

Mikrobiyal Gübreler ve Kullanım Alanları

Mahmut Baran¹, Özge Doğanay Erbaş Köse²

¹Bilecik Sheikh Edebali University, Graduate School of Education, Department of Field Crops, Bilecik Türkiye

²Bilecik Sheikh Edebali University, Faculty of Agriculture and Natural Sciences, Department of Field Crops, Bilecik, Türkiye

Özet

Bitkisel üretimde birim alan verimini ve ürün kalitesini artırmada kullanılan kimyasal içerikli birçok agronomik uygulama yapılmaktadır. Bu bakımdan en etkili uygulamalar arasında yer alan kimyasal gübrelerin aşırı kullanımı sonucunda toprakta kirlilik ve ağır metal birikimi artmaktadır. Son yıllarda bitkilerin gelişimleri teşvik etmek, hastalık ve zararlılara karşı toleranslarını artırmak, tuz, kuraklık ve don stresine toleransını yükseltmek ve toprakta bitkiler tarafından kullanılmayan formdaki bitki besin maddelerini yararlı hale getirmek amacıyla farklı mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Böylece daha az kimyasal gübre kullanarak çevre kirliliğinin önüne geçilmesi, bitkisel üretimde verim ve kalitenin yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Mikrobiyal gübre olarak adlandırılan bu ürünler farklı bitki türleri üzerine olumlu yöndeki etkileri çeşitli çalışmalar sonucunda ortaya konulmuştur. Bu nedenle, önümüzdeki yıllarda farklı amaçla kullanılacak mikrobiyal gübrelerin giderek artacağı ve kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Mikrobiyal gübre, bakteri, bitki, verim

Microbial Fertilizers and Usage Areas

Abstract

In crop production, many agronomic practices with chemical contents that will increase the yield per unit area and product quality are used. In this respect, soil pollution and heavy metal accumulation increase as a result of excessive use of chemical fertilizers, which are among the most effective practices. In recent years, different microorganisms have been used to promote the growth of plants, to increase their tolerance to diseases and pests, to support their tolerance to salt, drought, and frost stresses, and to make plant nutrients useful in the form that are not used by plants in the soil. Thus, it is aimed to prevent environmental pollution by using less chemical fertilizers and to enhance yield and quality in crop production. These products, called microbial fertilizers, have positive effects on different plant species as a result of various studies. For these reasons, microbial fertilizers should be extensively used for different purposes and their use will be widespread in the coming years.

Keywords: Microbial fertilizer, bacteria, plant, yield

Giriş

Son yıllarda, nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan gıda ihtiyacı nedeniyle tarımsal üretimde önemli artışlar gerçekleşmiştir. Bitkisel üretimde gerçekleşen artışta verim potansiyeli yüksek yeni çeşitlerin ıslahı başta olmak üzere sulama, gübreleme, yabancı otlar, hastalık ve zararlılarla mücadele önemli rol oynamıştır. Ancak pestisitlerin ve kimyasal gübrelerin aşırı kullanılması tarım alanlarının kirlenmesine ve fakirleşmesine neden olmuştur. Özellikle gıda arzının sürdürülebilmesi, doğal dengenin korunması ve çevrenin kirletilmemesi açısından kimyasal gübre ve pestisit kullanımının azaltılması gerekliliği ortaya çıkmıştır (Szilagyı-Zecchin ve ark., 2016). Günümüzde uygun ekim nöbeti sistemleri, entegre pestisit yönetimi ve koruyucu toprak işleme yöntemleri gibi verimliliği ve karlılığı ön plana çıkaran uygulamalar yapılmakta ise de, toprak verimliliğinin korunması ve artırılması amacıyla mikrobiyal gübreler önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

04.06.2010 tarihli Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler ile Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelikte mikrobiyal gübre, “bitki için gerekli olan bitki besin maddelerinin sağlanmasında ve biyolojik yolla yararlı hale gelmesinde rol oynayan canlı mikroorganizmaların ticari formülasyonları” olarak tarif edilmektedir (Anonim, 2023). Yine aynı yönetmelikte, mikrobiyal gübreler iki ürün tipine ayrılmıştır. Birincisi, mikrobiyal gübreler, bitkilerle ortak yaşayarak makro ve mikro elementleri bitkiye taşıyan ve toprakta doğal olarak bulunan mantarlar, çeltikle ortak yaşayarak bitkiye azot sağlayan ve toprakta doğal halde bulunan *Cyanobacteria*lar ile algler, topraktan izole edilerek etkinliği tespit edilmiş bakteriler bu grubu oluşturmaktadır. Bu organizmaların tamamı toprakta mikrobiyal aktiviteyi artırmakta, enerji kaynağı olarak kullanmak için topraktaki kompleks organik bileşikler parçalayarak toprakları makro ve mikro besin elementleri yönünden



