

Atf için: Çirka M, Tunçtürk R, Kulaz H, Tunçtürk M, Eryiğit T, Baran İ, 2022. Kuraklık Stresi Altında Yetiştirilen Bakla (*Vicia Faba* L.) Bitkisinde Rizobakteri ve Alg Uygulamalarının Bitki Gelişimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(2): 1124-1133.

To Cite: Çirka M, Tunçtürk R, Kulaz H, Tunçtürk M, Eryiğit T, Baran İ, 2022. Investigation of the Effects of Rhizobacteria and Algae Applications on Plant Growth in Broad Bean (*Vicia faba* L.) Plant Grown under Drought Stress. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(2): 1124-1133.

Kuraklık Stresi Altında Yetiştirilen Bakla (*Vicia Faba* L.) Bitkisinde Rizobakteri ve Alg Uygulamalarının Bitki Gelişimi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Mustafa ÇİRKA^{1,2*}, Rüyeyde TUNÇTÜRK³, Haluk KULAZ³, Murat TUNÇTÜRK³, Tamer ERYİĞİT⁴, İshak BARAN³

ÖZET: Bu çalışma, rizobakteri ve alg uygulamalarının, kuraklık stresi altında yetiştirilen baklada (*Vicia faba* L.) bazı fizyolojik ve biyokimyasal özelliklere olan etkisini belirlemek için yapılmıştır. Çalışma tesadüf parselleri deneme deseni'ne göre faktöriyel düzende 4 tekerrürlü olarak şekilde yürütülmüştür. Denemede bitki materyali olarak Filiz-99 bakla çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada üç farklı kuraklık seviyesi (%100 NS, %50 K₁ ve %25 K₂) ve dört farklı biyolojik uygulama (Kontrol, *Bacillus megaterium* (B₁), *Azospirillum lipoferum* (B₂) ve *Chlorella saccharophila* (A)) mavi yeşil alg kullanılmıştır. Kuraklık stresi klorofil, yaprak sıcaklığı ve MDA üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur. En yüksek klorofil değerleri (44.45 ve 42.78 µg cm⁻²) ile K₂ ve K₁ uygulamalarından alınırken en düşük klorofil değer ise (36.82 µg cm⁻²) ile NS uygulamasından alındığı tespit edilmiştir. En yüksek yaprak sıcaklığı (25.91 °C) K₂ ve en düşük yaprak sıcaklığı (24.78 °C) NS uygulamasından elde edilmiştir. Ayrıca, bakteri ve alg uygulamaları yaprak alanı ve Malondialdehit içeriği üzerindeki etkisi anlamlı görülmüştür. En yüksek yaprak alanı değeri (10.71 cm²) A uygulamasından alınırken en düşük değer (8.02 cm²) ise B₁ uygulamasından saptanmıştır. En yüksek Malondialdehit içeriği (0.86 nmol g⁻¹) kontrol gurubundan elde edilirken en düşük değerler ise (0.63, 0.67 ve 0.68 nmol g⁻¹) ile B₁, B₂ ve A uygulamalarından elde edilmiştir. Çalışmada interaksiyon göz önüne alındığında, en yüksek MDA değerleri (0.85 ve 0.95 nmol g⁻¹) olarak kontrol x K₁ ve kontrol x K₂ uygulamalarından elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakla (*Vicia faba* L.), Rizobakteri, Kuraklık stresi

Investigation of the Effects of Rhizobacteria and Algae Applications on Plant Growth in Broad Bean (*Vicia faba* L.) Plant Grown under Drought Stress

ABSTRACT: This study was carried out to determine the effects of rhizobacteria and algae treatments on some physiological and biochemical properties of broad bean (*Vicia faba* L.) grown under drought stress. The study was carried out in a factorial arrangement with 4 replications according to the completely randomized experimental design. Filiz-99 broad bean variety was used as plant material in the experiment. In the study, three different drought levels (100% NS, 50% K₁ and 25% K₂) and four different biological treatments (Control, *Bacillus megaterium* (B₁), *Azospirillum lipoferum* (B₂) and *Chlorella saccharophila* (A)) blue green algae were applied. The effects of drought stress on chlorophyll, leaf temperature and MDA were found to be significant. It was determined that the highest chlorophyll values (44.45 and 42.78 µg cm⁻²) were obtained from K₂ and K₁ applications, while the lowest chlorophyll value (36.82 µg cm⁻²) were obtained from NS application. The highest leaf temperature (25.91 °C) was obtained from K₂ and the lowest leaf temperature (24.78 °C) was obtained from NS application. Additionally, the effects of bacteria and algae applications on leaf area and malondialdehyde content were found to be significant. In leaf area, the highest value (10.71 cm²) was determined from A application, and the lowest value (8.02 cm²) from B₁ application. The highest Malondialdehyde content (0.86 nmol g⁻¹) was obtained from control while the lowest values (0.63, 0.67 and 0.68 nmol g⁻¹) were obtained from B₁, B₂ and A applications, respectively. Considering the interactions in the study, the highest MDA values of (0.85 and 0.95 nmol g⁻¹) were obtained from control x K₁ and control x K₂ applications.

