



## ACC Deaminaz ve Mikroorganizmalar

Şükran KARDAŞ\* Gülten ÖKMEN  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kötekli, Muğla

\*Sorumlu yazar:  
E-posta: sukrankardas17@gmail.com

Geliş Tarihi: 22 Nisan 2014  
Kabul Tarihi: 13 Haziran 2014

### Özet

ACC deaminaz, yaklaşık 35-42 kDa' luk bir alt birimli molekül kütlelerine sahip multimerik bir enzimdir. Son zamanlarda, ACC' yi amonyak ve  $\alpha$ -ketobutirata hidroliz eden ACC-deaminaz içeren bazı toprak mikroorganizmaları keşfedilmiştir. ACC deaminaz içeren toprak bakterileri fitopatogen infeksiyonu, aşırı sıcaklığa maruz kalma, yüksek tuz, sel, kuraklık, metallere ve organik kirleticilere maruz kalma ve böcek istilasını da kapsayan çevresel stresler sonucu bitkilere fizyolojik hasarın önemli bir kısmını azaltır. Bu enzim, daha sonra bakteriyel ve mantar türlerinin geniş bir yelpazesinde tespit edilmiştir. *Pseudomonas*' ı kapsayan çeşitli taksonomik gruplara ait bitki büyümesini uyaran kök bakterilerinin bir kısmı (PGPR), enzim 1-aminosiklopropan- 1-karboksilat (ACC) deaminazı içermektedirler. Bakterilerden ACC deaminaz, *Pseudomonas putida* ve *Pseudomonas fluorescens*, *Enterobacter cloacae* ve *Kluyvera ascorbata*' da ve maya *Hansenula saturnus* ve mantar *Penicillium citrinum*' da bildirilmiştir. Bu derleme ACC deaminaz içeren mikroorganizmalara bir bakış sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** ACC deaminaz, Bakteriler, Funguslar, Mayalar

## ACC Deaminase and Microorganisms

### Abstract

ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylate ) deaminase is a multimeric enzyme with a subunit molecular mass of approximately 35-42 kDa. Recently, it has been discovered that certain soil microorganisms contain an enzyme ACC-deaminase that hydrolyses ACC into ammonia and  $\alpha$ -ketobutyrate. The ACC deaminase-containing soil bacteria decrease a significant portion of the physiological damage to plants following environmental stresses including phytopathogen infection, exposure to extremes of temperature, high salt, flooding, drought, exposure to metals and organic contaminants, and insect predation. This enzyme has subsequently been detected in a wide range of bacterial strains and fungi. A number of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), belonging to various taxonomic groups including *Pseudomonas*, contain the enzyme 1-aminocyclopropane- 1-carboxylate (ACC) deaminase. ACC deaminase from bacteria *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas fluorescens*, *Enterobacter cloacae* and, *Kluyvera ascorbata*, and yeast *Hansenula saturnus*, and fungus *Penicillium citrinum* have been reported. This review provides an overview to ACC deaminase containing microorganisms.

**Key words:** ACC deaminase, Bacteria, Fungi, Yeasts

## GİRİŞ

Canlılar doğaları gereği dış çevre ile sürekli ilişki halindedir ve içinde buldukları çevrede uygunsuz koşullar olması durumunda adaptasyon eksikliğine bağlı olarak stres koşullarına maruz kalırlar. Çevre şartlarının bir bitkinin normal büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkileyecek kadar değişmesi halinde bitkide meydana gelen duruma stres denir. Bir başka deyişle bitki üzerinde negatif etkileri olan dış faktörler olarak tanımlanır. Birçok durumda stres bitkinin canlı kalabilmesi, ürün verebilmesi, biyokütle birikimi ve özümleme ile ilişki kurarak açıklanması gereken bir kavramdır [1].

### Bitkilerde Stres

Bitkiler en iyi gelişimi kendileri için optimum olan koşullarda göstermekte olup, normal metabolizmanın esnekliğine bağlı olarak, bitkiler günlük ve mevsimlik değişmeler karşısında büyümelerini devam ettirebilmelerine rağmen, beklenmedik bir koşula sürekli veya zaman zaman maruz kalmaları sonucunda, gelişimlerini ve hayatta kalmalarını etkileyecek hastalıklar, hasarlar veya fizyolojik değişimler ortaya çıkabilmektedir [2].

Stres faktörleri orijinlerine göre abiyotik ve biyotik stres faktörleri olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Abiyotik stres faktörleri; soğuk, sıcaklık, kuraklık, tuzluluk, su fazlalığı, radyasyon, çeşitli kimyasallar, oksidatif stres, rüzgâr ve toprakta besin yetersizliği gibi çevresel faktörlerdir. Biyotik stres faktörleri ise virüs, bakteri ve fungusları içeren mikroorganizmalar, böcekler ve herbivorlardır [3].

Doğaları gereği stres etmeninden uzaklaşarak kaçma gibi bir seçeneği olmayan bitkiler, hayvanlardan farklı olarak strese doğrudan maruz kalmaktadırlar. Bu doğrudan etki büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkiler iken, bitki organlarının yaşamını yitirmesine neden olmaktadır [4,5]. Stres etmenlerinin neden olduğu zarar; bitkinin türüne, tolerans ve adaptasyon kabiliyetine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [6-8].

#### **Kuraklık Stresi**

Kuraklık Dünya'nın tüm iklim bölgelerini tehdit eden [9], bitkilerin büyümesini ve ürün verimini sınırlayabilen bir faktör olup, bitkiler tarafından hücrel ve moleküler düzeyde yanıt bulan bir strestir [10-12]. Kökler tarafından kuraklık stresi sinyalinin alınması ve iletilmesi sonucunda etilen gibi büyüme düzenleyicileri ile bütün bitkiye aktarılır [13-15], ve sonuçta etilen bitkinin anormal büyümesine neden olmaktadır [16].

#### **Su baskınları**

Su baskınları bitkinin kök ve gövdelerinde etilen biyosentezini artırır ve köklerde sentezlenen ACC, ACC oksidaz enzimi yardımıyla etilene dönüştürülür ve bitki sürgünlerine taşınır [17,18]. Su basmış domates bitkisinin sürgünlerinde moleküler düzeyde ACC sentezinin artışına bağlı olarak ACC oksidaz ve etilen üretiminde artış gözlenmiştir [19,20]. Bu da yaprakta klorozis, nekroz ve düşük meyve verimine neden olmaktadır. Su baskınına maruz kalan bitkiler ACC deaminaz içeren bitki büyümesini teşvik eden bakterilerle muamele edilmektedir [21].

#### **Sıcaklık stresi**

Bitkiler, mevsimsel değişiklikler ile gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan değişikliklere karşı hassastırlar. Ayrıca küresel ısınma kaynaklı sıcaklık stresi tüm Dünya'da tarım için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır [22,23]. Sıcaklık değişiklikleri bitkide hormonal dengesizliklere neden olduğu için büyüme önemli ölçüde etkilenmektedir [24]. Diğer birçok biyotik ve abiyotik faktörler gibi yüksek sıcaklık ya da dondurucu soğukların bitki dokularında etilen üretimini hızlandırdığı araştırmacılar tarafından bildirilmektedir [25,26].

#### **Patojen mikroorganizma stresi**

Patojen mikroorganizmalar gıda üretimi ve ekosistem dengesi için ciddi bir tehdittir. Günümüzde bitki büyümesini teşvik edici, toprak ve bitki sağlığı için bitki ile ilişkili bakterilerin potansiyel kullanımları araştırılmaktadır [27-30]. Bitkide etilen sentezi daha çok patojenik infeksiyon ile artmaktadır. [31,32]. Son yıllarda virus, mantar ve bakteri gibi çeşitli patojenlere karşı dayanıklı bitkilerin araştırılması popüler çalışmalar arasında yer almaktadır [33].

ACC deaminaz genleri aynı zamanda patojen bakterilerde de mevcuttur. Son yıllarda birçok araştırmacı tarafından bitki patojeni bakterilerde ACC deaminaz aktivitesi bildirilmiştir [34-36]. Ancak, patojen bakterilerdeki ACC deaminaz varlığının, bu bakterilerin

patojenik etkilerini ortadan kaldırdığına veya bitki büyümesini teşvik ettiğine dair raporlar henüz yayınlanmamıştır [37].

