G‘O‘ZADA *FUSARIUM VILT* KASALLIGIGA CHIDAMLILIKNI OSHIRISHNING MOLEKULYAR-GENETIK ASOSLARI

[a]Ergasheva S.I., [a]Tashmuxamedova Sh.S.
[a]Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy Universiteti

[b]Usmanov D.E., [b]Xusanbayeva SH.R., [b]Nuriddinova M.T., [b]Murodullayeva N.O.
[b]O‘zR FA Genomika va bioinformatika markazi

Annotatsiya: *Ushbu maqolada Gossypium hirsutum L. o‘simligini zararlovchi Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum qo‘zg‘atadigan fuzarioz vilt kasalligiga qarshi chidamlilikni oshirishga qaratilgan genetik yondashuvlar tahlil qilindi. Tadqiqot davomida patogenning biologik xususiyatlari, infeksiya mexanizmlari hamda g‘o‘zada kasallik rivojlanish jarayonlari ko‘rib chiqildi. Shuningdek, fuzariozga qarshi himoya reaksiyalarida ishtirok etuvchi xitinaza, β-1,3-glukanaza, defensin, NPR1, WRKY va boshqa genlarning ahamiyati yoritildi. Ushbu genlar asosida yaratiladigan genetik konstruksiyalarning tuzilishi, ularni yaratishda qo‘llaniladigan molekulyar-biologik usullar tahlil qilindi. Adabiyotlar ma’lumotlari Fusariumga chidamlilik bilan bog‘liq genlardan foydalanish kasallikka bardoshli g‘o‘za navlarini yaratishda istiqbolli yo‘nalish ekanligini ko‘rsatdi. Olingan ma’lumotlar g‘o‘zaning fuzariozga chidamli navlarini yaratish bo‘yicha kelgusidagi tadqiqotlar uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.*

Kalit so‘zlar: *Gossypium hirsutum, Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum, fuzarioz vilt, genetik konstruksiya, chidamlilik genlari, gen ekspressiyasi, molekulyar genetika.*

KIRISH

G‘o‘za *(Gossypium hirsutum L.)* iqtisodiy jihatdan eng muhim texnik ekinlardan biri hisoblanib , dunyo bo‘yicha ishlab chiqariladigan tabiiy tolalarning asosiy qismini egallaydi. Ushbu o‘simlik to‘qimachilik sanoatining asosiy xomashyo manbai hisoblanadi va ko‘pchilik mamlakatlar qishloq xo‘jaligida muhim o‘rin tutadi. So‘nggi yillarda paxta yetishtiriladigan hududlarning aksariyatida *G. hirsutum* turi ekilib, dunyo paxtachiligida 97 foizini tashkil etadi.[11]

G‘o‘za qimmatli tola beruvchi ekin bo‘lishi bilan birga, muhim moyli ekin sifatida ham katta ahamiyatga ega. Uning chigitidan olinadigan moy oziq-ovqat va sanoat tarmoqlarida keng foydalaniladi, chigitni qayta ishlash mahsulotlari asosan chorvachilik uchun yuqori ozuqaviy qiymatga ega mahsulot olish manbai hisoblanadi.[3]

Paxta yetishtirish qishloq xo‘jaligi, to‘qimachilik va yog‘-moy sanoatlari rivojlanishida muhim o‘rin tutadi. G‘o‘za ekini mahsulotlari kiyim-kechak, tibbiyot, farmasevtika , oziq-ovqat va boshqa ko‘plab sanoat tarmoqlarida keng foydalaniladi. Shu sababli, g‘oza o‘simligi dunyo bo‘yicha strategik ahamiyatga ega texnik ekinlardan biri hisoblanadi. [8]

Shunga qaramay, g‘o‘za yetishtirish jarayonida turli biotik va abiotik omillar hosildorlik hamda mahsulot sifatiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Ayniqsa, *Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum* qo‘zg‘atadigan fuzarioz vilt kasalligi g‘o‘zaning keng tarqalgan va iqtisodiy jihatdan katta zarar keltiruvchi kasalliklaridan biri hisoblanadi. Ushbu kasallik o‘simliklarning o‘sishi va rivojlanishini pasaytirib, hosil miqdori hamda

sifatining pasayishiga sabab bo‘ladi. Kasallikka qarshi samarali va barqaror himoya tizimini yaratish maqsadida chidamlilik genlarini aniqlash, genetik konstruksiyalar yaratish hamda ularning funksiyasini model o‘simliklarda o‘rganish muhim ilmiy vazifalardan biri hisoblanadi.

Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum tomonidan qo‘zg‘atiladigan fuzarioz vilt kasalligi g‘o‘zaning eng xavfli patogenlaridan biri hisoblanadi. Kasallik dunyo bo‘yicha ko‘plab paxta ekiladigan hududlarda uchraydi hamda hosildorlik va tolalar sifatining pasayishiga olib keladi. Fuzarioz patogeniga qarshi kurashishda bardoshli navlarni yaratish va joriy etish eng samarali hamda iqtisodiy jihatdan foydali usullardan biri hisoblanadi. Shu bois zamonaviy seleksiya va molekulyar genetika tadqiqotlari kasallikka chidamlilik bilan bog‘liq genlarni aniqlash va ularning funksiyalarini o‘rganishga qaratilgan. Tadqiqotlarda *Fw1*, *Fw2*, *FwR*, *FOV1* va *FOV4* kabi asosiy chidamlilik genlari aniqlangan. Bu genlar fuzariozga qarshi kurashuvchi himoya mexanizmlarida muhim ahamiyat kasb etadi. Hozirgi kunda molekulyar xaritalash natijasida g‘o‘za genomining 19 ta xromosomasida fuzariozga chidamlilikni ta’minlovchi 40 ga yaqin QTL aniqlangan. Mana shu ma'lumotlar markerga asoslangan seleksiyani rivojlantirish uchun muhim ahamiyatga ega hisoblanadi. [18]

Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum biologiyasi va zararlash mexanizmi. Oxirgi yillarda molekulyar-genetik tadqiqotlar natijasida *Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum* race 7 ga chidamlilikni ta’minlovchi *GhGLR4.8* (Fov7) geni aniqlangan. Mazkur gen glutamat retseptoriga o‘xshash oqsilni kodlab, patogen ta’siri vaqtida signal uzatish jarayonida qatnashadi hamda kasallik ta’siriga javob reaksiyasi sifatida o‘simlikning himoya mexanizmini faollashtirishda muhim ahamiyat kasb etadi .[6]

Genom bo‘ylab assotsiativ tahlil (GWAS) asosida olib borilgan tadqiqotlar *Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum* race 4 ga chidamlilik murakkab poligen borligini ko‘rsatadi. Abdelraheem va hamkorlari (2024) tomonidan o‘tkazilgan tahlillarda yuzlab g‘o‘za genotiplari o‘rganilgan va kasallikka chidamlilik bilan bog‘liq bir nechta muhim genom hududlari aniqlangan. Mazkur hududlar ichida *Fusarium* patogeniga javob reaksiyasida ishtirok etuvchi bir qator potensial genlar va ularga mos *SNP (single nucleotide polymorphism)* markerlar topilgan. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, *FOV4* ga bardoshlilik birgina gen bilan emas, balki bir nechta genetik lokuslar va ularning o‘zaro ta’siri orqali boshqarilar ekan . Topilgan molekulyar markerlar kelajakda markerga asoslangan seleksiya (MAS) protsesslari chidamli navlarni tezda tanlash va yaratishda muhim ahamiyatga ega hisoblanadi . Bundan tashqari , ushbu genom hududlari genetik muhandislik va funksional genlarni o‘rganish uchun istiqbolli manba sifatida tavsiya etiladi. [1]

Taksonomik o‘rni. *Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum (FOV)* g‘o‘zada Fusarium vilt kasalligini qo‘zg‘atuvchi, tuproq orqali yuqadigan muhim fitopatogen zamburug‘ hisoblanadi. U sistematik jihatdan *Ascomycota* bo‘limi, *Sordariomycetes* sinfi, *Hypocreales* tartibi va *Nectriaceae* oilasiga mansub bo‘lib, *Fusarium oxysporum species complex* (FOSC) tarkibida joylashgan murakkab taksonomik guruhni tashkil etadi. FOSC ichidagi organizmlar morfologik jihatdan bir-biriga juda o‘xshash bo‘lsa-da, ular genetik va ekologik jihatdan yuqori darajada xilma-xillikka ega. Ushbu

kompleks ichida patogen shtammlar “forma specialis” tizimi asosida ajratiladi, ya’ni har bir forma ma’lum bir xo‘jayin o‘simlik turiga nisbatan ixtisoslashgan patogenlikka ega bo‘ladi. Shu nuqtai nazardan, *F. oxysporum f. sp. vasinfectum* aynan *Gossypium spp.* (g‘o‘za) o‘simligini zararlashga moslashgan maxsus forma hisoblanadi. [5]

