

Spirulina: Yetişkinler ve sporcular için besin desteği potansiyeli – literatür taraması

Gökçen ORAK, Eren CANBOLAT

Cite this article as:

Orak, G., Canbolat, E. (2025). Spirulina: Yetişkinler ve sporcular için besin desteği potansiyeli – literatür taraması. *Food and Health*, 11(3), 279-292. <https://doi.org/10.3153/FH25024>

¹ Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı, Ankara, Türkiye

² Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye

ORCID IDs of the authors:

G.O. 0009-0009-3368-5329

E.C. 0000-0001-6250-2303

Submitted: 06.03.2024

Revision requested: 21.04.2025

Last revision received: 29.04.2025

Accepted: 15.05.2025

Published online: 23.06.2025

Correspondence:

Gökçen ORAK

E-mail: gokcenorak@gmail.com



© 2025 The Author(s)

Available online at
<http://jfh.sscientificwebjournals.com>

ÖZ

Siyanobakteriler grubunda yer alan Spirulina, yüksek protein içeriği, esansiyel amino asitler ve zengin mikro besin profili ile öne çıkan fonksiyonel bir besindir. Antioksidan, anti-inflamatuar, bağışıklık düzenleyici, antikanserijen ve antiviral özelliklere sahip olan Spirulina, malnütrisyon, obezite, diyabet, ağır metal toksisitesi ve anemi gibi sağlık sorunlarının yönetiminde önemli bir potansiyele sahiptir. Aynı zamanda, düşük kalorili ve yüksek besin yoğunluğuna sahip olması nedeniyle sağlıklı bir diyetin önemli bir bileşeni olarak değerlendirilir. Spirulina, serbest radikalleri etkisiz hale getirme kapasitesi ve süperoksit dismutaz gibi enzimlerin aktivitesini artırma özelliği ile oksidatif stresin azaltılmasında etkili rol oynar. Yüksek biyoyararlanıma sahip protein içeriği ile sporcular için alternatif bir protein kaynağıdır ve egzersiz sonrası toparlanma süreçlerini destekler. Literatürde, 2-6 g/gün Spirulina kullanımının kas hasarını ve inflamasyonu azalttığı, bağışıklık yanıtlarını iyileştirdiği ve spor performansını artırdığına dair bulgular rapor edilmiştir. Ancak, performans üzerindeki etkinliği üzerine yapılan çalışmalar çelişkili sonuçlar içermekte ve daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir. Sonuç olarak, Spirulina'nın sağlık ve spor alanındaki faydalarını tam anlamıyla ortaya koyabilmek için farklı popülasyonlarda daha kapsamlı ve uzun dönemli çalışmalar gereklidir. Bu kapsamda Spirulina, geniş bir uygulama potansiyeline sahip olan ve sürdürülebilir üretim yaklaşımları ile desteklenmesi gereken önemli bir besin kaynağıdır.

Anahtar Kelimeler: Spirulina, Sağlık, Spor performansı, Antioksidan

ABSTRACT

Spirulina: Nutritional supplement potential for adults and athletes – a literature review

Spirulina, a cyanobacterium, is a functional food characterized by its high protein content, essential amino acids, and rich micronutrient profile. Possessing antioxidant, anti-inflammatory, immunomodulatory, anti-cancer, and antiviral properties, Spirulina has significant potential in managing health issues such as malnutrition, obesity, diabetes, heavy metal toxicity, and anemia. Furthermore, its low-calorie content and high nutrient density position it as a vital component of a healthy diet. Spirulina plays a crucial role in mitigating oxidative stress due to its capacity to neutralize free radicals and enhance the activity of enzymes like superoxide dismutase. With its highly bioavailable protein content, Spirulina serves as an alternative protein source for athletes, aiding in post-exercise recovery processes. The literature reports findings suggesting that the use of Spirulina at doses of 2–6 g/day reduces muscle damage and inflammation, improves immune responses, and enhances sports performance. However, the efficacy of Spirulina in this context remains debated, as some studies yield conflicting results, highlighting the need for further research. In conclusion, uncovering the full spectrum of Spirulina's benefits for health and sports performance necessitates comprehensive, long-term studies across diverse populations. As a versatile food source, Spirulina offers extensive application potential, which can be further realized through sustainable production approaches.

Keywords: Spirulina, Health, Sports performance, Antioxidant

Giriş

Mavi-yeşil algler olarak da bilinen siyanobakteriler, fotosentez yapabilen mikroorganizmalardır. Silindirik bir yapıya sahip olup hücresel bölünme yoluyla çoğalmaktadırlar (Chaouachi ve ark., 2024). Siyanobakteriler prokaryot olmalarına rağmen, genellikle ökaryot olan mikro algler grubuna dahil edilirler. Bu mikroorganizmalar, atmosferdeki karbondioksiti organik karbona dönüştüren ilk grup olarak evrimleşmiştir. *Arthrospira platensis* ve *Arthrospira maxima*, ticari adlarıyla Spirulina yaygın olarak bilinen siyanobakteri türleridir. Dünya’da mikroalg biyokütle üretiminin %30’undan fazlasını Spirulina oluşturmaktadır (Lafarga ve ark., 2020).

Meksika ve Kuzey Amerika yerlileri tarafından yüzyıllardır tüketilen Spirulina’nın, insanlar için fonksiyonel bir besin olarak kullanımı Dünya Sağlık Örgütü tarafından süper besin olarak tanımlanmasının ardından hızla artmıştır (Gurney ve ark., 2023; Janda-Milczarek ve ark., 2023). Açık hava ya da sera havuzlarında yetiştirilen ve kolayca hasat edilip işlenebilen Spirulina, protein, doymamış yağ asidi, mineral ve vitamin içeriğiyle sağlık ve besin endüstrisinde önemli bir popülerlik kazanmıştır (Wan ve ark., 2021).

Çeşitli çalışmalar, Spirulina’nın antioksidan, bağışıklık düzenleyici, anti inflamatuvar, antikanserojen, antiviral ve antibakteriyel özelliklere sahip olduğunu, ayrıca hiperlipidemi, malnütrisyon, obezite, diyabet, ağır metal toksisitesi ve anemi gibi durumlar üzerinde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymaktadır (Calella ve ark., 2022; Silva ve ark., 2021; Moradi ve ark., 2023). Biyokimyasal bileşimi, fonksiyonel özellikleri ve sağlık etkileri nedeniyle Spirulina’nın, sporcular için de iyi bir diyet takviyesi olabileceği düşünülmektedir (Chaouachi ve ark., 2024). Bu derleme çalışmada Spirulina’nın hem genel sağlık hem de sporcular için bir besin takviyesi olup olmayacağı incelenecektir.

Spirulina’nın Besin Değeri ve Biyoaktif Bileşenleri

Spirulina, probiyotik, antioksidan ve nutrasötik özelliği olan, besin yoğunluğu yüksek bir kaynaktır (Shah ve ark., 2024). Genel olarak %60-70 protein, %15-20 karbonhidrat %5-8 lipit ve kuru ağırlık bazında %6-8 mineral (potasyum, sodyum, kalsiyum, demir, magnezyum ve mangan) içeriğine sahiptir. Ayrıca, klorofil a, zeaksantin ve kantaksantin gibi pigmentlerin yanı sıra B grubu vitaminleri, C ve E vitaminleri açısından zengindir (Sinetova ve ark., 2024). Ayrıca spirulina fitat ve oksalat gibi anti-besinsel faktörler içermediğinden besin öğelerinin biyoyararlanımını olumsuz etkilememektedir (Gogna ve ark., 2023).

Makro Besin Ögesi İçeriği

Spirulina’nın karbonhidrat içeriği kuru ağırlığının yaklaşık %15-25’ini oluşturmaktadır. Glukoz, fruktoz, sükröz ve polioler çok düşük miktarlarda bulunmaktadır. Ana polimerik bileşen, yapısal olarak glikojene benzeyen dallanmış polisakkaritlerdir (Chaouachi ve ark., 2024). Spirulina platensis polisakkaritleri, sülfat içeren karmaşık bir heteropolisakkarit yapısındadır. Temel olarak D-mannoz, D-glikoz, D-galaktoz, L-ramnoz ve glukuronik asit gibi bileşenlerden oluşur (Wang ve ark., 2023). Polisakkaritler, spirulinanın biyoaktif bileşenlerindendir. Sülfatlı polisakkaritler, mikrobiyota sağlığını destekleyerek, anti inflamatuvar sitokin salınımını azaltarak ve bağırsak bariyer bütünlüğünü koruyarak immün modülatör etkiler göstermektedir. Ayrıca serbest radikalleri etkisiz hale getirerek oksidatif stresi azalttığı ve süperoksit dismutaz gibi antioksidan enzimleri aktive ettiği rapor edilmiştir (Chen ve ark., 2020; Liao ve ark., 2023; Liu ve ark., 2022; Zhou ve ark., 2023). Bunun yanı sıra, sağlıklı hücreleri etkilemeden kanser hücrelerinin çoğalmasını inhibe edebileceği bildirilmiştir (Uppin ve ark., 2022).

