

Ә.Н. Махамбетов¹ , Р.Т. Кенжебекова¹ , Б. Дулат^{1,2} ,
З.К. Даирбекова¹ , Д.А. Грищенко^{1,2}  *

¹«Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты», Алматы, Қазақстан

²«AgriBioTech» зерттеу орталығы, Алматы, Қазақстан

*e-mail: d.kopytina@gmail.com

ЭНТОМОПАТОГЕНДІ САҢЫРАУҚҰЛАҚ *BEAUVERIA BASSIANA*-НЫҢ *HALYOMORPHA HALYS*-ҚА ӘСЕРІ

Halyomorpha halys (қоңыр мәрмәр қандала) – жеміс, көкөніс және бау-бақша дақылдарына елеулі экономикалық зиян келтіретін инвазивті полифагиялық зиянкес. Түрдің жоғары көбею қабілеті, кең қоректік спектрі және әртүрлі климаттық жағдайларға бейімделуі оның көптеген елдерде тез таралуына себеп болды. *Beauveria bassiana* энтомопатогенді саңырауқұлағы жоғары патогенділігі мен экологиялық қауіпсіздігіне байланысты зиянкестермен биологиялық күресте перспективалы агент болып табылады. Зерттеудің мақсаты *H. halys*-тің әртүрлі даму сатыларына қарсы *B. bassiana* жергілікті изолятының тиімділігін бағалау болды.

Зертханалық жағдайда жұмыртқалар, нимфалар және ересек дарақтар 1×10^5 – 1×10^8 конидия/мл концентрацияларындағы конидиялық суспензиялармен өңделді. Өлім-жітім деңгейі, инфекцияның даму динамикасы, LT_{50} және LT_{90} көрсеткіштері, сондай-ақ саңырауқұлақтың сублетальді әсерлері зерттелді. Нәтижелер конидиялар концентрациясының жоғарылауымен өлім-жітім деңгейінің де артқанын көрсетті. Ең жоғары әсер 1×10^8 конидия/мл концентрациясында байқалды: нимфалардың өлім-жітімі 98%-ға, ересек дарақтардың өлім-жітімі 95%-ға және жұмыртқалардың өлім-жітімі 74%-ға жетті. Сонымен қатар, ең жоғары концентрацияда LT_{50} көрсеткіші 3,7 тәулікті құрады, бұл жергілікті изоляттың жоғары вируленттілігін көрсетті. Сондай-ақ саңырауқұлақ әсерінен қоректену белсенділігінің төмендеуі, қозғалу қарқындылығының әлсіреуі және репродуктивтік көрсеткіштердің нашарлауы байқалды.

Алынған нәтижелер *Beauveria bassiana* жергілікті изолятының *Halyomorpha halys*-ке қарсы жоғары энтомопатогендік белсенділік көрсететінін және оны зиянкестермен күрестің интеграцияланған биологиялық бағдарламаларында қолдану перспективалы екенін дәлелдейді.

Түйін сөздер: *Halyomorpha halys*, *Beauveria bassiana*, энтомопатогенді саңырауқұлақтар, биологиялық бақылау, инвазивті зиянкестер, өлім-жітім.

A.N. Makhambetov¹, R.T. Kenzhebekova¹, B. Dulat^{1,2},
Z.K. Dairbekova¹, D.A. Gritsenko^{1,2*}

¹Institute of Plant Biology and Biotechnology", Kazakhstan, Almaty

² "AgriBioTech" Research Center, Kazakhstan, Almaty

*e-mail: d.kopytina@gmail.com

Effects of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on *Halyomorpha halys*

Halyomorpha halys (brown marmorated stink bug) is an invasive polyphagous pest that causes significant economic damage to fruit, vegetable, and horticultural crops. The species' high reproductive capacity, broad range of host plants and adaptation to diverse climatic conditions have led to its rapid spread across many countries. The entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* is a promising biological pest control agent due to its high pathogenicity and environmental safety. The aim of this study was to evaluate the efficacy of a native isolate of *B. bassiana* against various stages of *H. halys*.

Under laboratory conditions, eggs, nymphs, and adults were treated with conidial suspensions at concentrations of 1×10^5 – 1×10^8 conidia/ml. Mortality rates, infection dynamics, LT_{50} and LT_{90} values, and the sublethal effects of the fungus were studied. Results showed that mortality also increased with increasing conidia concentrations. The greatest effect was observed at a concentration of 1×10^8 conidia/ml: nymph mortality reached 98%, adult mortality 95%, and egg mortality 74%. Furthermore, at the highest concentration, the LT_{50} index was 3.7 days, indicating the high virulence of the local isolate. The fungus also reduced feeding activity, decreased movement intensity, and impaired reproductive performance. These results demonstrate that the local isolate of *Beauveria bassiana* exhibits high en-

tomopathogenic activity against *Halyomorpha halys* and holds promise for use in integrated biological pest management programs.

Keywords: *Halyomorpha halys*, *Beauveria bassiana*, entomopathogenic fungi, biological control, invasive pest, mortality.

А.Н. Махамбетов¹, Р.Т. Кенжебекова¹, Б. Дулат^{1,2},
З.К. Даирбекова¹, Д.А. Гриценко^{1,2} *

¹ «Институт биологии и биотехнологии растений», Алматы, Казахстан

² Научно-исследовательский центр «AgriBioTech», Алматы, Казахстан

*e-mail: d.kopytina@gmail.com

Влияние энтомопатогенного гриба *Beauveria bassiana* на *Halyomorpha halys*

Halyomorpha halys (коричневый мраморный клоп) – инвазивный полифагный вредитель, наносящий значительный экономический ущерб плодовым, овощным и садовым культурам. Высокая репродуктивная способность вида, широкий спектр питательных веществ и адаптация к различным климатическим условиям привели к его быстрому распространению во многих странах. Энтомопатогенный гриб *Beauveria bassiana* является перспективным агентом биологического контроля вредителей благодаря своей высокой патогенности и экологической безопасности. Целью исследования была оценка эффективности местного изолята *B. bassiana* против различных стадий развития *H. halys*.

В лабораторных условиях яйца, нимфы и взрослые особи обрабатывали суспензиями конидий в концентрациях 1×10^5 – 1×10^8 конидий/мл. Изучали уровень смертности, динамику развития инфекции, показатели LT_{50} и LT_{90} , а также сублетальные эффекты гриба. Результаты показали, что уровень смертности также увеличивался с повышением концентрации конидий. Наибольший эффект наблюдался при концентрации 1×10^8 конидий/мл: смертность нимф достигла 98%, смертность взрослых особей – 95%, а смертность яиц – 74%. Кроме того, при самой высокой концентрации индекс LT_{50} составил 3,7 дня, что указывает на высокую вирулентность местного изолята. Также под воздействием грибка наблюдалось снижение активности питания, ослабление интенсивности передвижения и ухудшение репродуктивных показателей. Полученные результаты доказывают, что местный изолят *Beauveria bassiana* обладает высокой энтомопатогенной активностью против *Halyomorpha halys* и перспективен для использования в программах интегрированной биологической борьбы с вредителями.

Ключевые слова: *Halyomorpha halys*, *Beauveria bassiana*, энтомопатогенные грибы, биологический контроль, инвазивный вредитель, смертность.

Кіріспе

Қоңыр мәрмәр қандаласы – *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) (Hemiptera: Pentatomidae) – әлемдегі ең қауіпті инвазиялық ауыл шаруашылығы зиянкестерінің бірі болып саналады. Шығыс Азиядан, атап айтқанда Қытай, Жапония, Корея және Тайвань аумақтарынан таралған бұл түр соңғы онжылдықтарда Солтүстік Америкаға, Еуропаға және Батыс пен Орталық Азияның бірқатар өңірлеріне жылдам таралды (Leskey et al., 2022; Beus et al., 2024; Luo et al., 2025).

H. halys түрінің инвазиялық табыстылығы оның жоғары экологиялық бейімділігімен, күшті таралу қабілетімен, қоректік өсімдіктерінің кең ауқымымен және жоғары көбею әлеуетімен түсіндіріледі. Бұл зиянкес полифаг болып табылады және 300-ден астам өсімдік түрімен қоректенеді, олардың қатарына экономикалық

маңызы зор жеміс-жидек, көкөніс, сәндік және егістік дақылдар кіреді (Beus et al., 2024).

H. halys-тің келтіретін елеулі зияны алма, алмұрт, шабдалы, фундук, қызанақ, соя, жүгері және жүзім дақылдарын өсіру жүйелерінде тіркелген. Қандаланың қоректенуі нәтижесінде өсімдік ұлпаларының некрозы, жемістердің деформациялануы, түсінің өзгеруі, мерзімінен бұрын түсуі байқалады, сондай-ақ өнімнің сапасы мен нарықтық құндылығы айтарлықтай төмендейді (Lee et al., 2013; Tassini & Mifsud, 2019; Keszthelyi et al., 2022; Fluch et al., 2024).

