

Radjapov Farxod Sunnatullayevich

O'zR FA Genomika va bioinformatika markazi katta ilmiy hodimi

E-mail: farhod.radjapov@yandex.ru

Salaxutdinov Ilxom Baxtiyarovich

O'zR FA Genomika va bioinformatika markazi laboratoriya mudiri, PhD

E-mail: silkhom@mail.ru

Kamburova Venera Seytumerovna

O'zR FA Genomika va bioinformatika markazi direktor o'rinbosari, b.f.d.

E-mail: kamburova.v@genomics.uz

Usmanov Dilshod Erkinboyevich

O'zR FA Genomika va bioinformatika markazi laboratoriya mudiri, PhD

E-mail: d.usmonov@genomics.uz

Buriyev Zabardast Tojiboyevich

O'zR FA Genomika va bioinformatika markazi direktori, professor

E-mail: zburiyev@genomics.uz

UO'K: 632.4.01/.08

**FUSARIUM SOLANI NING O'SIMLIKLAR BILAN O'ZARO TA'SIRI,
O'SIMLIKLARNING HIMOYA MEXANIZMLARI VA QISHLOQ
XO'JALIGIDAGI OQIBATLARI ASOSIDA PATOGENLIK
HUSUSIYATLARINI O'RGANISH**

Annotatsiya. Ushbu maqolada qishloq xo'jaligi ekinlariga jiddiy xavf tug'diruvchi *Fusarium solani* kompleksining patogenligi tahlil qilingan. Patogenning genetik xususiyatlari hamda *F.solani* ning xo'jayin o'simliklar bilan o'zaro ta'sir mexanizmlari, virulentlikning namoyon bo'lishi va o'simliklarning patogenlarga chidamliligi tavsiflangan. *F.solani* genomining muhitga va xo'jayin organizmlarga moslashish imkonini beruvchi adaptiv plastikligiga alohida e'tibor qaratilgan. Shuningdek, ekinlarni ushbu patogen bilan zararlanish oqibatlari, kasallik boshqaruvining zamonaviy yondashuvlari, shu jumladan himoya va bionazoratning integratsiyalashgan usullari keltirilgan. Taqdim etilgan ma'lumotlar qishloq xo'jaligida *F.solani* ga qarshi samarali kurash strategiyalarini ishlab chiqish uchun asosiy manbalardan biri bo'lib hizmat qiladi.

Kalit so'zlar: *Fusarium, patogenlik, himoya mexanizmlari, qishloq xo'jaligi*

Раджапов Фарход Суннатуллаевич

Центр геномики и биоинформатики АН РУз, старший научный сотрудник

E-mail: farhod.radjapov@yandex.ru

Салахутдинов Илхом Бахтиярович

Центр геномики и биоинформатики АН РУз заведующий лабораторией, PhD

E-mail: silkhom@mail.ru

Камбурова Венера Сейтумеровна

Центр геномики и биоинформатики АН РУз заместитель директора, д.б.н.

E-mail: kamburova.v@genomics.uz

Усманов Дилшод Эркинбоевич

Центр геномики и биоинформатики АН РУз заведующий лабораторией, PhD

E-mail: d.usmonov@genomics.uz

Буриев Забардаст Таджибаевич

Директор Центра геномики и биоинформатики АН РУз, профессор

E-mail: zburiev@genomics.uz

ИЗУЧЕНИЕ ПАТОГЕННОСТИ *FUSARIUM SOLANI* НА ОСНОВЕ ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С РАСТЕНИЯМИ, ЗАЩИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ РАСТЕНИЙ И ПОСЛЕДСТВИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Аннотация: В данной статье представлен современный анализ патогенности *Fusarium solani* — грибкового комплекса, представляющего серьезную угрозу сельскохозяйственным культурам. Рассмотрены генетические особенности патогена, описаны механизмы взаимодействия *Fusarium solani* с растениями-хозяевами, проявление вирулентности и устойчивость растений к патогену. Особое внимание уделено адаптивной пластичности генома *F. solani*, позволяющей быстро приспосабливаться к новым условиям и хозяевам. Также приведены последствия поражения культур этим патогеном, а также современные подходы к управлению заболеванием, включая интегрированные методы защиты и биоконтроль. Представленные

данные имеют практическую значимость для разработки эффективных стратегий борьбы с *Fusarium solani* в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: *Fusarium*, патогенность, защитные механизмы, сельское хозяйство

Radjapov S Farkhod

Center of genomics and bioinformatics, senior researcher

E-mail: farhod.radjapov@yandex.ru

Salakhutdinov B Ilkhom

Center of genomics and bioinformatics, head of laboratory, PhD

E-mail: silkhom@mail.ru

Kamburova S Venera

Deputy Director of Center of genomics and bioinformatics, DSc

E-mail: kamburova.v@genomics.uz

Usmanov E Dilshod

Center of genomics and bioinformatics, head of laboratory, PhD

E-mail: d.usmonov@genomics.uz

Buriev T Zabardast

Director of Center of genomics and bioinformatics, professor

E-mail: zburiev@genomics.uz

STUDY OF *FUSARIUM SOLANI* PATHOGENICITY BASED ON ITS INTERACTION WITH PLANTS, PLANT DEFENSE MECHANISMS, AND CONSEQUENCES IN AGRICULTURE

Annotation: *This article presents a modern analysis of the pathogenicity of the Fusarium solani fungal complex, which poses a serious threat to agricultural crops. It examines the pathogen's genetic characteristics, describes the mechanisms of Fusarium solani interaction with host plants, the manifestation of its virulence, and plant resistance to the pathogen. Particular attention is paid to the adaptive plasticity of the F.solani genome, which allows it to quickly adapt to new conditions and hosts. The consequences of crop damage by this pathogen are also provided, along with modern approaches to disease management, including integrated control*

methods and biocontrol. The presented data have practical significance for developing effective strategies to combat Fusarium solani in agriculture.