Keywords: Broad Bean (*Vicia faba* L.), Rhizobacteria, Drought Stress

^{1,2} Mustafa ÇİRKA (Orcid ID: 0000-0001-6506-7407), ¹İğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, İğdır, Türkiye, ²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye

³Rüyeyde TUNÇTÜRK (Orcid ID: 0000-0002-3759-8232), Haluk KULAZ (Orcid ID: 0000-0003-3044-5046), Murat TUNÇTÜRK (Orcid ID: 0000-0002-7995-0599), İshak BARAN (Orcid ID: 0000-0002-6299-8043), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye

⁴Tamer ERYİĞİT (Orcid ID: 0000-0001-5069-8206), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Gevaş Meslek Yüksek Okulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mustafa ÇİRKA, e-mail: m_cirka@hotmail.com

GİRİŞ

Ilıman iklim bitkisi olan bakla, börülce, fasulye ve bezelyeye nazaran soğuklara daha dayanıklıdır ve protein içeriği bakımından yeşil bakla %5 ile %7 aralığında değer içerirken, kuru bakla ise %20 ile %36 aralığında bir değere sahiptir (Vural ve ark., 2000). Dünyada 2.671.497 hektarlık alanda kuru bakla ekimi yapılmakta olup, bu alandan 5.669.185 ton ürün elde edilmektedir (FAO 2020). Bakla ülkemizde sebze ve kuru tane olarak değerlendirilmekte ve ayrıca gıda ve konserve sanayisinde kullanılmaktadır. İnsan beslenmesinde önemli bir yere sahip olan bakla yetiştiricilik masrafları en az olan kültür bitkilerinden birisidir. İlkbaharda erken ürün verdiği için ekim nöbetinde iyi bir ön bitkidir. Ayrıca azot fiksasyonu yüksek olan baklanın yeşil gübre olarak toprak verimliliğinin artırılmasında büyük önemi vardır (Özdemir, 2002).

İklim değişikliğine bağlı olarak meydana gelen önemli konulardan biri de kuraklıktır. Kuraklığı daha genel bir ifadeyle tanımlamak gerekirse, azalan yağışlar ve artan sıcaklık sonucu oluşan ve bir veya birden fazla mevsime yayılabilen iklim olayı olarak isimlendirebiliriz (Akbaş, 2014). Genellikle ilk etkileri tarım alanlarında ortaya çıkan kuraklık, daha sonralarında suya bağlı işletmeleri de etkileyebilmektedir (Kapluhan, 2013) Kurak şartlarda bitkilerde meydana gelen morfolojik değişikliklerde, yaprak alanının daralmasıyla tranprasyon miktarında düşüş ve köklerde ise gövdeye oranla daha fazla gelişme sağlanarak ortamdaki sudan gereği kadar yararlanma şeklinde görülür. Kurak şartlarda fotosentez hızı yavaşlar. Bunun nedeni fotosentez olayında rol alan bileşiklerin kök bölgesine yönlendirilmesidir. Böylece köklerde hızlı bir gelişme sağlanırken fotosentez hızında meydana gelen düşüş filizlerin gelişimini engeller (Öztürk ve ark., 1992). Kuraklığa maruz kalan bitkiler, hormon ve iyon mekanizmalarını devreye sokarlar. Hormon mekanizmasında kuraklık esnasında bitkilerin hücrelerinde artan absisik asit (ABA) ile birlikte stomaların kapanması sağlanırken iyon mekanizmasında ise stoma hücrelerine bağlı olan potasyum iyonu alınarak stomaların açılması sağlanır (Çırak ve Esendal, 2006). Stomaların kapanması karbondioksit alım oranı düşürür ve bunun neticesinde fotosentez olayı yavaşlar. Bitkilerin kuraklık stresine verdikleri tepkiler genel itibariyle genetik yapılarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedirler (Chaves ve ark., 2002).

Toprakta bulunan mikroorganizmalarla bitkiler arasında simbiyotik bir bağın olduğu bilinen bir gerçektir. Arbuskular Mikorizal Funguslar (AMF) bu birlikteliğin bilinen en iyi örneklerindedir (Tüfenkçi ve ark., 2012). Abiyotik ve biyotik stres koşulları tarımsal üretimi kalite ve verim anlamında kayda değer oranlarda etkilemektedir. AMF ve PGPR birlikteliğiyle bitkinin stresten korunduğu ve böylelikle bitki gelişmesinin teşvik edildiği belirlenmiştir. Öte yandan bu birlikteliğin bitkiyi koruduğu gibi toprağın canlılığını da koruduğu ileri sürülmüştür (Nadeem ve ark., 2014). Bitki kök bölgesinde yaşayan bazı bakterilerin bitki gelişimini birçok açıdan etkilediği bilinmektedir. Bu faydaya dönük bakterileri (Kloepper ve ark., 1980), Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) olarak isimlendirilmiş ve ayrıca bitkiye sağladığı birçok yarardan dolayı Probiyotik Rizobakteriler olarak ta bilinirler. Bitkiler açısından birçok öneme sahip olan bu bakteriler, özellikle fosforu ve ağır metalleri çözebilme, azotu bağlayabilme, su ve mineral alımını artırabilme, hormon üretebilme, bitkideki enzim aktivitesini artırabilme ve kök gelişimini destekleyebilme gibi birçok etki alanına sahip olmasından dolayı bitki gelişimini teşvik etme kabiliyetine sahiptirler (Djordjevic ve ark., 1987; Ferreira, M.C.B. ve ark., 1987). Azot içeriği bakımından çiftlik gübresine yakın olan algler, bitkisel üretimde alternatif kullanımlardan biridir. Ayrıca toprağın daha iyi havalanmasında ve toprak neminin muhafaza edilmesinde yardımcı olarak görev almaktadırlar (Aktar ve Cebe, 2010).

