SCHRENKIELLA PARVULA MODEL O'SIMLIGINING STRESS OMILLARIGA MOSLASHUV MEXANIZMLARINI QIYOSIY BAHOLASH

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЗМОВ АДАПТАЦИИ МОДЕЛЬНОГО РАСТЕНИЯ SCHRENKIELLA PARVULA К СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ

COMPARATIVE ASSESSMENT OF ADAPTATION MECHANISMS OF THE MODEL PLANT SCHRENKIELLA PARVULA TO STRESS FACTORS

Sh.A.Abduraxmanova
JDPU Biologiya kafedrasi
katta o'qituvchisi, PhD

Annotatsiya. Ushbu maqolada dunyo miqyosida fundamental biologik tadqiqotlarda endilikda izchil qo'llanilayotgan Schrenkiella parvula o'simligining bioekologik xususiyatlari, uning stress omillariga moslashuv mexanizmlari yoritilgan.

Аннотация. В данной статье освещаются биоэкологические особенности растения Schrenkiella parvula, которое в настоящее время широко используется в фундаментальных биологических исследованиях во всём мире, а также механизмы его адаптации к стрессовым факторам.

Abstract. This article highlights the bioecological characteristics of the plant Schrenkiella parvula, which is now widely used in fundamental biological research worldwide, as well as its mechanisms of adaptation to stress factors.

Kalit so'zlar: Schrenkiella parvula, biogeografiya, halofit o'simliklar, sho'rlanish, qurg'oqchilik, ion gomeostazi, ekstremofit, genomika, epigenetik boshqaruv, Brassicaceae.

Ключевые слова: Schrenkiella parvula, биогеография, галофитные растения, засоление, засуха, ионный гомеостаз, экстремофит, геномика, эпигенетическая регуляция, Brassicaceae.

Keywords: Schrenkiella parvula, biogeography, halophyte plants, salinity, drought, ion homeostasis, extremophyte, genomics, epigenetic regulation, Brassicaceae.

Schrenkiella parvula (Schrenk) D.A.German & Al-Shehbaz — Brassicaceae oilasiga mansub, ekstremal ekologik sharoitlarga moslashish xususiyatlari bilan ajralib turuvchi bir yillik o'simlik turidir. Mazkur tur ilmiy adabiyotlarda uzoq vaqt davomida Thellungiella parvula nomi bilan uchragan. Taksonomik va filogenetik tadqiqotlarning rivojlanishi natijasida uning Thellungiella turkumidan farqli mustaqil filogenetik mavqega ega ekanligi asoslanib, Schrenkiella turkumi ajratilgan va tur hozirgi kunda Schrenkiella parvula nomi bilan qabul qilinadi.

Turning biogeografik tarqalishi uning ekologik xususiyatlarini tushunishda alohida ahamiyatga ega. Zamonaviy taksonomik ma’lumotlarga ko‘ra, S. parvulaning tabiiy areali Janubi-Sharqiy Yevropa Rossiyasidan Markaziy Turkiya va Xitoyning Shinjon hududigacha davom etadi. Areal tarkibiga Qozog‘iston, O‘zbekiston, Turkmaniston, Kavkazorti, Turkiya hamda Rossiyaning janubiy hududlari kiradi. Bunday keng, biroq ekologik jihatdan o‘ziga xos hududlarda tarqalishi turning turli abiotik omillar ta’sirida shakllangan ekologik nishasini o‘rganish uchun muhim asos bo‘lib xizmat qiladi.

