

GIDA ENDÜSTRİSİNDE ULTRASONİK SES DALGALARININ KULLANIMI

Kübra Ulusoy*, Mustafa Karakaya

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya

Geliş tarihi / Received : 16.01.2011

Düzeltilerek geliş tarihi / Received in revised form: 02.03.2011

Kabul tarihi / Accepted : 09.03.2011

Özet

Gıda endüstrisinde, istenmeyen mikroorganizmalar ile enzimlerin inaktive edilmesi ve ürünün raf ömrünün uzatılması amacıyla en yaygın olarak kullanılan gıda muhafaza yöntemi ısı işlem uygulamalarıdır. Ancak gıdaların ısı işlemlerle korunmasında yüksek sıcaklıkların etkisiyle açığa çıkan olumsuzlukların ortadan kaldırılması amacıyla ısı olmayan süreçlere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Gıdalarda mikrobiyel gelişimin engellenmesi ve enzimlerin inaktivasyonu amacıyla yüksek güçlü ultrasonik ses dalgaları, tek başına ve diğer muhafaza yöntemleri ile kombine edilerek gerek duyuşal açıdan ve gerekse gıdanın bileşimindeki besin öğelerinin korunması açısından önemli bir katkı sağlamakla birlikte ürün kalitesinin muhafazasında başarıyla kullanılabilir bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu derlemenin amacı; gıda endüstrisinde alternatif bir metot olarak son zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanılan ultrasonik ses dalgalarının kullanımı hakkında bilgi vermektir.

Anahtar kelimeler: Ultrasonik ses dalgaları, enzim inaktivasyonu, mikrobiyel gelişim

THE USE OF ULTRASONIC SOUND WAVES IN FOOD INDUSTRY

Abstract

Heat treatment is the most widely used food preservation method in the food industry to inactivate undesirable microorganisms and enzymes and to extend shelf life of products. On the other hand, an interest in the non-thermal processes is increasing day by day in order to eliminate negative influences arising from the high temperatures applied for preservation of foods. In prevention of microbial growth and inactivation of enzymes present in food high-power ultrasonic sound waves appear to be a technique that can be successfully used alone and in combination with other preservation techniques to provide a significant contribution in terms of preservation of both sensory properties and nutrient composition of foods as well as preservation of the product quality. In this review, it has been aimed to give information about the use of ultrasonic sound waves that have been widely used in recent times as an alternative technique in the food industry.

Keywords: Ultrasonic sound waves, enzyme inactivation, microbial growth.

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ ulusoy_kubra@hotmail.com ☎ (+90) 332 223 2930 📠 (+90) 332 241 0108

GİRİŞ

Gıda üreticileri gıdaların raf ömrünü uzatabilmek ve besleyici değerini koruyabilmek için farklı teknoloji ve yöntem arayışlarına girerek bazı yeni teknolojileri uygulamaya başlamışlardır. Gıdaların genel kalitesine ve besleyicilik değerine daha az etkili olacak yeni gıda işleme yöntemlerinin tüketiciler tarafından talep edilmesi nedeniyle yeni ve alternatif pastörizasyon ve sterilizasyon yöntemleri önem kazanmaktadır. Son yıllarda, gıdaların ısı işlemlerle korunmasında gıdanın yapısında yüksek sıcaklıkların etkisiyle açığa çıkan olumsuzlukların ortadan kaldırılması amacıyla "ısı olmayan yöntemlerle" gıdaların muhafazası önem kazanmıştır (1, 2). Bundan dolayı son zamanlarda tüketicilerin daha taze ve daha doğal gıda ürünleri isteklerini karşılamak için gıda muhafaza uygulamalarında ultrasonik ses dalgaları uygulaması, elektriksel alan, ohmik ısıtma, ışınlama ve yüksek basınç teknolojisi gibi ısı olmayan alternatif gıda muhafaza tekniklerine olan ilgi gün gittikçe artmaktadır (3).

Mikroorganizma veya enzim inaktivasyonu için ısı olmayan alternatif teknolojilerin kullanımı yeni değildir. Son zamanlarda tüketicilerin daha doğal ve daha taze gıda taleplerini karşılamak amacıyla bu alandaki gelişmeler önemli düzeylere ulaşmıştır. Isı olmayan alternatif teknolojilerden biri de ultrasonik ses dalgalarıdır. Yüksek enerjili ses dalgaları bir sıvı içinden geçtikleri zaman baloncuk veya kavitasyon oluştururlar. Ultrasonik ses dalgalarının uygulanması sırasında başlıca aktif etki, sıvı içinde hava kabarcıklarının oluşumu ile sonuçlanan mekanik etkidir (4). Bu işlem sırasında üründe çok az bir sıcaklık artışı meydana gelmekte ve bu nedenle sıcaklıktan kaynaklanan olumsuz etkiler önemli oranda azalmaktadır (5).