Bu çalışma, bakla (*Vicia faba* L.) bitkisinin alg ve rizobakteri uygulamaları neticesinde kuraklık stresi koşullarından nasıl etkilendiğini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

MATERYAL ve METOT

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü'nde tam kontrollü iklim kabininde 2020 yılında yürütülen bu çalışma, tesadüf parselleri deneme deseni'ne göre faktöriyel düzende 4 tekerrürlü olacak şekilde yapılmıştır. Çalışmada tohumluk materyali olarak Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen Filiz-99 bakla (*Vicia faba* L.) çeşidi kullanılmıştır. Çalışma, normal su (NS), 1/2 oranında (K₁) ve 3/4 oranında (K₂) azaltılmış su uygulamalarıyla birlikte bir kontrol grubu, *Azospirillum lipoferum* (1x10⁶ kob/ml) (B₁), *Bacillus megaterium* (1 x 10⁵ kob/ml) (B₂), rizobakterileri ile *Chlorella saccharophila* (2 x 10⁴ kob ml⁻¹) (A) mikroalg olmak üzere üç mikroorganizma kullanılmış ve çalışma 4x3x4=48 saksı ile kurulmuştur. Bakla tohumları %70 (v/v) etanol içerisinde 2 dakikalık süreyle muamele edildikten hemen sonra saf su ile 10 defa yıkanarak kimyasaldan arındırılmıştır (Çakmakçı ve ark., 2014). Bu şekilde arındırılan bakla tohumları, 10 ml lt⁻¹ dozunda hazırlanmış rizobakteri solüsyonuna (*Bacillus megaterium* ve *Azospirillum lipoferum*) ve %5 oranında hazırlanmış olan mavi yeşil alg (*Chlorella saccharophila*) solüsyonuna batırılmıştır. Bu işlem 81 rpm'de döner bir karıştırıcı ile 20 saat boyunca devam ettirilmiştir (Çakmakçı ve ark, 2014). Çalışma, 3 adet tohum ekilmek üzere toprak ve perlit (2:1) karışımından meydana gelen ve 2 lt'lik saksılarda kurulmuştur. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme laboratuvarında yapılan analizler neticesinde saksılarda kullanılan harcın (toprak + perlit) organik madde bakımından fakir, tuzsuz ve hafif alkali olduğu belirlenmiştir. Tohum ekimi yapıldıktan sonra harcın nem içeriğine bakılarak bitkilerde çıkış sağlanana kadar 50 cc can suyu verilmiş ve çıkışlar başladıktan sonra bu uygulamaya devam edilmemiştir. Saksılarda tarla kapasitesi nem içerikleri kuraklık muamelesi öncesinde yapılmıştır. Bu işlemden hemen sonra saksılar tartılmış ve sulama uygulamaları yapılarak tarla kapasitesine getirilmiştir (Çoşkan ve Şenyiğit, 2018; Karagöz ve ark., 2018). Bakla bitkisinde azot içeriği 4 kg da⁻¹ ve fosfor (P₂O₅) için 9 kg da⁻¹ olmak şartıyla besin çözültisi hazırlanmış ve hazırlanan bu çözültüler saksılara verilmiştir. Her saksıda tek bir bitki kalacak şekilde seyreltme yapıldıktan sonra kuraklık uygulamalarına başlanmıştır. Fidelerde çiçeklenme başlamadan önce (45. günde) hasat işlemi gerçekleştirilmiştir (Tunçtürk ve ark., 2021).

Yapraklarda klorofil oranı-içeriği Dualex scientific + (FORCE-A, Fransa) cihazı kullanılarak yaprak üzerinde tahribatsız ve gerçek zamanlı olacak şekilde ölçüm yapılmıştır. Yaprak alanı (YA) için Easy Leaf Area programı (Easlon ve Bloom, 2014), yaprak sıcaklığı (YS) için ise infrared termometre kullanılmıştır. Arora ve ark., (2002)'ye göre yaprak dokularında bağıl su içeriği, Premchandra ve ark. (1990) ve Sairam ve Saxena (2000)'a göre ise yaprak dokularında iyon sızıntısı miktarı ve yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi yapılmıştır.

Verilerin İstatistiksel Analizi

Çalışmada elde edilen veriler, Costat (sürüm 6.34) paket programı yardımıyla Tesadüf Parselleri Deneme Deseninde faktöriyel düzene göre varyans analizine tabi tutulmuş ve ortalamalar LSD çoklu karşılaştırma testine göre yapılmıştır (Düzgüneş ve ark. 1987).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Klorofil Oranı (µg cm⁻²)

Çalışmada elde edilen klorofil oranı değerleri Çizelge 1'de verilmektedir. Buna göre, bakla bitkisinde klorofil oranı üzerine kuraklık stresinin etkisi önemli bulunmuş olup, en yüksek klorofil oranı değeri (44.45 ve 42.78 µg cm⁻²) ile K₁ ve K₂'den ve en düşük değer ise (36.82 µg cm⁻²) ile NS uygulamasından elde edilmiştir. Rizobakterilerin ve algın klorofil içeriği üzerindeki etkisinin önemsiz olduğu ve bu değerlerin 40.73 ve 42.14 µg cm⁻² aralığında değiştiği belirlenmiştir. Kuraklık stresi,

bakteri ve alg faktörlerine ait interaksiyon etkisinin önemli olmadığı ve klorofil içeriğinin ise 34.37-46.66 $\mu\text{g cm}^{-2}$ arasında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Kuraklık stresi altındaki bitkilerde fotosentetik sistemler oldukça hassas olduğundan öncelikle bu yapılarda zarar meydana gelmektedir. Bu durum klorofil oranının düşmesine neden olmaktadır (Huo ve ark., 2016). Bakteri gibi bazı mikroorganizmaların kök bölgesinde kolinize olarak abiyotik stres faktörlerine karşı bitkilere direnç sağlamanın yanı sıra besin kullanım etkinliğini arttırdığı bildirilmiştir (Inbar ve ark., 1994). Bunun sonucunda fotosentez aktivitesi artarak klorofil oranı gibi parametreleri olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir (Harman ve ark., 2004). Benzer bir çalışmada yer fıstığında üç farklı su kısıtlaması (%40, %60 ve %80) uygulaması altında mavi ve yeşil alglerden oluşan solüsyon püskürtme yoluyla yapraklara uygulanması sonucunda klorofil değerleri, fotosentetik pigmentler, verim bileşenleri ve karbonhidrat içeriklerinde düzelmeler meydana gelmiştir. Bu durum fotosentezde etkili parametreler olan fotosentetik verimlilik, klorofil oranı ve klorofil floresans değerlerini arttırdığı görülmüştür (Saied ve ark., 2020).

