



## Polifenol Oksidaz Enzimi ve İnaktivasyon Yöntemleri

Leman Yılmaz, Yeşim Elmacı\*

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100 Bornova/İzmir, Türkiye

### MAKALE BİLGİSİ

#### Derleme Makale

Geliş 28 Kasım 2017  
Kabul 07 Mart 2018

#### Anahtar Kelimeler:

Enzimatik esmerleşme  
Meyveler  
Sebzeler  
Kimyasal ajanlar  
Esmerleşme karşıtı uygulamalar

#### \*Sorumlu Yazar:

E-mail: yeşim.elmaci@ege.edu.tr

### ÖZET

Polifenol oksidaz enzimi, sebze ve meyvelerde bulunmasının yanı sıra bazı hayvansal organlarda ve mikroorganizmalarda da bulunmaktadır. Enzimatik esmerleşmeden sorumlu olan polifenol oksidaz enzimi meyve ve sebzelerde yaygın olarak bulunan fenolik bileşiklerin kahverengi pigmentleri üreten kinonlara oksidasyonunu katalizleyen bakır proteinlerinin bir grubudur. Meyve ve sebzelerin endüstriyel olarak hazırlanması sırasında polifenol oksidazın katalitik etkisi sonucu enzimatik esmerleşme meydana gelmektedir. Enzimatik esmerleşme fenolik yapıda bileşenler içeren ürünlerde görünüşü bozmakla kalmayıp istenmeyen renk, koku ve tat oluşumuna ve ürünlerin besleyici değerinde önemli ölçüde kayıplara neden olmaktadır. Bu durum ürünlerin tüketici tarafından kabul edilirliliğini etkilemekte ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu derlemede farklı meyve ve sebzelerdeki polifenol oksidaz enziminin bazı karakteristikleri gözden geçirilmiş ve polifenol oksidazı inaktive etmek için kullanılan enzimatik esmerleşme karşıtı kimyasal ajanlar, ısıl uygulamalar, ışınlama uygulamaları ve yüksek basınç uygulaması, vurgulu elektrik alan uygulaması, süperkritik karbondioksit uygulaması ve ultrason uygulaması gibi alternatif yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 6(3): 333-345, 2018

## Polyphenol Oxidase Enzyme and Inactivation Methods

### ARTICLE INFO

#### Review Article

Received 28 November 2017  
Accepted 07 March 2018

#### Keywords:

Enzymatic browning  
Fruits  
Vegetables  
Chemical agents  
Antibrowning applications

#### \*Corresponding Author:

E-mail: yeşim.elmaci@ege.edu.tr

### ABSTRACT

Polyphenol oxidase enzyme is found in vegetables and fruits, as well as in some animal organs and microorganisms. Polyphenol oxidase enzyme responsible for enzymatic browning is a group of copper proteins that catalyses the oxidation of phenolic compounds to quinones, which produce brown pigments, commonly found in fruits and vegetables. During the industrial preparation of fruits and vegetables, results of catalytic effect of polyphenol oxidase causes enzymatic browning. Enzymatic browning impairs the appearance of products containing phenolic compounds along with undesirable colour, odor and taste formation and significant loss of nutritional value of the products. This affects the acceptability of the products by the consumers and causes economic losses. In this review, some characteristics of polyphenol oxidase enzyme in different fruits and vegetables have been reviewed and information about chemical antibrowning agents, thermal applications, irradiation applications and alternative methods such as high pressure processing, pulse electric field, supercritical carbon dioxide and ultrasound applications to inactivate this enzyme has been presented.

## Giriş

Taze sebzeler ve meyveler vitaminler, lifler ve antioksidanlar gibi biyoaktif bileşenleri yüksek seviyede içerdiklerinden tüketiciler için çeşitli sağlık yararları sunmaktadır. Antioksidan bileşikler hasat, depolama ve hazırlama süresince bir dizi değişikliğe maruz kalırlar (Lindley, 1998). Sebze ve meyvelerin yapısında doğal olarak bulunan fenolik bileşikler doğal antioksidan madde özelliği de göstermektedir. Fenolik bileşiklerin bir kısmı sebze ve meyvelerin lezzetinin oluşumunda bir kısmı ise sarı, sarı-esmer, kırmızı-mavi tonlardaki renklerinin oluşumunda görev almaktadır. Fenolik bileşikler, sebze ve meyvelerin işlenmesinde enzimatik esmerleşme gibi sorunlara neden olmaktadır (Nizamlioğlu ve Nas, 2010). Gıda endüstrisinde enzimatik esmerleşme, depolama süresince meyve ve sebze kayıplarının en önemli nedenlerinden biridir. Bu prosese neden olan en çok çalışılan enzimlerden biri polifenol oksidaz (PFO) (monofenol oksidaz E.C.1.10.3.1 veya kateşol oksidaz E.C.1.10.3.1) enzimidir. PFO'lar, evrimsel olarak bakterilerden memelilere kadar pek çok canlıda bulunan, hasar görmüş dokularda fenolik maddelerin kahverengi pigmentleri üreten kinonlara oksidasyonunu katalizleyen bakır proteinlerinin bir grubudur (Mayer, 1986). Bitkilerdeki PFO'nun görevi henüz tam olarak bilinmemekle birlikte, bağışıklık reaksiyonlarında, bitki bileşenlerinin biyosentezinde ve fotosentez yapan dokularda serbest radikal süpürücü olarak davrandığı (Heimdahl ve ark., 1994), hasar görmüş yaprak yüzeylerinde çürümeye ve ayrıca böceklere ve bitki patojenlerine karşı savunmada görevli olduğu ileri sürülmektedir (Aydemir, 2004). Fenolik bileşiklerin fiziksel polifenolik bariyerlerin oluşumunda öncü olarak etki ederek patojen translokasyonunu sınırlandırdıkları ifade edilmektedir. PFO tarafından oluşturulan kinonların bitki proteinlerini bağlayabildikleri, protein sindirilebilirliğini ve besleyici değerini düşürebildikleri bilinmektedir (Ryan, 2000). Ayrıca, fenolik substratların PFO tarafından oksidasyonunun olgunlaşma sırasında pek çok meyve ve sebze kahverengileşmenin en büyük nedeni olduğu düşünülmektedir. Söz konusu durum besinsel kalite ve görünümü etkilediği, tüketici kabulünü azalttığı ve dolayısıyla gıda üreticileri ve gıda işleme endüstrisine önemli ekonomik etkilere neden olduğu için önemlidir (Nuñez-Delgado ve ark., 2005). Meydana gelen meyve kayıplarının %50'sinden fazlasının enzimatik esmerleşmenin bir sonucu olduğu tahmin edilmekte olup bu prosese en duyarlı ürünlerin tropikal ve subtropikal meyve ve sebzeler olduğu belirlenmiştir (Whitaker ve Lee, 1995).

PFO için önerilen etki mekanizması fenolik bileşiklerin oksidasyon kapasitesine dayanmaktadır. Doku hasar gördüğünde, PFO'nun bulunduğu hücresel bölüm olan plastidlerin kopması, enzimin, bu bileşiklerin ana depolama organeli olan vakuolün kopması sonucu açığa çıkan fenolik bileşiklerle temasa geçmesine yol açmaktadır (Mayer ve Harel, 1979). PFO'nun aktif bölgesi iki bakır atomundan oluşmakta ve enzim, moleküler oksijen varlığında monofenollerin hidroksillenmesi (monofenolaz aktivitesi) ve o-difenollerin o-kinonlara oksidasyonu (difenolaz aktivitesi) olmak üzere iki farklı reaksiyonu katalizlemektedir. Bu reaksiyonu melaninlerin

oluşumunu sağlayan kinonların enzimatik olmayan polimerizasyonu, yüksek molekül kütleli pigmentler ve koyu renk takip etmektedir (Peñalver ve ark., 2005; Espín ve ark., 1998).

Bitki PFO'larının geniş substrat spesifitelerine sahip olduğu ve çeşitli mono, di ve polifenollerini oksitleyebildikleri bilinmektedir. Fenolik bileşikler meyve kalitesiyle ilgili renk, tat, koku ve doku gibi duyuşal özelliklere katkıda bulunan doğal maddeler olup yapısal olarak bir veya daha fazla hidroksil grubu taşıyan bir aromatik halkayı bir dizi diğer ikame ediciyle birlikte içermektedirler (Es-Safi ve ark., 2003). PFO substratlarından bazıları meyve ve sebzelerde doğal olarak bulunmaktadır. Örneğin, enzimatik esmerleşmeye çok elverişli elma, klorojenik asit, kateşin ve epikateşin bakımından zengindir (Podsedek ve ark., 2000).

PFO'ı inaktive ederken dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri enzimatik esmerleşme ile sonuçlanan ürün kayıplarının en aza indirilmesidir. PFO'ı inaktive etmek için pek çok yöntem denenmiş olup, genellikle ısı uygulamaları ve esmerleşme karşıtı kimyasal ajanlar kullanılmaktadır. Son yıllarda meyve ve sebzelerde PFO inaktivasyonu için ısı uygulamalarının yanı sıra alternatif yöntemler de denenmiştir. Bu çalışmada PFO'ı inaktive etmek için kullanılan enzimatik esmerleşme karşıtı kimyasal ajanlar, ısı uygulamaları, ışınlama uygulamaları ve yüksek basınç uygulaması, vurgulu elektrik alan uygulaması, süperkritik karbondioksit uygulaması, ultrason uygulaması gibi diğer alternatif yöntemlerin derlenmesi amaçlanmıştır.

## Enzimatik Esmerleşme Karşıtı Kimyasal Ajanlar

Enzimatik esmerleşmenin birçok taze kesilmiş sebze ve meyvede meydana gelen en önemli değişimlerden biri olduğu bilinmektedir. Doğal antioksidan madde özelliği de gösteren fenolik bileşiklerin oksitlendiği reaksiyonun PFO aktivitesi, fenolik miktar ve oksijen varlığı ile ilgili olduğu, antioksidanların taze kesilmiş ürünlerin ticari değerini korumada etkili olduğu ve esmerleşmeyi azalttığı bilinmektedir (Koukounaras ve ark., 2008; Rojas-Grau ve ark., 2006; Nizamlioğlu ve Nas, 2010). Araştırmalara göre farklı etkileyicilerin enzimatik esmerleşmeyi kontrol edebildiği bilinmekte ve bu bileşikler inhibisyon mekanizmasına dayanan indirgeme ajanları, şelat ajanları, asitlik düzenleyici, enzim inhibitörleri, enzim uygulamaları ve kompleks yapıcılar olarak sınıflandırılmaktadır (Özoğlu ve Bayındırlı, 2002). Esmerleşme geleneksel olarak sülfidlerin kullanılmasıyla engellenmekle birlikte toksisitesi nedeniyle bu uygulama giderek kısıtlanmaktadır (Iyengar ve McEvily, 1992). Sülfidlerin en yaygın olarak kullanılan alternatifi, GRAS statüsündeki askorbik asittir. Ancak askorbik asitin etkisi sürekli olmadığından yeni alternatifler araştırılmaktadır (Molnar-Perl ve Friedman, 1990; Gorny ve ark., 2002). Kükürt içeren bileşiklerden glutatyon ve sisteinin esmerleşmeyi engelleyen etkin doğal bileşikler olduğu belirlenmiştir. Bu bileşiklerin enzimatik esmerleşmenin başlangıç aşamasında bir ara ürün olarak oluşan o-kinonları geriye, yani o-difenil öncülerine indirgeyerek veya doğrudan o-kinonlarla reaksiyona girerek

reaksiyonun esmer pigmentler oluşmasına kadar ilerlemesini engelledikleri saptanmıştır (Richard ve ark., 1991).

