

Ortiqboyeva Ozoda Quvvatboy qizi

Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy
Universiteti Jizzax filiali Biotexnologiya kafedrası magistranti

ozodaortiqlboyeva2812@gmail.com

Murodova Sayyora Sobirovna

Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy
Universiteti Jizzax filiali Biotexnologiya kafedrası professori

Verushkina Olga Antonovna

O‘zRFA Mikrobiologiya instituti Biologiya fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

***DUNALIELLA SALINA* BIOMASSASIDAN BIOFAOL
KOMPONENTLARNI AJRATIB OLIISH UCHUN SAMARALI
BIOTEXNOLOGIYA ISHLAB CHIQISH**

Annotatsiya: Ushbu tadqiqot maqsadi *Dunaliella salina* suvo‘tini yuqori harorat, sho‘rlik va yorug‘lik sharoitida o‘stirish orqali tabiiy β -karotin ishlab chiqarish qobiliyatini oshirish, biofaol moddalar (β -karotin)ni ajratib olish hamda tahlil qilishga qaratilgan. Tadqiqotda “Artari” ozuqa muhiti asosida ikki bosqichli kultivatsiya tizimi yaratildi: birinchi bosqichda yashil biomassani ko‘paytirish, ikkinchi bosqichda esa stress sharoitlari orqali β -karotin sintezini kuchaytirish amalga oshirildi. Stress sharoitida karotinoidlar miqdori 27 mg/g^{-1} quruq biomassagacha yetgani kuzatildi, 1 mL kulturada 1.35×10^7 ta hujayra qayd etildi, karotinoidlar konsentratsiyasi $2.90 \text{ }\mu\text{g/mL}$ ekanligi aniqlandi. Olingan natijalar *Dunaliella salina* biomassasidan ekologik xavfsiz, yuqori qiymatli tabiiy pigmentlar ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirishda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: *Dunaliella salina*, galofit, β -karotin, 9-cis izomer, lipid, xlorofill, polifenol, glitserol, “Artari” ozuqa muhiti.

Ortiqboyeva Ozoda Quvvatboy qizi

Master's student of the Department of Biotechnology, Jizzakh Branch of Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan.

Murodova Sayyora Sobirovna

Professor of the Department of Biotechnology, Jizzakh Branch of Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan.

Verushkina Olga Antonovna

Doctor of Philosophy (PhD) in Biological Sciences, Institute of Microbiology, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT BIOTECHNOLOGY FOR THE EXTRACTION OF BIOACTIVE COMPONENTS FROM *DUNALIELLA* *SALINA* BIOMASS

Abstract: The aim of this study was to enhance the natural β -carotene production capacity of the microalga *Dunaliella salina* through cultivation under high temperature, salinity, and light intensity, as well as to extract and analyze bioactive compounds, particularly β -carotene. A two-stage cultivation system based on the “Artari” nutrient medium was developed: the first stage focused on green biomass accumulation, while the second stage involved the induction of β -carotene synthesis under stress conditions. Under stress, the carotenoid content reached up to $27 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ of dry biomass, the cell density was $1.35 \times 10^7 \text{ cells/mL}$, and the carotenoid concentration was determined to be $2.90 \text{ } \mu\text{g/mL}$. The obtained results demonstrate the practical potential of *Dunaliella salina* biomass for the development of environmentally safe and high-value natural pigment production technologies.

Keywords: *Dunaliella salina*, halophyte, β -carotene, 9-cis isomer, lipids, chlorophyll, polyphenols, glycerol, “Artari” nutrient medium.

Ортикбоева Озода Кувватбой кизи

Магистрант кафедры биотехнологии Джизакского филиала Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Муродова Сайёра Собировна

Профессор кафедры биотехнологии Джизакского филиала Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Верушкина Ольга Антоновна

Доктор философии (PhD) по биологическим наукам, Институт микробиологии Академии наук Республики Узбекистан.

