



№4/2026

ANDIJON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI

**ADPI**  
**Ilmiy xabarnomasi**

## O'SIMLIKLARNING ABIOTIK STRESS OMILLARIGA CHIDAMLILIGINI OSHIRISHNING MOLEKULYAR MEKANIZMLARI VA BIOTEKNOLOGIK YONDASHUVLARI

**Arslanov D.M., Xalikov Q.K.,**

*O'zR FA Genetika va o'simliklar eksperimental biologiyasi instituti*

**Gapparov B.M.**

*O'simliklar genetik resurslari ilmiy tadqiqot instituti*

### Annotatsiya.

*Abiotik stress omillari, jumladan qurg'oqchilik, sho'rlanish, ekstremal haroratlarning va oziqa moddalari tanqisligi qishloq xo'jaligi ekinlari mahsuldorligini sezilarli darajada cheklaydi. Iqlim o'zgarishi sharoitida ularning ta'siri kuchayib bormoqda, bu esa o'simliklar chidamliligini oshirishning samarali usullarini ishlab chiqishni talab etadi.*

*Mazkur sharhda zamonaviy biotexnologik yondashuvlar, jumladan multi-omics texnologiyalari, genetik injiniring hamda CRISPR/Cas tizimi asosida genomni tahrirlash usullari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, biostimulyatorlar, fitogormonlar, mikrobiologik preparatlar hamda nanotexnologiyalarni qo'llash istiqbollari yoritilgan.*

*Molekulyar, fiziologik va agrotexnologik usullarni uyg'unlashtirish, shuningdek sun'iy intellektdan foydalanish yuqori mahsuldor va stressga chidamli o'simlik navlarini yaratishga xizmat qilishi ko'rsatib berilgan. Iqlim o'zgarishi sharoitida oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash uchun keyingi tadqiqotlarning ahamiyati ta'kidlangan.*

### Kalit so'zlar:

*abiotik stress, CRISPR, qurg'oqchilik, tuz stressi, omics, biotexnologiyalar, o'simliklar chidamliligi.*

### Аннотация.

*Абиотические стрессовые факторы, такие как засуха, засоление, экстремальные температуры и дефицит питательных веществ, существенно ограничивают продуктивность сельскохозяйственных культур. В условиях изменения климата их влияние усиливается, что требует разработки эффективных способов повышения устойчивости растений.*

*В обзоре рассмотрены современные биотехнологические подходы, включая multi-omics технологии, генетическую инженерию и редактирование генома с использованием CRISPR/Cas. Освещены перспективы применения биостимуляторов, фитогормонов, микробиологических препаратов, а также нанотехнологий.*

*Показано, что сочетание молекулярных, физиологических и агротехнологических методов, а также использование искусственного интеллекта, способствует созданию высокопродуктивных и стрессоустойчивых сортов растений. Подчеркивается значение дальнейших исследований для обеспечения продовольственной безопасности в условиях климатических изменений.*

### Ключевые слова:

*абиотический стресс, CRISPR, засуха, солевой стресс, omics, биотехнологии, устойчивость растений.*

### Abstract.

*Abiotic stress factors such as drought, salinity, extreme temperatures, and nutrient deficiency significantly limit the productivity of agricultural crops. Under climate change conditions, their impact is intensifying, which requires the development of effective methods to improve plant resistance.*

*This review discusses modern biotechnological approaches, including multi-omics technologies, genetic engineering, and genome editing using CRISPR/Cas systems. The prospects for applying biostimulants, phytohormones, microbial preparations, and nanotechnologies are also highlighted.*

*It is shown that the combination of molecular, physiological, and agrotechnological methods, as well as the use of artificial intelligence, contributes to the development of highly productive and stress-tolerant plant varieties. The importance of further research for ensuring food security under climate change conditions is emphasized.*

### Keywords:

*abiotic stress, CRISPR, drought, salt stress, omics, biotechnology, plant resistance.*

**Kirish.** Abiotik stresslar butun dunyo bo'yicha qishloq xo'jaligi ekinlari mahsuldorligini cheklovchi asosiy omillardan biridir. Eng muhimlari qatoriga qurg'oqchilik, tuproq sho'rlanishi, ekstremal haroratlarning, og'ir metallarning toksikligi hamda oziqa elementlari tanqisligi kiradi [1,3,5]. Ular o'simliklarning o'sishi, rivojlanishi va fiziologik jarayonlariga, jumladan fotosintez hamda suv almashinuviga salbiy ta'sir ko'rsatadi [11, 25].

Mazkur omillarning umumiy ta'siri ekinlar hosildorligini 50% va undan ko'proq kamaytirishi mumkin, ayniqsa qurg'oqchil hududlarda [1, 7]. Iqlim o'zgarishi haroratning

oshishi, yog'in-sochin rejimining buzilishi va tuproq resurslarining degradatsiyasi natijasida ushbu jarayonlarni kuchaytirmoqda [6, 7, 8].

