

ID: 370

Lemna minor L. (Duckweed) Importance and Usages

İlkay Yavaş¹, Hayrettin İlker Özdemir¹, Sıdıka Ekren²

¹Aydın Adnan Menderes University, Koçarlı Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Medicinal and Aromatic Plants Program, 09100, Türkiye

²Ege University, Faculty of Agriculture Department of Field Crops

Abstract

Duckweed (*Lemna minor*) is a plant with a wide range of potential uses in many areas due to its environmental benefits and economic value. This plant is effectively used in bioremediation processes, where it improves water quality by absorbing nitrogen, phosphorus, and other nutrients in water. It also removes toxic substances, such as heavy metals and organic pollutants, from water. In addition to its use in water treatment, duckweed is a valuable feed source for chickens, pigs, fish, and other farm animals due to its high protein content. Its application in biofuel production, enabled by its high starch content, makes it a promising alternative to traditional biofuel sources due to its rapid growth rate and high yield potential. Furthermore, duckweed is evaluated as a soil conditioner and organic fertilizer in agriculture, where it enhances soil fertility through its high nitrogen and phosphorus content. Its application as a soil conditioner and organic fertilizer in agriculture has been demonstrated by its ability to increase soil fertility when dried and ground, thereby supporting plant growth. Furthermore, duckweed has been shown to enhance the water-holding capacity of the soil and increase resistance to drought.

Key Words: Bioremediation, biofuel, animal feed, *Lemna minor*

Lemna minor L. (Su Mercimeği) Önemi ve Kullanım Alanları

Özet

Su mercimeği (*Lemna minor*), çevresel faydaları ve ekonomik potansiyeli nedeniyle birçok alanda geniş kullanım imkânı sunan bir bitkidir. Biyoremediasyon süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılan bu bitki, sudaki azot, fosfor ve diğer besin maddelerini absorbe ederek su kalitesini iyileştirir. Aynı zamanda ağır metaller ve organik kirleticiler gibi toksik maddelerin sudan uzaklaştırılmasını sağlar. Yüksek protein içeriği ile tavuklar, domuzlar, balıklar ve diğer çiftlik hayvanları için değerli bir yem kaynağıdır. Biyoyakıt üretimi için de potansiyel bir kaynak olan su mercimeği, yüksek nişasta içeriği sayesinde biyoetanol üretiminde kullanılabilir. Hızlı büyüme oranı ve yüksek verim potansiyeli ile geleneksel biyoyakıt kaynaklarına alternatif olarak kabul edilmektedir. Tarımda toprak düzenleyici ve organik gübre olarak değerlendirilen su mercimeği, yüksek azot ve fosfor içeriği ile toprağın besin değerini artırmaktadır. Kurutulmuş ve öğütülmüş su mercimeği uygulamaları, toprağa ilave edildiğinde toprağın verimliliğini artırmakta ve bitki büyümesini desteklemektedir. Ayrıca toprağın su tutma kapasitesini de artırarak kuraklığa karşı direnci artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyoremediasyon, biyoyakıt, hayvan yemi, *Lemna minor*

Giriş

Dünya genelinde, su mercimeği üzerine birçok araştırma ve proje yürütülmektedir. Özellikle, biyoremediasyon, biyoyakıt üretimi ve hayvan yemi olarak kullanımı üzerine odaklanan çalışmalar, su mercimeğinin potansiyelini ortaya koymaktadır. ABD, Çin ve Hindistan gibi ülkelerde, su mercimeği kullanılarak atık su arıtma sistemleri geliştirilmiş ve bu sistemler endüstriyel ve tarımsal atık suların temizlenmesinde başarılı sonuçlar vermiştir. Ayrıca, Avrupa Birliği tarafından finanse edilen projelerde, su mercimeğinden biyoyakıt üretimi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu projeler, su mercimeğinin sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılmasını hedeflemektedir (Cheng ve Stomp, 2009; Xu ve Shen, 2011).