zenginleştirmektedirler. Bu kimyasallar ayrıca, tohum çimlenmesini, çelik köklenmesini teşvik etmektedir ve bitki büyümesine yardımcı olmaktadır. Bu organizmalar kültüre alınarak çoğaltılmakta ve standart hale getirilmektedir. İkinci ürün grubu olan karışım mikrobiyal gübreler ise bu sınıfta değerlendirilen materyallerin karışımından meydana gelen ürünleri ifade etmektedir. Mikrobiyal gübreler içerik olarak; bakteriler, *Cyanobacteria*, Algler, Funguslar, Mikorizalar ile Tek Hücreli Organizmalarda kuru hücre ağırlığı, klorofil a, canlı organizma sayısı, İpliksi Organizmalarda ise klorofil a ve kuru hücre ağırlığı olarak belirlenmektedir.

Dünyada ve ülkemizde tescillenerek piyasaya sunulan ve tarımda kullanılan mikrobiyal ürünlerin büyük bir kısmının içerikleri bakteri ve funguslardır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın Mikroorganizma Risk Gruplandırması Listesinde riski olmayan grupta yer alan mikroorganizmalar kullanıldığı için mikrobiyal gübreler, insan sağlığı açısından risk taşımamaktadır (Avan ve Kotan, 2021). Ayrıca, kimyasal gübrelere göre çok daha az risklidir ve çevre kirliliğine neden olmadığı belirtilmektedir. Kimyasal gübrelere göre doğal dengeyi koruyucu özelliklerinden dolayı yaban hayatı koruma açısından önemli avantajları bulunmaktadır. Bununla birlikte, bazı hastalık ve zararlıların önlenmesinde de mikrobiyal gübreler içerdiği bakteri ve fungusların özelliklerine göre biyopestisit olarak da ön plana çıkabilmektedir (Avan ve Kotan, 2021). Bu sayede pestisitlerin neden olduğu olumsuzlukların azaltılması sağlanabilmektedir. Dolayısıyla hem bitki besleme hem de bitki koruma açısından önemli olan birçok mekanizmaya sahip olabilecek mikrobiyal gübreler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Toprak patojenlerine karşı başarılı bir şekilde kullanımları, pestisitlerden daha ekonomik olmaları ve toprak düzenleyici özellikleri sayesinde uzun vadede toprağın verimliliğini ve mikrobiyal aktivitesinde artış sağlamaktadırlar. Böylece mikrobiyal gübre kullanımı bitkisel üretimde verim ve kalite artışı sağlarken aynı zamanda üretim maliyetlerini de azaltacaktır (Kotan, 2020).

Mikrobiyal Gübrelerin Kullanım Alanları

Mikrobiyal gübre olarak kullanılan faydalı bakteriler, funguslar ve diğer organizmalar, dünyada en yaygın kullanılan biyolojik çözümlerin başında gelmektedir (Avan and Kotan, 2021). *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Rhizobium* sp., *Azotobacter* sp. ve *Azospirillum* sp. gibi mikroorganizmalar mikrobiyal gübre olarak kullanılmaktadır (Stamenković ve ark., 2018) Mikrobiyal gübre olarak kullanılan mikroorganizmaları kullanım alanlarına göre Li and Zhang (2001) tarafından şu şekilde sıralanmıştır.

