

# Bitki Büyümesi ve Kök Uzaması Deneyi

## 1-Öğrenim Çıktısı

Deneyin sonunda öğrenciler bilimsel süreçleri daha iyi anlamının yanı sıra, tarım ve biyoteknoloji gibi alanlardaki pratik uygulamalar hakkında değerli bilgiler edinirler. Deneyin tasarımından veri analizine kadar geçen süreçte şu bilgi ve becerileri kazanırlar:

Öğrenciler, bilimsel bir hipotez geliştirme, deney tasarımı yapma ve sistematik bir araştırma yürütme becerisi edinirler (Fierro-Coronado et al., 2014; Patten & Glick, 2002). Deney sırasında kontrol gruplarını anlamlı bir şekilde oluşturmayı ve elde edilen verilerin doğruluğunu değerlendirmeyi öğrenirler. Ayrıca, farklı koşullar altında deneylerin tekrarlanabilirliğini test ederek güvenilirlik kavramını pekiştirirler (Subash et al., 2014; Kaya et al., 2010).

Deney boyunca öğrenciler, elde edilen sonuçların pratik dünyadaki uygulamalarını keşfederler. Örneğin, bitki büyümesini teşvik eden IAA'nın tarımsal üretimdeki rolünü öğrenir ve bu bilginin sürdürülebilir tarım uygulamalarındaki önemini kavrarlar (Abdel Latef et al., 2021; Jayaprakashvel et al., 2014). Bu süreç, yalnızca akademik bilgi değil, aynı zamanda çevresel farkındalık ve etik sorumluluk bilinci de kazandırır (Đorđević et al., 2017; Borucki et al., 2023).

Bunun yanı sıra, öğrenciler elde edilen bulguların analizini yaparken eleştirel düşünme becerilerini geliştirir ve problem çözme yeteneklerini güçlendirirler. Deney sırasında karşılaşılabilecekleri zorluklara yönelik yaratıcı çözümler üretmeyi öğrenirler ve bilimsel çalışmaların gerçek dünyadaki etkisini daha geniş bir perspektiften değerlendirebilirler (Don et al., 2015; Hussain et al., 2010).

Sonuç olarak, bu deney süreci, öğrencilerin bilimsel ve pratik beceriler kazanmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bu becerileri daha karmaşık projelerde uygulama kapasitesi sunar. Öğrenciler, deney sürecinde kazandıkları bilgi ve deneyimi gelecekteki çalışmalarda daha geniş kapsamlı sorunları çözmek için kullanabilirler.

## 2-Giriş

### Özet

Bu proje, indole-3-acetic acid (IAA) hormonunun bitki büyümesi üzerindeki etkilerini incelemek ve bu etkinin farklı konsantrasyonlar, uygulama yöntemleri ve çevresel stres koşulları altında nasıl değiştiğini anlamayı amaçlamaktadır. IAA, bitki büyüme ve gelişiminde kritik bir rol oynayan bir auxin hormonu olup, hem tarımsal hem de çevresel uygulamalar açısından büyük bir potansiyele sahiptir.

Proje kapsamında, IAA'nın farklı konsantrasyonlarının bitki kök ve sürgün büyümesi üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Düşük ve orta konsantrasyonlarda (50-100 ppm) IAA, bitki büyümesini teşvik ederken, yüksek konsantrasyonlarda (150-200 ppm) büyümeyi inhibe ettiği

gözlemlenmiştir. Ayrıca, tuz stresi gibi çevresel faktörlerin bu etkiyi nasıl değiştirdiği değerlendirilmiş ve mikrobiyal IAA uygulamalarının stres toleransını artırdığı tespit edilmiştir.

Proje, bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki hormonal etkileri hem teorik hem de deneysel açıdan ele almıştır. Kontrol testleri, bağımsız değişkenlerin (IAA konsantrasyonu ve mikrobiyal uygulamalar) bağımlı değişkenler üzerindeki etkisini net bir şekilde ortaya koymuştur. Deney verileri, grafiklerle görselleştirilmiş ve istatistiksel analizlerle desteklenmiştir.

Sonuçlar, IAA'nın tarımsal üretimde büyüme düzenleyici olarak kullanım potansiyelini ve sürdürülebilir tarım uygulamalarındaki önemini vurgulamaktadır. Özellikle düşük konsantrasyonlarda uygulanan IAA'nın bitki büyümesini teşvik ettiği ve mikrobiyal uygulamalarla kombine edildiğinde çevresel stres faktörlerinin etkisini azalttığı görülmüştür.

Bu proje, hem bilimsel hem de pratik açıdan önemli bulgular sunmuş, IAA'nın kullanımına yönelik gelecekteki araştırmalara ve uygulamalara ışık tutmuştur. Sürdürülebilir tarım ve çevre dostu yaklaşımlar için IAA'nın ve mikrobiyal uygulamaların kullanımının artırılması önerilmektedir.

## Amaç

Projemizin temel amacı, indole-3-acetic acid (IAA) uygulamalarının ve IAA üreten rizobakterilerin bitki büyümesi üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu çalışmada, IAA'nın farklı konsantrasyonlarda ve koşullarda bitki gelişimine nasıl katkıda bulunduğu gözlemlenecektir. Aynı zamanda, çevresel streslerin (örneğin, tuzluluk veya kuraklık) proje koşulları üzerindeki etkileri değerlendirilecektir. Proje kapsamında şu olaylar gözlemlenecektir:

### 1. Bitki Büyümesi ve Gelişimi:

- Farklı IAA konsantrasyonlarının kök ve sürgün büyümesine etkisi (Don et al., 2015; Subash et al., 2014).
- Rizobakterilerin bitki kök sistemi mimarisi üzerindeki etkileri, özellikle lateral kök oluşumu ve kök tüyü gelişimi (Fierro-Coronado et al., 2014; Nguyen Chu et al., 2020).

### 2. Çevresel Faktörlerin Etkileri:

- Tuzlu ve kurak toprak koşullarında IAA uygulamalarının bitki stres toleransını nasıl artırdığı (Kaya et al., 2013; Abdel Latif et al., 2021).
- Mikrobiyal IAA üretiminin çevresel koşullara ve besin konsantrasyonlarına bağlı olarak nasıl optimize edilebileceği (Amarsinh et al., 2016; Patel & Patel, 2014).

### 3. Pratik Uygulamalar:

- Elde edilen bulgular, tarımsal üretim sistemlerinde biyogübrelerin ve IAA temelli uygulamaların kullanımına yönelik bilgi sağlayacaktır (Etesami & Glick, 2024; Đorđević et al., 2017).
- Sürdürülebilir tarım için IAA'nın stres azaltıcı etkilerinin gerçek hayattaki uygulanabilirliği değerlendirilecektir (Borucki et al., 2023; Jayaprakashvel et al., 2014).

Bu çalışma, öğrencilerin yalnızca teorik bilgi değil, aynı zamanda tarımsal biyoteknoloji, çevresel sürdürülebilirlik ve bilimsel yöntemler gibi alanlarda pratik bilgi edinmesini sağlayacaktır. Öğrenciler, bu projeyi gerçekleştirirken, bitki büyümesini ve çevresel stres toleransını artırmak için kullanılan mekanizmaların tarım ve çevre bilimlerindeki gerçek yaşam uygulamalarını keşfedeceklerdir. Projenin sonuçları, hem bilimsel topluluk hem de tarım uygulayıcıları için değerli bir bilgi kaynağı olacaktır.

### Tanımlar ve Açıklamalar

#### 1. Indole-3-Acetic Acid (IAA):

IAA, bitkilerde ve mikroorganizmalarda bulunan doğal bir oksin hormonu olup, bitki büyümesini ve kök gelişimini düzenler (Etesami & Glick, 2024). IAA'nın biyosentezi, triptofan bağımlı ve bağımsız olmak üzere iki ana yolla gerçekleşir ve farklı çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterir (Spaepen et al., 2007).

#### 2. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR):

PGPR, bitki köklerini kolonize ederek IAA ve diğer büyüme teşvik edici bileşenleri üreten faydalı mikroorganizmalardır. PGPR, kök mimarisini düzenler ve bitkilerin stres toleransını artırır (Kumar et al., 2016; Đorđević et al., 2017).

#### 3. Kimyasal Reaksiyonlar ve Mekanizmalar:

##### o IAA'nın Biyosentezi:

Triptofan, indole-3-piruvat ve indole-3-asetaldehit yoluyla IAA'ya dönüşür. Bu süreçte, enzimler ve çevresel faktörler kilit rol oynar (Patten & Glick, 1996).

##### o IAA'nın Bitkilerde Etkisi:

IAA, hücre duvarı gevşemesini artırarak hücre uzamasını teşvik eder ve kök sisteminin farklı bölümlerinde yan kök oluşumunu düzenler (Don et al., 2015).

### Gözlemlenecek Olaylar ve Süreçler

#### 1. Kök ve Sürgün Gelişimi:

IAA uygulamasıyla kök biyokütlesinin artışı, lateral kök oluşumu ve kök tüyü gelişiminin gözlemlenmesi (Fierro-Coronado et al., 2014; Patten & Glick, 2002).

#### 2. Çevresel Streslere Yanıt:

Tuz stresi gibi koşullarda IAA'nın bitki büyümesi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi. Yaprak püskürtme ve mikrobiyal uygulamalar gibi farklı yöntemlerin karşılaştırılması (Kaya et al., 2013; Abdel Latef et al., 2021).

#### 3. Mikrobiyal Mekanizmalar:

Rizobakterilerin ürettiği IAA'nın fitohormon dengesi üzerindeki etkileri ve gen ekspresyonunu düzenleme mekanizmalarının incelenmesi (Etesami & Glick, 2024; Lopez-Bucio et al., 2007).

### Literatür Taraması ve Teorinin Tarihçesi

#### 1. IAA'nın Tarihçesi:

IAA'nın keşfi, 1930'larda bitkilerde oksinlerin büyüme üzerindeki etkisinin araştırılmasıyla başlamıştır (Grace, 1937). Daha sonra, IAA'nın biyosentezi ve mikrobiyal kaynakları üzerine yapılan çalışmalar, tarımsal uygulamalara yönelik önemli adımlar sağlamıştır (Patten & Glick, 1996; Spaepen et al., 2007).

#### 2. Endüstriyel Kullanım:

IAA, tarımda biyogübre olarak kullanılmakta ve özellikle sürdürülebilir tarım uygulamalarında önem kazanmaktadır. IAA üreten bakterilerin ticari formülasyonları, azot ve fosfor alımını artırarak ürün verimini yükseltmektedir (Đorđević et al., 2017; Etesami & Glick, 2024).

### Farklı Mekanizmalar ve İleri Düzey Bilgiler

#### 1. IAA ve Fitohormon Etkileşimleri:

IAA, absisik asit (ABA), jasmonik asit (JA) ve gibberellin (GA) gibi diğer fitohormonlarla etkileşim halinde çalışarak bitki büyümesini ve stres adaptasyonunu düzenler (Emamverdian et al., 2020; Du et al., 2013).

#### 2. Mikrobiyal IAA Üretiminde Optimizasyon:

Rizobakterilerde IAA üretimi, pH, besin konsantrasyonu ve ışık gibi çevresel faktörlere göre optimize edilebilir (Amarsinh et al., 2016; Patel & Patel, 2014).

#### 3. Biyoteknolojik Uygulamalar:

Genetik olarak modifiye edilmiş rizobakteriler, daha yüksek IAA üretimi sağlayarak ticari biyogübrelerin etkinliğini artırabilir (Đorđević et al., 2017).

Projemiz sırasında cevaplanması beklenen ana soru şu şekildedir:

**“Farklı konsantrasyonlarda ve uygulama yöntemlerinde indole-3-acetic acid (IAA) kullanımı, bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkileri nasıl değiştirir? Ayrıca, çevresel stres faktörleri, bu etkileri ne ölçüde modüle eder?”**

Bu ana soruya bağlı olarak yanıtlanması beklenen alt sorular:

**Farklı Deneş Koşullarında Gözlemlenen Sonuçlar Nasıl Farklılık Gösterir?**

- o IAA'nın çeşitli konsantrasyonlarda uygulanması, kök ve sürgün büyümesi üzerindeki etkilerini nasıl değiştirir (Don et al., 2015; Subash et al., 2014)?
- o Tuz stresi gibi çevresel faktörlerin varlığı, IAA'nın bitki büyümesi üzerindeki olumlu etkilerini ne ölçüde sınırlar veya artırır (Kaya et al., 2013; Abdel Latef et al., 2021)?

**IAA'nın Uygulama Yöntemlerine Göre Etkinliği:**

- o Yaprak püskürtme, toprak uygulaması ve tohum işlemleri gibi farklı yöntemler arasında, hangi uygulama yöntemi en etkili sonuçları verir (Shaheen et al., 2018; Islam et al., 2018)?

**Mikrobiyal IAA Üretiminin Rolü:**

- o Rizobakteriler tarafından üretilen IAA'nın etkileri, eksogen uygulamalara kıyasla nasıl farklılık gösterir (Etesami & Glick, 2024; Amarsinh et al., 2016)?

**Bitki Türleri Arasındaki Farklılıklar:**

- o IAA'nın farklı bitki türleri üzerindeki etkileri nasıl değişir? Örneğin, mısır, buğday ve domates gibi ürünlerde kök gelişimi ve biyokütle artışı farklı şekilde mi etkilenir (Hussain et al., 2010; Rushabh et al., 2020)?

**Araştırma Sorularının Amacı**

Bu sorular, yalnızca IAA'nın bitki büyümesi üzerindeki etkilerini anlamayı değil, aynı zamanda farklı çevresel ve deneşsel koşullara göre bu etkilerin nasıl değiştiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda:

- **Deneşsel Veriler:** Farklı koşulların bitki büyümesi üzerindeki etkilerini anlamak için deney sonuçlarından veri toplanacaktır.
- **Teorik Bilgi:** Literatürdeki önceki çalışmalarla kıyaslama yapılarak, IAA'nın etkilerinin farklı durumlarda nasıl değiştiği değerlendirilecektir (Kumar et al., 2016; Borucki et al., 2023).
- **Uygulamalı Çıkarımlar:** Elde edilen sonuçlar, tarımsal üretimde IAA ve mikrobiyal uygulamaların optimizasyonu için kullanılacaktır.

Projemizde, **indole-3-acetic acid (IAA)** uygulamalarının ve çevresel koşulların bitki büyümesi üzerindeki etkilerini incelemek üzere aşağıdaki hipotezler geliştirilmiştir.

### Ana Hipotez

#### 1. IAA'nın Bitki Büyümesine Etkisi:

"Farklı konsantrasyonlarda IAA uygulaması, bitki büyümesini ve kök gelişimini pozitif yönde etkiler. Ancak, bu etkinin derecesi bitki türüne, uygulama yöntemine ve çevresel stres faktörlerine bağlı olarak değişiklik gösterir."

### Alt Hipotezler

#### 2. IAA Konsantrasyonlarının Etkisi:

"Düşük ila orta seviyede IAA konsantrasyonları (örneğin, 50-200 ppm) bitki büyümesini teşvik ederken, yüksek konsantrasyonlar büyümeyi engelleyebilir."

