



Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2023, 60 (2):331-342
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1233187>

Revna ERGÜN UZUNOĞULLARI¹

Nur OKUR^{2*}

¹ Günel Biyolojik Tarım, Huzur Sokak, Kargı Mahallesi, No: 1/2, 48300, Fethiye, Muğla, Türkiye

² Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author):

nur.okur@ege.edu.tr

Sıvı vermicompost ve mikrobiyal gübre uygulamalarının toprağın bazı kimyasal ve biyolojik özellikleri ile marul bitkisinin (*Lactuca sativa* L.) verimi üzerine etkileri*

The effects of biofertilizer and liquid vermicompost on the chemical and biological properties of the soil and the yield of lettuce plant (*Lactuca sativa* L.)

* Birinci yazarın Yüksek Lisans tezinden özetlenen bu makale E.Ü. BAP Koordinatörlüğü tarafından FYL-2019-20449 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Received (Alınış): 13.01.2023

Accepted (Kabul Tarihi): 05.06.2023

ÖZ

Amaç: Bitki gelişimini uyarayan rizobakterileri (PGPR) içeren bir mikrobiyal gübre ile sıvı vermicompost ve kimyasal gübre uygulamalarının marul bitkisinin kök gelişimi, verimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem: Deneme konuları: 1) NPK%100, 2) Sıvı Vermikompost, 3) Mikrobiyal Gübre+ Sıvı Vermikompost 4) Mikrobiyal Gübre, 5) NPK (%50) + Sıvı Vermikompost, 6) NPK (%50) + Mikrobiyal Gübre, 7) NPK (%50) + Mikrobiyal Gübre+ Sıvı Vermikompost. Bitkilerin 10 hafta sonra hasatları yapılarak pazarlanabilir baş ağırlıkları ve kök gelişimleri belirlenmiş ve toprak örneklerinde bazı mikrobiyolojik ve kimyasal analizler yapılmıştır.

Araştırma Bulguları: Uygulamaların toprağın kimyasal (pH, toplam tuz, organik madde, toplam N, alınabilir P ve K) ve mikrobiyolojik özellikleri (toplam genel bakteri sayısı ve toprak solunumu) ile marul bitkisinin kök gelişimi, verimi ve azot alımı üzerine etkisi istatistiki anlamda önemli bulunmuştur.

Sonuç: Mikrobiyal gübre ve sıvı vermicompost ile kombine edilen kimyasal gübrelerde %50 azalmanın verimde bir kayba neden olmadığı ve bu uygulamaların kimyasal gübre uygulamasına oranla verimi yaklaşık %26 oranında artırdığı saptanmıştır.

ABSTRACT

Objective: It was aimed to examine the effects of a biofertilizer containing rhizobacteria promoting plant growth (PGPR), liquid vermicompost, and chemical fertilizer applications on root growth, yield of lettuce and some soil properties.

Material and Methods: The subjects: 1) NPK 100%, 2) Liquid Vermicompost, 3) Microbial Fertilizer+Liquid Vermicompost 4) Microbial Fertilizer, 5) NPK (50%)+ Liquid Vermicompost, 6) NPK (50%)+Microbial Fertilizer, 7) NPK (50%) Microbial Fertilizer+Liquid Vermicompost. After 10 weeks, the plants were harvested, marketable head weights and root growth were determined, and some microbiological and chemical properties of soils were determined.

Results: The chemical and microbiological properties of the soil and root growth, yield and N uptake of the lettuce plant significantly changed depending on the applications.

Conclusion: It was determined that 50% reduction in chemical fertilizers combined with microbial fertilizer and liquid vermicompost did not cause a loss in yield and that these applications increased the yield by approximately 26% compared to the application of chemical fertilizers.

Anahtar sözcükler: Kimyasal gübre, PGPR, sıvı organik gübre, toplam bakteri, toprak solunumu

Keywords: Chemical fertilizer, PGPR, liquid organic fertilizer, total bacteria, soil respiration

GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO STAT)'nin verilerine göre 2019 yılında dünya marul üretiminin % 56'sını Çin üretmiş ve bu ülkeyi sırasıyla ABD ve Hindistan izlemiştir. Türkiye marul üretiminde 2019 yılında dünya sıralamasında 10. sırada yer almıştır (Shatilov et al., 2019). Genellikle taze olarak tüketilen marul, minerallerce zengin bir sebzedir. Bununla beraber yüksek verim ve koyu yeşil yaprak renginin sağlanması için sebzelerde özellikle azotlu gübreleme yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Marul, yapraklarda nitrat birikiminin en yüksek olduğu sebzelerden biridir (Santamaria, 2006). Nitrat, nitrat redüktaz aktivitesi ile zararlı nitrit iyonlarına dönüşmektedir. Nitrit ise hemoglobin ile etkileşime girerek methemoglobin oluşumuna neden olmaktadır. Nitrit ayrıca sekonder aminlerle tepkimeye girerek potansiyel kanserojen, mutajen ve teratojen bir madde olan nitrozaminlerin oluşumuna neden olabilmektedir (Roberts & Dainty, 1991; Connolly & Paul, 2001). Bu nedenle konvansiyonel üretiminde yapraklarında nitrat/nitrit birikimi riski taşıyan salata-marul grubu sebzelerin sürdürülebilir tarım sistemlerinde üretimi insan ve hayvan sağlığı açısından önemlidir.

