

Kucuk, C. and A. Almaca, Bitki gelişimini Teşvik Eden Rizobakteriler Tarafından Üretilen Metabolitler ve Bitki Gelişimine Etkileri. International Journal of Life Sciences and Biotechnology, 2020. 3(1): p. 81-94. DOI: 10.38001/ijlsb.624435

Bitki gelişimini Teşvik Eden Rizobakteriler Tarafından Üretilen Metabolitler ve Bitki Gelişimine Etkileri

Çiğdem Küçük^{1*} , Ahmet Almaca² 

ÖZET

Kuraklık, tuzluluk, ağır metaller, sıcaklık gibi abiyotik faktörler bitki gelişimini olumsuz etkilemekte ve bitkisel verimin azalmasına neden olmaktadır. Bu stres faktörleri bitki morfolojisi ve fizyolojisi üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Bitkiler bu stres faktörlerinden korunmak için, bazı savunma mekanizmalarını kullanırlar. Bitki metabolizması üzerinde önemli etkiye sahip oldukları bilinen küçük moleküller olan metabolitler, bitkilerin strese karşı uyarılmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda rizobakteriler tarafından üretilen oksin, sitokinin, gibberellin, etilen ve absisik asit gibi metabolitlerin strese karşı konakçı toleransı yaratmada önemli olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, rizobakteriler tarafından üretilen bu metabolitler; bitki gelişimini teşvik etmiş, mineral fosfatın ve diğer besin maddelerinin çözünmesinde, strese karşı direncin artırılmasında, toprak agregatlarının stabilizasyonunda ve toprağın organik madde içeriğinin iyileştirilmesinde yardımcı olmuştur. Bu derlemede, bitkilerin stres toleransını indükleyen rizobakteriler tarafından üretilen metabolitler ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

MAKALE GEÇMİŞİ

Geliş 25 Eylül 2019

Kabul 11 Kasım 2019

ANAHTAR KELİMELER

Bitki gelişimini teşvik, stres faktörleri, abiyotik faktörler, rizosfer, metabolit

Metabolites by Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Their Effects on Plant Growth

ABSTRACT

Drought, salinity, heavy metals, abiotic factors such as temperature adversely affect plant growth and cause a decrease in plant yield. These stress factors have negative effects on plant morphology and physiology. To avoid these stress factors; plants use some defense mechanisms. Metabolites, which are small molecules known to have significant effects on plant metabolism, also play an important role in stimulating plants against stress. Recent studies have shown that metabolites such as auxin, cytokine, gibberellin, ethylene and abscisic acid produced by rhizobacteria are important in creating host tolerance to stress. In addition, these metabolites produced by rhizobacteria; It promotes plant growth, helps dissolve mineral phosphate and other nutrients, increases resistance to stress, stabilizes soil aggregates and improves soil organic matter content. In this review, the studies on metabolites produced by rhizobacteria inducing stress tolerance of plants are summarized.

ARTICLE HISTORY

Received

25 September 2019

Accepted

11 November 2019

KEY WORDS

Promote plant growth, stress factors, rhizosphere, abiotic factors, metabolite

¹ Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şanlıurfa;

² Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Şanlıurfa

* Sorumlu yazar: ckucuk@harran.edu.tr

Giriş

Dünyada tarım arazisinin yaklaşık% 25'inin kuraklıktan, yaklaşık% 5-7'sinin de tuzdan etkilendiği düşünülmektedir [1]. Abiyotik streslerin, su alımını azaltarak, bitkinin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini olumsuz olarak etkilediği, bitki büyümesini engellediği rapor edilmiştir [1,2]. Kadmiyum, kurşun ve cıva gibi ağır metaller toksik olup, çoğunlukla topraklarda düşük konsantrasyonlarda bulunurlar. Bununla birlikte, toprak-bitki sistemindeki hareketlilikleri nedeniyle, bitkiler tarafından kolayca alınır ve sürgünlere iletilirler [1]. Bitkide metal konsantrasyonlarındaki artışın, büyümenin gecikmesine, nekroz, besin alımının eksikliğine, düşük enzim aktivitesine ve dolayısıyla fitotoksositeye neden olduğu bildirilmiştir [3].

Fitohormonlar, bitki metabolizması üzerinde belirgin bir etkiye sahip olan ve bitkinin belli organlarında sentezlenen, büyüme düzenleyicileridir [4] ve abiyotik streslerin azaltılmasında önemli rol oynarlar [5]. Bununla birlikte, abiyotik streslerin; bitki gelişimini etkileyen oksinler, gibberellinler, absisik asit (ABA), jasmonik asit ve salisilik asit (SA) gibi endojen fitohormon seviyelerini değiştirdiği [6,7], kuraklık ve tuz stresinin ise bitki dokusundaki fitohormon konsantrasyonlarını engellediği bildirilmiştir [7].

Tarımsal ürünlerin iyileştirilmesi ile ilgili araştırmalarda büyük ilerleme kaydedilmiş, bu ilerlemede mikrobiyal teknoloji ve genetik mühendisliğinin önemli katkıları olmuştur. Rizosfer mikroorganizmaları ile bitki stres toleransını arttırmaya yönelik birkaç strateji önerilmiştir [8]. Bitki ile ilişkili mikroorganizmaların bitki dokusunda endofitik veya simbiyotik olarak veya kök yüzeyini kolonize ederek çeşitli metabolik aktif maddeler üretilip birbirleriyle işbirliği yaptığı da açıklanmıştır [9,10]. Bazı rizobakteriler tarafından gibberellinler [7], sitokininler [11], ABA [12], oksin üretimleri gibi bitki büyüme düzenleyicilerinin biyosentezi ile bitki büyümesi ve besin kazanımının uyarılması ilişkilendirilmiştir [13].

