УДК

ПОМИДОР (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) ЎСИМЛИГИДА ЛЯМБДА-ЦИГАЛОТРИН ВА ЭМАМЕКТИН БЕНЗОАТ ПЕСТИЦИДЛАРИ ҚОЛДИҒИНИ СИФАТ ТАҲЛИЛИ (ИССИҚХОНА ВА ДАЛА ШАРОИТИДА)

Н.И.Мукаррамов, Ш.Т.Ходжаев, Н.Н.Хусенова, М.М.Усмонов, А.Ш. Абдукаримов

Ўсимликлар карантини ва ҳимояси илмий-тадқиқот институти

Аннотация: Мазкур мақолада помидор (*Solanum lycopersicum L.*) ўсимлигида лямбда-цигалотрин ва эмамектин бензоат таъсир этувчи моддаларининг қолдиғини сифат жиҳатдан аниқлаш ва уларнинг сақланиш динамикасини ўрганиш натижалари келтирилган. Тадқиқотлар иссиқхона ва дала шароитида олиб борилиб, препаратлар белгиланган меъёрларда қўлланилган. Намуналар турли вақт оралиғида олиниб, юпқа қатламли хроматография (ЮҚХ), газ хроматография–масс-спектрометрия (ГХ–МС) ва юқори самарали суюқлик хроматография (ЮССХ) усуллари орқали таҳлил қилинган.

Иссиқхона шароитида мазкур пестициднинг 20 кун давомида ҳам сақланиши аниқланган. Дала шароитида эса юқори ҳарорат таъсирида деградация жараёни тезлашгани кузатилган. Лямбда-цигалотрин асосан мева пўстлоғида тўпланиши, эмамектин бензоат эса қисман ички тўқималарга ўтиши аниқланган. Оддий сув билан ювиш пестицид қолдиқларини тўлиқ бартараф этмаслиги маълум бўлган.

Калит сўзлар: *Solanum lycopersicum L.*, лямбда-цигалотрин, эмамектин бензоат, пестицид қолдиқлари, деградация динамикаси, ЮҚХ, ГХ–МС, ЮССХ, QuEChERS, озиқ-овқат хавфсизлиги.

Аннотация: В данной статье представлены результаты качественного определения остаточных количеств действующих веществ лямбда-цигалотрина и эмамектина бензоата в растении томата (*Solanum lycopersicum* L.), а также изучения динамики их сохранности. Исследования проводились в условиях теплицы и открытого грунта с применением препаратов в рекомендованных нормах расхода. Отбор проб осуществлялся через различные интервалы времени, а анализ проводился методами тонкослойной хроматографии (ТСХ), газовой хроматографии–масс-спектрометрии (ГХ–МС) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Установлено, что в тепличных условиях исследуемые пестициды сохранялись до 20 суток. В полевых условиях под воздействием повышенных температур наблюдалось ускорение процессов деградации. Выявлено, что лямбда-цигалотрин преимущественно аккумулируется в кожице плода, тогда как эмамектин бензоат частично проникает во внутренние ткани. Установлено, что промывание обычной водой не обеспечивает полного удаления остаточных количеств пестицидов.

Ключевые слова: *Solanum lycopersicum* L., лямбда-цигалотрин, эмамектин бензоат, остатки пестицидов, динамика деградации, ТСХ, ГХ–МС, ВЭЖХ, QuEChERS, пищевая безопасность.

Abstract:This article presents the results of qualitative determination of the residual amounts of the active ingredients lambda-cyhalothrin and emamectin benzoate in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.), as well as the study of their persistence dynamics. The research was conducted under greenhouse and open-field conditions, with pesticide formulations applied at recommended application rates. Samples were collected at different time intervals and analyzed using thin-layer chromatography (TLC), gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS), and high-performance liquid chromatography (HPLC).

It was established that under greenhouse conditions the investigated pesticides persisted for up to 20 days. Under field conditions, accelerated degradation was observed due to elevated temperatures. Lambda-cyhalothrin was found to accumulate predominantly in the fruit peel, whereas emamectin benzoate partially penetrated into the internal tissues. Washing with ordinary water was shown to be insufficient for the complete removal of pesticide residues.

