

IAA ve Yerçekimi Yönelimi

1-Öğrenim Çıktısı

Bu deneyin sonunda öğrenciler, gravitropizm gibi biyolojik süreçlerin temel mekanizmalarını anlamada bilgi ve beceri kazanacaklardır. Yerçekimi algılaması, auxin taşınımı ve farklı büyüme tepkileri gibi biyolojik mekanizmaların detaylarını öğrenerek, bu süreçlerin bitkilerin çevresel uyum ve tarımsal verimlilikteki rolünü kavrayabilirler (Vandenbrink & Kiss, 2019; Su et al., 2020). Öğrenciler ayrıca, deney sırasında elde edilen bulguların güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini değerlendirmeyi öğrenirler. Örneğin, farklı bitki türleri veya çevresel koşullar altında benzer deneyleri tekrarlayarak sonuçların nasıl değiştiğini veya sabit kaldığını gözlemleyebilirler (French et al., 2009; Zhang et al., 2022).

Deney veya proje sırasında kullanılan yöntemler, öğrencilerin biyolojik araştırmalarda yüksek çözünürlüklü görüntüleme, otomatik veri analizi gibi yenilikçi teknolojilerden nasıl faydalanabileceklerini öğrenmelerini sağlar (Nakamura et al., 2015; Chin & Blancaflor, 2022). Ayrıca, bu süreçlerin tarımsal üretim ve ekosistem yönetimi gibi pratik dünyadaki uygulamalarını anlamalarına olanak tanır. Örneğin, gravitropizmin tarımsal bitki mimarisini optimize etmedeki rolü veya mikrogravite koşullarında bitki yetiştiriciliği üzerine olan etkileri gibi konular, gerçek dünya bağlantıları kurmalarına yardımcı olur (Medina et al., 2021; Wang et al., 2021).

Son olarak, bu tür deneyler, öğrencilere bilimsel yöntemlerin temel ilkelerini öğretirken, hipotez oluşturma, veri toplama, analiz yapma ve sonuçları raporlama gibi araştırma becerileri kazandırır. Böylece, öğrenciler yalnızca teorik bilgileri değil, aynı zamanda uygulamalı araştırma becerilerini de geliştirebilirler.

2-Giriş

Özet

Bu proje, bitkilerde gravitropizmin temel mekanizmalarını ve farklı çevresel koşulların bu süreçler üzerindeki etkilerini anlamayı amaçlamaktadır. Gravitropizm, bitkilerin yerçekimine yanıt olarak büyüme yönlerini değiştirdiği, köklerin toprağa doğru uzandığı ve sürgünlerin yukarıya yöneldiği bir adaptasyon mekanizmasıdır. Proje kapsamında, gravitropizmin yerçekimi algısı, auxin taşınımı ve büyüme yanıtları gibi aşamaları incelenmiştir.

Deneyde, mavi ışık, kırmızı ışık, mikrogravite simülasyonu ve sıcaklık gibi farklı koşullar altında gravitropik mekanizmalar test edilmiştir. Sonuçlar, mavi ışığın gravitropizmi güçlendirdiğini, mikrogravitenin ise yerçekimi algısını zayıflattığını göstermiştir. Optimal gravitropik yanıt, sabit sıcaklık (25°C) ve mavi ışık koşullarında elde edilmiştir. Auxin taşınımı, PIN proteinleri ve statolit

hareketlerinin bu süreçteki kritik rolleri gözlemlenmiştir.

Proje sırasında elde edilen veriler, tarımsal uygulamalar ve uzayda bitki yetiştiriciliği gibi alanlar için önemli çıkarımlar sağlamıştır. Gravitropizmin tarımda bitki mimarisini optimize etmek, çevresel stres koşullarına dayanıklı bitki türleri geliştirmek ve uzay görevlerinde sürdürülebilir bitki üretimini desteklemek için kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Sonuç olarak, bu proje, gravitropizmin temel mekanizmalarını anlamının yanı sıra, bu biyolojik sürecin tarım ve ekosistem yönetimi gibi gerçek dünyadaki uygulamalara nasıl entegre edilebileceğini göstermiştir. Gelecek araştırmalar, farklı bitki türleri ve daha karmaşık çevresel koşullarda gravitropik mekanizmaları daha derinlemesine inceleyerek bu bulguları genişletebilir.

Amaç

Bu projenin amacı, bitkilerde gravitropizmin temel mekanizmalarını anlamak ve bu mekanizmaların farklı koşullar altında nasıl değişiklik gösterebileceğini incelemektir. Deney sırasında, yerçekimi algısı, auxin taşınımı ve büyüme yanıtları gibi biyolojik olaylar gözlemlenecek ve bu süreçlerin farklı çevresel faktörler altında nasıl etkilendiği değerlendirilecektir (Su et al., 2017; Vandenbrink & Kiss, 2019). Proje, bu mekanizmaların moleküler, fizyolojik ve ekolojik yönlerine ışık tutarak öğrencilerin bilimsel araştırma süreçlerine hakimiyetlerini artırmayı hedeflemektedir.

Farklı durumların proje koşulları üzerindeki etkisi, bitki türleri, ışık koşulları, sıcaklık değişimleri veya mikrogravite ortamları gibi değişkenlerle test edilecektir. Bu, öğrencilerin biyolojik süreçlerin dinamik yapısını ve çevresel uyaranlara verilen yanıtların çeşitliliğini anlamalarına olanak tanıyacaktır (Zhang et al., 2022; Chin & Blancaflor, 2022). Aynı zamanda, öğrenciler elde edilen bulguları farklı deneylerle karşılaştırarak sonuçların güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini değerlendirme fırsatı bulacaklardır.

Gerçek dünyadaki uygulamalar açısından, bu proje, tarımda bitki mimarisinin optimize edilmesi, ekosistem yönetimi ve uzay tarımı gibi alanlarda gravitropizm mekanizmalarının nasıl kullanılabileceğine dair bilgi sağlayacaktır (Wang et al., 2021; Medina et al., 2021). Örneğin, gravitropizmin, bitkilerin çevresel streslere adaptasyonunu destekleyen bir araç olarak nasıl kullanılabileceği veya mikrogravite koşullarında sürdürülebilir bitki üretimine nasıl katkı sağlayabileceği gibi konular ele alınacaktır. Bu bağlamda, proje, öğrencilerin biyolojik bilgilere dayalı uygulamaların geniş kapsamını anlamalarına yardımcı olacaktır.

Proje kapsamında, bitkilerde gravitropizmin temel mekanizmalarını anlamak için aşağıdaki tanımlar ve teorik bilgiler önemlidir:

Tanımlar ve Açıklamalar:

- **Gravitropizm:** Bitkilerin yerçekimine yanıt olarak büyüme yönlerini değiştirdiği bir adaptasyon sürecidir. Bu süreç, yerçekimi algısı, sinyal iletimi, auxin taşınımı ve farklı büyüme tepkilerini içerir (Vandenbrink & Kiss, 2019).
- **Auxin:** Bitki büyümesini düzenleyen ve gravitropizm sırasında yeniden dağılımı ile kritik bir rol oynayan bir hormon grubudur (Su et al., 2017).
- **Statolitler:** Yerçekimi algısında rol oynayan nişasta dolu plastitlerdir. Statolitlerin hücre içinde yer değiştirmesi gravitropik sinyalin başlangıcını oluşturur (Kiss, 2000).
- **PIN Proteinleri:** Auxin taşınımını düzenleyen proteinlerdir. Gravitropizm sırasında auxin'in asimetric dağılımında kritik öneme sahiptirler (Geisler et al., 2014).

Teorik Bilgiler: Gravitropik yanıt, bitki kök ve sürgünlerinin yerçekimine duyarlılık göstererek optimum yönlendirilmesini sağlar. Süreç, yerçekimi algılama, sinyal iletimi ve farklı büyüme aşamalarından oluşur. Statolitlerin yer değiştirmesiyle başlar ve bu hareket hücre içinde kalsiyum iyonlarının dalgalanması gibi biyokimyasal değişikliklere neden olur (Su et al., 2017). Bu sinyal, auxin'in hücreler arasında yeniden dağılımını tetikler ve büyümenin farklı hızlarda gerçekleşmesini sağlar (Vandenbrink & Kiss, 2019).

Kimyasal Reaksiyonlar: Gravitropizm sırasında gerçekleşen önemli biyokimyasal olaylar şunlardır:

1. **Auxin Taşınımı:** Auxin'in hücrelerin alt kısmına yönlendirilmesi büyüme hızını artırırken, üst kısımdaki taşınım büyümeyi sınırlandırır. Bu, PIN proteinleri aracılığıyla düzenlenir (Geisler et al., 2014).
2. **Kalsiyum Sinyallemesi:** Yerçekimi algısıyla kalsiyum iyonlarının hücre içinde yer değiştirmesi, sinyal iletimi için kritik bir role sahiptir (Toyota et al., 2008).
3. **Aktin Sitoskeleti:** Yerçekimi algısı ve statolit hareketinde aktin filamentleri önemli bir rol oynar ve auxin taşınımını destekler (Blancaflor, 2013).

İleri Düzey Bilgilendirme: Proje, gravitropizm mekanizmalarına ilişkin daha ileri düzey bilgiler sunarak, öğrencilere bu sürecin biyokimyasal, moleküler ve genetik boyutlarını anlamada yardımcı olacaktır. Örneğin, auxin ve sitokinin gibi hormonların etkileşimi, gravitropik yanıtların farklı çevresel koşullarda nasıl değiştiğini anlamak için kritik bir öneme sahiptir (Aloni et al., 2006). Ayrıca, mikrogravite koşullarında yerçekimi algısının bozulması, gravitropizm araştırmalarında yeni perspektifler sunmaktadır (Medina et al., 2021).

Bu arka plan bilgisi, projeye güçlü bir teorik temel sağlayarak, öğrencilerin deney sırasında gözlemlenen olayları ve süreçleri daha iyi anlamalarına katkıda bulunacaktır.

Bu projede cevaplanması beklenen ana soru, "**Bitkilerde gravitropizmin temel mekanizmaları nelerdir ve farklı deneysel koşullar altında bu mekanizmalar nasıl değişiklik gösterir?**" şeklindedir. Bu ana soruya yanıt aramak için proje sırasında aşağıdaki alt sorular da incelenecektir:

- Yerçekimi algısı sırasında statolitlerin rolü nedir ve bu süreç auxin taşınımını nasıl etkiler?
- Auxin'in yeniden dağılımı ve PIN proteinlerinin bu süreçteki işlevi, farklı çevresel koşullarda (ışık, sıcaklık, mikrogravite) nasıl değişir?
- Gravitropik yanıtın hız ve doğruluğu, farklı bitki türlerinde veya farklı büyüme aşamalarında nasıl farklılık gösterir?

