

BİTKİLERDE MELATONİNİN GÜN VE YIL İÇERİSİNDEKİ DEĞİŞİMİ VE YAŞLANMA ÜZERİNE ETKİSİ

Aygül KARACA^{1*}, Şebnem KÖKLÜ ARDIÇ², Ahmet KORKMAZ³

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Böl., Kahramanmaraş; ORCID: 0000-0001-9142-9678

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Böl., Kahramanmaraş; ORCID: 0000-0002-5769-2963

³Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Böl., Kahramanmaraş; ORCID: 0000-0002-3886-5953
Geliş Tarihi / Received: 07.07.2021 Kabul Tarihi / Accepted: 25.11.2021

ÖZ

Bugün varlığı hemen hemen tüm canlı organizmalarda kanıtlanan bir molekül olan melatonin (N-asetil-5-methoksitriptamin), ilk olarak 1958 yılında sığır beyin üstü bezinden izole edilen bir indolamindir. Son zamanlarda bitkisel bir hormon olarak kabul edilmesinin yanında reaktif oksijen ve azot türlerini ortamdaki uzaklaştırma özelliğine sahip olmasından dolayı geniş spektrumlu antioksidan olarak bilinmektedir. Bitkilerde fotoperiyodik düzenleyici veya 24 saatlik ritim düzenleyici olarak görev aldığı ifade edilen bu molekülün hayvanlarda ve insanlarda da günlük ve yıllık ritmi kontrol ettiği yapılan yoğun çalışmalar sonucunda bildirilmiştir. Ayrıca melatoninin türe göre değişmekle beraber miktarının özellikle gece veya karanlıkta arttığı ve bazı bitkilerde gün içerisinde ikinci kez pik yaptığı da araştırmalar sonucu ortaya konmuştur. Melatoninin bitkilerin ve tohumların yaşlanma metabolizmasında sahip olduğu rol ise tam olarak anlaşılmış değildir. Ancak son araştırmalar melatoninin yaşlanma üzerine olumlu etkisinin, yaşlanmaya neden olan ve yaşlanmayı geciktiren fitohormonların etkisi ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu derlemede bitki dokularındaki melatoninin gün ve yıl içerisindeki değişimi ve yaşlanma üzerine etkisi hakkında detaylı bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Melatonin, sirkadiyal ritim, yaşlanma, tohum canlılığı

DIURNAL AND SEASONAL CHANGES IN MELATONIN CONTENT AND ITS EFFECT ON AGEING IN PLANTS

ABSTRACT

Melatonin (N-acetyl-5-methoxytryptamine) is an indolamine which was first isolated from bovine pineal gland in 1958 and since its discovery, it's been identified in almost all life forms. In addition to being regarded as a phytohormone recently, it is known as a broad spectrum antioxidant due to its ability to remove reactive oxygen and nitrogen species from the environment. Extensive research demonstrated that this molecule, which is stated to act as a photoperiodic regulator or 24-hour rhythm regulator in plants, controls the daily and annual rhythm in animals and humans as well. In addition, studies have shown that although the tissue melatonin content varies from species to species, its concentration is known to increase especially at night or in the dark, and in some plants it peaks twice a day. The role of melatonin in the ageing metabolism of plants or seeds has not been completely demonstrated. However, latest research has shown that the positive effect of melatonin on aging is closely related to the effect of phytohormones that regulate or delay aging. This review mainly focuses on diurnal and seasonal change in melatonin content of plant tissues and its effect on aging.

Keywords: Melatonin, circadian rhythm, ageing, seed viability

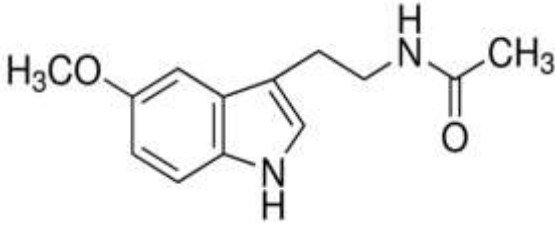
GİRİŞ

Varlığı neredeyse tüm canlı organizmalarda kanıtlanmış bir molekül olan melatonin omurgalılarda iyi karakterize olmuş, bir nörohormondur [35]. Melatonin, omurgalı canlılarda sığır beyin üstü bezi (epifiz) dokusunda üretilir ve kan dolaşımına katılarak tüm vücuda yayılır. İlk olarak omurgalı hayvanlarda keşfedildiği için melatonin, yıllarca sadece hayvanlara özgü bir düzenleyici veya hormon olarak kabul edilmiştir [45]. Ancak, iki araştırmacı grubunun 1995 yılında birbirlerinden

habersiz olarak melatoninin bitkilerde özellikle tahıllarda, meyvelerde ve sebzelerde bulunduğunu keşfetmeleriyle bu görüş değişmiştir [17, 21]. Sonrasında melatonin hakkında araştırmalar yapılmaya başlanmış ve bu indolaminin bakterilerde, alglerde, birçok yüksek bitki, omurgasız ve omurgalı hayvan türlerinde varlığı ispatlanmıştır [43]. Pek çok bitki türünün tohumları, meyveleri, yaprakları ve köklerinde oldukça değişken miktarlarda melatoninin varlığı saptanmıştır [4, 5, 48]. Son zamanlarda bitkisel bir hormon olarak kabul edilmesinin gerektiği bildirilen melatoninin [6] kimyasal yapısı Şekil 1'de

*Sorumlu yazar / Corresponding author: aygulkaraca_4466@hotmail.com

görülmektedir. Molekül formülü $C_{13}H_{16}N_2O_2$ olup, molekül ağırlığı $232.28 \text{ g mol}^{-1}$ 'dir [2].