Topraklar; mantar, bakteri ve bitkiler de dahil olmak üzere çeşitli organizmaların kaynağıdır [14]. Rizosfer, bitki kök sızıntılarının zengin besin bileşenlerini içermesinden dolayı (toprak ve diğer habitatlarla karşılaştırıldığında) mikroorganizmaların yoğun bir şekilde kolonize olduğu [1], kök tarafından salınan

çeşitli besinleri kullanan mikroorganizmaları [12] çeken, amino asitler, şekerler, yağ asitleri ve diğer organik bileşikleri içeren ve besin açısından zengin bir ortamdır.

Mikroorganizmalar; fitohormonlar (oksinler, sitokininler, gibberellinler ve ABA) dahil olmak üzere biyolojik olarak aktif bileşikleri, antifungal bileşikleri ve enzimleri sentezler. Bu mikrobiyal metabolitlerin bitki büyümesinde, beslenmesinde ve gelişmesinde hayati rol oynadığı yapılan araştırmalarda açıklanmıştır [15,16]. Sayılan özelliklerdeki mikroorganizmalar, bitki gelişimini uyarabilmiş, çeşitli abiyotik ve biyotik stres faktörlerine direnç sağlayabilmiş, bitkilerin besin kazanımını iyileştirerek çeşitli toprak kaynaklı patojenlerden koruyabilmiştir [17]. Bu derlemede, rizosferdeki bakteriler tarafından sentezlenen metabolitler ve bitki gelişimi üzerine etkileri ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Rizosfer Bakterilerinin Rizosferde Metabolit Üretimi

Kök çevresi ve kök sızıntılarından etkilenen bölge rizosfer olarak adlandırılmaktadır. Köklerden salgılanan karbonhidratlar, organik asitler, vitaminler, nükleotidler, flavonoidler, enzimler, hormon ve uçucu bileşikler kök çevresindeki mikrobiyal aktiviteyi uyarmaktadır. Rizosfer bölgede bakteri yoğunluğunun diğer mikroorganizmalar içinde en yoğun olduğu açıklanmıştır [14]. Rizobakterilerin başlıca yararlı aktiviteleri arasında; topraktaki minerallerin bitkinin alabileceği forma dönüştürülmesi, azot fiksasyonu, patojenlerin bastırılması ve bitki büyümesini teşvik eden hormonların üretimi bulunmaktadır [9,14]. Mikroorganizmalar, bitkilerde besinsel ve hormonal dengeyi düzenleyerek, sistemik toleransı indüklemiş, bitkilerin strese karşı tepkilerini azaltmışlardır. Mikroorganizmaların bitki büyümesini ve stres toleransını iyileştirme mekanizmalarından biri, rizosfer veya kök dokusunda metabolit/fitohormon sentezleme yetenekleridir [18]. Mikrobiyal fitohormonlar, bitki dokusundaki endojen büyüme düzenleyicilerinin metabolizmasını etkilemiş; kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklık ve ağır metal toksisitesine maruz kalan kök morfolojisinin iyileştirilmesinde anahtar rol oynamıştır [1,15].

Acinetobacter, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* ve *Sinorhizobium*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Brevibacillus*, *Cellulosimicrobium*, *Mycobacterium*, *Ochrobactrum* ve *Paenibacillus*'in çeşitli izolatları [16], orkide rizosferinden izole edilen IAA üreten *Mycobacterium* türleri [19] ve buğday rizosferinden izole edilen *Azotobacter*,

Azospirillum, *Cellulomonas* ve *Mycoplana* [6] gibi farklı cins ve türlere ait mikroorganizmalar çeşitli fitohormonları üretmişlerdir.

Piccoli ve ark. [20] tarafından yapılan bir araştırmada ABA üreten endofitik diazotrofik bakteri *Arthrobacter koreensis* izole edilmiş ve tanımlanmıştır. IAA, GA3 ve jasmonik asit, halofit çalılarının (*Prosopis strombulifera*) köklerinden izole edilen *Klebsiella* sp. ve *Enterobacter* sp.'in endofitik suşları, IAA sentezleyebilmiştir [21]. Mishra ve ark. [22], ekstrem ortamlarda IAA üretebilen *Ochrobactrum* spp. ve *Pseudomonas* spp. olarak tanımlanan bakterileri izole etmiştir. *Halomonas desiderata*, *Bacillus megaterium*, *B.cereus*, *B.subtilis*, *Escherichia coli* ve *Pseudomonas fluorescens* G20-18'in sitokinin sentezlediği bildirilmiştir [23,24]. *Bacillus*, *Klebsiella*, *Leifsonia* ve *Enterobacter* cinsine ait izolatlar, kabak rizosferinden izole edilmiştir. Bu bakteri izolatları Cd ile kirlenmiş toprakta IAA üretmiş ve mısır büyümesini arttırdığı Ahmad ve ark. [25] tarafından rapor edilmiştir.

Naz ve ark. [26] tarafından yapılan bir araştırmada ise; bitkilerin kök gelişimini uyaran sitokinin üreten; *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Azospirillum* ve *Pseudomonas* gibi türler izole edilmiştir. ABA, çeşitli bitkilerin kök bölgesinden izole edilen mikroorganizmalarda saptanmıştır. Karadeniz ve ark. [23], *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *B.megaterium* ve *B.cereus*'u ABA üreten bakteri olarak rapor etmişlerdir. *B.pumilus*, *B.licheniformis*, *Acetobacter* sp., *Bacillus* sp., *Azospirillum* sp.; gibberellin üreticileri olarak saptanmıştır [27,28].