ULTRASONİK SES DALGALARI

Ultrasonik ses dalgaları, insan kulağının işitebileceğinin üzerindeki ses dalgalarıdır. İnsanın işitme sınırı 15–20 kHz olup, ultrasonik ses dalgalarının frekansı 50 kHz'in üzerindedir. Biyolojik bir ortamda ultrasonik ses dalgalarının hızı, o ortamın fizyolojik durumuna ve sıcaklığına bağlıdır. Bir ultrasonik ses dalgasının, herhangi bir maddeden geçerken enerjinin ısıya dönüşümü ve yayılması sonucu dalga boyu azalır. Ultrasonik ses dalgaları kısaca 20 kHz ve daha yüksek frekansa sahip basınç dalgaları olarak tanımlanabilir. Genel olarak

ultrasonik ses dalgası ekipmanları 20 kHz ile 10 MHz arasındaki frekansları kullanırlar. Yüksek güç için düşük frekanslar tercih edilmektedir ve 20 kHz ile 100 kHz arasındaki frekanslarda gıdalardaki mikroorganizmaları inaktif hale getiren kavitasyonu yaratan güçlü ultrasonik ses dalgası oluşmaktadır (6). Ultrasonik ses dalgaları materyalin yüzeyine çarptığında bir güç yaratmaktadır. Ultrasonik ses dalgaları çok hızlı bir şekilde basınç ve sıcaklıkta lokal bir değişim, kavitasyon (sıvı gıdalarda kabarcıklar yaratan), hücre membranında incelme, mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etkiye neden olan lokal ısınma ve serbest radikal oluşumunu sağlamaktadır (7). Sıvı sistemlerde ultrasonik ses dalgalarının etkileri, başlıca kavitasyon olgusu ile ilişkilendirilir. Ultrasonik ses dalgaları, içerisinden geçtiği ortamdaki moleküllerin bir takım sıkıştırma ve basınç azalmaları sonucu açığa çıkan dalgalar şeklinde ortaya çıkar (8). Ultrasonik ses dalgaları, gıdanın kalitesini geliştirmede hızlı, etkili ve güvenilir bir alternatif metot olmasının yanı sıra, eşsiz fonksiyonelliği ile yeni ürün geliştirmede potansiyel bir güç kaynağıdır (9).

Uygulama Alanları

Ses dalgaları gıda sanayinde, oksidasyonun hızlandırılmasında, enzim aktivitesinin inhibisyonunda, emülsiyon, ekstraksiyon, kristalizasyon, filtrasyon ve gaz çıkarma işlemlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca yoğurt gibi gıdalarda ultrasonik ses dalgaları uygulamasının *Lactobacillus*'ların aktivitesini %50 artırdığı ve toplam üretim sürecinde %40'a varan kısalmalar sağladığı, bitkisel üretimde kullanıldığında ise tohumların çimlenmesini hızlandırdığı bildirilmiştir. Sıvı dezenfektanlar ile birlikte yüzey dekontaminasyonu için de kullanılabilir (10).

Mikrobiyel inaktivasyon metodu olarak ultrasonik ses dalgası teknolojisinin araştırılmasına 1960'lı yıllarda başlanmıştır. Mikroorganizma ölümünün mekanizması esas olarak hücre membranının incilmesi, sıcaklığın lokalize olması ve serbest radikallerin oluşmasına bağlı olarak meydana gelir (11). Mikroorganizmaların inaktivasyon mekanizmasının teorisi, değişen basıncın etkisiyle mikroskobik düzeyde meydana gelen baloncukların parçalanmasına dayanmaktadır. Bu parçalanma sırasında oluşan mikromekanik şoklar mikroorganizmaların yapısal ve fonksiyonel bileşiklerini bozar. Konu ile ilgili olarak yapılan

çalışmalarda, ultrasonik ses dalgalarının tek başına değil, ancak diğer muhafaza yöntemleri ile birlikte kullanıldığında özellikle mikrobiyel inaktivasyon açısından sinerjistik etki oluşturabileceği şeklinde açıklamalar yer almaktadır (6). Ultrasonik ses dalgası uygulamasının, sulu süspansiyonlarda *E. coli*, *Staph. aureus*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa* *Trichophyton mentagrophytes* ve *Feline herpesvirus* Tip 1'i yok ettiği rapor edilmiştir (12). Yüksek yoğunluklu ultrasonik ses dalgası uygulaması ile *E. coli* ve *L. rhamnosus* hücrelerinde meydana gelen hücresel tahribat araştırılmış ve bu dalganın letal etkisinin Gram pozitif olan *L. rhamnosus*'un Gram negatif *E. coli*'ye göre daha dirençli olduğu gösterilmiştir (13)

