

Peyniraltı Suyu Proteinlerinin Mikroenkapsülasyon Teknolojisinde Kaplama Materyali Olarak Kullanım Olanakları

Hatice Şanlıdere Aloğlu, Zübeyde Öner

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta
E-posta: hatice@mmf.sdu.edu.tr

ÖZET

Mikroenkapsülasyon sıvı, katı veya gaz formundaki değişik mikro boyuttaki maddeleri kapsüller içinde paketlenme teknolojisi olarak tanımlanır. Bu teknikte kaplanan materyal belirli şartlar altında kontrollü oranlarda serbest hale geçer. Aynı zamanda mikroenkapsülasyon, kaplanan materyali sıcaklık, nem ve mikroorganizma gibi faktörlerden koruyan bir yöntemdir. Mikroenkapsülasyon tekniğinin kimya, ziraat, gıda ve yem, tıp, eczacılık, veterinerlik, biyoteknoloji, çevre ve tüketici ihtiyaçları gibi çok geniş kullanım alanları vardır. Mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan kaplama materyalleri çok çeşitli olup, organik veya inorganik esaslı olabilir. Bu derlemede, mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan kaplama materyalleri ile mikroenkapsülasyon teknolojisinde peyniraltı suyu proteinlerinin kaplama materyali olarak kullanım olanakları irdelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikroenkapsülasyon, Peyniraltı suyu proteinleri, Kaplama materyalleri

Potential Use of Whey Proteins as a Coating Material in Microencapsulation Technology

ABSTRACT

Microencapsulation is defined as a technology of packaging solids, liquids or gaseous material in miniature, sealed capsules that can release their contents at controlled rates under specific conditions. Microencapsulation is also a method of protecting encapsulated material from factors that may cause its deterioration such as temperature, moisture and microorganisms. Microencapsulation technique has many applications in chemistry, agriculture, food and feed, medicine, pharmacy, veterinary medicine, biotechnology, environment and consumer necessities. Type of coating materials used in microencapsulation technology varies to a great extent, and could be of organic or inorganic origin. In this review, potential use of whey proteins, dairy industry by-products with biological and technological properties, as a coating material in microencapsulation technology are discussed.

Key Words: Microencapsulation, Whey proteins, Coating materials

GİRİŞ

Mikroenkapsülasyon, sıvı veya gaz formundaki zerreciklerin ince bir film tabakası ya da polimer kapsüller ile kaplanarak, kaplanan materyalin kullanılıncaya kadar korunması işlemidir. Kaplamada kullanılan materyalin özelliklerine bağlı olarak kaplanan madde (mikroorganizma veya gıda bileşeni) farklı sürelerde ve ortamlarda serbest hale geçebilir [1, 2]. Mikroenkapsülasyon enkapsüle edilen madde ile sistemin ilişkisini sınırlandırmaktır. Eğer bir bileşenin bulunduğu ortam ile ilişkisinin sınırlandırılması gerekiyorsa, bu maddenin enkapsüle edilmesi ile elde edilen mikrokapsüller sayesinde ortamdan ayrılması daha kolay olmaktadır. Mikroenkapsülasyon, kırılğan ve çevresinden korunması gereken vitaminler, çözümlenmiş yağ asitleri gibi gıda bileşenlerinin korunmasını sağlar. Bazı ilaçlar ve probiyotikler sindirim sisteminden geçerken zarar görebilirler. Bu maddeler mikroenkapsüle edildiklerinde fizikokimyasal, kimyasal ve çevrenin mekanik etkisinden korunabilirler [3]. Ayrıca bazı durumlarda bileşenlerin ortamda serbest halde bulunması istenmez. Buna en güzel örnek enzim ya da katalizörlerdir. Mikroenkapsülasyon bu bileşenlerin açığa çıkmasını sınırlar veya daha hızlı açığa çıkmalarını sağlayabilir. Biyoaktif maddelerin enkapsülasyonu bu maddelerin raf ömürlerini uzatır ve ağız yoluyla tüketimlerinden sonra biyo-yararlılıklarını artırır [4].

Küçük hacimdeki bir sıvı ile yüksek miktardaki toz halindeki maddeyi homojen şekilde karıştırmak zordur.

