International Journal of Education, Social Science & Humanities.
Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-14| Issue-11| 2026 Published: |22-11-2026|

УЎК 633.491:632.4:577.21

КАРТОШКАНИНГ ФИТОФТОРОЗГА ЧИДАМЛИЛИК ГЕНЛАРИНИ МОЛЕКУЛЯР МАРКЕРЛАР ЁРДАМИДА АНИҚЛАШ

[1], Раҳимов Э.Р[2], Хусанов А.К[3], Асадуллайев А.Р[4]
[1]СПЕ ва КИТИ Наманган ИТС қ.х.ф.ф.д.,(PhD),
[2]СПЕ ва КИТИ Наманган ИТС директори,
[3]СПЕ ва КИТИ Наманган ИТС селекция ва уруғчилик лабаратория мудири,
[4]СПЕ ва КИТИ Наманган ИТС агротехнология ва ўсимликлар ҳимояси лабораторияси, мудири

Аннотация

Мақолада картошканинг фитофторозга (*Phytophthora infestans*) чидамлилик генлари R1, R3a, Rpi-blb1 ва Rpi-vnt1.1 нинг келиб чиқиши, хромосомадаги ўрни, улар таниб оладиган авирулентлик эффекторлари ҳамда уларни аниқлаш учун қўлланиладиган SCAR маркерлари (R1-1206, R3a-1380, Blb1-821, Rpi-vnt1-612) таҳлил қилинган. R1 ва R3a генлари ирқ-специфик бўлиб, патоген томонидан тез енгилган, Rpi-blb1 ва Rpi-vnt1.1 эса кенг спектрли чидамлилик беради. Маркер мавжудлиги ҳамма вақт функционал генни англатмаслиги кўрсатилган. Наманган илмий-тажриба станцияси учун селекция материалини скрининг қилиш тартиби ва генларни пирамидалаш бўйича тавсиялар берилган.

Калит сўзлар

картошка, фитофтороз, Phytophthora infestans, R1, R3a, Rpi-blb1, Rpi-vnt1.1, SCAR маркерлар, ПЦР, генлар пирамидаси.

ВЫЯВЛЕНИЕ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ КАРТОФЕЛЯ К ФИТОФТОРОЗУ С ПОМОЩЬЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ

Аннотация

В статье проанализированы происхождение, хромосомная локализация и распознаваемые эффекторы авирулентности генов устойчивости картофеля к фитофторозу (*Phytophthora infestans*) R1, R3a, Rpi-blb1 и Rpi-vnt1.1, а также SCAR-маркеры для их выявления (R1-1206, R3a-1380, Blb1-821, Rpi-vnt1-612). Гены R1 и R3a расоспецифичны и быстро преодолеваются патогеном, тогда как Rpi-blb1 и Rpi-vnt1.1 обеспечивают устойчивость широкого спектра.

International Journal of Education, Social Science & Humanities.
Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-14| Issue-11| 2026 Published: |22-11-2026|

Показано, что наличие маркера не всегда означает присутствие функционального гена. Для Наманганской научно-опытной станции предложены порядок скрининга селекционного материала и рекомендации по пирамидированию генов.

Ключевые слова

картофель, фитофтороз, Phytophthora infestans, R1, R3a, Rpi-blb1, Rpi-vnt1.1, SCAR-маркеры, ПЦР, пирамидирование генов.

IDENTIFICATION OF POTATO LATE BLIGHT RESISTANCE GENES USING MOLECULAR MARKERS

Abstract. The article analyses the origin, chromosomal location and recognised avirulence effectors of the potato late blight (*Phytophthora infestans*) resistance genes R1, R3a, Rpi-blb1 and Rpi-vnt1.1, as well as the SCAR markers used to detect them (R1-1206, R3a-1380, Blb1-821, Rpi-vnt1-612). R1 and R3a are race-specific and have been rapidly overcome by the pathogen, whereas Rpi-blb1 and Rpi-vnt1.1 confer broad-spectrum resistance. The presence of a marker does not always indicate a functional gene. A screening procedure for breeding material and recommendations on gene pyramiding are proposed for the Namangan Scientific-Experimental Station.

