

Paclobutrazol içerikli priming uygulamasının buğdayda fide özelliklerine etkileri

Effects of paclobutrazol-containing seed priming on seedling traits in wheat

Bekir ATAR¹ , Derya GÜLOĞLU¹ 

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Atabey Meslek Yüksekokulu, Bitkisel Ve Hayvansal Üretim Bölümü, Atabey, Isparta, Türkiye.

ARTICLE INFO	ÖZET
Article history: Recieved / Geliş: 07.05.2025 Accepted / Kabul: 09.07.2025 Anahtar Kelimeler: Buğday Fide dönemi Priming Paclobutrazol Keywords: Wheat Wheat seedling Priming Paclobutrazol ✉Corresponding author/Sorumlu yazar: Bekir ATAR bekiratar@isparta.edu.tr Makale Uluslararası Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 Lisansı kapsamında yayınlanmaktadır. Bu, orijinal makaleye uygun şekilde atıf yapılması şartıyla, eserin herhangi bir ortam veya formatta kopyalanmasını ve dağıtılmasını sağlar. Ancak, eserler ticari amaçlar için kullanılamaz. © Copyright 2022 by Mustafa Kemal University. Available on-line at https://dergipark.org.tr/tr/pub/mkutbd This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.  	Fide döneminde bitki gelişimini kontrol etmek ve istenen morfolojik özellikleri kazandırmak amacıyla kullanılan paclobutrazol güçlü bir büyüme düzenleyicisidir. Çalışmada paclobutrazol içerikli priming uygulamasının buğdayda fide dönemi etkileri incelenmiştir. Üç buğday çeşidine ait tohumlar 30 mg L⁻¹ dozunda paclobutrazol (PBZ 30) içerikli çözeltide 12 saat süreyle bekletilmiş, deneme alanına ekilmiştir. Ekimden bir ay sonra fideler sökülmüş ve ölçümleri yapılmıştır. Sarıbuğday ve Gökala yerel çeşitleri incelenen tüm özellikler bakımından daha büyük fideler oluştururken, Tosunbey modern buğday çeşiti daha küçük fide oluşturmuştur. Priming uygulamaları (Hidropriming ve PBZ 30) fide kök kuru ağırlığı ve klorofil içeriklerini arttırmıştır. PBZ 30 uygulaması kontrole göre fide boyunda yaklaşık %25 oranında azalmaya neden olurken, kök yaş ve kuru ağırlığı ile klorofil içeriklerini arttırmıştır. Hidropriming uygulaması genel olarak toprak üstü aksamalarında (özellikle fide boyunda, 8.3 cm) artışlara neden olmuştur. Klorofil b içeriği ile fide boyu, yaprak sayısı, fide sap yaş ağırlığı ve fide sap kuru ağırlığı arasında pozitif korelasyon bulunmuştur. ABSTRACT Paclobutrazol is a powerful growth regulator used during the seedling stage to control plant growth and impart desired morphological characteristics. In this study, the effects of paclobutrazol-containing priming applications on the seedling stage of wheat were investigated. Seeds of three wheat cultivars were sown in a solution containing paclobutrazol (PBZ 30) at a dose of 30 mg L⁻¹ for 12 hours. One month after sowing, the seedlings were removed and measured. Local varieties Sarıbuğday and Gökala produced larger seedlings in terms of all traits analysed, while Tosunbey modern wheat variety produced smaller seedling traits. Priming treatments (Hydropriming and PBZ 30) increased seedling root dry weight and chlorophyll content. PBZ 30 application caused a 25% decrease in seedling height compared to the control but increased root wet and dry weight and chlorophyll content. Hydropriming treatment generally increased the above-ground parts (especially seedling height, 8.3 cm). A positive correlation was found between chlorophyll b content and seedling height, number of leaves, seedling stem wet weight and seedling stem dry weight.
Cite/Atıf	Atar, B., & Güloğlu, D. (2025). Paclobutrazol içerikli priming uygulamasının buğdayda fide özelliklerine etkileri. <i>Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi</i> , 30 (3), 683-691. https://doi.org/10.37908/mkutbd.1695011

