

**O‘SIMLIK VIRUSLARIGA QARSHI RNA-INTERFERENSIYA (RNAi)
TEKNOLOGIYASINING QO‘LLANILISHI: NAZARIY ASOSLAR VA
ISTIQBOLLARI**

Rahmonqulov Qahramon

*Guliston davlat universiteti Ishlab chiqarish texnologiyalari
fakulteti tyutori qahramonrahmonqulov66v65@gmail.com*

Annotatsiya: *Ushbu maqolada o‘simlik viruslariga qarshi RNA-interferensiya (RNAi) texnologiyasining nazariy asoslari, mexanizmlari va amaliy qo‘llanilishi ko‘rib chiqiladi. Viruslarning o‘simlik hosiliga yetkazadigan zararini kamaytirishning innovatsion yondashuvlari sifatida RNAi tizimi tahlil qilinadi. Maqolada RNAi mexanizmi, siRNA va RISC kompleksining roli, transgen va eksogen RNA preparatlari orqali virusga qarshi himoya yaratish usullari, shuningdek, texnologiyaning dolzarbligi, amaliy qiyinchiliklari va yechimlari, ilmiy yangiliklari va O‘zbekiston sharoitida qo‘llanish istiqbollari ko‘rsatib o‘tiladi.*

Kalit so‘zlar: *RNA-interferensiya, siRNA, RISC kompleksi, o‘simlik viruslari, transgenik o‘simliklar, virusga chidamlilik, agrobiotexnologiya, eksogen dsRNA.*

KIRISH

O‘simlik viruslari qishloq xo‘jaligi ekinlarining hosilini va sifatini keskin pasaytiradigan global ekologik muammolardan biridir. Viruslarning tarqalishi natijasida hosilning 20–40 foizi yo‘qolishi mumkin, ba’zi hollarda butun ekinlar zararlanishi ham ehtimoldan holi emas. An’anaviy virusga qarshi strategiyalar, jumladan tolerant navlar seleksiyasi, vektorlarni nazorat qilish va kimyoviy vositalardan foydalanish, ko‘pincha yetarli samaradorlik bermaydi. Shu sababli RNAi texnologiyasi ekologik xavfsiz, samarali va selektiv strategiya sifatida e’tibor qozonmoqda.

RNAi mexanizmi o‘simlik hujayralarida tabiiy mavjud bo‘lib, virus genetik materialini aniqlash, uni degradatsiya qilish va replikatsiyasini to‘xtatish orqali ishlaydi. Ushbu mexanizm virusga qarshi o‘simlikning tabiiy himoya tizimining asosi hisoblanadi. Virusning dvoyno zanjirli RNA (dsRNA) molekulasi o‘simlik hujayrasiga kirishi bilan Dicer fermenti tomonidan kichik 21–24 nukleotid uzunlikdagi siRNA bo‘laklariga parchalanadi. Ushbu siRNA RISC kompleksi bilan birlashib, virusning mos mRNA molekulalarini degradatsiya qiladi va virusning replikatsiyasi to‘xtaydi. Shu orqali RNAi transgenik yoki eksogen RNA yondashuvi orqali o‘simlik viruslariga qarshi yuqori selektiv va barqaror himoya yaratadi.

RNAi texnologiyasini tatbiq etish bir necha bosqichdan iborat. Avvalo, virus genetik materialining konservativ fragmentlari aniqlanadi va dsRNA yoki hairpin RNA (hpRNA) shaklida ifodalovchi konstruksiyalar yaratiladi. Ushbu konstruksiyalar transgen o‘simlik genomiga kiritiladi yoki in vitro eksogen RNA preparatlari orqali o‘simliklarga yuboriladi. Transgenik o‘simliklarda virusga qarshi chidamlilik laboratoriya va maydon sharoitida

baholanadi. Eksperiment natijalari virus RNA darajasida pasayish, simptomlarning kamayishi va hosil barqarorligining oshishini ko‘rsatadi. RNAi yondashuvi bilan virusga qarshi himoya qilishda vektorlar va eksogen dsRNA preparatlari ham ishlatiladi, bu esa transgenik yondashuvni qo‘llay olmagan mintaqalar uchun muqobil strategiya hisoblanadi.