Schrenkiella parvulaning alohida ilmiy qiziqishi uning sho‘rlangan muhitlarda yashash qobiliyati bilan bog‘liq. Ushbu turning ekologik xususiyatlarini o‘rganish nafaqat halofit o‘simliklarning moslanish mexanizmlarini, balki o‘simliklarning ekstremal muhit sharoitlariga javob berishining evolyutsion va ekologik asoslarini aniqlash imkonini beradi. Shu jihatdan turning geografik tarqalishi, tabiiy yashash joylari va abiotik stresslarga chidamliligi o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlikni kompleks tahlil qilish dolzarb ilmiy masalalardan biridir. Biogeografik nuqtai nazardan S. parvulaning areali tasodifiy geografik tarqalish sifatida emas, balki muayyan ekologik sharoitlar bilan bog‘langan tizim sifatida qaralishi lozim. Xususan, sho‘rlangan tuproqlar, suv havzalari atrofi va qurg‘oqchil iqlim sharoitlari turning tabiiy yashash muhitining shakllanishida muhim omillar bo‘lishi mumkin. Shu sababli geografik arealni ekologik nisha bilan bog‘liq holda tahlil qilish turning moslanish strategiyalarini tushuntirish uchun yanada to‘liq ilmiy yondashuvni ta’minlaydi. Bundan tashqari, S. parvula bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar ushbu turning ekologik xususiyatlarini genomik va molekulyar mexanizmlar bilan bog‘lash imkonini beradi. Shu nuqtai nazardan, turning biogeografik xususiyatlarini o‘rganish ekologiya, o‘simlik fiziologiyasi, evolyutsion biologiya va genomika fanlari kesishmasida tadqiq qilinishi mumkin. Avvalgi tadqiqotlarda Thellungiella turkumiga oid turlar haqidagi ayrim ma’lumotlarning boshqa turlarga noto‘g‘ri ko‘chirilgani ham qayd etilgan; bu esa S. parvulaning haqiqiy tabiiy areali va ekologik xususiyatlarini aniq taksonomik identifikatsiya asosida tahlil qilish zarurligini ko‘rsatadi.

Zamonaviy taksonomik ma’lumotlarda ushbu tur Brassicaceae oilasining Schrenkiella turkumiga kiritilgan bo‘lib, Schrenkiella turkumi hozircha bitta qabul qilingan turdan — S. parvuladan tashkil topgan. Tadqiqotda turning geografik tarqalishi, tabiiy areali, ekologik yashash muhiti va ekstremal abiotik omillarga moslashuv xususiyatlarini aniqlash uchun ilmiy maqolalar, taksonomik ma’lumotlar bazalari va ochiq biologik ma’lumotlardan foydalanildi. Turning sinonimlari, xususan Thellungiella parvula, Eutrema parvulum, Arabidopsis parvula va boshqa tarixiy kombinatsiyalar ham ma’lumotlarni qidirish jarayoniga kiritildi. Bu yondashuv tur nomining tarixiy o‘zgarishi sababli yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan ma’lumotlar tarqoqligini kamaytirishga imkon beradi.

Biogeografik tahlil turning zamonaviy tabiiy areali bo‘yicha olib borildi. Kew ma’lumotlariga ko‘ra, S. parvulaning tabiiy areali Janubi-Sharqiy Yevropa Rossiyasidan Markaziy Turkiya va Shinjon hududigacha davom etadi. Areal tarkibida Qozog‘iston, O‘zbekiston, Turkmaniston, Janubiy Yevropa Rossiyasi, Kavkazorti, Turkiya va Xitoyning Shinjon hududi qayd etilgan. Arealni ekologik jihatdan talqin qilishda turning uchrash joylarining iqlim, tuproq sho‘rlanishi, suv rejimi va boshqa abiotik omillar bilan bog‘liqligi tahlil qilindi. Ayniqsa, sho‘r ko‘llar va sho‘rlangan tuproqlar atrofidagi yashash muhitlari alohida ko‘rib chiqildi. Adabiyotlarda S. parvulaning Irano-Turon mintaqasidagi sho‘r ko‘llar atrofida tarqalishi uning ko‘p omilli ekstremal stresslarga moslashgan ekologik nishasi bilan bog‘liqligi ko‘rsatilgan.

Turning ekstremal muhitga moslashuvi morfologik, fiziologik va molekulyar-genetik belgilar bo‘yicha guruhlandi. Genomik va transkriptomik ma’lumotlarda ion transporti bilan bog‘liq genlarning nusxa soni, ekspressiyasi va funksional ixtisoslashuvi haqidagi ma’lumotlar biogeografik moslanish bilan bog‘liq holda tahlil qilindi.