Keywords

potato, late blight, Phytophthora infestans, R1, R3a, Rpi-blb1, Rpi-vnt1.1, SCAR markers, PCR, gene pyramiding.

Кириш. Картошка Ўзбекистонда асосий озиқ-овқат экинларидан бири бўлиб, 253 минг гектар майдонга экилади [1]. Фитофтороз (қўзғатувчиси *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) картошканинг дунёдаги энг хавфли касаллиги ҳисобланади: ҳосил йўқотилиши ва кимёвий кураш харажатлари йилига 9 млрд евродан ортиқ баҳоланган [2, 3]. Ўзбекистонда касаллик илк бор 1974 йилда қайд этилган, 2017 йилда Тошкент давлат аграр университети ўқув хўжалигида эртаги картошка экинларида унинг ривожланиши 27,9–36,3% ни ташкил этган [4]. Фитофтороз республикада картошканинг энг зарарли касаллиги сифатида баҳоланади [5].

Касалликка қарши энг тежамли ва экологик хавфсиз йўл — чидамли навлар яратиш. Картошканинг фитофторозга чидамлилиги ёввойи *Solanum* турларидан ўтказилган R (Rpi) генлари билан белгиланади. Бу генлар NB-LRR туридаги иммун рецепторларни кодлайди ва патогеннинг тегишли

International Journal of Education, Social Science & Humanities.
Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-14| Issue-11| 2026 Published: |22-11-2026|

авирулентлик (Avr) эффекторларини таниб, ўта сезгирлик реакциясини қўзғатади [3].

Фенотипик баҳолаш натижалари патоген популяцияси ва об-ҳаво шароитига боғлиқ бўлиб, битта генотипдаги бир нечта генни бир-биридан ажратишга имкон бермайди. Ген-специфик молекуляр маркерлар эса генларни муҳитдан қатъи назар, ўсимликнинг эрта даврида аниқлайди: F1 авлодини танлашда маркерга асосланган селекция (MAS) иш ҳажмини икки баравар камайтириши кўрсатилган [6]. Ўзбекистонда картошка навлари ва селекция материалини фитофторозга чидамлилик генлари бўйича молекуляр баҳолаш ҳали етарлича ўрганилмаган.

Мақоланинг мақсади — R1, R3a, Rpi-blb1 ва Rpi-vnt1.1 генлари ҳамда уларни аниқлайдиган молекуляр маркерлар бўйича маълумотларни таҳлил қилиш ва Наманган илмий-тажриба станциясида селекция материалини ушбу генлар бўйича скрининг қилиш тартибини асослаш.

Материаллар ва услублар

Тадқиқот объекти — Сабзавот, полиз экинлари ва картошкачилик илмий-тадқиқот институти Наманган илмий-тажриба станциясининг картошка навлари коллекцияси ва селекция намуналари. Ишда R1, R3a, Rpi-blb1 ва Rpi-vnt1.1 генларини клонлаш ва уларнинг маркерларини қўллаш бўйича 2002–2025 йилларда Web of Science, Scopus, Google Scholar ва eLIBRARY базаларида чоп этилган тадқиқотлар қиёсий-таҳлилий усулда ўрганилди. Ҳар бир ген бўйича манба тури, хромосомадаги ўрни, Avr эффектори, маркер праймерлари ва ПЦР шароити ҳамда маркер ва чидамлилик боғлиқлиги таҳлил қилинди.