- Nodül oluşturan bakteriler: Nodül bakteriyel gübre, en uzun kullanım geçmişine ve faydalı etkilere sahip mikrobiyal gübreler arasındadır (Olson, 1989; Song, 1994). Baklagil bitkileri tarafından simbiyotik azot fiksasyonu üzerine yapılan klasik araştırmalardan üretilmiştir. *Rhizobium* ve *Bradyrhizobium* cinslerinin fonksiyonel bakteri türleri baklagil bitkilerinin köklerini enfekte ederek atmosferik azotu (N) bitkinin kullanabileceği forma sabitlediği nodüller oluşturmaktadır. Bu grup içerisinde en önemli bakteri türleri *Bradyrhizobium japonicum* (*Sinorhizobium fredii/Rhizobium fredii*), *Bradyrhizobium* sp. (*Arachis hypogaea*), *R. huakuii*, *R. leguminosarum* bv. *viceae*, *R. meliloti*, *R. trifolii*, *R. leguminosarum* (Chen ve ark., 1981).
- Azotobakterler: Serbest yaşayan *Azotobacter*ler azot fiksasyonu gerçekleştirmektedir. *Azotojen*, *Rhizobium*'a göre daha düşük azot fiksasyon verimliliğine sahiptir. Bununla birlikte, azot bağlama faaliyetleri için mevsimsel bir sınırı bulunmamaktadır. Doğada çeşitli *Azotobacter* türleri bulunmaktadır. Bunlar arasında *Azotobacter chroococcum*, *Klebsiella pneumoniae*, *Alcali-genes faecalis* ve *Enterobacter cloacae* en yaygın türler arasındadır.
- Fosfobakteriler: *Bacillus megaterium*, *B. cereus*, *B. firmus*, *B. brevis*, *Thiobacillus thiooxidans*, *Pseudomonas* ve *Arthrobacter* türleri gibi bazı mikroorganizmalar fosfatı ayrıştırabilmektedir (Ge and Wu, 1996). Bu nedenle son yıllarda fosfat çözücü gübre olarak kullanımları hızla artmaktadır. (Zhang ve ark., 1994; Li ve ark., 1994; Liang, 1994; Lin ve ark., 1994).
- Silikat bakteriler: Biyopotas gübresi olarak da bilinen bu bakteriler (*Bacillus mucilaginosus*, *B. circulans* ve *B. macerans*) toprakta bulunan potasyum minerallerini çözünebilir potasyum iyonlarına ayrıştırmakta ve bitkilerde potasyum eksikliğinin giderilmesinde önemli katkıların olacağı bildirilmektedir (Xiong ve ark., 1993; Peng and Ye, 1995).
- Antibiyotik bakteriler: Bu mikrobiyal gübre, toprak verimliliğini artırmanın yanı sıra bitkiyi hastalıklardan koruyarak büyümesini destekleyebilmektedir. Antibiyotik üreten bir bakteri türü *Actinomyces microflavus* bu özelliği nedeniyle kullanılmaktadır (Wu ve ark., 1994). *Pseudomonas* ve *Bacillus* de dahil olmak üzere birçok gram-negatif bakteri türü bu özelliğe sahiptir (Weller, 1988).
- Kompoze mikrobiyal gübreler: Son yıllarda birçok kompoze mikrobiyal gübre farklı özelliklere sahip mikroorganizmaların bir araya getirilmesiyle kompoze mikrobiyal gübreler elde edilmiştir. *Azotobacter* ve fosfobakterilerin karıştırılması veya silikat bakterilerinin diğer bakterilerle karıştırılarak kompoze mikrobiyal gübreler elde edilmiştir.