Şekil 1. Melatoninin kimyasal yapısı
Figure 1. Chemical structure of melatonin

Melatonin; bitkiler, hayvanlar, algler ve mayalar da dahil olmak üzere tüm canlılarda bir aminoasit olan triptofan (Trp)'dan başlar. Trp sadece melatoninin değil, tüm bitki ve hayvanlarda bulunan bir bileşik olan serotonin (Ser) ve bir bitkisel hormon olan indol-3-asetik asitin (IAA)'de öncü maddesidir. Her ne kadar melatonin, Trp öncü maddesinden farklı yollardan sentezlense de en yaygın olarak sentezlendiği kabul edilen yol, Triptofan→Triptamin→Serotonin→5-methoksitriptamin→Melatonin şeklindedir ve bu sentez sırasında çok çeşitli enzimler görev alır [61]. İlk aşamada triptofan dekarboksilaz (TDC) enziminin katalize etmesi sonucu bir aromatik aminoasit olan Trp, triptamine (Trpt) dönüşür. Trpt'in Ser'e dönüşümü gerçekleştiren ve biyosentez izyolunun ikinci basamağını düzenleyen enzim triptamin 5-hidroksilaz (T5S) enzimidir ve bu enzimin varlığı çeltik bitkisinde yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır [29]. Bitkilerde Ser'in N-asetilserotonine (NAS) dönüşümünü düzenleyen asetilserotonin metiltransferaz (ASMT/COMT) enzimi aracılığıyla 5-methoksitriptamin'e ve son aşamada 5-methoksitriptamin N-asetiltransferaz/ arilalkilamine N-asetiltransferaz (SNAT/AANAT) enzimi ile melatonin'e dönüşür. Hayvanlarda ise Ser, N-asetilserotonine (NAS) dönüşümü SNAT enzimi ile ve ardından asetilserotonin metiltransferaz (ASMT/COMT) enzimi ile melatonin (N-asetil-5-methoksitriptamin)'e dönüşür.

Bitkilerde melatoninin en temel rollerinden biri bitki büyüme düzenleyicisi olarak görev almasıdır. Melatonin ve IAA arasındaki yapısal benzerlikler ve ortak biyosentez yolu melatoninin bir oksin gibi hareket edebileceği fikrini çağrıştırmıştır. Büyüme düzenleyici olarak melatoninin etkisinin araştırıldığı etiyolleşmiş acı bakla (*Lupinus albus* L.) hipokotillerinde IAA'ye benzer şekilde melatonin, hipokotil uzamasını destekleyerek vejetatif gelişimi teşvik ettiği fakat yüksek konsantrasyonlarda önleyici bir etki gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca vejetatif gelişimin teşvik edilmesi için gerekli olan melatonin konsantrasyonunun $10 \mu\text{M}$ civarında olduğu

bildirilmiştir [22, 24]. IAA'de olduğu gibi melatonin, farklı dokularda farklı konsantrasyon dağılımlarına sahip olmakla birlikte apikal bölgeler genelde en yüksek melatonin içeriğine sahiptir [22, 24, 40, 49]. Melatoninin, vejetatif gelişmeyi ve büyümeyi teşvik edici etkisi buğday, arpa ve yulaf gibi bitkilerde de ortaya konmuş ancak bu türlerdeki etkisi IAA ile kıyaslandığında türe bağlı olarak farklı oranlarda değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir [23]. Yine, meyan kökü (*Glycyrrhiza auralensis*) bitkisinde büyüme ve gelişme ile artan içsel melatonin konsantrasyonu arasındaki ilişki incelendiğinde; içsel melatonin miktarının bitki yaşlandıkça arttığı ve bitkinin vejetatif gelişimini olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir [1].

Melatoninin hayvanlarda olduğu gibi bitkilerde de güçlü antioksidan özelliklere sahip olduğu, stres faktörlerine karşı yüksek oranda koruma sağladığı ve fizyolojik işlevleri pek çok çalışmayla kanıtlanmıştır [15]. Melatoninin; mitokondri, kloroplast ve plazma gibi biyolojik membranların zar akışkanlığı ve lipid peroksidasyon dengelenmesinde doğrudan antioksidan olarak rol oynadığı ve stres faktörleri ile mücadelede etkili olduğu ifade edilmiştir [13, 18]. Ayrıca melatonin stres altındaki bitkilerde bir serbest radikal olan O_2^- oluşumunu sınırlayarak iç mitokondrial zardan elektron sızıntısını azalttığı ve elektron taşıma zincirini uyardığı bildirilmiştir [46]. Yine stres altındaki bitkilerde melatonin, peroksidaz (POX), glutathion redüktaz (GR), superoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) gibi antioksidan enzimlerin aktivitesini düzenlemekte ve teşvik etmektedir [11, 39]. Melatonin, düşük konsantrasyonlarda suda ve yağda çözünebilmekte ve biyolojik membranları serbest radikallerin zararlı etkilerinden C, E ve K vitaminlerinden daha güçlü antioksidan özellikleri vasıtasıyla koruduğu ifade edilmiştir [15]. Ayrıca yapılan pek çok çalışmada melatoninin; nükleik asitler, proteinler ve lipidler gibi önemli moleküllerde meydana gelebilecek oksidatif zararlanma tehlikesini azalttığı aynı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Yine tohumlarda yüksek melatonin içeriğinin aşırı sıcaklık, kuraklık, UV ve çevresel toksinler gibi olumsuz çevre şartlarında oluşan oksidatif stres zararlarından tohumu ve üreme dokularını korumak için gerekli olduğu ifade edilmiştir [9, 38]. Örneğin, ceviz (*Juglans regia* L.) içerisindeki melatonin varlığının tohumda bulunan yağ asitlerini oksidasyona karşı koruyarak tohum canlılığını yüksek tuttuğu ve böylelikle tohumun sonraki yıllarda başarılı bir şekilde çimlenme gösterdiği bildirilmiştir [47].

