

ATIMLI UV IŞIĞIN BEYAZ ŞAPKALI KÜLTÜR MANTARI (*AGARICUS BISPORUS*) YÜZEYİNDE *LISTERIA MONOCYTOGENES*'İN İNAKTİVASYONU ÜZERİNE ETKİLERİ

Gamze Koçer*, Nene Meltem Keklik

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Geliş / Received: 06.05.2018; Kabul / Accepted: 26.09.2018; Online baskı / Published online: 03.11.2018

Koçer, G., Keklik, N.M. (2018). Atımlı UV ışığın beyaz şapkali kültür mantarı (*Agaricus bisporus*) yüzeyinde *Listeria monocytogenes*'in inaktivasyonu üzerine etkileri. GIDA (2018) 43 (6): 896-905 doi: 10.15237/gida.GD18052

Koçer, G., Keklik, N.M. (2018). Inactivation of *Listeria monocytogenes* on the surface of cultivated mushroom (*Agaricus bisporus*) by pulsed UV light. GIDA (2018) 43 (6): 896-905 doi: 10.15237/gida.GD18052

ÖZ

Bu çalışmada, *Listeria monocytogenes* ile inoküle edilen beyaz şapkali kültür mantarı (*Agaricus bisporus*) dilimleri, kuvars camdan farklı uzaklık (5, 8, 13 cm) ve sürelerde (5, 15, 30, 45, 60 s), 4.00-101.26 J/cm² enerji dozu aralığında atımlı UV (PUV) ışığa maruz bırakılarak *L. monocytogenes*'in inaktivasyonu incelenmiştir. En yüksek ve en düşük mikrobiyal azalma sırasıyla 1.96 log KOB/g (5 cm-60 s) ve 0.48 log KOB/g (13 cm-5 s) olarak bulunmuştur. İşlem süresi ve kuvars cama olan yakınlık arttıkça mantar yüzeyinde esmerleşmenin arttığı, nem miktarı ve su aktivitesinin ise azaldığı gözlemlenmiştir. 5 cm-60 s işlem koşullarında mantarın antioksidan aktivitesinde belirgin bir artış sağlanmıştır ($P < 0.05$). Sonuç olarak bu çalışma ile PUV ışığın kültür mantarı yüzeyinde *L. monocytogenes* için potansiyel bir dekontaminasyon yöntemi olduğu ve kültür mantarının antioksidan seviyesindeki artış ile besin değerini de olumlu yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: *Agaricus bisporus*, atımlı UV ışık, *Listeria monocytogenes*, mikrobiyal inaktivasyon.

INACTIVATION OF *LISTERIA MONOCYTOGENES* ON THE SURFACE OF CULTIVATED MUSHROOM (*AGARICUS BISPORUS*) BY PULSED UV LIGHT

ABSTRACT

In this study, the sliced button mushrooms (*Agaricus bisporus*) which were inoculated with *Listeria monocytogenes* were exposed to pulsed UV (PUV) light at the energy dose ranging between 4.00-101.26 J/cm², at different distances from the quartz window (5, 8, 13 cm) for different times (5, 15, 30, 45, 60 s). The highest and lowest inactivation values were determined as 1.96 log CFU/g (5 cm-60 s) and 0.48 log CFU/g (13 cm-5 s), respectively. As the treatment time and proximity to the quartz window increased the browning on the mushroom surface increased. Also, moisture content and water activity decreased. After the 5 cm-60 s treatment a significant increase in antioxidant activity of the mushroom was obtained ($P < 0.05$). This study demonstrated that PUV light is a potential technique for the elimination of *L. monocytogenes* on button mushrooms and may affect the nutritional value positive by increasing the antioxidant level of mushrooms.

Keywords: *Agaricus bisporus*, *Listeria monocytogenes*, microbial inactivation, pulsed UV light.

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ gamzekocer.05@gmail.com

☎ (+90) 346 219 10 10

☎ (+90) 346 219 11 65

GİRİŞ

Mantarlar, canlılar aleminin fungi topluluğuna ait olup dünya genelinde hem besin değerinin yüksek olması hem de fonksiyonel özelliklerinden dolayı yüzyıllardan beri tüketilmektedir (Guan vd., 2012). Dünyada yenilebilir mantarlardan en fazla yetiştiriciliği yapılan tür beyaz şapkali kültür mantarı (*Agaricus bisporus*)'dır. Mantarlardan elde edilen özütler ve fenolik asitler antimikrobiyal aktivite açısından değerlendirilmiş ve oldukça güçlü bir antibakteriyel ve antifungal etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Heleno vd., 2015). Ayrıca yüksek kolesterol, damar sertliği ve kansere karşı koruyucu etkilerini gösteren çalışmalar mevcuttur (Miles ve Chang, 2004; Yuk vd., 2007).

Mantarlar büyüme ve işleme sırasında gerek toprak ve su kaynaklı mikroorganizmalarla gerekse hijyeni yetersiz toplayıcı veya paketleniciler yoluyla kolayca kontamine olabirler. Yapılan çalışmalarda, gıda kaynaklı patojenler olan *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp. ve *Listeria monocytogenes*'in çiğ mantarda bulunduğu rapor edilmiştir (Samadpour vd., 2006). Ayrıca; bu patojen bakterilerin depolama ve satış süresince canlı kalabildiği tespit edilmiştir (Doyle ve Schoeni, 1986).

Kültür mantarlarında bulunması muhtemel patojen bakteriler tüketici sağlığını tehdit ederken; kısa raf ömrü de mantarların tüketim potansiyelini kısıtlamaktadır. Mantarlar üzerinde kontaminasyon derecesini azaltmak ve raf ömrünü uzatmak amacıyla endüstride sülfite, ozon, klor dioksit, hidrojen peroksit ve çeşitli organik asitler ile yıkama gibi kimyasal metotlar uygulanması daha kolay ve ucuz olduğu için yaygın olarak kullanılmaktadır (Brennan vd., 2000; Yuk vd., 2007; Guan vd., 2013). Bu yıkama işlemleri, mantarlarda doğal rengin kaybedilmesi, su alımının artışı ve mekanik zararlar ile doku hasarlarına neden olmaktadır. Endüstride kullanılan bir diğer koruma yöntemi olan ısıl prosesler ise gıdaların bazı besinsel öğelerinde azalmalara yol açmaktadır (Murcia vd., 2000; Oms-Oliu vd., 2010).