Ticari biyogübreler: Hazırlama ve Tarla Uygulamaları

Sürdürülebilir teknikler kullanılarak bitki sağlığının iyileştirilmesi, birçok çevresel sorun nedeniyle günümüzde ihtiyacı haline gelmiştir. Bu bağlamda biyogübreler, bu tür sorunların üstesinden gelmek için en güçlü araçlar arasındadır. Artık biyogübrelerin, sürdürülebilir tarımın hayati bir bileşeni oluşturan ve çeşitli besinlerin, fitohormonların kullanılabilirliğini sağlayarak büyümeyi desteklemenin yanı sıra patojenlere karşı etki ederek bitkilerin sağlığının korunmasında kilit rol oynayan mikroplar olduğu açıktır. Bu formülasyonlar, toprağın verimliliğinin yanı sıra üretkenliği de aynı anda artırarak canlı kalacak şekilde hazırlanır. Çalışmalar, formülasyonların konukçu bitkiye aşılandıktan sonra topraktaki sayılarını ve aktivitelerini büyük ölçüde artırdığını göstermektedir (Arora ve ark., 2010). Ayrıca, biyogübrelerin fotosentezde, amino asit sentezine, pestisitlerin iyileştirilmesinde, biyofortifikasyonda, ve abiyotik stresin iyileştirilmesinde birçok etkileri vardır. Biyogübrelerin iyi formülasyonları aşağıdaki arzu edilen özelliklere sahip olmalıdır; çevre dostu olmalı, yani çevreyi kirletmemeli, toksik olmamalı ve biyolojik olarak parçalanabilir olmalıdır; Besin maddelerinin eklenmesine, pH ayarlamalarına olanak sağlamalı, yeterli arz ve erişilebilirlikte düşük maliyetli hammaddelerden oluşmalı, raf ömrü uzun olmalı ve olumsuz koşullarda metabolik olarak canlı yüksek sayıları sürdürebilmelidir. Sıvı biyogübreler, turba formülasyonları, granüller ve dondurularak kurutulmuş tozlar dahil olmak üzere farklı türde ticari formları vardır. Sıvı formülasyonlar son zamanlarda geliştirilmiş ve kolay işlenebilmeleri, tohumlara veya toprağa kolayca uygulanabilmeleri nedeniyle ilgi görmektedir (Herrmann ve Lesueur, 2013). Ayrıca, sıvı biyogübreler, 2 yıla kadar daha uzun raf ömrüne sahip olduklarından, geleneksel katı taşıyıcı bazlı aşılayıcılara göre daha uzun raf ömrü, saflık, kolay tanımlama vb. gibi birçok avantaj sunmaktadır. Bu formülasyonlar, üreticinin çeşitli hücre koruyucuları, oluşumuna yardımcı olabilecek belirli indükleyiciler ile yeterli miktarda besin eklenmesine izin verir. Sıvı biyogübreler, taşıyıcı bazlı toza göre daha az dozda gereklidir ve yüksek ihracat potansiyeline sahiptir (Kour ve ark., 2020).

Mikrobiyal Gübrenin Bitkiler Üzerine Etkileri

Mikrobiyal gübreler granül, sıvı veya toz formunda üretilmekte ve pazarlanmaktadır. Bu gübreler toprağa uygulanabilir iken, aynı zamanda tohumlara kaplanarak uygulanabilir veya direk olarak bitkilerin yapraklarına püskürtülerek kullanılabilir. Bu sayede kullanım kolaylığı sağladıkları gibi farklı gelişim dönemlerinde de uygulama olanağına sahiptirler. Örneğin, *Rhizobium* bakterileri hem tohuma hem de toprağa uygulanabilmektedir. Panasiewicz ve ark. (2023) soya fasulyesinde *B. japonicum* aşılması ve azot gübrelemesinin, verimi artırmada önemli bir faktör olduğunu, Chen (1994) fiğ tohumlarının *R. leguminosarum* bv. *viceae* bakterisi ile aşılamanın verimi %20-%50 oranında artırdığını tespit etmişlerdir. Cao (1997) tarafından elde edilmiş ve *Rhizobium*'u beş farklı yeşil gübre (*Trifolium incarnatum*, *T. repens*, *Astragalus sinicus*, *Vicia villosa*, *V. sativa*) bitkisinde verimlerin %18,1-%44,2 oranında arttığını ve toplam N miktarının hektarda yaklaşık olarak 30 kg artış gösterdiğini tespit etmiştir. Bununla birlikte farklı mikrobiyal gübrelerle yapılan çalışmalarda da olumlu sonuçlar tespit edilmiştir. Dusak (2021) toprak, yaprak ve tohuma uyguladıkları *Bacillus megaterium*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Bacillus subtilis* + *Paenibacillus azotofixdt*, *Frateruria aurantia* bakteri içerikli mikrobiyal gübrelerin mısırdaki protein oranını etkilediği ve topraktan uygulanan *B. subtilis* + *Paenibacillus azotofixdt*'in en yüksek protein oranını verdiğini tespit etmişlerdir. Soysal ve ark. (2020) ekmeklik ve makarnalık buğdayda azot bağlayıcı *Bacillus atrophaeus* ve fosfor çözücü *B. subtilis* uygulaması ile tane veriminde önemli artışlar elde etmişlerdir. Altunlu ve ark. (2019) şeker mısır tohumlarına uygulanan *Endomycorrhiza*, *Trichoderma* spp., *B. subtilis* ve *B. megaterium* içerikli mikrobiyal gübrenin çimlenmeyi, bitki boyunu ve verimi artırdığını, Öztüfekçi (2015) ise buğdayda *B. subtilis* içerikli ticari mikrobiyal gübrenin tohuma uygulanması ile bitki yaş ağırlığının %32,76 ve tane veriminin %16,24 oranında artış sağlandığını bildirmiştir. Ayrıca, mısırdaki yapılan çalışmalarda, *Bacillus* sp.'un yaprak alanı ve kuru biyomas ağırlığını artırdığı (Kavamura ve ark., 2013), *Burkholderia cepacia*'ın bitki yaş ağırlığını (Bevino ve ark., 1998), *Rhizobium tropici* ile zenginleştirilmiş *Azospirillum* spp. uygulamasının tane verimini (Marks ve ark., 2015), *Azotobacter chroococcum*'un NaCl'nin olumsuz etkilerini azalttığı (Rojas-Tapias ve ark., 2012), *Azotobacter chroococcum* + *A. lipoferum* uygulamasının ise tane verimini artırdığı (Hajnal-Jafari ve ark., 2012), *Pseudomonas fluorescences* *P. putida*, *Azospirillum lipoferum* ve *A. brasilense* uygulamalarının da bitki boyu, bitki kuru ağırlığı, yaprak alanı, bin tane ağırlığı ve koçanda tane sayısını artırdığı (Gholami ve ark., 2009) bildirilmiştir. Diğer birçok bitki türünde de mikrobiyal gübrelerin olumlu etkileri belirlenmiştir. Frezarin ve ark. (2023) *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Bradyrhizobium japonicum* ve *Trichoderma harzianum* tek ve kombine olarak uyguladıkları yer fıstığında en yüksek verimin *B. japonicum* aşılamasından elde etmişlerdir. Yine ülkemizde yapılan çalışmalarda *Rhizobium* bakterisinin tohuma aşılmasıyla nohut (Takıl ve Kayan, 2023), fiğ (Ertekin ve Çakmakçı, 2020), fasulye (Altunkaynak ve Ceyhan, 2018) ve mercimek (Erman ve ark., 2012) bitkilerinde verim artışları belirlenmiştir. Bununla birlikte, kuraklık, yüksek ve düşük sıcaklık, su basması, ağır metaller ve tuzluluk gibi abiyotik stresler ile böcek, fungus, bakteri ve virüs gibi biyotik faktörlerin olumsuz etkilerini azaltmak, gidermek veya korumak amacıyla da mikrobiyal gübreler kullanılmaktadır. Agha ve ark.