Keywords: Fusarium, pathogenicity, defense mechanisms, agriculture

KIRISH

Fusarium solani (*F.solani*) – bu keng tarqalgan turlar majmuasi bo'lib, ular universal patogenlar sifatida o'simliklar, hayvonlar, shuningdek, odamlar kabi tirik organizmlarda jiddiy kasalliklarni qo'zg'atishga qodir. Uning yuqori virulentligi genetik, biokimyoviy va fiziologik omillarning birikmasi bilan bog'liq bo'lib, bu uning turli xil ho'jayin organizmlarga va atrof-muhit sharoitlariga moslashishini ta'minlaydi. *F.solani* patogenligi genetik moslashuvchanlik (xususan, shartli-almashinadigan xromosomalarning mavjudligi), ho'jayin organizm to'qimalarini parchalash uchun fermentlar ishlab chiqarish qobiliyati, uning opportunistik tabiati va himoya bioplyonkalarini hosil qilish qobiliyati bilan belgilanadi. Quyida *F.solani* patogenlik asoslari, ho'jayin organizm-patogen o'zaro ta'siri, o'simliklarning himoya mexanizmlari, metabolitlar, patogenlik xususiyatlari va qishloq xo'jaligiga ta'siri haqida ma'lumotlar keltirilgan.

F.solani ustida olib borilgan so'nggi tadqiqotlar natijasida uning patogenligini asosi bo'lgan murakkab genetik mexanizmlar aniqlandi. Ushbu tadqiqotlarning natijasi sifatida – *F.solani* turlar kompleksi (*FSSC - Fusarium Solani Species Complex*) genomlarida supernumerar yoki "qo'shimcha (aktessor)" xromosomalarning mavjudligini keltirish mumkin. Ushbu xromosomalar zamburug'ning o'sishi va rivojlanishida katta ahamiyat kasb etmaydi. Ammo, ushbu zamburug' turning ho'jayin organizm uchun spetsifik virulentlik omillarini kodlash bilan ushbu zamburug' turinig hayotchanligini saqlaydi [1]. Bu kabi genom darajasidagi moslashuvchanlik *F. solani* ga yangi ho'jayin organizm va muhitlarga tez moslashish imkonini beradi.

Zamburug'ning ma'lum o'simliklarni zararlash qobiliyatiga ta'sir qiluvchi va uning genomining moslashuvchanligi uchun mas'ul bo'lgan genlarni o'z ichiga olgan "moslashuvchan" (yoki o'zgaruvchan) xromosomalarning kashf etilishi [2]

ularni ho'jayin organizmlarga qanday tasir ko'rsatish haqidagi tushunchamizni sezilarli darajada o'zgartirdi. Bu tushunchalar natijasida *F. solani* patogenligi faqat asosiy genlarning aniq belgilangan to'plamiga bog'liq emasligi ma'lum bo'ladi. *F. solani* yangi ho'jayin organizmga yoki o'zgaruvchan sharoitlarga tez moslashishga yordam beradigan genlarning moslashuvchan to'plamiga ega bo'lib, ularni qabul qilishi, nusxalashi ("segment duplikatsiyalari" orqali) [2] yoki yo'qotishi mumkin. Bu kabi mexanizm ko'pgina potogen zamburug'larga xos bo'lib ho'jayin organizmlarni zararlash asosan dispensabel genom (FSSC) mexanizmlar tomonidan amalga oshiriladi. Bu kompleks tuzilma o'zida ho'jayin organizmi imun tizimini susaytiruvchi fermentlarni kodlovchi genlarning spetsifik boyitadi. Ushbu duplikat spetsifik genlar yoki ularning xosilalari o'simliklarning keng spektrida hujayra devorlarini parchalash yordamida zamburug' ho'jayin organizmga kirib borishini taminlaydi [2]. Ba'zi patogen izolyatlari no'xat patogenligi (PEP - pea pathogenicity) yoki pitsatin demetillanish (PDA - pisatin demethylating ability) buday zararlash mexanizmining yo'qligi adabiyotlarda keltirilgan [2, 3]. Bu kabi tadqiqotlar *F. solani* ho'jayin organizmlarni zararlashda boshqa potogen zamburug'lardan farqli ravishda qo'shimcha elementlar tomonidan kodlangan muqobil, moslashuvchan virulentlik mexanizmlaridan foydalanishini yana bir bor tasdiqlaydi. Ushbu genom darajasidagi moslashuvchanlik (plastiklik) *F. solani* ni nihoyatda chidamli va nazorat qilish qiyin bo'lgan patogenlar qatorida bo'lishga asosiy manba bo'ladi. Agarda patogen o'z genomining o'zgaruvchan qismi orqali o'z xususiyatlarini tezda o'zgartirsa, doimiy patogenlik omillariga chidamli o'simliklarni tanlash samara bermasligi mumkin. Shuning uchun, kelajakdagi nazorat strategiyalari ushbu dinamik qo'shimcha elementlarga, ularning ekspressiya mexanizmlariga yoki bu qadar tez moslashuvchanlikka kamroq moyil bo'lgan keng spektrli ho'jayin organizm chidamliligini rivojlantirishga qaratilishi kerak. Bu esa o'simlik kasalliklari kontekstida zamburug'larning evolyutsion biologiyasini yanada chuqurroq o'rganish zarurligini tasdiqlaydi.

F. solani izolyatlarining qo'shimcha ravishda pangenom tahlili qilinishi shuni ko'rsatdiki, genom plastikligi, genetik xilma-xilligi va adaptiv hususiyatlari asosan