Hujayra darajasida stress faol kislorod shakllari (ROS) hosil bo'lishi, membranalarning shikastlanishi va genlar ekspressiyasining o'zgarishiga sabab bo'ladi [11, 17]. Bunga javoban o'simliklar antioksidant tizimlarni faollashtiradi, stress oqsillarini sintez qiladi, osmoprotektorlarni to'playdi hamda gormonal regulyatsiyani ishga tushiradi [9, 17, 25].

Zamonaviy usullar, jumladan multi-omics texnologiyalari, bioinformatika, genetik injiniring, CRISPR/Cas, biostimulyatorlar va nanotexnologiyalar moslashuv mexanizmlarini aniqlash hamda yangi stressga chidamli o'simlik navlarini yaratish imkonini beradi [4, 10, 12].

Shunday qilib, o'simliklarning abiotik stresslarga chidamliligini o'rganish qishloq xo'jaligini rivojlantirish va iqlim o'zgarishi sharoitida oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega [7, 8, 12].

## **2. Abiotik stresslarning tasnifi va ta'siri**

**2.1. Stresslarning asosiy turlari:** Asosiy abiotik stress omillariga qurg'oqchilik, tuproq sho'rlanishi, harorat ekstremumlari, oksidlovchi stress, oziqa elementlarining tanqisligi yoki ortiqchiligi kiradi [1,3,5]. Bundan tashqari, ultrabinafsha nurlanish, og'ir metallarning toksikligi, gipoksiya, suv bosishi va mexanik shikastlanishlar ham ajratib ko'rsatiladi [6,8,13].

Tabiiy sharoitlarda o'simliklar ko'pincha bir nechta omillarning birgalikdagi ta'siriga uchraydi, bu esa salbiy ta'sirni kuchaytiradi va moslashuv reaksiyalarini murakkablashtiradi [12,19]. Hujayra darajasida bu ion muvozanatining buzilishi, hujayralarning suvsizlanishi, membranalarning shikastlanishi, fermentlar faolligining o'zgarishi hamda fotosintezning susayishiga olib keladi [11,25].

Stressga javob reaksiyalarida o'simliklarning signal tizimlari muhim rol o'ynaydi: kalsiy signallari ( $Ca^{2+}$ ), faol kislorod shakllari (ROS) va himoya reaksiyalarini ishga tushiruvchi fitogormonlar [17,18,25].

### **2.2. Fiziologik va biokimyoviy oqibatlar**

Stresslar ta'siri fotosintez faolligining pasayishi, suv muvozanatining buzilishi, og'izchalarning yopilishi, ROS to'planishi va hujayra membranalarning shikastlanishiga olib keladi [11,17]. Oksidlovchi stress oqsillar, lipidlar va DNK ning zararlanishiga, shuningdek mitoxondriya hamda xloroplastlar faoliyatining buzilishiga sabab bo'ladi [17,25].

Natijada fermentlar faolligi kamayadi, o'simliklarning o'sishi susayadi, hosildorlik va mahsulot sifati yomonlashadi [1,7].

### **2.3. O'simliklarning moslashuv reaksiyalari**

Stressga javoban o'simliklar morfologik va fiziologik moslashuvlarni shakllantiradi: barg yuzasini kichraytiradi, chuqurroq ildiz tizimini rivojlantiradi, kutikulani qalinlashtiradi va barglarning holatini o'zgartiradi [20,21,23].

Biokimyoviy darajada antioksidant himoya kuchayadi, osmoprotektorlar to'planadi, stress oqsillari sintezlanadi va chidamlilik genlari faollashadi [17,18,24].

### **3.1. Antioksidant tizim**

Abiotik stresslar ta'sirida o'simlik hujayralarida superoksid-anion ( $O_2^-$ ), vodorod peroksid ( $H_2O_2$ ) va gidroksil radikallari ( $OH\bullet$ ) kabi faol kislorod shakllari (ROS) ortiqcha

miqdorda hosil bo'ladi. Ularning to'planishi hujayra tuzilmalarining oksidlovchi shikastlanishiga olib keladi [11,17].

ROS ni zararsizlantirish uchun antioksidant tizim faollashadi va u quyidagi fermentlarni o'z ichiga oladi:

- superoksiddismutaza (SOD) — superoksidni  $H_2O_2$  ga aylantiradi
  - katalaza (CAT) — vodorod peroksidni suv va kislorodgacha parchalaydi
  - peroksidaza (POD) — peroksidlarni detoksikasiya qilishda ishtirok etadi [17,25]
- Bundan tashqari, ferment bo'lmagan antioksidantlar ham muhim rol o'ynaydi:

- askorbin kislotasi (vitamin C)
- glutation
- karotinoidlar
- flavonoidlar [9,17]

Ushbu mexanizmlar yig'indisi redoks-gomeostazni saqlashni ta'minlaydi hamda lipidlar, oqsillar va DNK ning shikastlanishini oldini oladi [17,25].

