






Mikoproteinler: Geleneksel Et ve Et Ürünlerine Bir Alternatif


Orhan Kaya^{1,2}  , Ali Kozlu^{1,2} , Öyküm Bahar Esen¹ 

¹Pınar Entegre Et ve Un Sanayi A.Ş., Araştırma ve Geliştirme Merkezi, 35170 Kemalpaşa, İzmir

²Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Bornova, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 11.06.2021, Kabul Tarihi (Accepted): 24.10.2022

 Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): orhan.kaya@pinaret.com.tr (O. Kaya)

 0 232 877 0900  0 232 877 0950

ÖZ

Dünya nüfusunda meydana gelen hızlı artış, mevcut gıda ihtiyacının günden güne artmasına neden olmaktadır. Hayvansal kaynaklı protein üretiminin zaman, enerji, maliyet ve çevre gibi faktörler üzerine olumsuz etkileri bulunabilmektedir. Dolayısıyla hızla artan küresel nüfusa yeterli gıda kaynağının sağlanması ve hayvansal bazlı protein üretimi süresince meydana gelebilecek söz konusu olumsuzlukların azaltılması gibi gereklilikler, geleneksel et ve et ürünleri gibi alışlagelmiş protein kaynaklarının alternatif içeriklerle değiştirilmesi yaklaşımını ortaya çıkarmıştır. Mikoproteinler tek hücre proteini olarak da bilinen mikrobiyal protein grubunda yer almakta; kısmen veya tamamen hayvansal bazlı proteinlerin yerini alabilmektedir. Aynı zamanda bunların üretiminde tarımsal endüstriyel atık maddelerinin substrat olarak kullanılabilmesi çevresel açıdan çok yönlü bir katkı sağlamaktadır. Mikoproteinler elzem amino asitler, karbonhidratlar ve vitaminler açısından zengin bir içeriğe sahiptir. Ayrıca toplam üretim maliyetinin düşük olması, sel ve kuraklık gibi iklimsel koşullardan ve alan sınırlamalarından bağımsız olarak üretilebilmesi gibi avantajları ile ön plana çıkmaktadır. Bu derlemede, mikoprotein üretimi için gerekli fermantasyon koşulları ve kullanılan substratlar, mikoproteinlerin besin değeri, mikoprotein ürünlerinin duyuşal özellikleri ve tüketicilerce kabulü, mikoproteinlerin et ikamesi olarak formülasyonlarda kullanımı ve çevre, sağlık ve güvenlik faktörleri üzerine etkisi hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikoprotein, Tek hücre proteini, Et alternatifi, Protein alternatifi

Mycoproteins: An Alternative to Conventional Meat and Meat Products

ABSTRACT

The rapid increase in the world population has caused the current food demand to increase day by day. The production of animal-based proteins may have adverse effects on factors such as time, energy, cost and environment. Therefore, requirements such as providing sufficient food supply to the rapidly growing global population and reducing these undesired effects that may occur during the production of animal-based proteins have created an approach to replace conventional protein sources like traditional meat and meat products with alternative ingredients. Mycoproteins are in the group of microbial proteins, also known as single cell proteins and can partially or completely replace animal-based proteins. Also, the use of agricultural and industrial waste materials as a substrate in the production of mycoproteins provides a versatile contribution to the cleaner environment. They are rich in essential amino acids, carbohydrates and vitamins and have positive and effective properties like low total production costs and producibility that is independent from climatic challenges such as flood, drought and area limitations. In this review, information on fermentation conditions and substrates used for mycoprotein production, nutritional value of mycoproteins, sensory properties and consumer acceptance of mycoprotein products, the use of mycoproteins in formulations like meat substitutes, and the effect of mycoproteins on environmental, health and safety factors are presented.

Keywords: Mycoprotein, Single cell protein, Meat alternative, Alternative protein source

GİRİŞ

Son yıllarda küresel nüfus büyük bir artış göstererek 2.6 milyardan 7 milyar kişiye yükselmiştir [1]. Dünya nüfusu günümüzde yılda yaklaşık %1.13 oranında artmakta ve mevcut ortalama nüfus değişikliği yılda 80 milyon kişi civarında olmaktadır [2]. Dünya nüfusu mevcut hızla artmaya devam ederse küresel nüfusun 2042'de 9 milyar kişiye ulaşabileceği ve bu nüfusu besleyebilmek için küresel gıda üretiminin %70-100 oranında artması gerektiği tahmin edilmektedir. Bu durum nedeniyle küresel nüfusa yiyecek sağlamakta zorlukların ortaya çıkabileceği öngörülmektedir [3, 4, 5].

Nüfus artışı tek başına küresel gıda talebini artırmasının yanı sıra, gelişmekte olan ülkelerde et ve süt ürünlerine yönelik kişi başına tüketim talebi özellikle kentsel nüfuslarda büyüyen orta sınıflar arasında giderek artmaktadır [6, 7]. Araştırmacılar, 195 ülkeyi değerlendiren bir çalışmada işlenmiş et tüketiminin tavsiye edilen miktardan %90 daha fazla, kırmızı et tüketiminin ise tavsiye edilen miktardan %18 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir [8]. Yüksek miktarda et ürünleri tüketimi ise insan sağlığını tehdit edici sorunlardan biri olarak ele alınmaktadır [9, 10]. Yüksek protein alımının yan etkileri arasında bağırsak rahatsızlığı, hiperaminoasidemi, hiperamonyemi, hiperinsülinemi, bulantı, yorgunluk ve kardiyovasküler hastalıklar gibi riskler yer almaktadır [11]. Bu nedenle geçtiğimiz yıllarda Avustralya Ulusal Kalp Vakfı, diyet önerilerinde haftalık kırmızı et tüketim miktarını 350 gram ile sınırlandırmıştır [12]. Ayrıca Avustralyalı araştırmacıların gerçekleştirdikleri ürün yaşam döngüsü değerlendirmeleri sonucunda kırmızı et karbon ayak izinin 7.2-11.5 kg CO₂/kg karkas ağırlığı arasında olduğu, enerji tüketiminin ise 24.3-29.5 MJ/kg karkas ağırlığı olduğu saptanmıştır [13]. Kalhor ve ark. [14] yapmış oldukları çalışmada ise kış aylarında 1 ton paketlenmiş tavuk eti üretiminde ortaya çıkan karbon ayak izinin 5357.61 kg CO₂, yaz aylarında ise 2931.91 kg CO₂ olduğunu belirlemişlerdir. Kesimhane ve paketleme işlemlerindeki toplam enerji tüketiminin de 1 ton paketlenmiş ürün başına 133.46 GJ olduğunu saptamışlardır. Dana eti ve tavuk etinin su ayak izi raporları incelendiğinde 1 kg dana eti üretimi için 15500 litre su kullanıldığı, 1 kg tavuk eti üretimi için ise 3900 litre su kullanıldığı tespit edilmiştir [15]. Ayrıca et üretiminde, tahıllar için gerekli olandan 100 kat daha fazla su kullanımı gerçekleşmektedir. Dünya çapındaki çiftlik hayvanları ise, küresel ölçekteki tatlı suyun neredeyse dörtte birini kullanmaktadır [16, 17]. Ek olarak 2018 yılında yapılan bir çalışmada çöl olmayan ve buzla kaplı olmayan arazinin yaklaşık %43'ünün tarımsal alanları kapsadığını belirtilmiştir [18]. Ete yönelik artan talep de dünyadaki doğal alanların tarım arazisine dönüştürülmesinde rol oynamaktadır. Küresel ölçekte sığır, domuz ve diğer hayvanları yetiştirmek, tarım ürünü yetiştirmeye göre iki kat daha fazla arazi kullanımına neden olmaktadır. Ayrıca, hasat edilen bu tarım ürünlerinin üçte biri hayvancılık sektörü için kullanılmaktadır [19]. Dünya nüfusunun artmasına paralel olarak artacak olan tarımsal ve hayvansal ürün talebinin karşılanması durumunda doğal araziler

üzerindeki baskının daha da artması ve biyoçeşitlilik olumsuz yönde etkilemesi ile sonuçlanacağı düşünülmektedir [20]. Bu durum tüketiciler için sağlık sorunlarına ek olarak, yüksek miktarlarda et tüketiminin iklim değişikliğini ve gezegenimizdeki su kaynaklarını ciddi bir şekilde etkileyebileceğini göstermektedir.

Gelişmiş ülkelerdeki bireylerin diyetlerinde yüksek et tüketimi olmasına rağmen Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) tahminlerine göre, gelişmekte olan ülkelerdeki açlık, yetersiz beslenme ve çeşitli hastalıklar her yıl 12.000.000 insanın ölümüyle sonuçlanmaktadır [1, 21]. Yaşamın ilk yıllarında meydana gelen yetersiz beslenme ölüm riskinin artmasına ve kronik rahatsızlıklara neden olmaktadır. Günümüzde dünyada yaklaşık bir milyar insan (5 yaş altındaki 165 milyon çocuk dahil), yeterli enerji ve protein içeriğine sahip yiyeceklerle ulaşamamaktadır [22-24]. Kişinin diyetinde yeterli protein kaynağı bulunmaması da kas güçsüzlüğü, büyüme geriliği ve bağışıklık sisteminin zayıflaması gibi ciddi klinik sorunlara neden olabilmektedir. Ayrıca bebeklerde yetersiz miktarda arginin alımının meydana getirdiği gibi ciddi bir amino asit eksikliği bireyin ölümü ile sonuçlanabilmektedir [25]. Dünya nüfusunun giderek artması ve iklim krizi sebebiyle yeterli enerji ve protein içeriğine sahip ürünlere ulaşamayan kişi sayısının da giderek artacağı düşünülmektedir.

