

Çilek Meyvelerinde (*Fragaria x ananassa*) Hasat Sonrası Eksojen Melatonin Uygulamasının Antioksidatif Enzimler Üzerine Etkileri

Effects of Postharvest Exogenous Melatonin Application on Antioxidative Enzymes in Strawberry Fruit (*Fragaria x ananassa*)

Fırat İŞLEK

Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi
f.islek@alparslan.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-3157-3680

Nurettin YILMAZ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
ORCID ID: 0000-0003-0655-5165

Öz

Çilek (*Fragaria x ananassa*) dünya genelinde yetiştiriciliği yapılan karakteristik olarak non-klimakterik olan bir meyvedir ancak hasat edilen meyvenin kısa muhafaza ömrü, üzerinde durulması gereken bir zorluk olmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, 200 µM melatonin uygulanan Albion çilek çeşidi meyvelerinin delikli plastik şale ve düşük yoğunluklu polietilen (LDPE-23 µm kalınlığında) ambalaj filmi içerisinde 0 °C ve %90-95 oransal nem içeren karanlık soğuk hava deposunda 15 gün boyunca depolanmıştır. Depolama süresince her 3 günde bir meyvelerde katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi, polifenoloksidaz (PPO) aktivitesi, Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi ve melatonin içeriği incelenmiştir. Analizler sonucunda, 200 µM melatonin uygulamasına takiben çileklerin LDPE film içerisinde depolanması kalitenin korunmasında ve kararmaların inhibe edilmesinde daha etkili bir yöntem olabileceği dolayısıyla 15 gün boyunca başarılı bir şekilde depolanabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca hem uygulamalar arası hem de depolama materyalleri arasında istatistiksel olarak önemli farklıklar ($p<0.05$) tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çilek Meyveleri, Hasat Sonrası, Eksojen Melatonin, Antioksidatif Enzimler

Abstract

Strawberry (*Fragaria x ananassa*) is a characteristically non-climacteric fruit cultivated worldwide, but the short storage life of the harvested fruit remains a challenge. In this study, the fruits of Albion strawberry variety treated with 200 µM melatonin were stored in perforated plastic chalets and low density polyethylene (LDPE-23 µm thick) packaging film in dark cold storage at 0 °C and 90-95% relative humidity for 15 days. Catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD) activity, polyphenoloxidase (PPO) activity, ascorbate peroxidase (APX) activity and melatonin content were analysed every 3 days during storage. As a result of the analyses, it was concluded that storage of strawberries in LDPE film following 200 µM melatonin application may be a more effective method in preserving quality and inhibiting darkening, and therefore can be stored successfully for 15 days. In addition, statistically significant differences ($p<0.05$) were found both between treatments and between storage materials.

Keywords: Strawberry Fruits, Post-Harvest, Exogenous Melatonin, Antioxidative Enzymes

GİRİŞ

Çilek (*Fragaria x ananassa*) dünya genelinde yetiştiriciliği yapılan ve ekonomik açıdan oldukça önemli olan meyve türlerinden biridir. Günümüzde birçok kişi tarafından sevilerek tüketilen bu meyvenin duyusal kalitesi, büyük ölçüde olgunlaşma sırasında meydana gelen bazı etmenler tarafından belirlenmektedir (Giampieri vd., 2012). Olgunlaşma, hormonal sinyalleri kapsayan, transkripsiyon faktörlerinin (TFs), transkripsiyon sonrası düzenleyicilerin (miRNA ve circRNA), hücrel homeostaz sinyallerinin değişen ifade profilinden, örneğin antosiyanin sentezi, hücre duvarı polimerlerinin çözünürleştirilmesi ve ester sentezinde olduğu gibi kalitatif karakterlerde yer alan enzimlere kadar çeşitli moleküler ve biyokimyasal-fizyolojik mekanizmaları tetikleyen son derece koordineli ve geri dönüşümsüz bir metabolik süreçtir (Luo vd., 2020; Martínez-Rivas vd., 2022). Çilek

Received 22 January 2024; Received in revised form 26 February 2024;

Accepted 06 March 2024; Available online 31 March 2024;

doi: 10.5281/zenodo.14680435

meyveleri, yumuşak dokuları ve mikrobiyal enfeksiyona duyarlılıkları sebebiyle hasat sonrası depolama sırasında çabuk bozulabilmekte ve bu durum hasat sonrası ömrünü sınırlamaktadır (Xu vd., 2019).

