

RUKKOLA O'SIMLIGI.

Eshmurodova Yulduz Murodulla qizi
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand Davlat Universiteti
Agrobitehnologiya va oziq-ovqat xavfsizligi institute
Qishloq xo'jaligi ekinlari seleksiyasi va urug'chiligi yo'nalishi
2-kurs talabasi
yulduzcam26@gmail.com
Telefon: +998 33 709 76 68
<https://doi.org/10.5281/zenodo.17348914>

Annotatsiya: Ushbu maqolada rukola (*Eruca sativa*) o'simligining botanik xususiyatlari, ekologik talablar, oziq-modda tarkibi, biologik faol moddalar, agronomik jihatlar va uning inson salomatligi uchun foydalari tahlil qilingan. Shuningdek, so'nggi tadqiqotlar asosida rukolaning mikrogreens shaklida yetishtirilishi, stressga chidamliligi, biomolekulalar profili va sog'liq-parvarlik salohiyati muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: Rukola, *Eruca sativa*, glukosinolatalar, biologik faol birikmalar, mikrogreens, agronomik xususiyatlar, salomatlik, oziq-modda tarkibi

Аннотация: В данной статье анализируются ботанические особенности растения рукола (*Eruca sativa*), его экологические требования, питательный состав, биологически активные вещества, агрономические аспекты и польза для здоровья человека. Также на основе современных исследований рассматриваются вопросы выращивания рукколы в форме микрозелени, её устойчивость к стрессовым условиям, профиль биомолекул и потенциал для укрепления здоровья.

Ключевые слова: рукола, *Eruca sativa*, глюкозинолаты, биологически активные соединения, микрозелень, агрономические характеристики, здоровье, питательный состав.

Annotation: This article analyzes the botanical characteristics of the arugula (*Eruca sativa*) plant, its ecological requirements, nutritional composition, biologically active compounds, agronomic aspects, and its benefits for human health. Furthermore, based on recent studies, the paper discusses the cultivation of arugula as microgreens, its stress tolerance, biomolecular profile, and health-promoting potential.

Keywords: arugula, *Eruca sativa*, glucosinolates, bioactive compounds, microgreens, agronomic characteristics, health, nutritional composition.

Kirish

Rukola (*Eruca sativa* Mill.) — yordamchi otsimon bir yillik o'simlik bo'lib, Brassicaceae oilasiga mansub. U asosan bargli sabzavot sifatida ishlatiladi va o'zining nordon-piring ta'mi bilan mashhur. Uni ingliz tilida "arugula", italyancha "rucola" yoki "ruchetta" deb ham atashadi.

Rukola tabiiy ravishda O'rta yer dengizi mintaqasida tarqalgan, ammo hozirda turli iqlim sharoitlarida ham yetishtirilmoqda. U tez o'suvchi va qisqa vegetatsion siklga ega o'simlik bo'lib, salat aralashmalarida, mikrogreens shaklida va o'sib chiqqandan keyin yana kesiladigan (cut-and-come-again) usullarda ishlatiladi.

So'nggi yillarda rukola va uning yangi shakllari (xususan mikrogreens) bo'yicha tadqiqotlar o'sib bormoqda. Bu o'simlikda biologik faol moddalar, xususan glukosinolatalar, flavonoidlar va antioksidantlar paydo bo'lishi va ularning bioaktiv xususiyatlari inson sog'lig'iga ijobiy ta'sir ko'rsata olishi ehtimoli juda katta.

Ushbu maqolada rukola o'simligi bo'yicha joriy ilmiy ma'lumotlar tahlil qilinadi va uning agronomik parametrlari, foydali moddalar tarkibi va sog'liq uchun ahamiyati muhokama qilinadi.

