

Vermikompost Uygulamalarının Kuraklık Stresi Altındaki Kıvrıkcık Salatanın (*Lactuca sativa* var. *crispa*) Mineral İçerikleri Üzerine Etkisi

Sevinç KIRAN^{ID}

Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü, 06172 Ankara

<https://orcid.org/0000-0002-6756-0235>

✉: sevincikiran@tgae.gov.tr

ÖZET

Bu çalışma, vermicompostun (VK) kuraklık stresine maruz kalmış kıvrıkcık salata bitkisinin (*Lactuca sativa* var. *crispa*) makro ve mikro besin içerikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmada VK'un dozları ile; 0 (VK0), %2.5 (VK1) ve %5 (VK2) (w/w), kuraklık stresi seviyeleri; kontrol (KS100) (eksilen nemin tarla kapasitesine getirilmesi), orta derecede kuraklık (KS50) (kontrol konusuna verilen suyun %50'si), şiddetli kuraklık (KS25) (kontrol konusuna verilen suyun %25'i) kullanılmıştır. Bitkiler 46 gün boyunca bu koşullar altında tutulmuş ve bu sürenin sonunda hasat edilerek makro ve mikro besin içerikleri bakımından değerlendirilmiştir. Orta ve şiddetli kuraklık stresi, bitkilerin N, P, K konsantrasyonlarını kontrole göre önemli seviyelerde artırırken, Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonlarında ise azalmalara neden olmuştur. Ca ve Mg içeriklerindeki etkisi önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte, kuraklık stresi altında tüm mineral element içerikleri, VK uygulamaları ile birlikte önemli ölçüde artmıştır. Bu artışlar %5 VK uygulamasında çoğunlukla daha etkili bulunmuştur. Elde edilen veriler, VK'un kuraklık stresi koşullarında kıvrıkcık salatanın mineral madde içerikleri üzerinde olumlu etkide bulunduğunu göstermiştir.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi

Geliş Tarihi : 22.05.2019

Kabul Tarihi : 27.06.2019

Anahtar Kelimeler

Su stresi,
Kıvrıkcık salata,
Bitki besin maddesi,
Solucan gübresi

Effect of Vermicompost on Mineral Contents of Lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) Under Drought Stress

ABSTRACT

This study was carried out to determine the effect of vermicompost (VK) on the macro and micro nutrient contents of the lettuce plant (*Lactuca sativa* var. *crispa*) exposed to drought stress. Then, 3-4 leaved seedlings were transferred to the pots with different proportions of VK. The doses of VK tested in the study were; 0 (VK0), 2.5% (VK1) and 5% (VK2) (w/w). Drought stress levels tested in the study were; control (KS100) (fully irrigated up to soil field capacity), moderate drought (KS50) (50% of the water supplied to the control subject), and severe drought (KS25) (25% of the water supplied to the control subject). After 46 days of growing period, plants were harvested and evaluated for their macro and micro nutrient contents. Medium and severe drought stress increased N, P, K concentrations of plants significantly compared to control. On the other hand, these stresses caused decrease in Fe, Mn, Zn and Cu concentrations of the plant. The effect of stresses on Ca and Mg contents was determined as insignificant. However, under the stress of drought, all mineral element contents increased significantly with VK applications. These increases were mostly more effective in 5% VK application. The results showed that VK has a positive effect on mineral content of curly salad under drought stress conditions.

Research Article

Article History

Received : 22.05.2019

Accepted : 27.06.2019

Keywords

Water stress,
Lettuce,
Plant nutrient,
Vermicompost

GİRİŞ

Su kaynakları, küresel ısınmadan kaynaklanan iklim değişiklikleri sonucu dünyada ve Türkiye’de giderek azalmakta ve bu durum tarım sektörünü önemli ölçüde etkilemektedir. Su kıtlığı olarak ortaya çıkan kuraklık, dünya genelinde tarımsal üretimi olumsuz etkileyen en önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir (Capell ve ark., 2004). Kuraklık stresi, bitkinin vegetatif ve generatif organları arasında su rekabeti, hücre içi yapılar, fotosentez ve azot metabolizması üzerine olumsuz etkilerde bulunarak bitki metabolizmasını bozmaktadır (Bayoumi ve ark., 2008). Kuraklık, büyüme için bir itici güç olan turgor basıncının azalmasına ve transpirasyonun olumsuz yönde etkilenmesi nedeniyle mineral madde alımının gerilemesine neden olabilmektedir (Capell ve ark., 2004). Bununla birlikte bitki hücrelerinde çözünen konsantrasyonunun artışı, düşük su potansiyeline yol açmakta ve bitkilerde serbest radikallerin ortaya çıkarak lipid ve proteinlerin geri dönüşümsüz olarak hasara uğramasına neden olmaktadır (Taheri-Asghari ve ark., 2009).

