

Vermikompost ve Sıvı Deniz Yosunu Ekstraktı Uygulamalarının Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Rizosferinde Mikrobiyal Solunum ve β -glukosidaz Aktiviteye Etkisi

Çiğdem KÜÇÜK^{1*} Sinem PEK¹

¹ Biyoloji Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye

*Corresponding author e-mail: ckucuk@harran.edu.tr

ÖZET

MAKALE BİLGİSİ

Kimyasal gübre kullanımı toprağın yapısını bozduğu ve sürdürülebilir bitki gelişimini olumsuz etkilediği için günümüzde kimyasal gübre kullanımına alternatif olarak organik gübre kullanımı önem kazanmıştır. Çalışmamızda sıvı yosun gübresi ve vermikompost gübresi kullanılarak arpa gelişimi ve kök bölgesi mikrobiyolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Deneme serada tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Vermikompostun 4 dozu (kontrol, % 10, % 20 ve % 40), sıvı yosun gübresinin 4 dozu (kontrol, % 1, % 2 ve % 3) ve vermikompost ile sıvı yosun gübresinin kombinasyonu ayrı ayrı topraklara uygulanmıştır. Tohum ekiminden 60 gün sonra bitkiler hasat edilmiştir. Uygulamalar yeşil aksam ve kök ağırlığını, bitki boyu ve kök uzunluğunu artırmıştır. Yaprakların klorofil içerikleri vermikompost ve sıvı yosun gübresi uygulaması ile kontrole göre artmıştır. Vermikompostun ve sıvı yosun gübresinin artan dozları rizosferdeki mikrobiyal solunum ve β -glukosidaz aktiviteyi kontrole göre önemli ölçüde artırmış, en yüksek artış vermikompost %40 ile yosun gübresinin %3'lük interaksyonunda elde edilmiştir.

Geliş:
02.04.2024
Kabul:
01.10.2024

Anahtar kelimeler: Vermikompost, Sıvı Yosun Gübresi, Arpa, β -glukosidaz, Mikrobiyal toprak solunumu

Effect of Vermicompost and Liquid Seaweed Extract Applications on Microbial Respiration and β -glucosidase Activity in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Rhizosphere

ABSTRACT

ARTICLE INFO

Since the use of chemical fertilizers disrupts the structure of the soil and negatively affects sustainable plant growth, the use of organic fertilizers has gained importance as an alternative to the use of chemical fertilizers. In our study, the effects of liquid seaweed fertilizer and vermicompost fertilizer on barley growth and root zone microbiological properties were investigated. The experiment was carried out in the greenhouse according to the randomized plot design with 3 replications. 4 doses of vermicompost (control, 10%, 20% and 40%), 4 doses of liquid seaweed fertilizer (control, 1%, 2% and 3%) and the combination of vermicompost and liquid seaweed fertilizer were applied to the soil. The plants were harvested 60 days after sowing. The applications increased the green parts and root weight, plant height and root length. The chlorophyll contents of the leaves increased with the applications of vermicompost and liquid seaweed fertilizer compared to the control. Increasing doses of vermicompost and liquid seaweed fertilizer significantly increased the microbial respiration and β -glucosidase activity in the rhizosphere compared to the control, the highest increase was obtained in the interaction of 40% vermicompost and 3% seaweed fertilizer.

Received:
02.04.2024
Accepted:
01.10.2024

Keywords: Vermicompost, Liquid seaweed fertilizer, Barley, β -glucosidase, Microbial soil respiration

Cite this article as: Küçük, Ç. ve Pek, S. (2024). Vermikompost ve sıvı deniz yosunu ekstraktı uygulamalarının arpa (*Hordeum vulgare* l.) rizosferinde mikrobiyal solunum ve β -glukosidaz aktiviteye etkisi. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 14(2), 125-133. <https://doi.org/10.53518/mjavl.1463512>

GİRİŞ

Tarımda uygulanan azot, fosfor ve potasyum gibi temel besin gübrelerinin kullanımı, tüketimin artışıyla doğru orantılı olarak artmaktadır (Penuelas ve ark., 2023). Kimyasal gübreler ürün verimliliğini artırsa da aşırı ve bilinçsiz kullanımı toprak sağlığının bozulmasına, ötrofikasyona, iklim değişikliğine yol açmış ve sonuç olarak tarımsal verimliliğin azalmasına neden olmuştur (Adegbeye ve ark., 2019; Banerjee ve ark., 2019; Frank ve ark., 2019). Ayrıca üre, amonyum nitrat, kalsiyum amonyum nitrat, mono, di-amonyum fosfatlar ve süperfosfatlar gibi sentetik kimyasal gübrelerin tamamı yenilenemeyen kaynaklardan üretildiğinden (Blouin ve ark., 2019), üretim süreçleri ile aynı zamanda metan, karbon oksitler, azot (NO_x) ve kükürt gibi zararlı sera gazları, hatta zehirli uçucu hidrojen florür gazının (HF) da çevreye yayıldığı bildirilmiştir (Hao ve ark., 2020). Kullanılan azot ve fosforlu gübrelerin yaklaşık olarak % 80 ve % 25-75'i çevrede kaybolmakta, oluşan bu kaybın aşırı yağış ve yağmurla beslenen tarımsal ekosistemler tarafından teşvik edildiği açıklanmıştır (Choudhary ve Kumar, 2019). İnorganik kimyasalların kullanımına ilişkin endişeler, bitkisel büyüme ve tarımsal verimi sürdürülebilir bir şekilde iyileştirmek için alternatif, çevre dostu ve daha güvenli yöntemler geliştirmeye zorlamıştır. Bu bağlamda, zirai ilaç kullanımını azaltan organik tarım, tüketicilerin ilgisini çekmiştir. Bununla birlikte, organik tarımdaki verim, konvansiyonel tarımla karşılaştırıldığında daha düşük bulunmuştur (Raza ve ark., 2024). Organik tarımla uyumlu biyostimülantların uygulanması, organik ve konvansiyonel tarım sistemleri arasındaki verim farkını kapatılabileceği düşünülmüştür (Raza ve ark., 2024; Voko ve ark., 2022). Küresel iklim değişikliği de ürün rekoltesinde olumsuzluklara yol açmıştır. Bu stres etkenleriyle yüzleşmek veya hafifletmek için bitkinin fizyolojik süreçlerini düzenleyebildiği ve değiştirebildiği, sonuç olarak verim stabilitesini garanti edebildiği için biyostimülantların kullanımı ile ilgili çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır (Raj ve ark., 2022; Raza ve ark., 2024).