Salomon ve ark. [29] *Vitis vinifera*'nın rizosferinde ABA üreten *B. licheniformis* Rt4M10 izolatu ve *P.florescens* Rt6M10 izolatu izole etmiş ve tanımlamışlardır. Ayçiçeği köklerinden izole edilen *Achromobacter xylosoxidans* SF2 besi ortamında ABA üretmiştir [30]. Tuzlu toprakta yetişen bitkilerle ilişkili IAA üreten bakteriler arasında Rizobia'nın oksin, sitokinin ve apsik asitleri sentezlediği, bitki büyümesini, gelişimini ve ürün verimini arttırdığı saptanmıştır [31]. Aktinobakterilerin; IAA, CK, GB benzeri metabolitleri ürettiği de tespit edilmiştir [32,33]. Ruanpanun ve ark. [34], yüksek miktarda IAA üreten *Streptomyces* sp.'yi izole etmişlerdir. Shutsrirung ve ark. [32] tarafından yapılan çalışmada ise endofitik aktinomisetlerden *Streptomyces*, *Nocardia*, *Nocardiosis*, *Spirillospora*, *Microbispora* ve *Micromonospora*'nın IAA ürettiğini tespit edilmiştir. Endofitik aktinobakteri *Streptomyces coelicolor* DE07 ve *S.geysiriensis* DE27'nin fitohormon sentezi su stres koşullarından etkilenmemiştir [35].

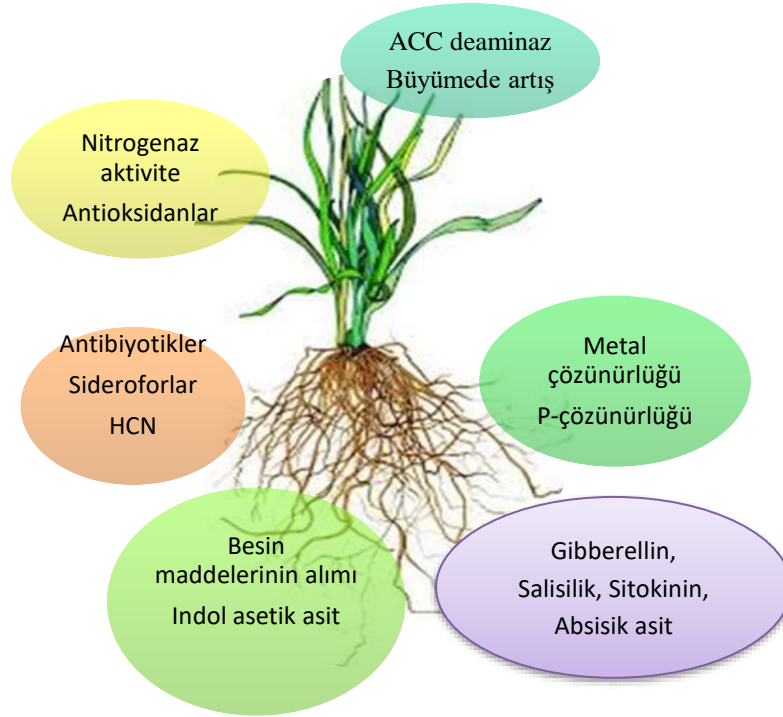
Ozmotik stres koşullarında *A.brasilense*, tarafından üretilen IAA üretimi, strese duyarlı *A.brasilense* Sp7 izolatu ile karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur [36].

Yüksek tuz konsantrasyonları içeren ortamlarda rizosfer mikroorganizmaları çeşitli fitohormonları sentezleyebilmiştir [6]. Başka bir çalışmada ise, %4 NaCl içeren ortamda; *Pseudomonas putida*, *P.extremorientalis*, *P.chlororaphis* ve *P.aurantiaca* IAA üretebilmiştir [6]. *Pseudomonas* sp. ve *Bacillus* sp.'nin çeşitli izolatları yüksek tuz koşulları altında (200–400 mM NaCl) IAA üretmiş ve tuz stresinde mum çiçeğinin bitki biyokütlesini arttırmışlardır [37].

Bacillus ve *Pseudomonas* izolatları, 2.2 µg/ml'nin üzerinde IAA sentezlemiş, *A.xylosoxidans* ve *B.halotolerans* tarafından üretilen GA3 sırasıyla 36.5 ve 75.5 µg/ml olarak belirlenmiştir [12]. Kültür ortamında *L.fusiformis* Ps14, *B.subtilis* Ps8 ve *P.putida* Ps30 izolatları sırasıyla 0.3, 1.8 ve 4.2 µg/ml ABA üretmiştir. Rizosfer bakterilerinden *B.licheniformis* MML2501 (18 µg/ml) ve *Pseudomonas* sp. PRGBO6 (6.8 µg/ml)'nin SA ürettiği bildirilmiştir [38,39].

Bitki Stres Toleransında Üretilen Mikrobiyal Metabolitler

Mikroorganizmalar düşük miktarlarda fitohormonları (metabolitleri) sentezleyerek tuzluluk, sıcaklık, kuraklık ve metal toksisitesi gibi çeşitli stres koşullarında bitki gelişimini ve bitkinin stres toleransını arttırmışlardır [40-42]. Fitohormon üreten mikroorganizmaların bitkilerde abiyotik stresin hafifletilmesi üzerindeki yararlı etkisi yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir (Şekil 1) [1,43].



