

Tek Hücre Proteinlerinin İnsan ve Hayvan Beslemede Kullanımı

Ramazan DEMİREL¹, Dilek ŞENTÜRK DEMİREL¹

ÖZET: İnsan ve hayvan beslemede protein, günlük hayatta ihtiyaç duyulan en önemli besin maddelerinden birisidir. Protein üretimi hem emek yoğun ve hem de maliyeti yüksek bir işlemdir. Ekonomisi nispeten zayıf olan gelişmekte olan ülkelerde yetersiz ve dengesiz beslenmeye bağlı sağlık problemleri, hızla artan nüfusla birlikte daha da şiddetlenmektedir. Özellikle biyolojik değeri yüksek olan hayvansal protein üretiminde doğal kaynakların (su, gübre, yem vb.) aşırı tüketimine ilave olarak, üretim maliyeti de yüksektir. İnsan ve tek mideli hayvanlar (kanatlı kümes hayvanları, domuz, pet hayvanları, etçil kürk hayvanları ve balıklar) esansiyel amino asitleri bakımından hayvansal proteinlere bağımlıdırlar. Hayvansal kaynaklara yakın düzeyde protein içeren alternatif protein kaynaklarının gıda ve yemlerde kullanımıyla ilgili çalışmalar uzun süreden beri yapılmaktadır. Bakteri, maya, su yosunu ve mantarlar gibi mikrobiyel canlılar, tarımsal ve endüstriyel atıkları karbon kaynağı olarak kullanarak oldukça kaliteli proteine dönüştürebilmektedirler.

Anahtar Kelimeler: Alg, bakteri, amino asidi, mantar, maya, tek hücre proteini.



Single Cell Proteins for Human and Animal Nutrition

ABSTRACT: Protein is the highest costed nutrients in human food and animal feeds. Protein production is required labour intensified and highly costed process. In under developed countries, unbalanced and malnutrition problems are common, because of higher population growth. Especially, in animal originated, higher biologic valued protein production is getting expensive because of excess natural sources using (water, manure, feed etc.) Monogastric animals (pig, fish, poultry and pet animals) and humans are dependent on essential amino acids. These limited amino acids are abundant in animal proteins. For a long time, researchers are seeking alternative protein sources for food and feed. Some microorganisms just like bacteria, yeast, algae and fungi can use some agricultural and industrial wastes as raw materials for good quality single cell protein production.

Keywords: Algae, bacteria, amino acid, fungi, yeast, single cell protein.

¹ Ramazan DEMİREL (0000-0003-0816-4125), Dilek ŞENTÜRK DEMİREL (0000-0003-4142-2632), Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Ramazan DEMİREL, ramazand@dicle.edu.tr

GİRİŞ

Özellikle ekonomik gelir seviyesinin düşük olduğu ülkelerde artan nüfusun sağlıklı ve dengeli beslenmesi günümüzde giderek zorlaşmaktadır. Artan nüfusun protein ihtiyaçlarının karşılanması için alternatif arayışlar söz konusudur. Bunlardan birisi de insan ve hayvan beslemede protein kaynağı olarak bakteri, maya, mantar ve su yosunlarından yararlanmaktadır. Portakal kabukları, şeker kamışı, tapiyoka, patates, hindistan cevizi, üzüm, mango vb. işlenmesi sırasında ortaya çıkan tarımsal yan ürünler potansiyel mikrobiyal üretim ortamlarıdır. Ayrıca alkol, kağıt, petrol vb. sanayi atıkları da besi yeri olarak kullanılmaktadır. Böylece tarımsal ve sanayi atıkları değerlendirilerek, ekonomiye kazandırılmakta, çevre kirliliği önlenmekte ve yüksek kaliteli hayvansal ürünlere eşdeğer protein üretimi mümkün olmaktadır. Elde edildiği kaynak hangisi olursa olsun, hayvansal proteinlerin yerine hücre kültürleri kurutulup, işlenerek, insan gıdası veya hayvan yemlerinde sınırlı miktarlarda kullanılabilir. Mikrobiyal protein, yüksek besin değeri nedeniyle özellikle tavukçulukta tercih edilen ve üretim sınırları zorlanan soya ile balık unu yerine kullanılacak önemli bir alternatif kaynaktır. Tek hücre proteini üretiminde mikroorganizmalar, farklı karbon kaynaklarını besi ortamı olarak kullanmaktadırlar. Tek hücre proteinleri (THP) üreten canlıların yüksek ham protein içeriği (%60 - 70), oldukça iyi amino asit profilleri, başta B grubu olmak üzere zengin vitamin içerikleri ile düşük, fakat kaliteli yağ seviyeleri nedeniyle insan ve hayvanlar için popüler alternatif besinler haline gelmiştir (Çalışkaner ve ark., 1998).

Mikrobiyal protein uygun besi ortamı sağlandığında, bitkisel ve hayvansal proteinlere göre daha hızlı üretilmektedir. Ekonomik üretim için besi ortamı olarak ucuz, atık nitelikli yan ürünlerden olan selüloz ve hemiselüloz içeren karbonhidrat kaynakları kullanılmalıdır (Reed ve Nagodawithana, 1995).