(2023) *Bradyrhizobium japonicum* ile birlikte *Bacillus* MAP3 ve *Enterobacter* Delta PSK'nın iki NaCl seviyesinde (50 ve 100 mM) soya fasulyesi üzerindeki etkisini incelemiş, özellikle *B. japonicum* + *Enterobacter* Delta PSK ile birlikte aşılanmış bitkilerin sürgün uzunluğunda %49, yaprak alanında %78, kök uzunluğunda %20 ve klorofil a içeriğinde %57 oranında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Son yıllarda, silikat bakterilerinin uygulama alanı giderek artmış, pamuk, tütün, pirinç, buğday, mısır, yer fıstığı, soya fasulyesi, tatlı patates, patates, elma, şeftali, üzüm, domates, lahana, biber ve fasulye bitkilerinde kullanılmıştır. Liu ve ark. (1996) silikat bakteri uygulaması ile ürün veriminde yaklaşık %13, endüstri bitki veriminde %10-25, kavun ve sebze de ise %20-30 oranında artış elde edilmiştir. Li ve ark. (1998) yaptıkları çalışmada, *Bradyrhizobium* sp. ve *Bacillus subtilis*'in birlikte mikrobiyal gübre olarak uygulanması ile yer fıstığında nematot görülme sıklığının %34,5 oranında azaldığını, verimin ise %23,4 oranında arttığı bildirmişlerdir. Takıl ve Kayan (2023) dört nohut çeşidine *Rhizobia*, *Azotobacter* ve *Rhizobia* + *Azotobacter* uyguladıkları çalışmada, fenolojik ve morfolojik özellikler açısından *Rhizobia* + *Azotobacter* uygulamasının en iyi sonuçları verdiğini bildirmişlerdir. Li ve ark. (2022) mikrobiyal gübre uygulamalarının topraktaki bakteri ve mantar yoğunlukları ile toprakta değişebilir Ca, organik madde içeriği, toplam N ve mevcut P'yi etkilediğini, toprağın mikrobiyotasında ve kimyasal özelliklerinde önemli iyileştirmeler olduğunu ortaya koyarak mikrobiyal gübrelerin tarıma yeni açılan arazilerin toprak özelliklerini iyileştirmede kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Bunun yanında Sharma ve Mathur (2020) pamuk yaprak kurdu zararına uğramış hardal bitkisinde fosfor çözücü bakteriler, mikoriza ve bunların kombinasyonunu uygulamışlar ve mikorizaların yalnız veya birlikte uygulanmasının SOD, CAT, POD ve APX enzim oranlarında artış sağlayarak bitkilerin dayanıklılık mekanizması güçlendirdiğini belirlemişlerdir.