H. halys инвазиясымен байланысты экономикалық шығындар әлемнің көптеген елдерінің ауыл шаруашылығы жүйелері үшін маңызды мәселеге айналды. Бұл полифаг зиянкес Солтүстік Америка мен Еуропаға енгеннен кейін жеміс бақтарына, көкөніс дақылдарына және жаңғақ өндірісіне айтарлықтай зиян келтірді. АҚШ-та *H. halys*-тің жаппай таралуы әсіресе Орта Атлант

аймағында тіркеліп, алма мен шабдалы өндірісіне елеулі қауіп төндірді (Leskey et al., 2022). Тек 2010 жылдың өзінде алма бақтарындағы шығын көлемі 37 миллион АҚШ долларынан асып түсті, ал сүйекті жеміс өсірушілердің кейбірі зиянкес келтірген қарқынды зақымданулар салдарынан өнімнің 80–90%-ын жоғалтқанын хабарлады. *H. halys*-тің қоректенуі нәтижесінде жеміс бетінде ойықтар мен тесіктер пайда болады, некроздық зақымданулар дамиды, жемістер деформацияланып, ішкі ұлпалары бүлінеді және мерзімінен бұрын түсіп қалады. Бұл өз кезегінде өнім көлемі мен оның нарықтық сапасының айтарлықтай төмендеуіне әкеледі (Gokturk, 2024; Herrick, 2011; Keszthelyi et al., 2022; Leskey et al., 2022). *H. halys*-тің Еуропа мен Кавказ өңірлерінде жылдам таралуы оның экономикалық маңызын одан әрі арттырды. Қазіргі уақытта зиянкес Италия, Швейцария, Германия, Грузия, Түркия және басқа да бірқатар Еуропа елдерінде тұрақты популяциялар қалыптастырып, жеміс-жидек және жаңғақ өндіру жүйелеріне елеулі қауіп төндіруде. Әсіресе фундук плантацияларында келтірілген зиян өте жоғары деңгейде тіркелген, себебі қандаланың қоректенуі жаңғақ дәнінің сапасын төмендетіп, оның нарықтық құнын айтарлықтай азайтады. Әлемдегі жетекші фундук өндіруші елдердің бірі болып саналатын Грузияда бұл зиянкес 2016–2018 жылдары жаппай таралып, елдегі фундук өнімінің шамамен үштен бір бөлігінің жоғалуына себеп болған. Грузиядағы *H. halys* инвазиясынан туындайтын жыл сайынғы экономикалық шығын көлемі 60 миллион еуроға дейін жетеді деп бағаланады (Bosco & Moraglio, 2018; Gokturk, 2024; Hays et al., 2015; Joseph et al., 2014; Rice et al., 2014).

Осындай экономикалық мәселелер әлемдегі ең ірі фундук өндіруші ел болып саналатын Түркияда да байқалуда. *H. halys* Шығыс Қара теңіз аймағына енгеннен кейін зиянкеспен қатты зақымданған аумақтарда фундук өнімділігі мен сапасының айтарлықтай төмендеуі тіркелді. Өңірлік бағалаулар бойынша, бұл зиянкес фундук өндірісінде миллиондаған доллар көлемінде шығын келтірген, ал оның популяциясы одан әрі өсе беретін болса, болашақтағы экономикалық шығындар 1 миллиард АҚШ долларынан асып кетуі мүмкін деп болжануда (Gokturk, 2024). Фундуктан басқа, *H. halys* зақымданған өңірлерде алма, алмұрт, шабдалы, жүзім, қызанақ, жүгері және соя дақылдарының да маңызды зиянкесіне айналды (Leskey et al., 2022; Keszthelyi et al., 2022; Rice et al., 2014).

Қазіргі уақытта *H. halys* популяциясын бақылаудың негізгі тәсілі ретінде химиялық инсектицидтер қолданылады. Алайда пестицидтерді қарқынды пайдалану бірқатар маңызды шектеулерге ие. Олардың қатарына зиянкестердің инсектицидтерге төзімділігінің қалыптасуы, пайдалы организмдерге кері әсері, қоршаған ортаның ластануы және адам денсаулығына төнетін қауіптер жатады. Сонымен қатар, химиялық препараттарды бірнеше рет қолдану зиянкестермен күрестің интеграцияланған жүйелерінің тиімділігін төмендетіп, агроэкожүйелердегі биоалуантүрліліктің азаюына әкелуі мүмкін (Chandler et al., 2011; Keszthelyi et al., 2022; Leskey et al., 2022; Rice et al., 2014; Ribeiro et al., 2021; Zhou et al., 2024; Li et al., 2025).

Осы шектеулер *H. halys* зиянкесіне қарсы күрестің экологиялық қауіпсіз әрі тұрақты балама әдістерін әзірлеудің өзектілігін айқындайды. *H. halys*-тің экономикалық зиянының артуы, оның географиялық таралу аймағының жылдам кеңеюі және қоректік өсімдіктерінің кең спектрі бұл зиянкесті басқарудың тиімді әрі экологиялық тұрғыдан тұрақты стратегияларын әзірлеудің аса қажеттілігін көрсетеді.

Биологиялық күрес әдістерінің ішінде энтомопатогенді саңырауқұлақтар жәндіктер зиянкестерінің кең ауқымын зақымдап, жою қабілетіне байланысты ерекше қызығушылық тудырады (Ahmad et al., 2012; Wang et al., 2016; Litwin et al., 2020). *Beauveria*, *Metarhizium*, *Isaria* және *Cordyceps* туыстарына жататын түрлер энтомопатогенді саңырауқұлақтардың ең жан-жақты зерттелген биологиялық агенттері болып табылады (Wang et al., 2016). Бұл энтомопатогенді саңырауқұлақтар жәндіктердің ағзасына ас қорыту жолы арқылы емес, олардың кутикуласын тікелей тесіп өту арқылы ене алады. Сондықтан олар шаншып-сорғыш және сорғыш зиянкестерге қарсы күресте аса перспективалы құрал ретінде қарастырылады (Litwin et al., 2020).

Жоғары инсектицидтік белсенділігі, иелерінің кең ауқымы және қоршаған орта үшін қауіпсіздігі арқасында энтомопатогенді саңырауқұлақтар өсімдіктерді интеграцияланған қорғау жүйелерінің маңызды құрамдас бөлігі және зиянкестермен күрестің экологиялық тұрақты технологияларының тиімді құралы ретінде кеңінен мойындалған (Chandler et al., 2011; Sharma et al., 2023).

Осы саңырауқұлақтардың ішінде *Beauveria bassiana* жәндіктер зиянкестеріне қарсы қолданылатын ең перспективалы микробтық агенттердің бірі болып саналады (Litwin et al., 2020;

Ortiz-Urquiza & Keyhani, 2013). *B. bassiana* инфекциялық үдерісті конидиялардың жәндіктің кутикуласына жабысуынан бастайды. Одан кейін конидиялар өніп, кутикула арқылы еніп, гемцельді колонизациялайды. Саңырауқұлақтың токсиндер бөлуі мен мицелийінің дамуы нәтижесінде иесінің өліміне әкеледі (Altinok et al., 2019; Wang et al., 2021; Liu et al., 2023). Жәндік өлгеннен кейін оның денесінің бетінде саңырауқұлақтың спора түзуі жүреді, бұл патогеннің әрі қарай таралуына мүмкіндік береді (Altinok et al., 2019). Кең иелер спектрі, экологиялық қауіпсіздігі және зиянкестермен күрестің интеграцияланған жүйелерімен үйлесімділігі арқасында *B. bassiana* коммерциялық микоинсектицидтердің және биологиялық күрес бағдарламаларының құрамында кеңінен қолданылады (Chandler et al., 2011).

Бірқатар зерттеулер энтомопатогенді саңырауқұлақтардың *H. halys*-ке қарсы зертханалық және далалық жағдайларда жоғары патогендік белсенділік көрсететінін дәлелдеді. Зерттеу нәтижелері бұл зиянкестің имаголары мен нимфаларының саңырауқұлақ инфекцияларына жоғары сезімталдық танытатынын көрсетті (Gouli et al., 2012; Tozlu et al., 2019). Кейінгі зерттеулерде конидиялар концентрациясының артуы және әсер ету уақытының ұзаруы өлім-жітім деңгейінің жоғарылауына ықпал ететіні анықталды (Parker et al., 2015).

Сонымен қатар, *B. bassiana*-ның әртүрлі изоляттары *H. halys*-ке қатысты патогенділігі бойынша ерекшеленетіндігі анықталған. Бұл биологиялық күрестің тиімділігін арттыру үшін жоғары вирулентті изоляттарды іріктеудің маңыздылығын көрсетеді. Кейбір *B. bassiana* изоляттары конидиялардың жоғары концентрациясында және жеткілікті әсер ету уақытында *H. halys* нимфалары мен ересек дарақтарының 90–100%-ға дейін өліміне себеп болған (Tozlu et al., 2019).

Beauveria негізіндегі препараттармен жұмыртқаларды өңдеу олардың шығу көрсеткішін төмендетіп, жаңадан шыққан нимфалардың өлім-жітімін арттыратыны көрсетілген (Tozlu et al., 2019). Зерттеулер 10^6 – 10^8 конидия/мл концентрациясындағы конидиялық суспензиялардың әсерінен екінші жастағы нимфалар мен ересек дарақтар арасында жоғары өлім деңгейі байқалғанын көрсетті. Сонымен қатар, саңырауқұлақтардың вируленттілігін бағалау және әртүрлі изоляттардың тиімділігін салыстыру үшін LT_{50} (дарақтардың 50%-ының өліміне дейінгі уақыт) және LT_{90} (дарақтардың 90%-ының өліміне дейінгі уақыт)

көрсеткіштері кеңінен қолданылады (Özdemir et al., 2022; Parker et al., 2015).

