

Vurgulu Elektrik Alan Uygulamasının Süt Teknolojisinde Kullanımı

Elif Ayşe Anlı [✉], Asuman Gürsel Kıral

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Ankara

Geliş Tarihi (Received): 01.11.2012, Kabul Tarihi (Accepted): 05.03.2012

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): kocaoglu@agri.ankara.edu.tr (E.A. Anlı)

☎ 0 312 596 17 75 📠 0 312 318 22 19

ÖZET

Gıdaların besinsel, fonksiyonel ve duyuşsal özelliklerini riske atmadan mikrobiyal açıdan güvenliğini ve kalitesinin iyileştirilmesi ihtiyacı, düşük sıcaklıkta yürütülen gıda işleme tekniklerinin dünya çapında artan bir ilgi kazanmasına neden olmuştur. Isıl olmayan işlemler, bozukluk etmeni mikroorganizmalar ve enzimlerin inaktivasyonunu, geleneksel ısı işlemlere kıyasla, düşük sıcaklık derecesinde ve fazla enerji harcamadan sağlarken aynı zamanda tazeliğin ve besin öğelerinin korunması gibi üstünlükler sunmaktadır. Bu uygulamalardan vurgulu elektrik alan (VEA) uygulaması, pompalanabilir gıdalar için yeni gelişen bir teknoloji olup, yağsız süt, tam yağlı süt ve yoğurt gibi ürünlerde ısı işlemlere iyi bir seçenek olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Vurgulu elektrik alan, Süt teknolojisi, Süt, Mikrobiyal kalite

Pulsed Electric Field Application in Dairy Industry

ABSTRACT

The increased world-wide interest about innovative processes in the field of low-temperature processing of foods is caused by the need for enhancing microbial food safety and quality without compromising nutritional, functional and sensory characteristics of foods. In comparison to traditional thermal processes, non-thermal processing techniques inactivate enzymes and destroy putrefactive microorganisms, protecting freshness and nutritional characteristics of foods. Application of low temperatures with low energy consumption is another superiority of these emerging techniques. Pulsed electric field (PEF) is one of these emerging technologies applied for liquid or liquid like foods, and it is an alternative to thermal processes for foods such as skim milk, whole milk and yoghurt.

Key Words: Pulsed electric field, Dairy technology, Milk, Microbial quality.

GİRİŞ

Gıdaların sağlığa yararlı ve yararlı olmayan yönleri ile ilgili konularda tüketicilerin giderek daha bilinçli hale gelmeleri, gıda endüstrisinin bu beklentileri karşılamak üzere sağlıklı ve güvenli gıda üretimi konusunda daha duyarlı hale gelmesini sağlamıştır. Güvenli gıda üretimi gıda zincirine giren her materyalin sorgulanması, mikrobiyal gelişmenin önlenmesi, uygulanan işlemlerle mikrobiyal yükün azaltılması veya elimine edilmesi ve işlem sonrası kontaminasyonun önlenmesi konularını kapsamaktadır.

Gıdaların korunması ticari koşullarda halen ısı işlem uygulamaları ile mümkün olmaktadır. Kesikli pastörizasyon, klasik sterilizasyon, haşlama gibi geleneksel ısı işlem uygulamaları enzimler ve mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlamakla birlikte, gıdanın duyuşsal kalitesi ve besleyici değerinde istenmeyen etkilere yol açabilmektedir [1]. Uygulanan işlemin şiddetine bağlı olarak bazı vitaminler ve pigmentlerin zarar görmesi, bazı proteinlerin veya uçucu bileşenlerin yapılarının bozulması ürünün toplam kalitesini azaltmaktadır [2-5]. Yüksek sıcaklıkta kısa

sürelili (HTST) pastörizasyon ve UHT sterilizasyon gibi daha yüksek sıcaklıkta fakat daha kısa sürede uygulanan işlemler geleneksel ısı işlem uygulamalarına kıyasla besin öğelerinde daha az kayıplara yol açmasına karşın, üretilen gıdalar yine de taze aroma ve istenilen tekstür özelliklerinden yoksun bulunmaktadır [6].