Çilek karakteristik olarak non-klimakterik bir meyvedir. Depolama sırasında meyve bozulmasına neden olan ve çilek meyve kalitesini etkileyen en ciddi hasat sonrası sorunu Botrytis cinerea'nın neden olduğu gri küf hastalığıdır (Williamson vd., 2007). Enfekte çilek meyvesinin ilk belirtileri, 48 saat içinde tüm meyve yüzeyini kaplayan açık kahverengi lezyonlar ve meyve sertliğinin kaybıdır. Gri küf, yılda %25-35 arasında bir kayba neden olabilmektedir. Dolayısıyla, patojenlerin neden olduğu hasat sonrası meyve çürümelerini azaltmak ve meyveyi patojen enfeksiyonlarından korumak amacıyla metil bromür, kükürt dioksit, fosfin ve etil format gibi çeşitli kimyasal fumigantlar kullanılmaktadır (Jamieson vd., 2012). Ancak, kimyasallar kullanılarak yapılan fumigasyonun çevre üzerinde olumsuz bir etkisi bulunmaktadır ve bu kimyasallar insan sağlığı açısından zehirli özellik taşımaktadır. Günümüzde, hasat sonrası teknoloji araştırmaları, patojenleri kontrol etmek ve meyve ve sebzelerin kalitesini korumak için kimyasalların kullanımının yerine çevre dostu teknolojilerin uygulanmasına odaklanmaktadır.

Bitki hormonları, meyve ve sebzelerde büyüme, gelişme ve çevresel sinyallere verilen tepkilerin düzenlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Wani vd., 2016; EL Sabagh vd., 2022). Bitki hormonları, bitkinin bir bölgesinde üretilen ve diğer bölgelerinde etkilere neden olan kimyasal haberciler olarak görev alabilmektedir (Wani vd., 2016; Voß vd., 2014). Bu fitohormonlar etilen, oksinler, absisik asit (ABA), sitokininler, gibberellinler (GA), jasmonatlar (JA), brassinosteroidler (BR) ve salisilik asit (SA) olmak üzere birkaç farklı grupta sınıflandırılabilir. Ayrıca, melatonin (MT) ve strigolaktonlar (ST) gibi diğer organik bileşiklerin de bitki hormonu olarak sınıflandırılmasına ilişkin tartışmalar devam etmektedir (Umehara vd., 2008; Zwanenburg & Pospíšil 2013; Arnao & Hernández-Ruiz 2018; Zwanenburg & Blanco-Ania 2018; Aliche vd., 2020)

Melatonin (N-asetil-5-metoksitriptamin) bitkilerde, hayvanlarda ve insanlarda yaygın olarak bulunmaktadır (Arnao & Hernández-Ruiz, 2015; Reiter vd., 2015). Melatonin (N-asetil-5-metoksitriptamin), farklı alemlerde çok sayıda hücre ve fizyolojik etkiye sahip pleiotropik bir moleküldür. İlk olarak 1958'de sığır epifiz bezinde tespit edilmiştir (Lerner vd., 1958).

Melatonin içeriğinin abiyotik ve biyotik strese bağlı olarak artması sonucunda melatonin; tuz, kuraklık, soğuk ve patojenler gibi abiyotik ve biyotik stresin azaltılmasında endojen bir sinyal molekülü görevi üstlenmektedir (Arnao & Hernández-Ruiz, 2015, Tan vd., 2012). Bahçe ürünlerinde yüksek melatonin birikimi sadece insan sağlığı açısından yararlı olmakla kalmamakta, aynı zamanda melatoninin biyotik ve abiyotik stres üzerindeki zayıflatıcı rolleri nedeniyle ürünler açısından da faydalı olabilmektedir (Tan ve ark., 2012). Bitkilerde fitohormonlar önemli sinyal bileşikleridir. Son zamanlarda, fitohormonlar klimakterik olmayan meyvelerin olgunlaşması ve yaşlanmasındaki rolü oldukça önem kazanmaktadır (Li vd., 2014).