Ultrasonik ses dalgaları ile muamele, endüstride biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyonu için muhtemel bir yeniliktir (14). Ultrasonik ses dalgalarının yayılması ile biyoaktif bileşenlerin ekstraksiyonu; kısa zamanda yüksek düzeyde üretilebilirliği destekleyen, uygulaması kolay, çözücü tüketimi, sıcaklık ve enerji girdisini azaltmakta olan ekstraksiyon tekniklerinden biridir (15). Ultrasonik ses dalgaları; ekstrakt eldesinde ısısal olmayan etkili bir alternatif metottur. Ultrasonik ses dalgası uygulaması, hücre duvarlarını mekanik olarak parçalar ve materyal aktarımı sağlar. Hücre duvarının yıkılmasıyla hücre içindeki sıvı ekstrakt hücre dışına kolayca çıkabilmektedir. Bu uygulamayla hücre duvarı ortadan kalktığından, bu yöntemle yapılan ekstraksiyon işlemi diğer ekstraksiyon yöntemlerine göre daha hızlıdır. Bu muamele ile partikül çapının azalması sonucunda katı ve sıvı kısımlar arasındaki yüzey alanı artar. Ultrasonik ses dalgalarının mekanik aktivitesi, solventin dokulara doğru olan dağılımını hızlandırır. Mekanik olarak hücre duvarı parçalandığında hücre içi bileşenler, çözücü solvante kolayca geçmektedir (16). Ultrasonik ses dalgası uygulaması ekstraksiyon kinetiğini ve ekstraktın kalitesini de artırır. Buğday kepeğinden fenolik bileşenlerin ekstraksiyonu işleminin optimizasyonu sonucunda en uygun işlemin %64 lük etanolle 60 °C'de 25 dakika süreyle uygulanan ultrasonik ekstraksiyonla elde edildiği vurgulanmıştır (17). Dereotunun ekstraksiyonunda kullanılan ultrasonik ses dalgası uygulaması destekli ekstraksiyon sisteminde alınan sonuçların geleneksel ekstraksiyona göre 1.3-2 kat daha hızlı olduğu bulunmuştur (18). Bu uygulama, kolza, soya ve ayçiçeği gibi yağlı

tohumlardan yağ ekstraksiyonunda da kullanılmış ve ekstrakte edilen yağ kompozisyonlarında değişiklik olmadan işlem süresini yarıya indirmiştir (19). Bu muamele ile yapılan ekstraksiyonda, katı materyal üzerinde "sünger etkisi" oluşturulmaktadır. Ultrasonik titreşim hareketleri mekanik basınç dalgalarına neden olarak katının içindeki sıvının çıkmasına ve dış ortamdaki sıvının katının içerisine girmesine neden olur, böylece daha verimli bir ekstraksiyon işlemi gerçekleşir (20). Ultrasonik ses dalgası destekli ekstraksiyon ile çay infüzyonunun duysal kalitesinin, geleneksel ekstraksiyonla çay infüzyonundan çok daha iyi olduğu belirtilmiştir (21). Penggan (*Citrus reticulata*) kabuğundan hesperidinin ve toplam fenolik içeriğinin (22), Satsuma mandarin (*Citrus unshiu Marc*) kabuğundan fenolik asit ve flavanon glikozitin (23) ekstrakte edilmesinde son zamanlarda ultrasonik ses dalgası destekli ekstraksiyonlar kullanılmıştır.

Bu tekniğin gıda endüstrisinde ilk kullanım alanlarından biri, emülsifikasyon işlemidir. Ultrasonik ses dalgaları uygulaması ile oluşturulan emülsiyonlar, surfaktan maddeye ihtiyaç duymadan çok daha stabildir. Kavitasyon kabarcığı, birbirine karışmayan iki ayrı sıvının sınır tabakası fazına yakın bir yüzeyde patlarsa, meydana gelen şok dalgası iki sıvının çok etkin bir şekilde karışmasını sağlar. Nispeten düşük enerji girdisi, oldukça stabil emülsiyonların iyi bir şekilde dönüşmesini sağlayabilmektedir (24). Bu prosesin; kimya, petrokimya, polimer, tekstil, kozmetik ve ilaç endüstrisinde ticarileşmekte olup son yıllarda bazı meyve suları, mayonez ve ketçap gibi gıdaların hazırlanmasında da yaygınlaştığı belirtilmiştir (25).

Ultrasonik ses dalgaları krema stabilitesini artırarak su içerisinde yağ emülsiyonlarında stabilize olan bir etki oluşturur. Yüksek yoğunluklu ultrasonik ses dalgaları, bu emülsiyonlarda damla flokulasyon derecesini azaltabilir, pH 4-5'te palm yağı ve B-laktoglobulin-alginat kompleksinin stabil emülsiyonlarını oluşturur (26). Yapılan bir başka çalışmada (27), su içerisinde yağ emülsiyonlarının dağılmış fazın partikül damla boyutunun ve dağılmış fazın hacmi üzerine kullanılan yağın radyasyon uygulaması ve fizikokimyasal özelliklerinin her ikisini de değerlendirilmiş ve bu dalgaların emülsifikasyonu süresince marjinal damla birleşmeleri yanında faz kırılmaları meydana getirdiği de ifade edilmiştir. Güç girdisi ve radyasyon uygulama zamanı artırıldığında,

ayırma derecesi ile yağ damlacıklarının hızlı bir şekilde topaklaşması gözlemlenerek, kanola yağı ve su emülsiyonuna ultrasonik ses dalgası muamelesi (2 MHz) uygulanmıştır (28).