Gıdaların besleyici, fonksiyonel ve duyuşsal özelliklerine zarar vermeden mikrobiyal kalitesinin güvenilir hale getirilmesi ve iyileştirilmesi fikri, yeni gelişen ve düşük sıcaklıkta uygulanan işlemlere karşı artan bir ilgi oluşmasına yol açmış ve bunun sonucunda ultrasonik ses dalgaları, yüksek hidrostatik basınç (HHP) ya da VEA uygulamaları gibi ısı olmayan işlemler yardımıyla mikroorganizmaların inaktivasyonu konusunda araştırmalara hız verilmiştir. Bu uygulamalar arasında VEA, pompalanabilir gıdaların pastörizasyonu açısından yeni gelişen ve ümit veren bir teknoloji olarak görülmektedir [7, 8].

Süt endüstrisinin önemi nedeniyle VEA konusunda yapılan çalışmalar çoğunlukla süt ve süt ürünleri üzerinde yoğunlaşmıştır [4]. Sütün tazeliğinin korunması, mikrobiyal açıdan güvenli hale getirilmesi ve duyuşsal kalitesinin artırılması konularında VEA teknolojisinin güvenli bir uygulama olabileceği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur [1-5, 9-11].

Bu derlemede, VEA teknolojisi ve süt ve ürünlerinde kullanımı konusunda bilgi verilmeye çalışılmıştır.

VURGULU ELEKTRİK ALAN TEKNOLOJİSİ

Vurgulu elektrik alan işlemi, özellikle sıvı gıdalarda, yüksek yoğunluklu elektriksel alan darbeleri yardımıyla mikroorganizmaların nisbeten düşük veya orta sıcaklık derecelerinde (< 60°C) inaktivasyonunu sağlayan bir uygulamadır [12]. Orta sıcaklık derecelerinde (50-60°C) gerçekleştirilen VEA uygulamalarının mikroorganizma inaktivasyonunda sinerjetik etki gösterdiği belirtilmektedir [13].

Vurgulu elektrik alan uygulamasıyla mikroorganizmalarda meydana gelen inaktivasyonun mekanizması henüz tam olarak aydınlığa kavuşmamış olsa da, yüksek elektriksel alanın biyolojik hücre membranları üzerinde yarattığı elektriksel potansiyele ve elektrik alanının yoğunluğuna bağlı olarak hücre zarında meydana gelen parçalanma ve elektroporasyonun hücre ölümüne neden olduğu düşünülmektedir [6, 14, 15].

Bir VEA ünitesi, yüksek voltaj darbe (sinyal) jeneratörü, işlem haznesi, sıvı taşıyıcı sistemi, kontrol ve görüntüleme cihazlarından oluşmaktadır. Sinyal şekli ve frekansı, işlem haznesinin tasarımı ve işlem sıcaklığı VEA'nın mikrobiyel inaktivasyon gücü üzerinde etkili faktörlerdir [16]. Kullanılan sisteme bağlı olarak, VEA teknolojisinde uygulanan elektrik alan şiddeti 15-50 kV/cm, darbe genişliği 1-5 µs ve darbe frekansı 200-400 Hz (sinyal/s) arasında değişmektedir [17].

Vurgulu elektrik alan uygulamasında, işlem bölmesinde, iki elektrot arasında akan gıdaya genellikle oda

sıcaklığında kısa süreli (mikro ya da nano saniye) sinyaller gönderilmekte ve gıdanın yapısında bulunan ve belirli düzeyde elektriksel iletkenlik sağlayan çok sayıdaki iyon aracılığıyla elektrik akımının gıdanın her noktasına iletilmesi sonucu gıda içerisinde bulunan mikroorganizmalar inaktif hale gelmektedir [8]. İşlem sırasında deşarj süresinin kısa olması gıdanın en az düzeyde ısınmasını sağlamaktadır [18].

SÜT VE ÜRÜNLERİNDE VURGULU ELEKTRİK ALAN UYGULAMALARI

Vurgulu elektrik alanın sütte mevcut bozukluk etmeni mikroorganizmalar ve patojen bakteriler üzerindeki inaktivasyon etkilerini ortaya koymak amacıyla yürütülen çalışmalarda, VEA ile işlenmiş sütlerin, başlangıçtaki mikroorganizma yüküne ve işlem sonrası canlılığını koruyan bakterilerin buzdolabı koşullarında gelişme yeteneklerine bağlı olarak değişen raf ömrüne sahip oldukları belirtilmektedir [4, 11].

