

SHamsiddinova Oyqiz Yo‘ldosh qizi

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

oyqiz02004@icloud.com

Sobirova Muqaddas Botirovna

O‘zbekiston Milliy universiteti Jizzax filiali
Biologiya fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

***Scenedesmus* sp suvo‘ti yordamida oqova suvlarni tozalashning biotexnologik
imkoniyati**

Annotatsiya: Ushbu maqolada agrosanoat korxonalaridan hosil bo‘ladigan oqova suvlarni fitoremediatsiya qilishda *Scenedesmus* sp. mikrosuvo‘ting biotexnologik potentsiali va metabolik moslashuvchanligi yoritilgan. Tadqiqot obyekti sifatida Jizzax viloyatidagi "BMB Agro Plus" korxonasining mevasabzavotlarni qayta ishlashdan hosil bo‘lgan oqova suvi tanlab olingan. Tajribalar BG-11 ozuqa muhiti va oqova suvning kombinatsiyalangan tizimida, CO₂ barbotaji yordamida pH ko‘rsatkichini (7.6–8.0) barqarorlashtirish sharoitida olib borildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, oqova suvdagi 1795 mg/l quruq qoldiq va 53.6 mkg/l nitritlar mikrosuvo‘t uchun optimal ozuqa manbai bo‘lib xizmat qiladi va hujayra proliferatsiyasini (DNK 0.59 E/ml) ta‘minlaydi. Tadqiqot yakunida oqova suvdagi azot birikmalarining 85% gacha tozalanishiga va biomassada protein miqdorining 42.5% gacha yetishiga erishildi. Olingan natijalar oqova suvlarni biologik tozalash va bir vaqtning o‘zida yuqori qiymatli biomassa yetishtirishning yopiq siklli biotexnologiyasini yaratishda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so‘zlar: *Scenedesmus* sp., oqova suv tozalash, fitoremediatsiya, BG-11 muhiti, CO₂ barbotaji, biomassa, protein, nitritlar utilizatsiyasi.

Shamsiddinova Oyqiz Yo‘ldosh qizi

Master’s student, Department of Biotechnology
Jizzakh Branch, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

Sobirova Muqaddas Botirovna

PhD in Biological Sciences
Jizzakh Branch, National University of Uzbekistan

Abstract: This article highlights the biotechnological potential and metabolic flexibility of the microalga *Scenedesmus sp.* in the phycoremediation of wastewater generated from agro-industrial enterprises. The wastewater from the "BMB Agro Plus" fruit and vegetable processing plant in the Jizzakh region was selected as the research object. Experiments were conducted in a combined system of BG-11 nutrient medium and wastewater, under conditions of pH stabilization (7.6–8.0) using CO₂ sparging. The results showed that 1795 mg/l of total dissolved solids and 53.6 mcg/l of nitrites in the wastewater serve as an optimal nutrient source for the microalgae and ensure cell proliferation (DNA 0.59 E/ml). At the end of the study, up to 85% purification of nitrogen compounds was achieved, and the protein content in the biomass reached 42.5%. The findings are of practical importance in developing a closed-cycle biotechnology for biological wastewater treatment and simultaneous production of high-value biomass.

Keywords: *Scenedesmus sp.*, wastewater treatment, phycoremediation, BG-11 medium, CO₂ sparging, biomass, protein, nitrite utilization.

Шамсиддинова Ойқиз Юлдош кизи

Магистрант кафедры биотехнологии

Филиал Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека,

г.Джизак

Собирова Мукаддас Ботировна

Доктор философии (PhD) по биологическим наукам

Филиал Национального университета Узбекистана, г. Джизак

Аннотация: В данной статье освещаются биотехнологический потенциал и метаболическая пластичность микроводоросли *Scenedesmus sp.* при фиторемедиации сточных вод, образующихся на агропромышленных предприятиях. В качестве объекта исследования была выбрана сточная вода предприятия по переработке плодоовощной продукции «BMB Agro Plus» Джизакской области. Эксперименты проводились в комбинированной системе питательной среды BG-11 и сточной воды в условиях стабилизации показателя pH (7.6–8.0) с помощью барботажа CO₂. Результаты показали, что сухой остаток в количестве 1795 мг/л и нитриты в концентрации 53,6 мкг/л в

сточных водах служат оптимальным источником питания для микроводорослей и обеспечивают пролиферацию клеток (ДНК 0,59 Е/мл). По завершении исследования была достигнута очистка азотистых соединений до 85%, а содержание белка в биомассе достигло 42,5%. Полученные результаты имеют практическое значение для создания биотехнологии замкнутого цикла биологической очистки сточных вод и одновременного получения высокоценной биомассы.