Yüksek güçlü ultrasonik ses dalgaları, çeşitli yollarla kristalizasyon işlemine destek olabilmektedir. Kristal oluşumuna etkisi, kristal büyümesinin hız kontrolü, küçük ve istenen irilikteki kristal şeklinin muhafaza edilmesi, yeni oluşan kristallerle yüzeyin kirlenmesini önlemek gibi olumlu tarafları vardır (29).

Filtrasyon ve görüntüleme prosesleri için ultrasonik ses dalgaları uygulaması, çeşitli yollarla prosese fayda sağlayabilir. Bunlar süspansiyonda partikülleri korumak için titreşim enerjisi sağlar, sürtünmesiz yüzey alanı oluşturur, hızlı bir şekilde sıvı veya küçük parçacıkların geçişine izin verir (30).

Peynir altı suyu süspansiyonlarının çözünebilme ve köpürme özellikleri üzerine ultrasonik ses dalgası muamelesinin etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmada, düşük yoğunluklu (500 kHz) ve yüksek yoğunluklu ultrasonik ses dalgası (20 kHz prob ve 40 kHz su banyosu) kullanılmış ve bu muameleler ile pH'nın önemli derecede değişmediği saptanmıştır. 40 kHz frekansa sahip ultrasonik ses dalgası tekniği, protein özellikleri üzerine daha az etkiye sahiptir ve 30 dakika yerine 15 dakikalık muamele ile çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (31).

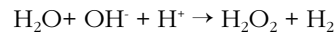
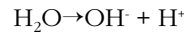
Hücrelerin veya enzimlerin varlığında gerçekleşen çeşitli prosesler ultrasonik ses dalgaları ile etkinleştirilmektedir. Yüksek yoğunluklu ses dalgaları hücreleri bozar veya enzimleri denatüre eder. Fermantasyon süresince düşük yoğunluklu ses dalgaları uygulandığında, bira ve şarap üretiminde fermantasyon hızında artışın ortaya çıktığı gösterilmiştir (32). Ultrasonik ses dalgaları uygulanmış mısır nişastası granüllerinin viskozitesinde azalma tespit edilmiş ve bu etkinin nişastanın moleküler ağırlığında azalmaya yol açan glikozidik köprülerin kısmen kırılması ile bağlantılı olduğu belirtilmiştir (33), ancak bu etkinin tersi durumunun mümkün olabileceği de gösterilmiştir (34). Ultrasonik ses dalgası muamelesi, domates püresinde viskozite artışına neden olan lif ağı içerisine nemin hızlı bir şekilde ilerlemesini sağlar. Bazı çalışmalarda da bu uygulamadan sonra proteinler üzerinde yapısal değişimler gözlemlenmiştir (35).

Bu dalgalar; gıdaların kesim /parçalama/ dilimlenmesi, şekil verilmesi gibi birçok işlem aşamasında

olası zararları engellemek amacıyla geliştirilen bir yöntemdir. Ultrasonik ses dalgalarıyla parçalama, güçlü linear olmayan vurma etkili bir işlemdir ve pek çok endüstriyel uygulamalarda kullanılır (36). Bu uygulama ile kesim/ dilimleme, gıda sektöründe kullanımı oldukça yeni bir yöntemdir ve halen daha üzerinde çalışılması gereken birçok eksik yönü bulunmaktadır. Peynir teknolojisinde kullanılan özelliklerin seçimi, peynirin çeşidine bağlıdır. Özellikle peynirin toplam kurumadde, yağ ve protein içeriği gibi bileşim özellikleri kesme frekansını etkiler (37).

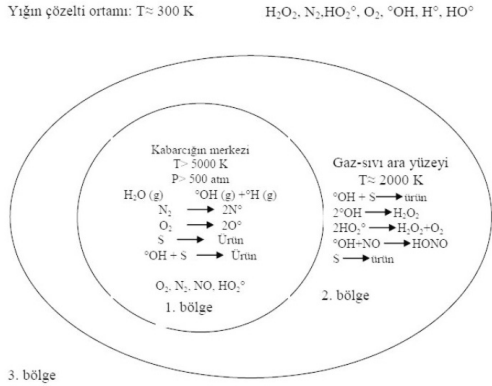
Yağın kalite parametreleri, besinsel ve duyuşal karakterleri üzerine yüksek güçlü ultrasonik ses dalgalarının etkisi araştırılmıştır. Sonikasyon işlemi uygulanmış zeytin ezmelelerinden elde edilen yağlar, daha düşük acılık gösterirken, tokoferol, klorofil ve karotenoid içeriği açısından daha yüksek değerlere sahip olduğu belirtilmiştir (38).

Ultrasonik ses dalgaları ile meydana gelen radikaller ve gıda bileşenleri arasında istenmeyen reaksiyonların, gıda işlemede düşük ultrasonik frekansların seçilmesiyle minimize edilebileceği gösterilmiştir. Ancak solüsyonda mevcut bulunan uygun bir radikal tutucu bulunması şartıyla gıda işlemede yüksek frekanslı ultrasonik ses dalgaları kullanılabilir (39). Sıvılara ultrasonik ses uygulaması ile serbest radikaller ortaya çıkmakta, bu dalga ile parçalanmış su; OH⁻, H⁺ veya hidrojenperoksit haline dönüşmektedir. Bu bileşikler önemli bakterisidal etkiye sahiptir. Serbest radikallerin hücredeki ilk hedefi DNA'dır ve zinciri çeşitli noktalardan kırar (40).



