

**XOAT1 GENI CRISPR/Cas ORQALI MUTASIYA QILINGAN SOYA
LINIYALARINING QURG'OQCHILIK STRESSI SHAROTIDA AYRIM
AGRONOMIK BELGILARDAGI O'ZGARISHLARINING TAHLILI**

Yusupov Abdurahmonbek Nodirjon o'g'li toyanch, doktorant., Ayubov
Mirzakamol Sobitjonovich, katta ilmiy xodim PhD., Mamajonov Bexzod Orifjon
o'g'li toyanch, doktorant., Obidov Nuriddin Shuhratjon o'g'li kichik ilmiy xodim
Mirzahmedov Muhammadjon Xoshimjonovich kichik ilmiy xodim., Murodov
Anvarjon Adhamjon o'g'li, doktorant., Bashirxonov Ziyodullo Hakimullo o'g'li,
doktorant., Buriev Zabardast Tojiboyevich, professor., Abdurahmonov Ibrohim
Yulchiyevich, akademik

O'zRFA Genomika va bioinformatika markazi

Tel: 97 273-11-62, Gmail: yusupova0107@gmail.com

Annotatsiya: Qishloq xo'jaligi ekinlari orasida soya suv tanqisligiga eng sezgir o'simliklardan biri bo'lib, qurg'oqchilik stressi uning hosildorligi va sifatiga jiddiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli, soyada qurg'oqchilik stressiga chidamlilikning molekulyar mexanizmlarini aniqlash, biotexnologiyaning zamonaviy usullarini qo'llagan holda stressga bardoshli soya liniya va navlarini olish muhim ahamiyatga ega. Quyida CRISPR/Cas texnologiyasi yordamida XOAT1 genini tahrirlash orqali olingan mutant liniya va bir qator navlarni qurg'oqchilik stressi sharoitidagi ayrim morfo-fiziologik ko'rsatkichlari tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: soya, qurg'oqchilik stressi, CRISPR/Cas, ksilan o-asetiltransferaza, xlorafil, fotsintez

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ АГРОНОМИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ МУТАНТНЫХ ПО ГЕНУ ХОАТ1 ЛИНИЙ СОИ,
СОЗДАНЫХ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ CRISPR/CAS, В
УСЛОВИЯХ ЗАСУШЛИВОЙ СРЕДЫ**

Юсупов Абдурахмонбек Нодиржон ўғли, докторант., Аюбов Мирхакамол Собитжанович с.н.с PhD., Мамажонов Бехзод Орифжон ўғли докторант., Обидов Нуриддин Шухратжон ўғли м.н.с., Мирзахмедов Мухаммаджон Хошимжонович м.н.с., Муродов Анваржон Адҳамжон ўғли докторант., Баширхонов Зиёдулло Ҳакимулло ўғли, докторант., Буриев Забардаст Тожибоевич профессор, Абдурахмонов Иброхим Юлчиевич академик

АНРУЗ Центр Геномики и Биоинформатики

Тел: 97 273-11-62, Gmail: yusupova0107@gmail.com

Аннотация: Среди сельскохозяйственных культур соя является одним из наиболее чувствительных растений к нехватке воды, а стресс от засухи значительно влияет на ее урожайность и качество. Поэтому важно определить молекулярные механизмы засухоустойчивости сои и получить стрессоустойчивые линии и сорта сои с использованием современных методов биотехнологии. Ниже проанализированы изменения некоторых морфофизиологических показателей мутантной линии, полученной путем редактирования гена *XOAT1* технологией CRISPR/Cas, а также ряда сортов в условиях стресса засухи.

Ключевые слова: соя, стресс засухи, CRISPR/Cas, ксиланг-о-ацетилтрансфераза, хлорофилл, фотосинтез

ANALYSIS OF CHANGES IN CERTAIN AGRONOMIC CHARACTERISTICS OF XOAT1 GENE MUTATED SOYBEAN LINES, CREATED BY CRISPR/Cas, UNDER DROUGHT STRESS CONDITIONS

Yusupov Abdurakhmonbek Nodirjon ugli, basic doctoral student., Ayubov Mirzakamol Sobitjonovich, senior researcher PhD., Mamajonov Bexzod Orifjon ugli basic doctoral student., Obidov Nuriddin Shukhraton ugli, junior researcher., Mirzahmedov Muhammadjon Xoshimjonovich, junior researcher., Murodov Anvarjon Adhamjon ugli, basic doctoral student., Bashirxonov Ziyodullo Hakimullo ugli basic doctoral student., Buriev Zabardast Tojiboyevich professor., Abdurahmonov Ibrahim Yulchievich academician