Proteinler vücudun yapısının oluşumu, işlevlerinin sürdürülmesi ve dokular ile organların organizasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Vücudun ihtiyaç duyduğu proteinleri sentezleyebilmesi için, esansiyel amino asitlerin besinlerle alınması gerekmektedir (AlFadhly ve ark., 2022). Esansiyel amino asitler, insan ve diğer memelilerin hücreleri tarafından sentezlenemeyen amino asitlerdir. Bu nedenle, beslenme yoluyla alınmaları gerekmektedir (Lopez ve Mohiuddin, 2024). Gerekli miktarlarda tüm esansiyel amino asitleri içeren ve yüksek biyoyararlanıma sahip besinler iyi kalite protein kaynakları olarak kabul edilmektedir. Spirulina, kuru ağırlığının yaklaşık %70’ine ulaşan oldukça yüksek bir protein içeriğine sahiptir (AlFadhly ve ark., 2022). Sadece yüksek protein içeriği nedeniyle değil, aynı zamanda esansiyel amino asitler açısından zengin olması ve sindirilebilirliği yüksek bir amino asit profiliyle sahip olması nedeniyle insan beslenmesinde alternatif bir protein kaynağı olarak öne çıkmaktadır (Ramírez-Rodrigues ve ark., 2021). Ayrıca Spirulina, bitki bazlı besinlere kıyasla yüksek bir biyolojik değere (BV) sahiptir ve hayvansal bazlı referans protein olan kazeine oldukça yakındır (Tablo 1). Spirulina, nispeten yüksek sindirilebilirlik katsayısı (DC), yüksek net protein kullanımı (NPU) ve yüksek protein verimlilik oranı (PER) sergilemektedir (Priyanka ve ark., 2023).

Proteinler, siyanobakterilerin fotosentez yapabilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Fikobiliproteinler fuşya, mor-mavi ve

camgöbeği gibi çeşitli renklerde floresan proteinlerdir ve fikobilizomlar olarak adlandırılan yardımcı fotosentetik komplekslerde ışık enerjisinin yakalanmasını sağlar (Dagnino-Leone ve ark., 2022). Bu kompleks yapılar Spirulina'nın ana proteinini oluşturup fikosiyanın, allofikosiyanın ve fikoglobbin olarak sınıflandırılırlar. Fikobiliproteinler, fotosentez işlevlerinin yanı sıra, antioksidan, antikanser ve anti inflamatuvar özellikleriyle çeşitli fizyolojik aktiviteler sergilemektedir (Wang ve ark., 2023).

Tablo 1. Referans hayvan proteinine kıyasla Spirulina'nın protein kalitesi (Priyanka ve ark., 2023)

Table 1. The protein quality of Spirulina, compared to reference animal protein (Priyanka et al., 2023)

Parametreler	Spirulina'nın protein değeri	Referans protein (kazein)
Biyolojik değeri (BV)	75.00	87.00
Net protein kullanımı (NPU)	62.00	83.00
Sindirilebilirlik katsayısı	85.00	95.00
Protein verimlilik oranı (PER)	1.90	2.50

Lipitler Spirulina'nın protein içeriğine kıyasla çok daha düşük miktarlarda bulunmasına rağmen, genel kimyasal bileşiminde önemli bir rol oynamaktadır. Spirulina lipitleri, toplam lipit içeriğinin %30-35'ini oluşturan γ -linolenik asit olmak üzere çoklu doymamış yağ asitlerinden zengindir ve bunlar hücre zarlarının fonksiyonel ve yapısal bileşenleridir. Yapısındaki diğer önemli yağ asitleri arasında linoleik asit (18:2n-6), oleik asit (18:1c9) ve palmitik asit (16:0) bulunmaktadır (Seghiri ve ark., 2019; Spínola ve ark., 2024). Ayrıca Spirulina, kuru kütle başına çok düşük kolesterol (100 g'da <0,1 mg) içeriği ile öne çıkmaktadır (AlFadhly ve ark., 2022).

Mikro Besin Ögesi İçeriği

Spirulina, potasyum (K), kalsiyum (Ca), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), magnezyum (Mg), manganez (Mn), fosfor (P), selenyum (Se), sodyum (Na), bor (B), molibden (Mo) ve çinko (Zn) içeriği ile geniş bir mineral yelpazesine sahip bir kaynaktır. Spirulina'nın demir miktarı, diğer demir açısından zengin besinlere kıyasla yaklaşık 10 kat daha yüksektir ve vücut tarafından demir sülfata kıyasla yaklaşık %60 daha fazla emilmektedir (AlFadhly ve ark., 2022). Bu özellik, Spirulina'yı demir eksikliği tedavisinde değerli bir kaynak haline

getirmektedir. Spirulina ayrıca içerdiği fosfor ve kalsiyum oranları sütle karşılaştırılabilir düzeydedir. Özellikle kalsiyum/fosfor (Ca:P) oranı, kemik sağlığı için uygun olup (2:1) dekalsifikasyonu azaltmakta etkili olabileceği belirtilmektedir (Liestianty ve ark., 2019).

Spirulina, farmasötik ve besin endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, geniş ölçekte hayvancılık ve balıkçılık için yem olarak kullanılmakta ve biyoyakıtların üretimi için umut verici bir hammadde olarak değerlendirilmektedir (Han ve ark., 2021). Spirulina, içerdiği sağlığı etkileyen çeşitli biyoaktif bileşenleri nedeniyle potansiyel bir farmasötik besin kaynağı olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu biyoaktif bileşenler proteinler, polisakkaritler, yağ asitleri, vitaminler, fenolik bileşikler ve sekonder metabolitlerden oluşmaktadır (Tablo 2) (Chaouachi ve ark., 2024; Spínola ve ark., 2024).

Spirulina'nın Sağlık Üzerindeki Etkileri

Spirulina'nın Antioksidan Özellikleri

Oksidatif stres, hücrelerin sürekli olarak serbest radikaller ve hidrojen peroksit (H_2O_2), süperoksit, hidroksil serbest radikalleri ve tekil oksijen gibi oksijenin serbest radikal olmayan türevlerini ürettiği normal metabolik sürecin bir parçasıdır. Bu moleküller, reaktif oksijen türleri (ROS) olarak da adlandırılır. ROS, normal oksijenle ilgili metabolizmanın yan ürünleri olup hücresel sinyalizasyon ve homeostazda rol oynar. Ancak, antioksidanların yokluğunda ya da yetersizliğinde oksidatif strese neden olabilirler (Zhou ve ark., 2022). Fikobiliproteinler Spirulina'daki en aktif biyoaktif bileşenlerdir. Bir fikobiliprotein olan ve mavi pigment olarak bilinen fikosiyanın ve kromoforu fikosiyanobilin, redoks reaksiyonlarında aktif rol oynamaktadır. Fikosiyanın süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini düzenleyerek ROS, lipid peroksidasyonu ve DNA hasarına karşı koruyucu etkiler göstermektedir (Şekil 1). Yapısı bilirubin ile benzer olan fikosiyanobilinin ise NADPH (Nikotinamid Adenin Dinükleotid Fosfat) oksidaz enzimini inhibe ederek serbest radikal oluşumunu engellediği bildirilmiştir (Calella ve ark., 2022; Han ve ark., 2021; Wu ve ark., 2016). Ayrıca fikosiyanın, fikosiyanobilin ve β -karoten, mitojenle aktive protein kinaz (MAPK) yolları ve nükleer faktör kappa B (NF- κ B) gibi inflamasyonla ilişkili sinyal yollarını düzenleyerek immün modülatör ve anti inflamatuvar etkiler göstermektedir. Spirulina'nın, MAPK yolunun düzenlenmesine bağlı olarak JAK/STAT (Janus Kinaz/Sinyal İletici ve Transkripsiyon Aktivatörü) sinyal yollarını da aktive edebileceği düşünülmektedir (Wu ve ark., 2016).

Tablo 2. Spirulina'nın bazı biyoaktif bileşenleri ve spesifik etkileri (Budak ve ark., 2022)**Table 2.** Certain bioactive compounds of Spirulina and their specific effects (Budak et al., 2022)

Bileşen	Biyolojik İşlevleri	Spesifik Etkileri
β- Karoten	Antioksidan, antikanser, immün modülatör, anti inflamatuvar	DNA moleküllerine ve lipidlere zarar verebilecek tekil oksijeni etkisiz hale getirir.
Fikosiyanin	Antioksidan, antikanser, antifungal	Kök hücreleri uyabilir ve bunların öncül (progenitör) hücrelere farklılaşmasını sağlayabilir. Bağışıklık uyarıcı ve hepatoprotektiftir.
γ-Linolenik asit (GLA)	Antibakteriyel, anti inflamatuvar, antikanser	Melanom, kronik miyeloid lösemi, servikal kanser, akciğer kanseri ve kolon kanseri dahil olmak üzere birçok kanser hücresinde antikanser işlevlere sahiptir
Eikosapentaenoik asit (EPA), Dokosaheksaenoik asit (DHA)	Antibakteriyel, anti inflamatuvar, antioksidan, antimikrobiyal	Beta-Bölgesi APP Parçalayan Enzim 1 aktivitesini baskıladığı kanıtlanmıştır. Nörotransmitter salınımını artırır. Nörotrofik faktörler gibi davranır. Çeşitli gram pozitif ve gram negatif bakteriler üzerinde inhibitör etkilere sahiptir.