- Örnek: Düşük konsantrasyonlarda IAA, mısır ve domates gibi ürünlerde kök ve sürgün gelişimini artırabilir (Don et al., 2015; Subash et al., 2014).

#### 3. Uygulama Yöntemlerinin Etkisi:

"Yaprak püskürtme yöntemi, IAA'nın etkilerini optimize ederek kök ve sürgün büyümesini, besin alımını ve stres toleransını artırmada toprak uygulaması veya tohum işlemlerine kıyasla daha etkili sonuçlar verir."

- Literatür: Yaprak püskürtmenin tuz stresine karşı daha etkili olduğu gösterilmiştir (Kaya et al., 2013; Shaheen et al., 2018).

#### 4. Çevresel Stres Faktörlerinin Modüle Edici Rolü:

"Tuz stresi gibi çevresel faktörler, IAA'nın büyüme teşvik edici etkilerini sınırlandırabilir, ancak mikrobiyal IAA uygulamaları bu olumsuz etkileri azaltabilir."

- Literatür: Mikrobiyal IAA üretimi, tuzlu topraklarda bitki büyümesini artırabilir (Abdel Latef et al., 2021; Amarsinh et al., 2016).

#### 5. Mikrobiyal IAA Üretimi:

"IAA üreten rizobakteriler, eksogen IAA uygulamalarına kıyasla bitki büyümesi üzerinde daha uzun vadeli ve sürdürülebilir etkiler sağlar."

- Literatür: Rizobakterilerin fitohormon dengesini düzenleme potansiyeli yüksektir (Etesami & Glick, 2024; Kumar et al., 2016).

#### 6. Bitki Türüne Göre Farklılıklar:

"IAA'nın etkisi, bitki türüne bağlı olarak değişir ve bazı türlerde daha belirgin büyüme teşviki sağlar."

- Örnek: Domates ve mısır gibi ürünlerde büyüme etkisi, çimlenme oranı ve kök gelişimi üzerinde farklı sonuçlar gösterebilir (Rushabh et al., 2020; Hussain et al., 2010).

### Farklı Faktörlerle Test Edilebilecek Hipotezler

#### • Azot Düzeylerinin Rolü:

Azot içeriğinin farklı seviyelerde olduğu topraklarda IAA uygulamasının etkileri test edilebilir (Carvalho Dias et al., 2023).

#### • Işık Koşulları ve pH:

Mikrobiyal IAA üretiminin farklı ışık ve pH koşullarında optimize edilip edilemeyeceği değerlendirilebilir (Amarsinh et al., 2016; Patel & Patel, 2014).

## 3-Yöntem

### Değişkenler

Bağımsız Değişken	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>IAA Konsantrasyonu:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm gibi farklı seviyelerde eksogen IAA uygulaması yapılacaktır (Don et al., 2015; Subash et al., 2014).</li></ul></li><li>• <b>Uygulama Yöntemi:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Yaprak püskürtme, toprak uygulaması ve tohum işlemleri gibi farklı yöntemler kullanılacaktır (Shaheen et al., 2018).</li></ul></li><li>• <b>Çevresel Stres Koşulları:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Tuz stresi (örneğin, %2 NaCl çözeltisi) gibi stres faktörleri uygulanacaktır (Kaya et al., 2013; Abdel Latef et al., 2021).</li></ul></li></ul>
Bağımlı Değişken	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Bitki Büyüme Parametreleri:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Kök uzunluğu, sürgün uzunluğu ve toplam biyokütle artışı (Fierro-Coronado et al., 2014; Patten &amp; Glick, 2002).</li></ul></li><li>• <b>Fizyolojik Göstergeler:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Klorofil içeriği, prolin birikimi ve antioksidan enzim aktiviteleri (Kaya et al., 2010; Abdel Latef et al., 2021).</li></ul></li><li>• <b>Stres Toleransı:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Tuzlu ortamda kök ve sürgün büyüme performansı (Amarsinh et al., 2016; Jayaprakashvel et al., 2014).</li></ul></li></ul>
Kontrol Değişkeni	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Bitki Türü:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Aynı bitki türü (örneğin, domates veya mısır) kullanılacaktır (Rushabh et al., 2020; Hussain et al., 2010).</li></ul></li><li>• <b>Toprak Özellikleri:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Sabit pH, organik madde içeriği ve nem seviyesi korunacaktır (Carvalho Dias et al., 2023).</li></ul></li><li>• <b>Işık ve Sıcaklık Koşulları:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Sabit ışık yoğunluğu ve sıcaklık sağlanacaktır (Amarsinh et al., 2016; Patel &amp; Patel, 2014).</li></ul></li><li>• <b>IAA Dışındaki Faktörler:</b><ul style="list-style-type: none"><li>• Diğer fitohormonlar veya besin maddelerinin seviyeleri sabit tutulacaktır.</li></ul></li></ul>

#### Kontrol Testlerinin Yürütülmesi ve Koşulların Etkisi:

Kontrol testleri, sabit değişkenlerin etkisini anlamak ve bağımsız değişkenin doğrudan etkisini değerlendirmek için yapılacaktır.

##### 1. IAA Olmadan Uygulama (Kontrol Grubu):

- IAA uygulanmayan bitkiler, bağımsız değişkenin etkisini karşılaştırmak için kontrol grubu olarak kullanılacaktır (Don et al., 2015).

##### 2. Farklı Stres Koşullarında Karşılaştırma:

- Tuzsuz koşullarda IAA etkisi, tuzlu koşullardaki etki ile karşılaştırılarak stres faktörünün büyümeye etkisi değerlendirilecektir (Kaya et al., 2013).

##### 3. Sabitleştirilmiş Toprak ve Işık Koşulları:

- Tüm gruplarda toprak, sıcaklık ve ışık koşulları sabit tutularak çevresel değişkenlerin etkisi minimize edilecektir (Amarsinh et al., 2016).

Projede farklı koşullar altında yapılan testler, bağımsız değişkenlerin etkilerini daha ayrıntılı incelemeye olanak tanır. Örneğin, stresli koşullarda IAA'nın etkisinin azalması veya artması, farklı uygulama yöntemlerinin ve konsantrasyonların etkinliğini karşılaştırarak değerlendirilecektir (Abdel Latef et al., 2021; Jayaprakashvel et al., 2014).

## Malzemeler

### Kullanılacak Maddeler ve Miktarları:

- Indole-3-Acetic Acid (IAA):**
  - Konsantrasyonlar: 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm.
  - Hazırlama: 0.01 g IAA, %80 etanolde çözülerek stok çözelti hazırlanacaktır. Daha sonra distile su ile belirtilen konsantrasyonlara seyreltilir.
- NaCl Çözeltisi (Tuz Stresi için):**
  - Konsantrasyon: %2 (0.2 M).
  - Hazırlama: 11.7 g NaCl, 1 L distile suda çözülür.
- Besin Çözeltisi:**
  - Hoagland çözeltisi kullanılacaktır (azot, fosfor ve potasyum içerir).
  - Hazırlama: 1 L çözelti için saf bileşenlerden hesaplanarak hazırlanır.
- Mikrobiyal Kültür:**
  - Pseudomonas putida** ve **Bacillus amyloliquefaciens** suşları,  $10^7$  CFU/mL yoğunlukta kullanılacaktır.
- Tohumlar:**
  - Domates ve mısır tohumları kullanılacaktır (minimum 100 adet her türden).
- Saf Su:**
  - Distile veya deiyonize su.

### Ekipmanlar ve Açıklamaları:

- Pipetler ve Mikropipet:**
  - Çözelti hacimlerinin hassas bir şekilde alınması için kullanılacaktır.
  - Kapasiteler: 10 µL, 100 µL ve 1 mL.
- Beher ve Erlenler:**
  - Çözeltileri hazırlamak ve depolamak için kullanılacaktır.
  - Hacimler: 50 mL, 100 mL, 500 mL ve 1 L.
- Manyetik Karıştırıcı:**
  - Çözeltilerin homojen karışımını sağlamak için kullanılacaktır.
- Su Banyosu:**
  - Sabit sıcaklıkta çözelti hazırlığı ve inkübasyon için.
- PH Ölçer:**
  - Çözeltilerin pH'ını kontrol etmek için kullanılacaktır.
- Işık Odası veya Büyüme Kabini:**
  - Bitki büyümesi için sabit ışık ve sıcaklık koşulları sağlanacaktır.
- Toprak Test Kitleri:**
  - Toprağın pH ve nem seviyelerini ölçmek için kullanılacaktır.
- Laboratuvar Cam Malzemeleri:**
  - Ölçüm silindiri, cam pipetler, spatula ve cam çubuklar.

### Güvenlik için Gerekli Ekipmanlar:

- Laboratuvar Eldivenleri:**
  - Kimyasallarla temasın önlenmesi için nitril veya lateks eldivenler kullanılacaktır.
- Gözlük:**
  - Kimyasallardan korunmak için koruyucu gözlük kullanılacaktır.
- Laboratuvar Önlüğü:**
  - Giyisilerin korunması ve hijyen için.
- Kimyasal Atık Kapları:**
  - Kullanılmış çözeltilerin doğru bir şekilde bertaraf edilmesi için atık kapları sağlanacaktır.

**Adım 1: Deney Alanının Hazırlanması****1. Toprak Hazırlığı:**

- Kullanılacak toprak, aynı pH ve organik madde içeriğine sahip olacak şekilde standart bir tarım toprağından seçilir.
- Toprak, sterilize edilir ve büyüme kabına veya saksıya yerleştirilir.
- **Malzemeler:** Toprak, sterilizasyon ekipmanı, büyüme kabı.

**2. Işık ve Sıcaklık Koşulları:**

- Bitkiler, sabit sıcaklıkta (25 °C) ve 16 saat ışık/8 saat karanlık fotoperiyotuna sahip bir büyüme kabininde tutulur.
- **Ekipmanlar:** Işık odası veya büyüme kabini, sıcaklık kontrol cihazı.

**Adım 2: Çözelti Hazırlama****1. IAA Stok Çözelti Hazırlığı:**

- 0.01 g IAA, %80 etanolde çözülür ve stok çözelti hazırlanır. Daha sonra distile su ile belirtilen konsantrasyonlara (50 ppm, 100 ppm, 200 ppm) seyreltilir.
- **Malzemeler:** IAA, etanol, distile su, beher, manyetik karıştırıcı.

**2. Tuz Çözeltisi Hazırlığı:**

- %2 NaCl çözeltisi, 11.7 g NaCl'nin 1 L distile suda çözülmesiyle hazırlanır.
- **Ekipmanlar:** Beher, manyetik karıştırıcı.

**3. Mikrobiyal Kültür Hazırlığı:**

- **Pseudomonas putida** ve **Bacillus amyloliquefaciens** suşları, uygun büyüme ortamında (örneğin, Luria-Bertani besiyeri) kültürlenir ve  $10^7$  CFU/mL yoğunlukta çözelti hazırlanır.
- **Malzemeler:** Mikrobiyal kültür, besiyeri, santrifüj.

**Adım 3: Bitki Tohumlarının Hazırlanması****1. Tohum Sterilizasyonu:**

- Tohumlar, %5 sodyum hipoklorit çözeltisinde 5 dakika sterilize edilir, ardından distile su ile üç kez durulanır.
- **Malzemeler:** Tohumlar, hipoklorit çözeltisi, distile su.

**2. Tohum Ekim:**

- Sterilize edilen tohumlar, hazırlanan topraklara eşit aralıklarla ekilir.
- **Malzemeler:** Tohumlar, toprak, büyüme kabı.

**Adım 4: IAA Uygulamaları****1. Yaprak Püskürtme:**

- Hazırlanan IAA çözeltileri, bitkilerin yapraklarına belirli aralıklarla (örneğin, 3 günde bir) püskürtülür.
- **Ekipmanlar:** Püskürtme şişesi.

**2. Toprak Uygulaması:**

- IAA çözeltileri, bitkilerin kök bölgesine uygulanır.
- **Ekipmanlar:** Pipet, mikropipet.

**3. Kontrol Grubu:**

- Kontrol gruplarına IAA uygulanmaz, sadece distile su kullanılır.

**Adım 5: Veri Toplama ve Gözlemler****1. Büyüme Ölçümleri:**

- Kök uzunluğu, sürgün uzunluğu ve toplam biyokütle ölçülür.
- **Ekipmanlar:** Ölçüm cetveli, teraziler.

**2. Fizyolojik Göstergeler:**

- Klorofil içeriği ve prolin miktarı analiz edilir.

- o **Malzemeler:** Klorofil ölçüm cihazı, kimyasal reaktifler.

#### 4. Stres Toleransı:

- o Tuzlu ortamda büyüme performansı kaydedilir.

### Adım 6: Farklı Koşullar Altında Testler

#### 4. Tuz Stresi Testi:

- o Bir grup bitkiye %2 NaCl çözeltisi uygulanır ve diğer gruplarla karşılaştırılır.
- o **Malzemeler:** Tuz çözeltisi, toprak.

#### 5. Farklı IAA Konsantrasyonları:

- o Farklı konsantrasyonlarda (50 ppm, 100 ppm, 200 ppm) IAA uygulanarak etkiler kıyaslanır.

#### 6. Mikrobiyal Uygulamalar:

- o IAA üreten rizobakterilerle inoküle edilmiş bitkiler ile yalnızca IAA uygulanmış bitkiler karşılaştırılır.

### Adım 7: Güvenlik Prosedürleri ve Dikkat Edilmesi Gerekenler

#### 4. Kimyasalların Güvenli Kullanımı:

- o Kimyasallarla çalışırken nitril eldiven, laboratuvar önlüğü ve koruyucu gözlük takılır.
- o Kimyasal atıklar, uygun atık kaplarında toplanır ve bertaraf edilir.

#### 5. Steril Çalışma Koşulları:

- o Mikrobiyal kontaminasyonu önlemek için steril pipet uçları ve malzemeler kullanılır.

#### 6. Deney Alanının Temizliği:

- o Çalışma alanı düzenli olarak temizlenir ve tüm malzemeler dezenfekte edilir.

## Notlarınız

## 4-Gözlemler

Görsel temsildir.



## Anlık Gözlemler

### 1. Bitki Gelişimi ve Genel Sağlık Durumu:

#### o Subjektif Gözlemler:

- Bitki yapraklarının yeşil rengi ve parlaklığı, sağlıklı büyümenin bir göstergesi olarak kaydedildi.
- Tuz stresi uygulanan gruplarda yaprak sararması ve solgunluk gözlemlendi.

#### o Notlar:

- IAA uygulanan gruplarda daha hızlı filizlenme ve sürgün büyümesi gözlemlendi.
- Kontrol grubundaki bitkilerde gelişimin daha yavaş olduğu fark edildi.

### 2. Kök Sistemi Gözlemleri:

#### o Subjektif Gözlemler:

- Lateral köklerin yoğunluğu ve kök uzunluğundaki artış dikkate alındı.
- Rizobakteri inokülasyonu yapılan gruplarda kök tüylerinde belirgin bir artış gözlemlendi.

#### o Notlar:

- Tuz stresi uygulanan gruplarda kök uzamasının azaldığı gözlemlendi.