Çiğ süt, 40 kV/cm'lik VEA ile muamele edildiğinde 4°C'de 2 hafta süreyle kalitesini korumaktadır. Sütle yürütülen bir başka çalışmada ise; VEA uygulanmış tam yağlı sütün mikrobiyolojik stabilitesinin sadece 5 gün olduğu ve 7 gün içerisinde proteoliz ve lipoliz gözlenmediği belirtilmiştir. Ayrıca VEA uygulamasıyla serum proteinlerinin ısı işlemde meydana gelen denatürasyona yakın düzeyde denatürasyona uğradığı belirlenmiştir [11].

Vurgulu elektrik alanın mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon etkisi seçici bir özellik göstermektedir. Bu konuda *Salmonella* türleri ile yürütülen çalışmalardan birinde, *Salmonella dublin* inoküle edilen ve pilot ölçekte VEA işlemine (elektrik alan şiddeti 36.7 kV/cm, darbe genişliği 100 µs olan 40 darbe) tabi tutulan sütte adı geçen bakteri varlığına rastlanmadığı bildirilmiştir [19]. *Salmonella enteritidis* inoküle edilen ve orta sıcaklık derecelerinde (<50°C) VEA işlemine (elektrik alan şiddeti 45-55 kV/cm, darbe genişliği 250-500 ns ve darbe frekansı (sıklığı) 40-120 Hz) tabi tutulan yağsız sütte ise 1.4 log redüksiyon sağlandığı ve VEA'nın sözkonusu bakteri üzerindeki inaktivasyon gücünün sınırlı düzeyde olduğu belirlenmiştir [12]. *E.coli* ATCC-10536 suşu ile yürütülen bir çalışmada da, VEA teknolojisi ile (28.6-42.8 kV/cm elektrik alan şiddeti, darbe genişliği 100 µs olan 23 darbe) üretilen homojenize pastörize sütte 3 log redüksiyon sağlanması (19), VEA uygulamasının *E.coli* üzerinde daha fazla inaktivasyon gücüne sahip olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, VEA'nın süt asidi bakterileri üzerinde daha etkili olduğu, *Lactobacillus brevis* inoküle edilen sütle yürütülen bir uygulamanın (elektrik alan şiddeti 22 kV/cm, darbe genişliği 20 µs olan 20 darbe) sonuçlarından anlaşılmaktadır [19].

Saccharomyces cerevisiae inoküle edildikten sonra, 63°C'de, elektrik alan şiddeti 23-38 kV/cm ve darbe genişliği 100 µs olacak şekilde VEA işlemine tabi tutulan süttten üretilen yoğurt örneklerinde, yoğurt bakterileri ve kontaminant mikroorganizmadaki redüksiyon düzeyinin 2 log olduğu saptanmıştır [19]. Bendicho ve ark. [4] tarafından da VEA'nın yoğurtlarda *Lactobacillus brevis*,

S.thermophilus, *Lb.bulgaricus* ve *Saccharomyces cerevisiae* sayısında 2 log redüksiyon sağladığı görülmüştür.

Kesin olmamakla birlikte, VEA işlemleri mikrobiyolojik inaktivasyonunda protein ve yağ gibi gıda bileşenlerinin koruyucu etkiye sahip oldukları düşünülmektedir [12,20-22]. Özellikle yağların, uygulanan voltaja karşı izolasyon görevi yaptığı ve hücreler üzerinde koruyucu bir etki gösterdiği belirtilmektedir [23].

Sütün engeller teknolojisi yaklaşımıyla ve etkili işlem parametreleri kullanılarak işlenmesi ile ısı işlem uygulamalarına kıyasla, en yüksek düzeyde mikrobiyel inaktivasyon sağlanmaktadır. Bu noktadan hareketle, sütün düşük sıcaklık derecelerinde işlenmesine olanak sağlayarak pastörizasyona eşdeğer veya daha iyi mikrobiyel inaktivasyon ve raf ömrü sağladığı düşünülen VEA teknolojisinin ısı ya da ısı olmayan diğer teknolojilerle birlikte uygulanması konusunda çalışmalar yürütülmektedir.