Hozirgi ma’lumotlarga ko‘ra, turning tabiiy areali Janubi-Sharqiy Yevropa Rossiyasidan Markaziy Turkiya va Shinjon hududigacha cho‘ziladi. Kew ma’lumotlarida Qozog‘iston, Rossiyaning janubiy qismi, Kavkazorti, Turkmaniston, Turkiya, O‘zbekiston va Xitoyning Shinjon hududi turning tabiiy tarqalish hududlari sifatida ko‘rsatilgan.

S. parvulani faqat Tuz ko‘li atrofiga endemik tur deb ta’riflash to‘g‘ri bo‘lmaydi. Tuz ko‘li uning ekologik va genomik jihatdan eng yaxshi o‘rganilgan tabiiy yashash muhitlaridan biridir, ammo zamonaviy taksonomik ma’lumotlar turning geografik areali bundan ancha keng ekanligini ko‘rsatadi.

S. parvulaning biogeografik xususiyatlarini uning yashash muhitining ekstremalligi bilan birgalikda ko‘rib chiqish zarur. Tur eng yaxshi Markaziy Anadoludagi Tuz ko‘li (Lake Tuz/Tuz Gölü) atrofidagi sho‘rlangan hududlardan o‘rganilgan. Ushbu hudud dunyodagi yirik gipersho‘r ko‘llardan biri bo‘lib, ko‘l suvida Na^+ bilan bir qatorda K^+, Li^+, Mg^{2+} va borat kabi ionlarning yuqori konsentratsiyalari uchraydi. Ko‘l atrofi tuproqlarida ham yuqori miqdordagi kationlar, sulfatlar va boratlar aniqlangan. Bundan tashqari, Tuz ko‘li havzasi yog‘ingarchilikning kamligi bilan tavsiflanadi. Demak, S. parvula tabiiy sharoitda faqat sho‘rlanish emas, balki sho‘rlanish + suv tanqisligi/qurg‘oqchilik kabi bir nechta stress omillarining birgalikdagi ta’siriga duch keladi. Aynan shu jihat turning oddiy tuzga chidamli o‘simlikdan ko‘ra, ko‘p omilli ekstremal muhitga moslashgan model ekstremofit sifatidagi ilmiy ahamiyatini oshiradi.

S. parvulaning tabiiy areali geografik jihatdan nisbatan keng bo‘lsa-da, turning uchrashi muayyan ekologik sharoitlar bilan bog‘langan. Uning yashash muhitlarida sho‘rlanish, qurg‘oqchilik, yuqori ion yuklamasi va ayrim hollarda bor hamda litiy kabi

elementlarning yuqori konsentratsiyasi kuzatiladi. 2026-yilgi tadqiqotda ham tur yuqori sho‘rlanish, qurg‘oqchilik, past va yuqori harorat hamda Li va B ta’siriga chidamli ekstremofit sifatida tavsiflangan. Shu sababli turning biogeografiyasini “geografik tarqalish + ekologik filtr” modeli asosida tushuntirish mumkin. Ya’ni, turning areali faqat iqlim yoki geografik masofa bilan emas, balki o‘simlikning ekstremal muhit sharoitlarini o‘zlashtirish qobiliyati bilan ham belgilanadi. S. parvula arealining shakllanishi ekstremal ekologik sharoitlarda yashash imkonini beruvchi kompleks moslanishlar bilan bog‘liq. Bunda genomik moslanishlar ushbu ekologik xususiyatlarning mumkin bo‘lgan mexanistik asoslarini tushuntirishga xizmat qiladi.

S. parvula genomining Arabidopsis thaliana bilan taqqoslanishi turning ekstremal muhitga moslashish mexanizmlarini tushuntirishda muhim natijalarni bergan. Genomlar orasida sezilarli sinteniya mavjud bo‘lsa-da, S. parvulada genlarning tandem duplikatsiyasi va boshqa strukturaviy o‘zgarishlari aniqlangan. Ayniqsa ion transporti bilan bog‘liq genlar guruhida yuqori ekspressiya, gen nusxalari sonining ko‘payishi va subfunksionalizatsiya kuzatilgan. Bu ma’lumotlar juda muhim biologik mantiqni ko‘rsatadi:

ekstremal muhit → kuchli ekologik tanlanish → genomik/ekspression o‘zgarishlar → ion gomeostazini saqlash → stressga chidamlilik.