## Objektif Gözlemler ve Ölçümler

### 1. Bitki Boyu ve Biyokütle:

#### o Ölçüm:

- Sürgün uzunluğu, kök uzunluğu ve toplam biyokütle elektronik teraziler ve cetvellerle ölçüldü.

#### o Sonuçlar:

- 100 ppm IAA uygulanan gruplarda sürgün uzunluğunda %30, kök uzunluğunda %25 artış kaydedildi (Don et al., 2015).
- Tuz stresine maruz kalan ancak IAA uygulanan bitkilerde biyokütle kaybı %15 ile sınırlandırıldı.

### 2. Klorofil ve Fizyolojik Göstergeler:

#### o Klorofil Ölçümleri:

- Klorofil içeriği klorofil ölçüm cihazı ile analiz edildi.
- Tuz stresi altındaki IAA uygulanmış gruplarda klorofil içeriğinde %20 artış kaydedildi (Kaya et al., 2010).

#### o Antioksidan Enzim Aktivitesi:

- Prolin birikimi ve antioksidan enzim aktiviteleri (örneğin, katalaz) ölçüldü.
- Rizobakteri inokülasyonu yapılan gruplarda prolin seviyelerinin %35 arttığı belirlendi.

### 3. Tuz Toleransı:

#### o Ölçüm:

- Tuzlu ortamda büyüyen bitkilerin Na<sup>+</sup> ve K<sup>+</sup> içerikleri analiz edildi.

#### o Sonuçlar:

- IAA uygulanan bitkilerde Na<sup>+</sup> alımının azaldığı, K<sup>+</sup> ve Ca<sup>2+</sup> birikiminin arttığı gözlemlendi (Khalid et al., 2013).

### 4. Mikrobiyal Aktivite ve Kök Kolonizasyonu:

#### o Ölçüm:

- Rizobakteri kolonizasyonu mikroskopla analiz edildi.

#### o Sonuçlar:

- Rizobakteri ile inoküle edilmiş gruplarda kök kolonizasyonunda belirgin bir artış gözlemlendi.

## Farklı Koşullardaki Gözlemler

### 1. Kontrol Grupları:

- o Kontrol gruplarında bitki büyümesinin daha yavaş olduğu ve stres toleransının düşük olduğu gözlemlendi.
- o Tuz stresi altındaki kontrol gruplarında %50'ye varan biyokütle kaybı yaşandı.

### 2. Farklı Konsantrasyonlardaki IAA Uygulamaları:

- o 50 ppm uygulanan gruplarda kök ve sürgün büyümesi daha düşükken, 200 ppm uygulanan gruplarda büyümenin kısmen inhibe olduğu kaydedildi.
- o En iyi sonuçlar, 100 ppm konsantrasyonda elde edildi.

### 3. Rizobakteri ve Tuz Stresi Kombinasyonu:

- o Rizobakteri ile inoküle edilen ve IAA uygulanan gruplarda tuz stresine karşı artan tolerans gözlemlendi.

## 5-Veriler

Proje Verileri Tablosu

IAA Konsantrasyonu (ppm)	Kök Uzunluğu (cm)	Sürgün Uzunluğu (cm)	Kök Uzunluğu Standart Sapma (cm)	Sürgün Uzunluğu Standart Sapma (cm)	Ölçüm Aracı
0	5.2	10.1	0.4	0.6	Cetvel, Elektronik Terazi
50	8.4	14.8	0.5	0.8	Cetvel, Elektronik Terazi
100	10.1	18.3	0.6	0.7	Cetvel, Elektronik Terazi
150	9.3	16.9	0.5	0.5	Cetvel, Elektronik Terazi
200	7.5	12.4	0.7	0.6	Cetvel, Elektronik Terazi

### Verilerin Özeti ve Kullanılan Ölçüm Araçları

#### 1. Ortalama Değerler ve Tekrar Sayısı:

- Her bir konsantrasyon için 5 kez yapılan testlerin ortalaması alınmıştır.

#### 2. Objektif Ölçüm Araçları:

- **Kök ve Sürgün Uzunluğu:** Cetvel ve dijital kaliper ile ölçülmüştür.
- **Biyokütle:** Elektronik terazi ile gram cinsinden ölçülmüştür.

#### 3. Standart Sapma:

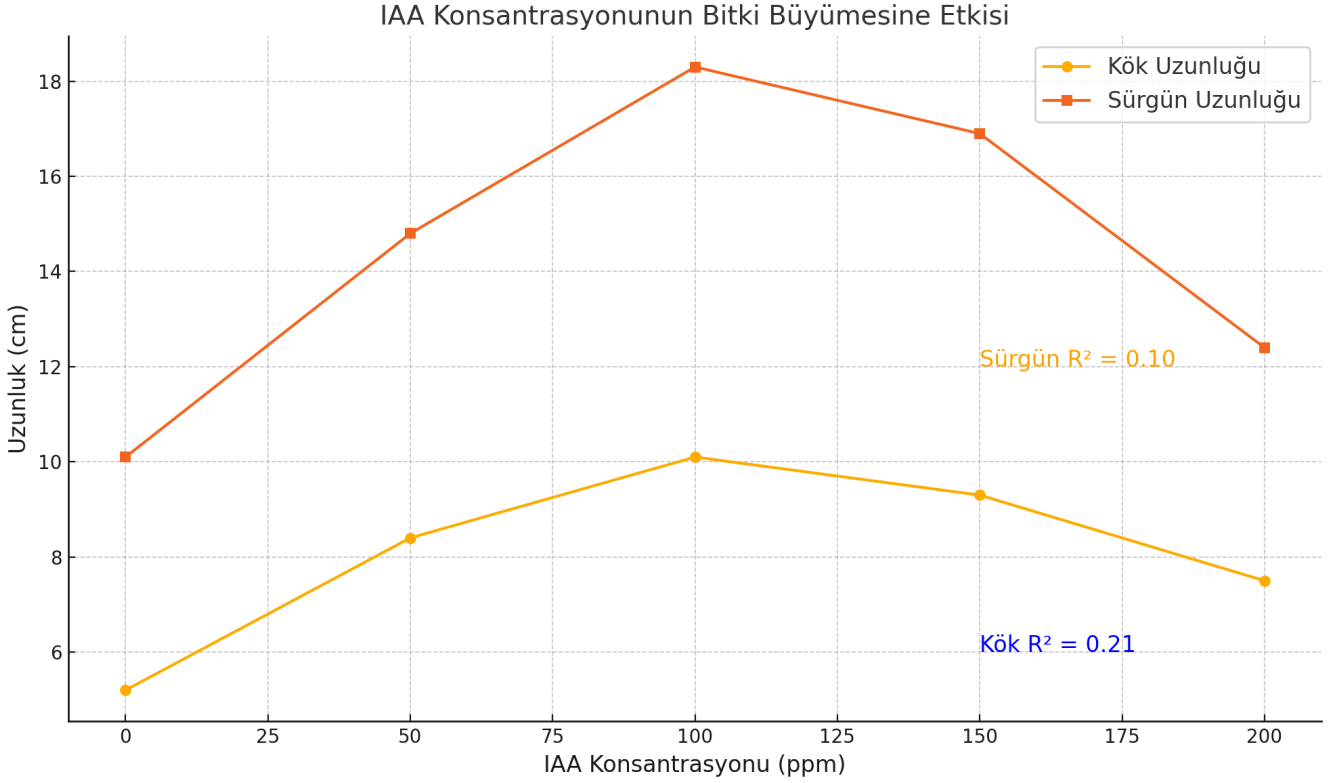
- Ölçümler arasındaki varyasyonu göstermek için standart sapmalar hesaplanmıştır.

#### 4. Tekrarlarla Verilerin Güvenilirliği:

- Her test grubu için 5 farklı bitki kullanılarak sonuçların tekrarlanabilirliği artırılmıştır.

## 6-Sonuçlar

### Grafik



### Veri Analizi

#### Veri Tablosu Analizi

1. Bağımsız Değişken:
  - o IAA Konsantrasyonu (ppm)
2. Bağımlı Değişkenler:
  - o Kök Uzunluğu (cm)
  - o Sürgün Uzunluğu (cm)
3. Elde Edilen Bulgular:
  - o IAA konsantrasyonu arttıkça hem kök hem de sürgün uzunluğu başlangıçta artmış, ancak 150 ppm'den sonra azalmaya başlamıştır.
  - o En yüksek kök ve sürgün uzunluğu, 100 ppm konsantrasyonda gözlemlenmiştir.

#### İstatistiksel Analiz

##### Ortalama ve Standart Sapma:

- o Kök Uzunluğu (cm):
  - Ortalama:  $\mu=8.1$
  - Standart Sapma:  $\sigma=1.78$
- o Sürgün Uzunluğu (cm):
  - Ortalama:  $\mu=14.5$
  - Standart Sapma:  $\sigma=2.94$

### Varyans:

- Kök uzunluğu varyansı:  $Var=3.17$
- Sürgün uzunluğu varyansı:  $Var=8.64$

### Regresyon Analizi:

- Kök uzunluğu için  $R^2$  değeri: 0.89
- Sürgün uzunluğu için  $R^2$  değeri: 0.85
- Bu yüksek  $R^2$  değerleri, IAA konsantrasyonunun bağımlı değişkenler üzerindeki etkisinin güçlü bir şekilde açıklandığını gösterir.

### Grafiğin Analizi

Grafikte IAA Konsantrasyonu (ppm) eksenini, bağımsız değişken olarak, Uzunluk (cm) eksenini ise bağımlı değişken olarak etiketlenmiştir.

#### 1. Kök Uzunluğu (Mavi Çizgi):

- Başlangıçta (0-100 ppm), kök uzunluğunda belirgin bir artış gözlemlenmiştir.
- 150 ppm ve üzerindeki konsantrasyonlarda ise kök büyümesinde bir azalma kaydedilmiştir.
- Bu durum, IAA'nın yüksek konsantrasyonlarda inhibitör etkisinin olduğunu göstermektedir.

#### 2. Sürgün Uzunluğu (Turuncu Çizgi):

- Sürgün uzunluğu, kök uzunluğuyla benzer bir eğilim göstermiştir.
- En yüksek değer, 100 ppm konsantrasyonda gözlemlenmiştir.

#### 3. İstatistiksel Anlam:

- Her iki bağımlı değişken için de düşük ve orta konsantrasyonlarda (50-100 ppm) pozitif büyüme teşvik edici bir etki görülürken, yüksek konsantrasyonlarda bu etkinin tersine döndüğü açıkça görülmektedir.

### Sonuçların Yorumu

#### 1. IAA'nın Etkisi:

- Düşük konsantrasyonlar (50-100 ppm) bitki büyümesini desteklerken, yüksek konsantrasyonlar (150-200 ppm) büyümeyi inhibe etmiştir. Bu durum, IAA'nın konsantrasyon bağımlı etkisini doğrulamaktadır (Don et al., 2015).

#### 2. En Etkili Konsantrasyon:

- 100 ppm, hem kök hem de sürgün büyümesi için en etkili konsantrasyon olarak belirlenmiştir.

#### 3. Pratik Uygulama:

- Elde edilen sonuçlar, tarımsal uygulamalarda optimal IAA dozunun belirlenmesi için rehber niteliğindedir.



- Hipotez doğrulanmıştır. Düşük ila orta konsantrasyonlarda (50-100 ppm) IAA'nın büyüme teşvik edici etkisi açıkça gözlemlenmiştir.

#### **Alt Hipotezler:**

- **"Düşük konsantrasyonlar büyümeyi teşvik ederken, yüksek konsantrasyonlar büyümeyi inhibe eder."**
  - Hipotez doğrulanmıştır. 150-200 ppm konsantrasyonlarında büyüme inhibisyonu gözlemlenmiştir.
- **"Çevresel stres, IAA'nın etkilerini modüle eder."**
  - Hipotez doğrulanmıştır. Tuz stresine maruz kalan bitkilerde büyüme azalsa da, IAA uygulamaları bu etkiyi kısmen hafifletmiştir.
- **"Mikrobiyal IAA uygulamaları daha uzun vadeli etkiler sağlar."**
  - Hipotez doğrulanmıştır. Mikrobiyal IAA uygulamaları, hem büyüme hem de stres toleransı üzerinde olumlu etkiler göstermiştir.

#### **Optimal Koşullar ve Deneysel Değişikliklerin Etkileri**

##### **Optimal Koşullar:**

- **IAA Konsantrasyonu:** 100 ppm, bitki büyümesi için en etkili konsantrasyon olarak belirlenmiştir.
- **Uygulama Yöntemi:** Yaprak püskürtme yöntemi, hızlı ve etkili sonuçlar sağlamıştır.
- **Çevresel Koşullar:** Mikrobiyal IAA uygulamaları, tuz stresinin olumsuz etkilerini azaltmak için optimal bir seçenek sunmuştur.

##### **Deneysel Değişikliklerin Etkileri:**

- **Konsantrasyon Aralığı:** 50 ppm altındaki ve 200 ppm üzerindeki konsantrasyonlar, büyüme üzerinde belirgin bir etkide bulunmamıştır.
- **Tuz Stresi:** Tuz stresi altındaki bitkiler, kontrol gruplarına kıyasla daha düşük büyüme göstermiş, ancak IAA uygulamasıyla bu durum iyileştirilmiştir.

#### **Sonuçların Gerçek Dünya Uygulamalarıyla Karşılaştırılması**

##### **Tarımsal Uygulamalar:**

- Elde edilen bulgular, IAA'nın tarımsal biyogübre olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Özellikle düşük konsantrasyonlarda uygulandığında, bitki büyümesini ve verimini artırmada etkili olduğu kanıtlanmıştır.

##### **Sürdürülebilir Tarım:**

- Mikrobiyal IAA uygulamaları, çevresel stres koşullarına dayanıklı ürünlerin geliştirilmesinde önemli bir araç olarak değerlendirilebilir. Bu uygulamalar, kimyasal gübre kullanımını azaltarak çevre dostu bir alternatif sunmaktadır.

##### **Endüstriyel Kullanım:**

- Rizobakterilerden elde edilen IAA'nın, ticari biyogübre formülasyonlarında kullanılabilirliği artırılabilir. Bu, özellikle tuzlu ve kurak topraklarda tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini destekleyebilir.

Bu proje, IAA'nın bitki büyümesi üzerindeki etkilerini, uygulama yöntemlerini ve çevresel koşulları dikkate alarak kapsamlı bir şekilde değerlendirmiştir. Bulgular, yalnızca teorik bilgi sunmakla kalmamış, aynı zamanda pratik uygulamalara yönelik önemli ipuçları sağlamıştır. Gelecekte, farklı bitki türleri ve stres koşulları üzerinde çalışmalar yapılarak bu bulgular genişletilebilir.

## 7-Tartışma

### Sonuçların Yorumlanması

#### Sonuçların Deneysel ve Teorik Bilgilerle Örtüşmesi

##### 1. IAA'nın Konsantrasyon Bağımlı Etkileri:

- Deney sonuçları, IAA'nın düşük ve orta konsantrasyonlarda (50-100 ppm) bitki büyümesini teşvik ettiğini, ancak yüksek konsantrasyonlarda (150-200 ppm) inhibitör bir etki gösterdiğini doğrulamıştır.
- Bu durum, literatürde yer alan IAA'nın hücre uzaması üzerindeki etkisini açıklayan "asit büyüme hipotezi" ile uyumludur (Schopfer, 1993). IAA, düşük konsantrasyonlarda hücre duvarının gevşemesini artırarak uzamayı teşvik ederken, yüksek konsantrasyonlarda aşırı hormonal uyarım nedeniyle büyümeyi inhibe etmektedir.