GİRİŞ

Tohum uygulamaları tohumların hızlı ve homojen çimlenmesi (Miraj ve ark., 2013), tohum besin zenginleştirilmesi (Antosovsky & Ryant, 2015; Atar ve ark., 2020), pestisit uygulaması (Khan ve ark., 2014) ve mikroorganizma aşılması (Mahmood ve ark., 2016) gibi çok farklı amaçlarla yapılmaktadır. Tohum uygulamalarında farklı yöntemler ve bitki büyüme düzenleyiciler kullanılmaktadır. Bunlardan biriside paclobutrazoldur. Moleküler formülü $C_{15}H_{20}ClN_3O$, kimyasal adı (2RS,3RS)-1-(4-klorofenil)-4,4-dimetil-2-(1H-1,2,4-triazol-1-il)pentan-3-ol olan paclobutrazol triazol halkası içerdiğinden bitki büyüme düzenleyici sınıfına girmektedir. Özellikle fide boyunun gereksiz uzamasının istenmediği sebze yetiştiriciliğinde sıklıkla kullanılmakta, hormonal dengeleri değiştirerek, bitkinin gelişim hızını ve büyüme düzenini etkilemektedir. Olağan koşullarda bitkiler, büyüme hormonu olan gibberellinlerin sentezlenmesiyle boy atar ve gelişirler. Paklobutrazol, PBZ bitkideki sitokinin, gibberellin ve ABA hormonlarının seviyelerinde değişiklik yaparak büyüme sürecini yavaşlatır ve büyüme hızı kontrollü bir şekilde azaltılmış olur (Berova ve ark., 2002; Davis ve ark., 1988; Larson, 1985). Hücre bölünmesi ve hücrenin uzamasını kısıtlayarak, bitkilerin cüce kalmasını sağlar (Di Benedetto & Klasman, 2007; Pasian & Bennett, 2001) ve vejetatif aksamı daha yoğun, kalın gövdeli bitkilerin oluşumuna olanak tanır. Ayrıca, PBZ'nin antioksidan aktivitesini artırarak (Abbadı ve ark., 2015; Jaleel ve ark., 2007) stres koşullarına karşı bitkilerin direncini artırma potansiyeline de sahiptir. İnsan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkisi belirtilmemiştir.

Paklobutrazol uygulamalarında görülen en belirgin morfolojik değişiklik boy kısalığıdır. Bitki boyunun kontrol altında tutulması, havalandırmanın iyileşmesine ve dolayısıyla hastalıklara karşı direncin artmasına katkıda bulunur. Ayrıca bitki gövdesi daha kalın ve güçlü olduğundan, bitkinin taşıyıcı kapasitesi artar ve meyveler daha iyi desteklenir. Aynı zamanda Paclobutrazol büyüme sırasında biriken biyokütlelerin tohumlara aktarılmasını teşvik eder ve bitkilerde yatmaya dayanıklılığı artırır (Kamran ve ark., 2018; Kuai ve ark., 2015; Rajala ve ark., 2002; Tripathi ve ark., 2003). Paklobutrazol, büyüme hormonlarını baskıladığı için, dağınık bir büyüme veya gereksiz enerji harcaması yerine bitkinin enerjisini, kök, meyve ve çiçek oluşumuna yönlendirerek verimlilik sağlar (Karagüzel, 1999). Bitki başına düşen meyve sayısı artar, meyvelerin aroma ve tadı zenginleşir.

Tarımda optimum kullanımda verimliliği arttıran bir araç olarak görülen paklobutrazol, aynı zamanda stres hormonları olan absisik asit ve salisilik asit seviyelerinde bir artışa neden olarak çevresel stres faktörlerine karşı bitkinin savunma mekanizmasını kuvvetlendirir, bitkinin daha dirençli hale gelmesini sağlar (Miller & Armitage, 2002). Bunlara ek olarak, bitkinin su kullanım etkinliğini arttırarak kuraklık koşullarına dayanımını artırır, yüksek ve düşük sıcaklık değişimlerine karşı daha dayanıklı olmasını sağlar ve topraktaki yüksek tuzluluk durumunda bitkinin toleransını geliştirerek büyümesini destekler (Crouch, 1990). Bu çalışmada, buğday tohumlarına uygulanan paklobutrazolün bitkinin fide döneminde vejetatif büyüme ve gelişmesi üzerine etkileri araştırılmaya çalışılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Deneme 2024 yılında Isparta ekolojik koşullarında, Faktöryel Tesadüf Blokları Deneme Planı'na göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmada ekmeklik Tosunbey ile makarnalık yerel Gökala ve Sarıbuğday çeşitleri kullanılmıştır. Tohumlara ekimden önce priming uygulaması yapılmıştır. Bir grup 12 saat saf suda bekletilmiş (Hidropriming), bir grup 12 saat süreyle 30 mg L⁻¹ paklobutrazol (PBZ 30) içerikli suda bekletilmiş (Albrecht, 1992; Berova ve ark., 2002; Zhang ve ark., 2024), bir grup ise kontrol amaçlı hiç işlem yapılmadan 17.11.2023 tarihinde tarlaya, elle ekilmiştir. Toprak nemi elle kontrol edilerek gerektiğinde damla sulama ile sulanmıştır. Deneme alanı tınlı toprak yapısına sahip, orta kireçli (%12) ve bazik (pH 7.7) yapıdadır (Durgun ve ark., 2017).