Hayvanlarda ve insanlarda melatonin, gün içerisinde ve yıl içerisindeki zamanın algılanmasında önemli pay sahibidir. Memelilerde melatoninin, daha

çok geceleri sentezlendiği ve ışık altında kanda seviyesinin düştüğü bildirilmiştir [12]. Bu nedenle kandaki miktar değişimleri, dokuların ve hücrelerin gün içerisindeki veya yıl içerisindeki zamanın algılamasına yardımcı olduğu ve dışarıdan yapılan melatonin uygulamalarının karanlık uygulamasını taklit ettiği için, melatoninin hayvanlarda ve insanlarda fotoperiyodik düzenleyici veya sirkadiyal ritim (circadian rhytm) düzenleyici olarak görev yaptığı bildirilmiştir [45]. Sirkadiyen kelimesi Latince kökenli olup 'yaklaşık bir gün' anlamına gelmektedir [14]. Biyolojik saat olarak da bilinen sirkadiyen ritim ya da sirkadiyen saat, Dünya'nın kendi etrafında bir defa dönme süresine bağlı olarak yaklaşık 24 saatlik döngülerde bakteri ve mantarlardan bitki ve hayvanlara kadar çok çeşitli organizmaların fizyolojik, davranışsal ve metabolik fonksiyonlarını düzenlemektedir. Hücreler ve organizmalar kendi içerisindeki saate göre günün vakitlerine tepki vermekte ve bu sayede hücre yenilenmesi ve hormonların salgılanması gerçekleşmekte, bitkilerde fotosentez ve çiçeklenme gibi olaylar üzerinde kontrol sağlanmaktadır. Bazı araştırmacılara göre melatonin; bitkilerde sirkadiyal ritim, gen ve metabolitlerin düzenlenmesi, protein stabilitesi, günlük ve mevsimsel döngüleri içeren pek çok biyolojik işlemi ayarlayabilir, fotosentez ve büyüme oranlarını artırır, çiçeklenmeyi etkileyerek üründe tohum verimini artırabilir, biyotik ve abiyotik tepkileri etkileyebilir [7, 10]. Bu derlemede yapılan çalışmalar sonucunda bitkilerde çok çeşitli ve önemli fizyolojik görevleri olduğu ortaya konan melatoninin gün ve yıl içerisindeki değişimi ve yaşlanma üzerine etkisi hakkında detaylı bilgi verilecektir.

MELATONİNİN GÜN VE YIL İÇERİSİNDEKİ DEĞİŞİMİ

Biyolojik saat ya da gece ve gündüz ritmi ile fotoperiyot arasında kuvvetli bir ilişki olduğundan yukarıda bahsedilmiştir. Bitkilerde melatoninin 24 saatlik ritim düzenleyici olarak görev aldığı ve sentez miktarının karanlıkta arttığı bildirilse de [55], bazı araştırmacılar gün batımından hemen önce sentez miktarının en yüksek seviyeye ulaştığını bildirmiştir [52]. Bazı araştırmacılar ise, bitkilerde melatoninin sürekli olarak bulunduğunu; fakat seviyesinin gün içerisinde değişiklik gösterdiği fikrini savunmaktadırlar [41]. Örneğin, Hadrian F₁ patlıcan çeşidinin fidelerinde melatonin içeriği gün içerisinde biri karanlık periyodun hemen başında diğeri de aydınlık periyodun ortasında olmak üzere gün içerisinde iki kez pik seviyeye ulaşarak sirkadiyel ritim sergilediği bildirilmiştir [56]. Araştırmacı,

patlıcanın yaprak ve köklerinde gelişme evrelerinin ilerlemesiyle birlikte melatonin içeriğinin azaldığını bununla birlikte çiçeklerde yüksek olan melatonin içeriğinin meyvenin büyümesiyle düşüş gösterdiğini fakat meyvenin hasat ve tohum olumuna ulaşmasıyla tekrar yükseldiğini bildirmiştir. Hem fidelerdeki hem de olgun tohumlardaki yüksek melatonin içeriğinin, melatoninin bitkilerin bu gelişme aşamalarında muhtemel çevresel stres faktörlerine karşı koruyucu rol almasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Yine, iki biber çeşidinin farklı büyüme evrelerinde (çimlenme, fide, çiçeklenme ve hasat) ve farklı organlarında (yaprak, kök, meyve ve tohum) melatonin içerikleri araştırılmış ve en fazla melatonin içeriğini kotiledon aşamasındaki fidelerde (180.6-111.6 ng g⁻¹) belirlenmiştir. Ayrıca bitkinin büyüme ve gelişimi ilerledikçe yapraklardaki melatonin içeriği azalırken, meyve ve tohumlarda melatonin miktarının önemli ölçüde arttığı ifade edilmiştir [31].

Sirkadiyen ritim ile ilgili çalışmalar incelendiğinde 12/12 saat karanlık/aydınlık ışık rejimi altında yetiştirilen *Chenopodium rubrum* L. bitkisinde melatonin seviyelerinin karanlık aşamanın sonlarına doğru en yüksek seviyeye ulaşırken aydınlıkta çok düşük düzeylerde seyrettiği bildirilmiştir [55]. *Vitis vinifera* Malbec çeşidi üzüm danelerinin kabuklarında gece/gündüz değişimi esnasında melatonin seviyelerindeki değişimler ölçülmüş ve en yüksek melatonin değeri güneş doğarken tespit edilmiş ve ilerleyen saatlerde ise melatonin seviyesinde düşüşler görülmüştür [8]. Ayrıca gün doğarken melatonin seviyelerindeki artışın sebebi olarak yüksek ışık ve dolayısıyla yüksek sıcaklığın (solar radyasyonun) neden olduğu muhtemel strese karşı antioksidan yanıt olarak melatonin sentezinin arttığı belirtilmiştir. Benzer şekilde Hongdeng ve Rainier kiraz çeşitlerinde melatoninin rolünü belirlemek amacıyla meyve gelişim döneminin değişik aşamalarında ve 24 saatlik dönem içinde melatonin miktarındaki değişimler incelemiştir. Kiraz meyvesinde gün içerisindeki melatonin konsantrasyonunun iki kez pik yaptığı ve melatonin pikinin ilkinin sabahın erken saatlerinde, ikincisinin ise öğleden sonra sıcaklığın yüksek olduğu zamanda gerçekleştiği bildirilmiştir [60]. Elma yapraklarında gün içerisinde melatonin seviyesinin saat 05:30 ve 14:30 olmak üzere iki kez pik yaptığını ve öğleden sonra gözlemlenen melatonin seviyesinin yüksek sıcaklık sonucu dokularda birikimi gerçekleşen malondialdehid (MDA) artışının hemen ardından gerçekleştiğini bildirmiştir [59]. Arpa (*Hordeum vulgare*) ve acı baklada (*Lupinus albus*) yapılan araştırmada elde edilen veriler kiraz ve elmadakilere benzer şekildedir ve kök dokularındaki melatonin seviyesinin gün