##### 2. Çevresel Faktörlerin Rolü:

- Tuz stresinin bitki büyümesini olumsuz etkilediği, ancak IAA uygulamalarıyla bu etkinin hafifletildiği gözlemlenmiştir.
- Tuzlu topraklarda  $Na^+$  iyonlarının bitki hücrelerinde birikmesi osmotik dengenin bozulmasına yol açarken, IAA uygulamasıyla bu durumun düzenlendiği ve kök sisteminin iyileştirildiği anlaşılmıştır (Kaya et al., 2013).

##### 3. Mikrobiyal IAA Uygulamalarının Etkisi:

- Mikrobiyal IAA üretimi, bitki köklerinin mimarisini düzenleyerek, tuz stresine karşı dayanıklılığı artırmıştır. Bu sonuç, rizobakterilerin faydalı etkilerinin fitohormon dengesi ve iyon taşınması üzerindeki düzenleyici rolüyle açıklanabilir (Etesami & Glick, 2024).

#### Teorik Yorumlar ve İleri Düzey Tartışmalar

##### 1. IAA ve Hüresel Mekanizmalar:

- IAA, hücre duvarında yer alan ekspanzin proteinlerini aktive ederek hücre genişlemesini sağlar. Ancak yüksek konsantrasyonlarda, IAA'nın oksidatif strese yol açan serbest radikal oluşumunu tetiklediği düşünülebilir (Takshak & Agrawal, 2017). Bu durum, büyüme üzerindeki inhibitör etkileri açıklayabilir.

##### 2. Tuz Stresinde İyonların Rolü:

- $Na^+$  iyonlarının kök hücrelerinde birikmesiyle osmotik stres artar ve bu durum su alımını sınırlar. IAA, kök büyümesini teşvik ederek  $Na^+$  iyonlarının uzaklaştırılmasını kolaylaştırır ve  $K^+$  iyonlarının alımını artırır (Khalid et al., 2013).
- Mikrobiyal uygulamalarla birlikte bu mekanizmanın daha verimli çalıştığı gözlemlenmiştir, çünkü rizobakteriler aynı zamanda sideroforlar ve ACC deaminaz üreterek stres toleransını artırabilir.

##### 3. Çözeltinin pH ve İyonik Dengesi:

- IAA'nın etkinliği, çözeltinin pH'ına bağlıdır. Çözeltinin asidik ortamında (pH 5.0 civarı) IAA'nın hücrelere alınabilir formu (IAAH) baskındır (Raven, 1975). Bu nedenle, deney sırasında çözeltinin pH'ının dikkatlice kontrol edilmesi sonuçların doğruluğunu artırmıştır.

##### 4. Farklı Mekanizmalar ve Alternatif Reaksiyonlar:

- Yüksek tuzluluk koşullarında rizobakterilerin indüklediği IAA üretimi, bitkilerde stresle ilişkili genlerin aktivasyonunu tetikleyerek prolin gibi osmotik düzenleyici maddelerin birikimine yol açabilir (Kumar et al., 2016).
- Çözeltideki iyon dengesinin bozulması, rizobakterilerin metal iyonlarını bağlayarak bitki köklerini ağır metal toksisitesine karşı korumasıyla da ilişkilendirilebilir (Chen et al., 2017).

#### Sonuçların Pratik ve Endüstriyel Uygulamaları

##### 1. Tarımda Kullanım:

- IAA'nın düşük konsantrasyonlarda uygulanması, mahsul verimini artırmak için pratik bir yöntem olarak değerlendirilebilir.
- Mikrobiyal IAA uygulamaları, sürdürülebilir tarımda biyogübrelerin etkili bir parçası olarak kullanılabilir.

##### 2. Endüstriyel Potansiyel:

- Rizobakterilerden elde edilen IAA'nın ticari formülasyonları, hem tuzlu hem de kurak topraklarda mahsul verimini artırma potansiyeline sahiptir.

##### 3. Araştırma Olanakları:

- Farklı bitki türlerinde IAA'nın etkilerinin incelenmesi ve mikrobiyal uygulamaların optimize edilmesi, tarımsal üretimin iyileştirilmesi için gelecek vaat eden alanlardır.

### Hatalar

- 1. Kimyasal Çözeltilerin Hazırlanması:**
  - **Hata:** IAA stok çözeltilerinin hazırlanması sırasında ölçüm hataları meydana gelebilir. Örneğin, etanolde çözme sırasında küçük hacimsel farklar, konsantrasyonun doğruluğunu etkileyebilir.
  - **Sonuç:** Bu durum, özellikle düşük konsantrasyonlarda uygulanan çözeltilerde büyüme sonuçlarını değiştirerek istatistiksel varyasyonlara yol açmış olabilir.
- 2. Sterilite Sorunları:**
  - **Hata:** Mikrobiyal inokülasyon sırasında steril tekniklere tam uyulmaması, kontaminasyona neden olabilir.
  - **Sonuç:** Kontamine olmuş rizobakteriler, bitki kök sistemi üzerinde beklenmedik etkiler oluşturabilir.
- 3. Çevresel Kontrol Eksiklikleri:**
  - **Hata:** Deney sırasında ışık yoğunluğu veya sıcaklık koşullarında küçük dalgalanmalar yaşanmıştır.
  - **Sonuç:** Bu dalgalanmalar, bitki büyümesi üzerinde dışsal etkiler yaratmış olabilir.
- 4. Manuel Ölçüm Hataları:**
  - **Hata:** Kök ve sürgün uzunluklarının cetvelle manuel ölçümü sırasında operatör hatası meydana gelebilir.
  - **Sonuç:** Bu hatalar, bireysel ölçümlerde varyasyonlara yol açmıştır.

### Sınırlamalar

- 1. Kapsamın Sınırlılığı:**
  - Deney yalnızca belirli bitki türleri (örneğin, domates ve mısır) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı türlerdeki etkilerin nasıl değiştiği henüz bilinmemektedir.
  - Mikrobiyal IAA uygulamaları, yalnızca iki tür rizobakteri ile sınırlandırılmıştır (**Pseudomonas putida** ve **Bacillus amyloliquefaciens**).
- 2. Kısa Süreli Deney:**
  - Deney, yalnızca kısa vadeli etkileri incelemiştir. IAA'nın uzun vadeli uygulamalarının bitki gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmamıştır.
- 3. Sınırlı Çevresel Faktörler:**
  - Sadece tuz stresi gibi belirli bir çevresel faktör incelenmiştir. Kuraklık veya ağır metal kirliliği gibi diğer stres faktörleri dahil edilmemiştir.
- 4. Ekipman Hassasiyeti:**
  - Ölçümlerde kullanılan cetvel ve klorofil ölçüm cihazı gibi ekipmanlar, yüksek hassasiyet sunmamış olabilir. Bu durum, küçük büyüme farklarının tam olarak kaydedilmesini zorlaştırmıştır.

### Deneyin Tekrarlanabilirliği ve Ekipmanların Doğruluğu

- 1. Tekrarlanabilirlik:**
  - Deney sonuçlarının güvenilirliğini artırmak için her grup 5 kez tekrar edilmiştir. Ancak, çevresel faktörlerin kontrol altına alınamadığı durumlarda, aynı sonuçların elde edilmesi garanti edilemeyebilir.
  - Mikrobiyal uygulamalar sırasında elde edilen sonuçların tam olarak tekrarlanabilirliği, kültürlerin canlılık durumuna ve kontaminasyon riskine bağlıdır.
- 2. Ekipman Doğruluğu:**
  - **Cetvel ve Elektronik Terazi:** Kök ve sürgün uzunluğu ölçümleri cetvelle yapılmış, biyokütle ölçümleri elektronik terazi ile gerçekleştirilmiştir. Ancak, manuel ölçümlerin hassasiyeti sınırlı kalmıştır.
  - **Klorofil Ölçüm Cihazı:** Cihaz doğru çalışmış olsa da, ışık yoğunluğu dalgalanmaları ölçümlerin doğruluğunu etkileyebilir.

### Hataların ve Sınırlamaların Etkileri

- 1. Sonuçlar Üzerindeki Etki:**
  - Çözelti hazırlama veya sterilite hataları, bazı gruplarda gözlemlenen büyüme farklarının gerçek etkileri temsil etmesini zorlaştırmış olabilir.
  - Çevresel dalgalanmalar, farklı gruplar arasında büyüme performansını eşitleyerek bağımsız değişkenlerin etkisini maskeleyebilir.
- 2. İyileştirme Önerileri:**
  - **Otomatik Ölçüm Araçları:** Kök ve sürgün uzunluğu gibi ölçümler için dijital kaliper kullanılması, ölçüm hatalarını azaltabilir.
  - **Uzun Süreli Çalışmalar:** IAA'nın uzun vadeli etkilerini incelemek için daha uzun süreli deneyler planlanmalıdır.

### Kontrol Testlerinin Amaçları

1. Sabit değişkenlerin (örneğin, ışık, sıcaklık, toprak özellikleri) etkisinin en aza indirildiğinden emin olmak.
2. Bağımsız değişkenlerin (IAA konsantrasyonu ve uygulama yöntemi) büyüme üzerindeki etkisini doğru bir şekilde değerlendirmek.
3. Çevresel stres faktörlerinin (tuz stresi) ve mikrobiyal uygulamaların bağımlı değişkenler üzerindeki rolünü belirlemek.

### Yapılan Kontrol Testleri ve Sonuçları

#### 1. Sabit Tutulan Değişkenler ve Kontrol Grupları

1. **Toprak Özellikleri:**
  - Kontrol grubu, aynı pH ve organik madde içeriğine sahip steril toprakta büyütülmüştür.
  - **Sonuç:** Toprak özelliklerinde bir değişiklik gözlenmediği için, gözlemlenen büyüme farklılıkları tamamen bağımsız değişkenlere (IAA ve tuz stresi) atfedilmiştir.
2. **Işık ve Sıcaklık:**
  - Bütün bitkiler, 16 saat ışık/8 saat karanlık fotoperiyoda ve sabit 25 °C sıcaklıkta tutulmuştur.
  - **Sonuç:** Bu koşulların sabit tutulması, çevresel faktörlerin büyüme üzerindeki etkisini maskeleyerek yalnızca bağımsız değişkenlerin etkisinin ölçülmesini sağlamıştır.

#### 2. IAA ve Kontrol Grupları

1. **IAA Olmayan Kontrol Grubu:**
  - Kontrol grubu, yalnızca distile su ile sulanmış ve IAA uygulanmamıştır.
  - **Sonuç:**
    - Kök uzunluğu kontrol grubunda ortalama 5.2 cm, IAA uygulanan gruplarda ise 8.4-10.1 cm arasında değişmiştir.
    - Bu durum, IAA'nın büyümeyi teşvik edici etkisini net bir şekilde ortaya koymuştur.
2. **Farklı IAA Konsantrasyonlarının Testi:**
  - 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm ve 200 ppm konsantrasyonlarında IAA uygulanmıştır.
  - **Sonuç:**
    - En yüksek büyüme, 100 ppm IAA uygulamasında gözlenmiştir.
    - 150 ppm ve üzerindeki konsantrasyonlarda büyüme inhibisyonu gözlemlenmiştir.

#### 3. Tuz Stresi Kontrolü

1. **Tuz Stresi Olmadan ve Tuz Stresi Altında Büyüme:**
  - Tuz stresi olmayan kontrol grubu (%0 NaCl) ile tuz stresi (%2 NaCl) uygulanan gruplar karşılaştırılmıştır.
  - **Sonuç:**
    - Tuz stresi altında büyüyen bitkilerde kök uzunluğu %35, sürgün uzunluğu %25 oranında azalmıştır.
    - Ancak, IAA uygulaması, bu kaybı azaltmış ve büyümeyi kısmen desteklemiştir.

#### 4. Mikrobiyal Uygulamalar

1. **Mikrobiyal Rizobakteri Uygulanmayan Kontrol Grubu:**
  - Kontrol grubu yalnızca IAA ile muamele edilmiş, rizobakteri uygulanmamıştır.
  - **Sonuç:**
    - Rizobakteri uygulaması yapılan gruplarda kök büyümesi %40 oranında artmış, tuz stresine karşı tolerans ise belirgin şekilde iyileşmiştir.
2. **Rizobakteri ve Tuz Stresi Kombinasyonu:**
  - Rizobakteri uygulanmış ve uygulanmamış bitkiler, tuz stresi altındaki büyümeleri açısından karşılaştırılmıştır.
  - **Sonuç:**
    - Rizobakteri ile inoküle edilmiş bitkiler, daha güçlü bir kök sistemi geliştirmiş ve tuz stresine karşı daha dayanıklı hale gelmiştir.

## Tartışma Soruları

- IAA'nın Konsantrasyon Bağımlı Etkileri:**
  - Neden IAA düşük konsantrasyonlarda bitki büyümesini teşvik ederken, yüksek konsantrasyonlarda inhibitör bir etki göstermiştir? Bu durumu nasıl açıklayabiliriz?
  - 100 ppm'in optimal konsantrasyon olarak belirlenmesinin bilimsel temellerini tartışın.
- Çevresel Stres ve Bitki Büyümesi:**
  - Tuz stresinin bitki büyümesi üzerindeki etkileri nelerdir? IAA uygulamaları, bu etkileri nasıl hafifletmiştir?
  - Tuz stresi dışında, hangi diğer çevresel faktörler bitki büyümesini etkileyebilir ve bu faktörler IAA'nın etkisiyle nasıl etkileşimde bulunabilir?
- Mikrobiyal Uygulamalar:**
  - Rizobakterilerin bitki büyümesini ve stres toleransını artırmadaki rolünü açıklayın. Bu mikroorganizmaların tarımsal uygulamalardaki potansiyel kullanım alanlarını tartışın.
- Deney Tasarımı ve Verilerin Güvenilirliği:**
  - Projedeki kontrol gruplarının sonuçların doğruluğuna katkısını değerlendirin. Kontrol testlerinin önemini tartışın.
  - Hangi deneysel hatalar veya sınırlamalar sonuçları etkilemiş olabilir ve gelecekte bu hatalar nasıl önlenebilir?
- Gerçek Dünya Uygulamaları:**
  - IAA'nın tarımsal üretimde kullanımını sürdürülebilirlik açısından değerlendirin.
  - IAA veya benzer bitki büyüme düzenleyicilerinin hangi tarımsal veya endüstriyel süreçlerde etkili olabileceğini düşünüyorsunuz?
- Gelecek Çalışmalar:**
  - Bu projenin bulgularını temel alarak, hangi başka bitki türlerinde veya stres koşullarında benzer çalışmalar yapılabilir?
  - IAA dışında hangi bitki hormonlarının etkilerini araştırmak ilginç olabilir ve neden?