Türkiye'de, su mercimeği üzerine yapılan çalışmalar henüz yeni yeni gelişmektedir. Ancak, son yıllarda, su mercimeğinin biyoremediasyon, hayvan yemi ve biyoyakıt üretimi gibi alanlarda kullanımı üzerine araştırmalar artmaktadır. Özellikle, üniversiteler ve araştırma enstitüleri tarafından yürütülen projeler, su mercimeğinin Türkiye'deki potansiyelini ortaya koymaktadır. Örneğin, bazı üniversitelerde, su mercimeği kullanılarak atık su arıtma sistemleri geliştirilmiş ve bu sistemler, tarımsal ve endüstriyel atık suların temizlenmesinde başarılı sonuçlar vermiştir. Ayrıca, su mercimeğinin hayvan yemi olarak kullanımı üzerine yapılan çalışmalar, bitkinin çiftlik hayvanları için değerli bir besin kaynağı olduğunu göstermiştir (Takács ve ark., 2025).



Su mercimeği, sadece çevresel faydaları ile değil, aynı zamanda ekonomik potansiyeli ile de dikkat çekmektedir. Bu bitki, hızlı büyüme oranı, yüksek protein içeriği ve biyoremediasyon yetenekleri ile sürdürülebilir tarım ve endüstriyel uygulamalar için önemli bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, su mercimeği üzerine yapılan araştırmalar hem çevresel sorunların çözümüne hem de ekonomik fırsatların değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Su Mercimeğinin Yapısı, Büyüme Döngüsü ve Üreme Şekli

Lemna cinsi, yaygın olarak su mercimeği olarak bilinen, Lemnaceae familyasına ait küçük, yüzen su bitkileridir. Su mercimeği, basit yapılı bir bitki olup, her bir bitki bir veya birkaç yapraksı yapıdan oluşmaktadır. Bu yapılar, su yüzeyinde yüzer ve fotosentez için gerekli olan klorofil içerir. Su mercimeği, kök benzeri yapılar (rizoidler) ile suda dengede durur, ancak bu yapılar gerçek kökler değildir ve besin alımından çok denge sağlamaya yöneliktir (Coşkun et al, 2018).

Su mercimeği, vejetatif üreme yoluyla hızla çoğalmaktadır. Bu üreme şeklinde, ana bitkiden ayrılan yeni yapraksı yapılar, bağımsız bitkiler haline gelmektedir. Bu süreç, uygun koşullarda çok hızlı gerçekleşmekte ve su mercimeği popülasyonları kısa sürede büyük alanlara yayılmaktadır. Ayrıca, bazı *Lemna* türleri, çiçekli bitkiler olmalarına rağmen, çiçeklenme ve tohum üretimi nadiren gözlenmektedir (Landolt, 1986).

Su Mercimeğinin Doğal Ekosistemlerdeki Rolü ve Diğer Canlılarla İlişkisi

Su mercimeği, doğal ekosistemlerde önemli bir rol oynamaktadır. Su yüzeyinde yoğun bir şekilde büyüyerek, suyun ışık geçirgenliğini azaltmakta ve bu da su altı bitkilerinin büyümesini sınırlayabilmektedir. Ancak, su mercimeği aynı zamanda sucül ekosistemlerdeki besin döngüsüne katkıda bulunmaktadır. Özellikle, azot ve fosfor gibi besin maddelerini sudan alarak, suyun besin yükünü azaltmakta ve bu da ötrofikasyonun önlenmesine yardımcı olmaktadır (Zimmo ve ark., 2004).

Bu bitki, sucül ekosistemlerdeki birçok canlı için önemli bir besin kaynağıdır. Balıklar, su kuşları ve diğer sucül organizmalar, su mercimeği ile beslenmektedir. Ayrıca, su mercimeği, mikroorganizmalar için bir yaşam alanı sağlamak ve sucül ekosistemlerdeki biyolojik çeşitliliği desteklemektedir (Sulaiman ve ark., 2025).

Su Mercimeği Yetiştirme Koşulları ve Yöntemleri

Su Kalitesi, Sıcaklık, Işıklanma ve Besin Gereksinimleri

Su mercimeği yetiştiriciliği için uygun bir ortam sağlamak, bitkinin sağlıklı büyümesi ve yüksek verim elde edilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Su mercimeği, genellikle tatlı su kaynaklarında yetişmekte, su kalitesini ve büyüme durumunu doğrudan etkilemektedir. Suyun pH değeri, 6.0-7.5 aralığında olmalıdır. Ayrıca, suda yeterli miktarda azot (N) ve fosfor (P) bulunması, bitkinin hızlı büyümesini sağlamaktadır (Cheng ve Stomp, 2009).