Üretilen deniz yosununun önemli bir kısmı, bitkisel üretimin daha hızlı gelişmesine yardımcı olmak için besin takviyesi ve biyostimülant olarak kullanılmıştır (Khan ve ark., 2009). Deniz yosunu sıvı gübreleri ve bunların süspansiyonları, daha az hacimli olmaları, depolanması, dağıtılması ve kullanılması kolay olduğundan tarımda kullanımları kabul edilebilir hale gelmiştir (Craigie, 2011; Kumari ve ark., 2011; Arioli ve ark., 2015). Deniz yosunu sıvı gübreleri, fizyolojik olarak aktif maddeler sağlayan çeşitli kahverengi alglerin özütlenmesiyle yapılmakta olup, bitkilerin üretkenliklerini artırmalarına yardımcı olan en iyi bilinen biyostimülantlar olduğu bildirilmiştir (Demirsoy ve Aydın, 2020; Du Jardin, 2015). Vermikompost yani solucan gübresi solucan çiftliklerinde, organik içeriklerin solucanların sindirim sistemlerinden geçirilerek üretilmesi ile elde edilmektedir (Dominguez, 2004). Solucanlar toprakta bulunan omurgasız türlerinin yaklaşık %92'sini oluşturmaktadır (Yasmin ve D'Souza, 2007). Vermikompostun mucizevi bir bitki büyüme artırıcısı olduğu bilimsel olarak kanıtlanmıştır (Sahab ve ark., 2020). Yapılan çalışmada vermikompost uygulamasının topraktaki hümik asit, mevcut azot ve fosfor seviyelerini artırdığı saptanmıştır (Sahab ve ark., 2020). Vermikompost uygulanmasıyla azot fikse eden bakteri ve aktinomisetlerin 1 popülasyonunun arttığı, böylece rizosfer bölgesinde güçlendirilmiş mikrobiyal aktivitelerin de topraktaki fosfor ve azotun kullanılabilirliğini artırdığı açıklanmıştır (Parastesh ve ark., 2019). Vermikompost toprağın mikrobiyal aktivitesini etkilemek için uyararak, oksijenin kullanılabilirliğini artırdığı, normal toprak sıcaklığını koruduğu, toprağın besin içeriğini iyileştirerek bitki büyümesini, verimini ve kalitesini arttırdığı yapılan çalışmada bildirilmiştir (Parastesh ve ark., 2019). Yapılan bir araştırmada, deniz yosunu ve sıvı vermikompost farklı dozlarda karıştırılarak domates fidesinin gelişimi izlenmiş, uygulamaların artan dozlarının kök, gövde ve yaprak kuru ağırlığını kontrole göre önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir (Demirsoy ve Aydın, 2020). Çevre kirliliği, sağlık sorunları ve kimyasal büyüme artırıcıların neden olduğu reaksiyonlar ve bunların biyolojik olarak parçalanabilirliğinin düşük olması, araştırmacıları büyüme düzenleyici aktiviteye sahip yeni biyogübre arayışına yöneltmiştir. Bu nedenle bu çalışmada; biyostimülant olarak kullanılan sıvı yosun gübresi ve vermikompostun farklı dozlarının arpanın temel büyüme özellikleri ile rizosferdeki solunum ve β -glukosidaz aktivite üzerine etkisi incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bitki materyali olarak arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidi Akhisar-98 kullanılmıştır. Sıvı yosun gübresi ve vermikompost ticari gübre satan bayiden sağlanmıştır. Kullanılan sıvı yosun gübresinin organik madde içeriği %12, suda çözünür K₂O %3, Aljinit asit miktarı %0.3, EC; 13.56 dS/m, pH içeriği 6'dır. Vermikompost (EcosolFarm) katı formda kullanılmıştır. Deneme saksılarına (2 kg'lık) 2 mm çaplı elekten

elenmiş topraklar doldurulmuş, tohum ekiminden önce vermikompost ayrı ayrı (kontrol (hiçbir uygulama yapılmayan), %10, % 20 ve % 40) saksılara uygulanmıştır. Tohumlar ekiminden sonra ayrı ayrı farklı dozlarda sıvı yosun gübresi (kontrol, % 1, % 2, % 3) uygulanmıştır. Tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulan deneme doğal ışık alan serada yürütülmüştür. Saksılara arpa tohumları 5 tane ekilmiş, çıkış sonrası 2'e seyreltilmiştir. Sıvı yosun gübresinin her uygulama dozu ayrı ayrı saksılara 50 ml olacak şekilde çimlenme sonrası uygulanmıştır. Bitkiler gerektiğinde su ile sulanmıştır. Bitkiler çimlenmeden 60 gün sonra hasat edilmiştir. Kullanılan toprağın pH'ı 8.01, EC 0.94 dS/m, organik madde % 1.68, total N içeriği % 0.06; kireç % 19.8, K₂O 112.4 kg/da, Yarayıslı fosfor 4.68 kg/da, tekstür killidir.