Farklı Deneysel Koşulları ve Gözlemlenen Farklılıklar:

Farklı deneysel koşullarında gözlemlenen sonuçlar, gravitropizmin çevresel uyaranlara duyarlılığını ortaya koyacaktır. Örneğin:

- **Işık Koşulları:** Kırmızı ve mavi ışık gibi farklı dalga boylarında auxin taşınımı ve gravitropik yanıtlar değişebilir (Vandenbrink et al., 2016).
- **Sıcaklık Değişimleri:** Yüksek veya düşük sıcaklıklar, gravitropizmin hızını ve etkisini değiştirebilir (Wu et al., 2016).
- **Mikrogravite:** Mikrogravite koşullarında yerçekimi algısı ve gravitropik mekanizmalar farklı şekilde işleyebilir, bu da süreçlerin alternatif adaptasyonlarla nasıl sürdürüldüğünü anlamamızı sağlar (Medina et al., 2021).

Bu araştırma soruları, gravitropizmin yalnızca teorik yönlerini değil, aynı zamanda pratik dünyadaki etkilerini ve tarımsal uygulamalarını da keşfetmeyi amaçlamaktadır. Öğrenciler, farklı koşullarda yapılan deneylerle bu biyolojik mekanizmaların karmaşıklığını ve değişkenliğini analiz edebilecektir.

Hipotez

Bu proje kapsamında geliştirilen temel hipotez şu şekildedir: "Bitkilerde gravitropizm mekanizmaları, farklı çevresel koşullar altında değişiklik gösterir ve yerçekimi algısı, auxin taşınımı ve büyüme tepkileri bu koşullara bağlı olarak modifiye edilir."

Bağımsız Değişkenin Etkisi Üzerine Tahminler:

Bağımsız değişkenlerin (örneğin ışık koşulları, sıcaklık, mikrogravite) sonuçlar üzerindeki etkisine dair aşağıdaki tahminler yapılabilir:

- **Işık Koşulları:** Kırmızı ışık gravitropizmin negatif etkilerini kısmen telafi edebilirken, mavi ışık yeni fototropik yanıtları tetikleyebilir ve gravitropik mekanizmalarla etkileşime girebilir (Vandenbrink et al., 2016).
- **Sıcaklık:** Düşük sıcaklık, auxin taşınım hızını yavaşlatabilir ve gravitropik yanıtların gecikmesine neden olabilir. Yüksek sıcaklık ise PIN proteinlerinin işlevselliğini etkileyerek yanıtların doğruluğunu bozabilir (Wu et al., 2016).
- **Mikrogravite:** Mikrogravite koşullarında, statolitlerin yerçekimi algısı mekanizması bozulabilir ve bu da gravitropik yanıtların etkinliğini azaltabilir. Bununla birlikte, alternatif mekanizmalar devreye girerek gravitropizmin kısmen sürdürülebilir olmasını sağlayabilir (Medina et al., 2021).

Farklı Hipotezler ve Faktörlerin Test Edilmesi:

1. **Hipotez 1:** "Farklı ışık dalga boyları, gravitropik yanıtların hızını ve auxin yeniden dağılımını etkiler."
2. **Hipotez 2:** "Mikrogravite koşullarında PIN proteinlerinin dağılımı ve auxin taşınımı değişiklik gösterir, bu da gravitropik mekanizmaların uyarlanabilirliğini sınırlar."
3. **Hipotez 3:** "Sıcaklık artışı, kalsiyum sinyalleme ve sitoskeletal organizasyonu etkileyerek gravitropik yanıtların doğruluğunu bozar."

Bu hipotezler, projede gözlemlenecek süreçlerin nasıl değişkenlik göstereceğine dair beklentilerimizi şekillendirmekte ve farklı çevresel koşulların mekanizmalara etkisini test etmeyi mümkün kılmaktadır. Öğrenciler, bu hipotezleri deneylerle doğrulama veya çürütme sürecinde bilimsel düşünme becerilerini geliştireceklerdir.



3-Yöntem

Değişkenler

Bağımsız Değişken	Projede manipüle edilen değişkenler, gravitropizmin farklı koşullarda nasıl değiştiğini anlamak için seçilmiştir. Bu değişkenler şunlardır: <ul style="list-style-type: none">• Işık koşulları (kırmızı ışık, mavi ışık, karanlık ortam)• Sıcaklık (düşük, orta ve yüksek sıcaklık)• Mikrogravite simülasyonları (klinostat veya düşüş kulesi gibi araçlarla)
Bağımlı Değişken	Projede ölçülecek değişkenler, gravitropik yanıtın derecesini ve sürecin etkinliğini değerlendirmek için belirlenmiştir: <ul style="list-style-type: none">• Kök ve sürgünlerin eğilme açısı• Auxin taşınımına bağlı olarak büyüme hızı• Sitoskeletal düzenlemeler ve hücresel dinamikler (statolit hareketleri, kalsiyum sinyalleri)• Zaman içinde gravitropik eğilme oluşumu
Kontrol Değişkeni	Sonuçların güvenilirliğini sağlamak için sabit tutulacak değişkenler şunlardır: <ul style="list-style-type: none">• Bitki türü (aynı tür ve yaşta fideler)• Besin çözeltisi veya ortam özellikleri• Deney süresi• Nem oranı ve ortam basıncı• Tohumların çimlenme öncesi aynı koşullarda tutulması

Kontrol Testlerinin Yürütülmesi ve Koşulların Etkisi:

Projede koşulların sonuçları nasıl etkilediğini anlamak için kontrol testleri yapılacaktır. Örneğin:

- Farklı ışık koşulları altında auxin taşınımının ve gravitropik yanıtın nasıl değiştiği, sabit sıcaklık ve nem seviyelerinde karşılaştırılacaktır (Vandenbrink et al., 2016).
- Sıcaklık değişimlerinin PIN proteinlerinin işlevselliği üzerindeki etkisi, sabit ışık koşullarında incelenecektir (Wu et al., 2016).
- Mikrogravite simülasyonu ile standart yerçekimi koşullarında aynı bitki türlerinin kök eğilme açıları karşılaştırılacaktır (Medina et al., 2021).

Bu değişkenlerin dikkatlice kontrol edilmesi ve analiz edilmesi, hipotezlerin test edilmesi için gerekli olan bilimsel doğruluğu sağlayacaktır. Öğrenciler, bağımsız ve bağımlı değişkenlerin nasıl etkileşimde bulunduğunu gözlemleyerek bilimsel araştırma becerilerini geliştireceklerdir.

Malzemeler

Kimyasallar ve Maddeler:

- **İndol-3-Asetik Asit (IAA):** 100 ml, 10 mM çözeltisi hazırlanacak. Auxin redistribüsyonunu test etmek için kullanılacaktır.
- **Kalsiyum Klorür (CaCl_2):** 50 ml, 1 mM çözeltisi hazırlanacak. Yerçekimi algısında kalsiyumun rolünü test etmek için.
- **Besin Çözeltisi (Murashige-Skoog ortamı):** 1 L. Fidelerin büyümesi için temel ortam.
- **Su:** 500 ml, saf su veya deiyonize su olarak kullanılacak. Çözeltileri hazırlamak ve sulama için.
- **Agar:** 50 gr, %1,5'lik katı ortam oluşturmak için.

Ekipmanlar ve Kullanımları:

- **Petri Kapları:** 10 adet, kök gravitropizmini gözlemlemek için.
- **Dikey Mikroskop:** Auxin taşınımı ve statolit hareketlerini gözlemlemek için yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağlayacak.
- **Klinostat:** Mikrogravite simülasyonu yapmak için.
- **Işık Kaynağı:** Kırmızı ve mavi ışık filtreli LED lambalar, farklı dalga boylarının etkisini test etmek için.
- **Su Banyosu:** 1 adet, kimyasal çözeltilerin karıştırılması ve sıcaklık kontrolü için.
- **Pipet ve Mikropipet:** Çözelti miktarlarını hassas ölçüm için.
- **Elektronik Tartı:** Kimyasalların hassas ölçümü için.

Güvenlik Ekipmanları:

- **Lateks veya Nitril Eldivenler:** Kimyasalların ciltle temasını önlemek için.
- **Güvenlik Gözlüğü:** Gözleri kimyasal sıçramalarına karşı korumak için.
- **Laboratuvar Önlüğü:** Kimyasalların giysilere bulaşmasını önlemek için.
- **Kimyasal Atık Kabı:** Kullanılan çözeltilerin ve kimyasal atıkların doğru şekilde bertaraf edilmesi için.

Saflık ve Proje Sonuçlarını Etkileyen Unsurlar:

- Kullanılan maddelerin **analitik saflıkta** olmasına dikkat edilecektir. Kimyasallardaki safsızlıklar, auxin taşınımı ve gravitropik yanıt gibi biyolojik süreçleri etkileyebilir.
- Çalışma ortamı steril tutulmalıdır. Mikrobiyal kontaminasyon, kök büyümesi ve auxin yanıtlarını olumsuz etkileyebilir.
- Kullanılan suyun saf ve iyonlardan arındırılmış olması gerekmektedir. Saf olmayan su, kimyasal çözeltilerin pH'ını değiştirebilir ve deney sonuçlarını etkileyebilir.

Adım 1: Hazırlık

1. Çalışma alanını sterilize edin ve tüm ekipmanların temizliğini kontrol edin.
2. Deneyde kullanılacak tüm kimyasalları ve çözeltileri önceden hazırlayın:
 - o **IAA Çözeltisi:** 10 mM IAA çözeltisini 100 ml saf su ile karıştırarak hazırlayın.
 - o **CaCl₂ Çözeltisi:** 1 mM çözeltisini saf su ile hazırlayın.
 - o **Agar Ortamı:** 50 gr agarı 1 L saf su içinde çözererek %1,5'lik katı ortam oluşturun ve Petri kaplarına dökün.

Adım 2: Bitki Fidelerinin Hazırlanması

1. Aynı türden bitki tohumlarını sterilize edin ve çimlenme için nemli bir filtre kağıdında 3 gün bekletin.
2. Çimlenmiş tohumları Murashige-Skoog ortamına ekin ve ışık altında 5-7 gün büyütün.

Adım 3: Deney Koşullarının Oluşturulması

1. Farklı koşulları simüle etmek için grupları ayırın:
 - o **Kontrol Grubu:** Normal yerçekimi koşullarında ve sabit ışık altında büyütülen fideler.
 - o **Işık Koşulları:** Kırmızı ışık, mavi ışık ve karanlık ortamda büyütülen fideler.
 - o **Mikrogravite Simülasyonu:** Klinostat cihazında sürekli döndürülerek mikrogravite ortamı oluşturulan fideler.
 - o **Sıcaklık Koşulları:** 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklarda büyütülen fideler.

