



Süt Ürünlerinde Probiyotik Bakterilerin Mikroenkapsülasyonu II: Kaplama Materyalleri ve Süt Ürünlerinde Uygulamalar

Berna ALTUN, Tülay ÖZCAN*

Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa
*e-posta: tulayozcan@uludag.edu.tr; Tel: 0 224 2941498; Faks: 0 224 2941402

Geliş Tarihi: 14.08.2013, Kabul Tarihi: 08.11.2013

Özet: Probiyotik mikroorganizmaların insan vücuduna alınmasında süt ürünleri önemli yer tutmaktadır. Probiyotiklerin süt ürünleri içerisinde öngörülen terapötik etkiyi göstermesi büyük önem taşımaya karşın, bu bakteriler ortam koşulları (yüksek asitlik, safra tuzları, gıda taşıyıcılarının kimyasal bileşimi ve redoks potansiyeli) nedeni ile ürünün raf ömrü süresince canlılığını yitirmektedir. Bu nedenle, fermente ürünlerde bu bakterilerin sayısının artırılmasına yönelik stratejilerden birisi mikroenkapsülasyon (ME) yöntemidir. ME, bir immobilizasyon (tutuklama) tekniğidir. Bu yöntemle göre probiyotik hücreler polimer adı verilen matrikslerin içerisine hapsedilmektedir. Bu derlemede probiyotik bakterilerin mikroenkapsülasyonunda kullanılan kaplama materyalleri ve süt ürünlerinde uygulamaları hakkında bilgiler sunulmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Mikroenkapsülasyon, probiyotik, süt ürünleri.

Microencapsulation of Probiotic Bacteria in Dairy Products II: Encapsulation Materials and its Applications in Dairy Products

Abstract: Dairy products in the human body play an important role in taking probiotic microorganisms. Probiotics demonstrate the therapeutic effect provided the high importance in dairy products. However the environmental conditions of bacteria (high acidity, bile salts, redox potential and chemical composition of the food carriers) during the product's shelf life due to losing viability. Therefore, one of the strategies to increase the number of these bacterias in fermented products is Microencapsulation (ME) method. ME is an immobilization (capture) technique. According to this method encapsulation is a process to entrap a substance is called polymer. This review provides information about materials used to encapsulate probiotic cells and encapsulated probiotics in dairy products.

Key Words: Microencapsulation, probiotic, dairy technology.

Giriş

Son yıllarda, tüm dünyada görülen sağlık problemleri nedeniyle beslenme bilincinin gelişmesi fonksiyonel bileşenlere olan ilgiyi giderek arttırmaktadır. Fonksiyonel gıdalar; vücudun temel besin öğeleri gereksinimini karşılamanın dışında insan fizyolojisi ve metabolik fonksiyonları üzerinde faydalar sağlayan, hastalık riskinin azaltılması gibi olumlu etkileri gerçekleştiren gıdalar ya da gıda bileşenleri olarak tanımlanmaktadır (Desmond ve ark., 2002; Ouwehand ve ark., 2002).

Probiyotikler, doğal bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde değiştirerek insan sağlığı üzerinde yararlı etkiler yaratan canlı mikrobiyel gıda kaynaklarıdır. Probiyotik starter kültür ise, belirtilen etkileri yaratan tek veya karışık kültürlerdir (Özcan, 2012). Fermente süt ürünleri ile probiyotik bakterilerin vücuda alınması, insan bağırsak mikrobiyotasının dengeye ulaşması açısından önemlidir (Burgain ve ark., 2011).

Probiyotik bakterilerin süt ürünleri içerisinde öngörülen terapötik etkiyi göstermesi büyük önem taşımaya karşın, bu bakteriler ortam koşulları nedeni ile ürünün raf ömrü süresince canlılığını yitirmektedir. Probiyotiklerin mide ve bağırsak sisteminden geçişleri sırasında gelişim ve canlılığını sürdürmesi, yüksek asitlik, safra tuzları, gıda taşıyıcılarının kimyasal bileşimi ve redoks potansiyeli gibi özelliklerden etkilenmektedir. Buna ilaveten aynı probiyotik türlerin fonksiyonel ve teknolojik özellikleri, farklı gıda bileşenleri ya da gıda ortamlarında da değişiklik göstermektedir (Gardner ve ark., 1999; Matilla-Sandholm ve ark., 2002). Bu nedenle, fermente ürünlerde bu bakterilerin sayısının artırılmasına yönelik stratejiler son günlerdeki çalışmaların odak noktasını oluşturmaktadır.