Натижалар ва муҳокама

Генларнинг тавсифи. R1 ва R3a генлари ёввойи *S. demissum* туридан ўтказилган. R1 гени V хромосомада жойлашган, LZ-NB-LRR синфига мансуб оқсилни кодлайди ва 2002 йилда клонланган [7]. R3a гени XI хромосомадаги CC-NB-LRR гени бўлиб, 2005 йилда ажратилган [8]. Улар мос равишда Avr1 ва Avr3a эффекторларини танийди ва ирқ-специфик бўлгани учун патоген томонидан тез енгилган: масалан, Avr3a нинг EM шаклига эга изолятлар R3a томонидан танилмайди [3].

Rpi-blb1 (RB) гени *S. bulbocastanum* туридан 2003 йилда икки гуруҳ томонидан мустақил равишда клонланган ва VIII хромосомада жойлашган [9, 10]. У кенг спектрли чидамлилик беради ва Avrblb1 (IpiO) эффекторини танийди, аммо III синф IpiO вариантига эга изолятлар бу ген томонидан танилмайди [3]. Rpi-vnt1.1 гени *S. venturii* туридан ажратилган бўлиб,

International Journal of Education, Social Science & Humanities.
Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-14| Issue-11| 2026 Published: |22-11-2026|

помидорнинг Tm-2² генига гомолог [11]; у IX хромосомада жойлашган, Avrvnt1 эффекторини танийди ва кўпчилик изолятларга чидамлилик беради [3]. Генлар тавсифи 1-жадвалда умумлаштирилган.

1-жадвал.

Фитофторозга чидамлилик генларининг тавсифи

Ген (хромосома)	Манба тури	Avr эффектори	Чидамлилик тури
R1 (V)	S.demissum	Avr1	Ирқ-специфик, патоген томонидан енгилган
R3a (XI)	S.demissum	Avr3a	Ирқ-специфик, Avr3a ЕМ шаклли изолятлар енгади
Rpi-blb1 (VIII)	S.bulbocastanum	Avrblb1 (IpiO)	Кенг спектрли, III синф IpiO ли изолятлар енгади
Rpi-vnt1.1 (IX)	S.venturii	Avrvnt1	Кенг спектрли, EC1 ва EC3626 изолятлари енгади

Ген-специфик маркерлар. Генлар клонлангач, уларнинг кетма-кетлиги асосида ген-специфик SCAR маркерлари ишлаб чиқилган. Тўртта ген учун кенг қўлланиладиган маркерлар праймерлари 2-жадвалда келтирилган. ПЦР маҳсулотлари ўлчами (612–1380 bp) бир-биридан фарқ қилгани учун улар агароза гелида осон ажратилади.

R1 маркери айрим манбаларда R1-1205 номи билан келтирилади [12]. Rpi-vnt1-612 маркери эса Rpi-vnt1.3 номи билан ҳам учрайди [13]; у Rpi-vnt1 аллелларини бир-биридан ажратмаслиги мумкин, шу сабабли Rpi-vnt1.1 ни аниқ тасдиқлаш учун ПЦР маҳсулотини секвенирлаш мақсадга мувофиқ. Blb1-821 маркери селекцияда ҳам қўлланилган: 100 та F1 авлодидан 45 тасида Rpi-blb1 ва Rpi-bt1 маркерлари бирга аниқланган ва улардан 39 таси баргда фитофторозга чидамли бўлган, аммо бу генлар туганакларни касалликдан сезиларли ҳимоя қилмаган [14]. *S. bulbocastanum* соматик дурагайларининг беккросс авлодларида эса Rpi-blb1, Rpi-blb3, R3a ва R3b генларини сақлаган клонлар маркерлар ёрдамида танланган [15].

2-жадвал.