Günümüzde THP hayvan beslemede (buzağı büyütme, tavuk, domuz, balık yetiştirilmede, pet hayvanı yemlerinde), gıdada (aroma verici, vitamin taşıyıcı, emulsifiye edici ve toplam besin değerinin artırılmasında, çorbalarda, hazır yemeklerde), kağıt işleme, deri işleme ve köpük stabilizatörü olarak farklı alanlarda kullanılmaktadır (Zubi, 2005). Tek hücreli canlılardan üretilen mikrobiyal protein kullanılarak

ülkemizde fareler üzerinde 3 kuşak boyunca yürütülen çalışmalarda; etil alkol vasatı üzerinde üretilen tek hücre proteinlerinden EPRİN'in balık unu yerine %0, 2.5, 5.0 ve 7.5 seviyelerinde problemsiz olarak kullanılacağı tespit edilmiştir (Çalışkaner ve ark., 1998). Sıvı parafin vasatı üzerinde üretilen tek hücre proteinlerinden (PAPRİN)'in %0, 2.5, 5.0 ve 7.5 seviyelerinde balık unu yerine kullanılmasıyla; her üç generasyonda da doğan ve süttten kesilen yavru sayıları ile yem tüketiminde farklılık saptanmadığı ifade edilmekle birlikte, 2. generasyonun %7.5 paprin içeren 4. grubunda üremede, süttten kesilme ve cinsi olgunluk ağırlıklarında düşüş görülmüş, gelişmede, tüy yapısında ve renginde anormallikler saptanmıştır (Çalışkaner ve ark., 1999). Bir diğer çalışmada, *Aspergillus terreus*'tan elde edilen %43.7 ham protein içeren THP'nin etlik piliçlerin besi performansları ve sağlıkları üzerinde olumsuz etkisi olmaksızın soya küspesinin %30'una kadar kullanılacağı tespit edilmiştir (Shahzad ve Rajoka, 2011). Bu makalede THP kaynaklarının ideal üretim şartları, üretim işlemleri, besin değerleri ile mevcut ve olası sakıncaları hakkında bilgi verilecektir.

TEK HÜCRE PROTEİNLERİ KULLANIMI-NIN GEÇMİŞİ

Yoğurt, peynir, kefir, ekmek, turşu, soya ürünleri gibi birçok fermente ürün için mikroorganizmalar uzun süredir kullanılmaktadır. Mikroorganizmaların hücrelerinin kuru maddesi büyük ölçüde proteinden oluştuğu için tek hücre olarak yüksek protein düzeyine sahiptirler (Patel, 1995). Mayanın ekmek ve içecek üretiminde kullanılması M.Ö. 2500'lere kadar uzanmaktadır. Yoğun olarak maya üretimi 1781 yılında geliştirilmiştir. THP kavramı ise 1966 yılında gündeme gelmiştir. Sovyetler petrol endüstrisi atıklarını değerlendirmek için "protein, vitamin konsantresi" adlı bir ürün geliştirmişlerdir. Ancak çevrecilerin yoğun baskısıyla karşılaşmışlardır (Srividya ve ark., 2013).

Çok eski zamanlardan beri su yosunu olan Spirulina, Çad gölünden hasat edilerek, insan gıdası olarak kullanılmıştır. Ayrıca uzun süredir Uzakdoğu ülkelerinde de su yosunları gıda ve kozmetik materyal üretiminde kullanılmaktadır. Birinci Dünya Savaşı yıllarında Almanya'da *Saccharomyces cerevisia* ile *Candida utilis*, II. Dünya savaşı yıllarında

Candida arborea ve *C. utilis* endüstriyel olarak üretilip, kullanılmıştır (Srividya ve ark., 2013). 1960'larda ise İngiltere'de mayalar kullanılarak, petrol rafinerilerinde ortaya çıkan mumlu parafin ortamında THP üretilmiştir. Daha sonra tarımsal veya endüstriyel artıkların mikroorganizmalar aracılığı ile protein kaynağına dönüştürülmesi yaygınlaşmıştır (Osho, 1995).

TEK HÜCRE PROTEİNLERİNİN AVANTAJLARI

Mikroorganizmalar yüksek üreme hızına (su yosunları 2 - 6 saatte, mayalar 1 - 3 saatte, bakteriler 0.5 - 2 saatte bir nesil verirler) sahiptirler (Srivastava, 2008). Farklı amino asit profili için kolaylıkla genetik olarak modifiye edilebilirler. Kuru biyokütlerde %43 - 85 oranında, oldukça yüksek protein içeriğine sahiptirler. Atık nitelikli birçok karbon kaynağını hammadde olarak kullanarak, çevrenin korunmasına yardımcı olurlar. Mikrobiyal biyokütle üretimi mevsimsel ve iklimsel değişimlerden etkilenmez, yıl boyu kaliteli ve sürdürülebilir üretim yapılıdır. Üretim yapılacak arazi ihtiyacı çok küçüktür. Fiziksel ve besinsel faktörlerin düzenlenmesiyle verim artırılabilir. Su yosunu kültürü, kullanılmayan alanlarda yapıldığı için tarım arazileri için rekabet yoktur. Özellikle az gelişmiş ülkelerde ucuz olan değersiz yan ürünler ve atıkların değerlendirilerek, ekonomiye kazandırılması avantaj sağlayacaktır.