Temel bitki büyüme özellikleri

Bitki boyu (cm); bitkinin topraktan çıkışından en uç kısmının cetvel ile ölçülmesi ile belirlenmiştir. Hasat zamanı uygulamalardaki bitkiler, yeşil aksamı için kök boğazından kesilmiş, kökleri ile ayrı ayrı 80 °C'de kurutulmuş, yeşil aksam ve kök kuru ağırlıkları tartılmıştır. Hasat zamanı her bir uygulamaya ait bitki kökleri, su ile yıkanmış ve topraktan arındırılmış, cetvel ile kök uzunlukları ölçülmüş, cm olarak kaydedilmiştir.

Yaprakların Klorofil İçeriği

1 g taze yaprak örneği distile su ile yıkanmış, % 80 aseton ile homojenizasyon sonrası 6.000 devir/dk 5 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Toplanan süpernatanın OD'si, spektrofotometre kullanılarak klorofil a ve klorofil b için sırasıyla 663 ve 646 nm'de ölçülmüştür. Klorofil a ve klorofil b konsantrasyonları (mg/kg) Rathore ve Kumar (2021) tarafından açıklanan aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır. Klorofil a = $12.21 \times OD_{663} - 2.81 \times OD_{646}$, Klorofil b = $20.13 \times OD_{646} - 5.03 \times OD_{663}$

Kök bölgesinin bazı mikrobiyolojik Özellikleri

Rizosfer bölgesinden alınan toprak örneklerinde mikrobiyal toprak solunumu (CO₂ oluşumu) ve β-glukosidaz aktiviteleri incelenmiştir. Toprak örneklerinde solunumu belirlemek amacıyla Isermayer yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde toprak örnekleri (50 g) NaOH (0.1 N) çözeltisinde 25 °C' de 1 gün inkübe edilmiş ve ölçümleri yapılmıştır (Anderson, 1982). β-glukosidaz aktivitesi için; bir test tüpüne toprak (1 g) alınarak, toluen (0.25 ml) ilave edilmiştir. Daha sonra 4 ml MUB (pH 6) ve 1 ml p-nitrofenil-β-D-glukozit (25 mM PNG) ilave edilmiş, karıştırılmıştır. Süspansiyon 37°C'de 1 saat süreyle inkübe edilmiştir. Ardından 1 ml kalsiyum klorür (0.5 M) ve tris çözeltisi (4 ml) eklenmiştir filtre kağıdından süzümüştür. Süzük 400 nm'de spektrofotometrede okunmuştur. Standart için p-nitrofenil-β-D-glukozitin (PNG) bir kalibrasyon eğrisi hazırlanmıştır ve aktivite mg PNG g⁻¹ kuru toprak h⁻¹ olarak ifade edilmiştir (Mukherjee ve ark., 2021).

İstatistik Analiz

Denemeye ait sonuçlar JMP11 istatistik programı kullanılarak bitki temel büyüme özellikleri, rizosferdeki mikrobiyal solunum, β-glukosidaz aktivite değerlendirilmiştir. Sonuçlar, her bir ölçümün üç ortalaması (n = 3) ± SE olarak verilmiştir. Uygulamalar arasındaki farklılık Duncan Çoklu Aralık Testine göre belirlenmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çevre güvenliği ve sosyo-ekonomik konular için sağlıklı bitkisel ürünlerin sürdürülebilir üretimini sağlamak yalnızca tarım, ekoloji ve çevre açısından kritik bir konu değil, aynı zamanda çiftçiler, araştırmacılar ve paydaşlar tarafından da üzerinde düşünülmektedir. Ancak çiftçiler, bitki büyümesini ve üretkenliğini artırmak için kimyasal gübre gibi üretiminde çok fazla enerjisi gerektiren kimyasallar kullanmaktadırlar; bu da CO₂ konsantrasyonunu, sıcaklığı, sera gazı emisyonlarını, çevre kirliliğini artırdığı gibi ürün kalitesi de dahil olmak üzere toprak sağlığının bozulmasına neden olmaktadır. Organik tarım uygulamaları, toprağı iyileştirmenin ve uzun vadede tarımsal üretimi artırmanın tek yoludur (Zhang ve ark., 2020). Toprak sağlığı, toprağın fiziksel, biyolojik ve kimyasal bileşenleri arasındaki karmaşık etkileşimin bir sonucudur. Toprak yönetimi gibi tarımsal uygulamaların da bu bileşenler üzerinde önemli bir etkisi olabilmektedir (Zhang ve ark., 2020; Hu ve ark., 2021). Bu nedenle araştırmamızda biyostimülant olarak kullanılan sıvı yosun gübresi ve vermikompostun bitki büyüme özellikleri ile rizosferde mikrobiyal solunum ve β-glukosidaz aktivite üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bitki kökleri ile topraktaki mikroorganizmalar arasındaki etkileşimler rizosfer bölgesinde meydana geldiğinden, kök yüzeyinde ve kök çevresinde mikrobiyal çeşitlilik oldukça yükündür. Rizosferdeki mikroorganizmalar tarafından üretilen metabolitler ile bitki gelişimi stimüle edilebildiği gibi patojen mikroorganizmalarında gelişimi engellenebilmektedir (Sahab ve ark., 2020; Voko ve ark., 2022). Topraklara eklenen vermikompost, deniz yosunu gibi organik maddelerin topraktaki mikrobiyal popülasyon üzerinde olumlu etkileri yapılan çeşitli çalışmalarda açıklanmıştır (Voko ve ark., 2022). Çalışmamızda uygulamalar sonucu %3 yosun gübresi ile %20 vermikompost uygulamasının diğer uygulamalara göre; yeşil aksam kuru ağırlık, bitki boyu ve kök uzunluğu üzerinde daha etkili olduğu (Tablo 1), kontrole göre yeşil aksam kuru ağırlığını %45.6, bitki boyunu %5.2 ve kök uzunluğunu %24.3 oranında arttırdığı belirlenmiştir (Tablo 1). En yüksek kök kuru ağırlığı %40 vermikompost ve %2 ile %3 yosun gübresinin kombinasyonu ile elde edilmiş, kontrole göre artış % 41.7 olmuştur. Yapılan varyans analiz sonuçlarına göre gübrelerin, yosun gübresi x vermikompost etkisi istatistik olarak önemsiz bulunmuştur.