#### **Ağır metal stresi**

Bazı metaller bitkinin büyümesi ile gelişmesi için gerekli ve faydalı mikroblesinlerdir ancak fazla miktarda alınmaları toksik etki yaparak bitkide büyümeyi baskılayabilmektedir [38]. Buna ilaveten, toprakta yüksek metal konsantrasyonu etilen üretimini artırır ve kök inhibisyonuna neden olmaktadır [39,40].

#### **Organik kirleticiler**

Toprak ortamındaki organik kirleticiler, çeşitli mekanizmalar aracılığıyla bitki türlerinin büyümesini engellemektedir [41]. Kirletilmiş topraklarda yetiştirilen bitkilerde etilen üretiminin artması ile bitki kök sisteminde anormal gelişim gözlenebilmektedir [42-44].

#### **Hava kirliliği**

Hava kirliliği, bitkinin enzim sistemlerini ve metabolik süreçlerini inhibe ederek bitkiye zarar vermektedir [45]. Çeşitli çevresel streslere maruz kalan bitkilerde etilen miktarı artmaktadır [46-49].

#### **Tuz stresi**

Tuz stresi çoğu durumda bitkilerde etilen üretimini artırır [50-53]. Yapılan son çalışmalarda ACC deaminaz içeren PGPR (plant growth promotion rhizobacteria) ile aşılansmış bitkilerin tuzluluk stresinde bile normal büyümenin mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Cheng ve arkadaşlarının [54] yapmış olduğu çalışmada, ACC deaminaz içeren bakteriler etilen sentezini azaltarak, bitkiler üzerinde tuz toleransı kazandırdığı ve tuzlu ortamda kanola bitkisinin büyümesini teşvik ettiği rapor edilmiştir [55,56].

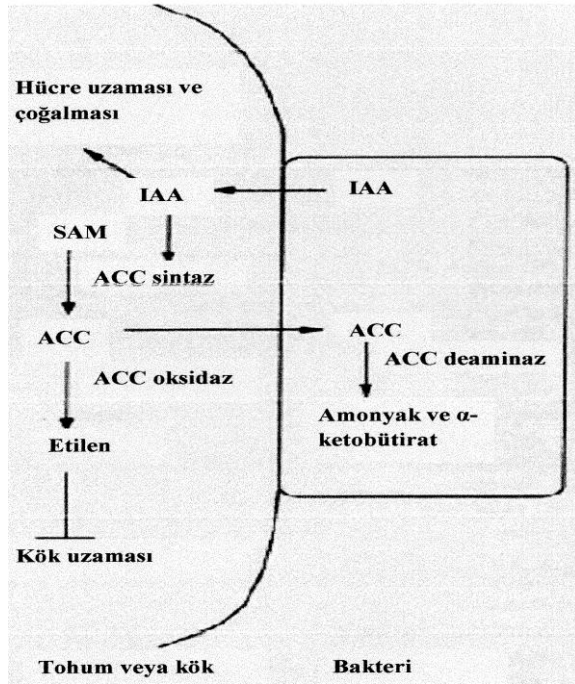
#### **Stres ve etilenin rolü**

Etilen, hemen hemen tüm bitkilerde üretilen önemli bir büyüme hormonudur ve bitkide meydana gelen farklı tepkiler ve gelişimsel süreçlere aracılık etmektedir [57,58]. Etilen varlığı bazı durumlarda uyarıcı etki yaparken, etilen konsantrasyonuna bağlı olarak bitkinin büyüme fazına ve fizyolojik sürecine engelleyici etki de yapabilmektedir. Herhangi bir faktör / uyarıcı bitki dokusunda etilen düzeylerinde bir değişikliğe neden olarak bitkinin büyüme ve gelişmesini değiştirebilir [57].

Etilen, çeşitli biyotik ve abiyotik mekanizmalar yolu ile üretilmekte ve moleküler düzeyde bitkilerde çok yönlü fizyolojik değişikliklerin meydana gelmesinde önemli rol oynamakta ve stres hormonu olarak ta bilinmektedir [37]. Etilen, dormansinin kırılması [59], kök oluşumu ve köklerin uzaması, adventif kök oluşumu, çiçeklenmenin sona ermesi, dioik bitkilerde döllenmenin artması, meyve ve yaprak dökülmesi, meyvelerin olgunlaşması ve nodül oluşumunda rol oynamaktadır [60-63].

Etilen seviyesindeki artış, arbusküler mikorhizal fungi (AMF) kolonizasyonunu [64] ve baklagillerde kök nodülasyonunu engellemektedir [65]. Bu kapsamda, aşırı ACC deaminasyonu ile etilen biyosentezinin azaltılmasında ve özellikle AMF ve Rhizobial kolonizasyonu iyileştirmede PGPR'lerin rol alması ilgi çekicidir [66]. Bitkiler stres belirtilerinin ortadan kaldırılması için toprak mikroorganizmaları ile iletişim içersinde olup, birçok toprak mikroorganizmaları bitki ile simbiyotik bir ilişki oluşturarak bitki köklerinde ve rizosfer yüzeyinde kolonileşme yeteneğine sahiptir [67].

Tuz stresinin bitki büyümesi üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak için ACC deaminaz vasıtası ile etilen seviyelerini düşürmek yaygın bir mekanizmadır (Şekil 1). Örneğin araştırmacılar; *Azospirillum* türlerinin buğday, mısır, fasulye, marul ve tatlı biber üzerinde tuz stresini engelleyici etkisi olduğunu bildirmişlerdir [68-72]. Bir başka çalışmada, ACC deaminaz içeren PGPR ile aşılanmış bitkilerin su stresine önemli derecede tolerans gösterdiği ve bakteriyel ACC deaminaz üretiminin etilen seviyesini düşürdüğü ve stresin zararlı etkilerinin ortadan kaldırıldığı rapor edilmiştir (Şekil 1) [73].



Şekil 1. Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterilerinin (PGPR) etilen konsantrasyonunu düşürmesi

IAA: İndol asetik asit, ACC; 1-amino siklopropan 1- karboksilik asit, SAM: S-adenozil metiyonin [74]

#### ACC deaminaz ve stresteki rolü

##### ACC deaminaz (EC 3.5.99.7) (2002)

ACC deaminaz yaklaşık 35-42 kDa molekül ağırlığına sahip multimerik (homodimerik veya homotrimerik) bir enzimdir [74]. Hidrolazlar grubuna dahil olan bu enzim çeşitli kimyasal bağların hidrolizini katalizler. Peptid bağları dışındaki C-N bağlarını kıran enzimler olarak adlandırılırlar. Hidroliz yolu ile bir substrattan 2 ürünün oluşmasını sağlayan enzimlerdir. ACC deaminaz aktivitesi, pridoksal 5-fosfat kofaktörü gerektiren geniş enzim grubunun bir üyesidir [75]. Üç boyutlu yapıları dikkate alınarak sınıflandırıldığında ise; triptofan sentez grubuna girmektedir [76].

#### Stres üzerindeki rolü

Etilen bitkiler için önemli olmakla birlikte, strese bağlı olarak aşırı miktarda üretilen etilen gelişmeyi engellemektedir. Biyotik ve abiyotik stres koşullarına tepki olarak köklerdeki etilen üretimi artmakta [60,77,78], böylece kök gelişimi engellenmektedir. Bu durum normal bitki büyüme ve gelişimi için etilen üretiminin düzenlenmesini zorunlu kılmaktadır [79].

1-aminosiklopropan-1-karboksilat (ACC) deaminaz, ACC' nin α-ketobütirat ve amonyağa dönüşmesini katalize ederek bitkide etilen üretimini kontrol edebilmektedir [80]. Araştırmacılar tarafından pridoksal 5-fosfata (PLP) bağlı polimerik ACC deaminaz üzerine ilk olarak *Pseudomonas* ile çalışılmış ve özellikle çalışmalar stres koşullarında bitki gelişmesinin teşviki ile stresin olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla yönelmiştir [36,81- 88].