ushbu dispers genom bilan bog'liq bo'lib, bunda segment duplikatsiyalarining ham sezilarli hissi bor [2]. Dispensabel genomni bioinformatik o'rganish natijasida uni gidrolazalar, transferazalar, oksidoreduktazalar, liaza, ligaza, izomera va dehidrogenazalarni o'z ichiga olgan keng doiradagi fermentlarni kodlovchi genlarga ega ekanligini ko'rsatdi [2]. Bu fermentlar yordamida ho'jayin o'simliklar hujayrasida turli metabolitik va vitaminlar biosintezi yollarni buzish orqali ularning asosiy himoya to'sig'ini parchalash oraqli organizmga zamburug'ning kirib borishi va kolonizatsiyasini taminlaydi [2]. Masalan, qand lavlagi gallalari (shishlari) bilan bog'liq bo'lgan opportunistik patogen SB1 izolyati o'rtacha *F.solani* genomiga (54 Mb) nisbatan ancha katta genomga (59,38 Mb) ega. Genom o'lchamidagi bu farq, ayniqsa, yaqin qarindosh bo'lgan referent genomlarda mavjud bo'lmagan uchta potentsial aktsessor xromosomada (Chr13, Chr14, Chr15) takroriy elementlar va segmentli dublikatsiyalarning yuqori miqdori bilan izohlanadi [2]. Ushbu qo'shimcha xromosomalar odatdagi xususiyatlarni, ya'ni kichikroq o'lcham, kuchsiz gen zichligi va takrorlanuvchi elementlarning yuqori foizini namoyish etadi [2]. SB1 izolati genomida 17981 ta oqsilni kodlovchi gen va 41 ta ikkilamchi metabolit aniqlandi. Shulardan 1177 tasi sekretor oqsillar ekanligi, jumladan, 440 tasi taxminiy effektor oqsillar (sitoplazmatik va apoplastik) va 308 tasi uglevod-aktiv fermentlar (CAZymes) ekanligi tahmin qilingan [2,4]. Bundan tashqari, patogen-ho'jayin organizm o'zaro ta'siri ma'lumotlar bazasi (PHI - Pathogen Host Interactions base) bilan gomologiyaga asoslanib, patogenezda potentsial rol o'ynaydigan 141 ta oqsil aniqlandi [5, 26]. Fermentlar majmuasi jumladan, funksiyalari kesishgan genlar (CAZymes, effektorlar, PHI) glikozid gidrolaza, pektin/pektat liaza, poligalakturonaza, endoglyukanaza, glyukanaza, liaza, kutinaza, tannaza, esteraza va peptidazalarni o'z ichiga oladi. Ushbu xilma-xil fermentlar to'plami zamburug'ning ho'jayin organizm komponentlarini parchalash va uning turli sharoitlariga moslashish qobiliyatini yaqqol namoyon etadi. *F. solani* pangenomi tobora to'yinish holatiga yaqinlashib bormoqda, bu esa yangi genlar hali ham topilayotgan bo'lsa-da, genomning kengayishi asosan mutlaqo yangi gen oilalari paydo bo'lishi hisobiga

emas, balki genlarning, xususan, fermentlarni kodlovchi genlarning dublikatsiyasi hisobiga yuzaga kelmoqda [2].

Ho'jayin organizm va patogenlar o'zaro ta'siri hamda himoya mexanizmlari. *F.solani* yuqori darajada moslashuvchan patogen bo'lib, nafaqat keng doiradagi o'simliklarni, balki odamlar va hayvonlarni ham zararlashi mumkin [6]. O'simliklarda u odatda ildiz chirishini keltirib chiqaradi, bunda nekroz darajasi kasallikning og'irligi bilan bevosita bog'liqdir [1]. O'simlikning yer usti qismidagi simptomlari so'lish, o'sishning sekinlashishi, xloroz (sarg'ayish) va poya yoki barglarda shikastlanishlarni rivojlanishini o'z ichiga olishi mumkin [1].

Fusarium turlarining ho'jayin organizmlarni zararlash qobiliyatining asosiy jihati - ularning hujayra devorini buzuvchi fermentlar (CWDEs) ekzofermentlar ishlab chiqarishidir [7]. Ular qatoriga sellulaza, β -glyukozidaza, ksilanaza, pektinaza va lipaza kabi fermentlar kiradi. Bu fermentlar o'simlikning hujayra devori komponentlarini depolimerizatsiya qilish orqali uni zaiflashtirishga va patogenning hujayra ichkariga kirishiga yordam beradi [7]. O'z navbatida, o'simliklar murakkab himoya mexanizmlariga ega. Ular patogenning kolonizatsiyasini oldini olish uchun zararlanish vaqtida miqdori o'zgarib turadigan fitogormonlarning murakkab o'zaro ta'sirini o'z ichiga oladi. Bularga salitsil kislotasi (SA), etilen (ET), jasmonatlar (JA), auksinlar, gibberellinlar, absiz kislotasi, sitokininlar, brassinosteroidlar va peptid gormonlar kiradi [8]. Masalan, biotrof patogenlar o'simliklarda orttirilgan chidamlilikka (SAR - Systemic Acquired Resistance) va antimikrobial faollikka ega bo'lgan patogenez bilan bog'liq PR (Pathogenesis Related) genlarining kuchli ekspressiyasiga olib keladi Bu esa hujayralarda SA ning sintezini boshlanishiga sabab bo'ladi [8]. O'simliklarning yana bir samarali himoya mexanizmi gipersezuvchanlik reaksiyasi (HR - Hypersensitive Response) bo'lib, u hujayralarning joyida nobud bo'lishi va patogen rivojlanishini oldini olishga qaratilgan faol kislorod turlarini (ROS - Reactive Oxygen Species) ishlab chiqarish bilan tavsiflanadi [8]. Bu kabi mexanizmlarni No'xat (*Pisum sativum*) bilan *F. solani* izolyatlari orasidagi o'zaro ta'sir zamburug' virulentlik omillarini va o'simliklarning himoya reaksiyalarini molekulyar darajada o'rganish uchun model tizim sifatida keng qo'llaniladi. Bu kabi

tadqiqotlar ho'jayin organizm va patogen o'rtasidagi murakkab molekulyar bog'liqlik haqida tushunchalarga ega bo'lishimizga asos bo'ladi [1]. Masalan, *F.solani* ning tuproqda o'n yildan ko'proq saqlanib qolishi va rivojlanayotgan ildizlar orqali ho'jayin organizmlarni zararlash qobiliyati ega ekanligi tadqiqotlar natijasida aniqlangan. Bunday tadqiqotlardan esa uning doimiy va dovomiy xavf tug'dirishi ma'lum bo'ladi. Shu sababdan ushbu potagenga qarshi ishonchli himoya strategiyalarini ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi [9].