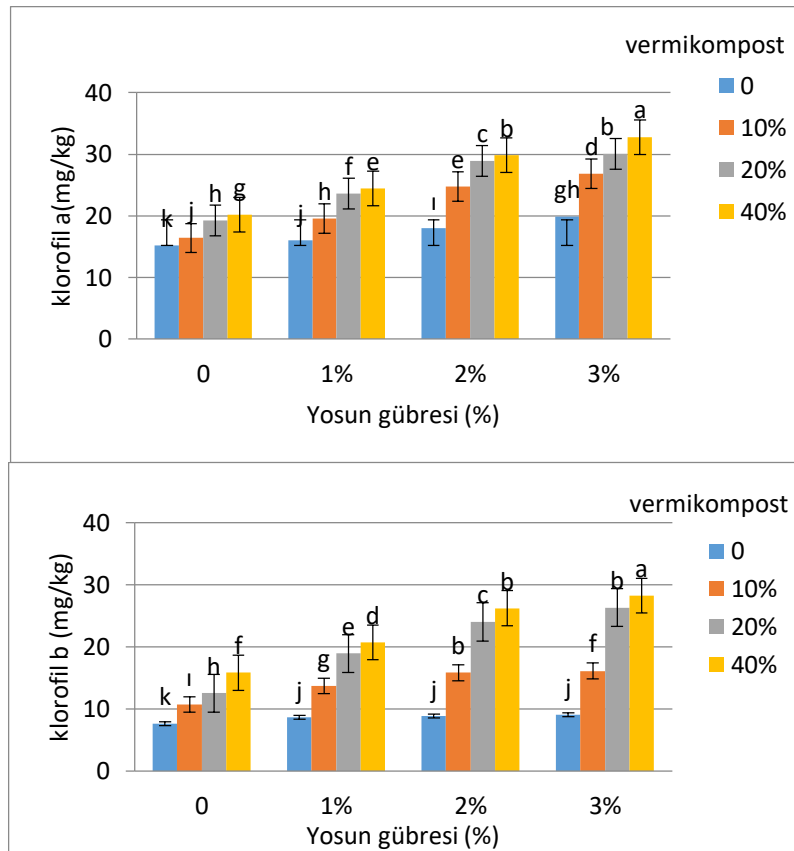
Uygulanan yosun gübresinin dozları kendi aralarında karşılaştırıldığında % 3'lük doz diğer dozlara göre etkili bulunmakla birlikte, istatistik olarak önemsizdir. Yapılan çalışmalarda ise farklı dozlardaki vermikompost ve sıvı deniz yosunu uygulamaları çeşitli bitkilere uygulanmış, elde edilen sonuçlar uygulamaların bitkilerin bitki ağırlığı, bitki boyu, kök kuru ağırlık ve kök uzunluğu üzerinde etkili olduğunu göstermiştir (Ji ve ark., 2017; Kumari ve ark., 2011; Meng ve ark., 2022). Araştırmacılar uygulanan bitki çeşitleri, toprak yapısı, uygulanan gübre çeşidine göre farklılık olacağını açıklamışlardır (Kumari ve ark., 2011; Meng ve ark., 2022). Yapılan bir çalışmada ise *Macrocystis pyrifera* ekstraktı uygulanan marulun kök gelişimi kontrole göre önemli ölçüde artmış ve uygulamanın marul üzerinde oldukça etkili olduğu açıklanmıştır (Julia ve ark., 2020).

Tablo 1. Yosun gübresi ve vermikompost uygulamalarının arpanın bazı bitki özelliklerine etkileri