#### ACC deaminaz aktivitesine sahip bitki gelişimini uyarıcı mikroorganizmalar

Günümüz tarımsal üretiminin amacı, hızla artan Dünya nüfusu için verimli, kaliteli ve güvenilir ürünlerin üretilmesidir [89]. Ticari olarak üretilen çeşitli kimyasallar, bitki verimini artırmada ve bitki hastalıkları ile mücadelede kullanılmaktadır. Kullanılan kimyasallara karşı mikroorganizmaların direnç geliştirmesi, kimyasalların çevre kirliliğine sebep olması ayrıca bitki, hayvan ve insan sağlığına tehdit etmesi gibi olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır [89,90].

Bunun dışında tarımsal alanlarda yüksek verim sağlanması için, fazla miktarda kimyasal gübre uygulanmakta ve bunun sonucu olarak ta olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır. Dolayısı ile çevreye dost ve toprakta ekolojik dengeyi bozmayan tarımsal uygulamalara araştırmalar kaymaktadır. Son yıllarda mikrobiyolojik etmenler, biyolojik gübre ve bitki uyarıcı olarak bitkinin gerek duyduğu besin maddelerini karşılayacak kaynaklar olarak düşünülmektedir. Çevre ile dost olan bu mikroorganizmaların ve metabolitlerinin, endüstriyel olarak büyük miktarlarda üretilerek tarımda kullanılması ekosistemin devamı için çevre dostu bir yaklaşımdır [91]. Günümüze kadar bu yeni yaklaşıma dair mikrofungus ve mayalar ile yapılan çok az sayıda çalışmaya rastlanmıştır (Çizelge 1). Çalışmalar genellikle bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri üzerine yoğunlaşmıştır.

Çizelge 1. ACC deaminaz aktivitesine sahip mikrofungus ve mayalar

Mikroorganizma	ACC deaminaz aktivitesi (µmol α-ketobütirat mg <sup>-1</sup> protein h <sup>-1</sup> )	Kaynaklar
<i>Trichoderma asperellum</i> T203	12.16 ± 3.8	[92]
<i>Trichoderma atroviride</i>	13.5 ± 2.2	[93]
<i>Candida tropicalis</i>	0.48 ± 0.03	[94]

Bu yeni yaklaşım bitkilerin stres altında bulunduğu koşullara da yansımaya başlamıştır. Bu amaç için günümüzde yaygın olarak çalışmalar PGPR' ler yönüne kaymaya başlamıştır [95]. Bugün, Dünya'nın pek çok ülkesinde bitki gelişimini uyarıcı kök bakterilerinin bitkilerde verimi artırıcı etkisi üzerine çalışılmaktadır [96-100].

Bitki büyümesini uyarıcı mikroorganizmaların bitkide etilen seviyesini düşürdüğü ve bitki büyümesini kolaylaştırdığı ileri sürülmüştür [37,74]. Bu modelde bitki büyümesini teşvik eden bakteriler bir bitkinin yüzeyine bağlanır. Bitki tarafından triptofan aktivitesiyle indol asetik asit sentezlenir ve sentezlenen indol asetik asit bitki kök yüzeyinden bakteriler tarafından absorbe edilir. İndol asetik

asit, ACC oluşumunu katalize eden ACC sintaz enzim aktivitesini teşvik etmektedir. Bitki tarafından üretilen ACC' nin önemli bir kısmı köklerden sızmaktadır. Bitki gelişimini uyarıcı kök bakterileri tarafından karbon ve azot kaynağı olarak kullanılan ACC [101], mikrobiyal ACC deaminaz enzimi tarafından parçalanmaktadır. ACC' nin degrades edilmesi sonucu amonyak ve  $\alpha$ -ketobütirat oluşmaktadır (Şekil 1) [74]. Yapılan araştırmalar sonucunda bitki tohumları veya köklerinin ACC deaminaz aktivitesi gösteren bakterilerle muamele edildiğinde etilen seviyesinin yaklaşık olarak 2-4 kat azaldığı rapor edilmiştir [21, 81, 102].

#### ACC deaminaz aktivitesi olan bakteriler

Yakın zamana kadar yapılan çalışmalar, bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin doğrudan etkisini açıklamak için fitohormonların üretimi üzerine odaklanmış ve oksinin bitki gelişimi üzerindeki rolü araştırılmıştır [103,104]. Ancak son yıllarda yapılan araştırmalar sonucunda bitki büyümesini uyarıcı bakterilerin ACC deaminaz enzimini

içerdiği bulunmuştur (Çizelge 2 ve 3) [36, 81, 84, 87, 88, 105, 106, 107].

Yapılan çalışmalar sonucunda bu bakterilerin bitki gelişimi üzerine olumlu etkileri rapor edilmiştir (Çizelge 1 ve 2).

ACC deaminaz Gram negatif bakteriler [33,116], Gram pozitif bakteriler [82,112], endofitik bakteriler [117-118], *Rhizobium* [83,85] ve mantarlar [119,120] gibi birçok mikrobiyal türde belirlenmiştir.

#### *Azospirillum lipoferum*

*Azospirillum* cinsi bakteriler bitki büyümesini hızlandıran rizosfer mikroorganizmasıdır [121]. Pek çok kültür bitkisine aşılabilen bakteri, 1990' a kadar yapılan tarla çalışmalarında % 70 oranında verim artışına neden olmuştur [122]. Bu çalışmalardan elde edilen olumlu verilerin bir sonucu olarak *Azospirillum* ticari olarak Brezilya, Meksika, Hindistan, Pakistan gibi gelişmekte olan ve Fransa, ABD gibi gelişmiş ülkelerde üretilmeye başlanmıştır [123].

**Çizelge 2.** Toprakтан izole edilen bazı bakteri türlerinin ACC deaminaz aktiviteleri

Bakteri	ACC deaminaz aktivitesi (nmol -keto butirat/mg protein/ h)	Kaynaklar
<i>Agrobacterium</i> sp.	237.3	[108]
<i>Agrobacterium</i> sp.	316.0	
<i>Pseudomonas</i> sp.	435.2	
<i>Pseudomonas</i> sp.	358.4	
<i>Methylobacterium oryza</i> CBMB20	94.48 $\pm$ 6.83	[109]
<i>Methylobacterium oryza</i> CBMB110	24.74 $\pm$ 4.12	[110]
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	302 $\pm$ 5	
<i>Burkholderia caryophylli</i>	342 $\pm$ 3	
<i>Pseudomonas putida</i>	278 $\pm$ 11	[108]
<i>Pseudomonas</i> sp.	435.2	
<i>Agrobacterium</i> sp.	316.0	
<i>Klebsiella</i> sp.	539.1	
<i>Achromobacter xylosoxidans</i> A551	400 $\pm$ 4	[86,111]
<i>Achromobacter xylosoxidans</i> Bm1	90 $\pm$ 4	
<i>Achromobacter</i> sp. strain CM1	130 $\pm$ 3	
<i>Acidovorax facilis</i> 4p-6	3,080 $\pm$ 120	
<i>Pseudomonas putida</i> UW4	3,030 $\pm$ 60	[112]
<i>Pseudomonas syringae</i> GR12-2	3,470 $\pm$ 30	[86,111]
<i>Pseudomonas brassicacearum</i> Am3	5,660 $\pm$ 12	
<i>Pseudomonas putida</i> BM3	3,780 $\pm$ 32	
<i>Pseudomonas marginalis</i> DP3	4,054 $\pm$ 27	
<i>Rhizobium leguminosarum</i> 128C53K	5 $\pm$ 1	[66]
<i>Rhizobium hedysari</i> ATCC 43676	20 $\pm$ 0.1	
<i>Rhizobium leguminosarum</i> 99A	8 $\pm$ 3	
<i>Rhodococcus</i> sp. strain Fp2	7,320 $\pm$ 400	[86,111]
<i>Rhodococcus</i> sp. strain 4N-4	12,970 $\pm$ 440	
<i>Serratia quinivirans</i> SUD165	12 $\pm$ 15	
<i>Variovorax paradoxus</i> 3P-3	3,700 $\pm$ 90	
<i>Variovorax paradoxus</i> 5C-2	4,322 $\pm$ 100	[113]
<i>Variovorax paradoxus</i> 2C-1	3,588 $\pm$ 26	
<i>Pseudomonas putida</i> ATCC 17399	-	
<i>Bacillus anthracis</i>	-	[114]
<i>Mesorhizobium loti</i>	-	[115]