Bundan tashqari, *FOV i*chida genetik jihatdan farqlanuvchi bir nechta **rassa (race)**lar mavjud bo‘lib, ular o‘simlik navlariga nisbatan turli darajadagi virulentlikni namoyon qiladi. Hozirgi kunga qadar kamida 1 dan 8 gacha bo‘lgan irqlar tavsiflangan bo‘lib, ularning ayrimlari yuqori agressivlikka ega va sezgir g‘o‘za genotiplarida tez rivojlanadigan kasallik keltirib chiqaradi. [18] FOV ning bunday genetik va patogenlik jihatdan murakkab tuzilishi uni nazorat qilishni qiyinlashtiradi hamda kasallikka chidamli navlar yaratishda molekulyar-genetik yondashuvlarning ahamiyatini yanada oshiradi.

Hayot sikli va infeksiya mexanizmi. *Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum (FOV)* tuproqda uzoq muddat davomida yashab qolish qobiliyatiga ega bo‘lgan yuqori darajada chidamli fitopatogen hisoblanadi. Uning asosiy shakli chlamydospora bo‘lib, bu shakli noqulay ekologik sharoitlarda ham (namlik va ozuqa yetishmovchiligi, yuqori yoki past harorat) bir necha yilgacha yashovchanligini saqlab qolishi mumkin. Kasallik rivojlanishi odatda o‘simlik ildizi bilan patogen o‘rtasidagi murakkab o‘zaro ta’sir asosida kechadi va bir nechta ketma-ket bosqichlardan iborat:

1.Patogenning ildiz yuzasiga yopishishi va tarqalishi boshlanishi.

2.Ildizning epidermis qatlamiga kirib borishi.

3.Ksilema to‘qimalariga ko‘chib o‘tishi.

4.Ksilema tomirlarida tezda ko‘payishi va tizimli tarqalishi.

5. O‘simlikning o‘tkazuvchi sistemasida funksional buzilishlar yuzaga elishi kuzatiladi.

Ksilema tomirlarida *FOV* ning ko‘payishi natijasida vaskulyar tiqilib qolish (vascular blockage) yuzaga keladi. Bu holat suv va mineral moddalar transportining keskin kamayishiga olib kelib, o‘simlikda fiziologik stressni yuzaga keltiradi. Natijada g‘o‘za o‘simligida dastlab pastki barglarda so‘lish va xiralashish kuzatiladi, keyinchalik barglarning sarg‘ayishi, to‘kilishi hamda butun o‘simlikning umumiy so‘lishi rivojlanadi. Kasallikning davom etishi natijasida o‘simlik to‘liq nobud bo‘lishi mumkin (1-rasm) [10].

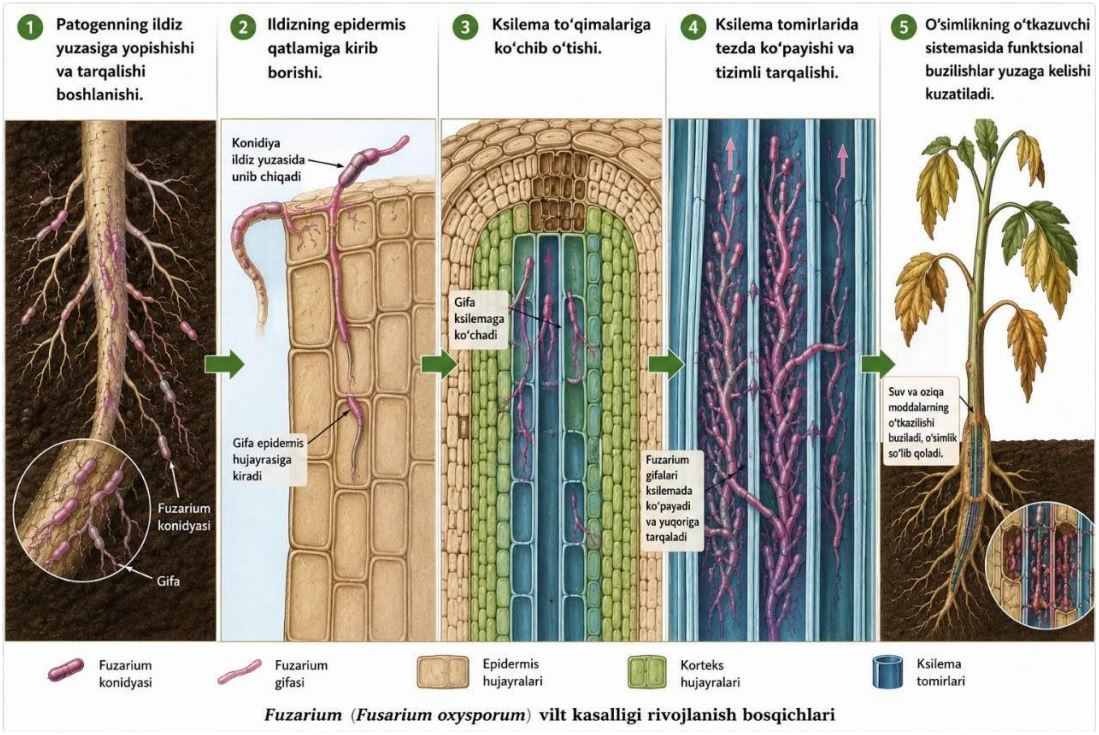
Patogenlik omillari. *FOV* patogenligi bir nechta molekulyar va biokimyoviy omillar bilan bog‘liq:

