

BAKTERİYEL SELÜLOZUN ÖZELLİKLERİ VE GIDA SANAYİSİNDE KULLANIMI

Aylin Akoğlu¹, Aynur Gül Karahan², M. Lütfü Çakmakçı¹, İbrahim Çakır³

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara

²S.D.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta

³A.İ.B.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bolu

Geliş tarihi / *Received*: 02.04.2009

Düzeltilerek geliş tarihi / *Received in revised form*: 24.06.2009

Kabul tarihi / *Accepted*: 02.07.2009

Özet

Selüloz bitkilerde hücre duvarı yapısında bulunan ve endüstride yaygın olarak kullanılan bir polimerdir. Günümüzde selüloz esas olarak bitki kaynaklarından elde edilmektedir. Ancak son 30 yılda yapılan çalışmalar, selüloz üretebilen bakteriler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bakteriye selüloz daha saf olması, daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olması, üretim sırasında meydana gelen değişimlere uygunluğu ve GRAS olarak kabul edilmesi gibi özellikleri ile bitkisel selülozdan ayrılmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle bakteriyel selüloz gıda sanayisinde özellikle, düşük kalorili tatlı, cips ve şekerlemelerin üretiminde; dolgunluk verici olarak tatlı, dondurma ve salata soslarının bileşiminde, ayrıca sosis ve etlerin kaplanmasında güvenilir ve geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir. Gıda işleme uygulamalarında bakteriyel selüloz kullanımı üzerinde yapılacak araştırmalardan alınacak sonuçların bakteriyel selülozun daha yaygın kullanımına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Bakteriye selüloz, gıda sanayisi

PROPERTIES OF BACTERIAL CELLULOSE AND USAGE IN FOOD INDUSTRY

Abstract

Cellulose is a polymer which is a structural component of the primary cellwall of green plants and it is widely used in industry. Today cellulose is produced mainly from plantal sources. However, the studies conducted during the last 30 years have concentrated on the cellulose producing bacteria. Bacterial cellulose differs from plantal cellulose as it is more pure, more suited to modification during the process, accepted as GRAS and has a larger water holding capacity. By virtue of these properties, bacterial cellulose is used in food industry for production of low calorie sweets and chips, as an additive in confectioneries and as a thickening agent in ice cream and salad dressing. In addition, it has a high potential as a safe coating agent for sausages and meats. It is thought that the results of the studies on use of bacterial cellulose in food processing will provide more opportunities in its widespread utilization.

Keywords: Bacterial cellulose, food industry

*Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;

✉ aylin61@hotmail.com, ☎ +90 312 596 1458, 📠 +90 312 3178711

GİRİŞ

Endüstride kullanılan en önemli kaynaklardan biri olan selüloz, bir biyopolimer olup, bitkilerde hücre duvarı yapısında bulunan temel yapı maddesidir. Endüstriyel olarak işlenerek ürüne dönüştürülen selülozun ana kaynakları odun ve pamuktur (1). Endüstride yaygın olarak kullanılan yöntemde, lignin ve hemiselülozun ayırma işlemleri ile selülozdan ayrılması gerekmektedir (2). Bu işlem, zor ve masraflıdır. Bunun yanı sıra her yıl yangınlar ve diğer nedenlerle sahip olduğumuz orman alanları daralmaktadır. Dünya orman varlığının azalması ve son yıllarda biyoteknolojinin hızla ilerlemesi ile biyoteknologlar bitkiler olmadan da selüloz üretebilmenin yollarını aramışlardır. Son 30 yılda yapılan çalışmalar, selüloz ürettiği bilinen bakteriler üzerinde yoğunlaşmıştır. Böylece selüloz üretiminde ikinci yöntem olarak selülozun çeşitli mikroorganizmalardan biyosentez yolu ile elde edilmesi üzerinde durulmaktadır.

Bakteriyel selüloz (BS) üretimini etkileyen en önemli faktörlerden biri kullanılan karbon ve azot kaynaklarıdır (3-6). Selüloz üretiminde pahalı besi ortamı bileşiklerinin yerine; beyaz kabak suyu, melas veya peynir altı suyu gibi ucuz endüstriyel atıkların da kullanılabilmesi gösteren birçok çalışma yapılmıştır (6-8). Bakterilerin ucuz atık maddeler üzerinde kolaylıkla geliştirilebilmesi ve bir hektar yüzey alanına sahip durgun kültürden yılda yaklaşık 10 ton bakteriyel polimer elde edilmesine karşılık, aynı alanda ve sürede sadece 600 kg pamuk yetiştirilmesi ekonomik boyutun irdelenmesi açısından çarpıcıdır (9). Ayrıca çevre dostu veya yeşil ürünler olarak adlandırılan bu ürünler, doğadaki kaynaklar çok daha az kullanılarak elde edilmekte, çevre kirliliğine sebep olmamakta, gerçek kaynakların yerini alabilmekte, üretimlerinde çeşitli atıklar kullanılabilmekte ve endüstriyel işlemlerde kullanılan enerjiden tasarruf sağlamaktadır. Örneğin; endüstriyel amaçlarla odundan selüloz elde edilmesinde uygulanan pulp hazırlama işlemleri sırasında hava, toprak ve suya çeşitli kirleticiler atılmaktadır. Diğer taraftan sürdürülebilir gelişim açısından kaynakların geri kazanımı yeni bir yaklaşımdır. Atıklar, ikincil malzeme kaynağı olarak kabul edilmekte ve aynı zamanda yenilenebilir malzeme kaynağını oluşturmaktadır. Büyük ölçekli selüloz üretimi için kullanılacak en iyi bakteri türü olarak kabul edilen *Gluconacetobacter xylinus* çok çeşitli maddeleri kullanarak selüloz üretimini gerçekleştirebilmektedir. BS, lignin ve hemiselüloz