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ БИОАКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ БИОМАССЫ *DUNALIELLA* *SALINA*

Аннотация: Целью данного исследования является повышение способности микроводоросли *Dunaliella salina* к синтезу природного β-каротина путем культивирования в условиях повышенной температуры, солёности и освещённости, а также выделение и анализ биологически активных соединений, в частности β-каротина. В работе была разработана двухэтапная система культивирования на основе питательной среды «Artari»: на первом этапе осуществлялось наращивание зелёной биомассы, на втором — индукция синтеза β-каротина за счёт стрессовых факторов. В условиях стресса содержание каротиноидов достигало 27 мг·г⁻¹ сухой биомассы, плотность клеток составила 1,35 × 10⁷ клеток/мл, а концентрация каротиноидов — 2,90 мкг/мл. Полученные результаты демонстрируют практическую значимость *Dunaliella salina* как перспективного источника экологически безопасных и высокоценных природных пигментов и могут быть использованы для совершенствования биотехнологий их промышленного получения.

Ключевые слова: *Dunaliella salina*, галофит, β-каротин, 9-cis-изомер, липиды, хлорофилл, полифенолы, глицерин, питательная среда «Artari».

Kirish

Dunaliella salina (*D.salina*) - ekstremal sharoitlarga chidamli, galofilik yashil mikrosuvo't bo'lib, u katta miqdorda karotinoidlar, jumladan β-karotin, shuningdek polifenollar, xlorofillar, lipidlar va boshqa biologik faol metabolitlarni

sintez qilishi bilan alohida o'rin egallaydi. Yuqori sho'rlangan ko'llardan *D. salina* mikrosuvo'tini ajratib olish va biotexnologik potensialini aniqlash muhim ahamiyat kasb etadi. Jahonda mikrosuvo'tlarning biologik xususiyatlariga ko'ra qishloq xo'jaligi, oziq-ovqat, kosmetologiya va farmasevtika sanoatida foydalanish uchun mahsulotlarni ishlab chiqarish texnologiyalarini amaliyotga joriy etish borasida ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada, mikrosuvo'tlarning samarali shtammlarini tanlab olish, o'stirish sharoitlarini optimallashtirish, ekstremal sharoitlarga chidamliligi, osmoregulyatsiya xususiyatlarini aniqlash, *Dunaliella* asosida multivitamin va maxsus preparatlar yaratish, tabiiy karotinoidlaridan β -karotin ekstraktlari, oziq-ovqat kukuni, ozuqa bo'yoqlari sifatida foydalanish muhim va dolzarb hisoblanadi.

Adabiyotlar tahlili

Dunaliella hujayralari birinchi marta 1838-yilda fransuz olimi Mishel F. Dunal tomonidan Fransiyaning janubidagi tuz konlarida aniqlangan bo'lib, ularni qizg'ish rangli bir hujayrali suvo'tlar sifatida tasvirlagan [7].

1905-yilda Emanoil C. Teodoresco *Dunaliella* jinsini rasmiy ravishda tavsiflagan va nomlagan. Bu jins 27 ta turdan iborat bo'lib, ularning 23 tasi sho'r suv havzalarida uchraydi. Ushbu turning o'ziga xos tomoni – bu boshqa ko'pgina bir hujayrali yashil suvo'tlardagidek qattiq hujayra devorining yo'qligidir. *Dunaliella* turlari chuchuk suvda, barcha qit'alarda, okeanlarda, jumladan O'lik dengizda va hatto Antarktidadagi sho'r ko'llarda uchraydi. *D. salina* kuchli stress va yuqori yorug'lik ta'sirida β -karotin to'plash xususiyati bilan biotexnologik sohalarda qadrlanadi [4].

D. salina da pigment miqdori 11,50 % ni tashkil qiladi, uning asosiy qismini karotinoidlar (7,41 %) va xlorofill (4,09 %) tashkil etadi. *D. salina* ning antioksidant xususiyati va 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikalini neytrallashi mos ravishda 34,54 mg/1000 g va 55,63 % bo'lgan. Lipid miqdori esa, uchta ajratilgan *Dunaliella* shtammlari ko'p to'yinmagan yog' kislotalari (25,42 %–40,13 %) ning muhim manbai hisoblanadi [1].