Mikroenkapsülasyon sıvının tozun içine girmesini kolaylaştırır. Mikroenkapsülasyon tekniğı, pH değışiklikleri karşısında membran geçirgenliğini kontrol ederek biyokatalizörlerin aktivitesini düzenler ve yeni işlevler kazandırır. Çeşitli fonksiyonel ürünlerin çıkmasında da etkili bir tekniktir [4, 5]. Bu çalışmada kimya, eczacılık, veterinerlik vb konularda kullanım alanı bulan mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan kaplama materyalleri ile peyniraltı suyu (PAS) proteinlerinin kaplama materyali olarak kullanım olanakları konusundaki çalışmalar derlenmiştir.

MİKROKAPSÜLLERİN OLUŞTURULMASINDA KULLANILAN KAPLAMA MATERYALLERİ

Mikroenkapsülasyon teknolojisinde kullanılan kapsüllerin genel olarak stabiliteilerinin yüksek, geçirgenliklerinin uygun, boyutlarının istenen düzeyde ve ortamla uyumluluğunun yüksek olması istenir [6]. Bu özelliklerin oluşturulabilmesi için çok farklı kaplama materyalleri kullanılmaktadır. Bunlar; karbonhidratlar, gamlar, süt yağı, proteinler ve protein esaslı bileşenler, selülozlar (karboksimetilselüloz, metil selüloz, etilselüloz, nitroselüloz, asetilselüloz, selüloz asetat-fitalat, selüloz asetat-bütülat-fitalat), lipidler, katı ve sıvı yağlar ve inorganik maddelerdir [7-12].

Karbonhidratlar: Karbonhidratların özellikle gıda katkı maddelerinin püskürterek kurutma yöntemi ile enkapsüle edildiğı uygulamalarda geniş kullanım alanları vardır. Nişasta, maltodekstrin ve mısır şurubu çeşitliliğı, düşük maliyeti ve gıdalarda geniş kullanım alanları olması nedeniyle aroma maddelerinin kaplanmasında tercih edilmektedirler [10].

Gamlar: Gamlar ve kıvam verici maddelerin tadı genellikle çok az veya hiç yoktur. Fakat gıdaların tat ve aromalarında belirgin bir etkiye sahiptirler. Akasya gamı yüksek çözünürlüğü, düşük viskozitesi ve emülsiyon haline getirme özellikleri ile enkapsülasyon teknolojisinde aranan aroma kaplama maddelerindedir. Gıda endüstrisinde kullanımı sınırlıdır çünkü akasya gamı maltodekstrinlere göre daha pahalıdır. Akasya gamı ve maltodekstrinlerin karışım halinde kullanıldığı çalışmalarda mevcuttur [11].

Süt Yağı: Süt yağından elde edilen mikrokapsüller, aroma maddeleri ve enzimlerin enkapsülasyonunda kullanılmaktadır. Süt yağının peynirde iki görevi vardır. Aroma maddelerinin ön maddesi ve peynir aromasının taşıyıcısıdır. Serbest yağ asitleri ve metil ketonlar süt yağından oluşmaktadır. Süt yağı içersine enkapsüle edilmiş bileşenlerin az yağlı peynirlerde kullanılması bu peynirlere tam yağlı lezzeti vermektedir [7-9].

Proteinler: Gıda hidrokolloidlerinin yanı sıra sodyum kazeinat, PAS proteinleri ve soya protein izolatları gibi gıda proteinlerinin de enkapsülasyon teknolojisinde kullanım alanları vardır. Kimyasal gruplarındaki çeşitlilik, suda çözünen ve çözünmeyen grupları birlikte içermesi, kendi içinde ve çok çeşitli maddelerle etkileşime girme, büyük moleköl ağırlıkları, moleküler zincirlerinin esnekliğı gibi özelliklere sahip olmalarının yanı sıra çözünürlük, viskozite, emülsifikasyon ve film oluşturma

gibi teknolojik özelliklerinin bulunması tercih edilme sebeplerindedir. Emülsiyon oluşturma sırasında protein molekülleri yeni oluşan yağ ve su fazı arasında hızlıca adsorbe olur [11].

Diğer Kaplama Materyalleri: Mikroenkapsülasyon teknolojisinde selülozlar (karboksimetilselüloz, metil selüloz, etilselüloz, nitroselüloz, asetilselüloz, selüloz asetat-fitalat, selüloz asetat-bütülat-fitalat), lipidler (mumlar, parafin, tristearin, stearik asit, monogliseritler, digliseritler, balmumu, katı ve sıvı yağlar, katılaştırılmış yağlar) ve inorganik maddeler (kalsiyum sülfat, silikatlar, kil) de ve lipozomlar kaplama materyali olarak kullanılmaktadır [2].