**Pseudomonas**

Toprakta ve rizosfer bölgesinde oldukça yaygın bulunan *Pseudomonas* bakterilerinden özellikle *P. fluorescens* ve *P. putida* birçok bitkinin gelişimini teşvik ederek önemli oranda bitki verimini artırmakta ayrıca bitki üzerinde etkileri de söz konusudur [124] (Çizelge 3 ve 4). Klopper ve arkadaşları [125] bitki gelişimini teşvik edici bakteriler olarak tanımlanmış, Glick ve arkadaşları [126] ise, bitki büyümesini teşvik eden *Pseudomonas* ile yapılan bir çalışmada tek azot kaynağı olarak ACC ihtiva eden besiyeri kullanmış ve bu konuda yeni araştırmaların yapılmasına [36,127,128], hatta ACC deaminaz

aktivitesinin bitki büyümesini uyaran bakterilerin tanımlanmasında anahtar olmasının da önu açılmıştır [129].

**Rhizobium**

Bu bakterilerin organik fosfatı çözürek bitki gelişimlerini artıran bir aktivite gösterdikleri yapılan çalışmalarla belirlenmiştir [134]. *Rhizobium* bakterilerinin fitohormon üreterek bitki gelişimini doğrudan etkiledikleri bilinmektedir [135,136]. Ayrıca *Rhizobium* bakterilerinin toprak kökenli patojenik mikroorganizmalara karşı biyolojik mücadele etmeni olarak görev yaptığı, böylece bitkiyi koruyarak direncini de artırdığı rapor edilmiştir [137,138].

**Çizelge 3.** ACC deaminaz içeren kök bakterilerinin buğdayda verim üzerine etkileri (tarla denemesi) [110]

Uygulama	Yükseklik (cm)	Sürgün (m <sup>2</sup> )	Tane verimi (kg/ha)
Kontrol	63.7±2	336.0±5	2599±98
<i>Pseudomonas fluorescens</i> (ACC3)	72.0±1	366.0±5	3183±121
<i>Burkholderia caryophylli</i> (ACC7)	71.0±1	365.7±5	2895±86
<i>P. putida</i> (ACC9)	72.2±1	349.2±4	2895±141
<i>P. fluorescens</i> (ACC14)	69.0±2	346.5±5	2507±96
<i>P. fluorescens</i> (ACC50)	72.7±1	361.7±4	3624±121
<i>P. fluorescens</i> (ACC73)	73.7±2	350.2±4	3058±130

**Çizelge 4.** ACC deaminaz içeren mikroorganizmaların bitkilerde meydana getirdiği değişiklikler [37]

Bitki	PGPR	Fizyolojik değişiklikler	Kaynaklar
<i>Brassica campetris</i>	<i>Methylobacterium fujisawaense</i>	Kök uzamasını artırıcı etki	[88]
	<i>Bacillus circulans</i>	Kök ve sürgün uzamasını artırıcı etki	[82]
	<i>Bacillus firmus</i>		
	<i>Bacillus globisporus</i>		
<i>Brassica napus</i>	<i>Alcaligenes</i> sp.	Bitkide büyümeyi artırıcı etki	[111]
	<i>Bacillus pumilus</i>		
	<i>Pseudomonas</i> sp.		
	<i>Enterobacter cloacea</i>	Kök ve sürgün uzunluklarında artırıcı etki	[130]
<i>Dianthus caryophyllus</i>	<i>Azospirillum brasilense</i>	Köklerde uzamayı artırıcı etki	[131]
<i>Glycine max</i>	<i>Pseudomonas cepacia</i>	Erken büyümeyi artırıcı etki	[132]
<i>Pisum sativum</i>	<i>Rhizobium leguminosarum</i>	Nodülasyonu artırıcı etki	[66]
<i>Vigna radiata</i>	<i>Pseudomonas</i> sp.	Nodülasyonu artırıcı etki	[106]
	<i>Pseudomonas putida</i>	Etilen üretimini inhibe edici etki	[133]
<i>Zea mays</i>	<i>Enterobacter sakazakii</i>	Tarımsal parametreleri artırıcı etki	[116]
	<i>Pseudomonas</i> sp.		
	<i>Pseudomonas</i> sp.	Kök uzamasını artırıcı etki	[111]

**KAYNAKLAR**

- [1] J. Levitt, Responses of Plants to Environmental Stresses, Academic Press, New York, London (1972), p.697.
- [2] H.B. Shao, L.Y. Chu, C.A. Jaleel and C.X. Zhao, Water-deficit Stress-induced Anatomical Changes in Higher Plants, *Comptes Rendus Biologies*, 331(3) (2008), pp.215-225.
- [3] S. Mahajan and N. Tuteja, Cold Salinity and Drought Stress: an Overview, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444 (2005), pp.139-158.
- [4] J.S. Boyer, Plant Productivity and Environment, *Science*, 218 (1982), pp. 443-448.

- [5] H. Velthuisen, B. Huddleston, G. Fischer, M. Salvatore, E. Ataman and F.O. Nachtergaele, Mapping Biophysical Factors That Influence Agricultural Production And Rural Vulnerability, *Environment and Natural Resources Series*, No. 11. Rome: FAO (2007).
- [6] K.V. Madhava Rao, A.S. Raghavendra and K. Janardhan Reddy, Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants, Netherlands: Springer (2005), p.345.
- [7] A. Kadioğlu, Bitki Fizyolojisi, Trabzon: Lokman (2004), p.453.
- [8] R.S. Dubey, Handbook of Plant and Crop Stress, New York: Marcel Dekker (1994), p.227.