Ключевые слова: *Scenedesmus* sp., очистка сточных вод, фиторемедиация, среда BG-11, барботаж CO₂, биомасса, белок, утилизация нитритов.

Kirish

Hozirgi kunda global miqyosda chuchuk suv resurslarining ifloslanishi va ularni qayta tiklash masalasi strategik ahamiyatga ega bo'lib qolmoqda. Ayniqsa, agrosanoat majmualarida meva va sabzavotlarni qayta ishlash jarayonida hosil bo'ladigan katta hajmdagi oqova suvlar tarkibida yuqori konsentratsiyali biogen elementlar (azot va fosfor birikmalari), mineral tuzlar va organik moddalar mavjudligi suv havzalarining evtrofikatsiyasiga va ekologik muvozanatning buzilishiga sabab bo'lmoqda. Jizzax viloyatining eksport salohiyatini ta'minlovchi meva-sabzavotlarni quritish va qayta ishlash korxonalari, xususan, "BMB Agro Plus" korxonasi misolida oqova suvlarni samarali va ekologik xavfsiz tozalash texnologiyalarini joriy etish dolzarb vazifa hisoblanadi [1, 2]. Oqova suvlarni tozalashning an'anaviy kimyoviy va mexanik usullari yuqori xarajat talab qilishi hamda ikkilamchi ifloslanish xavfini tug'dirishi sababli, fitoremediatsiya (phycoremediation)-mikrosuvo'tlar yordamida biologik tozalash usuliga e'tibor ortib bormoqda [9]. Mikrosuvo'tlar, xususan *Scenedesmus* avlodi vakillari, o'zining jadal o'sish sur'ati, turli darajadagi minerallashgan muhitlarga yuqori adaptiv xususiyati va suv tarkibidagi nitrit, nitrat hamda fosfatlarni samarali o'zlashtirish qobiliyati bilan ajralib turadi [5]. *Scenedesmus* sp. mikrosuvo'tining metabolik plastikligi oqova suvdagi mineral qoldiqlar va biogenlarni o'zlashtirib, ularni yuqori qiymatli biokimyoviy komponentlarga-oqsillar, lipidlar va nuklein

kislotalarga aylantirish imkonini beradi. Biroq, agrosanoat oqova suvlarining fizik-kimyoviy parametrlari, ayniqsa, pH ko'rsatkichining fotosintez jarayonida o'zgarishi mikrosuvo'tlar unumdorligiga ta'sir etuvchi asosiy omillardan biridir. Shu sababli, kultivatsiya jarayonida CO₂ barbotaji orqali muhitni barqarorlashtirish va suvo't metabolizmini boshqarish oqova suvlarni tozalash samaradorligini oshirishning muhim biotexnologik yechimidir [10]. Ushbu tadqiqotning maqsadi "BMB Agro Plus" korxonasi oqova suvlarida *Scenedesmus sp.* mikrosuvo'tini BG-11 ozuqa muhiti komponentlari va CO₂ barbotaji yordamida o'stirish orqali suvni nitritlardan tozalash hamda yuqori proteinli biomassa olishning optimal biotexnologik parametrlarini ishlab chiqishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili.