Masalan, HKT1 oilasiga mansub yuqori affinitetli kaliy/natriy transport tizimlarida S. parvulada Arabidopsisga nisbatan farqlar aniqlangan; turning HKT1 genlari tandem duplikatsiyasi ham qayd etilgan.

SOS1 tizimi ham alohida ahamiyatga ega. Tadqiqotlar S. parvuladagi Na^+ chiqarilishi va ion gomeostazini ta’minlash mexanizmlarining evolyutsion moslanishda muhim rol o‘ynashini ko‘rsatadi.

Yaqinda S. parvula genomidagi DNK metiltransferazalar birinchi marta genom miqyosida tavsiflangan. Tadqiqotda MET, CMT, DRM va DNMT2 oilalariga mansub jami 9 ta DNK metiltransferaza aniqlangan va ularning ayrimlari NaCl stressi sharoitida turli to‘qima va rivojlanish bosqichlarida differensial ekspressiya qilishi ko‘rsatilgan. Mualliflar bu natijalarni turning sho‘rlanishga moslashuvida epigenetik boshqaruvning ehtimoliy ishtiroki bilan bog‘laydi.

gen → oqsil → fiziologik javob darajasida emas, balki:

muhit → ekologik tanlanish → genomik o‘zgarish → epigenetik boshqaruv → fenotipik moslanish tizimida muhokama qilish imkonini beradi.

Schrenkiella parvula O‘zbekiston florasining tabiiy tarkibida qayd etilgan bo‘lib, uning mamlakat hududidagi tarqalishi turning Markaziy Osiyodagi umumiy arealining bir qismi hisoblanadi. Zamonaviy Plants of the World Online ma’lumotlar bazasida O‘zbekiston turning tabiiy arealiga kiruvchi hudud sifatida ko‘rsatilgan. Shu bilan birga, 2023-yilda e’lon qilingan Brassicaceae oilasining yangilangan klassifikatsiyasida ham S. parvula O‘zbekiston, Qozog‘iston, Turkmaniston,

Qirg‘iziston bilan chegaradosh hududlar va G‘arbiy Osiyoning ayrim qismlarida sporadik tarqalgan tur sifatida qayd etilgan. O‘zbekiston florasi bo‘yicha zamonaviy ma’lumotlar turning ekologik nishasi haqida yanada aniq tasavvur beradi. “Flora of the Dzhizak Province, Uzbekistan” asarida S. parvula Brassicaceae oilasi tarkibida keltirilib, uning yashash muhiti gilli va sho‘rlangan tuproqlar, geografik joylashuvi esa Mirzacho‘l va Shimoliy Turkiston tekisliklari bilan bog‘langan. Bu ma’lumot turning O‘zbekiston hududidagi tarqalishi tasodifiy emasligini ko‘rsatadi. Aksincha, uning uchrash joylari quruq kontinental iqlim, tekislik relyefi va tuproq sho‘rlanishi bilan tavsiflanadigan ekologik sharoitlarga mos keladi. Demak, O‘zbekistondagi arealning shakllanishida tuproqning gidrogeokimyoviy xususiyatlari va namlik rejimi muhim ekologik filtr vazifasini bajarishi mumkin. Ayniqsa, Mirzacho‘l hududi bu jihatdan alohida ilmiy qiziqish uyg‘otadi. Hududning tabiiy va antropogen jarayonlar ta’sirida shakllangan sho‘rlangan tuproqlari S. parvula kabi halotolerant o‘simliklarning tarqalishi uchun selektiv muhit yaratadi. Shu nuqtai nazardan, turning O‘zbekistondagi tarqalishini faqat floristik ro‘yxat sifatida emas, balki tuproq sho‘rlanishi bilan bog‘liq ekologik nishaning namoyon bo‘lishi sifatida baholash mumkin. S. parvulaning O‘zbekistondagi tarqalishi uning butun areali bilan taqqoslanganda, tur ekologik jihatdan bir-biridan geografik uzoq bo‘lgan, biroq sho‘rlanish va suv tanqisligi kabi umumiy ekologik omillarga ega hududlarni egallaganini ko‘rsatadi. Masalan, Markaziy Anadoludagi Tuz ko‘li atrofi va Markaziy Osiyoning sho‘rlangan tekisliklari geografik jihatdan bir-biridan uzoq bo‘lsa-da, ikkala hududda ham yuqori sho‘rlanish va qurg‘oqchilik turning yashash sharoitlarini belgilovchi omillardan hisoblanadi. Tuz ko‘li atrofidagi populyatsiyalar ko‘p ionli ekstremal muhitga moslashgani genomik va fiziologik tadqiqotlarda ko‘rsatilgan. Schrenkiella parvulaning tabiiy areali g‘arbda Janubi-Sharqiy Yevropa Rossiyasidan sharqda Xitoyning Shinjon hududigacha cho‘zilib, Markaziy Osiyo va G‘arbiy Osiyoning qator hududlarini qamrab oladi. Turning areali geografik jihatdan keng bo‘lishiga qaramay, uning uchrash joylari ma’lum ekologik xususiyatlarning takrorlanishi bilan ajralib turadi. Xususan, quruq kontinental iqlim, tuproqning sho‘rlanishi va suv ta’minotining cheklanganligi turning ko‘plab tabiiy yashash muhitlari uchun xos omillar sifatida namoyon bo‘ladi. Mavjud genomik tadqiqotlarda S. parvula genomida ion transporti bilan bog‘liq ayrim genlar oilalarining kengayishi, gen ekspressiyasining o‘zgarishi va funksional ixtisoslashuvlar aniqlangan. Bunday xususiyatlar turning yuqori sho‘rlanish sharoitida ion gomeostazini saqlash qobiliyatining molekulyar asoslarini tushuntirishga yordam beradi.