Effektor oqsillar. *SIX (Secreted in Xylem)* proteins — ksilema ichida ajraladigan maxsus oqsillar bo‘lib, ular o‘simlik immunitetini susaytiradi va patogenning yashashini qo‘llab quvvatlaydi.[7]

Fermentlar. Zamburug‘lar ajratadigan pektinaza, sellulaza va proteaza fermentlari o‘simlik hujayra devori hamda to‘qimalarining parchalanishiga sabab bo‘ladi. Bu esa patogenning o‘simlik ichki to‘qimalariga kirishini osonlashtirib, kasallik rivojlanish jarayonini tezlashtiradi.

Toksinlar va metabolitlar. *FOV* tomonidan ishlab chiqariladigan ikkilamchi metabolitlar o‘simlik hujayralarining fiziologik faoliyatini buzadi.

Genetik moslashuv. *FOV* genomida yuqori plastiklik xususiyati mavjud bo‘lib, bu esa unga turli sharoitlarda tez adaptatsiya qilish imkonini beradi.



1-rasm. Fusarium vilt kasalligining rivojlanish bosqichlari

G‘o‘za o‘simligida kasallik rivojlanishi. G‘o‘zada Fusarium vilt kasalligi sekin rivojlanadigan, ammo juda xavfli kasallik hisoblanadi. Kasallik boshlangandan keyin dastlab tashqi simptomlar sezilmaydi, ammo zamburug‘ ksilemada keng tarqalib boradi. Patogen rivojlanish bosqichlari: Dastlabki bosqich: barglarda oz miqdorda xiralashish va suv balansi buzilishi. O‘rta bosqich: pastki barglarda sarg‘ayish va to‘kilish kuzatilishi. Asosiy bosqich: butun o‘simlik so‘liy boshlashi. Yakuniy bosqich: o‘simlik nobud bo‘lishi. *FOV4* kabi kuchli virulent turlar g‘o‘zada tez va kuchli simptomlar keltirib chiqaradi hamda hosildorlikni keskin kamaytiradi (2-rasm) [1]

Fusariozga chidamlilikni oshiruvchi genlar va genetik konstruksiyalar. Himoya (defense) genlari *PR* oqsillari (*PR1, PR2, PR5)*

Patogenga javoban induksiyalanadigan *PR* (Pathogenesis-Related) oqsillari o‘simliklarning tug‘ma immunitet tizimining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. Bugungi kunga qadar *PR* oqsillarining 17 dan ortiq oilasi tavsiflangan bo‘lib, ular zamburug‘lar, bakteriyalar, viruslar va boshqa biotik stress omillariga qarshi himoya reaksiyalarida ishtirok etadi. *PR* oqsillarining ekspressiyasi asosan salitsil kislotasi, jasmin kislotasi va etilen kabi signal molekulalari orqali boshqariladi. Xususan, *PR1* oqsillari sistemik orttirilgan chidamlilik (SAR) holatining molekulyar markeri sifatida qaraladi, *PR2* oilasiga mansub *β-1,3-glukanazalar* zamburug‘ hujayra devoridagi glukanlarni parchalash xususiyatiga ega, *PR5* (thaumatin-like proteins) esa zamburug‘ hujayra membranasi va devoriga ta’sir ko‘rsatib, patogen rivojlanishini cheklaydi. Shu sababli *PR1, PR2* va *PR5* genlari o‘simliklarda kasalliklarga chidamlilikni oshirishga

qaratilgan genetik muhandislik tadqiqotlarida istiqbolli himoya genlari sifatida keng o‘rganilmoqda. [15]



