

Tohumlarda Biyo-Priming Uygulaması: Tarımsal Üretimde Sürdürülebilir Stres Yönetimi İçin Doğa Dostu Bir Yaklaşım

Gül İMRİZ^{1*} 

Ramazan KELEŞ² 

Neval İNAL³ 

¹Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi 99258 Lefkoşa/KKTC

²Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Akabe, Karapınar Ereğli Yolu KöprülÜ Kavşağı 2. Km, 42020 Karatay, Konya/TÜRKİYE

³Kars Şeker Fabrikası, Fevzi çakmak, Erzurum Yolu 9 Km, 36000 Kars Merkez, Kars/TÜRKİYE

¹<https://orcid.org/0000-0003-2909-1834>

²<https://orcid.org/0000-0003-2872-7183>

³<https://orcid.org/0009-0001-6562-1559>

*Corresponding author (Sorumlu yazar):gulimriz@hotmail.co.uk

Received (Geliş tarihi): 30.11.2023

Accepted (Kabul tarihi):19.12.2023

Online:29.12.2023

ÖZ: Tohumlar, birçok bitki türünün neslini devam ettirebilmesinin tek yoludur. Bu nedenle tüm dünyada sürdürülebilir bir tarımsal üretim için tohum çok önemli bir rol oynamakla birlikte gıda güvenlik zinciri büyük oranda yüksek kalitede tohuma bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenle, tohumların çevreyle dost doğal yollarla kalitesini korumak çok önemlidir. Tarımsal üretimde tohumların toprakla buluşmasından itibaren bitkilerin çok sayıda stres faktörüne maruz kalması, tarımsal üretim ve gıda güvenlik zincirinin önündeki en önemli engeldir. Stres, bitkilerin fizyolojik fonksiyonlarında değişikliklere neden olmakta, bu da bitki büyümesinde gerilemeye ve düşük tarımsal verime yol açmaktadır. Tohumlarda çimlenmeyi, fide canlılığını ve çeşitli stres faktörlerine karşı dayanıklılığı artırmak için farklı tohum astarlama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan biyo-priming ile tohum astarlaması, tohumların fizyolojik fonksiyonlarını geliştirmek için faydalı biyolojik ajanların kullanımına dayanan uygulaması kolay bir tekniktir. Bu teknik toprak verimliliğini artırılmasına, toprak-su kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunmakta ve agro-ekolojik dengenin yeniden sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Biyo-priming tekniği ile tohum astarlaması uygulamasının sade, basit ve ekonomik olması, tarımsal üretime ve çevreye olumlu katkılarından dolayı da birden fazla öne çıkan özelliği ile son zamanlarda artan bir ilgi görmektedir. Bu derleme makalede, sürdürülebilir tarıma ulaşmanın yolunda iyi bir ekosistemin oluşturulmasının önemli bir bileşeni olarak düşünülen biyo-priming tekniği ile mikrobiyal tohum astarlanması incelenecektir.

Anahtar kelimeler: Abiyotik, biyotik, kontrol, mikroorganizma, stres, tohum, uygulama.

Bio-Priming Application in Seeds: A Nature-Friendly Approach for Sustainable Stress Management in Agricultural Production

ABSTRACT: Seeds serve as the primary means for the survival of numerous plant species. Consequently, their pivotal role in ensuring sustainable agricultural production worldwide cannot be overstated. The integrity of the food security chain significantly relies on the availability of high-quality seeds. Thus, preserving seed quality through eco-friendly methods is paramount. Throughout agricultural production, plants encounter various stressors from the moment seeds meet the soil. These stress factors pose significant hurdles to agricultural productivity and food safety chains. Stress induces physiological changes in plants, hindering growth and lowering agricultural output. Diverse seed priming techniques are employed to enhance seed germination, seedling viability, and resilience against a multitude of stressors. Among these methods, bio-priming stands out as a straightforward approach that utilizes beneficial biological agents to enhance seed physiological functions. Bio-priming techniques not only foster increased soil fertility but also aid in curbing soil and water pollution, thereby contributing to reinstating agro-ecological balance. Given its simplicity, cost-effectiveness, and positive impact on agricultural production and the environment, the practice of seed priming using bio-priming techniques has garnered considerable attention. This review article will explore microbial seed treatment through the bio-priming technique, acknowledged as a crucial element in cultivating a conducive ecosystem toward achieving sustainable agriculture.

Keywords: Abiotic, biotic, control, microorganism, stress, seed, application.

GİRİŞ

Bitki tohumları, toprağa düşmesini takip eden tüm süreçte pek çok biyotik ve abiyotik stresle karşı karşıya kalmaktadırlar. Tarımsal üretimde verimi ve kaliteyi önemli ölçüde aşağı çeken bu stres faktörlerine karşı yoğun olarak kullanılan sentetik kimyasalların ekolojik dengeyi bozduğu bilinmektedir. Bu doğal olmayan ürünlerin halen yüksek oranda kullanımı çevre ve canlılar için risk oluşturmaya devam etmekte ve bunun önüne geçilmesi yönünde tedbirler alınmakla birlikte yoğun araştırmalar da yapılmaktadır. Sürdürülebilir olmayan bu tip uygulamaların kullanımının beraberinde getirdiği ciddi sorunların ortaya çıkmasından dolayı, Birleşmiş Milletler (BM), mevcut durumu ve iklim değişikliğinin potansiyel tehditlerini eleştirel bir şekilde analiz ettikten sonra Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri önermiştir (Akinsemolu, 2018). Bu hedefler arasında iklim değişikliği, beklenmedik doğa olaylarına karşı iyi bir risk yönetimi, uyum sağlama potansiyeline sahip doğal ve ekosistem tabanlı çözümlerin kullanımı yer almaktadır (Cohen-Shacham ve ark., 2016). Sıcaklıklarda beklenmedik aşırı değişimler (sıcak, soğuk veya don), kuraklık (eksik ve düzensiz yağış, kuru rüzgarlar), sel, besin stresi, yüksek tuz konsantrasyonu ve toksik metaller ile toprakların kirlenmesi, zararlı ve hastalık etmenlerinin (virüsler, bakteriler ve funguslar) saldırıları sonucunda bitkide fizyolojik ve biyokimyasal fonksiyonların büyük ölçüde olumsuz etkilenmesi sebebi ile, verim ve kalite düşmektedir (Rejeb ve ark., 2014). Tüm bu stres faktörleri düşünüldüğünde, insanlığın önündeki en büyük zorluklardan biri tarımsal alanda sürdürülebilirlik olarak önümüze gelmektedir. Tarımsal alanda sürdürülebilirlik artan dünya nüfusunu karşılayacak gıda arzı için çevre üzerinde herhangi bir olumsuz sonuç bırakmadan tarımsal ürün kayıplarını en aza indirmek anlamına gelmektedir. Sürdürülebilir bir üretim, çevre üzerinde olumsuz etkileri olmayan teknolojiler ve uygulamalar yoluyla gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, son zamanlarda mevcut yöntemlerden olan tohum ön uygulamaları ve/veya astarlamaları uygun maliyetli ve kolay uygulanabilir olmasının yanı sıra doğa dostu özelliğinden dolayı da yoğun ilgi görmektedir (Reddy, 2013; Kumari ve ark., 2018).

