	13.18/1/Ф.11.12-8	+	-
10	17	П.17.14-4	12.13-14/Ф.11.12-8	+	-
11	18	П.17.14-10	12.13-14/Ф.11.12-8	+	-
12	20	П.19.15/19	Радомисль/Світлана	+	-
13	21	П.18.17/4	13.6-4/15.4/40	-	-
14	22	П.17.8-3	Ф.11.8-8/Бажанна	+	-
15	24	П.17.19-2	13.54-2/Взірець	-	-
16	25	П.17.19/5	13.54-2/Взірець	+	-
17	29	П.17.19-26	13.54-2/Взірець	+	-
18	31	П.17.20-13	Палац/Взірець	+	-
19	32	П.17.20-30	Палац/Взірець	+	-
20	33	П.19.22/2	12.14-8/13.56-2	+	-
21	34	П.19.22/36	12.14-8/13.56-2	+	-
22	39	П.17.27-3	13.17-1/Взірець	+	-
23	40	П.17.28-6	Лілея/Взірець	+	-
24	42	П.17.29-3	Вектар/Взірець	+	-
25	43	П.17.29-5	Вектар/Взірець	+	-
26	44	П.17.29-7	Вектар/Взірець	+	-
27	45	П.19.29/6	13.42/3/Сонцедар	+	-
28	49	П.17.33-3	Лель/Взірець	+	-
29	50	П.18.33/1	15.13-20/Адрета	-	-
30	51	П.18.33/7	15.13-20/Адрета	-	-
31	52	П.17.36-8	Батя/Взірець	+	+
32	54	П.18.36/1	Маніфест/15.67-3	-	-
33	55	П.17.38-1	Вектар/Радомисль	+	-
34	59	П.17.38-11	Вектар/Радомисль	+	-
35	63	П.17.38-33	Вектар/Радомисль	+	-
36	68	П.17.40-1	Янка/Вігода	+	-
37	71	П.18.45/7	12.35-1/10.10/35	+	-
38	72	П.17.51-2	00.31/26/Сантарка	+	-
39	73	П.18.51/3	Н.08.197/105/ Ред Конік	+	-
40	75	П.18.55/15	Радомисль/ Беллароза	+	-
41	76	П.18.56/7	Поран/Радінка	-	-
42	78	П.18.61/7	Взірець/ Талачинський	-	-
43	79	П.18.65/8	Н.09236.с/1/Маг	-	-
44	82	П.18.69/2	Н.08.173/9/ Фальварк	-	-
45	84	П.18.74/1	15.23/1/Слаута	-	-
46	85	П.18.75/8	Чарунка/Альянс	+	-
47	87	П.18.75/23	Чарунка/Альянс	-	-
48	89	П.18.78/1	Летана/Фальварок	+	-
49	91	П.18.87/2	ґ.Б.9-10-11	+	-
50	96	Г.08.194/33	89.715с88/Тирас	-	-
51	101	Г.08.197/48	91.285с5/Сантарка	+	-
52	103	Г.10.3/11	87.791с4/Тирас	+	+
53	104	Г.10.6/7	89.715с88/Тирас	+	-
54	115	П.17.1/13	10.11-5/Аладін	+	-
55	117	П.16.2-9	10.42/7/Н.07.162-1	-	-
56	119	П.17.2/5	13.45-3/Аладін	-	+
57	120	П.17.3-1	Поран/Аладін	+	-
58	122	П.17.4/22	13.41-6/Аладін	+	-
59	123	П.17.5-1	13.51-13/14.36-13	-	+
60	124	П.17.8/18	10.36-10/14.4-3	+	-
61	126	ВМ.12.9-8	Батя/Беллароза	-	+
62	127	П.17.12/16	13.18/1/Ф.11.12-8	+	-
63	128	П.17.13/7	Ф.11.12-8/Бажана	+	-
64	129	П.16.16-9	12.2-3/12/19-15	+	-
65	132	П.17.18/9	Ф.11.8-8/Бажана	-	-
66	134	П.17.18/13	Ф.11.8-8/Бажана	-	-
67	135	П.17.19/1	13.54-2/Взірець	+	-
68	141	П.16.20-4	09.26/2/08.102/4	+	-
69	142	П.16.21-8	09.26/2/09.62/1	+	+
70	143	П.17.21/36	12.48-22/Сонцедар	+	+

Примітка: *+ присутність гена стійкості;
- відсутність гена стійкості.