Gabr ve ark. (2020) yaptıkları bir çalışmada Spirulina'dan izole edilen fikosiyanin, fikosiyanobilin ve fikosiyanopeptit'in güçlü antioksidan özellikler sergilediğini saptamıştır. Çalışmada fikosiyaninin, %97.32 oranında serbest radikal temizleme kapasitesine sahip olduğu ve bu değer diğer biyoaktif bileşenlerden (fikosiyanobilin %95.48 ve fikosiyanopeptit %93.59) daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca, fikosiyaninin C vitamininden yaklaşık 20 kat daha etkili bir antioksidan olduğu belirtilmiştir (Gabr ve ark., 2020). Naeini ve ark. (2021), Spirulina takviyesinin toplam antioksidan kapasiteyi (TAC) ve SOD aktivitesini anlamlı düzeyde artırdığını, ancak glutatyon peroksidaz (GPx) aktivitesi üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını belirtmiştir. Spirulina'nın antioksidan etkilerinin, günlük 5 gramdan fazla dozlarda ve 12 haftalık sürelerde daha belirgin olduğu ve bu artışın özellikle 60 yaşından küçük bireylerde daha fazla olduğu görülmüştür. Bu etkilerin, Spirulina'nın içerdiği fikosiyanin, beta-karoten ve C vitamini gibi güçlü antioksidan bileşenlerden kaynaklandığı ifade edilmiştir (Naeini ve ark., 2021). Sülfatlı polisakkaritlerin antioksidan özellikleri, lipid peroksidasyonunu inhibe etme ve 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), hidroksil radikalleri, süperoksit radikalleri ve 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiyazolin-6-sülfonat gibi serbest radikalleri yok etme yeteneğinden kaynaklanmaktadır (Liao ve ark., 2023). Yapılan bir çalışmada 5,0 mg/mL konsantrasyonundaki sülfatlı Spirulina polisakkaritlerinin, yüksek antioksidan kapasite, indirgeme gücü ve radikal temizleme yeteneği sergilediği bildirilmiştir (Rajasekar ve ark., 2019).

Spirulina'nın Anti İnflamatuvar Özellikleri

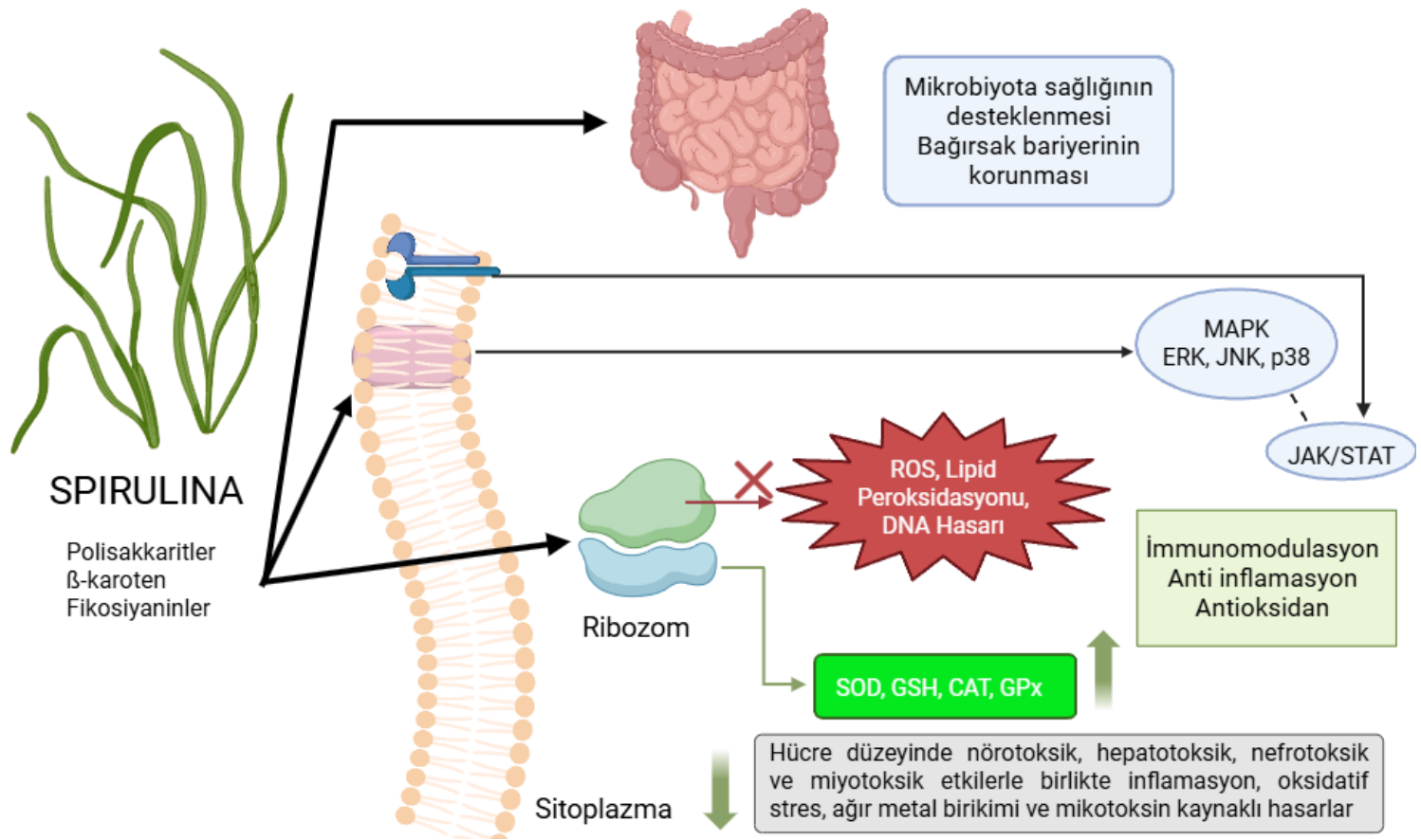
Spirulina platensis potansiyel bir Se kaynağı ve iyi bir taşıyıcı olarak değerlendirilmektedir. Jiang ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, *S. platensis*-selenyumun (Se-SP) lipopolisakkaritler tarafından indüklenen inflamasyonu azaltmadaki etkisini incelemiştir. Se-SP'nin interlökin-6 (IL-6), interlökin-1β (IL-1β) ve tümör nekroz faktörü-α (TNF-α) seviyelerinde sırasıyla %74, %40.45 ve %42.28'lik bir azalmaya neden olduğu saptanmıştır. Ayrıca, nitrik oksit (NO) seviyelerini %64.84 ve malondialdehit (MDA) içeriğini %69.07 oranında azalttığı ve süperoksit dismutaz ile glutatyon peroksidaz enzimlerinin seviyeleri artırdığı belirlenmiştir (Jiang ve ark., 2022). Tan ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada Spirulina'nın apokarotenoidlerinden 3-hidroksi-β-iyonon ve apo-13-zeaksantononun, 10 µg/mL konsantrasyonda IL-1β ekspresyonunu sırasıyla %9.5 ± 1.5 ve %28.7 ± 0.6, IL-6 ekspresyonunu ise sırasıyla %10.1 ± 0.7 ve %6.1 ± 0.4 oranında anlamlı şekilde inhibe ettiğini tespit etmiştir (Tan ve ark., 2021). Spirulina'nın histon deasetilaz protein seviyelerini azaltarak gen ekspresyonlarını düzenleyebildiği ve bu mekanizma aracılığı ile inflamasyonu kontrol edebilecek terapötik bir ajan olduğu öne sürülmektedir. Yapılan bir çalışmada, Spirulina ekstratının global histon H3 asetilasyonunu artırırken IL-1β ekspresyonunu %20 ± 1.2 ve TNFα ekspresyonunu %15 ± 0.8 oranında anlamlı düzeyde inhibe ettiğini tespit edilmiştir. Ayrıca, Spirulina ekstratının inflamatuvar genlerin promotör bölgelerine bağlanan NF-κB transkripsiyon faktörünün alt birimi

olan p65'in bağlanması engelleyerek inflamatuvar gen ekspresyonunu etkilediği belirlenmiştir (Pham ve ark., 2016).

Spirulina'nın Antiviral Özellikleri

Spirulina, fikobiliproteinler, peptidler, karotenoidler, pigmentler ve sülfatlı polisakkaritler gibi çeşitli biyolojik aktif bileşen ve metabolitler ile geniş bir antiviral aktivite sergileyen bir mikroalg türüdür. Özellikle kalsiyum-spirulan (Ca-SP), viral zarf glikoproteinleriyle etkileşime girerek hücreye girişlerini engelleyebilmektedir. Ayrıca Spirulina'dan elde edilen bazı peptidler, ters transkriptaz enzimi ve viral protein

sentezi gibi viral replikasyon mekanizmalarını inhibe etmektedir (Carbone ve ark., 2021). Seçici olarak CD4+T lenfositlerini enfekte eden HIV (İnsan Bağışıklık Yetmezliği Virüsü), zamanla CD4+T hücrelerinin azalmasına neden olarak AIDS'e (Edinilmiş Bağışıklık Yetmezliği Sendromu) neden olmaktadır (Bekker ve ark., 2023). Yapılan çalışmalar HIV enfeksiyonunda Spirulina takviyesinin viral yükü azalttığı, prooksidatif belirteçleri iyileştirdiği, antioksidan seviyelerinde artış sağladığı ve antiretroviral tedavi (ART) kaynaklı yan etki ve toksisiteyi hafifletme potansiyeli olduğunu göstermektedir (Moor ve ark., 2021; Sibiya ve ark., 2022a; Sibiya ve ark., 2022b).