THP üretiminde verimlilik, klasik üretime kıyasla oldukça yüksektir. Yaklaşık 0.8 km²'lik bir alanda (fermenterde) neredeyse Dünyadaki insanların protein ihtiyacının %10'u üretilebilir. Ucuz enerji kaynağı olarak birçok mikroorganizma tarafından gıda, kağıt, kimya endüstrisi atıkları değerlendirilebildiği gibi metan, melas, alkol, nişasta, selüloz (hızır talaşı, mısır koçanları, anız) ve hayvansal atıklar değerlendirilerek, ucuz protein üretimiyle çevre sorunları da azaltılmaktadır. Besin maddesi olarak mineraller verilerek, ışıktandırılmış havuzlarda fotosentetik alglerden protein üretilmektedir. Doğal yollardan protein üretimi pahalıdır, artan nüfusun sağlıklı ve dengeli olarak beslenmesinde tek hücreli canlılar önemli bir seçenektir (Nasseri ve ark., 2011).

Geleneksel hayvansal üretimle protein elde edilmesi için büyük ölçekli çayır - meralar veya yem

bitkileri üretim alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tarz üretim pahalıdır ve genellikle azotlu gübrelemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Aşırı gübreleme ise istenilmeyen ekonomik ve çevresel problemlere neden olmaktadır. Küçük bir alanda üretilebilmesi nedeniyle tek hücre proteinleri giderek popüler olmaktadır. Dünya nüfusu kontrol edilemediği takdirde, insan ve hayvan besleme amacıyla tek hücre proteinlerinin kullanımı kaçınılmaz olacaktır (Adedayo ve ark., 2011).

THP üretimi için karbon ve enerji kaynağı olarak birçok substrat kullanılmaktadır. Bu ham maddeler yüksek verim için genellikle kullanılmadan önce fiziksel, kimyasal ve enzimatik metotlarla hidrolize edilmektedir (Jhojaosadati ve ark., 1999). Birçok hidrokarbon, azotlu bileşikler, polisakkaritler, hemiselüloz ve selüloz gibi bitkisel kaynaklı tarımsal atıklar, hayvansal kaynaklı tüy, boynuz, tırnak ve saç gibi lifli proteinlerin hepsi THP üretimi için uygun besi ortamlarıdır (Ashok ve ark., 2000). Metan, alkan, etanol ve metanol gibi azot içeren maddeler besi yeri olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda genetik mühendisliğince geliştirilen bazı mikroorganizmalar üretim sırasında organik asitler ve yağlar gibi bazı faydalı ürünlerin elde edilmesinde de kullanılabilir. Düşük kaliteli, karbonhidratlar bakımından zengin materyalin ham protein içeriği yaklaşık 4 - 5 katına kadar artırılabilir. Yaklaşık 0.5 ton ağırlığındaki bir sığır bir günde 0.5kg'dan daha az protein üretebilirken, aynı miktardaki soyadan 40 kg protein üretebilir. Maya ise kullanılan miktarının yaklaşık 100 katı proteini bir günde üretebilmektedir (Bilgrami ve Pandey, 1992). Su yosunlarından bir yılda, 1 dekar alandan 5 ton protein üretebileceği dikkate alındığında THP üretiminin önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

TEK HÜCRE PROTEİNLERİNİN DEZAVANTAJLARI

Kullanılan birçok mikroorganizma insan ve hayvanlar için toksik etkili bazı maddeler üretirler. Bu nedenle üretilen biyokütle proteininin toksik madde üretmediğinden emin olunması gerekir. Yüksek düzeyde nükleik asit içeren mikrobiyal biyokütle insan tüketiminde tercih edilmez. Özellikle bakteriyel kaynaklı THP'lerinin yüksek düzeydeki nükleik asit içerikleri fazla purin

alımına neden olur. Purin ise metabolize olduğunda ürik asit seviyesini yükselterek, gut hastalığı ve böbrek taşı oluşumuna neden olmaktadır. Bu tür materyalin gıdalarda kullanımı halinde insanlarda; hazımsızlık gibi sindirim sistemi problemlerine ve bazı alerjik deri reaksiyonlarına neden olmaktadır. Ortamdaki toksinler insan ve hayvanlarda ciddi sağlık problemleri meydana getirebilirler. Üretim materyaline sterilite istenildiği durumlarda maliyet oldukça yükselmektedir. THP'lerinin çoğu doğal halleriyle oldukça lezzetsizdirler. Sindirilebilirlikleri elde edildikleri kaynağa göre değişmektedir. Yosunlar pişirilince lezzetliliği artarken, mayaların lezzeti ısı etkisiyle çok az değişmektedir (Rumsey ve ark., 2007).

Bir diğer sakınca ise tek hücre proteinlerinin, lizin ve metiyonin amino asitleri bakımından tahıllardan daha iyi olmakla birlikte, yine de yetersiz kalmasıdır. Genetik yapısı değiştirilen mikroorganizmaların kullanılması ile bu sorun çözülebilmekle beraber, yeni kuşkulara ve tartışmalara neden olacaktır (Srividya ve ark., 2013).

Özellikle maya ve alg gibi mikroorganizmaların hücre duvarı sindirilemediği için istenmeyen tat ve koku oluşabilir. Canlı hücreler tüketimden önce mutlaka öldürülmelidir. Ayrıca, deride ve sindirim sisteminde alerjik reaksiyonlara, bulantı ve kusmaya neden olabilir. Spirulina hariç, diğer algler klorofil bakımından zengin olmaları nedeniyle, insan tüketimine uygun değildir. Ayrıca çok düşük düzeylerinde (1 - 2 mg L⁻¹) bile yetiştirme süresi boyunca birçok kontaminasyon riski söz konusudur (Bhalla ve ark., 2007).