Ayrıca melatonin, reaktif oksijen türlerini (ROT) elimine eden bir antioksidan olarak hareket ederek, antioksidan sistemi aktive edip diğer antioksidanların etkinliğini artırarak bitkilerin abiyotik ve biyotik streslere karşı toleransını da artırmaktadır (Debnath vd., 2019). Ekzojen melatonin ayrıca meyve ve sebzelerde solunum hızlarını azaltmakta ve süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) antioksidatif enzim aktivitesini artırarak hasat sonrası yaşlanmayı geciktirdiği bildirilmektedir (Gao vd., 2016; Xin, Si & Kou, 2017; Zhu vd., 2018).

Mevcut çalışma, hasat sonrası farklı depolama yöntemlerinde melatoninin uygulamasının Albion çilek çeşidi meyvesinde depolama performansı ve antioksidan enzimler üzerine etkileri araştırmak amacıyla yürütülmüştür.

MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada meyve materyali olarak, Albion çilek çeşidi kullanılmıştır. Hasat edilen meyveler, 6 saat +4 °C'de ön soğutmaya tabii tutularak meyve iç ısı düşürülmüştür. Bütün meyveler çeşme suyuyla yıkandıktan sonra saf su ile durulanıp vantilatör yardımıyla kuruma işlemi yapılmıştır. Daha sonra aynı olgunluğa sahip meyveler iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup meyvelere; kontrol (saf su ile muamele edilmiş) ve 200 µM melatonin çözeltisine 2 dakika süreyle daldırıldıktan sonra kurutulan meyveler delikli plastik şaleler içerisinde depolanmıştır. İkinci grup meyvelere ise; kontrol (saf su ile muamele edilmiş) ve 200 µM melatonin çözeltisine 2 dakika süreyle daldırıldıktan sonra kurutulan meyveler köpük tabaklara yerleştirilerek düşük yoğunluklu polietilen (LDPE-23 µm kalınlığında) ambalaj filmi içerisinde depolanmıştır. Ambalajlanan meyveler 0 °C ve %90-95 oransal nem içeren karanlık soğuk hava deposunda 15 gün boyunca depolanmıştır.

Received 22 January 2024; Received in revised form 26 February 2024;

Accepted 06 March 2024; Available online 31 March 2024;

doi: 10.5281/zenodo.14680435

Antioksidan enzim analizleri

Depolama süresince meyvelerde katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi ve polifenoloksidaz (PPO) aktivitesi analizleri Yılmaz ve Çavuşoğlu (2020) belirttikleri yöntemle yapılmıştır. Askorbat peroksidaz (APX) aktivitesi ise Jebara ve ark., (2005) belirttikleri yöntemle yapılmıştır.

Melatonin içeriğinin belirlenmesi

Depolama süresince meyvelerde bulunan melatonin içeriği Liu vd. (2018) yöntemine göre belirlenmiştir.

Verilerin değerlendirilmesi

Çalışmada, depolama materyalleri ve uygulamalar faktör olarak değerlendirilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler Ortalama ve Standart hata olarak ifade edilmiştir. Depolama materyalleri ve uygulamalar arasında fark olup olmadığını belirlemek amacıyla Independent-Samples T Testi uygulanmıştır. Hesaplamalarda istatistik anlamlılık düzeyi %5 olarak alınmış ve hesaplamalar için 'SPSS versiyon 20.0' istatistik paket programı kullanılmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Depolama başlangıcına göre çileklerdeki CAT, SOD ve APX enzimlerinin içeriğinde depolamanın 3. gününde bir artış, daha sonraki analiz günlerinde ise bir azalış trendi olduğu gözlemlenmiştir. Depolama periyodu süresinde en yüksek antioksidan enzim içerikleri (CAT, SOD ve APX) depolama materyalleri fark etmeksizin melatonin uygulanan meyvelerde gözlemlenmiştir. Ayrıca LDPE film ile depolanan meyve grubunda şaleler ile depolanan meyve grubuna göre daha yüksek CAT, SOD ve APX enzim aktiviteleri tespit edilmiştir. Hem uygulamalar arası hem de depolama materyalleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p < 0.05$) tespit edilmiştir (Tablo 1). Öte yandan çilek meyvelerindeki PPO enzim aktivitesi bütün meyve gruplarında depolama süresince bir artış sergilemiştir. Fakat hem melatonin uygulanan hem de LDPE film ile depolanan meyvelerde bu artışın diğer meyve gruplarına göre baskılandığı tespit edilmiştir. Melatonin ve LDPE ile depolanan meyvelerin PPO enzim aktivitesi içeriğinde istatistiksel olarak azalan bir önemin ($p < 0.05$) olduğu gözlemlenmiştir. (Tablo 1).