Annotation: *Among all agricultural crops, soybean is one of the most sensitive plants to water limitation and drought stress, affecting its yield and quality. Therefore, it is important to determine the molecular mechanisms of soybean resistance to stresses mentioned above and to obtain stress-resistant soybean lines and varieties using modern biotechnology methods. Below, the morphophysiological parameters of the mutant line obtained by editing the XOAT1 gene using CRISPR/Cas technology and of several varieties under drought stress are analyzed.*

Kirish

Soya dunyo aholisining oziq-ovqat ratsionida muhim ahamiyatga ega dukkakli o'simlik. Soyaning noyob kimyoviy tarkibi uni eng qimmatli agrotexnik ekinlaridan biriga aylantirgan. Uning urug'i o'simlik moyi va oqsilining asosiy manbai bo'lib, tarkibida 18-22% moy, 35-40% oqsil saqlaydi [1]. Oqsili va moyi oson hazm bo'ladi. Shuningdek, yog'ining tarkibida xolesterin bo'lmaydi [3]. Dunyo aholisi iste'mol qiladigan o'simlik moyining qariyb 29 foizini soya moyi tashkil qiladi [2]. Ko'pgina mamlakatlarda soya hayvon go'shti o'rnini bosuvchi mahsulot sifatida ishlatiladi, chunki soya oqsili tarkibi hayvon go'shtidagi aminokislotalarga o'xshash aminokislotalar to'plamini o'z ichiga oladi [4].

Qishloq xo'jaligi ekinlarining o'sishi va rivojlanishiga doimiy ravishda turli xil tashqi muhit omillari ta'sir qiladi va ular ekinlarning hosildorligini kamayishida asosiy ro'lni o'ynaydi[5]. Bu omillar orasida qurg'oqchilik eng kuchli ta'sirga ega. Qishloq xo'jaligidagi qurg'oqchilik yog'ingarchilik miqdorini kamayishi va tuproqdagi namlikni yetishmasligi tufali vujudga keladi. Bu o'z navbatida yer osti suvlari hamda suv omborlari sathining pasayishi bilan kechadi [6]. Global muammoga aylanib ulgurgan suv tanqisligi bilan bir qatorda yuqori harorat va past atmosfera namligi ham qurg'oqchilikka olib keluvchi omillardandir. [7,8]. Bunday

sharoitda stressga chidamlilikni oshirish o'simliklarning omon qolishi uchun muhim ahamiyatga ega qiyin vazifalardan biridir. [9].

Qurg'oqchilik stressi tufayli soya hosildorligining pasayishi uning genotipi, stress ta'siri vaqtidagi rivojlanish bosqichi, stressining davomiyligi hamda og'irlik darajasiga bog'liq. Bir qator olimlar tomonidan soya qurg'oqchilikka chidamlilik bo'yicha keng diapazonga ega ekanligi haqida ma'lumotlar e'lon qilingan [17, 18]. Ularga ko'ra, soyada o'sishning dastlabki bosqichlari ya'ni urug'larni unib chiqishidan to gullashgacha bo'lgan davrda qurg'oqchilik stressining ta'siri reproduktiv bosqichga qaraganda kamroq seziladi. Ammo Bord, Dennis va Brue o'z tadqiqotlarida soyaning gullash va dukkak hosil qilish bosqichlari suvsizlikka eng sezgir bosqichlar ekanligini, reproduktiv rivojlanish davridagi suv bilan yetarlicha ta'minlanmaganlik tufayli urug' hajmini kamayishini va buning natijasida soya hosildorligini pasayishini kuzatgan [12, 13]. Yordanov va boshqalar tadqiqotlari natijasi sifatida suv tanqisligi ta'sirida soya biomassasi, hosildorligi, asosiy poyadagi shoxlar soni, har bir o'simlikdagi dukkak va urug'lar soni kamayishini ma'lum qilgan [14]. Rao va boshqalarning ta'kidlashicha, soya rivojlanishining R5 bosqichida hosildorlik va quruq moddalar o'rtasida kuchli bog'liqlik kuzatiladi va bu bosqichdagi suv tanqisligi hosildorlikni kamayishiga olib keladi [15].