Ikkilamchi metabolitlar va ularning patogenlikdagi ahamiyati. FSSC vakillari turli xil ikkilamchi metabolitlar ishlab chiqarishi ma'lum [1]. Boshqa ko'plab *Fusarium* turlaridan farqli o'laroq FSSC a'zolari trixotetsin va fumonizin mikotoksinlarini ishlab chiqarmasligi aniqlangan [1]. Bu esa, ularning ushbu spetsifik toksinlar uchun biosintetik yo'llari FSSC boshqa *Fusarium* liniyalaridan ajralgandan keyin evolutsiyaga uchraganligini ko'rsatadi [10]. Agar FSSC vakillari boshqa *Fusarium* turlari uchun umumiy bo'lgan va yaxshi o'rganilgan virulentlik omillari trixotetsin va fumonizin mikotoksinlarini ishlab chiqarmasa, "unda *F.solani* uchun patogenlikning asosiy mexanizmlari nimalardan iborat?" degan o'rinli savol tug'iladi. Bu savolga ushbu potegen ustida olib borilgan uzoq yillik tadqiqotlar natijalari aniq javob berib bu jarayonni boshqa ikkilamchi metabolitlar va fermentlarning xilma-xil to'plamining mavjudligi bilan asosladi. Sideroforlar (masalan, ferrikrotsin, fuzarinin) ishlab chiqarish [1] ko'plab patogenlar uchun umumiy va muhim virulentlik strategiyasi bo'lib, ho'jayin organizm muhitidan temirni o'zlashtirishni ta'minlaydi. "Antimikrob va fitotoksik faollikka" ega bo'lgan ko'plab naftoxinonlar o'simlik patogenligidagi aniq roli hali to'liq o'rganilmagan bo'lsada, ular hujayrani zararlashda biokimyoviy jarayonlar asosida bo'lishi aniqlangan [1]. Boveritsinning sezuvchan o'simliklarda to'planishi [7] qo'shimcha ravishda boshqa noklassik toksinlar kasallik rivojlanishida ahamiyat kasb etishini ko'rsatadi. Bu omil hujayra devorini parchalovchi fermentlarning keng to'plami [7] bilan birlashganda patogenning bitta dominant mikotoksinga bog'liq bo'lmay balki, ko'p tomonlama murakkab hujum strategiyasidan foydalanish mexanizmini namoyon etadi.

F. solani virulentlik omillarini chuqur o'rganish samarali va maqsadli nazorat strategiyalarini ishlab chiqishda muhim ahamiyatga ega. FSSC tomonidan ishlab chiqariladigan mikotoksinlarni ingibitsiya qilinish katta samara bermasligi olib borilgan tadqiqotlarda ma'lum bo'ldi. Ushbu tadqiqotlarda naftoxinonlarning biosintez yo'llarini buzish, sideroforlar ishlab chiqarishni ingibitsiya qilish yoki spetsifik hujayra devorini buzuvchi fermentlar faolligini neytrallash zamburug' faolligini sekinlatish yoki to'xtatishga olib kelishi mumkin dega taxminlar keltirilgan. Bu esa, *F. solani* izolyatlarining turli xil patogenlik mexanizmlarini to'liq ochib berish va ta'sir qilish uchun yangi nishonlarni aniqlash maqsadida ularning har tomonlama biokimyoviy hamda genom darajasida profillanish zaruriyatini keltirib chiqaradi.

FSSC (masalan, FSSC11) genomi *poliketid sintaza (PKS)*, *noribosomal peptid sintaza (NRPS)* va PKS-NRPS gibridlari genlarini o'z ichiga oladi [1]. Ba'zi NRPS klasterlari ferrikrotsin, fuzarinin va malonixrom kabi sideroforlar ishlab chiqarish uchun javobgar deb taxmin qilinadi [11]. Sideroforlar – bu temirni xelatlovchi birikmalar bo'lib, ular mikroorganizmlarning o'sishi uchun zarurdir va ko'pincha ho'jayin organizmdan temirni o'zlashtirib, virulentlikni oshishida rol o'ynaydi. Bundan tashqari, FSSC vakillari turli xil naftoxinonlar ishlab chiqaradi, ular keng spektrli tarkibiy o'zgarishlar va antimikrobial hamda fitotoksik xususiyatlarni o'z ichiga olgan biologik faol pigmentli birikmalar hisoblanadi [12]. Bularga namuna sifatida fuzarubin, yavanitsin, noryavanitsin, solaniol, bostrikoidin, fuzarubin kislotasi, novarubin, martitsin, nektriafuron va nektriaxrizon kabilarni kiritish mumkin [12]. Garchi ularning ho'jayin organism uchun FSSC patogenligidagi aniq roli hozirda to'liq o'rganilmagan bo'lsa-da, ularning fitotoksik tabiati kasallik rivojlanishida katta ahamiyat kasb etishini taxmin qilish mumkin [1]. Yana bir ikkilamchi metabolit - boveritsin, chidamli no'xat navlariga nisbatan sezgir no'xat navlarida yuqori konsentratsiyalarda kuzatilgan, bu esa uning patogenlik va ho'jayin organismida toksinlarning to'planishida potentsial ishtirokini isbotlaydi [7].

Yangi tadqiqotlar va nazorat strategiyalari. Zamonaviy tadqiqotlar aniq diagnostika va nazorat usullarini ishlab chiqishga qaratilgan bo'lib, zamonaviy molekulyar texnologiyalar yordamida samburug' turlarini rasalar darajasida aniqlash

talab etiladi. Masalan, *F.solani* f. sp. *cucurbitae* 1 va 2 rasasini molekulayar darajada indintifikatsiyalash ushbu zamburug' rasslariga qarshi kurashning samarali yechimi bo'ladi [13].