Probiyotik bakterilerinin stabilitesini korumak için kullanılan yöntemlerden mikroenkapsülasyon; bakterilerin uygun materyaller kullanılarak kaplanmasıyla vücutta istenilen yararlı etkiyi göstermesine yardımcı olmaktadır. Mikroenkapsülasyon, ilaç ve gıda endüstrisi gibi belirli alanlarda uygulanmakta olan hızla gelişen bir teknolojidir. Gıda endüstrisinde ise 60 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır (Desai ve Park, 2005; Kuang ve ark., 2010). Mikroenkapsülasyonun gıda uygulaması üzerindeki araştırmaları uzun yıllardır sürmesine rağmen sanayi boyutunda üretim ve tüketimi, gelişen teknoloji ve tüketici bilincinin artmasına bağlı olarak hız kazanmıştır.

Probiyotiklerin Mikroenkapsülasyonunda Kullanılan Kaplama Materyalleri

Kaplama materyallerin seçimi; kapsülün boyutu ve şekli, stabilite ve geçirgenlik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Kaplamanın bileşimi partikül ingredientlerin performansını artırmak için kullanılan yöntemin ve mikrokapsüllerin fonksiyonel özelliklerinin ana belirleyicisidir (Barbosa-Canovas ve Olivas, 2005). Karbonhidratlar, doğal ve modifiye polisakkaritler, jelatin, pektin, nişasta, gıdalar, kappakarragenan, agar, proteinler, peynir altı suyu, mumlar, parafin, tristearin, stearik asit, mono ve digliseritler, katı ve sıvı yağlar, süt yağı, selülozlar, inorganik maddeler ve lipozomlar kaplama materyali olarak kullanılmaktadır (Burgain ve ark., 2011).

a) Karregenan

Kırmızı alglerin hücre duvarlarından elde edilen bir polisakkarittir. Karragenan gıda sanayinde katkı maddesi olarak kullanılan doğal bir polimerdir. Kullanımda teknoloji

gereği, 40 ve 50°C arasında bir sıcaklık gerekir ki bu sıcaklıkta hücreler polimer çözeltisine ilave edilmektedir. Karışımının oda sıcaklığına soğutulmasıyla, jelleşme oluşmakta ve daha sonra, potasyum iyonları eklenerek şişme engellenmekte ve mikro partiküller stabilize edilmektedir. Karragenan boncuk içinde probiyotik hücrelerin kapsüllemesi bakteriyi yaşayabilir bir durumda tutmakla birlikte, üretilen jeller kırılğan özellik göstermektedir (Dinakar ve Mistry, 1994; Krasaekoopt ve ark., 2003; Chen ve Chen, 2007). k-karragenan-keçi boynuzu sakızı karışımları duyarlılıkları nedeniyle fermente süt ürünlerinde (yoğurt gibi) iyi sonuçlar vermiştir. Yapılan çalışmalarda süt ürünlerinde bu kombinasyonlarının kullanımının stabilizeyi geliştirdiği ve bu şekilde laktik asit bakterilerinin korunduğu belirlenmiştir (Audet ve ark., 1988, 1990, 1991; Arnauld ve ark., 1992). k-karragenan ve keçi boynuzu sakızı (1:2) çekirdek karışımının mikrokapsülasyon için de güçlü bir jel özelliği verdiği gözlenmiştir (Takata, ve ark., 1977; Miles ve ark., 1984).

b) Aljinatlar

Aljinat türevleri ve aljinik asit, kahverengi alglerin hücre duvarlarından ekstraksiyon sonucu elde edilen bir karbonhidrattır. Aljinat hidrojel hücre kapsülasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kalsiyum aljinat probiyotik kapsüllemeye, kolay uygulanabilirliği, toksik olmayışı, biyolojik uyumluluğu ve düşük maliyeti nedeniyle tercih edilmektedir. Aljinat boncukları asidik ortama karşı duyarlıdır ve mide koşullarında mikro parçacıkların direnci için uygun değildir. Buna ek olarak, elde edilen mikro partiküller çok gözeneklidir, hücreleri çevrelerinden korumak amaçlandığında gözenekler dezavantaj oluşturmaktadır (Rowley ve ark., 1999; Gouin, 2004). Bununla birlikte, aljinatların olumsuz özellikleri diğer polimer bileşik karışımıyla birlikte kullanılarak aljinata yapısal değişiklik uygulanmasıyla telafi edilebilmektedir. Örneğin, nişasta ile aljinat yaygın olarak kullanılmakla birlikte yöntemin sonuçları probiyotik kapsülasyonun etkinliğini arttırmaktadır (Krasaekoopt ve ark., 2003, Mortazavian ve ark., 2008).