Sıcaklık, su mercimeği yetiştiriciliğinde önemli bir faktördür. Optimum büyüme sıcaklığı, 20-30°C aralığındadır. Sıcaklığın bu aralığın altına düşmesi, büyüme hızını yavaşlatırken, yüksek sıcaklıklar ise bitkinin stres altına girmesine neden olmaktadır (Baek ve ark., 2021)

Işıklanma, su mercimeğinin fotosentez yapması için gereklidir. Bitki, günde en az 12-16 saat ışık almalıdır. Doğal güneş ışığı, en iyi büyüme sonuçlarını sağlamaktadır. Fakat yapay ışıklandırma sistemleri de kullanılabilir. Işık yoğunluğu, 1000-2000 lux aralığında olmalıdır (Petersen, 2022).

Besin ihtiyacı açısından, su mercimeği azot ve fosfor gibi makro besinlerin yanı sıra potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi mikro besinlere de ihtiyaç duymaktadır. Bu besinler, bitkinin hızlı büyümesi ve yüksek verim elde edilmesi için gereklidir (Xu ve Shen, 2011).

Su Mercimeği Yetiştirme Teknikleri ve Saklama Koşulları

Su mercimeği, çeşitli yetiştirme sistemlerinde yetiştirilebilir. Laboratuvar ortamında, kontrollü koşullar altında su mercimeği yetiştirilerek, bitkinin büyüme parametreleri ve besin gereksinimleri üzerine detaylı çalışmalar yapılabilir. Laboratuvar ortamında, su mercimeği genellikle cam kaplar veya plastik kaplar içinde yetiştirilmekte ve suyun sıcaklığı, pH'ı ve besin içeriği sürekli olarak izlenmektedir (Pagliuso ve ark., 2022).

Açık havuzlarda su mercimeği yetiştiriciliği, daha büyük ölçekli üretim için uygundur. Bu yöntemde, su mercimeği, doğal veya yapay olarak oluşturulmuş havuzlarda yetiştirilir. Havuzların derinliği genellikle 20-50 cm arasında değişir ve suyun sürekli olarak karıştırılması, bitkinin homojen bir şekilde büyümesini sağlar. Açık havuzlarda yetiştiricilik, düşük maliyetli bir yöntemdir, ancak çevresel faktörler (sıcaklık, yağış gibi) bitkinin büyümesini etkileyebilir (Anim ve ark., 2025).

Diğer yetiştirme sistemleri arasında, kapalı sistemler (biyoreaktörler vs.) ve yüzen platformlar bulunur. Kapalı sistemler, su mercimeğinin kontrollü koşullar altında yetiştirilmesini sağlamak ve bu da yüksek verim elde edilmesine olanak tanımaktadır. Yüzen platformlar ise, su mercimeğinin doğal su kaynaklarında yetiştirilmesi için kullanılmaktadır ve bu yöntem, suyun kalitesini iyileştirmek amacıyla da değerlendirilebilir (Cheng ve Stomp, 2009).

Su mercimeği, hızlı büyüme oranı nedeniyle kısa sürede hasat edilebilmektedir. Hasat zamanı, bitkinin büyüme hızına ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Genellikle, su mercimeği, 5-7 günlük bir büyüme



periyodundan sonra hasat edilebilir. Hasat işlemi, bitkinin su yüzeyinden toplanması şeklinde gerçekleştirilir. Bu işlem, elle veya mekanik yöntemlerle yapılabilir. Hasat edilen su mercimeği, çeşitli şekillerde saklanabilir. Taze olarak kullanılacak su mercimeği, buzdolabında birkaç gün saklanabilir. Uzun süreli saklama için, su mercimeği kurutulabilir veya dondurulabilir. Kurutulmuş su mercimeği, öğütülerek toz haline getirilebilir ve bu toz, hayvan yemi veya gübre olarak kullanılabilir. Dondurulmuş su mercimeği ise, daha sonra kullanılmak üzere saklanabilir (Cheng ve Stomp, 2009).