Elma dilimlerinde yapılan çalışmada, karboksilik asitler, askorbik asit türevleri, kükürt içeren amino asitler, fenolik asitler ve diğer çeşitli bileşikler de dahil olmak üzere beş kimyasal gruba ayrılan esmerleşme karşıtı ajan test edilmiştir. Test edilen bileşikler arasında, oksalik asit, oksalasetik asit, askorbik asit-2-fosfat, sistein, glutatyon, N-asetilsistein, kojik asit ve 4-heksil resorsinol, elma esmerleşmesinde en yüksek inhibisyon aktivitesini gösteren bileşikler olarak belirlenmiştir. Okzalik asit, %0,02 okzalik asit ve %1 askorbik asit veya onun türevleriyle kullanıldığında sinerjistik etki göstermiştir (Son ve ark., 2001). Yine elmalarla yapılan bir çalışmada, siyanidin-3-soforosid'in PFO aktivitesini azalttığı, esmerleşme indeksini düşürdüğü ve raf ömrünü artırdığı belirtilmiştir (Hemachandran ve ark., 2017). 'Gola' liçi meyvesinde depolama öncesi uygulanan L-sisteinin %0,25'lik konsantrasyonda etkili olduğu ve PFO aktivitesini azalttığı, perikarp esmerleşme indeksinde azalma sağladığı ve antioksidatif etkisini 28 gün koruduğu saptanmıştır (Ali ve ark., 2016). Liçi meyvesine 2 mM sistein ve 2 mM sitrik asidin birlikte uygulanmasının 25°C'de depolama koşullarında esmerleşme indeksini azalttığı ve PFO enzim aktivitesini inhibe ettiği belirlenmiştir (Jiang ve ark., 2008).

Kükürt içeren aminoasitlerin esmerleşme karşıtı aktivitelerinin olduğu ve elma (Buta ve ark., 1999), patates (Gunes ve Lee, 1997), liçi meyvesi (Jiang ve Fu, 1998) ve bazı meyve içeceklerinde (McEvily ve ark., 1992) başarıyla kullanıldığı ifade edilmiştir.

Oksijen varlığında PFO ve fenoliklerin neden olduğu kahverengi renk yoğunluğunun, ilgili fenolik bileşik türüne bağlı olduğu, (Lee ve Jaworski, 1988; Amiot ve ark., 1992), belirli fenolik asitlerin PFO aktivitesini enzimin aktif bölgesine bağlanarak inhibe ettiği, bazılarının ise esmerleşme reaksiyonunu destekleyebildiği saptanmıştır (Janovitz-Klapp ve ark., 1990). Bazı araştırmacılar, kojik asidin PFO üzerindeki inhibisyon mekanizmasını bildirmişler ve kojik asidin indirgeyici ajan olarak davranmasının yanı sıra enzime kendiliğinden inhibitör olarak etki ettiğini ileri sürmüşlerdir (Chen ve ark., 1991b; Chen ve ark., 1991a; Kahn ve ark., 1994).

Bazı meyve ve sebzeler için etkili bir esmerleşme karşıtı ajan olan 4-heksil resorsinolinün sülfidlerin yerini alacak yeni esmerleşme karşıtı ajan olduğu (Monsalve-Gonzales ve ark., 1993; Saper ve Miller, 1998), bal çözeltisindeki bir peptidin elma ve üzüm suyundaki esmerleşmeyi geciktirmekten sorumlu olduğu bildirilmiştir (Oszmianski ve Lee, 1990). Ayrıca, klorür iyonunun elma PFO'nda rekabetçi olmayan bir inhibitör olduğu belirlenmiştir (Janovitz-Klapp ve ark., 1990). Çin zeytininden ekstrakte edilen PFO enzimi ile yapılan çalışmada, 75 µM kafeik asit N-nonil ester (C-9)'un PFO'ı inhibe etmede daha başarılı olduğu ve kafeik asit N-heptil ester (C-7) bileşiğinin PFO inhibisyonunda bir etkisi olmadığı belirlenmiştir (Jia ve ark., 2016). Taze kesilmiş marulda, doku kalitesinin bozulmasını, marul yüzeyinin ve iç kısmının esmerleşmesini inhibe etmek amacıyla %0,05 karanfil uçucu yağı ve %0,05 öjenol çözeltisi ile işleme tabi tutulan örneklerde PFO aktivasyonunun önemli ölçüde inhibe edildiği tespit

edilmiştir (Chen ve ark., 2017). Taze kesilmiş Trabzon (Japon) hurması (*Diospyros kaki* Thunb. cv. Rojo Brillante) ile antioksidanlar ve elma pektini ile yapılmış yenilebilir kaplamalarla yapılan çalışmada, potasyum sorbat (2-4 g kg<sup>-1</sup>) veya sodyum benzoat (4 g kg<sup>-1</sup>) veya 500 IU ml<sup>-1</sup> nisin, antioksidan olarak sitrik asit (10 g kg<sup>-1</sup>) ve kalsiyum klorür (10 g kg<sup>-1</sup>) içeren elma pektini kaplamasına ilave edilmiştir. Trabzon (Japon) hurması dilimleri sulu antioksidan çözeltisi (sitrik asit ve kalsiyum klorür) veya su (kontrol örneği) içeren kaplamaya daldırılmış, normal atmosferde paketlenmiş ve 5°C'de 9 güne kadar depolanmıştır. Kaplanmış örnekler ve antioksidan sulu çözeltiye daldırılmış örneklerde etkin bir esmerleşme inhibisyonu göstermiş ve söz konusu örneklerin kontrol örneklerinden daha düşük a\* değerine sahip olduğu belirlenmiştir (Sanchis ve ark., 2016). Mantar (*Agaricus bisporus*) ile yapılan bir çalışmada, apigeninin PFO'a karşı güçlü bir inhibitör aktivite gösterdiği ve bazı reaktiflerin PFO inhibisyonu üzerine apigenin ile sinerjistik etkisinin olduğu belirtilmiştir (Xiong ve ark., 2016). Kesilmiş lotus kökü dilimleriyle yapılan bir çalışmada, lotus kökü dilimleri 80 nM 24-epibrassinolid (EBR) ile muamele edilmiş ve 8 gün boyunca 4°C'de saklanmıştır. Araştırma sonuçları, EBR'in kesilmiş yüzeyde esmerleşmeyi azalttığı, membran lipid peroksidasyonunu hafiflettiği, fenilalanin amonyum liyaz ve PFO aktivitesini inhibe ettiği, peroksidaz, katalaz ve askorbat peroksidaz aktivitesini indüklediği ve askorbik asit kaybını baskıladığını ortaya koymuştur (Gao ve ark., 2017).

### Isıl İşlem Uygulamaları

Isıl işlem uygulamaları, mikroorganizmaları ve enzimleri inaktive etme kapasiteleri nedeniyle gıdaları stabilize etmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir (Xiao ve ark., 2017). Enzimatik reaksiyonlar, taşıma, depolama ve işleme sırasında meyve ve sebzelerin bozulmasına neden olduğundan enzimatik reaksiyonların önlenmesi önem taşımaktadır (Dorantes-Alvarez ve ark., 2011). Isıl işlem uygulamanın temel amacı, tat ve koku değişimi, istenmeyen renk ve doku, besin maddelerin parçalanması gibi bozunma reaksiyonlarından ve kalite değişimlerinden sorumlu olan enzimleri etkisiz hale getirmektir. Bir başka amaç, ürüne bulaşan mikroorganizmaları imha etmektir (Arroqui ve ark., 2001; Bahçeci ve ark., 2005). Bu amaçlarla, suda haşlama, buharlı haşlama, yüksek nemli sıcak hava haşlaması, ohmik ısıtma gibi ısı işlemler uygulanmaktadır.

#### Suda Haşlama

Suda haşlamanın, vitamin, lezzet, renk, doku, karbonhidrat ve diğer suda çözünen bileşenlerde kayıplara neden olması, fazla miktarda su ve enerji gerektirmesi ve atık bertaraf etme problemleri nedeniyle teknik olarak dezavantajlı olduğu ifade edilmektedir (Xiao ve ark., 2017).

Genel olarak, PFO'nun 70-90°C sıcaklıklara maruz kalması katalitik aktivitesini yok ederken inaktivasyon için gerekli sürenin ürüne bağlı olduğu bilinmektedir (Chutintrasri ve Noomhorm, 2006). Biber ve öğütülmüş biber ile yapılan çalışmada, 80°C'de 10 dak suda haşlama uygulandığında PFO'nun tamamen inaktive olduğu

belirtilmiştir (Schweiggert ve ark., 2005). Yeşil ve kırmızı dolmalık biberlerle yapılan çalışmada, kırmızı biberdeki PFO aktivitesinin yeşil bibere göre daha stabil olduğu ve yalnızca 98°C'de PFO aktivitesinde önemli derecede azalma olduğu belirtilmiştir. Kırmızı dolmalık biberde 98°C'ye kadar uygulanan suda haşlama işleminde sıcaklık ve sürenin PFO inaktivasyonu için yeterince etkili olmadığı, 98°C sıcaklıkta sürenin artırılması ile PFO aktivitesinin önemli düzeyde azaldığı belirlenmiştir. Yeşil dolmalık biberde ise 70-80°C ve 1-2,5 dak. aralığındaki suda haşlama uygulamalarının yaklaşık olarak aynı derecede etki ettiği ve 98°C sıcaklıkta kırmızı biberle benzer olarak sürenin artırılması ile PFO aktivitesinin önemli düzeyde azaldığı saptanmıştır (Castro ve ark., 2008). Sarımsak (*Allium sativum* L.) ile yapılan çalışmada 80 ve 90°C'de 10 dak haşlamadan sonra PFO aktivitelerindeki kaybın sırasıyla %80,24 ve %91,39 olduğu belirtilmiştir (Fante ve ark., 2012). Pancar dilimleri 90°C'de 7 dak haşladıktan sonra kalıntı PFO aktivitesinin %36 olduğu belirtilmiştir (Paciulli ve ark., 2016).

Haşlama işlemi için sıcak su kullanıldığında, vitamin, aroma, karbonhidrat ve diğer suda çözünen bileşenlerde kayıplar olabileceği belirtilmiştir. Havuçlar 70°C'de 10 dak sıcak suyla haşlandıktan sonra dokunun yaklaşık %8'inde ve toplam katıların %3'ünde kayıplar olduğu (Xiao ve ark., 2014), patatesin 100°C'de 129 s sıcak suyla haşlanmasının ardından çözülebilir katıların %10'undan fazlasının kaybolduğu gözlenmiştir (Mukherjee ve Chattopadhyay, 2007). Sıcak suda haşlama sırasında lahananın çözünür diyet lifinde yaklaşık %8'inin kayıp olduğu (Wennberg ve ark., 2006), brokolinin toplam polifenol ve antioksidan bileşenlerinin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir (Sikora ve ark., 2008).

#### Buharlı Haşlama

Aşırı ısıtılmış buhar, yüksek entalpi içeriğinden dolayı haşlama için bir ısıtma ortamı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Buharlı haşlamanın erken safhasında ürünün sıcaklığı buharinkinden daha düşük olduğu için ürünlerin yüzeyinde yoğunlaşma olmakta ve malzemeye büyük miktarda gizli (latent) ısı aktarımı olmaktadır. Ürünlerin sıcaklığı, enzimlerin veya organizmaların aktivitesinin kritik sıcaklığına erişene kadar kademeli olarak artmakta, enzimler ve organizmalar etkisiz hale getirilmektedir (Xiao ve ark., 2017). Buharlı haşlama, gıda endüstrisinde sıkça kullanılan bir yöntem olup nispeten ucuzdur. Buharlı haşlama uygulanmış gıdalarda çoğu suda çözünen mineral ve bileşen kaybı suda haşlamaya göre daha azdır (Roy ve ark., 2009). Diğer taraftan buharlı haşlama işlemi sırasında dokunun yumuşaması ve istenmeyen kalite değişiklikleri, özellikle buharın hızı çok düşük olduğunda, suyla haşlamadan daha düşük ısı iletimi nedeniyle uzun bir ısıtma süresine neden olmaktadır (Xiao ve ark., 2017).