Quyida biz soyani qurg'oqchikka chidamliligini oshirish maqsadida o'tkazilgan tadqiqotlarimiz natijasida olingan mutant liniya va bir qator mahalliy hamda xorijiy soya navlarini suv tanqisligi sharoitida ayrim xo'jalik belgilaridagi o'zgarishlarni tahlil qilamiz.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tadqiqot ishlari 2023-yil ekin mavsumida Toshkent viloyati Qibray tumanida joylashgan Genomika va bioinformatika markazining dala tajriba maydonida (41°22'50.0"N va 69°20'30.0"E) o'tkazildi. Tajriba o'tkazilgan hudud mo'tadil iqlimga ega. Yillik yog'in miqdori 387 mm bo'lib, uning ko'p qismi kech kuzdan erta bahorgacha tushadi. Sinov maydonchasidagi tuproq turi och tusli bo'z

tuproq. Eksperimental maydondagi yog‘ingarchilik, harorat va nisbiy namlikning oylik qiymatlari 1-jadvalda ko‘rsatilgan.

Tajribada O‘zR FA Genomika va bioinformatika markazida CRISPR/Cas texnologiyasi yordamida XOAT1 genini tahrirlash orqali olingan mutant liniyalar, boshlang‘ich material sifatida olingan “To‘maris” navi, qurg‘oqchilikka chidamli nav sifatida ta‘riflangan “Vilana” navi hamda mahalliy “Zamin” va “Gavhar” navlardan foydalanildi. Ushbu tajriba alohida ajratilgan ikkita maydonda amalga oshirildi. Har bir tajriba uchastkasidagi qator oraliqlari 90 sm, qator uzunligi 10 m va ikkita o‘simlik orasidagi masofasi 10 sm. Urug‘lar 2023-yilning 25-aprelida qo‘lda ekildi. Ekish yakunlanganidan so‘ng, yengil sug‘orish berildi. Ko‘chatlarning aksariyati 4-6 kun ichida unib chiqdi. Urug‘lar to‘liq unib chiqqanidan bir hafta o‘tgach ortiqcha ko‘chatlar olib tashlanib, siyraklashtirildi. Qurg‘oqchilik sharoitida sinash hosilning uch bargli bosqichidan keyin amalga oshirildi. Suv tanqisligi natijasidagi stress holati o‘simliklarda so‘lish belgisi kuzatilgunga qadar sug‘orishni to‘xtatib turish orqali yuzaga keltirildi. Bunda tuproqning nisbiy namligi 15-20% ni tashkil etishi muntazam ta‘minlab turildi. O‘simliklardagi so‘lish alomati har kuni vizual tarzda kuzatildi. Namunalar gullash, qo‘zoq hosil qilish va urug‘ to‘ldirish bosqichlarida suv tanqisligi sharoitida sinaldi. Nazorat o‘simliklari tuproqning nisbiy namligi $85\pm 5\%$ bo‘lgan shroitda o‘stirildi. Hosil yig‘ish o‘simliklarning vegetatsiya davri to‘liq yakunlangandan so‘ng amalga oshirildi.

O‘simliklar poyasini balandligi ildiz va poya differensiallashgan qismidan uchki kurtakkacha o‘lchash orqali aniqlandi.

Qurg‘oqchilikka chidamlilik ko‘effitsiyenti (DC) quydagi tenglamadan foydalanilgan holda har bir belgi uchun qurg‘oqchilik stressi (WS) va normal sharoitda (WW) o‘stirilgan o‘simliklardan olingan ma‘lumotlarning nisbati sifatida hisoblab chiqildi [19].

$$DC_{ij} = \frac{X_{ijws}}{X_{ijww}}$$

bu yerda, DC_{ij} nav yoki liniya (i) uchun belgi (j) ning qurg‘oqchilikka chidamlilik ko‘effitsiyenti; X_{ijws} stress sahroitda sinalga nav yoki liniya (i) uchun

belgi (j) qiymati va X_{ijww} normal sahroitada sinalgan nav yoki liniya (i) uchun belgi (j) qiymati.

Statistik tahlillar va grafik chizmalar R (v 4.4.0) dasturlash tilining statistik tahlil paketlari yordamida amalga oshirildi.