2-rasm. Fuzarioz vilt kasalligining turli bosqichlaridagi ko‘rinishi. (10.3390/pathogens11121537.)

***Xitinaza* genlari.** *Xitinazalar* o‘simliklarning patogenlarga qarshi himoya tizimida ishtirok etuvchi muhim gidrolitik fermentlar guruhiga kiradi. Ushbu fermentlar zamburug‘ hujayra devorining asosiy tarkibiy qismi bo‘lgan xitinni parchalash orqali patogenning o‘sishi va rivojlanishini cheklaydi. *Xitinaza* genlari odatda patogen hujumi natijasida faollashadi va o‘simlikning himoya reaksiyalarini kuchaytirishga xizmat qiladi. Xitin parchalanishi natijasida hosil bo‘ladigan birikmalar esa signal molekulalari sifatida ta’sir ko‘rsatib, immun javob bilan bog‘liq genlarning ekspressiyasini rag‘batlantiradi. O‘simliklarda xitinazalarning bir necha sinflari aniqlangan bo‘lib, ular tuzilishi va biologik vazifalariga ko‘ra bir-biridan farqlanadi. Tadqiqotlar natijalari xitinaza genlarining yuqori darajada ifodalanishi transgen o‘simliklarda *Fusarium, Rhizoctonia* va boshqa fitopatogen zamburug‘larga nisbatan chidamlilikning ortishiga olib kelishini ko‘rsatgan. Shu sababli mazkur genlar kasalliklarga chidamli o‘simlik navlarini yaratishda istiqbolli genetik resurs sifatida qaralmoqda. Shuningdek, *xitinazalar* faqat patogenlarga qarshi himoyada emas, balki o‘simliklarning turli stress omillariga moslashishida ham muhim rol o‘ynaydi. Ular qurg‘oqchilik, sho‘rlanish va past harorat kabi noqulay sharoitlarga javob reaksiyalarida ishtirok etib, o‘simlikning umumiy stressga chidamliligini oshirishga hissa qo‘shadi. [4]

β-1,3-glukanaza genlari. *β-1,3-glukanaza* fermentlari zamburug‘ hujayra devorining muhim tarkibiy qismlaridan biri bo‘lgan *β-1,3-glukan*larni gidrolizlaydi, natijada patogenning o‘sishi va tarqalishi susayadi. Ushbu fermentlarni kodlovchi genlar o‘simlikning himoya tizimida muhim o‘rin tutib, ko‘pincha *xitinaza* genlari bilan birgalikda faollashadi va fitopatogenlarga qarshi integrallashgan himoya reaksiyalarini rivojlantirishda ishtirok etadi. [2]

Antifungal genlar. *Defensin*lar o‘simliklarda sintez qilinadigan kichik molekulyar antimikrob peptidlar bo‘lib, ular zamburug‘ hujayra membranasiga ta’sir ko‘rsatib, uning tuzilishi va funksional butunligini izdan chiqaradi. Natijada patogenning o‘sishi, rivojlanishi va ko‘payishi cheklanadi. [14]

Tioninlar. *Tionin*lar o‘simliklar tomonidan sintez qilinadigan antimikrob peptidlar guruhiga mansub bo‘lib, ular fitopatogen zamburug‘lar va bakteriyalarga nisbatan yuqori biologik faollik namoyon etadi. Ushbu peptidlar patogen hujayra membranasiga ta’sir ko‘rsatib, uning normal faoliyatini buzadi va natijada mikroorganizmlarning o‘sishi hamda ko‘payishini cheklaydi. [13]

Oksalat oksidaza. *Oksalat oksidaza* fermenti oksalat kislotani parchalash jarayonida vodorod peroksid (H_2O_2) hosil qiladi. Ushbu birikma o‘simliklarning himoya tizimida muhim signal molekulasi bo‘lib, stress va patogen ta’siriga javoban himoya mexanizmlarining faollashishiga yordam beradi. Shuningdek, H_2O_2 hujayra devorining mustahkamlanishi va antimikrob reaksiyalarning kuchayishida ham ishtirok etadi. [16]