Uygulamaların etkilerini belirlemek amacıyla fideler ekimden 1 ay sonra (17.12.2023) sökülerek ölçümleri yapılmıştır. Her parselden 5'er adet bitki toprak kesme aparatı ile sökülerek kısa süre bol suda bekletilmiş ve akan çeşme suyunda topraklarından tamamen temizlenmiş, saf suda durulanmıştır. Fideler sap ve kök kısımlarının

birleştiği yerden ayrılmıştır. Fide boyu, yaprak sayısı, sap ve kök yaş ve kuru ağırlıkları ile klorofil içerikleri belirlenmiştir. Kuru ağırlıklar; fide kısımları etüvde 24 saat 105 OC de bekletildikten sonra ölçülmüştür. Klorofil analizi Arnon (1949)'a göre yapılmıştır. Yaprak örnekleri %80'lik aseton kullanılarak ekstrakte edilmiş 645 ve 663 nm dalga boylarında Spektrofotometrede ölçülmüştür. Klorofil a, b ve toplam klorofil miktarları 1, 2 ve 3 numaralı formüller yardımıyla belirlenmiştir (Singh & Rao, 1981; Yılmaz, 2018).

$$\text{Klorofil a} = [(1,23 \times D_{663} - 0,86 \times D_{645}) / (d \times 1000 \times W \times)] \times V \quad (1)$$

$$\text{Klorofil b} = [(1,93 \times D_{645} - 3,6 \times D_{663}) / (d \times 1000 \times W)] \times V \quad (2)$$

$$\text{Toplam klorofil} = a + b \quad (3)$$

W: Taze yaprak ağırlığı, V: Kullanılan aseton hacmi, D: Absorbans değeri, d: Küvetin ışık yolu uzunluğudur (cm) (genellikle 1 cm alınır). Sonuçlar mg klorofil/g taze yaprak olarak belirlenmiştir. Verilerin analizi 'IBM SPSS Statistics 25' paket programı kullanılarak yapılmış, ortalamalar arası fark Duncan testine göre belirlenmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Çeşitler, klorofil a hariç, incelenen özellikler bakımından istatistiki olarak farklı bulunmuştur (Çizelge 1). Uygulamalar fide boyu, fide kök kuru ağırlığı, klorofil a, b ve toplam üzerinde etkili olmuştur. Çeşit x uygulama interaksiyonlarında ise hiçbir özellik istatistiki olarak farklı bulunmamıştır. Çeşit, uygulama ve interaksiyonlara ait ortalamalar ve oluşan istatistiki gruplar Şekil 1, 2 ve 3 te verilmiştir.

Çeşitler arasında en uzun fide boyu Sarıbuğday çeşidinde bulunurken (9.1 cm) aynı istatistiki grupta yer alan Gökale çeşidinde 8.4 cm bulunmuştur. Tosunbey çeşidinin fide boyu (4.7 cm) oldukça küçük kalmıştır. Hidropriming uygulaması ve kontrol arasında fide boyu (8.3 ve 8.0 cm) bakımından önemli bir fark bulunmazken, PBZ 30 uygulaması (6.0 cm) fide boyunu belirgin şekilde azaltmıştır. İnteraksiyonlar arasında en uzun fide boyu Sarıbuğday x hidropriming uygulamasında (12.0 cm), en düşük ise Tosunbey x PBZ 30 uygulamasında belirlenmiştir. Daha önce yapılan araştırmalarda, tohumu PBZ uygulaması antioksidant aktivitesini arttırmakla birlikte fide boyunu kısalttığı belirtilmiştir (Gai ve ark., 2023; Kamran ve ark., 2018; Kraus ve ark., 1995). Uygulama dozuna bağlı olarak PBZ nin boyu azaltma etkisi %20-45 arasında değişebilmektedir (Ucan & Uğur, 2021). Bu çalışmada PBZ 30 fide boyunu %25 civarında azaltmıştır.