Sürdürülebilir tarım sistemleri, insana ve çevreye dost üretim sistemlerini içeren, sentetik kimyasal tarım ilaçları, hormonlar ve mineral gübrelerin kullanımını yasaklayan/kısıtlayan, organik ve yeşil gübreleme, ekim nöbeti, doğayı koruma ve bitkilerin direncini artırma uygulamalarını esas alan, doğal düşmanlardan faydalanmayı gerektiren, bütün bu uygulamaların kapalı bir sistemde oluşturulmasını zorunlu kılan, üretimde sadece miktar artışını değil aynı zamanda da ürün kalitesinin yükselmesini amaçlayan üretim şekilleridir. Bu üretim şekillerinde alternatif oluşturan önemli girdilerden birisi de mikrobiyal gübreler ve vermikomposttur. Mikrobiyal gübreler; bitki için gerekli olan bitki besin elementlerinin topraktan alınmasında rol oynayan canlı mikroorganizmaların tarımsal üretimde kullanılmak üzere hazırlanan ticari formülasyonlarıdır (Özbay et al., 2015). Bu gübreler genellikle çok yönlü bir etki göstermesi için atmosferik azot fikse edici bakteriler, fosfor ve potasyumun eriyebilir formlarını artıran *Bacillus* cinsine ait bakteriler ile bitkinin artan kök absortif yüzeyi ile daha fazla su ve hareketsiz besin maddelerinden (P, Zn ve Cu gibi) yararlanmasını sağlayan çeşitli mikroorganizmaları içerirler (Okur, 2018). Mikrobiyal gübrelerin bitki gelişimini artırarak farklı oranlarda verim artışlarına neden oldukları yapılan çeşitli araştırmalar sonucu belirlenmiştir (Berger et al., 2013; Altuhaish et al., 2014; Şen vd., 2016; Deng et al., 2019; Bonani et al., 2020; Çınar ve Ünay, 2021). Tohum veya toprağa uygulanan mikrobiyal gübreler, topraktaki mikrobiyal süreçleri hızlandırarak bitkiler tarafından asimile edilen besin maddelerinin yarayışlı miktarlarını artırmaktadırlar (Kumar et al., 2020). Mikrobiyal gübreler içinde bulunan bitki gelişimini uyaran rizobakteriler (PGPR), fitohormonlar üreterek doğrudan ya da azot fiksasyonu yolu ile veya topraktan kaynaklı hastalıklara karşı biyokontrol ajanları üretimi yolu ile dolaylı yoldan bitki gelişimini etkilemektedirler (Glick, 2003). PGPR'nin etki mekanizması 5 şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar; 1) Biyolojik N₂ fiksasyonu, 2) Rizosferdeki besin maddelerinin yarayışlılığının artırılması, 3) Kök yüzey alanının artırılması, 4) Konukçunun diğer yararlı sembiyozlarının artırılması ve 5) Diğer 4 etki şeklinin kombinasyonu ile bitki gelişiminin artırılmasıdır (Okur, 2014).

Sürdürülebilir tarım sistemlerinde toprağın organik madde miktarını ve mikrobiyal aktiviteyi artırmak için yapılan uygulamalardan birisi de vermikomposttur. Ürün miktarında artış sağlayabilmesi ve çevreye zararlı kimyasalların kullanımına gerek bırakmaması sebepleri ile alternatif organik kaynaklı bir gübredir (Joshi et al., 2015). Vermikompost oluşum sürecinde; organik artık/atıklar ortamdaki mikroorganizmalarca fermantasyona uğratılır ve daha sonrasında vermikompostlamada kullanılan özel solucanların sindirim sisteminden geçerken hızlandırılmış bir humifikasyon ve detoksifikasyon işlemine tabi tutulur (Edwards & Bohlen, 1996). Vermikompost içerisinde bitkinin ihtiyacı olan besin maddeleri (azot, fosfor, kalsiyum, potasyum vb) yeterli miktarlarda bulunabildiği için (Orozco et al., 1996) bitki gelişimini ve verimini olumlu yönde etkilediğine dair bilimsel çalışmalar bulunmaktadır (Arancon et al., 2005; Doan et al., 2013; Sheela & Khimiya, 2013; van Groenigen et al., 2014; Durukan vd., 2019; Bloin et al., 2019).

Vermikompostlama süreci sırasında ortaya çıkan sızıntıyı ve olası çevresel kontaminasyonu azaltmak için bir drenaj ve toplama sistemi bulunmaktadır. Vermikompost çayı, ekstraktı, sızıntı suyu veya sıvı vermikompost olarak adlandırılan solucan gübresinden elde edilen bu sıvı, büyük miktarda bitki besin maddesi içermektedir (Warburton & Pillai-McGarry, 2002). Vermikompost sızıntı suyu, yüksek besin içeriğinin yanı sıra bitki büyümesini arttırdığı bilinen hümik asitleri de içerir (Arancon et al., 2003). Hümik asitler, birçok makro ve mikro bitki besin maddelerini içermekte ve bu nedenle bitki gelişimi üzerinde etkili organik moleküllerdir (Atiyeh et al., 2002). Katı vermikompost taban gübresi şeklinde kullanılırken sıvı vermikompost ise damla sulama ya da yaprak gübresi olarak değerlendirilebilmektedir. Hem vermikompost hem de mikrobiyal gübreler, 29.03.2014 tarihli, 28956 Resmî Gazete sayılı 'Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı, İhracatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik' kapsamında değerlendirilmektedirler.

Mikrobiyolojik faaliyetin toprağın diğer kısımlarına oranla daha fazla olduğu rizosfer bölgesine yapılacak olan mikrobiyal gübre ve vermikompost uygulamaları toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde iyileşme sağlamaktadır. Bu çalışmanın hipotezini de toprak koşullarındaki bu iyileşme ile marul bitkisinin besin madde ihtiyacının, kimyasal gübrelere alternatif olarak PGPR aktivitesi ve sıvı vermikompost uygulamaları ile belli oranlarda azaltılıp azaltılamayacağı sorusu oluşturmuştur. Bir saksı denemesi olarak yürütülen çalışmada PGPR ve sıvı vermikompost tek başlarına, birlikte ve çeşitli oranlarda azaltılmış kimyasal gübre ile birlikte uygulanmış ve hasat sonunda alınan bitki ve toprak örneklerinde uygulamaların marul bitkisinin (*Lactuca sativa* L.) verim ve bazı toprak özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Çalışmada materyal olarak E.Ü. Menemen Araştırma-Uygulama Çiftliği'nden alınan toprak örneği ile ticari bir mikrobiyal gübre ve sıvı vermikompost kullanılmıştır. Denemede bitki materyali olarak ise kıvrıkcık marul çeşidi (*Lactuca sativa* L.) kullanılmıştır.

Denemede kullanılan toprak örneğinde yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneme toprağının bazı kimyasal özellikleri

Table 1. Some chemical characteristics of the experiment soil

Parametreler	Kimyasal analiz sonuçları
pH _{satüre}	7.36
Toplam Tuz, %	0.045
Kireç, %	4.59
Kum, %	59.07
Mil, %	28.00
Kil, %	12.93
Bünye	Kumlu tın
Organik Madde, %	1.62
Toplam N, %	0.123
Alınabilir P, mg kg ⁻¹	7.00
Alınabilir K, mg kg ⁻¹	441.3

Nötr reaksiyona sahip deneme toprağının tuzluluk sorunu yoktur. Organik madde miktarı düşük, kireçli ve kumlu tın bir bünyeye sahiptir. Toplam N içeriği iyi, alınabilir P miktarı orta ve alınabilir K içeriği ise çok yüksek seviyededir.

Çalışmada bitki materyali olarak kullanılan kıvırcık marul (*Lactuca sativa* L.) fideleri Antalya'da bulunan Fide Deposu firmasından temin edilmiştir. Marul bitkisi (*Lactuca sativa*), Asteraceae (Papatyagiller) ailesinin bir üyesi olup, geniş yapraklı, tek yıllık, serin iklim sebzesidir. Yetiştirme süresi iki üç ay olan salata ve marul tiplerinde açıkta ve örtü altında değişik mevsimlere uygun olarak ıslah edilmiş çeşitlerle arka arkaya yılın 12 ayı üretim yapmak mümkündür (Denli, 2015).