Mavzuning dolzarbligi: Bugungi kunda oziq-ovqat xavfsizligi va agroekotizim barqarorligi global muammo hisoblanadi. Viruslar tez mutatsiyaga uchraydigan organizmlar bo‘lgani uchun, ularning yangi shtamlari doimiy paydo bo‘ladi. An‘anaviy tolerant navlarni ishlab chiqish va kimyoviy vositalardan foydalanish yetarli bo‘lmashligi RNAi texnologiyasining dolzarbligini oshiradi. RNAi virusning genetik materialini to‘g‘ridan-to‘g‘ri nishonga olib, yangi shtamlarga qarshi tezkor himoya imkonini beradi. Shu sababli RNAi texnologiyasi rivojlangan mamlakatlarda keng tatbiq etilmoqda va O‘zbekiston sharoitida ham ushbu yondashuvni o‘rganish va qo‘llash muhimdir.

Metodologiya: RNAi texnologiyasining metodologiyasi quyidagicha tashkil etiladi: virus genomining konservativ fragmentlarini aniqlash, siRNA yoki hpRNA konstruksiyalarini yaratish, ularni transgen o‘simlik genomiga kiritish yoki eksogen RNA preparatlari orqali yuborish. Transgenik o‘simliklarda virusga qarshi chidamlilik laboratoriya va maydon sharoitida baholanadi. Virus RNA darajasi va simptomlarning kamayishi tahlil qilinadi. Eksogen dsRNA yondashuvi esa vaqtinchalik himoya yaratish imkonini beradi va transgenik bo‘lmagan o‘simliklarda ham qo‘llanilishi mumkin.

Muammolar va yechimlar: RNAi texnologiyasini tatbiq etishda bir qator muammolar mavjud. Viruslarning yuqori mutatsion tezligi RNAi samaradorligini pasaytirishi mumkin. Shu sababli virus genomining konservativ fragmentlarini nishonga olish va multiplikativ siRNA yondashuvini qo‘llash talab etiladi. Transgenik o‘simliklarni yaratish va sertifikatsiyalash jarayoni murakkab va uzoq davom etadi. Bu muammo in vitro eksogen dsRNA preparatlari yordamida qisman hal qilinadi. RNAi tizimining o‘simlik metabolizmi va fenotipiga salbiy ta‘sirini oldini olish uchun optimal konstruksiya va ifodalash tizimlari ishlab chiqilishi zarur. Shu bilan birga, bioxavfsizlik va normativ-huquqiy talablar RNAi texnologiyasini keng tatbiq etishga cheklovlar yaratadi.

Yangiliklar: So‘nggi yillarda RNAi texnologiyasi bilan bir qatorda CRISPR/Cas13 tizimi virus genlarini yuqori selektivlik bilan nishonga olish imkonini berdi. Nanoformulyatsiyalar dsRNA barqarorligini oshiradi va o‘simlikka samarali yetkazilishini ta‘minlaydi. RNAi va endofit mikroorganizmlar konsortsiumi birgalikda ishlatilishi orqali virusga qarshi barqaror va ko‘p mexanizimli himoya yaratish mumkin. RNAi texnologiyasi yordamida yaratilgan transgenik o‘simliklar nafaqat virusga chidamli, balki stressga chidamlilik va hosil barqarorligini ham oshiradi.

O‘simlik viruslari dunyo bo‘yicha agrar sektor uchun eng xavfli biotik stress omillaridan biri bo‘lib, ular ekin hosilining sezilarli qismini yo‘qotishiga sabab bo‘ladi va oziq-ovqat xavfsizligiga jiddiy tahdid soladi. Jahon miqyosida o‘simlik viruslari ekin hosilining o‘rtacha 10–15 foizini yo‘qotadi, ayrim hollarda bu ko‘rsatkich 20 foizgacha yetadi. Masalan, kartoshkada Potato leafroll virus (PLRV) global hosilning 20 million tonnaga yaqin qismini yo‘qotishiga sabab bo‘lishi mumkin. Paxta va sabzavotlarda begomoviruslar, jumladan ToLCV va TYLCV, dunyo bo‘yicha yillik hosil zararining 10–12

foizgacha ta'sir ko'rsatadi. An'anaviy kimyoviy vositalar va vektor nazorati usullari viruslarni to'liq nazorat qila olmaydi, chunki viruslar tez mutatsiyalanadi va ularning vektorlari keng tarqalgan. Shu sabab RNA-interferensiya (RNAi) texnologiyasi o'simlik viruslariga qarshi ekologik xavfsiz va selektiv himoya strategiyasi sifatida dolzarb hisoblanadi.