Immun javobni faollashtiruvchi genlar. *NPR1* (Nonexpressor of Pathogenesis-Related genes 1) geni o‘simliklarda sistemik orttirilgan chidamlilik mexanizmining muhim regulyatorlaridan biri hisoblanadi. Ushbu genning faollashuvi natijasida himoya reaksiyalarida ishtirok etuvchi *PR* oqsillarini kodlovchi genlarning ekspressiyasi kuchayadi, bu esa o‘simlikning turli patogenlarga nisbatan chidamlilik darajasini oshiradi. [17]

***WRKY* transkripsion faktorlar.** *WRKY* transkripsion faktorlar o‘simlik immunitet tizimining muhim tarkibiy qismi bo‘lib, himoya genlarining ekspressiyasini nazorat qiladi. Ushbu oqsillar patogen hujumi natijasida faollashib, signal uzatish yo‘llari orqali himoya reaksiyalarini boshqaradi hamda o‘simlikning kasalliklarga turg’unligini oshirishga xizmat qiladi. [12]

***MAPK* signal yo‘llari**. *MAPK* (Mitogen-Activated Protein Kinase) signal uzatish yo‘llari o‘simlik immunitetining asosiy qismlaridan biri bo‘lib, patogenlar tomonidan yuzaga keltirilgan signallarni qabul qilish va ularni himoya reaksiyalariga aylantirish vazifasini bajaradi. Ushbu yo‘llarning faollashuvi natijasida himoya genlari ekspressiyasi kuchayadi, antimikrob birikmalar sintezi ortadi va o‘simlikning kasalliklarga bardoshlilik darajasi oshadi. Shu sababli *MAPK* tizimlari fitopatogenlarga qarshi molekulyar himoya mexanizmlarining muhim bo‘g‘ini sifatida qaraladi. [9]

Fusariumga chidamlilikni baholash. Fusarium inokulyatsiyasi va kasallik indeksi *Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum* ga chidamlilikni baholash uchun o‘simliklar sun’iy inokulyatsiyadan so‘ng muntazam kuzatib boriladi. Kasallikning rivojlanish darajasi odatda barglarning sarg‘ayishi, so‘lishi, o‘sishning sustlashishi, poya va ildiz bo‘g‘zi tomirlarining qo‘ng‘ir tusga kirishi hamda o‘simliklarning nobud bo‘lishi kabi simptomlar asosida aniqlanadi. Patogen ksilema to‘qimalarida rivojlanishi

natijasida suv va oziqa moddalarning transporti izdan chiqadi, bu esa vilt simptomlarining namoyon bo‘lishiga olib keladi. Kasallik darajasini miqdoriy baholash maqsadida o‘simliklar ma’lum shkala bo‘yicha guruhlarga ajratiladi va olingan ma’lumotlar asosida kasallik indeksi (Disease Index, DI) hisoblanadi. Ushbu ko‘rsatkich turli genotiplar yoki tajriba variantlari o‘rtasida *Fusarium*ga chidamlilik darajasini taqqoslash imkonini beradi. Kasallik indeksining past qiymatlari yuqori chidamlilikni, yuqori qiymatlari esa patogenga sezgirlikni ko‘rsatadi. Shu sababli mazkur usul fuzariozga qarshi seleksiya va genetik tadqiqotlarda keng qo‘llaniladi.[18]

XULOSA

Mazkur maqolada g‘o‘zaning muhim kasalliklaridan biri hisoblangan *Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum* ga qarshi chidamlilikni kuchaytirishda qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan genlar, molekulyar himoya mexanizmlari hamda genetik konstruksiyalar yuzasidan mavjud ilmiy ma’lumotlar tahlil qilindi. Adabiyotlar sharhi natijalari himoya reaksiyalarida ishtirok etuvchi *xitinaza, β-1,3-glukanaza, defensin, NPR1* va boshqa genlarning patogen rivojlanishini cheklash hamda o‘simlik immunitetini faollashtirishda muhim o‘rin tutishini ko‘rsatdi. Shuningdek, *Fusarium*ga chidamlilik bilan bog‘liq genlarni aniqlash, ularning funksional xususiyatlarini o‘rganish va genetik muhandislik usullari yordamida amaliyotga joriy etish kasallikka bardoshli navlar yaratishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Kelgusida bir nechta himoya genlarini o‘zida mujassamlashtirgan genetik konstruksiyalarni ishlab chiqish hamda ularning samaradorligini g‘o‘za muhitida sinovdan o‘tkazish fuzariozning salbiy ta’sirini kamaytirish va hosildorlikni barqaror saqlashga xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Abdelraheem, A., Fang, D. D., Zhang, J., Liu, S., et al. (2024). Identification of genomic regions associated with resistance to Fusarium wilt race 4 in upland cotton (Gossypium hirsutum L.). Molecular Genetics and Genomics. https://doi.org/10.1007/s00438-024-02130-9