циклі 30 с, 94°C, відпал у циклі 30 с, 54°C, елонгація 1 хв, 72°C), фінальна елонгація 5 хв, 72°C. Довжина маркерного амплікону за наявності гена стійкості *Ry_{che}* — 587 п.н.

Для молекулярного маркера *RYSC-3* умови проведення ПЛР-реакції були такими: початкова денатурація — 12 хв, 94°C, 36 циклів

(денатурація у циклі 45 с, 95°C, відпал у циклі 45 с, 60°C, елонгація 1 хв, 72°C), фінальна елонгація 7 хв 72°C. Маркерний амплікон — 321 п.н. Для контролю якості виділення ДНК використовували маркер *BCH* на ген бета-каротингидроксилази, що давав амплікон завдовжки в 290 п.н.

Продукти ПЛР аналізували

електрофорезом у 2% агарозному гелі з 1х ТВЕ буфером із додаванням бромистого етидію. Гелі фотографували за допомогою системи для гелі-документації VISION Gel.

Результати і обговорення.

Приклад електрофореграми продуктів ПЛР з маркером *Ry_o186* до гена *Ry_{che}* наведено на рисунку 1,

де носії алеля стійкості мають амплікон 587 пар нуклеотидів. Ген стійкості *Ry_{chc}* у даній вибірці було ідентифіковано у 53-х сортозразках (75,72%), (табл.).

Результати ПЛР з праймерами до маркера *RYSC-3* гена *Ry_{adg}* наведено на рисунку 2. Алель стійкості *Ry_{adg}* ідентифікували в 7-ми зразках (10%), (табл.).

Серед проаналізованої вибірки ідентифіковано три зразки (4,2% від проаналізованої вибірки), які водночас мали обидва шуканих гени стійкості проти PVY: П.17.36-8 (від схрещування Батя/Взірець), П.16.21-8 (09.26/2/09.62/1), П.17.21/36 (12.48-22/Сонцедар). Отже, ці лінії картоплі, скоріше за все, мають екстремальну стійкість до більшості штамів PVY.

Для контролю вірусних хвороб сільськогосподарських культур необхідно створити базу стійких сортів для подальшої селекції на закріплення потрібних ознак. У роботі було досліджено частоту алелів стійкості проти *Potivirus Y* у зразках картоплі, що ще не пройшли держреєстрацію. Дослідження такого рослинного матеріалу на ранніх стадіях впровадження може допомогти зрозуміти потенційну стійкість майбутнього сорту проти хвороб. У дослідженій вибірці зразків виявлено високу частоту гена *Ry_{chc}* та значно меншу частоту гена *Ry_{adg}*.

При дослідженні вибірки 271 чилійських сортів з використанням маркера *RYSC-3* виявили 36,5% носіїв гена *Ry_{adg}* (99 зразків) [16]. У цій же роботі ідентифіковано 17 носіїв (6,2%) іншого гена стійкості до PVY — *Ry_{sto}* від дикого виду *S. stoloniferum* за допомогою маркера *YES3-3B STS*. Нарешті, було сім зразків (2,5%), які мали обидва маркери, пов'язані із резистентністю до PVY [16]. Серед вибірки 119-ти сортів картоплі різного походження Bhardwaj et al. виявили 11 носіїв *Ry_{adg}* (9,2 %) і 22 носії гена *Ry_{sto}* (18,4%), з них 3 (2,5%) мали обидва гени [17]. Elison et al. досліджували 306 зразків картоплі селекційної програми ARS-Aberdeen (Aberdeen potato breeding program) за допомогою