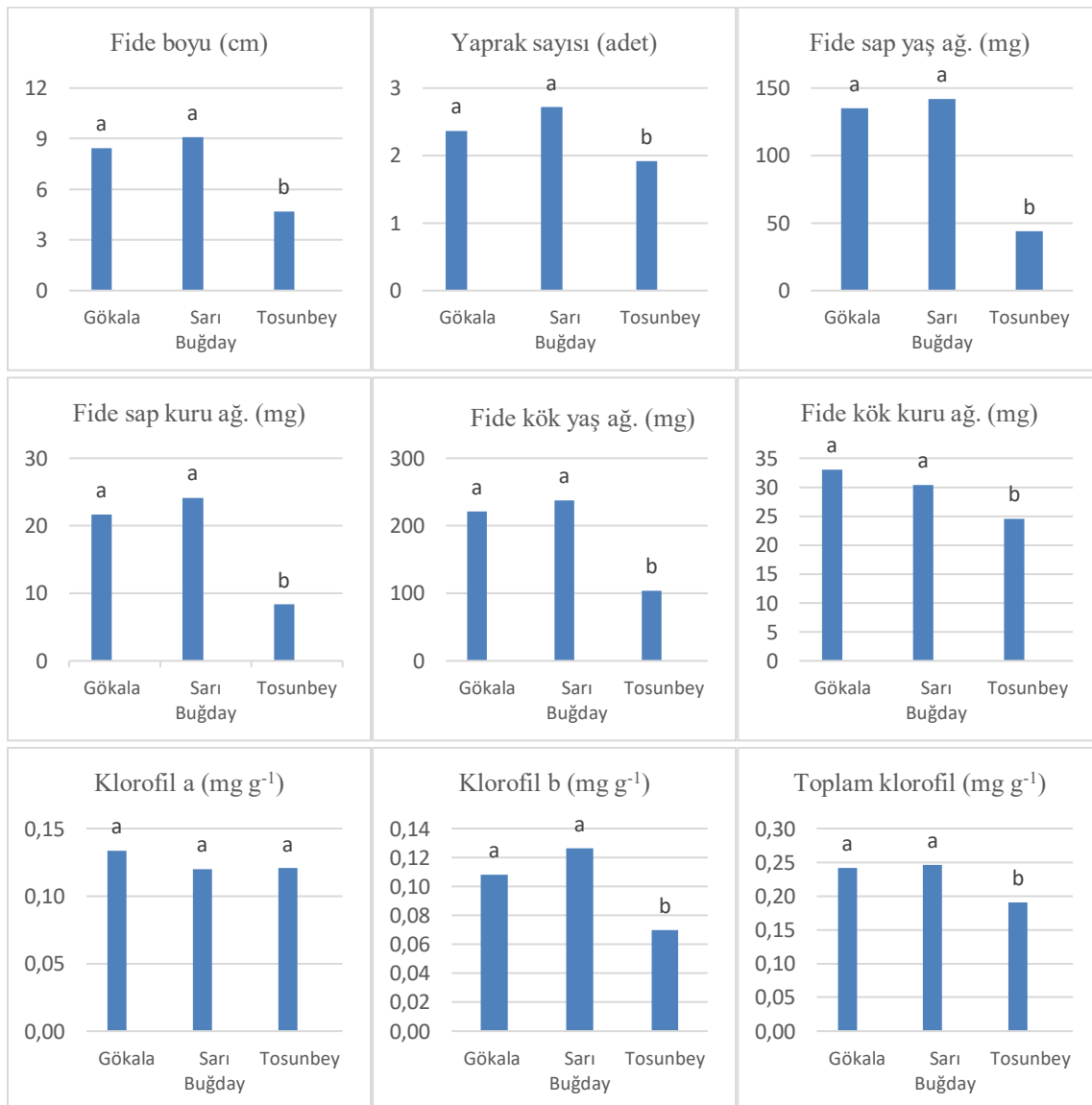
Çizelge 1. Verilere ait varyans analiz sonucu oluşan hata karaler ortalaması ve önemlilik durumları

Table 1. Mean squares values and significance of variance analyses of the data

Varyasyon kaynağı	S.d.	Fide boyu	Yaprak sayısı	Fide sap yaş. ağ.	Fide sap kuru ağ.	Fide kök yaş. ağ.	Fide kök kuru ağ.	Klorofil a	Klorofil b	Toplam klorofil
Çeşit	2	34.0**	1.0**	18134**	434**	31875*	113**	0.11ns	0.01**	0.05**
Uygulama	2	9.3**	0.3ns	716ns	27.4ns	4210ns	44*	0.01**	0.01*	0.03**
Çeş. x Uyg.	4	1.1ns	0.3ns	320ns	8.2ns	6235ns	20.6ns	0.01ns	0.01ns	0.03ns
Hata K. O.	9	0.64	0.11	434	13	5731	9	0.001	0.003	0.007