Şekil 1 Rizosfer bakterilerinin bitki gelişiminde etkili olan mekanizmaları

Bazı fitohormon üreten bakteri izolatları ve bunların abiyotik stresi azaltma yetenekleri Tablo 1'de verilmiştir. Birçok çalışmada abiyotik stres koşullarında bitki gelişiminin uyarılmasında IAA üretimi ve bitkilerle ortak yaşayan bakterilerin olumlu etkileri rapor edilmiştir.

Tablo 1 Stres koşullarında bazı rizosfer bakterileri tarafından üretilen fitohormonlar

Rizobakteri	Üretilen fitohormon*	Bitki	Stres koşulları	Kaynak
<i>Bacillus licheniformis</i>	IAA	Buğday	Tuz stresi	Singh ve Jha [44]
<i>Serratia</i> sp.	IAA	Nohut	Besin stresi	Zaheer ve ark. [45]
<i>Bacillus cereus</i>	IAA	Buğday	Tuz stresi	Egamberdieva ve ark. [46]
<i>Pseudomonas</i> sp.	IAA	Mısır	Tuz ve sıcaklık stresi	Mishra ve ark. [22]
<i>Achromobacter xylooxidans</i> , <i>Bacillus pumilus</i>	SA	Ayçiçeği	Kuraklık stresi	Forchetti ve ark. [47]
<i>Pseudomonas putida</i>	IAA	Soya fasulyesi	Tuz stresi	Egamberdieva ve ark. [46]
<i>Bacillus</i>	ABA	Çeltik	Tuz stresi	Shahzad ve ark. [48]

<i>amyloliquefaciens</i>				
<i>Azospirillum lipoferum</i>	GB	Buğday	Kuraklık stres	Marulanda ve ark. [49]
<i>Micrococcus luteus</i>	CK	Mısır	Kuraklık stresi	Raza ve Faisal [50]
<i>Bacillus subtilis</i>	CK	Mazı	Kuraklık stresi	Liu ve ark. [42]
<i>Azospirillum lipoferum</i>	GB	Buğday	Kuraklık stresi	Creus ve ark. [51]
<i>B.amyloliquefaciens</i>	ABA	Çeltik	Tuz stresi	Shahzad ve ark. [48]
<i>Serratia marcescens</i>	SA	Mısır	Tuz stresi	Lavana ve Nautiyal [52]
<i>Bacillus aryabhatai</i>	IAA, GA, ABA	Soya fasulyesi	Sıcaklık stresi	Park ve ark. [53]
<i>Burkholderia sp.</i> , <i>Bacillus sp.</i> , <i>Leifsonia sp.</i>	IAA	Domates mısır	Cd stresi	Ahmad ve ark. [25]; Durado ve ark. [54]
<i>Bacillus sp.</i>	SA	Mısır	Cr stresi	Islam ve ark., 2016
<i>Kluyvera ascorbata</i> <i>SUD 165</i>	siderofor, IAA	Kanola, Domates	ağır metal (Ni, Zn, Pb)	Burd ve ark. [56]

*sitokinin (CK), gibberellin (GB), indol-3-asetik asit (IAA), salisilik asit (SA), absisik asit (ABA)

Hordeum secalinum'dan izole edilmiş *Curtobacterium flaccumfaciens* E108 ve *Ensifer garamanticus* E110 izolatları arpanın tuz stresine karşı direncini ve verimini arttırmıştır [57].

Rizosfer bakterisi olan *B.licheniformis* HSW-16, tuz stresinden kaynaklı hasarı hafifletmiş ve tuzlu toprak koşulları altında IAA üretimi ile buğdayın büyümesini uyarmıştır [44]. Benzer incelemeler Upadhyay ve ark. [58] tarafından belirlenmiş, araştırmacılar tuza toleranslı *B.subtilis* ve *Arthrobacter sp.*'nin buğday biyokütlesi ve toplam çözülebilir şeker içeriğini arttırdığını, bitki dokusunda sodyum konsantrasyonunu azalttığını saptamışlardır. Tuza toleranslı bir yabancı ot (*Psoralea corylifolia* L.) köklerinden izole edilen tuza toleranslı ve IAA üreten *Enterobacter sp.* NIASMVII uygulamasının buğdayın (*Triticum aestivum* L.) tohum çimlenmesini arttırdığı rapor edilmiştir [28]. Başka bir çalışmada, *Pseudomonas spp.* ekstrem koşullardan izole edilmiş, IAA'yi tuz stresi (500 mM NaCl) ve yüksek sıcaklık (40 °C) altında sentezleyerek mısır gelişimini uyarmış, kök gelişimini ve mısırın verimini arttırmıştır [22]. Bianco ve Defez [59]'e göre bitkilerin IAA tarafından abiyotik stresin olumsuz etkilerinden korunması, gelişmiş hücrel savunma sistemleri ile ilişkilendirilmiştir. Kültür ortamında IAA'yi sentezleyen tuza toleranslı türler olan

Serratia plymuthica RR-2-5-10, *Stenotrophomonas rhizophila* e-p10, *P.fluorescens* SPB2145, *P.extremorientalis* TSAU20, *P.fluorescens* PCL1751 sera koşullarında hıyar ile aşılanmış; hıyarın biyokütlesi ve veriminde sırasıyla %9 ve %24 oranında artışa neden olmuşlardır [40].

Marulanda ve ark. [49], kuraklık sırasında *P.putida* ve *B.megaterium* ile yonca tohumlarının muamelesi ile yonca (*Trifolium repens* L.) biyokütlesinde artış olduğunu belirlemişler, bu değişiklikler ile artan IAA arasında bir ilişki bulmuşlardır. IAA üreten bakterilerin ayrıca, besin açısından zayıf toprak koşulları altında bitki büyümesini ve gelişimini arttırdığı tespit edilmiştir. Nohut nodüllerinden izole edilen *Serratia* sp.'nin IAA ürettiği saptanmış, bu da besince eksik topraklarda nohut tane veriminin artmasına katkıda bulunmuştur [45].