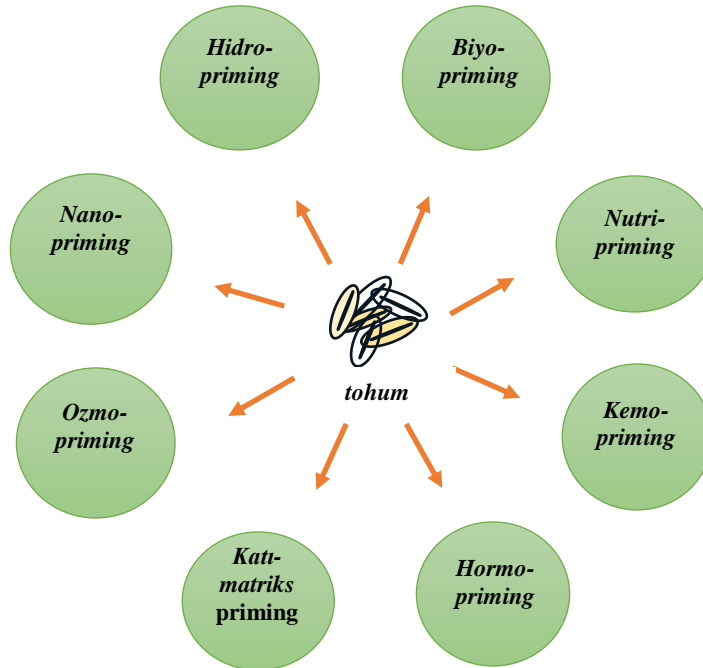
Bitki tohumlarına farklı teknikler ile uygulamalar yaparak çimlenme ve bitkinin gelişim performansının iyileştirildiği ve verimin artırıldığı pek çok çalışmada belirtilmiştir. Antik tarımsal faaliyetler ile ilgili bilgiler incelendiğinde tohum uygulamalarının çok eski tarihlere dayandığı görülmektedir. Tohum hazırlama tekniğinin uygulanmaya başlanmasından önce, bazı tohumların bazı etkenlerden dolayı düzgün ve kolay bir şekilde çimlenmediği fark edilmiş; bu yavaş ve yeknesak olmayan tohum çimlenme sürecini ortadan kaldırmak için Yunanlı çiftçiler tarafından tohum hazırlama tekniği geliştirilmiştir. Theophrastus (M.Ö. 372-287), salatalık tohumlarının önceden ıslatılması ile tohumların daha erken çimlendiğini belirtmiştir (Zadoks, 2013). Bunun yanı sıra Hindistan'da ahır gübresinin tohum astarlanmasında kullanımı ile ilgili bilgi Kautilya zamanından (M.Ö. 300 civarı) günümüze kadar gelmiştir. Antik çağlardan beri ahır gübresinin çeşitli amaçlarla kullanımı kayıtlarda bulunmaktadır ki bunlar; tohumların astarlanması, vejetatif olarak üretilen şeker kamışı çeliklerinin kesik uçlarının sıvanması, yaraların sarılması, seyreltilmiş süspansiyonunun bitkiler üzerine serpilmesi vb.'dir. Genellikle günümüzde çiftçilerin sadece gübre maksadıyla ahır gübresinden faydalanmakta olduğu ve tohum uygulaması şeklinde kullanımına yer vermediği görülmektedir. Antik çağlardan gelen bilgiler bize tohumlara çeşitli uygulamalar yaparak ekime hazırlanması ile ilgili çalışmaların çok eski tarihlere dayandığını göstermektedir (Nene, 2002). Günümüzde de tohumlar yine ekim öncesinde çeşitli uygulamalara tabi tutulmakta ve bu uygulamalar "priming" ya da "tohum hazırlığı" terimleri ile anılmaktadır.

PRİMİNG (TOHUM HAZIRLAMA) TEKNİKLERİ

Heydecker (1973) "Seed Priming" terimini ortaya çıkaran kişi olarak literatüre geçmiştir. Tohum hazırlama (seed priming), çimlenmeden önce tohum içindeki çeşitli fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler olayları uyararak, daha yeknesak ve hızlı çimlenmeyi sağlayan uygulamalara verilen

genel bir terimdir. Tohum ön hazırlığı için yapılan uygulamalar ile tarla koşullarında ekimden önce tohum kalitesinin iyileştirilebildiği, çimlenme sonrası çeşitli streslerle mücadele edebilecek sağlam ve kuvvetli fidelerin elde edildiği yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur. Ayrıca, tohumlara priming uygulamalarının olumlu etkileri bitki büyüme süreci boyunca gözlemlenebilmektedir. Bu çalışmada, şimdiye kadar yapılan araştırmalar incelendiğinde ön uygulamalar ile tohum hazırlık teknikleri (Priming teknikleri) sekiz gruba ayrılmıştır (Şekil 1). Bunlar; 1. Tohumların saf suda ıslatılmasına dayanan **hidro-priming** tekniği olup tohumlar uygulama sonrasında orijinal nem içeriğine ulaşmaya kadar yeniden kurutulur. Ucuz ve çevre dostu olan bu teknikte astar maddesi olarak ilave kimyasal madde kullanılmamaktadır (Taylor ve ark., 1998); 2. **Ozmo-priming** tekniği tohumların tuzlu su çözeltisinde bekletilmesine dayamaktadır. Tuzlu çözeltilerin su potansiyeli düşük olduğundan suyun tohuma yavaş yavaş girmesini sağlamak ve bu da sürekli tohumda emilime ve aktivasyona izin vermektedir. Bu yöntem çimlenme süresini kısaltmaktadır ancak

radikula oluşumunu sınırlamaktadır (Di Girolamo ve Barbanti, 2012); 3. **Kati-matriks priming** tekniği, tohumların ıslak katı su taşıyıcı ile karıştırılarak belirli bir süre inkübasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Yavaş emilim için az miktarda su ile birlikte çözünmeyen katı matriks kum, kil, odun kömürü, turba yosunu, diatomlu toprak ve vermikülit içinde tohum inkübasyonu ile gerçekleştirilir (Chakraborty ve Dwivedi, 2021). Daha sonra tohumlar matriksten ayrılır, yıkanır ve tekrar kurutulur. Katı ortamın kullanılması tohumların kademeli olarak sağlamakta ve toprakta ortaya çıkan doğal emilim sürecini teşvik etmektedir (Kanwar ve Mehta 2017; McDonald, 2000); 4. **Hormo-priming** tekniği, tohum metabolik süreçleri üzerinde doğrudan etkiye sahip olabilen bitki büyüme düzenleyicilerinin tohumlara emilimi ile astarlama yapılmaktadır. Hormoprime'de sıklıkla kullanılan büyüme düzenleyiciler absisik asit, oksinler, gibberellinler, kinetin, etilen, poliaminler, jasmonik asit, salisilik asit olarak sıralanabilir (Galhaut ve ark., 2014); 5. **Kemo-priming** tekniği ise farklı kimyasallarla tohum muamelesini kapsar.