Tablo 1: Depolama süresince CAT, SOD, APX ve PPO enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler. Veriler ortalama \pm standart hata olarak ifade edilmiştir.

Depolama Materyali	Uygulamalar	Depolama süreleri (gün)					
		0	3	6	9	12	15
CAT (nmol g ⁻¹)							
Şale	Kontrol	0.93 \pm 0.05	0.99 \pm 0.01 Bb	0.78 \pm 0.05 Bb	0.75 \pm 0.04 Bb	0.68 \pm 0.02 Bb	0.59 \pm 0.02 Bb
	Melatonin	0.93 \pm 0.05	1.42 \pm 0.04 Ab	1.38 \pm 0.01 Ab	1.34 \pm 0.01 Ab	1.30 \pm 0.01 Ab	1.21 \pm 0.01 Ab
LDPE	Kontrol	0.93 \pm 0.05	1.25 \pm 0.00 Ba	0.90 \pm 0.02 Ba	0.85 \pm 0.04 Ba	0.79 \pm 0.05 Ba	0.76 \pm 0.01 Ba
	Melatonin	0.93 \pm 0.05	1.75 \pm 0.01 Aa	1.63 \pm 0.01 Aa	1.61 \pm 0.01 Aa	1.54 \pm 0.04 Aa	1.46 \pm 0.03 Aa
SOD (unit g ⁻¹)							
Şale	Kontrol	177.63 \pm 0.27	187.99 \pm 0.48 Bb	179.24 \pm 1.00 Bb	176.91 \pm 0.41 Bb	174.96 \pm 1.91 Bb	167.75 \pm 0.18 Bb
	Melatonin	177.63 \pm 0.27	223.95 \pm 1.10 Ab	226.32 \pm 0.48 Ab	221.03 \pm 0.86 Ab	214.62 \pm 0.63 Ab	210.97 \pm 0.60 Ab
LDPE	Kontrol	177.63 \pm 0.27	194.00 \pm 0.80 Ba	196.00 \pm 0.84 Ba	193.09 \pm 0.75 Ba	188.27 \pm 1.11 Ba	183.99 \pm 0.42 Ba
	Melatonin	177.63 \pm 0.27	232.62 \pm 0.85 Aa	236.59 \pm 0.89 Aa	231.98 \pm 1.50 Aa	229.11 \pm 2.31 Aa	224.82 \pm 0.62 Aa
APX (nmol g ⁻¹)							
Şale	Kontrol	1.34 \pm 0.06	1.48 \pm 0.02 Bb	1.45 \pm 0.03 Bb	1.39 \pm 0.01 Bb	1.29 \pm 0.04 Bb	1.07 \pm 0.02 Bb
	Melatonin	1.34 \pm 0.06	1.59 \pm 0.02 Ab	1.78 \pm 0.01 Ab	1.73 \pm 0.02 Ab	1.61 \pm 0.03 Ab	1.49 \pm 0.02 Ab
LDPE	Kontrol	1.34 \pm 0.06	1.53 \pm 0.02 Ba	1.54 \pm 0.02 Ba	1.50 \pm 0.02 Ba	1.47 \pm 0.02 Ba	1.39 \pm 0.04 Ba
	Melatonin	1.34 \pm 0.06	1.69 \pm 0.01 Aa	1.88 \pm 0.03 Aa	1.82 \pm 0.02 Aa	1.65 \pm 0.03 Aa	1.58 \pm 0.02 Aa
PPO (unit g ⁻¹)							
Şale	Kontrol	2.24 \pm 0.01	3.55 \pm 0.01 Bb	5.04 \pm 0.01 Bb	8.03 \pm 0.02 Bb	8.21 \pm 0.01 Bb	9.18 \pm 0.01 Bb
	Melatonin	2.24 \pm 0.01	3.01 \pm 0.04 Ab	3.96 \pm 0.01 Ab	5.66 \pm 0.06 Ab	6.20 \pm 0.01 Ab	6.40 \pm 0.02 Ab