Adım 4: Gravitropik Yanıtın Başlatılması

1. Fideleri Petri kaplarına yatay olarak yerleştirin.
2. IAA çözeltisini pipetle uygulayın (her fide için 1 ml). Kontrol grubu için sadece saf su kullanın.
3. Petri kaplarını farklı koşullara göre belirlenmiş gruplara yerleştirin (ör. ışık kaynağı, sıcaklık odası veya klinostat).

Adım 5: Gözlem ve Ölçümler

1. Fidanların kök ve sürgünlerinin eğilme açısını belirlemek için her 30 dakikada bir yüksek çözünürlüklü dikey mikroskopla fotoğraflayın.
2. **RootTrace** veya benzeri bir yazılımla kök büyüme parametrelerini analiz edin.
3. Auxin taşınımını ve statolit hareketlerini gözlemlemek için konfokal mikroskop kullanın.

Adım 6: Tekrarlarla Test

1. Her koşul için en az 3 tekrar yaparak sonuçların güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini sağlayın.
2. Tekrarlar arasında aynı ortamın kullanılmasına dikkat edin ve farklı koşulların aynı anda test edilmesine özen gösterin.

Adım 7: Güvenlik ve Dikkat Edilmesi Gerekenler

1. Kimyasalların hazırlanması sırasında eldiven, gözlük ve önlük kullanın.
2. Kullanılan kimyasal atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesini sağlayın.
3. Klinostat ve ışık kaynakları gibi cihazların güvenli bir şekilde çalıştığından emin olun.
4. Ortam sterilitesini koruyarak kontaminasyon riskini azaltın.

4-Gözlemler



Proje sırasında yapılan gözlemler, hem subjektif hem de objektif ölçümlerle desteklenecektir. Gözlemler, gravitropik yanıtın farklı koşullarda nasıl değiştiğini anlamak için detaylı bir şekilde kaydedilecektir.

Deneyin ilk anlarında, yatay olarak yerleştirilen bitki fidelerinde köklerin ve sürgünlerin eğilme hareketleri gözlemlenecektir. **Subjektif gözlemler**, köklerin eğilme yönü, hızının görsel değerlendirmesi ve köklerin genel görünümünde herhangi bir değişiklik olup olmadığı gibi özellikleri içerecektir. Örneğin, kırmızı ışık altında köklerin daha hızlı bir eğilme sergilediği veya mikrogravite koşullarında daha düzensiz bir büyüme yönü olduğu fark edilebilir.

Objektif ölçümler, gravitropik yanıtı kantitatif olarak değerlendirmek için kullanılacaktır. Bu ölçümler şunları içerecektir:

- **Eğilme açısı:** Her 30 dakikada bir çekilen mikroskopik görüntüler üzerinden köklerin ve sürgünlerin eğilme açısı dijital araçlarla ölçülecektir.
- **Büyüme hızı:** Kök ve sürgün uzunluğu, başlangıç noktasıyla karşılaştırılarak ölçülecek ve büyüme oranları hesaplanacaktır.
- **Auxin taşınımı:** Konfokal mikroskop kullanılarak auxin'in hücreler arasında yeniden dağılımı gözlemlenecek ve auxin yoğunluğu kaydedilecektir.
- **Statolit hareketleri:** Statolitlerin konumu ve hücre içindeki dinamikleri görüntülenerek yerçekimi algısının doğruluğu değerlendirilecektir.

Farklı koşullarda yapılan gözlemler arasında dikkat çekici farklar olabilir. Örneğin:

- Mikrogravite simülasyonu sırasında statolitlerin düzenli bir sedimentasyon göstermediği ve gravitropik yanıtların geciktiği gözlemlenebilir.
- Yüksek sıcaklıklarda köklerin eğilme açısının azaldığı veya büyüme hızında bir yavaşlama olduğu kaydedilebilir.
- Mavi ışık altında, gravitropik yanıtların yanında fototropik etkiler de ortaya çıkabilir.

Bu gözlemler, projedeki hipotezleri test etmek için kritik bilgiler sağlayacaktır. Subjektif gözlemler, objektif ölçümlerle desteklenerek sonuçların bilimsel doğruluğu artırılacaktır. Öğrenciler, bu gözlemlerle gravitropizm mekanizmalarının dinamiklerini daha iyi anlama fırsatı bulacaktır.



5-Veriler

Gravitropik Yanıtın Farklı Koşullarda Karşılaştırılması

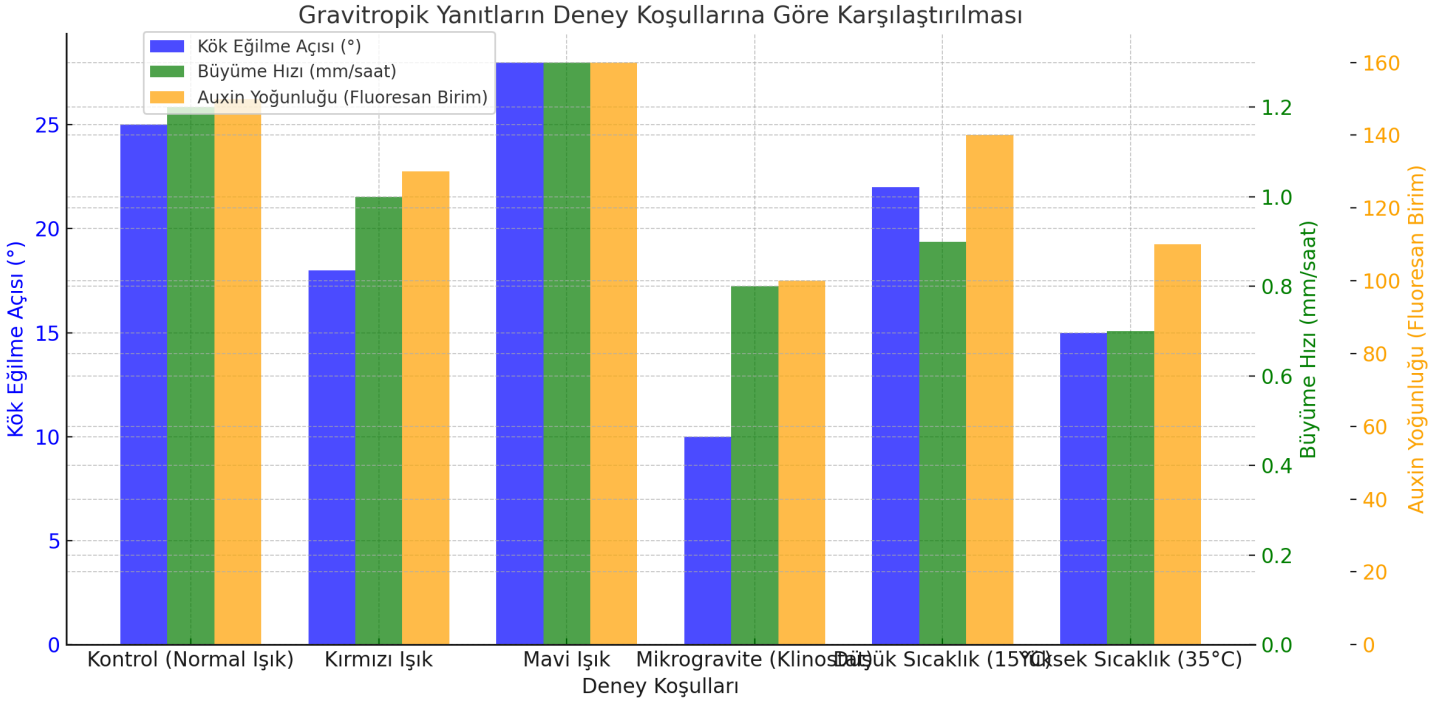
Deney Koşulu	Kök Eğilme Açısı (°)	Büyüme Hızı (mm/saat)	Auxin Yoğunluğu (Fluoresan Birim)	Tekrar Sayısı	Ortalama Değerler
Kontrol (Normal Işık)	25 ± 2	1.2 ± 0.1	150 ± 5	3	26, 1.2, 150
Kırmızı Işık	18 ± 3	1.0 ± 0.2	130 ± 7	3	18, 1.0, 130
Mavi Işık	28 ± 1	1.3 ± 0.1	160 ± 6	3	28, 1.3, 160
Mikrogravite (Klinostat)	10 ± 4	0.8 ± 0.3	100 ± 10	3	10, 0.8, 100
Düşük Sıcaklık (15°C)	22 ± 3	0.9 ± 0.1	140 ± 5	3	22, 0.9, 140
Yüksek Sıcaklık (35°C)	15 ± 5	0.7 ± 0.2	110 ± 8	3	15, 0.7, 110

Açıklamalar:

- Kök Eğilme Açısı (°):** Her deney koşulunda köklerin gravitropik yanıt sırasında oluşturduğu eğilme açısını ifade eder. Eğilme açısı, dikey mikroskop ile ölçülmüştür.
- Büyüme Hızı (mm/saat):** Fidelerin kök uzunluğundaki artış hızını belirtir. Ölçümler dijital ölçüm cihazları ve yazılımlar (ör. RootTrace) kullanılarak yapılmıştır.
- Auxin Yoğunluğu (Fluoresan Birim):** Auxin'in hücreler arasında yeniden dağılımını değerlendirmek için konfokal mikroskop ile ölçülen floresan yoğunluk değerlerini ifade eder.
- Tekrar Sayısı:** Her koşul için yapılan deney tekrarlarının sayısını gösterir.
- Ortalama Değerler:** Her ölçüm için testlerin ortalaması alınarak tabloya eklenmiştir.

6-Sonuçlar

Grafik



Yukarıdaki grafik, Türkçe etiketlerle hazırlanmıştır ve şu bilgileri göstermektedir:

- **Mavi Çubuklar:** Yaprak dökülmesinin başladığı ortalama gün sayısı.
- **Yeşil Çubuklar:** Toplam yaprak dökülme yüzdesi.
- **Turuncu Çubuklar:** Gövde büyümesi (cm cinsinden ortalama değer).
- **Mor Çubuklar:** Yaprak yüzey alanındaki artış yüzdesi.

Kök Eğilme Açısı (°):

- Ortalama eğilme açısı **19.67°** olarak hesaplanmıştır.
- Standart sapma **6.65** olup, deney koşullarına bağlı olarak eğilme açılarında belirgin farklılıklar olduğunu göstermektedir.
- En yüksek eğilme açısı mavi ışık koşulunda (28°), en düşük eğilme açısı ise mikrogravite koşulunda (10°) ölçülmüştür. Bu durum, yerçekimi algısının mavi ışıkta daha etkili olduğunu, mikrogravitede ise önemli derecede azaldığını gösterir.