Şekil 1. Tohumlara uygulanan priming teknikleri.
Figure 1. Priming techniques applied to seeds.

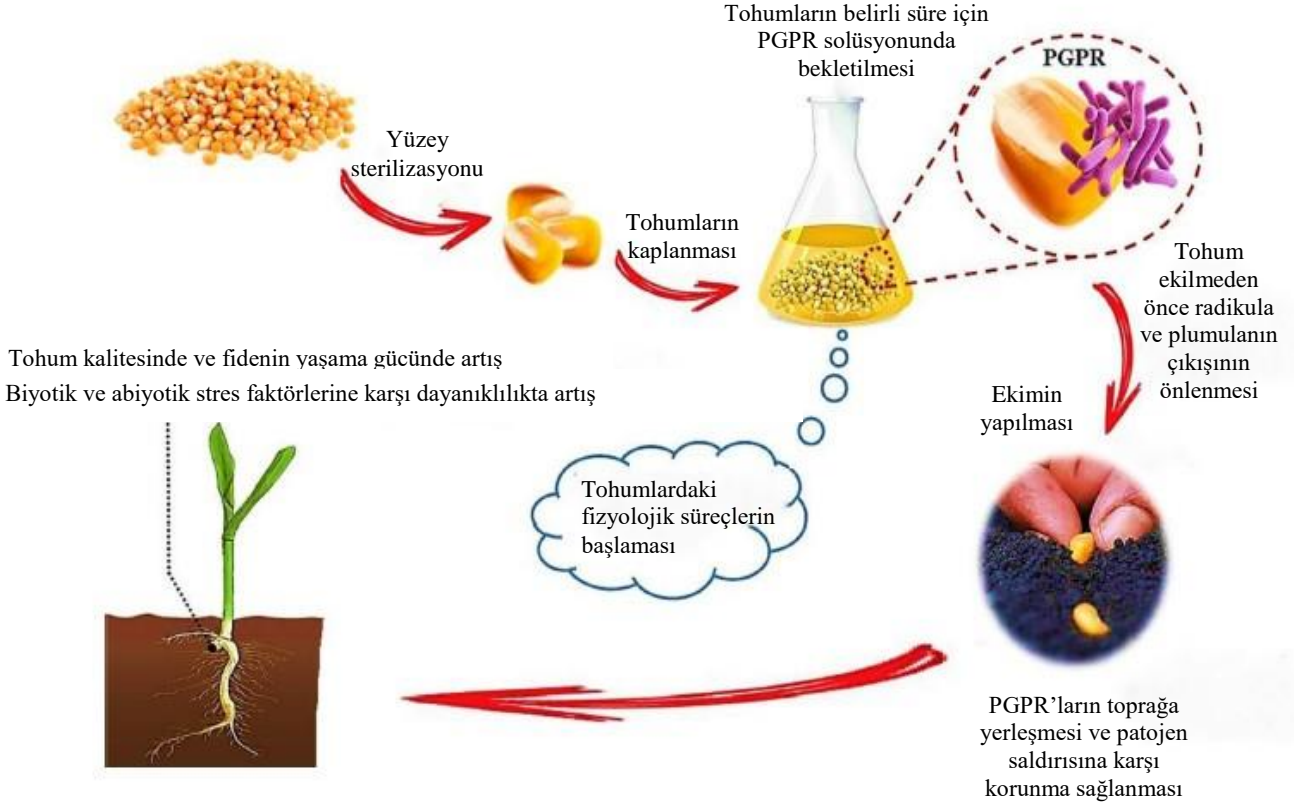
Bu uygulamada hem doğal hem de sentetik olan pek çok kimyasal ajan tohum astarlama işlemleri için kullanılmaktadır. Bu teknikte priming ajanları olarak antioksidanlar (askorbik asit, glutatyon, tokoferol, melatonin ve prolin), hidrojen peroksit, sodyum nitroprussid, üre, mannoz, selenyum, kitosan, fungusitler vb. yer almaktadır (Patade ve ark., 2012). 6. **Nutri-priming**, tohumların saf su yerine sınırlı besin içeren solüsyonlarla uygulama gördüğü tekniktir. Bu teknik ile tohum kalitesini, çimlenme parametrelerini ve fide oluşumunu arttırmak için besinsel maddelerin tohum astarlaması için kullanılmasını ifade etmektedir. (Farooq ve ark., 2012); 7. **Nano-priming** tekniğinde ise spesifik nano parçacıklarla tohumlar kaplanmaktadır. Nanoprimering yöntemi, maliyetleri düşüren ve nanomalzemelerin çevre zarar riskini azaltan, çimlenme ve bitki gelişimi üzerinde olumlu etkileri olan bir tekniktir (Khan ve ark., 2021); 8. **Biyo-priming**, fungal veya bakteriyel biyokontrol ajanı ya da tohumun bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) inokulasyonu ile gerçekleştirilen bir priming tekniğidir (Callan ve ark., 1990).

BİYO-PRİMİNG UYGULAMALARI VE ETKİ MEKANİZMALARI

Tohum hazırlığının diğer bir ifade ile seed-priming tekniğinin ortaya çıkışından bu yana, tohum ön uygulamaları üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu uygulamalar artık tarımsal üretimde geç ekimde güçlü bir bitki gelişimi elde etmek gibi amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. McDonald (2000) tarafından tanımlandığı gibi, tohum hazırlama işlemi, tohumların priming uygulama ajanını içeren solüsyonda bekletilmesi ve ardından tohumların yeniden kurutulup toprağa ekimine dayanmaktadır (Şekil 2). Biyo-priming uygulaması, tohumdaki bakteriyel inokulasyon ve kolonizasyon için ideal koşulları yaratmaktadır (McQuilken ve ark., 1998). Abuamsha ve ark. (2011) tohumların belirli bir süre boyunca bakteri süspansiyonuna daldırılmasıyla bakterilerin tohumun içerisine nüfuzunun sağlandığını ve bu uygulamanın biyo-priming olarak tanımlandığını bildirmiştir. Reddy

(2013) biyo-priming tekniğini, tohumları hastalık etmenlerine karşı korumak için tohumlara faydalı bakteri uygulaması ve bunların hidrasyonu olarak tanımlamıştır. Anitha ve ark. (2013), tohumların bakteriyel süspansiyona daldırılması ile tohumlar ekildikten sonra tohumları aktive ederek, plumula ve kökçük oluşumunun teşvik edildiğini ve çimlenme için gereken sürenin kıaldığını rapor etmişlerdir. Havuç (Jensen ve ark., 2002), tatlı mısır (Callan ve ark., 1990) ve domates (Harman ve Taylor, 1988; Legro ve Satter, 1995; Warren ve Bennett, 1999) gibi ürünlerde rizosfer bakterilerin kullanımı ile biyo-priming uygulamalarının olumlu etkilerini bildiren çalışmalar mevcuttur. Biyolojik ajanların tohumda yaşamlarını sürdürebilmeleri, uygulamanın uzun vadede etkinliğini artırırken paralelinde bitki büyümesini ve verimi de arttırdığı rapor edilmiştir (Harman ve ark., 1989; Callan ve ark., 1990; Warren ve Bennett, 1999).