H. halys-ке қарсы саңырауқұлақтарға негізделген биологиялық күрес стратегияларын дамыту бағытында айтарлықтай жетістіктерге қол жеткізілгеніне қарамастан, бірқатар маңызды мәселелер әлі де жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Атап айтқанда, *H. halys*-тің энтомопатогенді саңырауқұлақтарға сезімталдығы жөнінде мәліметтер бар болғанымен, жұмыртқа, нимфа және ересек дарақ сатыларының салыстырмалы сезімталдығы, сондай-ақ олардың инфекцияға жауап беру ерекшеліктері туралы деректер әлі де шектеулі.

Сонымен қатар, *B. bassiana*-ның әртүрлі изоляттарының инфекциялық үдерісінің динамикасы, саңырауқұлақтың иесі ағзасын колонизациялауының микроскопиялық ерекшеліктері және конидия концентрациясына тәуелді өлім-жітім көрсеткіштері туралы ақпарат шектеулі болып отыр. Бұл ғылыми олқылықтар энтомопатогенді саңырауқұлақтарды қолдану технологияларын жетілдіруге және олардың тиімділігін барынша арттыруға кедергі келтіреді. Сондықтан *H. halys*-тің әртүрлі даму сатыларына қатысты *B. bassiana*-ның әсер ету ерекшеліктерін жан-жақты зерттеу биологиялық күрес құралдарын оңтайландыру үшін маңызды ғылыми және практикалық мәнге ие.

Осы зерттеудің ғылыми жаңалығы Алматы облысының жеміс агроценоздарынан бөлініп алынған *Beauveria bassiana*-ның жергілікті изолятының *Halyomorpha halys*-тің әртүрлі даму сатыларына (жұмыртқа, нимфа және имаго) әсерін кешенді бағалаумен байланысты. Зерттеу барысында алғаш рет жергілікті изоляттың концентрацияға тәуелді летальді әсері, LT_{50} және LT_{90} көрсеткіштері, сондай-ақ зиянкестің қоректену белсенділігіне, қозғалу қабілетіне және репродуктивтік әлеуетіне әсер ететін сублетальді әсерлері анықталды. Алынған нәтижелер Қазақстан жағдайында *H. halys*-ке қарсы биологиялық күрес жүйелерін әзірлеу үшін ғылыми негіз қалыптастырады.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Жәндіктерді жинау және зертханалық жағдайда ұстау

Halyomorpha halys түрінің ересек дарақтары мен жетілмеген даму сатылары вегетациялық кезең барысында жеміс бақтары мен ауыл шаруашылығы алқаптарынан жиналды. Жәндіктер

алма, қызанақ және бұршақ тұқымдас өсімдіктер сияқты қоректік өсімдіктерден бұрын сипатталған әдістемелерге сәйкес қолмен жиналды (Leskey et al., 2022; Murvanidze et al., 2018; Rice et al., 2014). Зертханалық тәжірибелерге тек ауру немесе зақымдану белгілері байқалмайтын, белсенді әрі сау дарақтар іріктеліп алынды.

Жиналған жәндіктер зертханаға жеткізіліп, температурасы 23–25°C, салыстырмалы ылғалдылығы 65–80% және жарық/қараңғылық режимі 16:8 сағат болатын бақыланатын жағдайларда желдетілетін пластик контейнерлерде ұсталды. Қорек ретінде жаңа жасыл үрме бұршақ (*Phaseolus vulgaris*), сәбіз (*Daucus carota*) және күнбағыс тұқымдары (*Helianthus annuus*) пайдаланылды. Қоректің сапасын және оңтайлы ылғалдылық жағдайын сақтау мақсатында азық әр 2–3 күн сайын жаңартылып отырды (сурет 1).

Зерттеулерде *H. halys*-тің әртүрлі даму сатыларының сезімталдығын салыстыру үшін жү-

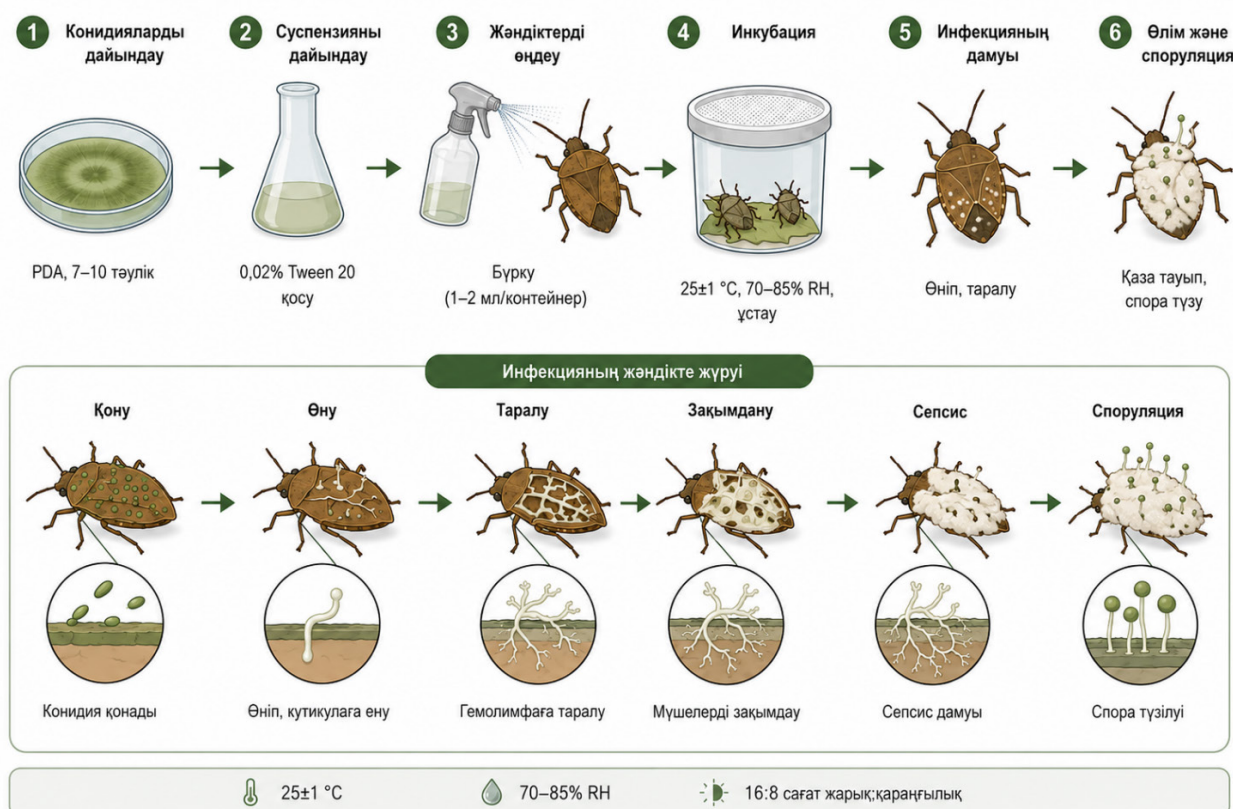
мыртқа салымдары, екінші жастағы нимфалар және ересек дарақтар қолданылды.

Саңырауқұлақ изоляттары және өсіру жағдайлары

Зерттеуде биологиялық күрес агенті ретінде энтомопатогенді *Beauveria bassiana* саңырауқұлағы қолданылды. Эксперименттер үшін Алматы облысының жеміс агроценоздарынан жиналған топырақ үлгілерінен бөлініп алынған *Beauveria bassiana*-ның жергілікті изоляты пайдаланылды. Изолят қоректік ортаға бірнеше рет қайта егу арқылы тазартылып, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институтының молекулалық биология зертханасының коллекциясында сақталды. Саңырауқұлақ изоляттары картоп-декстроза агары (Potato Dextrose Agar, PDA) қоректік ортасында өсіріліп, мол мөлшерде конидиялар түзілгенге дейін $25 \pm 1^\circ\text{C}$ температурада 7–14 тәулік бойы инкубацияланды (1-сурет).

1-сурет

Beauveria bassiana саңырауқұлағымен *Halyomorpha halys* жұқтыру және инфекциялық процестің даму схемасы



Конидиялар саңырауқұлақ колонияларының бетін 0,02% Tween 20 қосылған стерильді дистилденген сумен шаю арқылы жиналды. Алынған суспензия мицелий фрагменттерін жою мақсатында стерильді дәке арқылы сүзілді. Конидиялық суспензиялар қажетті концентрацияларға стерильді дистилденген сумен бірізді сұйылту әдісі арқылы дайындалды. Конидиялардың тіршілікке қабілеттілігі мен концентрациясы Петри табақшаларындағы PDA ортасына әртүрлі сұйылтуларды себу арқылы колония түзуші бірліктерді (Colony Forming Units, CFU) есептеу әдісімен қосымша тексерілді. Биосынақтар жүргізу үшін конидиялардың төрт концентрациясы дайындалды: 1×10^5 конидия/мл, 1×10^6 конидия/мл, 1×10^7 конидия/мл және 1×10^8 конидия/мл. Бақылау нұсқасы ретінде құрамында 0,02% Tween 20 бар стерильді дистилденген су пайдаланылды.

Тәжірибе басталар алдында конидиялардың өну қабілеті мен өміршеңдігі бағаланды. Ол үшін 1×10^4 конидия/мл концентрациялы суспензия PDA қоректік ортасы құйылған Петри табақшаларына егілді және 25°C температурада 24 сағат бойы инкубацияланды. Өну пайызы микроскопиялық әдіспен анықталды. Егер өскін түтігінің ұзындығы конидия ұзындығының жартысынан асса, мұндай конидиялар өнген деп есептелді.