Yeni muhafaza tekniklerinden atımlı UV (PUV) ışık, UV-C ışıkça zengin olup, 100-1100 nm dalga

boyu aralığında kısa zamanlı, yoğun atımlar kullanarak mikrobiyal inaktivasyon oluşturması sonucu yüzeylerde dekontaminasyon sağlayan bir tekniktir (Oms-Oliu vd., 2010). PUV ışık, daha geniş bir spektruma sahip olması, kısa sürede yoğun ve şiddetli atımlar yapması nedeniyle sürekli UV ışığa (100-400 nm) göre daha hızlı ve etkili bir dekontaminasyon yöntemidir (Dunn, 1995; Krishnamurthy vd., 2007; Cheigh vd., 2012). PUV ışığın gıdalardaki kullanımını 1999 yılında FDA tarafından onaylanmıştır (Federal Register, 1999). Bu teknikle mikrobiyal azalma; timin dimerlerinin oluşumuyla mikroorganizma DNA'sının zarar görmesi (fotokimyasal etki) (Wang vd., 2005), mikrobiyal hücrelerin lokalize olarak aniden ısınması (fototermal etki) (Wekhof, 2000) ve ani, yüksek enerjili ışık atımlarının etkisiyle yapısal hasarlar (fotofiziksel etki) (Takeshita vd., 2003; Krishnamurthy vd., 2007) yoluyla meydana gelmektedir.

Literatürde, beyaz lahana, pırasa, kırmızı biber, havuç ve kara lahana olmak üzere 5 çeşit sebze üzerinde (Gómez-López vd., 2007), çilek ve ahududu (Bialka vd., 2008), elma ve portakal suyu (Pataro vd., 2011), bal (Hillegas ve Demirci, 2003), deniz ürünleri (Cheigh vd., 2013), tavuk ürünleri (Keklik vd., 2009), süt (Krishnamurthy vd., 2007) gibi birçok gıdada PUV ışık ile patojen mikroorganizmaların inaktivasyonuna dair çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmada, kültür mantarı yüzeyinde *L. monocytogenes*'in PUV ışık uygulanması ile inaktivasyonu incelenmiştir. Yöntemin mantar yüzeyindeki mikrobiyal inaktivasyon etkinliği ile birlikte mantarın kalitesi üzerine etkileri de değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Taze kültür mantarları (*A. bisporus*), Sivas'ta yerel bir marketten satın alınmıştır. Laboratuvara getirilen taze mantarlar, 4°C'de en fazla 3 gün içerisinde deneyde kullanılmak üzere temiz plastik poşetler içerisinde depolanmıştır. Çalışmalarda *L. monocytogenes* (CECT 935, Spanish Type Culture Collection, İspanya) stok kültürü kullanılmıştır. Stok kültür, üretici talimatına göre canlandırılmıştır.

Yöntem

Bütün halindeki mantarlar 200 µL/L sodyum hipoklorit ile yıkanarak dezenfekte edilmiştir. Steril distile su ile durulanıp yüzey kuruduktan sonra aseptik koşullarda şapka ve sap kısmını ayırmadan 2 mm kalınlığında kesilerek mantar dilimleri hazırlanmıştır. Her bir mantar diliminin yüzeyine 100 µL *L. monocytogenes* inokulum sıvısı eklenerek tüm yüzeye homojen bir şekilde yayılması sağlandıktan sonra mikroorganizma hücrelerinin mantar yüzeyine tutunması için 30 dk süre ile oda sıcaklığında bekletilmiştir.

Atımlı UV Işık Uygulaması

Her bir uygulama için iki kontrol grubu (birincisi inokülasyon yapılmamış ve işlem görmemiş örnek, ikincisi inokülasyon yapılmış ancak işlem görmemiş örnek) kullanılmıştır. *L. monocytogenes* ile inoküle edilen ve steril alüminyum folyo kaplar üzerinde konumlandırılan dilimlenmiş her bir mantar örneği, ışık sistemi (RS-3000C, Xenon Corp., ABD) içinde ışık kaynağından 5.8 cm uzaklıkta olan kuvars camdan 5, 8 ve 13 cm uzaklıklarda 5, 15, 30, 45 ve 60 s süresince PUV ışık işlemine maruz bırakılmıştır.

Mikrobiyolojik Analiz

Mikrobiyal analiz için işlem görmüş ve görmemiş mantar dilimleri, içerisinde tamponlanmış peptonlu su (Lab M, Birleşik Krallık) (9 mL/g mantar) bulunan steril plastik poşetlere (SM2-01, Gosselin, Fransa) konularak pedallı homojenizatörde (Bag Mixer 400 P, Interscience, Fransa) 2 dk süresince homojen hale getirilmiştir. Homojen hale gelen örnekler ile hazırlanan dilüsyonlardan 200 µL alınarak hazır Palcam agara (Liofilchem, İtalya) yayma yöntemi ile ekim gerçekleştirildikten sonra petri kapları 37°C'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında Palcam agar besiyerinde oluşan 1-1.5 mm çapında siyah zonlu tipik kolonilerin sayımı yapılarak dilim başına koloni oluşturan birim (KOB/ g) olarak ifade edilmiştir.

Atımlı UV Işık Uygulamasında Sıcaklık ve Enerji Ölçümleri

Sıcaklık ve enerji ölçümleri 5 cm-60 s (şiddetli), 8 cm-30 s (orta) ve 13 cm-5 s (hafif) işlem basamakları için yapılmıştır. İşlem öncesi ve

işlemin hemen sonrasında kızılötesi termometre (Extech Instrument, Amerika), mantarların yüzeyine temas etmeyecek şekilde tutulup, şapka ve sap kısmında ayrı ölçümler yapılarak sıcaklık değişimleri incelenmiştir. PUV ışık kabininde uygulama esnasında açığa çıkan enerji miktarı, bir piroelektrik sensör (PE50-DIF-C, Ophir Optronics, İsrail), kuvars cama 5, 8 ve 13 cm uzaklıklarda konumlandırılarak ölçülmüştür. Ölçümlerde mantar kullanılmamıştır.