- [9] D.A. Wilhite, Drought as a Natural Hazard. In: D.A. Wilhite (ed) Drought: a Global Assessment, *Routledge*, London (2000), pp. 3–18.
- [10] E.A. Bray, Plant Responses to Water Deficit, *Trends in Plant Science*, 2 (1997), pp.48–54.
- [11] J. Ingram and D. Bartels, The Molecular Basis of Dehydration Tolerance in Plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 47(1996), pp.377–403.
- [12] K. Shinozaki and K. Yamaguchi-Shinozaki, Molecular Responses to Drought Stress. In: Molecular Responses to Cold, Drought, Heat and Salt Stress in Higher Plants (ed. K. Shinozaki, Y.K. Shinozaki), RG Landes, Austin (1999), pp. 11–28.
- [13] C. Dubos and C. Plomion, Identification of Water-deficit Responsive Genes in *Maritime pine* (*Pinus pinaster* Ait.) Roots, *Plant Molecular Biology*, 51 (2003), pp. 249–262.
- [14] P.W. Morgan and C.D. Drew, Ethylene and Plant Responses to Stress, *Plant Physiology*, 100 (1997), pp.620–630.
- [15] B.R. Glick, Modulation of Plant Ethylene Levels by the Bacterial Enzyme ACC deaminase, *FEMS Microbiology Letters*, 251 (2005), pp.1–7.
- [16] A.K. Mattoo and J.C. Suttle, The Plant Hormone Ethylene, *CRC Press*, Boca Raton, Florida (1991).
- [17] K.J. Bradford and S.F. Yang, Xylem Transport of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic Acid, an Ethylene Precursor, in Waterlogged Tomato Plants, *Plant Physiology*, 65 (1980), pp.322–326.
- [18] M.A. Else, K.C. Hall, G.M. Arnold, W.J. Davies and M.B. Jackson, Export of Abscisic Acid, 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic Acid, Phosphate, and Nitrate from Roots to Shoots of Flooded Tomato Plants, *Plant Physiology*, 107 (1995), pp.377–384.
- [19] Q. Chao, M. Rothenberg, R. Solano, G. Roman, W. Terzaghi and J.R. Ecker, Activation of the Ethylene Gas Response Pathway in *Arabidopsis* by the Nuclear Protein and Related Proteins. *Cell*, 89 (1997), pp.1133–1144.
- [20] D.C. Olson, J.H. Oetiker and S.F. Yang, Analysis of LE-ACS3, a 1-aminocyclopropane-1-carboxylic Acid Synthase Gene Expressed During Flooding in the Roots of Tomato Plants, *Journal of Biological Chemistry*, 270 (1995), pp.14056–14061.
- [21] V.P. Grichko and B.R. Glick, Amelioration of Flooding Stress by ACC deaminase-Containing Plant Growth Promoting Bacteria, *Plant Physiology and Biochemistry*, 39 (2001), pp.11–17.
- [22] R. Mendelsohn and N.J. Rosenberg, Framework for Integrated Assessments of Global Warming Impacts, *Clim Change*, 28 (1994), pp.15–44.
- [23] G.P. Robertson, E.A. Paul and R.R. Harwood, Greenhouse Gases in Intensive Agriculture: Contributions of Individual Gases to the Radiative Forcing of the Atmosphere, *Science*, 289 (2000), pp.1922–1924.
- [24] N. Cheikh and R.J. Jones, Disruption of Maize Kernel Growth and Development by Heat Stress (Role of Cytokinin/Abscisic Acid Balance), *Plant Physiology*, 106 (1994), pp.45–51.
- [25] E. Strzelczyk, M. Kampert and R. Pachlewski, The Influence of pH and Temperature on Ethylene Production by Mycorrhizal Fungi of Pine, *Mycorrhiza*, 4 (1994), pp.193–196.
- [26] C.Y. Wang, Changes of Polyamines and Ethylene in Cucumber Seedlings in Response to Chilling Stress, *Physiologia Plantarum*, 69 (1987), pp.253–257.
- [27] S. Dobbelaere, J. Vanderleyden and Y. Okon, Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22 (2003), pp.107–149.
- [28] J. Domenech, M.S. Reddy, J.W. Kloepper, B. Ramos and J. Gutierrez- Mañero, Combined Application of the Biological Product LS213 with *Bacillus*, *Pseudomonas* or *Chryseobacterium* for Growth Promotion and Biological Control of Soil-Borne Diseases in Pepper and Tomato, *Biological control*, 51 (2006), pp.245–258.
- [29] P. Ji, H.L. Campbell, J.W. Kloepper, J.B. Jones, T.V. Suslow and M. Wilson, Integrated Biological Control of Bacterial Speck and Spot of Tomato Under Weld Conditions Using Foliar Biological Control Agents and Plant Growth Promoting Rhizobacteria, *Biological Control*, 36 (2006), pp.358–367.
- [30] K.V.B.R. Tilak, N. Ranganayaki and C. Manoharachari, Synergistic Effects of Plant-Growth Promoting Rhizobacteria and Rhizobium on Nodulation and Nitrogen Fixation by *Pigeonpea* (*Cajanus cajan*), *European Journal of Soil Science*, 57 (2006), pp. 67–71.
- [31] Y. Bashan, Symptom Expression and Ethylene Production in Leaf Blight of Cotton Caused by *Alternaria macrospora* and *Alternaria alternata* alone and Combined, *Canadian Journal of Botany*, 72 (1994), pp.1574–1579.
- [32] Y. Elad, Involvement of Ethylene in the Disease Caused by *Botrytis cinerea* on Rose and Carnation Flowers and the Possibility of Control, *Annals of Applied Biology*, 113 (1988), pp.589–598.
- [33] C.K.E. Wang, B.R. Glick and G. Defago, Effect of Transferring 1- aminocyclopropane-1-carboxylic Acid (ACC) deaminase genes into *Pseudomonas fluorescens* Strain CHA0 and its gacA Derivative CHA96 on their Growth-Promoting and Disease-Suppressive Capacities, *Canadian Journal of Microbiology*, 46 (2000), pp.898–907.
- [34] J. Sikorski, H. Jahr and W. Wackernagel, The Structure of a Local Population of Phytopathogenic *Pseudomonas brassicacearum* from Agricultural Soil Indicates Development Under Purifying Selection Pressure, *Environmental Microbiology*, 3 (2001), pp.176–186 .
- [35] V. Joardar, M. Lindeberg, R.W. Jackson, J. Selengut, R. Dodson and L.M. Brinkac, Whole-Genome Sequence Analysis of *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* 1448A Reveals Divergence Among Pathovars in Genes Involved in Virulence and Transposition, *Journal of Bacteriology*, 187 (2005), pp.6488–6498.
- [36] D. Blaha, C. Prigent-Combaret, M.S. Mirza and Y. Moënne-Loccoz, Phylogeny of the 1-aminocyclopropane-1- carboxylic acid deaminase-encoding Gene *acdS* in Phytobeneficial and Pathogenic *Proteobacteria* and Relation with Strain Biogeography, *FEMS Microbiology Ecology*, 56 (2006), pp.455–470.
- [37] M. Saleem, M. Arshad, S. Hussain and A.S. Bhatti, Perspective of Plant Growth Promoting *Rhizobacteria* (PGPR) Containing ACC deaminase in Stress Agriculture, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 34 (2007), pp.635–648.
- [38] W.H.O. Ernst, Effects of Heavy Metals in Plants at the Cellular and Organismic Level. In: G. Schüürmann, B. Markert (eds) *Ecotoxicology*, Wiley, New York (1998), pp. 587–620
- [39] K.D. Rodecap, D.T. Tingey and J. H. Tibbs, Cadmium-induced Ethylene Production in Bean Plants, *Z Pflanzenphysiol*, 105 (1981), pp. 65–74.
- [40] V.I. Safronova, V.V. Stepanok, G.L. Engqvist, Y.V. Alekseyev and A.A. Belimov, Root-Associated

Bacteria Containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase Improve Growth and Nutrient Uptake by Pea Genotypes Cultivated in Cadmium Supplemented Soil, *Biology and Fertility of Soils*, 42 (2006), pp.267–272.

[41] G. Adam and H.J. Duncan, Effect of Diesel Fuel on Growth of Selected Plant Species, *Environmental Geochemistry Health*, 21(1999), pp.353–357.

[42] D. Coupland and M.B. Jackson, Effects of Mecoprop (an Auxin Analogue) on Ethylene Evolution and Epinasty in Two Biotypes of *Stellaria media*, *Annals of Botany*, 68 (1991), pp.167–172.

[43] M.B. Jackson, Hormones from Roots as Signal for the Shoots of Stressed Plants, *Trends in Plant Science*, 2 (1997), pp.22–28.

[44] J.L. de Prado, R.A. de Prado and R.H. Shimabukuro, The Effect of Diclofop on Membrane Potential, Ethylene Induction, and Herbicide Phytotoxicity in Resistant and Susceptible Biotypes of Grasses, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 63 (1999), pp.1–14.

[45] J.M. McCune, Definition of Invisible Injury in Plants. In: M. Treshow (ed) Interaction of Air Pollutants and Plant Diseases, 122 (1975), pp.307–334.

[46] J. Tuomainen, C. Betz, J. Kangasjarvi, D. Ernst, Z.H. Yin, C. Langebartels and Jr. Heinrich Sandermann, Ozone Induction of Ethylene Emission in Tomato Plants: Regulation by Differential Transcript Accumulation for the Biosynthetic Enzymes, *The Plant Journal*, 12 (1997), pp.1151–1162.

[47] W. Moeder, C.S. Barry, A.A. Tauriainen, C. Betz, J. Tuomainen, M. Utriainen, D. Grierson, H. Sandermann, C. Langebartels and J. Kangasjärvi, Ethylene Synthesis Regulated by Bi-phasic Induction of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid Synthase and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid Oxidase Genes is Required for Hydrogen Peroxide Accumulation and Cell Death in Ozone-Exposed Tomato, *Plant Physiology*, 130 (2002), pp.1918–1926.

[48] K.L. Wang, H. Li and J.R. Ecker, Ethylene Biosynthesis and Signaling Networks, *Plant Cell*, 14 (2002), pp. 131–151.

[49] J. Vahala, R. Ruonala, M. Keinänen, H. Tuominen and J. Kangasjarvi, Ethylene Insensitivity Modulates Ozone-induced Cell Death in Birch, *Plant Physiology*, 132 (2003), pp.185–195.