### 3.2. Osmoregulyatsiya

Qurg'oqchilik va sho'rlanish sharoitida o'simliklar suv yo'qotilishi hamda hujayra turgorining pasayishi bilan to'qnashadi. Osmotik muvozanatni saqlash uchun osmoregulyatsiya mexanizmi faollashadi [1,5].

Mos keluvchi eruvchan birikmalar (osmolitlar), jumladan:

- prolin
- eruvchan shakarlar (glyukoza, saxaroza, tregaloza)
- glitsin-betain [20,23]

to'planishi quyidagilarni ta'minlaydi:

- hujayraning osmotik bosimini saqlash
- oqsillar va membranalarni barqarorlashtirish
- ferment tizimlarini himoya qilish
- xloroplastlar tuzilishini saqlab qolish [5,23].

Prolin osmoregulyatsiyadan tashqari antioksidant vazifasini ham bajaradi va stress javobi signalizatsiyasida ishtirok etadi [20].

### 3.3. Gormonal regulyatsiya

Fitogormonlar o'simliklarning stress ta'sirlariga javob reaksiyalarini muvofiqlashtirishda muhim rol o'ynaydi. Stress javobida ishtirok etuvchi asosiy gormonlar:

- abstsiz kislotasi (ABA)
- etilen
- jasmon kislotasi (JA)
- salitsil kislotasi (SA) [2,18]

Abstsiz kislotasi (ABA) qurg'oqchilik sharoitida markaziy regulyator hisoblanadi:

- og'izchalarning yopilishini induksiya qiladi
- transpiratsiyani kamaytiradi
- stress bilan bog'liq genlar ekspressiyasini faollashtiradi [2,18].

Etilen qarish jarayonlari va stressga moslashuvni boshqaradi, shuningdek boshqa gormonal yo'llar bilan o'zaro ta'sir qiladi [18].

Jasmon va salitsil kislotalari signal kaskadlarida qatnashib, himoya reaksiyalari hamda stresslarga chidamlilikni kuchaytiradi [2,18].

Muhim jihatlardan biri gormonal crosstalk — turli gormonal signallarning o'zaro ta'siri bo'lib, u moslashuv jarayonlarining aniq boshqarilishini ta'minlaydi [18,25].

**Jadval 1 – O'simliklarning abiotik stresslarga chidamliligining asosiy mexanizmlari.**

Mexanizm	Asosiy komponentlar	Vazifalari	Natija
Antioksidant tizim	SOD, CAT, POD, askorbat, glutation	ROS ni zararsizlantirish (detoksikatsiya)	Membranalar, oqsillar va DNK ni himoya qilish
Osmoregulyatsiya	Prolin, shakarlar, glitsin-betain	Osmotik bosimni saqlash	Hujayra turgorini va tuzilmasini saqlash
Gormonal regulyatsiya	ABA, etilen, JA, SA	Stress javobini boshqarish	Og'izchalarning yopilishi, moslashuv
Genetik regulyatsiya	DREB, NAC, MYB, bZIP	Genlar ekspressiyasini nazorat qilish	Himoya oqsillarining sintezi
Signal yo'llari	Ca <sup>2+</sup> , ROS, NO, MAPK	Signalni uzatish	Himoya mexanizmlarining tez faollashuvi

Manba: [10,11,17] manbalar asosida muallif tomonidan tuzilgan.

### 3.4. Genetik regulyatsiya va signal yo'llari

Abiotik stresslar quyidagilarni kodlovchi maxsus genlar ekspressiyasini faollashtiradi:

- transkripsion omillar (DREB, MYB, NAC, bZIP)
- stress oqsillari (LEA-oqsillar, HSP)
- antioksidant himoya fermentlari [10, 11]

Signal yo'llari quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- kalsiy signallari (Ca<sup>2+</sup>)
- MAP-kinaza kaskadlari
- signal molekullari sifatida ROS [11, 18]

Ushbu mexanizmlar retseptorlardan hujayra yadrosigacha signalni tez uzatish va moslashuv reaksiyalarini ishga tushirishni ta'minlaydi [10, 18].

### 4. Molekulyar mexanizmlar

O'simliklarning abiotik stresslarga chidamliligini shakllantirishda stress signalini qabul qilish va moslashuv reaksiyalarini ishga tushiruvchi murakkab molekulyar hamda signal tarmoqlari muhim rol o'ynaydi [10, 11].

Asosiy komponentlarga quyidagilar kiradi:

- transkripsion omillar (DREB, NAC, MYB, bZIP)
- signal molekullari ( $Ca^{2+}$ , ROS, NO — azot oksidi)
- stress tomonidan induksiyalanuvchi genlar [11, 18]

#### 4.1. Transkripsion omillar

Transkripsion omillar (TFs) stress sharoitida faollashuvchi genlar ekspressiyasini boshqaradi [10,11].

Eng ko'p o'rganilgan oilalar:

- DREB (Dehydration-Responsive Element Binding) — qurg'oqchilik, sovuq va tuz stressiga javob reaksiyalarida ishtirok etadi
- NAC — qarish jarayonlari, qurg'oqchilik va tuz stressiga chidamlilikni boshqaradi
- MYB va bZIP — stress javoblarining keng doirasini nazorat qiladi [10, 18].