1-jadval

Qibray tumani 2023 yil ekin mavsumidagi yog‘ingarchilik, harorat va nisbiy namlikning oylik qiymati*

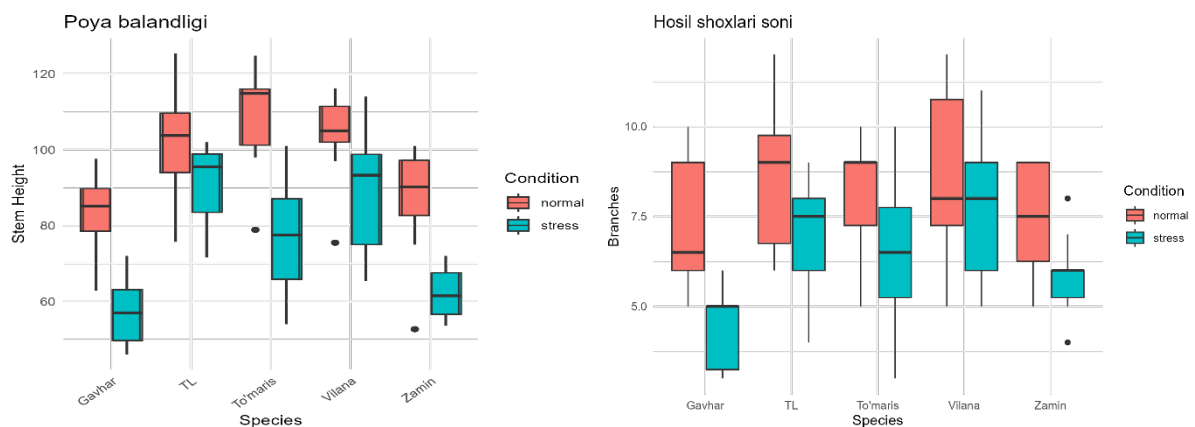
Oylar/meteorologik hodisalar	Aprel	May	Iyun	Iyul	Avgust
Yog‘ingarchilik (mm)	37	9.1	0.02	3.3	17
O‘rtacha namlik	49	35.47	35.4	27.4	31
Min. temp (°C)	3.0	7.0	17.1	19	18.42
Max. temp (°C)	31	35	40	42	40

* Manba: <https://www.visualcrossing.com/weather-history/>

TAHLILLAR VA NATIJALAR

Qurg‘oqchilikning o‘simlik poya balandligi va hosil shoxlari soniga ta’siri

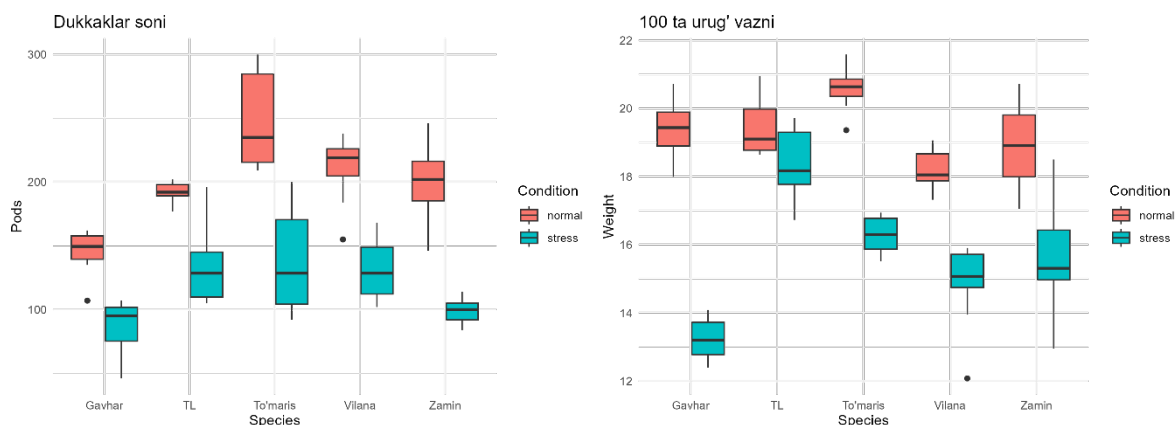
Soyaning suv bilan yaxshi ta’minlangan va qurg‘oqchilik stressi sharotida reproduktiv o‘sinh fazasidagi fenotipik o‘zgaruvchanligi bir qator xo‘jalik belgilarining o‘rtacha qiymati, standart og‘ish (SD) va qurg‘oqchilikka chidamlilik ko‘effitsiyenti (DC) bilan baholandi (2-jadval). Tajriba natijasi shuni ko‘rsatdiki, o‘rganilgan barcha xo‘jalik belgilarining o‘rtacha qiymati qurg‘oqchilik ta’sirida pasaygan. Xususan, o‘rtacha poya balandligi To‘maris navida 31,4 sm (28.9%), Vilana navida 14,15 sm (13,6%), Gavhar navida 24.97 sm (30.3%), Zamin navida 25 sm (28,8%) ga kamaygan. Mutant liniyada (TL) bu ko‘rsatkich nibatan pastroq, ya’ni 11,06 sm (10,83%). Poya balandligi bo‘yicha qurg‘oqchilikka chidamlilik ko‘effitsenti qolgan uchta navga nisbatan mutant liniya (0,89) va Vilana navida (0,86) yuqori ekanligi aniqlandi (2-jadval). Bu ko‘rsatkich yuqoridagi ikkita namunaning poya balanligiga qurg‘oqchilikni qolgan navlarga qaraganda kamroq ta’sir qilganligini ifodalaydi. Hosil shoxlarini shakillanishida ham stress ta’siri barcha namunalarda sezilgan (yuqoridagi ketma-ketlik bo‘yicha 22%, 8,2%, 37,5% 21,3%, 17,4%) (1-grafik).