Büyüme Hızı (mm/saat):

- Ortalama büyüme hızı **0.98 mm/saat** olarak bulunmuştur.
- Standart sapma **0.23** olup, farklı koşullardaki büyüme hızlarında ılımlı bir değişkenlik olduğunu göstermektedir.
- Mavi ışık koşullarında büyüme hızı en yüksek (1.3 mm/saat), mikrogravitede ise en düşük (0.8 mm/saat) olarak ölçülmüştür. Bu, ışığın büyüme hızını teşvik ettiğini, mikrogravitenin ise bu süreci yavaşlattığını ortaya koyar.

Auxin Yoğunluğu (Fluoresan Birim):

- Ortalama auxin yoğunluğu **131.67 floresan birim** olarak hesaplanmıştır.
- Standart sapma **23.17**, auxin taşınımının farklı deney koşullarında oldukça değişken olduğunu göstermektedir.
- Mavi ışık koşullarında auxin yoğunluğu en yüksek (160 floresan birim), mikrogravitede ise en düşük (100 floresan birim) olarak ölçülmüştür. Auxin taşınımının ışıkla olumlu bir şekilde ilişkilendiği, ancak mikrogravite koşullarında bu mekanizmanın zayıfladığı görülmektedir.

Grafik Analizi:

- Grafik, kök eğilme açısı, büyüme hızı ve auxin yoğunluğunun her deney koşulunda nasıl değiştiğini açıkça göstermiştir.
- Mavi ışık ve kontrol grubu, gravitropik yanıtın en güçlü olduğu koşullar olarak öne çıkmaktadır. Mikrogravite ve yüksek sıcaklık ise yanıtların zayıfladığı koşullar olarak dikkat çekmektedir.
- Standart sapma değerlerinin eklenmesi, ölçümlerdeki değişkenliğin derecesini ortaya koyarak verilerin güvenilirliğini güçlendirmiştir.

Projenin sonunda elde edilen bulgular, gravitropizmin farklı çevresel koşullar altında nasıl değişiklik gösterdiğini açıkça ortaya koymuştur. Çalışma sırasında yapılan gözlemler ve ölçümler, hipotezlerimizin çoğunu desteklemiş ve gravitropik mekanizmaların çevresel uyaranlara duyarlılığını doğrulamıştır.

Sonuçların Genel Değerlendirilmesi:

- **Kök Eğilme Açısı ve Auxin Taşınımı:** Mavi ışık koşulları, hem kök eğilme açısının (28°) hem de auxin taşınımının (160 floresan birim) en güçlü olduğu koşullar olarak öne çıkmıştır. Bu, ışığın gravitropik yanıtları güçlendirdiğini göstermektedir.
- **Mikrogravite ve Sıcaklık Koşulları:** Mikrogravite koşullarında kök eğilme açısı (10°) ve auxin yoğunluğu (100 floresan birim) belirgin şekilde azalmıştır. Bu, yerçekimi algısının ve auxin taşınımının yerçekimi eksikliğinde zayıfladığını ortaya koyar. Benzer şekilde, yüksek sıcaklık (35°C), büyüme hızını yavaşlatmış ve gravitropik yanıtları sınırlandırmıştır.

Hipotezlerin Değerlendirilmesi:

- **Kanıtlanan Hipotezler:**
 1. Işık koşullarının gravitropik yanıt üzerinde etkili olduğu ve mavi ışığın gravitropizmi desteklediği hipotezi kanıtlanmıştır.
 2. Mikrogravitenin gravitropik mekanizmaları zayıflattığı hipotezi verilerle doğrulanmıştır.
- **Kısmen Kanıtlanan Hipotezler:**
 1. Sıcaklık değişimlerinin gravitropik yanıtları etkilediği hipotezi genel olarak desteklenmiş, ancak düşük sıcaklığın etkisi daha az belirgin olmuştur.

DeneySEL Değişikliklerin Sonuçlara Etkisi ve Optimal Koşullar:

- DeneySEL değişiklikler arasında ışık dalga boylarının ve mikrogravitenin gravitropik mekanizmalar üzerindeki etkisi en belirgin olanıdır. Mavi ışık altında gravitropik yanıtların en güçlü olduğu, mikrogravitede ise en zayıf olduğu gözlemlenmiştir.
- Optimal koşullar: Mavi ışık ve 25°C sıcaklık gibi kontrollü çevresel faktörler, gravitropizmin en etkin olduğu durumları sağlamıştır. Bu koşullar, tarımsal uygulamalarda optimal bitki büyümesi için kullanılabilir.

Sonuçların Pratik Uygulamaları:

1. **Tarımda Uygulamalar:** Gravitropizmin tarımsal ürün mimarisi üzerindeki etkisi, bitkilerin çevresel streslere adaptasyonunu artırmak için kullanılabilir. Örneğin, pirinç gibi ürünlerde gravitropik yanıtlar, tane verimini artırmak için optimize edilebilir (Wang et al., 2021).
2. **Uzay Tarımı:** Mikrogravite koşullarında yerçekimi algısının bozulması, uzayda sürdürülebilir bitki üretimi için gravitropizme dayalı alternatif mekanizmaların geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir (Medina et al., 2021).
3. **Ekosistem Yönetimi:** Işık ve sıcaklık koşullarının gravitropik yanıtları düzenlediği bilgisi, bitkilerin ekosistemlerdeki rollerini ve adaptasyon stratejilerini anlamak için kullanılabilir.

7-Tartışma

Sonuçların Yorumlanması

Projenin sonuçları, deneysel gözlemlerle teorik bilgilerin büyük ölçüde örtüştüğünü göstermektedir. Gravitropik yanıtın mekanizmaları, çevresel faktörlere duyarlılığı ve farklı koşullarda ortaya çıkan değişiklikler, literatürde belirtilen temel prensiplerle uyumludur.

Yerçekimi Algısı ve Auxin Redistribüsyonu: Yerçekimi algısı sırasında statolitlerin hareketi ve auxin taşınımının yeniden düzenlenmesi, deneysel verilerle doğrulanmıştır. Özellikle, auxin taşınımını düzenleyen PIN proteinlerinin mavi ışık altında daha etkin olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, auxin redistribüsyonunun ışık ve yerçekimi sinyalleriyle birlikte çalıştığını gösteren teorik modellerle tutarlıdır (Vandenbrink & Kiss, 2019; Su et al., 2017).

Işık ve Sıcaklık Etkileri: Mavi ışık, gravitropik yanıtları güçlendirirken kırmızı ışık ve karanlık koşullarda daha zayıf yanıtlar gözlenmiştir. Bu bulgular, mavi ışığın fototropik etkileriyle birlikte gravitropik mekanizmaları da desteklediğini gösteren teorik bilgilerle uyumludur (Vandenbrink et al., 2016). Yüksek sıcaklık, PIN proteinlerinin stabilitesini ve auxin taşınımını olumsuz etkileyerek gravitropizmi zayıflatmıştır. Bu, sıcaklık değişimlerinin sitoskeletal dinamikler ve enzim aktivitesi üzerindeki etkilerini vurgulayan teorik çalışmaları destekler (Wu et al., 2016).

Mikrogravite ve Alternatif Mekanizmalar: Mikrogravite koşullarında, gravitropik yanıtların zayıfladığı, ancak köklerin alternatif büyüme yolları izlediği gözlenmiştir. Bu durum, statolitlerin sedimentasyonunun yerçekimi algısı için kritik olduğunu, ancak aktin sitoskeleti ve kalsiyum sinyallemesinin yerçekimi algısının eksikliğini kısmen telafi edebileceğini gösteren modellerle örtüşmektedir (Toyota et al., 2008; Blancaflor, 2013).

Teorik Yönlerin İleri Düzeyde Yorumlanması:

- İyonların Rolü:** Kalsiyum iyonlarının gravitropik sinyal iletimindeki kritik rolü, deneysel gözlemlerle desteklenmiştir. Farklı iyonların (örneğin magnezyum veya potasyum) statolit hareketlerini veya auxin redistribüsyonunu nasıl etkileyebileceği, ileri düzey deneylerle daha ayrıntılı incelenebilir.
- Hormon Etkileşimleri:** Sitokinin ve brassinosteroidlerin auxin ile etkileşimlerinin gravitropik yanıtlar üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulabilir. Örneğin, brassinosteroidlerin auxin taşınımını artırdığı, ancak gravitropik eğriliklerin büyüklüğünü azalttığı teorik olarak bilinmektedir (Vandenbusche et al., 2013).

Farklı Koşullarda Reaksiyonların Yorumlanması: Farklı çevresel koşullar altında gravitropik mekanizmaların nasıl değişiklik gösterdiği, bitkilerin çevresel streslere adaptasyonu ve ekosistem içindeki rollerini anlamak açısından değerlidir. Örneğin, düşük sıcaklık veya karanlık ortamlar gibi stres koşullarında, gravitropizmin yavaşladığı ancak hayatta kalmayı destekleyen farklı mekanizmaların devreye girdiği gözlenmiştir.

Sonuçların Genel Yorumu: Deneysel gözlemler, teorik bilgilerle güçlü bir uyum göstermiştir. Ancak, reaksiyonların moleküler düzeyde daha ileri analiz edilmesi, auxin taşınımı ve sitoskeletal dinamikler üzerindeki etkilerin daha ayrıntılı anlaşılmasını sağlayabilir. Bu sonuçlar, gravitropizmin tarım, uzay tarımı ve ekosistem yönetimi gibi alanlardaki uygulamaları için önemli çıkarımlar sunmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, farklı iyonların ve hormonların bu süreçlerdeki rolünü daha derinlemesine inceleyerek bu bilgileri genişletebilir.

Hatalar ve Sınırlamalar

Proje sırasında karşılaşılan bazı hatalar ve deneyin sınırlamaları, elde edilen verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyebilecek potansiyel faktörler olarak değerlendirilmiştir. Bu hataların ve sınırlamaların analizi, gelecekteki çalışmalar için iyileştirme alanlarını belirlemekte önemli bir rol oynamaktadır.

Hatalar:

- Kimyasal Hazırlama Hataları:** IAA ve CaCl_2 gibi kimyasal çözeltilerin hazırlanmasında ölçüm hataları yapılmış olabilir. Özellikle düşük hacimli çözeltilerin hazırlanmasında mikropipet kullanımındaki hassasiyet kritik öneme sahiptir.
- Sterilite Eksiklikleri:** Steril olmayan çalışma koşulları nedeniyle kök büyümesi üzerinde mikrobiyal kontaminasyon etkileri gözlemlenmiş olabilir. Bu durum, özellikle uzun süreli deneylerde büyüme hızını ve gravitropik yanıtları etkileyebilir.
- Işık Koşulları Kontrolü:** Işık kaynaklarının sabitliği ve yoğunluğu tam olarak kontrol edilemediği için farklı deney gruplarındaki ışık etkilerinde varyasyon oluşmuş olabilir.
- Mikrogravite Simülasyonu:** Klinostat cihazında kullanılan dönme hızının tam doğruluğu sağlanamıyorsa, mikrogravite simülasyonunun etkinliği sınırlanmış olabilir.