Sağlık ve çevresel etkilerinin yanı sıra hala etkisini yitirmeyen Covid-19 pandemisi her ne kadar çiftlik hayvanları ile bir ilgisi bulunmasa da zoonotik viral enfeksiyonlar üzerine olan endişeleri giderek arttırmıştır. Son yıllarda, çoğunluğu virüslerle temsil edilen yeni insan patojenlerinin yaklaşık %75'inin hayvanlardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir [26, 27, 28]. Domuzlar ile ilgili yapılan bir çalışmada, domuzlar için patojen olduğu bilinen altı koronavirüs belirlenmiştir. Bu korona virüslerinin bazılarının insan akciğeri ve bağırsak hücrelerine etkili bir şekilde bulaştığı ve insan serumu tarafından nötralize edilemediği tespit edilmiştir. Ayrıca bazı araştırmalarda, delta koronavirüs türlerinin kuşlardan memelilere geçme potansiyeli vurgulanmıştır [29-32]. Afrika Domuz Vebası salgını gibi modern hayvancılık endüstrisindeki sorunlar da alternatif proteinler için ek bir ivme sağlamaktadır. Diğer bir örnek ise ülkemizde de ortaya çıkan uluslararası kanatlı endüstrisi ve pazar paylarında kayıplara, arz kıtlığına, ticaret akışında aksamalara ve tüketici güveninin kaybolmasına neden olan kuş gribidir [33-35]. Sonuç olarak yalnızca vahşi hayvanlardan değil, aynı zamanda çiftlik hayvanlarından ortaya çıkabilecek herhangi bir zoonotik enfeksiyonun insan sağlığı için potansiyel risk oluşturduğu ve besi hayvanlarında öngörülemez salgınların küresel gıda güvenliğinde aksaklıklara neden olabileceği düşünülmektedir.

Artan nüfus ve çevre sorunları nedeniyle gıda krizi ve sağlıklı gıdaya ulaşma konularındaki endişeler alternatif protein kaynaklarından birisi olan tek hücre proteinini üretimi konusunda daha fazla çalışma yapılmasına neden olmuştur. Bu derlemede tek hücre proteinlerinden mikoproteinin besinsel özellikleri, mikoprotein üretimi ve fermentasyon koşulları, mikoproteinin çevre, sağlık ve güvenlik konuları üzerine etkisi ve mikoprotein

ürünlerinin duyuusal özellikleri ve tüketicilerce kabulü hakkında bilgi verilmiştir.

ALTERNATİF PROTEİN KAYNAKLARI ve MİKOPROTEİN

Gıda endüstrisi son yıllarda gluten, soya proteini, bezelye proteini, bakla proteini, nohut proteini gibi özellikle bitkisel bazlı ürünler kullanılarak alternatif et ürünleri üzerine yapılan çalışmalara odaklanmıştır [36-39]. Ayrıca kültür eti ve üç boyutlu yazıcılar kullanılarak geliştirilen alternatif et ürünlerine de ilgi giderek artmaktadır [40-43]. Geleneksel et ürünlerinin diğer bir alternatifi olan tek hücre proteinleri ise; bakteri, maya, mantar veya mikroalglerin saf veya karışık kültüründen üretilen mikrobiyal kökenli bir protein olarak tanımlanabilmektedir [5]. Tek hücre proteininin kaynaklarından birisi de filamentli mikrofungustur. Mikrofungus kullanılarak üretilen proteinler mikoprotein olarak adlandırılmaktadır. Her ne kadar *Agaricus bisporus*, *Auricularia fuscusuccinea*, *Neurospora intermedia* ve *Pleurotus albidus* türleri de mikoprotein üretimi sağlasa da, *Fusarium venenatum* türü mikoprotein üretiminde en çok bilinen ve gıdalarda ticari olarak kullanılabilen fungustur [44-48]. *F. venenatum* büyük bir tahıl üreticisi ve Rank Hovis McDougall'ın (RHM) başkanı olan İngiliz sanayici Joseph Arthur Rank

ve Dr. Arnold Spicer'in çabalarıyla 1967'de Buckinghamshire kentinde keşfedilmiştir. Birleşik Krallık Gıda Standartları Komitesi'ni adını "mikoprotein" olarak adlandırdığı 1974 yılına kadar ürün, A3/5 olarak isimlendirilmiştir. 1983 yılında Birleşik Krallık Tarım, Balıkçılık ve Gıda Bakanlığı, mikoproteini ticari bir gıda bileşeni olarak kullanımını onaylamıştır. 2001 yılında ABD Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), mikoproteini "genel olarak güvenli (GRAS)" olarak tanınan gıda sınıfına kabul etmiştir [44, 49, 50].

Mikoprotein kimyasal özellikleri, geniş bir besin yelpazesini kapsadığını göstermektedir. Mikoprotein beslenme özellikleri üzerine bazı çalışmalar da literatürde mevcuttur [51-54]. Genel olarak değerlendirildiğinde, mikoprotein düşük yağ içeriği ve yüksek lif içeriği ile kalite bir protein kaynağıdır. Mikoprotein içeriğinde bulunan yağ, büyük ölçüde doymamış yağ asitlerinden ve ağırlıklı olarak sırasıyla omega-6, omega-3, linoleik ve linolenik asitlerden oluşmaktadır. Lif ise, diyet lifi olarak fizyolojik işlev gören ve mineral emilimi üzerine olumsuz etkisi olmayan kitin ve beta-glukanların karışımıdır. Mikoprotein iyi bir çinko ve selenyum kaynağı olmasına rağmen demir ve B12 vitamini seviyeleri kırmızı ete kıyasla düşüktür [55, 56, 57].

Tablo 1. Mikoprotein besin içeriği (100 g) [58]

Table 1. Nutritional content of mycoprotein (100 g) [58]

Besin İçeriği	Mikoprotein (Kuru Temelde)	Mikoprotein
Nem (g)	-	75.00
Protein (g)	45	11.25
Yağ (g)	13	3.25
Lif (g)	25	6.25
Karbonhidrat (g)	10	3.00
Enerji (kcal)	340	85
Kül (g)	3.4	0.85

Mikoproteinler genel olarak 100 g kuru temelde, 13 g yağ, 45 g protein, 10 g karbonhidrat, 25 g lif ve bazı vitamin ve mineralleri içermektedir (Tablo 1). Gönüllüler üzerinde yapılan araştırmalar, mikoproteinlerdeki proteinlerin biyolojik değerinin süt proteinlerine benzer olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca toksikoloji çalışmaları, mikoproteinlerin insan ve hayvan gelişimi üzerine olumsuz bir etki içermediğini doğrulamıştır. Mikoproteinlerin uzun veya kısa süreli tüketimi de genel sağlık sorunlarına yol açmamaktadır. Mikoproteinlerin, protein sindirilebilirliği düzeltilmiş amino asit skoru (PDCAAS) yaklaşık 1.0 olarak belirlenmiştir. Mikoproteinlerin içerdikleri lif miktarı da mineral emilimi üzerinde istenmeyen bir etki ortaya koymamaktadır. Bununla birlikte, insanların mikoproteinlere karşı intoleranslığına dair vaka raporları belgelenmiş ancak intolerans seviyesinin soya ve yumurtadan daha az olduğu tespit edilmiştir [58].

MİKOPROTEİN ÜRETİMİ ve FERMANTASYON KOŞULLARI

Tek hücre proteinleri uygun koşullar altında mantarların, mayaların, bakterilerin ve alglerin fermantasyonu yoluyla üretilmektedir. Bu mantarlardan *F. venenatum*, yüksek

oranda protein biyokütlesine sahip ve ticari onayı bulunan bir mikoprotein kaynağıdır [59].

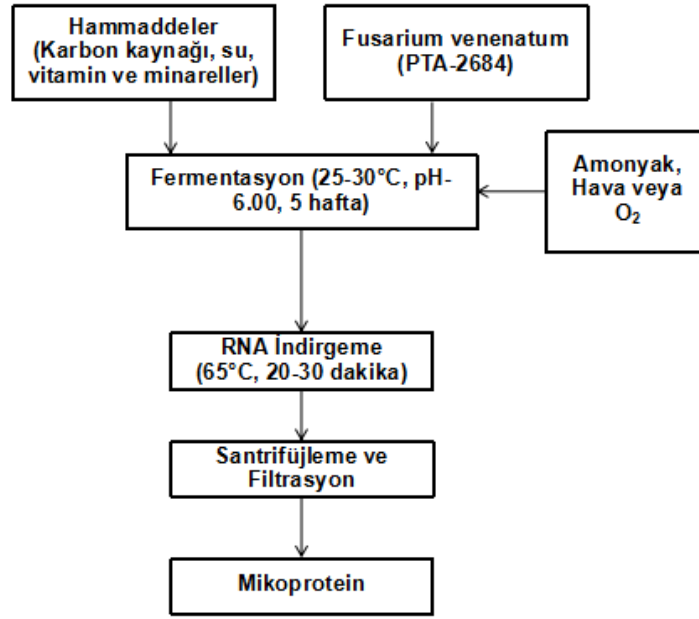
Tek hücre proteini üretim sürecinde çevre koşullarının korunması, maliyet ve güvenlik hususları en önemli faktörlerdir [60]. Fermantasyon ortamı, miselin büyümesi için gıda sınıfı karbonhidratları ve potasyum, magnezyum, fosfor, amonyum tuzları, iz elementler ve biyotin gibi diğer bileşenleri içermektedir [61]. Genellikle tek hücre proteinleri; katı, yarı katı veya yüzey kültürleri gibi tüm fermantasyon sistemlerinde üretilmektedir [60, 62, 63].