Keywords: *Solanum lycopersicum L.*, lambda-cyhalothrin, emamectin benzoate, pesticide residues, degradation dynamics, TLC, GC–MS, HPLC, QuEChERS, food safety.

Ҳозирги кунда қишлоқ хўжалигида интенсив технологияларнинг жорий этилиши ва юқори ҳосилдор навлардан фойдаланиш натижасида пестицидлар қўлланилиш кўлами кенгаймоқда. Помидор (*Solanum lycopersicum L.*) жаҳон миқёсида энг кўп истеъмол қилинадиган сабзавот маҳсулотларидан бири бўлиб, унинг таркибида пестицид қолдиқларининг мавжудлиги озиқ-овқат таркибининг хавфсизлиги нуқтаи назаридан алоҳида аҳамият касб этади [1, 2].

Лямбда-цигалотрин (синтетик пиретроидлар гуруҳи) ва эмамектин бензоат (авермектинлар ҳосиласи) кенг қўлланиладиган инсектицидлар қаторига киради. Улар юқори биологик самарадорликка эга бўлса-да, ўсимлик тўқималарида сақланиш хусусиятлари, деградация динамикаси ва қолдиқ миқдорининг санитар меъёрларга мувофиқлиги масалалари долзарб ҳисобланади [3, 4].

Илмий манбаларда пиретроидларнинг ҳарорат ва ультрабинафша нур таъсирида парчаланиши тезлашиши қайд этилган [5]. Шу билан бирга, иссиқхона шароитида деградация жараёни нисбатан секин кечиши мумкинлиги таъкидланган [6]. Эмамектин бензоатнинг ўсимлик тўқималарида маълум муддат сақланиши ва қисман ички тўқималарга ўтиши ҳақида маълумотлар мавжуд [7].

Шу боис, иссиқхона ва дала шароитида ушбу моддаларнинг сақланиш динамикасини таққослаб ўрганиш, уларнинг мева пўстлоғи ва ички тўқималарда тақсимланишини таҳлил қилиш, шунингдек, оддий ювиш орқали камайиш даражасини аниқлаш озиқ-овқат хавфсизлигини таъминлашда муҳим аҳамиятга эга [2, 8].

Пестицид қолдиқ миқдорини аниқлаш ва уларнинг деградация қонуниятларини ўрганиш халқаро миқёсда кенг тадқиқ этилган. Хусусан, хлорорганик ва

фосфорорганик пестицидларнинг деградацияси бўйича маълумотлар кўп учрайди [5, 9].

Эмамектин бензоат бўйича тадқиқотларда эса юқори самарали суюқлик хроматографияси (ЮССХ) ҳамда QuEChERS усули орқали аниқлаш самарали экани кўрсатилган [7, 10].

Шу билан бирга, кўплаб ишлар муайян бир иқлим шароитида ёки алоҳида препарат учун ўтказилган. Иссиқхона ва дала шароитларини ўзаро таққослаб, бир хил нав ва агротехника шароитида лямбда-цигалотрин ҳамда эмамектин бензоат қолдиқ миқдорларини комплекс равишда ўрганишга бағишланган тадқиқотлар чекланган.

Шу нуқтаи назардан мазкур тадқиқот иши пестицид қолдиғининг сақланиш динамикасини икки хил агроиқлим шароитида қиёсий таҳлил қилиш, уларнинг мева пўстлоғи ва ички тўқималарда тақсимланишини аниқлаш ҳамда ювиш самарадорлигини баҳолашга қаратилган.

Лямбда-цигалотрин таъсир этувчи моддасига эга препарат 0,5 кг/га меъёрда қўлланилди. Препарат қўлланилгандан сўнг 1, 5, 12 ва 20 кун ўтгач, ўсимликнинг барг ва поясидан намуналар олинди. Назорат варианти сифатида пестицид қўлланилмаган ўсимликлардан намуна йиғилди.

Йиғилган намуналар қуёш нури тўғридан-тўғри тушмайдиган шароитда қуритилди, 2–4 мм ўлчамгача майдаланди ва циклогексан ёрдамида ультратовушли ваннада экстракция қилинди. Олинган экстрактнинг эритувчиси тўлиқ учирилди ва қолдиқ 2 мл циклогександа қайта эритилди. Сўнгра эритма мембранали фильтр орқали филтрланиб, таҳлил учун тайёрланди.