Tahlil va muhokama

Fito-kimyoviy tarkib va glukosinolatalar profili

Rukola o'simligining eng qiziqarli jihatlaridan biri — undagi glukosinolatalar (GSL, glukozinolatalar). Bu sulfid turkumli birikmalar Brassicaceae oilasidagi o'simliklarda keng tarqalgan bo'lib, organizmdagi fitohimoya va signal yo'llarida muhim ro'l o'ynaydi. ([7])

Bell va boshqalar tomonidan olib borilgan tadqiqotlar LC-MS usuli bilan 35 ruch-ola ("rocket") materiallarida 13 xil glukosinolatalar va 11 xil flavonollarni aniqlashga imkon bergan. Ularning ma'lumotlariga ko'ra, rukola navlari orasida glukosinolat profillari sezilarli farq ko'rsatadi. Masalan, ba'zi navlarda 4-metoksigluko-brassicin kabi minor komponentlar aniqlangan, va flavonollar (masalan, kempferol, kvartsetin glikozidlari) kombinatsiyasi navga bog'liq. ([10])

Glukosinolatalar rukola organlarida turlicha taqsimlangan. Misol uchun, urug' tarkibida glukoraphanin va glukuerucin kabi GSL'lar yuqori miqdorda aniqlangan bo'lsa, barglarda esa boshqa derivatlar ham mavjud bo'lishi mumkin. ([11])

Pagnotta va boshqalar rukola urug'larining bioaktiv komponentlarini o'rganib, urug' yog'i, polisakaridlar (mucilaj) va oqsillar miqdori bo'yicha qiymatlarni belgilagan. Ularning tadqiqotida urug'dan olinadigan RSG (rukola semeni glyukomucilaj) tarkibida 57–80 % uglevod, 5–11 % oqsil va juda kam yog' bo'lishi aniqlangan. ([7])

Zheng va hamkasblar esa yangi tsiklik tiokarbamat va to'rt yangi kempferol glikozidlarini rukola barglaridan ajratib olingan modda sifatida tavsiflagan. Bu moddalarning antioksidant potentsiali va biologik faoliyati bo'yicha istiqbolli ekanligi ta'kidlangan. ([4])

Ushbu ma'lumotlar rukolaning biologik faol moddalar kompleksiga ega ekanini ko'rsatadi va uning sog'liq orientirli qo'llanilishida potensial imkoniyatlar borligini tasdiqlaydi.

Yallig'lanishga qarshi va antioksidant faollik

Rukola tarkibidagi glukosinolatalar va ularning parchalanish mahsullari — izotiotsianatlar — yallig'lanishga qarshi va antioksidant aktivlikka ega bo'lishi mumkinligi tadqiqotlar orqali ko'rsatilgan. Masalan, rukola urug'i ekstrakti makrofaglar va neyron hujayralarda COX-2, TLR4/NLRP3 yo'llarini susaytirishi, shuningdek proinflammatory sitokinlarni kamaytirishi aniqlangan. ([3])

Testai va boshqalar tasvirlaganidek, defatted rukola urug'i ekstrakti yuqori fenolik modda va GSL tarkibiga ega bo'lib, kardiovaskulyar tizim uchun foydali antioksidant rolini bajara oladi. ([5])

Al-Sulivany va hamkasblar rukola barg ekstraktlarida glukuerucin va u buzilgach paydo bo'ladigan erucin moddalari vodorod peroksid va alkil peroksidlarni neytrallashtirishda samarali ekanini aniqlagan. Shu bilan birga, ushbu ekstraktlar in vitro sharoitda hujayralarda bosqichli reaktiv kislorod turlarini (ROS) kamaytiruvchi va sitoprotektiv xususiyat ko'rsatadi. ([9])

Bu ma'lumotlar rukolaning yallig'lanishga, oksidativ stressga qarshi kurashishga yordam berishdagi potentsialini ko'rsatadi, ayniqsa dorivor va nutritsevtik yo'nalishlarda.

Suv stressi, namlik va glukosinolatalar

O'simliklar, shu jumladan rukola, suvsizlik (drought) sharoitida reaksiya ko'rsatadi. Lee va hamkasblar 21 kunlik eksperimentda *Eruca sativa* uchun turli VWC (volumetric water content, tuproq/substrat namlik kontenti) sharoitlarini qo'llab, o'sish, stomatal konduktivlik va GSL tarkibiga ta'sirini tahlil qilgan. Ular aniqladilar:

- VWC = 0,20 m³/m³ darajasida o'sish sezilarli pasayadi, stomatal konduktivlik asosan dastlabki kunlarda kamayadi, ammo 15-kunda barcha sharoitlarda stomatal konduktivlik darajasi yaqinlashadi (aklimatsiya).