Тәжірибе сызбасы

B. bassiana саңырауқұлағының патогендік белсенділігі зертханалық жағдайда *H. halys*-тің жұмыртқаларына, екінші жастағы нимфаларына және ересек дарақтарына қатысты бағаланды. Әрбір даму сатысы қолданылған саңырауқұлақ конидияларының концентрациясына сәйкес тәжірибелік топтарға бөлінді.

Нимфалар мен ересек дарақтарға арналған биосынақтарда әр топқа бес жәндіктен орналастырылды. Жәндіктер ылғалдандырылған сүзгі қағазы мен жаңа қорек салынған стерильді пластик контейнерлерде ұсталды. Әрбір тәжірибелік нұсқа бес қайталымда жүргізілді, ал бүкіл тәжірибе тәуелсіз түрде үш рет қайталанды.

Құрамында 10–30 жұмыртқасы бар жұмыртқа салымдары жеке-жеке ылғал сүзгі қағазымен қапталған Петри табақшаларына орналастырылды. Жұмыртқаларды өңдеу рәсімі *H. halys* жұмыртқаларына қарсы энтомопатогенді саңырауқұлақтарды қолдану бойынша бұрын сипатталған әдістемелерге сәйкес жүргізілді.

Саңырауқұлақ суспензияларын қолдану

Саңырауқұлақтың конидиялық суспензиялары жәндіктердің дене бетіне конидиялардың

біркелкі түсуін қамтамасыз ету мақсатында қол біріккіштің көмегімен қолданылды. Әрбір тәжірибелік нұсқаға шамамен 1–2 мл конидиялық суспензия шашылды.

Инокуляциядан кейін өңделген жәндіктер температурасы 25 ± 1 °C, салыстырмалы ылғалдылығы 70–85% және жарық/қараңғылық режимі 16:8 сағат болатын бақыланатын жағдайларда ұсталды. Бұл жағдайлар саңырауқұлақтың дамуы мен инфекциялық процестің жүруіне қолайлы орта қалыптастыру үшін сақталды.

Өлім-жітімді бағалау және микозды растау

H. halys дарақтарының өлім-жітімі саңырауқұлақ суспензиясы қолданылғаннан кейін қатарынан 11–12 күн бойы күн сайын тіркелді. Екінші реттік инфекциялардың дамуын болдырмау мақсатында өлген жәндіктер дереу тәжірибеден алынып отырды.

Саңырауқұлақ инфекциясын растау үшін өлген жәндіктердің денелері алдымен кезекпен 70% этил спиртіне, стерильді дистилденген суға және 1% натрий гипохлориті ерітіндісіне батырылып, кейіннен стерильді сумен шайылды. Беткі стерилизациядан өткен үлгілер ылғалдандырылған стерильді Петри табақшаларына орналастырылып, саңырауқұлақтың өсуі мен спора түзуін қамтамасыз ету үшін 5 тәулік бойы инкубацияланды.

Жәндік денесінің бетінде микоз белгілерінің дамуы визуалды түрде бағаланып, стереомикроскоп көмегімен фотосуретке түсірілді. *B. bassiana* инфекциясының нәтижесінде пайда болған саңырауқұлақтың колонизациясы мен спора түзуі өлімнің осы патоген әсерінен болғанын растаудың негізгі көрсеткіштері ретінде пайдаланылды.

LT₅₀ және LT₉₀ көрсеткіштерін анықтау

H. halys-тің әртүрлі даму сатыларына қатысты *B. bassiana* вируленттілігін бағалау үшін медианалық летальды уақыт (LT₅₀) және LT₉₀ көрсеткіштері есептелді. Өлім-жітім деректерін талдау логарифмдік-пробиттік модельге негізделген пробит-талдау әдісі арқылы жүргізілді. LT₅₀ және LT₉₀ мәндері бұрын жарияланған әдістемелерге сәйкес есептелді (Gouli et al., 2012; Tozlu et al., 2019; Özdemir et al., 2022).

Қолданылған конидиялардың орташа өміршеңдігі $94,3 \pm 2,1\%$ құрады, бұл биосынақтарда қолданылатын энтомопатогенді саңырауқұлақтарға қойылатын талаптарға сәйкес келді.

Қоректену белсенділігін талдау

Қоректену белсенділігін бағалау үшін әр тәжірибелік нұсқада тірі қалған 10 ересек дарақ

пайдаланылды. Тәжірибе үш тәуелсіз қайталымда жүргізілді. Жәндіктер жеке пластикалық контейнерлерге орналастырылып, оларға алдын ала өлшенген және фотосуретке түсірілген жаңа өсімдік материалы берілді. 24 сағат өткеннен кейін қорек қалдықтары қайта өлшенді және зақымданған жапырақ немесе жеміс бетінің ауданы ImageJ бағдарламасының көмегімен анықталды. Қоректену қарқындылығы тұтынылған қорек массасының азаюы (τ) және зақымданған бет ауданының өзгеруі (cm^2) бойынша бағаланды. Барлық көрсеткіштер өңделмеген бақылау тобымен салыстырылды.

Репродуктивтік көрсеткіштерді талдау

Репродуктивтік белсенділікті бағалау үшін әр тәжірибелік топта 10 аналық және 10 аталық *Halyomorpha halys* дарағы пайдаланылды. Тәжірибе үш тәуелсіз қайталымда жүргізілді. Жұптар жеке контейнерлерде ұсталып, 14 тәулік бойы бақылауға алынды. Бір аналыққа шаққандағы жұмыртқа саны, жұмыртқа салу жиілігі және жұмыртқалардың шығу пайызы есептелді. Жұмыртқа салымдары күн сайын жиналып, дернәсілдердің шығу көрсеткіші анықталды. Алынған нәтижелер бақылау тобымен салыстырылды.

Сублетальді әсерлерді бағалау

B. bassiana инфекциясының сублетальді әсерлері жәндіктердің қозғалу белсенділігіне, қоректену мінез-құлқына және репродуктивтік көрсеткіштеріне қарай бағаланды. Қозғалу белсенділігі әр дарақты 10 минут бойы бақылау арқылы анықталды. Осы уақыт ішінде жүріп өткен қашықтық, қозғалыс ұзақтығы және қозғалыс актілерінің саны тіркелді. Мінез-құлықтық өзгерістер визуалды бақылау әдісімен бағаланып, енжарлық, қозғалыс үйлесімділігінің бұзылуы, қоректенуден бас тарту және сыртқы тітіркендіргіштерге реакцияның төмендеуі сияқты белгілер есепке алынды. Әр тәжірибелік топта 10 тірі қалған дарақ зерттелді. Тәжірибе үш тәуелсіз қайталымда жүргізілді. Барлық бақылаулар өңдеуден кейінгі 3, 5 және 7 тәуліктерде жүргізілді.

Статистикалық талдау

Статистикалық өңдеу Python бағдарламалау ортасының 3.11-нұсқасын пайдалану арқылы жүргізілді. Егер бақылау тобындағы өлім-жітім деңгейі 5%-дан асқан жағдайда, тәжірибелік топтардың өлім көрсеткіштері Abbott формуласы бойынша түзетілді (Abbott, 1925). Деректерді талдауға дейін олардың қалыпты таралу заңдылығына сәйкестігі тексерілді. Тәжірибелік

топтар арасындағы айырмашылықтарды анықтау үшін бір факторлы дисперсиялық талдау (ANOVA) қолданылып, кейіннен айырмашылықтардың нақтылығын бағалау мақсатында Tukey HSD пост-хок тесті жүргізілді. Статистикалық маңыздылық деңгейі $p < 0,05$ деп қабылданды (Tukey, 1949).

Тіршілік ету ұзақтығын талдау және LT_{50} мен LT_{90} көрсеткіштерін есептеу Python бағдарламасының *lifelines* және *statsmodels* кітапханаларының көмегімен жүзеге асырылды (Davidson-Pilon, 2024; Perktold et al., 2024).

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Beauveria bassiana саңырауқұлағының *Halyomorpha halys*-ке қарсы патогендік белсенділігі жәндіктің даму сатысына және конидиялар концентрациясына байланысты өзгерді. Барлық тәжірибелік топтарда саңырауқұлақ концентрациясының жоғарылауымен бірге өлім-жітім деңгейі айтарлықтай артты.

H. halys өлім-жітімі саңырауқұлақпен өңдеуден кейін

Барлық тәжірибелік топтарда саңырауқұлақ конидияларының концентрациясы 10^5 -тен 10^8 конидия/мл-ге дейін артқан сайын өлім-жітім деңгейі біртіндеп жоғарылады. Ең жоғары өлім көрсеткіштері 10^8 конидия/мл концентрациясында тіркелді, бұл қолданылған *B. bassiana* изолятының жоғары вируленттілігін көрсетті.