Намуналардан ажратилган экстрактлар ҳамда стандарт лямбда-цигалотрин эритмаси билан таққосланиб, юпқа қатламли хроматография (ЮҚХ) усулида таҳлил қилинди. Элюент сифатида гексан: бензол (2:1) қўлланилди. Хроматограммалар 254 нм тўлқин узунликдаги ультрабинафша нур ёрдамида очилтирилди. Таҳлил натижаларига кўра лямбда-цигалотрин препарати қўлланилгандан кейин помидор барги ва поясида 20 кун давомида ҳам сақланишини аниқланди.

Таҳлиллар газ-хроматография-масс-спектрометрия (ГХ-МС) усулида қайта амалга оширилди. Таҳлиллар Scion SQ-MS 8700 хроматографида қуйидаги шароитларда ўтказилди: колонка – SC37423 | SCION - Pesticides, (30 м × 0,25 мм); ташувчи газ – водород (H_2); оқим тезлиги – 1,0 мл/мин; инжектор ҳарорати – 250 °C; инжекция ҳажми – 1 мкл; ҳарорат дастури – 60–280 °C; таҳлил давомийлиги – 20 дақиқа; MS режими – Scan; аниқлаш диапазони m/z 50–500.

ГХ-МС таҳлиллари ЮҚХ орқали олинган натижаларни тасдиқлади. Хроматограммада модданинг ушланиш вақти 13,62 дақиқани ташкил этиб, стандарт намуна кўрсаткичига тўлиқ мос келди. Масс-спектр маълумотлари ҳам маълумотлар базасидаги спектр билан мувофиқ экани аниқланди.

Олинган натижалар лямбда-цигалотриннинг иссиқхона шароитида помидор тўқималарида нисбатан барқарор сақланишини кўрсатади. Маълумотларга кўра, ушбу инсектициднинг биодеградация жараёни иссиқхона шароитида суст кечиши мумкин. Бу эса қолдиқ миқдорларнинг истеъмол маҳсулотларида хавфсизлик меъёрларидан ошиб кетиш эҳтимолини оширади. Шу сабабли, лямбда-цигалотрин қўлланилганда санитар-гигиеник талабларга қатъий риоя қилиш, қолдиқ миқдорларни мунтазам назорат қилиш ва парчаланиш муддатларини ҳисобга олиш зарур.

Тадқиқот давомида иссиқхона шароитида етиштирилган помидор ўсимлигида эмамектин бензоат таъсир этувчи моддасининг қолдиқ миқдорини аниқлаш бўйича тажрибалар олиб борилди. Препарат 0,4 кг/га меъёрда қўлланилди. Намуналар препарат қўлланишидан олдин (назорат), ҳамда қўлланилгандан кейин 1, 5, 12 ва 20 кун ўтгач олинди.

Эмамектин бензоатнинг циклогександа эрувчанлиги паст эканлиги инобатга олиниб, экстракция жараёни учун 96% ли этил спирти танланди. Ўсимлик намуналари соя жойда қуритилиб, майдаланди. Ҳар бир намунадан 10,0 г аналитик тарози ёрдамида аниқ тортиб олиниб, 100 мл 96% ли этил спирти билан ишлов берилди ва ультратовушли ваннада 30 дақиқа давомида экстракция қилинди.

Олинган спиртли экстрактлар юпқа қатламли хроматография (ЮҚХ) усулида таҳлил қилинганда, этил спирти хлорофилл ҳамда бошқа липофил қўшимча моддаларни ҳам самарали эритиши сабабли хроматографик ажралишнинг етарли даражада аниқ эмаслиги кузатилди. Бу ҳолат мақсадли модданинг ишончли идентификациясини қийинлаштирди. Шу сабабли экстракт таркибидаги этил спирти тўлиқ учирилиб, қуруқ қолдиқ колонкали хроматография усулида тозаланди ва алоҳида фракцияларга ажратилди.