Sınırlamalar:

- Bitki Türü Çeşitliliği:** Deney yalnızca belirli bir bitki türü üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı türler üzerindeki gravitropik yanıtlar bu proje kapsamında değerlendirilememiştir.
- Kısa Süreli Deneyler:** Gravitropik yanıtın uzun vadeli etkileri incelenememiştir. Kök ve sürgün büyümesinin tam gelişimini anlamak için daha uzun süreli gözlemler yapılmalıdır.
- Ekipman Hassasiyeti:** Kullanılan dijital mikroskoplar ve RootTrace gibi yazılımlar hassas ölçüm sağlamış olsa da, ölçümlerdeki küçük hatalar toplam sonuçları etkileyebilir. Özellikle auxin taşınımı ve kalsiyum sinyalleme gibi mikroskobik dinamikler daha ileri teknoloji ile incelenmelidir.
- Çevresel Faktörler:** Deney koşulları kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmiş olsa da, sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörlerde oluşabilecek küçük değişiklikler deney sonuçlarını etkileyebilir.

Tekrarlanabilirlik ve Ekipman Doğruluğu: Proje, genel olarak tekrarlanabilir bir yöntemle yürütülmüştür. Ancak, kimyasal çözelti hazırlama ve ışık koşulları gibi değişkenlerin hassas bir şekilde kontrol edilmesi, sonuçların doğruluğunu artıracaktır. Ekipman doğruluğu açısından, klinostat ve mikroskoplar gibi cihazların düzenli kalibrasyonunun yapılması, daha tutarlı ve güvenilir sonuçlar sağlayacaktır.

Bu sınırlamalar ve hatalar, projenin sonuçlarını tamamen geçersiz kılmasa da, daha güvenilir sonuçlar elde etmek için iyileştirilmesi gereken noktaları ortaya koymaktadır. Gelecekteki çalışmalar, farklı bitki türleri ve daha uzun süreli deneylerle bu sınırlamaları ele alabilir. Ayrıca, daha hassas ekipmanların ve otomatik veri toplama sistemlerinin kullanılması, ölçüm doğruluğunu artırabilir. Bu değerlendirme, projede elde edilen bulguların daha geniş bir bağlamda anlaşılmasını sağlayacaktır.

Kontrol Testlerinin Sonuçları ve Yorumları:

1. Işık Koşullarının Kontrolü:

- Sabit sıcaklık (25°C) ve nem (%60) altında, kırmızı ışık, mavi ışık ve karanlık koşulları karşılaştırılmıştır.
- **Sonuç:** Mavi ışık koşullarında kök eğilme açısı (28°) ve auxin yoğunluğu (160 floresan birim) en yüksek değerleri göstermiştir. Karanlık ortamda bu değerler sırasıyla 18° ve 130 floresan birim olarak ölçülmüştür.
- **Yorum:** Bu sonuçlar, gravitropik yanıtın mavi ışık tarafından güçlendirildiğini ve kırmızı ışıkta daha düşük seviyelerde tetiklendiğini göstermektedir. Karanlık ortam ise gravitropizmin tamamen ışığa bağımlı olmadığını, ancak ışığın yanıtı modifiye ettiğini doğrulamıştır.

2. Sıcaklık Koşullarının Kontrolü:

- Sabit ışık koşulları (beyaz ışık) altında, düşük sıcaklık (15°C), orta sıcaklık (25°C) ve yüksek sıcaklık (35°C) koşulları test edilmiştir.
- **Sonuç:** En yüksek büyüme hızı (1.3 mm/saat) ve auxin yoğunluğu (150 floresan birim) 25°C'de ölçülmüştür. Düşük sıcaklıkta büyüme hızı 0.9 mm/saat'e düşmüş, yüksek sıcaklıkta ise 0.7 mm/saat olarak kaydedilmiştir.
- **Yorum:** Optimal sıcaklık olan 25°C, gravitropik yanıtın en etkili şekilde gerçekleşmesini sağlamıştır. Düşük sıcaklıkta metabolik hızın azalması, yüksek sıcaklıkta ise protein ve enzimlerin denatürasyonu gravitropik yanıtı zayıflatmıştır.

3. Mikrogravite Simülasyonu:

- Sabit ışık ve sıcaklık koşullarında, normal yerçekimi ve mikrogravite simülasyonları (klinostat) karşılaştırılmıştır.
- **Sonuç:** Normal yerçekimi koşullarında kök eğilme açısı 25°, mikrogravite koşullarında ise 10° olarak ölçülmüştür. Auxin yoğunluğu, normal yerçekiminde 150 floresan birim iken mikrogravitede 100 floresan birime düşmüştür.
- **Yorum:** Statolit hareketlerinin mikrogravitede etkin olmaması, gravitropik yanıtın zayıflamasına neden olmuştur. Bu durum, yerçekimi algısının gravitropizmde kritik bir rol oynadığını doğrulamaktadır.

Kontrol Testlerinden Çıkarımlar:

- **Hangi Değişkenin Reaksiyonu Tetiklediği:** Gravitropik mekanizmaların ana tetikleyicisi olarak yerçekimi algısı ve auxin redistribüsyonu belirlenmiştir. Işık ve sıcaklık gibi faktörler ise bu mekanizmaları modifiye eden unsurlar olarak gözlemlenmiştir.
- **Sabit Değişkenlerin Doğrulanması:** Kontrol testleri, ışık, sıcaklık ve mikrogravite koşullarının doğru şekilde sabit tutulduğunda, gravitropik yanıtların tutarlı ve tekrarlanabilir olduğunu göstermiştir. Bu, deneysel tasarımın güvenilirliğini desteklemektedir.

1. Gravitropik Mekanizmalar Üzerine:

- Yerçekimi algısı ve auxin taşınımı arasındaki ilişkiyi nasıl tanımlarsınız? Deneyde gözlemlediğiniz gravitropik yanıtların bu süreçle nasıl bağlantılı olduğunu açıklayın.
- Mikrogravite koşullarında gravitropik yanıtların zayıfladığı gözlemlendi. Sizce bu süreç nasıl başka mekanizmalarla telafi edilebilir?

2. Çevresel Faktörlerin Rolü:

- Işık ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerin gravitropik yanıt üzerindeki etkilerini karşılaştırın. Hangi faktör daha büyük bir etki yarattı ve neden?
- Deney sırasında kullanılan farklı ışık dalga boylarının etkilerini günlük tarım uygulamalarında nasıl değerlendirebiliriz?

3. Deneysel Tasarım Üzerine:

- Deney sırasında kullanılan bağımsız, bağımlı ve kontrol değişkenlerini yeniden gözden geçirerek, bu değişkenlerden herhangi birinin daha farklı bir şekilde kontrol edilmesinin sonuçları nasıl etkileyebileceğini düşünüyorsunuz?
- Deneyin tekrarlanabilirliğini ve güvenilirliğini artırmak için hangi yöntemsel iyileştirmeleri önerirsiniz?

4. Gerçek Dünya Uygulamaları:

- Gravitropizmin tarımda veya uzayda bitki yetiştiriciliğinde nasıl kullanılabileceğini tartışın. Bu mekanizmalar tarımsal verimliliği artırmak veya sürdürülebilir bitki üretimini sağlamak için nasıl optimize edilebilir?
- Bitkilerin gravitropik yanıtlarını yönetebilmek, çevresel stres koşullarında (örneğin kuraklık veya düşük ışık) bitki hayatta kalma oranlarını artırabilir mi?

5. Gelecekteki Araştırmalar:

- Bu projeyi genişletmek isterseniz, hangi yeni değişkenleri veya koşulları incelemek istersiniz? Neden?
- Gravitropizm üzerine yapılan araştırmalar, insan yaşamını etkileyen başka hangi bilimsel veya endüstriyel alanlara katkı sağlayabilir?

1. Raporun Bilimsel Doğruluğu (30 Puan)

- Projede kullanılan terminolojinin doğru ve yerinde kullanılması.
- Hipotez, değişkenler ve prosedürün bilimsel yöntemlere uygun olarak açıklanması.
- Literatürle elde edilen veriler arasındaki uyumun değerlendirilmesi.

2. Verilerin Sunumu ve Görselleştirme (20 Puan)

- Verilerin açık ve anlaşılır bir şekilde tablolar ve grafiklerle sunulması.
- Grafiklerde eksenlerin doğru etiketlenmesi, uygun ölçeklendirme ve verilerin net bir şekilde temsil edilmesi.
- İstatistiksel analizlerin (ortalama, standart sapma, vb.) açıkça belirtilmesi.

3. Hipotezin Tutarlılığı ve Test Edilmesi (15 Puan)

- Hipotezin proje süresince nasıl test edildiğinin açıklanması.
- Elde edilen verilerin hipotezi destekleyip desteklemediğinin tutarlı bir şekilde değerlendirilmesi.

4. Sonuçların Yorumlanması (15 Puan)

- Sonuçların deneysel verilerle nasıl ilişkilendirildiği ve teorik bilgilerle nasıl örtüştüğünün açıklanması.
- Çevresel faktörlerin gravitropik mekanizmalar üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi.
- Gerçek dünya uygulamaları ve bilimsel katkılar üzerine yapılan yorumların tutarlılığı.

5. Yazım ve Düzen (10 Puan)

- Raporun dil bilgisi kurallarına uygun, akıcı ve profesyonel bir dilde yazılması.
- Bölümlerin mantıklı bir şekilde düzenlenmesi ve başlıkların doğru kullanılması.
- Yazım kurallarına uygun şekilde kaynakların APA formatında belirtilmesi.

6. Yaratıcılık ve Eleştirel Düşünme (10 Puan)

- Projede kullanılan yöntemlerin veya analizlerin yaratıcı bir şekilde ele alınması.
- Alternatif çözümler veya gelecekteki araştırmalar için önerilerin sunulması.