Зерттелген даму сатыларының ішінде нимфалар саңырауқұлақ инфекциясына ең жоғары сезімталдық танытты. Нимфалардың өлім-жітімі 10^5 конидия/мл концентрациясында 43%-дан 10^8 конидия/мл концентрациясында 98%-ға дейін артты. Өлім-жітімнің ерекше күрт жоғарылауы 10^6 -дан 10^7 конидия/мл концентрациясына ауысқанда байқалды, мұнда өлім көрсеткіші 67%-дан 88%-ға дейін өсті. Бұл деректер Parker және әріптестерінің нәтижелерімен сәйкес келеді, олар *B. bassiana* негізіндегі препараттармен өңделген *H. halys*-тің екінші жастағы нимфаларының жоғары сезімталдығын көрсеткен, мұнда жоғары конидия концентрацияларында өлім-жітім деңгейі 95–100%-ға жеткен (Parker et al., 2015). Нимфалық сатылардың жоғары сезімталдығы олардың кутикуласының жұқалығымен, жамылғысының жеткіліксіз склеротизациясымен және ересек жәндіктермен салыстырғанда иммундық қорғаныс жүйесінің әлсіз дамуымен түсіндірілуі мүмкін (Ortiz-Urquiza & Keyhani, 2013).

Ересек *H. halys* дарақтары да энтомопатогенді саңырауқұлақтың әсеріне жоғары сезімталдық көрсетті. Ересек дарақтардың өлім-жітімі 10^5 конидия/мл концентрациясында 30%-дан 10^8 конидия/мл концентрациясында 95%-ға дейін артты. Айта кету керек, 10^7 конидия/мл концентрациясында ересек дарақтардың өлім-жітімі 81%-ға жетті, бұл *B. bassiana*-ның максималды деңгейден төмен концентрацияларда да айқын инсектицидтік әсер көрсететінін дәлелдейді. Ұқсас нәтижелер Gouli және әріптестерінің зерттеуінде алынған, онда әртүрлі энтомопатогенді саңырауқұлақтардың ересек *H. halys* дарақтарына қарсы жоғары вируленттілігі көрсетілген (Gouli et al., 2012).

Конидиялар концентрациясының артуымен ересек дарақтардың өлім-жітім деңгейінің жоғарылауы жәндіктің кутикула бетіне жабысатын конидиялар санының көбеюімен байланысты болуы мүмкін. Бұл өз кезегінде конидиялардың сәтті өну, саңырауқұлақтың жәндік ағзасына ену және кейіннен жүйелі инфекцияның дамуы ықтималдығын арттырады.

H. halys жұмыртқалары *B. bassiana*-ның әсеріне нимфалар мен ересек дарақтарға қарағанда төмен сезімталдық көрсетті. Жұмыртқалардың өлім-жітім көрсеткіштері сәйкесінше 10^5 , 10^6 , 10^7 және 10^8 конидия/мл концентрацияларында 18%, 35%, 58% және 74% болды. Әсері салыстырмалы түрде төмен болғанымен, конидиялар концентрациясының артуымен бірге өлім-жітім деңгейінің тұрақты жоғарылауы байқалды, бұл саңырауқұлақ әсерінің концентрацияға тәуелді сипатын қосымша растады. Жұмыртқалардың төмен сезімталдығы конидиялардың жұмыртқаға жабысуын, өнуін және енуін шектейтін хо-рионның қорғаныш қасиеттерімен байланысты

болуы мүмкін (Tozlu et al., 2019). Сонымен қатар, жұмыртқа беті саңырауқұлақ инфекциясының дамуы үшін қолайлығы төмен ылғалдылық жағдайларын қалыптастыруы мүмкін.

Жалпы алғанда, конидиялар концентрациясының жоғарылауымен өлім-жітім деңгейінің айтарлықтай артуы саңырауқұлақ тиімділігінің инфекциялық жүктемеге күшті тәуелді екенін көрсетеді. Нимфалар мен ересек дарақтардың ерекше жоғары сезімталдығы *B. bassiana*-ның өсімдіктерді интеграцияланған қорғау жүйелерінде зиянкестің белсенді даму сатыларына қарсы қолдануға перспективалы агент бола алатынын көрсетеді.

Алынған нәтижелер әдебиетте сипатталған *Beauveria bassiana* изоляттарының вируленттілігімен салыстырғанда жоғары деңгейде екенін көрсетті. Gouli және әріптестерінің зерттеуінде *Halyomorpha halys* имаголарының өлім-жітімі жоғары вирулентті штамдарды қолданған жағдайда шамамен 80–90% аралығында болғаны хабарланған (Gouli et al., 2012). Біздің зерттеуде жергілікті изолят 1×10^8 конидия/мл концентрациясында нимфалардың 98%-ға және ересек дарақтардың 95%-ға дейін өлімін туғызды. Сонымен қатар, Özdemir және әріптестері (Özdemir et al., 2022) *Beauveria bassiana* изоляттары үшін LT_{50} көрсеткіштерінің 4–7 тәулік аралығында өзгеретінін көрсеткен. Біздің зерттеуде ең жоғары концентрацияда LT_{50} мәні 3,7 тәулікті құрады, бұл инфекцияның жылдамырақ дамитынын және қолданылған жергілікті изолятың жоғары патогенділігін көрсетеді. Анықталған айырмашылықтар саңырауқұлақ изоляттарының генетикалық ерекшеліктерімен, конидиялардың өміршеңдігімен және тәжірибе жүргізу жағдайларымен байланысты болуы мүмкін.

1-кесте

Beauveria bassiana саңырауқұлағының әртүрлі концентрацияларымен өңделгеннен кейінгі *Halyomorpha halys* даму сатыларының өлім-жітімі

| Конидиялар концентрациясы (конидия/мл) | Жұмыртқалардың өлім-жітімі (%) | Нимфалардың өлім-жітімі (%) | Ересек дарақтардың өлім-жітімі (%) |
|--|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 10^5 | 18±1,2 | 43±1,5 | 30±2,1 |
| 10^6 | 35±1,9 | 67±1,7 | 53±1,2 |
| 10^7 | 58±2,5 | 88±2,2 | 81±1,7 |
| 10^8 | 74±3,1 | 98±2,7 | 95±1,9 |

Өлім-жітім көрсеткіштеріне жүргізілген бір факторлы дисперсиялық талдау конидиялар концентрациясының *H. halys* өлім-жітіміне елеулі әсер ететінін көрсетті (ANOVA: $F_{3,12} = 42,57$, $p < 0.001$). Tukey HSD тестінің нәтижелері бойынша 10^7 және 10^8 конидия/мл концентрациялары төмен концентрациялардан статистикалық тұрғыдан айтарлықтай ерекшеленді ($p < 0.05$).

Beauveria bassiana-ның сублетальді әсерлері

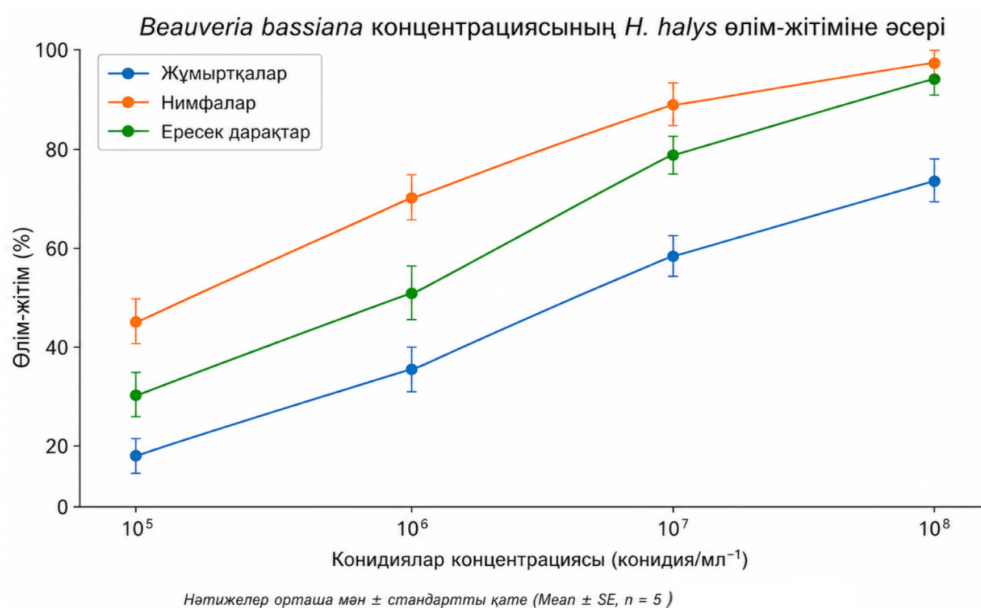
Тікелей өлім-жітімнен басқа, *B. bassiana*-мен өңдеу тірі қалған *H. halys* дарақтарында айқын сублетальді әсерлер туғызды. Ең айқын өзгерістер конидиялардың жоғары концентрацияларымен (10^7 – 10^8 конидия/мл) өңделген топтарда байқалды. Инфекцияланған жәндіктер бақылау тобымен салыстырғанда қозғалу белсенділігінің төмендеуін, қоректену қарқындылығының

азаюын және қалыпты мінез-құлық реакцияларының бұзылуын көрсетті.

Қоректену белсенділігін талдау нәтижесінде ересек дарақтардың қоректену қарқындылығы бақылау тобымен салыстырғанда 10^7 конидия/мл концентрациясында өңделген топта шамамен 32%-ға, ал 10^8 конидия/мл концентрациясында 57%-ға төмендегені анықталды. Аталған айырмашылықтар бақылау тобымен салыстырғанда статистикалық тұрғыдан маңызды болды ($p < 0.05$). Жәндіктер өсімдік материалының аз көлемін тұтынды, сондай-ақ қоректену кезеңдерінің арасындағы уақыттың ұзаруы байқалды. Кейбір инфекцияланған дарақтарда өңдеуден кейінгі алғашқы 24 сағат ішінде ұзақ уақыт қозғалмай қалу және қоректенуден бас тарту белгілері тіркелді.