Mikoprotein fermantasyonun gerçekleşeceği besiyerinde karbon kaynağı olarak glikoz, azot kaynağı olarak amonyak veya amonyum kullanılabilmektedir. Sıvı ve gazlar biyoreaktöre eklenmeden önce sterilize edilmektedir. Biyokütle konsantrasyonunu yansıtan CO₂ artış hızı, işlemin akış hızını belirlemektedir [64]. Fermantasyon işlemi boyunca hem sıcaklık (28–30°C) hem de pH (6.0) kontrol edilmektedir ve otomatik kontrollere sayesinde çevre koşulları sabit tutulabilmektedir. Mikoprotein üretimi aerobik bir işlemdir, bu nedenle hava veya herhangi bir ek oksijen kaynağı, biyoreaktör içinde çözünmüş oksijen seviyesine göre

ayarlanmaktadır. Optimum pH, sıcaklık, besin ve oksijen koşulları göz önüne alındığında, biyokütle her beş saatte iki katına çıkabilmektedir [50, 65]. Şekil 1'de mikoprotein üretim akış şeması görülmektedir.

Mikoprotein fermentasyonu sonucu elde edilen biyokütlenin nükleik asit içeriği, gerekli gıda güvenliği standartlarını karşılamak için azaltılmalıdır [51]. Nükleik asitler, yüksek büyüme hızına sahip mikrobiyal hücrelerde yüksek konsantrasyonlarda bulunma eğilimindedir ve gıdada fazla bulunmasıyla birlikte kandaki ürik asit değerinde yükselme meydana gelmektedir. Ürik asitteki fazlalık eklemlerde ve dokularda kristal kalıntılar halinde birikerek gut benzeri

belirtilere veya idrar yollarında taş oluşmasına neden olabilmektedir [66]. Biyokütlede bulunan nükleik asit miktarında azalma, ayrı bir reaktörde 64-65°C'de 20-30 dakika ısısal işleme tabi tutulmasıyla sağlanabilmektedir [67, 68]. Bu sıcaklıkta nükleik asitler, hücrelerin dışına difüze olabilen monomere indirgenmektedir. Hücrelerin nükleik asit içeriği azaltıldıktan sonra, biyokütlenin santrifüjleme ve ardından soğutma ile toplanması aşamaları bulunmaktadır. Santrifüjleme sırasında nükleik asit indirgeme işleminde salınan mononükleotitler uzaklaşmaktadır. Santrifüj veya filtreleme gibi ayırma işlemlerinden sonra tavuk göğsü dokusuna ve ekmekek hamuruna benzeyen macunumsu bir biyokütle elde edilmektedir [68].



Şekil 1. Mikoprotein üretim akış şeması

Figure 1. Mycoprotein production flow chart

Literatüre göre çeşitli mantar türleri mikoprotein üretiminde kullanılabilir. *F. venenatum* ise; amonyak, glikoz ve biyotin gibi bileşiklerini içeren ortamlarda yetiştirilebilmektedir [61, 69, 70]. Mikoproteinlerin toplam üretim maliyeti kullanılan substralara bağlı olarak değişmektedir. Tarımsal sanayi yan ürünlerinin kaynak olarak kullanılması toplam maliyeti düşürebilmektedir [48, 71, 72]. Mikoprotein üretiminde bezelye işleme endüstrisinin yan ürünlerinin kaynak olarak kullanımı önerilmektedir. 1 ton bezelye işleme yan ürünlerinin kullanımının, sentetik ortamların kullanımından elde edilen mikobiyokütlelere kıyasla %38 daha fazla protein içeren 680 kg mikobiyokütle ile sonuçlanabileceği tahmin edilmektedir [73]. Bu nedenle söz konusu mikroorganizmalar; meyve atıkları, karbonhidratlar, nişastalar, melas ve meyve ve sebze atıkları dahil olmak üzere çeşitli substratlar kullanılarak çoğaltılabilmektedir [48, 74-76]. Substratların dört mevsim mevcudiyeti ve üretim tesislerine olan mesafesi, mikoprotein üretim süreçlerinin başarısını etkileyen iki ana faktördür. Melas; kolay erişilebilirliği, düşük fiyatı, toksik maddeler ve fermentasyon inhibitörleri içermemesi nedeniyle mikoprotein üretiminde kullanılan tarımsal sanayi yan ürünlerin iyi bir örneğidir [74]. Melas;

toplam %45-55 arasında karbonhidrat içermekte olup glikoz, fruktoz ve sukroz gibi karbonhidratlardan oluşmaktadır. Her 100 kg'lık öğütülmüş kamıştan yaklaşık 3.5-4.5 kg melas üretilmektedir. Melas, mikoprotein üretmek için uygun bir karbon kaynağı olmasına rağmen, mikoprotein üretimi sırasında fermentasyon ortamı, amonyum ve fosfor tuzları ile desteklenmelidir [77].

MİKOPROTEİNİN BESİN İÇERİĞİ

Mikoproteinlerin besin değerlerini değerlendirmek için protein, yağ, karbonhidrat, vitamin içerikleri ve gastrointestinal etkileri değerlendirilmelidir. Araştırmalar, mikroorganizma ve substrat türleri, filtrasyon, santrifüj, kurutma ve işleme yöntemleri gibi faktörlerin, mikoproteinleri ve içeriklerindeki besin değerlerini etkileyebileceğini göstermiştir.

Tablo 2'de gösterilen amino asit profili, mikoprotein insan vücudunda sentezlenemeyen ve besinler yoluyla vücuda alınması gereken tüm esansiyel amino asitleri içerdiğini göstermektedir [64]. Farelerle yapılan bir çalışma sonucunda, mikoproteinlerin net protein

kullanımı (NPU) ve protein etkinliği oranının (PER) kazein için bildirilen değerlerin yaklaşık %85'i kadar olduğu rapor edilmiştir [78]. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) gerçekleştirilen bir gönüllü insan çalışması, hayvan deneyleri sonuçlarının insanlar için de genelleştirilebileceğini doğrulamıştır [79]. Yağsız süt proteini ile mikoprotein karşılaştırıldığında, her iki ürünün de benzer biyolojik değerlere sahip olduğu ancak mikoprotein net protein kullanımının biraz daha düşük olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Tablo 2. Mikoprotein amino asit profili

Table 2. Amino acid profile of mycoprotein

Amino asit	g/100g	Amino asit	g/100g
Lisin	8.3	Histidin	3.5
Metiyonin	2.1	Arginin	7.3
Sistin	0.8	Tirozin	4.0
Treonin	5.5	Aspartik asit	10.3
Triptofan	1.6	Serin	5.1
Valin	6.2	Glutamik asit	12.5
Lösin	8.6	Prolin	4.5
Izolösin	5.2	Glisin	4.5
Fenilalanin	4.9	Alanin	6.0

Mikoprotein tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri içeriği bakımından zengin bir üründür. Genellikle mikoproteinlerdeki yağın %40'ı çoklu doymamış yağ asitlerinden, %11'i tekli doymamış yağ asitlerinden ve %11'i doymuş yağ asitlerinden oluşmaktadır. 100 gr mikoprotein 1.0 gram linoleik asit, 0.4 gram linolenik asit içermektedir. Mikoprotein yağ asidi kompozisyonu Tablo 3'te verilmiştir [56].

Tablo 3. Mikoprotein yağ asidi kompozisyonu [56]

Table 3. Fatty acid composition of mycoprotein [56]

Yağ Asidi	g/100g
Palmitik	0.3
Stearik	0.1
Oleik	0.3
Linoleik	1.0
Linolenik	0.4

Kuru temelde mikoprotein 100 gramı, 25 gram lif içermektedir. Bu durum mikoprotein, sadece yağ oranı düşük olmakla kalmayıp aynı zamanda lif açısından da zengin bir protein kaynağı olduğunu göstermektedir. Mikoproteinde bulunan lifin üçte birini kitin, üçte ikisini ise beta-glukanlar oluşturmaktadır [57]. Ayrıca mikoproteinde bulunan diyet lifleri mineral emilimi üzerine istenmeyen etkileri içermemektedir. Mikoproteinler yeterli miktarda çinko ve selenyum bulundurmaktayken düşük miktarda sodyum içermektedir. Öte yandan mikoprotein içeriğinde bir dizi B vitamini bulundurmaktadır (Tablo 4) [53, 55].