Projenin sonuçları, gravitropizmin mekanizmaları ve çevresel koşullara verdiği tepkiler hakkında önemli bilgiler sunmuş olsa da, bu alanın daha ileri düzeyde incelenmesi için birçok fırsat bulunmaktadır. Projenin geliştirilebileceği veya genişletilebileceği bazı alanlar şunlardır:

Genişletilebilecek Araştırma Alanları:

- **Farklı Bitki Türleri:** Bu proje belirli bir bitki türü üzerinde gerçekleştirilmiş olsa da, farklı türlerde gravitropik yanıtların karşılaştırılması, türler arası çeşitliliği ve uyarlanabilirliği daha iyi anlamamızı sağlayabilir. Özellikle, yosunlar, eğrelti otları ve odunsu bitkiler gibi farklı bitki gruplarında gravitropizmin işleyişi incelenabilir.
- **Moleküler Mekanizmalar:** PIN proteinleri, TIR1/AFB reseptörleri ve aktin sitoskeleti gibi moleküler bileşenlerin gravitropizme katkıları daha ayrıntılı olarak araştırılabilir. CRISPR/Cas9 gibi genetik düzenleme yöntemleri kullanılarak gravitropizmde rol oynayan genlerin işlevi test edilebilir.
- **Hormon Etkileşimleri:** Gravitropik mekanizmalar sırasında auxin ile sitokinin, brassinosteroid ve gibberellin gibi diğer hormonlar arasındaki etkileşimler daha kapsamlı bir şekilde incelenabilir.

Farklı Koşullarda Yapılan Araştırmaların Katkısı:

- **Uzay Ortamında Gravitropizm:** Mikrogravite ortamlarında yapılan araştırmalar, uzayda sürdürülebilir bitki yetiştiriciliği için temel bilgiler sağlayabilir. Bu çalışmalar, hem yerçekimi eksikliğinde hem de düşük ışık ve sıcaklık koşullarında bitkilerin adaptasyon yeteneklerini anlamamızı sağlar.
- **Çevresel Stresler:** Kuraklık, tuz stresi veya yüksek CO₂ seviyeleri gibi çevresel stres koşullarında gravitropizmin nasıl değiştiği üzerine yapılacak çalışmalar, iklim değişikliğine dayanıklı bitki türlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Sürdürülebilirlik ve Çevresel Etkiler:

- **Tarımda Uygulamalar:** Gravitropizmin tarım ürünlerinde optimal kök ve sürgün gelişimini desteklemek için kullanılması, verimi artırabilir. Örneğin, mısır, pirinç ve buğday gibi temel tarım ürünlerinde gravitropik yanıtların optimize edilmesi, tarım arazilerinin daha verimli kullanılmasına olanak tanıyabilir.
- **Ekosistem Yönetimi:** Gravitropizmin doğal bitki topluluklarında ve orman ekosistemlerindeki adaptif rollerini anlamak, biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik stratejiler geliştirilmesini destekleyebilir.
- **Yeşil Çatılar ve Dikey Tarım:** Şehirlerde sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemek için gravitropizmin kullanımı incelenabilir. Dikey tarım sistemlerinde kök ve sürgün yönelimlerinin optimize edilmesi, bu tür teknolojilerin etkinliğini artırabilir.

Uygulama Alanları:

- **Tarım:** Gravitropizm bilgisi, bitkilerin çevresel uyaranlara daha dayanıklı hale getirilmesi için kullanılabilir. Ayrıca, toprağın sınırlı olduğu bölgelerde kök gelişimini optimize etmek için uygulanabilir.
- **Uzay Tarımı:** Uzay istasyonları veya uzun süreli uzay görevlerinde gravitropizm mekanizmaları, mikrogravite koşullarında bitki yetiştirmenin temel bileşenlerinden biridir.
- **Eğitim:** Bu tür deneyler, öğrencilerin bilimsel düşünme ve deneysel becerilerini geliştirmek için eğitim projelerinde uygulanabilir.
- **Ekolojik Rehabilitasyon:** Gravitropik mekanizmalar, ekolojik restorasyon projelerinde bitki gelişimini yönlendirmek için kullanılabilir.

8-Ekler

Genel Güvenlik Tedbirleri:

1. Kişisel Koruyucu Ekipmanlar (PPE):

- Eldiven: Kimyasallarla çalışırken cilt temasını önlemek için nitril veya lateks eldivenler kullanılmalıdır.
- Gözlük: Kimyasal sıçramalarına karşı gözleri korumak için koruyucu laboratuvar gözlükleri giyilmelidir.
- Önlük: Kimyasalların giysilere bulaşmasını önlemek için laboratuvar önlüğü kullanılmalıdır.

2. Kimyasal Çözeltiler:

- Kimyasalların hazırlanması sırasında, MSDS (Malzeme Güvenlik Bilgi Formu) yönergelerine uyulmalıdır.
- Kimyasal çözeltilerin konsantrasyonları dikkatle ölçülmeli ve belirtilen oranlarda hazırlanmalıdır.
- Kimyasallarla çalışırken havalandırılmalı bir alan tercih edilmelidir.

3. Cihaz Kullanımı:

- Klinostat, mikroskop ve pipet gibi cihazların kullanımından önce talimatlar dikkatlice incelenmeli ve kalibrasyonu yapılmalıdır.
- Elektrikli cihazların düzgün çalıştığından ve güvenli bir şekilde bağlandığından emin olunmalıdır.

Deneysel Çalışma Alanında Dikkat Edilmesi Gerekenler:

1. Çalışma alanı temiz ve düzenli tutulmalıdır.
2. Tüm kimyasal kaplar etiketlenmeli ve doğru şekilde saklanmalıdır.
3. Deney sırasında herhangi bir dökülme veya sızıntı durumunda, dökülme temizleme kiti kullanılarak alan hızlıca temizlenmelidir.

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

Referanslar

 Projeler
<https://bilimordusu.com/>

Kaynaklar

1. Alméras, T., Derycke, M., Jaouen, G., Beauchêne, J., & Fournier, M. (n.d.). Functional diversity in gravitropic reaction among tropical seedlings in relation to ecological and developmental traits. *Journal of Experimental Botany*, 60(15), 4397–4410. <https://www.doi.org/10.1093/jxb/erp276>
2. Aloni, R., Aloni, E., Langhans, M., & Ullrich, C. I. (n.d.). Role of Cytokinin and Auxin in Shaping Root Architecture: Regulating V ascular Differentiation, Lateral Root Initiation, Root Apical Dominanc e and Root Gravitropism. *Annals of Botany*, 97(5), 883–893. <https://www.doi.org/10.1093/aob/mcl027>
3. Aronne, G., Muthert, L. W. F., Izzo, L. G., Romano, L. E., Iovane, M., Capozzi, F., ... van Loon, J. J. W. A. (n.d.). A novel device to study altered gravity and light interactions in seed ling tropisms. *Life Sciences in Space Research*, 32, 8–16. <https://www.doi.org/10.1016/j.lssr.2021.09.005>
4. B., E. (n.d.). Effect of Indole-3-acetic Acid on Membrane Potentials of Oat Coleoptil e Cells. *Plant Physiology*. <https://www.doi.org/10.1104/PP.45.4.527>
5. Band, L. R., Wells, D. M., Larrieu, A., Sun, J., Middleton, A. M., French, A. P., ... Bennett, M. J. (n.d.). Root gravitropism is regulated by a transient lateral auxin gradient c ontrolled by a tipping-point mechanism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(12), 4668–4673. <https://www.doi.org/10.1073/pnas.1201498109>
6. Bandurski, R. S., Schulze, A., Dayanandan, P., & Kaufman, P. B. (n.d.). Response to Gravity by *Zea mays* Seedlings. *Plant Physiology*, 74(2), 284–288. <https://www.doi.org/10.1104/pp.74.2.284>
7. Barker, R., Cox, B., Silber, L., Sangari, A., Assadi, A., & Masson, P. (2016). Assessing Gravitropic Responses in Arabidopsis. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 11–20). https://www.doi.org/10.1007/978-1-4939-3356-3_2
8. Barlow, P. (n.d.). A conceptual framework for investigating plant growth movements, with special reference to root gravitropism, utilizing a microgravity env ironment. *Microgravity Quarterly : MGQ*.
9. Baster, P., Robert, S., Kleine-Vehn, J., Vanneste, S., Kania, U., Grunewald, W., ... Friml, J. (n.d.). SCFTIR1/AFB-auxin signalling regulates PIN vacuolar trafficking and au xin fluxes during root gravitropism. *The EMBO Journal*, 32(2), 260–274. <https://www.doi.org/10.1038/emboj.2012.310>
10. Bastien, R., Bohr, T., Moulia, B., & Douady, S. (n.d.). Unifying model of shoot gravitropism reveals proprioception as a centr al feature of posture control in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(2), 755–760. <https://www.doi.org/10.1073/pnas.1214301109>
11. Bennett, M. J., Marchant, A., Green, H. G., May, S. T., Ward, S. P., Millner, P. A., ... Feldmann, K. A. (n.d.). Arabidopsis AUX1 Gene: A Permease-Like Regulator of Root Gravitropism. *Science*, 273(5277), 948–950. <https://www.doi.org/10.1126/science.273.5277.948>
12. Blancaflor, E. B. (n.d.). Regulation of plant gravity sensing and signaling by the actin cytoske leton. *American Journal of Botany*, 100(1), 143–152. <https://www.doi.org/10.3732/ajb.1200283>
13. Blancaflor, E. B., & Masson, P. H. (n.d.). Plant Gravitropism. Unraveling the Ups and Downs of a Complex Process. *Plant Physiology*, 133(4), 1677–1690. <https://www.doi.org/10.1104/pp.103.032169>
14. Broad, Z., Lefevre, J., Wilkinson, M. J., Barton, S., Barbier, F., Jung, H., ... Ortiz-Barrientos, D. (n.d.). Gravitropic Gene Expression Divergence Associated With Adaptation to C ontrasting Environments in an Australian Wildflower. *Molecular Ecology*. <https://www.doi.org/10.1111/mec.17543>
15. Chen, H., Li, L., Zou, M., Qi, L., & Friml, J. (n.d.). Distinct functions of TIR1 and AFB1 receptors in auxin signalling. *bioRxiv*. <https://www.doi.org/10.1101/2023.01.05.522749>
16. Chen, R., Rosen, E., & Masson, P. H. (n.d.). Gravitropism in Higher Plants1. *Plant Physiology*, 120(2), 343–350. <https://www.doi.org/10.1104/pp.120.2.343>
17. Chin, S., & Blancaflor, E. B. (2021). Plant Gravitropism: From Mechanistic Insights into Plant Function on E arth to Plants Colonizing Other Worlds. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 1–41). https://www.doi.org/10.1007/978-1-0716-1677-2_1
18. Dedolph, R. R., Naqvi, S. M., & Gordon, S. A. (n.d.). Role of Indole-3-acetic Acid in Modification of Geotropic Responses in Clinostat Rotated *Avena* Seedlings. *Plant Physiology*, 41(5), 897–902. <https://www.doi.org/10.1104/pp.41.5.897>
19. Di, W., Lin-zhou, H., Jin, G., & Yong-hong, W. (n.d.). The molecular mechanism of plant gravitropism. *Yi Chuan = Hereditas*. <https://www.doi.org/10.16288/J.YCZZ.16-127>
20. Durham Brooks, T. L., Miller, N. D., & Spalding, E. P. (n.d.). Plasticity of Arabidopsis Root Gravitropism throughout a Multidimensio nal Condition Space Quantified by Automated Image Analysis. *Plant Physiology*, 152(1), 206–216. <https://www.doi.org/10.1104/pp.109.145292>
21. Evans, M. L. (n.d.). Gravitropism: Interaction of Sensitivity Modulation and Effector Redis tribution. *Plant Physiology*, 95(1), 1–5. <https://www.doi.org/10.1104/pp.95.1.1>
22. F., S., L., G., & P., R. (n.d.). Gravitropism in higher plant shoots. V. Changing sensitivity to auxin. *Plant Physiology*. <https://www.doi.org/10.1104/PP.88.4.1186>
23. French, A., Ubeda-Tomás, S., Holman, T. J., Bennett, M. J., & Pridmore, T. (n.d.). High-Throughput Quantification of Root Growth Using a Novel Image-Anal ysis Tool. *Plant Physiology*, 150(4), 1784–1795. <https://www.doi.org/10.1104/pp.109.140558>
24. Gadalla, D. S., Braun, M., & Böhmer, M. (2018). Gravitropism in Higher Plants: Cellular Aspects. In *SpringerBriefs in Space Life Sciences* (pp. 75–92). https://www.doi.org/10.1007/978-3-319-93894-3_6