Mikrobiyal fitohormonlar, metal-bitki etkileşimlerinde, bitkilerin fitoekstraksiyonunu iyileştirmede önemli bir rol oynamıştır. Bakır kontamineli topraklarda IAA üretimi ile *A.xylosoxidans* Ax10, *Brassica juncea*'nin kök gelişimini artırmıştır [60]. Zaidi ve ark. [61] tarafından benzer sonuçlar gözlemlenmiştir, IAA sentezleyen *B.subtilis* ile aşılanmış hardal bitkisinin (*B.juncea* L.) kök gelişimini uyardığı ve Ni birikiminin azaldığı incelenmiştir. *B.megaterium* MCR-8 izolatı, 68.5 mg/25 ml konsantrasyonundaki oksin üretimiyle *Vinca rosea*'da Ni stresini hafifletmiş, kök ve yeşil aksam ağırlığını arttırmıştır. *B.megaterium* MCR-8 ile muamele edilen bitkilerde süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POD) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi savunma ile ilgili enzimler, toplam fenoller, flavonoidlerin birikimleri muamelesiz bitkilerle karşılaştırıldığında artmıştır [62]. Yapılan başka bir çalışmada ise; Cd stresinin mısır tohumlarının çimlenmesini ve fide büyümesini inhibe ettiğini, oysa Cd' a toleranslı ve IAA üreten bakterilerden *Leifsonia* sp. ve *Bacillus* sp.'in Cd bulaşık topraktaki mısırın filiz ve kök gelişimini kontrollere göre önemli oranda arttırdığı açıklanmıştır. Cd'a toleranslı *Burkholderia* sp. SCMS54 ise, IAA üreterek Cd stresinde domatesin stres toleransını ve bitki gelişimini artırmıştır [25].

Islam ve ark. [55], Cr toksisitesinin mısır büyümesini önemli ölçüde engellediğini, fotosentetik pigment ve karbonhidrat metabolizması gibi fizyolojik süreçlerini olumsuz yönde etkilediğini ve prolin, H₂O₂ ve MDA seviyelerini arttırdığını bildirmiştir. Bu koşullarda, Cr dirençli *P.mirabilis*'in T2Cr ve CrP450 nolu izolatları SA ile kombine

edildiğinde, Cr'nin toksik etkisini hafifletmiş, mısırdaki antioksidant aktiviteleri arttırarak oksidatif stresi azaltmış, kök ve yeşil aksam gelişimini arttırmıştır [63].

IAA üreten *B. subtilis* NUU4 ve *Mesorhizobium ciceri* IC53'nin birlikte nohut (*Cicer arietinum* L.) ile aşılması; sadece *Mesorhizobium ciceri* IC53 ile aşılana veya aşılammamış kontrol bitkilerle karşılaştırıldığında, tuz stresi altında nohutun kök, biyokütle ve nodül oluşumunu arttırmıştır [64]. Birçok çalışmada, sitokin üreten bakteri izolatlarının kök gelişimi üzerindeki olumlu etkileri de bildirilmiştir. Örneğin, mısırın sitokin üreten bakteri *Micrococcus luteus* chp37 ile aşılması, kurak koşullarda fotosentetik pigmentler dâhil olmak üzere bitkinin fizyolojik özelliklerini olumlu yönde değiştirmiştir [50]. Rizosfer bakterilerinden *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Azospirillum* ve *Pseudomonas*'in sitokin üreten izolatları, soya fasulyesinin kök ağırlığını ve ayrıca tuz stresi altında da bitki dokusundaki prolin içeriğini arttırmıştır [26]. Sitokin üreten *B. subtilis* ile aşı *Platyclus orientalis* (oryantal mazı) kök ağırlığını % 13.9 oranında arttırdığı, aşısız kontrollere göre yapraklarda sitokin konsantrasyonunda % 47.52 oranında arttığı bildirilmiştir [9]. *B.licheniformis* ve *P.fluorescens* tarafından ABA üretiminin su stres koşullarında asmanın gelişimini stimüle ettiği Salomon ve ark. [29] tarafından açıklanmıştır.

Normal ve tuzlu koşullar altında *B.amyloliquefaciens*'in RWL1 izolatı ABA (0.32-0.14 ng/ml) üretmiştir [48]. Tuz stresinde; bakteriyel aşılama, çeltik bitkisinin kök ve yeşil aksam gelişimini, bitki dokusundaki SA konsantrasyonunu önemli ölçüde arttırmıştır. Park ve ark. [53]; *Bacillus aryabhatai* SRB02 izolatını soya fasulyesi rizosferinden izole etmişler ve soya fasulyesi ile aşıladıklarında ise soya fasulyesinde nodül oluşumunun önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir. Aynı araştırmacılar, kültürde izolatın 2 ng/ ml ABA ürettiğini ve soya fasulyesinin kuraklık stres toleransını kontrol bitkilerine göre önemli oranda arttırdığını tespit etmişlerdir.