Tablo 4. Mikoprotein vitamin içeriği [53]

Table 4. Vitamin content of mycoprotein [53]

Vitamin	100 g mikoprotein
Tiamin (mg)	0.01
Riboflavin (mg)	0.23
Niasin (mg)	0.36
Piridoksin (mg)	0.13
Pantotenik asit (mg)	0.26
Folik asit (µg)	16.00
Biyotin (µg)	10.00

Mikoprotein besin içeriği ile geleneksel protein kaynaklarının besin içeriği karşılaştırılmaları ise Tablo 5'te verilmiştir [80].

Tablo 5. Mikoprotein ve bazı geleneksel protein kaynaklarının besin içerikleri [80]

Table 5. Nutritional contents of mycoprotein and traditional protein sources [80]

Besin İçeriği	Mikoprotein	Süt	Yumurta	Dana eti	Domuz eti	Tavuk eti	Soya	Buğday
Protein	11.25	3.40	12.53	20.20	21.80	24.00	14.00	13.70
Yağ (g)	3.25	1.70	9.51	4.30	4.00	1.10	7.30	2.50
Lif (g)	6.25	İz miktarda	İz miktarda	İz miktarda	İz miktarda	İz miktarda	6.10	11.20
Karbonhidrat (g)	3	4.70	İz miktarda	0.06	İz miktarda	İz miktarda	5.10	71.10
Enerji (kcal)	85	46	151	172	123	106	141	339

MİKOPROTEİNLERİN ET ÜRÜNLERİNDE UYGULANMASI VE TÜKETİCİ KABULÜ

Mikoprotein bazlı alternatif et ürünleri gıda sektörü piyasasında uzun zamandır bulunmaktadır. Mikoproteinler, etlerin tadı ve dokusunu taklit etmeye uygun ürünler olmasından dolayı, geleneksel hayvansal bazlı ürünlere alternatif olarak kullanılabilir. Marlow Foods Ltd. şirketinin geliştirmiş olduğu ve Quorn markasıyla piyasaya sunduğu vegan et üreticisi, mikoprotein bazlı et alternatifi ürününü ilk ticarileştirilen firmadır. Üretmiş olduğu mikoproteinlerden hazırladıkları et alternatifi ürünleri ile piyasada bulunan Quorn firmasının yıllık 25000 ton kurutulmuş mikoprotein üretimi olduğu tahmin edilmektedir. Küresel piyasa değeri yaklaşık 214 milyon Euro olan firmanın gelecek yıllarda %20 büyümesi öngörülmektedir [50, 81]. Quorn firması haricinde Eternal firması NASA ile birlikte işbirliği

yaparak astronatların uzay görevlerinde mikoprotein ile beslenmesine yönelik çalışmalara başlamıştır. Eternal firması geliştirmiş oldukları mikoprotein tüm esansiyel aminoasitleri içerdiğini belirtmiştir. Ayrıca bu mikoprotein protein sindirilebilirliği düzeltilmiş amino asit skorunun dana eti, soya ve buğday glutenine göre daha yüksek olduğu açıklanmıştır [83, 84]. Ayrıca son yıllarda İskoçya'da bulunan Enough Food ve İsveç'te bulunan Mycorena firmaları mikoprotein üretimine başlamışlardır [85, 86].

Quorn kıyma ve Quorn et parçalarının üretim süreçleri kesikli sistem olarak devam etmektedir. Her iki ürünün üretimi için de, az miktarda su ve yumurta akı kullanımı bulunmaktadır. Quorn kıymasında karışıma renklendirici olarak malt ekstraktı da dahil edilmektedir. Quorn et parçalarında ise karışıma karakteristik bir tat kazandıran doğal bir aroma eklenmektedir. Karıştırma işlemi

yaklaşık iki tonluk bir parti boyutunda düşük bir hızla gerçekleştirilmektedir. Ek olarak karışıma az miktarda kalsiyum eklenerek nihai üründe et benzeri doku geliştirilmektedir. Karıştırma işlemi bittikten sonra elde edilen ürün şekillendirme ekipmanına aktarılmaktadır. Şekillendirilmiş ürünler pişirme işleminde buhar kullanılarak ürün 85-90°C'ye çıkarılmaktadır ve protein denatürasyonu sağlanmaktadır. Ürün daha sonra -18°C'de 30 dakika boyunca dondurulmaktadır. Dondurma işlemi, buz kristallerinin kontrollü büyümesinin sağlanması ve uygun et tekstürü oluşması açısından önemli bir süreçtir. Bu kristaller, ipliksi hifleri verimli bir şekilde bağlayarak et benzeri olarak tanımlanabilecek dokuya sahip lifli demetler oluşturmaktadır [82].

Alternatif et ürünlerinin tüketici kabulü dikkate alınması gereken bir konudur. Et alternatifleri beslenme, görünüş, çözünürlük ve kullanım kolaylığı açısından geleneksel etlere benzer olmalıdır. Elzerman ve ark. [87] mikoprotein bazlı gıda ürünlerinin genel beğenisini diğer et alternatifleri ürünleriyle (Tofu kızartma parçaları, Tivall tavada kızartma parçaları, Goodbite tavuk, Vivera vegan tavada kızartma parçaları) karşılaştırmıştır. Sonuçlar, mikoprotein bazlı gıda ürünlerinin genel beğenisinin diğer et alternatiflerine göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Son ürünlerin duyu özellikleri (tat, doku ve genel görünüm) ürünlerin ticari olarak başarılı bir şekilde piyasada var olabilmesi için dikkate alınması gereken bir faktör olsa da günümüzde tüketiciler satın aldıkları ürünlerin sağlıklı beslenmeye ve çevresel sürdürülebilirliğe olan katkısını da incelemektedir. Apostolidis ve McLeay'in [88] yapmış olduğu çalışmada, Quorn ürünleri vejetaryenlerin, diyetlerinde et tüketimini azaltmaya çalışan fleksiteryenlerin ve diyetlerinde et tüketimi bulunan panelistlerin duyu değerlendirmesine sunulmuştur. Böylelikle et alternatifleri üreticisi olan bir firmanın tüketicileri et alternatiflerine yönlendirmeyi nasıl motive edebileceğine dair tüketici algıları araştırılmıştır. Çalışma sonucunda tüketicilerinin %85'inin sağlıklı beslenme arzusu nedeniyle alternatif et ürünlerini satın aldığını ortaya konulmuştur. Tüketicilerin %65'i ise hazırlaması kolay ve yaşam tarzlarına uyan sağlıklı ve lezzetli et ikame ürünlerini tercih etmiştir. Çevresel sürdürülebilirlik ve hayvan refahı da tüketicilerin alternatif et ürünlerine tercih etmesine neden olmuştur ancak bu etkilerinin halihazırda diyetlerinde et tüketmeyen veya et miktarını azaltmaya çalışan kişilerde daha güçlü olduğu tespit edilmiştir. 2020 yılında yapılan bir çalışmada Hellwing ve ark. [47] üç farklı ürünün (*Fusarium venenatum*'dan elde edilen mikoprotein kullanılarak üretilen burger, *Neurospora intermedia*'dan elde edilen mikoprotein kullanılarak üretilen burger ve geleneksel burger) duyu değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Genel tat beğenisi olarak panelistlerin %51'i geleneksel burgeri, %26'si *N.intermedia*'dan elde edilen mikoproteinden üretilen burgeri, %22'si ise *F.venenatum*'dan elde edilen mikoprotein kullanılarak üretilen burgeri tercih etmişlerdir. Genel tekstürel beğeni

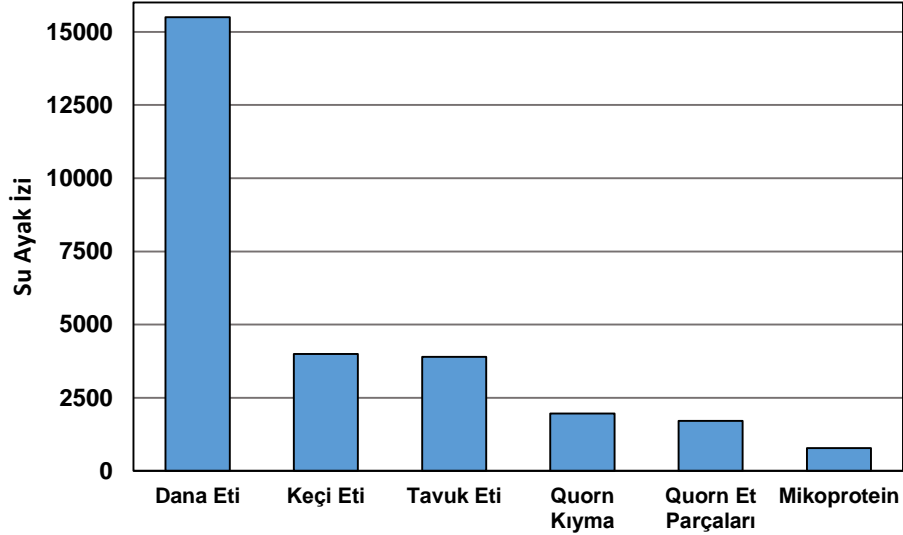
olarak ise panelistlerin %40'ı geleneksel burgeri, %36'sı *F.venenatum*'dan elde edilen mikoprotein kullanılarak üretilen burgeri, %24'ü ise *N.intermedia*'dan elde edilen mikoprotein kullanılarak üretilen burgeri tercih etmişlerdir.