1-grafik. Qurg'oqchilikni soyaning poya balandligi va hosil shoxlar soniga ta'siri. Box grafiklar o'rtacha qiymat $\pm$ standart xatoni ko'rsatadi ($p \leq 0.05$).

Suv tanqisligini gullash, dukkaklarni hosil bo'lishi va urug'larni shakllanishiga ta'siri

Erta reproduktiv fazada gul va dukkaklarning yo'qotilishi har bir o'simlikdagi dukkak sonining kamayishiga sabab bo'lishi mumkin. Bord va Xartvill [16], qurg'oqchilik stressi sharoitida barcha o'simliklarda urug'lar soni kamayishi, bu asosan gul va dukkaklarning to'kilishi tufayli amalga oshishini ta'kidlagan. Bizning tadqiqotlar davomida ham deyarli barcha namunalarda gullash va dukkaklarni shakllanish davridagi qurg'oqchilik bir qator gullar hamda dukkaklarni to'kilishiga olib kelishi kuzatildi. Ayniqsa, hosil shoxlarining yuqori qismidagi gullar ko'p to'kilganligi aniqlandi. Buning ta'siri statistik tahlilarda ham o'z isbotini topdi. Xususan, qurg'oqchilik ta'siri natijasida To'maris navida dukkaklar soni normal sharoitdagi o'simliklarga nisbatan o'rtacha 109 ta (44%) ga, Vilana navida 78,9 ta (37,4%) ga, Gavhar navida 58,2 ta (40%) ga, Zamin navida 99 ta (50,1%) ga, trangen liniyada esa 57,7 ta (30%) kamaygan. Shuningdek, Zamin, hamda To'maris navlarida to'liq yetilgan urug'larga ega dukkaklar soni sezirlarli darajada kamaygan. Shuni alohida takidlash kerakki, mutant liniyada uchta urug'li dukkaklar soni kamayib, ikkita to'la yetilgan urug'li dukkaklar soni ortgan. Nisbatan qurg'oqchilikka chidamli hisoblangan Vilana navida dukkaklar soni bo'yicha mahalliy navlarga qaraganda kuchli o'zgarish kuzatilmadi. Biroq, qurg'oqchilik ta'sirida yaxshi to'lmagan urug'lari soni bu navda ham ortdi.



2-rasm. Qurg'oqchilikni soyaning dukkaklar soni va urug'larning shakillanishiga ta'siri. Boks grafiklar o'rtacha qiymat $\pm$ standart xatoni ko'rsatadi ($p \leq 0.05$).