Tadqiqotlarning muhim yo'nalishi o'simliklarni himoya qilish mexanizmlari va ho'jayin organism va patogen o'zaro ta'sir mexanizmlarini molekulyar darajada tushunish hisoblanadi. Bu esa qishloq xo'jaligi ekinlarining chidamli navlarini ishlab chiqish va seleksiyasi uchun fundamental ahamiyatga ega. Bionazorat (biocontrol) oddiy kimyoviy nazorat vositalariga ekologik toza va potentsial barqaror muqobil yoki qo'shimcha yechim taklif etadi. Ayniqsa, tuproq fumigatsiyasi kabi amaliyotlarning kutilmagan salbiy oqibatlari natijasida zararli zamburug'larni keng tarqalish havfini keltirib chiqarishini [14] hisobga olinsa, bu o'ta muhim va dolzarb masaladir. Shuning uchun kurash choralari sifatida zararkunandalarga qarshi integratsiyalashgan kurash (IPM - Integrated Pest Management) strategiyalarini ishlab chiqish bu o'rinda katta samara beradi. Bu strategiyalar kasallikni uzoq muddatli va barqaror bostirishga erishish uchun bir nechta bionazorat agentlarini birlashtiradi, ho'jayin organism chidamliligidan foydalanadi va foydali agrotexnik tadbirlarni (masalan, uzoq muddatli almashlab ekish, tuproqning zichlanishini minimallashtirish [15]) o'z ichiga oladi. O'zbekistonda mahalliy endofit bakteriyalar, masalan, *Bacillus subtilis* NUU4 ning kashf etilishi alohida ahamiyatga ega. Bu bakteriya o'simliklar o'sishini kuchaytirishi va no'xatda (ayniqsa murakkab sho'rlangan tuproqlarda) *F.solani* keltirib chiqaradigan ildiz chirishini samarali bartaraf etishi mumkin [16]. Bu esa biokontrol sohasida individual va samarali yechimlarni ishlab chiqish uchun mintaqaviy biologik xilma-xillikni o'rganish muhimligini yana bir bor isbotlaydi. Potagen zamburug'larga kurashihsda ularning antoganistlaridan foydalanish katta smara beradi. Bu borada olib borilgan tadqiqotlar natijasida kartoshka glikozidli alkaloidlarining (PGA - *Potato Glycoside Alkaloids*) *F.solani* ga qarshi faollik ko'rsatishi aniqlandi. PGA lar muhim mitoxondrial strukturalarni hamda uch-karbon kislotasi (TCA) sintezlanish siklini buzish orqali *F.solani* koloniyalar o'sishini 54,49% ga ingibitsiya qilgan [17]. Xitozan nomli kimyoviy preparat ham pomidorda *F.solani* ga qarshi biokontrol agenti sifatida

o'rganilgan bo'lib, kasallikning og'irlik darajasi va tarqalishini kamaytirishda ijobiy natijalarni namoyish etishi adabiyotlarda qayt etilgan [18].

F.solani ning patogenlik xususiyatlari va qishloq xo'jaligiga ta'siri. *F.solani* yer yuzida keng tarqalgan bo'lib, yuqori darajada moslashuvchan fitopatogen zamburug' hisoblanadi. U o'zining umumiy patogen tabiati bilan ajralib turadi, o'simlik turlarining g'oyat keng doirasini zararlaydi, ayniqsa ildizlarga shikast yetkazishga moyil bo'lib, parchalanishning keyingi bosqichlarida yumshoq chirishni keltirib chiqaradi. *F.solani* keng ho'jayin organismlar doirasi ko'plab qishloq xo'jaligida katta ahamiyatiga ega dukkaklilar [1], kartoshka [19], qovoqdoshlar [20], donli ekinlar [21], pomidor [18], g'o'za [6, 22] va karamdoshlar oilasiga mansub [23] ekinlarni o'z ichiga oladi.

Muayyan zararlanish alomatlari (simptom) ho'jayin organismga bog'liq:

Oddiy loviyada simptomlar ko'pincha ekishdan ikki-uch hafta o'tgach paydo bo'ladi. *F.solani* belgilari boshqa ildiz chirish kasalliklaridan farq qilib, urug' va ko'chatlarni chiritmaydi. Poyalarda tor, uzun, qizil-jigarrang dog'lar bilan tavsiflanadi, bu dog'lar bo'ylama yoriqlarga aylanib ketishi mumkin. Asosiy ildiz burishib qolishi, chirishi va nobud bo'lishi mumkin. Zararlangan o'simliklar, odatda, sog'lom o'simliklarga nisbatan o'sishdan orqada qoladi, sekin o'sadi hamda ozuqa moddalari va suvning o'zlashtirilishi buzilganligi sababli och yashil yoki sariq rangda bo'ladi [15].

Kartoshkada quruq chirish kasalligini keltirib chiqaradi. Bu kasallik kartoshka tugunagining peridermasida (po'stida) botiq, burishgan va qorayib qoluvchi joylar shaklida, ichki qismida esa quruq, uvalanadigan chirigan to'qima ko'rinishida namoyon bo'ladi [24].

Qovun misolida, patogen ildiz va poyalarning chirishiga olib keladi, ko'pincha boshqa tuproq patogenlari bilan birgalikda uchraydi, bu esa kasallikning namoyon bo'lishini kuchaytiradi [25].

Marakuyada ildiz oldi qismida va mevalarning chirishini keltirib chiqaradi. Kasallikning dastlabki alomatlari yengil so'lish va barglarni och yashil tusga kirishini

o'z ichiga oladi, bu esa kuchli so'lish, barg to'kilishi va poyaning tagida nekrotik halqa hosil bo'lishigacha rivojlanib boradi [26].

G'o'zada *F.solani* yosh nihol kasalliklari uchun xos bo'lgan kasallik belgilarini keltirib chiqaradi: chigitning chirishi (unib chiqishdan oldingi va keyingi chirishi), shuningdek, umumiy ildiz chirishi, bu esa yosh o'simliklarning hayot davomiyligini pasayishiga va butunlay nobud bo'lishiga olib keladi [27]. Fitorton sharoitidagi kasallik alomatlari chin barglarning xlorotik va nekrotik holga kelishini, o'simliklar so'lib qolishi, barglarning butkul to'kilishi va ba'zi o'simliklar nobud bo'lishi kabi belgilarni o'z ichiga oladi. Shu bilan bir qatorda, zararlangan o'simliklarda ildiz tomirlarining rangi o'zgarganligi ham kuzatildi. Ba'za inokulyatsiya qilingan (sun'iy yo'l bilan zararlangan) o'simliklarda dala sharoitida kuzatilgan kasallik alomatlariga o'xshash belgilar ham paydo bo'ldi [35].