Vurgulu elektrik alan ve hafif şiddette ısı işlemi birlikte uygulandığı bir çalışmada [24], 65°C'ye ısıtılan tam yağlı süte, darbe genişliği 2.3 µs ve elektrik alan şiddeti 35 kV/cm olan 5 darbelik VEA işlemi 10 saniyeden daha az olmamak üzere sürekli uygulanmış ve VEA'nın ısı işlemle olan sinerjetik etkisi sonucu sütün 24 günden daha fazla dayanım gösterdiği saptanmıştır.

HTST pastörizasyon ve VEA'nın sütün raf ömrü üzerine etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada da, HTST pastörizasyondan hemen sonra VEA uygulaması ile raf ömrünün (4°C'de 10⁴ kob/mL'ye ulaşmaya kadar geçen süre) 40 günden 60 güne kadar uzadığı, HTST pastörizasyonun 8. gününden sonra VEA uygulandığında sütün 78 güne kadar dayanım gösterdiği belirlenmiştir [25].

HTST pastörizasyon ve VEA'nın birlikte uygulandığı bir çalışmada, başlangıçta 10⁴ kob/mL olan mikroorganizma yükünün işlem sonrası 10² kob/mL'ye kadar düştüğü saptanmıştır [5].

Portakal suyu – süt içeceğinde, ısı işlem (85°C/1 min), VEA (25 kV/cm, 65°C) ve HHP (650 MPa, 50°C) uygulamalarının pektin metil esteraz aktivitesi ile uçucu bileşenlerin konsantrasyonu üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada [26], alternatif uygulamaların ısı işlemlere göre daha kaliteli ürün elde edilmesini sağladığı tespit edilmiştir. VEA işlemi ile portakal suyu bazlı içeceklerde yüksek düzeyde pektin metil esteraz inaktivasyonu sağlanırken, doğal aromanın HHP ve ısı işlem uygulamalarına göre daha iyi korunduğu gözlemlenmiştir.

Walking-Ribeiro ve ark. [27] tarafından, mikrofiltrasyon (MF) ile birlikte uygulanan VEA'nın sütün toplam aerob, enterobakter, maya/küf, laktobasil, psikrotrof, termodurik psikrotrof, mezofil-termoofil ve stafilokok bakterisi içeriğinde yarattığı değişimler 75°C'de 24 s süreyle pastörize edilen sütteki değişimlerle karşılaştırılmalı olarak 35 gün süresince incelenmiştir. Soğukta (4°C'de)

muhafaza edilen sütlerin toplam aerob bakteri sayısına bağlı olarak 7 gün dayanım gösterdikleri ve VEA/MF uygulamasının pastörizasyon yerine geçebilecek iyi bir uygulama olduğu belirtilmiştir.

Termosonik (TS) ve VEA işlemlerinin ayrı olarak veya birlikte az yağlı süte *Listeria innocua* inaktivasyonu üzerine etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmaya göre, VEA uygulamasını takiben TS işlem uygulamasının *L. innocua* inaktivasyonu üzerinde daha etkili bir uygulama olabileceği sonucuna varılmıştır [28].

Fermente sütlü tatlı üretiminde, ısı işlem (60°C/30 s) ve VEA uygulamasıyla (elektrik alan şiddeti 30 kV/cm, darbe genişliği 32 µs) pastörize edilen süt kullanımının ürünün duyu özelliklerini etkilemediği ve son üründe mezofilik aerob bakteri, maye ve küf gelişiminde azalma olduğu tespit edilmiştir [29].

Genel olarak, VEA işlemi pH değeri ve iyonik güç gibi engelleyici faktörlerle kombine hale getirildiğinde, mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon etkinliğinin arttığı bildirilmektedir [13]. Diğer taraftan, termal olmayan işlemler, özellikle antimikrobiyel bileşiklerle kombine halde uygulandığında sinerjetik etki sağlanmaktadır [21,30]. Bunun nedeni, strese maruz kalmış hücrelerin VEA işlemine karşı daha duyarlı hale gelmesidir [23].

Kakaonun, bileşiminde bulunan antosiyanin bileşikleri nedeniyle mikroorganizmalar üzerinde öldürücü bir etkiye sahip olduğu ve Salmonella gibi patojenlerin gelişimini yavaşlattığı bilinmektedir [22]. CooanOX tozunun %12 oranında kullanıldığı pastörize yağsız süte VEA uygulamasıyla, VEA ve kakao tozu arasındaki sinerjetik etki sonucu sütteki *B. cereus* sayısının etkili bir şekilde azaldığı belirlenmiştir [22].