MİKROENKAPSÜLASYON TEKNOLOJİSİNDE PEYNİRALTI SUYU PROTEİNLERİNİN KAPLAMA MATERYALİ OLARAK KULLANILMASI

PAS proteinleri, biyolojik değeri yüksek besleyici protein kaynaklarıdır. Kandaki glutatyon miktarını artırır ve insan bağışıklık sistemi için yararlı antioksidan maddelerin kaynağıdır. Sağlık için yararlı etkilerinin bulunmasından dolayı gıdalara protein kaynağı olarak ilave edilebilmektedirler [13]. PAS proteinleri iyi emülsifikasyon, jelleşme ve film oluşturma özelliklerine sahiptirler. Özellikle emülsifikasyon ve ısı ile jelleşme özelliğinin birlikte kullanılması kullanım alanlarının gelişmesini sağlamaktadır. Bu konu ile ilgili araştırmalar özellikle proteinlerinin jelleşme özelliğı üzerine yoğunlaşmıştır [14, 15]. Ayrıca PAS proteinleri mikroenkapsülasyon teknolojisinde kaplama materyali olarak istenen fonksiyonel özellikleri göstermektedirler [16-22]. PAS proteinlerinin fiziko-kimyasal özellikleri, gıda uygulamalarında mikrokapsüllerden enkapsüle edilen maddelerin kontrollü olarak salınımında ve yeni mikrokapsüllerin oluşturulmasında mükemmel avantajlar sağlamaktadır [14, 15].

PAS proteinlerinin kullanıldığı çalışmalarda mikroenkapsülasyon tekniğı olarak özellikle püskürterek kurutma yöntemi kullanılmaktadır [14, 15]. PAS proteinlerinin kullanılması ile yapılan püskürtülerek kurutulmuş mikrokapsüller suda çözünebilirler. Bu nedenle kontrollü salınım çalışmaları için uygun değildirler. PAS proteinlerinin jelleşme özelliklerinden de yararlanılması oluşturulan kapsüllerin suda çözünürlüklerini sınırlandırmakta ve bu da yeni mikrokapsüller geliştirilmesinde fırsatlar sağlamaktadır.

Genellikle glutaraldehit gibi çapraz bağlanma reaksiyonu gösteren kimyasalların kullanılması protein esaslı mikrokapsülleri suda çözünmez hale getirmektedir. Fakat PAS protein çözümlerinin ısıtılması ile oluşturulan geri dönüşümsüz jeller, çapraz bağlanma reaksiyonu gerçekleştiren kimyasalların kullanılmasına gerek kalmadan suda çözünmeyen kapsüller elde edilmesini sağlar,

Ticari olarak PAS proteinleri, PAS protein izolatları (%95-96 protein) ve PAS konsantratu şeklinde üretilmektedir. PAS protein konsantratları ve izolatları uçucu ve uçucu olmayan bileşenlerin kapsüllenmesinde mükemmel mikroenkapsülasyon özellikleri

göstermektedirler. Lipidlerin kapsüllenmesinde kaplama materyali olarak kullanılan PAS protein izolatları depolanmaları sırasında oksidasyona karşı etkili bir koruma sağlamaktadır [14, 15].

Yapılan bir çalışmada, PAS protein izolatları kullanılarak enkapsüle edilen portakal yağının oksidasyona karşı daha dirençli olduğu ve püskürtülerek kurutma yöntemiyle beraber uçucu bileşenlerin mikroenkapsülasyonunda etkili oldukları belirtilmiştir. Fakat soya fasulyesi yağının enkapsüle edildiği başka bir çalışmada sodyum kazeinatla karşılaştırıldığında PAS protein konsantratinin daha düşük enkapsülasyon yeteneği gösterdiği belirtilmiştir [11]. Farklı araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda da sıvı yağların enkapsülasyonunda sodyum kazeinatın PAS proteinlerine göre daha etkili olduğu belirtilmektedir [11, 23, 24].