Kalite Analizleri

Tüm kalite analizleri 5 cm-60 s (şiddetli), 8 cm-30 s (orta) ve 13 cm-5 s (hafif) işlem basamakları için yapılmıştır.

Renk Analizi

Renk ölçümleri, işlem görmüş ve görmemiş örnekler üzerinde rastgele seçilen üç noktada CIELAB renk yöntemi kullanan bir kolorimetre (CM-600d, Konica Minolta, Japonya) ile yapılmış olup ölçülen L*, a*, b* değerlerinde meydana gelen ortalama değişimler belirlenmiştir.

Nem ve Su Aktivitesi Ölçümü

Mantarların işlem öncesi ve sonrası nem ile su aktivitesi değerleri sırasıyla nem tayin cihazı (MOC63u, Shimadzu, Japonya) ve su aktivitesi ölçüm cihazı (Novasina, LabTouch-aw, İsviçre) kullanılarak belirlenmiştir.

Antioksidan Tayini

Dilimlenmiş mantarların antioksidan kapasiteleri DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu yöntem, DPPH radikali üzerinde mantarda bulunan antioksidanların serbest radikal süpürücü etkisini belirlemek amacıyla uygulanmıştır. PUV ışığa maruz bırakılan ve bırakılmayan mantar örnekleri parçalandıktan sonra alınan 5 g örnek, 5000 rpm ve 4°C'de 60 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminin ardından filtre kağıdından (Whatman no: 1, 90 mm çaplı) geçirilerek sıvı kısımdan alınan 0.1 mL örnek, 3.9 mL metanolik DPPH çözeltisine (0.025 g/L) eklenmiştir. Homojenat, vorteks yardımıyla karıştırılarak 30 dk boyunca karanlık bir ortamda bekletildikten sonra örneklerin absorpsiyon değerleri UV-Vis spektrofotometrede 517 nm dalga boyunda

ölçülmüştür (Oms-Oliu vd., 2010). Kör çözeltisi olarak metanol, referans olarak da içerisinde örnek olmayan DPPH çözeltisi (3.9 mL DPPH+0.1 mL distile su) kullanılmıştır. Sonuçlar referansın absorpsiyon değeri ile kıyaslanarak azalan yüzde oranı olarak ifade edilmiştir (Ancos vd., 2002). Serbest radikal olan DPPH bileşiminde meydana gelen inhibisyon aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmıştır (Gursoy vd., 2009).

$$\% \text{ İnhibisyon} = 100 \times (A_{\text{referans}} - A_{\text{örnek}}) / A_{\text{referans}} [1]$$

İstatistiksel Analiz

Her bir uygulama 3 tekrür halinde yapılmıştır. Elde edilen veriler, bağımsız değişkenlerin kendi aralarındaki etkileşimleri ve bağımlı değişken üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla MINITAB 17'de ANOVA-Genel Doğrusal Model ile analiz edilmiştir. Değerlerin ortalamaları arasındaki farkların %95 güven aralığında ($P < 0.05$) anlamlı olup olmadığı Tukey yöntemi ile test edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Mikrobiyal İnaktivasyon

İnokulum solüsyonunun mikrobiyal yoğunluğu ortalama 7.0×10^8 KOB/mL olarak belirlenmiştir. Farklı uzaklık ve sürelerde uygulanan PUV ışığın etkisiyle meydana gelen log azalmaları Çizelge 1'de verilmiştir. PUV ışık sisteminde kuvars camdan 5 cm uzaklıkta yapılan işlemlerde süreye bağlı olarak, *L. monocytogenes*'de 0.55-1.96 log KOB/g aralığında inaktivasyon meydana gelmiş olup en yüksek inaktivasyon beklenildiği gibi 5 cm-60 s uygulamasında elde edilmiştir. 8 cm uzaklıkta yapılan işlemlerde elde edilen inaktivasyon değerleri 0.50 ile 1.87 log KOB/g aralığındadır. Uygulama süresi arttıkça logaritmik olarak meydana gelen inaktivasyon artmış olsa da istatistiksel olarak 5, 15, 30 ve 45 s uygulamaları arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($P > 0.05$). Fakat 60 s süren uygulamanın, 5 ve 15 s uygulama verilerinden önemli derecede farklı olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Kuvars camdan 13 cm uzaklıkta ise 0.48-1.20 aralığında log KOB/g azalma elde edilmiştir.

Çizelge 1. Mantar yüzeyine PUV ışık uygulaması sonrasında *L. monocytogenes*'te meydana gelen log azalmaları

Uygulama koşulları <i>Treatment conditions</i>		Toplam enerji dozu (J/cm ²) <i>Total energy dose</i>	Log azalma (KOB/g) <i>Log reduction</i>
Uzaklık (cm) <i>Distance</i>	Süre (s) <i>Time</i>		
5	5	8.44±0.34 ^{hi}	0.55±0.12 ^{cd}
	15	25.31±1.01 ^f	0.75±0.16 ^{cd}
	30	50.63±2.02 ^d	1.18±0.46 ^{abcd}
	45	75.94±3.03 ^b	1.53±0.21 ^{abc}
	60	101.26±4.03 ^a	1.96±0.46 ^a
8	5	5.68±0.26 ⁱ	0.50±0.07 ^d
	15	17.05±0.77 ^g	0.61±0.18 ^{cd}
	30	34.09±1.55 ^e	0.94±0.18 ^{bcd}
	45	51.14±2.32 ^d	1.13±0.20 ^{abcd}
	60	68.18±3.1 ^c	1.87±0.96 ^{ab}
13	5	4.00±0.02 ⁱ	0.48±0.04 ^d
	15	11.99±0.07 ^{gh}	0.60±0.06 ^{cd}
	30	23.98±0.14 ^f	0.73±0.09 ^{cd}
	45	35.97±0.20 ^e	0.90±0.11 ^{bcd}
	60	47.96±0.27 ^d	1.20±0.17 ^{abcd}

Aynı sütunda ve aynı uzaklık koşullarında aynı harfi taşımayan değerler, birbirinden anlamlı olarak farklıdır ($P < 0.05$).