içerisinde iki kez yüksek seviyeye ulaştığı belirlenmiştir. Acı baklada melatonin seviyesi 08:00 ve 16:00'da, arpada ise 08:00 ve 20:00'da pik yaptığı gözlemlenmiştir. Araştırmacılara göre örnek alınan bitkilerin dokularındaki melatonin seviyelerinin farklı zamanlarda pik yapmasına karşın bitkilerde sirkadiyel ritmin bulunduğu tespit edilmiştir [4]. *Arabidopsis thaliana* bitkisinde yapılan araştırma sonucunda, 12 saat karanlık ve 12 saat aydınlıkta yetiştirilen bitkilerde gün içerisinde melatonin seviyesinin önemli bir değişim göstermediği görülmüş ancak yapay ışık altında büyüyen bitkilerin aksine doğal koşullar altında büyüyen bitkilerde melatonin içeriğinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir [25].

Melatonin içeriğinin gün içerisinde değişimlerinin ortaya konduğu diğer bir çalışma Tal ve ark. [51] tarafından yeşil makro alglerde yapılmıştır. Ulva familyasına dâhil bir tür olan bu yeşil makro alglerde 16 saat aydınlık/8 saat karanlık fotoperiyot altında en yüksek melatonin seviyesi gece 02:00'da tespit edilirken, en düşük seviye ise 14:00'da bulunmuştur. Ayrıca melatonin içeriğindeki değişimin nedenini sirkadiyen ritme bağlı enzim aktivitelerindeki değişim ve ışığa maruz kalmanın etkisi ile melatoninde meydana gelen parçalanmadan kaynaklı olduğu ifade edilmiştir. Yine, doğal koşullarda yetişen su sümbülü (*Eichornia crassipes*) bitkilerinde gün içerisinde melatonin seviyesinin hayvanlarda tespit edilen sirkadiyal ritimden farklı olarak öğleden sonra da (aydınlık zamanın sonlarına doğru) bir artış gösterdiği ve bunun nedeninin fotosentez ve ışıktan korunma süreçleri ile ilişkili olabileceği sonucuna varılmıştır [52].

Mısır ve hıyar tohumlarının bir yıl süreyle depolanması sırasında tohum içerisinde melatonin değişimi izlenmiş ve her iki bitkinin tohumlarında depolama başlangıcında 10-20 ng g⁻¹ aralığında seyreden melatonin seviyesi, depolamanın 4 ve 5. aylarında (Ocak ve Şubat aylarında) hızla yükselerek 60-80 ng g⁻¹ seviyelerine ulaşmıştır [30]. Depolamanın 4 ve 5. aylarında görülen melatonin seviyelerinde bu yükselişlerin tohumları olumsuz stres faktörlerine karşı korumak için bir savunma mekanizmasını harekete geçirmesinden kaynaklı olabileceği ifade edilmiştir. Melatonin içeriğinde benzer değişimler iki yıl süreyle depolanan biber tohumlarında da görülmüş ve tohum melatonin içeriği her iki yılda da kış aylarında artarken yaz aylarında düşüş göstermiştir [57]. Yine Yakupoğlu ve ark. [58], 24 ay süreyle depolanan marul tohumlarının içsel melatonin içeriklerinin Ağustos aylarında minimum seviyelerde seyrederken kış aylarında maksimum seviyelere ulaştığını dolayısıyla tohumların içsel melatonin içeriğinin yıl içerisinde sirkadian bir ritim

dahilinde değiştiğini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar 24 ay süreyle depolanan marul tohumlarının içsel melatonin ve onun öncü maddesi olan Trp içeriğinin sirkadian bir ritim dahilinde ve melatonin içeriği ile Trp içeriğinin birbirleri ile zıt bir şekilde değiştiğini gözlemlemişlerdir. Yani melatonin içeriğinin güçlü pik yaptığı kış aylarında, Trp içeriği en düşük seviyelerde tespit edilmiştir. Korkmaz ve ark. [32], patlıcan bitkisinin kök ve yapraklarında Trp ve melatonin içeriği arasında yukarıdaki sonuçlara benzer bir ilişki gözlemlemiştir. Araştırmacılar, patlıcan tohumlarında gün içerisinde ve yetiştirme sezonu boyunca yapraklarda melatonin ve Trp değişimini izlemişler ve melatonin içeriği ile Trp içeriğinin birbirleri ile zıt bir şekilde değiştiği yani birinin dokulardaki konsantrasyonunun artması halinde diğer bileşiğin konsantrasyonunun azaldığını bildirmişlerdir.

MELATONİNİN YAŞLANMA ÜZERİNE ETKİSİ

Melatoninin hayvanlarda, yaşlanmayla ilgili bozuklukları engellemesinin yanı sıra bazı memelilerin hayatta kalma süresini bir dereceye kadar uzattığı bilinmektedir [19]. Bitkilerde ise hayvanlarda görülen yaşlanmadan farklı bir süreç söz konusudur. Ancak yaşlanma meydana geldikçe artan oksidatif zararlanma her ikisinin (hayvanlar ve bitkiler) de ortak noktasıdır. Her iki durumda da geniş spektrumlu antioksidan olarak kabul edilen melatoninin, yaşlanmanın geciktirilmesine katkıda bulunduğu bilinmektedir [20]. Tohumlarda ise yüksek nem ve sıcaklık gibi uygun olmayan koşullarda yapılan depolamada tohum içerisinde oluşan serbest radikal türevlerinin yağ asitlerini ve fosfolipitleri oksidize etmeleri sonucu yaşlanma daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir [44]. Tohumlarda yaşlanma ile birlikte mitokondrial membranlarda oluşan bozulmalar, tohumların ATP üretimini ve solunum aktivitesini önemli ölçüde etkilemektedir. ATP üretiminin ve solunum aktivitesinin olumsuz etkilenmesiyle tohum çimlenme için gerekli olan enerjiyi sağlayamamakta ve dolayısıyla protein sentezi tam anlamı ile gerçekleşmemektedir [26].