Mikrokapsüllerin yapıldığı teknik ve kaplama materyali onun işlevini etkiler. Püskürtülerek kurutulmuş polisakkaritleri içeren bir kaplama materyalinin yüzeyi son derece girintilidir. PAS proteinleri ile yapılmış mikrokapsüller ise pürüzsüz, girintisiz bir yüzeye sahiptir. Sheu ve Rosenberg [14] yaptıkları çalışmalarında PAS proteinlerinin maltodekstrinlerle beraber kaplama materyali olarak kullanılmasının yüzeyel girintileri sınırlandıracağı veya en aza indireceğini belirtmişlerdir. Yüksek dekstroz içeren maltodekstrin veya mısır şurubu kullanımını bu amaçla önermişlerdir. Bu karbonhidratların kullanımı yüzeyel kırılmaları da sınırlandırmaktadır ve bu durumda mikrokapsüllerin çekirdek duvarının fonksiyonelliğini artırmakta ve çekirdeğin depolama esnasında bozulmasını veya kaybını önlemektedir

Peyniraltı suyu proteinlerinin karbonhidratlarla karışımı, süt yağının ve uçucu bileşenlerin enkapsülasyonunda kullanılmalarını olanaklı kılmaktadır [11, 14, 19, 20]. Burada PAS proteinleri emülsifiye edici ve film oluşturucu olarak, karbonhidratlar ise (maltodekstrinler, mısır şurubu) matriksi oluşturucu materyal olarak kullanılmaktadır [11, 14].

Süt yağının mikroenkapsülasyon tekniği ile dayanıklılığını artırmak, dolayısıyla raf ömrünü uzatma amacıyla yapılan çalışmalar olumlu sonuçlar vermektedir. Enkapsüle edilerek toz haline getirilmesi tereyağının raf ömrünü uzatmaktadır. Peyniraltı suyu proteinlerinin kaplama materyali olarak süt yağının enkapsülasyonunda kullanılması çevresel koşullardan bu ürünlerin korunmasını sağlamaktadır [18, 19, 25, 26]. Peyniraltı suyu protein izolatı, PAS protein konsantrati, PAS protein izolatı-laktöz karışımları, PAS protein izolatı-maltodekstrin karışımları süt yağının püskürtülerek kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonunda etkili kaplama materyalleridir. Kaplama materyalinde PAS proteinleri yerine kısmen laktöz kullanılmasının, antioksidatif etkiyi azalttığı ve kaplama materyalinin oksijen geçirgenliğini değiştirdiği belirtilmektedir. Süt yağının mikroenkapsülasyonu, oksidasyona olan dayanıklılığını artırır, raf ömrünü uzatır ve ambalajlama kolaylığı sağlar [16].

Chen ve Subirade [4] yaptıkları çalışmalarında %1 riboflavin ilave edilmiş PAS protein izolatı /aljinat karışımından (8:2 oranında) emülsifikasyon/soğuk jelleşme metodu kullanılarak yaklaşık 94 µm boyutunda kapsül elde edildiğini ve bu kapsüllerin iç ve dış yapısının, salınım özelliklerinin mükemmel olduğunu belirtmişlerdir. Bu kaplama maddesinin gıda bileşenlerinin veya biyoaktif maddelerin mikroenkapsülasyonunda güvenilir olarak kullanılabileceğini önermişlerdir.

Süt ürünlerinde kullanılan probiyotik mikroorganizmaların korunmasında suda çözünmeyen mikrokapsüller üretmek için yeni yollar geliştirilmektedir ve bu konuya yoğun bir ilgi duyulmaktadır. Bu açıdan, süt proteinlerinin fiziko-kimyasal özelliklerinin gıdalarda kaplama materyali olarak kullanılmaya uygun olduğu belirtilmektedir [11, 18, 19]. Buna rağmen gıda uygulamalarında mikroorganizmaların suda çözünmeyen süt kaynaklı proteinler içersinde kapsüllenmesi ile ilgili çok az sayıda araştırma mevcuttur. Bunun sebebi gıda proteinlerinin ısı uygulamalarında jelleşmesi ve canlı mikroorganizmalar gibi ısıya duyarlı çekirdek materyalleri için uygun olmamalarından kaynaklanmaktadır [27]. Heidebach ve ark. [27] yaptıkları çalışmalarında enzimatik jelleşme reaksiyonunun, süt proteinlerini probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonunda kullanılabilir duruma getirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca proteinlerin kullanımının getirdiği önemli bir fonksiyonel özellikte kapsül büyüklüğünü kontrol etmesidir. Kapsüllerin büyüklüğü son üründe duyuşsal özelliğin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonunun amacı duyarlı olan bu hücrelerin çevre ile ilişkilerini azaltarak korumaktır. Yüksek konsantrasyonda süt proteinlerinin sulu çözeltilerinden oluşturulan mikrokapsüller yüksek yoğunlukta bir jel ağı oluşturur ve oluşan uygun çaptaki mikro kapsüller probiyotiklerin gıdalarda kullanımını daha etkili hale getirir [27].