Çeşitli araştırmacılar probiyotiklerin kapsüllemesi üzerine aljinat ve kalsiyum klorür (CaCl_2) konsantrasyonları, boncukların sertleşme zamanı ve hücre konsantrasyonları gibi boncuk oluşumunu etkileyen faktörleri incelemiştir. Geleneksel kapsülleme yönteminde, CaCl_2 içinde sodyum aljinat ile, mide koşullarındaki *L. acidophilus* asidik sert ortamdan korunmak için kapsüllemiştir. Çalışmalar farklı koşullar altında kalsiyum-aljinatla tutuklanmış hücre kültürlerinin kapsüllememiş durumundan daha iyi korunduğunu ve hayatta kalan bakterilerin canlılığında bir artış olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlarda, yapay mide ve bağırsak ortamı içinde kapsüllemiş bakterilerin canlılığının kapsülün boyutundaki artışla arttırıldığı gösterilmektedir (Sheu ve ark., 1993; Chandramouli ve ark., 2004; Lee ve ark., 2004).

c) Jellan ve Ksantan Zamkı

Jellan zamkı; *Pseudomonas elodea* dan elde edilen bir mikrobiyel polisakarittir, glukoz, glukuronik asit, glukoz ve ramnozun oluşturduğu dört monomer biriminden oluşmaktadır (Jansson ve ark., 1983; Sworn, 2000).

Ksanthan; Ksanthan gum bir heteropolimer olup oluşumunda glukoz, mannoz ve glukuronik asit yapıları rol oynamaktadır (Sultana ve ark., 2000).

Pek çok çalışmada ksantan-jellan zamkı karışımı kapsüllenmiş probiyotik hücrelerin oluşumunda kullanılmıştır ve aljinatın aksine, karışım asit koşullarına karşı yüksek direnç göstermiştir. Bu iki polimer karışımı asitliğe ve Ca⁺⁺ iyonlarına karşı direnç göstermiştir (Sultana ve ark., 2000; Sun ve Griffiths, 2000; Chen ve Chen, 2007). Bu polimerler tek başlarına kullanılabilceği gibi jellan-ksanthan, alginat-nişasta gibi karışımlarla birlikte de kullanılmaktadır. Bu karışımlarla polimerin yüksek asit veya bazik ortam gibi etkilere karşı bozulmadan kalabilmesi hedeflenmektedir (Heidebach ve ark., 2009; Özer ve ark., 2009).

d) Selüloz Asetat Fitalat (cap)

Güvenilirlięi nedeniyle selüloz asetat fitalat bağırsakta ilaç salınım kontrolü için kullanılan bir bileşendir. Bu materyalin avantajı, asit pH da (5 den az) çözünmemesidir ancak 6 ve daha yüksek pH değerlerinde çözünebilmektedir. Selüloz asetat fitalat kullanılarak probiyotik bakterilerin kapsüllenmesi simüle GI (gastro intestinal) koşullarda mikroorganizmalar için iyi bir koruma sağlamaktadır. Emülsiyon yöntemi bu kaplamada kullanılabilir (Fávaro-Trindade ve Grosso, 2002, Mortazavian ve ark., 2008). Ayrıca, bu bileşik ve bal mumunun birlikte uygulanması ile oluşan kapsüllerde korunan *Bifidobacterium pseudolangum* bakterisinin mide ortamında önemli ölçüde yüksek canlılık gösterdiği belirlenmiştir (Rao ve ark., 1989).

e) Kitosan

Kitosan glukozamin birimlerinden oluşan doğrusal bir polisakarittir, polianyon ve anyonlar varlığında çapraz baę yoluyla polimerize olabilmektedir. Bu bileşen kapsüllenmeyle artan hücre canlılığı için iyi bir etki göstermemektedir bu yüzden bir kapsül olarak değil, tercihen bir ara katman olarak kullanılmaktadır. Probiyotik bakterilerin aljinat ve kitosan kaplama ile kapsüllenmesi simüle GI koşullarında koruma sağlamaktadır ve bu nedenle, canlı bakteri hücrelerinin bağırsak kolonuna ulaşabilmesi için iyi bir uygulama olmaktadır. Bununla birlikte, kitosanın bazı dezavantajları da bulunmaktadır, örneğin LAB üzerinde inhibitör etkileri olduğu gözlenmiştir (Groboillot ve ark., 1993; Mortazavian ve ark., 2008; Chávarri ve ark., 2010). Aljinatla kapsüllenmiş *Lactobacillus* bakterilerinin kitosana kaplanması çalışmasında depolama süresi boyunca yoğurt yoğurt ve süttteki bakteri sayısının kaplanamamışlara göre daha fazla canlı kaldığı belirlenmiştir (Krasaekoopt ve ark., 2003, 2004).