Biyo-priming uygulamalarında çoğunlukla PGPR'ler kullanılmaktadır (Glick, 2012; Noel ve ark., 1996; Verma ve ark., 2001). Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakteriler (PGPR) ile biyo-priming uygulaması sonucunda tohumda ekim öncesinde dahi spermosferde bakterilerin çoğalmaya devam edebildiği (Taylor ve Harman, 1990) ve uygulama görmüş tohumlarda eşit zamanda çimlenmeyi ve bunun yanı sıra daha iyi bir bitki büyümesini teşvik ettiği belirlenmiştir (Moeinzadeh ve ark., 2010). Bio-priming için kullanılan *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Enterobacter*, *Mikrobakteri*, *Pseudomonas* ve *Serratia* cinslerine ait PGPR'ler, fosfor çözücü organik anyonlar, protonlar, hidroksil iyonları, karbondioksitin yanında kaya kristalini çözebilen fosfataz enzimlerini de üretebilmektedirler. PGPR'ler fosfataz gibi hücre dışı enzimleri salarak fosforun çözünmesini sağlar ve bitkinin kullanımına hazır hale getirir (Zaidi ve ark., 2009; Glick, 2012; Imriz ve ark., 2014; Imriz ve ark., 2020). Kullanılan bazı PGPR'ler, kayadaki potasyumu doğrudan çözebilen veya silikonu şelatlayan organik asitler (sitrik asit, tartarik asit ve oksalik asit) üretirler ve bunlar ile potasyumu harekete geçirerek bitkiler tarafından kolaylıkla kullanımını sağlayabilmektedir (Sheng ve He, 2006).



Şekil 2. Bio-priming ile tohumlara PGPR uygulaması [Mitra ve ark. (2021)'den uyarlanmıştır].
Figure 2. PGPR application to seeds with bio-priming [Adapted from Mitra *et al.*, (2021)].

Tohuma yapılan PGPR uygulamaları ile proteinlerin, hormonların, fenol ve flavonoid bileşiklerin arttığı, bitki büyümesinin hızlandığı ve verimin yükseldiğine dair bilgiler pek çok çalışmada belirtilmiştir. Çeşitli ürünlerde PGPR ile biyo-priming uygulaması sonucunda oksin, sitokinin, giberellin vb. gibi büyüme hormonlarının oranında çoğalma olduğu ve buna bağlı olarak sürgün ve kök uzamasında artış olduğu kaydedilmiştir (Noel ve ark., 1996; Glick, 2012; Miljakovic ve ark., 2022). Biyo-priming uygulanan tohum ve fidelerde meydana gelen iyi yöndeki değişimler, uygulama göremeyen tohumlara kıyasla daha yüksek olarak bulunmuştur (Deshmukh ve ark., 2020).

PGPR ile tohum biyo-priming uygulamasından sonra çeşitli büyüme aşamalarında toplam protein

içeriği ve serbest amino asit içeriğinde artış olduğu tespit edilmiştir (Aishwath ve ark., 2012; Ahmed ve ark., 2014; Warwate ve ark., 2017.). Bunun yanında, biyo-priming için kullanılan PGPR'lerin, bitkilerde farklı büyüme aşamalarındaki belirli fenolik maddelerin üretimini artırdığı bildirilmiştir (Singh ve ark., 2003). Ayrıca, biyo-priming uygulaması görmüş tohumlarda mikrobiyal ajanlar tarafından üretilen siderofor üretimi sayesinde hastalık patojen gelişimleri engellendiği ve bitki büyümesinin desteklendiği çalışmalarda belirtilmiştir. Tohuma biyo-priming uygulaması aynı zamanda biyotik ve abiyotik strese karşı bitkide savunmayla ilgili enzimlerin (peroksidaz, süperoksit dismutaz, katalaz, kitinaz, amonyak liyazları vb.) üretimini de teşvik etmektedir (Chen ve Arora, 2013; Paparella ve ark., 2015). Biyokontrol ajanları ile tohum biyo-priminginin

bitkilerde uyarılmış sistemik dayanıklılığın teşvikinde de etkili olduğu tespit edilmiştir. Biyokontrol ajanlarının, özellikle de rizobakterilerin, çeşitli ürünlerde "Teşvik Edilmiş Sistemik Dayanıklılık" (ISR) adı verilen bir direnç mekanizmasını harekete geçirerek hastalık enfeksiyonunu baskılamada etkili olduğu bildirilmiştir (Van Loon ve ark., 1998). Van Peer ve ark. (1991), *Pseudomonas fluorescens* uygulamasıyla karanfilde *Fusarium* solgunluğu enfeksiyonunun azaltılabildiğini bildirmişlerdir. Karanfil sapına bakteri uygulaması ile *Fusarium* enfeksiyonundaki düşüşü, uyarılmış dayanıklılığa ve fitoaleksinlerin birikmesine bağlamışlardır. Benzer şekilde Wei ve ark. (1991), salatalıkta PGPR ile muamele edilen tohumların antraknoz hastalığını azaltıldığı ve PGPR'ın tohumlara uygulanmasının, salatalık bitkilerinin yapraklarında *Colletotrichum orbiculare*'nin neden olduğu antraknoz hastalığına karşı korunmasında sistemik dayanıklılığı tetiklediği sonucuna varmışlardır.

Bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmalar arasında yer alan aktinobakteriler uygunsuz çevresel koşulları (alkali ve asidik pH, yüksek sıcaklık, kuraklık) dahil olmak üzere çok farklı habitatlarda yaşamlarını sürdürebilmektedirler (Pepper ve Gentry, 2015). Bitki gelişimini destekleyen aktinomisetlerin çoğunlukla *Streptomyces* cinsine ait olduğu bilinmektedir. İpliksi büyüme ve sporlanma yetenekleri, bu cinse hem hayatta kalma hem de kolonizasyon açısından diğer mikroorganizmalara göre büyük bir avantaj sağlamaktadır (Viaene ve ark., 2016). *Streptomyces* ile tohum uygulamalarında spor süspansiyonları kullanılmaktadır (Djebaili ve ark., 2020). Ayrıca, *Streptomyces* ve diğer aktinobakterilerden elde edilen hücresiz süpernatantlar da (bakteri hücresinin bulunmadığı ancak bakterinin ürettiği bazı moleküllerin bulunduğu solüsyon) biyo-priming ajanı olarak başarıyla kullanılabilir (Mitra ve ark., 2023).