içermediğinden klor ile yapılan ağartma işlemleri gerekli değildir ve diğer selüloz çeşitlerinden farklı olarak yüksek düzeyde polimerizasyona ve kristal yapısına sahiptir (10).

BS, yüksek kalitede, dayanıklı kâğıt üretiminde, gıda, deri, kozmetik ve tekstil sanayinde kullanım potansiyeline sahiptir. BS üretimi, diğer kaynaklardan elde edilenlere göre ekonomiktir ve BS'nin GRAS olarak kabul edilmesi de güvenli kullanımına olanak sağlamaktadır. Bitkisel selülozda bulunan ve saflığı olumsuz yönde etkileyen, uzaklaştırılması işçilik yükünü artıran maddelerin, BS'de bulunmaması da önemli diğer bir avantajdır. BS'nin üretimi sırasında istenen özellikleri taşıyacak şekilde değişime uğratılması da mümkündür. Bunun yanı sıra üretim sonrasında yapılacak kimyasal uygulamalara da elverişlidir. BS, çok iyi mekanik özelliklere sahip olduğundan birinci kalite kâğıt üretiminde kullanılmaktadır. BS içerikli kâğıtlar, dolgu ve renk maddesi gibi katkı maddelerini iyi tutabilmeleri yanında aynı zamanda elastik, geçirgen, yırtılmalarıyanmalara dirençli ve suyu emme özelliğine de sahiptirler. Bu özellikleri nedeniyle dünyada ticari üretimleri başlamış ve %1 düzeyinde BS içeren kâğıtlarla ilgili özelliklere ISO 9706:1994 standardı ile sınırlamalar getirilmiştir. BS'den yüzey kaplamada kullanılan kâğıtlar da üretilmiştir. Bunun yanı sıra BS'nin son yıllarda plastik cerrahide özellikle de yanıkların tedavisinde kullanım potansiyeli, çok kapsamlı araştırmalara konu olmuştur. Ayrıca BS, günümüzün yeniliklerinden olan nanoteknolojinin de ilgi odağı haline gelmiştir. Gümüş nanoparçacıkları içeren BS'nin antibakteriyel özellikleri nedeniyle yaraların tedavisinde çok daha etkili olduğu belirlenmiştir. BS, tekstil sanayinde suni deri ve diğer tekstil ürünlerinde adsorban olarak, kozmetik sanayinde ise kremlerin, toniklerin, tırnak cilalarının emilimini kolaylaştırmada kullanılmaktadır. BS gıda sanayinde ise özellikle düşük kalorili tatlı, cips, çerez ve şekerlemelerin üretiminde; dolgunluk verici olarak tatlı, dondurma ve salata soslarının bileşiminde, ayrıca sosis ve etlerin kaplanmasında güvenilir ve geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir (11-18).

Bakteriyel Selülozun Yapısı ve Özellikleri

Selüloz, glikopiranoz birimlerinin b-1,4 bağları ile bağlanması ile oluşan dallanmamış bir polimerdir (19). BS üzerinde yapılan yoğun çalışmalar, BS'nin kimyasal açıdan bitkisel selülozla aynı olduğunu,

ancak makromoleküler yapısı ve özellikleri bakımından farklılık taşıdığını göstermiştir. BS'nin yeni oluşan zincirleri alt iplikçikleri oluşturmak üzere kümelenir. Bu alt iplikçikler yaklaşık 1,5 nm genişliğindedir ve doğal olarak meydana gelen lifler arasında en ince grubu oluşturmaktadır. İncelik açısından sadece bazı bitkilerin kambiyumunda belirlenen selüloz lifleriyle kıyaslanabilir özellik taşımaktadır (9). BS alt iplikçikleri; mikroiplikçikleri, lifleri ve sonunda da şeritleri oluşturmak üzere kristalleşir (20). Tek bir selüloz şeridi, ortalama 1,6x5,8 nm boyutunda yaklaşık 46 mikro iplikçikten oluşmaktadır (21). Uzunluğu 1–9 µm arasında değişen mikrobiyel selülozun ultra ince şeritleri hidrojen bağları ile sağlamlaştırılmış bir ağ yapısı oluşturmak üzere bir araya gelir. BS, bitkisel selülozdan yüksek kristalleşme katsayısı (%60'ın üstünde) ve polimerleşme derecesi ile de farklılık gösterir. Polimerleşme derecesi çoğunlukla 2000–6000 arasında olmakla birlikte (22), bazı örneklerde 16000 ya da 20000'e ulaşmaktadır (23). Buna karşılık bitkilerde bu değer ortalama 13000–14000 arasında değişmektedir (24).