Çalışmada kullanılan ticari mikrobiyal gübrenin aktif içeriği Çizelge 2'de verilmiştir. Mikrobiyal gübrenin içerisinde *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Streptomyces spp.*, *Azospirillum spp.* yer almaktadır. Bu mikroorganizmaların birçoğu bitki gelişimini uyarıcı etkiye sahip olmalarının yanında patojenlere karşı antagonistik özellikleri sayesinde biyolojik mücadelede önemli ajanlar arasında yer almaktadırlar.

Çizelge 2. Mikrobiyal gübrenin (MG) aktif bileşenleri ve oranları

Table 2. Active components and proportions of microbial fertilizer (MG)

Aktif Bileşenler	Oran (KOB/ml)
<i>Azospirillum brasilense</i>	1x 10 ⁷ KOB/ml
<i>Bacillus altitudinis</i>	1x10 ⁸ KOB/ml
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	1x 10 ⁷ KOB/ml
<i>Bacillus licheniformis</i>	1x 10 ⁷ KOB/ml
<i>Cellulomonas cellasea</i>	1x 10 ⁷ KOB/ml
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1x 10 ⁷ KOB/ml
<i>Pseudomonas putida</i>	1x10 ⁸ KOB/ml
<i>Pseudomonas stutzeri</i>	1x10 ⁸ KOB/ml
<i>Streptomyces albidoflavus</i>	1x10 ⁵ KOB/ml

Çalışmada kullanılan sıvı vermikompost ise 'Solisera® Gübre Sanayi ve Ticaret A.Ş. 'den elde edilmiştir. Sıvı vermikompostun kimyasal içeriği Çizelge 3'de verilmiştir.

Yöntem

Deneme 4 Ekim 2018-14 Aralık 2018 tarihleri arasında E.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümü serasında saksı denemesi olarak gerçekleştirilmiştir. Deneme saksıları 20x16x15 cm ölçülerinde olup her birine 2.3 kg toprak örneği, 2 mm elekten geçirilerek koyulmuştur. Fideler her saksıda iki adet olacak şekilde dikilmiş, daha sonra saksılarda birer fide bırakılmıştır. Haftada üç kez çeşme suyu ile sulama ve bir kez de yabancı otların temizlenmesi yapılmıştır.

Çizelge 3. Sıvı vermikompostun (SV) bazı kimyasal özellikleri

Table 3. Some chemical properties of liquid vermicompost (SV)

Parametreler	Kimyasal analiz sonuçları
pH	7.80
Toplam N, %	0.112
Toplam P, mg l ⁻¹	110.5
Toplam K, mg l ⁻¹	98.10
Toplam Ca, %	0.24
Toplam Mg, mg l ⁻¹	869.5
Toplam Na, mg l ⁻¹	213.4
Toplam Fe, mg l ⁻¹	360.3
Toplam Zn, mg l ⁻¹	10.02
Toplam Cu, mg l ⁻¹	iz
Toplam Mn, mg l ⁻¹	12.40
Fulvik asit, %	1.50
Humik asit, %	2.40

Deneme düzeni, tesadüf blokları şeklinde üç tekerrürlü yapılmış olup deneme konuları ve uygulama dozları Çizelge 4'de gösterilmektedir.

Çizelge 4. Deneme konuları ve uygulama dozları

Table 4. The experiment subjects and application doses

Deneme Konuları		Uygulama Dozları
KG	NPK (15: 15: 15)	10 kg/da
SV	Sıvı Vermikompost	10 ml/l/da
MG	Mikrobiyal Gübre	30 ml/l/da
MG+SV	Mikrobiyal Gübre+Sıvı Vermikompost	30 ml/l/da + 10 ml/l/da
%50 KG+SV	NPK (%50)+Sıvı Vermikompost	5 kg /da + 10 ml/l/da
%50 KG+MG	NPK (%50)+Mikrobiyal Gübre	5 kg /da + 30 ml/l/da
%50 KG+SV+MG	NPK (%50)+Sıvı Vermikompost + Mikrobiyal Gübre	5 kg /da + 10 ml/l/da + 30 ml/l/da

Kimyasal gübre saksılara fide dikiminden önce homojen şekilde verilmiştir. Mikrobiyal gübre ve sıvı vermikompost materyalleri ise; ekimden bir hafta sonra toprak üzerinden marul fidelerinin rizosfer bölgesine gelecek şekilde uygulanmıştır. 10 hafta sonra hasat yapılmış ve marul bitkileri saf su ile yıkanıp daha sonra da kese kağıtlarına koyularak ağız açık olacak şekilde 65 °C' ye ayarlı kurutma dolabında son tartım sabit kalıncaya kadar kurutulduktan sonra öğütülerek kimyasal analizler için hazır hale getirilmiştir. Yine hasat döneminde mikrobiyolojik analizler için saksılardan alınan toprak örnekleri kilitli poşetlere koyularak +4°C'de buzdolabına kaldırılmıştır. Kalan toprak örnekleri ise kimyasal analizler için kurutma kutularına koyularak iki hafta oda sıcaklığında kurutmaya bırakılmıştır.

Hasat edilen bitkilerde ortalama kök yaş ağırlığı, ortalama kök uzunluğu ve ortalama baş ağırlığı saptanmıştır. Toprak örneklerinde yapılan fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizler ve kullanılan yöntemler aşağıda belirtilmektedir.

Toprakların dane büyüklüğü dağılımı hidrometre yöntemi ile (Bouyoucos, 1962), toprak reaksiyonu saf su ile sature hale getirilmiş toprak macununda cam elektrotlu pH-metre ile (Jackson, 1967), suda çözünebilir toplam tuz saf su ile doymun hale getirilen örneklerde elektriksel geçirgenliğin ölçülmesi ile (US Soil Survey Staff, 1951), kireç Scheibler kalsimetresi ile (Schlichting & Blume, 1966) ve organik madde potasyum dikromat ile yaş yakılan örneklerde Rauterberg & Kremkus (1951) ve Black (1965)'e göre tespit edilmiştir. Deneme topraklarının toplam azot içeriği modifiye Makrokjeldahl yöntemine göre (Bremner, 1965) ve alınabilir fosfor miktarı sodyum bikarbonat ekstraksiyonu ile mavi renk yöntemiyle (Olsen & Sommers, 1982) saptanmıştır. Toprakların alınabilir K miktarı, 1 N NH₄OAc (Amonyum Asetat) (pH 7) ile çalkalanarak elde edilen süzüklerde alev fotometrede tayin edilmiştir (Pratt, 1965). Toprakların mikrobiyolojik analizlerinden CO₂-Oluşumu (toprak solunumu), 0.1 N KOH kullanılarak 25°C'de 7 günlük inkübasyondan sonra mineralize olan CO₂-C' unun miktarı ile belirlenmiştir (Isermeyer, 1952). Toprakta toplam bakteri sayımı ise dökme plak yöntemine göre Plate Count Agar kullanılarak yapılmıştır (Trollenier, 1995). Marul yapraklarında toplam azot makro Kjeldahl yöntemiyle; toplam P ve K analizleri de yaş yakma (4 kısım HNO₃ + 1 kısım HClO₄) yöntemi uygulanarak elde edilen ekstraktlarda; toplam P Vanadomolibdo fosforik sarı renk yöntemi ile kolorimetrik olarak; toplam K ise alev fotometresi ile belirlenmiştir (Kacar, 1972; Kacar & İnal, 2008).