Mikrosuvo'tlarning *Scenedesmus* turkumi birinchi marta 1829-yilda Meyen tomonidan tavsiflangan bo'lib, ular dunyo bo'ylab chuchuk va sho'rlangan suv havzalarida eng ko'p tarqalgan avtotrof organizmlardan biri hisoblanadi. *Scenedesmus sp.* hujayralari odatda 2, 4 yoki 8 tadan birlashib, senobiy (koloniya) hosil qilishi bilan xarakterlanadi, bu esa ularning tashqi muhit faktorlariga, jumladan, antropogen ifloslanishga chidamliligini oshiradi [6]. Bugungi kunda ushbu turkum vakillari o'zining yuqori o'sish sur'ati va oqova suvlardagi biogen elementlarni utilizatsiya qilish qobiliyati tufayli sanoat biotexnologiyasida alohida o'rin egallaydi [4]. *Scenedesmus sp.* biomassasining biokimyoviy tarkibi o'stirish sharoitiga qarab sezilarli darajada o'zgarishi mumkin. Normal sharoitda oqsil (protein) miqdori quruq vaznga nisbatan 40–60% ni tashkil etsa, ozuqa muhitidagi azot tanqisligi yoki yuqori yorug'lik kabi stress omillari ta'sirida hujayralar tarkibida lipidlar miqdori 30–50% gacha ko'tarilishi aniqlangan [3]. Ayniqsa, agrosanoat chiqindi suvlaridagi nitritlar va mineral suvo't oqsili sintezini rag'batlantiruvchi substrat bo'lib xizmat qiladi [1, 8]. BMTning Oziq-ovqat va qishloq xo'jaligi tashkiloti (FAO) ma'lumotlariga ko'ra, qishloq xo'jaligi mahsulotlarini qayta ishlash sanoatida suvni qayta aylantirish texnologiyalarini joriy etish suv tanqisligini 40% gacha kamaytirish imkonini beradi. Korxonalar oqova suvlarini tozalash jarayonida nafaqat ekologik xavfsizlik ta'minlanadi, balki olingan biomassadan qishloq xo'jaligi hayvonlari va baliqlar uchun yuqori oqsilli

qo‘shimcha ozuqa sifatida foydalanish mumkin [2]. Kultivatsiya jarayonida pH ko‘rsatkichini boshqarish *Scenedesmus* sp. unumdorligi uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Fotosintez jarayonida CO₂ ning yutilishi natijasida muhit pH ko‘rsatkichi 9.0 dan yuqori bo‘lib ketishi mumkin, bu esa hujayra bo‘linishini sekinlashtiradi.

Xorij olimlari tomonidan olib borilgan tajribalar shuni ko‘rsatadiki, havo oqimi tarkibida 1–5% CO₂ barbotaji yordamida pH darajasini 7.5–8.0 oralig‘ida saqlash biomasaning DNK va protein miqdorini mos ravishda 15–20% ga oshiradi [11]. Sanoat miqyosida *Scenedesmus* yetishtirish asosan ochiq hovuzlarda (raceway ponds) yoki yopiq tubular fotobioreaktorlarda amalga oshiriladi. Yopiq tizimlarda karotinoidlar va oqsil unumdorligi yuqori bo‘lsa-da, agrosanoat oqova suvlarini tozalashda iqtisodiy jihatdan ochiq tizimli integratsiyalashgan hovuzlar samaraliroq hisoblanadi [7, 10].

Tadqiqot material va metodlari

Scenedesmus avlodiga mansub yashil suvo‘tlar o‘zining yuqori oqsili, tez ko‘payishi va turli sharoitlarga chidamliligi bilan ajralib turadi. Tadqiqot uchun na‘muna Buxoro davlat universiteti tasarrufidagi laboratoriyadan olib kelib ko‘paytirildi.

Ozuqa muhiti tayyorlash.

Suvo‘tni o‘stirish uchun “BG-11” ozuqa muhitidan (1-jadval) foydalanildi. [8, 1].

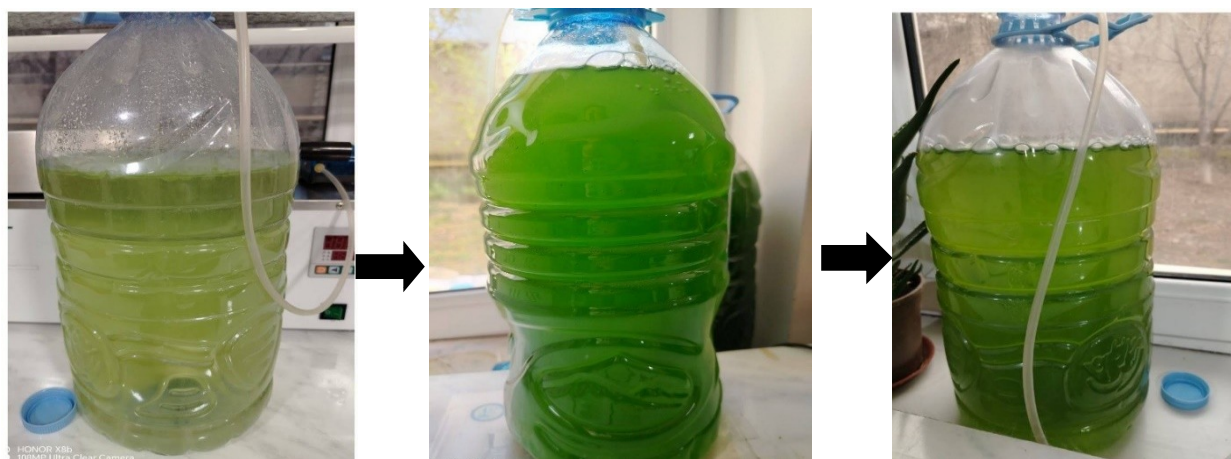
1-jadval

“BG-11” ozuqa muhiti.