[50] J. Feng and A.V. Barker, Ethylene Evolution and Ammonium Accumulation by Tomato Plants Under Water and Salinity Stresses, *Journal of Plant Nutrition*, 15 (1993), pp.2471–2490.

[51] P.J. O'Donnell, C.M. Calvert, R. Atzorn, C. Wasternack, H.M.O. Leyser and D.J. Bowles, Ethylene as a Signal Mediating the Wound Response of Tomato Plants, *Science*, 274 (1996), pp.1914–17.

[52] J. Cuartero and R. Fernandez-Munoz, Tomato and Salinity, *Scientia Horticulturae*, 78 (1999), pp.83–125.

[53] E. Blumwald, Sodium Transport and Salt Tolerance in Plants, *Current Opinion Cell Biology*, 12 (2000), pp.431–434.

[54] Z. Cheng, E. Parkand B.R. Glick, 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase from *Pseudomonas putida* UW4 Facilitates the Growth of Canola in the Presence of Salt, *Canadian Journal of Microbiology*, 53(7) (2007), pp.912-918.

[55] S.M. Nadeem, I. Hussain, M. Naveed, H.N. Ashgar, Z.A. Zahir and M.Arshad, Performance of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Containing ACC-deaminase Activity for Improving Growth of Maize Under Salt-Stressed Conditions, *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 43 (2006a), pp.114–121.

[56] S.M. Nadeem, Z.A. Zahir, M. Naveed, M. Arshad and S.M. Shahzad, Variation in Growth and Ion Uptake of Maize Due to Inoculation with Plant Growth Promoting Rhizobacteria Under Salt Stress, *Soil Environ*, 25 (2006b), pp.78–84.

[57] M. Arshad and W.T. Jr. Frankenberger, Ethylene: Agricultural Sources and Applications, Kluwer, New York (2002).

[58] A.A. Belimov, V.I. Safronova and T. Mimura, Response of Spring Rape (*Brassica napus* var. oleifera L.) to Inoculation with Plant Growth Promoting Rhizobacteria Containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase Depends on Nutrient Status of the Plant, *Canadian Journal of Microbiology*, 48 (2002), pp.189–199.

[59] Y. Esashi, Ethylene and Seed Germination, In: The Plant Hormone Ethylene, (Eds): A.K. Matoo and J.C. Suttle, *CRC Press*, Boca Raton, FL. USA (1991) pp.133-157.

[60] F.B. Abeles, P.W. Morgan and M.E. Saltveit, Ethylene in Plant Biology, *Academic Press*, San Diego (1992).

[61] P.R. Johnson and J.R. Ecker, The Ethylene Gas Signal Transduction Pathway: a Molecular Perspective, *Annual Review Genetics*, 32 (1998), pp.227–254.

[62] D.J. McGarvey, H. Yu and R.E. ChrstoVenen, Nucleotide Sequence of a Ripening Related cDNA from Avocado Fruit, *Plant Molecular Biology*, 15 (1990), pp.165–167.

[63] M.B. Jackson, Ethylene in Root Growth and Development, In: The Plant Hormone Ethylene, (ed): A.K. Matoo and J.C. Suttle, *CRC Press*, Boca Raton, FL. USA (1991), pp. 159-181.

[64] R.T. Santos, H. Vierheilig, J.A. Ocampo and J.M. Garrido, Altered Pattern of Arbuscular Mycorrhizal Formation in Tomato Ethylene Mutants, *Plant Signal Behavior*, 6 (2011), pp.755–75.

[65] N. Nukui, H. Ezura, K. Yohsshi, T. Yasuta and K. Minamisawa, Effect of Ethylene Precursor and Inhibitors for Ethylene Biosynthesis and Perception on Nodulation in *Lotus japonicus* and *Macroptilium atropurpureum*, *Plant Cell and Physiology*, 41 (2000), pp.893-897.

[66] W. Ma, F.C. Guinel and B.R. Glick, *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase Promotes Nodulation of Pea Plants, *Applied and Environmental Microbiology*, 69 (2003b), pp.4396–4402.

[67] Z. Cheng, B.J. McConkey and B.R. Glick, Proteomic Studies of Plant Bacterial Interactions, *Soil Biology and Biochemistry*, doi:10.1016/j.soilbio.2010.05.033

[68] M. Bacilio, H. Rodriguez, M. Moreno, J.P. Hernandez and Y. Bashan, Mitigation of Salt Stress in Wheat Seedlings by a gfp-tagged *Azospirillum lipoferum*, *Biology and Fertilityof Soils*, 40 (2004), pp.188–193.

[69] A.B.E Hamdia, M.A.K. Shaddad and M.M. Doaa, Mechanisms of Salt Tolerance and Interactive Effects of *Azospirillum brasilense* Inoculation on Maize Cultivars Grown Under Salt Stress Conditions, *Plant Growth Regulation*, 44 (2004), pp.165–174.

[70] G.H. Rabie and A.M. Almadini, Role of Bioinoculants in Development of Salt-Tolerance of *Vicia faba* Plants Under Salinity Stres, *African Journal of Biotechnology*, 4 (2005), pp.210–222.

[71] C.A. Barassi, G. Ayrault, C.M. Creus, R.J. Sueldo and M.T. Sobrero, Seed Inoculation with *Azospirillum mitigates* NaCl Effects on Lettuce, *Scientia Horticulturae*, 109 (2006), pp.8–14.