BS'nin makroskobik morfolojisi üretilme şartlarına bağlıdır. Durgun koşullarda, bakteri, oksijen açısından zengin olan sıvı besiyerinin yüzeyinde selüloz ağını oluşturur. Selüloz alt iplikçikleri, bakteri hücrelerinin yüzeyindeki gözeneklerden doğrusal olarak hücre dışına salınır, mikro iplikçikleri oluşturmak üzere kristal yapı kazanır ve besiyerinin derinlerine doğru uzanır. Çalkalamalı kültürlerde oluşan BS'ye göre durgun kültürde oluşan BS, komşu iplikçikleri daha az dallanmış ve birbiriyle daha az bağlantılıdır. Çalkalamalı kültürde düzensiz tanecikli, yıldız şeklinde ve lifli iplikçikler besiyerine çok iyi bir şekilde dağılmış olarak bulunur. Ağsı iplikçikler ızgara benzeri bir yapı oluşturmak üzere birbirine bağlanır ve hem düşey hem de paralel doğrultuda uzanır (20, 22, 23).

Doğada selüloz, yapısal olarak birbirinden farklı 4 şekilde bulunmaktadır:

- Selüloz I, paralel şekilde uzanan β -1,4 glukan zincirlerini içerir. *Ga. xylinus* tarafından üretilen zar şeklindeki selülozdur ve doğal selüloz olarak adlandırılır (25, 26).
- Selüloz II birbirine paralel olarak uzanmayan β -1,4 glukan zincirlerini içerir. *Ga. xylinus*'un çalkalamalı kültürlerinde, selüloz I'in yeniden kristallenme ya da endüstriyel merserize oluşturma işlemlerinden sonra elde edilir (25, 26).

- Selüloz III, selüloz I'in kimyasal olarak işlenmesiyle elde edilir (27).
- Selüloz IV, yüksek bitkilerin hücre duvarlarında bulunur ve selüloz II'nin kimyasal olarak işlenmesiyle elde edilir (27).

Selüloz I ve II olarak bilinen BS çeşitleri birbirinden X-ışınları, nükleer manyetik rezonans, Raman spektroskopisi ve kızıl ötesi analizleri ile ayrılabilir (28). Selüloz II'nin paralel yapıda olmaması ve yüksek sayıda hidrojen bağı içermesi ısı işlemlere dayanıklılığını arttırmaktadır. Çalkalamalı kültürde elde edilen selüloz, durgun kültürde üretilene kıyasla daha düşük kristallenme katsayısı ve daha küçük kristal boyutuna sahiptir (29). Doğada selüloz II, bazı algler, küfler *Sarcina ventriculi* gibi bakteriler tarafından sentezlenmektedir (22). Bunun yanı sıra doğal selüloz I, selüloz I_a ve I_b olarak adlandırılan iki kristal alt allomorf yapıdan oluşmaktadır. Selüloz I_a ve I_b kristal paketleri, moleküler yapısı ve hidrojen bağları açısından birbirinden farklılık gösterir ve bu farklılıklar selülozun fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler. Bazı alg ve bakterilerden elde edilen selüloz bol miktarda I_a içerirken, pamuk ve odun I_b açısından zengindir. *Ga. xylinus*'un sentezlediği selüloz, I_a daha fazla miktarda olmak üzere her iki yapıyı da içerir (30).

BS'nin sentez süresi de polimerin moleküler özellikleri üzerine etkilidir. Biyosentez süresi 6 güne kadar uzatıldığında, BS'nin polimer oluşum derecesi artmaktadır. Sürenin 28 güne kadar uzaması, polimer oluşum derecesini düşürmekte ve polidispersiteyi arttırmaktadır (31).

BS, genel olarak suda çözünmeyen, esnek, gerilme direnci yüksek, elastik bir polimerdir ve ağsı bir yapıya sahip olan polimerin kristalize özelliği yüksektir. BS yüksek düzeyde su içerir ve bu nedenle jelatinimsi bir görünüme sahiptir. Jeldeki su moleküllerinin büyük bir bölümü selüloza gevşek ya da sıkı şekilde bağlı durumdadır. Suyun fazlası polimere bağlanmadığından, polimerin yavaşça bastırılması halinde fazla su dışarı çıkabilir (20, 23, 28, 32). Kurutulmuş BS, ses dalgalarını hızlı bir şekilde iletebilmektedir. Bu mekanik özelliğinden dolayı BS'nin akustik membran olarak kullanılabilirdiği belirtilmiştir (19, 22, 25).

BS'nin yüksek su tutma kapasitesi, parçalanmış selüloz süspansiyonlarının viskozitesi ve kurutulmuş selülozun Young katsayısı (modülü) selülozun önemli özelliklerindendir ve geleneksel yöntemlerle belirlenmektedir (29, 33).