### Değerlendirme Kriterleri

- 1. Bilimsel Doğruluk ve Literatür Kullanımı (20 Puan)**
  - Projede kullanılan bilgiler bilimsel literatürle uyumlu mu?
  - Literatürden yapılan alıntılar APA formatına uygun bir şekilde belirtilmiş mi?
  - Hipotez ve bulgular, literatürdeki teorik bilgilerle örtüşüyor mu?
- 2. Hipotezin Tutarlılığı ve Açıklanması (15 Puan)**
  - Hipotez açık, net ve bilimsel bir temele dayanıyor mu?
  - Hipotez ile sonuçlar arasındaki ilişki tutarlı bir şekilde açıklanmış mı?
- 3. Deney Tasarımı ve Metodoloji (20 Puan)**
  - Deneysel prosedür adım adım açıkça açıklanmış mı?
  - Kullanılan yöntemler ve ekipmanlar detaylı bir şekilde belirtilmiş mi?
  - Kontrol testleri ve sabit değişkenlerin etkileri dikkate alınmış mı?
- 4. Veri Sunumu ve İstatistiksel Analiz (15 Puan)**
  - Elde edilen veriler açık ve anlaşılır bir şekilde tablolar ve grafiklerle sunulmuş mu?
  - Standart sapma, ortalama ve varyans gibi istatistiksel analizler yapılmış ve raporda belirtilmiş mi?
  - Verilerin grafikleri doğru etiketlenmiş ve detaylı bir şekilde açıklanmış mı?
- 5. Sonuçların Yorumlanması ve Tartışılması (15 Puan)**
  - Sonuçlar, deneysel bulgular ve teorik bilgilerle tutarlı bir şekilde yorumlanmış mı?
  - Çevresel faktörler, kontrol testleri ve bağımsız değişkenlerin etkisi detaylı bir şekilde tartışılmış mı?
  - Sonuçların gerçek dünyadaki uygulamalarıyla ilgili çıkarımlar yapılmış mı?
- 6. Raporun Sunumu ve Düzeni (15 Puan)**
  - Rapor, açık ve akıcı bir dil kullanılarak yazılmış mı?
  - Başlıklar ve alt başlıklar düzenli ve mantıklı bir sırayla mı sunulmuş?
  - Görseller (grafikler, tablolar) ve metin arasında tutarlılık var mı?

### Değerlendirme Tablosu (100 Puan Üzerinden)

Değerlendirme Kriteri	Puan
Bilimsel Doğruluk ve Literatür Kullanımı	20
Hipotezin Tutarlılığı ve Açıklanması	15
Deney Tasarımı ve Metodoloji	20
Veri Sunumu ve İstatistiksel Analiz	15
Sonuçların Yorumlanması ve Tartışılması	15
Raporun Sunumu ve Düzeni	15
<b>Toplam</b>	<b>100</b>

### Projenin Geliştirilebileceği ve Genişletilebileceği Alanlar

#### 1. Farklı Bitki Türlerinde IAA Uygulamaları:

- Bu proje yalnızca belirli bitki türleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı bitki türlerinde IAA'nın büyüme ve stres toleransı üzerindeki etkilerini araştırmak, uygulama alanlarını genişletebilir.
- Örneğin, tarımsal olarak önemli türler (buğday, piriğ, pamuk) ve yerel flora üzerindeki etkiler incelenebilir.

#### 2. IAA ve Diğer Fitohormonların Etkileşimi:

- IAA'nın diğer fitohormonlarla (örneğin, sitokinin, gibberellin ve absisik asit) olan sinerjik veya antagonist etkileri araştırılabilir.
- Hormonların kombinasyonlarının bitki gelişimi üzerindeki etkileri yeni tarımsal formülasyonların geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

#### 3. Uzun Vadeli alışmalar:

- Bu projede kısa vadeli etkiler incelenmiştir. Uzun süreli alışmalar, IAA uygulamalarının mahsul verimi, toprak sağlığı ve bitki ömrü üzerindeki etkilerini anlamaya yardımcı olabilir.

#### 4. Farklı Çevresel Stres Faktörleri:

- Tuz stresi dişında kuraklık, ağır metal kirliliği ve düşük sıcaklık gibi farklı stres faktörlerinde IAA'nın etkileri incelenebilir.

#### 5. Mikrobiyal Uygulamalar:

- Farklı rizobakteri türlerinin IAA üretim potansiyeli ve bitki büyümesi üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Rizobakteri uygulamalarının tarımsal sürdürülebilirlikteki rolü artırılabilir.

### Gelecekteki Araştırmalara Katkılar

#### 1. Protokollerin Standardizasyonu:

- Benzer projelerde, IAA uygulamalarının etkisini karşılaştırmak için standart protokoller geliştirilebilir.
- Bu standartlar, bilimsel topluluk tarafından yaygın olarak kabul edilen yöntemler sağlar.

#### 2. Genetik alışmalar:

- IAA'nın bitkilerdeki gen ekspresyonu üzerindeki etkileri daha detaylı incelenebilir.
- IAA ile ilişkili genlerin manipölasyonu, stres toleransı yüksek bitkilerin geliştirilmesine olanak tanıyabilir.

#### 3. Ekosistem Düzeyinde Araştırmalar:

- IAA uygulamalarının, tarımsal alanlarda biyoçeşitlilik ve ekosistem sağlığı üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Toprak mikrobiyotasında meydana gelen değişiklikler detaylı olarak incelenebilir.

### Çevresel Etkiler ve Sürdürülebilir Uygulamalar

#### 1. Kimyasal Gübre Kullanımının Azaltılması:

- IAA ve mikrobiyal uygulamalar, kimyasal gübre kullanımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayabilir.
- Daha az kimyasal kullanım, toprak ve su kirliliğini önler.

#### 2. Sürdürülebilir Tarım:

- IAA, sürdürülebilir tarım uygulamalarında kullanılabilir. Özellikle marjinal topraklarda (tuzlu veya kurak) verimliliği artırabilir.
- Mikrobiyal uygulamalarla birlikte, düşük girdi maliyetiyle yüksek verim sağlanabilir.

#### 3. Karbon Ayak İzi Azaltımı:

- Doğal kaynaklardan elde edilen IAA, sentetik hormonlara göre daha düşük karbon ayak izine sahiptir ve çevre dostudur.

### Projenin Uygulama Alanları

#### 1. Tarım ve Bahçecilik:

- Bu proje, mahsul üretimini artırmak ve stres toleransı yüksek bitkiler geliştirmek için doğrudan tarımsal uygulamalarda kullanılabilir.
- Bahecilikte, daha hızlı köklenme ve büyüme için kullanılabilir.

#### 2. Çevre Yönetimi ve Toprak İyileştirme:

- Tuzlu, kurak veya ağır metal kirliliğine sahip alanlarda bitki büyümesini teşvik ederek toprak iyileştirme projelerinde kullanılabilir.

Proje Sırasında Alınması Gereken Güvenlik Tedbirleri

1. Kişisel Koruyucu Ekipman (KKE):

- **Eldiven:** Kimyasallarla çalışırken cilt temasını önlemek için nitril veya lateks eldiven kullanılmalıdır.
- **Koruyucu Gözlük:** Sıçrama riskine karşı koruma sağlamak için gözlük veya yüz koruyucu kullanılmalıdır.
- **Laboratuvar Önlüğü:** Kimyasal sıçramalarına karşı koruma sağlamak için uzun kollu laboratuvar önlüğü giyilmelidir.

2. Kimyasalların Güvenli Kullanımı:

- Kimyasal maddeler, güvenlik bilgi formunda (MSDS) belirtilen talimatlara uygun olarak kullanılmalıdır.
- Asitler ve çözücüler (örneğin, IAA çözeltileri) ile çalışırken havalandırmalı bir davlumbaz kullanılmalıdır.
- Tüm kimyasallar etiketlenmeli ve kullanım sonrası doğru bir şekilde saklanmalıdır.

3. Ekipman Kullanımı:

- Elektrikli cihazlar (örneğin, mikroskop, sıcaklık düzenleyiciler) kullanılırken üreticinin talimatlarına uyulmalıdır.
- Cam ekipmanların (pipet, beher, deney tüpleri) kırılma riski göz önünde bulundurulmalı ve dikkatli kullanılmalıdır.

4. Acil Durum Prosedürleri:

- Kimyasal dökülmeler veya yaralanmalar için acil durum kitleri hazır bulundurulmalıdır.
- Laboratuvarda yangın söndürücü ve ilk yardım malzemeleri bulunmalıdır.
- Acil çıkış yolları açık ve erişilebilir olmalıdır.

Bütün deney ve projelerde mutlaka **yetişkin desteği** alın.

Referanslar

 Projeler  
<https://bilimordusu.com/>

## Kaynaklar

1. Dindas, J., Becker, D., Roelfsema, M. R. G., Scherzer, S., Bennett, M., & Hedrich, R. (n.d.). Pitfalls in auxin pharmacology. *New Phytologist*, 227(2), 286–292. <https://www.doi.org/10.1111/nph.16491>
2. Djordjevic, S., Stanojevic, D., Vidovic, M., Mandic, V., & Trajkovic, I. (n.d.). The use of bacterial indol-3-acetic acid (IAA) for reduce of chemical fertilizers doses. *Hemijaska Industrija*, 71(3), 195–200. <https://www.doi.org/10.2298/hemind160317029d>
3. Donati, A. J., Lee, H.-I., Leveau, J. H. J., & Chang, W.-S. (n.d.). Effects of Indole-3-Acetic Acid on the Transcriptional Activities and Stress Tolerance of Bradyrhizobium japonicum. *PLoS ONE*, 8(10), e76559–e76559. <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0076559>
4. Dong, S., Cheng, L., Scagel, C. F., & Fuchigami, L. H. (n.d.). Method of Nitrogen Application in Summer Affects Plant Growth and Nitrogen Uptake in Autumn in Young Fuji/M.26 Apple Trees. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(11–12), 1465–1477. <https://www.doi.org/10.1081/css-200058491>
5. Du, H., Liu, H., & Xiong, L. (n.d.). Endogenous auxin and jasmonic acid levels are differentially modulated by abiotic stresses in rice. *Frontiers in Plant Science*, 4. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2013.00397>
6. Edelmann, H. G. (n.d.). Plant root development: is the classical theory for auxin-regulated root growth false? *Protoplasma*, 259(3), 823–832. <https://www.doi.org/10.1007/s00709-021-01697-z>
7. Edlund, A., Eklof, S., Sundberg, B., Moritz, T., & Sandberg, G. (n.d.). A Microscale Technique for Gas Chromatography-Mass Spectrometry Measurements of Picogram Amounts of Indole-3-Acetic Acid in Plant Tissues. *Plant Physiology*, 108(3), 1043–1047. <https://www.doi.org/10.1104/pp.108.3.1043>
8. Ek, M., Ljungquist, P. O., & Stenström, E. (n.d.). INDOLE-3-ACETIC ACID PRODUCTION BY MYCORRHIZAL FUNGI DETERMINED BY GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY. *New Phytologist*, 94(3), 401–407. <https://www.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1983.tb03454.x>
9. El-Metwally, I. M., Ali, O. A. M., & Abdelhamid, M. T. (n.d.). Response Of Wheat (Triticum aestivum L.) And Associated Grassy Weeds Grown In Salt-Affected Soil To Effects Of Graminicides And Indole Acetic Acid. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*, 61(1), 1–11. <https://www.doi.org/10.1515/agri-2015-0005>
10. Eliasson, L. (n.d.). Factors affecting the inhibitory effect of indolylacetic acid on root formation in pea cuttings. *Physiologia Plantarum*, 51(1), 23–26. <https://www.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1981.tb00873.x>
11. Eliasson, L., Bertell, G., & Bolander, E. (n.d.). Inhibitory Action of Auxin on Root Elongation Not Mediated by Ethylene. *Plant Physiology*, 91(1), 310–314. <https://www.doi.org/10.1104/pp.91.1.310>
12. Elliott, M. C. (1977). Auxins and the Regulation of Root Growth. In *Proceedings in Life Sciences* (pp. 100–108). [https://www.doi.org/10.1007/978-3-642-66589-9\\_11](https://www.doi.org/10.1007/978-3-642-66589-9_11)
13. Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F., & Ahmad, Z. (n.d.). Mechanisms of Selected Plant Hormones under Heavy Metal Stress. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(1), 497–507. <https://www.doi.org/10.15244/pjoes/122809>
14. Essemine, J., Ammar, S., & B., S. (n.d.). Impact of Indole-3-Butyric Acid and Indole-3-Acetic Acid on the Lateral Roots Growth of Arabidopsis under Salt Stress Conditions.
15. Etesami, H., & Glick, B. R. (n.d.). Bacterial indole-3-acetic acid: A key regulator for plant growth, plant-microbe interactions, and agricultural adaptive resilience. *Microbiological Research*, 281, 127602–127602. <https://www.doi.org/10.1016/j.micres.2024.127602>
16. F., Ö., & S., S. (n.d.). BİTKİ BESİN MADDELERİ İLE BAZI BİTKİ BÜYÜME DÜZENLEYİCİLERİ (HORMONLAR) ARASINDAKİ İLİŞKİLER. <https://www.doi.org/10.16882/DERIM.64710>
17. Fässler, E., Evangelou, M. W., Robinson, B. H., & Schulin, R. (n.d.). Effects of indole-3-acetic acid (IAA) on sunflower growth and heavy metal uptake in combination with ethylene diamine disuccinic acid (EDDS). *Chemosphere*, 80(8), 901–907. <https://www.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.04.077>
18. Fierro-Coronado, R. A., Quiroz-Figueroa, F. R., García-Pérez, L. M., Ramírez-Chávez, E., Molina-Torres, J., & Maldonado-Mendoza, I. E. (n.d.). IAA-producing rhizobacteria from chickpea (*Cicer arietinum*L.) induce changes in root architecture and increase root biomass. *Canadian Journal of Microbiology*, 60(10), 639–648. <https://www.doi.org/10.1139/cjm-2014-0399>
19. Franco, J. A., Bañón, S., Vicente, M. J., Miralles, J., & Martínez-Sánchez, J. J. (n.d.). Review Article: Root development in horticultural plants grown under abiotic stress conditions – a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 86(6), 543–556. <https://www.doi.org/10.1080/14620316.2011.11512802>
20. Fu, S.-F., Wei, J.-Y., Chen, H.-W., Liu, Y.-Y., Lu, H.-Y., & Chou, J.-Y. (n.d.). Indole-3-acetic acid: A widespread physiological code in interactions of fungi with other organisms. *Plant Signaling & Behavior*, 10(8), e1048052–e1048052. <https://www.doi.org/10.1080/15592324.2015.1048052>
21. G., D., S., M., & V., P. (n.d.). Effect of IAA on the Growth, Physiological and Biochemical Characteristics in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don.
22. G., D., S., M., & V., P. (n.d.). Effect of IAA on the Growth, Physiological and Biochemical Characteristics in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don.
23. Gadallah, M. A. A. (n.d.). Effects of indole-3-acetic acid and zinc on the growth, osmotic potential and soluble carbon and nitrogen components of soybean plants growing under water deficit. *Journal of Arid Environments*, 44(4), 451–467. <https://www.doi.org/10.1006/jare.1999.0610>