Bitkiler kuraklık stresine karşı farklı tepkiler gösterebilmektedirler. Bu tepkiler bitkinin genetik özelliğine, stresin süresine ve şiddetine göre farklılık gösterebilmektedir (Bahadur ve ark., 2011; Nikolaeva ve ark., 2010; Stagnari ve ark., 2014). Gelişim dönemlerine bağlı olarak bitkiler kuraklık stresine hassasiyet gösterebilmekle birlikte, yeterli beslenen bitkiler, bazı mikro besin öğelerinin su emilimindeki fizyolojik rolleri nedeniyle kuraklık stresini iyi tolere edebilirler (Osakabe ve ark., 2014; Dimkpa ve ark., 2017). Özellikle mikro besinler arasında yer alan çinko (Zn), bakır (Cu) ve bor (B), kuraklık stresine karşı bitki toleransının ayarlanmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, toprak nemi ile, bitki gelişimini etkileyen makro ve mikro besin elementleri arasında güçlü bir ilişki bulunmakla birlikte, düşük toprak nemine sahip topraklarda besin maddesi hareketliliği ve bitki tarafından alınımı engellenmektedir (Al-Kaisi ve ark., 2013). Normal seviyede neme sahip olan topraklarda azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) alımı (%10-50) zaten düşük iken, kuraklık ile birlikte daha da azalabilmektedir (Al-Kaisi ve ark., 2013). Bununla birlikte kurak koşullarda gübre etkinliğinin azalması sebebiyle verim ve ürün kalitesi azalmakta, üretim maliyetinde önemli artışlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, topraktaki besin maddelerinin bitki tarafından alınmaması sebebiyle, sera gazı emisyonları (çoğunlukla N) artmakta, su kütlelerinin (N ve P) ötrofikasyonu gibi istenmeyen çevresel etkiler de ortaya çıkabilmektedir.

Vermikompost, solucanlar tarafından üretilen ve son yıllarda Türkiye’de tanınırlığı ve kullanımı giderek yaygınlaşan, toprak düzenleyicisi ve gübre olarak

kullanılan bir organik materyaldir. İçerdiği yararlı mikroorganizmalar, bitkinin kök bölgesine yerleşerek bitki rizosferine çeşitli antibiyotik, enzim (üreaz, fosfataz ve β -glükosidaz) ve bitki gelişim düzenleyiciler (oksin, sitokinin, giberellik asit) salgılamaktadır (Arancon ve ark., 2003; Sharma ve Banik, 2014). Bu salgılar sayesinde bitkinin toprak patojenlerine karşı korunmasını sağlarken, besin elementlerinin yararlılığına yardımcı olmakta ve bitki gelişimini, verim ve kaliteyi artırmaktadır (Rangarajan ve ark., 2008; Doan 2014). Bununla birlikte vermikompostun çeşitli bitki organlarındaki protein ve enzim sentezleri ve/veya aktivitesi üzerindeki sitümülatif etkisinden dolayı ekolojik bir alternatif olarak bitkilerin kuraklığa toleransını desteklediği de bildirilmektedir (Muscolo ve ark., 2007). Çeltik ve nohutta yapılan çalışmalarda vermikompostun, bitkilerin bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerinde değişikliklere yol açarak kuraklık stresine toleransı arttırdığı rapor edilmiştir (García ve ark., 2012; Hosseinzadeh ve ark., 2016).

Kıvırcık salata (*Lactuca sativa* var. *crispa*), yüksek su içeriğine ve sığ kök yapısına sahip olması nedeniyle kuraklık stresine duyarlı sebze türlerinden biridir. Kurak koşullarda yetiştirilen bitkilerde gelişim yavaşlamakta, verim ve kalitede ciddi kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bu bakımdan stresin olumsuz etkilerini azaltmada vermikompost, önemli bir potansiyel oluşturabilir. Kıvırcık salatada vermikompost ile birlikte ve farklı organik gübre uygulamalarının bitkinin besin içeriği üzerine etkileri Bellitürk ve ark., (2017) tarafından incelenmiş, bu çalışmada vermikompost uygulaması ile bitkinin K ve Zn içerikleri arasında negatif yönlü korelasyon bulunduğu rapor edilmiştir. Bu çalışmada kuraklık stresinin kıvırcık salata üzerindeki olumsuz etkilerini iyileştirmede ve bitkinin kuraklığa toleransını desteklemede vermikompostun bitki besleme bakımından rolü açıklanmaya çalışılmıştır.

MATERYAL ve METOT

Bitkisel Materyal ve Stres Uygulamaları

Çalışma, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsüne ait sıcaklık (gündüz / gece sıcaklığı, 24/20 ° C) ve nem kontrolü (bağıl nem, % 50-55) otomatik olarak sağlanan cam serada gerçekleştirilmiştir. Kıvırcık salata (*Lactuca sativa* var. *crispa*) tohumları içinde vermikülit ve perlit (1: 1) bulunan viyollere ekilmiş (24 Mart 2017), 3-4 gerçek yapraklı hale gelen fideler içinde 7 L hacminde içinde vermikompost ve toprak bulunan saksılara (25 cm çapında, 22 cm derinliğinde) saksı başına bir bitki olacak şekilde nakledilmişlerdir. Çalışmada VK’un %2.5 (VK1) ve %5 (VK2) (w/w) olacak şekilde iki farklı dozu kullanılmış, kontrol saksılarına