Picot ve Lacroix [28] PAS proteinlerini kaplama materyali olarak kullanarak iki tane *Bifidobacterium* suşunun enkapsülasyon işlemine tabi tutmuşlardır. Bu suşların enkapsülasyona dayanıklılığını ve enkapsülasyon işleminden sonra yoğurt içersinde depolama sırasındaki canlılıklarını ve *in vitro* şartlarda sindirime dayanıklılıklarını incelemişlerdir. Sonuçta enkapsülasyon işlemi görmüş suşların dayanıklılığının düşük pH'ya sahip yoğurt içersinde 28 günlük depolama ve ardından insan sindirim sistemi koşullarında bekletme sonrası canlılıklarının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Peyniraltı suyu protein kaynaklı suda çözünmeyen mikrokapsüllerde tutuklanan bifidobakterlerin çevresel yüksek asit konsantrasyonuna toleranslarının arttığı ve insan sindirim sisteminde probiyotik kültürlerin kullanılmasında bu uygulamanın çok uygun olduğunu belirtmişlerdir [28].

Guerin ve ark. [29] yaptıkları çalışmalarında bifidobakterium hücrelerini aljinat, pektin ve PAS protein karışımı ile enkapsüle etmişlerdir. Araştırmacılar hücrelerin membran kaplamalı protein-polisakkarit

mikrokapsülleri şeklinde kullanılmasının probiyotik bakterilerin sindirim sisteminden geçerken canlılıklarını daha uzun süre muhafaza ettiklerini belirtmişlerdir.

SONUÇ

Mikroenkapsülasyon teknolojisi uzun yıllardan beri birçok alanda kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde ise son yıllarda kullanılmaya başlamıştır. Bu teknolojinin gıda endüstrisinde kullanılması fonksiyonel özellikleri yüksek, raf ömrü daha uzun, besleyici vb. gibi özellikler gösteren yeni ürünlerin geliştirilmesinde yeni imkanlar sunmaktadır.

Mikroenkapsülasyon teknolojisi ile elde edilen mikrokapsüllerin yapıldığı teknik ve kaplama materyali onun işlevini etkilemektedir. Bu nedenle kaplama materyali olarak kullanılacak madde ile kaplanacak materyalin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