2-сурет

Beauveria bassiana саңырауқұлағының әртүрлі концентрацияларымен өңделгеннен кейінгі *Halymorpha halys* даму сатыларының өлім-жітімі



B. bassiana-ның сублетальді әсері *H. halys*-тің репродуктивтік белсенділігіне де ықпал етті. Бір аналыққа шаққандағы жұмыртқалардың орташа саны бақылау тобында $28 \pm 2,1$ жұмыртқаны құраса, 10^7 және 10^8 конидия/мл концентрацияларымен өңделген топтарда бұл көрсеткіш сәйкесінше $17 \pm 1,8$ және $9 \pm 1,2$ жұмыртқаға дейін төмендеді. Сонымен қатар, өңделген аналықтарда жұмыртқа салудың кешігуі және жұмыртқа салу белсенділігінің төмендеуі бай-

қалды. Аталған айырмашылықтар бақылау тобымен салыстырғанда статистикалық тұрғыдан маңызды болды ($p < 0.05$).

Жұмыртқалардың тіршілікке қабілеттілігі де саңырауқұлақпен өңдеуден кейін төмендеді. Бақылау тобында жұмыртқалардың шығу көрсеткіші шамамен 92% болса, *B. bassiana*-ның ең жоғары концентрациясы қолданылған нұсқада бұл көрсеткіш 54%-ға дейін төмендеді. Бұл нәтижелер саңырауқұлақтың тек летальді әсер

көрсетіп қана қоймай, сонымен қатар зиянкестің физиологиялық жағдайына, қоректену мінез-құлқына және репродуктивтік әлеуетіне елеулі ықпал ететінін көрсетеді.

Инфекцияланған жәндіктердегі мінез-құлық өзгерістері енжарлық, қозғалыс үйлесімділігінің төмендеуі және жалпы белсенділіктің азаюы түрінде байқалды. Бақылау тобымен салыстырғанда қозғалу белсенділігі 10^7 конидия/мл концентрациясымен өңделген топта 61%-ға, ал 10^8 конидия/мл концентрациясымен өңделген топта 84%-ға төмендеді ($p < 0.05$). Бұл өзгерістер жүйелі саңырауқұлақ инфекциясының дамуымен, улы метаболиттердің жиналуымен және *B. bassiana*-ның гемоцельді колонизациялауынан туындаған физиологиялық күйзеліспен байланысты болуы мүмкін.

Тіршілік ету көрсеткіштерін талдау

Каплан–Мейер әдісі бойынша жүргізілген тіршілік ету талдауы *B. bassiana*-мен өңделгеннен кейін *H. halys* дарақтарының тіршілік ету деңгейінің конидиялар концентрациясына тәуелді түрде айтарлықтай төмендейтінін көрсетті. Барлық тәжірибелік топтарда конидиялар концентрациясының артуына және саңырауқұлақ әсер ету уақытының ұзаруына байланысты жәндіктердің тіршілік ету көрсеткішінің біртіндеп төмендеуі байқалды. Ең айқын әсер 1×10^8 конидия/мл концентрациясындағы суспензиямен өңделген топта тіркелді, мұнда өңдеуден кейінгі алғашқы 4–6 күн ішінде тіршілік ету деңгейінің күрт төмендеуі байқалды. Тәжірибе кезеңінің соңына қарай бұл топтағы тіршілік ету көрсеткіші іс жүзінде нөлге дейін төмендеді, бұл конидиялардың ең жоғары концентрациясында *B. bassiana*-ның жоғары вируленттілігін көрсетті (3 сурет).

Саңырауқұлақтың төмен концентрацияларымен (10^5 – 10^7 конидия/мл) өңделген топтарда тіршілік ету деңгейінің төмендеуі біртіндеп жүрді. 10^5 конидия/мл концентрациясында жәндіктердің тіршілік ету көрсеткіші тәжірибенің алғашқы күндерінде салыстырмалы түрде жоғары деңгейде сақталды, ал өлім-жітім баяу өсті, бұл инфекциялық жүктеме төмен болған жағдайда инфекцияның даму үдерісі ұзаққа созылатынын көрсетті. Сонымен қатар, 10^6 және 10^7 конидия/мл концентрацияларында тіршілік ету деңгейінің аралық төмендеуі байқалды, ол ең төмен концентрациямен салыстырғанда инфекцияның

жылдамырақ дамуымен және жинақталған өлім-жітімнің артуымен сипатталды.

Бақылау тобында бүкіл бақылау кезеңі бойы тіршілік ету көрсеткіші тұрақты деңгейде сақталды, бұл ұстау жағдайлары мен бақылау ерітіндісінің жәндіктер өлім-жітіміне елеулі әсер етпегенін растады. Бұл нәтижелер *H. halys* дарақтарының өлім-жітімінің негізгі факторы *B. bassiana*-ның әсері болғанын көрсетеді.

Бақыланған тіршілік ету динамикасы энтомопатогенді саңырауқұлақтардың патогенезіне сәйкес келеді. Конидиялар кутикула бетіне жабысқаннан кейін олар өніп, жәндіктің жамылғысы арқылы енеді, гемоцельді колонизациялайды және біртіндеп жүйелі саңырауқұлақ инфекциясын қалыптастырады (Ortiz-Urquiza & Keyhani, 2013). Бұл үдеріс белгілі бір уақытты қажет ететіндіктен, жәндіктердің өлім-жітімі өңдеуден кейін бірден емес, біртіндеп артады. Конидиялардың жоғары концентрациялары саңырауқұлақтың сәтті жабысу және ену ықтималдығын арттырады, нәтижесінде инфекцияның дамуы жеделдеп, тіршілік ету деңгейі жылдамырақ төмендейді.

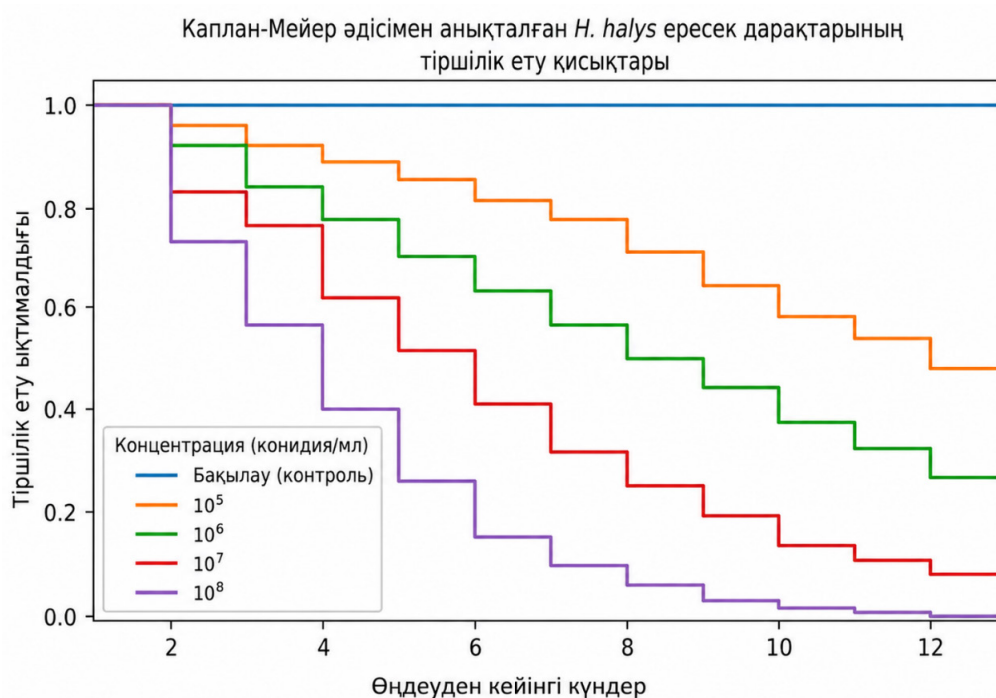
Бұл нәтижелер Parker және Gouli және әріптестерінің зерттеулерімен сәйкес келеді, онда *B. bassiana* концентрациясының жоғарылауы *H. halys*-те микоздың дамуын жеделдетіп, тіршілік ету ұзақтығын қысқартатынын көрсетілген (Gouli et al., 2012; Parker et al., 2015). Тіршілік ету қисықтарындағы осындай концентрацияға тәуелді өзгерістер энтомопатогенді саңырауқұлақтармен зақымданған Pentatomidae тұқымдасының басқа өкілдері үшін де бұрын сипатталған (Tozlu et al., 2019).

Жалпы алғанда, Каплан–Мейер талдауының нәтижелері *B. bassiana*-ның *H. halys*-ке қарсы тиімді биологиялық агент ретінде жоғары әлеуетін растайды. Конидиялар концентрациясының артуымен жәндіктердің тіршілік ету көрсеткішінің айтарлықтай төмендеуі саңырауқұлақ инфекциясының тиімділігі инфекциялық жүктемеге қатты тәуелді екенін көрсетеді және өсімдіктерді интеграцияланған қорғау бағдарламаларында жоғары вирулентті *B. bassiana* изолляттарын қолдану мүмкіндігін айқындайды.

Каплан–Мейер қисықтарын салыстыру Log-rank тесті арқылы жүргізілді. Топтар арасындағы айырмашылықтар статистикалық маңызды болды ($\chi^2 = 31.4$, $p < 0.001$).