2. Balasubramanian, V., Vashisht, D., Cletus, J., & Sakthivel, N. (2012). Plant β-1,3-glucanases: Their biological functions and transgenic expression against phytopathogenic fungi. Plant Cell Reports, 31(6), 1073–1090. https://doi.org/10.1007/s11103-011-9875-4

3. Chen, Z. J., Saha, S., Jenkins, J. N., et al. (2022). Genetics, breeding and genetic engineering to improve cottonseed oil and protein: A review. Frontiers in Plant Science, 13, 864850. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.864850

4. Grover, A. (2012). Plant chitinases: Genetic diversity and physiological roles. Critical Reviews in Plant Sciences, 31(1), 57–73. https://doi.org/10.1080/07352689.2011.616043

5. Lievens, B., Rep, M., & Thomma, B. P. H. J. (2012). Recent developments in the molecular discrimination of formae speciales of Fusarium oxysporum. Phytopathology, 102(1), 8–15. https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-12-0150-RVW

6. Liu, S., Zhang, X., Xiao, S., Ma, J., Shi, W., Qin, T., et al. (2021). A single-nucleotide mutation in a glutamate receptor-like gene confers resistance to Fusarium wilt in Gossypium hirsutum. Advanced Science, 8(7), 2002723. https://doi.org/10.1002/advs.202002723

7. Ma, L. J., van der Does, H. C., Borkovich, K. A., et al. (2010). Comparative genomics reveals mobile pathogenicity chromosomes in Fusarium. Nature, 464(7287), 367–373. https://doi.org/10.1038/nature08850

8. Malinga, L. (2021). The importance and economic status of cotton production. Academia Letters. https://doi.org/10.20935/AL2317

9. Meng, X., & Zhang, S. (2013). MAPK cascades in plant disease resistance signaling. Annual Review of Phytopathology, 51, 245–266. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120038

10. Michielse, C. B., & Rep, M. (2009). Pathogen profile update: Fusarium oxysporum. Molecular Plant Pathology, 10(3), 311–324. https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2009.00538.x

11. Nix, A., Paull, C., & Colgrave, M. (2017). Flavonoid profile of the cotton plant, Gossypium hirsutum: A review. Plants, 6(4), 43. https://doi.org/10.3390/plants6040043

12. Pandey, S. P., & Somssich, I. E. (2009). The role of WRKY transcription factors in plant immunity. The Plant Journal, 56(6), 909–920. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03743.x

13. Stec, B. (2006). Plant thionins—The structural perspective. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics, 1764(8), 1245–1253. https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2005.10.015

14. Stotz, H. U., Thomson, J. G., & Wang, Y. (2009). Plant defensins: Defense, development and application. Annual Review of Plant Biology, 60, 391–414. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042808-112314

15. Van Loon, L. C., Rep, M., & Pieterse, C. M. J. (2006). Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. Annual Review of Phytopathology, 44, 135–162. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143425

16. Walz, A., Zingen-Sell, I., Loeffler, M., & Sauer, M. (2008). Expression of an oxalate oxidase gene in transgenic plants. Plant Pathology, 57(3), 453–458. https://doi.org/10.1111/j.1364-3059.2007.01815.x

17. Withers, J., & Dong, X. (2017). Post-translational regulation of plant immunity. Annual Review of Plant Biology, 68, 513–545. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042916-040854

18. Zhang, J., Abdelraheem, A., Thyssen, G. N., Fang, D. D., Jenkins, J. N., & McCarty, J. C. (2015). Quantitative trait locus mapping and marker development for Fusarium wilt race 4 resistance in cotton. Crop Science, 55(4), 1695–1705. https://doi.org/10.2135/cropsci2015.01.0056