Asosiy qishloq xo'jaligi ekinlariga iqtisodiy ta'siri va miqdoriy hosil yo'qotishlari. *Fusarium* patogenlari, shu jumladan *F.solani*, dunyoning aksariyat mintaqalarida, ayniqsa Osiyo, Afrika, AQSH, Yevropa va Avstraliyada qishloq xo'jaligi ekinlari uchun eng zararli zamburug'lardan hisoblanadi [28]. U ho'jayin organismga jiddiy zarar yetkazadi, bu esa qimmatli qishloq ho'jalik belgilarining sifat ko'rsatkichlariga va o'simlik hosildorligining pasayishiga, shuningdek, o'simliklarning rivojlanishiga bevosita ta'sir qiladi [29]. Qishloq xo'jaligi ekinlarining *Fusarium* bilan zararlanishi oqibatida qishloq hosildorlik ko'rsatkichlari pasayadi va mahsulotlarning zamburug' tomonidan ishlab chiqarilgan mikotoksinlar bilan ifloslanishi tufayli global oziq-ovqat xavfsizligi uchun ijtimoiy-iqtisodiy havf paydo bo'ladi, bu esa o'z navbatida xalqaro savdo musabatlarida salbiy oqibatlariga olib keladi. Bundan tashqari, zamburug'li kasalliklar tufayli muhim qishloq xo'jaligi mahsulotlarining yo'qotilishi yoki yetishmovchiligi rivojlanayotgan mamlakatlar iqtisodiyotini beqarorlashtiradi. Bu esa ushbu mahsulotlar orqali global savdodan tushadigan eksport daromadlariga boshqa joydan oziq-ovqat import qilish uchun yo'naltiradilar va oziq-ovqat xavfsizligi tahdidi ko'lamini oshiradi [29, 30]. *Fusarium* patogenlari, shu jumladan *F. solani*, hosilni sezilarli darajada kamaytirib

(ba'zi hollarda umuman yoqotishi) yuborishi orqali, qishloq xo'jaligida katta iqtisodiy zarar keltiradi [29]. Masalan,

Kartoshkada fuzarioz quruq chirish butun dunyo bo'ylab hosilning yig'im-terimdan keyingi muhim kasallik hisoblanadi, bunda o'rtacha hosil yo'qotishlari 6% dan 25% gacha yetadi [24]. Jiddiy holatlarda, tugunaklarning quruq chirishi hosilning 60% gacha yo'qotilishiga olib kelishi mumkin [31].

Dukkakli ekinlarda hosilining yo'qolishi odatda 10% dan 30% olig'ida bo'ladi, ammo patogen uchun ideal sharoit yuzaga kelganda, kuchli zararlanish no'xatda 60% gacha, loviyada esa 84% gacha yetishi mumkin [32]. Ozuqabob dukkakli ekin maydonlarda *F.solani* keltirib chiqaradigan ildiz chirishi qulay sharoit hisobiga hosilning 90% gacha yo'qotilishiga olib kelishi mumkin [33]. *Fusarium solani* turlar kompleksi (FSSC) yashil no'xat va yasmiq uchun juda agressiv va virulent tur sifatida qaraladi. Tadqiqotlar Kanada Preriyalarida (2015-2018 yillar) tekshirilgan no'xat va yasmiq ekin maydonlarining 98% dan ortig'ida *F.solani* va (yoki) *F.avenaceum* ning mavjudligini ko'rsatadi [32]. 2010 yildan 2014 yilgacha AQSH va Ontarioda soyaning barcha kasalliklaridan o'rtacha baholangan iqtisodiy yo'qotish har bir akr uchun 60,66 AQSh dollarini tashkil etdi, bu mintaqadagi yillik hosil yo'qotishining taxminan 11% ni tashkil etib, 23 milliard AQSh dollaridan ortiq daromad yo'qotilishiga tengdir [34].

Donli ekinlar (bug'doy) da turli *Fusarium* turlari, shu jumladan *F.solani* tomonidan qo'zg'atiladigan *Fusarium* ildiz oldi chirishi (FCR - *Fusarium* Crown Rot) va Oddiy ildiz chirishi (CRR - Common Root Rot) bug'doy hosilining 3% dan 35% gacha yo'qotilishiga olib kelishi mumkin [21]. Bug'doy bilan Montanada o'tkazilgan tadqiqotda *F.solani* ajratib olingan barcha *Fusarium* izolyatlarining 53,01% ni tashkil etgan, garchi ushbu tadqiqotda *F.pseudograminearum* va *F.culmorum* bug'doy uchun eng virulent turlar sifatida qayd etilgan bo'lsa ham [21].

Qovunda *F.solani* kabi patogenlar keltirib chiqaradigan ildiz kasalliklari hosil nobud bo'lishining asosiy sabablaridan biri deb topilgan. Braziliyada, *F.solani* ni o'z ichiga olgan zararli tuproq mikroorganizmlari iqtisodiy yo'qotishlarning asosiy manbai bo'lib, ba'zi hollarda yo'qotishlar 50% gacha yetadi [25].

G‘o‘zada *F.solani* bo‘yicha jahon paxtachiligidagi statistik ma‘lumotlar bazasi cheklangan. Uning uchrash dinamikasi haqidagi mavjud ma‘lumotlar, asosan, keng ko‘lamli agronomik tekshiruvlar emas, balki mahalliy ilmiy tadqiqotlar va laboratoriya tahlillaridan olingan. Masalan, Nigeriyada o‘tkazilgan tadqiqotda *F.solani* transgen paxta maydoni atrofidagi tuproqlarda *Fusarium* ning keng tarqalgan va virulent turlaridan biri ekanligi ko‘rsatildi [27]. Keng qamrovli statistik ma‘lumotlarning yo‘qligi monitoring va hisobotlarda potensial bo‘shliqlar borligini anglatadi, bu esa uning haqiqiy ta‘sir ko‘lami yanada kattaroq bo‘lishi mumkinligidan dalolat beradi. Umuman olganda, ildiz chirishi tufayli hosilning yo‘qotilishi iqtisodiy chegaradan bir oz yuqori bo‘lishidan, toki butun ekin maydonidagi hosilning to‘liq yo‘qotilishigacha o‘zgarishi mumkin, bu esa qo‘zg‘atuvchiga, ho‘jayin organismning sezuvchanligiga va atrof-muhit omillariga uzviy bog‘liq.