Bakteriyel Selüloz Üreten Mikroorganizmalar

BS, algler (*Vallonia*) küfler, (*Saprolegnia*, *Dictyostelium discoideum*) ve bakteriler (*Acetobacter*, *Gluconacetobacter*, *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Sarcina*, *Zoogloea*) tarafından üretilmekle birlikte en fazla bilinen tür *Gluconacetobacter xylinus* (*Acetobacter xylinum*) şuşudur (34). Bakterilerin yanı sıra bazı fototrofik siyanobakterler de selüloz üreticisidir (35, 36). Aynı zamanda kükürlü sıcak su kaynaklarında oluşan karbonhidrat yapıda selüloz varlığının belirlenmesi, bazı litotrofik bakterilerin de selüloz üreticisi olabileceğini düşündürmektedir (37). BS üreten bakteriler arasında selüloz üretim yolu, mekanizması ve düzenlenmesi benzerlik göstermesine rağmen, polimer yapısı organizmaya bağımlıdır (22, 25).

Gelişme Parametrelerinin Bakteriyel Selüloz Üretimine Etkileri

Karbon ve Azot Kaynaklarının Etkisi

Yapılan çalışmalar sonucunda BS üretimini etkileyen en önemli faktörlerin, kullanılan karbon ve azot kaynakları olduğu tespit edilmiştir (4-7). Karbon kaynakları, BS üretim miktarına etkili olmalarının yanı sıra maliyetleri ile endüstriyel boyutta üretimlerde BS fiyatını da etkilemektedir. Çeşitli mono, di ve polisakkaritler, alkoller, organik asitler ve diğer bileşiklerin üretim üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan bir çalışmada en fazla selüloz üretiminin, karbon kaynağı olarak glikoz ve azot kaynağı olarak maya ekstraktının kullanılması durumunda gerçekleştiği tespit edilmiştir (38). Benzer bir çalışmada, D-glikoz, D-ksiloz ve D-ksiloz/D-ksilüloz içeren besiyerlerinde selüloz üretimi incelenmiştir. Kullanılan bakteri şuşlarından hiçbiri D-ksilozu yeterli düzeyde metabolize edememiş, buna karşılık D-glikoz içeren besiyerinde en yüksek selüloz üretimi gerçekleşmiştir (39). Glikozun iyi bir karbon kaynağı olarak kabul edilmesine karşılık, arabitol ve mannitol ile üretimin glikozla yapılan üretime kıyasla 6.2 ve 3.8 kat arttığı yönünde bulgular da bulunmaktadır (22, 40). Bunun yanı sıra glikoza kıyasla früktozun da üretim kapasitesini artırıcı etki yaptığı bildirilmiştir (5). Benzer bir çalışmada ise en iyi selüloz üretiminin sırasıyla früktoz, maltoz, sakkaroz ve glikoz içeren besiyerinde gerçekleştiğini, galaktozun ise selüloz üretimi açısından iyi bir karbon kaynağı olmadığı belirlenmiştir (41). Farklı karbon kaynak-

larının BS üretimi üzerine etkilerinin incelendiği diğer bir çalışmada, en fazla ürünün alındığı gliserolü; glikoz, früktoz, inozitol ve sakkaroz izlemiştir. Gliserolün yüksek üretim etkenliğinin tüketim hızıyla ilgili olabileceği ileri sürülmüştür. Elde edilen sonuçlar, karbonhidrat çeşidinin selüloz üretiminde tek etken olmadığını, besiyerindeki karbon kaynaklarının tüketim hızının da önemli diğer bir etken olduğunu göstermiştir. Aynı çalışmada karbon kaynaklarının selüloz miktarının yanı sıra selülozun özellikleri üzerine de etkili olduğu bulunmuştur (42).

Ga. xylinus'un hücre bölünmesine bağlı gelişme hızının, şuş farklılıklarından ve kullanılan D-glikozun çeşidinden de etkilendiği bildirilmiştir (43).

Endüstriyel üretimde atıkların değerlendirilmesi yoluyla maliyetin düşürülmesi yaygın bir eğilimdir. Bu nedenle yapılan bir çalışmada, karbon kaynağı olarak glikoz yerine şeker pancarı melasının kullanılması ile selüloz üretiminin artırılabilceği bildirilmiştir (10). Ülkemizde gerçekleştirilen bir çalışmada atık elmalardan elde edilen besiyerinin selüloz üretimi için uygun bir kaynak olduğu, tarımsal atık ve kayıp olan bu ürünlerin değerlendirilmesi ile katma değer oluşturabileceği ortaya konmuştur (41).

Kompleks azot kaynaklarının fiyatı da BS üretim maliyetini etkilemektedir. Maya özütü, pepton ve kazamino asit BS üretimini teşvik eden kompleks azot kaynaklarıdır, ancak pahalıdır. Ucuz kompleks azot kaynaklarından biri olan mısır ıslatma suyu BS üretiminde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (40). Besiyerinde kompleks azot kaynakları yerine mineral kökenli azot tuzlarının kullanılması yönünde de çabalar bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada, glikoz içeren kompleks besiyeri yerine sentetik besiyeri kullanılmasının selüloz üretimi üzerine etkisi incelenmiş ve sentetik besiyerinde üretilen selülozun HS besiyerinde üretilenden yüksek olduğu bulunmuştur (44).