ÇEVRESEL ETKİ

Mevcut çevre sorunlarını çözmenin yollarından biri düşük çevresel etkilere sahip yeni ve sağlıklı protein kaynaklarının kullanılmasıdır. 2050 yılına kadar dünya nüfusunun günümüze göre %30 artacağı ve gıda üretiminin bu nüfus için %70 artması gerektiği tahmin edilmektedir. Bu, et üretiminde yaklaşık 200 milyon ton ve tahıl hasadında yaklaşık 1 milyar ton artış anlamına gelmektedir [89]. Son yıllardaki çözümlerden biri olarak tarımda gübre, böcek ilacı ve antibiyotiklerin (büyümeyi teşvik edici olarak) kullanımını gösterilmektedir [90]. Ancak, bu ürünlerin kullanımı doğada ve biyolojik çeşitlilikte dengesizliğe neden olmaktadır. Ek olarak antibiyotiğe dirençli bakterilerin, dünya çapında yeni ortaya çıkan pandemik hastalıklara neden olabileceği düşünülmektedir [91]. Geleneksel gıda işleme sektörü de, sera gazı emisyonlarını salınımlarıyla iklim değişikliğinin hızını arttırmakta, tatlı su kaynaklarını kirletmekte ve doğal biyoçeşitliliği olumsuz yönde etkileyebilmektedir [92, 93].

Küresel sera gazlarının yaklaşık %29'u tarım ve gıda üretimiyle bağlantılıdır. Bu değer yaklaşık yarısı ise hayvancılık üretiminden kaynaklanmaktadır. Mikoproteinlerin karbon ayak izi sığır etinden yaklaşık on kat, tavuk etinden ise yaklaşık dört kat daha azdır. Bu nedenle mikoprotein ürünleri gıda üretim sistemlerindeki sera gazı etkilerinin azaltılmasında önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir [94]. Eternal firması ise geliştirmiş oldukları mikoprotein dana etine göre %97, tavuk etine göre %82, soyaya göre %11 daha az çevresel etkisinin bulunduğunu beyan etmiştir. Firma mikoprotein kg başına 4 kg CO₂ salınımı yaptığını ancak bu miktarın dana eti için kg başına 69 kg, tavuk eti için 13.5 kg, soya için 1.5 kg olduğu belirtmiştir [84].

Tarım ve gıda üretimiyle ilgili faaliyetler toplam tatlı su kullanımının yaklaşık %92'sini kapsadığı tahmin edilmektedir. 1 kg tavuk eti üretmek için 3900 litre su, sığır eti üretmek için ise 15500 litre suya ihtiyaç duyulduğunu rapor edilmiştir. Ayrıca et üretiminde hayvan türü, yetiştirme yeri ve yöntemine göre kullanılan su miktarı değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle mikoprotein üretiminin enerji ve suyu verimli bir şekilde kullanılmasında önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir. Lokasyona, hayvana ve üretim yöntemine göre değişmekle beraber, mevcut veriler sığır etinin su ayak izinin mikoprotein ürününe on kat daha fazla, tavuk etinin ise üç kat daha fazla olabileceğini belirtmektedir [15, 58].

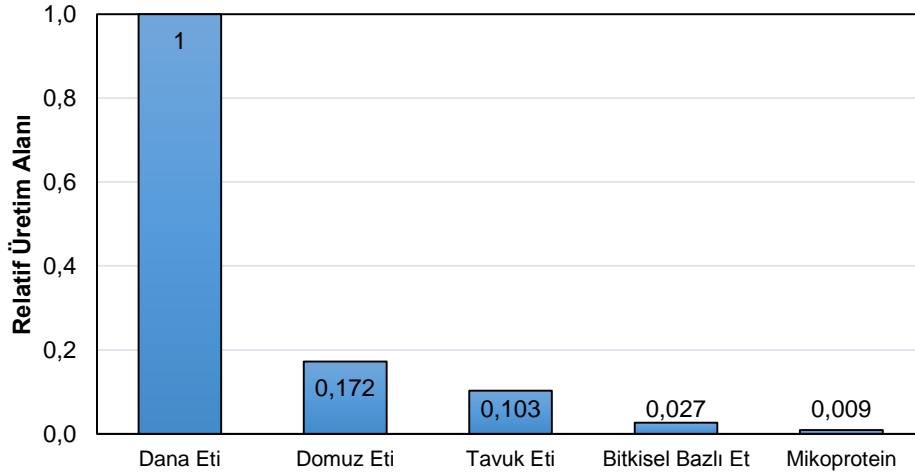


Şekil 2. Farklı ürün gruplarının su ayak izi [16, 39]

Figure 2. Water footprint of different product groups [16, 39]

Hayvancılık üretiminde tarım arazilerinin %70'inden fazlasını kullanmaktadır. Mikoprotein üretimi için gereken arazi gereksinimleri sığır eti ve tavuk eti üretimi için olanlarla karşılaştırmak için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Sığır eti ve tavuk eti üretimi için kullanılan toprakların, mikoprotein üretimi için kullanılan

alanlardan çok daha düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 3) [95]. Eternal firmasının beyanına göre mikoprotein alan kullanımı 1.5 m²/kg iken dana etinin, tavuk etinin ve soyanın alan kullanımı sırasıyla 213.5 m²/kg, 14 m²/kg ve 3.5 m²/kg olduğu açıklanmıştır [84].



Şekil 3. Farklı ürünlerin üretiminde kullanılan alanlar [71]. Veriler, sığır eti üretiminin etkisine göre normalize edilmiştir.

Figure 3. Areas used in the production of different products [71]. Data are normalized for the effect of beef production.

Van Grinsven ve ark. [96] göre, tarımsal ürünlerin maliyet faydası yıllık 20-80 milyar Euro arasında değişmekteyken, toprak-bitki kaynaklı azot kirliliğinin maliyet zararı (insan sağlığı ve çevre etkisi açısından) yıllık 35-230 milyar Euro arasında değişmektedir. Mikrobiyal protein üretimi, tarım sistemlerinin yüksek nitrojen üretimini (gübreyle bağlı nitrojen) azaltabilmektedir ve dolayısıyla ekosistemler, ötrofik kaynaklar ve azot oksit (N₂O) emisyonları üzerindeki olumsuz etkide önemli bir azalma sağlanabilmektedir. Öte yandan mikrobiyal protein üretiminde resmi mevzuatın oluşturulmasıyla birlikte, atık geri dönüşüm programlarının bir parçası olarak besin ve karbon

kaynağı geri kazanımlarıyla daha fazla fırsat yaratılabileceği düşünülmektedir.

SAĞLIK ve GÜVENLİK

Mikoproteinlerle yapılan klinik çalışmalarda, mikoprotein toplam kolesterolü ve LDL kolesterolü azalttığı, HDL kolesterolünü ise artırdığı belirlenmiştir. Mikoproteinler zengin protein kaynaklarıdır ve lif içeriği yüksektir. Ayrıca toplam yağ asitleri ve doymuş yağ asitleri içeriği açısından ise düşük bir üründür. Bu tür proteinleri tüketen kişilerin kardiyovasküler ve felç gibi hastalıklar açısından daha düşük risk içerisinde olduğu bilinmektedir.

Turnbull ve ark. [97] ve Burley ve ark. [98] tarafından yapılan çalışmalarda mikoprotein içeren diyetlerin, iştah düzenlemesi üzerine olumlu bir etkisinin olduğunu ve mikoprotein tokluğu artırarak iştahı azalttığı sonucuna varılmıştır. Williamson ve ark. [99] yapmış oldukları çalışmada, öğünlerden önce mikoprotein, tofu ve tavuk eti tüketiminin tokluk üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda, tavuk etine kıyasla mikoprotein tüketiminin tokluk hissini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. British Journal of Nutrition dergisinde yayınlanan bir çalışmada, mikoprotein içeren bir öğünün, tavuk içeren bir öğüne kıyasla kalori alımını yüzde 10 azalttığını belirtmiştir [56].

Mikoprotein öğünlere dahil edilmesiyle birlikte glisemik indeks kontrolünün sağlanabileceği düşünülmektedir. Mikoprotein insülin konsantrasyonu ve kan şekeri üzerine etki mekanizması tam olarak tanımlanamasa da sağlanan etkinin mikoprotein içeriğinde bulunan yüksek lif miktarı sayesinde olduğu düşünülmektedir. Çözünür lifler ince bağırsak duvarından glikoz difüzyonunu yavaşlatarak glisemik tepkileri iyileştirmektedir [100]. Ayrıca lifler, gastrointestinal sistemde besin akış hızını azaltarak glikozun emilim oranını düşürmektedir [101]. Mikoproteinler, düşük miktarlarda karbonhidrat içermektedir, bu nedenle glisemik tepkilerdeki gelişmelerin karbonhidratların parçalanması veya emilimiyle bağlantılı olmayacağı düşünülmektedir. American Journal of Clinical Nutrition'da yayınlanan bir çalışmada ise mikoprotein kan şekeri üzerinde etkilerini incelenmiş ve mikoprotein içeren bir milkshake tüketiminin kan şekerini, kontrol grubuna kıyasla %36'ya kadar azaltabildiğini tespit edilmiştir [102]. Mikoprotein kolesterol seviyesini kontrol altına tutmakta yardımcı olduğunu ve böylelikle kalp hastalığı riskini azalttığına dair bulgular da rapor edilmiştir. Londra Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada mikoprotein toplam kolestrol düzeyini ve LDL kolestrolü sırasıyla %13 ve %9 azalttığını, HDL kolestrolünü ise %12 oranında arttırdığını saptamıştır [103, 104].