TEK HÜCRE PROTEİNLERİNİN BİLEŞİMİ

Mikroorganizmalardan üretilen tek hücre proteini kaynaklarının bileşimleri ve esansiyel amino asit içerikleri sırasıyla Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir. Su yosunları, düşük nükleik asit içeriği bakımından bakteri ve mantarlara kıyasla daha iyidir. Yine düşük nükleik asit içeriği bakımından bakteriye kıyasla mantar çok daha iyidir. Besin maddesi bileşimi büyük ölçüde mikroorganizma çeşidine ve üzerinde yetiştiği besi yerinin özelliklerine göre değişmektedir.

Çizelge 1. Tek Hücre Proteini Kaynaklarının Bileşimleri

Besin maddeleri	% Bileşim			
	Su yosunu	Mantar	Bakteri	Maya
Gerçek protein	40 - 60	30 - 70	50 - 83	-
Toplam Nitrojen (Protein + nükleik asit)	45- 65	35 - 50	60 - 80	45 - 55
Lizin	4.6 - 7.0	6.5 - 7.8	4.3 - 5.8	-
Metiyonin	1.4 - 2.6	1.5 - 1.8	2.2 - 3.0	-
Yağ	5 - 10	5 - 13	8 - 10	2 - 6
Karbonhidrat	9	-	-	-
Safra pigmentleri ve klorofil	6	-	-	-
Nükleik asitler	4 - 6	9.70	15 - 16	6 - 12
Mineral asitler	7	6.6	8.6	-
Amino asitler	-	54	65	-
Kül	3	-	-	5 - 9.5
Nem	6	4.5 - 6	2.8	-
Selüloz	3	-	-	-

(Miller ve Litsky, 1976; Srividya ve ark., 2013)

Çizelge 2. Bazı Referans Proteinlerle Tek Hücre Proteinlerinin Esansiyel Amino Asit İçerikleri (g 100g⁻¹ protein)

Amino asit	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Spirulina maxima</i>	<i>Cellulomonas</i>	BP* THP	Buğday	Yumurta	İnek sütü
Lisin	7.7	4.6	7.6	7.0	2.8	6.3	7.8
Treonin	4.8	4.6	5.4	4.9	2.9	5.0	4.6
Metiyonin	1.7	1.4	2.0	1.8	1.5	3.2	2.4
Sistin	-	0.4	-	-	2.5	2.4	-
Triptofan	1.0	1.4	-	-	1.1	1.6	-
İsolösin	4.6	6.0	5.3	4.5	3.3	6.8	6.4
Lösin	7.0	8.0	7.3	7.0	6.7	9.0	9.9
Valin	5.3	6.5	7.1	5.4	4.4	7.4	6.9
Fenilalanin	4.1	5.0	4.6	4.4	4.5	6.3	4.9
Histidin	2.7	-	7.8	2.0	-	-	-
Arjinin	2.4	-	6.4	4.8	-	-	-

(Kaynak: Han ve ark., 1971), * BP THP: British petrol tek hücre proteini

TEK HÜCRE PROTEİNİ ÜRETİMİ

Büyük boyutlu tek hücre üretimi biyoteknoloji, mikrobiyoloji, biyokimya, genetik, kimya, gıda, tarım ve işleme mühendisliği, hayvan besleme, ekoloji, toksikoloji, ilaç ve veteriner hekimlik ile ekonomi bilimlerini yakından ilgilendirmektedir. Üretim birçok temel mühendislik işlemlerini gerektirir. Materyalin sürekli olarak karıştırılması gerekir. THP üretimi; uygun karbon kaynağı içeren besi ortamının hazırlanması, istenilmeyen kontaminasyonun önlenmesi, istenilen mikroorganizmanın üretimi ve biyokütlenin ayrılarak, hasat işleminin tamamlanması aşamalarını kapsar (Nasseri ve ark., 2011).

THP tamamen su içinde ve yarı katı fermentasyon şeklinde iki tip fermentasyonla üretilir (Varavinit ve ark., 1996). Bunlardan ilkinde büyüme için ihtiyaç duyulan besin maddeleri daima sıvı içerisinde fermente edilir. Substrat daima fermenter içerisinde tutulur ve ürün hasadı sürekli. Ürün filtre edilir, santrifüjlenerek kurutulur. Yarı katı fermentasyonda ise, substratın hazırlanması itina istemez, tapiyoka artıkları gibi oldukça sert materyalin kullanımına olanak verir. İlk yöntem ikincisine kıyasla daha fazla maliyetlidir ve daha az protein üretilir.

Besi ortamı mutlaka karbon kaynağı içermelidir, n-alkanlar, gaz formdaki hidrokarbonlar, metanol, etanol, yenilenebilir kaynaklar (melas, sütçülük atıkları, polisakkaritler, biracılık atıkları, tahıl damıtma atıkları, şeker kamışı atıkları vb.), K, Mn, Zn, Fe tuzlarıyla amonyak gazı gibi besi ortamları birçok mikroorganizmanın üretiminde kullanılabilir (Nasseri, 2011).