Колонкали хроматография узунлиги 50 см ва ички диаметри 1,3 см бўлган шиша колонкада амалга оширилди. Сорбент сифатида заррача ўлчами 60–160 мкм бўлган силикагель қўлланилди. Элюент сифатида бензол–этанол аралашмалари градиент элюция режимида қуйидаги нисбатларда қўлланилди:

- бензол : спирт = 4:1 — 200 мл
- бензол : спирт = 3:1 — 100 мл
- бензол : спирт = 2:1 — 100 мл
- бензол : спирт = 1:1 — 100 мл
- бензол : спирт = 1:2 — 50 мл
- бензол : спирт = 1:3 — 50 мл
- бензол : спирт = 1:4 — 50 мл

Натижада жами 43 та фракция олиниб, улар юпқа қатламли хроматография (ЮҚХ) усулида таҳлил қилинди. Таҳлиллар асосида эмамектин бензоат 6–9-фракцияларда мажудлиги аниқланди. Ушбу фракциялар юқори самарали суюқлик

хроматографияси (ЮССХ) усулида стандарт эмамектин бензоат билан таққослаш орқали қўшимча таҳлил қилинди.

ЮССХ натижалари 6–9-фракцияларда эмамектин бензоат мавжудлигини тасдиқлади. Модданинг ушланиш вақти 5,9 дақиқани ташкил этди ва кузатилган хроматографик чўққилар стандарт намуна чўққилари билан тўлиқ мос келди. Олинган маълумотлар эмамектин бензоатнинг ўсимлик тўқималарида 20 кун да ҳам сақланишини тасдиқлайди.

Таҳлиллар Shimadzu LC-20A юқори самарали суюқлик хроматографида амалга оширилди. Детекция 245 нм да УФ-детектор ёрдамида бажарилди. Ажратиш тескари фаза C18 колонкада (250 × 4,6 мм, 5 мкм) изократик режимда олиб борилди. Ҳаракатланувчи фаза метанол–ацетонитрил–сув (аммоний гидроксид, 300:1), A:B:C = 25:55:20 нисбатда қўлланилди. Оқим тезлиги 1,0 мл/мин, инъекция ҳажми 10 мкл ва колонка ҳарорати 30 °C.

Дала шароитида етиштирилган помидор мевасида лямбда-цигалотрин ва эмамектин бензоат таъсир этувчи моддаларига эга препаратлар қолдиғини аниқлаш мақсадида тажриба объекти сифатида "Мустақиллик–28" нави танлаб олинди. Тажриба 50 м² майдонда ташкил этилди.

Тажриба даврида ўсимликларнинг фенологик ҳолати аниқланди: гуллаш жараёни давом этаётган, янги мева бўғимлари шаклланган, мавжуд ҳосилнинг 50–60 % қисми пишиш босқичида эди. Майдонда зараркунандалар, касаллик қўзғатувчилари ва бегона ўтлар учраган бўлса-да, уларнинг зичлиги иқтисодий зарарлилик мезонидан паст даражада кузатилди.

Тажриба қаторлари белгиланиб, махсус белги қозиқлар қоқилди. Лямбда-цигалотрин ва эмамектин бензоат таъсир этувчилари бўлган препаратлар кечки вақтда, шахсий ҳимоя воситалари тўлиқ қўлланилган ҳолда, агротехник талабларга мувофиқ меъёрда сепилди. Сепиш пайтида ҳаво шароити тинч, шамол тезлиги паст бўлиб, препаратнинг барқарор ва бир текис тарқалиши таъминланди.

Назорат сифатида ишлов берилмаган майдондан турли катталикдаги 10 дона помидор намунаси олинди. Препарат сепилган майдондан эса 1 соатдан кейин шахмат тартибида жойлашган нуқталардан 10 донадан намуна йиғилди. Намуналар герметик пакетларга жойланиб, лабораторияга етказилди ва таҳлилгача музлатгичда сақланди.

Пестицидларнинг сақланиш динамикасини ўрганиш мақсадида намуналар 1-, 2-, 3-, ... ва 17-кунгача олинди.

Назорат ва ишлов берилган намуналар лаборатория шароитида икки мартадан 96 % этил спиртида ювилди. Экстрактлар жамланиб, эритувчи буғлатиш шкафи тагида учирилди.

Лямбда-цигалотрин препарати қўлланилган намуналарни қолдиқ гексан билан эритилди, аралашма ультратовушли ваннада 5 дақиқа давомида ишлов берилди ва мембранали фильтр орқали филтрланди.