Mango dilimleri (*Mangifera indica* L.) ile yapılan buharlı haşlama çalışmasında PFO inaktivasyonu 94 ± 1°C'de 7 dk'da tamamlanmıştır. 94 ± 1°C'de 3 dak. buharlı haşlama ile PFO %2,85 kalıntı aktivite vermiş ve 94 ± 1°C'de 5 dak. buharla haşlanan mango dilimleri ile 20 günlük depolama sonunda kıyaslandığında renk üzerine bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Çalışma sonucunda, 20 günlük depolamada PFO aktivitesi ve renk

değişikliği arasında korelasyon bulunmuştur (Ndiaye ve ark., 2009). Sarımsak dilimleri (*Allium sativum* L.) ile yapılan çalışmada, 100°C'de buharlı ve 80-90°C'de suyla haşlama yapılmıştır. En iyi haşlama koşulunun dokuda herhangi bir değişikliğin gözlenmediği 100°C'de 4 dak buharlı haşlama olduğu belirlenmiş ve PFO aktivitesinin %92,15 azaldığı saptanmıştır. Bu koşullar altında inulin konsantrasyonu %3,72 oranında azalırken, L\* değeri haşlama süresinin artmasına bağlı olarak artmış, a\* ve b\* değerleri azalmıştır (Fante ve ark., 2012).

#### Yüksek Nemli Sıcak Hava Haşlaması (HHAIB)

Yüksek nemli sıcak hava haşlaması (High-humidity hot air impingement blanching) (HHAIB), yüksek nemli sıcak havanın ve çarpma teknolojisinin avantajlarını bir araya getiren, yakın zamanda geliştirilmiş bir ısıl işleme teknolojisidir (Specht, 2014). HHAIB uygulaması sırasında, yüksek nemli sıcak hava, ürün yüzeyine yüksek hızda çarparak ısı aktarım hızının artmasına neden olmaktadır (Bai ve ark., 2013a). Suda haşlama uygulaması ile kıyaslandığında HHAIB uygulamasının suda çözünebilir besin bileşenlerinin kaybını azaltabileceği ifade edilmiştir. Yüksek nemli sıcak havada haşlanan ürünlerde atık su ortaya çıkmazken (Xiao ve ark., 2017), HHAIB'nın, daha yüksek ısı transfer oranına sahip olduğu ve aşırı ısıtılmış buharla haşlamaya göre daha etkili olduğu belirlenmiştir (Xiao ve ark., 2012).

Kırmızı biber (*Capsicum annuum* L.) ile yapılan çalışmada HHAIB uygulamasının PFO'yu etkin bir şekilde inaktive ettiği, haşlama süresinin artmasıyla PFO aktivitesinin azaldığı, 120 s sonunda kalıntı PFO aktivitesinin %7'ye düştüğü belirtilmiştir. Uygun HHAIB süresi, kuruma süresini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Kırmızı pigment içeriği bakımından, 120 s altındaki haşlama süresi için önemli bir fark saptanmazken aşırı haşlamanın (haşlama süresi ≤ 150 s) kırmızı pigment içeriğini önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır. HHAIB uygulama süresinin artmasıyla örneklerin sıklık, sertlik ve yapışkanlığının azaldığı belirlenmiştir (Wang ve ark., 2017).

Fuji elma dilimleri ile yapılan HHAIB uygulamasında, 38 cm'lik dilimlerde %40-45 bağıl nemde ve hava hızı 15 m/s iken 90°C'de 7 dak, 100°C'de 6 dak, 110°C'de 5 dak ve 120°C'de 5 dak'da PFO enziminin tamamen inaktive olduğu, kızıl ötesi uygulaması ile 7 dak'da tamamen inaktive olduğu belirlenmiştir. C vitamininin korunma oranı 90, 100, 110 ve 120°C'de sırasıyla %11,29, %10,79, %7,78 ve %4,48 olarak saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Fuji elma çeyrekleri için HHAIB uygulamasının PFO'yu hızlıca inaktive etmek ve üretim kalitesini sağlamada etkili bir ön işlem olduğu kanıtlanmıştır (Bai ve ark., 2013a).

Çekirdeksiz üzüm ile yapılan çalışmada HHAIB, kurutma süresini büyük ölçüde azaltmakta, enzimatik esmerleşmeyi etkili bir şekilde engellemekte ve arzu edilen sarı-yeşil veya yeşil kuru üzümün üretilmediğini göstermektedir. PFO'nun kalıntı aktivitesi, kuruma kinetiği ve renk özellikleri göz önünde bulundurularak 110°C'de 90 s HHAIB uygulaması üzümleri kurutmak için en uygun koşullar olarak önerilmektedir. Bu bulgular, kuruma kinetiğini geliştirmek ve kuru üzüm kalitesini artırmak için HHAIB'nın yeni bir ön işleme metodu olduğunu göstermektedir (Bai ve ark. 2013b).

### Ohmik Isıtma (OH)

Ohmik ısıtma (OH), gıdaları ısıtmak amacıyla elektrik akımlarının gıdanın içinden geçirildiği bir uygulamadır. OH gıdalara temas eden elektrotların varlığı, frekans ve elektrotlar arasındaki elektrik alanın dalga formu ile diğer elektrikli ısıtma yöntemlerinden ayrılmaktadır (Queiroz ve ark., 2008). Özellikle sıvı gıdalarda istikrarlı ve hızlı ısı üretimine neden olan örneğin hacimce ısınmasını sağladığı için alternatif bir ısıl işlem olarak popülerlik kazanmıştır. OH'daki ısı üretimi hızı, gıda maddesi boyunca uygulanan elektrik alan kuvvetinin bir fonksiyonudur (Saxena ve ark., 2016). Kısa işlem süreleri nedeniyle OH, minimum renk değişikliğine neden olmakta ve gıdaların besleyici değerini korumaktadır (Leizeron ve Shimoni, 2005). Ek olarak, gerekli sıcaklığı aktarmada geleneksel suda haşlama işlemi oldukça fazla miktarda su (2-4 kg/kg haşlanmış ürün) gerektirirken, ohmik haşlamada yalnızca gıda parçacıkları ile ara boşluklar arasında düzenli bir faz elde etmek için suya (0,5-1 kg/kg haşlanmış ürün) gereksinim duyulmaktadır (Guida ve ark., 2013).

Enginar ile yapılan çalışmada, OH'nın (24 V/cm, 80°C) suda haşlamaya (100°C) göre daha düşük uygulama süresinde PFO'yu inaktive ettiği, OH'dan sonra rengin iyi korunduğu, suda haşlamada rengin sarı/yeşilden kahverengimsi/yeşile kadar değiştiği belirtilmiştir. Ayrıca OH uygulanan enginarlar ile kıyaslandığında suda haşlanan örneklerin iç bölgelerinde daha düşük yumuşama ancak dış kısımlarında aşırı yumuşama gözlenmektedir (Guida ve ark., 2013).

Şeker kamışı suyu ile yapılan çalışmada OH geleneksel ısıl uygulamadan zaman açısından daha verimli bulunmuştur. Optimize edilmiş OH uygulanmış örneklerde depolama süresince PFO'nun aktif olmadığı, maya ve küflerin büyümesinin tamamen durdurulduğu, OH'nın meyve suyundaki *L. mesenteroides* sayısını azaltmada etkili olduğu ve meyve suyunun buzdolabında 25 gün boyunca iyi muhafaza edildiği belirtilmiştir (Saxena ve ark., 2016).

Taze üzüm suyu ile yapılan çalışmada, PFO için kritik inaktivasyon sıcaklıkları 40 V/cm için 60°C veya daha düşük ve 20-30 V/cm için 70°C olarak bulunmuştur. Çeşitli kinetik modeller için PFO'nun OH ile 30 V/cm'de inaktivasyonu deneysel verilere uyumuştur. 70-90°C sıcaklık aralığında PFO'yu inaktive etmek için aktivasyon enerjisinin 83,5 kJ/mol olduğu saptanmıştır (İcier ve ark., 2008).

### İşılama Uygulamaları

#### Gamma İşılaması

Gamma ışınlaması, gıda ürünlerinin işlenmesinde ve korunmasında etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Molins, 2001; Fan ve ark., 2003). İşılama, gıdanın korunması ve kalitenin artırılması için elektronlara veya elektromanyetik ışınlarla doğrudan maruz bırakmayı içeren fiziksel bir uygulamadır. Bu amaçla ışığa benzeyen ancak çok daha yüksek enerjili elektromanyetik  $\gamma$ -ışınları üreten <sup>60</sup>Cobalt kullanılmaktadır. (Lacroix ve Outtara, 2000). Söz konusu uygulama oda sıcaklığında yapılabilmesi gıda kaynaklı patojen ve parazitleri yüksek verimle inaktive etmesi nedeniyle önem kazanmaktadır (Bidawid ve ark., 2000). İşılama, işlem görmüş taze ve

kurutulmuş tarım ürünlerinin, uluslararası ticaretteki karantina engellerini aşmak, dekontaminasyonu engellemek, dezenfektasyon sağlamak, meyve ve sebzelerin olgunlaşma ve yaşlanmasını geciktirmek ve besleyici özellikleri ile raf ömrünü geliştirmek için kimyasallara alternatif olarak kullanılmaktadır (Hussain ve ark., 2016).

Düşük doz  $\gamma$  ışınlaması meyve ve sebze ürünlerinde sıklıkla uygulanmaktadır. Kesilmiş marulda 0,35 kGy dozluk uygulama ile toplam aerobik mikroorganizma ve maya ve küflerin sırasıyla 1,5 ve 1 log azaldığı saptanmıştır. Bu dozun, görsel kalite ve istenmeyen lezzet gelişimi gibi duyuşsal özelliklere olumsuz etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Prakash ve ark., 2000). Taze kesilmiş marulda 1,0 kGy (0,5 kGy/saat ve yaklaşık 15°C'lik oda sıcaklığında) dozda mikroorganizma kaynaklı bozulma ile ilgili azalma gözlenmiş, 9 günlük raf ömrü bildirilmiştir. Aynı dozda, maruldaki PFO aktivitesi 3 gün süreyle 4°C'de depolanan işlem görmemiş örneklerden %31 daha düşük, ancak aynı koşullarda 9 gün sonra PFO aktivitesi ışınlanmış örneklerde kontrol örneklerine göre %54 daha yüksek bulunmuştur (Zhang ve ark., 2006). Mantar ile yapılan çalışmada, 1 kGy'deki ışınlama işleminin, mikroflorayı azalttığı, solunum oranı ve morfolojik dönüşümü yavaşlattığı, PFO aktivitesini ve esmerleşme reaksiyonlarını azalttığı, raf ömrünü 10°C'de 2 günden 4 güne artırdığı saptanmıştır. Mantarların raf ömrünün 10°C'de tatmin edici şekilde uzatılması için 2 kGy'lik bir doz gerektiği saptanmıştır. Bununla birlikte, 2 kGy'lik dozun hif kasılması ve renk kaybı gibi bazı fiziksel özellikleri etkileyebileceği belirtilmiştir (Lacroix ve Outtara, 2000).

İşılamanın ayrıca diğer yöntemlerle veya kimyasal esmerleşme karşıtı ajanlarla birlikte kullanılabileceği de ifade edilmektedir. Patlıcan (*Solanum melongena* L.) ile yapılan çalışmada, 1,0 kGy ışınlama ve %2,0 w/v askorbik asit uygulamasının PFO aktivitesini inhibe etmek, yüzey esmerleşmesini önlemek ve krem rengi korumak ve minimum işlenmiş patlıcanın diğer kalite özelliklerini korumada etkili olduğu kanıtlanmıştır (P $\leq$ 0,05). Mikrobiyal analizler, askorbik asit kullanılmadan 1,0 kGy ile minimum işlenmiş ışınlama uygulanmış patlıcanların uygulamadan sonra maya-küf sayımında ve bakteriyel yükünde 1 ve 1,5 log düşüşe neden olduğunu ve bu nedenle 6 günlük depolama işleminin, mikrobiyal güvenliği artırdığını ortaya çıkarmıştır (Hussain ve ark., 2014).