β -karotinning sanoat miqyosidagi ishlab chiqarishining katta qismi (taxminan 85%) hanuzgacha kimyoviy sintez orqali amalga oshiriladi [19]. Biroq, sintetik β karotin asosan to'liq trans-izomerlardan iborat bo'ladi, *Dunaliella* hujayralarida esa kuchliroq antioksidant ta'sirga ega bo'lgan 9-cis izomerlarining ko'p miqdorini uchratish mumkin [14]. β -karotin tarkibi *all-trans* (42%), *9-cis* (41%), *15-cis* (10%) va boshqa izomerlar (6%) aralashmasidan iborat ekanligi aniqlangan [6].

BMTning Oziq-ovqat va qishloq xo'jaligi tashkiloti (FAO UN) ma'lumotlariga ko'ra [The State of Food, 2017], O'zbekistonda bolalarning 53 % va kattalarning 38,4 % vitamin A yoki uning oldingi shakli bo'lgan β -karotin tanqisligini boshdan kechiradi. Bundan tashqari, *D. salina* ning quritilgan biomassasi va undan olingan preparatlar immunostimulyator, saraton, aterosklerotik kasalliklar, mikrobial, allergik kasalliklar va yallig'lanishga qarshi hamda boshqa terapevtik xususiyatlarga ega [2].

Dunaliella biomassasining oziq-ovqat mahsulotlarida to'g'ridan-to'g'ri qo'llanilishi istiqbollidir, chunki u yurak-qon tomir kasalliklari va saratonni davolashga ijobiy ta'sir ko'rsatishi, shuningdek, yallig'lanishga qarshi xususiyatlarga ega [15]. β -karotin jigar fermentlari ta'sirida oksidlanib, A vitamini hosil qilishi ma'lum bo'lib, bu esa ko'rish qobiliyatini va epitelial to'qimalarni yaxshilashga yordam beradi [10].

Ko'plab *Dunaliella* turlari yuqori sho'rlik va boshqa kimyoviy komponentlarning keng diapazoniga ega muhitlardan ajratib olingan [18]. *D. salina* 0,5% dan 35% gacha bo'lgan sho'rlik sharoitida o'stirilgan, shuning uchun ular sanoatda keng qo'llaniladi va ekstremal muhitlarda ham muvaffaqiyatli o'sadi [9]. Yopiq tizimli fotobioreaktorda ikki bosqichli strategiya asosida o'stirish orqali eng yuqori karotenoid hosildorligi (328,8 mg karotinoid / l kulturani oyiga) olingan. Shuningdek, yopiq tubular fotobioreaktor *D. salina* biomassasida eng yuqori karotenoid miqdorini ta'minlagan (quruq vaznning 10 %), β -karotinning ulushi eng yuqori bo'lgan (umumiy karotinoidlarning 90 %),

shuningdek 9-cis va all-trans β -karotin izomerlari nisbati eng yuqori darajada bo'lgan [13].

Ochiq sharoitda kultivatsiya alyuminiy kompozit panellardan tayyorlangan 100×200×20 sm o'lchamdagi vannalarda, aralashtirgichlar va havo barbotaji yordamida olib borilgan. Kultura muhitining qalinligi 30 sm bo'lgan, harorat sutka davomida 20–42°C oralig'ida o'zgarib turgan va o'stirish tabiiy quyosh nuri ostida amalga oshirilgan. Karotinoidlar miqdori quruq biomassa hisobiga 20–30 mg/g ni tashkil qilgan [17].

D. salina β -karotin biotexnologik ishlab chiqarishda eng muhim mikrosvu't turlaridan biri sifatida ajralib turadi, chunki u ushbu birikma bo'yicha umumiy talabning 95 % dan ortig'ini ta'minlashi tatqiqotlar davomida aniqlangan [20]. *Dunaliella* jinsiga mansub mikrosvu'tlardan β -karotin ishlab chiqarish quvvati yiliga taxminan 1 200 tonna deb baholangan [5].

Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot obekti sifatida mikrosvu't turlari orasida sho'rlikka chidamli va β karotin tarkibi eng yuqori bo'lgan *D. salina* AR-1 tanlandi. Ushbu mikrosvu't namunasi O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Mikrobiologiya institutidan olingan.