Oksijen, pH ve Sıcaklığın Etkisi

BS üretimi için optimum pH 4-7 arasında değişirken, sıcaklık 28-30 °C arasında değişmektedir. Ancak selüloz üretimi için en uygun üretim sıcaklıkları 28-30 °C olarak belirlenmiş olmakla birlikte, meyvelerden izole edilmiş bazı termotolerant şuşların 37 °C ya da 40 °C'de kalın bir polisakkarit oluşturduğu saptanmıştır. Durgun ve çalkalamalı

kültür koşullarında sıcaklık değişimleri polisakkarit üretimini farklı şekilde etkilemiştir. Çalkalamalı derin kültürde 30 °C'deki polisakkarit üretimi 37 °C'ye göre daha fazla olurken, durgun kültürde her iki sıcaklık polisakkarit üretimi üzerinde herhangi bir değişiklik meydana getirmemiştir (45).

BS üretim hızının oksijen aktarım hızı ile ilişkili olduğunu bulunmuştur. Beslemeli durgun kültürde en yüksek selüloz verimliliği %10 oksijen doygunluğunda sağlanmıştır. Çözünmüş oksijen ve pH'nın kontrol altında tutulması selüloz verimi ve miktarı üzerinde etkilidir. Geleneksel fermentörlerde selüloz üretimi nedeniyle besiyeri vizkoz bir yapı kazandığından, havalandırma yetersiz kalmakta ve selüloz üretimi etkilenmektedir (46, 47).

Bakterinin gelişeceği en uygun sıcaklık, oksijen, pH gibi koşulların düzenlenmesine ilaveten ortamda asetik asit bulunmasının da selüloz üretimine etkili olduğu belirlenmiştir. Besiyerine asetik asit ilave edilmesinin bazı suşların BS üretimlerini ve selülozun su tutma kapasitesini artırdığı bildirilmiştir (48).

Bunların yanı sıra besiyerinde CO₂ miktarının artması ile hücre gelişiminin engellendiği ve BS üretiminin azaldığı (46), ayrıca basıncın artmasına bağlı olarak da BS üretiminin azaldığı tespit edilmiştir (49).

Bakteriyel Selüloz'un Gıda Sanayinde Kullanım Alanları

Sahip olduğu eşsiz özellikler ve yapısı nedeniyle BS, çeşitli gıdaların üretiminde önem taşımaktadır. Az miktarda kullanıldığında, lezzet etkileşimlerinin önlenmesi, köpük stabilizasyonu, geniş pH aralıklarında, sıcaklık ve dondurma çözme işlemlerinde stabilitenin sağlanması açısından etkili olmaktadır. Akıcı ve kaşıkla alınabilir özellikteki yemek ve salata sosları ve et suları, kek süslemede kullanılan şekerli karışımlar, kremalar, ekşi krema ve kültürle üretilmiş ve dondurulmuş süt ürünlerinde kullanıma imkânı bulunmaktadır. Sakkaroz ve karboksimetil selülozla birlikte kullanıldığında, ürünün dispersiyon özelliğini geliştirmektedir. Bunların yanı sıra, düşük kalorili katkı maddesi, kıvam artırıcı, stabilizer, yapı düzenleyici, börek katkısı ve dondurmada kullanımı gibi yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

BS, 1992'de ABD Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration) tarafından GRAS olarak ka-

bul edilmiştir. Bu nedenle de gıdalarda kullanıma son derece elverişlidir. BS'nin geleneksel bazı ürünlerde yer aldığı bilinmektedir. BS, gıda endüstrisinde ticari olarak ilk kez Filipinlerde kullanılmıştır. Nata ya da Nata de Coco olarak adlandırılan BS jeli, Filipinlerde tatlı olarak sevilerek tüketilmektedir. Nata'nın Filipinlerden Japonya'ya ihraç edilmesi BS üretimine yeni bir yaklaşımın doğmasını sağlamıştır. Japonya'da bir müddet BS içeren diyet içecekler ilgi çekmiştir. Nata'nın sağlık üzerindeki etkilerinin incelendiği çeşitli çalışmalar yapılmıştır. *Ga. xylinus* karbon kaynağı olarak Hindistan cevizi sütünde geliştirildiğinde, elde edilen Nata'nın plazma kolesterol düzeyini düşürdüğü belirlenmiştir. Bitkisel selüloz ve BS kimyasal olarak aynı yapıda olmalarına rağmen, BS'nin serum lipitleri ve kolesterol düşürme etkisinin bitkisel selülozdan daha yüksek olduğu da bulunmuştur (50). Ayrıca bağırsak kanseri, kalp damar hastalıkları, kronik trombozise karşı koruyucu olduğuna ve idrarda glikoz düzeyinin ani yükselişini engellediğine inanılmaktadır. Bu nedenle Nata de coco sadece Asya'da değil Dünya'da da popüler hale gelmiştir. BS içeren diğer bir gıda ürünü Kamboçya ya da Mançurya çayıdır. Çay özütü ve şeker içeren ortamda mayalar ve *Acetobacter*'in gelişmesiyle oluşur. Yüzeyle oluşan zar, sağlık için yararlı BS ve enzimleri içerir. Bu ürünün bazı kanser türlerine karşı koruyucu olduğuna inanılmaktadır (24, 51). Nata de coconun renklendirilerek tüketici beğenisini arttırmak amacıyla, kırmızı renk maddeleri oluşturan *Monascus purpureus* ile fermantasyonu sonucunda oldukça stabil bir ürün elde edilmiştir. Ürünün rengi yıkama, pişirme, dondurma, asit ve alkali ile işleme koşullarında sentetik boyalara kıyasla daha uzun dayanım göstermiştir (52).