Kavitasyonel yoğunluk, büyük ölçüde inaktivasyon mekanizmasını ortaya çıkarmaktadır. Bu yoğunluğun, H₂O₂'in üretim hızı olarak ölçüldüğü bildirilmiştir (41).

Belirtilen inaktivasyon mekanizmaları doğrudan veya dolaylı olarak ultrasonik ses dalgası cihazının başlık tipi, frekans ve akustik enerji yoğunluğu gibi bazı işlem özelliklerine bağlıdır. Gaz konsantrasyonu ve muamelenin ses gücü gibi özellikler de enzim inaktivasyonunun etkinliğini değiştirir (43). Bir sıvının sonikasyon işlemine uğraması kimyasal etkiler oluşturmasının yanında akustik kavitasyon ile titreşimler vasıtasıyla çok



Şekil 1. Bir kavitasyon kabarcığı üzerinde sonokimyasal tepkimelerin olduğu bölgeler (Kaynak 42'den derlenmiştir)

sayıda fiziksel etki meydana getirir. Yapılan çalışmalar, sıvılarda ultrasonik ses dalgaları ile meydana gelen fiziksel etkilerin çok etkili olduğu göstermiştir (44).

Gıda endüstrisinde düşük frekanslı yüksek güçlü ultrasonik ses dalgaları uygulaması (<0.1 MHz, 10-1000 W/cm²) son yıllarda yaygın bir şekilde araştırılmaktadır. Ultrasonik ses dalgaları tekniği tek başına veya sıcaklık ile kombinasyonunun, akışkan (45) ve elma suyunda (46) bulunan *E. coli* ve *L. monocytogenes* (47) üzerine etkili olabileceği bildirilmiştir. Patojenik ve bozulmaya sebep olan mikroorganizmaların ve enzimlerin sonikasyon ile inaktivasyonu, başlıca fiziksel (kavitasyon, mekanik etkiler) ve/veya kimyasal (sonokimyasal reaksiyon nedeniyle serbest radikallerin oluşumu) işlemler tarafından meydana getirilmektedir. Model bir çözelti içerisine 20 kHz ultrasonik ses dalgası uygulanarak alkol dehidrojenaz, katalaz ve lizozim enzimlerinin inaktivasyonu araştırılmış ve alkol dehidrojenaz ve lizozim enziminin çok iyi inaktive olduğu, ancak katalaz için çok düşük etkiler gösterdiği belirlenmiştir (48). Bu uygulamanın inaktivasyon mekanizmasının, enzimlerin konformasyonel mekanizması ve aminoasit kompozisyonuna bağlı olduğu, yapılan araştırmalara göre enzimlere özgü değiştiği belirtilmiştir (49). Katalaz, invertaz veya pepsin gibi bazı enzimler, ultrasonik ses dalgası muamelesine karşı dirençlidir (50). Alfa amilaz enziminin inaktivasyonunun termosonikasyon ile sağlandığı gösterilmiştir (43). Düşük sıcaklık, düşük basınç ve pH gibi uygulamalar ile sonikasyon işlemi kombine edildiğinde, ultrasonik ses dalgası tekniğinin etkinliğini artırır (51). Genel olarak gıda

işlemede, ultrasonik ses dalgalarının düşük frekansları kullanılır. Bu durum 20-100 kHz ve 10-1000 W/cm² yoğunluğa sahip ses dalgalarının kavitasyon oluşturmaya neden olur (52). Portakal (53), guava (54) gibi bazı meyve sularının kaliteleri üzerine bu dalgaların uygulanması, minimum etkiye sahiptir. Çeşitli gıda kaynaklı patojenlerin inaktivasyonu için ultrasonik ses dalgası teknolojisinin potansiyel bir güç olup olmadığı araştırılmıştır (55).

Son zamanlarda sütte yağ globüllerinin mikroyapısı üzerine termosonikasyon uygulamasının etkisi elektron mikroskobu ile çalışılmıştır. Ultrasonik ses dalgası ile muamele; bazı kazein misellerinin etkileşiminden dolayı yüzeyde küçük yağ globüllerine yol açarak süt yağının globüler membranının parçalanmasına yol açmaktadır (56). Klasik homojenizasyonla karşılaştırıldığında, ultrasonik homojenizasyonun yoğurdun su tutma kapasitesi üzerine daha etkili olduğu, işlem zamanı ve güç seviyesi arttıkça su tutma kapasitesinin de arttığı belirtilmiştir (57).