Sonuç

Modern tarımın gelişmesiyle birlikte kimyasal gübrelerin kullanımı da hızla artmış ve bitkisel üretimde verim ve kalitenin artırılmasında önemli bir rol üstlenmişlerdir. Ancak kimyasal gübrelerin toprak reaksiyonu başta olmak üzere kimyasal yapısının bozulmasına ve topraktaki mikroorganizma dengesinin giderek bozulmasına neden olmuşlardır. Bu nedenle, organik, mikrobiyal ve organomineral gübreler hızla önem kazanmaya başlamıştır. Yapılan bir çalışmada, %10 NPK içeren kimyasal + organik gübreye faydalı mikroorganizmalar eklendiğinde, tek başına kimyasal gübreye kıyasla çeltikte ve yer fıstığında yaklaşık %22, karpuzda %34, çayda %14 kolzada %18 ve tütünde %12 oranında artış sağlanmıştır (Lin ve ark., 1997). Ayrıca, faydalı mikroorganizmalarla aşılanmış kimyasal + organik gübrelerin önemli verim artışları sağladığı da gösterilmiştir. Mikrobiyal gübreler bitki hastalıklarının kontrolünde, bitki zararlılarının azaltılmasında ve bazı besin maddelerinin bitkiler için daha uygun forma dönüştürülmesinde önemli rol oynamaktadırlar. Bu nedenle toprak verimliliğini artırmada, atıkları ayrıştırmada ve kirli toprakları iyileştirmede kullanılmaktadır (Chen ve Hu, 1990). Günümüzde, faydalı mikroorganizmaların gübre ve inokulant olarak uygulanması dünya çapında büyük ilgi görmekte, üretimi ve kullanımları hızla artmaktadır. Mikrobiyal gübrelerin kullanımıyla bitki verimini ve toprak verimliliğini artırabileceği, biyoçeşitliliği korumaya yardımcı olacağı, organik atıkları geri dönüştürebileceği, kimyasal gübre ihtiyacını ve çevre kirliliğini azaltmaya yardımcı olacaktır. Güvenilir gıda ve organik ürün üretimi yanında ekolojik tarımı kolaylaştırmanın basit ve ekonomik yolu mikrobiyal gübreler olacaktır.

Kaynaklar

- Anonim, 2023. Tarımda kullanılan organik, organomineral, özel, mikrobiyal ve enzim içerikli organik gübreler ile toprak düzenleyicilerin üretimi, ithalatı, ihracatı, piyasaya arzı ve denetimine dair yönetmelik. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Resmi Gazete No: 27601.
- Agha MS, Haroun SA, Abbas MA, Sofy MR, Mowafy AM. 2023. Growth and metabolic response of *Glycine max* to the plant growth-promoting *Enterobacter* Delta PSK and *Bradyrhizobium japonicum* under salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-15.
- Altunkaynak AÖ, Ceyhan E. 2018. The effects of seed yield and yield components of different nitrogen doses and inoculation of *Rhizobium* on bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32(2): 91-98.
- Altunlu H, Demiral O, Dursun O, Sönmez M, Ergün K. 2019. Mikrobiyal gübre uygulamasının tatlı mısır (*Zea mays* L. var. *saccharata*) yetiştiriciliğinde bitki gelişimi ve verim üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 50(1): 32-39.
- Arora NK, Khare E, Maheshwari DK. 2010. Plant growth promoting rhizobacteria constraints in bioformulation, commercialization and future strategies. In: Maheshwari, D.K. (Ed.), *Plant Growth and Health Promoting Bacteria*, 97-116. https://doi.org/10.1007/978-3-642-13612-2_5
- Avan M, Kotan R. 2021. Fungusların mikrobiyal gübre veya biyopestisit olarak tarımda kullanılması. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3(1): 167-191.