Ular DNK ning maxsus qismlari bilan bog'lanib, himoya oqsillari, fermentlar va regulyator molekullarni kodlovchi genlarning transkripsiyasini faollashtiradi [10, 11].

#### 4.2. Signal molekullari va kaskadlari

Signal molekullari stress signalini uzatishda "vositachi" vazifasini bajaradi:

- $Ca^{2+}$  (kalsiy) — universal ikkilamchi messenjer bo'lib, stress vaqtida sitoplazmadagi konsentratsiyasi o'zgaradi
- ROS (faol kislorod shakllari) — ikki tomonlama vazifani bajaradi: shikastlovchi va signal beruvchi
- NO (azot oksidi) — antioksidant himoya hamda genlar ekspressiyasini boshqarishda ishtirok etadi [11,18,25].

Signal uzatilishi quyidagi yo'llar orqali amalga oshadi:

- kalsiyga bog'liq proteinkinazalar (CDPK)
- MAP-kinaza kaskadlari (MAPK)
- oqsillarning fosforillanishi [18].

Ushbu jarayonlar hujayraning stress sharoitlariga tez javob berishini ta'minlaydi [11, 18].

#### 4.3. Epigenetik regulyatsiya

So'nggi yillarda stresslarga chidamlilik epigenetik darajada ham boshqarilishi aniqlangan:

- DNK metillanishi
- gistonlarning modifikatsiyasi
- mikroRNK (miRNA) [10, 32, 33]

Bu mexanizmlar o'simliklarga stress sharoitlarini "eslab qolish" va takroriy ta'sirda tezroq moslashish imkonini beradi (stress xotirasi) [32, 33].

### 5. Zamonaviy biotexnologik yondashuvlar

### 5.1. Multi-omics texnologiyalari

Genomika, transkriptomika, proteomika va metabolomikaning integratsiyasi (multi-omics) o'simliklarning abiotik stresslarga chidamliligining molekulyar mexanizmlarini kompleks o'rganish imkonini beradi [10, 11].

Ushbu yondashuvlar quyidagilarni ta'minlaydi:

- genlar ekspressiyasini tahlil qilish (RNA-seq, qPCR)
- oqsil tarkibidagi o'zgarishlarni aniqlash (proteomika)
- metabolik yo'llar va metabolitlar to'planishini o'rganish
- asosiy genlar hamda signal tarmoqlarini identifikatsiya qilish [10, 12]

Qo'shimcha ravishda quyidagilar qo'llaniladi:

- epigenomika — DNK metillanishini tahlil qilish
- fenomika — morfologik va fiziologik belgilarni baholash [10, 32]

Ma'lumotlar bioinformatika va sun'iy intellekt usullari yordamida integratsiya qilinadi, bu esa o'simliklar chidamliligini bashoratlovchi modellar yaratish imkonini beradi [10, 12].

### 5.2. CRISPR/Cas texnologiyalari

CRISPR/Cas kabi genomni tahrirlash texnologiyalari begona DNK kiritmasdan genlarni yuqori aniqlikda o'zgartirish imkonini beradi [4, 12].

Usul imkoniyatlari:

- chidamlilikni pasaytiruvchi genlarni "o'chirish" (knockout)
- himoya genlarini faollashtirish
- regulyator ketma-ketliklarni tahrirlash
- minimal nojo'ya ta'sirga ega stressga chidamli navlar yaratish [4, 12]

Afzalliklari:

- yuqori aniqlik
- natijalarni tez olish
- potensial ekologik xavfsizlik [12]

### 5.3. Nanotexnologiyalar

O'simlikchilikda nanotexnologiyalarni qo'llash chidamlilikni oshirishning istiqbolli yo'nalishi hisoblanadi [9, 30].

Nanozarrachalar va nanoo'g'itlardan foydalanish quyidagilarga yordam beradi:

- makro va mikroelementlarning o'zlashtirilishini yaxshilash
- moddalarni hujayraga yetkazib berish samaradorligini oshirish
- antioksidant tizimlarni faollashtirish
- o'simliklarni oksidlovchi stressdan himoya qilish [9, 30]

Misollar:

- kremniy nanozarrachalari — qurg'oqchilikka chidamlilikni oshiradi
- rux nanozarrachalari — fermentativ reaksiyalarda qatnashadi [30]