Şekil 1. Spirulina'nın bazı bileşenlerinin biyoaktif özellikleri (Wu ve ark., 2016; Chen ve ark., 2020; Liao ve ark., 2023)

Figure 1. The bioactive properties of certain components of Spirulina (Wu et al., 2016; Chen et al., 2020; Liao et al., 2023)

Spirulina'nın İmmün Modülatör Özellikleri

Mikro algler sülfatlı polisakkaritler, sülfolipidler, çoklu doymamış yağ asitleri ve karotenoid pigmentler gibi biyoaktif bileşenleriyle hem doğuştan hem de edinsel bağışıklık üzerinde immün modülatör etkiler göstermektedir. Spirulina, Toll aracılı sinyalleme yoluyla makrofajların, doğal öldürücü (NK) hücrelerin ve nötrofillerin aktivasyonunu artırmakta; IgE aracılı alerjik tepkimeleri hafifletmekte, T yardımcı hücre 2 (Th2- T helper 2) farklılaşmasını düzenlemekte ve humoral bağışıklık yanıtlarını güçlendirmektedir (Srivastava ve ark., 2024). Spirulina polisakkaritlerinin makrofaj hücrelerin fagozitik kapasitesini artırdığı, indüklenebilir nitrik oksit sentaz (iNOS) enziminin aktivitesini düzenleyerek nitrik oksit seviyelerini yükselttiği ve IL-6'nın mesajcı RNA (mRNA- messenger RNA) ekspresyonunu doza bağlı olarak indüklediği tespit edilmiştir (Li ve ark., 2021). Melanom kanseri farelerde fikosiyanınin, tümör büyümesini yavaşlattığı, inguinal lenf nodlarındaki B hücresi, T lenfositleri ve myeloid hücre sayılarını arttırdığı ve bu etkinin tümör varlığında daha belirgin olduğu bildirilmiştir (Salgado ve ark., 2024).

Spirulina'nın Sağlık Riskleri

Spirulina, tarihsel olarak uzun kullanım geçmişi ve hayvan çalışmalarındaki olumlu bulgular doğrultusunda genel olarak insan tüketimi için güvenli kabul edilmektedir (Damessa ve ark., 2021; Grover ve ark., 2021; Wan ve ark., 2021). Ancak ağır metal ve toksin kontaminasyonu riski nedeniyle sağlık açısından olumsuz etkilere neden olabileceği belirtilmektedir (Gogna ve ark., 2023). Papadimitriou ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, ticari Spirulina ürünlerinde tespit edilen siyanotoksin kontaminasyon seviyelerinin yetişkinler için belirgin bir risk oluşturmadığı, ancak çocuklar ve bebekler açısından günlük tüketimde sağlık riski oluşturabileceği saptanmıştır (Papadimitriou ve ark., 2021). Başka bir çalışmada ise Spirulina tüketiminin alüminyum, kadmiyum ve kurşun gibi toksik metallerle maruziyet açısından tüketiciler için risk oluşturmadığı rapor edilmiştir (Rubio ve ark., 2021). Ayrıca nadiren de olsa dozdan bağımsız olarak diyare, mide bulantısı, karın ağrısı, anemi, alerji, anafilaksi ve uykusuzluk gibi hafif yan etkiler bildirilmiştir (Kerna ve ark., 2022; Rzymiski & Jaśkiewicz, 2017). Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi, Spirulina'yı insan tüketimi için "genel olarak güvenli" (Generally Recognized As Safe - GRAS) olarak tanımlamaktadır (Liao ve ark., 2023). Spirulina'nın güvenli tüketim miktarı 3-10 gram/gün olarak rapor edilmiştir (Gogna ve ark., 2023). Hamilelik ve emzirme döneminde kontaminasyon riski nedeniyle tüketimi önerilmemektedir (Kerna ve ark., 2022).

Spirulina'nın Sporcular Üzerindeki Etkileri

Sporcular için beslenme, performansı ve toparlanmayı optimize etmek amacıyla enerji dengesini koruma, makro ve mikro besin ögesi ihtiyaçlarını karşılama, sıvı gereksinimini sağlama ve bireysel hedeflere göre kişiselleştirme ilkelerine dayanmaktadır. Egzersiz sırasında bazı mikro besin öğelerinin gereksinimleri artmakta ve oksijen kullanımının 10-15 katına çıkmasıyla hücrelerde oksidatif stres seviyeleri yükselmektedir. Yeterli ve dengeli beslenen sporcular artan gereksinimleri karşılayabilse de enerji alımını kısıtlayan, diyetlerinden bir veya daha fazla besin grubunu çıkaran ya da yetersiz bir diyet uygulayan sporcular, özellikle kalsiyum, D vitamini, demir ve antioksidan takviyelerine gereksinim duymaktadır (Thomas ve ark., 2016).

Besin takviyelerinin kullanımı, performansı artırma ve kas yorgunluğunu azaltma potansiyeli nedeniyle hem üst düzey sporcular hem de amatör sporcular arasında yaygın bir uygulamadır. Spirulina'nın, besin, ilaç, biyoyakıt, kozmetik ve tarım endüstrilerinde geliştirilen birçok uygulama nedeniyle hem biyolojik hem de ekonomik olarak önemli olduğu gösterilmiştir. Ergojenik potansiyeli ile pazarlanan Spirulina'nın etkinliğini değerlendiren veriler ise başlangıç aşamasındadır ve etkinliği henüz kesinlik kazanmamıştır (AlFadhly ve ark., 2022; Galvão ve ark., 2022). Ancak sporcuların diyetlerine Spirulina eklenmesinin, performansı artırmak için önemli olan bazı besin öğelerinin artışına katkıda bulunabileceği belirtilmektedir (Carvalho ve ark., 2018). Yapılan bir çalışmada 100 g sporcu içeceğine eklenen 2 g Spirulina tozunun tat, renk ve genel kabul edilebilirlik açısından sporcular tarafından uygun bulunduğu ve Spirulina tozu, yoğurt ve meyve kullanılarak yapılan 250 gram içeceğin sporcuların günlük protein ihtiyacını %32,5, karbonhidrat ihtiyacını %12,25 ve posa ihtiyacını %21,5 oranında karşıladığı belirtilmiştir. Ayrıca bu içeceği düzenli olarak tüketen sporcuların performanslarında iyileşme gözlemlendiği raporlanmıştır (Gubanenkov ve ark., 2019). Başka bir çalışmada ise, *Spirulina platensis* ile hazırlanan sporcu içeceklerinin kimyasal özellikleri, depolama süresi boyunca değerlendirilmiştir. Spirulina içeren sporcu içeceklerinde askorbik asit ve antioksidan aktivitenin anlamlı şekilde arttığı gözlemlenmiştir. %0,25 sulu Spirulina ekstraktı, en yüksek askorbik asit ve antioksidan aktiviteye sahip içerik olarak tespit edilmiştir. Bulgular, Spirulina ekstraktının sporcu içeceklerinin besin değeri ve antioksidan kapasitesini artırabileceğini göstermektedir (Sadeghi ve ark., 2023).

Vücut Kompozisyonu ve Kan Profiline Etkisi

Besin takviyeleri, sporcular tarafından vücut kompozisyonunu iyileştirmek ve egzersiz performansını artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Erkek güreşçilerde kademeli ağırlık kaybı süreçlerinde Spirulina takviyesinin incelendiği bir çalışmada 12 günlük enerji kısıtlatmalı diyet sonucunda 0,5 g/gün Spirulina takviyesi alan grupta yağ kütlelerinden daha fazla kayıp olduğu, miyostatin, aspartat aminotransferaz ve alanin aminotransferaz seviyelerinin anlamlı düzeyde azaldığı bulunmuştur (Bagheri ve ark., 2022). Güncel literatürde obez ve sedanter bireylerde Spirulina'nın vücut ağırlığı yönetiminde egzersizle birlikte sinerjik etkisi potansiyel bir tedavi yöntemi olarak araştırılmaktadır. Pareek ve ark. (2023) Spirulina takviyesinin serum trigliserit ve kolesterol seviyelerini düşürdüğü ve bu nedenle kardiyovasküler sağlık ve spor performansı üzerinde olumlu etkileri olabileceğini belirtmiştir (Pareek ve ark., 2023). Beden kütle indeksi (BKİ) ≥ 25 kg/m² olan 52 sedanter genç erkek üzerinde yapılan çalışmada, 6 hafta boyunca fiziksel aktiviteyle kombine edilen günlük 4.5 g Spirulina takviyesinin kan lipid profili, BKİ, vücut yağ yüzdesi ve maksimum oksijen alımında iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir (Hernández-Lepe ve ark., 2019). Supriya ve ark. (2022) 12 haftalık yüksek yoğunluklu antrenman (HIIT) ile Spirulina takviyesinin birlikte uygulanmasının adipokin konsantrasyonları ve lipid profilleri üzerindeki etkilerini incelediği çalışmada, Spirulina takviyesinin HIIT ile birlikte uygulanmasının vücut ağırlığını ve adipokin seviyelerini azalttığı, düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL), toplam kolesterol ve trigliserit seviyelerinde önemli düşüşler sağladığı ve yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterol (HDL-C) seviyelerinde ise artış sağladığı tespit edilmiştir (Supriya ve ark., 2023).

Egzersiz Kaynaklı Oksidatif Stres, İnflamasyon ve Kas Hasarına Karşı Etkisi

Yüksek yoğunluklu ve/veya uzun süreli egzersiz oksidatif strese neden olabilmektedir. Egzersiz sırasında orta düzeyde ROS üretimi mitokondriyal biyogenez, antioksidan enzimlerin ve stres proteinlerinin sentezi gibi olumlu adaptasyonlara neden olmasına rağmen yüksek düzeyde ROS üretimi DNA hasarına ve fizyolojik fonksiyonların bozulmasına yol açar (Powers ve ark., 2020). Optimal bir redoks durumunu korumak ve olası immün disfonksiyondan kaçınmak için enerji, makro ve mikro besin gereksinimlerini karşılayan dengeli bir diyet, antrenman sonrası toparlanmanın desteklenmesi ve performans açısından önemlidir (Calella ve ark., 2022). Spirulina takviyesinin, egzersize bağlı olarak artan lipid peroksidasyonu, inflamasyon ve iskelet kası hasarını önleyebileceği

ve bu süreçlere ilişkin bazı biyobelirteçlerin iyileşmesini hızlandırabileceği bildirilmiştir. Özellikle antioksidan kaynaklar açısından yetersiz beslenen ve yüksek antrenman yüküne maruz kalan sporcularda, performans kaybını azaltmak ve sezon boyunca antrenman ya da yarışlar sonrasında toparlanmayı hızlandırmak amacıyla Spirulina takviyesi önerilmektedir (Chaouachi ve ark., 2022).