1. Ozuqa muhiti tayyorlash. Sv'u'ni o'stirish uchun "Artari" ozuqa muhitidan (1-jadval) foydalanildi [17].

Jadval 1

"Artari" ozuqa muhiti tarkibi (pH 8–9, NaHCO₃)

Modda	Mol.mass	Konsentratsiya
NaCl	58.5	116 g/l = 2M
MgSO ₄ ·7H ₂ O	120.3–126=246.3	50 g/l = 0.2M
KNO ₃	101.0	2.5 g/l = 0.025M
K ₂ HPO ₄	174	0.2 g/l = 0.001M
NaHCO ₃	86	10 g/l
Mikroelementlar:		

Modda	Mol.mass	Konsentratsiya
H ₃ BO ₃	59	2.860 g/l
MnCl ₂ ·4H ₂ O	125+72=197	1.810 g/l
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	161+126=287	0.222 g/l
MoO ₃	144	0.018 g/l
NH ₄ VO ₃	117	0.023 g/l

2. *D. salinani* ikki bosqichli tizimda o‘stirish. *D. salina* mikrosuvo‘ti 2 bosqichli o‘stirish tizimida o‘stirildi.

- birinchi bosqich yashil biomassani to‘plash uchun;
- ikkinchi bosqich karotinlarni to‘plash uchun.

Kultivatsiyaning birinchi bosqichida *D. salina* 20 sm chuqurlikka ega bo‘lgan idishlarda yetishtirildi. Ozuqa muhitining tarkibi quyidagicha bo‘ldi: NaCl – 116 yoki 200 g/L, MgSO₄·7H₂O – 50 g/L, KNO₃ – 2.5 g/L, K₂HPO₄ – 0.2 g/L, NaHCO₃ – 1.0 g/L, FeSO₄·7H₂O va mikroelementlar (Fe, Mg, Mn, Zn, Mo, V, Se, I). Ozuqa muhitini tayyorlashda distillangan suvdan foydalanildi. Tayyor ozuqa muhitiga 10 % li suvo‘t suspenziyasi qo‘shildi. Kultura quyosh nuri yordamida (8–12 soat), 20– 32 °C haroratda va pH 7.5–8.5 (NaHCO₃) sharoitida saqlab o‘stirildi. Ikkinchi bosqichda karotinoidlar sintezlanishini kuzatamiz. Bu bosqichda stress sharoitlar yaratiladi, ya’ni tuz konsentratsiyasi 240 g/l dan yuqori, biogen elementlardan asosan azot (N) tanqisligi, optimaldan yuqori yoki past haroratlarda *D. salina* hujayralarida karotinoidlar hujayra membranasiga yaqin joylashgan lipid donachalarida to‘planadi [17].

3. Goryayev kamerasida *D. salina* hujayralarini sanash. Hujayra soni Tanoeiro (2024) metodikasi asosida hisoblandi. Goryayev kamerasida jami 225 ta kataklar bor. Goryayev kamerasining o‘rta katagi (16 talik) - bu 4×4 mayda katakdan tashkil topgan “blok”. Mayda katak o‘lchami: 0.05 mm × 0.05 mm, kamera chuqurligi: 0.1 mm. Kameraga suspenziyadan 1 tomchi olinib, ustiga lyugol (hujayra fiksatsiyasi uchun) eritmasidan tomizildi va mikroskop ostida ko‘rildi. Tajribada 16 ta mayda katakli o‘rta katakdan diagonal ravishda 5 ta katak

sanaldi. Goryayev kamerasida mikroskop ostida *Dunaliella* hujayralari quyidagi ketma-ketlik asosida hisoblanadi. O'rta katak o'lchami (yuza bo'yicha): $4 \times 0.05 \text{ mm} = 0.20 \text{ mm}$ har tomon. Yuza: $0.20 \times 0.20 = 0.04 \text{ mm}^2$. Hajm = Yuza $\times$ Chuqurlik = $0.04 \times 0.1 = 0.004 \text{ mm}^3$. $\text{mm}^3 = 1 \text{ }\mu\text{L}$, shuning uchun, o'rta katak hajmi = $0.004 \text{ }\mu\text{L}$.