#### Mikrodalga Isıtma

Mikrodalga işleme teknikleri pişirme süresini ve enerji tüketimini önemli ölçüde düşürmesi nedeniyle gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Guo ve ark., 2017). Mikrodalga ısıtmanın meyve bazlı ürünlerde üstün bir kalite sağlaması ve raf ömrünü uzatması nedeniyle geleneksel koruma işlemlerine iyi bir alternatif olduğu ifade edilmektedir (Picouet ve ark., 2009). Mikrodalga işlemi sırasında gerçekleşen özel ısıtma yöntemi (hacimsel ısıtma) göz önüne alındığında, bu teknoloji geleneksel ısıtma yöntemlerine kıyasla daha yüksek penetrasyon gücü, daha hızlı ısıtma hızı, daha yüksek ısıl verimlilik ve daha kısa işleme sürelerine yol açmaktadır. Bütün bu gerçekler göz önüne alındığında mikrodalga ısıtmanın, duyuşsal, besleyici ve fonksiyonel

özelliklerin daha iyi korunmasına ve renk üzerinde belirli bir etkiye neden olduğu sonucuna varılmaktadır (Tinoco ve ark., 2015). Mikrodalga enerjisi mikroorganizmalar ve enzimler üzerine geleneksel ısıtma mekanizmalarına benzer ısıl etkilere neden olmaktadır (Queiroz ve ark., 2008).

Avokado püresi ile 4 hafta boyunca yapılan çalışmada, depolama sırasında, mikrodalga uygulanmış örneklerde kalıntı PFO aktivitesi %20'de sabit kalırken, mikrodalga uygulanmamış örneklerde aktivite %250'lere yükselmiştir. Depolama sonunda, mikrodalga uygulanmış örneklerde toplam fenolik içerik %29,41 artmış, klorofil a ve b içeriğinde ihmal edilebilir kayıplar meydana gelmişken, kontrol örnekleri için klorofil a ve b'deki azalmanın sırasıyla %38,2 ve %37,1 olduğu saptanmıştır (Zhou ve ark., 2016).

Kivi püresi ile yapılan çalışmada, mikrodalga ve geleneksel ısı işlem uygulamaları kıyaslandığında mikrodalga uygulanan kivi püresinde önemli düzeyde yüksek bir PFO inaktivasyonu, 4°C'de daha uzun bir raf ömrü (123 gün) saptanmış, renk ( $\Delta E_{SE} = 6,54$ ) ve biyoaktif bileşenlerin (%57-67) daha iyi muhafaza edildiği gözlenmiştir. Diğer yandan mikrodalga ve geleneksel ısı işlem uygulanmış örnekler kontrol örneklerine göre daha düşük kalıntı PFO aktivitesi sergilese de PFO inaktivasyonunun geri dönüşümlü olduğu belirlenmiştir. Enzimin 4°C'de 74 gün boyunca depolanan mikrodalga ve geleneksel ısı işlem uygulanmış örneklerin bazılarında yeniden aktive olduğu, sonra sabit kaldığı gözlenmiştir (Tinoco ve ark., 2015).

Mantar (*Agaricus bisporus*) ile yapılan çalışmada, mikrodalga ve sıcak su banyosunun birlikte kullanılmasıyla kısa sürede PFO inaktivasyonu sağlanmıştır. Sıcaklık dağılımı koşulları, PFO inaktivasyonu, ağırlık kaybı, büzülme, toplam antioksidan aktivite içeriği ve örneklerin esmerleşmesi incelendiğinde en iyi sonuçların mikrodalga ve geleneksel ısıtmanın birlikte kullanılmasıyla elde edildiği saptanmıştır (Devece ve ark., 1999).

Mikrodalga fırında hindistan cevizi suyu ile yapılan çalışmada su ve şeker çözeltisindeki PFO aktivitesinin uygulama sonrasında azaldığı gözlenmiştir. Tuz çözeltisinde, PFO stabilitesi önemli ölçüde etkilenmiş, tuz ile enzim arasındaki temasın, başlangıçtaki aktivitenin azalmasına yol açtığı saptanmıştır. 90°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, tuzun ve mikrodalga enerjisinin kombine etkisinin, enzimatik aktiviteyi tespit edilemeyen seviyeye indirdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte, 90°C'de inaktivasyon etkisinin tek başına sıcaklıktan kaynaklanabileceği de ifade edilmektedir (Matsui ve ark., 2007).

## Alternatif Yöntemler

### Yüksek Basınç Uygulaması (HPP)

Yüksek basınç uygulaması (HPP) diğer adıyla yüksek hidrostatik basınç uygulaması (HHP), ısı olmayan bir gıda işleme teknolojisidir (Özcan ve Obuz, 2006; Liu ve ark., 2014; Liu ve ark., 2013). HPP, gıda kaynaklı mikroorganizmaları (Barba ve ark., 2015b; Matser ve ark., 2004; Patterson, 2005) ve enzimleri (Guerrero-Beltrán ve ark., 2005a; Terefe ve ark., 2014) kimyasal koruyucu ve katkı maddeleri kullanmadan, geleneksel ısı

uygulamalardan nispeten daha düşük sıcaklıklarda inaktive etmek için kullanılan alternatif bir yöntem olarak ifade edilmektedir. HPP, 400-600 MPa basınçlarda mikroorganizma hücrelerini etkili bir şekilde öldürebilmektedir (Li ve ark., 2017). Ancak tek başına basınç uygulaması ile enzimin tamamen inaktivasyonu çoğu gıdada zor olduğundan ekonomik açıdan uygun olmayan çok yüksek basınçların (>700 MPa) uygulanmasını gerektirmektedir (Chakraborty ve ark., 2014). Bununla birlikte, gıdalardaki PFO, pektin metilesteraz ve asit invertaz gibi enzimler, yüksek basınç direnci sergilemektedir (Liu ve ark., 2014; Liu ve ark., 2013; Weemaes ve ark., 1998b). Yüksek basınç, uygulanan basınca ve enzim türüne bağlı olarak enzimlerin inaktivasyonuna veya aktivasyonuna neden olabilmektedir. 100 MPa'dan düşük basıncın özellikle kimotripsin ve PFO gibi bazı monomerik enzimleri aktive ettiği gözlemlenmiştir (Terefe ve ark., 2014).

HPP koruyucu içermeyen, taze, güvenilir gıda ürünleri ve yüksek raf ömrü sunma potansiyeline sahip olup, birçok çalışma ile yüksek basıncın lezzet ve renk gibi fizikokimyasal kaliteyi minimum düzeyde etkilediği belirlenmiştir. Buna ek olarak A vitamini gibi besin maddeleri, karotenoid ve polifenol gibi fitokimyasalların oda sıcaklığında HPP'nden önemli ölçüde etkilenmediği saptanmıştır (Oey ve ark., 2008). Vitamin C, B1 ve B6 gibi suda çözünen vitaminlerin sıcaklığa bağlı olarak %85'e kadar veya daha fazla korunduğu bildirilmiştir (Sanchez-Moreno ve ark., 2009).

HPP uygulamasının protein dizilimi, uygulanan basınç, sıcaklık ve süreye bağlı olarak protein yapısını etkileyebildiği ve protein denatürasyonu, agregasyonu veya jelasyona neden olabildiği saptanmıştır. HHP uygulamasının, yeni ürünler yaratmak veya lezzet, renk ve besleyici değer üzerinde ve ısı bozulma olmaksızın en az etkiye sahip benzer ürünler elde etmek için kullanılabilirliği ifade edilmektedir (Messens ve ark., 1997).

HPP uygulanmış yeşil ve kırmızı dolmalık biberlerin, özellikle 98°C'de termal olarak haşlanmış biberlere kıyasla, daha iyi dokuya sahip olduğu saptanmıştır. 100 ve 200 MPa'lık basınç uygulaması ile, daha iyi besleyici özellikler (çözünabilir protein ve askorbik asit) ve doku özellikleri elde edilebildiği, PFO'nun karşılaştırılabilir etkinliğinin olduğu ve söz konusu yöntemin dondurulmuş biber üretmek için kullanılabilirliği ifade edilmiştir (Castro ve ark., 2008). İncelenen PFO'ların birçoğu yüksek basınçlı inaktivasyona son derece dirençlidir. Örneğin erik PFO'ı oda sıcaklığında 900 MPa'a kadar olan basınçlarla inaktive edilemezken, inaktivasyon sadece 900 MPa ve 50°C'de saptanabilmiştir. Benzer şekilde, 900 MPa ve 25°C'de armut PFO'sunun sadece hafif inaktivasyonu gözlenmiştir (Weemaes ve ark., 1998b). Çilek püresi 690 MPa/57°C'de 10 dak süreyle muamele edildikten sonra PFO aktivitesi %6 oranında azalmıştır (Terefe ve ark., 2010). Bununla birlikte, tüm PFO'ların aşırı basınç kararlılığı göstermediği, elma, mango, beyaz üzüm, şeftali, guava, domates, patates ve havuç PFO'sunun nispeten daha düşük basınç kararlılığına sahip olduğu bulunmuştur (Terefe ve ark., 2014). Ayrıca pH değeri fizyolojik pH'dan daha yüksek olan çoğu meyve ve sebze dokusu homojenatlarının (pH $\geq$ 6,0) model sistemlerinde daha aşırı basınç stabilitesi rapor edilmiştir. Örneğin

avokado PFO'nun oda sıcaklığında inaktivasyonu için başlangıç basıncı pH 8,0'de 850 MPa iken, pH 4,0'te 450 MPa'a düştüğü saptanmıştır (Weemaes ve ark., 1998a).

PFO, peroksidaz gibi diğer enzimlere kıyasla ısı işleme göre basınca karşı daha dayanıklı olup yöntemlerin kombinasyonu ile inaktivasyon etkinliğinin arttığı ifade edilmektedir (Plaza ve ark., 2003). Enzimleri inaktive etmek için gereken HHP uygulaması süresinin, asitli meyve sularında bakteri öldürmek için gereken süreden daha uzun olduğu belirtilmiştir. PFO aktivitesini azaltmak için en iyi sonuç, hafif sıcaklık (50°C) ile birlikte 400 MPa'nın üzerindeki basınçlarda bulunmuştur (Bayındırlı ve ark., 2006). Muz püresinde kısa süreli buharlı haşlama ön işleminden sonra 517 ve 689 MPa/10 dak HHP uygulaması ile PFO aktivitesinde azalma gözlenmiştir (Palou ve ark., 1999). Liçi meyvesi (*Litchi chinensis* Sonn.) ile yapılan çalışmada 600 MPa ve 60°C'de 20 dak süreyle uygulamadan sonra PFO'nun %90 inaktive olduğu saptanmıştır (Phunchaisri ve Apichartsrangkoon, 2005). Enzim aktivitesini %95 azaltmak için 25°C'de 15 dak boyunca 800 MPa'nın gerekli olduğu, ancak hafif sıcaklık (40-50°C) kullanıldığında PFO'nun %80-100 inaktivasyonu için gerekli basıncın 550 MPa'a düştüğü belirtilmiştir (Dalmadi ve ark., 2006).