vermikompost ilave edilmemiştir (% 0,VK0). Saksı toprağının ve vermikompostun bazı kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan vermikompost, bir firmadan temin edilmiş olup, firmanın beyan ettiği etiket bilgileri, laboratuvar analizleri ile teyit edilmiştir. Ayrıca saksı toprağının fiziksel ve kimyasal özellikleri de Enstitümüz bünyesinde yer alan akredite laboratuvarlarda belirlenmiştir Elektriksel iletkenlik, pH, K, Ca ve Mg; Richards (1954)' e göre, bünye Bouyoucos (1951)'e göre, organik madde, N, P, Fe, Cu, Zn ve Mn ise Rowell (1996)'e göre tespit edilmiştir. Kuraklık stresi uygulamalarına, fidanların saksılara naklinden 2 hafta sonra (24 Mayıs) başlanmıştır. Kuraklık stresi konuları şu şekildedir: Kontrol (KS100) (eksilen nemin tarla kapasitesine getirilmesi), orta derecede kuraklık (KS50) (kontrol konusuna verilen suyun %50'si), şiddetli kuraklık (KS25) (kontrol konusuna verilen suyun %25'i). Vermikompost uygulanan saksıların su tutma kapasitelerindeki farklılıklar nedeniyle, saksılardaki bitkilerin sulama zamanının ve miktarının belirlenmesinde örnek saksılar kullanılmıştır. Her konudan rastgele seçilen 1-2 saksı (KS100 sulama programını esas alan) alınarak önce tartılmış ve bu saksılar bir kap için oturtularak üstten sulanmış ve doyma noktasına gelmeleri sağlanmıştır. Üstten

kapatılan saksılardan suyun çıkmadığı kesinleştikten sonra tartım alınarak, ilk ve son tartım sonuçlarına göre elverişli kapasiteleri bulunmuştur. Bu aşamada, diğer tüm saksılara elverişli kapasite kadar su verilerek tarla kapasitesine getirilmiştir. Stres uygulamalarına başlanana kadar tüm bitkiler bu şekilde sulanmıştır. Bitkilerin iki hafta süreyle saksı ortamında gelişimi sağlandıktan sonra kuraklık stresi uygulamalarına başlanmıştır. Sulama suyu uygulaması için yine örnek saksılar kullanılmıştır. KS100 konusunu ait saksılara su verilerek tarla kapasitesine getirilmiştir. Bunun için KS100 konusunun sulanmasında bitki gözlemlerine göre 3-5 günlük sulama aralığı esas alınmıştır. Buna göre; KS100 için örnek saksılar) esas alınarak tartılmış ve tartım sonucu saksıların tarla kapasitesi ağırlığına getirilmesi için gerekli su miktarı belirlenmiştir. Projede öngörülen diğer kısıntılı sulama konularına verilecek sulama suyu miktarları bu işleme göre düzenlenmiştir. Buna göre KS50 konusuna ait saksılara; KS100 uygulamasında saksılara verilen suyun %50'i, KS25 konusuna ait saksılara ise; KS100 uygulamasında saksılara verilen suyun %25'i kadar su verilmiştir. Bitkiler, hasada kadar 46 gün boyunca bu koşullar altında tutulmuştur. Bu sürenin sonunda bitkiler hasat edilerek toprak üstü aksamı, makro ve mikro element analizleri için kullanılmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan toprağın ve vermikompostun bazı özellikleri

Özellikler	Toprak	Vermikompost
Organik madde (%)	0.54	65.5
Azot (%)	0.18	2.2
Fosfor (%)	3.60	1.7
Potasyum (%)	0.86	1.5
Kalsiyum (ppm)	22.90	25.09
Magnezyum (ppm)	0.75	6.55
Çinko (ppm)	0.63	216
Mn (ppm)	2.27	271.9
Demir (ppm)	1.01	2.06
Bünye	Kumlu killi tın	-
Elektriksel iletkenlik (dS m ⁻¹)	1.28	6.5
pH	7.75	8.1
Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)	1.26	-
Tarla Kapasitesi (%)	19.78	-
Solma Noktası (%)	10.62	-

Makro ve Mikro Element Analizleri

Bitkilerin yaprakları önce çeşme suyu ve saf su ile yıkandıktan sonra 65 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve daha sonra öğütülmüştür. Yapraklardaki toplam N miktarı, kurutulup öğütülen yaprak örneklerinde Leco TruSpec- CHN cihazında Dumas yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008). P, K, Ca, Fe, Zn, Cu analizleri için yaprak

örnekleri 0.25 g tartılarak nitrik asitle (HNO₃) mikrodalga cihazında yaş yakılıp, daha sonra bu örnekler 50 ml'lik bir kaba aktarılıp hacim deiyonize su ile tamamlanmış ve mavi bant filtre kâğıdından süzölmüştür. Toplam K, yaş yakma yöntemine göre elde edilen bitki çözeltilisinde, Jenway PFP 7 Flamefotometresinde belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008). Yaş yakma yöntemine göre elde edilen

bitki çözültisinde toplam fosfor, vanadomolibdofosforik sarı renk yöntemine göre Shimadzu UV-160 Spektrofotometresinde belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008). Yakma yöntemine göre elde edilen süzüklerde Ca, Fe, Cu, Zn içerikleri, Varian 720-ES ICP-OES'de belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışma tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 3 tekrarlı olarak yürütülmüş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler varyans analizine tabi tutulmuştur. İstatistiksel değerlendirmelerde MSTAT-C programı kullanılmıştır. Parametreler arasındaki ilişkiler korelasyon analiziyle belirlenmiştir.