Ultrasonik Ses Dalgalarının Et Endüstrisinde Kullanımı

Gıda endüstrisinde çeşitli sığır etlerinin sınıflandırılmasında ultrasonik ses dalgası uygulamaları yaygınlaşmaktadır. Bu uygulamanın temel prensibi, ses dalgalarının dokulardan geri yansımalarının ölçümüdür. Gelişmiş ülkelerde et verim ve kalitesini geliştirmeye yönelik yürütülen ıslah organizasyonlarında, damızlık seçimlerinde özellikle bu yöntem yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (58). Et gevrekliği üzerine ultrasonik ses dalgalarının uygulanmasında farklı bakış açıları da söz konusudur (59). Bazı araştırmacılar gevrekliği arttırdığı veya azalttığı düşüncesindeyken, diğer araştırmacılar ise bu uygulamanın gevreklik üzerine hiçbir etkisi olmadığı düşüncesine sahiptirler (60). *Semimembranosus* kasları üzerine yapılan bir çalışma sonucundaki analizler, rigor mortis sürecinde bu dalgaların etin olgunlaşması boyunca gevrekliği artırdığını göstermiştir. Bu çalışmadaki örneklerde su tutma kapasitesinin yanı sıra sarkomer yapısındaki değişikliklerde gözlemlenmiştir (61). Bir diğer çalışmada 3-4 yaşlarında sığır karkaslarının *Longissimus lumborum* et *thoracis* ve *Semitendinosus* kaslarına yüksek güçte ultrasonik ses dalgası (24 kHz, 12 W/cm²) uygulanmış ve 8.5 gün süre ile olgunlaştırmaya bırakılmıştır. Ultrasonik

ses dalgası uygulaması ile pH yükselmiş, pişirme kayıpları ise azalmıştır. Ayrıca Warner Bratzler Shear (WBS) gücü ve sertlik azalmıştır (60).

Bu teknik ile etin olgunlaşmasını hızlandırma üzerine yapılan bazı araştırmalar, düşük frekans ve düşük yoğunluklu ultrasonik ses dalgaları tarafından meydana gelen et yapısında serbest kavitasyon değişimleri üzerine yönelmektedir. Kas dokusu üzerine ultrasonik ses dalgası tekniğinin etkisi ile yapılan bir araştırmanın sonucu, fiziko-kimyasal özelliklerinin değiştiğini kanıtlamıştır. Olgunlaşma süresince en büyük değişimin, myofibriller proteinlerin yapısal özelliklerinde farklılıklara neden olmasıdır. Stadnik ve ark. (62), kıyma haline getirilmiş et örneklerinin su tutma kapasitesindeki değişikliklerle tüm haldeki et örneklerini karşılaştırmışlardır. Depolama süresince kıyma haline getirilmiş örnekler, tüm haldeki et örneklerinden daha düşük su tutma kapasitesine sahip olmuşlardır. Sonuçlar, sonikasyonun etin olgunlaşmasını hızlandırdığını göstermiştir (61).

SONUÇ

Ultrasonik ses dalgaları tekniği, gıdaların üretimi ve işlenmesi esnasında ısı olmayan proseslere alternatif bir yöntem olarak görülmektedir. Ultrasonik ses dalgalarının tek başına kullanılmasının yanı sıra sıcaklık, basınç gibi işlemlerle kombine edilerek kullanılmasının çok etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu teknoloji ile ilgili yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmakta olup, gıda endüstrisinde uygulanabilirliği hususunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Elez-Martinez P, Escola-Hernandez J, Soliva-Fortuny RC, Martin-Belloso O. 2005. Inactivation of *Lactobacillus brevis* in orange juice by high-intensity pulsed electric fields. *Food Microbiol*, 22: 311-319.
2. Liang Z, Cheng Z, Mittal GS. 2006. Inactivation of spoilage microorganisms in apple cider using a continuous flow pulsed electric field system. *LWT*, 39: 350-356.
3. Mertens B, Knorr D. 1992. Developments of nonthermal processes of food preservation. *Food Technol*, 46: 124-133.