Yapılan çalışmalar, sporcularda Spirulina takviyesinin NO üretimini artırarak vasküler fonksiyonları iyileştirebileceği, antioksidan kapasiteyi artırarak endotel fonksiyonlarını destekleyebileceği ve egzersiz kaynaklı ROS ve DNA hasarına karşı koruyucu olabileceği belirtilmiştir (Brito ve ark., 2020; Brito ve ark., 2018; Su ve ark., 2013). Maraton koşucularında 15 günlük 5,4 g/gün Spirulina alımında hem dinlenme hem de fiziksel aktivite sonrasında sekonder oksidasyon seviyelerinde yarı yarıya bir azalma görüldüğü rapor edilmiştir (Lohoues ve ark., 2015). Kalpana ve ark. (2017), 90 erkek sporcu üzerinde 60 günlük Spirulina (3 g/gün) ve ticari olarak kullanılmakta olan bir antioksidan takviyesinin sporcularda egzersiz kaynaklı oksidatif stres ve toparlanma kalp hızı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Her iki takviye de egzersiz sonrası toparlanma kalp hızında anlamlı iyileşmeler sağlamış ve oksidatif stres göstergesi olan MDA seviyelerini azaltmıştır. Sonuçlar Spirulina'nın ticari olarak kullanılmakta olan bir antioksidan takviye ile benzer ergojenik faydalar sunduğunu göstermektedir (Kalpana ve ark., 2017).

Uzun süreli orta yoğunluktaki egzersiz, adipoz dokudaki inflamatuvar süreçleri baskılayarak ve kaslardaki proinflamatuvar M1 makrofajları azaltarak sistemik inflamasyonu modüle etmektedir (Metsios ve ark., 2020). Ancak yoğun egzersiz sırasında sarkomerlerin aşırı kasılması sonucu kaslarda mekanik bozulma meydana gelmektedir. Sarkoplazmik retikulumdan hücre içine kalsiyum salınımı artmasıyla aktifleşen proteolitik enzimler yapısal proteinlerin yıkımına neden olmaktadır. Bu süreçte salınımı artan proinflamatuvar sitokinler sistemik inflamasyonu arttırmaktadır (Fatouros ve Jamurtas, 2016). Kas hasarı oluştuğunda, akut faz proteinleri, sitokinler ve bağışıklık sistemi hücreleri yaralanma bölgesinde birikir. Hücrelerin birikimi kas ödeminde artışa neden olur. Ayrıca egzersiz kaynaklı kas hasarı (EIMD), kas membran geçirgenliğini artırarak kreatin kinaz (CK) gibi kas proteinlerinin dolaşımına sızmasına yol açar (Markus ve ark., 2021).

Spirulina'nın, aşırı egzersizin neden olduğu EIMD'yi hafifleterek plazma CK aktivitesindeki artışı azaltabileceği, kas dokusundaki MDA seviyelerini düşürerek oksidatif stresi baskılayabileceği ve plazmada SOD ve CAT gibi antioksidan enzim aktivitelerini artırabileceği belirtilmiştir (Oz ve Gokbel, 2023). Erkek taekwondo sporcularında 3 hafta boyunca 8

g/gün Spirulina takviyesinin plazma laktat dehidrojenazı (LDH), CK ve IL6 seviyelerinde anlamlı bir azalmaya neden olduğu, toplam antioksidan kapasite, süperoksit dismutaz ve glutatyon peroksidaz seviyelerinde ise anlamlı bir artış sağladığı belirlenmiştir. Çalışmada spirulina'nın uygun protein içeriği ile antioksidan ve anti inflammatuar kapasitesi nedeniyle taekwondo sporcularında EIMD'ye karşı koruyucu bir etki yaratabileceği belirtilmiştir (Kashani ve ark., 2022).

Egzersiz Sonrası Bağışıklık Sistemine Etkisi

Egzersiz bağışıklık sistemi hücrelerinin proliferasyonunu, fonksiyonunu, dağılımını ve aktivitesini etkilemektedir. Orta yoğunluktaki egzersizler bağışıklık sistemi fonksiyonlarını desteklerken aşırı yoğun ve uzun süreli egzersizlerin bağışıklık sistemini baskılayabileceği ifade edilmektedir (Wang ve ark., 2020). Yoğun egzersizler, proinflammatuar sitokinlerin salınımının artmasına, NK hücrelerinin sayısının zamanla azalmasına, Th1 (T yardımcı hücre 1) hücrelerinin baskılanmasına neden olmaktadır. Th1/Th2 dengesindeki kayma, bağışıklık yanıtını zayıflatırken, NK hücre aktivitesinde düşüş ve nötrofil artışı sistemik inflamasyona yol açabilmektedir. "Açık pencere modeli" olarak bilinen bu bağışıklık zayıflığı dönemi, egzersizin süresi ve şiddetine bağlıdır (Suzuki ve Hayashida, 2021).

Otuz dokuz genç erkek sporcu üzerinde yapılan bir çalışmada günde 3 kez toplamda 3 gram verilen spirulina takviyesinin yoğun egzersiz sırasında bağışıklık sistemi hücreleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Spirulina takviyesi alan grupta bazofil oranlarında anlamlı bir artış saptanmış ve yoğun egzersiz sonucu gözlemlenen monosit ve lökositlerdeki düşüşü engellediği belirlenmiştir (Zhang ve ark., 2022). Juskiewicz ve ark. (2018) Polonya Kürek Takımı üzerinde 6 hafta boyunca günde 1,5 g spirulina takviyesinin egzersiz sonrasında T regülör lenfosit (Treg) artışı engelleyici, T $\delta\gamma$ hücreleri (gamma delta T hücreleri) seviyelerini koruduğunu saptamıştır. Spirulina'nın egzersizin bağışıklık sistemi üzerindeki zararlı etkilerini önleyerek, özellikle bağışıklık yanıtını daha etkin hale getirdiğini ve bağışıklık hücrelerinin dengesini koruyarak sporcuların enfeksiyonlara karşı daha dirençli olmalarına yardımcı olduğunu belirtmiştir (Juskiewicz ve ark., 2018).

Egzersiz Performansına Etkisi

Çin ve Küba Olimpiyat takımlarının performansı artırmak için yıllardır spirulina takviyesi aldığı speküle edilse de Spirulina kullanımının performans üzerine etkileri tartışmalıdır (Chaouachi ve ark., 2024) Rekreatyonel olarak aktif bireylerde, 14 gün boyunca günde 6 g Spirulina takviyesinin mak-

simal ve submaksimal bisiklet sürme sırasında kardiyorespiratuvar parametreler üzerindeki etkilerini ve hemoglobin artışının potansiyel mekanistik rolünü değerlendiren bir çalışmada, Spirulina takviyesi sonrası hemoglobin konsantrasyonunda takviye almayanlara kıyasla anlamlı bir %3,4 artış tespit edilmiştir. Ancak VO₂max (maksimum oksijen alımı) ve WRmax (maksimum güç çıktısı), yorgunluğa kadar geçen süre, kalp atış hızı, oksijen alımı, solunum değişim oranı (RER) ve kan laktat yanıtı açısından iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Ali ve ark., 2024). Antrenmanlı erkek bisikletçiler üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise, 21 gün boyunca günde 6 g Spirulina takviyesinin hemoglobin konsantrasyonunda takviye almayanlara kıyasla anlamlı bir %6,6 artış sağladığı tespit edilmiş ve bu artışın, submaksimal egzersiz sırasında kan laktat seviyelerini (%14,2 azalma) ve kalp atış hızını (%3,5 azalma) düşürerek homeostatik dengeyi koruduğu belirtilmiştir. Ayrıca, tekrarlayan sprint performansı testlerinde zirve güçte (%4,2 artış) ve ortalama güçte (%4,3 artış) anlamlı bir artış kaydedilirken, VO₂max ve laktat eşiği testlerinde gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır (Gurney ve ark., 2021).

Yapılan bir çalışmada su topu oyuncuları performansı üzerine bakır %22,5 NRV (Nutrient Reference Value - Besin Referans Değeri) ile zenginleştirilmiş Spirulina sıvı takviyesinin etkisi incelenmiştir. Spirulina grubu, plasebo grubuna kıyasla öznel performans ölçümlerinde anlamlı bir artış göstermiştir. Takviye alan sporcularda daha düşük şiddetli kas ağrısı rapor edilmiş ve kreatin fosfokinaz (CPK) seviyelerinde anlamlı olmayan hafif bir düşüş belirlenmiştir. (La Mantia ve ark., 2024). Spor yapmayan 11 sağlıklı erkek bireyde Spirulina'nın kol bisikleti egzersizleri sırasında oksijen alımı (VO₂), solunum değişim oranı (RER), kalp hızı (HR) ve hemoglobin (Hb) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yedi gün boyunca 6 g Spirulina takviyesi müdahalesi sonucunda Hb seviyelerinin 144,1g/L'den 154,5g/L'ye çıktığı, kalp hızı seviyelerinde özellikle 25. dakikadan sonra anlamlı bir düşüş olduğu, oksijen kullanımında verimin arttığı ve performansın iyileştirdiği belirtilmiştir (Gurney ve Spendiff, 2020). Ayrıca üst düzey rugby oyuncularında Spirulina takviyesi dikey sıçrama ve sprint performanslarında küçük avantajlar sağlasa da sonuçların ergojenik destek olarak kullanımını doğrulamadığı bildirilmiştir (Chaouachi ve ark., 2021). Ancak, orta düzeyde fiziksel aktif sağlıklı bireyde Spirulina takviyesinin baskın olmayan kol üzerinde EIMD belirteçleri üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada egzersiz sonrası kas hasarı semptomlarını hafifletmede veya fiziksel performansı artırmada etkili bulunmamıştır (Krokidas ve ark., 2024). Pappas ve ark. (2021) 6 g/gün spirulina takviyesinin, redoks durumu, kas performansı ve EIMD üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığını rapor etmiştir (Pappas ve ark., 2021).