100 ta urug'ning vazni bo'yicha farqlarni tahlil qilish natijalari shuni ko'rsatdiki, urug'larni to'ldirish bosqichidagi suv tanqisligi hosilning pasayishiga eng katta ta'sir ko'rsatadi. Odatda tajribalarda urug'larning vazni kech reproduktiv bosqichda aniqlanadi. Bu o'simlik hayoti davrining barcha bosqichidagi istalgan ta'sirlar oxir-oqibat urug'larni shakillanishida o'z aksini topishini ifodalaydi. Ayniqsa suv tanqisligi urug'larni to'ldirish bosqichida ko'proq ta'sir qiladi. Bu o'z navbatida urug'lar tomonidan assimilyatlarning yo'qotilishiga va natijada urug'lar hajmini kamayishiga olib kelishi mumkin. Bizning tadqiqotimizda ham reproduktiv davrdagi suv tanqisligi urug'lar vaznini kamayishiga sabab bo'lishi aniqlandi (2-jadval).

2-jadval

Yaxshi sug'orilgan (normal) va suv tanqisligi (stress) rejimlarida belgilarning o'rtacha qiymati, standart og'ishi (SD) va har bir belgining qurg'oqchilikka chidamlilik koeffitsienti (DC)

		TL	To'maris	Vilana	Gavhar	Zamin
Poya balandligi	o'rtacha $\pm$ SD normal	102.1 $\pm$ 14.4	108.7 $\pm$ 13.7	103.8 $\pm$ 11.6	82.42 $\pm$ 11.3	87 $\pm$ 14.6
	o'rtacha $\pm$ SD stress	91.04 $\pm$ 10.4	77.3 $\pm$ 15.4	89.65 $\pm$ 16.3	57.45 $\pm$ 9.3	62 $\pm$ 6.5
	o'rtacha $\pm$ SD DC	0.89 $\pm$ 0.73	0.7 $\pm$ 1.4	0.86 $\pm$ 1.4	0.7 $\pm$ 0.8	0.7 $\pm$ 0.4
Shoxlar soni	o'rtacha $\pm$ SD normal	8.6 $\pm$ 2.01	8.1 $\pm$ 1.6	8.5 $\pm$ 2.5	7.2 $\pm$ 1.9	7.5 $\pm$ 1.5
	o'rtacha $\pm$ SD stress	7.1 $\pm$ 1.6	6.3 $\pm$ 2.2	7.8 $\pm$ 2	4.5 $\pm$ 1.2	5.9 $\pm$ 1.1
	o'rtacha $\pm$ SD DC	0.83 $\pm$ 0.8	0.78 $\pm$ 1.4	0.9 $\pm$ 0.8	0.6 $\pm$ 0.6	0.8 $\pm$ 0.7
Dukkaklar soni	o'rtacha $\pm$ SD normal	192.1 $\pm$ 7.5	248.2 $\pm$ 36.5	211 $\pm$ 24.8	145.6 $\pm$ 15.5	197.6 $\pm$ 29
	o'rtacha $\pm$ SD	134.4 $\pm$ 30.8	139.2 $\pm$ 40.5	132.1 $\pm$ 23.6	87.4 $\pm$ 20.3	98.6 $\pm$ 9.2

	stress	3				
	o'rtacha±SD DC	0.7±4.1	0.56±1.1	0.6±0.9	0.6±1.2	0.5±0.3
100 ta urug' og'irligi	o'rtacha±SD normal	19.4±0.77	20.56±0.6	18.2±0.6	19.3±0.86	18.86±1.24
	o'rtacha±SD stress	18.3±1.08	16.29±0.5	14.9±1.15	13.2±0.6	15.6±1.6
	o'rtacha±SD DC	0.94±1.4	0.8±0.9	0.8±2	0.7±0.7	0.8±1.3

Xulosalar

Ushbu tadqiqot o'tkazuvchi naylarning ikkilamchi hujayra devorini shakllanishida ishtirok etuvchi ksilan O-asetiltransferaza 1 (XOAT1) sinteziga javob beruvchi genni CRISPR texnologiyasi yordamida tahrirlangan soya liniyasini suv tanqisligi sharoitida baholash uchun olib borildi. Mutant liniya mahalliy va xorijiy soya navlari bilan taqqoslandi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, qurg'oqchilik stressi soya navlarining hosildorlik va boshqa hosil komponentlarini sezilarli kamayishiga olib keldi. Bu bir qator olimlarning tadqiqotlar bilan o'zaro mos keladi [20,21,22]. Tajriba uchun olingan mutant liniya barcha parametrlari bilan suv tanqisligi sharoitida bir qator mahalliy navlarga nisbatan chidamlilik namoyon qildi.