Генларни аниқлаш учун SCAR маркерлари

Ген / маркер	Праймерлар кетма-кетлиги, 5′→3′	Маҳсулот (bp); бирикиш, °C
R1 / R1-1206	F: CACTCGTGACATATCCTCACTA R: GTAGTACCTATCTTATTTCTGCAAGAAT	1206; 61
R3a / R3a-1380	F: TCCGACATGTATTGATCTCCCTG R: AGCCACTTCAGCTTCTTACAGTAGG	1380; 64

International Journal of Education, Social Science & Humanities.
Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-14| Issue-11| 2026 Published: |22-11-2026|

Rpi-blb1 / Blb1-821	F: AACCTGTATGGCAGTGGCATG R: GTCAGAAAAGGGCACTCGTG	821; 62
Rpi-vnt1 / Rpi-vnt1-612	F: CCTTCCTCATCCTCACATTTAG R: GCATGCCAACTATTGAAACAAC	612; 58

Маркер натижаларини талқин қилиш. Маркер мавжудлиги ҳамма вақт функционал генни англатмайди. Қозоғистоннинг 352 та генотипида R1 гени учун учта турли маркер мос равишда 35, 96 ва 76 та намунада мусбат натижа берган [16], яъни натижа танланган маркерга боғлиқ. ВИР коллекциясининг 117 та намунасида Rpi-vnt1-612 маркери кутилмаганда бошқа Шимолий Америка турларида ҳам топилган [12]. Маркерлар экспрессиясини ўрганиш R3a гомологлари *S. demissum* дан ташқарида фаол эмаслигини кўрсатган [13]. Шу сабабли маркер натижалари фенотипик тестлар билан тасдиқланиши лозим (1-расм).

Генлар пирамидаси. Ирқ-специфик R1 ва R3a генлари якка ҳолда узоқ муддатли ҳимоя бермайди, кенг спектрли Rpi-blb1 ва Rpi-vnt1.1 генлари ҳам айрим изолятлар томонидан енгилган [3]. Шу сабабли бир навда бир нечта генни бирлаштириш (пирамидалаш) чидамлиликнинг барқарорлигини оширишнинг асосий йўли ҳисобланади [3, 2]. Масалан, 68 та F1 клони 11 та маркер билан текширилиб, бешта генни сақлаган иккита клон ажратилган [6].



International Journal of Education, Social Science & Humanities.
Finland Academic Research Science Publishers
ISSN: 2945-4492 (online) | (SJIF) = 8.09 Impact factor
Volume-14| Issue-11| 2026 Published: |22-11-2026|

1-расм. Селекция материалини фитофторозга чидамлилик генлари бўйича скрининг қилиш тартиби

Станцияда қуйидаги ишларни амалга ошириш мақсадга мувофиқ:

1) навлар, дурагайлар ва селекция клонларини 2-жадвалдаги маркерлар (R1 учун қўшимча маркер) билан мусбат ва манфий назорат намуналари иштирокида скрининг қилиш;

2) маркер бўйича мусбат генотипларни маҳаллий *P.infestans* изолятлари билан узилган барг тести ва дала баҳолаши орқали текшириш;

3) Rpi-blb1 ва Rpi-vnt1.1 ташувчиларини асосий чидамлилик манбаи сифатида ўзаро ва R1, R3a ташувчилари билан чатиштириб, F1 авлодида генлар пирамидасини маркерлар ёрдамида танлаш;

4) станция материалининг ген профили маълумотлар базасини яратиш ва ота-оналарни танлашда ундан фойдаланиш.

Хулоса

1. R1 ва R3a генлари ирқ-специфик ва патоген томонидан енгилган; Rpi-blb1 ва Rpi-vnt1.1 кенг спектрли, селекция учун истиқболли генлардир.

2. R1-1206, R3a-1380, Blb1-821 ва Rpi-vnt1-612 SCAR маркерлари ушбу генларни оддий ПЦР ёрдамида тез аниқлаш имконини беради.

3. Маркер мавжудлиги функционал генни кафолатламайди, натижалар фенотипик тестлар билан тасдиқланиши лозим.

4. Наманган илмий-тажриба станциясида селекция материалини ушбу маркерлар билан скрининг қилиш ва генларни пирамидалаш фитофторозга чидамли навлар яратишни тезлаштиради.