5 ta 16 talik katakdagi hujayra soni: $50 + 49 + 55 + 60 + 58 = 272$ ta hujayra. O'rta katakdagi o'rtacha hujayra soni = $272 : 5 = 54.4 \approx 54$. Demak, har bir 16-lik o'rta katakda taxminan 54 ta *D. salina* hujayrasi bor. Shu natija bilan 1 mL suvdagi hujayra sonini hisoblash mumkin: Hujayra soni (1 mL) = O'rta katakdagi hujayra soni : katak hajmi (μL). O'rta katakdagi o'rtacha hujayra soni: 54 ta, o'rta katak hajmi: $0.004 \text{ }\mu\text{L}$. Zichlik (hujayra/ μL) = Hujayra soni : Hajm (μL) = $54 : 0.004 = 13,500 \text{ hujayra}/\mu\text{L}$. $1 \text{ mL} = 1000 \text{ }\mu\text{L}$, $(1 \text{ mL}) = 13,500 \times 1000 = 1.35 \times 10^7$ [16].

4. Karotinoidlar ekstraksiyasida Li, Y., Huang (2022) metodikasi ishlatildi. To'liq karotin sintezlagan *D. salina* biomassasi tayyorlandi. Biomassadan 15 ml olinib, 5000 rpm da 10 daqiqa davomida iFUGE D06 (Neaution) sentrifugasi bilan sentrifugalandi. Cho'kmaga 1-2 ml etanol (96% li) solindi, vortexda 1 daqiqa aralashtirildi va qorong'u joyda 10–15 daqiqa saqlandi. Keyin yana 5000 rpm da 5 daqiqa sentrifugalandi, sariq rangli ekstrakt olindi. Yuqori qatlam (erituvchi faza) olindi. Quritish maqsadida rotorli quritgichdan foydalanildi [11].

5. Karotinoidlarni spektrofotometrik tahlil qilish. Spektrofotometrik tahlilda Lichtenthaler & Wellburn (1983) metodikasidan foydalanildi. Karotinoidlar yorug'likni selektiv ravishda so'radi (absorbsiya qiladi), xususan 400–500 nm diapazonida. Spektrofotometr yordamida aynan shu to'lqin uzunligida ularning miqdori tez va aniqlik bilan o'lchanadi. Tahlil davomida AV755 modeli UV-vis spektrofotometridan foydalanildi. Spektrofotometr yoqilib, blank sifatida toza 96% etanol kuvetga solindi. Qurilma blankga nisbatan nolga keltirildi va namuna ekstrakti kuvetga solindi. β -karotin va xlorofill a - $443.9 \text{ nm} = 0.968$

Karotinoidlar (xususan, β -karotin) - $470.6 \text{ nm} = 0.908$

Xlorofill b ning yashil hududdagi pasaygan absorbsiya qismi karotinoidlar aralash sohasi - $527.9 \text{ nm} = 0.267$. Xlorofill a $665.8 \text{ nm} = 0.147$ (3-rasm)

Karotinoidlar uchun asosiy ishchi maksimum 470 nm va xlorofill a uchun 665 nm olindi. $A_{470}=0.908$, $A_{665}=0.147$

$$\text{Karotinoid} = \frac{1000 \times A_{470} - 1.82 \times A_{665} \times 1000}{221}$$

1-qadam: $1000 \times 0.908 = 908$; 2-qadam: $1.82 \times 0.147 \times 1000 = 267.54$; 3-qadam: $908 - 267.54 = 640.46$; 4-qadam (yakuniy):

$$\text{Karotinoid} = \frac{640.6}{221} \quad [12].$$

Natijalar va ularning tahlili

D. salina biomassasi turli biologik faol komponentlarga boy bo‘lib, ularning asosiy qismi pigmentlar va metabolitlardan iborat. Ushbu komponentlar suvo‘tning antioksidant xususiyatlarini belgilaydi hamda stress sharoitlariga moslashuvda muhim rol o‘ynaydi. Quyidagi jadvalda *D. salina* biomassasida aniqlangan va adabiyot ma’lumotlari asosida tasdiqlangan asosiy biofaol komponentlar, ularni aniqlash usullari hamda biologik ahamiyati keltirilgan (2-jadval)