Melatoninin yaşlanma ve bozulma süreci üzerine etkisi birçok çalışmada araştırılmıştır. Sonuç olarak da melatoninin yaşlanma ile oluşan fizyolojik ve biyokimyasal bozulmaların iyileşmesinde aktif rol aldığı bildirilmiştir. Örneğin dışarıdan melatonin uygulanmış yaşlı arpa yapraklarında klorofil bozulması ve dokulardaki H₂O₂ ve reaktif oksijen türleri (ROS) seviyeleri kontrol bitkilerine kıyasla daha düşük bulunmuştur [3]. Benzer şekilde

bitkilerde hasat sonrası oluşan fizyolojik deformasyonları azaltmada melatoninin etkisi incelenmiş ve *Manihot esculanta* (manyok) bitkisinin köklerine 500 mg L⁻¹ melatonin uyguladığında; melatoninin köklerde hasat sonrası fizyolojik bozulma sürecini geciktirdiği, H₂O₂ miktarını azalttığı buna karşılık içsel melatonin miktarını ve SOD, CAT, APX ve GR gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerini ise giderek arttırdığı bildirilmiştir [37]. Bir diğer çalışmada ise hasadı erken yapılan domates meyvelerine uygulanan 50 µM konsantrasyonundaki melatonin meyvelerin olgunlaşmasında önemli ölçüde hızlandırma etkisi oluşturmuştur [50].

Melatoninin yaşlanma üzerine olumlu etkisi; dışsal faktörlerin sebep olduğu yaşlanmaya neden olan ve yaşlanmayı geciktirecek olan fitohormonların etkisi ile yakından ilişkilidir. Melatoninin bitkilerin yaşlanma metabolizmasında sahip olduğu görev ise tam olarak bilinmemektedir. Ancak melatonin uygulanmış Arabidopsis fidelerinde yaşlanmayı teşvik eden salisilik asit, absisik asit, jasmonik asit ve etilen gibi fitohormonların veya bu fitohormonları uyaran sinyallerin oluşmasında sayısız genin görev aldığı bildirilmiştir [27, 34]. Arabidopsis fidelerinde yapılan bir çalışma melatonin yaşlanmayı teşvik edici bir role sahip olduğunu düşünmemize sebep olurken, çeltikte yaşlanma ile Trp, Ser, N-asetilserotonin ve melatonin miktarlarındaki kayda değer artışlar bu duruma açıklık getirmektedir [42]. Ayrıca melatoninin yaşlanma üzerine etkisi, elma [53, 54], hıyar [62], çeltik [36] olmak üzere pek çok türde çalışılmıştır. Kopmuş elma yapraklarında dışarıdan yapılan melatonin uygulaması sonucunda başta klorofil parçalanmasına neden olan enzimlerin üretilmesini kontrol eden genler olmak üzere yaşlanma ile ilgili birçok spesifik genin aktivitelerinin azaldığı bildirilmiştir [53, 54]. Araştırmacılar dokulardaki ROS birikiminin yaşlanmanın ana nedeni olduğunu, melatoninin de başta H₂O₂ olmak üzere çeşitli ROS miktarlarında kayda değer düşümlere neden olarak yaşlanmayı geciktirdiğini ve tüm bunların da melatoninin antioksidan doğasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Tuz stresi altındaki çeltik bitkilerine dışardan uygulanan melatonin, bitkilerin tuza toleransını artırmış ve strese bağlı yaprak senesensini (yaşlanma) ve klorofil bozulmasını geciktirmiştir [36]. Yine Zhang ve ark. [62], su stresi altındaki hıyar tohumlarına yapılan melatonin uygulamaları sonrasında tohumların çimlenme yüzdelerinde ve saçak kök oluşturmalarında artışların meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Aynı araştırmacılar yaptıkları diğer bir çalışmada tuz stresi altında hıyar tohumlarına yapılan melatonin uygulamalarının çimlenme sırasında giberellik asit (GA₃) üretimini

teşvik ederken absisik asit (ABA) ve ROS seviyelerini azalttığını ve yaşlanmayı geciktirdiğini belirtmişlerdir [63].

Melatonin uygulamalarının tohumlarda yaşlanmanın yarattığı bozulmayı azalttığı ya da yavaşlattığı ve tohum canlılığının ve gücünün korunmasına yardımcı olduğu bilinmektedir. Örneğin, domates tohumlarına yapılan melatonin uygulaması, düşük sıcaklıkta tohumların çimlenme performanslarını iyileştirmiş ve 28 ay süren depolama esnasında tohumlarda bozulmayı dolayısıyla tohumların yaşlanmasını yavaşlatmıştır [28]. Yine suni yaşlandırma öncesinde domates tohumlarına yapılan melatonin uygulamasının, kontrol tohumlarına kıyasla tohumların yaşlanmasını yavaşlattığı ortaya konmuştur. Araştırmacı, melatonin uygulanmış domates tohumlarının EC, MDA ve H₂O₂ içeriklerinin, uygulama yapılmamış tohumlara kıyasla önemli derecelerde azaldığını; bununla birlikte CAT ve POX antioksidan enzim aktivitelerinin de olumlu yönde etkilendiğini bildirmiştir. Yine, biber tohumlarına uygulanan melatonin, uygulama yapılmayan tohumlara kıyasla üşüme stresi koşullarına (15°C) tohum çimlenmesi ve fide çıkışını iyileştirmiştir [32]. Benzer şekilde, melatonin uygulanmış marul tohumlarında 4°C'de 24 ay süreyle yapılan depolamanın 25°C'de yapılan depolamaya kıyasla tohumlarda zamana bağlı oluşan yaşlanmanın etkisini azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca 24 ay süren depolamanın sonunda melatonin uygulanmış ve 25°C'de depolanan tohumların %30 çimlenme gösterdiği buna karşılık uygulama yapılmamış tohumların ise tamamen öldüğü ifade edilmiştir [58]. Dahası, melatonin uygulanarak 2 yıl boyunca her iki sıcaklıkta depolanan tohumların MDA ve H₂O₂ içerikleri, uygulama yapılmayanlara kıyasla düşük fakat POX ve askorbat peroksidaz (APOX) gibi antioksidan enzim aktiviteleri ise yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte iki farklı biber çeşidinin tohumlarına yapılan melatonin uygulamalarının iki farklı sıcaklıkta (4°C ve 25°C) 1 yıl süreyle depolanması sonrası 25 µM melatonin uygulanmış tohumların daha yüksek antioksidan enzim aktivitesi ve dolayısıyla da daha yüksek çimlenme yüzdesi ve hızına sahip oldukları görülmüştür [33]. Benzer şekilde, melatoninin yaşlanmış mısır tohumlarında çimlenme yüzdesini artırdığı, yaşlanmanın sonucu olan lipid peroksidasyonunun melatonin tarafından önemli ölçüde iyileştirildiği, SOD, CAT ve POX gibi antioksidan enzimlerin bu madde ile harekete geçtiği ve ROS süpürücü olarak bilinen bu antioksidan enzimlerin tohumun yaşlanma sürecini yavaşlattığı bildirilmiştir [16]. Tüm bu araştırmalar, melatonin uygulamalarının yaşlanma üzerine olan etkilerini