Uygulamanın etkinliğinin enzim türüne, pH'ya, ortam bileşimine, sıcaklığa, uygulanan süre ve basınç seviyesine bağlı olduğu ifade edilmektedir (Hendrickx ve ark., 1998). Birçok meyve ve sebze bulunan PFO'nun basınca bağlı inaktivasyonunun düşük pH'da daha hızlı ilerlediği bildirilmiştir. pH'ya ek olarak, basınç inaktivasyonu tuz, şeker, kimyasal esmerleşme karşıtı ajanların eklenmesinden etkilenmektedir (Rapeanu ve ark., 2005). Mango püresi ile yapılan çalışmada, askorbik asit ve sistein gibi esmerleşme karşıtı ajanların ve yüksek basıncın sinerjik etkileri bildirilmiştir. (Guerrero-Beltrán ve ark., 2005b).

#### Vurgulu Elektrik Alan Uygulaması (PEF)

Vurgulu elektrik alan (PEF) teknolojisi, 100 ile 300 V/cm, 20-80 kV/cm vurgu elektrik alan şiddeti ile kısa sürenin (birkaç nanosaniye ile birkaç milisaniye arası) elektriksel bir uygulamasından oluşmaktadır (Koubaa ve ark., 2015). PEF, yüksek elektrik alanlarında (>20 kV/cm), patojen mikroorganizmaları ve kalite ile ilgili enzimleri etkisiz hale getirmek için kullanılabilir. Söz konusu yöntem sıvı gıda ürünlerinin duyu özelliklerini koruması veya minimum düzeyde değiştirmesi, besleyici ve sağlık teşvik edici özelliklerini koruması nedeniyle geleneksel ısı uygulamalara alternatif bir yöntemdir (Barba ve ark., 2015a).

Düşük elektrik alanlarında PEF'in etkisi altında biyolojik membranın elektrikle delindiği belirtilmiştir. Farklı matrislerden yüksek geçirgenliğe sahip bileşenlerin seçici bir şekilde geri kazanılmasına izin verebilen bu membran PEF'in etkisiyle yarı geçirgenliğini geçici veya daimi olarak kaybetmektedir (Barba ve ark., 2014; Deng ve ark., 2014).

Isıl işlemler, PEF uygulamasının enzim inaktivasyonu üzerindeki etkisini kuvvetle etkileyebilmektedir. Literatürde bulunan kinetik modellerin çoğu, PEF ve ısı etkileri ayırt etmemektedir. PEF ve ısı uygulamanın birlikte kullanımı, güvenli ve stabil gıdalar elde etmek için gerekli olan enzimlerin ve mikroorganizmaların

inaktivasyonunun sağlanmasına olanak tanımaktadır. Taze meyve suyunda, enzimler bulanıklığın giderilmesine ve oksidasyona neden olabilmektedir. (Meneses ve ark., 2013). Amilaz ve amiloglikozidaz enzimleri kullanılarak meyve sularındaki bulanıklık giderilebilirken, genel olarak meyve sularında bulunan PFO veya diğer oksidatif enzimlerin küçük kalıntılarının bile depolamada bulanıklık oluşturdıkları belirtilmektedir (Tetik ve ark., 2006). Pektin metilesteraz, peroksidaz ve PFO, gıda bozulması ile ilgili başlıca enzimlerdir. PEF'in PFO üzerindeki etkisinin, literatürde uygulama süresine, elektrik alan şiddetine ve sıcaklığa ve aynı zamanda PEF uygulaması sırasında ortaya çıkabilecek pH kaymalarına bir bağımlılık gösterdiği belirtilmiştir. Deneysel veriler, PFO'nun 55°C'nin altındaki sıcaklıklarda PEF uygulaması tarafından inaktive edilmediğini ve ısı inaktivasyonunun 59-67°C arasındaki sıcaklıklarda anlamlı olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte PEF uygulaması 55-59°C aralığında uygulandığında PFO aktivitesinin %60'a kadar düştüğü görülmüştür. PEF ve sıcaklığın sinerjik etkisi, farklı uygulama sıcaklıklarında bir kinetik model ile tanımlanmıştır. (Meneses ve ark., 2013).

PEF uygulamasının etkileri en çok elma suyunun pH, çözünebilir katılar, asitlik, PFO ve peroksidaz aktivitesi, C vitamini ve polifenolik içerikleri ve rengi üzerine çalışılmıştır. PEF uygulamasının elma suyunun pH, asitlik, çözünebilir katılar, vitamin C içeriği ve rengi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. PEF uygulanmış elma püresinden (1-5 kV/cm, n=30 puls) ekstrakte edilen elma suyunun polifenol içeriği ve antioksidan kapasitesi kontrol denemesinde farklı bulunmamıştır. Bununla birlikte, elma suyunda PEF uygulamasının (35 kV/cm ve saniyede 1200 darbe frekansı) fenolik içeriğinde %14,49'luk bir düşüşe ve uçucu bileşenlerde belirgin bir düşüşe neden olduğu belirtilmiştir (Bi ve ark., 2013). Ayrıca 50°C'ye ön ısıtma ve 40 kV/cm'de 100 µs'lik bir PEF uygulama süresi birlikte kullanılarak PFO ve peroksidaz aktivitesinde sırasıyla %71 ve %68'lik azalma sağlanmıştır. (Riener ve ark., 2008).

PEF uygulamasının PFO üzerine etkisi hakkında az sayıda çalışma bulunmaktadır. PFO'nun elma ekstraktındaki aktivitesinde 24,6 kV/cm'de 6000 µs için %97'lik düşüş, armutta aynı uygulama süresi için 22,3 kV/cm'de %72'lik düşüş (Giner ve ark., 2001) ve şeftalide 24,3 kV/cm'de 5000 µs için %70'lik düşüş (Giner ve ark., 2002) bildirilmiştir.

#### Süperkritik Karbondioksit Uygulaması (SCCD)

Süperkritik karbon dioksit (SCCD), uygulanan gazın mikrobiyal hücrelere nüfuz etmesini ve hücreler içerisinde gazın hızla genişleyerek patlamasıyla basıncın düşmesini sağlayan, fiziksel olarak mikrobiyal hücreleri yok eden ısı olmayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Karbondioksit eylem mekanizması; oksijenin yer değiştirmesi, pH'da azalma ve hızlı hücresel penetrasyon ile açıklanmaktadır (Corwin ve ark., 2002). SCCD mikroorganizmalar üzerindeki ölümcül etkisinin yanı sıra gazın neden olduğu ikincil ve üçüncül yapıdaki konformasyonel değişiklikler nedeniyle enzim inaktivasyonunu da etkilemektedir (Gui ve ark., 2007; Marszałek ve ark., 2015). SCCD ile enzim inaktivasyonunun mekanizması pH'nın bölgesel olarak

düşürülmesi hipotezine dayanmaktadır (Marszałek ve ark., 2017).

Ananas ve çilek püresi ile yapılan SCCD uygulamasında, 10 kat daha düşük basınç kullanılması ile HPP uygulamasındaki PFO enzim inaktivasyonuna benzer bir etkiye neden olduğu belirtilmiştir (Marszałek ve ark., 2017). HPP uygulamasından önce ürünlere karbondioksit ilave edilmesi PFO aktivitesini inhibe etmek için de kullanılabilir. Yapılan bir çalışmada 50°C'de 500 MPa/3 dak'da PFO'nun kalan aktivitesinin %57,6 olduğu belirtilmiştir. Çalışmada karbondioksit ilavesinin, tek başına basıncın etkilerinin ötesinde tüm basınçlarda (0, 500 ve 800 MPa) ve sıcaklıklarda (25 ve 50°C) PFO aktivitesini önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır (Corwin ve ark., 2002).

Çilek suyuyla yapılan SCCD uygulamasında, 30 ve 60 MPa'da, 45°C'de 30 dak muamele edilmiş örneklerde her iki basınçta da PFO'nun tamamen inaktive edildiği belirlenmiştir. PFO aktivitesinin basınca kıyasla uygulamanın süresinden daha fazla etkilendiği ve basınçtan kaynaklanan değişikliklerin zaman bağımlılığı kadar lineer olmadığı saptanmıştır. Bu koşullardaki SCCD uygulamasından sonra örnekte maya ve küf saptanmamıştır. SCCD uygulamasının sakkarozun hidrolizine neden olduğu, 4 haftalık depolamanın sonunda %30 oranında C vitamininde kayıp olduğu, antosiyaninlerin ise uygulamadan etkilenmediği belirlenmiştir. Genel olarak, SCCD uygulamasının, pastörize edilmemiş meyve suları için güvenli bir alternatif olduğu, yüksek kalitede çilek suyu elde etmek için umut verici bir teknik olduğu ifade edilmiştir (Marszałek ve ark., 2015).

Havuç ve kereviz sularında SCCD ile geleneksel pastörizasyon uygulaması kıyaslandığında, geleneksel pastörizasyon uygulamasıyla daha yüksek PFO inaktivasyonunun sağlandığı belirlenmiştir. Havuç suyundaki karotenoidler ve kereviz suyundaki polifenollerin SCCD uygulamasına dirençli olduğu, kereviz suyundaki klorofillerin ve havuç suyundaki polifenollerin SCCD ve geleneksel pastörizasyon uygulaması ile yaklaşık olarak aynı bozduğu saptanmıştır. SCCD uygulamasının, kaliteli sebze suları elde etmek için umut verici bir teknik olduğu, ancak daha ileri çalışmalar ile doku enzimlerinin inaktivasyonunu kolaylaştıran ek faktörler üzerinde yoğunlaşılması gerektiği ifade edilmiştir (Marszałek ve ark., 2016).

#### *Ultrason Uygulaması (US)*

Ultrason (US) gıda endüstrisinde yıkama, kurutma, homojenize etme, sanitasyon ile meyve ve sebzelerdeki bileşenlerin ekstraksiyonunda kullanılmaktadır. US uygulamasının birçok endüstriyel prosesin etkinliğini arttırdığı ancak gıda ürünlerinin kalitesini etkileyebileceği ifade edilmiştir. US uygulaması ile gıdaların kimyasal bileşimi, lezzeti, rengi ve viskozitesinde hafif değişiklikler olduğu bildirilmiştir. Değişikliklerin çoğunun akustik kavitasyon sırasında serbest radikallerin üretimi ve sıcaklığın bölgesel olarak yükselmesi ile ilgili olduğu belirtilmiştir (Silva ve ark., 2015). US, kavitasyon kabarcıkları üreten ve hücre şiddetle içeriye doğru çekildiğinde geçici olarak aşırı yüksek basınç ve sıcaklık noktaları oluşturan titreşim enerjisini kullanarak hücre lizisi ile enzim inaktivasyonuna neden olmaktadır (Morris

ve ark., 2007). Ses dalgalarına benzeyen US dalgaları 20 kHz'in üzerinde bir frekans olup insan kulağı tarafından algılanamamaktadır (Baltacıoğlu, 2014). Ultrasonikasyonun yüksek basınç ve/veya ısı uygulamaları gibi diğer uygulamalarla birlikte kullanıldığında, bireysel uygulamaların düşük düzeyde inhibisyon etkilerinin aksine enzim aktivitesini inhibe etmede daha etkili olduğu tespit edilmiştir (Mason ve Paniwnyk, 2003; Morris ve ark., 2007).

Mantar ile yapılan çalışmada ısı ve US uygulamaları birlikte kullanılarak PFO enziminin aktivitesi ve yapısal değişimleri incelenmiştir. Isı ve US birlikte uygulandığında artan sıcaklık, zaman ve genlik ile PFO aktivitesinin azaldığı tespit edilmiştir. %100 genlikte 60°C-10 dak ısı ve US birlikte kullanıldığında PFO enziminin %99'dan fazla inaktive edildiği saptanmıştır. Kıyaslama için ısı işleminden sonra PFO aktivitesi belirlenmiş ve 70°C'de 5 dak sonunda yaklaşık %99 PFO inaktivasyonu elde edilmiştir. D<sub>60</sub> değeri ısı işlem uygulaması için 6,66 dak, %100, %80 ve %60 genlikte ısı ve US birlikte uygulandığında 2,09, 3,33 ve 3,44 dak olarak tespit edilmiştir (Baltacıoğlu, 2014).