*: P < 0.05; **: P < 0.01; ns: istatistiki olarak önemli değil

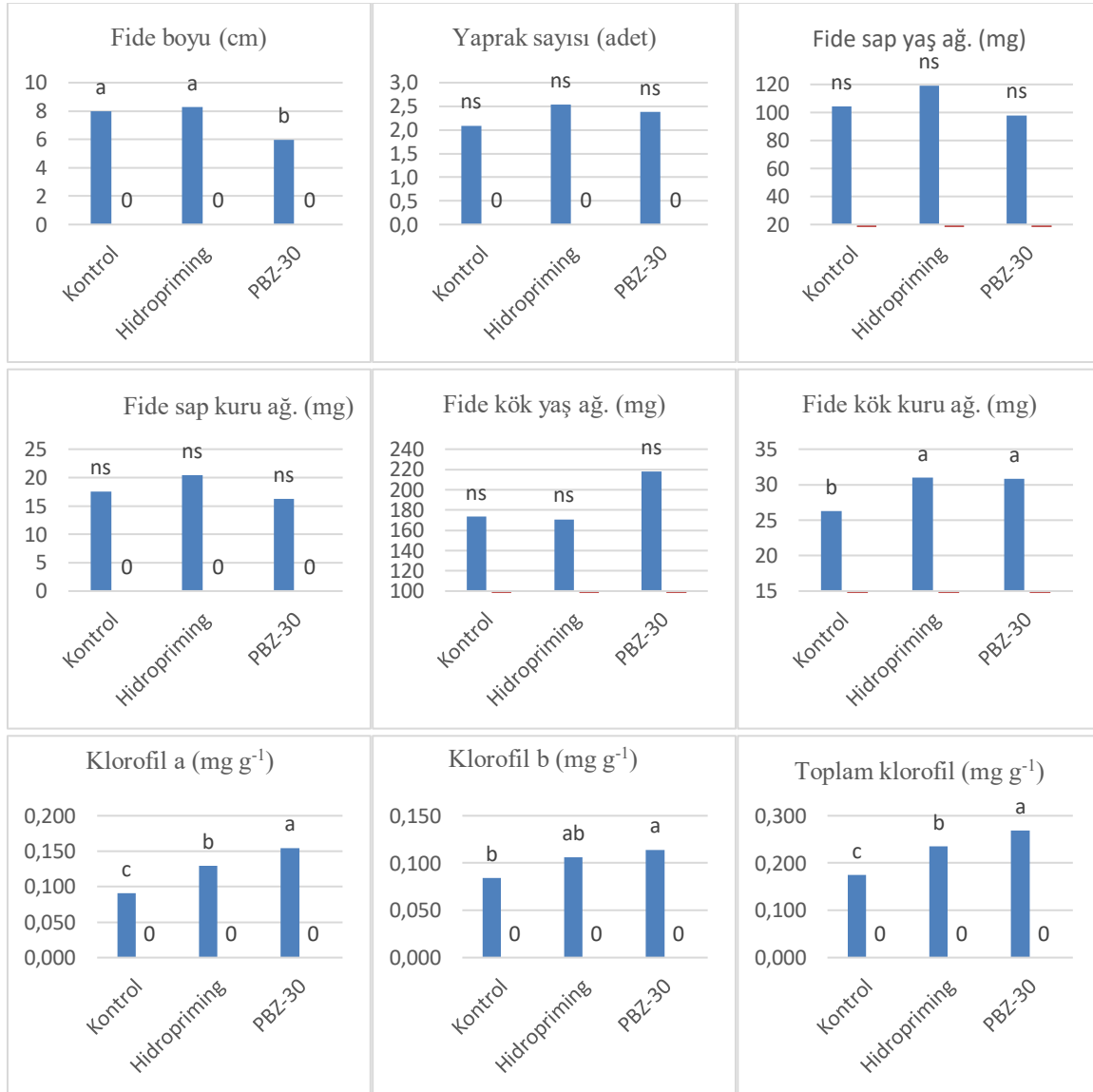
Yaprak sayısı bakımından aynı istatistiki grupta yer alan Sarıbuğday (2.7 adet) ve Gökala çeşidinde (2.4 adet) daha yüksek fide yaprak sayısı bulunurken, Tosunbey çeşidinde (1.9 adet) daha düşük bulunmuştur. Uygulamaların ortalama fide yaprak sayısı 2.0 ve 2.5 arasında değişmiş ve farklar istatistiki olarak önemli olmamıştır. İstatistiki olarak fark önemli olmasa da priming uygulamalarının (özellikle PBZ) yaprak sayısını arttırdığı Gai ve ark. (2023)'ın sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. İnteraksiyonlar arasında da fark bulunmamış, en yüksek değer Sarıbuğday x hidropriming uygulamasında (3.5 adet), en düşük değer Tosunbey x PBZ 30 uygulamasında (1.5 adet) bulunmuştur. Fide sap yaş ağırlığı bakımından Gökala (135 mg) ve Sarıbuğday (142 mg) çeşitleri arasında fark bulunmazken, Tosunbey çeşidinde (44 mg) belirgin olarak düşük bulunmuştur. Uygulamalar fide sap yaş ağırlıkları üzerinde etkili olmamış, ortalamalar 98 (PBZ 30) ve 119 (hidropriming) mg arasında değişmiştir. İnteraksiyonlar arasında fide sap yaş ağırlıkları bakımından fark bulunmazken, ortalamalar 30 mg (Tosunbey x PBZ 30) ile 198 mg (Sarıbuğday x Hidropriming) arasında değişmiştir. Çalışma sonuçlarında da bulunduğu gibi, fide ağırlığının çeşitler arasında büyük değişim gösterdiği ve PBZ uygulamaları fide ağırlığını azalttığı önceki çalışmalarda da belirtilmektedir (Kraus ve ark., 1995).



Şekil 1. Buğdayda çeşitlerin bazı fide özellikleri üzerine etkileri

Figure 1. Effects of wheat cultivars on some seedling traits

Fide sap kuru ağırlıkları bakımından çeşitler arasındaki fark önemli çıkmıştır. Tosunbey çeşidi (8.3 mg) ve diğer çeşitler arasında (Gökala 21.7 mg, Sarıbuğday 24.2 mg) yaklaşık üç kat fark oluşmuştur. Uygulamalar ve interaksiyonlar arasındaki fark ise önemsiz olmuştur. Fide sap kuru ağırlıkları en düşük 5 mg (Tosunbey x PBZ 30), en yüksek 35 mg (Sarıbuğday x hidropriming) ve ortalaması 18 mg olarak belirlenmiştir. PBZ'nin esas olarak toprak üstü kısımların büyümesini engellediği, gövdelerde besin birikimini azalttığı (Gill & Singh, 1993) belirtmektedir. Bu çalışma sonuçlarında da, istatistiki olarak önemli olmasa da, benzer sonuçlar elde edilmiştir. PBZ uygulama zamanı ve dozları da fide yaş ve kuru ağırlığı üzerinde farklı etki göstermektedir, örneğin pirinçte 20 mg/ L etkili olmazken, 40 mg L-1 önemli ölçüde arttırmış, daha yüksek dozlar (80 mg L-1) ise azaltmıştır (Zhang ve ark., 2024).