göstermiş ve melatonin uygulaması yapılan tohumların optimum ve stres koşulları altında çimlenme yüzdesinin daha yüksek olduğu dolayısıyla melatonin uygulamalarının yaşlanmanın seyrini yavaşlatarak tohum canlılığını koruduğunu ortaya koymuştur.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu derlemede bitkilerde varlığının keşfinden itibaren üzerinde her geçen gün artan sayıda araştırma yapılmakta olan ve son yıllarda hormon olarak kabul edilen melatoninin gün ve yıl içerisindeki değişimi ve yaşlanma üzerine etkisi hakkında okuyucuya bilgi verilmeye çalışılmıştır. Mevcut veriler ve gözlemlere dayanarak, tarımsal üretimde melatoninin yadsınamaz bir önemine olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalarla melatoninin bitkilerde de 24 saatlik ritim düzenleyici olarak görev aldığı, bitkilerde daimi olarak bulunduğu ancak seviyesinin gün içinde değiştiği ve genelde sentez miktarının karanlıkta arttığı; ayrıca bazı bitkilerde gün batımından hemen önce sentez miktarının artarak en yüksek seviyeye ulaştığı ortaya konmuştur. Ayrıca, bitkilerde gün içerisinde melatonin içeriğinin bitkinin biyolojik saatinin yanında içerisinde bulunduğu çevresel faktörlerin de kontrolü altında olduğu ve gün içerisinde analiz için örnek alınımının yapıldığı zamanın bitki dokularındaki melatonin içeriğinin miktarı üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir. Melatoninin yaşlanma üzerine olumlu etkileri yapılan araştırma sonuçlarında ifade edilmiş ve melatonin uygulaması yapılan tohumların optimum ve stres koşulları altında çimlenme yüzdesinin daha yüksek olduğu dolayısıyla melatoninin yaşlanmanın seyrini yavaşlatarak tohum canlılığını koruduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bitkilerde melatonin içeriğinin türden türe ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişiklikler göstermesi ve bitkilerin yaşlanmasında melatoninin sahip olduğu rolün tam olarak ortaya konması bakımından yeni araştırmaların yürütülmesine ihtiyaç olduğu da bir gerçektir.

KAYNAKLAR

1. Afreen, F., Zobayed, S.M., Kozai, T., 2006. Melatonin in *Glycyrrhiza uralensis*: response of plant roots to spectral quality of light and UV-B radiation. *Journal of Pineal Research* 41(2):108-115.
2. Anonim, 2021. www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/m5250?lang=en®ion=tr (Erişim Tarihi: 03.04.2021).
3. Arnao, M.B., Hernández-Ruiz, J., 2009. Chemical stress by different agents affects the melatonin content of barley roots. *Journal of Pineal Research* 46(3):295-299.
4. Arnao, M.B., Hernández-Ruiz, J., 2015. Functions of melatonin in plants: a review. *Journal of Pineal Research* 59(2):133-150.
5. Arnao, M.B., Hernández-Ruiz, J., 2020a. Melatonin in flowering, fruit set and fruit ripening. *Plant Reproduction* 33(2):77-87.
6. Arnao, M.B., Hernández-Ruiz, J., 2020b. Is phyto-melatonin a new plant hormone? *Agronomy* 10(1):95.
7. Atkins, K.A., Dodd, A.N., 2014. Circadian regulation of chloroplasts. *Current Opinion in Plant Biology* 21:43-50.
8. Boccacandro, H.E., González, C.V., Wunderlin, D.A., Silva, M.F., 2011. Melatonin levels, determined by LC-ESI-MS/MS, fluctuate during the day/night cycle in *Vitis vinifera* cv Malbec: evidence of its antioxidant role in fruits. *Journal of Pineal Research* 51(2):226-232.
9. Burkhardt, S., Tan, D.X., Manchester, L.C., Hardeland, R., Reiter, R.J., 2001. Detection and quantification of the antioxidant melatonin in Montmorency and Balaton tart cherries (*Prunus cerasus*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(10):4898-4902.
10. Buttar, Z.A., Wu, S.N., Arnao, M.B., Wang, C., Ullah, I., Wang, C., 2020. Melatonin suppressed the heat stress-induced damage in wheat seedlings by modulating the antioxidant machinery. *Plants* 9(7):809.
11. Cao, S., Bian, K., Shi, L., Chung, H.H., Chen, W., Yang, Z., 2018. Role of melatonin in cell-wall disassembly and chilling tolerance in cold-stored peach fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66(22):5663-5670.
12. Cardinali, D.P., Pévet, P., 1998. Basic aspects of melatonin action. *Sleep Medicine Reviews* 2(3):175-190.
13. Catala, A., 2007. The ability of melatonin to counteract lipid peroxidation in biological membranes. *Current Molecular Medicine* 7(7):638-649.
14. Challet, E., Caldelas, I., Graff, C., Pévet, P., 2005. Synchronization of the molecular clockwork by light-and food-related cues in mammals. *Biological Chemistry* 384:711-719.
15. Chrustek, A., Olszewska-Słonina, D., 2021. Melatonin as a powerful antioxidant. *Acta Pharmaceutica* 71(3):335-354.
16. Deng, B., Yang, K., Zhang, Y., Li, Z., 2017. Can antioxidant's reactive oxygen species (ROS) scavenging capacity contribute to aged seed