Çizelge 2. N, P, K ve Ca'a ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Sd	N	P	K	Ca	Mg
Kuraklık stresi (KS)	2	Öd	**	**	Öd	**
Vermikompost (VK)	2	**	**	**	Öd	*
KS xVK	4	**	**	**	Öd	Öd
Hata	18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
VK(%)		7.09	6.02	2.83	8.70	5.52

Öd: Önemli değil, ** %1, * %5 düzeyinde önemli.

Çizelge 3. Fe, Mn, Zn ve Cu'a ait varyans analiz sonuçları

Varyasyon Kaynakları	Sd	Fe	Mn	Zn	Cu
Kuraklık stresi (KS)	2	**	**	**	**
Vermikompost (VK)	2	**	Öd	**	**
KS xVK	4	**	**	**	**
Hata	18	154.70	16.70	2.34	1.43
VK(%)		2.98	3.86	3.61	9.94

Öd: Önemli değil, ** %1, * %5 düzeyinde önemli.

Çizelge 4. N, P, K ve Ca üzerine kuraklık stresi x vermikompost intaraksiyonunun etkisi

Kuraklık stresi	Vermikompost	N	P	K	Ca	Mg
		%	%	%	%	%
KS100	0	1.80 e	0.14 e	2.34 e	0.96	0.32
	%2.5	2.42 d	0.27 a	2.58 d	0.90	0.30
	%5	3.24 a	0.24 c	2.72 c	0.93	0.30
KS50	0	2.48 cd	0.25 bc	2.56 d	1.09	0.35
	%2.5	2.51 cd	0.22 d	2.74 c	1.00	0.32
	%5	2.39 d	0.25 bc	3.07 a	1.09	0.34
KS25	0	2.37 d	0.24 c	2.28 e	0.84	0.34
	%2.5	2.74 bc	0.25 bc	2.94 ab	0.96	0.32
	%5	2.83 b	0.27 ab	2.84 bc	0.93	0.30
LSD 0.05		0.30	0.017	0.13	-	-

Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($P \leq 0.05$).

Kuraklık stresi sonucu yaprakların N içeriğinde gözlenen bu artışın, bitkilerde strese dayanım mekanizmasını harekete geçiren özel proteinlerin sentezi için azotun yapraklara mobilize olması ile

BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu içerikleri bakımından elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan varyans analizi sonucunda incelenen her bir parametreye ilişkin değerler 'Kuraklık stresi (KS) x Vermikompost (VK)' interaksyonunu bazında ayrı ayrı ele alınmıştır. Buna göre 'KS x VK' interaksyonunun etkisi, N, P, K, Fe, Mn, Zn ve Cu içerikleri bakımından istatistiksel olarak ($P \leq 0.05$) önemli bulunurken, Ca ve Mg içerikleri için önemsiz olmuştur ($P > 0.05$) (Çizelge 2 ve 3).

Kuraklık stresi başlıca abiyotik streslerden biri olmakla birlikte bitki büyümesini ve besin maddesi alımını önemli ölçüde etkilemektedir (Akhzari ve Aghbash, 2013). Çalışmada elde edilen sonuçlar kuraklık stresinin, bitki yapraklarında N içeriğini kontrole göre önemli düzeyde artırdığını göstermiştir (Çizelge 4).

ilgili olabileceği bildirilmiştir (Da Silva ve ark.,2011). Bitkilerde artan strese yanıt olarak N içeriğinde artış olabileceği, Osuagwu va ark., (2010) ve Abd-Elrahman ve Taha (2018) tarafından fesleğen ve

patates bitkilerinde rapor edilmiştir. Bununla birlikte VK uygulamaları kuraklık stresi altındaki bitkilerin N içeriğini önemli ölçüde artırmıştır. Stresin şiddeti ve VK dozu arttıkça yapraklarda çoğunlukla daha fazla N birikmiştir. Buna göre stres altında en yüksek N değeri 'KS25 x VK2' interaksyonunda ortaya çıkmıştır (%2.83). VK uygulaması yapılmış bitkilerde N konsantrasyonun yükselmesi, kuraklık stresi koşullarında nispeten daha yüksek oksidasyon oranı ve buna bağlı olarak mineralizasyonun artışı sonucu ortaya çıkan N'a bağlı olabilir (Salo ve ark., 2007; Farahani ve ark., 2011).

Fosfor, nükleik asitlerin, fosfolipidlerin, fosfoproteinlerin, dinükleotitlerin ve adenosin trifosfatın bir bileşenidir ve enerjinin depolanması ve aktarılması, fotosentez, bazı enzimlerin düzenlenmesi ve karbonhidratların taşınması dahil olmak üzere bir dizi işlemler için gereklidir (Hu ve Schmidhalter, 2005). Kuraklık stresi, P miktarında kontrole göre önemli düzeyde artışlara yol açmış, ancak bu artışlar orta ve şiddetli kuraklık stresi koşulları için istatistiksel olarak aynı düzeyde gerçekleşmiştir. Orta düzeyde stres altında bulunan bitkilerin P içeriği, % 5 VK uygulaması ile kontrole aynı seviyede kalırken, ileri seviyedeki stres altında aynı VK uygulamasında kontrole göre önemli oranda artış belirlenmiştir (Çizelge 4). Buna göre stres altında en yüksek P miktarı, 'KS25 x VK2' kombinasyonunda tespit edilmiştir (% 0.27) (Çizelge 3). Kuraklık stresinin neden olduğu yapraklardaki P artışı, Liebersbach ve ark., (2004) tarafından, kuru toprakta yetişen bitkilerde meydana gelen büyük miktardaki moleküler sızıntının, bu koşullar altında P'nin azalan hareketliliğini engellemesi ile ilişkilendirilmiştir. Vermikompost ilavesi, toprakta P mineralizasyonu artırarak ve P'un toprakta yarayışsız hale dönüşmesini engelleyerek, bitkilerin P'u daha kolay almasını sağlayarak strese toleransı desteklediği düşünülmektedir (Uma ve Malathi, 2009; Farahani ve ark., 2011).