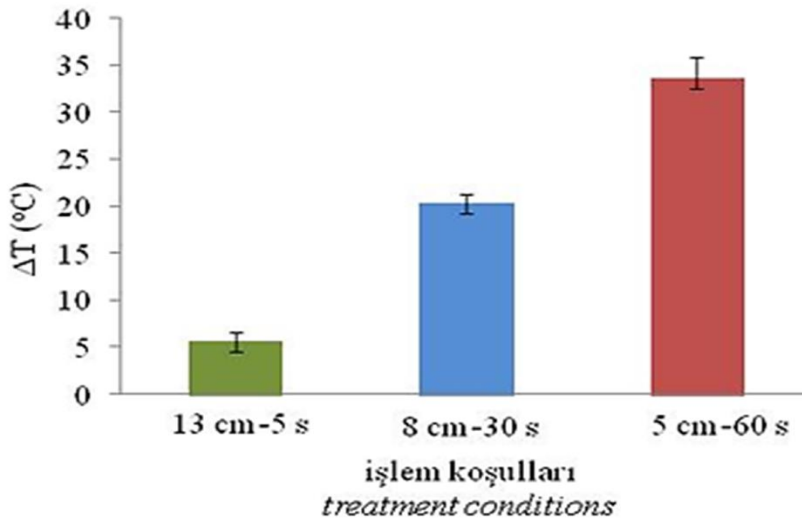
Kuvars camdan farklı uzaklıklarda gerçekleştirilen uygulamalar sonucu elde edilen inaktivasyon değerleri kendi aralarında süreden bağımsız olarak karşılaştırıldığında; 5 cm ve 8 cm ile 8 cm ve 13 cm arasında anlamlı bir fark bulunmazken ($P > 0.05$); 5 cm ve 13 cm mesafelerinde elde edilen inaktivasyon değerlerinin önemli derecede farklı ($P < 0.05$) olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde; mesafeden bağımsız, sadece süre parametresine bağlı olarak yapılan istatistiksel analizde; 60 s uygulaması diğer tüm işlem sürelerinden, 45 s uygulaması da 5 ve 15 s süren uygulamalardan belirgin bir şekilde farklı bulunmuştur ($P < 0.05$). Işık kaynağına olan yakınlık ve uygulama süresi arttıkça sistemde açığa çıkan enerji artmaktadır (Çizelge 1). Toplam enerjiye bağlı olarak log azalmalarının da arttığı belirlenmiştir. Kültür mantarlarının yüksek su aktiviteleri göz önüne alındığında; 0.95 a_w seviyesinde, buzdolabı sıcaklığında yaşayabilen ve hatta çoğalabilen *L. monocytogenes* için, belirlenen bu log azalmaları kayda değer olarak nitelendirilebilir.

Wang vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, *E. coli* üzerinde PUV ışık enerjisinin yoğunluğu arttıkça inaktivasyon etkinliğinin arttığı belirtilmiştir. Bir başka çalışmada, PUV ışık teknolojisi ile *Salmonella* Typhimurium için vakum paketlenmiş tavuk göğsünde 0.8-2.4 KOB/cm², paketlenmemiş tavuk göğsünde ise 1.2-2.4

KOB/cm² aralığında bir log azalma sağlanmıştır (Keklik vd., 2010). Paketlenmemiş tavuk soslerinde ise *L. monocytogenes* için 0.3-1.9 KOB/cm²lik bir inaktivasyon gözlenmiştir (Keklik vd., 2009). Çalışmamızda, kültür mantarlarında *L. monocytogenes* için elde ettiğimiz 0.48-1.96 log KOB/g mikrobiyal azalma ile tavuk sosleri üzerindeki dekontaminasyon sonuçlarının benzer olduğu görülmüştür.

Atımlı UV Işık Uygulamasında Sıcaklık ve Enerji Seviyeleri

Uygulama sonrasında, örneklerde meydana gelen sıcaklık değişimlerini tespit etmek, PUV ışığın dekontaminasyon tekniği olarak kültür mantarları üzerindeki kullanım potansiyelini belirlemek açısından önemlidir. Ölçümde kullanılan kültür mantarlarının başlangıç sıcaklıkları $21.5 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 'dir. 13 cm-5 s (hafif), 8 cm-30 s (orta) ve 5 cm-60 s (şiddetli) uygulamalarında örneklerin yüzeyinde sırasıyla $5.58 \pm 0.95^\circ\text{C}$, $20.25 \pm 1.09^\circ\text{C}$ ve $33.57 \pm 2.31^\circ\text{C}$ artış olmuştur (Şekil 1). Bu üç farklı koşuldaki uygulamalar arasında belirgin bir fark olduğu yapılan istatistiksel analizler sonucunda tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Mantar üzerinde ortaya çıkan bu sıcaklık değerleri, patojen mikroorganizmalar için öldürücü etkinin altında değerlerdir. Bu da PUV ışığın ısı olmayan bir dekontaminasyon tekniği olduğunu desteklemektedir.



Şekil 1. PUV ışık uygulaması sonrasında mantar yüzeyinde meydana gelen sıcaklık değişimleri
Figure 1. Temperature variations on the mushroom surface after PUV light treatment

Hilton vd. (2017)'nin yaptığı çalışmada; *L. innocua*, *E. coli* ve *Pseudomonas fluorescens* patojen bakterileri, önce 5-50°C sıcaklıklara daha sonra 1.02-12.29 J/cm² enerji aralığında PUV ışığa maruz bırakıldığında *E. coli* ve *P. fluorescens* için elde edilen log azalmalarında sıcaklığın herhangi bir etkisi olmaz iken *L. innocua* patojeninde 50°C'de PUV ışık uygulamasında sıcaklık ile ışık atımlarının sinerjistik etkisi gözlenmiştir. Benzer şekilde, Gayan vd. (2015) çalışmalarında sürekli UV ışınlarının *L. monocytogenes* için öldürücü etkisinin, en az 50-60°C'de sinerjistik etki ile arttığını bildirmişlerdir.