Üretim işlemlerinde havalandırma önemlidir. Üretim sırasında oluşan ısının uygun bir soğutma cihazı yardımıyla ortamdaki uzaklaştırılması gerekir. Maya ve bakteri gibi tek hücre proteinleri santrifüj yöntemiyle elde edilirken; iplikçikli mantarlar filtrasyonla ayrıştırılır. Tüm bu işlemlerin hijyenik koşullarda yapılması gerekir. Bu amaçla bol suyla yıkayıp, mutlaka kurutma işlemi yapılmalıdır (Adedayo ve ark., 2011).

Yaygın olarak kullanılan besi ortamları mono ve disakkaritler olmakla birlikte, neredeyse tüm mikroorganizmaların hepsi glukozu, bazıları ise heksoz ve pentoz şekerleriyle, disakkaritleri kolaylıkla parçalayabilmektedirler.

Fermenter, bitki ve hayvan hücrelerinden oluşan yoğun kitlenin fermente edildiği bir alettir.

Fermenterler birkaç litrelik laboratuvar tipi olduğu gibi, birkaç yüz litrelik endüstriyel tip de olabilir. Biyoreaktörde ise canlı mikroorganizmalar da yoğun olarak bulunur. Her iki aparat da havalandırıcı ve karıştırıcı ekipmanlarla desteklenebilir. Fermantasyon koşullarını sabit tutmak için pH metre, termostat vb. ekipmanlar da kullanılmaktadır. Ekonomik üretim için kuru madde oranı %5'ten az olan sıvı formdaki materyalin, süzme, çöktürme, santrifüj ve yarı geçirgen materyal kullanımı gibi ön işlemlerden geçirilmesi gerekir. Üretilen THP'lerinin bozulmadan saklanabilmeleri için nem oranı %10'un altına indirilmesi gerekir (Nasseri ve ark., 2011).

MİKROBİYAL PROTEİN ÜRETİMİNDEKİ TEMEL İLKELER

Uygun karbon kaynağı temin edilmelidir. Fiziksel ve kimyasal ön uygulama gerekebilir. Mikroorganizmanın en uygun büyüme ve gelişimi için karbona ilave olarak azot, fosfor ve diğer besin elementleri de gereklidir. Hijyenik koşulların sağlanmasıyla bulaşmanın önlenmesi gerekir. Besi ortamındaki bileşenler ve ekipmanlar ısıtma veya filtrasyonla sterilize edilmelidir. Üretimde kullanılacak mikroorganizma saf kültür olarak yetiştirilmelidir. Su yosunu hariç, THP kaynağı olan mikroorganizmalar yüksek düzeyde oksijen içeren ortamda yaşarlar. Bu nedenle yeterli havalandırma sağlanmalıdır. Ortamda fazla ısı çıkışı halinde soğutma yapılmalıdır. Besi ortamından üretilen mikrobiyal biyokütlenin toplanması gerekir. Elde edilen biyokütlenin faydasını artırmak ve depolamak için ön işlemde geçirilmesi gerekir (Srividya ve ark., 2013).

TEK HÜCRE ÜRETİMİ YAPILAN CANLILARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

THP üretiminde kullanılacak olan mikroorganizmaların ortak özellikleri; düşük besin maddesi istekleri, değeri düşük atıkları faydalı ürünlere dönüştürebilme kapasiteleri, hızlı büyüme

ve gelişme sağlamaları, çoğalma sırasında stabilite, patojenik olmama, ısı ve pH'ya iyi tolerans gösterme, düşük nükleik asit içeriği, genetik modifikasyon kapasitesi, toksik olmaması ve yüksek düzeyde sindirilebilirliktir.

Besleyici özellikleri yetiştirilen mikroorganizma çeşidine göre değişmektedir. Hasat, kurutma ve işleme metotları elde edilecek son ürünün besin değeri üzerine etkilidir. Kükürt içeren amino asitler bakımından yetersizdir (Mahajan ve Dua, 1995).

Mayalar

Uzun süredir süt ürünleri, alkol, hamur işleri vb. başta olmak üzere birçok alanda mayalar kullanılmakla birlikte, I. Dünya Savaşı yıllarında Torula mayası (*Candida utilis*) ile THP üretimi başlamıştır. Günümüzde mikrobiyal biyokütlenin en önemli kullanım alanı pet hayvanı (kedi, köpek ve balık) yemleridir. Protein kaynağı olmasının yanı sıra lezzetlendirici olarak da kullanılmaktadır. İnsan gıdası olarak ise daha çok vejeteryan diyetlerinde tercih edilmektedir (Bhalla ve ark., 2007). Diğer tek hücre kaynaklarına kıyasla mayalar bazı avantajlara sahiptirler: Geleneksel olarak uzun süreden beri fermentasyon endüstrisinde kullanılması nedeniyle güvenilirliği yüksektir. Yüksek asidik ortamda üretilebilir.

Bakteriye kıyasla daha büyük yapılı olması nedeniyle hasat daha kolaydır. Yüksek düzeyde lisin ve malik asit içerirler. Dezavantajları ise bakteriye kıyasla düşük büyüme ve gelişme gösterirken, protein oranı (%45 - 65) daha düşüktür. Mayaların mannoprotein yapılı, zor sindirilen, kalın ve kompleks hücre duvarı nedeniyle tüketimleri insan ve hayvanlar için cazip değildir (Rumsey ve ark., 2007). Maya kültürlerinin, başta metiyonin olmak üzere kükürt içeren amino asitleri bakımından yetersiz olmaları tek başlarına protein ihtiyacının karşılanması için yaygın kullanımlarını engellemektedir (Oliva-Teles ve Goncalves, 2001). Tek hücre proteini üretiminde kullanılan bazı mikroorganizmalar ve tercih ettikleri besi yerleri Çizelge 3' te verilmiştir.