Diğer fitohormonların etkilerine benzer şekilde, SA üreten endofitik bakteriler *A.xylosoxidans* ve *B.pumilus*'ın kurak koşullarda ayçiçeği fidelerinin biyokütlesini arttırmıştır [30]. Tuza toleranslı olan ve SA üreten *Serratia marcescens* NBRI1213'ün mısır kök ve sürgün gelişimini, topraktan besin kazanımını teşvik ettiği; tuzlu koşullarda bitki stres toleransını arttırdığı Lavania ve Nautiyal [52] tarafından bildirilmiştir. Bazı bakteriler, bitki dokusunda hormonal denge ve fizyolojik süreçlerin düzenlenmesinde etkili olan çeşitli metabolitleri (fitohormon) üretmiştir. *Sphingomonas*

sp. LK11 ve *S.marcescens* TP1, kültür ortamında sırasıyla 12.31 ve 10.5 µM/ml IAA üretmiş; soya fasulyesinin kök ve sürgün gelişimini arttırmış, kontrol bitkilerle karşılaştırıldığında jasmonik asit içeriği azalmış, ABA ve gibbrellindeki artışla soya fasulyesi kök gelişimini stimüle etmiştir [10]. *B.aryabhatai* SRB02 ile muamele edilen bitkilerin dokularında daha yüksek konsantrasyonda; IAA, JA, GA12, GA4 ve GA7 belirlenmiştir. ABA üreticisi olan *Azospirillum lipoferum* ve *A.brasilense* sp. ile aşılanan mısır için de benzer gözlemler rapor edilmiştir. Bu çalışmalar, bitkilerin stres toleransını indükleyen bitki ile ilişkili mikroorganizmalar tarafından bitki dokusunda fitohormon modülasyonunun bulunduğunu göstermektedir.

Sonuç

Mikrobiyal kökenli fitohormon uygulamalarının; değişen veya ekstrem çevre koşulları altında potansiyel uygulamalarının sağlanması, bitkilerin abiyotik ve biyotik stres toleransının artırılması için önemli bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Bitki büyümesinin uyarılması, abiyotik streslere tolerans ve patojenlere direnç gibi mikroorganizmaların aracılık ettiği bitki üzerindeki faydalı etkiler, mikroorganizmaların bitki dokularında oksin, gibberellinler, SA, ABA ve sitokinin üretebilme yeteneğine dayanmaktadır. Bu nedenle, bitki ile ilişkili mikroorganizmalar, bitki dokusundaki hormon seviyelerini ve metabolizmayı, özellikle kuraklık, tuzluluk, besin eksikliği veya ağır metal kirliliği gibi dış baskıların zarar verici etkilerini önleyebilecek potansiyele sahiptir. Stres koşullarında, mikroorganizmalar tarafından bitki dokularında metabolit dengesinin düzenlenmesi, bitkisel üretimde sürdürülebilir yaklaşımların geliştirilmesinde önemli olabilir. Bunların bitkiye özgü özellikler olup olmadığını belirlenmesi ve mikrobiyal metabolitler ile bitkilerin stresli ortamlardaki tepkilerinin anlaşılmasında farklı bitki türleri üzerinde yapılacak daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Fitohormonların antagonistik veya sinerjik etkileşimlerini ortaya çıkarmak için, genetik mekanizmaları kullanmak, mikrobiyal metabolit uygulanmasından sonra spesifik genlerin ekspresyonuna yol açan reseptörlerin tanımlanması ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır. Bitki üzerinde metabolit üreten mikroorganizmaların performansına ilişkin çalışmalar yapılmalı ve bu mikrobiyal aşılardan, yerli mikrofloraya karşı besin ve niş için rekabetçi olmasına dikkat edilmelidir. Konukçu-mikroorganizma-stres etkileşimlerinin ve bunların proteomik, genomik, metagenomik gibi omik tabanlı yaklaşımlarını içeren mekanizmalarının araştırılması gerekmektedir

Kaynaklar

1. Hashem, A., et al., The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardii* under salt stress. *Frontiers in Plant Sciences*, 2016. 7:p.1089.
2. Ahmad, P., et al., Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2010. 30: p. 161–175.
3. Groppa, M.D., et al., Cadmium modulates NADPH oxidase activity and expression in sunflower leaves. *Biologia Plantarum*, 2012. 56: p. 167–171.
4. Kazan, K. Auxin and the integration of environmental signals into plant root development. *Annals of Botany*, 2013. 112: p. 1655–1665
5. Hu, Y.F., et al., Cadmium interferes with maintenance of auxin homeostasis in *Arabidopsis* seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 2013. 170: p. 965–975.
6. Egamberdieva, D. and Z. Kucharova, Selection for root colonising bacteria stimulating wheat growth in saline soils. *Biology Fertilizers Soils*, 2009. 45: p. 561–573.
7. Khan, M.I.R., M. Asgher, and N.A. Khan, Alleviation of salt-induced photosynthesis and growth inhibition by salicylic acid involves glycine betaine and ethylene in mungbean (*Vigna radiata* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 2014. 80: p.67–74.
8. Khan, A.L., et al., Endophytic fungi: a source of gibberellins and crop resistance to abiotic stress. *Critical Reviews Biotechnology*, 2013. 35: p. 62–74.
9. Berg, G., et al., Biocontrol and osmoprotection for plants under saline conditions. In *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, ed. F. J. de Bruijn (Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell) 2013.
10. Asaf, S., et al., Bacterial endophytes from arid land plants regulate endogenous hormone content and promote growth in crop plants: an example of *Sphingomonas* sp. and *Serratia marcescens*. *Journal of Plant Interactions*, 2017. 12: p. 31–38.
11. Kudoyarova, G.R., et al., Cytokinin producing bacteria stimulate amino acid deposition by wheat roots. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2014. 83: p. 285–291.
12. Sgroy, V., et al., Isolation and characterization of endophytic plant growth-promoting (PGPB) or stress homeostasis-regulating (PSHB) bacteria associated to the halophyte *Prosopis strombulifera*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2009. 85: p. 371–381.
13. Pereira, S.I.A., et al., Endophytic culturable bacteria colonizing *Lavandula dentata* L. plants: isolation, characterization and evaluation of their plant growth-promoting activities. *Ecological Engineering*, 2016. 87: p. 91–97.
14. Mendes, R., P., Garbeva, and J.M. Raaijmakers, The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, 2013. 37: p. 634–663.
15. Sorty, A.M., et al., Effect of plant growth promoting bacteria associated with halophytic weed (*Psoralea corylifolia* L.) on germination and seedling growth of wheat under saline conditions. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2016.180: p. 872–882.
16. Egamberdieva, D., et al., Antimicrobial activity of medicinal plants correlates with the proportion of antagonistic endophytes. *Frontiers in Microbiology*, 2017. 8:p. 199.
17. Cho, S.T., et al., Genome analysis of *Pseudomonas fluorescens* PCL1751: a rhizobacterium that controls root diseases and alleviates salt stress for its plant host. *PLOS ONE*, 2015. 10: p. 140231.
18. Etesami, H., H.A. Alikhani, and H.M. Hosseini, Indole-3-acetic acid (IAA) production trait, a useful screening to select endophytic and rhizosphere competent bacteria for rice growth promoting agents. *MethodsX*, 2015. 2: p. 72–78.
19. Tsavkelova, E.A., et al., Orchid-associated bacteria produce indole-3-acetic acid, promote seed germination, and increase their microbial yield in response to exogenous auxin. *Archives of Microbiology*, 2007.188: p. 655–664.