PUV ışık uygulamasının tüm işlem basamaklarında açığa çıkan toplam enerji miktarları arttıkça log azalmaları da artmıştır (Çizelge 1). Uygulama mesafelerine bağlı olarak 1 saniyede sensör tarafından algılanan enerji miktarları Çizelge 2'de verilmiştir. Aynı işlem sürelerinde ışık kaynağına olan uzaklık arttıkça enerji yoğunluğunun azalmasına bağlı olarak, mantar yüzeyinde uygulama sonrası meydana gelen sıcaklık farkı azalmıştır. Bununla birlikte, aynı uzaklıkta farklı sürelerde yapılan uygulamalarda işlem süresi arttıkça sıcaklık ve toplam enerji değerlerinde de artış olmuştur. Bu artış, zaman içerisinde kapasitörde daha fazla enerji birikimi olması ve bu biriken enerjinin uygulama esnasında sistem içerisinde açığa çıkmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 2. Kuvars cama olan uzaklığa bağlı olarak değişen enerji seviyeleri

Table 2. Energy levels varying with the distance from the quartz window

Uzaklık (cm) Distance	Enerji seviyesi (J/cm ² .s) Energy level
5	1.69±0.07 ^a
8	1.14±0.05 ^b
13	0.80±0.00 ^c

Aynı sütunda aynı harfi taşımayan değerler, birbirinden anlamlı olarak farklıdır ($P < 0.05$).

Values that do not carry the same letter in the same column are significantly different from each other ($P < 0.05$).

Pataro vd. (2011), kuvars camdan 1.9 cm uzaklıkta her bir atımın 1.21 J/cm² enerji oluşturduğu bir PUV ışık sisteminde 1.8-5.5 J/cm² enerji yoğunluğu aralığında, örnek haznesi içindeki hava sıcaklığının 32°C'den 37°C'ye, meyve sularının sıcaklığının ise 18°C'den 24°C'ye yükseldiğini ifade etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar sistemde bir soğutma fanı bulunmasına rağmen, enerji dozunun arttıkça sıcaklığın da arttığını göstermiştir. Bu doğrultuda, PUV ışık sisteminin tasarımı daha uygun ve etkili bir soğutma sistemi ile iyileştirilerek ışık atımları sırasında sıcaklık artışını en aza indirmenin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Renk Parametreleri

Kontrol grupları ile uygulamaya tabii tutulan mantar örnekleri arasındaki renk farklılıkları ΔL^* , Δa^* , Δb^* olarak Çizelge 3'te verilmiştir. Kontrol grubunun ortalama L^* , a^* , b^* değerleri sırasıyla 87.62±2.16; 2.14±0.55 ve 12.85±1.03 olarak bulunmuştur. PUV ışık uygulamasındaki renk değişimlerine bakıldığında tüm işlem gruplarının ΔL^* değerleri kontrol gruplarından farklıdır ($P < 0.05$). 5 cm-60 s işlemindeki ΔL^* değerinin 8 cm-30 s ve 13 cm-5 s işlemlerine göre önemli derecede farklı olduğu gözlemlenmiştir ($P < 0.05$). Δa^* değerlerinde 5 cm-60 s işlemi ile 8 cm-30 s işlemi arasında anlamlı bir fark bulunmazken ($P > 0.05$); 5 cm-60 s işlemi ile 13 cm-5 s işlemi ile arasında belirgin bir fark vardır ($P < 0.05$). Ayrıca; üç işlem basamağında da Δb^* değerleri birbirinden istatistiksel olarak farklıdır ($P < 0.05$).

Kuvars camdan 5 cm uzaklıkta 60 s boyunca PUV ışığa maruz bırakılan mantar örneğinde meydana gelen renk değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. 5 cm-60 s işleminde zaman zaman örneklerin sıcaklık etkisiyle kahverengileştiği ve mantarın hacminde çok az da olsa azalmalar olduğu gözlemlenmiştir.

Nem Miktarı

Kültür mantarlarının bünyesinde bulundurduğu su oranı oldukça yüksektir. Mantarların yüzey yapısı onları su kaybına duyarlı hale getirir ve su kaybı mantarda büzüşmelere ve bozulmaya neden olur (Jiang vd., 2012). Bu çalışmada kontrol grubundaki kültür mantarlarının ortalama nem içeriği %92.31±0.94 (ıslak temelde) olarak

bulunmuştur. Nem değerlerinde en fazla düşüş (1 ± 0.28) şiddetli işlem basamağında yapılan uygulamada gözlenmiştir (Çizelge 3). Şiddetli ve hafif işlem basamakları arasında nem değerleri arasında belirgin bir fark vardır ($P < 0.05$). Mantar örneklerinin nem değerlerinin sıcaklık artışına bağlı olarak azaldığı düşünülmektedir. Bir başka

çalışmada, elma dilimleri, PUV ışığa ($17.5-157.5$ kJ/m²) maruz bırakıldıktan hemen sonra yapılan ölçümlerde $0.37-1.63$ aralığında nem kaybı gözlemlenmiş olup (Ignat vd., 2014); çalışmamızda elde edilen sonuçlara benzerlik göstermektedir.