Çizelge 3. Tek Hücre Proteinini Üretiminde Kullanılan Bazı Mikroorganizmalar ve Substratlar

Mikroorganizma Türleri	Substrat (besi ortamı)
Bakteri	
<i>Aeromonas hydrophilla</i>	Laktoz
<i>Acromobacter delvacvate</i>	N - Alkanlar
<i>Acinetobacter calcoaenticus</i>	Etanol
<i>Bacillus megaterium</i>	NPN maddeleri
<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Celulomanas</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Termomonospora fusca</i>	Selüloz, hemiselüloz
<i>Lactobacillus</i>	Glukoz, amiloz, maltoz
<i>Methylomanas methylotropus</i> , <i>M. clara</i>	Metanol
<i>Pseudomanas fluorescens</i>	Ürik asit ve diğer NPN maddeleri
<i>Rhodopseudomanas capaulata</i>	Glukoz
Fungus (mantar)	
<i>Aspercillus fumigatus</i>	Maltoz, glukoz
<i>Aspergillus niger</i> , <i>A. Oryzae</i> , <i>Cephalosporium eichhorniae</i> , <i>Chaetomium cellulolyticum</i>	Selüloz, hemiselüloz
<i>Penicillum cyclopium</i>	Glukoz, laktoz, galaktoz
<i>Rhizopus chinensis</i>	Glukoz, maltoz
<i>Seytalidium aciduphlium</i> , <i>Tricoderma viridae</i> , <i>T. alba</i>	Seluloz, pentoz
Maya	
<i>Amoco torula</i>	Etanol
<i>Candida tropicalis</i>	Maltoz, glukoz
<i>Candida utilis</i> (torula)	Glukoz
<i>Candida novellas</i>	N - Alkanlar
<i>Candida intermedia</i>	Laktoz
<i>Saccharomyces cereviciae</i>	Laktoz, maltoz, pentoz
Alg (su yosunu)	
<i>Chlorella pyrenoidosa</i> , <i>C. Sorokiana</i> , <i>C. Crispus</i> , <i>Scenedesmus sp.</i>	Fotosentezle CO ₂
<i>Spirulina sp.</i> , <i>Porphyrium sp.</i>	Fotosentezle CO ₂

(Bhalla ve ark., 2007).

THP kaynaklarının kolay sindirilebilmesi için hasattan sonra; mekanik tahrip, otoliz ve enzim uygulaması metotları geliştirilmiştir (Curran ve ark., 1990). Denizel mayalar; fermenterde kolay üretilmeleri,

hücre yoğunluğunun yüksekliği ve yüksek esansiyel amino asit içerikleri nedeniyle avantajlıdır.

Mayadan üretilen THP'leri su ürünleri üretiminde yaygın olarak kullanılırlar. Probiyotik özellikli

bazı maya suşları (*Saccharomyces cerevisiae* ve *Debaryomyces hansenii*), balık larvasının sindirim sisteminde kolonize olarak, pankreasın erken gelişimini sağlar. Maya hücre duvarından elde edilen glukanlar ise bağışıklık sistemini geliştirip yavruların yaşama güçlerini artırır (Burgents ve ark., 2004).

Mayalar tarafından üretilen THP'nin nükleik asitler bakımından zengin olması, bakteriyel veya pankreatik nükleaz enzimi ilavesiyle düşürülmektedir. Zor parçalanmış sert yapılı hücre duvarı; kırma, ezme, öğütme, yüksek basınç ve ultrasonik yöntemlerle parçalanır. Yüksek etkinlik sağlamak için önce mekanik parçalama daha sonra enzim ilavesi tercih edilir.

Su Yosunları (Algler)

Chlorella, *Soenedesmus*, *Coelastrum* ve *Spirulina* gibi su yosunları biyokütle olarak kültüre alınıp, kullanılmaktadır. En fazla üretilen iki alg türü; tek hücreli yeşil alg olan *Chlorella* ile son zamanlarda üretimi yaygınlaşmış iplikli mavi - yeşil alg olan *Spirulina*'dır. Dünyada yıllık mikro alg üretimi 10 bin tondan fazladır (Becker, 2007). Alglerin avantajları; üretimlerinin kolay olması, güneş enerjisini etkili kullanabilmeleri, hızlı büyümeleri ve yüksek protein içeriğine sahip olmalarıdır. *Spirulina* üretiminde karbon kullanımının çok fazla olması nedeniyle, diğer alg türlerine göre ortamda biriken fazla CO₂'in havalandırma ile uzaklaştırılmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Yosun proteinleri yüksek kaliteli olmaları nedeniyle bazı bilinen bitkisel protein kaynaklarıyla karşılaştırılabilir düzeydedir. Üretimdeki teknik zorlukların yanı sıra, yosunlardan üretilen proteinlerin maliyetleri yüksek, tat ve kokuları kötüdür. Konsantre ağır metal içerirler. Ancak yine de kozmetiklerde, sağlıklı gıda reyonlarında ve çeşitli hayvan yemlerinde protein kaynağı olarak kullanılmaktadır (Becker, 2007).