BS'nin gıdalarda kullanımını üzerine bazı patentler bulunmakla birlikte, bu konuda yapılmış araştırma sayısı son derece sınırlıdır. Çin usulü köfteye değişik oranlarda Nata katılması pişirilmemiş üründe su tutma kapasitesini arttırmış, ancak pişirme işlemi sonucunda tam tersi bir etki yaratmıştır. Köfteye %10 düzeyinde Nata katılması ile elde edilen ürünün tekstürü ve duyuşal özellikleri kabul edilebilir bulunmuştur. Bu açıdan Nata Çin usulü köfte üretiminde fonksiyonel bir katkı olarak kabul edilmiştir (53).

Ülkemizde yapılan bir çalışmada ise çeşitli gıdaların (mayonez, sucuk, Beyaz peynir) üretim aşamasında BS kullanımının bu gıdaların özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Yağı azaltılmış ve yağ ye-

rine değişen oranlarda BS ilave edilerek hazırlanmış mayonez örneklerinin viskozite, pH ve duyuşal özellikler açısından incelendiği çalışmada, yağ oranı %20 azaltılmış ve yerine %1 oranında BS ilave edilmiş mayonezin, duyuşal değerlendirme sonucunda en çok beğenilen ve en yüksek stabilite gösteren örnek olduğu belirlenmiştir. Yine aynı çalışmada, sucuktaki yağ miktarınının BS ilavesi ile azaltılabileceği ortaya konmuştur. Bu rn, alışılagelmiş sucuk özelliklerini taşmasının yanı sıra enerji içeriğinin düşüklüğü ve diyet lif içeriği nedeniyle tüketicisi açısından yeni ve cazip bir ürün olarak önerilmiştir. BS ilave edilerek hazırlanmış düşük yağ oranlı Beyaz peynir üretimi denemesinde ise BS içeren gruplarda erimenin oluşmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle sellzn yağ ikamesi olarak yarattığı faydanın yanında, kalite gelişimi açısından da önemli etkiye sahip olabileceği ileri sürülmüş-tür (41).

Dünyada doğal kaynakların hızla tükendiği günümüzde yenilenebilir alternatif malzemeler üzerine yapılan araştırmalar önem kazanmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda yenilenebilir malzemeler hızla çeşitlenmekte ve gelişmektedir. BS fonksiyonel özellikleri nedeniyle gıda bileşiminde yer alabileceği gibi yenilebilir veya antibakteriyel filmler halinde gıda kaplama ve ambalajlamada da kullanıma potansiyeline sahiptir (54, 55). Bu konuda yapılmış sınırlı sayıdaki araştırma BS'nin geleceğin ürünü olduğunu kanıtlar niteliktedir. BS'nin gıda ambalaj sanayinde kullanıma kazandırılması konusu da araştırılmaya açık son derece verimli bir alan olarak düşünülmektedir. Gıda işleme ile ilgili olarak BS kullanımına yönelik yapılacak araştırmalar yeni verilerle desteklendiğinde BS'nin daha yaygın kullanımı sağlanabilecektir.

TEŐEKKÜR

Bu alışma TÜBİTAK tarafından desteklenerek sonuçlandırılan TOVAG 105O156 numaralı proje sonuçlarından yararlanılarak hazırlanmıştır. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teőekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Brown RM Jr. 2004. Cellulose structure and biosynthesis: What is in store for the 21th centry. *J Polym Sci Pol Chem*, 42, 487–495.
2. Saxena IM, Brown RM Jr. 1997. Identification of cellulose synthase(s) in higher plants: sequence analysis of

processive α -glycosyltransferases with the common motif 'D, D, D35Q(R,Q)XRW, *Cellulose*, 4, 33–49.