Kuraklık stresi altında K içeriği, orta düzey kuraklık stresi altında kontrole göre önemli artışa neden olurken (%2.56) ($P \leq 0.05$), ileri düzeyde stres altında bitkilerde kontrole aynı seviyede K birikimi gerçekleşmiştir (%2.28) (Çizelge 4). Vermikompost kullanımı stres altındaki bitkilerin K alımını önemli düzeyde artırmıştır ve % 3.06 değeri ile en yüksek K alımı 'KS50 xVK2' kombinasyonunda görülmüştür. K, stoma düzenleme, osmoregülasyon, enerji durumu, şarj dengesi, protein sentezi ve turgor basıncının korunmasını sağlayarak kuraklığa toleransı artırmaktadır (Marschner, 1995). Çalışmada orta düzey stres altında bulunan bitkiler, turgor basıncını koruyarak, kontrole göre daha fazla K iyonu biriktirme yoluna giderek stresle mücadele etmeye çalışmışlardır. Bununla birlikte VK uygulaması bitkilerin K alımını artırmış ve bitkilerin strese

toleransına katkı sağlamıştır. Nitekim VK'un K'ca zengin bir organik materyal olduğu, toprak özelliklerini iyileştirici özelliğe sahip olduğu literatürde mevcuttur (Preetha ve ark., 2005; Sinha ve ark., 2010).

Kuraklık stresi koşulları altında VK uygulamaları, kıvrıkcık salatanın Ca ve Mg miktarlarını kontrole göre artırmıştır. Ancak bu artışlar istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır ($P > 0.05$) (Çizelge 2 ve 4).

Demir, klorofil, fotosentez, solunum ve enzim sistemlerinin oluşumunda önemli role sahip olmakla birlikte ve bitkilerde oksidatif stres ile önemli ölçüde azalmaktadır (Havlin ve ark., 1999; Sivritepe ve ark., 2008; Kostopoulou ve ark., 2015). Mangan, Fe ile birlikte klorofil oluşumuna yardım eden ve fotosentez için gerekli olan bir elementtir. Aynı zamanda kuraklık stresi ile oluşan serbest radikallerin zararlı etkilerini azaltmak için süperoksit dismutaz enziminin aktivasyonunu sağlamaktadır (Hebbem ve ark., 2009). Mn ve Fe' in, nemli toprak koşullarında çözünür formlara dönüşümü ve bitki tarafından alınabilirliği daha kolaydır (Havlin ve ark., 1999). Çalışmada bitkilerin, Fe ve Mn alımı ileri kuraklık stresinde düşük seviyede kalmış, orta seviyedeki strese nispeten bu alımlar daha fazla olmuştur. En yüksek Fe ve Mn konsantrasyonları sırasıyla: % 482.00 ve % 140.54 değerleri ile 'KS25 x VK2' kombinasyonunda belirlenmiştir (Çizelge 3 ve 5). Kuraklık stresi ile besin maddelerinin kökten difüzyon yoluyla alınması azaltmaktadır (Pinkerton ve Simpson, 1986). Bununla birlikte, stres altında bitkilerin sınırlı terleme hızları, besin maddesinin aktif taşınımını düşürerek köklerden sürgünlere geçişini azaltmaktadır (Alam, 1994). Hu ve Schmidhalter (2005) 'e göre, düşük toprak nemi Mn, Fe ve Zn' de eksikliklere neden olabilmektedir. Bununla birlikte VK, toprağın Fe ve Mn yönünden zenginleşmesini sağlamış ve içerdiği yararlı mikroorganizmalar sayesinde bitki rizosferinde bitki gelişim düzenleyicilerinin salgılanması ile besin elementlerinin yarayışlılığına yardımcı olmuş (Rangarajan ve ark., 2008), böylelikle özellikle orta düzey stres altındaki bitkilerin Fe ve Mn alımlarını belirgin şekilde yükseltmiştir. VK' un toprağın Fe ve Mn kapsamını arttırdığı literatürde de rapor edilmiştir (Azarmi ve ark., 2008).

Çinko, karbonhidrat metabolizması, protein sentezi, oksin metabolizması ve enzim aktivasyonunda önemli rol oynarken, Cu birçok enzimin kofaktörü ve proteinlerin düzenleyicisi olarak bitkilerde görev almaktadır (Marschner, 1995). Kuraklık koşulları Zn ve Cu iyonlarının alımını olumsuz yönde etkilemiştir. Orta düzey stres ortamında bitkiler Zn ve Cu miktarlarını daha iyi koruyabilmişlerdir.