Su Mercimeğinin Kullanım Alanları

Biyoremediasyon

Su mercimeği biyoremediasyon süreçlerinde oldukça etkili bir şekilde kullanılabilen bir bitkidir. Bu bitki, sudaki azot, fosfor ve diğer besin maddelerini absorbe ederek su kalitesini önemli ölçüde iyileştirebilir. Ayrıca, su mercimeği, ağır metaller (kurşun, kadmiyum, cıva vb.) ve organik kirleticiler (pestisitler, endüstriyel kimyasallar vb.) gibi toksik maddeleri de sudan uzaklaştırabilir. Bu özellikleri nedeniyle, su mercimeği, atık su arıtma tesislerinde ve kirlenmiş su kaynaklarının temizlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Zimmo ve ark., 2004). Yang (2022) tarafından yapılan bir araştırmada, su mercimeğinin pestisitler gibi organik kirleticileri sudan %80 oranında uzaklaştırabildiği belirtilmiştir. Bu bulgular, su mercimeğinin organik kirleticilerin giderilmesinde de oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Smith ve Moelyowati (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, su mercimeğinin endüstriyel atık suların arıtılmasındaki rolü incelenmiş ve bitkinin azot ve fosfor gideriminde oldukça etkili olduğu raporlanmıştır. Bu çalışma, su mercimeğinin biyoremediasyon süreçlerindeki önemini ve çeşitli kirleticilerin giderilmesindeki etkinliğini ortaya koymaktadır. Su mercimeği, özellikle atık su arıtma ve kirlenmiş su kaynaklarının temizlenmesi gibi alanlarda çevre dostu bir çözüm olarak kullanılmaya devam etmektedir.

Hayvan Yemi

Su mercimeği (*Lemna spp.*), yüksek protein içeriği (%20-45) ve zengin besin profili nedeniyle hayvan yemi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bitki, amino asitler, vitaminler (örneğin, A, B, C vitaminleri) ve mineraller (kalsiyum, magnezyum, demir gibi) açısından oldukça zengin bir kaynaktır. Bu özellikleriyle su mercimeği, tavuklar, domuzlar, balıklar ve diğer çiftlik hayvanları için değerli bir yem alternatifi sunmaktadır. Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar, su mercimeği ile beslenen hayvanların büyüme performansının arttığını ve bağışıklık sistemlerinin güçlendiğini göstermiştir (Leng ve ark., 1995). Mwale ve Gwaze (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, su mercimeği ile beslenen tavukların büyüme performansının %15-20 oranında arttığı belirtilmiştir. Bu çalışma, su mercimeğinin kümes hayvanları için besleyici bir yem kaynağı olduğunu kanıtlamıştır. Takács ve ark. (2025) tarafından yürütülen bir araştırmada ise, su mercimeğinin domuz yeminde kullanımının, hayvanların bağışıklık sistemini güçlendirdiği ve hastalık direncini artırdığı vurgulanmıştır. Bu bulgular, su mercimeğinin domuz yetiştiriciliğinde sağlık ve performans açısından önemli faydalar sağladığını ortaya koymaktadır. Bir başka çalışmada ise, su mercimeği ile beslenen balıkların büyüme hızının %25 oranında arttığı ve yem maliyetlerinin düştüğü raporlanmıştır (Sosa ve ark., 2024). Bu çalışma, su mercimeğinin su ürünleri yetiştiriciliğinde hem ekonomik hem de besin içeriği açısından avantajlar sağladığını ortaya koymuştur. Yürütülen çalışmalar, su mercimeğinin hayvan yemi olarak kullanımının, hayvanların büyüme performansını artırmanın yanı sıra bağışıklık sistemlerini de güçlendirdiği ve yem maliyetlerini düşürme gibi önemli faydalar sağladığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle su mercimeği, sürdürülebilir hayvancılık uygulamaları için değerli bir kaynak olarak ön plana çıkmaktadır.