3. Masaoka S, Ohe T, Sakota N. 1993. Production of cellulose from glucose by *Acetobacter xylinum*. *J Ferment Bioeng*, 75, 18–22.
4. Matsuoka M, Tsuchida T, Matsushita K, Adachi O, Yoshinaga F. 1996. A synthetic medium for bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* subsp. *sucrofermentans*. *Biosci Biotech Bioch*, 60(4), 575–579.
5. Tonouchi N, Tsuchida T, Yoshinaga F, Beppu T. 1996. Characterization of the biosynthetic pathway of cellulose from glucose and fructose in *Acetobacter xylinum*. *Biosci Biotech Bioch*, 60(8), 1377–1379.
6. Naritomi T, Kouda T, Yano H, Yoshinaga F. 1998. Effect of ethanol on bacterial cellulose production in continuous culture from fructose. *J Ferment Bioeng*, 85(6), 598–603.
7. Battad-Bernardo E, McCrindle SL, Couperwhite I, Neilan BA. 2004. Insertion of an *E. coli* lacZ gene in *Acetobacter xylinus* for the production of cellulose in whey. *FEMS Microbiol Lett*, 231 (2), 253–260.
8. Bae SO, Shoda M. 2005. Production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* BPR2001 using molasses medium in a jar fermentor. *Appl Microbiol Biot*, 67(1), 45–51.
9. Kudlicka K. 1986. Evidence from sectioned material in support of the existence of a linear terminal complex in cellulose microfibril assembly. *Abstr Pap Am Chem Soc*, 192, 24.
10. Keshk SMAS, Razek TMA, Sameshima K. 2006. Bacterial cellulose production from beet molasses. *Afr J Biotechnol*, 5, 1519–1523.
11. Shibazaki H, Kuga S, Okano T. 1997. Mercerization and acid hydrolysis of bacterial cellulose. *Cellulose*, 4, 75–87.
12. Skollek SJ, Hertel C, Hammes WP. 1998. Cultivation and preservation of vinegar bacteria. *J Biotechnol*, 60, 195–206.
13. Tabuchi M, Watanabe K, Morinaga Y, Yoshinaga F. 1998. Acetylation of bacterial cellulose: preparation of cellulose acetate having a high degree of polymerization. *Biosci Biotech Bioch*, 62(7), 1451–1454.
14. Lynd LR, Weimer PJ, Van Zyl WH, Pretorius IS. 2002. Microbial cellulose utilisation: fundamentals and biotechnology. *Microbiol Mol Biol Rev*, 66, 506–577.
15. Ciechańska D. 2004. Multifunctional bacterial cellulose/chitosan composite materials for medical applications. *Fibres Text East Eur*, 12(4), 69–72.
16. Barud HS, Barrios C, Regiani T, Marques RFC, Verelst M, Dexpert-Ghys J, Messaddeq Y, Ribeiro SJL. 2008.

Self-supported silver nanoparticles containing bacterial cellulose membranes. *Mat Sci Eng C*, 28, 515–518.

17. Nakagaito AN, Yano H. 2008. The effect of fiber content on the mechanical and thermal expansion properties of biocomposites based on microfibrillated cellulose. *Cellulose*, 15, 555–559.

18. Poyrazoğlu Çoban E, Bıyık HH. 2008. Asetik Asit Bakterilerinden Elde Edilen Alternatif Selüloz. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 6(2), 19–26.

19. Vandamme EJ, De Baets S, Vanbaelen A, Joris K, De Wulf P. 1998. Improved production of bacterial cellulose and its application potential. *Polym Degrad Stabil*, 59(7), 93–99.

20. Yamanaka S, Ishihara M, Sugiyama J. 2000. Structural modification of bacterial cellulose. *Cellulose*, 7(3), 213–225.

21. Brown Jr. RM, Willison JHM, Richardson CL. 1976. Cellulose biosynthesis in *Acetobacter xylinum*: Visualization of the site of synthesis and direct measurement of the in vivo process. *Cell Biol*, 73(12), 4565–4569.

22. Jonas R, Farah LF. 1998. Production and application of microbial cellulose. *Polym Degrad Stabil*, 59, 101–106.

23. Watanabe K, Tabuchi M, Ishikawa A, Takemura H, Tsuchida T, Morinaga Y, Yoshinaga F. 1998. *Acetobacter xylinum* mutant with high cellulose productivity and an ordered structure. *Biosci Biotech Bioch*, 62(7), 1290–1292.

24. El-Saied H, Basta AH, Gobran RH. 2004. Research progress in friendly environmental technology for the production of cellulose products (bacterial cellulose and its application). *Polym-Plast Technol*, 43(3), 797–820.

25. Ross P, Mayer R, Benziman M. 1991. Cellulose biosynthesis and function in bacteria. *Microbiol Rev*, 55(1), 35–58.

26. Brown Jr. RM. 1999. Cellulose structure and biosynthesis. *Pure Appl Chem*, 71(5), 767–775.

27. Haigler CH, Weimer PJ. 1991. *Biosynthesis and Biodegradation of Cellulose*, Marcel Dekker, New York, NY.

28. Johnson DC, Neogi AN. 1989. Sheeted products formed from reticulated microbial cellulose. *US Patent*, 4863565.

29. Watanabe K, Tabuchi M, Morinaga Y, Yoshinaga F. 1998a. Structural features and properties of bacterial cellulose produced in agitated culture. *Cellulose*, 5, 187–200.

30. Saxena IM, Brown RM Jr. 2005. Cellulose biosynthesis: Current views and evolving concepts. *Ann Bot*, 96, 9–21.

31. Strobin G, Wlochowicz A, Ciecanska D, Boryniec S, Struszczyk H, Sobczak S. 2004. GPC studies on bacterial cellulose. *Int J Polym Mater*, 53, 889–900.

32. Gelin K, Bodin A, Gatenholm P, Mihranyan A, Edwards K, Stromme M. 2007. Characterization of water in bacterial cellulose using dielectric spectroscopy and electron microscopy. *Polymer*, 48, 7623–7631.

33. Iguchi M, Yamanaka S, Budhiono A. 2000. Bacterial cellulose - a masterpiece of nature's arts. *J Mater Sci*, 35(2), 261–270.