- [72] F.M. del Amor and P. Cuadra-Crespo, Plant Growth-Promoting Bacteria as a Tool to Improve Salinity Tolerance in Sweet Pepper, *Functional Plant Biology*, 39 (2012), pp.82–90.
- [73] S. Mayak, T. Tirosh and B.R. Glick, Plant Growth Promoting Bacteria that Confer Resistance to Water Stress in Tomato and Pepper, *Plant Science*, 166 (2004b), pp.525–530.
- [74] B.R. Glick, D.M. Penrose and J. Li, A Model for the Lowering of Plant Ethylene Concentrations by Plant growth-promoting bacteria, *Journal of Theoretical Biology*, 190 (1998), pp.63–68.
- [75] C. Walsh, R.A Pascal, M. Johnston, R. Raines, D. Dikshit, A. Krantz and M. Honma, Mechanistic Studies on the Pyridoxal Phosphate Enzyme 1 aminocyclopropane-1-carboxylate from *Pseudomonas* sp. *Biochemistry*, 20 (1981), pp.7509–7519.
- [76] N.J. Janssonius, Structure, Evolution and Action of Vitamin B6-dependent Enzymes, *Current Opinion in Structural Biology*, 8 (1998), pp.759–769.
- [77] M. Arshad and W.T. Frankenberger, Plant Growth Regulating Substances in the Rhizosphere: Microbial Production and Functions, *Advances in Agronomy*, 62 (1998), pp.46–151.
- [78] W.T. Frankenberger and M. Arshad, Phytohormones in soil: Microbial Production and Function. Marcel Dekker, New York (1995).
- [79] H. Hyodo, Stress/wound Ethylene, In A.K. Mattoo, J. C. Shuttle (Eds.), *The Plant Hormone Ethylene*, Boca Raton: CRC Press, (1991), pp. 65–80.
- [80] M. Honma and T. Shimomura, Metabolism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid, *Agricultural Biological Chemistry*, 42 (1978), pp.1825-1831.
- [81] S. Mayak, T. Tirosh and B.R. Glick, Plant Growth-Promoting Bacteria Confer Resistance in Tomato Plants to Salt Stress, *Plant Physiology and Biochemistry*, 42 (2004 a), pp.565–572.
- [82] S. Ghosh, J.N. Penterman, R.D. Little, R. Chavez and B.R. Glick, Three Newly Isolated Plant Growth-Promoting Bacilli Facilitate the Seedling Growth of Canola, *Brassica campestris*, *Plant Physiology and Biochemistry*, 41(2003), pp.277–281.
- [83] W. Ma, S. Sebastianova, J. Sebastian, G.I. Burd, F. Guinel and B.R. Glick, Prevalence of 1-aminocyclopropaane-1-carboxylate in deaminase in *Rhizobia* spp, *Antonie Van Leeuwenhoek*, 83 (2003a), pp.285–291.
- [84] R. Dey, K.K. Pal, D.M. Bhatt and S.M. Chauhan, Growth Promotion and Yield Enhancement of Peanut (*Aracis hypoggaea* L.) by Application of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Microbiological Research*, 159 (2004), pp.371–394.
- [85] T. Uchiumi, T. Oowada, M. Itakura, H. Mitsui, N. Nukui, P. Dawadi, T. Kaneko, S. Tabata, T. Yokoyama, T. Tejima, K. Saeki, H. Oomori, M. Hayashi, T. Maekawa, R. Sriprang, Y. Murooka, S. Tajima, K. Simomura, M. Nomura, A. Suzuki, S. Shimoda, K. Sioya, M. Abe and K. Minamisawa, Expression Islands Clustered on Symbiosis Island of *Mesorhizobium loti* Genome, *Journal of Bacteriology*, 186 (2) (2004), pp.439–2448.
- [86] A.A. Belimov, N. Hontzeas, V.I. Safranovna, S.V. Demchinskaya, G. Piluzza, Bullitta S and B.R. Glick, Cadmium-Tolerant Plant Growth-Promoting Bacteria Associated with the Roots of Indian Mustard (*Brassica juncea* L. Czern.), *Soil Biology and Biochemistry*, 37 (2005), pp.241–250.
- [87] N. Hontzeas, A.O. Richardson, A.A. Belimov, V.I. Safranovna, M.M. Abu-Omar and B.R. Glick, Evidence for Horizontal Gene Transfer (HGT) of ACC deaminase Genes, *Applied and Environmental Microbiology*, 71 (2005), pp.7556–7558.
- [88] M. Madhaiyan, S. Poonguzhali, J. Ryu and T. Sa, Regulation of Ethylene Levels in Canola (*Brassica campestris*) by 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase Containing *Methylobacterium fujiisawaense*, *Planta*, 224 (2006), pp.268–78.
- [89] J. Kucharski, Z. Ciecko, T. Niewolak and T. Niklewska-Larska, Activity of Microorganisms in Soil of Different Agricultural Usefulness Complexes Fertilized with Mineral Nitrogen, *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae*, 62 (1996), pp.25-35.
- [90] T.J. Avis, V. Gravel, H. Antoun and R.J. Tweddell, Multifaceted Beneficial Effects of Rhizosphere Microorganisms on Plant Health and Productivity, *Soil Biology and Biochemistry*, 40 (2008), pp.1733- 1740.
- [91] Ç. Küçük ve İ. Güler, Bitki Gelişimini Teşvik Eden Bazı Biyokontrol Mikroorganizmalar, *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi TR (Eski adı: OrLab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi)*, 07 (1) (2009), s.30-42.
- [92] A. Viterbo, U. Landau, S. Kim, L. Chernin and I. Chet, Characterization of ACC deaminase from the Biocontrol and Plant growth-promoting agent *Trichoderma asperellum* T203, *FEMS Microbiology Letters*, 305 (2010), pp.42–48.
- [93] V. Gravel, H. Antoun and J. Russell, Tweddell Growth Stimulation and Fruit Yield Improvement of Greenhouse Tomato Plants by Inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible Role of Indole Acetic Acid (IAA), *Soil Biology & Biochemistry*, 39 (2007), pp.1968–1977.
- [94] K. Amprayn, M.T. Rose, M. Kecskés, L. Pereg, H.T. Nguyen and I.R. Kennedy, Plant Growth Promoting Characteristics of Soil Yeast (*Candida tropicalis* HY) and Its Effectiveness for Promoting Rice Growth, *Applied Soil Ecology*, 61 (2012), pp.295– 299.
- [95] H. Antoun and D. Prevost, Ecology of Plant Growth Promoting Rhizobacteria. PGPR: Biocontrol and Biofertilization, Edited by A. Zaki. Siddiqui, Springer, The Netherlands (2006), pp.1-38,
- [96] Y. Chen, R. Mei, S. Lu, L. Lui and J.W. Kloepper, The use of Yield Increasing Bacteria (YIB) as Plant growth-promoting rhizobacteria in Chinese Agriculture, In: Management of soil Borne Diseases, (1996), pp.165-176.
- [97] A. Arias, Plant Growth Promoting Microorganisms in Uruguay: Status and Prospects. Fifth International PGPR Workshop, Cordoba – Argentina (2000).
- [98] W.C. Luz, Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Graminicolous Crops in Brazil, Fifth International PGPR Workshop, 29 October - 3 November, Cordoba-Argentina (2000).
- [99] R.S. Romerio, Preliminary results on PGPR Research at the Universidade Federal de Viçosa, Brazil, Fifth International PGPR Workshop, 29 October-3 November, Cordoba-Argentina (2000).
- [100] L.G. Wall, Consequences of an Overview on PGPR Work in Argentina: The Field Should be Wider, Fifth International PGPR Workshop, Cordoba-Argentina (2000).
- [101] J. Duan, K.M. Müller, T.C. Charles, S. Vesely and B.R. Glick, 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate



(ACC) deaminase genes in *Rhizobia*: Isolation, Characterization and Regulation, Proceedings of the 7th International PGPR Workshop, Amsterdam (2006).

[102] D.M. Penrose, B.A. Moffatt, B.R. Glick, Determination of 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) to Assess the Effects of ACC deaminase-Containing Bacteria on Roots of Canola Seedlings, *Canadian Journal of Microbiology*, 47 (2001), pp.77–80.

[103] C.L. Patten and B.R. Glick, Bacterial Biosynthesis of Indole-3-acetic acid, *Canadian Journal of Microbiology*, 42 (1996), pp.207-220.

[104] I.E. Garcia de Salamone, R.K. Hynes and L.M. Nelson, Role of Cytokinins in Plant Growth Promotion by Rhizosphere Bacteria. In: *PGPR: Biocontrol and Biofertilization*, (2005), pp. 173–195.

[105] E. Dell'Amico, L. Cavalca and V. Andreoni, Analysis of Rhizobacterial Communities in Perennial *Graminaceae* from Polluted Water Meadow Soil, and Screening of Metal-Resistant, Potentially Plant Growth-Promoting Bacteria, *FEMS Microbiology Ecology*, 52 (2005), pp.153–162.

[106] B. Shaharoon, M. Arshad and Z.A. Zahir, Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Containing ACC-deaminase on Maize (*Zea mays* L.) Growth Under Axenic Conditions and on Nodulation in Mung Bean (*Vigna radiata* L.), *Letters in Applied Microbiology*, 42 (2006), pp.155–159.

[107] D. Saravanakumar and R. Samiyappan, ACC deaminase from *Pseudomonas fluorescens* Mediated Saline Resistance in Groundnut (*Arachis hypogea*) Plants, *Journal of Applied Microbiology*, 102 (2006), pp.1283–1292.

[108] U.P. Shrivastava and A. Kumar, Characterization and Optimization of 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase (accD) Activity in Different Rhizospheric PGPR Along with *Microbacterium* sp. strain ECI-12A, *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 1 (1) (2013), pp.11-15.

[109] W.J. Yim, P.S. Chauhan, M. Madhaiyan, S.C. Tipayno and T.M. Sa, Plant Growth Promontory Attributes by 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase Producing *Methylobacterium oryzae* strains Isolated from Rice World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia. Published on DVD (2010).

[110] B. Shaharoon, G.M. Jamro, Z.A. Zahir, M. Arshad and K.S. Memon, Effectiveness of Various *Pseudomonas* spp. and *Burkholderia caryophylli* Containing ACC-deaminase for Improving Growth and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.), *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(8) (2007), pp.1300–1307.

[111] A.A. Belimov, V.I. Safronova, T.A. Sergeyeva, T.N. Egorova, V.A. Matveyeva, V.E. Tsyganov, A.Y. Borisov, I.A. Tikhonovich, C. Kluge, A. Preisfeld, K.J. Dietz and V.V. Stepanok, Characterization of plant growth promoting rhizobacteria isolated from polluted soils and containing 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase, *Canadian Journal of Microbiology*, 47 (2001), pp.242–252.