Biyoyakıt Üretimi

Su mercimeği biyoyakıt üretimi için potansiyel bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Bitki, yüksek nişasta içeriği nedeniyle biyoetanol üretiminde kullanılabilir. Biyoetanol üretimi için, su mercimeği önce fermente edilir ve ardından damıtma işlemi ile etanol elde edilir. Su mercimeği, hızlı büyüme oranı ve yüksek verim potansiyeli nedeniyle, geleneksel biyoyakıt kaynaklarına (örneğin, mısır, şeker kamışı) alternatif olarak görülmektedir. Ayrıca, su mercimeği yetiştiriciliği, tarım arazileri üzerinde baskı oluşturmadan gerçekleştirilebilir, bu da onu sürdürülebilir bir enerji kaynağı haline getirmektedir (Xu ve Shen, 2011). Son yıllarda yapılan çalışmalar, su mercimeğinin biyoyakıt üretimindeki potansiyelini daha da detaylı bir şekilde ortaya koymuştur. Cui ve ark. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, su mercimeğinin yüksek nişasta içeriği nedeniyle verimli bir biyoyakıt kaynağı olduğu vurgulanmıştır. Başka bir çalışma su mercimeğinin yağ içeriğinin yüksek olduğunu ve biyodizel üretimi için değerli bir kaynak olabileceğini ortaya koymuştur (Krzywonos et al. 2023). Chusov ve ark. (2022) tarafından ise su mercimeğinin biyogaz üretimindeki etkinliği araştırılmış ve bitkinin yüksek organik madde içeriği nedeniyle verimli bir kaynak olduğu bildirilmiştir. Biyoetanol, biyodizel ve biyogaz gibi farklı biyoyakıt türlerinin üretimi için potansiyel bir kaynak olan su mercimeği, hızlı büyüme oranı, yüksek verimliliği ve tarım arazileri üzerinde baskı oluşturmaması nedeniyle sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak dikkat çekmektedir.



Su Ürünleri Yetiştiriciliği

Su mercimeği, balıklar ve diğer su canlıları için zengin bir besin kaynağıdır. Özellikle tilapia, sazan ve somon gibi balık türleri, su mercimeği ile beslenmektedirler. Bu bitki, balıkların büyüme hızını artırmakta ve bağışıklık sistemlerini güçlendirmektedir. Ayrıca, su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan yem maliyetlerini düşürerek ekonomik olarak avantaj sağlamaktadır (Leng ve ark., 1995). Opiyo ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, su mercimeği ile beslenen tilapia balıklarının büyüme hızının %20 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Su mercimeği ile yürütülen bir başka çalışmada ise, sazan balıklarının bağışıklık sisteminin güçlendiği, böylece hastalık direncini artırdığı belirlenmiştir (Goswami ve ark., 2022). Jaimes Prada ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada ise, su mercimeği ile beslenen balıkların yem maliyetlerinin önemli ölçüde düştüğü, ekonomik bir yem alternatifi olarak kullanılabileceği saptanmıştır.

Tarım

Su mercimeği (*Lemna* spp.), tarımda toprak düzenleyici ve organik gübre olarak kullanılabilen önemli bir bitkidir. Bitki, yüksek azot ve fosfor içeriği nedeniyle toprağın besin değerini artırmaktadır. Kurutulmuş ve öğütülmüş su mercimeği, toprağa karıştırılarak kullanılabilir. Bu uygulama, toprağın verimliliğini artırmakta ve bitkilerin büyümesini desteklemektedir. Ayrıca, su mercimeği, toprağın su tutma kapasitesini artırarak kuraklığa karşı direnci de artırmaktadır (Xu ve Shen, 2011). Fernandez Pulido ve ark. (2024) tarafından yürütülen bir çalışmada, su mercimeği ile gübrelenen topraklarda bitki büyümesinin önemli ölçüde arttığı vurgulanmıştır. Baldi ve ark. (2025) yılında yürüttükleri çalışmalarında su mercimeğinin özellikle kurak bölgelerde toprağın su tutma kapasitesini artırarak tarımsal üretimi iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır. Benzer sonuçlar Thingujam ve ark. (2024) tarafından yürütülen çalışma sonucunda da elde edilmiştir.