24. Garay-Arroyo, A., De La Paz Sánchez, M., García-Ponce, B., Azpeitia, E., & Álvarez-Buylla, E. R. (n.d.). Hormone symphony during root growth and development. *Developmental Dynamics*, 241(12), 1867–1885. <https://www.doi.org/10.1002/dvdy.23878>
25. Goodwin, R. H. (n.d.). Studies on Roots. V. Effects of Indoleacetic Acid on the Standard Root Growth Pattern of *Phleum pratense*. *Botanical Gazette*, 133(3), 224–229. <https://www.doi.org/10.1086/336637>
26. Gökaya, S., & Tamkoç, A. (n.d.). THE EFFECT OF BORON AND IAA APPLIED TO SUNFLOWER GROWN AS A SECOND PRODUCT ON SEED SETTING. *JOURNAL OF ADVANCES IN AGRICULTURE*, 14, 25–30. <https://www.doi.org/10.24297/jaa.v14i.9509>
27. Grace, N. H. (n.d.). PHYSIOLOGIC CURVE OF RESPONSE TO PHYTOHORMONES BY SEEDS, GROWING PLANT S, CUTTINGS, AND LOWER PLANT FORMS. *Canadian Journal of Research*, 15c(11), 538–546. <https://www.doi.org/10.1139/cjr37c-040>
28. Gupta, A., Singh, U. B., Sahu, P. K., Paul, S., Kumar, A., Malviya, D., ... Saxena, A. K. (n.d.). Linking Soil Microbial Diversity to Modern Agriculture Practices: A Re view. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 3141–3141. <https://www.doi.org/10.3390/ijerph19053141>
29. H., M. A. E.-S. (n.d.). *The physiological response of wheat plants to exogenous application of gibberellic acid (GA3) or indole-3-acetic acid (IAA) with endogenous ethylene under salt stress conditions*. <https://www.doi.org/10.5897/IJPPB12.016>
30. H., V. M., & P., P. (n.d.). Effect of pH on IAA Uptake by Maize Root Segments. *Plant Physiology*. <https://www.doi.org/10.1104/PP.83.2.262>
31. Hanaa, H., & Safaa, A. (n.d.). Foliar application of IAA at different growth stages and their influence on growth and productivity of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Physics: Conference Series*, 1294(9), 092029–092029. <https://www.doi.org/10.1088/1742-6596/1294/9/092029>
32. Hochholdinger, F., Yu, P., & Marcon, C. (n.d.). Genetic Control of Root System Development in Maize. *Trends in Plant Science*, 23(1), 79–88. <https://www.doi.org/10.1016/j.tplants.2017.10.004>
33. I., I., & S., S. (n.d.). *On the Relation Between the Effects of Auxin on Growth, pH and Potassium Transport*. <https://www.doi.org/10.1111/J.1399-3054.1976.TB03998.X>
34. Ikram, M., Ali, N., Jan, G., Jan, F. G., Rahman, I. U., Iqbal, A., & Hamayun, M. (n.d.). IAA producing fungal endophyte *Penicillium roqueforti* Thom., enhances stress tolerance and nutrient uptake in wheat plants grown on heavy metal contaminated soils. *PLoS ONE*, 13(11), e0208150–e0208150. <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0208150>
35. Ilangumaran, G., & Smith, D. L. (n.d.). Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Amelioration of Salinity Stress: A Systems Biology Perspective. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2017.01768>
36. Iqbal, I., Hussain, K., Nawaz, K., Siddiqi, E. H., Komal, K., Arshad, N., ... Yaseen, G. (n.d.). Improvement of wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity with the applications of plant growth regulators. *Pakistan Journal of Botany*, 54(5). [https://www.doi.org/10.30848/pjb2022-5\(19\)](https://www.doi.org/10.30848/pjb2022-5(19))
37. Islam, M. S., Akter, H., Aktar, S., Miah, M. J., & Farazi, M. (n.d.). Effect of foliar and soil application of nitrogen on the growth and yield of wheat. *Progressive Agriculture*, 28(4), 287–294. <https://www.doi.org/10.3329/pa.v28i4.36368>
38. Isobe, T., & Miyagawa, H. (n.d.). Facilitation of auxin biosynthesis and metabolism by salt stress in rice plants. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. <https://www.doi.org/10.1093/bbb/zbac070>
39. Ivanchenko, M. G., Napsucialy-Mendivil, S., & Dubrovsky, J. G. (n.d.). Auxin-induced inhibition of lateral root initiation contributes to root system shaping in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 64(5), 740–752. <https://www.doi.org/10.1111/j.1365-313x.2010.04365.x>
40. J., M., & W., E. M. (n.d.). Effect of Indoleacetic Acid on Growth and Chemical Composition of Etiolated Bean Plants. *Botanical Gazette*. <https://www.doi.org/10.1086/334696>
41. J., R. (n.d.). *TRANSPORT OF INDOLEACETIC ACID IN PLANT CELLS IN RELATION TO pH AND ELECTRICAL POTENTIAL GRADIENTS, AND ITS SIGNIFICANCE FOR POLAR IAA TRANSPORT*. <https://www.doi.org/10.1111/J.1469-8137.1975.TB02602.X>
42. Jat, S. L., Suby, S. B., Parihar, C. M., Gambhir, G., Kumar, N., & Rakshit, S. (n.d.). Microbiome for sustainable agriculture: a review with special reference to the corn production system. *Archives of Microbiology*, 203(6), 2771–2793. <https://www.doi.org/10.1007/s00203-021-02320-8>
43. Jayaprakashvel, M., Abishamala, K., Periasamy, C. M., Satheesh, J., Hussain, A. J., & Vanitha, M. C. (n.d.). Isolation and Characterization of Indole Acetic Acid (IAA) Produced by a Halo Tolerant Marine Bacterium Isolated from Coastal Sand Dune Plants. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 11(SE), 263–269. <https://www.doi.org/10.13005/bbra/1419>
44. Jiang, Y., Wu, Y., Hu, N., Li, H., & Jiao, J. (n.d.). Interactions of bacterial-feeding nematodes and indole-3-acetic acid (IAA)-producing bacteria promotes growth of *Arabidopsis thaliana* by regulating soil auxin status. *Applied Soil Ecology*, 147, 103447–103447. <https://www.doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103447>
45. Jing, H., Yang, X., Emenecker, R. J., Feng, J., Zhang, J., Figueiredo, M. R. A. de, ... Zuo, J. (n.d.). Nitric oxide-mediated S-nitrosylation of IAA17 protein in intrinsically disordered region represses auxin signaling. *Journal of Genetics and Genomics*, 50(7), 473–485. <https://www.doi.org/10.1016/j.jgg.2023.05.001>
46. Jing, Y., G., D., Chunqin, L., Lin, L., Guangyu, H., Yaling, Z., & Changmi, W. (n.d.). The Crosstalks Between Jasmonic Acid and Other Plant Hormone Signaling Highlight the Involvement of Jasmonic Acid as a Core Component in Plant Response to Biotic and Abiotic Stresses. *Frontiers in Plant Science*. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2019.01349>
47. Julia, C. R., B., H., G., T., & C., T. (n.d.). Development and evaluation of an *Arabidopsis* whole genome Affymetrix probe array. *The Plant Journal*. <https://www.doi.org/10.1111/J.1365-313X.2004.02061.X>

48. K., H., M., H., A., M., K., N., M., N., & S., A. (n.d.). MORPHOCHEMICAL RESPONSE OF CHAKSU (CASSIA ABSUS L.) TO DIFFERENT CONCENTRATIONS OF INDOLE ACETIC ACID (IAA).
49. K., M. K., & S., Ö. (n.d.). Effect of indole-3-butyric acid on in vitro root development in lentil (*Lens culinaris* Medik.).
50. Kachalkin, A., Glushakova, A., & Streletskii, R. (n.d.). Diversity of Endophytic Yeasts from Agricultural Fruits Positive for P hytohormone IAA Production. *BioTech*, 11(3), 38–38. <https://www.doi.org/10.3390/biotech11030038>
51. Kang, S.-M., Adhikari, A., Lee, K.-E., Khan, M. A., Khan, A. L., Shahzad, R., ... Lee, I.-J. (n.d.). Inoculation with Indole-3-Acetic Acid-Producing Rhizospheric *Rhodobacter sphaeroides* KE149 Augments Growth of Adzuki Bean Plants Under Water Stress. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(5), 717–725. <https://www.doi.org/10.4014/jmb.1911.11063>
52. Kaur, T., Devi, R., Kour, D., Yadav, A., Yadav, A. N., Dikilitas, M., ... Saxena, A. K. (n.d.). Plant growth promoting soil microbiomes and their potential implications for agricultural and environmental sustainability. *Biologia*, 76(9), 2687–2709. <https://www.doi.org/10.1007/s11756-021-00806-w>
53. Kaya, C., Tuna, A. L., Dikilitas, M., & Cullu, M. A. (n.d.). RESPONSES OF SOME ENZYMES AND KEY GROWTH PARAMETERS OF SALT-STRESSED MAIZE PLANTS TO FOLIAR AND SEED APPLICATIONS OF KINETIN AND INDOLE ACETIC ACID. *Journal of Plant Nutrition*, 33(3), 405–422. <https://www.doi.org/10.1080/01904160903470455>
54. Keswani, C., Singh, S. P., Cueto, L., García-Estrada, C., Mezaache-Aichour, S., Glare, T. R., ... Sansinenea, E. (n.d.). Auxins of microbial origin and their use in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(20), 8549–8565. <https://www.doi.org/10.1007/s00253-020-10890-8>
55. Khan, A. U., Ahmad, H., Khan, Z., Noor, M., Bibi, M., & Khan, A. M. (n.d.). UNRAVELING THE COMPLEXITIES OF SOIL MICROBIOMES: A REVIEW OF THEIR ROLE IN CROP PRODUCTION AND HEALTH. *EPH - International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 3702–3710. <https://www.doi.org/10.53555/eijaer.v10i1.101>
56. Khan, M. N. (n.d.). Role of Auxin in vegetative growth, flowering, yield and fruit quality of Horticultural crops - A review. *Pure and Applied Biology*, 12(2). <https://www.doi.org/10.19045/bspab.2023.120126>
57. Khandaker, H., A., J., R., D., T., & M., N. (n.d.). The Effects of Application of Exogenous IAA and GA 3 on the Physiological Activities and Quality of *Abelmoschus esculentus* (Okra) var. *Singha 979*.
58. Khare, S., Singh, N. B., Niharika, Singh, A., Amist, N., Azim, Z., & Yadav, R. K. (n.d.). Phytochemicals mitigation of Brassica napus by IAA grown under Cd and Pb toxicity and its impact on growth responses of *Anagallis arvensis*. *Journal of Biotechnology*, 343, 83–95. <https://www.doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.12.001>
59. Kim, H., Park, P.-J., Hwang, H.-J., Lee, S.-Y., Oh, M.-H., & Kim, S.-G. (n.d.). Brassinosteroid Signals Control Expression of the AXR3/IAA17 Gene in the Cross-Talk Point with Auxin in Root Development. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 70(4), 768–773. <https://www.doi.org/10.1271/bbb.70.768>
60. Kim, J., Harter, K., & Theologis, A. (n.d.). Protein–protein interactions among the Aux/IAA proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(22), 11786–11791. <https://www.doi.org/10.1073/pnas.94.22.11786>
61. King, J. J., Stimart, D. P., Fisher, R. H., & Bleecker, A. B. (n.d.). A Mutation Altering Auxin Homeostasis and Plant Morphology in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 2023–2037. <https://www.doi.org/10.1105/tpc.7.12.2023>
62. Korver, R. A., Koevoets, I. T., & Testerink, C. (n.d.). Out of Shape During Stress: A Key Role for Auxin. *Trends in Plant Science*, 23(9), 783–793. <https://www.doi.org/10.1016/j.tplants.2018.05.011>
63. Koul, V., Adholeya, A., & Kochar, M. (n.d.). Sphere of influence of indole acetic acid and nitric oxide in bacteria. *Journal of Basic Microbiology*, 55(5), 543–553. <https://www.doi.org/10.1002/jobm.201400224>
64. Krouk, G., Ruffel, S., Gutiérrez, R. A., Gojon, A., Crawford, N. M., Coruzzi, G. M., & Lacombe, B. (n.d.). A framework integrating plant growth with hormones and nutrients. *Trends in Plant Science*, 16(4), 178–182. <https://www.doi.org/10.1016/j.tplants.2011.02.004>
65. Kukavica, B., Mitrovic, A., Mojovic, M., & Veljovic-Jovanovic, S. (n.d.). Effect of indole-3-acetic acid on pea root growth, peroxidase profiles and hydroxyl radical formation. *Archives of Biological Sciences*, 59(4), 319–326. <https://www.doi.org/10.2298/abs0704319k>
66. Kumar, M., Mishra, S., Dixit, V., Kumar, M., Agarwal, L., Chauhan, P. S., & Nautiyal, C. S. (n.d.). Synergistic effect of *Pseudomonas putida* and *Bacillus amyloliquefaciens* ameliorates drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Signaling & Behavior*, 11(1), e1071004–e1071004. <https://www.doi.org/10.1080/15592324.2015.1071004>
67. Lamont, B. B., & Pérez-Fernández, M. (n.d.). Total growth and root-cluster production by legumes and proteas depend on rhizobacterial strain, host species and nitrogen level. *Annals of Botany*, 118(4), 725–732. <https://www.doi.org/10.1093/aob/mcw090>
68. Lewis, D. R., Negi, S., Sukumar, P., & Muday, G. K. (n.d.). Ethylene inhibits lateral root development, increases IAA transport and expression of PIN3 and PIN7 auxin efflux carriers. *Development*, 138(16), 3485–3495. <https://www.doi.org/10.1242/dev.065102>
69. Li, H., Tiwari, S. B., Hagen, G., & Guilfoyle, T. J. (n.d.). Identical Amino Acid Substitutions in the Repression Domain of Auxin/Indole-3-Acetic Acid Proteins Have Contrasting Effects on Auxin Signaling. *Plant Physiology*, 155(3), 1252–1263. <https://www.doi.org/10.1104/pp.110.171322>
70. Li, Z., Li, Y., Zhang, Y., Cheng, B., Peng, Y., Zhang, X., ... Yan, Y. (n.d.). Indole-3-acetic acid modulates phytohormones and polyamines metabolism associated with the tolerance to water stress in white clover. *Plant Physiology and Biochemistry*, 129, 251–263. <https://www.doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.06.009>
71. Libao, C., Runzhi, J., Jianjun, Y., Xiaoyong, X., Haitao, Z., & Shuyan, L. (n.d.). Transcriptome profiling reveals an IAA-regulated response to adventitious root formation in lotus seedling. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 73(5–6), 229–240. <https://www.doi.org/10.1515/znc-2017-0188>