f) Nişasta

Nişasta bir polisakarittir, çok sayıda glukoz birimlerinin birbirine glikozidik bağlarla katılmasıyla oluşmaktadır. Dirençli nişasta ise ince bağırsakta pankreatik enzimler (amilazlar) tarafından sindirilemeyen nişastadır. Dirençli nişasta kolona ulaşabilir ve kolonda fermente edilebilmektedir. Bu özellik kalın bağırsaktaki bakteri hücrelerinin daha iyi bir salınım yapmasını sağlamaktadır. Dirençli nişasta probiyotik hücrelerin nişasta granüllerine bağlanması için ideal bir yüzeydir ve bu canlılarda probiyotiklerin bağırsaklara ulaşımının geliştirilmesinde kullanılmaktadır. (Crittenden ve ark., 2001; Sajilata ve ark., 2006; Anal ve Singh, 2007).

g) Jelatin

Jelatin bir ısıl-tersinir jel yapan bir proteindir ve hem tek başına hem de kombinasyon halinde diğer bileşikler ile probiyotik kapsülleme için kullanılabilir. Amfoterik doğası nedeniyle, jellan sakızı gibi anyonik polisakaritlerle birlikte kullanılabilme özelliğine sahiptir. Bu hidrokolloidler pH 6'dan daha yüksek bir reaksiyonda ise karışabilmektedir, çünkü her ikisi de net negatif yükü taşımaktadır ve her biri diğerini itmektedir (King, 1995). Ancak, jelatinin net yükü, pH izoelektrik noktasının altına ayarlandığı zaman pozitif olmakta ve negatif yüklü jellan sakız ile kuvvetli bir etkileşimin oluşumuna neden olmaktadır (Krasaekoopt ve ark., 2003; Anal ve Singh, 2007).

h) Süt Proteinleri

Süt proteinleri yapısal ve fiziko-kimyasal özellikleri sayesinde probiyotik hücreler için kullanılan doğal kapsülasyon bileşenleridir. Ayrıca bu proteinlerin jelleşme özelliklerinin mükemmel oluşu da son zamanlarda bakterilerin enkapsülasyonu için kullanım uygulamalarını arttırmaktadır (Livney, 2010). Heidebach ve ark. (2009) yaptıkları çalışmalarında enzimatik jelleşme reaksiyonunun, süt proteinlerini probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonunda kullanılabilir duruma getirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca proteinlerin kullanımının getirdiği önemli bir fonksiyonel özellik de kapsül büyüklüğünün kontrol etmesidir. Kapsüllerin büyüklüğü son üründe duyuşal özelliğın belirlenmesinde önemli bir faktördür. Probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonunun amacı duyarlı olan bu hücrelerin çevre ile ilişkilerini azaltarak korumaktır. Süt proteinlerinin sulu çözeltilerinden oluşturulan mikrokapsüller yüksek yoğunlukta bir jel ağı oluşturmakta ve oluşan uygun çaptaki bu mikrokapsüller de probiyotiklerin gıdalarda kullanımını daha etkili hale getirmektedirler (Young ve ark., 1993; Madene ve ark., 2006; Heidebach ve ark., 2009).

Süt Ürünlerinde Probiyotik Bakterilerin Mikroenkapsülasyonu

Mikroenkapsülasyon tekniğı ile ilgili olarak özellikle 1980'li yılların sonlarında yapılan araştırmalarda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu çalışmaların neticesinde, özellikle peynir teknolojisi ile yoğurt ve dondurma gibi diğer süt ürünlerinde kalite kriterlerini ortaya koyan tat ve aroma maddelerinin gelişimleri ve bu kriterlerin belli düzeyde korunabilmeleri için söz konusu tekniğın önemli bir konuma sahip olduğı tespit edilmiştir. Mikroenkapsülasyon, probiyotik bakterilerin süt ürününün üretimi, depolanması ve sindirim sisteminde tüketimi sırasında canlılığının korunması için uygulanabilecek bir teknolojidir. Mikrokapsüllerin ürüne ilavesi duyuşal özellikler üzerinde çok fazla bir değışim yaratmamaktadır ve bu avantaj sağlamaktadır. Peynir, yoğurt ve dondurulmuş birçok süt ürününde probiyotik kapsüllerin kullanımının incelendiğı pek çok çalışma bulunmaktadır. Süt ürünlerinde probiyotik canlı hücrelerin kapsülasyonunda aljinat ve *k*-karragenan en çok kullanılan doğal biyopolimerlerdir (Vinderola ve ark., 2000; Peker ve ark., 2011).