Çizelge 1. Kuraklık stresi ve rizobakteri uygulamalarının baklada bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerindeki etkisi

Uygulamalar	Kuraklık Stresi	Klorofil Oranı ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	Yaprak Alanı (cm^2)	Yaprak Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	MDA ** (nmol g^{-1})	
Kontrol	NS	34.37	10.60	24.80	0.78 b-d	
	K ₁	46.66	8.89	25.42	0.85 a	
	K ₂	41.69	9.69	26.28	0.95 a	
	Ort.	40.90	9.73 AB	25.50	0.86 A	
Bakteriler *	B ₁	NS	37.07	9.41	25.32	0.67 c-f
		K ₁	45.30	7.35	25.33	0.58 ef
		K ₂	42.53	7.29	25.63	0.65 d-f
	Ort.	41.63	8.02 B	25.43	0.63 B	
	B ₂	NS	38.18	10.89	24.81	0.53 f
		K ₁	43.14	10.44	25.38	0.68 c-e
K ₂		40.87	6.67	26.10	0.79 bc	
Ort.	40.73	9.33 AB	25.43	0.67 B		
Mavi yeşil alg**	A	NS	37.65	13.66	24.56	0.60 ef
		K ₁	42.72	8.77	25.63	0.79 bc
		K ₂	46.03	9.70	25.61	0.63 d-f
		Ort.	42.14	10.71 A	25.27	0.68 B
Kuraklık Stresi Ort.***	NS	36.82 B	11.14 A	24.87 B	0.65 B	
	K ₁	42.78 A	8.86 B	25.44 AB	0.73 A	
	K ₂	44.45 A	8.34 B	25.91 A	0.76 A	
LSD (%5) Bakteri ve Alg	Öd	2.281	Öd	0.057		
LSD (%5) Kuraklık Stresi	5.309	1.975	0.607	0.450		
LSD (%5) BA x KS	Öd	Öd	Öd	0.172		

* : Aynı sütunda aynı büyük ve kalın harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde fark yoktur.

** : Aynı sütunda aynı küçük harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde fark yoktur.

*** : Aynı sütunda aynı büyük ve italik harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde fark yoktur.

Yaprak alanı (cm^2)

Yaprak alanı üzerine kuraklık stresi uygulamalarının etkisi önemli bulunmuştur. En yüksek yaprak alanı değeri (11.14 cm^2) ile NS uygulamasına ve en düşük değer ise ($8.34-8.86 \text{ cm}^2$) ile K₂ ve K₁ uygulamalarına ait olduğu tespit edilmiştir. Rizobakterilerin ve algın bakla bitkisinde yaprak alanı üzerinde etkisinin önemli olduğu saptanmış ve en yüksek yaprak alanı değeri (10.71 cm^2) A uygulamasından, en düşük değer ise (8.02 cm^2) B₁ uygulamasından elde edilmiştir. Bakterilerin ve algın farklı kuraklık stresi koşullarında baklada yaprak alanı üzerindeki etkisinin önemli olmadığı,

yaprak alanın ise (6.67 cm²) ile (13.66 cm²) aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 1). Yıldırım ve ark., (2020) tarafından fasulyede kuraklığın bitki üzerindeki etkisine bakıldığı bir çalışmada, kurak şartlarda fasulyede en çok yaprak alanında azalmanın %60 kuraklık uygulamasında görüldüğünü bildirmişlerdir. Sulu ve kurak koşullarda bezelyede PGPR uygulamalarının etkilerini inceleyen Dodd ve ark., (2004), bakteri uygulamalarının yaprak alanı ve tranpirasyon üzerinde etkili olduğunu rapor etmişlerdir. Lahana bitkisinde PGPR'nin etkilerinin incelendiği bir diğer çalışmada %75, 50 ve 25 kısıtlı sulama şartlarında yapraklarda kıvrılma, sararma ve nekrotik yaralanmalara karşı bakteri uygulanan bitkilerde bu zararın azaldığı görülmüştür (Samancıoğlu ve ark., 2016).

Malondialdehit (MDA/ nmol g⁻¹)

Çizelge 1'de verilen değerlere göre, bakla bitkisinde MDA içeriği üzerinde alg ve PGPR izolatların etkisinin önemli olduğu belirlenmiştir. En yüksek MDA değeri (0.86 nmol g⁻¹) ile B₀ uygulamasından ve en düşük MDA değerleri ise (0.63 nmol g⁻¹) B₁, (0.67 nmol g⁻¹) B₂ ve (0.68 nmol g⁻¹) A uygulamalarından alınmıştır. Birçok araştırmacıya göre, kuraklık stresi neticesinde membran lipitlerinde cereyan eden oksidatif hasar sonucunda MDA oluşmaktadır (Abogadallah, 2011; Catola ve ark.,2016). Çalışmada kuraklık stresi uygulamalarının baklada MDA içeriği üzerindeki etkisinin önemli olduğu saptanmış ve en yüksek MDA değerleri (0.76 ve 0.73 nmol g⁻¹) olarak K₂ ve K₁ uygulamalarından, en düşük MDA değeri ise (0.65 nmol g⁻¹) NS uygulamasından alınmıştır. Gill ve Tuteja, (2010), mikroalgler ve bakteriler stres koşullarında bitkide MDA içeriğinin düşük seviyelerde kalmasına katkı sağladığını bildirmişlerdir. Ayrıca Çizelge 1'e bakıldığında bakterilerin ve algin farklı kuraklık stresi koşullarında baklada MDA içeriği üzerindeki etkisinin önemli olduğu saptanmış ve en yüksek MDA değerinin 0.95 nmol g⁻¹ ile kontrol x K₂ uygulamasından, en düşük MDA değerinin ise 0.60 nmol g⁻¹ ile A x NS uygulamasından elde edilmiştir. Fasulyede yapılan bir başka çalışmada, kuraklık stresinin ilerleyen dönemlerinde bitkinin yapraklarındaki MDA oranının arttığı belirlenmiştir (Kabay ve Şensoy, 2016). Soya fasulyesinde PGPR izolatlarının kuraklık üzerindeki etkisinde bakıldığı bir çalışmada Tunçtürk ve ark., (2021), en yüksek MDA değerini (1.9 nmol g⁻¹) ASU₂ uygulamasından ve en düşük MDA değerini ise NSU (1.7 nmol g⁻¹) uygulamasından elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Yaprak Sıcaklığı (°C)