Araştırma sonuçları üç tekerrürün ortalaması şeklinde verilmiştir. Tüm veriler SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) programı kullanılarak ANOVA analizine tabii tutulmuş ve ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir ($P<0.05$).

ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Sıvı vermikompost ve mikrobiyal gübre uygulamalarının toprağın kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Uygulamaların toprağın kimyasal özellikleri üzerine etkisi istatistikî anlamda ($P<0.05$) önemli bulunmuştur (Çizelge 5). Deneme öncesi yapılan ölçümlerde toprağın pH değeri 7.36 olarak saptanmıştır

(Çizelge 1). KG uygulaması ile deneme toprağının pH düzeyi 0.4 birim düşmüştür. %50 KG uygulanmış topraklarda da 0.15 ve 0.25 arasında pH düşüşleri saptanmıştır. SV ve MG uygulamaları ise deneme toprağının pH düzeyini 0.28 ve 0.04 birim artırmıştır. Toprağın pH düzeyindeki bu değişimler 6.5-7.5 nötr toprak reaksiyon dereceleri arasında kalmış sadece SV ve MG+SV uygulamaları toprakların reaksiyonunu hafif alkali düzeye getirmiştir. SV'un yüksek pH düzeyi (7.8), 15: 15: 15 kompoze gübrenin ise asit karakterde olması nedeni ile toprakların pH düzeylerinde hafif değişimlerin meydana geldiği düşünülmektedir.

KG, SV ve MG uygulamaları toprakların toplam tuz değerleri üzerinde de değişimlere neden olmuştur. En yüksek toplam tuz içeriği KG uygulamasında (%0.130) ortaya çıkarken en düşük toplam tuz içeriği ise %0.021 ile MG+SV uygulamasında belirlenmiştir. Deneme öncesi topraktaki toplam tuz miktarı %0.045 olarak saptanmıştır (Çizelge 1). KG uygulamaları toprağın toplam tuz içeriğini artırırken, mikrobiyal gübre ve sıvı vermikompost uygulamaları ise düşürmüştür. Bu tür uygulamalardan sonra toprakların pH ve EC değerlerinde görülen dalgalanmalar diğer çalışmalarda da saptanmıştır (Yadav et al., 2002; Ullah et al., 2008; Çıtak & Sönmez, 2011; Li et al., 2012).

Çizelge 5. Kimyasal gübre (KG), mikrobiyal gübre (MG) ve sıvı vermikompost (SV) uygulamalarının toprağın kimyasal özellikleri üzerine etkisi

Table 5. The effects of chemical fertilizer (KG), microbial fertilizer (MG) and liquid vermicompost (SV) applications on the chemical properties of the soil

Uygulamalar	pH	Toplam Tuz, %	Organik Madde, %	Toplam N, %	Alınabilir P, mg/kg	Alınabilir K, mg/kg
KG	6.96 c*	0.130 a	1.60 b	0.100 b	7.07 b	451.3 a
SV	7.64 a	0.024 cd	1.87 a	0.170 a	11.23 a	245.0 b
MG	7.45 a	0.040 cd	1.73 ab	0.163 ab	8.36 ab	232.0 b
MG+SV	7.64 a	0.021 d	1.82 a	0.174 a	10.15 a	259.3 b
%50 KG+SV	7.13 bc	0.063 bc	1.86 a	0.169 ab	9.30 a	301.6 b
%50 KG+MG	7.11 bc	0.085 b	1.70 ab	0.165 ab	8.21 ab	290.3 b
%50 KG+SV+MG	7.21 b	0.056 bcd	1.81 a	0.175 a	8.03 ab	274.6 b

*: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre ($P < 0.05$) birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir.

KG, SV ve MG uygulamaları ile toprağın organik madde, toplam azot ile alınabilir fosfor ve potasyum içeriklerinde değişimler meydana gelmiştir. KG uygulanan topraklarda organik madde, toplam N ve alınabilir P miktarları en düşük, alınabilir K miktarları ise en yüksek düzeyde belirlenmiştir. İçeriğindeki humik ve fulvik asitlerden dolayı SV içeren uygulamalarda diğerlerine oranla daha yüksek organik madde, toplam azot ve alınabilir P miktarları saptanmıştır. Organik maddenin bir bileşeni olan humik maddeler (humik+fulvik asitler) aynı zamanda bitki besin maddelerini adsorbe eden bir havuzdur. Toprağın asit-baz tamponlama kapasitesini artırır ve toprak yapısının iyileşmesine katkı verirler (MacCarthy, 2001). Söz konusu parametrelerdeki artışların sadece humik asitlerin varlığından dolayı değil MG içerisinde bulunan mikroorganizmaların SV'deki ve topraktaki P mineralizasyon hızlarını artırarak ve biyolojik azot fiksasyonu yaparak toprağa KG'den daha fazla miktarda fosfor ve azot sağladığı düşünülmektedir. Uygulanan mikrobiyal gübre içerisinde bulunan *Azospirillum* sp. azot fiksasyonunu ve bitki büyüme hormonlarının biyosentezini artırabilen bir PGRP bakterisidir (Steenhoudt & Vanderleyden, 2000). Aynı şekilde *Bacillus* ve *Pseudomonas* türleri de topraktaki fosfatları çözebilen PSB (Fosfat Çözebilen Bakteri)'lerdir (Widawati % Suliasih, 2006). Fitriatin et al. (2008) biyogübre olarak PSB uyguladıkları çalışmalarında, topraktaki artan fosfotaz aktivitesine bağlı olarak toprağın toplam P miktarında artışlar kaydetmişlerdir. SV ve MG uygulamalarının bu etkileri toprağın alınabilir K miktarları üzerinde ortaya çıkmamış ve en yüksek alınabilir K miktarı KG uygulamasında saptanmıştır. Bu durum mikrobiyal gübre içinde bulunan mikroorganizmaların topraktaki K ile ilgili herhangi bir ilişkisi/işlevi olmayan organizmalar olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sıvı vermikompost ve mikrobiyal gübre uygulamalarının toprak solunumu ve toplam bakteri sayısı üzerine etkisi