Adabiyotlar

1. Staniak, M.; Stępień-Warda, A.; Czopek, K.; Kocira, A.; Baca, E. Seeds Quality and Quantity of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Cultivars in Response to Cold Stress. *Agronomy* 2021, 11, 520.
2. SOYSTATS 2020. Available online: <http://soystats.com/> (accessed on 22 January 2021).
3. Essa, Talib & Al-Ani, Dawood. (2001). Effect of Salt Stress on the Performance of Six Soybean Genotypes. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 4. 10.3923/pjbs.2001.175.177.
4. Krishnan, Hari. (2005). Engineering Soybean for Enhanced Sulfur Amino Acid Content. *Crop Science - CROP SCI*. 45. 10.2135/cropsci2005.0454.
5. Franklin, P., Gardner, R., Pearce, B., Mitchell, R. L. (2010). *Physiology of crop plants*. Scientific Press. 336 pp.
6. Motha R. Monitoring, assessment and combat of drought and desertification, in Commission for Agricultural Meteorology Reports 1992, World Meteorological Organization: Geneva.
7. Georgiev, G. (2004). Influence of moisture conditions on the yield of soybean varieties. *Plant Sci*. 5: 406-410.
8. Szilagyi, Lizica. (2003). Influence of drought on seed yield components in common bean. *J. Plant Physiol*. 43.
9. Bartels, D., Souer, E. Molecular responses of higher plants to dehydration. In: Hirt, H., Shinozaki, K. (eds) *Plant Responses to Abiotic Stress. Topics in Current Genetics*, vol 4. Springer, Berlin, Heidelberg.
10. Brown, E. A., Caviness, C. E., Brown, D. A. (1985). Responses of selected soybean cultivars to soil moisture deficit. *Agron. J.* 77: 274-278.
11. Sneller, C. H., Dombek, D. (1997). Use of irrigation in selection for soybean yield potential under drought. *Crop Sci*. 37: 1141-1147.
12. Board, James. (2002). A Regression Model to Predict Soybean Cultivar Yield Performance at Late Planting Dates. *Agronomy Journal*. 94. 483-492.

13. Egli, Dennis & Bruening, William. (2000). Potential of Early-Maturing Soybean Cultivars in Late Plantings. *Agronomy Journal - AGRON J.* 92. 10.2134/agronj2000.923532x.
14. Yordanov, I., Velikova, V. & Tsonev, T. Plant Responses to Drought, Acclimation, and Stress Tolerance. *Photosynthetica* 38, 171–186 (2000).
15. Mentreddy, Rao & Mullinix, B. & Rangappa, M. & Cebert, Ernst & Bhagsari, A. & Sapra, V. & Joshi, J. & Dadson, Robert. (2002). Genotype × Environment Interactions and Yield Stability of Food-Grade Soybean Genotypes. *Agronomy Journal.* 94. 72-80. 10.2134/agronj2002.7200.
16. Board, James E. and Bobby G. Harville. “Late-Planted Soybean Yield Response to Reproductive Source/Sink Stress.” *Crop Science* 38 (1998): 763-771.
17. Wang X, Song S, Wang X, Liu J, Dong S. Transcriptomic and Metabolomic Analysis of Seedling-Stage Soybean Responses to PEG-Simulated Drought Stress. *Int J Mol Sci.* 2022 Jun 20;23(12):6869.
18. Poudel S, Vennam RR, Shrestha A, Reddy KR, Wijewardane NK, Reddy KN, Bheemanahalli R. Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages. *Sci Rep.* 2023 Jan 23;13(1):1277.
19. Yan, C., Song, S., Wang, W. et al. Screening diverse soybean genotypes for drought tolerance by membership function value based on multiple traits and drought-tolerant coefficient of yield. *BMC Plant Biol* 20, 321 (2020).
20. Ohashi Y, Nakayama N, Saneoka H, Fujita K. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biol Plant.* 2006;50(1):138–41.
21. Mejia MN, Madramootoo CA, Broughton RS. Influence of water table management on corn and soybean yields. *Agric Water Manag.* 2000;46(1): 73–89.
22. AliMokhtassi-Bidgoli. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Ind Crop Prod.* 2017; 109:346–57.