Sonuç

Spirulina, %70'e varan protein oranı, tam esansiyel amino asit profili ve biyoaktif bileşenlerden zengin içeriğiyle, sağlık açısından güvenli, alternatif bir besin takviyesi olarak ön plana çıkmaktadır. Antioksidan, anti-inflamatuar ve bağışıklık modülatörü özellikleri sayesinde kronik hastalıkların yönetiminde, oksidatif stresin azaltılmasında ve bağışıklık fonksiyonlarının desteklenmesinde önemli bir potansiyele sahiptir. Ayrıca, sporcular için protein ve mikro besin ögesi kaynağı olarak öne çıkmakta ve egzersiz sonrası toparlanmayı destekleyici etkiler göstermektedir. Özellikle yetersiz beslenen ya da bazı besin gruplarını diyetlerinden çıkaran özellikle vejetaryen/vegan sporcularda Spirulina takviyesinin değerli bir kaynak olabileceği düşünülmektedir. Literatürde Spirulina'nın ergojenik bir destek olarak kullanımına yönelik çalışmalar sınırlıdır ve uzun süreli kullanımının etkilerini araştıran bir çalışma bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde 2-6 g/gün Spirulina kullanımının egzersiz kaynaklı oksidatif stresin, inflamasyonun ve kas hasarının azaltılmasında olumlu etkileri olabileceği görülmektedir. Ancak kas performansı üzerine etkileri tartışmalıdır. Mevcut sınırlı sayıdaki araştırmalar, kullanılan örneklemeler, spor türleri, değerlendirme yöntemleri ve takviye uygulamalarındaki doz ve süre farklılıkları nedeniyle karşılaştırma yapmayı güçleştirmektedir. Ayrıca, kadın sporcular üzerine odaklanan çalışmaların sayıca oldukça az olduğu dikkat çekmektedir. Sonuç olarak sporcularda ergojenik bir destek olarak Spirulina takviyesi kullanımını doğrulayacak kanıtlar sınırlıdır. Bu nedenle Spirulina'nın sağlık ve spor performansı üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için kapsamlı, randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca, Spirulina'nın uygun günlük tüketim dozlarının belirlenmesi, etkinlik ve güvenlik açısından önemlidir. Ancak, yetersiz beslenen ya da diyetle antioksidan alımı düşük olan bireyler için beslenmeyi destekleyici bir alternatif olarak düşünülebilir.

Etik Standartlar ile Uyumluluk

Çıkar çatışması: Yazarlar, bu yazı için gerçek, potansiyel veya algılanan çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Etik izin: Araştırma niteliği bakımından etik izne tabii değildir.

Veri erişilebilirliği: -

Finansal destek: -

Teşekkür: -

Açıklama: -

Kaynaklar

AlFadhly, N.K.Z., Alhelfi, N., Altemimi, A.B., Verma, D.K., Cacciola, F., Narayanankutty, A. (2022). Trends and technological advancements in the possible food applications of spirulina and their health benefits: A review. *Molecules* (17), 5584.

<https://doi.org/10.3390/molecules27175584>

Ali, Y., Aubeeluck, R., Gurney, T. (2024). Fourteen-Days Spirulina supplementation increases hemoglobin, but does not provide ergogenic benefit in recreationally active cyclists: a double-blinded randomized crossover trial. *Journal of Dietary Supplements*, 21(3), 261–280.

<https://doi.org/10.1080/19390211.2023.2263564>

Bagheri, R., Negaresh, R., Motevalli, M.S., Wong, A., Ashtary-Larky, D., Kargarfard, M., Rashidlamir, A. (2022). Spirulina supplementation during gradual weight loss in competitive wrestlers. *British Journal of Nutrition*, 127(2), 248–256.

<https://doi.org/10.1017/S000711452100091X>

Bekker, L.G., Beyrer, C., Mgodi, N., Lewin, S.R., Delany-Moretlwe, S., Taiwo, B., Masters, M.C., Lazarus, J.V. (2023). HIV infection. *Nature Reviews Disease Primers*, 9(1), 42.

<https://doi.org/10.1038/s41572-023-00452-3>

Brito, A. de F., Silva, A.S., de Oliveira, C.V.C., de Souza, A.A., Ferreira, P. B., de Souza, I.L.L., da Cunha Araujo, L.C., da Silva Félix, G., de Souza Sampaio, R., Tavares, R.L., de Andrade Pereira, R., Neto, M.M., da Silva, B.A. (2020). Spirulina platensis prevents oxidative stress and inflammation promoted by strength training in rats: dose-response relation study. *Scientific Reports*, 10(1), 6382.

<https://doi.org/10.1038/s41598-020-63272-5>

Brito, A. de F, Silva, A.S., De Souza, A.A., Ferreira, P. B., De Souza, I.L.L., Da Cunha Araujo, L.C., Da Silva Félix, G., De Souza Sampaio, R., Silva, M.D.C.C., Tavares, R.L., De Andrade Pereira, R., Neto, M.M., Da Silva, B.A. (2018). Aortic response to strength training and spirulina platensis dependent on nitric oxide and antioxidants. *Frontiers in Physiology*, 9, 1522.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01522>

Budak, B., Beyza, S., Sarikaya, Ö. (2022). Spirulina: Properties, benefits and health-nutrition relationship. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1654-1662.

<https://doi.org/10.37989/gumussagbil.1200004>

Calella, P., Di Dio, M., Cerullo, G., Di Onofrio, V., Gallé, F., Liguori, G. (2022). Antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory effects of Spirulina in disease conditions: a systematic review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 73(8), 1047–1056.

<https://doi.org/10.1080/09637486.2022.2137785>

Carbone, D. A., Pellone, P., Lubritto, C., Ciniglia, C. (2021). Evaluation of microalgae antiviral activity and their bioactive compounds. *Antibiotics*, 10(6), 746.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics10060746>

Carvalho, L. F., Moreira, J. B., Oliveira, M. S., Costa, J. A. V. (2018). Novel food supplements formulated with spirulina to meet athletes' needs. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 61, e17160656.

<https://doi.org/10.1590/1678-4324-2017160656>

Chaouachi, M., Gautier, S., Carnot, Y., Bideau, N., Guillemot, P., Moison, Y., Collin, T., Vincent, S., Groussard, C. (2021). *Spirulina platensis* provides a small advantage in vertical jump and sprint performance but does not improve elite rugby players' body Composition. *Journal of Dietary Supplements*, 18(6), 682–697.

<https://doi.org/10.1080/19390211.2020.1832639>

Chaouachi, M., Gautier, S., Carnot, Y., Guillemot, P., Pincemail, J., Moison, Y., Collin, T., Groussard, C., Vincent, S. (2022). Spirulina supplementation prevents exercise-induced lipid peroxidation, inflammation and skeletal muscle damage in elite rugby players. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 35(6), 1151–1163.

<https://doi.org/10.1111/jhn.13014>

Chaouachi, M., Vincent, S., Groussard, C. (2024). A Review of the Health-Promoting Properties of Spirulina with a Focus on athletes' Performance and Recovery. *Journal of Dietary Supplements*, 21(2), 210–241.

<https://doi.org/10.1080/19390211.2023.2208663>

Chen, Y., Wan, X., Wu, D., Ouyang, Y., Gao, L., Chen, Z., El-Seedi, H. R., Wang, M. fu, Chen, X., Zhao, C. (2020). Characterization of the structure and analysis of the anti-oxidant effect of microalga *Spirulina platensis* polysaccharide on *Caenorhabditis elegans* mediated by modulating microRNAs and gut microbiota. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 2295–2305.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.041>

Dagnino-Leone, J., Figueroa, C.P., Castañeda, M.L., Yul-ton, A.D., Vallejos-Almirall, A., Agurto-Muñoz, A., Pavón Pérez, J., Agurto-Muñoz, C. (2022). Phycobiliproteins: Structural aspects, functional characteristics, and biotechnological perspectives. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 20, 1506–1527.

<https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.02.016>

Damessa, F.T., Chacha, M., Vianney, J.M., Raymond, J. (2021). Measuring serum toxicity markers to evaluate the safety of commercially available spirulina products in mice. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 9(1), 346–352.

<https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.9.1.33>

Fatouros, I.G., Jamurtas, A.Z. (2016). Insights into the molecular etiology of exercise-induced inflammation: opportunities for optimizing performance. *Journal of Inflammation Research*, 9, 175–186.

<https://doi.org/10.2147/JIR.S114635>

Gabr, G.A., El-Sayed, S.M., Hikal, M.S. (2020). Antioxidant Activities of Phycocyanin: A Bioactive Compound from *Spirulina platensis*. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 32(2), 73–85.