Çizelge 1'de görüldüğü gibi, kuraklık stresinin yaprak sıcaklığı üzerindeki etkisinin önemli olduğu saptanmış ve en yüksek sıcaklık değeri (24.87 °C) ile NS uygulamasından ve en düşük sıcaklık değeri ise (25.44 °C) ile K₁ uygulamasından elde edilmiştir. Rizobakterilerin ve algin baklada yaprak sıcaklığı üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı ve bu değerlerinin de 25.27 °C ve 25.50 °C arasında değiştiği ve ayrıca bakterilerin ve algin farklı kuraklık stresi koşullarında baklada yaprak sıcaklığı üzerindeki etkisinin önemli olmadığı ve yaprak sıcaklığının 24.56 °C ile 26.28 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Stresin şiddetine bağlı olarak yaprak sıcaklığında artış meydana gelmiştir. Kuraklık gibi abiyotik stres şartlarında kanopi sıcaklığında artış meydana geldiği ve verim ile negatif bir korelasyona sahip olduğunu bildirmiştir (Blum, 2009). Buğdayda yürütülen bir çalışmada ortalama sıcak 19.5 °C, kuraklık stresi uygulamalarında 21.6 °C, kontrol uygulamalarında ise 17.2 °C ölçülmüş ve bu durumun verim ve kalite parametrelerini önemli ölçüde etkilemiştir (Öztürk ve Korkut, 2018). Kuraklık ile birlikte bitkilerin stomalarını kapatarak, su kullanım etkinliğinin arttığı bulunmuştur (Abayomi ve Abidove, 2009). Kuraklık stresi ile yaprak sıcaklığı arasında doğrusal bir ilişki olduğuna dair araştırıcı sonuçları bulgularımız ile benzerlik göstermektedir. Rizobakteri uygulamaları ile yaprak sıcaklığı değerleri 24.87-25-91 °C arasında değişiklik göstermektedir.

Yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi (YDMDİ, %)

Çalışmada, bakla bitkisinde YDMDİ değeri üzerine rizobakterileri, alg ve kuraklık stresi etmenlerine ait interaksiyonun önemli olmadığı belirlenmiştir. Yaprak dokularında membran dayanıklılık indeksi üzerinde rizobakteri ve algın %81.79-88.35, kuraklık stresi uygulamalarında %80.48-86.63, bakteri ve kuraklık stresi muamelelerinde ise %70.32-89.95 arasında bir değişim gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 2). Bitkilerde su kısıtlamasından kaynaklı ciddi fiziksel ve kimyasal zarar meydana gelmektedir (Chaves ve ark., 2002). Bu şartlarda bitkilerin çok farklı mekanizmaları harekete geçirdiği bilinmektedir (Mullet ve Whitsitt, 1996). Su noksanlığından kaynaklı stres altındaki soya fasulyesinde hücre içerisindeki osmotik basınç ve membran dayanıklılık indeksini arttırarak zarar düzeyini minimum seviyede tutmaya çalıştıkları belirtilmiştir (Kijne, 2006). Rizobakteri uygulamalarına göre YDMDİ değerleri %78.0-79.6 arasında değişiklik göstermektedir. Bu konuda yürütülen benzer çalışmalarda su noksanlığından kaynaklı stres şartlarında membran dayanıklılığının artmasında elisitörler önemli bir yer tuttuğu belirtilmiştir (Zhang ve ark., 2019).

Çizelge 2. Kuraklık stresi ve rizobakteri uygulamalarının baklada bazı fizyolojik özellikleri üzerindeki etkisi

Uygulamalar	Kuraklık Stresi	YDİS (%)	YDMDİ (%)	YDBSİ (%)	
Kontrol	NS	13.46	86.54	60.30	
	K ₁	10.18	89.82	63.16	
	K ₂	11.31	88.69	63.85	
	Ort.	11.65	88.35	62.44	
Bakteriler*	B₁	NS	10.05	89.95	67.75
		K ₁	10.65	89.35	63.63
		K ₂	29.68	70.32	55.63
	Ort.	16.79	83.21	62.34	
	B₂	NS	15.08	84.92	61.75
		K ₁	16.80	83.20	63.58
K ₂		22.75	77.25	62.69	
Ort.	18.21	81.79	62.68		
Mavi Yeşil Alg**	A	NS	14.91	85.09	68.54
		K ₁	18.53	81.47	54.88
		K ₂	14.35	85.65	61.23
	Ort.	15.93	84.07	61.55	
Kuraklık Stresi Ort.	NS	13.37	86.63	64.58	
	K ₁	14.04	85.96	61.31	
	K ₂	19.52	80.48	60.85	
LSD (%5) Bakteri ve Alg		Öd	Öd	Öd	
LSD (%5) Kuraklık Stresi		Öd	Öd	Öd	
LSD (%5) BA x KS		Öd	Öd	Öd	

* : Aynı sütunda aynı büyük ve kalın harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde fark yoktur.