АДАБИЁТЛАР:

1. Uzbekistan aims to boost potato farming and meet domestic demand by 2025 [Electronic resource] // Gazeta.uz. — 2023. — 20 April. — URL: https://www.gazeta.uz/en/2023/04/20/potato/

2. Haverkort A.J., Boonekamp P.M., Hutten R. et al. Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: scientific and societal advances in the DuRPh project // Potato Research. — 2016. — Vol. 59, No. 1. — P. 35–66.

3. Paluchowska P., Śliwka J., Yin Z. Late blight resistance genes in potato breeding // Planta. — 2022. — Vol. 255. — Art. 127.

4. Khamiraev U. Availability of Phytophthora infestans (Mont.) de Bary on the Uzbekistan territory and modern fungicides application to control it // Bulletin of Science and Practice. — 2018. — Vol. 4, No. 2. — P. 148–152.

5. Rakhimov U., Khamiraev U., Alikulov A. Some biological characteristics of the Phytophthora infestans fungus provoking phytophthorosis disease in potatoes // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022). — Cham: Springer, 2024. — P. 777–786.

6. Beketova M.P., Chalaya N.A., Zoteyeva N.M. et al. Combination breeding and marker-assisted selection to develop late blight resistant potato cultivars // Agronomy. — 2021. — Vol. 11, No. 11. — Art. 2192.

7. Ballvora A., Ercolano M.R., Weiß J. et al. The R1 gene for potato resistance to late blight (Phytophthora infestans) belongs to the leucine zipper/NBS/LRR class of plant resistance genes // The Plant Journal. — 2002. — Vol. 30, No. 3. — P. 361–371.

8. Huang S., van der Vossen E.A.G., Kuang H. et al. Comparative genomics enabled the isolation of the R3a late blight resistance gene in potato // The Plant Journal. — 2005. — Vol. 42, No. 2. — P. 251–261.

9. van der Vossen E., Sikkema A., te Lintel Hekkert B. et al. An ancient R gene from the wild potato species Solanum bulbocastanum confers broad-spectrum resistance to Phytophthora infestans in cultivated potato and tomato // The Plant Journal. — 2003. — Vol. 36, No. 6. — P. 867–882.

10. Song J., Bradeen J.M., Naess S.K. et al. Gene RB cloned from Solanum bulbocastanum confers broad spectrum resistance to potato late blight // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. — 2003. — Vol. 100, No. 16. — P. 9128–9133.

11. Foster S.J., Park T.-H., Pel M. et al. Rpi-vnt1.1, a Tm-2² homolog from Solanum venturii, confers resistance to potato late blight // Molecular Plant-Microbe Interactions. — 2009. — Vol. 22, No. 5. — P. 589–600.

12. Rogozina E.V., Gurina A.A., Chalaya N.A. et al. Diversity of late blight resistance genes in the VIR potato collection // Plants. — 2023. — Vol. 12, No. 2. — Art. 273.

13. Sokolova E., Beketova M., Kazakov O., Martynov V. Expression of late blight resistance gene markers in potato varieties and wild Solanum species // Journal of Applied Biology and Biotechnology. — 2025. — Vol. 13, No. 3. — P. 82–88.

14. Chen S., Borza T., Byun B. et al. DNA markers for selection of late blight resistant potato breeding lines // American Journal of Plant Sciences. — 2017. — Vol. 8, No. 6. — P. 1197–1209.

15. Rakosy-Tican E., Thieme R., König J. et al. Introgression of two broad-spectrum late blight resistance genes, Rpi-Blb1 and Rpi-Blb3, from Solanum bulbocastanum Dun plus race-specific R genes into potato pre-breeding lines // Frontiers in Plant Science. — 2020. — Vol. 11. — Art. 699.

16. Adilbayeva K., Moisseyev R., Kolchenko M. et al. Genetic evaluation of Kazakhstani potato germplasm for pathogen and pest resistance using DNA markers // Agronomy. — 2024. — Vol. 14, No. 9. — Art. 1923.