Peynir, peynir mayası veya zararsız organik asitlerin etkisiyle pıhtılaştırılan sütlerin, değışik şekillerde işlenmesi, çeşitli süre ve derecelerde olgunlaşması sonucunda elde edilen, besin değeri üstün bir süt ürünüdür (Bulduk, 2006).

Yüksek pH, yağ ve kurumadde içeriği probiyotik bakterilerin insan sindirim sistemine aktarılmasında peyniri diğer süt ürünlerine göre avantajlı hale getirmektedir. Peynirde pıhtılaşma boyunca oluşan protein matriksi aside duyarlı probiyotik bakterilerin peynirde ve mide bağırsak sisteminde korunmasında etkili olmaktadır. Peynirde enkapsülasyon işleminin uygulanması ile ayrıca bakterilerin, pH ve sıcaklık toleranslarına karşı dayanımları da artırılmış olmaktadır (Vinderola ve ark., 2000).

Peynirlerde probiyotik bakterilerin mikroenkapsüle edilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda bu bakterilerin depolama boyunca canlılığının devam ettiği ve terapötik seviyede (minimum $>10^7$ kob g^{-1}) kaldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda ürün özellikleri açısından duyuşal özelliklerin değişmediği ve olgunlaşmanın daha hızlı ve kontrollü gerçekleştiği saptanmıştır (Ross ve ark. 2002; Godward ve Kailasapathy, 2003a)

Yoğurtta probiyotik canlı hücrelerin eklenmesi bu fermente süt ürününün fonksiyonel özelliğini arttırmaktadır (Chen ve Chen, 2007). Ancak, düşük pH (4.2 ile 4.6) nedeniyle yoğurtta probiyotik canlılık zayıf düzeyde kalmaktadır. Çalışmalar yoğurt gibi fermente süt ürünlerinde kapsüle edilmiş probiyotik bakterilerin kullanılmasının bu bakterilerin canlılığını sürdürmesi için daha iyi bir yöntem olduğunu göstermektedir (Kailasapathy, 2009).

Probiyotik bakterilerin mikroenkapsüle edilmesi ile bu bakterilerin yüksek asitliğe karşı dayanımı artırılarak ürünün raf ömrü süresince hücrelerin canlılığı muhafaza edilebilmiştir. Probiyotik hücreler canlılıklarının geliştirilmesi için prebiyotik maddelerle (örn., dirençli nişasta) kapsüle edilmiştir (Sultana ve ark., 2000; Capela ve ark., 2006). Bu teknik ürün içinde probiyotik bakterinin hayatta kalma süresini arttırmıştır (Sultana ve ark., 2000). Eş-enkapsülasyon probiyotik bakterilerin canlılığını geliştirmenin başka bir yoludur ve iki farklı probiyotik bakteri süşunun birlikte kapsüllenmesini içermektedir (Godward ve Kailasapathy, 2003a). Kapsülsüz ve kapsülle korunan hücrelerin canlılıkları arasında bir karşılaştırma yapıldığında; kapsülolusturma ile birlikte bakterilerin sayılarında ve canlılıklarında artış olduğu saptanmıştır. Bu koşullarda kapsülle sarılmış bakterinin tüketim anına kadar canlı durumda kaldığı, gastro-intestinal (GI) sistem boyunca da canlılığını sürdürdüğü ve bağırsağa vardığı gözlemlenmiştir (Godward ve Kailasapathy, 2003a).

Ancak bazı çalışmalarda enkapsülasyon ile bakteri ilavesi sonucunda yoğurtta kumlu bir yapının saptanmasının duyuşal beğeniyi azalttığı belirtilmiştir (Adhikari ve ark., 2003). Bununla birlikte, Champagne ve Fustier (2007) tüketicinin önceden bilgilendirilmesi ile parçacıkların ortaya çıkışının olumsuz bir duyuşal özellik yaratmayacağını belirtmiştir.

Dondurma ve dondurulmuş ürünlerde de üretim sırasında laktik asit bakterileri üzerinde gözlenen olumsuz etkileri ortadan kaldırabilmek amacıyla, bakterileri stabil hale getirebilmek için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir (Homayouni ve ark., 2008; Godward ve Kailasapathy, 2003b).

Bu yöntemlerden en önemlisi, basit ve ucuz bir yöntem olan kalsiyum aljinat jel içerisinde laktobasillerin tutuklanarak enkapsüle edilmesi tekniğidir. Bu söz konusu enkapsülasyon tekniği, bakterilerin dondurma ve dondurularak depolama işlemi sırasında serbest bakteri hücrelerinden daha fazla yaşamaları ve aktivite göstermelerini sağlamaları nedeniyle oldukça önemli ve etkili olmaktadır (Kailasapathy, 2002).