** : Aynı sütunda aynı küçük harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde fark yoktur.

*** : Aynı sütunda aynı büyük ve italik harf ile gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde fark yoktur.

Yaprak dokularında bağıl su içeriği (YDBSİ, %)

Denemede, bakla bitkisinde yaprak dokularında bağıl su içeriği değeri üzerinde PGPR izolatlarının ve algın, kuraklık stresi uygulamalarına ait interaksiyonun önemli olmadığı tespit edilmiştir. Yaprak dokularında bağıl su içeriği üzerinde PGPR izolatları ve algın %81.79-88.35, kuraklık stresi uygulamalarının %80.48-86.63, bakteri, alg ve kuraklık stresi muamelelerinin ise %70.32-89.95 arasında bir değişim gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 2). Patates üzerinde yürütülen bir çalışmada kontrol grubu dâhil 4 farklı kuraklık stresinde bağıl su içeriğinin %57 ile %72 arasında değiştiği belirtilmiştir (Mullet ve Whitsitt, 1996). Bitkinin su ihtiyacı ile transpirasyon hızı arasındaki dengeyi gösterir (Aslam ve ark., 2020). Son yıllarda yürütülen çalışmalarda mikroalgler,

siyanobakteriler ve transgenik organizmalar kuraklık gibi stres şartları ile mücadelede önerilen yöntemler arasındadır (Patiwal ve ark., 2017). *Bacillus spp.* ait HX-2 bakteri suşu ile yapılan bir çalışmada bitkideki YDBSİ oranın kontrol gruplarına göre ortalama % 12.6 oranında arttığı bildirilmiştir (Li ve ark., 2019).

Yaprak dokularında iyon sızıntısı (YDİS, %)

Yapılan çalışmada, PGPR izolatların, algin ve kuraklık stresi etmenlerine ait interaksyonun hiçbir etkisinin olmadığı ve yaprak dokularında iyon sızıntısı PGPR izolatlarında ve algde %11.65-18.21, kuraklık stresi uygulamalarında %13.37-19.52, bakteri, alg ve kuraklık stresi muamelelerinde ise %10.05-29.68 arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 2). Kuraklık, tuz ve sıcaklık stresi gibi çevresel faktörler altında bitkilerin hücre yapısında bütünlük ve geçirgenlik stabilizesinde bozulmalar meydana gelmektedir (Blokhina ve ark., 2003). Bu bozulma sonucunda dokulardaki zararın tespitinde hücre içine ve dışına iyon hareketlerinin miktarı önemli bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Valentovic ve ark. (2006)'nın mısır ile çeşitli kuraklık seviyelerinde yürüttükleri çalışmada iyon sızıntısının kontrol gruplarına göre %11 ile %54 arasında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sreenivasulu ve ark (2000)'nin yürüttükleri bir çalışmada kuraklık stresi ile membran zararı arasında pozitif bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Benzer çalışmalarda PGPR uygulamalarının membran bütünlüğünü artırarak kuraklık stresi altındaki bitkilerde elektrolit sızıntısını azalttığı tespit edilmiştir (Vardharajula ve ark., 2011). Ayrıca bakteri ve mikroalg uygulamalarının stres kaynaklı membran zararını da iyileştirdiği belirlenmiştir (Jodeh ve ark., 2015; Tiwari ve ark., 2016). Benzer çalışmada 5 adet petunya ve sardunya çeşidi ile bir çalışmada bakteri inokulasyonunun membran dayanıklılık indeksini %54 oranında artırdığı belirlenmiştir (Nordstedt ve Jones, 2000). Bu çalışmada elde edilen veriler sonuçlarımızla kısmen benzerlik göstermektedir.

SONUÇ

Yapılan bu çalışma ile birlikte, bitkilerde gerek gelişme ve gerekse büyüme üzerinde olumlu etkilere sahip olan mikroalg ve rizobakteri uygulamalarının bakla bitkisinde kuraklık stresine maruz kalma aşamasında nasıl bir etki ortaya koyacağı hususunda gerek fizyolojik olarak ve gerekse biyokimyasal olarak bitkide bazı parametrelere bakılmıştır.

Kuraklık stresi uygulamalarının, klorofil, yaprak alanı, yaprak sıcaklığı ve MDA üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Uygulamada kullanılan mikroalgın *Chlorella saccharophila*, kuraklık stresine karşı yaprak alanı üzerinde etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle elde edilen sonuçlara göre, mikro algler ve bakteriler kıyaslandığında mavi yeşil algin kuraklık stresini azaltmada daha etkili olduğu söylenebilir. Ancak daha gerçekçi sonuçların ortaya çıkarılması için bu gibi çalışmaların tarla koşullarında yapılması daha doğru olacaktır. Yapılan bu çalışmanın, kuraklık stresi ve rizobakteri ile yapılacak çalışmalara kaynak olabileceğini ve bu gibi çalışmalara rehberlik edebileceği kanaatindeyiz.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından “FYD-2020-8967” kodlu proje ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