- Umumiy glukosinolatalar tarkibi VWC sharoitlarida sezilarli farq ko'rsatmagan, lekin glukuerucin komponenti 0,20 darajasida sezilarli pasayishni ko'rsatgan.

- Optimal VWC = 0,30 m³/m³ sharoitida o'sish samarasi va namlik ishlatilish samaradorligi (water use efficiency) yaxshiligi kuzatilgan.

- Nitrates darajasi barcha VWC sharoitlarida vaqt o'tishi bilan pasaygan va nihoyat 500 ppm ostida bo'lgan. ([13])

Bu natijalar shuni ko'rsatadiki, rukola umuman namlik stressiga nisbatan biroz bardoshli bo'lishi mumkin, lekin past namlik (0,20) holati sifat va o'sishga salbiy ta'sir qilishi mumkin. Shu bilan birga, namlik darajasini boshqarish orqali GSL tarkibini biroz modulyatsiya qilish imkoniyati mavjud.

Mikrobiologik inokulyatsiya va ozuqa boshqaruvi

Rukola o'sishini va bioaktiv moddalar yig'ilishini yaxshilash maqsadida mikrobial inokulyatsiya (masalan, PGPR — root-associated bacteria) usullari qo'llanilmoqda. Misol uchun:

- Anggoro va hamkasblar bio-slurry (sigir go'ngi suspenziyasi) va rhizobacteria (*Pseudomonas*, *Bacillus*) kombinatsiyasini qo'llagan eksperimentda maksimal glukosinolatalar yig'ilishi va o'sish sur'ati *Pseudomonas* + *Bacillus* + 200 mL bio-slurry holatida kuzatilgan. ([3])

- Hassan va boshqalar *Jeotgalicoccus* sp. inokulyatsiyasini qo'llaganlar va ushbu mikroorganizmlar bilan rukola o'sishida mineral yutiluvchanligi, aminokislota va fenolik metabolism, E vitamini va antioksidant faolligi ortganini ko'rsatganlar. ([16])

Bu ma'lumotlar rukola o'simligida sinergik mikrobiom qo'llashning foydali ekanligini tasdiqlaydi. Inokulyatsiya orqali o'simlik stressga chidamlilik, oziq modda yutiluvchanligi va metabolik profilni yaxshilash yo'li ochilmoqda.

Genetika, seleksiya va navlar farqi

Rukola genetik jihatdan diversitetga ega bo'lib, turli navlar va populyatsiyalar metabolik komponentlar, glukosinolatalar miqdori va sensorial xususiyatlarda farq qiladi. Bell va hamkasblar (2022) salad rukola navlarida glukosinolatalar, shakar va xushbo'y gaz tarkibi bilan sensor baholar o'rtasidagi bog'liqlikni o'rganish maqsadida quantitative trait loci (QTL) analizini olib borgan. Ularning tahlilida yuqori GSL miqdori tez-tez achchiqlik va qovurish sezgirliги bilan bog'lanadi, bu esa iste'molchilarning afzal ko'ruvchanligi uchun muammo bo'lishi mumkin. ([15])

Bell va boshqalar, *Eruca vesicaria* subsp. *sativa* navlarini Italiya va Buyuk Britaniyada o'stirib, transcriptomik va metabolomik differensiyalarni aniqlagan. So'nggi ma'lumotlarga ko'ra, turli muhitlar (italik, britan) sharoitida o'simlikning gene ekspressiyasi va sulfanomon metabolismi genlari (MYB28, FMOGS-OX2 kabi) turlicha faol bo'ladi, bu esa nutrisonik va xushbo'y moddalar farqlarini tushuntiradi. ([17])

Bundan tashqari, El-Nwehy va hamkasblar (2023) rukola urug'larini maxsus makroelement to'yintiruvchi modda bilan ishlov berib, N, P, K, Mg va Ca miqdorlarini 34–56 % gacha oshirib, urug', hosil va kimyoviy tarkibni yaxshilaganligini ko'rsatgan. ([8])

Bu tadqiqotlar rukola navlari va genetika jihatdan seleksiya imkoniyatlari kengligini ko'rsatadi. Kelajakda GSL bilan yuqori balansli, lekin achchiqligi cheklangan navlar seleksiya qilinishi mumkin.