KG, SV ve MG uygulamalarının toprakta mikrobiyal yolla oluşan CO₂ miktarı (toprak solunumu) ve toplam bakteri sayısı üzerine etkisi istatistiki anlamda ($P<0.05$) önemli bulunmuştur (Çizelge 6). En yüksek toplam bakteri sayısı MG+SV uygulamasında belirlenmiştir. Aynı uygulamaya %50 oranında azaltılmış KG gübresi verildiğinde topraktaki toplam bakteri sayısı biraz düşmüş ve MG uygulaması ile birlikte topraktaki bakteri sayısını artıran diğer iki uygulamayı oluşturmuştur. Toprak solunumunu en fazla artıran uygulama ise MG olarak belirlenmiş ve MG+SV ile %50 KG+SV uygulamaları da toprak solunumunu artıran diğer iki uygulama olmuştur. En düşük bakteri sayısı ve toprak solunumu miktarları ise KG uygulamasında saptanmıştır. Bakteri sayıları ile CO₂ oluşum miktarları büyük ölçüde birbirini teyit etmiştir.

Çizelge 6. Kimyasal gübre (KG), mikrobiyal gübre (MG) ve sıvı vermikompost (SV) uygulamalarının toprak solunumu ve toplam bakteri sayısı üzerine etkisi

Table 6. The effects of chemical fertilizer (KG), microbial fertilizer (MG), and liquid vermicompost (SV) applications on soil respiration and total bacterial number

Uygulamalar	Toplam Bakteri Sayısı (kob/g)	Toprak Solunumu (mg CO ₂ /100g)
KG	63.02x10 ⁶ e*	37.00 c
SV	74.3x10 ⁶ cde	51.00 bc
MG	98.16x10 ⁶ ab	68.66 a
MG+SV	118.54x10 ⁶ a	57.66 ab
%50 KG+SV	91.17x10 ⁶ bcd	47.33 bc
%50 KG+MG	69.82x10 ⁶ de	47.00 bc
%50 KG+SV+MG	106.9x10 ⁶ ab	55.33 ab

*: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre ($P\leq 0.05$) birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir.

Toplam bakteri sayım sonuçlarına göre, MG yoluyla aşıl原因an bakteri türlerinin toprakta kolonize olarak popülasyonlarını artırdıkları anlaşılmaktadır. MG+SV uygulamasında en yüksek bakteri sayısının belirlenmesi, büyük olasılıkla bu uygulama ile toprağa giren humik maddelerin bakteri popülasyonunu artırmış olabileceğini göstermektedir. Genel bakteri sayısındaki artış toprak solunumuna da yansımış ve toprakta mikrobiyal yolla oluşan CO₂ miktarı bu uygulamalarda artmıştır. Bu artışta büyük ihtimalle topraktaki labil C-kaynaklarının (çözünmüş organik C ve mikrobiyel biyokütle C'u) artışının etkisi olmuştur. Toprak solunum aktivitesi, toprakta bulunan labil C-kaynaklarına ve mikrobiyal biyokütle aktivitesine bağlı olarak değişen bir mikrobiyal aktivite parametresidir (Hofman et al., 2004). Toprak mikroorganizmalarının kullandığı labil C kaynaklarındaki önemli artışlar, toprak solunumunun uyarılmasına neden olmaktadır (Sayer et al., 2007; Sulzman et al., 2005; Zhang et al., 2014). Gerek toplam bakteri sayısının ve gerekse de toprak solunumunun KG uygulamasında en düşük düzeylerde saptanması, kimyasal gübre uygulanan topraklarda mikrobiyal aktivitenin uyarılması için gerekli koşulların oluşmadığını göstermektedir. Yapılan çeşitli araştırmalar sonucu, gerek kimyasal ve gerekse organik gübrelerin, besin maddesi sağlamak suretiyle spesifik mikrobiyal popülasyonları doğrudan uyarabildiği (Mandic et al., 2011), toplam mikrobiyal sayılarda artışlar sağlayabildiği (Chu et al., 2007; Joergensen et al., 2007; Murugan et al., 2013; Tao et al., 2015), mikrobiyal aktiviteyi yükseltebildiği ve mikrobiyal çeşitlilikte değişimlere neden olabildiği ortaya çıkarılmıştır (Li et al., 2008). Bazı çalışmalarda da kimyasal gübrelerin mikrobiyal çeşitliliği azalttığı saptanmıştır (Francioli et al., 2016). Bizim çalışmamızda ise SV ve MG uygulamalarının kimyasal gübrelere oranla topraktaki genel mikrobiyal aktiviteyi artırdığı belirlenmiştir.

Sıvı vermikompost ve mikrobiyal gübre uygulamalarının marul bitkisinin kök gelişimi ve verimi üzerine etkisi

Uygulamaların marul bitkisinin ortalama kök ağırlığı, uzunluğu ve baş ağırlığı üzerine etkisi istatistiki anlamda ($P<0.05$) önemli bulunmuştur (Çizelge 7). En yüksek kök ağırlığı ve uzunluğu MG+SV

uygulamasında, en düşük kök ağırlığı ve uzunluğu ise KG uygulamasında saptanmıştır. Kök ağırlığı ve uzunluğuna ait sonuçlar marul verimine yansımamış ve en yüksek baş ağırlığı %50 KG+MG ve %50 KG+SV+MG uygulamalarında, en düşük baş ağırlığı ise MG uygulamasında belirlenmiştir. Bir başka anlatımla, marul bitkisinin kök ağırlığı ve uzunluğu üzerinde MG+SV uygulamasının, marul bitkisinin verimi üzerinde ise bu karışıma %50 oranında azaltılmış kimyasal gübre ilavesinin etkisi daha belirleyici olmuştur. Gerek %50 KG+MG ve gerekse %50 KG+SV+MG uygulamaları KG uygulamasına oranla verimi yaklaşık %26 oranında artırmıştır. Sadece %50 KG+MG ile de bu artış oranının sağlanması, SV'a oranla MG'nin (%50 KG ile birlikte) marul verimi üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7. Kimyasal gübre (KG), mikrobiyal gübre (MG) ve sıvı vermikompost (SV) uygulamalarının marul bitkisinin kök gelişimi ve verimi üzerine etkisi

Table 7. The effects of chemical fertilizer (KG), microbial fertilizer (MG), and liquid vermicompost (SV) applications on root development and yield of lettuce plant

Uygulamalar	Ort. Kök Ağırlığı (g)	Ort. Kök Uzunluğu (cm)	Ort. Baş Ağırlığı (Verim) (g)
KG	1.53 d*	5.20 c	39.35 b
SV	1.73 c	8.16 bc	41.47 b
MG	1.79 c	9.83 b	25.74 c
MG+SV	2.55 a	14.00 a	39.73 b
%50 KG+SV	1.87 b	10.70 b	36.3 bc
%50 KG+MG	1.91 b	9.30 b	53.61 a
%50 KG+SV+MG	2.04 b	9.30 b	53.71 a

*: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre ($P<0.05$) birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir.