Alg biyokütlesinin %75'ten fazlası toz, tablet, kapsül veya pastil şeklinde sıkıştırılmış formda ticareti yapılmaktadır. Üretilen alg biyokütlesi doğal su kaynaklarından, yapay havuz ve fotobiyoreaktörlerden hasat edilerek, üretildiği yerde kurutulmaktadır. Büyük yapıları ve hasat kolaylığı, düşük nükleik asit içerikleri, yüksek lizin kapsamları, asidik ortamda yetişebilmeleri yosunların tercih nedenleridir. Teknik zorluklara ilave olarak, yosunların yüksek üretim maliyetleri nedeniyle protein kaynağı olarak yaygın kullanımı zaman alacaktır (Rasoul-Amini ve ark., 2009). Alg kuru maddesinin yaklaşık %10'u insanların sindiremediği selülozik hücre

duvarından oluşmaktadır. Özellikle tek mideli olan insan ve çiftlik hayvanlarında sindirim problemi oluşturması en önemli sakıncalarıdır. Alg hücrelerinin içerisindeki protein ve diğer besin öğelerinden yararlanabilmek için yosunun hücre duvarını parçalayacak işlemler geliştirilmelidir (Becker, 2007).

Flamentli (İplikçikli) Mantar

İkinci Dünya Savaşı yıllarında fermentasyon ortamlarında gelişen *Fusarium* ve *Rhizopus* türü funguslarda protein kaynağı olarak yararlanmak için çalışmalar başlatılmıştır. THP kaynağı olarak mantarların kullanımı ise oldukça yenidir (1973). Birçok iplikçikli mantar türü glukoz ve nişastalı ortamlarda üretilerek, mikoprotein olarak adlandırılmıştır. Büyüme etkinliği ve güvenli gıda kaynağı olarak yaklaşık 3000 mantar türü araştırılmıştır. *Aspergillus oryzae* ve *Rhizopus arrhizus* türleri toksik madde içermemeleri nedeniyle seçilmişlerdir. Saprotik özellikli mantarlar kompleks yapıdaki organik materyal üzerinde gelişerek onları basit yapıdaki ürünlere çevirebilirler. Böylece yüksek düzeyde fungus kaynaklı biyokütle üretilmektedir. Miselial verim organizmanın ve besi yerindeki materyalin özelliklerine göre değişmektedir. *Aspergillus niger*, *A. fumigatus*, *Fusarium graminearum* gibi bazı mantar suşları ürettikleri mikotoksinler nedeniyle insanlar için oldukça tehlikelidirler. Bu nedenle tek hücre proteini üretiminde kullanılacak mikroorganizmalar belirlenirken toksikolojik değerlendirmeler yapmak gerekmektedir. İplikçikli mantar kolay hasat imkanı sunarken, büyüme oranı ve protein içeriği düşüktür. Lezzetsiz olması tüketimindeki bir diğer sakıncadır (Srividya ve ark., 2013).

Bakteriler

Tek hücre proteini üretiminde birçok bakteri suşu kullanılmakla birlikte, *Methylophilus methylotrophus* yaklaşık iki saatte bir nesil vermesi nedeniyle THP üretiminde tercih edilmektedir. Ayrıca maya ve mantarlara kıyasla üretilen proteinin amino asit profili daha uygundur. Bu nedenle hayvan yemi olarak büyük ölçekli THP üretiminde bakteriler tercih edilmektedir. Bakterilerin avantajları: hızlı büyüme ve gelişme göstermeleri, karbonhidrat kaynakları dışında metan, petrol fraksiyonları veya petrokimyasallar (etanol, metanol) gibi sıvı ve gaz formdaki çok çeşitli besi ortamlarında üretilmesidir. Bakteriyel büyüme ve gelişme için; amonyum tuzları, amonyak, üre, nitrat ve atıklardaki organik azot kaynakları uygundur. Hızlı

büyüme için ortamda yetersiz olan bazı minerallerle desteklenmesi gerekir.

Bakteriyel hücreler küçük boyutlu ve düşük yoğunluktadır. Bu nedenle besi ortamından hasadı zor ve pahalıdır. Bakteri hücreleri maya ve mantara kıyasla daha yüksek nükleik asit içeriğine sahiptir. Nükleik asit içeriğini düşürme metotları ise maliyeti artırmaktadır. Bakteriler hakkındaki genel kanı onların zararlı oldukları ve dolayısı ile hastalığa neden olabilecekleri şeklindedir. Bakterilerden elde edilen THP, %80'den fazla protein içermekle birlikte, kükürlü amino asitleri bakımından yetersizdir. Ayrıca yüksek nükleik asit (Kurbanoglu, 2011) ve RNA içeriğine sahiptirler. Yüksek kontaminasyon riski mevcuttur. Bu nedenle insan beslenmesinde yaygın olarak kullanımı güç olmakla birlikte, yemlerde kullanılması daha uygundur.