Sheu ve ark.(1993) tarafından yapılan bir çalışmada sodyum aljinat ile kapsüllenen *Lactobacillus bulgaricus* bakterilerinin dondurulmuş sütlü tatlılarda canlı hücre sayıları

araştırılmıştır. Bulgulara göre enkapsüle edilen hücreler ile edilmeyen hücrelerin hayatta kalma oranları sırası ile %90 ve %40 olarak tespit edilmiştir.

Mikroenkapsülasyonun, yüksek asitlik, yüksek ozmotik basınç ve donma sıcaklığına karşı probiyotik hücrelerin canlılığının korunması açısından dondurma, diğer sütlü tatlılar ve dondurulmuş süt ürünlerinde başarılı bir uygulama olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Davidson ve ark. 2000; Kailasapathy ve Sultana, 2003; Homayouni ve ark. 2008).

Sonuç

Probiyotik canlı hücrelerin enkapsülasyonunda çoğunlukla örneğin aljinat, k-karragenan veya jellan zıncı gibi doğal biyopolimer kullanılmaktadır. Bununla birlikte gerekli teknolojiler yüksek maliyetlidir ya da yeterli olmamaktadır. Enkapsülasyon ile üretilen ürünlerin bir kısmı piyasada yerini almasına rağmen bu konu ile ilgili çalışmaların çoğu laboratuvar aşamasındadır. Günümüzde süt endüstrisinde ve özellikle peynir teknolojisinde yapılan uygulamalarda, mikroenkapsülasyon tekniği ile peynirlerin hızlı olgunlaşması sonucunda daha ekonomik ve daha verimli ürünler elde edilmiştir. Bununla birlikte dondurma ve dondurulmuş ürünlerde ME'nin sanayi uygulamaları daha az oranda yer almaktadır. Bunun en önemli sebebi kapsüllerin partikül boyutudur çünkü bazı ürünlerin doku ve duyuşal özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Gelişen teknoloji ve tüketici istekleri doğrultusunda süt ürünlerinde mikroenkapsülasyon uygulamalarının zamanla artacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Adhikari, K., Mustapha, A., Grün, I.U. 2003. Survival and metabolic activity of microencapsulated *Bifidobacterium* in stirred yogurt. *Journal of Food Science*, 68 (1), 275–280.
- Arnauld J.P., Laroix C., Choplin L. 1992. Effect of agitation rate on cell release rate and metabolism during continues fermentation with entrapped growing *Lactobacillus casei* subsp. *casei*. *Biotech Technology*. 6 (3), 265–270.
- Anal, A.K., Singh, H. 2007. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Trends Food Science and Technology* 18 (5), 240–251.
- Audet, P., Paquin, C., Lacroix, C. 1988. Immobilized growing lactic acid bacteria with k-carrageenan-locust bean gum gel. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 29 (1), 11–18.
- Audet, P., Paquin, C., Lacroix, C. 1990. Batch fermentations with a mixed culture of lactic acid bacteria immobilized separately in k-carrageenan locust bean gum gel beads. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 32 (6), 662–668.
- Audet, P., Paquin, C., Lacroix, C. 1991. Effect of medium and temperature of storage on viability of LAB immobilized in k-carrageenan-locust bean gum gel beads. *Biotechnology Techniques*, 5 (4), 307–312.
- Barbosa-Canovas, G.V., Olivas, G.I. 2005. Edible coatings for fresh-cut fruits. *critical reviews in food science and nutrition*, 45(7-8), 657–670.
- Bulduk, S., 2006. Gıda Teknolojisi. 3. baskı, Detay Yayıncılık, Kalemdar Ofset Matbaası, Ankara,115:372 p.