M Ç, R T ve M T çalışmanın kurgulanmasında, materyal ve yöntem kısmının hazırlanmasında; T E ve H K çalışmanın istatistiksel hesaplamalarında ve literatür araştırmasında; M Ç ve İ B çalışmanın

kurulması, yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında; M Ç ve T E makalenin yazılması ve hazırlanmasında katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Abayomi YA, Abidoye TO, 2009. Evaluation of Cowpea Genotypes for Soil Moisture Stress Tolerance Under Screen House Conditions. *African Journal of Plant Science*, 3(10), 229-237.
- Abogadallah GM, 2011. Differential regulation of photorespiratory gene expression by moderate and severe salt and drought stress in relation to oxidative stress. *Plant Science*, 180(3), 540-547.
- Akbaş A, 2014. Türkiye üzerindeki önemli kurak yıllar. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 12 (2), 101-118. DOI: 10.1501/Cogbil_0000000155.
- Aktar S, Cebe GE, 2010. Aljlerin Genel Özellikleri, Kullanım Alanları ve Eczacılıktaki Önemi. *Ankara Ecz. Fak. Derg. J. Fac. Pharm.* 39 (3):237-264.
- Aslam MU, Raza MAS, Saleem MF, Waqas M, Iqbal R, Ahmad S, Haider I, 2020. Improving Strategic Growth Stage-Based Drought Tolerance in Quinoa by Rhizobacterial Inoculation. *Community Soil Science Plant Anal.*, 51(5):1-16.
- Arora A, Sairam RK, Srivastava GC, 2002. Oxidative Stress and Antioxidative Systems in Plants. *Curr. Sci.* 82: 1227-1238.
- Blokhina O, Virolainen E, Fagerstedt KV, 2003. Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress Annual *Botany*. 91: 179-194.
- Blum A, 2009. Effective Use of Water (EUW) and Not Water-Use Efficiency (WUE) is the Target of Crop Yield Improvement Under Drought Stress. *Field Crops Res.* 112(2-3): 119-123.
- Catola S, Marino G, Emiliani G, Hüseyinovai T, Musayev M, Akparov Z, Maserati BE, 2016. Physiological and Metabolomic Analysis of *Punica granatum* (L.) Under Drought Stress. *Planta*. 243: 441-449.
- Chaves MM, Pereira JS, Maroco J, Rodrigues ML, Ricardo, CPP, Osorio ML, Carvalho L, Faria T, Pinheiro C, 2002. How Plants Cope with Water Stress in the Field. *Photosynthesis and Growth*. *Annals of Bot.* 89: 970-916.
- Çakmakçı R, Turan R, Güllüce M, Şahin F, 2014. Rhizobacteria for Reduced Fertilizer Inputs in Wheat (*Triticum aestivum* spp. *vulgare*) and Barley (*Hordeum vulgare* L.) on Aridisols in Turkey. *International Journal of Plant Production* 8 (2):163-181.
- Çırak C, Esenal E, 2006. Soyada Kuraklık Stresi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 231-237.
- Çoşkan A, Şenyiğit U, 2018. Farklı sulama Suyu Düzeyi ve Vermikompost Dozlarının Marul Bitkisinin Mikro Element Alımına Etkileri. 1. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı:348-356
- Djordjevic MA, Gabriel DW, Rolfe BG, 1987. Rhizobium the Refined Parasite of Legumes. *Annual review of phytopathology*, 25(1), 145-168.
- Dodd IC, Belimov AA, Sobeih WY, Safronova VI, Grierson D, Davies WJ, 2004. Will modifying plant ethylene status improve plant productivity in water-limited environments. In *Proceedings of the 4th international crop science congress, Brisbane, Australia (Vol. 26)*.
- Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz F, 1987. Research and experimental methods. *Statistical Methods-II*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. 1:1021-1295.
- Easlon HM, Bloom AJ, 2014. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. *Applications in plant sciences*, 2(7), 1400033.
- FAO, 2020. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Erişim tarihi; 17.03.2022.

- Ferreira MCB, Fernandes MS, Döbereiner J, 1987. Role of Azospirillum Brasilense Nitrate Reductase in Nitrate Assimilation by Wheat Plants. *Biology and fertility of soils*, 4(1), 47-53.
- Gill SS, Tuteja N, 2010. Reactive Oxygen Species and Antioxidant Machinery in Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. *Plant Physiol. Biochem.*48:909-930.
- Harman GE, Howell CR, Votterbo A, Chet I, Lordto M, 2004. Trichoderma Species: Opportunistic, a Virulent Plant Symbionts. *Nat Rev Microbiol.* 2: 43-56.
- Heath, R.L., Packer, L, 1968. Photoperoxidation in isolate chloroplast.i. Kinetics and Stoichmetryof Fatty Acid Peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys.* 125: 189-198.
- Huo Y, Wang M, Wei Y, Xia Z, 2016. Overexpression of the Maize Psba Gene Enhances Drought Tolerance Through Regulating Antioxidant System, Photosynthetic Capability, and Stress Defense Gene Expression in Tobacco. *Frontiers in plant science*, 6, 1223.
- Inbar J, AbramSuy M, Cohen D, Chet I, 1994. Plant Growth Enhancement and Disease Control by *Trichoderma harzianum* in Vegetable Seedlings Grown Under Commercial Conditions. *Eur. J. Plant Pathol.* 100: 337-346.
- Kabay T, Şenso, S, 2016. Kuraklık Stresinin Bazı Fasulye Genotiplerinde Oluşturduğu Enzim, Klorofil ve İyon Değişimleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 380-395.
- Kadioğlu S, 2011. Fosforlu Gübre ve Bakteri Uygulamalarının Farklı Yem Bezelyesi Çeşitlerinin Tarımsal ve Morfolojik Özelliklerine Etkileri (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), Erzurum).
- Kapluhan E, 2013. Türkiye’de Kuraklık ve Kuraklığın Tarıma Etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 0 (27), 487-510. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/marucog/issue/474/3913>
- Karagöz H, Çakmakçi R, Hosseinpour A, Kodaz,S, 2018. Alleviation of Water Stress and Promotion of the Growth of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Plants by Multi-Traits Rhizobacteria. *Applied Ecology and Environmental Res.* 16(5):6801-6813.
- Kijne JW, 2006. Abiotic Stress and Water Scarcity: Identifying and Resolving Conflicts From Plant Level To Global Level. *Field Crops Res.* 97: 3–18.
- Kloepper JW, Schroth MN, Miller TD, 1980. Effects of Rhizosphere Colonization by Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Potato Plant Development and Yield. *Phytopathology*, 70(11), 1078-1082.
- Li H, Zhao Y, Jiang X, 2019. Seed Soaking with Bacillus sp. Strain HX-2 Alleviates Negative Effects of Drought Stress on Maize Seedlings. *Chilian Journal Agriculture Res.* 79:3.
- Jodeh S, Alkowni R, Hamed R, Samhan S, 2015. The Study of Electrolyte Leakage from Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Pearlmillet Using Plant Growth Promotion (PGPR) and Reverse Osmosis. *J. Food Nutr. Res.* 3: 422–429. doi: 10.12691/jfnr-3-7-3.
- Mullet JE, Whitsitt MS, 1996. Plant Cellular Responses to Water Deficit. *Plant Growth Regul.* 20: 119-124.
- Nadeem SM, Ahmad M, Zahir ZA, Javaid A, Ashraf M, 2014. The Role of Mycorrhizae and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Improving Crop Productivity under Stressful Environments. *Biotechnology advances*, 32(2), 429-448.
- Nordstedt NP, Jones ML, 2020. Isolation of Rhizosphere Bacteria That Improve Quality and Water Stress Tolerance in Greenhouse Ornamentals. *Front. Plant Sci.* 11:826. doi: 10.3389/fpls.2020.00826.
- Özdemir S, 2002. *Yemeklik Baklagiller*. Hasat Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul.
- Öztürk MA, Seçmen Ö, 1992. *Bitki Ekolojisi*. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, 141.