### 5.4. Biostimulyatorlar

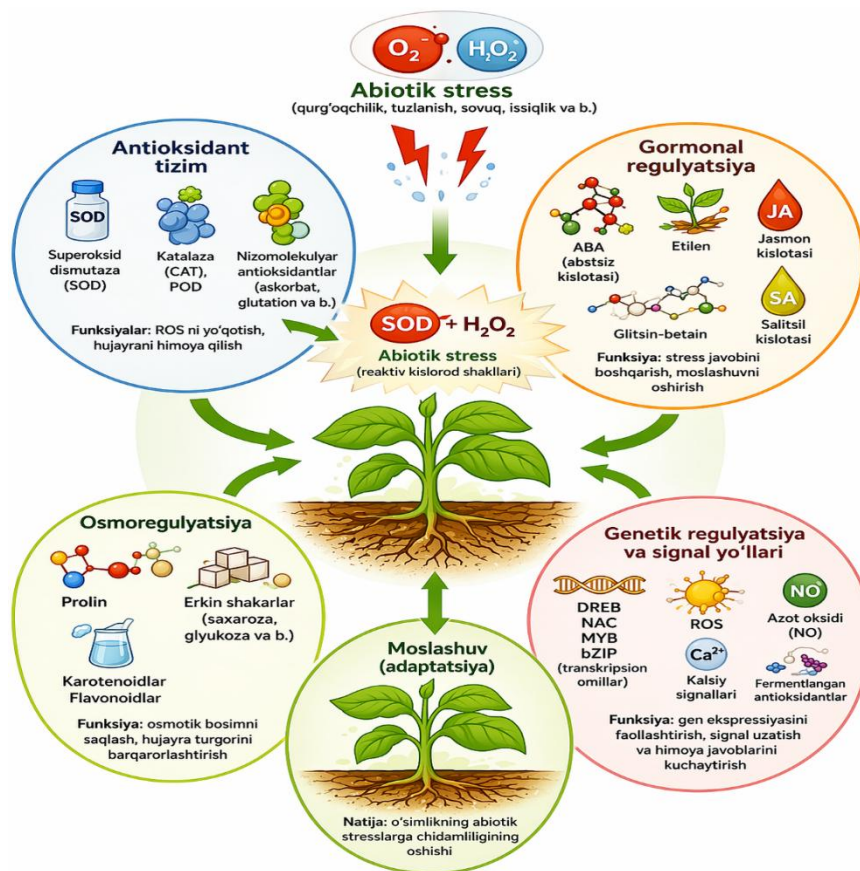
Biostimulyatorlar o'simliklarning stresslarga chidamliligini oshiruvchi tabiiy yoki sintetik moddalardir [9, 26]

Ular quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- suv o'tlari ekstraktlari
- gumin va fulvo kislotalari
- aminokislotalar
- mikrobiologik preparatlar (PGPR — foydali rizobakteriyalar) [9, 26]

Biostimulyatorlar quyidagilarga yordam beradi:

- antioksidant himoyani kuchaytirish
- gormonal muvozanatni boshqarish
- ildiz oziqlanishini yaxshilash
- qurg'oqchilik, sho'rlanish va harorat stresslariga chidamlilikni oshirish [9, 26]



1-rasm. O'simliklar chidamliligini oshirishda zamonaviy biotexnologik yondashuvlar.

## 6. Stresslar integratsiyasi va kombinatsiyalashgan ta'sir

Tabiiy hamda agroekologik sharoitlarda o'simliklar kamdan-kam hollarda faqat bitta stress omili ta'siriga uchraydi. Ko'pincha qurg'oqchilik va yuqori harorat, sho'rlanish va oziqa moddalari tanqisligi yoki gipoksiya va tuproq toksikligi kabi bir nechta abiotik stresslarning kombinatsiyalashgan ta'siri kuzatiladi. Ularning birgalikdagi ta'siri salbiy samarani sezilarli kuchaytiradi hamda o'simliklarning moslashuv mexanizmlarini murakkablashtiradi [12,19].

Kombinatsiyalashgan stresslar alohida stresslarga nisbatan murakkabroq fiziologik va molekulyar o'zgarishlarni yuzaga keltiradi, chunki:

- o'zaro kesishuvchi, ammo bir xil bo'lmagan signal yo'llari faollashadi
- faol kislorod shakllari (ROS) hosil bo'lishi kuchayadi
- gormonal muvozanat boshqarilishi buziladi
- o'sish va himoya reaksiyalari o'rtasida raqobat kuzatiladi [11,18,19].