Taze keşilmiş elmalarla depolama boyunca yapılan çalışmada US ve askorbik asit uygulamalarının PFO ve peroksidaz enzimlerine etkileri araştırılmıştır. US ve askorbik asidin birlikte kullanımı monofenolaz, difenolaz ve peroksidazı inaktive ederken, US veya askorbik asidin tek başına kullanımının enzimler üzerine ters veya sınırlı inhibitör etkisinin olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada US ve askorbik asidin birlikte kullanımının enzimatik esmerleşmeyle ilgili pek çok enzim üzerine sinerjistik inhibitör etkisinin olduğu bildirilmiştir (Jang ve Moon, 2011).

Seyreltilmiş avokado püresi ile yapılan çalışmada US uygulamasının parçacık büyüklüğü, renk, viskozite, PFO aktivitesi ve mikroyapı üzerine etkileri araştırılmıştır. Uygulamalar 0-10 dak boyunca 20 kHz (375 W/cm<sup>2</sup>)'de gerçekleştirilmiştir. US uygulanan örneklerde daha yüksek L ve ΔE değerleri ve daha düşük bir a değeri gözlemlenmiştir. Seyreltilmiş avokado püresi psödoplastik akış göstermiş ve 1 dak US uygulandıktan sonra seyreltilmiş avokado püresinin viskozitesi (100 s<sup>-1</sup>'de) 1:2 ve 1:9 seyreltme seviyeleri için sırasıyla kontrol örneğinden 6,0 ve 7,4 kat daha yüksek bulunmuştur. Tüm uygulama koşullarında PFO aktivitesinin büyük ölçüde arttığı ifade edilmiştir. 1:2, 1:5 ve 1:9 oranlarında seyreltilen örneklerde PFO seviyesindeki en yüksek artışlar sırasıyla %25,1, %36,9 ve %187,8 olarak tespit edilmiştir. Viskozitedeki artış ve ölçülen PFO aktivitesinin parçacık boyutundaki azalmayla ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca mikroskopi görüntüleri US uygulamasının avokado püresi yapısının bozulmasına yol açtığını doğrulamaktadır (Bi ve ark., 2015).

Muz, elma, ayva, patlıcan, erik, dereotu ve yüksek enzim aktivitesi gösteren kültür mantarlarından elde edilen ham PFO enzim ekstraktı US ve ultraviyole ışığı ile 40°C sıcaklıkta 40 dak süreyle muamele edilmiş ve PFO'nun inaktivasyon kinetiği araştırılmıştır. Bu çalışma PFO enziminin sadece US uygulaması ile %12-100 arasında, sadece ultraviyole ışığı uygulaması ile %4-29 arasında ve eşzamanlı US ve ultraviyole ışığı uygulaması



ile %80-100 arasında inaktive olduğunu göstermektedir. PFO'nun kinetik değerlendirilmesinde farklı uygulamaların farklı inaktivasyon süreleri sağladığı belirtilmiştir (Şakiroğlu ve ark., 2016).

## Sonuç

PFO gıdaların besleyici değerinde azalmaya ve tüketici kabulüne bağlı olarak ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Gıda endüstrisinde en çok kullanılan geleneksel suda haşlamaya alternatif olarak buharlı haşlama, HHAIB, ohmik ısıtma gibi ısı yöntemleri, mikrodalgalı ısıtma ve gamma ışınlanması gibi ışınlama yöntemleri ve ısı olmayan yüksek basınç, vurgulu elektrik alan, süperkritik karbondioksit ve ultrason uygulaması gibi yöntemler ile enzimatik esmerleşme karşıtı kimyasal ajanlar enzimatik esmerleşmeyi kontrol altına almak için kullanılmakla birlikte, söz konusu yöntemler gıdaların duysal ve besleyici özellikleri açısından da araştırılmıştır. Söz konusu yeni teknolojilerin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır. Yeni ekipman edinilmesi ve yeni üretim teknolojilerinin uygulanması için gerekli olan yüksek başlangıç maliyetleri bu yöntemlerin önemli dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknolojilerin endüstride uygulanması mikroorganizmalar, enzimler ve biyolojik dokular üzerindeki etkilerini değerlendirerek deneysel verilerle doğrulanmasına bağlıdır. Yüksek kalitede ürün elde etmek için alternatif teknolojilerin bilinmesi, yöntemlerin birinin kullanılması veya kombine bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma 17-MÜH-017 no'lu E.Ü. Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında vermiş olduğu maddi destek için Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Şube Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

Ali S, Khan AS, Malik AU. 2016. Postharvest l-cysteine application delayed pericarp browning, suppressed lipid peroxidation and maintained antioxidative activities of litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 121:135–142. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2016.07.015

Amiot MJ, Tacchini M, Aubert S, Nicolas J. 1992. Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal of Food Science*, 57:958–962. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1992.tb14333.x

Arroqui C, Rumsey TR, Lopez A, Virseda P. 2001. Effect of different soluble solids in the water on the ascorbic acid losses during water blanching of potato tissue. *J Food Eng.*, 47(2):123–126. DOI: 10.1016/S0260-8774(00)00107-2

Aydemir T. 2004. Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads. *Food Chemistry*, 87(1):9–67. DOI: 10.1016/j.foodchem.2003.10.017

Bahçeci KS, Serpen A, Gökmen V, Acar J. 2005. Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *J Food Eng.*, 66(2):187–192. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.03.004

Bai JW, Gao ZJ, Xiao HW, Wang XT, Zhang Q. 2013a. Polyphenol oxidase inactivation and vitamin C degradation kinetics of Fuji apple quarters by high humidity air impingement blanching. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(6):1135–1141. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03193.x

Bai JW, Sun DW, Xiao HW, Mujumdar AS, Gao ZJ. 2013b. Novel high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment enhances drying kinetics and color attributes of seedless grapes. *Innovative Food Sci Emerg Technol.*, 20:230-237. DOI: 10.1016/j.ifset.2013.08.011

Baltacıoğlu H. 2014. Inactivation Mechanism of Polyphenol Oxidase During Ultrasound Treatment. A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.

Barba FJ, Grimi N, Vorobiev E. 2014. New approaches for the use of non-conventional cell disruption technologies to extract potential food additives and nutraceuticals from microalgae. *Food Engineering Reviews*, 7(1): 45–62. DOI: 10.1007/s12393-014-9095-6

Barba FJ, Parniakov O, Pereira SA, Wiktor A, Grimi N, Boussetta N, Saraiva JA, Raso J, Martin-Belloso O, Witrowa-Rajchert D, Lebovka N, Vorobiev E. 2015a. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*, 77(4):773–798. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.09.015

Barba FJ, Terefe NS, Buckow R, Knorr D, Orlie V. 2015b. New opportunities and perspectives of high pressure treatment to improve health and safety attributes of foods: a review. *Food Research International*, 77(4):725–742. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.05.015

Bayındırlı A, Alpas H, Bozoglu F, Hizal M. 2006. Efficiency of high pressure treatment on inactivation of pathogenic microorganisms and enzymes in apple, orange, apricot and sour cherry juices. *Food Control*, 17(1):52–58. DOI: 10.1016/j.foodcont.2004.09.002

Bi X, Liu F, Rao L, Li J, Liu B, Liao X, Wu J. 2013. Effects of electric field strength and pulse rise time on physicochemical and sensory properties of apple juice by pulsed electric field. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17:85–92. DOI: 10.1016/j.ifset.2012.10.008

Bi X, Hemar Y, Balaban MO, Liao X. 2015. The effect of ultrasound on particle size, color, viscosity and polyphenol oxidase activity of diluted avocado puree. *Ultrason Sonochem.*, 27:567-575. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.04.011

Bidawid S, Farber JM, Sattar SA. 2000. Inactivation of hepatitis A virus (HAV) in fruits and vegetables by gamma irradiation. *International Journal of Food Microbiology*, 57(1-2):91–97. DOI: 10.1016/S0168-1605(00)00235-X

Buta JG, Harold EM, David WS, Chien YW. 1999. Extending storage life of fresh-cut apples using natural products and their derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(1):1–6. DOI: 10.1021/jf980712x

Castro SM, Saraiva JA, Lopes-da-Silva JA, Delgadillo I, Loey AV, Smout C, Hendrickx M. 2008. Effect of thermal blanching and of high pressure treatments on sweet green and red bell pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry*, 107(4):1436–1449. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.09.074

Chakraborty S, Kaushik N, Rao PS, Mishra HN. 2014. High-pressure inactivation of enzymes: a review on its recent applications on fruit purees and juices. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 13(4):578–596. DOI: 10.1111/1541-4337.12071

Chen JS, Wei C, Marshall MR. 1991a. Inhibition mechanism of kojic acid on polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(11):1897–1901. DOI: 10.1021/jf00011a001