<https://doi.org/10.9734/jpri/2020/v32i230407>

Galvão, A.S., Carlos, L., Gonçalves, O., Santos, J., Lopes, S., Magalhães-Neto, A.M. (2022). Induction Of Ergogenic Activity Through The Use Of Spirulina Supplementation In Athletes And Physical Activity Practitioners. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 11(9), 2109–2024.

Grover, P., Bhatnagar, A., Kumari, N., Narayan Bhatt, A., Kumar Nishad, D., Purkayastha, J. (2021). C-Phycocyanin-a novel protein from *Spirulina platensis*- In vivo toxicity, antioxidant and immunomodulatory studies. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3), 1853–1859.

<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.037>

Gogna, S., Kaur, J., Sharma, K., Prasad, R., Singh, J., Bhadariya, V., Kumar, P., Jarial, S. (2023). Spirulina- An Edible Cyanobacterium with Potential Therapeutic Health Benefits and Toxicological Consequences. *Journal of the American Nutrition Association*, 42(6), 559–572.

<https://doi.org/10.1080/27697061.2022.2103852>

Gubanenko, G., Naimushina, L., Zykova, I. (2019) Spirulina as a protein ingredient in a sports nutrition drink. *4th International Conference on Innovations in Sports, Tourism and Instructional Science*, 162-166. Atlantis Press.

<https://doi.org/10.2991/icistis-19.2019.42>

Gurney, T., Brouner, J., Spendiff, O. (2021). Twenty-one days of spirulina supplementation lowers heart rate during submaximal cycling and augments power output during repeated sprints in trained cyclists. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 47(1), 18–26.

<https://doi.org/10.1139/apnm-2021-0344>

Gurney, T., Brouner, J., Spendiff, O. (2023). The efficacy of microalgae supplementation for exercise performance. *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals*, 565–592.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98819-3.00003-1>

Gurney, T., Spendiff, O. (2020). Spirulina supplementation improves oxygen uptake in arm cycling exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 120(12), 2657–2664.

<https://doi.org/10.1007/s00421-020-04487-2>

Han, P., Li, J., Zhong, H., Xie, J., Zhang, P., Lu, Q., Li, J., Xu, P., Chen, P., Leng, L., Zhou, W. (2021). Anti-oxidation properties and therapeutic potentials of spirulina. *Algal Research*, 55, 102240.

<https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102240>

Hernández-Lepe, M. A., Olivas-Aguirre, F. J., Gómez-Miranda, L.M., Hernández-Torres, R.P., Manríquez-Torres, J. de J., Ramos-Jiménez, A. (2019). Systematic physical exercise and *Spirulina maxima* supplementation improve body composition, cardiorespiratory fitness, and blood lipid profile: Correlations of a randomized double-blind controlled trial. *Antioxidants*, 8(11), 507.

<https://doi.org/10.3390/antiox8110507>

Janda-Milczarek, K., Szymczykowski, K., Jakubczyk, K., Kupnicka, P., Skonieczna-Żydecka, K., Pilarczyk, B., Tomza-Marciniak, A., Ligenza, A., Stachowska, E., Dąlewska, B. (2023). Spirulina supplements as a source of mineral nutrients in the daily diet. *Applied Sciences*, 13(2), 1011.

<https://doi.org/10.3390/app13021011>

Jiang, P., Meng, J., Zhang, L., Huang, L., Wei, L., Bai, Y., Liu, X., Li, S. (2022). Purification and anti-inflammatory effect of selenium-containing protein fraction from selenium-enriched *Spirulina platensis*. *Food Bioscience*, 45, 101469.

<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101469>

Juszkiewicz, A., Basta, P., Petriczko, E., Machaliński, B., Trzeciak, J., Luczkowska, K., Skarpańska-Stejnborn, A. (2018). An attempt to induce an immunomodulatory effect in rowers with spirulina extract. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 15(1), 1-12.

<https://doi.org/10.1186/s12970-018-0213-3>

Kalpana, K., Kusuma, D. L., Lal, P. R., Khanna, G.L. (2017). Impact of spirulina on exercise induced oxidative stress and post exercise recovery heart rate of athletes in comparison to a commercial antioxidant. *Food Nutr J*, 2(4), 139.

<https://doi.org/10.29011/2575-7091.100039>

Kashani, A., Keshavarz, S.A., Jafari-Vayghan, H., Azam, K., Hozoori, M., Alinavaz, M., Djafarian, K. (2022). Preventive effects of *Spirulina platensis* on exercise-induced muscle damage, oxidative stress and inflammation in taekwondo athletes: A randomized cross-over trial. *Pharmaceutical Sciences*, 28(4), 589–595.

<https://doi.org/10.34172/PS.2022.9>

Kerna, N.A., Nwokorie, U., Ann, M., Ortigas, C., Chawla, S., Pruitt, K.D., Flores, J., Holets, H.M., Carsrud, V., Waugh, S., Ii, J.A. (2022). Spirulina consumption: Concerns regarding contaminants and uncommon but possible adverse reactions and interactions. *EC Pharmacology and Toxicology*, 10, 69–78.

Krokidas, A., Gakis, A. G., Aktypi, O., Antonopoulou, S., Nomikos, T. (2024). Effect of Spirulina Nigrita® supplementation on indices of exercise-induced muscle damage after eccentric protocol of upper limbs in apparently healthy volunteers. *Nutrients*, 16(11), 1651.

<https://doi.org/10.3390/nu16111651>

La Mantia, I., Maniaci, A., Scibilia, G., Scollo, P. (2024). Effects of a dietary microalgae (*Arthrospira platensis*) supplement on stress, well-being, and performance in water polo players: A clinical case series. *Nutrients*, 16(15), 2421.

<https://doi.org/10.3390/nu16152421>

Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J.M., González-López, C., Ación-Fernández, F. G. (2020). Spirulina for the food and functional food industries. *Food Research International*, 137, 109356.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109356>

Li, J., Zhang, Y., Yang, S., Lu, Z., Li, G., Liu, J., Zhou, B., Wu, D., Wang, L. (2021). Isolation, purification, characterization, and immunomodulatory activity analysis of α -glucans from *Spirulina platensis*. *ACS Omega*, 6(33), 21384–21394.

<https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02175>

Liao, B., Zheng, J., Xia, C., Chen, X., Xu, Q., Duan, B. (2023). The potential, challenges, and prospects of the genus *Spirulina* polysaccharides as future multipurpose biomacromolecules. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 127482.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127482>

Liestianty, D., Rodianawati, I., Arfah, R.A., Assa, A., Patimah, Sundari, Muliadi. (2019). Nutritional analysis of spirulina sp to promote as superfood candidate. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 509, 012031.

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012031>

Liu, J., Zhu, X., Sun, L., Gao, Y. (2022). Characterization and anti-diabetic evaluation of sulfated polysaccharide from *Spirulina platensis*. *Journal of Functional Foods*, 95, 105155.

<https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105155>

Lohoues E.G.-G.C., Djinh J.M.A., Sess E.C.C. (2015). Evaluation of the anti-oxidant effect of spirulina on marathon runners in cote d'ivoire. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5(5), 392.

<https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000392>

Markus, I., Constantini, K., Hoffman, J.R., Bartolomei, S., Gepner, Y. (2021). Exercise-induced muscle damage: mechanism, assessment and nutritional factors to accelerate recovery. *European Journal of Applied Physiology*, 121(4), 969–992.

<https://doi.org/10.1007/S00421-020-04566-4>

Metsios, G. S., Moe, R. H., Kitas, G. D. (2020). Exercise and inflammation. *Best Practice ve Research Clinical Rheumatology*, 34(2), 101504.

<https://doi.org/10.1016/j.berh.2020.101504>

Moor, A.M., V., Anatole Pieme, C., René Nkeck, J., Cabral Biapa Nya, P., Ikomey Mondinde, G., Amazia, F., Kouanfack, C., Claire Okomo Assoumou, M., Ngogang, J. (2021). Effects of *Spirulina platensis* on the Immune Status, Inflammatory and Oxidative Markers of HIV Patients on Antiretroviral Therapy in Cameroon. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*, 5(3), 50–57.

<https://doi.org/10.31080/asps.2020.05.0683>

Moradi, S., Foshati, S., Poorbaferani, F., Talebi, S., Bagheri, R., Amirian, P., Parvizi, F., Nordvall, M., Wong, A., Zobeiri, M. (2023). The effects of spirulina supplementation on serum iron and ferritin, anemia parameters, and fecal occult blood in adults with ulcerative colitis: A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Clinical Nutrition ESPEN*, 57, 755–763.

<https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.08.019>

Naeini, F., Zarezadeh, M., Mohiti, S., Tutunchi, H., Ebrahimi Mamaghani, M., Ostadrahimi, A. (2021). Spirulina supplementation as an adjuvant therapy in enhancement of antioxidant capacity: A systematic review and meta-analysis of controlled clinical trials. *International Journal of Clinical Practice*, 75(10), e14618.

<https://doi.org/10.1111/ijcp.14618>

Oz, M., Gokbel, H. (2023). Effects of Spirulina on Some Oxidative Stress Parameters and Endurance Capacity in Regular and Strenuous Exercises. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 16(2), 371–377.

<https://doi.org/10.54319/jjbs/160222>

Papadimitriou, T., Kormas, K., Vardaka, E. (2021). Cyanotoxin contamination in commercial *Spirulina* food supplements. *Journal Fur Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, 16(3), 227–235.