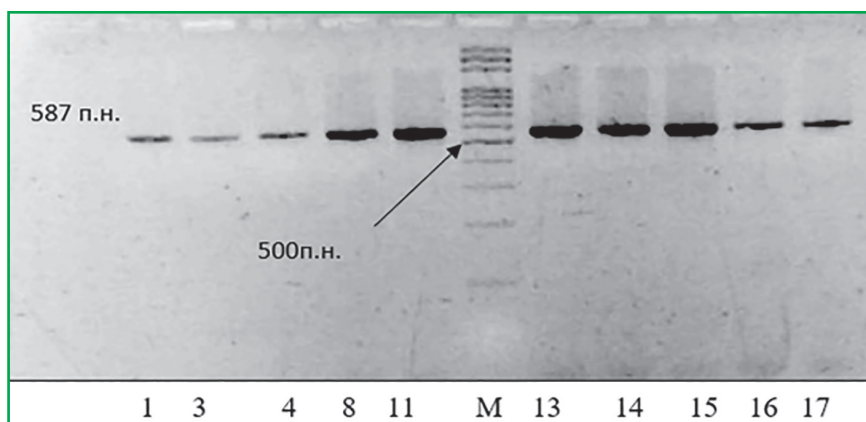


Рис. 1. Результати ПЛР-аналізу за маркером *Ry₁₈₆* (ген *Ry_{chc}*) сортозразків картоплі (номери на малюнку відповідають каталожним)

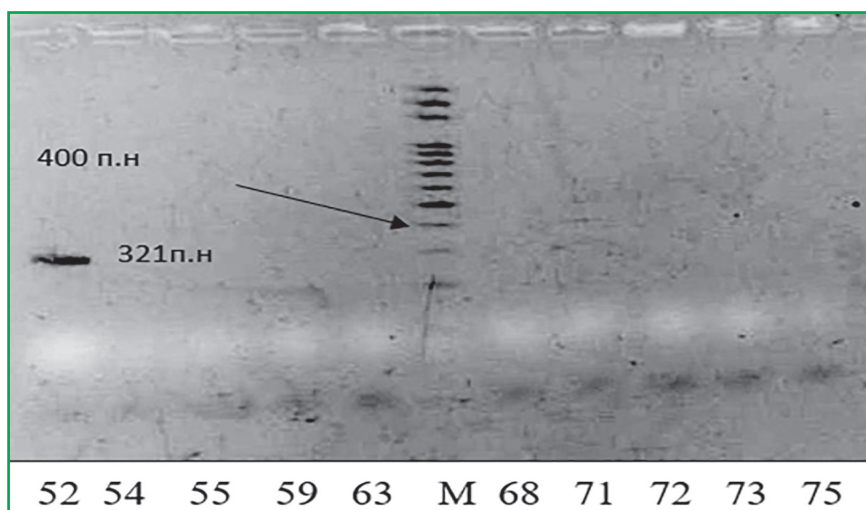


Рис. 2. Результати візуалізації зразків за маркером *RYSC-3* (ген *Ry_{adg}*) (номери на малюнку відповідають каталожним)

мультиплексної реакції і виявили 38 зразків з геном *Ry_{adg}* (12,40%, за маркером *RYSC-3*), 26 зразків з геном *Ry_{chc}* (8,5%, за маркером *Ry-186*), та 81 зразок з геном *Ry_{sto}* (26,4% за маркером *YES3-3*) [11]. Отже, у дослідженій нами вибірці сортозразків картоплі частота присутності гена *Ry_{adg}* є на рівні частот, виявлених у колекціях [11, 17], у той же час частота *Ry_{chc}* є значно вищою, ніж у вибірці чилійських сортів [16] та в колекції ARS-Aberdeen [11].

У роботі Zimnoch-Guzowska et al. [18] 133 зразки було досліджено на польову стійкість проти 4-х штамів PVY. З них 23 (17%) показали екстремальну резистентність до всіх чотирьох інокулятив. Такі сорти можна використовувати в якості джерел стійкості проти Потівірусу і як посадковий матеріал у зонах з ризиком ураження насаджень да-

ною хворобою. Ще 44 (33%) сорти були стійкими проти двох чи більше патотипів вірусу картоплі Y [18]. У дослідженнях Bhoi була розкрита взаємодія вірус-вектор-рослина-хазяїн на прикладі Потівірусу Y, попелиць та картоплі. Дана робота дозволяє нам зрозуміти механізми зараження посадкового матеріалу впродовж одного сезону на полі, а також важливість впровадження стійких сортів для нівелювання впливу інфекційного фону даної хвороби [19]. Valkonen et al. дослідили *Ry* гени і тип чутливості. Екстремальна резистентність до вірусу Y була показана у польових умовах [20]. У даній роботі було зазначено, що добір за допомогою маркерів забезпечує ефективність відбору ознак, які контролюються мажорними генами або локусами кількісних ознак (QTL) із великим ефектом [20].