4. Raviyan P, Zhang Z, Feng H. 2005. Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: Effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *J Food Eng*, 70: 189-196.
5. Mason TJ, Lorimer JP. 1988. General principles. In *Sonochemistry: Theory, Applications and Uses of Ultrasound in Chemistry*, (Eds. T. J. Mason & J. P. Lorimer). Ellis Horwood: Chichester, pp. 17-63.
6. Piyasena P, Mohareb E, McKellar RC. 2003. Inactivation of microbes using ultrasound: A review. *Int J of Food Microbiol*, 87: 207-216.
7. Fellows P. 2000. Processing using electric fields, high hydrostatic pressure, light or ultrasound. In: *Food Processing Technology Principle and Practice*. CRC Pres, Boca Raton Boston NY Washington, DC.
8. Mason T, Riera E, Vercet A, Lopez-Buesa P. 2005. Application of ultrasound. In D. W. Sun (Ed.), *Emerging Technologies For Food Processing* (pp. 323-350). California: Elsevier Academic Press.
9. Soria AC, Villamiel M. 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review. *Trends in Food Sci & Technol*, 21: 323-331.
10. Povey MJW, Mason TJ. 1998. *Ultrasound in Food Processing*. Thomson Science, New York.
11. Butz P, Tauscher B. 2002. Emerging technologies: Chemical aspects. *Food Res Int*, 35 (2/3) 279-284.
12. Bayraktaroglu G, Obuz E. 2006. Ultrasound yönteminin ilkeleri ve gıda endüstrisinde kullanımı. 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu, Türkiye, 57-60.
13. Ananta E, Voigt D, Zenker M, Heinz V, Knorr D. 2005. Cellular injuries upon exposure of *Escherichia coli* and *L.rhamnosus* to high-intensity ultrasound. *J Applied Microbiol*, 99: 271-278.
14. Viro M, Tomao V, Le Bourvellec C, Renard MCGC, Chemat F. 2010. Towards the industrial production of antioxidants from food processing by-products with ultrasound-assisted extraction. *Ultrasonics Sonochem*, 17: 1066-1074.
15. Chemat F, Tomao V, Viro M. 2008. Ultrasound-assisted extraction in food analysis. In: *Handbook of Food Analysis Instruments* by Semih Ötles (pp. 85-103). Boca Raton, Florida, USA: CRC press.
16. Kim SM, Zayas JF. 1989. Processing parameter of chymosin extraction by ultrasound. *J Food Sci*, 54: 700.

17. Wang J, Sun B, Cao Y, Tian Y, Li X. 2008. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from wheat bran. *Food Chem*, 106: 804-810.
18. Wang L, Weller CL. 2006. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Sci & Technol*, 17: 300-312.
19. Luque-García JL, Luque de Castro MD. 2004. Ultrasound-assisted Soxhlet extraction: An expeditive approach for solid sample treatment application to the extraction of total fat from oleaginous seeds. *J of Chromatog A*, 1034 (1-2): 237-242.
20. Tavman Ş, Kumcuoğlu S, Akaya Z. 2009. Bitkisel ürünlerin atıklarından antioksidan maddelerin ultrason destekli ekstraksiyonu *GIDA* 34 (3): 175-182.
21. Xia T, Shi S, Wan X. 2006. Impact of ultrasonic-assisted extraction on the chemical and sensory quality of tea infusion. *J of Food Engineer*, 74: 557-560.
22. Ma Y, Chen J, Liu D, Ye X. 2008. Effect of ultrasonic treatment on the total phenolic and antioxidant activity of extracts from citrus peel. *J of Food Sci*, 73: 115-120.
23. Ma Y, Ye X, Fang Z, Chen J, Xu G, Liu D. 2008. Phenolic compounds and antioxidant activity of extracts from ultrasonic treatment of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu Marc.*) peels. *J of Agric and Food Chem*, 56: 5682-5690.
24. Canselier JP, Delmas H, Wilhelm AM, Abismail B. 2002. Ultrasound emulsification. An overview. *J of Dispersion Sci and Technol*, 23: 333-349.
25. Wu H, Hulbert GJ, Mount JR. 2000. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innov Food Sci & Emerg Technol*, 1: 211-218.
26. Pongsawatmanit R, Harnsilawat T, McClements DJ. 2006. Influence of alginate, pH and ultrasound treatment on palm oil-in-water emulsions stabilized by b-lactoglobulin. *Colloids and Surfaces A- Physicochem and Engineer Aspects*, 287: 59-67.
27. Gaikwad SG, Pandit AB. 2008. Ultrasound emulsification: effect of ultrasonic and physicochemical properties on dispersed phase volume and droplet size. *Ultrasonics Sonochem*, 15: 554-563.
28. Nii S, Kikumoto S, Tokuyama H. 2009. Quantitative approach to ultrasonic emulsion separation. *Ultrasonics Sonochem*, 16: 145-149.
29. Luque de Castro MD, Priego-Capote F. 2007. Ultrasound assisted crystallization (sonocrystallization). *Ultrasonics Sonochem*, 14: 717-724.
30. Telsonic Group. 2007. Ultrasonic Screening Technology. www.telsonic.com (Accessed 10 August 2010).
31. Jambrak AR, Mason TJ, Lelas V, Herceg Z, Herceg IL. 2008. Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *J of Food Engineer*, 86: 281-287.
32. Matsuura K, Hirotsune M, Nunokawa Y, Satoh M, Honda K. 1994. Acceleration of cell growth and ester formation by ultrasonic wave irradiation. *J of Ferment and Bioengineer*, 77: 36-40.
33. Huang Q, Li L, Fu X. 2007. Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules. *Starch* 59: 371-378.
34. Bates DM, Bagnall WA, Bridges MW. 2006. Method of treatment of vegetable matter with ultrasonic energy. US Patent Application, 20060110503.
35. Kresic G, Lelas V, Jambrak AR, Herceg Z, Brncic SR. 2008. Influence of novel food processing technologies on the rheological and thermophysical properties of whey proteins. *J of Food Engineer*, 87, 64-73.
36. Arnold G, Leiteritz L, Zahn S, Rohm H. 2009. Ultrasonic cutting of cheese: Composition affects cutting work reduction and energy demand. *Int Dairy J*, 19: 314-320.
37. Myshkin NK, Petrokovets MI, Kovalev AV. 2005. Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear, and mass-transfer. *Tribology Int*, 38: 910-921.
38. Jiménez A, Beltrán G, Uceda M. 2007. High-power ultrasound in olive paste pretreatment. Effect on process yield and virgin olive oil characteristics. *Ultrasonics Sonochem*, 14: 725-731.
39. Ashokkumar M, Sunartio D, Kentish S, Mawson R, Simons L, Vilkuh K, Versteeg CK. 2008. Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system. *Innov Food Sci and Emerg Technol*, 9: 155-160.
40. Earnshaw RG. 1998. Ultrasound a new opportunity for food preservation. In MJW. Povey & TJ Mason (Eds.), *Ultrasound In Food Processing* (pp 183-192). London: Blackie Academic & Professional.