Bazı fungal biyo-kontrol ajanları, biyotik ve abiyotik stres faktörleri ile mücadelede kullanılmaktadır. Mikoparazitik fungus olan

Trichoderma türlerinin çok çeşitli antagonistik aktivitesi mevcut olup, fungal hastalık etmenlerine ve nematodlara karşı başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda yine tohumlara biyo-priming uygulaması için en yaygın kullanılan fungus olduğu bilinmektedir (Singh ve ark., 2004, Yeşilyurt ve ark., 2018). Bu fungal ajan ile biyo-priming uygulamalarında stres altındaki bitkilerin büyümesinde artış, (Shoresh ve ark., 2010); kuraklık, tuz ve sıcaklık gibi abiyotik bitki streslerine karşı sistemik direnç kazanımı (Çığ ve ark., 2022; Mansouri ve ark., 2010; Shoresh ve ark., 2010); toprakta organik maddenin ayrışması ile topraktaki hümik asidin artırılması; fosforu çözümlenerek toprakta hareketinin artması; azotun kullanıma hazır hale getirilmesi ve besin mevcudiyetinin artması (Singh ve ark., 2004) gibi bitkiye direk ve indirek olarak pek çok fayda sağladığı bildirilmiştir.

Simbiyotik yaşayan funguslar, *Acaulospora* sp., *Ambispora* sp., *Gigaspora* sp., *Glomus* sp., *Pacispora* sp. ve *Paraglomus* sp.'nin bitki besin alımı, bitki büyümesi ve özellikle kuraklık gibi abiyotik streslere karşı koymada önemli etkilerinin olduğu ortaya konmuştur. Ancak bu funguslar ile bazı bitkilerin tohumlarına biyo-priming uygulaması sonucunda fidelerin erken dönemlerindeki simbiyotik etkileşimin daha başarılı olduğu ileri sürülmüştür. Nitekim, *T. harzianum* Rifai T-22 ırkı ile muamele edilen domates tohumlarında, osmoz, tuzluluk, aşırı düşük ve yüksek sıcaklık gibi abiyotik stres faktörlerinin etkisinin azaldığı tespit edilmiştir (Mansouri ve ark., 2010).

BİTKİLERDE BİYOTİK VE ABİYOTİK STRESLERİN YÖNETİMİNDE BİYO-PRİMİNG UYGULAMALARI

Priming yöntemlerinden birisi olan biyo-priming uygulamaları aynı zamanda tohum çimlenme hızını ve homojenliğini artırırken tohumları toprak ve tohum kökenli patojenlere karşı da korumaktadır. Biyo-priming için antagonist mikroorganizmaların uygulanması, hastalık sorununun üstesinden gelmek için çevre dostu bir prosedür olarak kabul edilmektedir (Reddy, 2013). Ayrıca biyokontrol

ajanı olarak kullanılan bazı bakteriler çimlenme aşamasından sonra rizosferde yaşamına devam edebilmekte ve bitkinin hem doğrudan hem de dolaylı olarak lehine çalışabilmektedirler ki; bu özellikleri ile ürün bitkilerde sürdürülebilir bir koruma sağlayabilmektedirler (Callan ve ark., 1997).



Şekil 3. Bitkisel üretimde farklı PGPR uygulama yöntemleri ve bitkide etkileri.

Figure 3. Different PGPR application methods in crop production and their effects on the plant.

Şimdiye kadarki yapılan çalışmalar incelendiğinde PGPR'lerin çeşitli amaçlar doğrultusunda farklı uygulamalarının mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 3). PGPR'lerin tohumlara biyo-priming ajanı olarak uygulanması, peletleme ve film

kaplama gibi diğer uygulamalara göre oldukça etkili bir hastalık yönetimi taktiği olduğu bildirilmiştir (Muller ve Berg, 2008). Bu canlı organizmalar, oksinler, sitokininler, absisik asit ve gibberellinler gibi bitki büyüme düzenleyicilerinin üretiminin yanı sıra çeşitli etkin moleküller ve ikincil metabolitler salgılamaktadırlar. Bu gibi aktiviteler bio-priming yöntemine uygundur ve bitkide biyotik strese karşı direnç sağlar (Audenaert ve ark., 2002; Singh ve ark., 2020). Raj ve ark. (2004), inci darısı (*Pennisetum glaucum* L.) tohumlarının *Pseudomonas* spp. ile biyo-priming konusunu araştırmışlar ve mikroorganizmaların bitkinin büyümesini ve hastalığa karşı direncini artırmaya yardımcı olduğunu bildirmişlerdir. Biyolojik olarak uygulama görmüş tohumlar, çimlenme oranını, kök uzunluğunu ve hacmini, yan kök sayısını artırarak bitkinin daha sağlıklı olmasına ve veriminin artmasına sebep olmaktadır (Chitra ve Jijeesh, 2021). PGPR ile biyo-priming uygulamasıyla fide gelişiminde artış meydana gelmiş ve bitki büyümesinde önemli etkilerinin olduğu ortaya konmuştur (Fiodor ve ark., 2023). Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda biyo-priming yalnızca abiyotik stres faktörleri ile mücadele etmek için değil aynı zamanda biyotik stres faktörlerine karşı da başarılı bulunmuştur. Bu çalışmalardan bazıları Çizelge 1 ve 2'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Abiyotik stres toleransında biyo-priming uygulamalarının rolü [Mahmood ve ark. (2016) 'dan uyarlanmıştır].

Table 1. The role of biopriming practices in abiotic stress tolerance [Adapted from Mahmood et al. (2016)].

Bakteri Türü	Etki Mekanizması	Bitki	Stres toleransındaki rolü	Referans
<i>Enterobacter cloacae</i>	Metabolik aktivitelerin artırılması	Buğday	Tuzluluk toleransı	Singh ve ark. (2017)
<i>Bacillus pumilus</i> , <i>B. furmus</i>	ACC-deaminaz aktivitesi, IAA üretimi, fosfatı çözündürme, fitik asit mineralizasyonu, siderofor üretimi	Patates	Tuzluluk, kuraklık, ağır metal stresi toleransı	Gururani ve ark. (2012)
<i>Bacillus cereus</i>	Fosfat çözünürlüğü, IAA, katalaz, proteaz, kitinaz ve siderofor üretimi, nitratı indirgeme, nişastanın hidrolizi	Pirinç, maş fasulyesi, nohut	Tuzluluk toleransı	Chakraborty ve ark. (2011)
<i>Agrobacterium rubi</i> , <i>Burkholderia gladii</i> , <i>P. putida</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. megaterium</i>		-	Bitki çimlenmesinde iyileşme, tuzluluk toleransı	Kaymak ve ark. (2009)

Çizelge 2. Biyotik stres toleransında biyo-priming uygulamalarının rolü [Mahmood ve ark. (2016) 'dan uyarlanmıştır].
Table 2. The role of biopriming practices in biotic stress tolerance [Adapted from Mahmood et al. (2016)].