Jadval 2

D. salina biomassasidagi asosiy biofaol komponentlar

Biofaol komponent	Aniqlash usuli	Biologik ahamiyati
β -karotin	Spektrofotometriya (443–471 nm)	Kuchli antioksidant, vitamin A manbai, immunostimulyator
Umumiy karotenoidlar	Spektrofotometriya (400–500 nm)	Oksidlovchi stressdan himoya, hujayra membranasini barqarorlashtiradi
Xlorofill a	Spektrofotometriya (665 nm)	Fotosintez faolligi ko‘rsatkichi, metabolik holat indikator
Xlorofill b	Spektrofotometriya ($\approx$ 650 nm)	Yorug‘lik yutilishini kengaytiradi
Lipidlar	Adabiyot ma’lumotlari asosida	β -karotin saqlovchi lipid tomchilari, bioenergetik ahamiyatga ega
Polifenollar	Adabiyot ma’lumotlari asosida	Antioksidant, yallig‘lanishga qarshi ta’sir ko‘rsatadi
Glitserol	Adabiyot ma’lumotlari asosida	Osmoregulyatsiya, stressga moslashuv

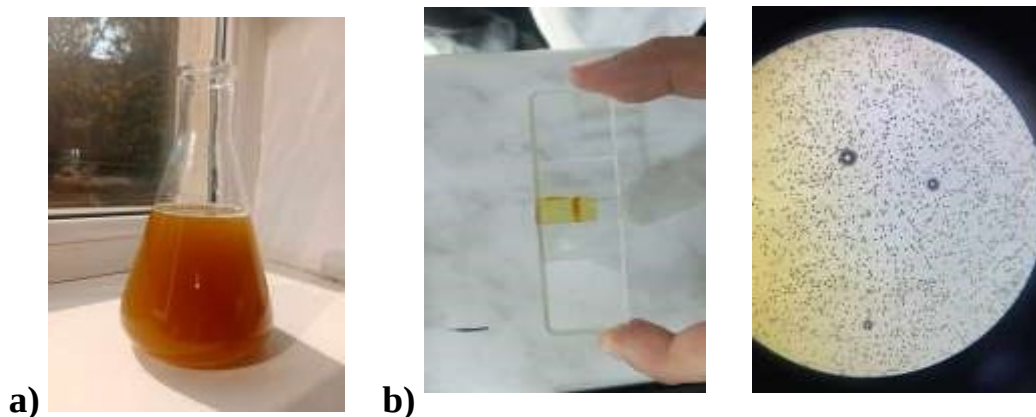
D. salinani birinchi bosqichli dastlabki oʻstirish jarayonida tuz miqdori 200 g/L qilib belgilandi, lekin bunda kontaminatsiya boʻlib begona mikroflora bilan zararlandi. Soʻngra NaCl miqdori 240 g/L ga yetkazilganda muhitda faqat *D. salina* hujayralari oʻsgani kuzatildi. Boshlangʻich konsentratsiya: $0,19 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, 30 kunda: $0,5 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, 4 oyda $2 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ konsentratsiyaga ega boʻlindi (1-rasm)



1-rasm. *D.salina* suvoʻtini 1-bosqichda oʻstirish

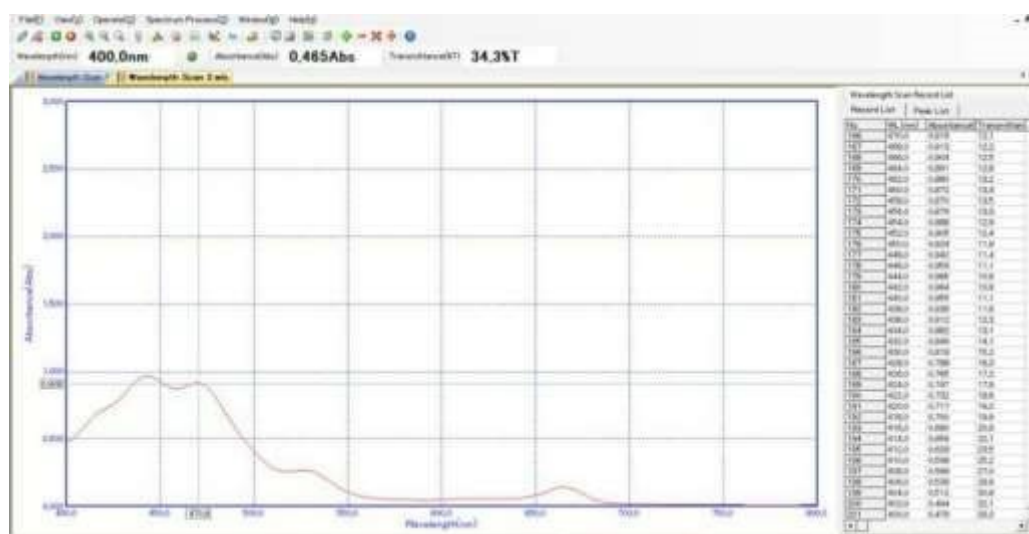
Ikkinchi bosqichli oʻstirish yaʼni stress bosqichida harakatlanuvchi sariq hujayralardagi karotinoidlar miqdori 3% gacha, agar hujayralar kista holatiga oʻtganda esa, 12% gacha yetadi. Tajriba jarayonida NaCl 260 g/l ga yetkazildi, maxsus lampalar yordamida yuqori yorugʻlik bilan taʼminlandi va kultura sekinlik bilan karotinoid yigʻishni boshladi. Kuzatishlar davomida 22 kunda biomassa: $2.2 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$, 40 kunda karotinoidlar: $27 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ga yetdi.