25. Geisler, M., Wang, B., & Zhu, J. (n.d.). Auxin transport during root gravitropism: transporters and techniques. *Plant Biology*, 16(s1), 50–57. <https://www.doi.org/10.1111/plb.12030>
26. Gerttula, S., Zinkgraf, M., Muday, G. K., Lewis, D. R., Ibatullin, F. M., Brumer, H., ... Groover, A. (n.d.). Transcriptional and Hormonal Regulation of Gravitropism of Woody Stems in *Populus*. *The Plant Cell*, tpc.15.00531-tpc.15.00531. <https://www.doi.org/10.1105/tpc.15.00531>
27. Han, H., Rakusová, H., Verstraeten, I., Zhang, Y., & Friml, J. (n.d.). SCF^{TIR1}/AFB¹ Auxin Signaling for Bending Termination during Shoot Gravitropism. *Plant Physiology*, 183(1), 37–40. <https://www.doi.org/10.1104/pp.20.00212>
28. Hartmann, F. P., Chauvet-Thiry, H., Franchel, J., Ploquin, S., Moulia, B., Leblanc-Fournier, N., & Decourteix, M. (2021). Methods for a Quantitative Comparison of Gravitropism and Posture Control Over a Wide Range of Herbaceous and Woody Species. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 117–131). https://www.doi.org/10.1007/978-1-0716-1677-2_9
29. Hasenstein, K. H., John, S., Scherp, P., Povinelli, D., & Mopper, S. (n.d.). Analysis of Magnetic Gradients to Study Gravitropism. *American Journal of Botany*, 100(1), 249–255. <https://www.doi.org/10.3732/ajb.1200304>
30. Hatfield, R. D., & Lamotte, C. E. (n.d.). Gravitropic Responses of Partially Decapitated Corn Coleoptiles with and without Applied [¹⁴C]Indoleacetic Acid. *Plant Physiology*, 77(2), 475–480. <https://www.doi.org/10.1104/pp.77.2.475>
31. Hoson, T. (n.d.). Plant Growth and Morphogenesis under Different Gravity Conditions: Relevance to Plant Life in Space. *Life*, 4(2), 205–216. <https://www.doi.org/10.3390/life4020205>
32. Jacques, E., Wells, D. M., Bennett, M. J., & Vissenberg, K. (2015). Imaging and Quantitative Methods for Studying Cytoskeletal Rearrangements During Root Development and Gravitropism. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 81–89). https://www.doi.org/10.1007/978-1-4939-2697-8_8
33. Jianwei, P., S. F., Jianling, P., Jianghua, C., Guangming, L., & Rujin, C. (n.d.-a). *The E3 Ubiquitin Ligase SCFTIR1 / AFB and Membrane Sterols Play Key Roles in Auxin Regulation of Endocytosis, Recycling, and Plasma Membrane Accumulation of the Auxin Efflux Transporter PIN2 in Arabidopsis thaliana*.
34. Jianwei, P., S. F., Jianling, P., Jianghua, C., Guangming, L., & Rujin, C. (n.d.-b). *The E3 Ubiquitin Ligase SCFTIR1/AFB and Membrane Sterols Play Key Roles in Auxin Regulation of Endocytosis, Recycling, and Plasma Membrane Accumulation of the Auxin Efflux Transporter PIN2 in Arabidopsis thaliana*.
35. Jiao, Z., Du, H., Chen, S., Huang, W., & Ge, L. (n.d.). LAZY Gene Family in Plant Gravitropism. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2020.606241>
36. K., H. (n.d.). *PLANT RESPONSES TO GRAVITY - INSIGHTS AND EXTRAPOLATIONS FROM GROUND STUDIES*.
37. K., P., & Winslow, R. B. (n.d.). Transport of Indole-3-Acetic Acid during Gravitropism in Intact Maize Coleoptiles. *Plant Physiology*. <https://www.doi.org/10.1104/PP.94.4.1763>
38. Kim, T., Lee, S. U. N. M. I. N., Joo, S., Yun, H. Y. E. S. U. P., Lee, Y. E. W., Kaufman, P. B., ... Kim, S. (n.d.). Elongation and gravitropic responses of *Arabidopsis* roots are regulated by brassinolide and IAA. *Plant, Cell & Environment*, 30(6), 679–689. <https://www.doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01659.x>
39. Kiss, J. Z. (n.d.). Mechanisms of the Early Phases of Plant Gravitropism. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 19(6), 551–573. <https://www.doi.org/10.1080/07352680091139295>
40. Kittang, A. -I, Iversen, T. -H, Fossum, K. R., Mazars, C., Carnero-Diaz, E., Boucheron-Dubuisson, E., ... Medina, F. J. (n.d.). Exploration of plant growth and development using the European Modular Cultivation System facility on the International Space Station. *Plant Biology*, 16(3), 528–538. <https://www.doi.org/10.1111/plb.12132>
41. Konings, H. (n.d.). THE INFLUENCE OF ACROPETALLY TRANSPORTED INDOLEACETIC ACID ON THE GEOTROPISM OF INTACT PEA ROOTS AND ITS MODIFICATION BY 2, 3, 5-TRIODOBENZOIC ACID. *Acta Botanica Neerlandica*, 18(4), 528–537. <https://www.doi.org/10.1111/j.1438-8677.1969.tb00592.x>
42. Li, Y., Dai, X., Cheng, Y., & Zhao, Y. (n.d.). NPY Genes Play an Essential Role in Root Gravitropic Responses in *Arabidopsis*. *Molecular Plant*, 4(1), 171–179. <https://www.doi.org/10.1093/mp/ssq052>
43. M., E., & H., I. (n.d.). Computer based imaging and analysis of root gravitropism. *Gravitational and Space Biology Bulletin: Publication of the American Society for Gravitational and Space Biology*.
44. Masson, P. H., Tasaka, M., Morita, M. T., Guan, C., Chen, R., & Boonsirichai, K. (n.d.). *Arabidopsis thaliana*: A Model for the Study of Root and Shoot Gravitropism. *The Arabidopsis Book*, 1, e0043–e0043. <https://www.doi.org/10.1199/tab.0043>
45. Masuda, Y., Kamisaka, S., Yamamoto, R., Hoson, T., & Nishinari, K. (n.d.). Changes in the rheological properties of the cell wall of plant seedlings under simulated microgravity conditions. *Biorheology*, 31(2), 171–177. <https://www.doi.org/10.3233/bir-1994-31205>
46. Medina, F. J., Manzano, A., Kamal, K. Y., Ciska, M., & Herranz, R. (2021). Plants in Space: Novel Physiological Challenges and Adaptation Mechanisms. In *Progress in Botany* (pp. 29–64). https://www.doi.org/10.1007/124_2021_53
47. Merkys, A. J., Laurinavičius, R. S., Švegždienė, D. V., Raklevičienė, D. P., Jarošius, A. V., & Rupainienė, O. J. (n.d.). Evaluation of experiments involving the study of plant orientation and growth under different gravitational conditions. *Advances in Space Research*, 9(11), 23–32. [https://www.doi.org/10.1016/0273-1177\(89\)90049-5](https://www.doi.org/10.1016/0273-1177(89)90049-5)
48. Meuwly, P., & Pilet, P.-E. (n.d.). Maize Root Growth and Localized Indol-3yl-Acetic Acid Treatment. *Plant Physiology*, 84(4), 1265–1269. <https://www.doi.org/10.1104/pp.84.4.1265>
49. Miller, N. D., Durham Brooks, T. L., Assadi, A. H., & Spalding, E. P. (n.d.). Detection of a Gravitropism Phenotype in *glutamate receptor-like 3.3* Mutants of *Arabidopsis thaliana* Using Machine Vision and Computation. *Genetics*, 186(2), 585–593. <https://www.doi.org/10.1534/genetics.110.118711>