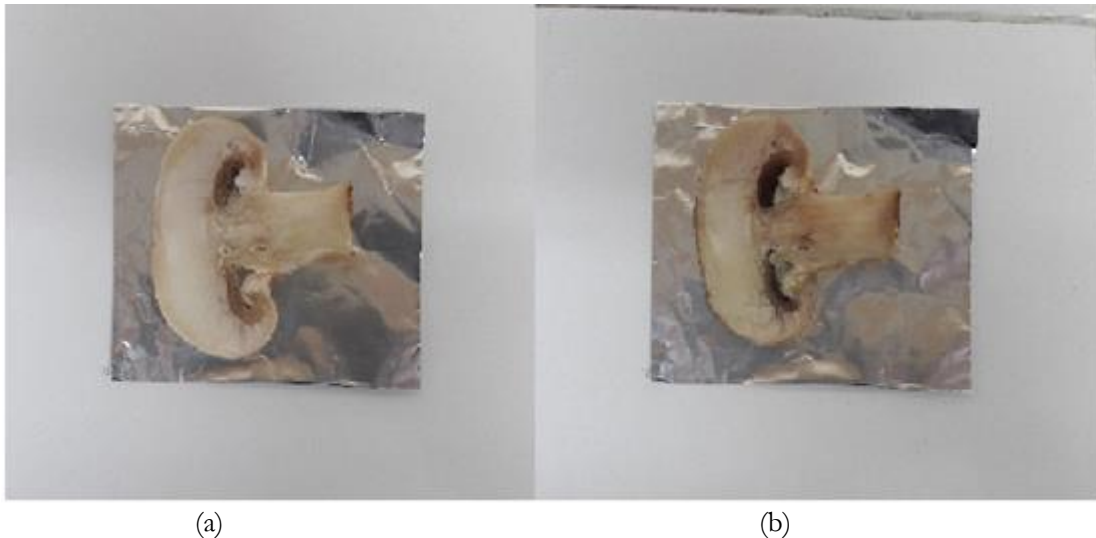
Çizelge 3. PUV ışık uygulamasının mantarın kalite parametrelerine olan etkileri

Table 3. Effects of PUV light treatment on the quality parameters of mushroom

Analiz türü <i>Analysis type</i>	Uygulama koşulları <i>Treatment conditions</i>			
	Kontrol <i>Control</i>	13 cm-5 s	8 cm-30 s	5 cm-60 s
ΔL^* ($L^*-L_{kontrol}$)	0.00 ^a	-2.22±0.65 ^b	-2.37±0.29 ^b	-6.52±1.37 ^c
Δa^* ($a^*-a_{kontrol}$)	0.00 ^c	0.51±0.9 ^{bc}	0.86±0.36 ^{ab}	1.44±0.32 ^a
Δb^* ($b^*-b_{kontrol}$)	0.00 ^d	0.86±0.20 ^c	2.00±0.27 ^b	3.22±0.36 ^a
$\Delta nem/\Delta moisture$ (% nem-% nem _{kontrol})	0.00 ^a	-0.39±0.15 ^{ab}	-0.58±0.17 ^{bc}	-1.00±0.28 ^c
Δa_w ($a_w-a_{wkontrol}$)	0.000 ^a	0.000±0.001 ^a	-0.001±0.00 ^a	-0.007±0.003 ^b
% DPPH inhibisyonu/ <i>inhibition</i>	50.63±2.79 ^b	47.18±1.91 ^b	53.45±2.76 ^{ab}	57.90±2.24 ^a

Aynı satırda aynı harfi taşımayan değerler, birbirinden anlamlı olarak farklıdır ($P < 0.05$).

Values that do not carry the same letter in the same row are significantly different from each other ($P < 0.05$).



Şekil 2. PUV ışık uygulaması (5 cm-60 s) sonrasında mantar yüzeyinde meydana gelen renk değişimi: a) işlem öncesi, b) işlem sonrası

Figure 2. Colour change on the mushroom surface after PUV light treatment (5 cm-60 s): a) pre-treatment, b) post-treatment

Su Aktivitesi

Uygulamalar sonrasında su aktivitesinde (a_w) meydana gelen değişimler Çizelge 3'de yer almaktadır. İşlem görmeyen kültür mantarlarının a_w değerleri ortalama 0.984 ± 0.001 'dir. Yüzde nem değerlerinde olduğu gibi PUV ışık, mantarların su aktivitesinde düşüşe neden olmuştur. 5 cm-60 s uygulama sonrasında a_w değerlerinde 0.007 ± 0.003 değerinde bir düşüş meydana gelirken ($P < 0.05$), diğer uygulamalar sonucunda ölçülen a_w değerleri ile kontrol grubunun a_w değerleri arasında fark bulunmamıştır ($P > 0.05$).

Antioksidan Kapasitesi

Mantarda bulunan antioksidan fonksiyonuna sahip moleküller, mor renkteki DPPH çözeltilisinde serbest radikalleri bağlayarak rengin açılmasına sebep olmuştur. Bunun sonucunda da 517 nm'de okunan absorbans değerleri, DPPH için ölçülen referans değere göre azalmıştır (Gursoy vd., 2010). Bir başka deyişle; mantar örneği ne kadar çok antioksidan bileşik içeriyorsa DPPH serbest radikalini o kadar çok indirgemştir. %DPPH inhibisyonu, 13 cm-5 s işleminde azalırken ($P > 0.05$); diğer işlem basamaklarında artmıştır. Yani; şiddetli ve orta derecedeki ışık atımları antioksidan kapasitesinde artışa neden olmuştur (Çizelge 3). Oms-Oliu ve ark. (2010)'nın PUV ışığın kültür mantarının kalite özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada; 4.8 ve 12 J/cm² enerji yoğunluğundaki ışık atımlarının mantarın antioksidan kapasitelerine başlangıçta etki etmediği görülmüştür. Ancak 7 gün depolama sonucunda işlem görmemiş mantarların antioksidan özelliklerinde yaklaşık yarı yarıya bir düşüş gözlenirken işlem görmüş mantarlardaki düşüş çok daha az oranda olmuştur (Oms-Oliu vd., 2010). Çalışmamızda gözlenen antioksidan kapasitesindeki bu iyileşme, UV ışıktan kaynaklı hormetik etkiye de bağlanabilir. Yapılan çalışmalarla hormetik etkinin daha çok UV-C ışığı içeren 100-280 nm dalga boylarında ortaya çıktığı bildirilmiştir (Shama ve Alderson, 2005; Kısım ve Uzunoglu, 2012). Lu vd. (2016) de UV-C ışığın mantarlarda fenolik asit içeriğini ve antioksidan kapasitesini bariz bir şekilde arttığını gözlemlemişlerdir. Bu etki, araştırmacılar tarafından bitkilerin UV-C ışığa karşı verdiği hormetik yanıtlara bağlanmıştır. Ancak

antioksidan aktivitenin artış mekanizması tam olarak aydınlatılamamıştır.