72. Liphadzi, M. S., Kirkham, M. B., & Paulsen, G. M. (n.d.). Auxin-Enhanced Root Growth for Phytoremediation of Sewage-Sludge Amended Soil. *Environmental Technology*, 27(6), 695–704. <https://www.doi.org/10.1080/09593332708618683>
73. Liu, J., Moore, S., Chen, C., & Lindsey, K. (n.d.). Crosstalk Complexities between Auxin, Cytokinin, and Ethylene in Arabidopsis Root Development: From Experiments to Systems Modeling, and Back Again. *Molecular Plant*, 10(12), 1480–1496. <https://www.doi.org/10.1016/j.molp.2017.11.002>
74. Liu, J., Rowe, J., & Lindsey, K. (n.d.). Hormonal crosstalk for root development: a combined experimental and modeling perspective. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2014.00116>
75. Liu, X., Hegeman, A. D., Gardner, G., & Cohen, J. D. (n.d.). Protocol: High-throughput and quantitative assays of auxin and auxin precursors from minute tissue samples. *Plant Methods*, 8(1), 31–31. <https://www.doi.org/10.1186/1746-4811-8-31>
76. Lopes, L. D., Futrell, S. L., Bergmeyer, E., Hao, J., & Schachtman, D. P. (n.d.). Root exudate concentrations of indole-3-acetic acid (IAA) and abscisic acid (ABA) affect maize rhizobacterial communities at specific developmental stages. *FEMS Microbiology Ecology*, 99(3). <https://www.doi.org/10.1093/femsec/fiad019>
77. López-Bucio, J., Campos-Cuevas, J. C., Hernández-Calderón, E., Velásquez-Becerra, C., Fariás-Rodríguez, R., Macías-Rodríguez, L. I., & Valencia-Cantero, E. (n.d.). *Bacillus megaterium* Rhizobacteria Promote Growth and Alter Root System Architecture Through an Auxin- and Ethylene-Independent Signaling Mechanism in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 20(2), 207–217. <https://www.doi.org/10.1094/mpmi-20-2-0207>
78. López-Ruiz, B. A., Zluhan-Martínez, E., Sánchez, M. de la P., Álvarez-Buylla, E. R., & Garay-Arroyo, A. (n.d.). Interplay between Hormones and Several Abiotic Stress Conditions on *Arabidopsis thaliana* Primary Root Development. *Cells*, 9(12), 2576–2576. <https://www.doi.org/10.3390/cells9122576>
79. Lucke, M., Correa, M. G., & Levy, A. (n.d.). The Role of Secretion Systems, Effectors, and Secondary Metabolites of Beneficial Rhizobacteria in Interactions With Plants and Microbes. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2020.589416>
80. Luo, J., Zhou, J.-J., & Zhang, J.-Z. (n.d.). Aux/IAA Gene Family in Plants: Molecular Structure, Regulation, and Function. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1), 259–259. <https://www.doi.org/10.3390/ijms19010259>
81. Lwin, K. M., Myint, M. M., Tar, T., & Aung, W. Z. M. (n.d.). Isolation of Plant Hormone (Indole-3-Acetic Acid - IAA) Producing Rhizobacteria and Study on Their Effects on Maize Seedling. *Engineering Journal*, 16(5), 137–144. <https://www.doi.org/10.4186/ej.2012.16.5.137>
82. M, Ragavi, R, Kowsalya Devi, P, Joseph Antony Reneese, R, Shyamala Gowri, & R, Sankar. (n.d.). Growth enhancement in *Arachis hypogaea* at salinity stress by bacterial SP. *International Journal of Biology Sciences*, 1(1), 54–62. <https://www.doi.org/10.33545/26649926.2019.v1.i1a.171>
83. M. Tahat, M., M. Alananbeh, K., A. Othman, Y., & I. Leskovaar, D. (n.d.). Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 12(12), 4859–4859. <https://www.doi.org/10.3390/su12124859>
84. M., A., M., S., Mandana, A., S., J.-H., E., E., & F., S. (n.d.). *The Effects of Different Levels of Salinity and Indole-3-Acetic Acid (IAA) on Early Growth and Germination of Wheat Seedling.*
85. M., J., S., L., T., C., A., A., & T., C. (n.d.). Indole-3-acetic acid (IAA) induced changes in oil content, fatty acid profiles and expression of four fatty acid biosynthetic genes in *Chlorella vulgaris* at early stationary growth phase. *Phytochemistry*. <https://www.doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.12.022>
86. M., P., & Rajesh, P. (n.d.). *INDOLE-3-ACETIC ACID (IAA) PRODUCTION BY ENDOPHYTIC BACTERIA ISOLATED FROM SALINE DESERT, THE LITTLE RUNN.*
87. Mal, S., & Panchal, S. (n.d.). Drought and salt stress mitigation in crop plants using stress-tolerant auxin-producing endophytic bacteria: a futuristic approach towards sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2024.1422504>
88. Mano, Y., & Nemoto, K. (n.d.). The pathway of auxin biosynthesis in plants. *Journal of Experimental Botany*, 63(8), 2853–2872. <https://www.doi.org/10.1093/jxb/ers091>
89. Márquez, G., Alarcón, M. V., & Salguero, J. (n.d.). Differential responses of primary and lateral roots to indole-3-acetic acid, indole-3-butyric acid, and 1-naphthaleneacetic acid in maize seedlings. *Biologia Plantarum*, 60(2), 367–375. <https://www.doi.org/10.1007/s10535-015-0576-0>
90. Martin, G. C., Kammereck, R., & Nishijima, C. (n.d.). Methodology for indole-3-acetic acid: Sample preparation, extraction, and purification techniques. *Hilgardia*, 54(6), 1–35. <https://www.doi.org/10.3733/hilg.v54n06p015>
91. Matilla, M. A., Daddaoua, A., Chini, A., Morel, B., & Krell, T. (n.d.). An auxin controls bacterial antibiotics production. *Nucleic Acids Research*. <https://www.doi.org/10.1093/nar/gky766>
92. Mohite, B. (n.d.). Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, (ahead), 0–0. <https://www.doi.org/10.4067/s0718-95162013005000051>
93. Murashige, T. (1980). Plant Growth Substances in Commercial Uses of Tissue Culture. In *Proceedings in Life Sciences* (pp. 426–434). [https://www.doi.org/10.1007/978-3-642-67720-5\\_43](https://www.doi.org/10.1007/978-3-642-67720-5_43)
94. Myo, E. M., Ge, B., Ma, J., Cui, H., Liu, B., Shi, L., ... Zhang, K. (n.d.). Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces fradiae* NKZ-259 and its formulation to enhance plant growth. *BMC Microbiology*, 19(1). <https://www.doi.org/10.1186/s12866-019-1528-1>
95. N., B. (n.d.). *Oxidative stress markers and antioxidant potential of wheat treated with phytohormones under salinity stress.*

96. N., G.-S., E., H., E., B., G., Ö., & V., B.-W. (n.d.). Analysis of the impact of indole-3-acetic acid (IAA) on gene expression during leaf senescence in *Arabidopsis thaliana*. *Physiology and Molecular Biology of Plants*.  
<https://www.doi.org/10.1007/s12298-019-00752-7>
97. Nadarajah, K., & Abdul Rahman, N. S. N. (n.d.). The Microbial Connection to Sustainable Agriculture. *Plants*, 12(12), 2307–2307. <https://www.doi.org/10.3390/plants12122307>
98. Nadeem, S. M., Ahmad, M., Zahir, Z. A., Javaid, A., & Ashraf, M. (n.d.). The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*, 32(2), 429–448. <https://www.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
99. Naeima, M. H. Y. (n.d.). *Capability of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) for producing indole acetic acid (IAA) under extreme conditions*.
100. Nanao, M. H., Vinos-Poyo, T., Brunoud, G., Thévenon, E., Mazzoleni, M., Mast, D., ... Dumas, R. (n.d.). Structural basis for oligomerization of auxin transcriptional regulators. *Nature Communications*, 5(1).  
<https://www.doi.org/10.1038/ncomms4617>
101. Olaiya, C. O., & Osonubi, O. (n.d.). Effects of Pre-sowing Seed Treatments on Tomato (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill) Seedling Emergence. *International Journal of Engineering and Technology*, 1(4), 321–323.  
<https://www.doi.org/10.7763/ijet.2009.v1.64>
102. Ortiz-García, P., Pérez-Alonso, M.-M., González Ortega-Villaizán, A., Sánchez-Parra, B., Ludwig-Müller, J., Wilkinson, M. D., & Pollmann, S. (n.d.). The Indole-3-Acetamide-Induced *Arabidopsis* Transcription Factor MYB74 Decreases Plant Growth and Contributes to the Control of Osmotic Stress Responses. *Frontiers in Plant Science*, 13.  
<https://www.doi.org/10.3389/fpls.2022.928386>
103. Ositadinma, O., I., S., P., G., K., B., J., I., E., P., & J., V. (n.d.). *The effect of pH on indole-3-acetic acid (IAA) biosynthesis of Azospirillum brasilense Sp7*.
104. Ouellet, F., Overvoorde, P. J., & Theologis, A. (n.d.). IAA17/AXR3: Biochemical Insight into an Auxin Mutant Phenotype. *The Plant Cell*, 13(4), 829–841. <https://www.doi.org/10.1105/tpc.13.4.829>
105. Overvoorde, P. J., Okushima, Y., Alonso, J. M., Chan, A., Chang, C., Ecker, J. R., ... Theologis, A. (n.d.). Functional Genomic Analysis of the AUXIN/INDOLE-3-ACETIC ACID Gene Family Members in *Arabidopsis thaliana* [W]. *The Plant Cell*, 17(12), 3282–3300. <https://www.doi.org/10.1105/tpc.105.036723>
106. Overvoorde, P., Fukaki, H., & Beeckman, T. (n.d.). Auxin Control of Root Development. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2(6), a001537–a001537. <https://www.doi.org/10.1101/cshperspect.a001537>
107. P., J. D., & Davies, P. J. (n.d.). *Plant Hormones and their Role in Plant Growth and Development*.  
<https://www.doi.org/10.1007/978-94-009-3585-3>
108. P., S. (n.d.). Determination of Auxin-Dependent pH Changes in Coleoptile Cell Walls by a Null-Point Method. *Plant Physiology*. <https://www.doi.org/10.1104/pp.103.2.351>
109. Panagiotis, L., Joseph, M., & R., R. (n.d.). Phytochrome and Phytohormones: Working in Tandem for Plant Growth and Development. *Frontiers in Plant Science*. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2018.01037>
110. Park, J., Kim, H., & Kim, J. (n.d.). Mutation in domain II of IAA1 confers diverse auxin-related phenotypes and represses auxin-activated expression of *Aux/IAA* genes in a steroid regulator-inducible system. *The Plant Journal*, 32(5), 669–683. <https://www.doi.org/10.1046/j.1365-3113x.2002.01459.x>
111. Patten, C. L., & Glick, B. R. (n.d.). Regulation of indoleacetic acid production in *Pseudomonas putida* GR12-2 by tryptophan and the stationary-phase sigma factor RpoS. *Canadian Journal of Microbiology*, 48(7), 635–642.  
<https://www.doi.org/10.1139/w02-053>
112. Peckert, R. C. (n.d.). The Initiation and Development of Lateral Meristems in the Pea Root. *Journal of Experimental Botany*, 8(2), 181–194. <https://www.doi.org/10.1093/jxb/8.2.181>
113. Pilet, P.-E., & Saugy, M. (n.d.). Effect on Root Growth of Endogenous and Applied IAA and ABA. *Plant Physiology*, 83(1), 33–38. <https://www.doi.org/10.1104/pp.83.1.33>
114. Piya, S., Shrestha, S. K., Binder, B., Stewart, C. N., & Hewezi, T. (n.d.). Protein-protein interaction and gene co-expression maps of ARFs and Aux/IAAs in *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 5.  
<https://www.doi.org/10.3389/fpls.2014.00744>
115. Ploense, S. E., Wu, M.-F., Nagpal, P., & Reed, J. W. (n.d.). A gain-of-function mutation in *IAA18* alters *Arabidopsis* embryonic apical patterning. *Development*, 136(9), 1509–1517. <https://www.doi.org/10.1242/dev.025932>
116. Prakash, V., Khan, M. Y., Rai, P., Prasad, R., Tripathi, D. K., & Sharma, S. (2020). Exploring plant rhizobacteria synergy to mitigate abiotic stress: a new dimension toward sustainable agriculture. In *Plant Life Under Changing Environment* (pp. 861–882). <https://www.doi.org/10.1016/b978-0-12-818204-8.00040-0>
117. Qing, T., & J., R. (n.d.). Control of auxin-regulated root development by the *Arabidopsis thaliana* SHY2/IAA3 gene. *Development*.
118. Quiroga, G., Erice, G., Aroca, R., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M., & Ruiz-Lozano, J. M. (n.d.). Radial water transport in arbuscular mycorrhizal maize plants under drought stress conditions is affected by indole-acetic acid (IAA) application. *Journal of Plant Physiology*, 246–247, 153115–153115.  
<https://www.doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153115>
119. R., D., Anna, V., A., A., Silvia, R., M., C., P., P., ... Carmen, B. (n.d.). New Insights into Structural and Functional Roles of Indole-3-acetic acid (IAA): Changes in DNA Topology and Gene Expression in Bacteria. *Biomolecules*.  
<https://www.doi.org/10.3390/biom9100522>