Çizelge 5. Fe, Mn, Zn ve Cu üzerine kuraklık stresi x vermikompost intaraksiyonunun etkisi

Kuraklık stresi	Vermikompost	Fe ppm	Mn ppm	Zn Ppm	Cu ppm
KS100	0	518.00 b	117.06 c	49.06 a	11.89 d
	%2.5	583.33 a	87.01 e	50.48 a	14.43 bc
	%5	601.67 a	78.37 f	50.11 a	17.41 a
KS50	0	314.36 f	102.76 d	41.12 b	8.60 ef
	%2.5	411.31 d	132.20 b	39.11 b	7.40 f
	%5	482.00 c	140.54 a	41.48 b	9.74 e
KS25	0	138.25 g	91.91 e	33.40 c	7.94 ef
	%2.5	347.67 e	99.36 d	35.24 c	14.28 c
	%5	356.51 e	104.80 d	41.12 b	16.37 ab
LSD 0.05		21.34	6.86	2.62	2.05

Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($P \leq 0.05$).

Kuraklık stresi altında en yüksek Zn değerleri aynı istatistiksel grupta yer alacak şekilde sırasıyla 'KS25 x VK2', 'KS25 x VK0' ile 'KS50 x VK2' ve 'KS25 x VK1' kombinasyonlarında tespit edilmiştir (sırasıyla: % 41.48, 41.12 ile 41.12 ve 39.11) (Çizelge 4 ve 5). VK uygulamaları ile şiddetli stres koşulunda Cu içerikleri belirgin şekilde yükseltilmiş ve en yüksek Cu konsantrasyonu 'KS50 x VK2' etkileşiminde saptanmıştır (%16.37) (Çizelge 4 ve 5). Benzer sonuçlar Özpay (2008), Abbaspour ve ark., (2012) ve Hu ve Schmidhalter (2005) tarafından da bildirilmiştir. VK uygulamaları orta düzey stres altındaki bitkilerin Zn ve Cu konsantrasyonlarının kontrole göre yükseltmede yetersiz kalırken, şiddetli stres altındaki bitkilerin alınabilir Zn ve Cu konsantrasyonlarını, %5 VK dozu önemli ölçüde artırmıştır. VK uygulamaları, muhtemelen Zn ve Cu 'ın bitki tarafından biyolojik kullanılabilirliğini ve taşınımını yükseltmiş, bitki büyümesini teşvik etmiştir (Kıran 2019). Bu durum önceki araştırmalarda da vurgulanmıştır (Pant ve ark., 2009; Filek, 2012).

Mineral elementler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde korelasyon analizinden yararlanılmıştır. İncelenen tüm mineral elementler arasındaki ilişkiler, $P \leq 0.01$ ve $P \leq 0.05$ hata sınırı esas alınarak istatistiksel olarak önem dereceleri bakımından değerlendirilmiştir. Buna göre, Cu ile Mg içerikleri arasında negatif yönde ilişki olduğu görülmüştür ($r = 0.85^{**}$). Bununla birlikte Zn içeriği ile Fe arasında olumlu bir pozitif ilişki belirlenmiştir ($r = 0.89^{**}$). Diğer taraftan uygulamaların kıvrıkcık salatının diğer mineral elementleri arasındaki ilişkiler üzerine etkileri önemsiz bulunmuştur. Stres altındaki bitkilerin Mg konsantrasyonları önemsiz seviyede yükselirken, Cu konsantrasyonu önemli seviyede düşmüştür. Nitekim De Carvalho (2005) ve Abbaspour ve ark. (2012) stres altındaki yetişen acı bakla ve fıstıkta benzer bulguları rapor etmişlerdir. Zn ve Fe iyonları, enzim aktivasyonunda önemli görev almakla birlikte (Havlin ve ark., 1999;

Marschner 2005) kuraklık stresi koşullarında miktar bakımından azalma göstermektedirler. VK uygulaması ile, toprağın Fe ile Zn miktarı artmış, bitkilerin bu elementleri alım seviyeleri yükselerek bitkilerin strese toleransını sağlayan antioksidatif enzimler daha fazla aktive olmuştur.

SONUÇ

Kuraklık stresi koşullarında kıvrıkcık salata bitkisinin makro ve mikro element içerikleri üzerine VK uygulamasının etkileri incelenmiştir. Kuraklık stresi sonucunda bitkiler Fe, Mn, Zn ve Cu içerikleri bakımından önemli kayıplar vermiştir. Bununla birlikte, bitkilerin yapraklarında N, P ve K miktarları üzerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. VK uygulaması orta ve şiddetli kuraklık stresi altında bulunan bitkilerin mineral madde içeriklerini önemli ölçüde yükselterek bitkilerin strese toleransına yardımcı olmuştur. VK'un bu etkisinin, toprağı besin maddesi bakımından zenginleştirmesinin yanı sıra mikrobiyal faaliyetleri düzenleyerek besin elementlerinin yayılmasına yardımcı olması ile ilgili olabileceği düşünülmüştür. Bu bakımdan elde edilen bulgular kıvrıkcık salata yetiştiriciliğinde VK kullanımının, kurak koşullara bitkinin toleransını artırmada kullanılabilecek geçerli bir uygulama olabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Abbaspour H, Saeidi-Sarb S, Afsharia H, Abdel-Wahhab MA 2012. Tolerance of Mycorrhiza Infected Pistachio (*Pistacia vera* L.) Seedling to Drought Stress Under Glasshouse Conditions. *Journal of Plant Physiology*, 169: 704-709
- Abd-Elrahman SH, Taha MT 2018. Comparison Between Organic and Mineral Sources of Potassium and Their Effects on Potassium Fractions in Clay Soil and Productivity of Potato Plants under Water Stress Conditions. *Egyptian Journal of Soil Science*, 58(2): 193 - 206
- Akhzari D, Aghbash FG 2013. Effect of Salinity and