Bitki özellikleri	Yosun gübresi uygulaması (%)	Vermikompost (%)				ortamalar
		Kontrol	10	20	40	
Yeşil aksam kuru ağırlık (g/bitki)	0	0.29±0.2e	0.47±0.2 b	0.56±0.1a	0.36±0.1de	0.42
	1	0.48±0.2b	0.37±0.2de	0.50±0.2ab	0.49±0.2 b	0.46
	2	0.39±0.3d	0.44±0.4bc	0.56±0.2a	0.55±0.4a	0.48
	3	0.46±0.1bc	0.41±0.3d	0.57±0.1 a	0.43±0.2cd	0.47
	Ort.(LSD:0.32)	0.40	0.41	0.55	0.45	
Bitki boyu (cm)	0	35.8±0.1a-d	34.2±0.1b-e	33.8±0.5de	31.6±0.2 ef	33.9
	1	34.9±0.2b-d	36.1±0.4a-d	33.9±0.2 c-e	30.7±0.1f	33.9
	2	34.6±0.1 b-d	36.7 ±0.3abc	36.6±0.1 a-d	31.6±0.2 ef	34.9
	3	35.3±0.2 a-d	36.9 ±0.3ab	37.8±0.1a	34±0.2 c-e	36
	Ort.(LSD:0.49)	35.1	36	35.5	32	
Kök kuru ağırlık (g/bitki)	0	1.4±0.4 d	1.67±0.6 b-d	1.32±0.4 d	1.4±0.3d	1.5
	1	1.65±0.06 b-d	1.41±0.2 d	1.94±0.1bc	1.7±0.1 b-d	1.7
	2	1.74±0.1 b-d	1.47±0.2 cd	1.54±0.2 cd	2.4±0.2 a	1.8
	3	1.62±0.4 b-d	1.68±0.1 b-d	2.1±0.1 ab	2.4 ±0.2 a	2
	Ort.(LSD:0.47)	1.6	1.6	1.7	1.97	
Kök uzunluğu (cm)	0	19±0.5bc	18.2±0.4 c	20.6±0.2 a-c	20.3±0.2a-c	19.5
	1	21.2±0.2a-c	21.1±0.5 a-c	21.1±0.1 a-c	20.2±0.1a-c	20.9
	2	20.2±0.2 a-c	25.1±0.5 a	21.9±0.1 a-c	24.2±0.1ab	22.9
	3	23.3±0.1 a-c	20.7±0.2 a-c	25.1±0.2 a	23±0.1a-c	23.1
	Ort.(LSD:5.58)	20.9	21.3	22.2	21.9	

Tüm uygulamalar, kontrole karşılaştırıldığında fotosentetik pigmentlerin bir ölçüsü olan klorofil a ve b konsantrasyonlarını önemli ölçüde arttırmıştır (Şekil 1). Sadece vermikompost kendi arasında incelendiğinde, en etkili uygulama dozu %40 olarak, yosun gübresi kendi arasında karşılaştırıldığında ise %3'lük doz dozlar arasında en etkili olarak belirlenmiştir. En yüksek klorofil a ve klorofil b %3 yosun gübresi ile %40 vermikompost uygulamasında elde edilmiştir ve kontrole göre sırasıyla; %53.6, %72.9 oranında artış elde edilmiştir. Benzer bulgular *Amaranthus hybridus* L.'de, vermikompost ve eckol gibi doğal

biyostimülantların yaprağa uygulanmasında da rapor edilmiştir (Ngoroyemoto ve ark., 2019). Voko ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada; *Vigna unguiculata* (L.)'da kuraklık stresi altında deniz yosunu ekstraktı ve vermikompost uygulamalarından sonra klorofil içeriğinin arttığı belirlenmiştir. Biyostimülantların biyoyarıcı etkisi çeşitli mekanizmalarla açıklanabilir; topraktan bitki besin alımını ve asimilasyonu iyileştirmek, kök yapısının güçlendirilmesi, bitkilerin fizyolojik performansının artırılması, antioksidan savunma sisteminin güçlendirilmesi, besin asimilasyonu, taşıyıcı genlerin regülasyonu, enzimlerin ve organik bileşiklerin üretimi yoluyla rizomikrobiyomun değiştirilmesidir (Trivedi ve ark., 2022). Benzer şekilde deniz yosunu ekstraktı, hormonal homeostazis, besin taşıyıcı genlerin yukarı regülasyonu, fotosentezin uyarılması ve reaktif oksijen türleri (ROS) seviyeleri de dahil olmak üzere antioksidan uyarımı ve azalan lipit peroksidasyonu nedeniyle artan stres toleransı yoluyla bitki büyümesini ve gelişimini artırabilir (Trivedi ve ark., 2018). Deniz yosunu ekstraktlarındaki polisakkaritlerin, betainlerin, poliaminlerin, fenolik bileşiklerin ve fitohormonların varlığı, çeşitli sinyal yollarını ve gen ifadesini etkileyebilir, dolayısıyla bitkiler üzerinde olumlu bir etki yaratabilir (Trivedi ve ark., 2022). Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre; klorofil a ve b içeriğine sadece vermikompost uygulandığında en etkili doz %40 olarak belirlenmiş, bunu sırası ile %20 ve %10'luk dozlar izlemiştir. Benzer olarak sadece yosun gübresi uygulandığında da en etkili doz %3 olarak belirlenmiş bunu sırası ile %2 ve %1'lik dozlar izlemiştir. Çalışmamızda da vermikompost ve yosun gübresinin beraber uygulanması ile fotosentetik pigmentlerin artışının belirlenmesi hem vermikompost hem de sıvı yosun gübresinin olumlu etkisinden kaynaklandığı araştırmacıların bulguları ile desteklenmektedir.



Şekil 1. Farklı dozlardaki yosun gübresi ve vermikompostun klorofil içeriğine etkileri

Toprağın biyolojik özellikleri arasında mikrobiyal solunum; solunum sürecinde toprak mikroflorası tarafından serbest bırakılan CO₂'nin tahminini ve toprak mikroorganizmalarının hücre yapılarında sabitlenen karbonun miktarını belirtir. Her ikisinin de toprağın mikrobiyal popülasyonu ve aktiviteleri ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Parastesh ve ark., 2019). Çalışmamızda yosun gübresinin artan dozlarının toprağa eklenmesi mikrobiyal solunumu önemli ölçüde artırmıştır (p<,0001). Vermikompost (%40) ve yosun gübresinin (%3) birlikte uygulanması ile β-glukosidaz aktivite ile mikrobiyal solunumda en yüksek değer elde edilmiştir. Uygulamalar kontrole göre glukosidaz aktiviteyi %59.7 oranında artırırken, mikrobiyal solunum %64 oranında artmıştır (Tablo 2). Glukosidazın, toprakta bulunan yaygın bir enzim olduğu ve karbon döngüsünde yer aldığı için organik bileşiklerin bozunma ve stabilizasyon süreçlerini ölçmede biyokimyasal bir gösterge olarak kullanıldığı açıklanmıştır (Ruiz ve Salas, 2019). β-glukosidaz aktivite ve mikrobiyal solunumdaki önemli artışın, uygulamaların toprağa kazandırdığı organik maddeden kaynaklanabildiği düşünülmektedir,

çünkü organik içerikler substrat görevi görebildiğinden, toprak mikroflorasına çözünebilir besin maddeleri sağlayabilmekte ve toprak mikrobiyal popülasyonunun bolluğunu artırabildiği yapılan bir çalışmada rapor edilmiştir (Sarma ve ark., 2018).