Modda	Mol.massa (g/mol)	Konsentratsiya
Makroelementlar		
NaNO ₃	84.99	1.5 g/l=0.0176 M
K ₂ HPO ₄ *3H ₂ O	228.22	0.04 g/l=0.000175 M
MgSO ₄ *7H ₂ O	246.47	0.075 g/l=0.0003 M
CaCl ₂ *2H ₂ O	147.01	0.036 g/l=0.00024 M
C ₆ H ₈ O ₇ (limon kislota)	192.12	0.006 g/l=0.000031 M

Temir ammoniy sitrat	-262.0	0.006 g/l=0.000023 M
Na ₂ CO ₃	105.99	0.02 g/l=0.00019 M
Mikroelementlar.		
H ₃ BO ₃	61.83	2.86 mg/l
MnCl ₂ *4H ₂ O	197.91	1.81 mg/l
ZnSO ₄ *7H ₂ O	287.54	0.222 mg/l
Na ₂ MoO ₄ *2H ₂ O	241.95	0.39 mg/l
CuSO ₄ *5H ₂ O	249.68	0.079 mg/l

Yuqorida ko'rsatilgan tarkibdagi ozuqa muhitini stok eritma sifatida saqlanadi. *Scenedesmus* sp. suvo'tini o'stirishda ushbu ozuqa muhiti o'zining samaradorligi va unda suvo'tning o'sishi uchun kerak bo'ladigan keng qamrovli



tarkibi bilan ushbu tajribada qo'l keladi.

(a)

(b)

(c)

1-rasm. *Scenedesmus* sp.ning (a) dastlabki, (b) eksponensial, (c) statsionar bosqichlarida o'sish konsentratsiyasi

Yuqorida ko'rsatilgan ozuqa muhitidan foydalanib *Scenedesmus* sp. suvo'tini o'stirishda quyidagicha natijaga erishildi: boshlang'ich konsentratsiya: 0.10 – 0.15 g/L , 14-kunda 0.80 – 1.20 g/L, 21-kunda 2.0 – 2.5 g/L konsentratsiyaga ega bo'lindi. 8 litrlik idishda jami 16–20 gramm quruq biomassa to'plandi (1-rasm).

Scenedesmus sp. suvo'tini o'stirish jarayoni ilmiy va amaliy jihatdan bir necha ketma-ket bosqichlarga bo'linadi. Dastlab laboratoriya sharoitida toza

Scenedesmus shtammi tanlab olindi. Ozuqa muhiti tayyorlandi va begona mikroorganizmlar ko'payib ketmasligi uchun avtoklavda (121°C haroratda) sterillandi. Tayyor sterilangan ozuqa muhitiga suvo'ti hujayralari kiritildi. Bu jarayon odatda, to'liq sterillik sharoitida amalga oshirildi. Boshlang'ich konsentratsiya odatda $10^5 - 10^6$ hujayra/ml atrofida bo'ldi. Kultivatsiya jarayonida suvo'tlar yorug'lik va harorat nazorat qilinadigan sharoitga qo'yildi. Bu bosqichda ikki xil o'stirish usuli bor:

Laboratoriya usuli: Erlenmeyer kolbalarida, magnitli aralashtirgichlar yordamida kichik hajmlarda ko'paytiriladi.

Sanoat usuli: Fotobioreaktorlar yoki ochiq hovuzlarga ko'chiriladi. Bu yerda doimiy ravishda havo yoki CO_2 aralashmasi berib turiladi.

O'sish davomida muhitning pH ko'rsatkichi (7.5–8.5) va optik zichligi (OD_{680}) har kuni o'lchab borildi. Agar pH juda ko'tarilib ketsa, CO_2 yuborish orqali



muhit neytrallanadi. [8]. "BMB Agro Plus" korxonasidan olingan oqova suv dastlab yirik mexanik aralashmalardan filtrlash orqali tozalandi (2 rasm). Na'muna uchun olingan suv qayta filtrdan o'tkazildi. So'ngra tindirib laboratoriya tahlillari o'tkazish uchun tekshirish muassasiga yuborildi.