Bakteri Türü	Bitki	Stres toleransındaki rolü	Referans
<i>Trichoderma harzianum</i>	Mısır	<i>Fusarium verticillioides</i> ve fumonisins toleransı	Chandra Nayaka ve ark. (2010)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Ayçiçeği	<i>Alternaria</i> yanıklığına karşı tolerans	Rao ve ark. (2009)
<i>Clonostachys rosea</i>	Havuç	<i>Alternaria dauci</i> ve <i>A. radicina</i> 'ya karşı tolerans	Jensen ve ark. (2004)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	İnci darısı	Mildiyö hastalığına karşı tolerans	Raj ve ark. (2004)
<i>Pseudomonas aureofaciens</i>	Tatlı mısır	<i>Pythium ultimum</i> 'a karşı tolerans	Callan ve ark. (1990)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Tatlı mısır	Çökerten hastalığına karşı tolerans	Callan ve ark. (1990)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tohumlara biyo-priming uygulaması, ürünün performansını ve verimliliği artırmak için umut verici ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bu yenilikçi teknik, faydalı mikroorganizmaların veya bunların biyoaktif bileşiklerinin tohumlara uygulanmasını ve tohum ile mikroorganizma arasında simbiyotik bir ilişkinin desteklenmesini sağlamaktadır. Tohumlara biyo-priming uygulaması, daha iyi çimlenme oranı, daha gelişmiş fide gücü ve çeşitli stres faktörlerine karşı daha yüksek tolerans oluşturma gibi çeşitli avantajları beraberinde getirmektedir. Çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde biyo-priming uygulamasının tohumlarda etkili bir şekilde kullanılabileceği araştırmacılar tarafından ortaya konduğu görülmektedir. Biyo-priming, kuraklık, tuzluluk gibi abiyotik stres faktörlerinin yanı sıra çeşitli toprak kökenli hastalıklara karşı iyi bir kontrol sağladığından kimyasallara alternatif biyolojik bir ürün olarak başarıyla kullanılabileceği öngörülmektedir.

Tohumlara biyo-priming uygulamasıyla, verim artışlarının yanı sıra tarımdaki kimyasal girdilerin azaltılmasına katkıda bulunabilmektedir. Tohum uygulamalarında faydalı mikroorganizmaların kullanılması, organik ve sürdürülebilir tarım yöntemlerine yönelik artan talebe uyum göstermekte ve bu talebi karşılamaktadır. Bununla birlikte, çok sayıda çalışmada gözlemlenen umut verici sonuçlara rağmen, tohumlara biyo-priming uygulamasının etkinliğinin, bitki türleri, çevre koşulları ve kullanılan spesifik mikrobiyal türler gibi faktörlere bağlı olarak değişebileceği düşünülmektedir. Sürekli araştırma ve geliştirme,

farklı mahsuller ve bölgeler için formülasyonları ve uygulama yöntemlerini optimize etmek uygulamanın etkinliği açısından çok önemlidir. Bunlara ek olarak, PGPR'ler ile fito-stimülasyonda biyo-priming uygulamasının rolünün daha iyi anlaşılması için biyokimyasal, proteomiks ve transkriptomik analizler gibi daha detaylı ve yenilikçi çalışmalara ihtiyaç olduğu ortadadır. Yapılan araştırmalar incelendiğinde çalışmaların az olduğu diğer bir konu da biyo-priming uygulamasının maliyeti ile ilgili çalışmalar olduğu gözlenmiştir. Bu konuya yönelik çalışmaların artırılmasına ihtiyaç duyulmakla birlikte, tekniğin çeşitli bitkilerde etkinliği ve uygulanabilirliği de araştırılmalıdır.

Özetle, tohum biyo-priming uygulaması modern tarımda büyük bir potansiyele sahiptir ve ürün performansının iyileştirilmesi için sürdürülebilir ve çevreye duyarlı bir tekniktir. Bitkisel üretimde çeşitli fungal veya bakteriyel mikroorganizmaların biyopriming ajanları olarak biyo-gübre ya da biyo-pestisit uygulamalarında pekçok yönden faydalı olacağına dair herhangi bir şüphe olmadığı görülmektedir. Teknoloji ilerledikçe ve bitki-mikroorganizma üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında, tohumlara biyo-priming uygulaması, gıda güvenliğinin sağlanmasında, daha dayanıklı ve sürdürülebilir bir tarımsal geleceğin desteklenmesinde önemini giderek daha da artabileceği kanaatine varılmıştır. Kısacası, biyo-priming tekniğinin hemen hemen tüm tahıl, bakliyat, sebze, bahçecilik ve orman ürünlerinde uygulaması kolay, doğa dostu, biyotik ve abiyotik stres faktörlere karşı entegre mücadelenin önemli bir bileşeni olma yolunda gelecek vadeden bir teknik olduğu düşünülmektedir.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Abuamsha, R., M. Salman, and R. Ehlers. 2011. Improvement of seed bio-priming of oilseed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) with *Serratia plymuthica* and *Pseudomonas chlororaphis*, *Biocontrol Science and Technology*, 21:(2): 199-213, doi: 10.1080/09583157.2010.537311
- Ahmed, R.S., S.A. Mohamed, M.A. Abd, and A. Khalid. 2014. Potential impacts of seed bacterization or salix extract in faba bean for enhancing protection against bean yellow mosaic disease. *Nature and Science* 12: 213–215.
- Aishwath, O.P., G. Lal, K. Kant, Y.K. Sharma, S.F. Ali, and Naimuddin. 2012. Influence of biofertilizers on growth and yield of coriander under typic haplustepts. *International Journal of Seed Spices* 2, 9–14.
- Akinsemolu, A. A. 2018. The role of microorganisms in achieving the sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 182: 139-155. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.081
- Anitha D., T. M. Vijaya, N. V. Reddy, N.V. Pragathi, and K.C. Mouli, 2013. Microbial endophytes and their potential for improved bioremediation and biotransformation: a review. *Indo. Am. J. Pharmaceutical Res.* 3:6408–6417.
- Audenaert, K., T. Pattery, P. Cornelis, and M. Höfte. 2002. Induction of systemic resistance to *Botrytis cinerea* in tomato by *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2: role of salicylic acid, pyochelin, and pyocyanin. *Mol. Plant Microbe Interact.* 15: 1147–1156.
- Callan, N.W., D.E. Marthre, and J. B. Miller. 1990. Bio-priming seed treatment for biological control of *Pythium ultimum* pre emergence damping-off in sh-2 sweet corn. *Plant Disease* 74: 368–372.
- Callan, N.W., D.E. Mathre, J.B. Miller, and C. S. Vavrina. 1997. Biological seed treatments: factors involved in efficacy. *Horticultural Science* 32: 179–183.
- Chakraborty U., S. Roy, A. P. Chakraborty, P. Dey, and B. Chakraborty. 2011. Plant growth promotion and amelioration of salinity stress in crop plants by a salt-tolerant bacterium. *Rec Res Sci Technol.* 3:61–70.
- Chakraborty, P., and P. Dwivedi. 2021. Seed Priming and Its Role in Mitigating Heat Stress Responses in Crop Plants. *J Soil Sci Plant Nutr* 21: 1718–1734. Available at <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00474-4>.
- Chandra Nayaka, S., S.R. Niranjana, A.C. Uday Shankar, S. Niranjanraj Raj, M.S. Reddy, H.S. Prakash, and C.N. Mortensen. 2010. Seed biopriming with novel strain of *Trichoderma harzianum* for the control of toxigenic *Fusarium verticillioides* and fumonisins in maize Archives of Phytopathology and Plant Protection 43: 264–282. doi: 10.1080/03235400701803879
- Chen, K., and R. Arora. 2013. Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environmental Experimental Botany* 94: 33–45.
- Chitra, P., and C. M. Jijeesh. 2021. Biopriming of seeds with plant growth promoting bacteria *Pseudomonas fluorescens* for better germination and seedling vigour of the East Indian sandalwood. *New For.* 1–13.
- Cohen-Shacham, E., G. Walters, C. Janzen, and S. Maginnis. eds. 2016. *Naturebased Solutions to Address Global Societal Challenges*. Gland, Switzerland: IUCN. pp. 97. ISBN: 978-2-8317-1812-5.
- Çiğ, F., M. Erman, B. İnal, H. Bektaş, M. Sonkurt, M. Mirzapour, and M. Ceritoğlu. 2022. Mitigation of drought stress in wheat by bio-priming by PGPB containing ACC deaminase activity. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 53 (1): 51-57.
- Deshmukh, A. J., R. S. Jaiman, R. P. Bambharolia, and V. A. Patil. 2020. Seed biopriming– A review. *International Journal of Economic Plants.* 7(Feb, 1), 038–043. Retrieved from <https://ojs.pphouse.org/index.php/IJEP/article/view/4623>
- Di Girolamo, G., and L. Barbanti. 2012. Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Italian Journal of Agronomy* 7: 8–18.
- Djebaili, R., M. Pellegrini, M. Smati, M. Del Gallo, and M. Kitouni. 2020. Actinomycete strains isolated from saline soils: plant-growth-promoting traits and inoculation effects on *Solanum lycopersicum*. *Sustainability* 12: 4617. <https://doi.org/10.3390/su12114617>.
- Farooq, M., A. Wahid, and K. H. M. Siddique. 2012. Micronutrients application through seed treatments – a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12: 125–142.
- Fiodor A., N. Ajjah, L. Dziewit, and K. Pranaw. 2023. Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. *Front. Microbiol.* 14:1142966. doi: 10.3389/fmicb.2023.1142966
- Galhaut, L., A. Lespinay, D. J. Walker, M. P. Bernal, E. Correal, and S. Lutts. 2014. Seed priming of *Trifolium repens* L. improved germination and early seedling growth on heavy metal-contaminated soil. *Water Air Soil Pollution* 225: 1–15.
- Glick, B.R. 2012. *Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications*. Hindawi Publishing Corporation, Scientifica, 1–15.
- Gururani, M. A., C. P. Upadhyaya, R. J. Strasser, Y. J. Woong, and S. W. Park. 2012. Physiological and biochemical responses of transgenic potato plants with altered expression of PSII manganese stabilizing protein. *Plant Physiol. Biochem.* 58: 82–194. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.07.003>.
- Harman, G. E., A. G. Taylor, and T.E. Stasz. 1989. Combining effective strains of *Trichoderma harzianum* and solid matrix priming to improve biological seed treatments. *Plant Disease* 73:631–637.