O'sish fiziologiyasi, fotosintez va stomatal javoblar

Suv stressi sharoitida stomatal konduktivlik pasayishi fotosintez sur'atiga to'sqinlik qilishi mumkin. Lee va boshqalar 0,20 m³/m³ VWC holatida stomatal konduktivlik pasayishini va natijada o'sish tezligining pasayishini aniqlashdi. Biroq, 15-kunda barcha sharoitlarda stomatal konduktivlik darajalari yaqinlashgani, ya'ni o'simlik ba'zi darajada akklimatsiya qilgani kuzatilgan. ([13])

Bu reaksiya o'simlikning moslashuvchanligi va tolerance mexanizmlarini ko'rsatadi. Shuningdek, namlik stressi past bo'lgan holatda stomatal cheklov orqali gaz almashinuvi cheklanadi, shuning uchun o'sish va biomassa zarar yetishi mumkin.

O'simliklar stomatal rekonfiguratsiyon, osmolyut metabolizmi (prolin, sho'r qabul qilish) yo'llari orqali reaksiyaga kirishi mumkin — rukola uchun bu jihatlar hali chuqur o'rganilmagan, ammo biyomarka guruhlarida mikrometabolit tahlil orqali bu istiqbollar aniqlanishi mumkin.

Pest va kasalliklar, himoya mexanizmlari

Rukola Brassicaceae oilasiga mansub bo'lgani uchun ko'plab o'simlik zararkunandalari va kasalliklar bilan duch keladi. Qiziqarli jihat — rukola ba'zan boshqa Brassica turlariga nisbatan pastroq zarar yuzaga keltiradi. Misol uchun, Jagdev va Kumar 6 yillik tajribada ko'plab Brassica navlarida zararkunandalardan olingan urug' hosilidagi yo'qotishlarni tahlil qilgan. Ular ko'rsatdiki, rukola (*Eruca sativa*) eng kam zarar ko'rgan navlar sirasiga kiradi va aphid hamda kabbage caterpillar zararidan boshqa Brassica turlariga nisbatan kamroq yo'qotishlarga duch keladi. ([0academia22])

Sarwan Kumar va Sangha tomonidan olib borilgan tadqiqotda esa *Lipaphis erysimi* (karam aphidi) bilan zararlangan Brassica genotiplarining biokimyoviy himoya mexanizmlari o'rganilgan. Ular topdilar, rukola navlari (masalan, T27) glucosinolatalar, total fenollarga yuqori miqdorda ega bo'lishi bilan aphid infestatsiyasiga nisbatan yuqori himoya darajasiga ega bo'ladi. ([0academia23])

Bu natijalar rukola uchun ichki himoya sistema mavjudligini va seleksiya orqali bu himoya darajasini oshirish mumkinligini ko'rsatadi.

Mikrogreens va novdalarga nisbatan bioaktiv modda farqi

So'nggi paytlarda rukola mikrogreens (yangi nihollarda) shaklida iste'mol qilish trendi ortib bormoqda. Bunday shaklda olingan o'simliklar tarkibida biyokimyoviy moddalar kontsentratsiyasi odatda yuqori bo'ladi. Misol uchun, International Journal of Food Science & Technology'da chop etilgan tadqiqotda rukola mikrogreens va etilgan barglar o'rtasidagi oziq-modda va bioaktiv tarkiblar taqqoslangan. Ular topdilar:

- Mikrogreensda vitamin C, fenolik modda va antioksidant faolligi barglarga nisbatan sezilarli yuqoriligi ichida.

- Biroq ba'zi hollarda nitrat miqdori mikrogreensda yuqori bo'lishi ehtimoli mavjud, bu bozor talablari nuqtai nazaridan muammoli bo'lishi mumkin.