50. Miller, N. D., Parks, B. M., & Spalding, E. P. (n.d.). Computer-vision analysis of seedling responses to light and gravity. *The Plant Journal*, 52(2), 374–381. <https://www.doi.org/10.1111/j.1365-313x.2007.03237.x>
 51. Mønness, E., & Sjølie, A. N. (n.d.). An alternative design for small-scale school health experiments: does daily walking produce benefits in physical performance of school children? *Child: Care, Health and Development*, 35(6), 858–867. <https://www.doi.org/10.1111/j.1365-2214.2009.00917.x>
 52. Moulia, B., & Fournier, M. (n.d.). The power and control of gravitropic movements in plants: a biomechanical and systems biology view. *Journal of Experimental Botany*, 60(2), 461–486. <https://www.doi.org/10.1093/jxb/ern341>
 53. Muller, L., Bennett, M. J., French, A., Wells, D. M., & Swarup, R. (2018). Root Gravitropism: Quantification, Challenges, and Solutions. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 103–112). https://www.doi.org/10.1007/978-1-4939-7747-5_8
 54. Nakamura, M., Toyota, M., Tasaka, M., & Terao Morita, M. (2015). Live Cell Imaging of Cytoskeletal and Organelle Dynamics in Gravity-Sensing Cells in Plant Gravitropism. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 57–69). https://www.doi.org/10.1007/978-1-4939-2697-8_6
 55. Nishimura, T., Nakano, H., Hayashi, K.-I., Niwa, C., & Koshiba, T. (n.d.). Differential Downward Stream of Auxin Synthesized at the Tip Has a Key Role in Gravitropic Curvature via TIR1/AFBs-Mediated Auxin Signaling Pathways. *Plant and Cell Physiology*, 50(11), 1874–1885. <https://www.doi.org/10.1093/pcp/pcp129>
 56. Ogura, T., Goeschl, C., & Busch, W. (2021). A Multiplexed, Time-Resolved Assay of Root Gravitropic Bending on Agar Plates. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 61–70). https://www.doi.org/10.1007/978-1-0716-1677-2_4
 57. P., P., & M., S. (n.d.). Effect on Root Growth of Endogenous and Applied IAA and ABA: A Critical Reexamination. *Plant Physiology*. <https://www.doi.org/10.1104/PP.83.1.33>
 58. Pan, J., Fujioka, S., Peng, J., Chen, J., Li, G., & Chen, R. (n.d.). The E3 Ubiquitin Ligase SCFTIR1/AFB and Membrane Sterols Play Key Roles in Auxin Regulation of Endocytosis, Recycling, and Plasma Membrane Accumulation of the Auxin Efflux Transporter PIN2 in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Cell*, 21(2), 568–580. <https://www.doi.org/10.1105/tpc.108.061465>
 59. Perbal, G., Jeune, B., Lefranc, A., Carnero-Diaz, E., & Driss-Ecole, D. (n.d.). The dose–response curve of the gravitropic reaction: a re-analysis. *Physiologia Plantarum*, 114(3), 336–342. <https://www.doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1140302.x>
 60. Philosoph-Hadas, S., Friedman, H., & Meir, S. (2015). Flowering Shoots of Ornamental Crops as a Model to Study Cellular and Molecular Aspects of Plant Gravitropism. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 171–198). https://www.doi.org/10.1007/978-1-4939-2697-8_14
 61. Plackett, A. R. G., Di Stilio, V. S., & Langdale, J. A. (n.d.). Ferns: the missing link in shoot evolution and development. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2015.00972>
 62. Prigge, M. J., Platre, M., Kadakia, N., Zhang, Y., Greenham, K., Szutu, W., ... Estelle, M. (n.d.). Genetic analysis of the *Arabidopsis* TIR1/AFB auxin receptors reveals both overlapping and specialized functions. *eLife*, 9. <https://www.doi.org/10.7554/elife.54740>
 63. R., B., A., S., & D., R. (n.d.). An attempt to localize and identify the gravity sensing mechanism of plants. *The Physiologist*.
 64. R., H., & C., L. (n.d.). IAA-Induced Growth Responses of Decapitated Corn Seedlings: Indications of Two Apparent Adaptations with a Possible Role in Gravitropism. *Plant Physiology*. <https://www.doi.org/10.1104/PP.74.2.302>
 65. Rashotte, A. M., Brady, S. R., Reed, R. C., Ante, S. J., & Muday, G. K. (n.d.). Basipetal Auxin Transport Is Required for Gravitropism in Roots of *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 122(2), 481–490. <https://www.doi.org/10.1104/pp.122.2.481>
66. References
67. Robertson, S., Azizpour, H., Smith, K., & Hartman, J. (n.d.). Digital image analysis in breast pathology—from image processing techniques to artificial intelligence. *Translational Research*, 194, 19–35. <https://www.doi.org/10.1016/j.trsl.2017.10.010>
 68. Rorabaugh, P. A., & Salisbury, F. B. (n.d.). Gravitropism in Higher Plant Shoots. *Plant Physiology*, 91(4), 1329–1338. <https://www.doi.org/10.1104/pp.91.4.1329>
 69. Roux, S. J., Serlin, B. S., & Evans, M. L. (n.d.). Cellular mechanisms controlling light-stimulated gravitropism: Role of calcium. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 5(3), 205–236. <https://www.doi.org/10.1080/07352688709382240>
 70. Rujin, C., E., R., & P., M. (n.d.). *Update on Development Gravitropism in Higher Plants 1*.
 71. Sato, E. M., Hijazi, H., Bennett, M. J., Vissenberg, K., & Swarup, R. (n.d.). New insights into root gravitropic signalling. *Journal of Experimental Botany*, 66(8), 2155–2165. <https://www.doi.org/10.1093/jxb/eru515>
 72. Schenck, C. A., Nadella, V., Clay, S. L., Lindner, J., Abrams, Z., & Wyatt, S. E. (n.d.). A proteomics approach identifies novel proteins involved in gravitropic signal transduction. *American Journal of Botany*, 100(1), 194–202. <https://www.doi.org/10.3732/ajb.1200339>
 73. Schüler, O., Hemmersbach, R., & Böhmer, M. (n.d.). A Bird's-Eye View of Molecular Changes in Plant Gravitropism Using Omics Techniques. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2015.01176>
 74. Samsa, M. D., Adeline, R., Peter, G., M., K., D., B., Mateusz, M., ... S., R. (n.d.). A role for the auxin precursor anthranilic acid in root gravitropism via regulation of PIN-FORMED protein polarity and relocalisation in *Arabidopsis*. *New Phytologist*. <https://www.doi.org/10.1111/nph.15877>
 75. Singh, M., Gupta, A., & Laxmi, A. (n.d.). Striking the Right Chord: Signaling Enigma during Root Gravitropism. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2017.01304>

76. Stanga, J., Strohm, A., & Masson, P. H. (2011). Studying Starch Content and Sedimentation of Amyloplast Statoliths in Arabidopsis Roots. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 103–111). https://www.doi.org/10.1007/978-1-61779-234-2_7
77. Strohm, A. K., Baldwin, K. L., & Masson, P. H. (n.d.). Multiple roles for membrane-associated protein trafficking and signaling in gravitropism. *Frontiers in Plant Science*, 3. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2012.00274>
78. Su, S.-H., Gibbs, N. M., Jancewicz, A. L., & Masson, P. H. (n.d.). Molecular Mechanisms of Root Gravitropism. *Current Biology*, 27(17), R964–R972. <https://www.doi.org/10.1016/j.cub.2017.07.015>
79. Su, S.-H., Keith, M. A., & Masson, P. H. (n.d.). Gravity Signaling in Flowering Plant Roots. *Plants*, 9(10), 1290–1290. <https://www.doi.org/10.3390/plants9101290>
80. 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>
81. T., L. (n.d.). Molecular genetic analysis of plant gravitropism. *Gravitational and Space Biology Bulletin : Publication of the American Society for Gravitational and Space Biology*.
82. Thangavel, G., & Nayar, S. (n.d.). A Survey of MADS-Box Genes in Non-seed Plants: Algae, Bryophytes, Lycophytes and Ferns. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2018.00510>
83. Toyota, M., Furuichi, T., Tatsumi, H., & Sokabe, M. (n.d.). Critical consideration on the relationship between auxin transport and calcium transients in gravity perception of Arabidopsis seedlings. *Plant Signaling & Behavior*, 3(8), 521–524. <https://www.doi.org/10.4161/psb.3.8.6339>
84. Valbuena, M. A., Manzano, A., Vandenbrink, J. P., Pereda-Loth, V., Carnero-Diaz, E., Edelmann, R. E., ... Medina, F. J. (n.d.). The combined effects of real or simulated microgravity and red-light photoactivation on plant root meristematic cells. *Planta*, 248(3), 691–704. <https://www.doi.org/10.1007/s00425-018-2930-x>
85. Vandenbrink, J. P., & Kiss, J. Z. (2019). Preparation of a Spaceflight Experiment to Study Tropisms in Arabidopsis Seedlings on the International Space Station. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 207–214). https://www.doi.org/10.1007/978-1-4939-9015-3_17
86. Vandenbrink, J. P., & Kiss, J. Z. (n.d.). Plant responses to gravity. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 92, 122–125. <https://www.doi.org/10.1016/j.semcdb.2019.03.011>
87. Vandenbrink, J. P., Herranz, R., Medina, F. J., Edelmann, R. E., & Kiss, J. Z. (n.d.). A novel blue-light phototropic response is revealed in roots of Arabidopsis thaliana in microgravity. *Planta*, 244(6), 1201–1215. <https://www.doi.org/10.1007/s00425-016-2581-8>
88. Vandenbrink, J. P., Kiss, J. Z., Herranz, R., & Medina, F. J. (n.d.). Light and gravity signals synergize in modulating plant development. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://www.doi.org/10.3389/fpls.2014.00563>
89. Vandenbussche, F., Callebert, P., Zadnikova, P., Benkova, E., & Van Der Straeten, D. (n.d.). Brassinosteroid control of shoot gravitropism interacts with ethylene and depends on auxin signaling components. *American Journal of Botany*, 100(1), 215–225. <https://www.doi.org/10.3732/ajb.1200264>
90. Volkmann, D., & Tewinkel, M. (n.d.). Gravisensitivity of cress roots: investigations of threshold values under specific conditions of sensor physiology in microgravity*. *Plant, Cell & Environment*, 19(10), 1195–1202. <https://www.doi.org/10.1111/j.1365-3040.1996.tb00435.x>
91. Wang, W., Gao, H., Liang, Y., Li, J., & Wang, Y. (n.d.). Molecular basis underlying rice tiller angle: Current progress and future perspectives. *Molecular Plant*, 15(1), 125–137. <https://www.doi.org/10.1016/j.molp.2021.12.002>
92. Wells, D. M., French, A. P., Naeem, A., Ishaq, O., Traini, R., Hijazi, H., ... Pridmore, T. P. (n.d.). Recovering the dynamics of root growth and development using novel image acquisition and analysis methods. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1595), 1517–1524. <https://www.doi.org/10.1098/rstb.2011.0291>
93. Yamamoto, M., & Yamamoto, K. T. (n.d.). Differential Effects of 1-Naphthaleneacetic Acid, Indole-3-Acetic Acid and 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid on the Gravitropic Response of Roots in an Auxin-Resistant Mutant of Arabidopsis, aux1. *Plant and Cell Physiology*, 39(6), 660–664. <https://www.doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a029419>
94. Zhang, C., Zhang, C., Azuma, T., Maruyama, H., Shinano, T., & Watanabe, T. (n.d.). Different nitrogen acquisition and utilization strategies might determine the ecological competition between ferns and angiosperms. *Annals of Botany*, 131(7), 1097–1106. <https://www.doi.org/10.1093/aob/mcad009>
95. Zhang, Y., Li, L., & Friml, J. (2021). Evaluation of Gravitropism in Non-seed Plants. In *Methods in Molecular Biology* (pp. 43–51). https://www.doi.org/10.1007/978-1-0716-1677-2_2
96. Zhang, Y., Xiao, G., Wang, X., Zhang, X., & Friml, J. (n.d.). Evolution of fast root gravitropism in seed plants. *Nature Communications*, 10(1). <https://www.doi.org/10.1038/s41467-019-11471-8>