### 6.1. Kombinatsiyalashgan stresslarning xususiyatlari

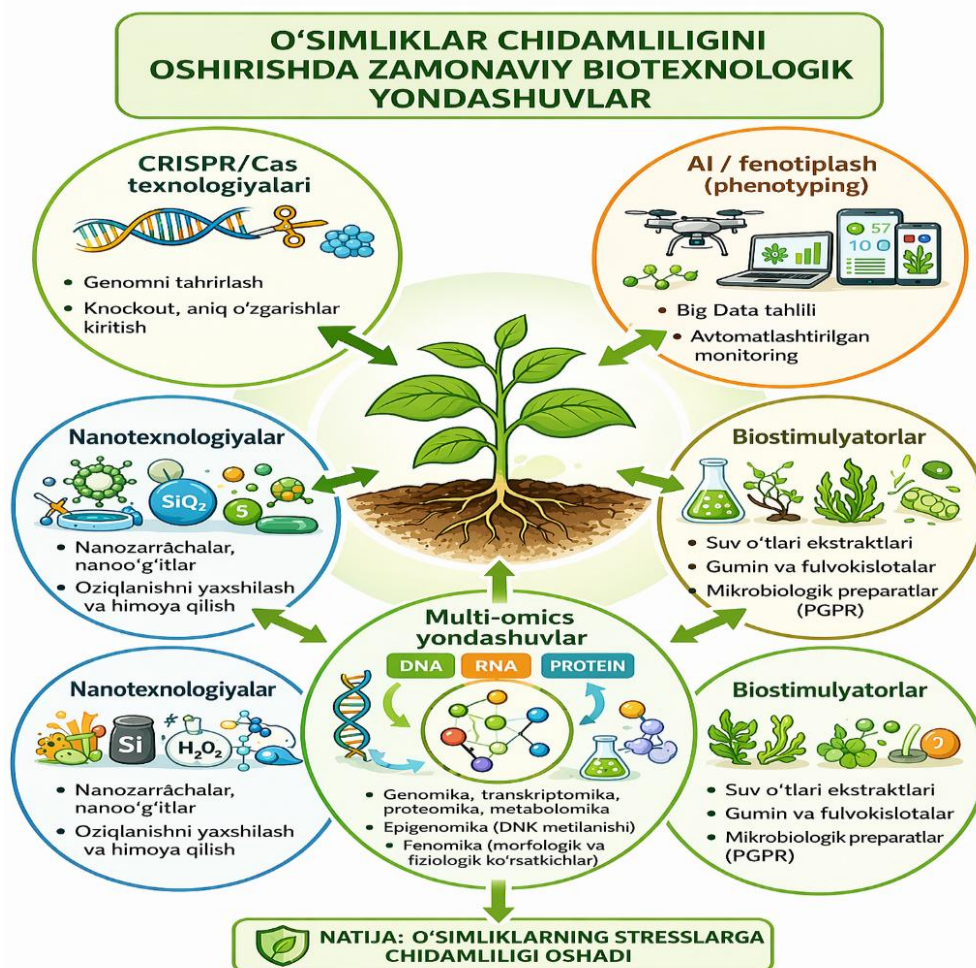
Stresslar birgalikda ta'sir etganda ularning samarasi quyidagicha bo'lishi mumkin:

- sinergik – bir-birining ta'sirini kuchaytiradi
- antagonistik – omillardan birining ta'sirini susaytiradi
- additiv – kuchayishsiz umumiy yig'indi ta'sir ko'rsatadi [19].

Masalan:

- qurg'oqchilik + yuqori harorat → suvsizlanishning keskin kuchayishi
- sho'rlanish + suv tanqisligi → ion va suv muvozanatining buzilishi
- sovuq + yorug'lik stressi → fotosistemalarning shikastlanishi [1,7].

Bunday uyg'unlashgan stresslar fotosintez, o'sish va rivojlanishning yanada kuchli susayishiga olib keladi [7,11].



2-rasm. Abiotik stresslarning o'zaro ta'siri (sinergik, antagonistik va additiv effektlar).

### **6.3. Kombinatsiyalashgan stresslarni o'rganishning zamonaviy yondashuvlari**

Stresslarning kompleks ta'sirini tahlil qilish uchun quyidagilar qo'llaniladi:

- multi-omics texnologiyalari (genomik va metabolik ma'lumotlar integratsiyasi)
- fenotiplash tizimlari (fenomika)
- matematik modellashtirish va mashinaviy o'qitish
- bir nechta omillar ishtirokidagi nazorat qilinadigan tajribalar [10,12].

Bu usullar real sharoitlarga maksimal darajada yaqin vaziyatlarda chidamlilikning asosiy mexanizmlarini aniqlash imkonini beradi [12].

### **7. Istiqbolli yo'nalishlar**

O'simliklarning abiotik stresslarga chidamliligi sohasidagi zamonaviy tadqiqotlar molekulyar, genetik va raqamli yondashuvlar integratsiyasiga asoslangan kompleks hamda yuqori texnologik yechimlarni ishlab chiqishga qaratilgan [10,12].

Asosiy tendensiyalar quyidagilardan iborat:

- multi-omics texnologiyalarini integratsiya qilish
- sun'iy intellekt va mashinaviy o'qitish usullaridan foydalanish
- yuqori unumdor fenotiplash
- stressga chidamli o'simlik navlarini yaratish [10,12,13]

#### **7.1. Multi-omics integratsiyasi va tizimli biologiya**

Eng istiqbolli yo'nalishlardan biri genomika, transkriptomika, proteomika va metabolomika ma'lumotlarini tizimli biologiya doirasida birlashtirishdir [10,11].

Bu quyidagilarga imkon beradi:

- asosiy genlar va regulyator tarmoqlarni aniqlash
- o'simliklarning stress javoblarini modellashtirish
- turli stresslarga chidamlilikni prognoz qilish [10,12].

Integrativ platformalar va bioinformatik vositalardan foydalanish moslashuv mexanizmlarini chuqurroq tushunishga yordam beradi [10].