- Bevivino A, Sarrocco S, Dalmastrri C, Tabacchioni S, Cantale C, Chiarini L, 1998. Characterization of a free-living maize-rhizosphere population of *Burkholderia cepacia*: effect of seed treatment on disease suppression and growth promotion of maize. FEMS Microbiol Ecology, 27(3): 225-237. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1998.tb00539.x>
- Cao JQ. 1997. Effect of *Rhizobium* inoculation on several leguminous green manure crops in newly cultivated low hilly land of red soil. In Research on Red Soil Ecosystem (IV), Ecological Experimental Station of Red Soil, Chinese Academy of Sciences. Nanchang (China): Jiangxi Science and Technology Press, pp. 223-226.
- Chen CY, Xiong SG. 1997. The present and development of microbial fertilizer. Journal of China Agricultural University, 2: 12-15.
- Chen HK. 1996. On the Connotation of the term “Microbial Fertilizer” some suggestions for the drawing up of quality standards and management of commodity production. In Production, Application and Development of Microbial Fertilizers, ed. C. Ge. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing, China, p. 6.
- Chen HK, Li FL, Chen WX, Cao YZ. 1981. Soil Microbiology. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai, China, pp. 132-173.
- Chen WX, Hu ZJ. 1990. Soil and Environmental Microbiology. Beijing Agricultural University Press, Beijing, China, 288 p.
- Dusak L. 2021. Çeşitli mikrobiyal uygulamaların mısır bitkisinde (*Zea mays* L. *indendata*) verim ve verim unsurlarına etkisi. Doktora Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye.
- Erman M, Çığ F, Bakırtaş E. 2012. Farklı dozlarda humik asit ve *Rhizobium* bakterisi aşılamasının mercimekte verim, verim öğeleri ve nodülasyona etkileri. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, (1): 64-67.
- Ertekin İ, Çakmakçı S. 2020. Effect of different rates of bacteria (*Rhizobium leguminosarum*) inoculated in seed on yield and some quality parameters of common vetch (*Vicia sativa* L.). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(2): 343-349.
- Frezarin ET, Santos CHB, Sales LR, dos Santos RM, de Carvalho LAL, Rigobelo EC. 2023. Promotion of peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth by plant growth-promoting microorganisms. Microbiology Research, 14(1): 316-332.
- Gholami A, Shahsavani S, Nezarat S. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. World Academy Science, Engineering and Technology, 3(1): 9-14.
- Hajnal-Jafari T, Jarak M, Djuric S, Stamenov D. 2012. Effect of co-inoculation with different groups of beneficial microorganisms on the microbiological properties of soil and yield of maize (*Zea mays* L.). Ratarstvo i povrtarstvo - Journal on Field and Vegetable Crops Research, 49(2): 183-188. <https://doi.org/10.5937/ratpov49-1462>
- Hassen AI, Bopape FL, Sanger LK. 2016. Microbial inoculants as agents of growth promotion and abiotic stress tolerance in plants. In: Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity; Singh D, Singh H, Prabha R (eds.). pp: 23-36. Springer, New Delhi. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5_2
- Herrmann L, Lesueur D. 2013. Challenges of formulation and quality of biofertilizers for successful inoculation. Appl. Microbiol. Biotechnol, 97: 8859-8873.
- Kavamura VN, Santos SN, Silva JL da, Parma MM, Avila LA, Visconti A, Zucchi T, Domingues T, Rodrigo G, Andreote FD, de Melo IS, 2013. Screening of brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. Microbiol Research, 168(4): 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2012.12.002>
- Kotan R. 2020. Tarımda biyolojik çözümler. Harman Yayıncılık, İstanbul, ISBN: 978-605-68060-4-9. 158 s.
- Kour D, Rana KL, Yadav AN, Yadav N, Kumar M, Kumar V, Saxena AK. 2020. Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 23: 101487.
- Li HX, Huang ZY, Bei FM. 1998. The preliminary research on the increasing production effects of compound microbial fertilizer in peanut. Soil Fertilizer, 2: 35-37.
- Li X, Lu Q, Li D, Wang D, Ren X, Yan J, Ahmed T, Li B. 2022. Effects of different microbial fertilizers on growth and rhizosphere soil properties of corn in newly reclaimed land. Plants, 11: 1978. <https://doi.org/10.3390/plants11151978>
- Liang XT. 1994. Investigation on ectotrophic mycorrhizal resource of main tree species in guangxi and their application. Acta Pedologica Sinica, 31 (supplement): 134-140.
- Lin DY, Song YJ. 1997. Increase production and exploit prospect of compound bio-fertilizer. Guangxi Agricultural Sciences, 6: 283-285.
- Lin XG, Hao WY, Wu TH, Shi YQ. 1994. Biological characters of the 11 different VAM fungal species. Acta Pedologica Sinica, 31 (supplement): 114-121.