Shu jihatdan, S. parvulaning biogeografik moslashuvini uch darajada ko‘rib chiqish mumkin:

1-daraja — ekologik: sho‘rlanish, qurg‘oqchilik va ionlarning yuqori konsentratsiyasi;

2-daraja — fiziologik: Na^+ va K^+ nisbatini boshqarish, suv balansini saqlash va ion gomeostazi;

3-daraja — molekulyar-genomik: ion transporti, stress javobi, gen ekspressiyasi va epigenetik boshqaruv.

Bu uch darajaning o‘zaro bog‘lanishi S. parvulani ekologik genomika uchun qimmatli model obyektga aylantiradi.

Schrenkiella parvulaning biogeografik xususiyatlari uning ekologik moslanish xususiyatlari bilan chambarchas bog‘liqligini ko‘rsatdi. Schrenkiella parvula Brassicaceae oilasining Schrenkiella turkumiga mansub bo‘lib, ilmiy adabiyotlarda Thellungiella parvula nomi bilan ham keng uchraydi. Shu sababli turning biogeografik tarixini o‘rganishda uning sinonimik nomlarini ham hisobga olish zarur. Turning tabiiy areali Janubi-Sharqiy Yevropa Rossiyasidan Markaziy Turkiya va Xitoyning Shinjon hududigacha cho‘zilib, Markaziy Osiyoning qator hududlarini, jumladan O‘zbekiston, Qozog‘iston va Turkmanistonni ham qamrab oladi. S. parvulaning geografik areali keng bo‘lishiga qaramay, uning ko‘plab yashash joylarini birlashtiruvchi ekologik omillar — qurg‘oqchil yoki kontinental iqlim, tuproq sho‘rlanishi va suv tanqisligi hisoblanadi. O‘zbekiston hududida turning mavjudligi uning Markaziy Osiyo florasidagi tabiiy arealining bir qismi ekanligini ko‘rsatadi. Jizzax viloyati bo‘yicha floristik ma’lumotlarda turning Mirzacho‘l va Shimoliy Turkiston tekisliklaridagi gilli va sho‘rlangan tuproqlar bilan bog‘liqligi qayd etilgan. Turning ekstremal muhitga moslashuvini faqat morfofiziologik belgilar bilan tushuntirish yetarli emas. Genomik tadqiqotlar ion transporti bilan bog‘liq genlar oilalaridagi strukturaviy o‘zgarishlar va ekspression xususiyatlari S. parvulaning sho‘rlanishga chidamlilik mexanizmlarini tushuntirishda muhim ekanligini ko‘rsatadi. So‘nggi tadqiqotlar turning stressga javobida epigenetik boshqaruv mexanizmlarining ham ehtimoliy rolini ko‘rsatmoqda. Bu S. parvulaning biogeografik moslanishini genomika bilan bir qatorda epigenomika nuqtai nazaridan ham o‘rganish istiqbollarini ochadi. Umuman olganda, S. parvulaning biogeografik tarqalishi “geografik areal → ekologik nisha → abiotik stress → fiziologik moslanish → genomik va epigenetik mexanizmlar” tizimida ko‘rib chiqilishi lozim. Mazkur yondashuv turning nafaqat biogeografik xususiyatlarini tushuntirish, balki o‘simliklarning sho‘rlanish va qurg‘oqchilikka moslashuvining evolyutsion asoslarini aniqlash uchun ham muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