- Öztürk İ, Korkut KZ, 2018. Kuraklığın Buğdayın Kök Ağırlığına Etkisi ve Kökün Bazı Fizyolojik Parametrelerle İlişkisi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi 2018, 27 (1): 14–24.
- Patiwal C, Mitra M, Bhayani K, SV, VB, 2017. Abiotic Stresses as Tools for Metabolites in Microalgae. Bioresource Tech. 244: 1216–1226.
- Premchandra GS, Saneoka A, Ogato S, 1990. Cell Membrane Stability and Indicator of Drought Tolerance, as Affected by Applied Nitrogen in Soybean. Journal of Agriculture Sci. 115: 63- 66.
- Samancıoğlu A, Yildirim E, Şahin Ü, 2016. Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteri Uygulamalarının Farklı Sulama Seviyelerinde Yetiştirilen Lahanada Fide Gelişimi, Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Özelliklerin Etkisi. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi. 19(3):332-338.
- Saied El-Sayed, Amany Abd El-Mohsen Ramadan and Farid Hellal, 2020. Drought Stress Mitigation by Application of Algae Extract on Peanut Grown under Sandy Soil Conditions. Asian Journal of Plant Sciences, 19: 230-239.
- Sairam RK, Saxena, D.C, 2000. Oxidative Stress and antioksidants in Wheat Genotypes: Possible Mechanism of Water Stres Tolerance. J. Agron. 13-18:223 p.
- Sreenivasulu N, Grimm B, Wobus U, Weschke W, 2000. Differential Response of Antioxidant Compounds to Salinity Stress in Salt-Tolerant and Saltsensitive Seedlings of Foxtail Millet (*Setaria italica*). Physiol. Plant. 109: 435-442.
- Tiwari S, Lata C, Chauhan PS, Nautiyal CS, 2016. *Pseudomonas putida* attunes morphophysiological, Biochemical and Molecular Responses in *Cicer arietinum* L. During Drought Stress And Recovery. Plant Physiol. Biochem. 99, 108–117. doi: 10.1016/j.plaphy.2015.11.001.
- Tunçtürk R, Tunçtürk M, Oral E, 2021. Kuraklık Stresi Koşullarında Yetiştirilen Soya Fasulyesinin (*Glycine max* L.) Bazı Fizyolojik Özellikleri Üzerine Rizobacterium (PGPR) Uygulamalarının Etkisi. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 9 (2), 359-368. DOI: 10.33202/comuagri.881226.
- Tüfenkçi Ş, Demir S, Şensoy S, Ünsal H, Durak ED, Erdin C, Ekincialp A, 2012. The effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Seedling Growth of Four Hybrid Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Cultivars. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 36(3), 317-327.
- Valentovic P, Luxova M, Kolarovic I, Gasparikova O, 2006. Effect of Osmotic Stress on Compatible Solutes Content, Membrane Stability and Water Relations in Two Maize Cultivars. Plant Soil Environ. 52(4): 186-191.
- Vardharajul, S, Ali SZ, Grover M, Reddy G, Bandi V, 2011. Drought-Tolerant Plant Growth Promoting *Bacillus* spp.: Effect on Growth, Osmolytes, and Antioxidant Status of Maize Under Drought Stress. J. Plant Interact. 6, 1–14. doi: 10.1080/17429145.2010.535178.
- Vural H, Eşiyok D, Duman İ, 2000. Kültür Sebzeleri (Sebze Yetiştirme). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, s. 440, Bornova, İzmir.
- Yıldırım E, Çaşka KS, Ekinci M, Kul R, 2020. Kuraklık Stresinin Fasulyede Bitki Gelişimi, Bazı Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 36 (2), 264-273.
- Zhang W, Xie Z, Zhang X, LanGD, Zhang X, 2019. Growth-promoting bacteria Alleviates Drought Stress of g. Uralensis Through İmproving Photosynthesis Characteristics and Water Status. Journal of Plant Interactions. 14 (1):580-589.