Sonuç

Su mercimeği, çevresel ve ekonomik açıdan önemli bir potansiyele sahiptir. Bitki, biyoremediasyon, hayvan yemi, biyoyakıt üretimi ve tarım gibi farklı alanlarda kullanılabilir. Gelecekte, su mercimeği üzerine yapılacak araştırma ve geliştirme çalışmaları, bitkinin kullanım alanlarını artırabilir ve sürdürülebilir bir kaynak olarak değerini iyileştirebilir. Özellikle, su mercimeğinin genetik mühendisliği yöntemleri ile iyileştirilmesi, bitkinin büyüme hızını ve besin içeriğini de artırabilir. Ayrıca, su mercimeğinin endüstriyel ölçekte yetiştirilmesi ve işlenmesi için yeni teknolojilerin ortaya konması bitkinin ticari değerini de artıracaktır. Su mercimeği yetiştiriciliği yaparken su kalitesinin de takip edilmesi gerekmektedir. Böylelikle bitki için ideal olan su pH'sı, sıcaklığı, besin içeriği sağlanmış olacaktır. Ayrıca uygun büyüme döngüsünde bitkiler hasat edilip, uygun koşullarda saklanmalıdır. Su mercimeği yetiştiriciliği yaparken doğal ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratabilecek olmasından dolayı çevresel etkilerde göz önünde bulundurulmalıdır. Su mercimeğinin kullanım alanları ve yetiştiriciliği konusunda çiftçiler, araştırmacılar ve diğer paydaşlar bilinçlendirilmelidir. Bu, su mercimeğinin daha yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir. Sonuç olarak, su mercimeği, çevresel ve ekonomik açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Doğru yetiştirme ve kullanım yöntemleri ile su mercimeği, sürdürülebilir bir kaynak olarak değerlendirilebilir ve gelecekte birçok alanda kullanılabilir.

Kaynaklar

- Anim, U., Joncer, N., Soudabeh, G., K., T. B., Shay, H., Uma, T. (2025). Duckweed: exploring its farm-to-fork potential for food production and biorefineries. *Sustainable Food Technology*.
- Baek, G., Saeed, M., & Choi, H. K. (2021). Duckweeds: their utilization, metabolites and cultivation. *Applied Biological Chemistry*, 64, 73. <https://doi.org/10.1186/s13765-021-00644-z>
- Baldi, A., Verdi, L., Piacenti, L., & Lenzi, A. (2025). From Waste to Resource: Use of *Lemna minor* L. as Unconventional Fertilizer for Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Horticulturae*, 11(1), 20. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11010020>
- Cheng, J., & Stomp, A. M. (2009). Growing duckweed to recover nutrients from wastewaters and for production of fuel ethanol and animal feed. *Clean – Soil, Air, Water*, 37(1), 17-26.
- Chusov, A., Maslikov, V., Badenko, V., Zhazhkov, V., Molodtsov, D., & Pavlushkina, Y. (2022). Biogas Potential Assessment of the Composite Mixture from Duckweed Biomass. *Sustainability*, 14(1), 351. <https://doi.org/10.3390/su14010351>
- Coşkun, Ö. F., Aydın, D., Akıska, S., Özel, H. B., vd. (2018). Türkiye’de Yayılış Gösteren Sumercimeğigil Üyelerinin Belirlenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 20(1), 145-151. <https://doi.org/10.24011/barofd.406868>
- Cui, W., Cheng, J. J., & Cheng, J. J. (2015). Growing duckweed for biofuel production: a review. *Plant Biology*, 17(Suppl 1), 16-23.