- recovery? Contrasting effect of melatonin, ascorbate and glutathione on germination ability of aged maize seeds. *Free Radical Research* 51(9-10):765-771.
17. Dubbels, R., Reiter, R.J., Klenke, E., Goebel, A., Schnakenberg, E., Ehlers, C., Schiwara, H.W., Schloot, W., 1995. Melatonin in edible plants identified by radioimmunoassay and by high performance liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Pineal Research* 18(1):28-31.
 18. García, J.J., López-Pingarrón, L., Almeida-Souza, P., Tres, A., Escudero, P., García-Gil, F.A., Tan, D.X., Reiter, R.J., Ramírez, J.M., Bernal-Pérez, M., 2014. Protective effects of melatonin in reducing oxidative stress and in preserving the fluidity of biological membranes: a review. *Journal of Pineal Research* 56(3):225-237.
 19. Hardeland, R., Poeggeler, B., 2012. Melatonin and synthetic melatonergic agonists: actions and metabolism in the central nervous system. *Central Nervous System Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Central Nervous System Agents)* 12(3):189-216.
 20. Hardeland, R., 2013. Melatonin and the theories of aging: a critical appraisal of melatonin's role in antiaging mechanisms. *Journal of Pineal Research* 55(4):325-356.
 21. Hattori, A., Migitaka, H., Iigo, M., Itoh, M., Yamamoto, K., Ohtani-Kaneko, R., Hara, M., Suzuki, T., Reiter, R.J., 1995. Identification of melatonin in plants and its effects on plasma melatonin levels and binding to melatonin receptors in vertebrates. *Biochemistry and Molecular Biology International* 35(3):627-634.
 22. Hernandez-Ruiz, J., Cano, A., Arnao, M.B., 2004. Melatonin: a growth-stimulating compound present in lupin tissues. *Planta* 220(1):140-144.
 23. Hernández-Ruiz, J., Cano, A., Arnao, M.B., 2005. Melatonin acts as a growth-stimulating compound in some monocot species. *Journal of Pineal Research* 39(2):137-142.
 24. Hernández-Ruiz, J., Arnao, M.B., 2008. Distribution of melatonin in different zones of lupin and barley plants at different ages in the presence and absence of light. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(22):10567-10573.
 25. Hernández, I.G., Gomez, F.J.V., Cerutti, S., Arana, M.V., Silva, M.F., 2015. Melatonin in *Arabidopsis thaliana* acts as plant growth regulator at low concentrations and preserves seed viability at high concentrations. *Plant Physiology and Biochemistry* 94:191-196.
 26. Hussain, S., Khan, F., Hussain, H.A., Nie, L., 2016. Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. *Frontiers in Plant Science* 7:116.
 27. Jibrán, R., Hunter, D.A., Dijkwel, P.P., 2013. Hormonal regulation of leaf senescence through integration of developmental and stress signals. *Plant Molecular Biology* 82(6):547-561.
 28. Karaca, A., 2020. Yaşlanan domates tohumlarının melatonin profilinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi (Doktora Tezi). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş* 218s.
 29. Kang, S., Kang, K., Lee, K., Back, K., 2007. Characterization of tryptamine 5-hydroxylase and serotonin synthesis in rice plants. *Plant Cell Reports* 26(11):2009-2015.
 30. Kołodziejczyk, I., Bałabusta, M., Szewczyk, R., Posmyk, M.M., 2015. The levels of melatonin and its metabolites in conditioned corn (*Zea mays* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) seeds during storage. *Acta Physiologiae Plantarum* 37(6):105.
 31. Korkmaz, A., Değer, Ö., Cuci, Y., 2014. Profiling the melatonin content in organs of the pepper plant during different growth stages. *Scientia Horticulturae* 172:242-247.
 32. Korkmaz, A., Yakupoğlu, G., Köklü, Ş., Cuci, Y., Kocacinar, F., 2017. Determining diurnal and seasonal changes in melatonin and tryptophan contents of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Turkish Journal of Botany* 41(4):356-366.
 33. Köklü, Ş., 2016. Melatoninin biber tohumlarının yaşlanması üzerine etkilerinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş*, 98s.
 34. Khan, M., Rozhon, W., Poppenberger, B., 2014. The role of hormones in the aging of plants-a mini-review. *Gerontology* 60(1):49-55.
 35. Lerner, A.B., Case, J.D., Takahashi, Y., Lee, T.H., Mori, W., 1958. Isolation of melatonin, the pineal factor that lightness melanocytes. *Journal of American Chemical Society* 80:2587-2592.
 36. Liang, C., Zheng, G., Li, W., Wang, Y., Hu, B., Wang, H., Wu, H., Qian, Y., Zhu, X.G., Tan, D.X., Chen, S.Y., Chu, C., 2015. Melatonin delays leaf senescence and enhances salt stress tolerance in rice. *Journal of Pineal Research* 59(1):91-101.
 37. Ma, K.W., Ma, W., 2016. Phytohormone pathways as targets of pathogens to facilitate infection. *Plant Molecular Biology* 91(6):713-725.
 38. Manchester, L.C., Tan, D.X., Reiter, R.J., Park, W., Monis, K., Qi, W., 2000. High levels of melatonin in the seeds of edible plants: possible