- Burgain J., Gaiani C., Linder M., Scher J. 2011. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. *Journal of Food Engineering* 104 (4), 467–483.
- Capela, P., Hay, T.K.C., Shah, N.P. 2006. Effect of cryoprotectants, probiotics and microencapsulation on survival of probiotic organisms in yoghurt and freeze-dried yoghurt. *Food Research International*, 39 (2), 203–211.
- Champagne, C., Fustier, P. 2007. Microencapsulation for delivery of probiotics and other ingredients in functional dairy products. In: Saarela, M. (Ed.), *Functional Dairy Products*, second ed. Woodhead Publishing Ltd., Boca Raton, pp. 404–426.
- Chandramouli, V., Kailasapathy, K., Peiris, P., Jones, M. 2004. An improved method of microencapsulation and its evaluation to protect *Lactobacillus* spp. in simulated gastric conditions. *Journal of Microbiological Methods*, 56 (1), 27–35.
- Chávarri M., Marañón I. and Villarán M. C. 2010. Encapsulation technology to protect probiotic bacteria <http://dx.doi.org/10.5772/50046>
- Chen, M.J., Chen, K.N. 2007. Applications of probiotic encapsulation in dairy products. In: Lakkis, Jamileh M. (Ed.), *Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems*. Wiley-Blackwell, USA, pp. 83–107.
- Crittenden, R., Laitila, A., Forsell, P., Matto, J., Saarela, M., Mattila-Sandholm, T., Myllarinen, P. 2001. Adhesion of *bifidobacteria* to granular starch and its implications in probiotic technologies. *Applied and Environmental Microbiology* 67 (8), 3469–3475.
- Davidson, R.H., Duncan, S.E., Hackney, C.R., Eigel, W.N., Boling, J.W. 2000. Probiotic culture survival and implications in fermented frozen yoghurt characteristics. *Journal of Dairy Science*, 83(4), 666–673.
- Desai, K., Park, H.J. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23 (7), 1361–1394.
- Desmond, C., Stanton, C., Fitzgerald, G.F., Collins, K. Ross, R.P. 2002. Environmental adaptation of probiotic *lactobacilli* towards improvement of performance during spray drying. *International Dairy Journal*, 12 (2-3), 183–190.
- Dinakar, P., Mistry, V.V. 1994. Growth and viability of *Bifidobacterium bifidum* in cheddar cheese. *Journal of Dairy Science* 77 (10), 2854–2864.
- Fávaro-Trindade, C.S., Grosso, C.R.F. 2002. Microencapsulation of *L. acidophilus* (La- 05) and *B. Lactis* (Bb-12) and evaluation of their survival at the pH values of the stomach and in bile. *Journal of Microencapsulation* 19 (4), 485–494.
- Gardiner, G., Stanton, C., Lynch, P.B., Collins, J.K., Fitzgerald, G., Ross, R.P. 1999. Evaluation of Cheddar cheese as a food carrier for delivery of a probiotic strains to the gastrointestinal tract. *Journal of Dairy Science*, 82 (7), 1379–1387.
- Godward, G., Kailasapathy, K. 2003a. Viability and survival of free, encapsulated and co-encapsulated probiotic bacteria in yoghurt. *Milchwissenschaft* 58 (7–8), 396–399.
- Godward, G., Kailasapathy, K. 2003b. Viability and survival of free, encapsulated and co-encapsulated probiotic bacteria in ice cream. *Milchwissenschaft* 58 (3–4), 161–164.
- Gouin, S. 2004. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology* 15 (7–8), 330–347.
- Groboillot A., Hyndman C.L., Poncelet D., Champagne C., Neufeld R.J. 1993. Microencapsulation of *Lactococcus lactis* with cross-link gelatin membranes. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 56 (3), 259-263.

- Heidebach, T., Först, P., Kulozik, U. 2009. Microencapsulation of probiotic cells by means of rennet-gelation of milk proteins. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1670–1677.
- Homayouni, A., Azizi, A., Ehsani, M.R., Yarmand, M.S., Razavi, S.H. 2008. Effect of microencapsulation and resistant starch on the probiotic survival and sensory properties of synbiotic ice cream. *Food Chemistry*, 111 (1), 50–55.
- Jansson, P.E., Lindberg, B., and Sandford, P.A. 1983. Structural studies of gellan gum, an extracellular polysaccharide elaborated by *Pseudomonas elodea*. *Carbohydrate Research* 124 (1), 135–139.
- Kailasapathy, K. 2002. Microencapsulation of probiotic bacteria: technology and potential applications. *Current Issues in Intest Microbiology* 3 (2), 39–48
- Kailasapathy, K. and K. Sultana, 2003. Survival and β -D-galactosidase activity of encapsulated and free *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* in ice cream. *Aust. J. Dairy Technol.*, 58 (3), 223-227.
- King A. H. 1995. Encapsulation of Food ingredients: a review of available technology, focusing on hydrocolloids. In *Encapsulation and controlled release of food ingredients*, pp.213-220, S.J. Risch and G.A. Reineccius (Eds.). Washington DC. American Chemical Society.
- Kuang, S.S., Oliveira, J.C., Crean, A.M. 2010. Microencapsulation as a tool for incorporating bioactive ingredients into food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 50 (10), 951–968.
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B., Deeth, H. 2003. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *International Dairy Journal*, 13 (1), 3–13.
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B., Deeth, H. 2004. The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, 14 (8), 737–743.
- Lee, J. S., Cha, D. S., Park, H. J. 2004. Survival of freeze-dried *Lactobacillus bulgaricus* KFRI 673 in chitosan-coated calcium alginate microparticles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (24), 7300-7305.
- Livney, Y.D. 2010. Milk proteins as vehicles for bioactives. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 15 (1–2), 73–83.
- Matilla-Sandholm, T., Myllärinen, P., Crittenden, R., Mogensen, G., Fondén, R., Saarela, M. 2002. Technological challenges for future probiotic foods. *International Dairy Journal*, 12 (2-3), 173–182.
- Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., Desobry, S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release- A review. *International Journal of Science and Technology*, 41(1), 1–21.
- Miles M.J., Morris V.J., Carroll V. 1984. Carob gum kappa-carrageenan mixed gels-mechanical-properties and X-ray fiber diffraction studies. *Macromolecules* 17 (11), 2443–2445.
- Mortazavian, A.M., Azizi, A., Ehsani, M.R., Razavi, S.H., Mousavi, S.M., Sohrabvandi, S., Reinheimer, J. A. 2008. Survival of encapsulated probiotic bacteria in Iranian yogurt drink (Doogh) after the product exposure to simulated gastrointestinal conditions. *Milchwissenschaft*, 63 (4), 427–429.
- Ouweland A. C., Salminen S., Isolauri E. 2002. Probiotics: An overview of beneficial effects. *Antonie van Leeuwenhoek* 82 (1-4), 279–289.
- Özcan, T. 2012. Fonksiyonel süt ürünleri ve sağlıklı yaşam. *Tarım Türk Dergisi*, 38 (7), 156-160.