Şekil 2. Buğdayda Priming uygulamalarının bazı fide özellikleri üzerine etkileri

Figure 2. Effects of priming treatments on some seedling traits in wheat

Gökala (221 mg) ve Sarıbuğday (237 mg) çeşitleri Tosunbey (104 mg) çeşidine göre yaklaşık iki kat fazla fide kök yaş ağırlıkları üretmiştir. PBZ 30 uygulaması (218 mg) fide kök yaş ağırlığını artırsa da, kontrol (173 mg) ve hidropriming (171 mg) uygulamasına göre önemli fark oluşturamamıştır. İnteraksiyonlar arasında fide kök yaş ağırlıkları bakımından belirgin farklılıklar olsa da, bu farklar istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır. Çeşitler arasında en düşük kök kuru ağırlığı Tosunbey çeşidinde (25 mg) belirlenirken, Gökala (33 mg) ve Sarıbuğday (30 mg) çeşitlerinde daha yüksek belirlenmiştir. Hidropriming (31 mg) ve PBZ 30 (31 mg) uygulamaları kök kuru ağırlığını kontrole (26

mg) göre arttırmışlardır. İnteraksiyonlarda kök kuru ağırlıkları 20 ve 39 mg arasında değişirken oluşan farklar önemli bulunmamıştır.



Şekil 3. Buğdayda Priming uygulamalarının çeşit x uygulama interaksiyonlarının bazı fide özellikleri üzerine etkileri
Figure 3. Effects of cultivar x treatment interactions of priming treatments on some seedling traits in wheat

PBZ uygulamalarının yapraktaki asimilatların hızlı bir şekilde köklere aktarılmasını teşvik ettiği (Burrows ve ark., 1992; Rieger & Scalabrelli, 1990), kök büyümesinde artışa neden olduğu (Gao ve ark., 1988; Grossmann, 1990) belirtilmektedir. Çalışma sonuçlarında da görüleceği gibi (Şekil 2), PBZ uygulaması köklerin yaş ve kuru ağırlıklarını olumlu yönde etkilemiştir.

Klorofil b ve toplam klorofil miktarlarında Tosunbey çeşidinde daha düşük, Gökala ve Sarıbuğday çeşitlerinde daha yüksek değerler bulunmuştur (Şekil 1). Kontrole göre hidropriming ve PBZ 30 uygulamalarında daha yüksek klorofil içerikleri belirlenmiştir (Şekil 2). İnteraksiyonlarda ise klorofil içeriği bakımından oluşan farklar istatistiki olarak önemli bulunmamıştır (Şekil 3). Kuraklık, yüksek ve düşük sıcaklık, tuz, kirlilik ve besin elementi eksikliği stresi durumlarında klorofil içeriğini azaltmaktadır (Khayatnezhad & Gholamin, 2012; Sharma ve ark., 2020). Normal ve stres koşullarında PBZ uygulamalarının toplam klorofil içeriğini arttırdığını belirten çok sayıda çalışma mevcuttur (Abbadi ve ark., 2015; Ahmad ve ark., 2019; Bañón ve ark., 2002; Berova ve ark., 2002; Liu ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2007) ve bunu sitokinin sentezini uyararak, klorofil bozulmasını ve biyosentezini artırarak yaptığı öne

sürülmektedir (Fletcher ve ark., 2010). Klorofil içeriklerine PBZ uygulamalarının dozu da farklı etkilerde bulunmaktadır. Düşük dozlara (20-40 mg L⁻¹) oranla yüksek dozlarda (80 mg L⁻¹) daha fazla klorofil içeriği tespit edilebilmektedir (Gai ve ark., 2023; Zhang ve ark., 2024). Başka bir deyişle PBZ uygulamalarında doz arttıkça etki de artmaktadır.

Çizelge 2. Priming uygulamalarının fide özellikleri üzerine etkisinin korelasyon analizi

Table 2. Correlation analysis of the effect of priming treatments on seedling characteristics

	Fide boyu	Yaprak sayısı	Fide sap yaş. ağ.	Fide sap kuru	Fide kök yaş. ağ.	Fide kök kuru	Klorofil a	Klorofil b	Toplm klorofil
Fide boyu	1.00								
Yaprak sayısı	0.60	1.00							
Fide sap yaş. ağ.	0.92	0.70	1.00						
Fide sap kuru ağ.	0.93	0.72	0.98	1.00					
Fide kök yaş. ağ.	0.35	0.37	0.47	0.39	1.00				
Fide kök kuru ağ.	0.41	0.60	0.60	0.57	0.56	1.00			
Klorofil a	-0.25	0.15	-0.03	-0.05	0.24	0.32	1.00		
Klorofil b	0.57	0.63	0.71	0.72	0.32	0.49	0.43	1.00	
Toplm klorofil	0.18	0.46	0.40	0.39	0.33	0.48	0.85	0.84	1.00

Korelasyon analizinde, özellikler arasında önemli negatif ilişki bulunmazken, toprak üstü aksamı arasında beklenen pozitif ilişki belirgindir (Çizelge 2). Fide kök kuru ağırlığı ile, klorofil içerikleri hariç, diğer özellikler arasında da pozitif ilişki bulunmaktadır. Klorofil a ile diğer fide özellikleri arasında bir ilişki belirlenmezken, klorofil b ile toprak üstü aksamı arasında pozitif bir ilişki açık şekilde görülmektedir. .