- Drought Stress on the Seedling Growth and Physiological Traits of Vetivergrass (*Vetiveria zizanioides* stapf.). *Ecopersia*, 1(4): 339-352
- Alam SM 1994. Nutrient By Plants under Stress Conditions. In: Pessarakli M (eds) Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker. New York. 227-246
- Al-Kaisi MM, Elmore RW, Guzman JG, Hanna HM, Hart CE, Helmers MJ, Hodgson EW, Lenssen AW, Mallarino AP, Robertson AE, Sawyer JE 2013. Drought Impact on Crop Production and The Soil Environment: 2012 experiences from Iowa. *Journal of Soil and Water Conservation*, 68(1): 19-24
- Arancon NQ, Edwards CI, Bierman P, Welch C, Metzger TD 2004. Influences of Vermicomposts on Field Strawberries: 1. Effect on Growth and Yields. *Bioresource Technology*, 93: 145-153
- Azarmi R, Giglou MT, Taleshmikail RD 2008. Influence of Vermicompost on Soil Chemical and Physical Properties in Tomato (*Lycopersicon esculentum*) Field. *African Journal of Biotechnology*, 14: 2397-2401
- Bahadur A, Chatterjee A, Kumar R, Singh M, Naik PS 2011. Physiological and Biochemical Basis of Drought Tolerance in Vegetables. *Vegetable Science* 38 (1): 1-16
- Bayoumi TY, Eid MH, Metwali EM 2008. Application of Physiological and Biochemical Indices As A Screening Technique for Drought Tolerance in Wheat Genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 7 (14): 2341-2352
- Belliturk K, Hınıslı N, Adiloglu A 2017. The Effect of Vermicompost, Sheep Manure, and Cow Manure on Nutrition Content of Curly Lettuce (*Lactuca sativa* var.). *Fresenius Environmental Bulletin (FEB)*, 26 (1a): 1116-1120
- Bouyoucos GD 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soil. *Agronomy Journal*, 43: 434-438.
- Capell T, Bassie L, Christou P 2004. Modulation of The Polyamine Biosynthetic Pathway in Transgenic Rice Confers Tolerance to Drought Stress. *PNAS*. 101 (26): 9909-9914
- Da Silva EC, Nogueira R, da Silva MA, De Albuquerque MB 2011. Drought Stress and Plant Nutrition. *Plant stress 5*. Global science Books. 32-41
- De Carvalho, IMMS 2005. Effects of Water Stress on The Proximate Composition and Mineral Contents of Seeds of Two Lupins (*Lupinus albus* and *Lupinus mutabilis*). *Journal of Food Quality*, 28: 325-332
- Dimkpa CO, Bindraban PS, Fugice J, Agyin-Birikorang S, Singh U, Hellums D 2017. Composite Micronutrient Nanoparticles and Salts Decrease Drought Stress in Soybean. *Agronomy for Sustainable Development* 37 (5): 1-13
- Doan TT, Bouvier C, Bettarel Y, Bouvier T, desTureaux H, Janeau JL, Lamballe P, Van Nguyen B, Jouquet P 2014. Influence of Buffalo Manure, Compost, Vermicompost and Biochar amendments on Bacterial and Viral Communities in Soil and Adjacent Aquatic Systems. *Applied Soil Ecology* 73: 78– 86
- Farahani SM, Chaichi MR, Mazaheri DR, Afshari T, Savaghebi GH 2011. Barley Grain Mineral Analysis as Affected by Different Fertilizing Systems and By Drought Stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13: 315-326
- File M., Walas S, Mrowiec H, Rudolphy-Skońska E, Sieprawska A, Biesaga-Koscielniak J 2012. Membrane Permeability and Micro- and Macroelement Accumulation in Spring Wheat Cultivars During the Short-Term Effect of Salinity- and Peg-Induced Water Stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34:985–995
- Garcia Martinez I, Cruz SF, Saavedra AL, Hernandez MS 2012. Extraction of Auxin-like Substances from Compost. *Crop Research* 24:323-327
- Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL, Nelson WL 1999. *Soil Fertility and Fertilizers*, 6th Edition. Upper Saddle River, N.J: Prentice-Hall, Inc. 499 p.
- Hebbem, CA, Laursen KH, Ladegaars AH, Schmidt SB, Pedas P, Bruhn D, Schjoerring JK, Wulfsohn D, Husted S 2009. Latent Manganese Deficiency Increases Transpiration in Barley (*Hordeum vulgare*). *Physiologia Plantarum*, 135:307-316
- Hu Y, Schmidhalter U 2005. Drought and Salinity: A Comparison of Their Effects on Mineral Nutrition of Plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168:541-549
- Hosseinzadeh SR, Amiri, H, İsmaili A 2016. Effect of Vermicompost Fertilizer on Photosynthetic Characteristics of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Drought Stress. *Photosynthetica*, 54:87-92
- Kacar B, İnal A 2008. "Bitki Fizyolojisi". Nobel Yayın No:1241-477. Ankara.
- Kıran S 2019. Effects of Vermicompost on Some Morphological, Physiological and Biochemical Parameters of Lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) under Drought Stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(2):352-358
- Liebersbach H, Steingrobe B, Claassen N 2004. Roots Regulate ion Transport in The Rhizosphere to Counteract Reduced Mobility in Dry Soil. *Plant Soil* 260: 79–88
- Kostopoulou P, Kyriazopoulos AP, Abraham EM, Parissi ZM, Karatassiou M, Barbayannis N 2015. Synergistic Effect of Selenium Addition and Water Stress on *Melilotus officinalis* L. Mineral Content. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(2):447-454