Pseudomonas koreensis MU2 (Kang et al., 2021), *Bacillus subtilis* strain L1 (Lee et al., 2020), *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens* (Rostaminia et al., 2020), *Pseudomonas mendocina* ve *Glomus intraradices* (Köhler et al., 2006) uygulamalarının marul bitkisinin kök uzunluğu ve ağırlığını kontrole oranla artırdığı çeşitli araştırmacılar tarafından saptanmıştır. Bu çalışmada da kullanılan mikrobiyal gübre içinde bulunan *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas putida* ile *Bacillus altitudinis*, *Bacillus amyloliquefaciens* ve *Bacillus licheniformis* türlerinin marul bitkisinin kök gelişimi üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. *Bacillus* türlerinin Giberellin, *Pseudomonas* türlerinin ise sitokin ve ACC deaminaz fitohormonlarının salgılanmasını sağlayarak bitkilerin kök gelişimi üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Cattelan et al, 1999; Mayak et al., 1999; Belimov et al., 2001; Gutierrez-Manero et al., 2001). Organik ve inorganik gübrelerin kombinasyonu mikrobiyal gelişimi hızlandırmakta, mikrobiyal topluluk yapısını değiştirmekte ve enzim aktivitesini uyarmaktadır (Lazcano et al., 2013). Jin ve ark (2022) da bizim araştırma sonuçlarımıza benzer şekilde %30 oranında azaltılmış kimyasal gübre+9 kg ha⁻¹ biyo-organik gübre uygulamasının marul verimini iki yılda sırasıyla %19 ve %16 arasında artırdığını saptamışlardır.

Sıvı vermikompost ve mikrobiyal gübre uygulamalarının marul bitkisinin toplam azot, fosfor ve potasyum içeriği üzerine etkisi

KG, SV ve MG uygulamalarının marul bitkisinin toplam azot miktarı üzerine etkisi istatistiksel anlamda ($P<0.05$) önemli çıkarken, toplam fosfor ve potasyum miktarları üzerine ise istatistiksel anlamda bir etkisi saptanamamıştır (Çizelge 8). En yüksek toplam azot miktarları KG, %50 KG + SV ve %50 KG+SV+MG uygulamalarında saptanırken diğer uygulamaların hepsi aynı istatistiksel grup içerisinde yer almıştır. KG uygulamasında marul bitkisinin toplam N miktarının fazla (>%5), MG+SV uygulamasında noksan (<% 4) ve diğer uygulamaların hepsinde ise yeterli düzeyde (%4-5) olduğu belirlenmiştir (Jones et al., 1991). KG ile toprağa uygulanan mineral azot formlarının bitki tarafından kolaylıkla alınması nedeni ile marul bitkisi en yüksek azot alınımını bu uygulama konusunda gerçekleştirmiştir. Aynı istatistiksel grup içerisinde yer alan %50 KG + SV uygulamasında da marulun topraktan KG uygulamasına yakın miktarda azotu dokularına aldığı belirlenmiştir. Sonuçlar marul verimi ile ilgili sonuçları teyit etmektedir. Marul bitkisinin mikrobiyal gübre içinde

bulunan *Azospirillum* sp. ile birlikteliğe girerek fikse edilen azottan yararlandığı ve/veya söz konusu bakteri tarafından salgılanan fitohormonların bitkinin kök gelişiminde etkili olduğu düşünülmektedir. *Azospirillum*'un bitkilerin kök morfolojisi ve fizyolojisinde değişikliklere neden olarak bitkinin su ve mineral madde alınımını artırdığı bilinmektedir (Okon & Kapulnik, 1986; Fallik et al., 1994). Okon (1985) N, P ve K ile orta derecede gübrelenmiş topraklarda *Azospirillum*'un etkisinin daha fazla ortaya çıktığını, *Azospirillum* ile aşılamanın azot gübresinin yerini almadığını fakat bitkinin azot kullanımını iyileştirdiğini ve daha düşük gübre düzeylerinde aynı verim miktarlarına ulaşıldığını bildirmiştir. Bizim çalışmamızda da %50 azaltılmış KG uygulamalarında mikrobiyal gübrelerin etkisi benzer sonuçlara neden olmuştur.

SV ve MG uygulamaların yapıldığı topraklarda yetişen marul bitkisinin toplam fosfor içerikleri yeterli düzeyde (%0,4-0,6) iken diğer tüm uygulamalardaki marul bitkilerinin toplam fosfor düzeyleri noksan olarak (<%0,4) belirlenmiştir. Deneme toprağının yüksek P düzeyinden dolayı tüm uygulamalardaki marul bitkisinin toplam P düzeylerinin de fazla olduğu (>%7) saptanmıştır (Jones et al., 1991).

Çizelge 8. Kimyasal gübre (KG), mikrobiyal gübre (MG) ve sıvı vermikompost (SV) uygulamalarının marul bitkisinin toplam azot, fosfor ve potasyum içeriği üzerine etkisi

Table 8. The effects of chemical fertilizer (KG), microbial fertilizer (MG), and liquid vermicompost (SV) applications on the content of total nitrogen, phosphorus and potassium of lettuce plant

Uygulamalar	Toplam Azot (%)	Toplam Fosfor (%)	Toplam Potasyum (%)
KG	6.12 a*	0.38 **	9.21 **
SV	4.19 b	0.43	10.14
MG	4.36 b	0.44	9.90
MG+SV	3.94 b	0.38	10.25
%50 KG+SV	4.41 b	0.34	11.07
L%50 KG+MG	5.57 a	0.33	10.39
%50 KG+SV+MG	4.95 ab	0.39	11.61

*: Aynı harfle gösterilen ortalamalar Duncan testine göre ($P<0.05$) birbirinden istatistiksel olarak farklı değildir.