[112] N. Hontzeas, J. Zoidakis, B.R. Glick and M.M. Abu-Omar, Expression and Characterization of 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from the *Rhizobacterium*, *P. putida* UW4: a Key Enzyme in Bacterial Plant Growth Promotion, *Biochimica et Biophysica Acta*, 1703 (2004), pp.11–19.

[113] S. Shah, J.P. Li, B.A. Moffatt B.R. and Glick, Isolation and Characterization of ACC deaminase Genes from Two Different Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, *Canadian Journal of Microbiology*, 44 (1998), pp.833-843.

[114] T.D. Read, S.L. Salzberg, P. Mihai, M. Shumway, L. Umayam, .L Jiang, E. Holtzapple, J.D. Busch, K.L. Smith, J.M. Schupp, D. Solomon, P. Keim and C.M.I. Fraser, Comparative Genome Sequencing for Discovery of Novel Polymorphisms in *Bacillus anthracis*, *Science*, 296 (2002), pp.2028-2033.

[115] J.T. Sullivan, J.R. Trzebiatowski, R.W. Cruickshank, J. Gouzy, S.D. Brown, R.M. Elliot, D.J. Fleetwood, N.G. McCallum, U. Rossbach, G.S. Stuart, J.E. Weaver, R.J. Webby, F.J. de Bruijn and C.W. Ronson, Comparative Sequence Analysis of the Symbiosis Island of *Mesorhizobium loti* strain R7A, *Journal of Bacteriology*, 184 (2002), pp.3086–3095.

[116] O.O. Babalola, E.O. Osir, A.I. Sanni, G.D. Odhaimbo and W.D. Bulimo, Amplification of 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic (ACC) deaminase from Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Striga-infested Soils, *African Journal of Biotechnology*, 2 (2003), pp.157–160.

[117] P. Pandey, S.C. Kang and D.K. Maheshwari, Isolation of Endophytic Plant Growth Promoting *Burkholderia* sp. MSSP from Root Nodules of *Mimosa pudica*, *Current Science*, 89 (2005), pp.170–180.

[118] A. Sessitsch, T. Coenye, A.V. Sturz, P. Vandamme, E. Barka, G. Wang- Pruski, D. Faure, B. Reiter, B.R. Glick and J. Nowak, *Burkholderia phytofirmans* sp. Nov., a Novel Plant-Associated Bacterium with Plant Beneficial Properties, *International Journal of Systematic Evolutionary Microbiology*, 55 (2005), pp.1187–1192.

[119] Y.J. Jia, Y. Kakuta, M. Sugawara, T. Igarashi, N. Oki, M. Kasaki, T. Shoji, Y. Kanetuna, T. Horita, H. Matsui and M. Honma, Synthesis and Degradation of 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid by *Penicillium citrinum*, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 63 (1999), pp.542–549.

[120] R. Minami, K. Uchiyama, T. Murakami, J. Kawai, K. Mikami, T. Yamada, D. Yokoi, H. Ito, H. Matsui and M. Honma, Properties, Sequence, and Synthesis in *Escherichia coli* of 1-Aminocyclopropane- 1-carboxylate deaminase from *Hansenula saturnus*, *Journal of Biochemistry (Tokyo)*, 123 (1998), pp.112–1118.

[121] Y. Bashan and G.Holguin, Proposal for the Division of Plant Growth-Promoting *Rhizobacteria* into Two Classifications: Biocontrol-PGPB (Plant Growth-Promoting Bacteria) and PGPB, *Soil Biology and Biochemistry*, 30 (1998), pp.1225-1228.

[122] Y. Okon and C.A. Labandera-Gonzales, Agromic Applications of *Azospirillum*: an Evaluation of 20 Years World-Wide Field Inoculation, *Soil Biology and Biochemistry*, 26 (1994), pp.1591–1601.

[123] M. Öğüt, F. Er ve N. Kandemir, Tokat Yöresi Topraklarından İzole Edilen *Azospirillum* Suşlarının Morfolojik Özellikleri, *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22 (45) (2008), s.66-73.

[124] J.K. Vessey, Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Bio Fertilizers, *Plant and Soil*, 255 (2003), pp.571-586.

[125] J.W. Kloepper, R. Lifshitz and R.M. Zablotowicz, Free Living Bacterial Inocula for Enhancing Crop Productivity, *Trends in Biotechnology*, 7 (1989) pp.39- 44.

[126] B.R. Glick, D.M. Karaturović and P.C. Newell, A Novel Procedure for Rapid Isolation of Plant Growth-Promoting Pseudomonads, *Canadian Journal of Biochemistry*, 41(1995), pp.533–536.

[127] B.R. Glick, B. Todorovic, J. Czarny, Z. Cheng, J. Duan and B. McConkey, Promotion of Plant Growth by Bacterial ACC deaminase, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 26 (2007), pp.227–242.

[128] J. Onofre-Lemus, I. Hernández-Lucas, L. Girard and J. Caballero-Mellado, ACC (1-Aminocyclopropane-1-carboxylate) deaminase Activity, a Widespread Trait in *Burkholderia* species, and its Growth-Promoting Effect Ontomato Plants, *Applied and Environmental Microbiology*, 75 (2009), pp.6581–6590.

[129] A.K. Halder, A.K. Mishra, P.K. Chakrabatty, Solubilization of Phosphoric Compounds by *Rhizobium*, *Indian Journal of Microbiology*, 30 (1990), pp.311-314.

[130] S.S. Saleh and B.R. Glick, Involvement of *gacS* and *rpoS* in Enhancement of the Plant growth-promoting Capabilities of *Enterobacter cloacae* CAL2 and *Pseudomonas putida* UW4, *Canadian Journal of Microbiology*, 47(2001), pp.698–705.

[131] Q. Li, S. Saleh-Lakha and B.R. Glick, The Effect of Native and ACC deaminase-containing *Azospirillum brasilense* Cd1843 on the Rooting of Carnation Cuttings, *Canadian Journal of Microbiology*, 51 (2005), pp.511–514.

[132] A.J. Cattelana, P.G. Hartela and J.J. Fuhrmann, Screening for Plant growth-promoting rhizobacteria to Promote Early Soybean Growth, *Soil Science Society of America Journal*, 63 (1999), pp.670–1680.

[133] S. Mayak, T. Tivosh and B.R. Glick, Effect of Wild Type and Mutant Plant growth-promoting rhizobacteria on the Rooting of Mungbean Cuttings, *Journal of Plant Growth Regul.*, 18 (1999), pp. 49–53.

[134] A. Peix, A.A. Rivas-Boyer, P.F. Mateos, C. Rodriguez-Barrueco, E. Martinez- Molina and E. Velazquez, Growth Promotion of Chickpea and Barley by a Phosphate Solubilizing Strain of *Mesorhizobium mediterraneum* Under Growth Chamber Conditions, *Soil Biology and Biochemistry*, 33 (2001), pp.103-110.

[135] T.L. Wang, E.A. Wood, N.J. Brewin, Growth Regulators, *Rhizobium* and Nodulation in Peas. Indole-3-acetic acid from the Culture Medium of Nodulating and Nonnodulating strains of *R. leguminosarum*, *Planta*, 155 (1982), pp.343-349.

[136] T.C. Noel, C. Sheng, C.K. Yost, R.P. Pharis and M.F. Hynes, *Rhizobium leguminosarum* as a plant growth promoting Rhizobacterium: Direct Growth Promoting of Canola and Lettuce, *Canadian Journal of Microbiology*, 42 (1996), pp.279-283.

[137] N.K. Arora, S.C. Kahg and D.K. Maheswari, Isolation of Siderophore Producing Strains of *Rhizobium meliloti* and Their Biocontrol Potential Against *Maerophomina phaseolina* That Causes Charcoal Rot of Groundnut, *Current Science*, 81 (2001), pp.673-677.

[138] M. Reitz, P. Oger, A. Meyer, K. Niehaus, S.K. Farrand, J. Halmann and R.A. Sikora, Importance of the O-antigen, Core-Region and Lipid A of Rhizobial Lipopolysaccharides for the Induction of Systemic Resistance in Potato to *Globodera pallida*, *Nematology*, 4 (2002), pp.73-79.