D. salina hujayra soni Goryayev kamerasida sanalganda quyidagi natijaga ega boʻldik, yaʼni 1 mL suspenziyadagi *D. salina* soni $\sim 1.35 \times 10^7$ ga teng (2-rasm).



2-rasm. a) Karotinoid to‘plagan suvo‘t. b) Goryayev kamerasida hujayra sonini sanash

Spektrofotometrik tahlil davomida to‘lqin diapazoni: 400–800 nm oralig‘ida olindi. 96% spirtda tayyorlangan ekstraktlarda spektrofotometrik usul bilan 470.6 nm 0.908 absorbsiyada 2.90 $\mu\text{g/mL}$ natija olindi.



3-rasm. *D. salina* pigmentlarining spektrofotometrik tahlili Xulosa

O‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, *D. salina* biomassasi yuqori biologik faol komponentlarga boy bo‘lib, uning asosiy qismi pigmentlar (β -karotin, xlorofill a va b, umumiy karotinoidlar) va metabolitlardan (lipidlar, polifenollar, glitserol) tashkil topgan. Ushbu biofaol komponentlar mikrosuvo‘tga stress sharoitlariga moslashish va antioksidant himoya funksiyalarini bajarishda muhim ahamiyatga ega.

Ikki bosqichli o‘stirish davomida karotinoidlar (b-karotin) sinteziga erishildi va $27 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ miqdor kuzatildi, bu yuqori biofaollikni tasdiqlaydi. Spektrofotometrik tahlil natijalari *D. salina* ning β -karotin va boshqa karotinoidlar ishlab chiqarish uchun yuqori potensialga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Shu bilan birga, tadqiqotlar *D. salina* ning pigmentlar va metabolitlar tarkibi, o‘stirish sharoitlariga moslashuvchanligi va stress ostida biofaol komponentlar yig‘ilishi haqida ilmiy asosli ma’lumotlarni taqdim etadi. Bu natijalar mikrosuvo‘tlardan biofaol moddalar olish va ularni oziq-ovqat, farmatsevtika, kosmetologiya hamda biotexnologiyaning barcha sohalarida qo‘llash uchun mustahkam ilmiy asos yaratadi. Tadqiqot natijalariga asoslangan holda 8 bosqichli grafikli dizayn yaratildi (4-rasm).



4-rasm. *D. salina* mikrosuvoʻtidan b-karotinni ajratish olishning grafikli dizayni