- Harman, G. E., and A. G. Taylor. 1988. Improved seedling performance by integration of biological control agents at favorable pH levels with solid matrix priming. *Phytopathology* 78:520-525.
- Heydecker, W. 1973. Glossary of terms. In *Seed Ecology* (W. Heydecker, ed.). Butterworths, London, p.553-557
- Imriz, G., F. Özdemir, I. Topal, B. Ercan, M. N. Tas, E. Yakışır, and O. Okur. 2014. Bitkisel üretimde bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR)' in rolü ve etki mekanizmaları. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi* TR. 12: 2 Syf: 1-19.
- Imriz, G., F. Özdemir, M. S. Karaca, M.N. Tas, I. Topal, and B. Ercan. 2020. Biological control potential of rhizosphere bacteria with ACC-deaminase activity against *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) in wheat, *Zemdirbyste-Agriculture*", 107:2.
- Jensen, B., F. V. Povlsen, and I. M. B. Knudsen. and D. Funck. 2002. Combining microbial seed treatment with priming of carrot seeds for control of seed borne *Alternaria* spp. In: Elad Y, Freeman S, Monte E (Eds). *Biocontrol Agents: Mode of Action and Interaction with Other Means of Control*. Cited in IOBCWPRS Bulletin 24, Dijon: INRA. 197–201.
- Jensen, B., I. M. B. Knudsen, M. Madsen. and D. F. Jensen.. 2004. Biopriming of infected carrot seed with antagonist, *Clonostachys rosea*, selected for control of seedborne *Alternaria* spp. *Phytopathology*. 94:551–60.
- Kanwar, R., and D. K. Mehta. 2017. Studies on solid matrix priming of seeds in bitter melon (*Momordica charantia* L.). *J Appl Nat Sci* 9:395–401.
- Kaymak, H. C., I. Güvenç, F. Yaralı, and F. Dönmez. 2009. The effects of bio-priming with PGPR on germination of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. *Turkish J Agr Forest*. 33 (2):173–9.
- Khan, M. N., Y. Li, Z. Khan, L. Chen, J. Liu, J. Hu, H. Wu, and Z. Li. 2021. Nanoceria seed priming improves salt tolerance in rapeseed through modulating ROS homeostasis and α -amylase activities *J Nanobiotechnology*, pp. 1-19
- Kumari, P., M. Meena, P. Gupta, M. K. Dubey, G. Nath, and R. S. Upadhyay. 2018. Plant growth promoting rhizobacteria and their biopriming for growth promotion in mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 16: 163-171.
- Legro, B., and H. Satter. 1995. Biological control of Pythium through seed coating and seed priming with Trichoderma. In: Bradford K, Hartz T (eds). *Monterey Proceedings of the 4th National Symposium on Stand Establishment of Horticultural Crops*, Monterey, California, 235–7.
- Mahmood, A., O. C. Turgay, M. Farooq, and R. Hayat. 2016. Seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria: a review, *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 92, Issue 8, fiw112, <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw112>
- Mansouri, F., T. Bjorkman, and G. E. Harman. 2010. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic and physiological stress in germinating seed and seedling. *Phytopathology* 100, 1213–1221.
- McDonald, M.B. 2000. Seed priming. In: Black, M., Bewley, J.D. (eds). *Seed Technology and its Biological Basis*. Sheffield, Sheffield Academic Press, 287–325.
- McQuilken, M. P., D. J. Rhodes, and P. Halmer. 1998. Application of microorganisms to seeds. In: Burges HD (ed). *Formulation of Microbial Biopesticides, Beneficial Microorganisms, Nematodes and Seed Treatments*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 255–85.
- Miljakovic, D., J. Marinkovic, G. Tamindžic, V. Dordevic, B. Tintor, D. Milošević, M. Ignjatov, and Z. Nikolic. 2022. Bio-Priming of soybean with *Bradyrhizobium japonicum* and *Bacillus megaterium*: Strategy to improve seed germination and the initial seedling growth. *Plants*, 11, 1927.
- Mitra D., M. Pellegrinib, A. N. Olatunbosunc, R. Mondald, M. Del Gallob, S. Chattaraja, D. Chakrobortye, A. Priyadarshinif, B. Khoshrug, B.E.G. Sierrah, S. de los Santos-Villalobosi, A. Senapatif, R. Djebailib, P.K. Das Mohapatraa, and P. Panneerselvamf. 2023. Seed Priming with microbial inoculants for enhanced crop yields.. pp. 99–123. In: V. K. Sharma, A. Kumar, M. R. Z. Passarini, S. Parmar, V. Kumar Singh (Eds.). *Microbial Inoculants*. Academic Press, Elsevier, USA. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99043-1.00016-5>
- Mitra, D., R. Mondal, B. Khoshru, S. Shadangi, P. K. D. Mohapatra, and P. Panneerselvam. 2021. Rhizobacteria mediated seed bio-priming triggers the resistance and plant growth for sustainable crop production. *Curr. Res. Microbial Sci.* 2: 100071. doi: 10.1016/j.crmicr.2021.100071
- Moeinzadeh, A., F. Sharif-Zadeh, M. Ahmadzadeh, and F. Tajabadi. 2010. Biopriming of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed with 'Pseudomonas fluorescens' for improvement of seed with *Pseudomonas fluorescens* for improvement of seed invigoration and seedling growth." *Australian Journal of Crop Science* 4 (2010): 564-570.
- Muller, H., and G. Berg. 2008. Impact of formulation procedures on the effect of the biocontrol agent *Serratia plymuthica* HRO-C48 on *Verticillium* wilt in oilseed rape. *BioControl* 53: 305–316.
- Nene, Y. L. 2002. Modern Agronomic Concepts And Practices Evident In Kautilya's Arthashastra (c. 300 BC). *Asian Agri-History* 6 (3): 231-242.
- Noel, T.C., C. Sheng, C.K. Yost, R.P. Pharis, and M.F. Hynes. 1996. *Rhizobium leguminosarum* as a plant growth promoting rhizobacterium: direct growth promotion of canola and lettuce. *Canadian Journal of Microbiology* 42, 279–283.