- Marschner H 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London.
- Muscolo A, Sidari M, Attinà E, Francioso O, Tugnoli V, Nardi S 2007. Biological Activity of Humic Substances Is Related to their Chemical Structure. Soil Science Society of America Journal, 71:75-85
- Nikolaeva. M.K., Maevskaia. S.N., Shugaev. A.G., Bukhov. N.G. 2010. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. Russian Journal of Plant Physiology 57 (1): 87-95
- Taheri-Asghari M, Daneshian J, Aliabadi-Farahani H 2009. Effects of Drought Stress and Planting Density on Quality and Morphological of Chicory (*Cichorium intybus* L.) Asian Journal of Agricultural Sciences, 1: 12-14
- Osakabe Y, Osakabe K, Shinozaki K, Tran LSP 2014. Response of Plants to Water Stress. Frontiers in Plant Science. Front. Plant Sci. 5:86
- Osuagwu GGE, Edeoga HO, Osuagwu AN. 2010. The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves of *Ocimum gratissimum* L. Recent Research in Science and Technology 2(2): 27-33
- Özpay T 2008. Taze Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotiplerinin Kuraklık Stresine Olan Tepkilerinin Belirlenmesi. Van Yüzüncü Yıl Üniv. Fen Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi, 67 sy.
- Pant AP, Radovich TJK, Theodore NVH, Talcott ST, Krenek KA 2009. Vermicompost Extracts Influence Growth, Mineral Nutrients, Phytonutrients and Antioxidant Activity in Pak Choi (*Brassica rapa cv. Bonsai*, Chinensis group) Grown under Vermicompost and Chemical Fertiliser. Journal of the Science of Food and Agriculture, 89: 2383-2392
- Pinkerton A, Simpson JR 1986. Interactions of Surface Drying and Subsurface Nutrients Affecting Plant-Growth on Acidic Soil Profiles From an Old Pasture. Australian Journal of Experimental Agriculture, 26:681-689
- Preetha D, Sushama PK, Marykutty KC 2005. Vermicompost + Inorganic Fertilizers Promote Yield and Nutrient Uptake of Amaranth (*Amaranthus tricolor* L.). Journal of Tropical Agriculture, 43: 87-89
- Rangarajan A Leonard B, Jack A 2008. Cabbage Transplant Production Using Organic Media on Farm. In: Proceedings of National Seminar on Sustainable Environment. N. Sukumaran (Ed). Bharathiar University. Coimbatore. 45-53
- Ravimycin T, Effects of Vermicompost (VC) and Farmyard Manure (FYM) on the Germination Percentage Growth Biochemical and Nutrient Content of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). International Journal of Advanced Research, 3(6): 91-98
- Richards LA 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. U.S.Dept. Agr. Handbook, 60:105-106
- Rowell DL 1994. The laboratory determination of the respiration rate of the microbial biomass. Soil Science Methods & Applications, 117-119.
- Salo T, Eskelinen J, Jauhiainen L, Kartio M 2007. Reduced Fertilizer Use and Changes in Cereal Grain Weight, Test Weight and Protein Content in Finland in 1990-2005. Agricultural and Food Science, 16: 407-420
- Sharma RC, Banik P 2014. Vermicompost and Fertilizer Application: Effect on Productivity and Profitability of Baby Corn (*Zea Mays* L.) and Soil Health. Compost Science & Utilization, 22: 83-92
- Sinha J, Biswas CK Ghosh A, Saha A 2010. Efficacy of Vermicompost Against Fertilizers on Cicer and Pisum and on Population Diversity of N₂ Fixing Bacteria. Journal of Environmental Biology 31: 287292
- Sivritepe N, Erturk U, Yerlikaya C, Türkan O, Bor M, Özdemir F 2008. Response of The Cherry Rootstock to Water Stress Induced in vitro. Biologia Plantarum. 52 (3): 573-576
- Stagnari F, Galieni A, Specca S, Pisante M 2014. Water Stress Effects on Growth, Yield and Quality Traits of Red Beet. Scientia Horticulturae, 265:13-22
- Uma B, Malathi M 2009. Vermicompost As A Soil Supplement to Improve Growth and Yield of Amaranthus Species. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 5(6): 1054-1060