S. parvulaning ekstremal ekologik sharoitlarga moslashish mexanizmlarini o‘rganish qishloq xo‘jaligi uchun ham istiqbolli ahamiyatga ega. Ayniqsa, sho‘rlanish va suv tanqisligi kuchayib borayotgan hududlarda stressga chidamli o‘simliklarning moslanish mexanizmlarini aniqlash muhimdir.

S. parvulaning genomik va fiziologik xususiyatlarini chuqur o‘rganish natijasida aniqlangan stressga javob mexanizmlari kelajakda sho‘rlanish va qurg‘oqchilikka

chidamli qishloq xo‘jaligi ekinlarini yaratish, seleksiya va biotexnologik tadqiqotlar uchun ilmiy asos bo‘lishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Dassanayake M., Oh D.H., Haas J.S. et al. The genome of the extremophile crucifer Thellungiella parvula. Nature Genetics. 2011. Vol. 43. P. 913–918.

2. Wu H.J., Zhang Z., Wang J.Y. et al. Genome structures and halophyte-specific gene expression of the extremophile Thellungiella parvula in comparison with Thellungiella salsuginea and Arabidopsis. Plant Physiology. 2012.

3. Dassanayake M., Oh D.H., Haas J.S. et al. Genome structures and transcriptomes signify niche adaptation for the multiple-ion-tolerant extremophyte Schrenkiella parvula. Plant Physiology. 2014. Vol. 164, No. 4. P. 2123–2138.

4. Moinoddini F., Mirshamsi Kakhki A., Bagheri A., Jalilian A. Genome-wide analysis of annexin gene family in Schrenkiella parvula and Eutrema salsugineum suggests their roles in salt stress response. PLOS ONE. 2023. Vol. 18. e0280246.

5. Yolcu S. Genome-wide analysis of DNA methyltransferases in a model extremophyte, Schrenkiella parvula: Transcriptional dynamics during development and under salt stress. Annals of Applied Biology. 2026. Vol. 189, No. 1. e70124. DOI: 10.1111/aab.70124.

6. Al-Shehbaz I.A., O’Kane S.L. Taxonomy and phylogeny of the Eutremeae/Schrenkiella lineage of Brassicaceae. — turning zamonaviy taksonomik maqolalarida Thellungiella–Schrenkiella munosabatlarini asoslash uchun.

7. O’Kane S.L., Al-Shehbaz I.A. The genus Thellungiella and its relationship to Arabidopsis. — S. parvulaning dastlabki taksonomik talqinlari uchun.

8. Plants of the World Online. Schrenkiella parvula (Schrenk) D.A.German & Al-Shehbaz. Royal Botanic Gardens, Kew. — turning hozirgi nomi, sinonimlari va tabiiy arealini tekshirish uchun asosiy elektron manba.

9. GBIF Backbone Taxonomy. Schrenkiella parvula. Global Biodiversity Information Facility. — occurrence va tarixiy taksonomik nomlar bo‘yicha qo‘shimcha manba.

10. NCBI Taxonomy/BioSample. Schrenkiella parvula / Thellungiella parvula. — genomik va biologik materiallarning taksonomik identifikatsiyasi uchun.