#### **7.2. Sun'iy intellekt va raqamli texnologiyalar**

Sun'iy intellekt (AI) va mashinaviy o'qitish usullari katta biologik ma'lumotlarni (Big Data) tahlil qilishda keng qo'llanilmoqda [10,12].

Ular quyidagilarga imkon yaratadi:

- o'simliklarning stressga reaksiyasini bashorat qilish
- omics-ma'lumotlardagi yashirin qonuniyatlarni aniqlash
- seleksiya dasturlarini tezlashtirish
- agrotexnologiyalarni optimallashtirish [10,12]

AI ni avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari va sensor texnologiyalar bilan birgalikda qo'llash ayniqsa samaralidir [12].

#### **7.3. Yuqori unumdor fenotiplash**

Zamonaviy fenotiplash platformalari (fenomika) o'simliklarning fiziologik va morfologik xususiyatlarini tez hamda aniq baholash imkonini beradi [10,13].

Qo'llaniladi:

- dronlar va sun'iy yo'ldosh texnologiyalari
- namlik, harorat va fotosintezni o'lchovchi sensorlar
- kompyuter ko'rish tizimlari [10]

Bu quyidagilarni ta'minlaydi:

- real vaqt rejimida o'simlik holatini monitoring qilish
- dala sharoitida stressga chidamlilikni baholash
- istiqbolli genotiplarni tanlashni tezlashtirish [13]

#### **7.4. Genomik seleksiya va yangi navlar**

Genomik seleksiya va genomni tahrirlash texnologiyalarining (CRISPR/Cas) rivojlanishi stresslarga yuqori chidamli yangi o'simlik navlarini yaratish imkonini bermoqda [4,12].

Asosiy yo'nalishlar:

- bir nechta genlarni tahrirlash (multi-gene editing)
- molekulyar markerlar asosida tezlashtirilgan seleksiya
- kompleks chidamlilikka ega navlar yaratish [12,13]

#### **7.5. Barqaror agroekotizimlar va ekologik yondashuvlar**

Muhim yo'nalishlardan biri o'zgaruvchan iqlim sharoitlariga moslasha oladigan barqaror agroekotizimlarni yaratishdir [7,8].

Bunga quyidagilar kiradi:

- chidamli navlardan foydalanish
- resurs tejamkor texnologiyalarni joriy etish
- tuproq unumdorligini boshqarish
- biologik himoya vositalari va o'sishni rag'batlantiruvchi preparatlardan foydalanish

[8,9].

Barqaror qishloq xo'jaligi va iqlimga moslashgan agroekotizimlar konsepsiyalariga alohida e'tibor qaratilmoqda [7,8].

#### **7.6. Fanlararo yondashuv**

Mazkur sohaning kelajagi turli fanlarni integratsiya qilish bilan bog'liq:

- molekulyar biologiya
- genetika
- agronomiya
- ekologiya
- axborot texnologiyalari [10,12].

Bunday yondashuv o'simliklar chidamliligini va qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishining barqarorligini oshirishga qaratilgan kompleks yechimlarni ishlab chiqish imkonini beradi [12,13].

Xulosa qilib aytganda abiotik stress omillari qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini cheklovchi asosiy omillardan biri bo'lib qolmoqda, ular hosildorlik va mahsulot sifatini pasaytiradi. Iqlim o'zgarishi sharoitida ularning ta'sirining kuchayishi o'simliklar chidamliligini oshirish muammosini ayniqsa dolzarb etmoqda.

O'simliklarning chidamliligi molekulyar, fiziologik va morfologik darajalarda shakllanadi. Bunda antioksidant tizimlar, osmoregulyatsiya, gormonal va genetik regulyatsiya, shuningdek moslashuvning signal mexanizmlari muhim rol o'ynaydi.

CRISPR/Cas, multi-omics tahlil, genetik injiniring, nanotexnologiyalar va biostimulyatorlarni o'z ichiga olgan zamonaviy biotexnologiyalar stressga chidamli ekinlarni yaratish uchun yangi imkoniyatlar ochib bermoqda. Bir nechta stress omillarining kombinatsiyalashgan ta'sirini hisobga olish ayniqsa muhim ahamiyatga ega.

Kelajakda biotexnologiyalar, sun'iy intellekt va barqaror agrotexnologiyalar integratsiyasi qishloq xo'jaligi samaradorligini oshirish hamda global iqlim o'zgarishi sharoitida oziq-ovqat xavfsizligini ta'minlash imkonini beradi.

### Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Scalon S.P.Q. et al. Abiotic stress in plants // *Frontiers in Plant Science*. 2024. DOI: 10.3389/fpls.2024.1386174.
2. Madhumitha M., Sundaram V. Plant growth regulators // *Journal of Experimental Agriculture International*. 2024. DOI: 10.9734/jeai/2024/v46i82714.
3. Bartas M. et al. Abiotic stresses in plants // *Biology*. 2024. DOI: 10.3390/biology13080642.
4. Wu Y. et al. Abiotic stress responses in crops // *Plant Science*. 2024. DOI: 10.1016/j.plantsci.2024.
5. Manghwar H. et al. Plant stress mitigation // *Plants*. 2024. DOI: 10.3390/plants13010123.
6. Rahim H.U. et al. Soil abiotic stress // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2025. DOI: 10.1080/02757540.2024.2439830.
7. Zhang H. et al. Abiotic stress trends // *Discover Plants*. 2025. DOI: 10.1007/s44154-025-00216-x.
8. Lahlali R. et al. Plant stress responses // *Agronomy*. 2025. DOI: 10.3390/agronomy15010229.
9. Di Sario L. et al. Biostimulants // *International Journal of Molecular Sciences*. 2025. DOI: 10.3390/ijms26031129.
10. Varadharajan V. et al. Multi-omics approaches // *Plants*. 2025. DOI: 10.3390/plants14060865.
11. Zhao W. et al. Stress mechanisms in plants // *Plants*. 2025. DOI: 10.3390/plants14223445.
12. Jiang Z. et al. Combined abiotic stresses // *Communications Biology*. 2025. DOI: 10.1038/s42003-025-08077-w.
13. Li C. et al. Stress regulation in plants // *Horticulturae*. 2025. DOI: 10.3390/horticulturae11040408.
14. Aradea B. Physiological responses of plants to abiotic stress // 2025.
15. Ramzan M.T. et al. Stress physiology // 2026. DOI: 10.1007/s44279-026-00475-w.

**ANIQ VA TABIIY FANLAR**

<b>Zaparov A.A.</b> <i>Nazariy mexanika fanini o'qitishda multimediali o'qitish texnologiyasidan foydalanish</i> .....	141	145
<b>Ergashev Biloldin Mirsharipjon o'g'li, Yuldashev Otabek Ravshan o'g'li</b> <i>Talabalarning mustaqil ta'lim olish ko'nikmalarini rivojlantirish: tahlil va samarali strategiyalar</i> .....	146	155
<b>Soliyev Iqboljon Maxammadjonovich, Boboyev Akramjon Yo'ldashboyevich</b> <i>GaAs tagliklarda suyuq fazadan epitaksiya usuli bilan o'stirilgan (GaAs)<sub>1-x</sub>-y(Ge<sub>2</sub>)<sub>x</sub>(ZnSe)<sub>y</sub> qattiq qorishmali yupqa qatlamlarning strukturaviy va fazaviy xususiyatlarini tadqiq etish</i> .....	156	163
<b>Махсудов Одилжон Хусанович</b> <i>Экономический анализ малых предприятий в сфере услуг</i> .....	164	168
<b>Jaloldinova Sh.X., Kambarova M.M.</b> <i>Materialshunos fanini o'qitishning zamonaviy usullari</i> .....	169	170
<b>Zulunova Moxlaroyim Abdurashid qizi</b> <i>Atom va yadro fizikasi tushunchalarini tushuntirishda multimedia vositalari asosida zamonaviy dars dizaynini takomillashtirish</i> .....	171	174
<b>Jaloldinova Shaxnozaxon Xusanboyevna, Mir-yusupova Muhayyoxon Alimjanovna</b> <i>Texnologiya fani darolarida xalq hunarmandchiligi bo'limini o'qitishda innovatsion yondashuvlar</i> .....	175	177
<b>Komilov Murodjon Muxtarjon o'g'li, Mirzaalimov Avazbek Alisherovich, Mirzaalimov Navro'zbek Alisherovich, Rashidov Bobur Dilmurodovich, Mirzaalimova Mavluda Sahibovna</b> <i>Laboratoriya mashg'ulotlarida qo'llaniladigan bir yarim davrli to'g'irilagichdan o'tayotgan kuchlanishni aniqlash</i> .....	178	181
<b>Jo'rayev Farxodbek Murodjon o'g'li</b> <i>Sun'iy intellekt va gamifikatsiyani birlashtirgan adaptiv o'qitish muhitini loyihalash: arxitektura va algoritmlar</i> .....	182	187
<b>Makhmudova Maftuna Uktam kizi, Korabekova Shakhnoza Muxiddinovna, Turayev Ozod Sunnataliyevich</b> <i>In silico design and target verification of crispr-cas9 grnas for tapprt1 knockout in uzbek bread wheat (Triticum aestivum L.)</i> .....	188	192
<b>Arslanov D.M., Xalikov Q.K., Gapparov B.M.</b> <i>O'simliklarning abiotik stress omillariga chidamliligini oshirishning molekulyar mexanizmlari va biotexnologik yondashuvlari</i> .....	193	203
<b>Atajonov Muxiddin Odiljonovich</b> <i>Feototermobatareya olish usulini simulink dasturida Modellashtirish metodi</i> .....	204	208
<b>Xolmatova X., Aliyev R., Mirzaalimov A., Rashidov B., Mirzaalimov N., Odiljonov A.</b> <i>Mobil quyosh energetik tizimida konsentratsion reflektor va turli fonlarning fotoelektrik samaradorlikka ta'sirini aniqlash va tadqiq etish</i> .....	209	214