Vurgulu elektrik alan uygulamasıyla, ısı işleme eşdeğer ya da daha fazla mikrobiyel inaktivasyon sağlanarak sütün raf ömrünün uzaması, lipaz enziminin faaliyetinden ileri gelen oksidasyonun önlenerek tat ve doğal niteliklerin korunması bu uygulamayı avantajlı kılan yönler olmakla birlikte, kazein ve serum proteinlerinin VEA uygulamasından etkilendiği, sütün viskozitesi ve pıhtılaşma özelliklerinin değiştiği yönünde spekülasyonlar mevcuttur [11]. Ancak, VEA'nın sütün fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkileri uygulanan doza bağlı değişim göstermektedir. Nitekim Yu ve ark. [31] tarafından, peynir üretiminde VEA işlemine tabi tutulan süt kullanımıyla pıhtılaşma süresinin değişmediği ve pıhtı sıklığının arttığı belirlenmiştir.

Kazeinin proteolize karşı duyarlılığı üzerine VEA parametrelerindeki değişimin etkilerini ortaya koymak amacıyla yürütülen bir çalışmada [19], *Pseudomonas fluorescens* M 3/6'a ait proteaz inoküle edilen yağsız süte 30°C'de elektrik alan şiddeti 25 kV/cm ve darbe frekansı 0.6 Hz olacak şekilde yüksek şiddette VEA uygulamasının proteolitik aktivitede artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Aynı sıcaklık derecesinde, elektrik alan şiddeti 14-15 kV/cm ve darbe frekansı 1-2 Hz olacak şekilde uygulanan işlem koşulları ise, kazeinin proteolize karşı duyarlılığını etkilememiştir.

Bir başka çalışmada, VEA uygulamasına tabi tutulan sütlerden üretilen Cheddar tipi peynir pıhtılarının pastörize süttten üretilen peynir pıhtıları ile benzer proteolitik profile sahip oldukları belirlenmiştir [11]. Ayrıca, VEA ile muamele edilen süttün aroma profilinin çiğ süttekine benzer olduğu saptanmıştır. Diğer taraftan, serum proteinlerinin, VEA işleminde daha az denatürasyona uğramaları nedeniyle, daha üstün immünolojik yarar gösterecekleri tahmin edilmektedir.

Süt yağ globül membranı ısıt işlemlere ve mekanik uygulamalara karşı oldukça duyarlıdır. Bazı koşullarda ısıt işlem uygulamaları, yağ globülünün yapısında istenmeyen değişikliklere ve sonucunda da süttün yapısal özelliklerinde modifikasyonlara neden olmaktadır. VEA uygulamasının yağ globül boyutu ve zeta potansiyeli üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir çalışmanın sonuçları, yağ globül boyutunda VEA ile oluşan değişimin düşük sıcaklıkta uzun süreli pastörizasyonda gözlenen değişime benzerlik gösterdiği belirlenmiştir [32].

SONUÇ

Elektrik darbeleri uygulamasıyla süt ve süt ürünleri, meyve suları ve sıvı yumurta ürünleri gibi sıvı gıdaların korunmasında VEA işlemi gelecek vaat eden bir teknolojidir. Bu teknolojiye işlem sıcaklığının düşük ve işlem süresinin kısa olması gıdaların orijinal duyu ve besinsel özelliklerinin korunmasını sağlamaktadır. Mikroorganizma inaktivasyonu konusundaki yeterliğinin ispatlanmış olması, büyük ölçekli sıvı gıdalara uygulanabilmesi, süttün besinsel, duyu ve fonksiyonel özellikleri üzerindeki etkilerinin en az düzeyde olması VEA işleminin olumlu özellikleridir. Ayrıca VEA'nın enerjiden tasarruf sağlaması da geleneksel ısıt işlem uygulamalarına karşı üstün yönüdür.