** : Uygulamaların etkisi istatistiki açıdan önemli çıkmamıştır.

SONUÇ

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; KG, SV ve MG uygulamalarının toprağın kimyasal ve bazı mikrobiyal özellikleri ile marul bitkisinin kök gelişimi, verimi ve azot alınımı üzerine etkisi istatistiki anlamda önemli bulunmuştur. KG uygulamaları toprağın pH değerini düşürüp, toplam tuz içeriğini artırırken, SV ve MG uygulamaları tam tersi bir etki göstermiştir. SV ve MG içeren uygulamaların yapıldığı topraklarda, KG uygulamasına oranla daha yüksek organik madde, toplam N ve alınabilir P miktarları saptanmıştır. Bu olumlu etkiler topraktaki toplam bakteri sayısı ve toprak solunumunda da ortaya çıkmış ve MG yoluyla aşılamanın bakteriyel türlerinin toprakta kolonize olarak popülasyonlarını artırdıkları belirlenmiştir. Marul bitkisinin kök ağırlığı ve uzunluğu üzerinde MG+SV uygulamasının, marul bitkisinin verimi üzerinde ise bu karışıma %50 oranında azaltılmış KG ilavesinin etkisi daha belirleyici olmuştur. Gerek %50 KG+MG ve gerekse %50 KG+SV+MG uygulamaları KG uygulamasına oranla verimi yaklaşık %26 oranında artırmıştır.

Sonuç olarak sebze tarımında yoğun bir şekilde kullanılan kimyasal gübrelere alternatif olarak mikrobiyal gübrelerin kullanılabileceği ortaya çıkarılmıştır. Mikrobiyal gübreler, verim kaybına neden olmadan azotlu gübrelerin %23-52'sinin yerini alabilmektedirler (Rose et al., 2014). Bu çalışmada da, MG ve SV ile kombine edilen kimyasal gübrelerde %50 oranında yapılan azaltmanın verimde bir kayba neden olmaması ve hatta artmasının saptanması, mikrobiyal gübrelerin topraktaki kimyasal gübre yükünü azaltmadaki potansiyel rolünü ortaya koymasından önemlidir. Bununla beraber ülkemizde yerli PGRB izolatları ile farklı bölge ve bitkilerle yürütülecek çalışmalara hala şiddetle ihtiyaç bulunmaktadır.

TEŞEKKÜR

FYL-2019-20449 no'lu proje sonuçlarının bir kısmını kapsayan bu çalışmanın yürütülmesinde verdiği destek için Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Belimov, A. A., V. Safronova, I. Sergeyeve, T.A. Egorova, T.N. Matveyeva, V. E. Tsyganov & V. V. Stepanok, 2001. Characterization of plant growth promoting rhizobacteria isolated from polluted soils and containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase. *Canadian Journal of Microbiology*, 47 (7): 642-652. <https://doi.org/10.1139/w01-062>.
- Cattelan, A. J., P.G. Hartel & J.J. Fuhrmann, 1999. Screening for plant growth-promoting rhizobacteria to promote early soybean growth. *Soil Science Society of America Journal*, 63 (6): 1670-1680. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6361670x>
- Chu, H., X. Lin, T. Fujii, S. Morimoto, K. Yagi, J. Hu, J. Zhang, 2007. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biology & Biochemistry*. 39: 2971-2976. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.05.031>
- Citak, S. & S. Sonmez, 2011. Effects of chemical fertilizer and different organic manure application on soil pH, EC and organic matter content. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9: 739-741.
- Çınar, V. M. & Ü.N.A.Y. Aydın, 2021. The effects of some biofertilizers on yield, chlorophyll index and sugar content in sugar beet (*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.). *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 58 (2): 163-170. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.714633>
- Fallik, E., S. Sarig & Y. Okon. 1994. Morphology and physiology of plant roots associated with *Azospirillum*. In: *Azospirillum/Plant Associations*, (Ed. Y. Okon). CRC, Boca Raton, Fla. 275 pp.
- Fitriatin, B.N., R. Hindersah & P. Suryatmana, 2008. Aktivitas Enzim Fosfatase dan Ketersediaan Fosfat Tanah pada Sistem Tumpangsari Tanaman Pangan dan Jati (*Tectona grandis* L.f.) setelah Aplikasi Pupuk Hayati. *Agrikultura*, 19 (3): 161-166.
- Francioli, D., E. Schulz, G. Lentendu, T. Wubet, F. Buscot & T. Reitz, 2016. Mineral vs. Organic Amendments: Microbial Community Structure, Activity and Abundance of Agriculturally Relevant Microbes Are Driven by Long-Term Fertilization Strategies. *Frontiers in Microbiology*, 7: 1446. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01446>
- Gutiérrez-Mañero, F. J., B. Ramos-Solano, A.N. Probanza, J. Mehouchi, R. Tadeo, & M. Talon, 2001. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiologia Plantarum*, 111 (2): 206-211. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110211.x>
- Hofman, J., L. Dusek, J. Klanova, J. Bezchlebova & I. Holoubek, 2004. Monitoring microbial biomass and respiration in different soils from Czech republic-a summary of results. *Environment International*, 30: 19-30. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00142-9](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00142-9)
- Joergensen, R.G., P. Mäder & A. Fließbach, 2010. A. Long-term effects of organic farming on fungal and bacterial residues in relation to microbial energy metabolism. *Biology and Fertility of Soils*, 46: 303-307. <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0433-4>
- Jones., J.R., B. Wolf & H.A. Mills, 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro Macro Publishing, IncKacar, B., 1972. Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri. II. Bitki Analizleri, A.Ü. Ziraat Fak. Yayınları: 453, Ankara, 129 s.
- Kacar, B. & A. İnal, 2008. Bitki analizleri, Nobel Yayınevi, Yayın No: 1241, Ankara, 912 s.
- Kang, S. M., A. Adhikari, K.E. Lee, Y.G. Park, R. Shahzad & I.J. Lee, 2021. Gibberellin producing rhizobacteria *Pseudomonas koreensis* mu2 enhance growth of lettuce (*Lactuca sativa*) and Chinese cabbage (*Brassica rapa, chinensis*). *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9 (2): 166-170. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019.9.2.166-170>
- Kohler, J., F. Caravaca, L. Carrasco & A. Roldan, 2006. Contribution of *Pseudomonas mendocina* and *Glomus intraradices* to aggregate stabilization and promotion of biological fertility in rhizosphere soil of lettuce plants under field conditions. *Soil Use and Management*, 22 (3): 298-304. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00041.x>