Fusarium avlodi xususan, *Fusarium solani* turlari jahon qishloq xo‘jaligi va inson salomatligi uchun murakkab hamda ko‘p qirrali tahdidni ifodalaydi. *F.solani* ning biologik xilma-xilligi va genetik moslashuvchanligi unga keng doiradagi ekologik sharoitlarda yashab qolish imkonini beradi, bu esa unga qarshi kurashni murakkablashtiradi va unga nisbatan doimiy moslashuv strategiyalarini talab qiladi. *Fusarium* taksonomiyasining tarixan murakkabligi va hozirda molekulyar usullar bilan aniqlashtirilayotganligi, kasallikni samarali boshqarish hamda monitoringi uchun aniq identifikatsiya qilish usullarining zarurligini talab etadi. *F.solani* noyob mikologik xususiyatlar va patogenlik mexanizmlarini namoyish etadi. Uning tuproqda xlamidosporalar ko‘rinishida uzoq vaqt saqlanib qolish qobiliyati, konidialarning samarali tarqalishi va turli xil atrof-muhit sharoitlariga moslashishi, shu jumladan tuproq fumigatsiyasidan keyin tarqalishining uni nihoyatda chidamli patogenga aylantiradi. *F.solani* ni samarali boshqarish kompleks va fanlararo yondashuvni talab qiladi. Bu agrotexnik tadbirlar, chidamli navlar seleksiyasi, aniq molekulyar diagnostika va barqaror biologik nazorat usullarini ishlab chiqishni o‘z ichiga oladi. Genomika, ho‘jayin organism-patogen o‘zaro ta‘siri va yangi biokontrol agentlari sohasidagi tadqiqotlarni davom ettirish, oziq-ovqat xavfsizligini ta‘minlash

va ushbu o'ta moslashuvchan patogen yetkazadigan iqtisodiy zararni kamaytirish uchun ustuvor ahamiyatga ega.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Coleman JJ. The *Fusarium solani* species complex: ubiquitous pathogens of agricultural importance. *Mol Plant Pathol.* 2016 Feb;17(2):146-58. doi: 10.1111/mpp.12289.
2. Navasca A, Singh J, Rivera-Varas V, Gill U, Secor G and Baldwin T (2025) Dispensable genome and segmental duplications drive the genome plasticity in *Fusarium solani*. *Front. Fungal Biol.* 6:1432339. doi: 10.3389/ffunb.2025.1432339
3. Liu H., Zhang B., Li C., Bao X. (2010). Knock down of chitosanase expression in phytopathogenic fungus *Fusarium solani* and its effect on pathogenicity. *Curr. Genet.* 56, 275–281. doi: 10.1007/s00294-010-0299-x
4. Zheng J., Ge Q., Yan Y., Zhang X., Huang L., Yin Y. (2023). dbCAN3: automated carbohydrate-active enzyme and substrate annotation. *Nucleic Acids Res.* 51, W115–W121. doi: 10.1093/nar/gkad328
5. Urban M., Cuzick A., Seager J., Wood V., Rutherford K., Venkatesh S. Y., et al. (2022). PHI-base in 2022: a multi-species phenotype database for Pathogen–Host Interactions. *Nucleic Acids Res.* 50, D837–D847. doi: 10.1093/nar/gkab1037
6. Abd-Elsalam, Kamel & Moawad, Ragab & El-Samawaty, Abd El-Rahim & Aly, Aly. (2007). Response of Commercial Cotton Cultivars to *Fusarium solani*. *The plant pathology journal.* 23. 62-69. 10.5423/PPJ.2007.23.2.062.
7. Perincherry L, Urbaniak M, Pawłowicz I, Kotowska K, Waśkiewicz A, Stępień Ł. Dynamics of *Fusarium* Mycotoxins and Lytic Enzymes during Pea Plants' Infection. *Int J Mol Sci.* 2021 Sep 13;22(18):9888. doi: 10.3390/ijms22189888.
8. Dinolfo M.I., Castañares E., Stenglein S.A. (2017): *Fusarium*–plant interaction: state of the art – a review. *Plant Protect. Sci.*, 53: 61–70.

9. *Fusarium solani* - Wikipedia, дата последнего обращения: августа 1, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Fusarium_solani
10. O'Donnell K, Rooney AP, Proctor RH, Brown DW, McCormick SP, Ward TJ, Frandsen RJ, Lysøe E, Rehner SA, Aoki T, Robert VA, Crous PW, Groenewald JZ, Kang S, Geiser DM. Phylogenetic analyses of RPB1 and RPB2 support a middle Cretaceous origin for a clade comprising all agriculturally and medically important fusaria. *Fungal Genet Biol.* 2013 Mar;52:20-31. doi: 10.1016/j.fgb.2012.12.004
11. Hansen FT, Sørensen JL, Giese H, Sondergaard TE, Frandsen RJ. Quick guide to polyketide synthase and nonribosomal synthetase genes in *Fusarium*. *Int J Food Microbiol.* 2012 Apr 16;155(3):128-36. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.018. Epub 2012 Feb 15. PMID: 22377171
12. Medentsev AG, Akimenko VK. Naphthoquinone metabolites of the fungi. *Phytochemistry.* 1998 Mar;47(6):935-59. doi: 10.1016/s0031-9422(98)80053-8. PMID: 9564730
13. Rezaee, Sadra & Gharanjik, Shahrokh & Mojerlou, Shideh. (2018). Identification of *Fusarium solani* f. sp.cucurbitae races using morphological and molecular approaches. *Journal of Crop Protection.* 7. 161-170.
14. Domsch, K.H.; Gams, W.; Anderson, Traute-Heidi (1980). "*Fusarium*". *Compendium of Soil Fungi.* Vol. 28. London: Academic Press. pp. 333–337. doi:10.1016/0016-7061(82)90042-8. ISBN 978-0122204012
15. B. Román-Avilés, S.S. Snapp and J.D. Kelly, Dept. of Crop and Soil Sciences, and W.W. Kirk, Dept. of Plant Pathology Michigan State University. *Fusarium Root Rot of Common Beans.* Extension Bulletin E2876, New, January 2003
16. Egamberdieva D, Wirth SJ, Shurigin VV, Hashem A and Abd_Allah EF (2017) Endophytic Bacteria Improve Plant Growth, Symbiotic Performance of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Induce Suppression of Root Rot Caused by *Fusarium solani* under Salt Stress. *Front. Microbiol.* 8:1887. doi: 10.3389/fmicb.2017.01887