ВИСНОВКИ

Встановлено наявність гена Ry_{chc} у більшості досліджуваних зразків (75,72%). Аallel гена Ry_{adg} був присутнім у значно меншій кількості зразків: у даній вибірці було всього сім сортозразків (10%) з цим геном стійкості. Ідентифіковано три зразки, що мають обидва гени стійкості. За порівняння з дослідженнями інших авторів у нашій вибірці зразків маємо переважно близький відсоток трапляння гена Ry_{adg} та значно вищу частоту трапляння гена Ry_{chc} . Отже, лінії картоплі Поліської дослідної станції Інституту картоплярства НААН з ідентифікованими генами стійкості мають потенціал екстремальної стійкості проти більшості штамів PVY, у тому числі і проти штаму PVY^{NTN}.

Фінансування: Дослідження проводили в рамках ПНД 24. «Фітосанітарна безпека, захист і карантин рослин (Захист рослин)» Підпрограма 01. «Формування фітопатогенного комплексу та створення стійких сортів рослин проти хвороб» («Фітопатологія») 24.01.01.01Ф №ДР 0121U000082.

Конфлікт інтересів: автори декларують про відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

- Campos H., Ortiz O. (Eds.) (2020). The Potato Crop. Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind; Springer: Cham, Switzerland. 518 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5>
- Internet Archive. Рослинництво у 2010-2013pp. URL: https://web.archive.org/web/20170703173323/http://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2006/sg/sg_rik/sg_u/rosl_u.html
- Ahmadvand R., Takacs A., Taller J. et al. (2012). Potato viruses and resistance genes in potato. *Acta Agron. Hung.* 60, 283-298. doi: 10.1556/AAgr.60.2012.3.10
- Fauquet C.M., Mayo M.A., Maniloff J., Desselberger U., Ball L.A. (2005) Virus taxonomy. Eighth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses. Elsevier Academic Press, San Diego, CA, USA, 1259 pp.
- Singh R.P., Valkonen J.P.T., Gray S.M., et al (2008). Discussion paper: The naming of Potato virus Y strains infecting potato. *Arch. Virol.* 153, 1-13. doi: 10.1007/s00705-007-1059-1
- Solomon-Blackburn R.M., Barker H. (2001). A review of host major-gene resistance to potato viruses X, Y, A and V in potato: Genes, genetics and mapped locations. *Heredity* 86, 8-16. doi: 10.1046/j.1365-2540.2001.00798.x
- Radcliffe E., Ragsdale D. (2002). Aphid-transmitted potato viruses: The importance of understanding vector biology. *Am. J. Potato Res.* 79, 353-386. doi: 10.1007/BF02870173
- Ottoman R., Hane D., Brown C., Yilma S., James S., Mosley A., Crosslin J., Vales M. (2009). Validation and implementation of marker-assisted selection (MAS) for PVY resistance (Ry_{adg} gene) in a tetraploid potato breeding program. *Am. J. Potato Res.* 86, 304-314. doi: 10.1007/s12230-009-9084-0.
- Nolte P., Whitworth J.L., Thornton M.K., McIntosh C.S. (2004). Effect of seedborne Potato virus Y on performance of Russet Burbank, Russet Norkotah, and Shepody potato. *Plant Dis.* 88, 248-252. doi: 10.1094/PDIS.2004.88.3.248
- Gebhardt C., Valkonen J.P.T. (2001). Organization of genes controlling disease resistance in the potato genome. *Ann. Rev. Phytopathol.* 39, 79-102. doi: 10.1146/annurev.phyto.39.1.79
- Elison G.L., Hall D.G., Novy R.G. et al. (2020). Development and application of a multiplex marker assay to detect PVY resistance genes in *Solanum tuberosum*. *Am. J. Potato Res.* 97, 289-296. <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09777-1>
- Li G., Shao J., Wang Y. et al. (2022). Ry_{chc} confers extreme resistance to Potato virus Y in potato. *Cells* 11(16), 2577. <https://doi.org/10.3390/cells11162577>
- María del Rosario Herrera et al. (2018). Molecular and genetic characterization of the Ry_{adg} locus on chromosome XI from Andigena potatoes conferring extreme resistance to potato virus Y. *Theor Appl Genet.* 131(9), 1925-1938. doi: 10.1007/s00122-018-3123-5
- Mori K., Sakamoto Y., Mukojima N. et al. (2011). Development of a multiplex PCR method for simultaneous detection of diagnostic DNA markers of five disease and pest resistance genes in potato. *Euphytica.* 180, 347-355. doi: 10.1007/s10681-011-0381-6
- Kasai K., Morikawa Y., Sorri V.A., Valkonen J.P. et al. (2000). Development of SCAR markers to the PVY resistance gene Ry_{adg} based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome* (1), 1-8. doi:10.1139/GEN-43-1-1
- López M., Riegel R., Lizana C., & Behn A. (2015). Identification of virus and nematode resistance genes in the Chilota Potato Genebank of the Universidad Austral de Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(3), 320-327. doi:10.4067/s0718-58392015000400008
- Bhardwaj V., Sharma R., Dalamu, Srivastava A. K., Baswaraj R., Singh R., & Singh B.P. (2015). Molecular characterization of potato virus Y resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Indian J. Genet. Plant Breed.* 75(03), 389-392. <https://doi.org/10.5958/0975-6906.2015.00062.0>
- Zimnoch-Guzowska E., Yin Z., Chrzanoska M., Flis B. (2013). Sources and effectiveness of potato PVY resistance in IHar's breeding research. *Am. J. Potato Res.* 90(1), 21-27. doi:10.1007/s12230-012-9289-5
- Bhoi T.K., Samal I., Majhi P.K., Komal J., Mahanta D.K., Pradhan A.K., Saini V., Nikhil Raj M., Ahmad M.A., Behera P.P. and Ashwini M. (2022). Insight into aphid mediated Potato Virus Y transmission: A molecular to bioinformatics prospective. *Front. Microbiol.* 13, 1001454. doi:10.3389/fmicb.2022.1001454
- Valkonen J.P.T., Gebhardt C., Zimnoch-Guzowska E., Watanabe K.N. (2017). Resistance to Potato virus Y in potato. In: Lacomme C., Glais L., Bellstedt D., Dupuis B., Karasev A., Jacquot E. (eds) *Potato Virus Y: Biodiversity, Pathogenicity, Epidemiology and Management*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58860-5_8