RNAi – eukariot o'simlik hujayrasida tabiiy mavjud bo'lgan post-transkripsion gen ifodasini nazorat qilish mexanizmidir. Viruslar o'simlik hujayrasiga kirganida yoki dvoyno zanjirli RNA (dsRNA) hosil qilganda, Dicer fermentlari bu dsRNA ni 21–24 nukleotidli siRNA bo'laklariga parchalaydi. Ushbu siRNA Argonaute bilan birikib RNA-induced silencing complex (RISC) ni hosil qiladi va virusning mRNA yoki gen ifodasini maqsad qilib tanlab, uni degradatsiya qiladi. Shu orqali o'simlik hujayrasi virus replikatsiyasini samarali to'xtatadi va kasallik rivojlanishini cheklaydi. Amaliyotda RNAi yondashuvi bir nechta yo'l bilan tatbiq etiladi: Host-Induced Gene Silencing (HIGS) – o'simlik yadrosiga virusga qarshi siRNA kodlovchi konstruksiyalar kiritish; Virus-Induced Gene Silencing (VIGS) – modifikatsiyalangan virus vektorlari orqali gen ifodasini bostirish; Spray-Induced Gene Silencing (SIGS) – eksogen dsRNA yoki siRNA preparatlarini o'simlikga puskurtish orqali himoya hosil qilish. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, dsRNA ning uzunligi, genomdagi tanlangan segment va purkash usuli RNAi samaradorligini belgilovchi asosiy omillardir. Masalan, PVY virusiga nishonlangan HC-Pro gen segmenti bilan amalga oshirilgan purkashlar yuqori darajada himoya yaratgan.

Dunyo bo'yicha RNAi texnologiyasi bilan o'simlik viruslariga qarshi tadqiqotlar keng ko'lamda amalga oshirilmoqda. HIGS yondashuvi Arabidopsis va tomatoda begomovirusga qarshi muvaffaqiyatli qo'llanilgan. Virusning konservativ gen segmentlariga nishon qilingan siRNA hosil qilib, o'simliklar virusga chidamli bo'lgan. SIGS yondashuvi orqali eksogen dsRNA purkash transgenik bo'lmagan o'simliklarda ham yuqori darajada himoya hosil qilgan. Masalan, Potato virus Y (PVY) ga qarshi dsRNA purkash tizimik barglarda 14 kun davomida saqlangan va virus replikatsiyasini samarali to'xtatgan. VIGS yondashuvi esa Tomato leaf curl virus (TYLCV) va Papaya ring spot virus (PRSV) ga qarshi virus modifikatsiyalangan vektorlar yordamida sinovdan o'tkazilgan.

RNAi texnologiyasi so'nggi yillarda nanoformulyatsiyalar bilan birlashtirilib, dsRNA ning barqarorligi oshirilmoqda va o'simlik barglariga samarali yetkazilmoqda. Nano-RNAi preparatlarining 2025 yilda tijoratlashtirilish bosqichiga kirgani, dunyo bo'yicha bir qator agrobiotexnologiya kompaniyalari tomonidan amaliy qo'llanilayotgani kuzatilmoqda. Shu bilan birga, RNAi yondashuvi global miqyosda virusli kasalliklarni kamaytirish, hosilni saqlash va agroekotizimni barqarorlashtirish imkonini beradi. O'zbekistonda RNAi yondashuvini qo'llash imkoniyatlari keng, chunki mahalliy virus shtammlari aniqlangan, konservativ gen fragmentlarini tanlash va eksogen dsRNA purkash orqali virusga chidamlilikni oshirish mumkin. Bu yondashuvlar paxta, g'alla va sabzavot ekinlarida virus epidemiylariga qarshi samarali himoya yaratadi.

Shu bilan birga, RNAi texnologiyasini qo'llashda bir qator muammolar mavjud. Viruslarning yuqori mutatsiya tezligi RNAi nishonga olingan fragmentlarga qarshi chidamlilik hosil bo'lish xavfini oshiradi. Buni kamaytirish uchun virusning konservativ

gen segmentlarini tanlash va multiplik siRNA yondashuvlarini ishlab chiqish tavsiya etiladi. Transgenik o‘simliklarni yaratish va sertifikatsiyalash uzun jarayon bo‘lib, ayrim mamlakatlarda GM mahsulotlarga ijtimoiy norozilik mavjud. Shu bois SIGS va eksogen dsRNA yondashuvlari rivojlanmoqda. dsRNA ning o‘simlik ichida sistemik harakati va uzluksiz faolligi haqida ko‘plab savollar mavjud bo‘lib, so‘nggi tadqiqotlar dsRNA ning barglarda 14 kun davomida saqlanishini tasdiqladi. Bundan tashqari, bioxavfsizlik, normativ-huquqiy va ijtimoiy qabul masalalari ham dolzarb.