Received 22 January 2024; Received in revised form 26 February 2024;

Accepted 06 March 2024; Available online 31 March 2024;

doi: 10.5281/zenodo.14680435

LDPE	Kontrol	2.24 ± 0.01	2.58 ± 0.05 Ba	3.24 ± 0.04 Ba	4.45 ± 0.03 Ba	4.57 ± 0.01 Ba	4.90 ± 0.03 Ba
	Melatonin	2.24 ± 0.01	2.50 ± 0.01 Aa	2.83 ± 0.00 Aa	3.89 ± 0.03 Aa	3.95 ± 0.03 Aa	4.52 ± 0.02 Aa

Farklı büyük harfler aynı depolama materyali ve depolama süresi için ‘uygulamalar arası’ fark önemlidir. Farklı küçük harfler aynı uygulama ve depolama süresi için ‘depolama materyalleri arası’ fark önemlidir. LDPE: düşük yoğunluklu polietilen film.

Tablo 2: Depolama süresince melatonin içeriğinde meydana gelen değişimler. Veriler ortalama ± standart hata olarak ifade edilmiştir.

Depolama Materyali	Uygulamalar	Depolama süreleri (gün)					
		0	3	6	9	12	15
		Melatonin içeriği (ng g ⁻¹)					
Şale	Kontrol	1.41 ± 0.02	1.63 ± 0.03 Bb	2.89 ± 0.02 Bb	2.37 ± 0.01 Bb	2.31 ± 0.01 Bb	1.91 ± 0.01 Bb
	Melatonin	1.41 ± 0.02	2.41 ± 0.04 Ab	4.55 ± 0.10 Ab	3.55 ± 0.10 Ab	3.16 ± 0.04 Ab	2.41 ± 0.03 Ab
LDPE	Kontrol	1.41 ± 0.02	1.72 ± 0.03 Ba	3.86 ± 0.03 Ba	3.10 ± 0.03 Ba	2.79 ± 0.02 Ba	2.14 ± 0.01 Ba
	Melatonin	1.41 ± 0.02	2.74 ± 0.03 Aa	5.03 ± 0.04 Aa	4.00 ± 0.03 Aa	3.61 ± 0.04 Aa	2.91 ± 0.05 Aa

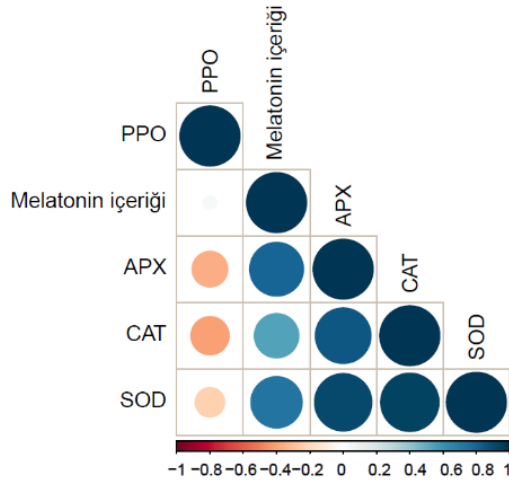
Farklı büyük harfler aynı depolama materyali ve depolama süresi için ‘uygulamalar arası’ fark önemlidir. Farklı küçük harfler aynı uygulama ve depolama süresi için ‘depolama materyalleri arası’ fark önemlidir. LDPE: düşük yoğunluklu polietilen film.