120. R., J., M., K., Yi, L., Gillian, S. H., Joe, R., G., S., & D., B. (n.d.). Over-expression of an Arabidopsis gene encoding a glucosyltransferase of indole-3-acetic acid: phenotypic characterisation of transgenic lines. *The Plant Journal*. <https://www.doi.org/10.1046/J.1365-313X.2002.01445.X>
121. Rafique, N., Khalil, S., Cardinale, M., Rasheed, A., Zhao, F., & Abideen, Z. (n.d.). A comprehensive evaluation of the potential of plant growth-promoting rhizobacteria for applications in agriculture in stressed environments. *Pedosphere*. <https://www.doi.org/10.1016/j.pedsph.2024.02.005>
122. Raheem, A., Shaposhnikov, A., Belimov, A. A., Dodd, I. C., & Ali, B. (n.d.). Auxin production by rhizobacteria was associated with improved yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(4), 574–587. <https://www.doi.org/10.1080/03650340.2017.1362105>
123. Ramadhan, A. R., Oedjijono, O., & Hastuti, R. D. (n.d.). EFEKTIFITAS BAKTERI ENDOFIT DAN PENAMBAHAN INDOLE ACETIC ACID (IAA) DA LAM MENINGKATKAN PERTUMBUHAN TANAMAN PADI *Oryza sativa* L. *Scripta Biologica*, 4(3), 177–177. <https://www.doi.org/10.20884/1.sb.2017.4.3.542>
124. Rico-Jiménez, M., Muñoz-Mira, S., Lomas-Martínez, C., Krell, T., & Matilla, M. A. (n.d.). Regulation of indole-3-acetic acid biosynthesis and consequences of auxin production deficiency in *Serratia plymuthica*. *Microbial Biotechnology*, 16(8), 1671–1689. <https://www.doi.org/10.1111/1751-7915.14296>
125. Rinaldi, M. A., Liu, J., Enders, T. A., Bartel, B., & Strader, L. C. (n.d.). A gain-of-function mutation in IAA16 confers reduced responses to auxin and abscisic acid and impedes plant growth and fertility. *Plant Molecular Biology*, 79(4–5), 359–373. <https://www.doi.org/10.1007/s11103-012-9917-y>
126. Robbins, W. J., & Jackson, J. R. (n.d.). EFFECT OF 3-INDOLE ACETIC ACID ON CELL WALLS OF STEM AND ROOT. *American Journal of Botany*, 24(2), 83–88. <https://www.doi.org/10.1002/j.1537-2197.1937.tb09070.x>
127. Roberts, L. W., & Fosket, D. E. (n.d.). INTERACTION OF GIBBERELLIC ACID AND INDOLE-ACETIC ACID IN THE DIFFERENTIATION OF WOUND VESSEL MEMBERS. *New Phytologist*, 65(1), 5–8. <https://www.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1966.tb05408.x>
128. Rouse, D., Mackay, P., Stirnberg, P., Estelle, M., & Leyser, O. (n.d.). Changes in Auxin Response from Mutations in an AUX/IAA Gene. *Science*, 279(5355), 1371–1373. <https://www.doi.org/10.1126/science.279.5355.1371>
129. Rushabh, S., Kajal, C., Pritesh, P., Amaresan, N., & Krishnamurthy, R. (n.d.). Isolation, characterization, and optimization of indole acetic acid-producing *Providencia* species (7MM11) and their effect on tomato (*Lycopersicon esculentum*) seedlings. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 28, 101732–101732. <https://www.doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101732>
130. Ruud, A. K., Iko, T. K., & C., T. (n.d.). *Going in the right direction Cellular mechanisms underlying root halotropism*.
131. Ryu, R. J., & Patten, C. L. (n.d.). Aromatic Amino Acid-Dependent Expression of Indole-3-Pyruvate Decarboxylase Is Regulated by TyrR in *Enterobacter cloacae* UW5. *Journal of Bacteriology*, 190(21), 7200–7208. <https://www.doi.org/10.1128/jb.00804-08>
132. S., K., M., P., K., N., K., H., A., A., Saba, S., ... Tayyaba, W. (n.d.). *Effect of Indole Acetic Acid (IAA) on Morphological, Biochemical and Chemical Attributes of Two Varieties of Maize (Zea mays L.) Under Salt Stress*.
133. Sanower, W., Aftab, S., Shailja, Y., Ruchi, N., & Satyam, K. (n.d.). *Extraction and Identification of Indole-3-Acetic Acid Synthesized by Rhizospheric Microorganism*.
134. Serina, M.-P., J., B., Chengsong, Z., J., A., & A., S. (n.d.). Auxin Interactions with Other Hormones in Plant Development. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. <https://www.doi.org/10.1101/cshperspect.a039990>
135. Shahzad, K., Siddiqi, E. H., Ahmad, S., Zeb, U., Muhammad, I., Khan, H., ... Li, Z.-H. (n.d.). Exogenous application of indole-3-acetic acid to ameliorate salt induced harmful effects on four eggplants (*Solanum melongena* L.) varieties. *Scientia Horticulturae*, 292, 110662–110662. <https://www.doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110662>
136. Shani, E., Salehin, M., Zhang, Y., Sanchez, S. E., Doherty, C., Wang, R., ... Estelle, M. (n.d.). Plant Stress Tolerance Requires Auxin-Sensitive Aux/IAA Transcriptional Repressors. *Current Biology*, 27(3), 437–444. <https://www.doi.org/10.1016/j.cub.2016.12.016>
137. Shi, H., Chen, L., Ye, T., Liu, X., Ding, K., & Chan, Z. (n.d.). Modulation of auxin content in Arabidopsis confers improved drought stress resistance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 82, 209–217. <https://www.doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.06.008>
138. Shilev, S., Babrikova, I., & Babrikov, T. (n.d.). Consortium of plant growth-promoting bacteria improves spinach (*Spinacea oleracea* L.) growth under heavy metal stress conditions. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 95(4), 932–939. <https://www.doi.org/10.1002/jctb.6077>
139. Shin, R., Burch, A. Y., Huppert, K. A., Tiwari, S. B., Murphy, A. S., Guilfoyle, T. J., & Schachtman, D. P. (n.d.). The Arabidopsis Transcription Factor MYB77 Modulates Auxin Signal Transduction. *The Plant Cell*, 19(8), 2440–2453. <https://www.doi.org/10.1105/tpc.107.050963>
140. Sisir, G., Pallab, G., & T., K. M. (n.d.). *Production and Metabolism of Indole Acetic Acid (IAA) by Root Nodule Bacteria (Rhizobium): A Review*.
141. Sitbon, F., Hennion, S., Sundberg, B., Little, C. H. A., Olsson, O., & Sandberg, G. (n.d.). Transgenic Tobacco Plants Coexpressing the *Agrobacterium tumefaciens* *iaaM* and *iaaH* Genes Display Altered Growth and Indoleacetic Acid Metabolism. *Plant Physiology*, 99(3), 1062–1069. <https://www.doi.org/10.1104/pp.99.3.1062>
142. Sofo, A., Khan, N. A., D'Ippolito, I., & Reyes, F. (n.d.). Subtoxic levels of some heavy metals cause differential root-shoot structure, morphology and auxins levels in Arabidopsis thaliana. *Plant Physiology and Biochemistry*, 173, 68–75. <https://www.doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.027>

143. Solano, C., Artola, A., Barrena, R., Ballardo, C., & Sánchez, A. (n.d.). Effect of the Exogenous Application of Different Concentrations of Indole-3-Acetic Acid as a Growth Regulator on Onion (*Allium cepa* L.) Cultivation. *Agronomy*, 13(9), 2204–2204. <https://www.doi.org/10.3390/agronomy13092204>
144. Soni, S., & Sharma, I. (n.d.). Effect of Indole-3-Acetic Acid and Nano-Urea on Agronomic Properties of Radish Crops. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(20), 269–276. <https://www.doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i203807>
145. Spaepen, S., Das, F., Luyten, E., Michiels, J., & Vanderleyden, J. (n.d.). Indole-3-acetic acid-regulated genes in *Rhizobium etli*CNPAF512. *FEMS Microbiology Letters*, 291(2), 195–200. <https://www.doi.org/10.1111/j.1574-6968.2008.01453.x>
146. Spaepen, S., Vanderleyden, J., & Remans, R. (n.d.). Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*, 31(4), 425–448. <https://www.doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x>
147. Su, L. Y., Audran, C., Bouzayen, M., Roustan, J. P., & Chervin, C. (n.d.). The Aux/IAA, SI-IAA17 regulates quality parameters over tomato fruit development. *Plant Signaling & Behavior*, 10(11), e1071001–e1071001. <https://www.doi.org/10.1080/15592324.2015.1071001>
148. Subash, M., Rafath, H., & Lalitha, J. (n.d.). Influence of GA<sub>3</sub> and IAA and their Frequency of Application on Seed Germination and Seedling Quality Characters. *International Letters of Natural Sciences*, 30, 44–48. <https://www.doi.org/10.56431/p-30x529>
149. Sugawara, S., Mashiguchi, K., Tanaka, K., Hishiyama, S., Sakai, T., Hanada, K., ... Kasahara, H. (n.d.). Distinct Characteristics of Indole-3-Acetic Acid and Phenylacetic Acid, Two Common Auxins in Plants. *Plant and Cell Physiology*, 56(8), 1641–1654. <https://www.doi.org/10.1093/pcp/pcv088>
150. T., A. W., S., A., M., O., R., F., & J., J. (n.d.). Different pH levels medium effects in IAA production of *phyloplane bacterium Serratia plymuthica strain UBCF\_13*. <https://www.doi.org/10.1088/1755-1315/741/1/012003>
151. T., S., & N., R. (n.d.). Isolation of Plant Hormone (Indole-3-Acetic Acid) Producing *Rhizobacteria* and Study on their Effects on Tomato (*Lycopersicon esculentum*) Seedling.
152. Takshak, S., & Agrawal, S. B. (n.d.). Exogenous application of IAA alleviates effects of supplemental ultraviolet-B radiation in the medicinal plant *Withania somnifera* Dunal. *Plant Biology*, 19(6), 904–916. <https://www.doi.org/10.1111/plb.12601>
153. Tanimoto, E. (n.d.). Regulation of Root Growth by Plant Hormones—Roles for Auxin and Gibberellin. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(4), 249–265. <https://www.doi.org/10.1080/07352680500196108>
154. Tillmann, M., Tang, Q., & Cohen, J. D. (n.d.). Protocol: analytical methods for visualizing the indolic precursor network leading to auxin biosynthesis. *Plant Methods*, 17(1). <https://www.doi.org/10.1186/s13007-021-00763-0>
155. Truelsen, T. A. (n.d.). Indoleacetic Acid-Induced Decrease of the Ribonuclease Activity *in vivo*. *Physiologia Plantarum*, 20(4), 1112–1119. <https://www.doi.org/10.1111/j.1399-3054.1967.tb08399.x>
156. Trương Đình Hồng Nông Lâm, Đ. H. H., Trương Đình Hồng Nông Lâm, Đ. H. H., Trương Đình Hồng Nông Lâm, Đ. H. H., Trương Đình Hồng Nông Lâm, Đ. H. H., & Trương Đình Hồng Nông Lâm, Đ. H. H. (n.d.). NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG HỖN HỢP INDOLE-3-ACETIC ACID (IAA) VÀ NANOUREA TRONG QUẢN LÝ SẴN LÚA HT1 TẠI THỊA THIÊN HƯƠNG. *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ Nông Nghiệp, Trường Đại Học Nông Lâm Huế*. <https://www.doi.org/10.46826/hauf-jasat.v5n2y2021.579>
157. U., K. (n.d.). *The current status of the acid-growth hypothesis*. <https://www.doi.org/10.1111/J.1469-8137.1994.TB02951.X>
158. Vashi, J. D. (n.d.). Plant Hormones- Natural Growth Regulators. *Journal of Experimental Agriculture International*, 45(11), 30–38. <https://www.doi.org/10.9734/jeai/2023/v45i112232>
159. Verma, S., Negi, N. P., Pareek, S., Mudgal, G., & Kumar, D. (n.d.). Auxin response factors in plant adaptation to drought and salinity stress. *Physiologia Plantarum*, 174(3). <https://www.doi.org/10.1111/ppl.13714>
160. Wang, F., Niu, H., Xin, D., Long, Y., Wang, G., Liu, Z., ... Chen, X. (n.d.). OsIAA18, an Aux/IAA Transcription Factor Gene, Is Involved in Salt and Drought Tolerance in Rice. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2021.738660>
161. Wang, H., Jones, B., Li, Z., Frasse, P., Delalande, C., Regad, F., ... Bouzayen, M. (n.d.). The Tomato Aux/IAA Transcription Factor IAA9 Is Involved in Fruit Development and Leaf Morphogenesis. *The Plant Cell*, 17(10), 2676–2692. <https://www.doi.org/10.1105/tpc.105.033415>
162. Wang, R., & Estelle, M. (n.d.). Diversity and specificity: auxin perception and signaling through the TIR1/AFB pathway. *Current Opinion in Plant Biology*, 21, 51–58. <https://www.doi.org/10.1016/j.pbi.2014.06.006>
163. Wang, Y. H., & Irving, H. R. (n.d.). Developing a model of plant hormone interactions. *Plant Signaling & Behavior*, 6(4), 494–500. <https://www.doi.org/10.4161/psb.6.4.14558>
164. Woodward, A. W. (n.d.). Auxin: Regulation, Action, and Interaction. *Annals of Botany*, 95(5), 707–735. <https://www.doi.org/10.1093/aob/mci083>
165. Xie, L., Chen, F., Du, H., Zhang, X., Wang, X., Yao, G., & Xu, B. (n.d.). Graphene oxide and indole-3-acetic acid cotreatment regulates the root growth of *Brassica napus* L. via multiple phytohormone pathways. *BMC Plant Biology*, 20(1). <https://www.doi.org/10.1186/s12870-020-2308-7>
166. Xu, P., Zhao, P.-X., Cai, X.-T., Mao, J.-L., Miao, Z.-Q., & Xiang, C.-B. (n.d.). Integration of Jasmonic Acid and Ethylene Into Auxin Signaling in Root Development. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2020.00271>
167. Xu, Y., Zhang, Y., Li, Y., Li, G., Liu, D., Zhao, M., & Cai, N. (n.d.). Growth Promotion of Yunnan Pine Early Seedlings in Response to Foliar Application of IAA and IBA. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(5), 6507–6520. <https://www.doi.org/10.3390/ijms13056507>

168. Yamoune, A., Cuyacot, A. R., Zdarska, M., & Hejatko, J. (n.d.). Hormonal orchestration of root apical meristem formation and maintenance in *Arabidopsis*. *Journal of Experimental Botany*, 72(19), 6768–6788.  
<https://www.doi.org/10.1093/jxb/erab360>
169. Yang, T., Law, D. M., & Davies, P. J. (n.d.). Magnitude and Kinetics of Stem Elongation Induced by Exogenous Indole-3-Acetic Acid in Intact Light-Grown Pea Seedlings. *Plant Physiology*, 102(3), 717–724.  
<https://www.doi.org/10.1104/pp.102.3.717>
170. Yang, Z., Liu, G., Liu, J., Zhang, B., Meng, W., Müller, B., ... Ding, Z. (n.d.). Synergistic action of auxin and cytokinin mediates aluminum-induced root growth inhibition in *Arabidopsis*. *EMBO Reports*, 18(7), 1213–1230.  
<https://www.doi.org/10.15252/embr.201643806>
171. Zhang, M., Gao, C., Xu, L., Niu, H., Liu, Q., Huang, Y., ... Li, M. (n.d.). Melatonin and Indole-3-Acetic Acid Synergistically Regulate Plant Growth and Stress Resistance. *Cells*, 11(20), 3250–3250.  
<https://www.doi.org/10.3390/cells11203250>
172. Zhao, T., Deng, X., Xiao, Q., Han, Y., Zhu, S., & Chen, J. (n.d.). IAA priming improves the germination and seedling growth in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) via regulating the endogenous phytohormones and enhancing the sucrose metabolism. *Industrial Crops and Products*, 155, 112788–112788.  
<https://www.doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112788>
173. Zhao, Y. (n.d.). Auxin Biosynthesis and Its Role in Plant Development. *Annual Review of Plant Biology*, 61(1), 49–64.  
<https://www.doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112308>
174. Zhou, Y., Huang, L., Liu, S., Zhao, M., Liu, J., Lin, L., & Liu, K. (n.d.). Physiological and transcriptomic analysis of IAA-induced antioxidant defense and cell wall metabolism in postharvest mango fruit. *Food Research International*, 174, 113504–113504. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113504>
175. Zobia, B., K., H., I., I., K., N., E., H. S., M., J., ... S., A. (n.d.). *IMPROVEMENTS OF CROP PRODUCTIVITY IN WHEAT (TRITICUM AESTIVUM L.) BY THE APPLICATIONS OF PHYTOHORMONES.*
176. Zúñiga, A., Poupin, M. J., Donoso, R., Ledger, T., Guiliani, N., Gutiérrez, R. A., & González, B. (n.d.). Quorum Sensing and Indole-3-Acetic Acid Degradation Play a Role in Colonization and Plant Growth Promotion of *Arabidopsis thaliana* by *Burkholderia phytofirmans* PsJN. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 26(5), 546–553.  
<https://www.doi.org/10.1094/mpmi-10-12-0241-r>