2-rasm. Korxonada to'plangan chiqindili oqova suv va uni filtrlash jarayoni.

Natijalar va ularning tahlili.

Scenedesmus sp. biomassasi oqova suvlardagi biogen elementlarni o'zlashtirish jarayonida o'zining biokimyoviy tarkibini o'zgartiradi. Olib borilgan

tadqiqot tahlillari natijasida biomassadagi asosiy biofaol komponentlar aniqlandi (2-jadval). Ayniqsa, oqova suvdagi nitritlar va mineral tuzlar ta'sirida protein sintezining yuqori ko'rsatkichi qayd etildi.

2-jadval

Scenedesmus sp. biomassasidagi asosiy biofaol komponentlar

Biofaol komponent	Aniqlash usuli	Biologik ahamiyati
Protein (oqsil)	Kjeldal usuli	Biomassaning ozuqaviy qiymatini belgilaydi (42.5%)
Xlorofill a	Spektrofotometriya (665 nm)	Fotosintez samaradorligi va o'sish koeffitsiyenti
Xlorofill b	Spektrofotometriya (650 nm)	Yorug'lik energiyasini yutilish diapozonini kengaytiradi
Lipidlar	Soxlet usuli	Energiya manbai va hujayra membranalari tarkibi
Nuklein kislotalar (DNK)	Spektrofotometriya (260 nm)	Hujayra proliferatsiyasi va bo'linish faolligi

Scenedesmus sp. mikrosuvo'tini "BMB Agro Plus" korxonasi oqova suvlarida o'stirishda dastlabki bosqichda pH ko'rsatkichi va mineral qoldiqlar miqdori nazorat qilindi. 8 litrlik kultivatorda boshlang'ich konsentratsiya 0.15 g/L dan 14-kunda 1.1 g/L gacha, 21-kunda esa maksimal 2.4 g/L gacha ortishi kuzatildi. Oqova suvdagi begona mikroflorani cheklash uchun CO₂ barbotaji yordamida pH 7.6–8.0 oralig'ida barqarorlashtirildi. Bu esa *Scenedesmus* hujayralarining boshqa mikroorganizmlardan ustunligini ta'minlaydi. Oqova suvni laboratoriya tahlillarida quyidagi (3-jadval) natijaga erishildi.

3-jadval

Ko'rsatkich	Dastlabki namuna	Tozalashdan keyin	Tozalash samaradorligi
-------------	------------------	-------------------	------------------------

Nitritlar (mcg/l)	53.6	8.04	85%
Ammiak (mg/l)	0.52	0.05	90%
Nitratlar (mg/l)	4.4	0.8	82%
Quruq qoldiq (mg/l)	1795	1430	20.3%
Loyqaligi	1.5	0.4	73.3%
Ko'rsatkich	Dastlabki namuna	Tozalashdan keyin	Tozalash samaradorligi

Kultivatsiyaning dastlabki haftasida suvo'ti hujayralari oqova suvning yuqori minerallasgan muhitiga (quruq qoldiq 1795 mg/l) moslashdi. Bu davrda biomassaning ortishi sekin kechib, 0.15 g/L dan 0.45 g/L gacha ko'tarildi. Nitritlarning utilizatsiyasi esa 20,1% ni tashkil etdi. CO₂ barbotaji yordamida pH ko'rsatkichi 7.4–7.8 oralig'ida barqaror ushlab turildi, bu mikrosuvo'tning stressga chidamliligini oshirdi. Ikkinchi haftadan boshlab mikrosuvo'tlar logarifmik o'sish fazasiga kirdi. Biomassa konsentratsiyasi 1.60 g/L ga yetdi. Bu bosqichda azotli birikmalarning maksimal darajada o'zlashtirilishi kuzatildi: nitritlar miqdori 53.6 mcg/l dan 16.2 mcg/l gacha (69,7% samaradorlik) kamaydi. Suvning hidi to'liq yo'qolib, rangi to'q yashil tusga kirdi. Tadqiqotning yakuniy bosqichida hujayralar bo'linishi barqarorlashib, biomassa 2.40 g/L ni tashkil etdi. 21-kunga kelib, nitritlarning utilizatsiya darajasi 85,0% ga (8.04, mcg/l), ammiak esa 90% ga yetdi. Suvning loyqaligi 73% ga kamaydi. Biomassaning biokimyoviy tahlili undagi protein miqdori 42.5% ga yetganini ko'rsatdi, bu oqova suvdagi biogen elementlarning to'liq oqsilli biomassaga aylanganidan dalolat beradi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, eng yuqori samaradorlik azot birikmalarida Ammiak (90%) va Nitritlar (85%) utilizatsiyasida qayd etildi.