Sonuç olarak; gelişim düzenleyicileri zamanında ve dozunda kullanarak bitkilerin morfolojik gelişimleri kontrol edilebilmektedir. Bu durum stres faktörlerinin olumsuz etkisini azaltmada faydalı olmaktadır. Çalışmada kullanılan 30 ppm dozundaki PBZ buğdayın ilk gelişim devresinde toprak üstü aksamının küçülmesine, kök yaş ve kuru ağırlığının artmasına neden olmuştur. Bu durum kış öncesi olumsuz çevre faktörlerine dayanabilecek güçlü bitki oluşumu anlamına gelmektedir. Özellikle kışın stres şartlarına maruz kalma ihtimali yüksek yerlerde tohumu PBZ uygulaması buğdayın direncini arttıracaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMA BEYANI

Yazarlar aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamışlardır

ETİK ONAY BEYANI

Çalışmada insan veya hayvan denekleri kullanılmadığından etik onaya gerek bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abbadi, A., Shekari, F., & Mustafavi, S.H. (2015). Effect of paclobutrazol and salicylic acid on antioxidants enzyme activity in drought stress in wheat. *Idesia*, 33 (4), 5-13.
- Ahmad, I., Kamran, M., Su, W., Haiqi, W., Ali, S., Bilegjalgal, B., Ahmad, S., Liu, T., Cai, T., & Han, Q. (2019). Application of uniconazole improves photosynthetic efficiency of maize by enhancing the antioxidant defense mechanism and delaying leaf senescence in semiarid regions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 855-869.

- Albrecht, M.L. (1992). Tips on the use of chemical growth regulators on floriculture crops. In H. K. Tayama, Larson, A.R., Hammer, A.P., Roll, J.T. (Ed.), *Plant regulators*. Columbus, Ohio : Ohio Florists' Association.
- Antosovsky, J., & Ryant, P. (2015). The yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain after application of micronutrients on seed. *Mendel. Net*, 17-22.
- Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24 (1), 1.
- Atar, B., Uygur, V., & Sukuşu, E. (2020). Effects of priming with copper, zinc and phosphorus on seed and seedling composition in wheat and barley. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 104-111.
- Bañón, S., González, A., Cano, E.A., Franco, J.A., & Fernández, J.A. (2002). Growth, development and colour response of potted *Dianthus caryophyllus* cv. Mondriaan to paclobutrazol treatment. *Scientia horticulturae*, 94 (3-4), 371-377.
- Berova, M., Zlatev, Z., & Stoeva, N. (2002). Effect of paclobutrazol on wheat seedlings under low temperature stress. *Bulg. J. Plant Physiol*, 28 (1-2), 75-84.
- Burrows, G., Boag, T., & Stewart, W. (1992). Changes in leaf, stem, and root anatomy of *Chrysanthemum* cv. Lillian Hoek following paclobutrazol application. *Journal of Plant Growth Regulation*, 11, 189-194.
- Crouch, I. (1990). *The effect of seaweed concentrate on plant growth*. [Doctoral dissertation, Department of Botany, Faculty of Science University of Natal].
- Davis, T.D., Steffens, G.L., & Sankhla, N. (1988). Triazole plant growth regulators. *Horticultural Reviews*, 10, 63-105.
- Di Benedetto, A., & Klasman, R. (2007). The effects of plug cell volume, paclobutrazol height control and the transplant stage on the post-transplant growth of *Impatiens wallerana* pot plant. *European Journal of Horticultural Science*, 72 (5), 193.
- Durgun, B., Uygur, V., Durgun, B., & Sukuşu, E. (2017). Isparta-Atabey ovası topraklarında mikro element yarıyışlılığı ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin temel bileşen analizi ile belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32 (2), 258-268.
- Fletcher, R.A., Gilley, A., Sankhla, N., & Davis, T.D. (2010). Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Horticultural Reviews*, 24, 55-138.
- Gai, D., Liu, W., Liang, J., Guo, L., Geng, Y., Zhang, Q., Du, J., Gao, J., & Shao, X. (2023). The Effects of paclobutrazol seed soaking on biomass production and yield formation in direct-seeded rice. *Agronomy*, 13 (5), 1402.
- Gao, J., Hofstra, G., & Fletcher, R. (1988). Anatomical changes induced by triazoles in wheat seedlings. *Canadian Journal of Botany*, 66 (6), 1178-1185.
- Gill, D., & Singh, O. (1993). Modification of growth, yield and lodging response of lentil to phosphorus by paclobutrazol. *Annals of Applied Biology*, 123 (3), 667-671.
- Grossmann, K. (1990). Plant growth retardants as tools in physiological research. *Physiologia Plantarum*, 78 (4), 640-648.
- Jaleel, C.A., Gopi, R., Manivannan, P., & Panneerselvam, R. (2007). Responses of antioxidant defense system of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. to paclobutrazol treatment under salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29, 205-209.
- Kamran, M., Ahmad, I., Wu, X., Liu, T., Ding, R., & Han, Q. (2018). Application of paclobutrazol: a strategy for inducing lodging resistance of wheat through mediation of plant height, stem physical strength, and lignin biosynthesis. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 29366-29378.
- Karagüzel, O. (1999). Effects of paclobutrazol on growth and flowering of *Bougainvillea spectabilis* Willd. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23 (8), 527-532.
- Khan, A.R., Ullah, I., Khan, A.L., Hong, S.-J., Waqas, M., Park, G.-S., Kwak, Y., Choi, J., Jung, B.-K., & Park, M. (2014). Phytostabilization and physicochemical responses of Korean ecotype *Solanum nigrum* L. to cadmium contamination. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225, 1-11.