SONUÇ

Çalışma sonuçları, PUV ışık yönteminin ısı ve kimyasal yöntemlere alternatif olarak mantar yüzeyinde *L. monocytogenes*'e karşı inaktivasyonda etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Böylece hem ısı işlemler ile vitaminler gibi bazı besleyici öğelerin kaybı engellenebilir hem de mantarda kimyasal kalıntı riskinin önüne geçilebilir.

PUV ışık uygulamasında kuvars cama olan yakınlık, uygulama süresi ve bu parametrelere bağlı olarak toplam enerji dozu arttıkça *L. monocytogenes*'in inaktivasyonunun arttığı belirlenmiştir. En yüksek inaktivasyon 1.96 ± 0.46 log KOB/g azalması ile 'şiddetli' olarak tanımlanan 5 cm-60 s PUV ışık işlemi sonrası elde edilmiştir. Ancak şiddetli işlem basamağında renk parametrelerinde diğer uzaklık ve işlem sürelerine göre daha fazla değişim gözlemlenmiştir. Bu durum, ürünün albenisini düşürecek ve tüketici tarafından daha az tercih edilmesine sebep olacaktır. Bununla birlikte en fazla nem kaybı ve su aktivitesi düşüşü de bu işlem basamağında gerçekleşmiştir. Fakat bu kaybın (%0.39-1.00), mantar kalitesi açısından dezavantaj oluşturacak seviyelerde olmadığı düşünülmektedir. Mantarların antioksidan kapasitesindeki %7.27 oranındaki iyileşme şiddetli işlem basamağında gözlenmesine rağmen; diğer kalite parametreleri için olumsuz sonuçlar elde edildiği için ışık kaynağından 5 cm uzaklıkta 60 s işlem süresi 45 s'ye düşürülerek kullanımı tercih edilebilir. Ancak en yüksek inaktivasyon değerlerinin 5 cm-60 s işleminde elde edildiği göz önüne alındığında renk kaybının engellenerek bu uygulama koşullarını optimize etmek daha tercih edilir bir seçenek olacaktır. Renkte meydana gelen koyulaşmaların, uygulama esnasında örnek kabini içerisinde oluşan sıcaklık yükselmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumda sıcaklık oluşumundan sorumlu kızılötesi ışınların sistem içerisinde mantar örneğine ulaşmadan filtre edilmesi, mantar yüzeyinde gözlemlenen esmerleşmeleri azaltabilir. Bununla birlikte, kullandığımız sistemde mevcut olan lamba soğutma sistemine ek olarak kabinin

soğumasını sağlayan bir sistem ile de sıcaklık artışlarının önüne geçilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-639 Nolu proje ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) BİDEB 2210-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Ancos de, B. Sgroppo, S., Plaza L., Cano, M.P. (2002). Possible nutritional and health-related value promotion in orange juice preserved by high-pressure treatment. *J Sci Food Agric*, 82, 790-796, doi: 10.1002/jsfa.1093.

Bialka, K.L., Demirci, A., Puri, V.M. (2008). Modeling the inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on raspberries and strawberries resulting from exposure to ozone or pulsed UV-light. *J Food Eng*, 85(3), 444-449, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.08.007.

Brennan, M., Le Port, G., Gormley, R. (2000). Post-harvest Treatment with Citric Acid or Hydrogen Peroxide to Extend the Shelf Life of Fresh Sliced Mushrooms. *Lebensm-Wiss Technol*, 33(4), 285-289, doi: 10.1006/fstl.2000.0657.

Cheigh, C.-I., Park, M.-H., Chung, M.-S., Shin, J.-K., Park, Y.-S. (2012). Comparison of intense pulsed light- and ultraviolet (UVC)-induced cell damage in *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7. *Food Control*, 25, 654-659, doi: 10.1016/j.foodcont.2011.11.032.

Cheigh, C.-I., Hwang, H.-J., Chung, M.S. (2013). Intense pulsed light (IPL) and UV-C treatments for inactivating *Listeria monocytogenes* on solid medium and seafoods. *Food Res Int*, 54, 745-752, doi: 10.1016/j.foodres.2013.08.025.

Doyle, M.P., Schoeni, J.L. (1986). Isolation of *Campylobacter jejuni* from retail mushrooms. *Appl Environ Microbiol*, 51(2), 449-450.

Dunn, J., (1995). Pulsed-light treatment of food and packaging. *Food Technol*, 49(9), 95-98.

Federal Register. (1999). Pulsed light treatment of food. *Fed. Regist.* 66:338829-30.

Gayan, E., Serrano, M.J., Pagan, R., Alvarez, I., Condoni S. (2015). Environmental and biological factors influencing the UV-C resistance of *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiol (Lond)*, 46, 246-253, doi: 10.1016/j.fm.2014.08.011.

Gómez-López, V.M., Ragaert, P., Debevere, J., Devlieghere, F. (2007). Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends Food Sci Technol*, 18, 464-473, doi: 10.1016/j.tifs.2007.03.010.

Guan, W., Fan, X., Ruixiang, Y. (2012). Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. *Postharvest Biol Technol*, 64(1), 119-125, doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.05.017.

Guan, W., Fan, X., Yan, R. (2013). Effect of combination of ultraviolet light and hydrogen peroxide on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, native microbial loads, and quality of button mushrooms. *Food Control*, 34(2), 554-559, doi: 10.1016/j.foodcont.2013.05.027.

Gursoy, N., Sarikurkcu, C., Cengiz, M., Solak, M.H. (2009). Antioxidant activities, metal contents, total phenolics and flavonoids of seven *Morchella* species. *Food Chem Toxicol*, 47(9), 2381-2388, doi: 10.1016/j.fct.2009.06.032.