Mikoproteinler, çeşitli gastrointestinal ve alerjik reaksiyonlara neden olabileceği belirtilmektedir. Kamu Yararına Bilim Merkezi (CSPI), 2002-2014 yılları arasında web sitesi aracılığıyla mikoproteine karşı gastrointestinal şikayetler ve alerjik reaksiyonlar hakkında raporlar toplamıştır. Bu raporlardan yola çıkarak Jacobson ve Deporter [105], mikoprotein içeren gıdaların etkilerini incelemiştir. 1.752 adet kişinin analizi, mikoprotein içeren ürünlerin alerjik ve gastrointestinal belirtileri ortaya çıkmasına neden olduğunu göstermiştir. Toplam 312 kişi 4 saat sonra anafilaksi ve ürtiker gibi alerjik reaksiyonlar göstermiştir. 188 kişide ise mikoprotein içeren et alternatifini birkaç kez kullandıktan sonra tekrar tekrar benzer tepkileri göstermiştir. Ayrıca 1.692 kişide mikoprotein içeren et alternatifinin tüketilmesinin 8. saatinde kusma ve ishal gibi gastrointestinal semptomlar meydana gelmiştir. Semptomların orta dereceli mide bulantısından şiddetli kusmaya kadar değiştiği rapor edilmiştir. 2015 yılında New York Sağlık Ekonomisi Konsorsiyumu ise mikoproteine karşı alerjik reaksiyonların sistematik bir incelemesini gerçekleştirmiştir. 30 deneysel çalışma arasında, araştırmacılar yalnızca 2 reaksiyonu

doğrulamıştır. Araştırmacılar mikoprotein içeren ürünlerin tüketimiyle meydana gelen alerjik reaksiyonların, yaygın alerjenik gıda maddelerine göre çok düşük olduğunu saptamışlardır. Mikoprotein içeren ürünlerin tüketimiyle meydana gelen alerjik reaksiyonların nadir olduğu ve bireylerin büyük çoğunluğu için güvenli bir gıda maddesi olduğu belirtilmiştir [106].

SONUÇ

Artan dünya nüfusu ve besleyici gıdalara olan talep, mevcut et ve tahıl üretiminde artış meydana getirmektedir. Son yıllarda, et üretiminde ve tarımda gübre, böcek ilacı ve antibiyotik (büyüme destekleyici olarak) artan bu talepleri karşılamak için kullanılmıştır. Ancak bu ürünlerin kullanımı doğada dengesizliklere ve antibiyotiğe dirençli bakterilerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ayrıca hayvancılık, sera gazı emisyonlarını ve iklim değişikliklerinin hızını arttırmakta, tatlı su kaynaklarını azaltmakta, arazi kullanımını arttırmakta ve dolayısıyla doğal biyoçeşitliliği olumsuz yönde etkilemektedir.

Alternatif et ürünleri pazarı, sağlık, etik veya dini nedenlerden dolayı et tüketimini azaltmak isteyen vejetaryenler ve vejetaryen olmayanları kapsamaktadır. Doku ve lezzet bakımından yüksek kaliteye sahip alternatif protein ikamelerine olan ilgi de son yıllarda giderek artmaktadır.

Mikroorganizmalara dayalı üretim modeli oluşturan mikoproteinler, ticari olarak piyasada kullanılan bir üründür. Genel olarak mikoproteinler, besin takviyeleri ve gıdalarda et ikamesi olarak önemli katkılar göstermektedir. Mikoproteinlerin ikame besin takviyesi olarak kullanılması, özellikle gelişmekte olan ülkelerin hızla büyüyen nüfusları için gıda kıtlığı sorunlarını azaltabileceği düşünülmektedir. Mevcut bulgular, mikoproteinlerin biyolojik değerlerinin ve temel amino asit içeriklerinin etlerle nispeten benzer olduğunu göstermiştir. Mikoprotein protein ve lif bakımından zengin bir kaynak olması insan sağlığını da bir çok olumlu yönde desteklemektedir. Ayrıca amino asit profilinde, tüm esansiyel amino asitleri içermesi mikoprotein en büyük avantajıdır. Öte yandan mikoprotein geleneksel et ürünlerine göre çevre dostu bir ürün olması gezegenimizin kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Mikoprotein üretimi; bir firmanın ihtiyaç duyduğu protein kaynağını kendi bünyesinde üreterek dışardan herhangi bir tedarikçiye bağlı kalmamasını, herhangi bir iklimsel koşuldan veya hastalıklardan etkilenme olasılığını sıfırlanmasını ve karanlık bir üretim hattında üretim yapabilme yeteneğini kazandırmaktadır. Ancak yüksek nükleik asit içeriği ve olası alerjik etkiler, mikoprotein küresel olarak gıda olarak kullanımını sınırlayan faktörlerdir. Buna rağmen mikoproteinlerin alerjik ve toksik etkileri üzerine yapılan çalışmaların sayısı literatürde oldukça azdır. Ayrıca, bazı makaleler karşılaştırmalarda kullanmak için yeterli istatistiksel kaliteye sahip değildir. Bu nedenle, mikoproteinler için vurgulanan bu etkileri ortaya çıkarmak adına daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Gabriel, A., Victor, N., du Preez James, C. (2014). Cactus pear biomass, a potential lignocellulose raw material for single cell protein production (SCP): a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 3(7), 171-197.
- [2] United Nations Department of Economics and Social Affairs (2015). World population projected to reach 9.7 billion by 2050 <https://www.un.org/en/development/desa/news/population/2015-report.html> (Erişim tarihi:24.05.2021).
- [3] McKenzie, F.C., Williams, J. (2015). Sustainable food production: constraints, challenges and choices by 2050. *Food Security*, 7(2), 221-233.
- [4] Grafton, R.Q., Daugbjerg, C., Qureshi, M.E. (2015). Towards food security by 2050. *Food Security*, 7(2), 179-183.
- [5] Upadhyaya, S., Tiwari, K., Arora, N., Singh, D.P. (2016). Microbial protein: a valuable component for future food security. In *Microbes and Environmental Management*. Edited by J.S. Singh and D.P. Singh, Studium Press, New Delhi, 259-279.
- [6] Navarro, J.C.A., Prado, S.M.C., Cardenas, P.A., Santos, R.D., Caramelli, B. (2010). Pre-historic eating patterns in Latin America and protective effects of plant-based diets on cardiovascular risk factors. *Clinics*, 65(10), 1049-1054.
- [7] Schneider, U. A., Havlík, P., Schmid, E., Valin, H., Mosnier, A., Obersteiner, M., Böttcher H., Skalsky, R., Balkovid, J., Sauer, T., Fritz, S. (2011). Impacts of population growth, economic development, and technical change on global food production and consumption. *Agricultural Systems*, 104(2), 204-215.
- [8] Afshin, A., Sur, P. J., Fay, K. A., Cornaby, L., Ferrara, G., Salama, J. S., Murray, C. J. (2019). Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 393(10184), 1958-1972.
- [9] Stehfest, E., Bouwman, L., Van Vuuren, D.P., Den Elzen, M.G., Eickhout, B., Kabat, P. (2009). Climate benefits of changing diet. *Climatic Change*, 95(1), 83-102.
- [10] Bonny, S.P., Gardner, G.E., Pethick, D.W., Hocquette, J.F. (2015). What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry? *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 255-263.
- [11] Santesso, N., Akl, E.A., Bianchi, M., Mente, A., Mustafa, R., Heels-Ansdell, D., Schünemann, H.J. (2012). Effects of higher-versus lower-protein diets on health outcomes: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Clinical Nutrition*, 66(7), 780-788.
- [12] National Heart Foundation. 2019. Dietary Position Statement-Meat & Heart Healthy Eating; National Heart Foundation. Melbourne, Victoria, Australia.
- [13] Peters, G.M., Rowley, H.V., Wiedemann, S., Tucker, R., Short, M.D., Schulz, M. (2010). Red meat production in Australia: life cycle assessment and comparison with overseas studies. *Environmental Science and Technology*, 44(4), 1327-1332.
- [14] Kalhor, T., Rajabipour, A., Akram, A., Sharifi, M. (2016). Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment. *Information Processing in Agriculture*, 3(4), 262-271.
- [15] Gruener, O. (2010). The water footprint: water in the supply chain. *The environmentalist*, 1(93), 12.
- [16] Pimentel, D., Pimentel, M. (2003). Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3), 660-663.
- [17] Tuomisto, H.L. (2019). The eco-friendly burger: could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products? *EMBO Reports*, 20(1), e47395.
- [18] Poore, J., Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.
- [19] Meticulous Market Research. "Alternative Protein Market to Reach \$27.05 Billion by 2027- Market Size, Share, Forecasts, & Trends Analysis Report with COVID-19 Impact by Meticulous Research". <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/09/13/2295883/0/en/Alternative-Protein-Market-to-Reach-27-05-Billion-by-2027-Market-Size-Share-Forecasts-Trends-Analysis-Report-with-COVID-19-impact-by-Meticulous-Research.html> Son erişim tarihi: 12 Nisan 2022
- [20] Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M., Tiwari, B. (2017). Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *Foods*, 6(7), 53.
- [21] Israelidis, C.J. (1988). Nutrition-Single cell protein, twenty years later. *First Biointernational Conference Biopolitics International Organisation*, May 6-10 1987, Athens, Greece.
- [22] Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818.
- [23] Wu, G., Fanzo, J., Miller, D.D., Pingali, P., Post, M., Steiner, J.L., Thalacker-Mercer, A.E. (2014). Production and supply of high - quality food protein for human consumption: sustainability, challenges, and innovations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1321(1), 1-19.
- [24] Michaelsen, K.F., Neufeld, L.M., Prentice, A.M. (2020). *Global Landscape of Nutrition Challenges in Infants and Children*. Karger Medical and Scientific Publishers, Basel, Switzerland.
- [25] Wu, G., Jaeger, L.A., Bazer, F.W., Rhoads, J.M. (2004). Arginine deficiency in preterm infants: biochemical mechanisms and nutritional implications. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 15(8), 442-451.
- [26] Taylor, L. H., Latham, S. M., Woolhouse, M. E. (2001). Risk factors for human disease emergence, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences*. 356(1411), 983-989.
- [27] Woolhouse, M., Gaunt, E. (2007). Ecological origins of novel human pathogens. *Critical Reviews in Microbiology*. 33(4), 231-242.