34. Klemm D, Schumann D, Uthard U, Marsch S. 2001. Bacterial synthesized cellulose – artificial blood vessels for microsurgery. *Prog Polym Sci*, 26, 1561–1603.

35. Sutherland IW. 2001. Microbial polysaccharides from Gram-negative bacteria. *Int Dairy J*, 11, 663–674.

36. Branda SS, Vik Å, Friedman L, Kolter R. 2005. Biofilms: the matrix revisited. *Trends Microbiol*, 13(1), 20–26.

37. Ogawa K, Maki Y. 2003. Cellulose as extracellular polysaccharide of hot spring sulfur-turf bacterial mat. *Biosci Biotech Bioch*, 67(12), 2652–2654.

38. Poyrazoğlu Çoban E, Bıyık HH. 2007. *Acetobacter pasteurianus* HBB6 ve *Acetobacter lovaniensis* HBB5 Tarafından Yüzeysel Kültür Fermentasyonu ile Bakteriyel Selüloz Üretimi. 15. Ulusal Biyoteknoloji Kongresi 28–31 Ekim, Antalya, pp. 37.

39. Ishihara M, Matsunaga M, Hayashi N, Tişler V. 2002. Utilization of D-xylose as carbon source for production of bacterial cellulose. *Enzyme Microb Technol*, 31, 986–991.

40. Lee SY, Park SJ, Park JP, Lee Y, Lee SH. 2004. Economic aspects of biopolymer production, *Biotechnology of Biopolymers*, Ed: Steinbüchel A., VCH-Wiley, Weinheim, Germany, 1107–1138.

41. Çakmakçı ML, Karahan AG, Çakır İ, Gündoğdu, A, Akoğlu A. 2008. Selüloz üretiminde kullanılacak mikroorganizmaların izolasyonu, moleküler tanısı ve mikrobiyel selülozun gıda sanayinde kullanım olanaklarının araştırılması. TÜBİTAK TOVAG 105O156 nolu proje raporu.

42. Keshk SMAS, Sameshima K. 2005. Evaluation of different carbon sources for bacterial cellulose production. *Afr J Biotechnol*, 4 (6), 478–482.

43. Hesse S, Kondo T. 2005. Behavior of cellulose production of *Acetobacter xylinum* in ¹³C-enriched cultivation media including movements on nematic ordered cellulose templates. *Carbohydr Polym*, 60, 457–465.

44. Son HJ, Kim HG, Kim KK, Kim HS, Kim YG, Lee SJ. 2003. Increased production of bacterial cellulose by *Acetobacter* sp. V6 in synthetic media under shaking culture conditions. *Bioresour Technol*, 86, 215–219.

45. Moonmangmee S, Toyama H, Adachi O, Theeragool G, Lotong N, Matsushita K. 2002. Purification and characterization of a novel polysaccharide involved in the pellicle produced by a thermotolerant *Acetobacter* strain. *Biosci Biotech Bioch*, 66(4), 777–783.
46. Kouda T, Naritomi T, Yano H, Yoshinaga F. 1997. Effect of oxygen and carbon dioxide pressures on bacterial cellulose production by *Acetobacter* in aerated and agitated culture. *J Ferment Bioeng*, 84(2), 124–127.
47. Hwang JW, Kook YY, Hwang JK, Pyun YR, Kim YS. 1999. Effects of pH and dissolved oxygen on cellulose production by *Acetobacter xylinum* BRC5 in agitated culture. *J Biosci Bioeng*, 88(2), 183–188.
48. Toda K, Asakura T, Fukaya M, Entani E, Kawamura Y. 1997. Cellulose production by acetic acid-resistant *Acetobacter xylinum*. *J Ferment Bioeng*, 84(3), 228–231.
49. Kato N, Sato T, Kato C, Yajima M, Sugiyama J, Kanda T, Mizuno M, Nozaki K, Yamanaka S, Amano Y. 2007. Viability and cellulose synthesizing ability of *Gluconacetobacter xylinus* cells under high-hydrostatic pressure. *Extremophiles*, 11, 693–698.
50. Chau CF, Yang P, Yu CM, Yen GC. 2008. Investigation on the lipid- and cholesterol-lowering abilities of bio-cellulose. *J Agric Food Chem*, 56, 2291–2295.
51. Khan T, Park JK, Kwon JH. 2007. Functional biopolymers produced by biochemical technology considering applications in food engineering. *Korean J Chem Eng*, 24(5), 816–826.
52. Sheu F, Wang CL, Shyu YT. 2000. Fermentation of *Monascus purpureus* on bacterial cellulose-nata and the color stability of *Monascus*-nata complex. *J Food Sci*, 65(2), 342–345.
53. Lin KW, Lin HY. 2004. Quality characteristics of Chinese-style meatball containing bacterial cellulose (nata). *J Food Sci*, 69(3), 107–111.
54. Weber CJ, Haugaard V, Festersen R, Bertelsen G. 2002. Production and applications of biobased packaging materials for the food industry. *Food Addit Contam*, 19, Supplement. 172–177.
55. Nguyen VT, Gidley MJ, Dykes GA. 2008. Potential of a nisin-containing bacterial cellulose film to inhibit *Listeria monocytogenes* on processed meats. *Food Microbiol*, 25, 471–478.