41. O'Donnell CP, Tiwari BK, Bourke P, Cullen PJ. 2010. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Sci. and Technol.* 21: 358-367.
42. Adewuyi YG. 2001. Sonochemistry. Environmental science and engineering applications. *Ind Eng Chem Res*, 40: 4681-4715.
43. Kadkhodae R, Povey MJW. 2008. Ultrasonic inactivation of *Bacillus a-amylase*. I. Effect of gas content and emitting face of probe. *Ultrasonics Sonochem*, 15 (2): 133-142.
44. Muthukumar S, Kentish SE, Stevens GW, Ashokkumar M. 2006. Application of ultrasound in membrane separation processes: A review. *Reviews in Chem Engineer*, 22: 155-194.
45. Salleh-Mack SZ, Roberts JS. 2007. Ultrasound pasteurization: The effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922, *Ultrasonics Sonochem*, 14: 323-329.
46. Ugarte-Romero E, Feng H, Martin SE, Cadwallader KR, Robinson SJ. 2006. Inactivation of *Escherichia coli* with power ultrasound in apple cider. *J of Food Sci*, 71: 102-108.
47. Baumann AR, Martin SE, Feng H. 2005. Power ultrasound treatment of *Listeria monocytogenes* in apple cider. *J of Food Protect*, 68: 2333-2340.
48. Coakley WT, Brown RC, James CJ. 1973. The inactivation of enzymes by ultrasonic cavitation at 20 kHz. *Archives of Biochem and Biophysics*, 159, 722-729.
49. Özbek B, Ülgen K. 2000. The stability of enzymes after sonication. *Process Biochem*, 35 (9): 1037-1043.
50. Sala FJ, Burgos J, Condon S, Lopez P, Raso J. 1995. Effect of heat and ultrasounds on microorganisms and enzymes. In G. W. Gould (Ed.), *New Methods of Food Preservation* (pp. 176-204). Glasgow: Blackie
51. Feng H. 2010. Ultrasound technology in food processing and preservation. 1th International Congress on Food Technology, November 03-06, Antalya, Turkey, 60.
52. Feng H, Yang W, 2005. Power ultrasound. In Y. H. Hui (Ed.), *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering* (pp. 3632). New York: CRC Press.
53. Valero M, Recrosio N, Saura D, Munoz N, Martic N, Lizama V. 2007. Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing. *J of Food Engineer*, 80: 509-516.
54. Cheng LH, Soh CY, Liew SC, Teh FF. 2007. Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chem*, 104: 1396-1401.
55. Jiranek V, Grbin P, Yap A, Barnes M, Bates D. 2008. High power ultrasonics as a novel tool offering new opportunities for managing wine microbiology. *Biotechnol Letters*, 30: 1-6.
56. Bermúdez-Aguirre D, Mawson R, Barbosa-Canovas GV. 2008. Microstructure of fat globules in whole milk after thermosonication treatment. *J of Food Sci*, 73: 325-332.
57. Şengül M, Başlar M, Erkaya T, Ertugay MF. 2009. Ultrasonik homojenizasyon işleminin yoğurdun su tutma kapasitesi üzerine etkisi. *GIDA* 34 (4): 219-222.
58. Wilson JW. 2003. Genomic and computing strategies in the optimization of the genetic component of specification beef. *J Animal Sci*, 81: 24-27.
59. Ulusoy K. 2010. Ultrasonik ses dalgalarının gıdalarda ve et endüstrisinde kullanımı. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Semineri, Konya, Türkiye, 45 s.
60. Jayasooriya SD, Torley PJ, D'Arcy BR, Bhandari BR. 2007. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine *Semitendinosus* and *Longissimus* muscles. *Meat Sci*, 75: 628-639.
61. Dolatowski ZJ. 1999. Wpływ obróbki ultradźwiękami o niskiej częstotliwości na strukturę i cechy jakościowe mięsa [The influence of low-frequency ultrasound processing on the structure and qualitative traits of meat]. *Rozpr. Nauk. AR Lubl.* 221 [in Polish].
62. Stadnik J, Dolatowski ZJ, Baranowska HM. 2008. Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef (*M. semimembranosus*) during ageing. *LWT*, 41: 2151-2158.