- [28] Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L., Daszak, P. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 451(7181), 990-993.
- [29] Lau, S.K., Wong, E.Y., Tsang, C.C., Ahmed, S.S., Au-Yeung, R.K., Yuen, K.Y., Wernery, U., Woo, P.C. (2018). Discovery and sequence analysis of four delta coronaviruses from birds in the Middle East reveal interspecies jumping with recombination as a potential mechanism for avian-to-avian and avian-to-mammalian transmission. *Journal of Virology*, 92(15), e00265-18.
- [30] Sun, H., Xiao, Y., Liu, J., Wang, D., Li, F., Wang, C., Liu, J. (2020). Prevalent Eurasian avian-like H1N1 swine influenza virus with 2009 pandemic viral genes facilitating human infection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(29), 17204-17210.
- [31] Gong, Y., Ma, T.C., Xu, Y.Y., Yang, R., Gao, L.J., Wu, S.H., Li, J., Yue, M.I., Liang, H., He, X., Yun, T. (2020). Early research on COVID-19: a bibliometric analysis. *The Innovation*, 1(2), 100027.
- [32] Edwards, C. E., Yount, B. L., Graham, R. L., Leist, S. R., Hou, Y. J., Dinnon, K. H., Sims, A. C., Swanstrom, J., Gully, K., Scobey, T.D., Cooley, M.R., Currie, C.G., Randell, S.H., Baric, R.S. (2020). Swine acute diarrhea syndrome coronavirus replication in primary human cells reveals potential susceptibility to infection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 117(43), 26915-26925.
- [33] Alders, R., Awuni, J.A., Bagnol, B., Farrell, P., de Haan, N. (2014). Impact of avian influenza on village poultry production globally. *Ecohealth*, 11(1), 63-72.
- [34] Pitts, N., Whitnall, T. (2019). Impact of African swine fever on global markets. *Agricultural Commodities*, 9(3), 52-54.
- [35] Scott, A., Hernandez-Jover, M., Groves, P., Toribio, J.A. (2020). An overview of avian influenza in the context of the Australian commercial poultry industry. *One Health*, 10, 100139.
- [36] Sharima-Abdullah, N., Hassan, C.Z., Arifin, N., Huda-Faujan, N. (2018). Physicochemical properties and consumer preference of imitation chicken nuggets produced from chickpea flour and textured vegetable protein. *International Food Research Journal*, 25(3), 1016-1025.
- [37] Schreuders, F.K., Dekkers, B.L., Bodnár, I., Erni, P., Boom, R.M., van der Goot, A.J. (2019). Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation. *Journal of Food Engineering*, 261, 32-39.
- [38] Chiang, J.H., Loveday, S.M., Hardacre, A.K., Parker, M.E. (2019). Effects of soy protein to wheat gluten ratio on the physicochemical properties of extruded meat analogues. *Food Structure*, 19, 100-102.
- [39] Kim, T., Riaz, M.N., Awika, J., Teferra, T.F. (2021). The effect of cooling and rehydration methods in high moisture meat analogs with pulse proteins-peas, lentils, and faba beans. *Journal of Food Science*, 86(4), 1322-1334.
- [40] Dick, A., Bhandari, B., Prakash, S. (2019). 3D printing of meat. *Meat science*, 153, 35-44.
- [41] Bryant, C.J. (2020). Culture, meat, and cultured meat. *Journal of Animal Science*, 98(8), 172-179.
- [42] Fraeye, I., Kratka, M., Vandeburgh, H., Thorrez, L. (2020). Sensorial and nutritional aspects of cultured meat in comparison to traditional meat: much to be inferred. *Frontiers in Nutrition*, 7, 35.
- [43] Değerli, C. (2020). Processed Meat Production in 3 Dimensional (3D) Printing Technology. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 8(5), 1018-1026.
- [44] Trinci, A.P.J. (1991). Quorn mycoprotein. *Mycologist*, 5(3), 106-109.
- [45] Kim, K., Choi, B., Lee, I., Lee, H., Kwon, S., Oh, K., Kim, A.Y. (2011). Bioproduction of mushroom mycelium of *Agaricus bisporus* by commercial submerged fermentation for the production of meat analogue. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(9), 1561-1568.
- [46] Stoffel, F., de Oliveira Santana, W., Gregolon, J.G.N., Kist, T.B.L., Fontana, R.C., Camassola, M. (2019). Production of edible mycoprotein using agroindustrial wastes: Influence on nutritional, chemical and biological properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 58, 102227.
- [47] Hellwig, C., Gmoser, R., Lundin, M., Taherzadeh, M. J., Rousti, K. (2020). Fungi Burger from Stale Bread? A Case Study on Perceptions of a Novel Protein-Rich Food Product Made from an Edible Fungus. *Foods*, 9(8), 1112.
- [48] Stoffel, F., de Oliveira Santana, W., Fontana, R.C., Camassola, M. (2021). Use of *Pleurotus albidus* mycoprotein flour to produce cookies: Evaluation of nutritional enrichment and biological activity. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 68, 102642.
- [49] FDA, (2002). Generally Recognized as Safe (GRAS) Notification Fermented Microbial Protein, <https://www.fda.gov/media/142277/download> (Erişim Tarihi:24.05.2021).
- [50] Wiebe, M.G. (2004). Quorn™ Myco-protein-Overview of a successful fungal product. *Mycologist*, 18(1), 17-20.
- [51] Edelman, J., Fewell, A., Solomons, G.L. (1983). Myco-protein-a new food. *Nutrition Abstract and Reviews in Clinical Nutrition*, 53, 471-480.
- [52] Edwards, D.G. (1993). The nutritional evaluation of myco-protein. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 44, 37-43.
- [53] Sadler, M. (1990). Myco-protein-a new food. *Nutrition Bulletin*, 15(3), 180-190.
- [54] Wheelock, V. (1993). Quorn: case study of a healthy food ingredient. *British Food Journal*, 95(5), 40-44.
- [55] Denny, A., Aisbitt, B., Lunn, J. (2008). Mycoprotein and health. *Nutrition bulletin*, 33(4), 298-310.
- [56] Bottin, J.H., Swann, J.R., Cropp, E., Chambers, E.S., Ford, H.E., Ghatei, M.A., Frost, G.S. (2016). Mycoprotein reduces energy intake and postprandial insulin release without altering glucagon-like peptide-1 and peptide tyrosine-tyrosine concentrations in healthy overweight and obese adults: a randomised-controlled trial. *British Journal of Nutrition*, 116(2), 360-374.
- [57] Harris, H.C., Edwards, C.A., Morrison, D.J. (2019). Short chain fatty acid production from mycoprotein