3-сурет

Beauveria bassiana саңырауқұлағының әртүрлі концентрацияларымен өңделген *Halyomorpha halys* ересек дарақтарының Каплан–Мейер тіршілік ету қисықтары



LT₅₀ және LT₉₀ көрсеткіштері

Саңырауқұлақ концентрациясының артуымен LT_{50} және LT_{90} мәндері төмендеді, бұл конидиялар тығыздығы жоғарылаған сайын *Beauveria bassiana* вируленттілігінің артқанын

көрсетті. LT_{50} және LT_{90} көрсеткіштері үшін 95% сенімділік интервалдары есептелді. Конидиялар концентрациясының жоғарылауымен летальді әсердің даму уақыты қысқарды (2-кесте).

2-кесте

Beauveria bassiana саңырауқұлағының әртүрлі концентрацияларымен өңделгеннен кейінгі *Halyomorpha halys* үшін LT_{50} және LT_{90} көрсеткіштері

| Конидиялар концентрациясы (конидия/мл) | LT_{50} (тәулік) | 95% CI | LT_{90} (тәулік) | 95% CI |
|--|--------------------|----------|--------------------|-----------|
| 10^5 | 10,4 | 9,6–11,3 | – | – |
| 10^6 | 7,8 | 7,1–8,5 | 11,5 | 10,4–12,8 |
| 10^7 | 5,2 | 4,7–5,8 | 8,1 | 7,3–9,0 |
| 10^8 | 3,7 | 3,2–4,1 | 6,2 | 5,5–7,0 |

10^5 конидия/мл концентрациясында өлім-жітім деңгейі 90%-ға жетпегендіктен LT_{90} көрсеткіші есептелмеді. Алынған LT_{50} және LT_{90} мәндері бұрын жарияланған зерттеулердегі көрсеткіштермен салыстырғанда төмен болды, бұл қолданылған жергілікті *Beauveria*

bassiana изолятының жоғары вируленттілігін көрсетеді. Әсіресе 1×10^8 конидия/мл концентрациясында анықталған LT_{50} мәні (3,7 тәулік) әдебиетте жиі келтірілетін көрсеткіштерден төмен болды (Gouli et al., 2012; Özdemir et al., 2022).

Микроскопиялық бақылаулар

Микроскопиялық зерттеу саңырауқұлақтың жәндік кутикуласына жабысуын және оның өсуін растады. Өңдеуден кейін 3–5 күн өткен соң инфекцияланған өлекселерде гифалардың жәндік жамылғысына енуі және мицелийдің сыртқы өсуі байқалды. Қатты инфекцияланған үлгілерде қарқынды спора түзілуі тіркелді, бұл *Beauveria bassiana* тудырған микоздың дамуын растады.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері энтомопатогенді *Beauveria bassiana* саңырауқұлағының *Halyomorpha halys*-ке қарсы биологиялық күрес агенті ретіндегі жоғары әлеуетін растады. Саңырауқұлақ инфекциясының тиімділігі конидиялар концентрациясына және жәндіктің даму сатысына тікелей тәуелді екені анықталды. Конидиялар концентрациясы 10^5 -тен 10^8 конидия/мл-ге дейін артқан сайын барлық тәжірибелік топтарда өлім-жітім деңгейінің айтарлықтай жоғарылауы байқалды. Ең жоғары концентрацияда нимфалардың өлім-жітімі 98%-ға, ересек дарақтардың өлім-жітімі 95%-ға және жұмыртқалардың өлім-жітімі 74%-ға жетті.

H. halys нимфалары *Beauveria bassiana*-ға ең жоғары сезімталдық көрсетті, ал жұмыртқалар салыстырмалы түрде төменірек сезімталдық танытты, бұл олардың хорионының қорғаныш қасиеттерімен байланысты болуы мүмкін. Алынған LT_{50} және LT_{90} көрсеткіштері конидиялар концентрациясының жоғарылауымен летальді инфекцияның дамуына қажетті уақыттың қысқаратынын көрсетті. Ең жоғары концентрацияда LT_{50} көрсеткіші 3,7 тәулікті құрады, бұл қолданылған жергілікті *Beauveria bassiana* изолятының жоғары вируленттілігін дәлелдейді.

Beauveria bassiana тікелей летальді әсерінен басқа, қозғалу белсенділігінің төмендеуі, қоректену қарқындылығының азаюы, қимыл-қозғалыс үйлесімділігінің бұзылуы және көбею қабілетінің төмендеуі сияқты айқын сублетальді әсерлер туғызды. Өңделген дарақтарда қоректену белсенділігінің төмендеуімен қатар, репродуктивтік көрсеткіштердің нашарлауы байқалды. Өңделген аналықтарда жұмыртқа салу қарқындылығының едәуір төмендеуі және ұрпақтарының тіршілікке қабілеттілігінің азаюы тіркелді. Бұл нәтижелер саңырауқұлақ инфекциясының зиянкестің физиологиялық жағдайы мен мінез-құлқына кешенді теріс әсер ететінін көрсетеді.

Микроскопиялық зерттеулер конидиялардың жәндік кутикуласына жабысуын, гифа-

лардың өнуін және инфекцияланған дарақтардың бетінде микоздың дамуын растады, бұл *Beauveria bassiana*-ның иесі ағзасын сәтті колонизациялағанын көрсетті. Сонымен қатар, Каплан-Мейер талдауы саңырауқұлақпен өңделген *Halyomorpha halys* дарақтарының тіршілік ету деңгейінің концентрацияға тәуелді түрде айтарлықтай төмендейтінін көрсетті.

Осылайша, алынған нәтижелер *Beauveria bassiana* жергілікті изолятының *Halyomorpha halys*-ке қарсы жоғары энтомопатогендік белсенділік көрсететінін және оны зиянкестермен интеграцияланған күрес жүйелерінде қолданылудың перспективалы екенін дәлелдейді. Саңырауқұлақтың жоғары патогенділігі, сондай-ақ оның летальді және сублетальді әсерлер туғызу қабілеті *Beauveria bassiana*-ны тұрақты биологиялық күрес бағдарламаларының тиімді құрамдас бөлігі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Болашақ зерттеулерде әртүрлі *Beauveria bassiana* изоляттарының далалық жағдайлардағы тиімділігін бағалау, қолдану технологияларын оңтайландыру және энтомопатогенді саңырауқұлақтардың зиянкестермен интеграцияланған күрес жүйелерінің басқа компоненттерімен өзара әрекеттесу ерекшеліктерін зерттеу маңызды болып табылады.

Қаржыландыру

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігінің BR22887230 нысаналы қаржыландыру бағдарламасы шеңберінде қаржыландырылды.

Авторлардың үлесі

Махамбетов Ә.Н.: зерттеу тұжырымдама-сын әзірлеу, әдістеме дайындау, эксперименттер жүргізу, деректерді талдау, нәтижелерді визуализациялау, мақаланың бастапқы нұсқасын жазу; *Кенжебекова Р.Т.*: эксперименттік зерттеулер жүргізу, деректерді жинау және жүйелеу, мақаланы дайындауға қатысу, нәтижелерді талдау және интерпретациялау; *Дулат Б.*: эксперименттік зерттеулер жүргізу, материалдар мен ресурстарды қамтамасыз ету, деректерді жинау және өңдеу; *Даирбекова З.К.*: зерттеуді ұйымдастыру және үйлестіру, ғылыми кеңес беру, нәтижелерді талдау және интерпретациялау, мақаланы редакциялау және жетілдіру; *Гриценко Д.А.*: ғылыми жетекшілік жасау, зерттеуді үйлестіру, ресурстық қамтамасыз ету, нәтижелерді талдау, мақаланы сараптау және редакциялау.