PAS proteinleri iyi emülsifikasyon, jelleşme ve film oluşturma özelliklerine sahiptirler ve mikroenkapsülasyon teknolojisinde kaplama materyali olarak ta istenen fonksiyonel özellikleri göstermektedirler. PAS proteinlerinin fiziko-kimyasal özellikleri, gıda uygulamalarında mikrokapsüllerden enkapsüle edilen maddelerin kontrollü olarak salınımında ve yeni mikrokapsüllerin oluşturulmasında mükemmel avantajlar sağlamaktadır. Gerek biyolojik gerekse teknolojik özellikleri yüksek olan PAS proteinlerinin kapsül materyali olarak kullanım alanlarının artması bu proteinlerin değerlendirilmesi açısından da önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] Kınık, Ö., Kavas, G., Yılmaz, E., 2003. Mikroenkapsülasyon tekniği ve süt teknolojisindeki kullanım olanakları. *Gıda* 28 (4): 401-407.
- [2] Çakır, İ., 2007. Fonksiyonel gıda bileşenleri ve probiyotiklerde mikroenkapsülasyon uygulamaları. 5. *Gıda Mühendisliği Kongresi*, 08-10 Kasım, Ankara.
- [3] Poncelet, D., 2006. Microencapsulation: fundamentals, methods and applications. *Surface Chemistry in Biomedical and Environmental Science* 23-34.
- [4] Chen, L., Subirade, M., 2007. Effect of preparation conditions on the nutrient release properties of alginate-whey protein granular microspheres. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 65: 354-362.
- [5] <http://www.nanoparticles.org/pdf/Poncelet-Microencapsulation.pdf>.
- [6] Strand, B. L., 2005. Improved alginates for cell encapsulation by the use of enzymatic engineering. (<http://nanoparticles.org/pdf/Strand2-ppt.pdf>).
- [7] Magee, L. E., Olson, N. F., 1981a. Microencapsulation of cheese ripening systems: Formation of microcapsules. *Journal of Dairy Science* 64: 600-610.
- [8] Magee, L. E., Olson, N. F., 1981b. Microencapsulation of cheese ripening systems: Stability of microcapsules. *Journal of Dairy Science* 64: 616-621.
- [9] Magee, L. E., Olson, N. F., Lindsay, R.C., 1981. Microencapsulation of cheese ripening systems: Production of diacetyl and acetoin in cheese by encapsulated bacterial cell-free extract. *Journal of Dairy Science* 64: 616-621.
- [10] Murano, E., 1998. Use of natural polysaccharides in the microencapsulation techniques. *Journal of Applied Ichthyology* 14: 245-249.
- [11] Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., Desobry, S., 2006. Flavour encapsulation and controlled release-A review. *International Journal of Science and Technology* 41: 1-21.
- [12] Çakır, İ., 2006. Mikroenkapsülasyon teknolojinin probiyotik gıda üretiminde kullanımı. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, Bolu.
- [13] Gunasekaran, S., 2008. Whey processing, functionality and health benefits: Whey protein hydrogels and nanoparticles for encapsulation and controlled delivery of bioactive compounds. IFT Press, Blackwell Publishing, 227-284.
- [14] Sheu, T. Y., Rosenberg, M., 1998. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. *Journal of Food Science* 63 (3): 491-494.
- [15] Lee, S. J., Rosenberg, M., 2000. Whey protein-based microcapsules prepared by double emulsification and heat gelation. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 33: 80-88.
- [16] Moreau, D. L., Rosenberg, M., 1996. Oxidative stability of anhydrous milkfat microencapsulated in whey proteins. *Journal of Food Science* 61(1): 39-43.
- [17] Rosenberg, M., Young, S. L., 1993. Whey proteins as microencapsulating agents. Microencapsulation of anhydrous milkfat—structure evaluation. *Food Structure* 12: 31-41.
- [18] Young, S. L., Sarda, X., Rosenberg, M., 1993a. Microencapsulation properties of whey proteins. 1. Microencapsulation of anhydrous milk fat. *Journal of Dairy Science* 76: 2868-2877.
- [19] Young, S. L., Sarda, X., Rosenberg, M., 1993b. Microencapsulation properties of whey proteins. 2. Combination of whey proteins with carbohydrates. *Journal of Dairy Science* 76: 2878-2885.
- [20] Sheu, T. Y., Rosenberg, M., 1995. Microencapsulation by spray-drying ethyl caprylate in whey protein and carbohydrate wall systems. *Journal of Food Science* 60: 98-103.
- [21] Rosenberg, M., Sheu, T. Y., 1996. Microencapsulation of volatiles by spray-drying in whey protein-based wall systems. *International Dairy Journal* 6: 273-284.
- [22] Rosenberg, M., 1997. Milk derived whey protein-based microencapsulating agents and a method of use. U.S. Patent number: 5: 601.760.
- [23] Keogh, M. K., Q'Kennedy, B. T., 1999. Milk fat microencapsulation using whey proteins. *International Dairy Journal* 9: 657-663.
- [24] Hogan, S. A., McNamee, B. F., O'Riordan, E. D., O'Sullivan, M., 2001. Microencapsulating properties of sodium caseinate. *Journal of Agricultural. Food Chemistry* 49: 1934-1938.

- [25] Pauletti, M.S., Amestoy, P., 1999. Butter microencapsulation as affected by composition of wall material and fat. *Journal of Food Science* 64 (2): 279-282.
- [26] Keogh, M., O'Kennedy, B., Kelly, J., 1999. Stability to oxidation spray-dried fish oil powder microencapsulated using milk ingredients. *Journal of Food Science* 66: 217-224.
- [27] Heidebach, T., Först, P., Kulozik, U., 2009. Microencapsulation of probiotic cells by means of rennet-gelation of milk proteins. *Food Hydrocolloids* 23: 1670-1677.
- [28] Picot, A., Lacroix, C., 2004. Encapsulation of bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *International Dairy Journal* 14: 505-515.
- [29] Anal, A. K., Singh, H., 2007. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Trends in Food Science and Technology* 18: 240-251.
-