<https://doi.org/10.1007/s00003-021-01324-2>

Pappas, A., Tsiokanos, A., Fatouros, I. G., Poullos, A., Kourtas, D., Goutzourelas, N., Giakas, G., Jamurtas, A. Z. (2021). The effects of spirulina supplementation on redox status and performance following a muscle damaging protocol. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3559.

<https://doi.org/10.3390/ijms22073559>

Pareek, A., Kasvan, B. R., Singh, N. (2023). Effect of a novel dietary supplement Khejri, and Spirulina supplementation on lipid profile in cricket players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4.

<https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1075388>

Pham, T.X., Park, Y.K., Lee, J.Y. (2016). Anti-Inflammatory effects of *Spirulina platensis* extract via the modulation of histone deacetylases. *Nutrients*, 8(6), 381.

<https://doi.org/10.3390/nu8060381>

Powers, S.K., Deminice, R., Ozdemir, M., Yoshihara, T., Bomkamp, M.P., Hyatt, H. (2020). Exercise-induced oxidative stress: Friend or foe? *Journal of Sport and Health Science*, 9(5), 415–425.

<https://doi.org/10.1016/J.JSHS.2020.04.001>

Priyanka, S., Varsha, R., Verma, R., Babu, A. S. (2023). Spirulina: A spotlight on its nutraceutical properties and food processing applications. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(6), e4785.

<https://doi.org/10.55251/jmbfs.4785>

Rajasekar, P., Palanisamy, S., Anjali, R., Vinosha, M., Elakkiya, M., Marudhupandi, T., Tabarsa, M., You, S. G., Prabhu, N.M. (2019). Isolation and structural characterization of sulfated polysaccharide from *Spirulina platensis* and its bioactive potential: In vitro antioxidant, antibacterial activity and Zebrafish growth and reproductive performance. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 809–821.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.024>

Ramírez-Rodrigues, M.M., Estrada-Beristain, C., Metri-Ojeda, J., Pérez-Alva, A., Baigts-Allende, D.K. (2021). *Spirulina platensis* protein as sustainable ingredient for nutritional food products development. *Sustainability*, 13(12), 6849.

<https://doi.org/10.3390/su13126849>

Reboleira, J., Freitas, R., Pinteus, S., Silva, J., Alves, C., Pedrosa, R., Bernardino, S. (2019). Spirulina. *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements*, 409–413.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00055-2>

Rubio, C., Dominik-Jakubiec, M., Paz, S., Gutiérrez, Á.J., González-Weller, D., Hardisson, A. (2021). Dietary exposure to trace elements (B, Ba, Li, Ni, Sr, and V) and toxic metals (Al, Cd, and Pb) from the consumption of commercial preparations of *Spirulina platensis*. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 22146–22155.

<https://doi.org/10.1007/s11356-020-12260-3>

Rzymiski, P., Jaśkiewicz, M. (2017). Microalgal food supplements from the perspective of Polish consumers: Patterns

of use, adverse events, and beneficial effects. *Journal of Applied Phycology*, 29(4), 1841–1850.

<https://doi.org/10.1007/s10811-017-1079-5>

Sadeghi, T., Marvizadeh, M.M., Ebrahimi, F., Mafi, S., Foughani, O., Nafchi, A.M. (2023). Assessment of nutritional and antioxidant activity of sport drink enriched with *Spirulina platensis*. *Journal of Chemical Health Risks*, 13(3), 485–496.

Salgado, M.T.S.F., Silva, M.C.S., Fratelli, C., Braga, A. R.C., Lopes, T.B.G., Ferreira, E., da Silva, I.L.D., Paiva, L. S. de, Votto, A.P. de S. (2024). Bioactive C-phycoerythrin exerts immunomodulatory and antitumor activity in mice with induced melanoma. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 484, 116874.

<https://doi.org/10.1016/j.taap.2024.116874>

Seghiri, R., Kharbach, M., Essamri, A. (2019). Functional composition, nutritional properties, and biological activities of moroccan spirulina microalga. *Journal of Food Quality*, 2019, 3707219.

<https://doi.org/10.1155/2019/3707219>

Shah, M.A.R., Zhu, F., Cui, Y., Hu, X., Chen, H., Kayani, S.I., Huo, S. (2024). Mechanistic insights into the nutritional and therapeutic potential of *Spirulina* (Arthrospira) spp.: Challenges and opportunities. *Trends in Food Science and Technology*, 151, 104648.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104648>

Sibiya, T., Ghazi, T., Mohan, J., Nagiah, S., Chuturgoon, A.A. (2022a). *Spirulina platensis* ameliorates oxidative stress associated with antiretroviral drugs in HepG2 cells. *Plants*, 11(22), 3143.

<https://doi.org/10.3390/plants11223143>

Sibiya, T., Ghazi, T., Mohan, J., Nagiah, S., Chuturgoon, A.A. (2022b). *Spirulina platensis* mitigates the inhibition of selected miRNAs that promote inflammation in HAART-treated HepG2 cells. *Plants*, 12(1), 119.

<https://doi.org/10.3390/plants12010119>

Silva, M.R.O.D., Da Silva, G., Silva, A.L.F.D., Lima, L.R.A.D., Bezerra, R.P., ve Marques, D.D.A.V. (2021). bioactive compounds of *Arthrospira* spp. (*Spirulina*) with Potential anticancer activities: A systematic review. *ACS Chemical Biology*, 16(11), 2057–2067.

<https://doi.org/10.1021/acscchembio.1c00568>

- Sinetova, M. A., Kupriyanova, E. V., Los, D. A. (2024).** Spirulina/arthrospira/limnospira—three names of the single organism. *Foods*, 13(17), 2762.
<https://doi.org/10.3390/foods13172762>
- Spínola, M. P., Mendes, A. R., Prates, J. A. M. (2024).** Chemical Composition, bioactivities, and applications of Spirulina (*Limnospira platensis*) in food, feed, and medicine. *Foods*, 13(22), 3656.
<https://doi.org/10.3390/foods13223656>
- Srivastava, S., Rahman, M.A., Sundaram, S. (2024).** Immunomodulatory effects of edible microalgae. *Immune-Boosting Nutraceuticals for Better Human Health*. 259-288.
<https://doi.org/10.1201/9781003371069-14>
- Su, M., Zhang, S., Yang, D. (2013).** Protective effect of Spirulina against cell DNA damage and oxidative stress induced by exhaustive exercise. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 6(2), 125–131.
<https://doi.org/10.13005/bpj/394>
- Supriya, R., Delfan, M., Saeidi, A., Samaie, S.S., Al Kiyumi, M.H., Escobar, K.A., Laher, I., Heinrich, K.M., Weiss, K., Knechtle, B., Zouhal, H. (2023).** Spirulina supplementation with high-intensity interval training decreases adipokines levels and cardiovascular risk factors in men with obesity. *Nutrients*, 15(23), 4891.
<https://doi.org/10.3390/nu15234891>
- Suzuki, K., Hayashida, H. (2021).** Effect of exercise intensity on cell-mediated immunity. *Sports*, 9(1), 8.
<https://doi.org/10.3390/sports9010008>
- Tan, K.C., Pham, T.X., Lee, Y., Lee, J.-Y., Balunas, M.J. (2021).** Identification of apocarotenoids as chemical markers of in vitro anti-inflammatory activity for spirulina supplements. *J. Agric. Food Chem*, 69(43), 12674-12685.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c03015>
- Thomas, D.T., Burke, L.M., Erdman, K.A. (2016).** Nutrition and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(3), 543–568.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000852>
- Uppin, V., Dharmesh, S.M., Sarada, R. (2022).** Polysaccharide from *Spirulina platensis* evokes antitumor activity in gastric cancer cells via modulation of galectin-3 and exhibited Cyto/DNA protection: Structure-function study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 7058–7069.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c00176>
- Wan, D., Wu, Q., Kuča, K. (2021).** Spirulina. *Nutraceuticals: Efficacy, Safety and Toxicity*, 959–974.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821038-3.00057-4>
- Wang, J., Liu, S., Li, G., Xiao, J. (2020).** Exercise Regulates the immune system. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1228, 395–408.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-1792-1_27
- Wang, Y.-Y., Xu, B.-L., Dong, C.-M., Sun, Y.-Y. (2023).** The nutritional value of Spirulina and utilization research. *Life Research*, 6(3), 15.
<https://doi.org/10.53388/LR20230015>
- Wu, Q., Liu, L., Miron, A., Klímová, B., Wan, D., Kuča, K. (2016).** The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of Spirulina: an overview. *Archives of Toxicology*, 90(8), 1817-1840.
<https://doi.org/10.1007/s00204-016-1744-5>
- Zhang, Y., Zhang, Y., Wu, W., Xu, Y., Li, X., Qiu, Q., Chen, H. (2022).** Effects on spirulina supplementation on immune cells' parameters of elite college athletes. *Nutrients*, 14(20), 4346.
<https://doi.org/10.3390/nu14204346>
- Zhou, J., Wang, M., Bäuerl, C., Cortés-Macías, E., Calvo-Lerma, J., Carmen Collado, M., Barba, F.J. (2023).** The impact of liquid-pressurized extracts of *Spirulina*, *Chlorella* and *Phaedactylum tricornutum* on in vitro antioxidant, anti-inflammatory and bacterial growth effects and gut microbiota modulation. *Food Chemistry*, 401, 134083.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134083>
- Zhou, Z., Chen, C., Teo, E. C., Zhang, Y., Huang, J., Xu, Y., Gu, Y. (2022).** Intracellular Oxidative stress induced by physical exercise in adults: Systematic review and meta-analysis. *Antioxidants*, 11(9), 1751.
<https://doi.org/10.3390/antiox11091751>