- Kraus, T.E., McKersie, B.D., & Fletcher, R.A. (1995). Paclobutrazol-induced tolerance of wheat leaves to paraquat may involve increased antioxidant enzyme activity. *Journal of Plant Physiology*, 145 (4), 570-576.
- Khayatnezhad, M., & Gholamin, R. (2012). The effect of drought stress on leaf chlorophyll content and stress resistance in maize cultivars (*Zea mays*). *African Journal of Microbiology Research*, 6 (12), 2844-2848.
- Kuai, J., Yang, Y., Sun, Y., Zhou, G., Zuo, Q., Wu, J., & Ling, X. (2015). Paclobutrazol increases canola seed yield by enhancing lodging and pod shatter resistance in *Brassica napus* L. *Field Crops Research*, 180, 10-20.
- Larson, R.A. (1985). Growth regulators in floriculture. *Hortic. Rev.*, 7, 399-348.
- Liu, Y., Fang, Y., Huang, M., Jin, Y., Sun, J., Tao, X., Zhang, G., He, K., Zhao, Y., & Zhao, H. (2015). Uniconazole-induced starch accumulation in the bioenergy crop duckweed (*Landoltia punctata*) II: transcriptome alterations of pathways involved in carbohydrate metabolism and endogenous hormone crosstalk. *Biotechnology for Biofuels*, 8, 1-12.
- Mahmood, A., Turgay, O.C., Farooq, M., & Hayat, R. (2016). Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: a review. *FEMS Microbiology Ecology*, 92 (8), fiw112.
- Miller, A., & Armitage, A.M. (2002). Temperature, irradiance, photoperiod, and growth retardants influence greenhouse production of *Angelonia angustifolia* Benth. Angel Mist series. *HortScience*, 37 (2), 319-321.
- Miraj, G., Shah, H., & Arif, M. (2013). Priming maize (*Zea mays*) seed with phosphate solutions improves seedling growth and yield. *J. Anim. Plant Sci.*, 23, 893-899.
- Pasian, C., & Bennett, M. (2001). Paclobutrazol soaked marigold, geranium, and tomato seeds produce short seedlings. *HortScience*, 36 (4), 721-723.
- Rajala, A., Peltonen-Sainio, P., Onnela, M., & Jackson, M. (2002). Effects of applying stem-shortening plant growth regulators to leaves on root elongation by seedlings of wheat, oat and barley: mediation by ethylene. *Plant Growth Regulation*, 38, 51-59.
- Rieger, M., & Scalabrelli, G. (1990). Paclobutrazol, root growth, hydraulic conductivity, and nutrient uptake of 'Nemaguard' peach. *HortScience*, 25 (1), 95-98.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Singh Sidhu, G.P., Bali, A.S., ... & Zheng, B. (2020). Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39, 509-531.
- Singh, S., & Rao, D. (1981). Certain responses of wheat plants to cement dust pollution. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 24 (1), 75-81.
- Tripathi, S.C., Sayre, K., Kaul, J., & Narang, R. (2003). Growth and morphology of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) culms and their association with lodging: effects of genotypes, N levels and ethephon. *Field Crops Research*, 84 (3), 271-290.
- Ucan, U., & Uğur, A. (2021). Acceleration of growth in tomato seedlings grown with growth retardant. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45 (5), 669-679.
- Yilmaz, M.T. (2018). Effects of Cement dust on chlorophyll and metabolism products. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18 (3), 279-287.
- Zhang, M., Duan, L., Tian, X., He, Z., Li, J., Wang, B., & Li, Z. (2007). Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system. *Journal of Plant Physiology*, 164 (6), 709-717.
- Zhang, Y., He, Z., Xing, P., Luo, H., Yan, Z., & Tang, X. (2024). Effects of paclobutrazol seed priming on seedling quality, photosynthesis, and physiological characteristics of fragrant rice. *BMC Plant Biology*, 24 (1), 53.