Melatonin içeriğinin bütün meyve gruplarında depolamanın 6. gününe kadar bir artış olmasına karşın, daha sonraki analiz günlerinde bir azalış trendi tespit edilmiştir. Benzer şekilde, melatonin uygulanan ve LDPE film ile depolanmış meyvelerde daha yüksek seviyelerde melatonin içeriği saptanmıştır. Ayrıca hem uygulamalar arası hem de depolama materyalleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar (p<0.05) tespit edilmiştir (Tablo 2).

Meyve yaşlanması, solunumun ve hasat sonrası reaktif oksijen türleri (ROT) oluşumunun sonucudur (John vd., 2024). Katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX) ve peroksidaz (POD) enzimleri reaktif oksijen türlerinin temizlenmesinde aktif rol oynayan temel antioksidan enzimleridir (Mittler, 2002). CAT hücrelerde H₂O₂'nin parçalanmasından sorumludur ve antioksidan savunma sisteminin önemli bir parçasıdır. Enzim aktivitesindeki artış, hücrelerin oksidatif stresle başa çıkmak için daha fazla CAT ürettiğini gösterir (Ge vd., 2024). APX ayrıca hücrelerde H₂O₂'nin askorbik asit (AsA) ile indirgenmesinden sorumludur ve oksidatif stresin nötralizasyonunda önemli bir rol oynar (Ge vd., 2024). CAT ve POD, H₂O₂'yi parçalayan ana enzimler olmasına rağmen, SOD hücreleri oksidatif hasardan koruyabilir (Mittler, 2002). Dahası, SOD hücrelerdeki süperoksit radikalinin (O₂⁻) detoksifikasyonundan sorumlu bir enzimdir. Bu bulgular, melatonin uygulamasının hücrelerde antioksidan savunma enzimlerini aktive ederek ve dolayısıyla bu savunma enzimleri ROT seviyesinin düşmesine yol açarak, çilek meyvelerinin depolama kalitesini iyileştirmeye yardımcı olabileceğini ortaya koymaktadır. Mevcut çalışmanın bulguları, hasat sonrası melatonin uygulanan şeftali (Gao vd., 2016), litchi (Zhang vd., 2018) ve elma (Onik vd., 2021) çalışmalarının bulgularıyla uyumludur. Melatonin uygulamasının enzim aktivitesini artırarak çilek meyvelerinin hasat sonrası koruma kalitesini iyileştirdiğini göstermiştir.

PPO hasat edilen meyve ve sebzelerde fenolik bileşikler ile etkileşime girerek enzimatik esmerleşmeye/kararmaya ve dolayısıyla kalite kayıplarına yol açmaktadır (Cavusoglu vd., 2021) Hasat sonrası elma meyvelerine (Onik vd., 2021) ve litchi meyvelerine (Zhang vd., 2018) melatonin uygulamasının PPO enzim aktivitesini inhibe ettiği bildirilmiştir. Benzer şekilde mevcut çalışmanın sonuçları yukarıda bahsi geçen çalışmalar ile paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Melatonin uygulanan meyvelerde PPO enzim aktivitesinin inhibe edildiği saptanmıştır.

Hasat sonrası çileklere uygulanan ekzojen melatonin uygulamasının endojen melatonin içeriğini artırdığını ve bunun melatonin biyosentez yolundaki gen ekspresyon seviyelerinin artmasıyla ilişkili olduğunu bildirmişler (Liu vd., 2018). Ayrıca çileklerde uygulanan ekzojen melatonin uygulamasının meyvelerin içeriğindeki melatonin içeriğinde artışlara neden olduğu bildirilmiştir (Liu vd., 2018; Arabia vd., 2025). Benzer şekilde mevcut çalışmada, ekzojen uygulanan melatonin uygulamasının çilek meyvelerin içeriğinde melatonin içeriğini artırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 1: Depolama süresince çileklerin ölçülen parametreleri arasındaki Pearson korelasyon ilişkisi.

Melatonin içeriği ile CAT, SOD ve APX enzim aktiviteleri arasında pozitif bir korelasyonun olduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan PPO ile CAT, SOD ve APX enzim aktiviteleri arasında negatif bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1).