References

- Abbott, W. S. (1987). A method of computing the effectiveness of an insecticide (1925). *Journal of the American Mosquito Control Association*, 3(2), 302–303.
- Ahmad, S. A., Abdul, R. Q., Allah, B., & Tayyab, H. (2012). Entomopathogenic fungi as biological controllers: New insights into their virulence and pathogenicity. *Archives of Biological Sciences*, 64(1), 21–42.
- Altinok, H., Altinok, M., & Koca, A. (2019). Modes of action of entomopathogenic fungi. *Current Trends in Natural Sciences*, 8, 117–124.
- Beus, M. P., Lemić, D., Skendžić, S., Čirjak, D., & Živković, I. P. (2024). The brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae)—A major challenge for global plant production. *Agriculture*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/agriculture14081329>
- Bosco, L., Moraglio, S. T., & Tavella, L. (2018). *Halyomorpha halys*, a serious threat for hazelnut in newly invaded areas. *Journal of Pest Science*, 91, 661–670. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-1007-0>
- Chandler, D., Bailey, A. S., Tatchell, G. M., Davidson, G., Greaves, J., & Grant, W. P. (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1573), 1987–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0390>
- Davidson-Pilon, C. (2024). lifelines: Survival analysis in Python. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10715381>
- Fluch, M., Corretto, E., Grella, N., Fischnaller, S., Schwembacher, S., & Schuler, H. (2024). A molecular gut content analysis reveals the feeding hosts of the brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys*. *Research Square*, 1-23
- Gokturk, T. (2024). Current status of *Halyomorpha halys* in Turkey. *Georgian Scientists*, 6(4), 518–528.
- Gouli, V., Gouli, S., Skinner, M., Hamilton, G., Kim, J. S., & Parker, B. L. (2012). Virulence of select entomopathogenic fungi to the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae). *Pest Management Science*, 68(2), 155–157. <https://doi.org/10.1002/ps.2324>
- Haye, T., Garipey, T., Hoelmer, K., Rossi, J.-P., Streito, J.-C., Tassus, X., & Desneux, N. (2015). Range expansion of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*: An increasing threat to field, fruit and vegetable crops worldwide. *Journal of Pest Science*, 88, 665–673. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0670-2>
- Herrick, C. (2011). Brown marmorated stink bug causes \$37 million in losses to Mid-Atlantic apple growers. *Growing Produce*. Retrieved May 13, 2026, from <https://www.growingproduce.com/fruits/apples-pears/brown-marmorated-stink-bug-causes-37-million-in-losses-to-mid-atlantic-apple-growers/>
- Joseph, S. V., Stallings, J. W., Leskey, T. C., Krawczyk, G., Polk, D., Butler, B., & Bergh, J. C. (2014). Spatial distribution of brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) injury at harvest in Mid-Atlantic apple orchards. *Journal of Economic Entomology*, 107(5), 1839–1848. <https://doi.org/10.1603/EC14191>
- Perktold, J., Seabold, S., Sheppard, K., Fulton, C., Shedden, K., Brockmendel, J., ... Halchenko, Y. (2024). statsmodels/statsmodels: Release 0.14.2. *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10957260>
- Keszthelyi, S., Gibicsár, S., Jócsák, I., Fajtai, D., & Donkó, T. (2022). Analysis of the destructive effect of the *Halyomorpha halys* saliva on tomato by computer tomographical imaging and antioxidant capacity measurement. *Biology*, 11(7), 1070. <https://doi.org/10.3390/biology11071070>
- Lee, D.-H., Short, B. D., Joseph, S. V., Bergh, J. C., & Leskey, T. C. (2013). Review of the biology, ecology, and management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in China, Japan, and the Republic of Korea. *Environmental Entomology*, 42(4), 627–641. <https://doi.org/10.1603/EN13006>
- Leskey, T., Hamilton, G., Biddinger, D., Buffington, M., Dieckhoff, C., Dively, G., Fraser, H., Garipey, T., Hedstrom, C., Herbert, D., Hoelmer, K., Hooks, C., Inkley, D., Krawczyk, G., Kuhar, T., Lee, D.-H., Nielsen, A., Pfeiffer, D., Rodriguez-Saona, C., & Wiman, N. (2022). *Halyomorpha halys* (brown marmorated stink bug). *CABI Compendium*. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.27377>
- Li, J., Zhang, K., Zuo, T., Chen, Y., Zhang, Y., Li, X., Zhang, X., & Song, L. (2025). Nontarget effects of insecticides on biological control agents: Insights from red pine forests and global challenges in forest pest management. *Journal of Integrated Pest Management*, 16(1), 16.
- Litwin, A., Nowak, M., & Różalska, S. (2020). Entomopathogenic fungi: Unconventional applications. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 19(1), 23–42. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09525-1>
- Liu, D., Smagghe, G., & Liu, T.-X. (2023). Interactions between entomopathogenic fungi and insects and prospects with glycans. *Journal of Fungi*, 9(5), 560. <https://doi.org/10.3390/jof9050560>
- Luo, Z.-Y., Gao, L.-P., Li, W.-J., Chen, J.-H., Ali, M. Y., Zhang, F., Li, F.-Q., Wang, X.-P., & Zhang, J.-P. (2025). Assessing the lethal effects of pesticide residue exposure on beneficial parasitoids and their host, *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Economic Entomology*, 118(1), 242–252.
- Murvanidze, M., Krawczyk, G., Inasaridze, N., Dekanoidze, L., Samsonadze, N., Macharashvili, M., Khutsishvili, S., & Shengelaia, S. (2018). Preliminary data on the biology of brown marmorated stink bug **Halyomorpha halys** (Hemiptera, Pentatomidae) in Georgia. *Turkish Journal of Zoology*, 42, 323–334. <https://doi.org/10.3906/zoo-1710-37>
- Ortiz-Urquiza, A., & Keyhani, N. O. (2013). Action on the surface: Entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. *Insects*, 4(3), 357–374. <https://doi.org/10.3390/insects4030357>
- Parker, B. L., Skinner, M., Gouli, S., Gouli, V., & Kim, J. S. (2015). Virulence of BotaniGard® to second instar brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae). *Insects*, 6(2), 319–324. <https://doi.org/10.3390/insects6020319>

Sharma, A., Sharma, S., & Yadav, P. K. (2023). Entomopathogenic fungi and their relevance in sustainable agriculture: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2180857. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2180857>

Tassini, C., & Mifsud, D. (2019). The brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) in Malta. *EPPPO Bulletin*, 49(1), 132–136. <https://doi.org/10.1111/epp.12555>

Tozlu, E., Saruhan, I., Tozlu, G., Kotan, R., Dadaşoğlu, F., & Tekiner, N. (2019). Potentials of some entomopathogens against the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) (Hemiptera: Pentatomidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1), 76. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0165-5>

Tukey, J. W. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 5(2), 99–114. <https://doi.org/10.2307/3001913>

Wang, H., Peng, H., Li, W., Cheng, P., & Gong, M. (2021). The toxins of *Beauveria bassiana* and the strategies to improve their virulence to insects. *Frontiers in Microbiology*, 12, 705343. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.705343>

Wang, J. B., St. Leger, R. J., & Wang, C. (2016). Advances in genomics of entomopathogenic fungi. *Advances in Genetics*, 94, 67–105. <https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2016.01.001>

Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R. F., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., & Akbulut, M. E. S. (2024). Integrated pest management: An update on the sustainability approach to crop protection. *ACS Omega*, 9(40), 41130–41147. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c04880>

Авторлар туралы мәлімет:

Махамбетов Әлібек – ҚР ҒЖБМ ҒК ШЖҚ РМК «Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты» Молекулалық биология зертханасының лаборанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: alibek2904@mail.ru).

Кенжебекова Роза – ҚР ҒЖБМ ҒК ШЖҚ РМК «Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты» Молекулалық биология зертханасының ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан, e-mail: rozakenzhebekova344@gmail.com).

Дулат Бақыт – ҚР ҒЖБМ ҒК ШЖҚ РМК «Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты» Молекулалық биология зертханасының лаборанты, AgriBioTech ғылыми-зерттеу орталығы ЖШС (Алматы, Қазақстан, e-mail: bahytalt99@gmail.com).

Даирбекова Зарина – ҚР ҒЖБМ ҒК ШЖҚ РМК «Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты» Молекулалық биология зертханасының лаборанты (Алматы, Қазақстан, e-mail: dairbekovaz2001@gmail.com).

Гриценко Диляра (хат-хабар алмасуға жауапты автор) – PhD, қауымдастырылған профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК ШЖҚ РМК «Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты» Молекулалық биология зертханасының меңгерушісі, AgriBioTech ғылыми-зерттеу орталығы ЖШС (Алматы, Қазақстан, e-mail: d.kopytina@gmail.com).

Information about the authors:

Makhambetov Alibek – Laboratory Assistant, Laboratory of Molecular Biology, RSE on REM «Institute of Plant Biology and Biotechnology» CS MSHE RK, (Almaty, Kazakhstan, e-mail: alibek2904@mail.ru).

Kenzhebekova Roza – researcher at the Laboratory of Molecular Biology, RSE on REM “Institute of Plant Biology and Biotechnology” CS MSHE RK (Almaty, Kazakhstan, e-mail: rozakenzhebekova344@gmail.com).

Dulat Bakyt – Laboratory Assistant, Laboratory of Molecular Biology, RSE on REM «Institute of Plant Biology and Biotechnology» CS MSHE RK, Research Center AgriBioTech LLP (Almaty, Kazakhstan, e-mail: bahytalt99@gmail.com).

Dairbekova Zarina – Laboratory Assistant, Laboratory of Molecular Biology, RSE on REM «Institute of Plant Biology and Biotechnology» CS MSHE RK, (Almaty, Kazakhstan, e-mail: dairbekovaz2001@gmail.com).

Gritsenko Dilyara (corresponding author) – PhD, Associate Professor, Head of the Laboratory of Molecular Biology, RSE on REM “Institute of Plant Biology and Biotechnology” CS MSHE RK, Research Center AgriBioTech LLP (Almaty, Kazakhstan, e-mail: d.kopytina@gmail.com).

Сведения об авторах:

Махамбетов Алибек – лаборант лаборатории молекулярной биологии РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: alibek2904@mail.ru).

Кенжебекова Роза – научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: rozakenzhebekova344@gmail.com).

Дулат Бақыт – лаборант лаборатории молекулярной биологии РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МНВО РК, ТОО «Научно-исследовательский центр AgriBioTech» (Алматы, Казахстан, e-mail: bahytalt99@gmail.com).

Даирбекова Зарина – лаборант лаборатории молекулярной биологии РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан, e-mail: dairbekovaz2001@gmail.com).

Гриценко Диляра (автор для корреспонденции) – PhD, ассоциированный профессор, заведующая лабораторией молекулярной биологии РГП на ПХВ «Институт биологии и биотехнологии растений» КН МНВО РК, ТОО «Научно-исследовательский центр AgriBioTech» (Алматы, Казахстан, e-mail: d.kopytina@gmail.com).

Келін түсті: 21 қаңтар 2026 жыл
Қабылданды: 15 маусым 2026 жыл