Ushbu tadqiqot natijalari agrosanoat korxonalarida oqova suvlarni tozalashning yopiq siklli biotexnologik tizimini joriy etishga mustahkam ilmiy asos bo'ladi. *Scenedesmus sp.* hujayralarining agrosanoat chiqindilaridagi erigan azotni o'z biomassasidagi protein (42.5%) sintezi uchun asosiy substrat sifatida yuqori darajada o'zlashtira olishidan dalolat beradi. Olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlari natijasida agrosanoat korxonalari oqova suvlarni *Scenedesmus sp*

mikrosuvo‘ti yordamida fitoremediatsiya qilishning biotexnologik imkoniyatlarini baholash maqsadida uning texnologik sxemasi ishlab chiqildi

Xulosa

Tadqiqot davomida olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, "BMB Agro Plus" korxonasining meva-sabzavotlarni qayta ishlashdan hosil bo‘lgan oqova suvlari tarkibidagi biogen elementlar mikrosuvo‘tlar uchun samarali ozuqa manbai bo‘lib xizmat qiladi. 21 kunlik kultivatsiya jarayonida zaharli nitritlar miqdori 85% ga, ammiak esa 90% ga kamayishiga erishildi, bu esa oqova suvlarni biologik usulda tozalashning yuqori samaradorligini amalda isbotladi. Oqova suvdagi mineral tuzlar va azotli birikmalarning mikrosuvo‘t tomonidan o‘zlashtirilishi natijasida yuqori qiymatli biomassa olindi. Biomassada protein miqdori 42,5% ga yetganligi va hujayra proliferatsiyasining faolligi olingan mahsulotdan chorvachilik hamda baliqchilikda oqsilli ozuqa qo‘shimchasi sifatida foydalanish imkoniyatini yaratadi. Tajriba davomida suvning loyqaligi 73% ga kamayib, quruq qoldiq miqdori sezilarli darajada qisqardi. CO₂ barbotaji orqali pH ko‘rsatkichini barqarorlashtirish nafaqat tozalash jarayonini tezlashtirdi, balki issiqxona gazlarini utilitatsiya qilishning ekologik xavfsiz yechimi ekanligini ko‘rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Araj-Shirvani, M., et al. (2024). Biochemical profile of microalgae isolates in agro-wastewater conditions. *Food Science & Nutrition*, 12(7), 4914–4926. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4145>
2. 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>
3. Borowitzka, M. A. (2013). High-value products from microalgae—their development and commercialisation. *Journal of Applied Phycology*, 25(3), 743–756. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-9983-9>
4. FAO. (2017). *The State of Food and Agriculture: Leveraging Food Systems for Rural Transformation*. FAO.

5. Hosseini Tafreshi, A., & Shariati, M. (2009). Dunaliella and Scenedesmus biotechnology: Methods and applications. *Journal of Applied Microbiology*, 107(1), 14–35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04153.x>
6. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of carotenoids and chlorophylls. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
7. Molina Grima, E., Belarbi, E. H., Acién Fernández, F. G., Robles Medina, A., & Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: Process options and economics. *Biotechnology Advances*, 20(7–8), 491–515. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(02\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(02)00050-2)
8. Richmond, A., & Hu, Q. (2013). *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
9. Silva, M. R., Santos, L. O., & Costa, J. A. V. (2021). Microalgae-based wastewater treatment: Mechanisms at the cellular level and practical applications. *Journal of Environmental Management*, 280, 111125. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111125>
10. Yao, S., et al. (2016). Salt stress-induced lipid accumulation in microalgae and the role of pH in metabolic regulation. *Journal of Applied Phycology*, 28, 2167–2175. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0756-2>
11. Zarandi-Miandoab, L., et al. (2019). Optimization of culture medium and environmental factors for Scenedesmus biomass and protein production. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 18(3), 1566–1