- Özer B., Kirmaci H.A., Şenel E., Atamer M., Hayaloğlu A. 2009. Improving the viability of *Bifidobacterium bifidum* BB-12 and *Lactobacillus acidophilus* LA-5 in white-brined cheese by microencapsulation. *International Dairy Journal*, 19 (1), 22–29.
- Peker, H., Arslan, S. 2011. Mikroenkapsülasyon ve süt teknolojisinde kullanım alanları. *Akademik Gıda* 9 (6), 70–80.
- Rao A. V., Shiwarnin N., Maharij I. 1989. Survival of microencapsulated *Bifidobacterium pseudolongum* in simulated gastric and intestinal juices. *Canadian Institute of Food Science Technology Journal*, 22 (4), 345–349.
- Ross, R.P., Fitzgerald, G., Collins, K., Stanton, C. 2002. Cheese delivering biocultures- probiotic cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*, 57 (2), 71–80.
- Rowley, J.A., Madlambayan, G., Mooney, D.J. 1999. Alginate hydrogels as synthetic extracellular matrix materials. *Biomaterials* 20 (1), 45–53.
- Sajilata, M.G., Singhal, R.S., Kulkarni, P.R. 2006. Resistant starch – a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 5 (1), 1–17.
- Sheu, T.Y., Marshall, R.T., Heymann, H. 1993. Improving survival of culture bacteria in frozen desserts by microentrapment. *Journal of Dairy Science*, 76 (7), 1902–1907.
- Siuta-Cruce, P., Goulet, J. 2001. Improving probiotic survival rates. *Food Technology*, 55 (10), 36–42.
- Sultana, K., Godward, G., Reynolds, N., Arumugaswamy, R., Peiris, P. 2000. Encapsulation of probiotic bacteria with alginate–starch and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions and in yogurt. *International Journal of Food Microbiology* 62 (1–2), 47–55.
- Sun, W., Griffiths, M.W., 2000. Survival of bifidobacteria in yogurt and simulated gastric juice following immobilization in gellan–xanthan beads. *International Journal of Food Microbiology* 61 (1), 17–25.
- Sworn G. 2000. Gellan gum. In: *Handbook of hydrocolloids*. Phillips G.O., Williams P.A. (eds) Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, pp 117–135.
- Takata I., Tosa T., Chibata I. 1977. Screening of matrix suitable for immobilization microbial cells. *Journal of Solid-phase Biochemistry*. 2 (3), 225–236.
- Vinderola C. G., Prosello W., Ghiberto D., Reinheimer J. A. 2000. Viability of probiotic (*Bifidobacterium*, *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus casei*) and nonprobiotic microflora in Argentinian Fresco cheese. *Journal Dairy Science*, 83 (9), 1905–11.
- Young, S. L., Sarda, X., Rosenberg, M. 1993. Microencapsulating properties of whey proteins .1. Microencapsulation of anhydrous milk-fat. *Journal of Dairy Science*, 76 (10), 2868–2877.