Foydalanilgan adabiyotlar roʻyxati

1. Araj-Shirvani, M., Honarvar, M., Jahadi, M., & Mizani, M. (2024). Biochemical profile of *Dunaliella* isolates from different regions of Iran with a focus on pharmaceutical and nutraceutical potential applications. *Food Science & Nutrition*, 12(7), 4914–4926. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4137>
2. Arun, N., & Singh, D. P. (2016). A review on pharmacological applications of halophilic alga *Dunaliella*. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 45(3), 440–447.
3. Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25(2), 207–210. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
4. Ben-Amotz, A., Polle, J. E. W., & Subba Rao, D. V. (Eds.). (2009). *The alga Dunaliella: Biodiversity, physiology, genomics and biotechnology*. Science Publishers.
5. Borowitzka, M. A. (2013). High-value products from microalgae—Their development and commercialisation. *Journal of Applied Phycology*, 25, 743–756. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-9983-9>
6. Borowitzka, M., & Borowitzka, L. J. (1989). Beta-carotene (provitamin A) with algae. In *Biotechnology of vitamins, pigments and growth factors* (Vol. 1, pp. 15–26). Elsevier.
7. Dunal, F. (1838). Extrait d'un mémoire sur les algues qui colorent en rouge certains eaux des marais salants méditerranéens. *Annales des Sciences Naturelles, Botanique*, 18, 172.
8. Grima, E. M., Belarbi, E.-H., Fernández, F. A., Medina, A. R., & Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: Process options and economics. *Biotechnology Advances*, 20, 491–515. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(02\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(02)00050-2)
9. Hadi, M. R., Shariati, M., & Afsharzadeh, S. (2008). Microalgal biotechnology: Carotenoid and glycerol production by the green algae *Dunaliella*

isolated from the Gave-Khooni salt marsh, Iran. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 13, 540–544. <https://doi.org/10.1007/s12257-007-0185-7>

10. Hosseini Tafreshi, A., & Shariati, M. (2009). *Dunaliella* biotechnology: Methods and applications. *Journal of Applied Microbiology*, 107, 14–35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04153.x>

11. Li, Y., Huang, X., Luo, L., & Shang, C. (2022). Optimization of extraction conditions of carotenoids from *Dunaliella parva* by response surface methodology. *Molecules*, 27(4), 1444. <https://doi.org/10.3390/molecules27041444>

12. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents.

Biochemical Society Transactions, 11(5), 591–592.

<https://doi.org/10.1042/bst0110591>

13. Prieto, A., Cañavate, J. P., & García-González, M. (2011). Assessment of carotenoid production by *Dunaliella salina* in different culture systems and operation regimes. *Journal of Biotechnology*, 151(2), 180–185. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2010.11.011>

14. Shaish, A., Harari, A., Hananshvili, L., Cohen, H., Bitzur, R., & Harats, D. (2006). 9-cis β -carotene-rich powder of the alga *Dunaliella bardawil* increases plasma HDL-cholesterol in fibrate-treated patients. *Atherosclerosis*, 189, 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2005.12.004>

15. Silva, M. R. O. B. D., Moura, Y. A. S., Converti, A., Porto, A. L. F., Viana Marques, D. D. A., & Bezerra, R. P. (2021). Assessment of the potential of *Dunaliella* microalgae for different biotechnological applications: A systematic review. *Algal Research*, 58, 102396. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102396>

16. Tanoeiro, J. R., Fehrenbach, G. W., Murray, P., Pedrosa, R., & Chen, Y. (2024). Evaluation of *Dunaliella salina* growth in different salinities for potential application in saline water treatment and biomass production. *Aquaculture Journal*, 4(3), 92–103. <https://doi.org/10.3390/aquacj4030007>

17. Tonkih, A. K., Baymurzaev, E. N., & Verushkina, O. A. (2024). Культивирование микроводоросли *Dunaliella salina* на открытом воздухе в

сравнительном анализе. *International Scientific Journal “Science and Innovation”*, 1564–1570.

18. Yao, S., Lu, J., Sárossy, Z., Baggesen, C., Brandt, A., & An, Y. (2016). Neutral lipid production in *Dunaliella salina* during osmotic stress and adaptation. *Journal of Applied Phycology*, 28, 2167–2175. <https://doi.org/10.1007/s10811-0160794-7>

19. Ye, Z.-W., Jiang, J.-G., & Wu, G.-H. (2008). Biosynthesis and regulation of carotenoids in *Dunaliella*: Progresses and prospects. *Biotechnology Advances*, 26, 352–360. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.03.004>

20. Zarandi-Miandoab, L., Hejazi, M.-A., Bagherieh-Najjar, M.-B., & Chaparzadeh, N. (2019). Optimization of the four most effective factors on β carotene production by *Dunaliella salina* using response surface methodology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 18, 1566. <https://doi.org/10.22037/ijpr.2019.1100752>