Toprakların fizikokimyasal özelliklerinin analizi, üretim potansiyellerini ölçmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Toprağın organik materyalinin kalitesinin doğrudan gösterge toprak enzimleri ile ilişkili olduğundan; yönetim uygulamaları ve maruz kalınan biyotik ve abiyotik faktörler sonucunda toprak kalitesindeki değişikliklerin göstergesi olarak kabul edilir ve mikrobiyal aktiviteyi izlemek için kullanılmaktadır (Ruiz ve Salas, 2019). Enzimlerin aynı zamanda toprak fonksiyonunda da vazgeçilmez olduğu, organik maddenin ayrışmasında ve besin döngüsü dönüşümünde hayati bir rol oynadığı bildirilmiştir (Ruiz ve Salas, 2019). Tablo 2’de görüldüğü gibi, hem yosun gübresi hem vermikompostun artan dozlarında mikrobiyal toprak solunumu ve β -glukosidaz aktivitede artış olmuştur. Uygulanan vermikompost dozları kendi aralarında karşılaştırıldığında en etkili doz %40 olmuş, bunu sırası ile %20 ve %10’luk dozlar izlemiştir. Benzer olarak yosun gübresinin yüksek dozu (%3’lük doz) en etkili bulunurken dozların azalması ile etki azalmıştır. Topraklara uygulanan gübre ile topraklara belirli oranda karbon girmekte, topraklardaki bu karbonun mikroorganizmalarca karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılarak mikrobiyal aktivitenin arttırdığı ve dolayısıyla mikrobiyal toprak solunumu ve glukosidaz aktivitede artışa neden olduğu düşünülmektedir. Çalışmamızda da uygulamaların farklı olması topraktaki aktivitede farklı etki oluşturmuş, kontrolle karşılaştırıldığında önemli ölçüde artış meydana gelmiştir (Tablo 2).

Vermikompost ve yosun gübresinin yüksek uygulama dozunun diğer uygulama dozlarına göre toprağa daha fazla karbon sağlamanın mikrobiyal toprak solunumu ve β -glukosidaz aktiviteyi artırdığı düşünülmektedir. Ruiz ve Salas (2019) topraklara uygulanan gübrelerin ve uygulama dozlarına bağlı olarak ortaya çıkan farklılıkların topraktaki mikroorganizmaların farklı oranlardaki stimülasyonuna, gübre çeşidi ve miktarına bağlı olarak topraktaki mikrobiyal aktiviteyi farklı etkilemesine bağlamışlardır. Bu da bizim uygulama bulguları arasındaki farklılığı desteklemektedir. β -glukosidaz enzimi karbon döngüsünün ayrılmaz bir parçasıdır ve selüloz bozulmasında etkili olduğundan toprak kalitesinin değerlendirilmesinde analiz edilen enzimdir (Ruiz ve Salas, 2019). Bu reaksiyonun son ürünü, mikroorganizmalar için önemli bir karbon kaynağı olan glikozdur. Glikozun ortamda bulunması mikrobiyal aktivitenin artmasına neden olmaktadır. Toprağın enzimatik özelliklerinden β -glukosidaz aktivitenin artması organik katkı maddeleri tarafından geliştirilmiş mikrobiyal solunum ile ilişkilendirilebilir, bu da toprağın metabolik aktivitelerinin iyileşmesine neden olabilir (Hamdi ve ark., 2019). Ayrıca vermikompost, sıvı deniz yosunu gibi organik materyallerin, yapılan bazı araştırmalarda toprak sağlığında önemli bir artışa neden olduğunu göstermiştir. (Gupta ve ark., 2019; Trivedi ve ark., 2022).

Tablo 2. Yosun gübresi ve vermikompostun farklı dozlarının rizosferde mikrobiyal solunum ve β -glukosidaz (mg-p nitrofenol/g toprak) aktivite üzerine etkisi

Rizosferdeki mikrobiyal aktivite	Yosun gübresi (%)	Vermikompost dozları (%)				ortalama
		Kontrol	10	20	40	
Mikrobiyal toprak solunumu (mg/toprak)	0	26.1±0.5* n	29.4±0.5 l	34.3±0.2 j	36.3 ±0.2i	31.5
	1	28.5±0.5 m	32.7 ±0.7k	37.9 ±0.2h	41.4 ±0.2g	35.1
	2	36.7±0.3 ı	42.9 ±0.8f	62.8 ±0.2d	65.6±0.4 c	52
	(LSD:0.88) Ort.	33.3	40.4	51 ±0.7b	54	60
β -glukosidaz (mg-p nitrofenol/g toprak)	0	31.3±0.3 m	32.1±0.7 m	37 ±0.2k	38.1±0.5 j	34.6
	1	34.3±1.6 l	34.9 ±0.5l	42.3 ±0.4ı	46.5 ±0.3g	39.5
	2	43.4 ±0.1h	55.4 ±0.4e	57.5 ±0.5d	68.3 ±0.4b	56.2
	(LSD :0.96) Ort.	39.3	44.9	50.1 ±0.3c	57.6	61.6