Gursoy, N., Sarikurkcu, C., Tepe, B., Solak, M.H. (2010). Evaluation of Antioxidant Activities of 3 Edible Mushrooms: *Ramaria flava* (Schaeff.: Fr.) Quél., *Rhizogogon roseolus* (Corda) T.M. Fries., and *Russula delica* Fr. *Food Sci Biotechnol*, 19(3), 691-696, doi: 10.1007/s10068-010-0097-8.

Heleno, S.A., Barros, L., Martins, A., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Glamoclija, J., Sokovic, M., Ferreira, I.C.F.R. (2015). Nutritional value, bioactive compounds, antimicrobial activity and bioaccessibility studies with wild edible mushrooms. *Lebensm-Wiss Technol*, 63(2), 799-806, doi: 10.1016/j.lwt.2015.04.028.

Hillegas, S.L., Demirci, A. (2003). Inactivation of *Clostridium sporogenes* in Clover Honey by Pulsed UV-light Treatment. *Trans ASABE (Am Soc Agric Biol Eng)*, Manuscript FP 03 009. Vol. V. December 2003.

Hilton, S.T., de Moraes, J.O., Moraru, C.I. (2017). Effect of sublethal temperatures on pulsed light inactivation of bacteria. *Innov Food Sci Emerg*

- Technol*, 39, 49-54, doi: 10.1016/j.ifset.2016.11.002.
- Ignat, A., Manzocco, L., Maifreni, M., Bartolomeoli, I., Nicoli, M.C. (2014). Surface decontamination of fresh-cut apple by pulsed light: Effects on structure, colour and sensory properties. *Postharvest Biol Technol*, 91, 122-127, doi: 10.1016/j.postharvbio.2014.01.005.
- Jiang, T., Feng, L., Li, J. (2012). Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) treated with chitosan-glucose complex coating under cold storage. *Food Chem*, 131(3), 780-786, doi: 10.1016/j.foodchem.2011.08.087.
- Keklik, N.M., Demirci, A., Puri, V.M. (2009). Inactivation of *Listeria monocytogenes* on unpackaged and vacuum-packaged chicken frankfurters using pulsed UV-light. *J Food Sci*, 74(8), M431-439, doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01319.x.
- Keklik, N.M., Demirci, A., Puri, V.M. (2010). Decontamination of unpackaged and vacuum-packaged boneless chicken breast with pulsed ultraviolet light. *Poult Sci*, 89, 570-581, doi: 10.3382/ps.2008-00476.
- Kısım, A., Uzunoglu, S. (2012). Hormesis: Toksik Ajanların Düşük Dozlarına Uyum Sağlamada Öncül Fenomen. *J Forensic Med*, 26(3), 180-190, doi: 10.5505/adlitip.2012.96720.
- Krishnamurthy, K., Demirci, A., Irudayaraj, J.M. (2007). Inactivation of *Staphylococcus aureus* in milk using flow-through pulsed UV-light treatment system. *J Food Sci*, 72(7), 233-239, doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00438.x
- Lu, Y., Zhang, J., Wang, X., Lin, Q., Liu, W., Xie, X., Wang, Z., Guan, W. (2016). Effects of UV-C irradiation on the physiological and antioxidant responses of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during storage. *Int J Food Sci Technol*, 51(6), 1502-1508, doi: 10.1111/ijfs.13100.
- Miles, P.G., Chang, S.T. (2004). *Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact*. 2nd Edition, CRC Press, United States of America, 431 p. ISBN: 0203492080.
- Murcia, M.A., Ayerra, B.L., Martinez-Tome, M., Vera, A.M., Garcia-Carmona, F. (2000). Evolution of ascorbic acid and peroxidase during industrial processing of broccoli. *J Sci Food Agric*, 80, 1882-1886.
- Oms-Oliu, G., Aguiló-Aguayo, I., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. (2010). Effects of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biol Technol*, 56(3), 216-222, doi: 10.1016/j.postharvbio.2009.12.011.
- Pataro, G., Muñoz, A., Palgan, I., Noci, F., Ferrari, G., Lyng, J.G. (2011). Bacterial inactivation in fruit juices using a continuous flow Pulsed Light (PL) system. *Food Res Int*, 44(6), 1642-1648, doi: 10.1016/j.foodres.2011.04.048.
- Samadpour, M., Barbour, M.W., Nguyen, T., Cao, T.-M., Buck, F., Depavia, G.A., Mazengia, E., Yang, P., Alfi, D., Lopes, M., Stopforth, J.D. (2006). Incidence of Enterohemorrhagic *Escherichia coli*, *Escherichia coli* O157, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in Retail Fresh Ground Beef, Sprouts, and Mushrooms. *J Food Prot*, 69(2), 441-443.
- Shama, G., Alderson, P. (2005). UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialisation. *Trends Food Sci Technol*, 16(4), 128-136, doi: 10.1016/j.tifs.2004.10.001.
- Takeshita, K., Shibato J., Sameshima, T., Fukunaga, S., Isobe, S., Arihara, K., Itoh, M. (2003). Damage of yeast cells induced by pulsed light irradiation. *Int J Food Microbiol*, 85(1-2), 151-158, doi: 10.1016/S0168-1605(02)00509-3.
- Wang, T., Macgregor, S.J., Anderson, J.G., Woolsey, G.A. (2005). Pulsed ultra-violet inactivation spectrum of *Escherichia coli*. *Water Res*, 39(13), 2921-2925, doi: 10.1016/j.watres.2005.04.067.
- Wekhof, A. (2000). Disinfection with Flash Lamps. *PDA J Pharm Sci Technol*, 54(3), 264-276.
- Yuk, H.-G., Yoo, M.-Y., Yoon, J.-W., Marshall, D.L., Oh, D.-H. (2007). Effect of combined ozone and organic acid treatment for control of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on enoki mushroom. *Food Control*, 18(5), 548-553, doi: 10.1016/j.foodcont.2006.01.004.