- Chen JS, Wei C, Rolle RS, Otwell WS, Balaban MO, Marshall MR. 1991b. Inhibitory effect of kojic acid on some plant and crustacean polyphenol oxidases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(8):1396–1401. DOI: 10.1021/jf00008a008
- Chen X, Ren L, Li M, Qian J, Fan J, Du B. 2017. Effects of clove essential oil and eugenol on quality and browning control of fresh-cut lettuce. *Food Chemistry*, 214(1): 432–439 DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.101
- Chutintrasri B, Noomhorm A. 2006. Thermal inactivation of polyphenoloxidase in pineapple puree. *LWT - Food Science and Technology*, 39(5):492-495. DOI: 10.1016/j.lwt.2005.04.006
- Corwin H, Shellhammer TH. 2002. Combined carbon dioxide and high pressure inactivation of pectin methylesterase, polyphenol oxidase, *Lactobacillus plantarum* and *Escherichia coli*. *J. Food Sci.*, 67(2):697–701. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb10661.x
- Dalmadi I, Rapeanu G, Van Loey A, Smout C, Hendrickx M. 2006. Characterization and inactivation by thermal and pressure processing of strawberry (*Fragaria ananassa*) polyphenol oxidase: a kinetic study. *J. Food Biochem.*, 30(1):56–76. DOI: 10.1111/j.1745-4514.2005.00045.x
- Deng Q, Zinoviadou KG, Galanakis CM, Orlie V, Grimi N, Vorobiev E, Lebovk, N. 2014. The effects of conventional and non-conventional processing on glucosinolates and its derived forms, isothiocyanates: Extraction, degradation, and applications. *Food Engineering Reviews*, 7(3):357–381. DOI: 10.1007/s12393-014-9104-9
- Devece C, Rodriguez-Lopez JN, Fenoll LG, Tudela J, Catalá JM, Reyes E, García-Cánovas F. 1999. Enzyme Inactivation Analysis for Industrial Blanching Applications: Comparison of Microwave, Conventional, and Combination Heat Treatments on Mushroom Polyphenoloxidase Activity. *J. Agric. Food Chem.*, 47(11): 4506–4511. DOI: 10.1021/jf981398+
- Dorantes-Alvarez L, Jaramillo-Flores E, González K, Martínez R, Parada L. 2011. Blanching peppers using microwaves. *Procedia Food Sci.*, 1:178–183. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.028
- Espín JC, García-Ruiz PA, Tudela J, Varón R, García-Cánovas F. 1998. Monophenolase and diphenolase reaction mechanisms of apple and pear polyphenol oxidases. *J. Agric. Food Chem.*, 46(8):2968–2975. DOI: 10.1021/jf971045v
- Es-Safi NE, Cheynier V, Moutounet M. 2003. Implication of phenolic reactions in food organoleptic properties. *J. Food Compost. Anal.*, 16(5):535–553. DOI: 10.1016/S0889-1575(03)00019-X
- Fan X, Niemira BA, Sokorai KJB. 2003. Sensorial, nutritional and microbiological quality of fresh cilantro leaves as influenced by ionizing radiation and storage. *Food Research International*, 36(7):713–719. DOI: 10.1016/S0963-9969(03)00051-6
- Fante L, Pelayo C, Noreña Z. 2012. Enzyme inactivation kinetics and colour changes in Garlic (*Allium sativum* L.) blanched under different conditions. *Journal of Food Engineering*, 108(3):436-443. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.08.024
- Gao H, Chai HK, Cheng N, Cao W. 2017. Effects of 24-epibrassinolide on enzymatic browning and antioxidant activity of fresh-cut lotus root slices. *Food Chemistry*, 217:45–51. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.08.063
- Giner J, Gimeno V, Barbosa-Cánovas GV, Martín O. 2001. Effects of pulsed electric field processing on apple and pear polyphenoloxidases. *Food Sci. Technol. Intern.*, 7(4):339–345. DOI: 10.1106/MJ46-8J9U-1H11-T0ML
- Giner J, Ortega M, Meseguer M, Gimeno V, Barbosa-Cánovas GV, Martín O. 2002. Inactivation of peach polyphenoloxidase by exposure to pulsed electric fields. *J. Food Sci.*, 67(4):1467–1472. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb10307.x
- Gorny JR, Hess-Pierce B, Cifuentes RA, Kader AA. 2002. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharv. Biol. Technol.*, 24(3):271-278. DOI: 10.1016/S0925-5214(01)00139-9
- Guerrero-Beltrán JA, Barbosa-Cánovas GV, Swanson BG. 2005a. High hydrostatic pressure processing of fruit and vegetable products. *Food Reviews International*, 21(4):411–425. DOI: 10.1080/87559120500224827
- Guerrero-Beltrán J, Swanson B, Barbosa-Cánovas G V. 2005b. High hydrostatic pressure processing of mango puree containing antibrowning agents. *Food Sci. Technol. Int.*, 11(4):261–267. DOI: 10.1177/1082013205056401
- Gui F, Wu J, Chen F, Liao X, Hu, X, Zhang Z, Wang Z. 2007. Inactivation of polyphenol oxidases in cloudy apple juice exposed to supercritical carbon dioxide. *Food Chem.*, 100(4):1678, 1685. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.12.048
- Guida V, Ferrari G, Pataro G, Chambery A, Di Maro A, Parente A. 2013. The effects of ohmic and conventional blanching on the nutritional, bioactive compounds and quality parameters of artichoke heads. *LWT - Food Science and Technology*, 53(2):569–579. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.04.006
- Gunes G, Lee C. 1997. Color of Minimally Processed Potatoes as Affected by Modified Atmosphere Packaging and Antibrowning Agents. *Journal of Food Science*, 62(3):572-575. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1997.tb04433.x
- Guo Q, Sun DW, Cheng JH, Han Z. 2017. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 67:236-247. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.07.007
- Heimdal H, Larsen M L, & Poll L. 1994. Characterization of polyphenol oxidase from photosynthetic and vascular lettuce tissues (*Lactuca sativa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42:1428–1433. DOI: 10.1021/jf00043a008
- Hemachandran H, Anantharaman A, Mohan S, Mohan G, Kumar DT, Dey D, Kumar D, Dey P, Choudhury A, Doss CGP, Ramamoorthy S. 2017. Unraveling the inhibition mechanism of cyanidin-3-sophoroside on polyphenol oxidase and its effect on enzymatic browning of apples. *Food Chemistry*, 227:102–110. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.01.041
- Hendrickx M, Ludikhuyze L, Van Den Broeck I, Weemaes C. 1998. Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends Food Sci. Technol.*, 9(5):197–203. DOI: 10.1016/S0924-2244(98)00039-9
- Hussain PR, Omeera A, Suradkar, PP, Dar MA. 2014. Effect of combination treatment of gamma irradiation and ascorbic acid on physicochemical and microbial quality of minimally processed eggplant (*Solanum melongena* L.). *Radiation Physics and Chemistry*, 103:131–141. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2014.05.063
- Hussain PR, Suradkar PP, Wani AM, Dar MA. 2016. Potential of carboxymethyl cellulose and  $\gamma$ -irradiation to maintain quality and control disease of peach fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82:114–126. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.09.047
- Iyengar R, McEvily AJ. 1992. Antibrowning agent: alternatives to the use of sulfites in foods. *Trends in Food Science and Technology*, 3:60-64. DOI: 10.1016/0924-2244(92)90131-F
- İçer F, Yıldız H, Baysal T. 2008. Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. *Journal of Food Engineering*, 85(3):410-417. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.08.002

- Jang JH, Moon KD. 2011. Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chemistry*, 124(2): 444-449. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.06.052
- Janovitz-Klapp AH, Richard FC, Goupy PM, Nicolas JJ. 1990. Inhibition studies on apple polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(4):926–931. DOI: 10.1021/jf00094a002
- Jia YL, Zheng J, Yu F, Cai YX, Zhan YL, Wang HF, Chen QX. 2016. Anti-tyrosinase kinetics and antibacterial process of caffeic acid *N*-nonyl ester in Chinese Olive (*Canarium album*) postharvest. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91:486–495. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.05.098
- Jiang Y, Fu J. 1998. Inhibition of polyphenol oxidase and the browning control of lychi fruit by glutathione and citric acid. *Food Chemistry*, 62(1):49–52. DOI: 10.1016/S0308-8146(97)00144-1
- Jiang Y, Li J, Shi J. 2008. Enhanced effect of l-cysteine and citric acid combination on browning inhibition and quality maintenance in harvested litchi fruit. *J. Food Sci. Technol.*, 45:75–77
- Kahn V, Lindner P, Zakin V. 1994. Effect of kojic acid on the oxidation of *o*-dihydroxyphenols by mushroom tyrosinase. *Journal of Food Biochemistry*, 18(4):253–271. DOI: 10.1111/j.1745-4514.1994.tb00501.x
- Koubaa M, Rosello-Soto E, Žlabur JS, Jambrak AR, Brncić M, Grimi N, Boussetta N, Barba F J. 2015. Current and New Insights in the Sustainable and Green Recovery of Nutritionally Valuable Compounds from Stevia rebaudiana Bertoni. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(31):6835–6846. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b01994; PMID: 26172915;
- Koukounaras A, Diamantidis G, Sfakiotakis E. 2008. The effect of heat treatment on quality retention of fresh-cut peach. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1):30–36. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2007.09.011
- Lacroix M, Ouattara B. 2000. Combined industrial process with irradiation to assure innocuity and preservation of food products – a review. *Food Res. Intern.*, 33(9):719–724. DOI: 10.1016/S0963-9969(00)00085-5
- Lee CY, Jaworski AW. 1988. Phenolics and browning potential of white grapes grown in New York. *American Journal of Enology Viticulture*, 39:337–340
- Leizeron S, Shimoni E. 2005. Effect of ultra-high temperature continuous ohmic heating treatment on fresh orange juice. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 53:3519–3524. DOI: 10.1021/jf0481204; PMID: 15853396;
- Li R, Wang Y, Ling J, Liao X. 2017. Effects of high pressure processing on activity and structure of soluble acid invertase in mango pulp, crude extract, purified form and model system. *Food Chemistry*, 231:96-104. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.03.108
- Lindley MG. 1998. The impact of food processing on antioxidants in vegetable oils, fruits and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.*, 9 (8-9):336–340. DOI: 10.1016/S0924-2244(98)00050-8
- Liu F, Wang Y, Bi X, Guo X, Fu S, Liao X. 2013. Comparison of microbial inactivation and rheological characteristics of mango pulp after high hydrostatic pressure treatment and high temperature short time treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 6(10):2675–2684. DOI: 10.1007/s11947-012-0953-z
- Liu F, Li R, Wang Y, Bi X, Liao X. 2014. Effects of high hydrostatic pressure and high-temperature short-time on mango nectars: Changes in microorganisms, acid invertase, 5-hydroxymethylfurfural, sugars, viscosity, and cloud. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22:22–30. DOI: 10.1016/j.ifset.2013.11.014
- Marszałek K, Skąpska S, Woźniak Ł, Sokołowska B. 2015. Application of supercritical carbon dioxide for the preservation of strawberry juice: Microbial and physicochemical quality, enzymatic activity and the degradation kinetics of anthocyanins during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32:101-109. DOI: 10.1016/j.ifset.2015.10.005
- Marszałek K, Krzyżanowska J, Woźniak Ł, Skąpska S. 2016. Kinetic modelling of tissue enzymes inactivation and degradation of pigments and polyphenols in cloudy carrot and celery juices under supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 117:26–32. DOI: 10.1016/j.supflu.2016.07.016
- Marszałek K, Kruszewski B, Woźniak Ł, Skąpska S. 2017. The application of supercritical carbon dioxide for the stabilization of native and commercial polyphenol oxidases and peroxidases in cloudy apple juice (cv. Golden Delicious). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39:42–48. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.11.006
- Mason TJ, Paniwnyk L. 2003. *Food Preservation Techniques*. (Chemat). Ultrasound As a Preservation Technology. University of Coventry, UK. ISBN978- 185573530- 9.
- Matser AM, Krebbers B, Berg RW, Bartels PV. 2004. Advantages of high pressure sterilisation on quality of food products. *Trends in Food Science & Technology*, 15(2):79–85. DOI: 10.1016/j.tifs.2003.08.005
- Matsui KN, Granado LM, de Oliveira PV, Tadini CC. 2007. Peroxidase and polyphenol oxidase thermal inactivation by microwaves in green coconut water simulated solutions. *LWT – Food Sci. Technol.*, 40(5):852–859. DOI: 10.1016/j.lwt.2006.03.019
- Mayer AM, Harel E. 1979. Polyphenol oxidases in plants. *Phytochemistry*, 18(2): 193–215. DOI: 10.1016/0031-9422(79)80057-6
- Mayer AM. 1986. Polyphenol oxidases in plants – Recent progress. *Phytochemistry*, 26 (1):11–20. DOI: 10.1016/S0031-9422(00)81472-7
- McEvily AJ, Iyengar R, Otwell WS. 1992. Inhibition of enzymatic browning in food and beverages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 32:253–273. DOI: 10.1080/10408399209527599
- Meneses N, Saldaña G, Jaeger H, Raso J, Álvarez I, Cebrián G, Knorr D. 2013. Modelling of polyphenoloxidase inactivation by pulsed electric fields considering coupled effects of temperature and electric field. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20:126–132. DOI: 10.1016/j.ifset.2012.12.009
- Messens W, Camp JV, Huyghebaert A. 1997. The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends Food Sci. Technol.* 8(4):107–112. DOI: 10.1016/S0924-2244(97)01015-7
- Molins RA. 2001. *Food Irradiation: Principles and Application*. The National Academies. ISBN: 978-0-471-35634-9
- Molnar-Perl I, Friedman M. 1990. Inhibition of browning by sulfur amino acids. 3. Apples and potatoes. *J. Agric. Food Chem.*, 38(8):1652–1656. DOI: 10.1021/jf00098a006
- Monsalve-Gonzales A, Barbosa-Canovas GV, Cavalieri RP, McEvily AJ, Iyengar R. 1993. Control of browning during storage of apple slices preserved by combined methods. 4-Hexylresorcinol as anti-browning agent. *Journal of Food Science*, 58(4):797–800. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1993.tb09361.x
- Morris C, Brody AL, Wicker L. 2007. Non-thermal food processing/preservation technologies: A review with packaging implications. *Packaging Technology and Science*, 20:275-286. DOI: 10.1002/pts.789
- Mukherjee S, Chattopadhyay PK. 2007. Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. *J. Food Eng.*, 78(1):52–60. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.09.001