SONUÇ

Tahıl bitkileri küresel gıda üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, üretimde ve zararlılarla mücadelede kimyasal gübrelerin ve pestisitlerin geleneksel kullanımı, insan sağlığı için risklere, çevresel sürdürülebilirlik konusunda önemli endişelere yol açmıştır. Çalışmamızda; vermikompostun %40 ve yosun gübresinin %3'lük doz interaksyonunun rizosfer toprağının mikrobiyal solunum ve β -glukosidaz enzim aktivitesini önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir. Mikrobiyal aktivitedeki artışın, topraktaki besin maddesi mineralizasyonunu hızla artıracığı ve dolayısıyla bitki gelişimini teşvik edeceği düşünülmektedir. Biyostimülantların kullanımı toprak kalitesini iyileştirebilir. Ancak herhangi bir öneriden önce uzun vadeli çalışmalara, tarla denemelerine ve moleküler düzeyde araştırmalara ihtiyaç vardır. Biyostimülantlar kimyasal gübrelere olan bağımlılığını azaltmada ümit verici bir role sahip olmakla birlikte, artan gıda talebini karşılamak için kaliteli tarım ürünleri sağlama yeteneğine sahiptir. Bitkiler, amino asitleri ve diğer biyostimülantları besin gereksinimlerine, çevresel koşullarına ve genetik yapılarına göre kullanırlar. Yosun gübresi ve vermikompost gibi biyostimülantların ürün çeşidine, doza, uygulama süresine, yonteme ve iklim koşullarına özgü olması nedeniyle sonuçlarımız bildirilen diğer sonuçlardan farklı olabilir. Çalışmada uygulanan biyostimülantların optimum dozları, uygulama süresinin çiftçilere önerilmesi, etki mekanizmasını ve ekonomik analizini bulmak için daha fazla araştırma yapılması gereklidir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yapılmasında maddi destek sağlayan Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (HÜBAP-21256) teşekkürlerimizi sunarız.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını tasdik ederler.

YAZAR KATKISI

Tüm yazarlar eşit katkı sağlamıştır.

ETİK BEYAN

“Vermikompost ve Sıvı Deniz Yosunu Ekstraktı Uygulamalarının Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Rizosferinde Mikrobiyal Solunum ve β -glukosidaz Aktiviteye Etkisi” başlıklı çalışmanın yazım sürecinde bilimsel kurallara, etik ve alıntı kurallarına uyulmuş; toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapılmamış ve bu çalışma herhangi başka bir akademik yayın ortamına değerlendirme için gönderilmemiştir. Bu araştırma doküman analizi ve betimsel incelemeye dayalı olarak yapıldığından etik kurul kararı zorunluluğu bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Adegbeye, M.J., Reddy, P.R.K., Obaisi, A.I., Elghandour, M.M.M.Y., Oyebamiji, K.J., & Salem, A.Z.M., (2019). Sustainable agriculture options for production, nutritional mitigation of greenhouse gasses and pollution, and nutrient recycling in emerging and transitional nations-an overview. *Journal of Cleaner Production*, 118, 319–314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118319>
- Anderson, J.P.E. (1982). Soil respiration. In: methods of soil analysis, part 2, chemical and microbiological properties (Ed. A.L. Page). ASA-SSSA, Madison, Wiscnsin. pp. 831-871.
- Arioli, T., Mattner, S.W., & Winberg, P.C. (2015). Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: Past, present and future. *Journal of Applied Phycology*, 275, 2007-2015
- Banerjee, S., Walder, F., Buchi, L., Meyer, M., Held, A. Y., & Gattinger, A. (2019). Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. *Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, 13, 1722–1736. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0383-2>
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>