- function in germ tissue protection. *Life Sciences* 67(25):3023-3029.
39. Meng, J.F., Xu, T.F., Wang, Z.Z., Fang, Y.L., Xi, Z.M., Zhang, Z.W., 2014. The ameliorative effects of exogenous melatonin on grape cuttings under water-deficient stress: antioxidant metabolites, leaf anatomy, and chloroplast morphology. *Journal of Pineal Research* 57(2):200-212.
40. Murch, S.J., Saxena, P.K., 2002. Melatonin: a potential regulator of plant growth and development? *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 38(6):531-536.
41. Paredes, S.D., Korkmaz, A., Manchester, L.C., Tan, D.X., Reiter, R.J., 2009. Phytomelatonin: a review. *Journal of Experimental Botany* 60(1):57-69.
42. Park, S., Lee, K., Kim, Y.S., Back, K., 2012. Tryptamine 5-hydroxylase-deficient Sekiguchi rice induces synthesis of 5-hydroxytryptophan and N-acetyltryptamine but decreases melatonin biosynthesis during senescence process of detached leaves. *Journal of Pineal Research* 52(2):211-216.
43. Posmyk, M. M., Janas, K.M., 2009. Melatonin in plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 31(1):1-11.
44. Rajjou, L., Debeaujon, I., 2008. Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. *Comptes Rendus Biologies* 331(10):796-805.
45. Reiter, R.J., 1991. Pineal melatonin: cell biology of its synthesis and of its physiological interactions. *Endocrine Reviews* 12(2):151-180.
46. Reiter, R.J., Tan, D.X., Burkhardt, S., Manchester, L.C., 2001. Melatonin in plants. *Nutrition Reviews* 59(9):286-290.
47. Reiter, R.J., Manchester, L.C., Tan, D.X., 2005. Melatonin in walnuts: influence on levels of melatonin and total antioxidant capacity of blood. *Nutrition* 21(9):920-924.
48. Reiter, R.J., Tan, D.X., Manchester, L.C., Simopoulos, A.P., Maldonado, M.D., Flores, L.J., Terron, M.P., 2007. Melatonin in edible plants (phytomelatonin): identification, concentrations, bioavailability and proposed functions. *World Review of Nutrition and Dietetics* 97:211-230.
49. Sarropoulou, V., Dimassi-Theriou, K., Therios, I., Koukourikou-Petridou, M., 2012. Melatonin enhances root regeneration, photosynthetic pigments, biomass, total carbohydrates and proline content in the cherry rootstock PHL-C (*Prunus avium* × *Prunus cerasus*). *Plant Physiology and Biochemistry* 61:162-168.
50. Sun, Q., Zhang, N., Wang, J., Zhang, H., Li, D., Shi, J., Li, R., Weeda, S., Zhao, B., Ren, S., Guo, Y.D., 2015. Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. *Journal of Experimental Botany* 66(3):657-668.
51. Tal, O., Haim, A., Harel, O., Gerchman, Y., 2011. Melatonin as an antioxidant and its semi-lunar rhythm in green macroalga *Ulva* sp. *Journal of Experimental Botany* 62(6):1903-1910.
52. Tan, D.X., Manchester, L.C., Di Mascio, P., Martinez, G.R., Prado, F.M., Reiter, R.J., 2007. Novel rhythms of N1-acetyl-N2-formyl-5-methoxykynuramine and its precursor melatonin in water hyacinth: importance for phytoremediation. *The FASEB Journal* 21(8):1724-1729.
53. Wang, P., Yin, L., Liang, D., Li, C., Ma, F., Yue, Z., 2012. Delayed senescence of apple leaves by exogenous melatonin treatment: toward regulating the ascorbate-glutathione cycle. *Journal of Pineal Research* 53(1):11-20.
54. Wang, P., Sun, X., Chang, C., Feng, F., Liang, D., Cheng, L., Ma, F., 2013. Delay in leaf senescence of *Malus hupehensis* by long-term melatonin application is associated with its regulation of metabolic status and protein degradation. *Journal of Pineal Research* 55(4):424-434.
55. Wolf, K., Kolář, J., Witters, E., van Dongen, W., van Onckelen, H., Macháčeková, I., 2001. Daily profile of melatonin levels in *Chenopodium rubrum* L. depends on photoperiod. *Journal of Plant Physiology* 158(11):1491-1493.
56. Yakupoğlu, G., 2016. Patlıcan (*Solanum melongena* L.)'da Melatonin içeriğinin ve uşüme stresine karşı etkisinin belirlenmesi (Doktora Tezi). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 103s.*
57. Yakupoğlu, G., Köklü, Ş., Karaca, A., Düver, E., Klicic, A., Korkmaz, A., 2018. Changes in melatonin content of pepper seeds during storage. *Acta Horticulturae* 1273:425-432.
58. Yakupoğlu, G., Köklü, Ş., Karaca, A., Düver, E., Reiter, R.J., Korkmaz, A., 2021. Fluctuations in melatonin content and its effects on the ageing process in lettuce seeds during storage. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 20(3):77-88.
59. Zuo, B., Zheng, X., He, P., Wang, L., Lei, Q., Feng, C., Zhou, J., Li, Q., Han, Z., Kong, J., 2014. Overexpression of MzASMT improves melatonin production and enhances drought tolerance in transgenic *Arabidopsis thaliana* plants. *Journal of Pineal Research* 57(4):408-417.
60. Zhao, Y., Tan, D.X., Lei, Q., Chen, H., Wang, L., Li, Q.T., Gao, Y., Kong, J., 2013. Melatonin and its potential biological functions in the fruits of

- sweet cherry. *Journal of Pineal Research* 55(1):79-88.
61. Zhao, D., Yu, Y., Shen, Y., Liu, Q., Zhao, Z., Sharma, R., Reiter, R.J., 2019. Melatonin synthesis and function: evolutionary history in animals and plants. *Frontiers in Endocrinology* 10: 249.
62. Zhang, N., Zhao, B., Zhang, H.J., Weeda, S., Yang, C., Yang, Z.C., Ren, S., Guo, Y.D., 2013. Melatonin promotes water-stress tolerance, lateral root formation and seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Pineal Research* 54(1):15-23.
63. Zhang, H.J., Zhang, N.A., Yang, R.C., Wang, L., Sun, Q.Q., Li, D.B., Cao, Y.Y., Weeda, S., Zhao, B., Ren, S., Guo, Y.D., 2014. Melatonin promotes seed germination under high salinity by regulating antioxidant systems, ABA and GA₄ interaction in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Pineal Research* 57(3):269-279.