20. Piccoli, P., et al., An endophytic bacterium isolated from roots of the halophyte *Prosopis strombulifera* produces ABA, IAA, gibberellins A1 and A3 and jasmonic acid in chemically-defined culture medium. *Plant Growth Regulation*, 2011. 64: p. 207–210.
21. de Santi Ferrara, F.I., et al., Endophytic and rhizospheric enterobacteria isolated from sugar cane have different potentials for producing plant growth-promoting substances. *Plant Soil*, 2012. 353:p. 409–417.
22. Mishra, S.K., et al., Characterisation of *Pseudomonas* spp. and *Ochrobactrum* sp. isolated from volcanic soil. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2017. 110: p. 253–270.
23. Karadeniz, A., Ş.Topçuoğlu, and S. İnan, Auxin, gibberellin, cytokinin and abscisic acid production in some bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2006. 22: p. 1061–1064.
24. Grobkinsky, D.K., et al., Cytokinin production by *Pseudomonas fluorescens* G20-18 determines biocontrol activity against *Pseudomonas syringae* in *Arabidopsis*. *Scientific Reports*, 2016. 6: p. 23310.
25. Ahmad, I., et al., Differential effects of plant growth-promoting rhizobacteria on maize growth and cadmium uptake. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2016. 35: p.303–315.
26. Naz, I., A. Bano, and T. Ul-Hassan, Isolation of phytohormones producing plant growth promoting rhizobacteria from weeds growing in Khewra salt range, Pakistan and their implication in providing salt tolerance to *Glycine max* L. *African Journal of Biotechnology*, 2009. 8: p. 5762–5766.
27. Gutierrez-Manero, F.J., et. al., The plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiologia Plantarum*, 2001. 111: p.206–211
28. Bottini, R., F. Cassan, and P. Piccoli, Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2004. 65: p. 497–503.
29. Salomon, M.V., et al., Bacteria isolated from roots and rhizosphere of *Vitis vinifera* retard water losses, induce abscisic acid accumulation and synthesis of defense-related terpenes in in vitro cultured grapevine. *Physiologia Plantarum*, 2014. 51: p. 359–374.
30. Forchetti, G., et al., Endophytic bacteria in sunflower (*Helianthus annuus* L.) isolation, characterization, and production of jasmonates and abscisic acid in culture medium. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2007. 76: p.1145–1152.
31. Hayat, S., et al., Growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in response to salicylic acid under water stress. *Journal of Plant Interactions*, 2008. 3: p. 297–304.
32. Shutsrirung, A., et al., Diversity of endophytic actinomycetes in mandarin grown in northern Thailand, their phytohormone production potential and plant growth promoting activity. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2013. 59: p. 322–330.
33. Vijayabharathi, R., A. Sathya, and S. Gopalakrishnan, A Renaissance in plant growth-promoting and biocontrol agents by endophytes. In *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*, eds D. P. Singh, H. B. Singh, and R. Prabha (New Delhi: Springer), 2016. p. 37–61.
34. Ruanpanun, P., et al., Actinomycetes and fungi isolated from plant-parasitic nematode infested soils: screening of the effective biocontrol potential, indole-3-acetic acid and siderophore production. *World J. Microbiology and Biotechnology*, 2010. 26: p.1569–1578.
35. Yandigeri, M.S., et al., 2012. Drought-tolerant endophytic actinobacteria promote growth of wheat (*Triticum aestivum*) under water stress conditions. *Plant Growth Regulation*. 68: p. 411–420.
36. Nabti, E., et al., A Halophilic and osmotolerant *Azospirillum brasilense* strain from algerian soil restores wheat growth under saline conditions. *Engineering in Life Sciences*, 2007. 7: p. 354–360.