- Ndiaye C, Xu SY, Wang Z. 2009. Steam blanching effect on polyphenoloxidase, peroxidase and colour of mango (*Mangifera indica* L.) slices. *Food Chemistry*, 113(1):92–95. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.07.027
- Nizamlioglu NM, Nas S. 2010. Meyve ve Sebzelerde Bulunan Fenolik Bileşikler; Yapıları ve Önemleri. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(1):20-35. Erişim Adresi: [http://teknolojikarastirmalar.com/pdf/tr/02\\_2010\\_5\\_1\\_72\\_472.pdf](http://teknolojikarastirmalar.com/pdf/tr/02_2010_5_1_72_472.pdf) [Erişim: 14.11.2017].
- Nuñez-Delgado E, Serrano-Megías M, Pérez-López AJ, López-Nicolás JM. 2005. Polyphenol oxidase from dominga table grape. *J. Agric. Food Chem.*, 53(15):6087–6093. DOI: 10.1021/jf050346z
- Oey I, Van der Plancken I, Van Loey A, Hendrickx M. 2008. Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based systems?. *Trends Food Sci. Technol.* 19(6):300–308. DOI: 10.1016/j.tifs.2007.09.002
- Oszmianski J, Lee CY. 1990. Inhibition of polyphenol oxidase activity and browning by honey. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38:1892–1895. DOI: 10.1021/jf00100a002
- Özcan D, Obuz E. 2006. Yüksek Basınç Uygulamasının Gıda Endüstrisinde Kullanımı. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*. Bolu. 24-26 Mayıs 2006. 675-678.
- Özoğlu H, Bayındırlı A. 2002. İnhibition of enzymatic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents. *Food Control*, 13(4-5): 213-221. DOI: 10.1016/S0956-7135(02)00011-7
- Paciulli M, Medina-Meza IG, Chiavaro E, Barbosa-Cánovas G.V. 2016. Impact of thermal and high pressure processing on quality parameters of beetroot (*Beta vulgaris* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 68:98-104. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.12.029
- Palou E, López-Malo A, Barbosa-Cánovas GV, Welti-Chanes J, Swanson BG. 1999. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *J. Food Sci.*, 64(1):42–45. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1999.tb09857.x
- Patterson MF. 2005. Microbiology of pressure-treated foods. *Journal of Applied Microbiology*, 98(6):1400–1409. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2005.02564.x
- Peñalver MJ, Fenoll LG, Rodríguez-López JN, García-Ruiz PA, García-Molina F, Varón R, García-Cánovas F, Tudela J. 2005. Reaction mechanism to explain the high kinetic autoactivation of tyrosinase. *J. Mol. Catal.: B Enzym.*, 33(1-2):35–42. DOI: 10.1016/j.molcatb.2005.02.002
- Phunchaisri C, Apichartsrangkoon A. 2005. Effects of ultra-high pressure on biochemical and physical modification of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). *Food Chem.*, 93: 57–64. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.10.001
- Picouet PA, Landl A, Abadias M, Castellari M, Viñas I. 2009. Minimal processing of a Granny Smith apple purée by microwave heating. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4):545-550. DOI: 10.1016/j.ifset.2009.05.007
- Plaza L, Muñoz M, de Ancos B, Cano MP. 2003. Effect of combined treatments of high-pressure, citric acid and sodium chloride on quality parameters of tomato puree. *European Food Research and Technology*, 216(6): 514-519. DOI: 10.1007/s00217-003-0689-0
- Podsedek A, Wilska-Jeszka J, Anders B, Markowski J. 2000. Compositional characterisation of some apple varieties. *Eur. Food Res. Technol.*, 210(4):268–272. DOI: 10.1007/s002179900101
- Prakash A, Guner AR, Caporaso F, Foley DM. 2000. Effects of low-dose gamma irradiation on the shelflife and quality characteristics of cut romaine lettuce packaged under modified atmosphere. *J. Food Sci.*, 65(3):549–553. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2000.tb16046.x
- Queiroz C, Mendes Lopes M, Fialho E, Valente-Mesquita V, Lúcia V. 2008. Polyphenol oxidase: characteristics and mechanisms of browning control. *Food Rev. Int.*, 24(4):361–375. DOI: 10.1080/87559120802089332
- Rapeanu G, Loey AV, Smout C, Hendrickx M. 2005. Effect of pH on thermal and/or pressure inactivation of Victoria grape (*Vitis vinifera sativa*) polyphenol oxidase: A kinetic study. *J. Food Sci.*, 70(5):E301–E307. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb09968.x
- Richard FC, Goupy PM, Nicolas JJ, Lacombe JM, Pavia AA. 1991. Cysteine as an inhibitor of enzymatic browning. 1. Isolation and characterization of addition compounds formed during oxidation of phenolics by apple polyphenol oxidase. *J. Agric. Food Chem.*, 39(5):841–7. DOI: 10.1021/jf00005a004
- Riener J, Noci F, Cronin DA, Morgan DJ, Lyng JG. 2008. Combined effect of temperature and pulsed electric fields on apple juice peroxidase and polyphenoloxidase inactivation. *Food Chemistry*, 109(2):402-407. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.12.059
- Rojas-Grau MA, Sobrino-Lopez A, Tapia MS, Martin-Belloso O. 2006. Browning inhibition in fresh-cut Fuji apple slices by natural antibrowning agents. *Journal of Food Science - Chicago*, 71(1):59–65. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.tb12407.x
- Roy MK, Juneja LR, Isobe S, Tsushida T. 2009. Steam processed broccoli (*Brassica oleracea*) has higher antioxidant activity in chemical and cellular assay systems. *Food Chem*, 114(1):263–269. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.09.050
- Ryan CA. 2000. The systemin signaling pathway: differential activation of plant defensive genes. *Biochim. Biophys. Acta*, 1477(1-2):112–121. DOI: 10.1016/S0167-4838(99)00269-1
- Sanchez-Moreno C, De Ancos B, Plaza L, Elez-Martinez P, Cano MP. 2009. Nutritional approaches and health-related properties of plant foods processed by high pressure and pulsed electric fields. *Cri. Rev. Food Sci. Nutr.*, 49(6):552–576. DOI: 10.1080/10408390802145526
- Sanchis E, González S, Ghidelli C, Sheth CC, Mateos M, Palou L, Pérez-Gago MB. 2016. Browning inhibition and microbial control in fresh-cut persimmon (*Diospyros kaki* Thunb. cv. Rojo Brillante) by apple pectin-based edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 112:186–193. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2015.09.024
- Saper GM, Miller RL. 1998. Browning inhibition in fresh-cut pears. *Journal of Food Science*, 63(2):342–346. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1998.tb15738.x
- Saxena J, Makroo HA, Srivastava B. 2016. Optimization of time-electric field combination for PPO inactivation in sugarcane juice by ohmic heating and its shelf life assessment. *LWT - Food Science and Technology*, 71:329–338. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.04.015
- Schweiggert U, Schieber A, Carle R. 2005. Inactivation of peroxidase, polyphenoloxidase, and lipoxygenase in paprika and chili powder after immediate thermal treatment of the plant material. *Innovative Food Sci Emerg Technol.*, 6(4):403-411. DOI: 10.1016/j.ifset.2005.05.001
- Sikora E, Cieslik E, Leszczynska T, Filipiak-Florkiewicz A, Pisulewski PM. 2008. The antioxidant activity of selected cruciferous vegetables subjected to aquathermal processing. *Food Chem.*, 107(1):55–59. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.07.023
- Silva LCA, Almeida PS, Rodrigues S, Fernandes FAN. 2015. Inactivation of polyphenoloxidase and peroxidase in apple cubes and in apple juice subjected to high intensity power ultrasound processing. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39:2081–2087. DOI: 10.1111/jfpp.12451
- Son SM, Moon KD, Lee CY. 2001. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chemistry*, 73(1):23–30. DOI: 10.1016/S0308-8146(00)00274-0

- Specht E. 2014. Chapter 1: Impingement jet drying. Modern Drying Technology, Process intensification. 5:1-26. DOI: 10.1002/9783527631728.ch29
- Şakiroğlu H, Birdal C, Başlar M, Öztürk AE. 2016. Inactivation kinetics of polyphenol oxidase in an aqueous model system under stand-alone and combined ultrasound and ultraviolet treatments. International Journal of Food Properties, 19(7):1535-1543. DOI: 10.1080/10942912.2014.973503
- Terefe NS, Yang YH, Knoerzer K, Buckow R, Versteeg C. 2010. High pressure and thermal inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in strawberry puree. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 11(1):52–60. DOI: 10.1016/j.ifset.2009.08.009
- Terefe NS, Buckow R, Versteeg C. 2014. Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 54(1):24–63. DOI: 10.1080/10408398.2011.566946
- Tetik N, Turhan İ, Karhan M. 2006. Berrak Meyve Suyu ve Konsantrelerinde Sonradan Bulanma ve Önlemleri. Türkiye 9. Gıda Kongresi. Bolu, 24-26 Mayıs 2006. ss:503-506
- Tinoco MB, Igual M, Rodrigo D, Navarrete NM. 2015. Superiority of microwaves over conventional heating to preserve shelf-life and quality of kiwifruit puree. Food Control, 50:620-629. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.10.006
- Wang J, Fang XM, Mujumdar AS, Qian JY, Zhang Q, Yang XH, Liu YH, Gao ZJ, Xiao HW., 2017. Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) on drying and quality of red pepper (*Capsicum annuum* L.). Food Chemistry, 220: 145–152. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.09.200
- Weemaes C, Ludikhuyze L, Van den Broeck I, Hendrickx M. 1998a. Effect of pH on pressure and thermal inactivation of avocado polyphenol oxidase: A kinetic study. J. Agric. Food Chem., 46(7): 2785–2792. DOI: 10.1021/jf970902s
- Weemaes C, Ludikhuyze L, Van Den Broeck I, Hendrickx M. 1998b. High pressure inactivation of polyphenoloxidases. Journal of Food Science, 63(5):873–877. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1998.tb17917.x
- Wennberg M, Ekvall J, Olsson K, Nyman M. 2006. Changes in carbohydrate and glucosinolate composition in white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) during blanching and treatment with acetic acid. Food Chem., 96(2):226–236 DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.11.057
- Whitaker J, Lee C. 1995. Recent advances in chemistry of enzymatic browning. American Chemical Society. Washington, DC, May 5, 1995. ACS Symposium Series, 2–7. DOI: 10.1021/bk-1995-0600.ch001
- Xiao HW, Yao XD, Lin H, Yang WX, Meng JS, Gao ZJ. 2012. Effect of SSB (Superheated Steam Blanching) Time and Drying Temperature On Hot Air Impingement Drying Kinetics and Quality Attributes of Yam Slices. Journal of Food Process Engineering, 35:370–390. DOI: 10.1111/j.1745-4530.2010.00594.x
- Xiao HW, Bai JW, Sun DW, Gao ZJ. 2014. The application of superheated steam impingement blanching (SSIB) in agricultural products processing – A review. Journal of Food Engineering, 132:39–47. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2014.01.032
- Xiao HW, Pan Z, Deng LZ, El-Mashad HM, Yang XH, Mujumdar AS, Gao ZJ, Zhang Q. 2017. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. Information Processing in Agriculture, 4(2):101-127. DOI: 10.1016/j.inpa.2017.02.001
- Xiong Z, Liu W, Zhou L, Zou L, Chen J. 2016. Mushroom (*Agaricus bisporus*) polyphenoloxidase inhibited by apigenin: Multi-spectroscopic analyses and computational docking simulation. Food Chemistry, 203:430–439. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.02.045
- Zhang L, Lu Z, Lu F, Bie X. 2006. Effect of  $\gamma$  irradiation on quality-maintaining of fresh-cut lettuce. Food Control, 17(3):225–228. DOI: 10.1016/j.foodcont.2004.10.005
- Zhou L, Tey CY, Bingol G, Bi J. 2016. Effect of microwave treatment on enzyme inactivation and quality change of defatted avocado puree during storage. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 37(A):61-67. DOI: 10.1016/j.ifset.2016.08.002