- Liu RC, Li FT, Hao CR, Wang WY, Yang ZY, Zhang AM, Cao GQ, Wang LF. 1996. Application of silicate bacterial inoculant in agricultural production. In Production, Application and Development of Microbial Fertilizers, ed. C.Ge. Beijing, China: China Agricultural Science and Technology Press, pp. 66-74.
- Marks BB, Megías M, Ollero FJ, Nogueira MA, Araujo RS, Hungria M. 2015. Maize growth promotion by inoculation with *Azospirillum brasilense* and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipochitooligosaccharides (LCOs). *AMB Express*, 5(1): 71. <https://doi.org/10.1186/s13568-015-0154-z>
- Olsen PE, Rice WA. 1989. *Rhizobium* strain identification and quantification in commercial inoculants by immunoblot analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 55: 520-522.
- Öztüfekçi S. 2015. Mikrobiyolojik gübre olarak *Bacillus subtilis*' in buğday bitkisinin verim ve besin elementi alımına etkisi. Doktora Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- Panasiewicz K, Faligowska A, Szymańska G, Ratajczak K, Sulewska H. 2023. Optimizing the amount of nitrogen and seed inoculation to improve the quality and yield of soybean grown in the southeastern baltic region. *Agriculture*, 13(4): 798.
- Peng SP, Ye FJ. 1995. Applied effects of silicate bacterial agent on cotton. *Hubei Agricultural Sciences*, 2: 34-35.
- Rojas-Tapias D, Moreno-Galvan A, Pardo-Diaz S, Obando M, Rivera D, Bonilla R. 2012. Effect of inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (*Zea mays*). *Applied Soil Ecology*, 61: 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.01.006>
- Sachin D, 2009. Effect of azotobacter chroococcum (PGPR) on the growth of bamboo (*Bambusa bamboo*) and maize (*Zea mays*). *Plant Biofront*, 1 (1): 37-46.
- Sharma G, Mathur V. 2020. Modulation of insect-induced oxidative stress responses by microbial fertilizers in *Brassica juncea*. *FEMS Microbiology Ecology*, 96: 4. doi: 10.1093/femsec/fiaa040
- Song YQ. 1994. The application of bio-fertilizer in liaoning province. *Journal of Microbiology*, 14: 45-51.
- Soysal S, Çiğ F, Erman M. 2020. Siirt ili koşullarında mikrobiyolojik ve inorganik gübrelemenin ekmeçlik ve makarnalık buğdayda verim ve verim öğeleri üzerine etkileri. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7(9): 178-186.
- Stamenković S, Beškoski V, Karabegović I, Lazić M, Nikolić N. 2018. Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 16(1): e09R01. <https://doi.org/10.5424/sjar/2018161-12117>
- Szilagyi-Zecchin VJ, Mógór ÁF, Figueiredo GGO. 2016. Strategies for characterization of agriculturally important bacteria. In: *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*; Singh DP, Singh HB, Prabha R (eds.). pp: 1-21. Springer, New Delhi. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5_1
- Takil E, Kayan N. 2023. Phenological and morphological response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) *Rhizobia* and *Azotobacter* inoculation. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2): 230-242.
- Weller DM. 1988. Biological control of soil-borne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Annual Review of Phytopathology*, 26: 379-407.
- Wu GY, Li HQ. 1994. The application and function of antibiotic bacterial fertilizer. *Soil Fertilizer*, 3: 45-46.
- Xiong CC, Li X, Wang HQ, Wu JC. 1993. Applied effects of biological potassium fertilizer on paddy soils of red soil in the South of Hubei. *Hubei Agricultural Sciences*, 6: 11-13.
- Xu HL. 2001. Effects of a microbial inoculant and organic fertilizers on the growth, photosynthesis and yield of sweet corn. *Journal of Crop Production*, 3(1): 183-214.
- Zhengao L, Zhang H. 2001. Application of microbial fertilizers in sustainable agriculture. *Journal of Crop Production*, 3(1): 337-347, doi:10.1300/J144v03n01_28