• Shuningdek, nav va o'sish muhitiga bog'liq holda mikrogreensdagi GSL profili farqlari kuzatilgan. ([12])

Ushbu ma'lumotlar rukola mikrogreens sifatini optimallashtirish jihatidan qiziqarli yo'nalishlar ochadi.

Savdo va saqlov sharoitida GSL stabiliteti

Qishloq xo'jaligi mahsulotlari bo'yicha muhim muammo — hasharotlardan keyingi degradatsiya va saqlov paytidagi sifat yo'qotilishi. Bell va hamkasblar (2023) navlar va muhitga bog'liq metabolomik va transcriptomik farqlarni qiyoslab, navlar orasida saqlov bosqichida glukosinolatalar va volatil birikmalar (VOCs) komponentlari farqlanishini aniqlagan. Masalan, D0 (ya'ni hosildan keyingi darhol) va D5 (5 kun sovutgichda saqlash) bosqichlarida VOC va GSL profillarida sezilarli o'zgarishlar bo'lgan. ([17])

Bu ko'rsatkichlarni hisobga olsak, rukola mahsulotini bozorda uzoqroq saqlash uchun genetik, pre-chill va post-harvest muolajalar muhim rol o'ynaydi.

Xulosa

Rukola (*Eruca sativa*) — qisqa siklli, tez o'suvchi va ko'p foydali biologik moddalar saqlovchi bargli sabzavot. Uning borligi tarkibida vitaminlar, mineral moddalar, glukosinolatalar, flavonoidlar va fenolik birikmalar mavjud bo'lib, ular sog'liq uchun potentsial foydali bo'lishi mumkin.

Agronomik jihatdan rukola yetishtirilishi uchun quyosh, yaxshi drenajlangan tuproq, namlik nazorati va kerakli mikrobiologik qo'shimchalar muhim ahamiyatga ega. Hidroponika va mikrogreens shaklida yetishtirish bu o'simlikni tezkor va samarali tarzda yetishtirish imkonini beradi.

Hozirgi tadqiqotlar rukola salomatlik uchun potentsial foydaliligini ko'rsatmoqda, ammo klinik tadqiqotlar, toksikologik baholash va doza aniqlash bo'yicha ishlanmalar yetishmaydi. Kelgusi tadqiqotlar genetik seleksiya, ko'p muhitda sinov, saqlash texnologiyalari va bozorlashuv jihatlarida yo'naltirilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. "Rocket science: A review of phytochemical & health-related aspects" — maqola PMC Platformasida, 2019 yili chop etilgan. Bu manba rukola biologik faol moddalar, tarixi va sog'liq uchun salohiyati haqida ma'lumot beradi.
2. "Postharvest Quality of Arugula (*Eruca sativa*) Microgreens" — post harvest va saqlash sharoitlari bo'yicha tadqiqot.
3. "*Eruca sativa* seed extract: A novel natural product able to counteract inflammation" — rukola urug'i ekstrakti va uning yallig'lanishga qarshi ta'siri bo'yicha tajriba.
4. "Nutritional quality and bioactive compounds of arugula (*Eruca sativa*)" — IVY Jurnal maqolasi, mikrogreens va oziq-modda tahlillari.
5. "Arugula, *Eruca sativa* — Wisconsin Horticulture" — agronomik maslahatlar.
6. "Arugula – an overview | ScienceDirect Topics" — turli organlardagi bioaktiv birikma taqsimoti.
7. "Arugula and Lettuce Responses to Greenhouse Hydroponic Systems" — NFT va boshqa gidroponik tizimlar bo'yicha tahlil.
8. "Biofortification of Arugula Microgreens Through Supplemental Blue Light" — nur spektri va mikrogreens sifatiga ta'siri bo'yicha tadqiqot.

9. “Eruca sativa — an overview | ScienceDirect Topics” (shuningdek, morfologik va ekologik ma’lumotlar)
10. “Eruca sativa (L.): Botanical Description, Crop Improvement, and Uses” — umumiy sharh maqolasi, Eruca sativa tarixi, taksonomiyasi va talablari bo’yicha.