KAYNAKLAR

- Adedayo MR, Ajiboye EA, Akintunde JK, Odaibo A, 2011. Single cell proteins: As nutritional enhancer. *Advances in Applied Science Research*, 2 (5): 396 - 409.
- Ashok RS, Nigam P, Vanete T, Luciana PS, 2000. Bio resource technology. *J. Am. Sci.*, 16: 8 - 35.
- Becker EW, 2007. Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25: 207 - 210.
- Bhalla TC, Sharma NN, Sharma M, 2007. Production of metabolites, industrial enzymes, amino acids, organic acids, antibiotics, vitamins and single cell proteins. *J. Environ. Issues*, 6: 34 - 78.
- Bilgrami KS, Pandey AK, 1992. Introduction to Biotechnology. First Edition, CBS Publishers and Distributors, Delhi-110032 (India), p: 159 - 160.
- Burgents JE, Burnett KG, Burnett LE, 2004. Disease resistance of Pacific White shrimp, *Litopenaeus vannamei*, following the dietary administration of a yeast culture food supplement. *Aquacult. J. Microbiol.*, 231: 1- 8.
- Curran PJ, Dungan JL, HL Gholz, 1990. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine. *Tree Physiol.* 7: 33 - 48.
- Çalışkaner Ş, Ceylan N, Konca Y, Demirel R, Çördük M, Milli Ü, 1998. Etil alkol vasatında üretilen tek hücre proteini (Eprin) üzerinde biyolojik bir araştırma. *Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi*, 22 (3): 299 - 304.
- Çalışkaner Ş, Konca Y, Ceylan N, Çördük M, Demirel R, Ceyhan K, Mamak M, 1999. Sıvı parafın vasatında geliştirilmiş tek hücre proteini (Paprin) üzerinde biyolojik bir araştırma. *Türk Tarım ve Ormanlık Dergisi*, 23 (1): 125 - 131.
- Han YW, Duhrup CE, Callihan CD, 1971. Single cell protein from cellulosic wastes. *Food Technol.* 25: 130 - 154.

SONUÇ

Ekonomik, politik, sosyal ve teknik nedenlerden dolayı gelişmiş ülkelerde insan ve hayvan beslemede tek hücre proteinleri gereken öneme kavuşmamıştır. Çünkü gelişmiş ülkeler yüksek alım güçleri nedeniyle yeterli ve kaliteli gıda kaynaklarına kolayca erişebilmektedirler. Fakat az gelişmiş olan ülkelere özellikle tropikal ve kurak bölgelerdeki insanlar geleneksel olarak yüksek karbonhidrat ve düşük proteinle beslenmektedirler. Bu tip ülkelere insan ve hayvanların beslenmelerinde THP kaynakları tercih edilerek sağlıklı ve dengeli beslenme sağlanabilir.

Soya ve balık unu gibi geleneksel protein kaynaklarının yetersiz kaldığı veya maliyetlerinin yükseldiği durumlarda THP önemli bir seçenek olmaya devam edecektir.

- Jhojasadati SA, Rasoul K, Abbas J, Hamid RS, 1999. Bioconversion of molasses stillage to protein as an economic treatment of this effluent. *Resources conservation and recycling*, 27 (1-2): 125 - 138.
- Kurbanoglu EB, 2001. Production of single cell protein from ram horn hydrolysate. *Turk J. Biol.* 25: 371 - 377.
- Mahajan A, Dua S, 1995. A perspective on biotechnological potential. *J. Food Sci. Technol.*, 32: 162 - 165.
- Miller BM, Litsky W, 1976. Single cell protein in microbiology. McGraw-Hill Book Company, 408 p.
- Nasseri AT, Rasoul-Amini S, Morowvat MH, Ghasemi Y, 2011. Single cell protein: production and process. *American Journal of Food Technology*, 6 (2): 103 - 116.
- Oliva-Teles A, Gonçalves P, 2001. Aquaculture enhancement. *J. Chem. Eng.*, 202: 269 - 278.
- Osho A, 1995. Production of metabolites, industrial enzymes, amino acids, vitamins, single cell protein. *J. Res.*, 6: 521 - 529.
- Patel GS, 1995. The DNA- protein cross: A method for detecting specific DNA- protein complex in crude mixture. *Ind. J. Agri. Res.*, 3: 114 - 134.
- Rasoul-Amini S, Ghasemi Y, Morowvat MH, Mohagheghzadeh A, 2009. PCR amplification of 18S
- rRNA, Single cell protein production and fatty acid evaluation of some naturally isolated microalgae. *Food Chemistry* 116 (1): 129 - 136.
- Reed G, Nagodawithana T, 1995. Biotechnology enzymes, biomass, food and feed, Bibliographic Citation, 9: 168 - 215.
- Rumsey GL, Hughes SG, Kinsella JL, 2007. Use of dietary yeast *Saccharomyces cerevisiae* nitrogen by lake trout. *J. Word Aquac. Soc.* 21: 2005 - 2009.

- Shahzad MA, Rajoka MI, 2011. Single cell protein production from *Aspergillus terreus* and Its evaluation in broiler chick International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, 1 (2): 137 - 141.
- Srivastava, ML. 2008. Fermentation technology. Oxford, Alpha Science International, p: 391.
- Srividya AR, Vishnuvarthan VJ, Murugappan M, Prajakt Gopal Dahake, 2013. Single cell protein - a review. International Jurnal of Pharmaceutical Research Scholar. 2 : 472 - 485.
- Varavinit S, Srithongkum P, De-Eknamkul C, Assavanig A, Charoensiri K, 1996. Production of single cell protein from cassava starch in air-lift fermenter by *Cephalosporium eichhorniae*. *Food Technol. Biotechnol.*, 48: 379 - 382.
- Zubi W, 2005. Production of single cell protein from base hydrolyzed of date extract by- product by the fungus *Fusarium graminearum*. M.Sc.Thesis, Garyounis University, Benghazi. 19: 167 - 225.