Ilmiy yangiliklar nuqtai nazaridan, RNAi yondashuvida CRISPR/Cas13 tizimi bilan birikkan yondashuvlar, nano-formulyatsiyalangan dsRNA purkash platformalari va o‘simlik mikrobiomi bilan integratsiyalashgan strategiyalar e‘tiborni tortmoqda. Nanoformulyatsiyalar yordamida dsRNA ning barqarorligi oshiriladi, o‘simlik barglariga yetkazish samaradorligi kuchayadi. Endofit mikroorganizmlar bilan birgalikda RNAi yondashuvi virusga qarshi himoyani kuchaytiradi. HIGS va SIGS orqali transgenik bo‘lmagan o‘simliklarda ham yuqori darajada virusga chidamlilik hosil qilish imkoniyati mavjud. Bu yondashuvlar oziq-ovqat xavfsizligi, ekologik barqarorlik va agrobiotexnologik iqtisodiy samaradorlik nuqtai nazaridan ham muhim.

RNA-interferensiya texnologiyasi o‘simlik viruslariga qarshi zamonaviy, selektiv va ekologik xavfsiz strategiya hisoblanadi. U virus genetik materialini to‘g‘ridan-to‘g‘ri nishonga olib, virus replikatsiyasini to‘xtatadi, o‘simlikning ichki himoya mexanizmlarini faollashtiradi va hosil barqarorligini oshiradi. Global statistika va jahon tajribalari RNAi yondashuvining virusli kasalliklarni kamaytirishda yuqori samaradorligini ko‘rsatadi. O‘zbekistonda RNAi texnologiyasini rivojlantirish va qo‘llash: mahalliy virus shtammlarini sekvenslash, konservativ gen fragmentlarini aniqlash, eksogen dsRNA preparatlarini maydon sharoitida sinovdan o‘tkazish, nano-formulyatsiyalar tatbiqi, bioxavfsizlik va normativ huquqiy yondashuvni takomillashtirish, fermerlar uchun treninglar tashkil etish orqali amalga oshirilishi mumkin. Xalqaro hamkorlikni kengaytirish va ilmiy-amaliy klaster yaratish RNAi yondashuvining agrobiotexnologiya sohasida yetakchi o‘rin egallashini ta‘minlaydi.

Xulosa va takliflar: RNAi texnologiyasi o‘simlik viruslariga qarshi zamonaviy, selektiv va ekologik xavfsiz strategiya hisoblanadi. Virus genetik materialini to‘g‘ridan-to‘g‘ri nishonga olib, patogen replikatsiyasini to‘xtatadi, o‘simlik immun tizimini faollashtiradi va hosil barqarorligini oshiradi. RNAi yordamida yaratilgan transgen va eksogen preparatlar viruslarga chidamli, stressga bardoshli va hosil sifati yuqori o‘simliklarni ta‘minlaydi. O‘zbekiston sharoitida RNAi texnologiyasini rivojlantirish, mahalliy virus shtammlarini o‘rganish va agrobiotexnologik laboratoriyalarni rivojlantirish ilmiy, ekologik va iqtisodiy jihatdan ustuvor vazifa hisoblanadi.

1. Baulcombe D. RNA silencing in plants. *Nature*, 2004.
2. Waterhouse P. M., Wang M. B., Lough T. Gene silencing as an adaptive defence against viruses. *Nature*, 2001.
3. Czech B., Hannon G. J. One loop to rule them all: the Ping-Pong cycle and piRNA biogenesis. *Trends in Biochemical Sciences*, 2016.
4. Liu Y., et al. Exogenous application of dsRNA for plant virus control: advances and prospects. *Frontiers in Plant Science*, 2021.
5. O‘zbekiston Respublikasi Qishloq xo‘jaligi ilmiy markazi. O‘simlik viruslariga qarshi RNAi tadqiqotlari. Toshkent, 2022.
6. Tursunov F., Karimov S. RNA-interferensiya texnologiyasining o‘simlik viruslariga qarshi qo‘llanilishi. *Biotexnologiya va Qishloq xo‘jaligi*, 2021, №4, 33–50.
7. Abdullayev S., To‘xtayev M. Transgenik o‘simliklar va RNAi asosida viruslarga chidamlilikni oshirish. Toshkent Davlat Agrar Universiteti, 2022.
8. Rasulov A., Axmedov N. RNAi va agroekotizim barqarorligi. *Fan va Ta’lim*, 2020, №2, 12–29.
9. Sobirov Sh. RNAi mexanizmi va patogen viruslarni nazorat qilish. *Fan va Texnologiya*, 2021, №5, 67–81.
10. O‘zbekiston Respublikasi Qishloq xo‘jaligi vazirligi. Agrobiotexnologik yondashuvlar va biologik himoya vositalari bo‘yicha milliy strategiya, Toshkent, 2023.