Kyrychenko S.,
ORCID: 0000-0002-4325-4022
Kozub N.,
ORCID: 0000-0002-3572-1786
Plant Protection Institute of NAAS,
33, Vasylykivska str., Kyiv,
03022, Ukraine
e-mail: s.a.kyrychenko@gmail.com,
natalkozub@gmail.com

Screening of potato breeding lines for the potato virus Y resistance genes Ry_{chc} and Ry_{adg}

Goal. Molecular identification of carriers of the potato virus Y (PVY) resistance genes Ry_{chc} and Ry_{adg} among potato lines of the Polissia Research Station of the Institute of Potato Growing of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. **Methods.** Seventy potato lines produced by the Polissia Research Station of the Institute of Potato Growing were studied. We used molecular markers indicating the presence of specific Ry genes in the genome of the potato lines. Those genes are responsible for the plant's response to the pathogen by the extreme resistance (ER) type: the Ry_{o186} marker for the identification of the Ry_{chc} gene, and $RYSC-3$ for the determination of the Ry_{adg} resistance gene. The gene Ry_{chc} derives from *Solanum chacoense*, and the Ry_{adg} gene from *S. tuberosum* ssp. *andigena*. For determining the PVY resistance genes, PCR analysis was used, and PCR products were analyzed by electrophoresis in an agarose gel supplemented with ethidium bromide to visualize amplicons. **Results.** Screening of carriers of resistance alleles with the molecular marker Ry_{o186} showed that 53 lines (75.72%) carried the resistance gene Ry_{chc} . The Ry_{adg} resistance allele was identified in 7 lines (10%) using the $RYSC-3$ marker. Among the analyzed sample, there were three lines (4.2%) which simultaneously carried both PVY resistance genes: P.17.36-8, P.16.21-8, and P.17.21/36. When compared with the studies of other authors, in our sample of potato breeding lines we have mostly a similar percentage of occurrence of the Ry_{adg} gene and a much higher frequency of the Ry_{chc} gene. **Conclusions.** Thus, the potato lines of the Polissia Research Station of the Institute of Potato Growing with the identified resistance genes have the potential for extreme resistance to most PVY strains, including the PVY^{NTN} strain.

potato; potato virus Y; resistance genes; molecular markers

Надійшла до редакції: 22.05.2023
Прийнята до друку: 30.05.2023
Надруковано й опубліковано онлайн:
липень 2023