- Choudhary, V.K., & Kumar, P.S. (2019). Weed suppression, nutrient leaching, water use and yield of turmeric (*Curcuma longa* L.) under different land configurations and mulches. *Journal of Cleaner Production*, 210, 795–803. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.071>
- Craigie J.S. (2011). Seaweed extracts stimuli in plant science and agriculture *Journal of Applied Phycology*, 233, 371-393, <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
- Demirsoy, M., & Aydın, M. (2020). The Quantitative Effects of Liquid Vermicompost and Seaweed Practices on the Seedling Quality of Organic Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Environmental Trends (IJENT)* 4, 17-27.
- Dominguez, J. (2004). *State-of-the Art and New Perspectives On Vermicomposting Research*. (2nd ed), CRC Press, Boca Raton, pp. 401-424, <https://doi.org/10.1201/9781420039719.ch20>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulture*, 196, 3-14, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Gupta, R., Singh, A., Srivastava, M., Shanker, K., & Pandey, R. (2019). Plant-microbe interactions endorse growth by uplifting microbial community structure of *Bacopa monnieri* rhizosphere under nematode stress. *Microbiological Research*, 218, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.10.006>
- Penuelas, J., Coello, F., & Sardans, J. (2023). A better use of fertilizers is needed for global food security and environmental sustainability. *Agriculture Food Security*, 12, 1-9. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00409-5>
- Frank, S., Havlík, P., Stehfest, E., van Meijl, H., Witzke, P., & Perez-Domínguez, I. (2019). Agricultural non-CO₂ emission reduction potential in the context of the 1.5°C target. *Nature Climate Change*, 9, 66–72. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0358-8>
- Hao, P. F., Qiu, C. W., Ding, G., Vincze, E., Zhang, G., & Zhang, Y. (2020). Agriculture organic wastes fermentation CO₂ enrichment in greenhouse and the fermentation residues improve growth, yield and fruit quality in tomato. *Journal of Cleaner Production*, 275, 123885. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123885>
- Hu, R., Liu, Y., Chen, T., Zheng, Z., Peng, G., & Zou, Y. (2021). Responses of soil aggregates, organic carbon, and crop yield to short-term intermittent deep tillage in southern China. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126767. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126767>
- Ji, R., Dong, G., Shi, W., & Min, J. (2017). Effects of liquid organic fertilizers on plant growth and rhizosphere soil characteristics of chrysanthemum. *Sustainability*, (9), 841-857 <https://doi.org/10.3390/su9050841>
- Julia, I., Oscar, M., Analia, L., & Guilherme, J. (2020). Biofertilization with *Macrocystis pyrifera* algae extracts combined with PGPR enhanced growth in *Lactuca sativa* seedlings. *Journal of Applied Phycology*, (32), 4361-4371. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02202-4>
- Khan, A.A., Jilani, G., Akhtar, M.S., Naqvi, S.M.S., & Rasheed, M. (2009). Phosphorus Solubilizing Bacteria: occurrence, Mechanisms and their Role in Crop Production. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 11, 48-58
- Kumari, R., Kaur, I., & Bhatnagar, A.K. (2011). Effect of aqueous extract of *Sargassum johnstonii* Setchell Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Journal of Applied Phycology*, 233, 623-633, <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9651-x>
- Meng, C., Gu, X., Liang, H., Wu, M., Wu, Q., Yang, L. (2022). Optimized preparation and high-efficient application of seaweed fertilizer on peanut. *Journal Agriculture Research*, 7, 100275. doi: 10.1016/j.jafr.2022.100275
- Mukherjee, A., Gaurav, A.K., Patel, A.K., Singh, S., Chouhan, G.K., & Lepcha, A. (2021). Unlocking the potential plant growth-promoting properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed endophytes bio-inoculants for improving soil health and crop production. *Land Degradation & Development*, 32 (15), 4362–4374. doi: 10.1002/ldr.4042
- Ngoroyemoto, N., Gupta, S., Kulkarni, M. G., Finnie, J. F., Van Staden, J. (2019). Effect of organic biostimulants on the growth and biochemical composition of *Amaranthus hybridus*. *South African Journal of Botany*, 124, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.03.040>
- Parastesh, F., Alikhani, H. A., & Etesami, H. (2019). Vermicompost enriched with phosphate-solubilizing bacteria provide the plant with enough phosphorus in sequential cropping under calcareous soil conditions. *Journal of Cleaner Production*, 221, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.234>
- Raj, Y., Ali, N., Pati, A.M., & Kumar, R. (2022). Cleaner production technologies for the amelioration of soil health, biomass and secondary metabolites in *Ocimum basilicum* L. under Indian Western Himalaya. *Frontier Plant Science*, 13, 1-21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.976295>
- Rathore, S., & Kumar, R. (2021). Agronomic interventions affect the growth, yield, and essential oil composition of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) in the western himalaya. *Industrial Crops and Products*, 171, 113873. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113873>
- Raza, Q., Rehim, A., Bashir, M.A., Razai H.M.A., Aon, M., Geng, Y., Moustafa, M., Alshaharni, M.O., Ali, H., & Lucas, R.S. (2024). Identifying the abilities of biostimulants to improve vegetable production compared with conventional fertilizer. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1345259>
- Ruiz, J.L., & Salas, M.C. (2019). Evaluation of Organic Substrates and Microorganisms as Bio-Fertilisation Tool in Container Crop Production. *Agronomy*, 9(11),705, <https://doi.org/10.3390/agronomy9110705>

- Sahab, S., Ibha, S., Srivastava, V., Puneet, C., Singh, R., & Prasad, V. (2020). Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: current status and management strategies. *Science of the Total Environment*, 764 (2020), pp. 144-164, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144164>
- Sarma, B., Farooq, M., Gogoi, N., Borkotoki, B., Kataki, R., & Garg, A. (2018). Soil organic carbon dynamics in wheat-green gram crop rotation amended with vermicompost and biochar in combination with inorganic fertilizers: A comparative study. *Journal of Cleaner Production*, 201, 471–480. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.004>
- Trivedi, K., Vijay Anand, K. G., Kubavat, D., Patidar, R., & Ghosh, A. (2018). Drought alleviatory potential of Kappaphycus seaweed extract and the role of the quaternary ammonium compounds as its constituents towards imparting drought tolerance in *Zea mays*. *Journal of Applied Phycology*, 30 (3), 2001–2015. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1375-0>
- Trivedi, K., Kumar, R., Vijay Anand, K. G., Bhojani, G., Kubavat, D., & Ghosh, A. (2022). Structural and functional changes in soil bacterial communities by drifting spray application of a commercial red seaweed extract as revealed by metagenomics. *Archives of Microbiology*, 204 (1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02644-5>
- Yasmin, S., & D'Souza, D. (2007). Effect of pesticides on the reproductive output of *Eisenia fetida*. *The Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79(5), 529-532, <https://doi.org/10.1007/s00128-007-9269-5>
- Voko, M.P., Kulkarni, M., Ngoroyemoto, N., Gupta, S., Finnie, J., & van Staden, J. (2022). Vermicompost leachate, seaweed extract and smoke-water alleviate drought stress in cowpea by influencing phytochemicals, compatible solutes and photosynthetic pigments. *Plant Growth Regulation*. 97, 327-342 <https://doi.org/10.1007/s10725-022-00815-y>
- Zhang, Q., Song, Y., Wu, Z., Yan, X., Gunina, A., & Kuzyakov, Y. (2020). Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation. *Journal of Cleaner Production*. 242, 118435. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118435>