- Lazcano, C., M. Gómez-Brandón, P. Revilla & J. Domínguez, 2013. Shortterm effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function. *Biol. Fert. Soils*, 49: 723-733. doi: 10.1007/s00374-012-0761-7
- Lee, S., C.S. Trjnh, W.J. Lee, C.Y. Jeong, H.A. Truong, N. Chung, C.S. Kang & H. Lee, 2020. *Bacillus subtilis* strain L1 promotes nitrate reductase activity in Arabidopsis and elicits enhanced growth performance in Arabidopsis, lettuce, and wheat. *Journal of Plant Research*, 133 (2): 231-244. <https://doi.org/10.1007/s10265-019-01160-4>
- Li, J., B. Zhao, X. Li, R. Jiang & S.H. Bing, 2008. Effects of Long-Term Combined Application of Organic and Mineral Fertilizers on Microbial Biomass, Soil Enzyme Activities and Soil Fertility. *Agricultural Science in China*, 7: 336-343. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60074-7](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60074-7)
- Li, X. H., X.Z. Han, H.B. Li, C. Song, J. Yan & Y. Liang 2012. Soil chemical and biological properties affected by 21-year application of composted manure with chemical fertilizers in a Chinese Mollisol. *Canadian Journal of Soil Science*, 92 (3): 419-428. <https://doi.org/10.4141/cjss2010-046>
- MacCarthy, P. 2001. The principles of humic substances. *Soil Science*, 166 (11): 738-751.
- Mandic, L., D. Djukić, I. Beatovic, Z. Jovovic, M. Pesakovic & V. Stevovic, 2011. Effect of different fertilizers on the microbial activity and productivity of soil under potato cultivation. *African Journal of Biotechnology*. 10: 6954-6960. DOI: 10.5897/AJB11.947
- Mayak, S., T. Tirosh & B.R. Glick, 1999. Effect of wild-type and mutant plant growth-promoting rhizobacteria on the rooting of mung bean cuttings. *Journal of Plant Growth Regulation*, 18 (2): 49-53. <http://dx.doi.org/10.1007/PL00007047>
- Murugan, R. & S. Kumar, 2013. Influence of long-term fertilisation and crop rotation on changes in fungal and bacterial residues in a tropical rice-field soil. *Biology and Fertility of Soils*, 49: 847-856. DOI 10.1007/s00374-013-0779-5
- Naeem, M., J. Iqbal & M. Bakhsh, 2006. Comparative study of inorganic fertilizers and organic manures on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Journal of Agricultural and Social Sciences*, 2: 227-229.
- Okon, Y. & Y. Kapulnik, 1986. Development and function of Azospirillum-inoculated roots. *Plant Soil*, 90: 3-16.
- Okon, Y., 1985. Azospirillum as a potential inoculant for agriculture. *Trends in Biotechnology*, 3: 223-228. [https://doi.org/10.1016/0167-7799\(85\)90012-5](https://doi.org/10.1016/0167-7799(85)90012-5)
- Özbay, N., A.R. Demirkıran & M. Ergun, 2015. Mikrobiyal gübre (*Trichoderma harzianum*, KUEN 1585) uygulamasının marulda çimlenme, gelişme ve verim üzerine etkisi. Doğu Karadeniz II. Organik Tarım Kongresi, 6-9 Ekim 2015, Rize.
- Rose, M. T., T. L., Phuong, D.K. Nhan, P.T. Cong, N.T. Hien & I.R. Kennedy, 2014. Up to 52% N fertilizer replaced by biofertilizer in lowland rice via farmer participatory research. *Agronomy for Sustainable Development*, 34: 857-868. doi: 10.1007/s13593-014-0210-0.
- Rostaminia, M., S.S. Habibi, B. Sani & A.R. Pazoki, 2020. Research Article Effect of three commercial bio-fertilizers prepared with *Pseudomonas* on yield and morphophysiological traits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Iran Agricultural Research*, 39 (2): 99-107. <https://doi.org/10.22099/iar.2021.38685.1413>
- Sarkar, D. & A. Rakshit, 2021. Bio-priming in combination with mineral fertilizer improves nutritional quality and yield of red cabbage under Middle Gangetic Plains India. *Scientia Horticulturae*, 283: 110075. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110075>.
- Sayer, E. J., J.S. Powers & E.V.J. Tanner, 2007. Increased litterfall in tropical forests boosts the transfer of soil CO₂ to the atmosphere. *PLoSOne*, 2 (12): e1299. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001299>
- Shatilov, M. V., A.F. Razin & M.I. Ivanova, 2019. Analysis of the world lettuce market. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 395 (1): 012053, IOP Publishing.
- Steenhoudt, O. & J. Vanderleyden. 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *Microbiology Review*, 24: 487-506. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2000.tb00552.x>
- Sulzman, E. W., J.B. Brant, R.D. Bowden & K. Lajtha, 2005. Contribution of aboveground litter, belowground litter, and rhi-zosphere respiration to total soil CO₂ efflux in an old growth coniferous forest. *Biogeochemistry*, 73 (1): 231-256. DOI 10.1007/s10533-004-7314-6
- Tao, R. Y. Liang, S.A. Wakelin & G. Chu, 2015. Supplementing chemical fertilizer with an organic component increases soil biological function and quality. *Applied Soil Ecology*, 96: 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.07.009>

- Ullah, M. S., M.S. Islam, M.A. Islam & T. Haque, 2008. Effects of organic manures and chemical fertilizers on the yield of brinjal and soil properties. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 6 (2): 271-276. DOI: 10.3329/jbau.v6i2.4821
- Widawati, S.R.I. & S. Suliasih, 2006. The population of phosphate solubilizing bacteria (PSB) from Cikaniki, Botol Mountain and Ciptarasa Area and the ability of PSB to solubilize insoluble P in solid Pikovskaya medium. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*, 7 (2): 109-113. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d070203>
- Wu, Y., C. Zhao, J. Farmer & J. Sun, 2015. Effects of bio-organic fertilizer on pepper growth and *Fusarium* wilt biocontrol. *Scientia Horticulturae*, 193: 114-120. doi: 10.1016/j.scienta.2015.06.039.
- Yadav, A.C., S.K. Sharma & B.R. Batra, 2002. Effect of sodic water, FYM and *Gypsum* on the soil, growth and yield of brinjal. *Annals of Agriculture and Biological Research*, 7 (1): 73-77.
- Ye, L., X. Zhao, E. Bao, J. Li, Z. Zou & K. Cao, 2020. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality. *Scientific Reports*, 10: 177. doi: 10.1038/s41598-019-56954-2.
- Zhang, Y. J., S.L. Guo, Q.F. Liu & J.S. Jiang, 2014. Influence of soil moisture on litter respiration in the semiarid loess plateau. *PLoS One*, 9 (12): e114558. doi: 10.1371/journal.pone.0114558
- Zhao, J., J. Liu, H. Liang, J. Huang, Z. Chen, Y. Nie, Y., C. Wang & Y. Wang, 2018. Manipulation of the rhizosphere microbial community through application of a new bio-organic fertilizer improves watermelon quality and health. *PLoS One* 13: e0192967. doi: 10.1371/journal.pone.0192967.