- Fernandez Pulido, C. R., Femeena, P. V., & Brennan, R. A. (2024). Nutrient Cycling with Duckweed for the Fertilization of Root, Fruit, Leaf, and Grain Crops: Impacts on Plant–Soil–Leachate Systems. *Agriculture*, 14(2), 188. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020188>
- Goswami, R. K., Sharma, J., Shrivastav, A. K., et al. (2022). Effect of Lemna minor supplemented diets on growth, digestive physiology and expression of fatty acids biosynthesis genes of *Cyprinus carpio*. *Scientific Reports*, 12, 3711. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07743-x>
- Jaimés Prada, O., Lora Díaz, O. L., & Tache Rocha, K. (2024). Common duckweed (*Lemna minor*): food and environmental potential. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*.
- Krzywonos, M., Romanowska-Duda, Z., Seruga, P., Messyasz, B., & Mec, S. (2023). The Use of Plants from the Lemnaceae Family for Biofuel Production—A Bibliometric and In-Depth Content Analysis. *Energies*, 16(4), 2058. <https://doi.org/10.3390/en16042058>
- Landolt, E. (1986). The family of Lemnaceae – a monographic study. *Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rübel, Zürich*, 71, 1-566.
- Leng, R. A., Stambolie, J. H., & Bell, R. (1995). Duckweed – a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development*, 7(1), 1-12.
- Mwale, M., & Gwaze, F. R. (2013). Characteristics of duckweed and its potential as feed source for chickens reared for meat production: A review. *Scientific Research and Essays*, 8, 689-697.
- Opiyo, M. A., Muendo, P. N., Mbogo, K. P., Ngugi, C. C., Charo-Karisa, H., Orina, P., Leschen, W., Glencross, B. D., & Tocher, D. R. (2022). Inclusion of duckweed (*Lemna minor*) in the diet improves flesh omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid profiles but not the growth of farmed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animal Feed Science and Technology*, 292, 115442. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115442>
- Pagliuso, D., Grandis, A., Fortirer, J. S., Camargo, P., Floh, E. I. S., & Buckeridge, M. S. (2022). Duckweeds as Promising Food Feedstocks Globally. *Agronomy*, 12(4), 796. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040796>
- Petersen, F., Demann, J., Restemeyer, D., Olf, H.-W., Westendarp, H., Appenroth, K.-J., & Ulbrich, A. (2022). Influence of Light Intensity and Spectrum on Duckweed Growth and Proteins in a Small-Scale, Recirculating Indoor Vertical Farm. *Plants*, 11(8), 1010. <https://doi.org/10.3390/plants11081010>
- Smith, M. D., & Moelyowati, I. (2001). Duckweed based wastewater treatment (DWWT): design guidelines for hot climates. *Water Science and Technology*, 43(11), 291–299
- Sosa, D., Alves, F. M., Prieto, M. A., Pedrosa, M. C., Heleno, S. A., Barros, L., Feliciano, M., & Carrocho, M. (2024). Lemna minor: Unlocking the Value of This Duckweed for the Food and Feed Industry. *Foods*, 13(10), 1435. <https://doi.org/10.3390/foods13101435>
- Sulaiman, N. S., Mohd Zaini, H., Wan Ishak, W. R., Matanjun, P., George, R., Mantihal, S., Ching, F. F., & Pindi, W. (2025). Duckweed protein: Extraction, modification, and potential application. *Food Chemistry*, 463(Pt 4), 141544. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141544>
- Takács, K., Véghe, R., Mednyánszky, Z., Haddad, J., Allaf, K., Du, M., Chen, K., Kan, J., Cai, T., Molnár, P., Bársony, P., Maczó, A., Zalán, Z., & Dalmadi, I. (2025). New Insights into Duckweed as an Alternative Source of Food and Feed: Key Components and Potential Technological Solutions to Increase Their Digestibility and Bioaccessibility. *Applied Sciences*, 15(2), 884. <https://doi.org/10.3390/app15020884>
- Thingujam, D., Pajerowska-Mukhtar, K. M., & Mukhtar, M. S. (2024). Duckweed: Beyond an Efficient Plant Model System. *Biomolecules*, 14(6), 628. <https://doi.org/10.3390/biom14060628>
- Xu, J., & Shen, G. (2011). Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production. *Bioresource Technology*, 102(2), 848-853.
- Yang, G.-L. (2022). Duckweed Is a Promising Feedstock of Biofuels: Advantages and Approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23), 15231. <https://doi.org/10.3390/ijms232315231>
- Zhou, Y., Stepanenko, A., Kishchenko, O., Xu, J., & Borisjuk, N. (2023). Duckweeds for Phytoremediation of Polluted Water. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(3), 589. <https://doi.org/10.3390/plants12030589>
- Zimmo, O. R., van der Steen, N. P., & Gijzen, H. J. (2004). Nitrogen mass balance across pilot-scale algae and duckweed-based wastewater stabilization ponds. *Water Research*, 38(4), 913-920.