17. Zhang C, Chen W, Wang B, Wang Y, Li N, Li R, Yan Y, Sun Y, He J. Potato glycoside alkaloids exhibit antifungal activity by regulating the tricarboxylic acid cycle pathway of *Fusarium solani*. *Front Microbiol.* 2024 Apr 15;15:1390269. doi: 10.3389/fmicb.2024.1390269
18. Torres-Rodriguez, Juan Antonio, Juan José Reyes-Pérez, Mercedes Susana Carranza-Patiño, Robinson J. Herrera-Feijoo, Pablo Preciado-Rangel, and Luis Guillermo Hernandez-Montiel. 2025. "Biocontrol of *Fusarium solani*: Antifungal Activity of Chitosan and Induction of Defence Enzymes" *Plants* 14, no. 3: 431. <https://doi.org/10.3390/plants14030431>
19. Adam Merlington, and Willie Kirk. *Fusarium*-related decay on potatoes in Michigan. Michigan State University Extension, Department of Plant, Soil and Microbial Sciences - June 11, 2013
20. Williamson-Benavides, Bruce A., and Amit Dhingra. 2021. "Understanding Root Rot Disease in Agricultural Crops" *Horticulturae* 7, no. 2: 33. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7020033>
21. Moya, Ernesto & Rew, Lisa & Jacobsen, Barry & Hogg, Andrew & Dyer, Alan. (2011). Distribution and Prevalence of *Fusarium* Crown Rot and Common Root Rot Pathogens of Wheat in Montana. *Plant Disease*. 95. 1099-1108. 10.1094/PDIS-11-10-0795.
22. Timothy O. Jobe, Ibrokhim Y. Abdurakhmonov, Mauricio Ulloa, Mohamed Fokar, Zabardast T. Buriev, Shukhrat E. Shermatov, Abdusalom K. Makamov, Dilshod E. Usmanov, Mukhtor M. Darmanov, Kirk Broders, and Margaret L. Ellis. Molecular Characterization of *Fusarium* Isolates from Upland Cotton Roots in Uzbekistan and Whole-Genome Comparison with Isolates from the United States. *Phytopathology*® 2025 115:1, 54-65
23. Аллаяров А.Н., Раимбаева Н.Т. РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ФУЗАРИОЗА В БРАССИКОВЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУРАХ В УСЛОВИЯХ ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ // Ученый XXI века. 2022. №9 (90).
24. Christian, Christy L. Characterization of *Fusarium* Dry Rot Pathogens of Potato and *Fusarium* Dry Rot Disease Management in the Pacific Northwest of the

United States. University of Idaho ProQuest Dissertations & Theses, 2023. 29397996.

25. Porto, M.A.F.; Ambrósio, M.M.Q.; Nascimento, S.R.C.; Cruz, B.L.S.; Torres, R.M. Interaction of *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani* as root rot pathogens of *Cucumis melo*. *Summa Phytopathologica*, v.45, n.4, p.355-360, 2019.
26. Pei-Hsin Lo, Jin-Hsing Huang, Chia-Chih Chang, Ahmed Namisy, Chi-Yu Chen, and Wen-Hsin Chung. Diversity and Characteristics of *Fusarium solani* Species Complex (FSSC) Isolates Causing Collar Rot and Fruit Rot of Passion Fruit in Taiwan. *Plant Disease* 2025 109:1, 170-182
27. Chimbekujwo, I. (2000). Frequency and pathogenicity of *Fusarium* wilts (*Fusarium solani* and *Fusarium equiseti*) of cotton (*Gossypium hirsutum*) in Adamawa in Nigeria. *Revista de Biología Tropical*. 48. 01-05
28. Khokhar, M.; Hooda, K.; Sharma, S.; Singh, V.; Saini, A. *Fusarium* stalk rot: A major threat to maize production in India. *Maize J.* 2013, 1, 1–6
29. Ekwomadu, Theodora Ijeoma, and Mulunda Mwanza. 2023. "Fusarium Fungi Pathogens, Identification, Adverse Effects, Disease Management, and Global Food Security: A Review of the Latest Research" *Agriculture* 13, no. 9: 1810. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091810>
30. Fones, H.N.; Bebbber, D.P.; Chaloner, T.M.; Kay, W.T.; Steinberg, G.; Gurr, S.J. Threats to global food security from emerging fungal and oomycete crop pathogens. *Nat. Food* 2020, 1, 332–342
31. Sobkowiak, Sylwester, Marta Janiszewska, Emil Stefańczyk, Iwona Wasilewicz-Flis, and Jadwiga Śliwka. 2022. "Quantitative Trait Loci for Resistance to Potato Dry Rot Caused by *Fusarium sambucinum*" *Agronomy* 12, no. 1: 203. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010203>
32. Jennifer Bogdan, P.Ag., CCA. *Fusarium* Root Rot in Pulse Crops, Saskatchewan Pulse Growers 2025.
33. Yu H, Yang F, Hu C, Yang X, Zheng A, Wang Y, Tang Y, He Y, Lv M. Production status and research advancement on root rot disease of faba bean

(*Vicia faba* L.) in China. *Front Plant Sci.* 2023 Jun 2;14:1165658. doi: 10.3389/fpls.2023.1165658.

34. Tom W. Allen, Carl A. Bradley, Adam J. Sisson, et al. Soybean Yield Loss Estimates Due to Diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2010 to 2014 - *APS Journals, Plant Health Progress*. 2017/01/01. doi: 10.1094/PHP-RS-16-0066
35. Y. Zhu, A. Abdelraheem, S. Sanogo, T. Wedegaertner, R. Nichols, and J. F. Zhang. First Report of *Fusarium solani* Causing Fusarium Wilt in Pima Cotton (*Gossypium barbadense*) in New Mexico, U.S.A. *Plant Disease* 2019. DOI: 10.1094/PDIS-05-19-1081-PDN