Vurgulu elektrik alan konusunda dünya genelinde çalışmalar devam etmektedir. Bugüne kadar yapılan araştırmaların çoğu laboratuvar düzeyinde ve pilot ölçekte olmakla birlikte, yakın gelecekte ticari düzeyde uygulanabileceği ümit edilmektedir. Pastörizasyon yerine geçebilecek bir potansiyele sahip bulunması nedeniyle gıda endüstrisinin gelecekte ürün işleme teknolojilerini VEA sistemine adapte etmeleri beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Calderon-Miranda, M.L., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G., 1999. Inactivation of *Listeria innocua* in skim milk by pulsed electric fields and nisin. *Int J Food Microbiol.* 51:19–30.
- [2] Daniela Bermúdez-Aguirre, D., Yáñez, J.A., Dunne, C.P., Davies, N.M., Barbosa-Cánovas, G.V., 2010. Study of strawberry flavored milk under pulsed electric field processing. *Food Res Int.* 43: 2201–2207.
- [3] Sobrino-López, A., Martín-Belloso, O., 2008. Enhancing the lethal effect of high intensity pulsed electric field in milk by antimicrobial compounds as combined hurdles. *J Dairy Sci.* 91: 1759–1768.

- [4] Bendicho, S., Barbosa-Cánovas, G.V., Martín-Belloso, O., 2002. Milk processing by high intensity pulsed electric fields. *Trends in Food Sci & Technol.* 13: 195–204.
- [5] Craven, H.M., Swiergon, P., Midgely, J.S.Ng., Versteeg, C., Coventry, M.J., Wan, J., 2008. Evaluation of pulsed electric field and minimal heat treatments for inactivation of pseudomonads and enhancement of milk shelf-life. *Innovative Food Sci & Emerging Technol.* 9: 211–216.
- [6] Lado, B.H., Yousef, A.E., 2002. Alternative food preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Microbes and Infections* 4: 433-430.
- [7] Cruz, A.G., Faria, J.A.F., Saad, S.M.I., Bolini, H.M.A., Ana, A.S.S., Cristianini, M., 2010. High pressure processing and pulsed electric fields: potential use in probiotic dairy foods processing. *Trends in Food Science & Technology* 21: 483-493.
- [8] Anonim. 2011. (http://www.fshn.illinois.edu/food_processing_forum/.../c3_Barbosa_Abstract, Erişim tarihi: 14.05.2012).
- [9] Qin, B., Barbosa-Cánovas, G.V., Swanson, B.G., Pedrow, P.D., Olsen, R.G., 1998. Inactivating microorganisms using a pulsed electric field continuous treatment system. *IEEE Transactions on Industry Applications* 34 (1): 43-50.
- [10] Devlieghere, F., Vermeiren, L., Debever, J., 2004. New preservation technologies: Possibilities and limitations. *Int. Dairy J.* 14: 273-285.
- [11] Onwulata C.I., 2008. Milk Whey Processes: Current and Future Trends. In *Whey Processing Functionality and Health Benefits*, Edited by Onwulata C.I., Huth P.J., Wiley-Blackwell Publishing, USA, 400p.
- [12] Wan, J., Coventry, J., Swiergon, P., Sanguansri, P., Versteeg, C., 2009. Advances in innovative processing technologies for microbial inactivation and enhancement of food safety-pulsed electric field and low temperature plasma. *Trends in Food Sci. & Technol.* 20: 414-424.
- [13] Anonim. 2008. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.17454565.2000.tb00619.x/pdf>. (Erişim tarihi: 12.05.2012).
- [14] Picart, L., Dumay, E., Cheftel, C., 2002. Inactivation of *Listeria innocua* in dairy fluids by pulsed electric fields: influence of electric parameters and food composition. *Innovative Food Sci & Emerging Technol.* 3: 357-369.
- [15] Schilling, S., Alber, T., Toepfl, S., Neidhar, S., Knorr, D., Schieber, A., Carle, R., 2007. Effects of pulsed electric field treatment of apple mash on juice yield and quality attributes of apple juices. *Innovative Food Sci & Emerging Technol.* 8: 127–134.
- [16] Góngora-Nieto, M.M., Sepulveda, D.R., Pedrow, P., Barbosa-Cánovas, G.V., Swanson BG. 2002. Food processing by pulsed electric fields: Treatment delivery, inactivation level, and regulatory aspects. *LWT* 5: 375-388.
- [17] Toepfl, S., Heinz, V., Knorr, D., 2007. High intensity pulsed electric fields applied for food preservation. *Chem Eng & Process.* 46: 537–546.