- Paparella, S., J.S.S. Arau, G. Rossi, M. Wijayasinghe, D. Carbonera, and A. Balestrazzi. 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reproduction* 34: 1281–1293.
- Patade, V.Y., D. Khatri, K. Manoj, M. Kumari, and Z. Ahmed. 2012. Cold tolerance in thiourea primed capsicum seedlings is associated with transcript regulation of stress responsive genes. *Molecular Biology Reports* 39: 10603–10613.
- Pepper, I.L., and T.J. Gentry. 2015. Earth environments. pp. 59–88. *In: Environmental Microbiology*. Elsevier., <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00004-1>.
- Raj, S.N., N.P. Shetty, and H.S. Shetty. 2004. Note: Proline— an inducer of resistance against pearl millet downy mildew disease caused by *Sclerospora graminicola*. *Phytoparasitica*. 32:523–7.
- Rao, M.S., N. Ramachandran, and D.S. Sowmya. 2009. Biological control of nematode induced disease complex in certain vegetable crops. Abstracts of International Conference on Horticulture. Bangalore, India, 213.
- Reddy, P. P. 2013. Bio-priming of seeds. *In: P.P. Reddy, (Ed.), Recent Advances in Crop Protection*. India, Springer, 83–90.
- Rejeb, I.B., V. Pastor, and B. Mauch-Mani. 2014. Plant responses to simultaneous biotic and abiotic stress: molecular mechanisms. *Plants*, 3(4): 458–475.
- Sheng, X.F., and L.Y. He. 2006. Solubilization of potassium-bearing minerals by a wildtype strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. *Canadian Journal of Microbiology* 52: 66–72.
- Shoresh, M., G.E. Harman, and F. Mastouri. 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology* 48: 21–43.
- Singh, R.P., A. Runthala, S. Khan, and P.N. Jha. 2017. Quantitative proteomics analysis reveals the tolerance of wheat to salt stress in response to *Enterobacter cloacae* SBP-8. *PLoS One* 12 (9), e0183513.
- Singh, S., U.B. Singh, D. Malviya, S. Paul, P.K. Sahu, M. Trivedi, and A.K. Saxena. 2020. Seed bioprimering with microbial inoculant triggers local and systemic defense responses against *Rhizoctonia solani* causing banded leaf and sheath blight in maize (*Zea mays* L.). *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17 (4): 1396.
- Singh, U.P., B.K. Sarma, and D.P. Singh. 2003. Effect of plant growth promoting rhizobacteria and culture filtrate of *Sclerotium rolfsii* on phenolic and salicylic acid contents in chickpea (*Cicer arietinum*). *Current Microbiology* 46: 131–140.
- Singh, U.S., N.W. Zaidi, D. Joshi, D. Jones, T. Khan, and A. Bajpai. 2004. *Trichoderma*: a microbe with multifaceted activity. *Annual Review of Plant Pathology* 3: 33–75.
- Taylor, A.G., and G.E. Harman. 1990. Concept and technologies of selected seed treatments. *Ann Rev Phytopathol* ;28:321–39.
- Taylor, A.G., P.S. Allen, M.A. Bennett, J.K. Bradford, J.S. Burris, and M.K. Mishra. 1998. Seed enhancements. *Seed Science Research* 8: 245–256.
- Van Loon, L.C., P.A.H.M. Bakker, and C.M.F. Pieterse. 1998. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology* 36: 453–483.
- Van Peer, R., G.J. Niemann, and B. Schippers. 1991. Induced resistance and phytoalexin accumulation in biological control of fusarium wilt of carnation by *Pseudomonas* sp. Strain WCS417r. *Phytopathology* 91: 728–734.
- Verma, A., K. Kukreja, D.V. Pathak, S. Suneja, and N. Narula. 2001. In vitro production of plant growth regulators (PGRs) by *Azorobacter chroococcum*. *Indian Journal of Microbiology* 41: 305–307.
- Viaene, T., S. Langendries, S. Beirinckx, M. Maes, and S. Goormachtig. 2016. *Streptomyces* as a plant's best friend? *FEMS Microbiol. Ecol.* 92, fiw119. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw119>.
- Warren, J.E., and M.A. Bennett. 1999. Bio-osmopriming tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds for improved stand establishment. *Seed Sci Technol*; 27:489–99.
- Warwate, S.I., U.K. Kandoliya, N.V. Bhadja, and B.A. Golakiya. 2017. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on biochemical parameters of coriander (*Coriandrum sativum* L.) seedling. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6: 1935–1944.
- Wei, G., J.W. Kloepper, and S. Tuzun. 1991. Induction of systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum orbiculare* by select strains of plant growth-promoting rhizobacteria. *Phytopathology* 8: 1508–1512.
- Yeşilyurt, A.M., N. Pehlivan, N. Durmuş, and A.S. Karaoğlu. 2018. *Trichoderma citrinoviride*: A potent bioprimering agent for the alleviation of salt stress in maize. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 46 (1) : 101–111.
- Zadoks, J.C. 2013. Crop protection in medieval agriculture. *Studies in pre-modern organic agriculture*. Leiden: Sidestone. p. 333. ISBN 9789088901874.
- Zaidi, A., M.S. Khan, M. Ahemad, and M. Oves. 2009. Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica* 56: 263–284.