Эмамектин бензоат препарати қўлланилган намуналарни қолдиқ 96 % этил спиртида эритилиб, мембранали фильтр орқали филтрланди. Ҳар бир намунадан тахминан 1,5 мл тозаланган эритма олинди ва хроматографик таҳлил учун виалларга жойланди.

Дастлабки таҳлиллар ЮҚХ усулида амалга оширилди, бунинг учун оптимал мобил фазалар сифатида қуйидагилар танланди:

- Лямбда-цигалотрин учун — гексан : бензол = 4 : 1
- Эмамектин бензоат учун — бензол : метанол = 4 : 1

Доғлар 254 нм тўлқин узунликдаги УФ-нур ёрдамида аниқланди.

ЮҚХ натижаларига кўра, ҳар икки пестицид 7-кунги намуналарда аниқ кузатилди. 8–10 кунларда доғлар кескин камайди, 11-кунга келиб эса аниқланмади. Тажриба даврида ҳаво ҳарорати 38–40°C ни ташкил этди. 42–45°C шароитда эса пестицид қолдиқлари 7-кунда тўлиқ йўқолгани қайд этилди. Бу натижалар ҳарорат ошган сари пестицидлар деградацияси тезлашишини кўрсатади.

Пестицид қолдиқлари яққол намаён бўлган кунлардаги намунадан олиб, оқар сув остида ювилди ва қуритилди. ЮҚХ таҳлили натижаларига кўра, сув билан ювишдан кейин ҳам пестицид қолдиқларининг тахминан 30 % қисми сақланиб қолганлиги аниқланди. Бу оддий ювиш усули пестицидларни тўлиқ бартараф этмаслигини кўрсатади.

Шунингдек, меванинг ички тўқималари алоҳида таҳлил қилинди. Экстракция QuEChERS усули орқали амалга оширилди: 100 г майдаланган намунага 100 мл ацетонитрил қўшилиб 8–10 дақиқа чайқатилди, сўнг $MgSO_4$ ва NaCl қўшиб қайта чайқатилди. Кейин 4000 айл/мин тезликда 10 дақиқа центрифугаланди ва органик қатлам C18 сорбенти ҳамда $MgSO_4$ орқали тозаланди.

Натижалар шундан далолат бермоқдаки, лямбда-цигалотрин асосан пўстлоқда сақланиб, ички тўқималарга деярли ўтмаган, эмамектин бензоат эса 20–25 % миқдорда ички тўқималарга кириб борган. Барча натижалар ГХ–МС ва ЮССХ таҳлиллари орқали тўлиқ тасдиқлади.

Адабиётлар рўйхати

1. FAO/WHO. Pesticide residues in food: Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR) Evaluations. – Rome: FAO, 2019. – 500 p.
2. European Food Safety Authority (EFSA). The 2020 European Union report on pesticide residues in food // EFSA Journal. – 2022. – Vol. 20, № 3. – P. 1–95.
3. Ware G. W., Whitacre D. M. The Pesticide Book. – 6th ed. – Willoughby, OH: Meister Media Worldwide, 2004. – 496 p.
4. Aktar M. W., Sengupta D., Chowdhury A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards // Interdisciplinary Toxicology. – 2009. – Vol. 2, № 1. – P. 1–12.

5. Singh B., Walker A. Microbial degradation of organophosphorus compounds // FEMS Microbiology Reviews. – 2006. – Vol. 30. – P. 428–471.
6. Fantke P., Juraske R. Variability of pesticide dissipation half-lives in plants // Environmental Science & Technology. – 2013. – Vol. 47. – P. 3548–3562.
7. Wang X., Zhang Y., Chen L. et al. Dissipation and residue of emamectin benzoate in vegetables and soil // Food Chemistry. – 2014. – Vol. 160. – P. 1–6.
8. Kaushik G., Satya S., Naik S. N. Food processing effects on pesticide residues in vegetables // Food Research International. – 2009. – Vol. 42. – P. 26–40.
9. Darko G., Acquaah S. O. Levels of organochlorine pesticide residues in dairy products in Ghana // Chemosphere. – 2008. – Vol. 71. – P. 294–298.
10. Anastassiades M., Lehotay S. J., Štajnbaher D., Schenck F. J. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and dispersive solid-phase extraction (QuEChERS) // Journal of AOAC International. – 2003. – Vol. 86, № 2. – P. 412–431.