- and mycoprotein fibre in an in vitro fermentation model. *Nutrients*, 11(4), 800.
- [58] Finnigan, T., Needham, L., Abbott, C. (2017). Mycoprotein: a healthy new protein with a low environmental impact. In *Sustainable Protein Sources*, Edited by S.R. Nadathur, J.P.D. Wanasundara, L. Scanlin, Academic Press, London, United Kingdom, 305-325.
- [59] Chandrani-Wijeyaratne, S., Tayathilake, A.N. (2000). Characteristics of two yeast strain (*Candida tropicalis*) isolated from *Caryota urens* (Khitul) toddy for single cell protein production. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 28, 79-86.
- [60] Suman, G., Nupur, M., Anuradha, S., Pradeep, B. (2015). Single cell protein production: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 4(9), 251-262.
- [61] Hosseini, S.M., Khosravi-Darani, K., Mohammadifar, M.A., Nikoopour, H. (2009). Production of mycoprotein by *Fusarium venenatum* growth on modified Vogel medium. *Asian Journal of Chemistry*, 21(5), 4017-4022.
- [62] Aggelopoulos, T., Katsieris, K., Bekatorou, A., Pandey, A., Banat, I.M., Koutinas, A.A. (2014). Solid state fermentation of food waste mixtures for single cell protein, aroma volatiles and fat production. *Food Chemistry*, 145, 710-716.
- [63] Liu, B., Li, Y., Song, J., Zhang, L., Dong, J., Yang, Q. (2014). Production of single-cell protein with two-step fermentation for treatment of potato starch processing waste. *Cellulose*, 21(5), 3637-3645.
- [64] Rodger, G. (2001). Mycoprotein-a meat alternative new to the US Production and properties of mycoprotein as a meat alternative. *Food Technology*, 55(7), 36-41.
- [65] Trinci, A.P. (1992). Myco-protein: A twenty-year overnight success story. *Mycological Research*, 96(1), 1-13.
- [66] Sinskey, A.J., Tannenbaum, S.R. (1975). Removal of nucleic acids in SCP. In *Single Cell Protein II* Edited by S. Tannenbaum, D.I.C Wang, MIT Press, Cambridge, 158.
- [67] Anderson, C., Solomons, G.L. (1982). Primary metabolism and biomass production from *Fusarium*. *Symposia of British Mycological Society*, 7, 231-250.
- [68] Wiebe, M. (2002). Myco-protein from *Fusarium venenatum*: a well-established product for human consumption. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 58(4), 421-427.
- [69] Rudravaram, R., Chandel, A.K., Rao, L.V., Hui, Y.Z., Ravindra, P. (2009). Bio (Single Cell) protein: issues of production, toxins and commercialisation status. In *Agricultural wastes*, Edited by G.S. Ashworth and P. Azevedo, Nova Science Publishers, New York, 129-153.
- [70] Nasser, A.T., Rasoul-Amini, S., Morowvat, M.H., Ghasemi, Y. (2011). Single cell protein: production and process. *American Journal of Food Technology*, 6(2), 103-116.
- [71] Ravindra, P. (2000). Value-added food: Single cell protein. *Biotechnology Advances*, 18(6), 459-479.
- [72] Ukaegbu-Obi, K.M. (2016). Single cell protein: a resort to global protein challenge and waste management. *Journal of Microbiology and Microbial Technology*, 1(1), 5.
- [73] Souza Filho, P.F., Nair, R.B., Andersson, D., Lennartsson, P.R., Taherzadeh, M.J. (2018). Vegan-mycoprotein concentrate from pea-processing industry byproduct using edible filamentous fungi. *Fungal Biology and Biotechnology*, 5(1), 1-10.
- [74] Bekatorou, A., Psarianos, C., Koutinas, A.A. (2006). Production of food grade yeasts. *Food Technology and Biotechnology*, 44(3), 407-415.
- [75] Reihani, S.F.S., Khosravi-Darani, K. (2018). Mycoprotein production from date waste using *Fusarium venenatum* in a submerged culture. *Applied Food Biotechnology*, 5(4), 243-352.
- [76] Hashempour-Baltork, F., Hosseini, S.M., Assarehzadegan, M.A., Khosravi-Darani, K., Hosseini, H. (2020). Safety assays and nutritional values of mycoprotein produced by *Fusarium venenatum* IR372C from date waste as substrate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(12), 4433-4441.
- [77] Ugalde, U.O., Castrillo, J.I. (2002). Single cell proteins from fungi and yeasts. In *Applied Mycology and Biotechnology Volume 2*, Edited by G.G. Khachatourians and D.K. Arora, Elsevier Science, Amsterdam, 123-149.
- [78] Miller, S.A., Dwyer, J.T. (2001). Evaluating the safety and nutritional value of mycoprotein. *Food Technology (Chicago)*, 55(7), 42-47.
- [79] Udall, J.N., Lo, C.W., Young, V.R., Scrimshaw, N.S. (1984). The tolerance and nutritional value of two microfungus foods in human subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 40(2), 285-292.
- [80] Ahmad, M. I., Farooq, S., Alhamoud, Y., Li, C., Zhang, H. (2022). A review on mycoprotein: History, nutritional composition, production methods, and health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, 121, 14-29.
- [81] Matassa, S., Boon, N., Pikaar, I., Verstraete, W. (2016). Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microbial Biotechnology*, 9(5), 568-575.
- [82] Finnigan, T.J.A. (2011). Mycoprotein: origins, production and properties. In *Handbook of Food Proteins*, Edited by G.O. Phillips and P.A. Williams, Woodhead Publishing Limited, New Delhi, 335-352.
- [83] Benjamin Ferrer. (2022). Alt-meat for astronauts: Eternal explores fungal-based space food from new facility at NASA Kennedy Space Center <https://www.foodingredientsfirst.com/news/alt-meat-for-astronauts-eternal-to-explore-space-applications-from-its-new-rd-facility-at-nasa-kennedy-space-center.html> (Erişim tarihi: 24.04.2022).
- [84] Eternal. (2022). <https://www.eternal.bio/> (Erişim tarihi:24.04.2022).
- [85] Mycorena. (2022). <https://mycorena.com/> (Erişim tarihi:24.04.2022).
- [86] Enough Food. (2022). <https://www.enough-food.com/> (Erişim tarihi:24.04.2022).
- [87] Elzerman, J.E., Hoek, A.C., Van Boekel, M.A., Luning, P.A. (2011). Consumer acceptance and appropriateness of meat substitutes in a meal

- context. *Food Quality and Preference*, 22(3), 233-240.
- [88] Apostolidis, C., McLeay, F. (2016). It's not vegetarian, it's meat-free! Meat eaters, meat reducers and vegetarians and the case of Quorn in the UK. *Social Business*, 6(3), 267-290.
- [89] FAO, 2009. How to Feed the World in 2050. *High-Level Expert Forum*, June, 2009 Rome, Italy.
- [90] Hashempour-Baltork, F., Hosseini, H., Shojaee-Aliabadi, S., Torbati, M., Alizadeh, A.M., Alizadeh, M. (2019). Drug resistance and the prevention strategies in food borne bacteria: an update review. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 9(3), 335-347.
- [91] Lymbery, P. (2014). *Farmageddon: the True Cost of Cheap Meat*. Bloomsbury Publishing, London, England.
- [92] Tilman, D., Clark, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515(7528), 518-522.
- [93] Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Tempio, G. (2013). Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- [94] Hsu, K., Kazer, J., Cumberlege, T. (2018). *Quorn Footprint Comparison Report*. Carbon Trust, Carbon Trust Advisory Limited, London, England.
- [95] Rubio, N.R., Xiang, N., Kaplan, D.L. (2020). Plant-based and cell-based approaches to meat production. *Nature Communications*, 11(1), 1-11.
- [96] Van Grinsven, H.J., Holland, M., Jacobsen, B.H., Klimont, Z., Sutton, M.A., Jaap Willems, W. (2013). Costs and benefits of nitrogen for Europe and implications for mitigation. *Environmental Science and Technology*, 47(8), 3571-3579.
- [97] Turnbull, W.H., Walton, J., Leeds, A.R. (1993). Acute effects of mycoprotein on subsequent energy intake and appetite variables. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 58(4), 507-512.
- [98] Burley, V.J., Paul, A.W., Blundell, J.E. (1993). Influence of a high-fibre food (myco-protein*) on appetite: effects on satiation (within meals) and satiety (following meals). *European Journal of Clinical Nutrition*, 47, 409-418.
- [99] Williamson, D.A., Geiselman, P.J., Lovejoy, J., Greenway, F., Volaufova, J., Martin, C.K., Arnett, C., Ortego, L. (2006). Effects of consuming mycoprotein, tofu or chicken upon subsequent eating behaviour, hunger and safety. *Appetite*, 46(1), 41-48.
- [100] Edwards, C.A., Johnson, I.T., Read, N.W. (1988). Do viscous polysaccharides slow absorption by inhibiting diffusion or convection? *European Journal of Clinical Nutrition*, 42(4), 307-312.
- [101] Leclere, C.J., Champ, M., Boillot, J., Guille, G., Lecannu, G., Molis, C., Bornet, F., Krempf, M., Delort-Laval, J. Galmiche, J.P. (1994). Role of viscous guar gums in lowering the glycemic response after a solid meal. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 59(4), 914-921.
- [102] Turnbull, W.H., Ward, T. (1995). Mycoprotein reduces glycemia and insulinemia when taken with an oral-glucose-tolerance test. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 61(1), 135-140.
- [103] Turnbull, W.H., Leeds, A.R., Edwards, G.D. (1990). Effect of mycoprotein on blood lipids. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 52(4), 646-650.
- [104] Turnbull, W.H., Leeds, A.R., Edwards, D.G. (1992). Mycoprotein reduces blood lipids in free-living subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 55(2), 415-419.
- [105] Jacobson, M.F., DePorter, J. (2018). Self-reported adverse reactions associated with mycoprotein (quorn-brand) containing foods. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 120(6), 626-630.
- [106] Finnigan, T.J., Wall, B.T., Wilde, P.J., Stephens, F.B., Taylor, S.L., Freedman, M.R. (2019). Mycoprotein: the future of nutritious nonmeat protein, a symposium review. *Current Developments in Nutrition*, 3(6), 1-5.