37. Hidri, R., et al., Impact of microbial inoculation on biomass accumulation by *Sulla carnosus* provenances, and in regulating nutrition, physiological and antioxidant activities of this species under non-saline and saline conditions. *Journal of Plant Physiology*, 2016. 201: p. 28–41.
38. Indiragandhi, P., et al., Characterization of plant growth-promoting traits of bacteria isolated from larval guts of diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Current Microbiology*, 2008. 56: p. 327–333.
39. Khan, A.L., et al., Gibberellins producing endophytic *Aspergillus fumigatus* sp. LH02 influenced endogenous phytohormonal levels, isoflavonoids production and plant growth in salinity stress. *Process Biochemistry*, 2011. 46: p. 440–447.
40. Egamberdieva, D., et al., Bacteria able to control foot and root rot and to promote growth of cucumber in salinated soils. *Biology Fertilizers Soils*, 2011. 47: p.197–205.
41. Egamberdieva, D., et al., Coordination between *Bradyrhizobium* and *Pseudomonas* alleviates salt stress in soybean through altering root system architecture. *Journal of Plant Interactions*, 2017. 12: p. 100–107.
42. Liu, Y., et al., Effect of IAA produced by *Klebsiella oxytoca* Rs-5 on cotton growth under salt stress. *Journal of General and Applied Microbiology*, 2013. 59:p. 59–65.
43. Ngumbi, E., and J. Kloepper, Bacterial-mediated drought tolerance: current and future prospects. *Applied Soil Ecology*, 2014. 105: p. 109–125.
44. Singh, R.P., and P.N. Jha, A halotolerant bacterium *Bacillus licheniformis* HSW-16 augments induced systemic tolerance to salt stress in wheat plant (*Triticum aestivum*). *Frontiers in Plant Science*, 2016. 7: p. 1890.
45. Zaheer, A., et al., Association of plant growth-promoting *Serratia* spp. with the root nodules of chickpea. *Research in Microbiology*, 2016. 167: p. 510–520.
46. Egamberdieva, D., et al., High incidence of plant growth-stimulating bacteria associated with the rhizosphere of wheat grown on salinated soil in Uzbekistan. *Environmental Microbiology*, 2008. 10: p. 1-9.
47. Forchetti, G., et al., Endophytic bacteria improve seedling growth of sunflower under water stress, produce salicylic acid, and inhibit growth of pathogenic fungi. *Currents Microbiology*, 2010. 61: p. 485–493.
48. Shahzad, R., Inoculation of abscisic acid-producing endophytic bacteria enhances salinity stress tolerance in *Oryza sativa*. *Journal Environmental and Experimental Botany*, 2017. 136: p. 68–77.
49. Marulanda, A., J.M. Barea, and R. Azcon, Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM fungi and bacteria) from dry environments: mechanisms related to bacterial effectiveness. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2009. 28: p. 115–124.
50. Raza, A., and M. Faisal, Growth promotion of maize by desiccation tolerant *Micrococcus luteus*-chp37 isolated from Cholistan desert, Pakistan. *Australian Journal of Crop Science*, 2013. 7: p. 1693–1698.
51. Cereus, C., R.J. Sueldo, and C.A. Barassi, Water relations and yield in *Azospirillum* inoculated wheat exposed to drought in yield. *Canadian Journal of Botany*, 2004. 82: p. 273-281.
52. Lavania, M., and C. Nautiyal, Solubilization of tricalcium phosphate by temperature and salt tolerant *Serratia marcescens* NBRI1213 isolated from alkaline soils. *African Journal of Microbiology Research*, 2013. 7: p. 4403–4413.
53. Park, Y.G., et al., *Bacillus aryabhatai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. *PLOS ONE*, 2017. 12: p. 1-28.
54. Dourado, M.N., et al., *Burkholderia* sp. SCMS54 reduces cadmium toxicity and promotes growth in tomato. *Annals Applied Biology*, 2013. 163: p. 494–507.
55. Islam, F., et al., Combined ability of chromium (Cr) tolerant plant growth promoting bacteria (PGPB) and salicylic acid (SA) in attenuation of chromium stress in maize plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2016. 108: p. 456–467.

56. Burd, G., D.G. Dixon, and B.R. Glick, Plant growth promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. *Canadian Journal of Microbiology*, 2000. 46: p. 237-245.
57. Cardinale, M., et al., Paradox of plant growth promotion potential of rhizobacteria and their actual promotion effect on growth of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salt stress. *Microbiology Research*, 2015. 181: p.22–32.
58. Upadhyay, S.K., et al., Impact of PGPR inoculation on growth and antioxidant status of wheat under saline conditions. *Plant Biology*, 2012. 14: p. 605–611.
59. Bianco, C., and R. Defez, *Medicago truncatula* improves salt tolerance when nodulated by an indole-3-acetic acid-overproducing *Sinorhizobium meliloti* strain. *Journal of Experimental Botany*, 2009. 60: p. 3097–3107.
60. Ma, Y., M. Rajkumar, and H. Fritas, Inoculation of plant growth promoting bacterium *Achromobacter xylosoxidans* strain Ax10 for the improvement of copper phytoextraction by *Brassica juncea*. *Journal of Environmental Management*, 2008. 90: p. 831–837.
61. Zaidi, S., et al., Significance of *Bacillus subtilis* strain SJ-101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in *Brassica juncea*. *Chemosphere*, 2006. 64: p. 991–997.
62. Khan, W.U., et al., Application of *Bacillus megaterium* MCR-8 improved phytoextraction and stress alleviation of nickel in *Vinca rosea*. *International Journal of Phytoremediation*, 2017. 19: p. 813–824.
63. Nadeem, S.M., et al., The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances* 2014. 32: p. 429–448.
64. Egamberdieva, D., et al., Endophytic bacteria improve plant growth, symbiotic performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and induce suppression of root rot caused by *Fusarium solani* under salt stress. *Frontiers in Microbiology*, 2017.. 8: p. 1887