SONUÇ

Melatoninin bir biyostimulan olarak kullanımı göz önüne alındığında, melatoninin sadece antioksidan savunma sistemine uyarlayan bir sinyal molekülü olarak değil, aynı zamanda çilek meyvesinin yaşlanmasını geciktirmek için güçlü bir antioksidan olarak da kullanılabileceğini gösterdi. Bu nedenle, melatonin uygulanmasının hasattan sonra enzimatik antioksidan savunma sistemlerini aktive etmesi nedeniyle çilek meyvesinin ürün kalitesinin korunduğu söylenebilir. Sonuç olarak, 200 μ M melatonin uygulamasına takiben çileklerin LDPE film içerisinde depolanması kalitenin korunmasında ve kararmaların inhibe edilmesinde daha etkili bir yöntem olabileceği saptanmıştır.

KAYNAKÇA

- Aliche, E. B., Screpanti, C., De Mesmaeker, A., Munnik, T., & Bouwmeester, H. J. (2020). Science and application of strigolactones. *New Phytologist*, 227(4), 1001-1011.
- Arabia, A., Pallarés, N., Munné-Bosch, S., & Muñoz, P. (2025). Variability in strawberry tunnels impacts fruit quality and limits melatonin effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Arnao, M. B., & Hernández-Ruiz, J. (2015). Functions of melatonin in plants: a review. *Journal of pineal research*, 59(2), 133-150.
- Arnao, M. B., & Hernández-Ruiz, J. (2018). Melatonin and its relationship to plant hormones. *Annals of Botany*, 121(2), 195-207.
- Cavusoglu, S., Uzun, Y., Yilmaz, N., Ercisli, S., Eren, E., Ekiert, H., ... & Szopa, A. (2021). Maintaining the quality and storage life of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) with gum, agar, sodium alginate, egg white protein, and lecithin coating. *Journal of Fungi*, 7(8), 614.
- Debnath, B., Islam, W., Li, M., Sun, Y., Lu, X., Mitra, S., ... & Qiu, D. (2019). Melatonin mediates enhancement of stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5), 1040.
- EL Sabagh, A., Islam, M. S., Hossain, A., Iqbal, M. A., Mubeen, M., Waleed, M., ... & Abdelhamid, M. T. (2022). Phytohormones as growth regulators during abiotic stress tolerance in plants. *Frontiers in Agronomy*, 4, 765068.

Gao, H., Zhang, Z. K., Chai, H. K., Cheng, N., Yang, Y., Wang, D. N., Yang, T., Cao, W. (2016). Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. *Postharvest Biol Technol.* 118:103–110.

Gao, H., Zhang, Z. K., Chai, H. K., Cheng, N., Yang, Y., Wang, D. N., ... & Cao, W. (2016). Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 118, 103-110.

Ge, Q., Zhao, S., Shao, X., Wei, Y., Chen, J., Wang, H., Xu, F. (2024). Transcriptomic analysis reveals the resistance mechanism of flavonoids from *Sedum aizoon* L. to *Rhizopus nigricans* in postharvest strawberry fruit. *Postharvest Biol Technol.* 209:112723.

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), 9-19.

Jamieson, L. E., Page-Weir, N. E. M., Chhagan, A., Brash, D. W., Klementz, D., Bycroft, B. L., ... & Woolf, A. B. (2012). Phosphine fumigation to disinfest kiwifruit. *New Zealand Plant Protection*, 65, 35-43.

Jebara, S., Jebara, M., Limam, F., & Aouani, M. E. (2005). Changes in ascorbate peroxidase, catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase activities in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress. *Journal of plant physiology*, 162(8), 929-936.

John, A., Isaac, W. A., Daley, O., Kahramanoglu, İ. (2024). Biological and environmental factors affecting postharvest quality of fruits and vegetables, p36–64. In: Kahramanoğlu I (ed). *Postharvest physiology and handling of horticultural crops*. CRC Press.

Lerner, A. B., Case, J. D., Takahashi, Y., Lee, T. H., & Mori, W. (1958). Isolation of melatonin, the pineal gland factor that lightens melanocyteS1. *Journal of the american chemical society*, 80(10), 2587-2587.

Li, D., Luo, Z., Mou, W., Wang, Y., Ying, T., & Mao, L. (2014). ABA and UV-C effects on quality, antioxidant capacity and anthocyanin contents of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.). *Postharvest Biology and Technology*, 90, 56-62.

Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., & Zheng, L. (2018). Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 47-55.

Luo, Y., Ge, C., Ling, Y., Mo, F., Yang, M., Jiang, L., ... & Tang, H. (2020). ABA and sucrose co-regulate strawberry fruit ripening and show inhibition of glycolysis. *Molecular Genetics and Genomics*, 295, 421-438.

Martínez-Rivas, F. J., Blanco-Portales, R., Molina-Hidalgo, F. J., Caballero, J. L., Perez de Souza, L., Alseekh, S., ... & Rodríguez-Franco, A. (2022). Azacytidine arrests ripening in cultivated strawberry (*Fragaria× ananassa*) by repressing key genes and altering hormone contents. *BMC Plant Biology*, 22(1), 278.

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7(9): 405–410.

Onik, J. C., Wai, S. C., Li, A., Lin, Q., Sun, Q., Wang, Z., & Duan, Y. (2021). Melatonin treatment reduces ethylene production and maintains fruit quality in apple during postharvest storage. *Food Chemistry*, 337, 127753.

Reiter, R. J., Tan, D. X., Zhou, Z., Cruz, M. H. C., Fuentes-Broto, L., & Galano, A. (2015). Phytomelatonin: assisting plants to survive and thrive. *Molecules*, 20(4), 7396-7437.

Received 22 January 2024; Received in revised form 26 February 2024;

Accepted 06 March 2024; Available online 31 March 2024;

doi: 10.5281/zenodo.14680435

- Tan, D. X., Hardeland, R., Manchester, L. C., Korkmaz, A., Ma, S., Rosales-Corral, S., & Reiter, R. J. (2012). Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. *Journal of experimental botany*, 63(2), 577-597.
- Umehara, M., Hanada, A., Yoshida, S., Akiyama, K., Arite, T., Takeda-Kamiya, N., ... & Yamaguchi, S. (2008). Inhibition of shoot branching by new terpenoid plant hormones. *Nature*, 455(7210), 195-200.
- Voß, U., Bishopp, A., Farcot, E., & Bennett, M. J. (2014). Modelling hormonal response and development. *Trends in plant science*, 19(5), 311-319.
- Wani, S. H., Kumar, V., Shriram, V., & Sah, S. K. (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The crop journal*, 4(3), 162-176.
- Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., & Van Kan, J. A. (2007). *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease. *Molecular plant pathology*, 8(5), 561-580.
- Xin, D., Si, J., & Kou, L. (2017). Postharvest exogenous melatonin enhances quality and delays the senescence of cucumber. *Acta Horticulturae Sinica*, 44(5), 891.
- Xu, Y., Charles, M. T., Luo, Z., Mimee, B., Tong, Z., Véronneau, P. Y., ... & Rolland, D. (2019). Ultraviolet-C priming of strawberry leaves against subsequent *Mycosphaerella fragariae* infection involves the action of reactive oxygen species, plant hormones, and terpenes. *Plant, cell & environment*, 42(3), 815-831.
- Yılmaz, N., & Çavuşoğlu, Ş. (2020). Effect of methyl jasmonate on enzymatic browning and antioxidant enzyme system of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.). *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 30(2), 419-428.
- Zhang, Y., Huber, D. J., Hu, M., Jiang, G., Gao, Z., Xu, X., ... & Zhang, Z. (2018). Delay of postharvest browning in litchi fruit by melatonin via the enhancing of antioxidative processes and oxidation repair. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(28), 7475-7484.,
- Zhu, L., Hu, H., Luo, S., Wu, Z., & Li, P. (2018). Melatonin delaying senescence of postharvest broccoli by regulating respiratory metabolism and antioxidant activity. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 34(3), 300-308.
- Zwanenburg, B., & Blanco-Ania, D. (2018). Strigolactones: new plant hormones in the spotlight. *Journal of experimental botany*, 69(9), 2205-2218.
- Zwanenburg, B., & Pospíšil, T. (2013). Structure and activity of strigolactones: new plant hormones with a rich future. *Molecular plant*, 6(1), 38-62.