- [18] Corbo, M.R., Bevilacqua, A., Campaniello, D., D'Amato, D., Speranza, B., Sinigaglia, M., 2009. *Int J Food Sci & Technol.* 44: 223-241.
- [19] Vega-Mercado, H., Martín-Bellosa, O., Qin, B., Chang, F.J., Góngora-Nieto, M.M., Barbosa-Cánovas, G.V., Swanson, B.G., 1997. Non-thermal food preservation: Pulsed electric fields. *Trends in Food Sci & Technol.* 8: 151-157.
- [20] Martín, O., Quin, B.L., Chang, F.J., Barbosa-Cánovas, G.V., Swanson, B.G., 1997. Inactivation of *Escherichia coli* in skim milk by high intensity pulsed electric fields. *J Food Process Eng.* 20: 317-336.
- [21] Pina-Pérez, M.C., Rodrigo, D., Ferrer Bernat, C., Rodrigo Enguidanos, M., Martínez-López, A., 2007. Inactivation of *Enterobacter sakazakii* by pulsed electric field in buffered peptone water and infant formula milk. *Int. Dairy J.* 17: 1441-1449.
- [22] Pina-Pérez, M.C., Silva-Angulo, A.B., Rodrigo, D., Martínez-López, A., 2009. Synergistic effect of pulsed electric fields and CocomOX 12% on the inactivation kinetics of *Bacillus cereus* in a mixed beverage of liquid whole egg and skim milk. *Int J Food Microbiol.* 130: 196-204.
- [23] Sun, D., 2005. Emerging Technologies for Food Processing. Food Science and Technology International Series. Elsevier Academic Press, USA, 771p.
- [24] Sepulveda, D.R., Gongora-Nieto, M.M., Guerrero, J.A., Barbosa-Canovas, G.V., 2009. Shelf life of whole milk processed by pulsed electric fields in combination with PEF-generated heat. *LWT - Food Sci. & Technol.* 42: 735-739.
- [25] Sepulveda, D.R., Gongora-Nieto, M.M., Guerrero, J.A., Barbosa-Canovas, G.V., 2005. Production of extended-shelf life milk by processing pasteurized milk with pulsed electric fields. *J. Food Eng.* 67: 81-86.
- [26] Sampedro, F., Geveke, D.J., Fan, X., Zhang, H.Q., 2009. Effect of PEF, HHP and thermal treatment on PME inactivation and volatile compounds concentration of an orange juice-milk based beverage. *Innovative Food Sci & Emerging Technol.* 10: 463-469.
- [27] Walkling-Ribeiro, M., Rodríguez-González, O., Jayaram, S., Griffiths, M.W., 2011. Microbial inactivation and shelf life comparison of cold hurdle processing with pulsed electric fields and microfiltration, and conventional thermal pasteurisation in skim milk. *Int J Food Microbiol.* 144: 379-386.
- [28] Noci, F., Walkling-Ribeiro, M., Cronin, D.A., Morgan, D.J., Lyng, J.G., 2009. Effect of thermosonication, pulsed electric field and their combination on inactivation of *Listeria innocua* in milk. *Int. Dairy J.* 19: 30-35.
- [29] Yeom, H.W., Evrendilek G.A., Jin Z.T., Zhang Q.H., 2004. Processing of yogurt-based products with pulsed electric fields: microbial, sensory and physical evaluations. *J. Food Processing and Preservation* 28: 161-178.
- [30] Nguyen, P., Mittal, G.S., 2007. Inactivation of naturally occurring microorganisms in tomato juice using pulsed electric field (PEF) with and without antimicrobials. *Chem. Eng. & Proces.* 46: 360-365.
- [31] Yu, L.J., Ngadi, M., Raghavan, G.S.V., 2009. Effect of temperature and pulsed electric field treatment on rennet coagulation properties of milk. *J Food Eng.* 95: 115-118.
- [32] Garcia-Amezquita, L.E., Primo-Mora, A.R., Barbosa-Cánovas, G.V., Sepulveda, D.R., 2009. Effect of non thermal technologies on the native size distribution of fat globules in bovine cheese-making milk. *Innovative Food Sci. & Emerging Technol.* 10: 491-494.
-