

Yosun gübresi ve mikoriza uygulanmasının mercimek bitkisi rizosfer bölgesinin biyolojik aktivitesine etkileri

Effects of seaweed fertilizer and mycorrhiza application on the biological activity of lentil rhizosphere soil

Çiğdem KÜÇÜK*¹ , Meryem DEMİR² 

¹Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 63050, Şanlıurfa

²Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 63050, Şanlıurfa

• Geliş tarihi / Received: 28.02.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 19.12.2024

Öz

Bu çalışmada, mercimek bitkisinin gelişimi ve rizosferdeki bazı mikrobiyolojik özellikler üzerinde yosun gübresi ve mikorizanın ayrı ayrı ve birlikte etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Deneme doğal ışık alan serada tesadüf parselleri deneme desenine göre 5 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemede ticari olarak satılan yosun ve mikoriza gübreleri kullanılmıştır. Biyostimülant olarak satılan sıvı yosun gübresi, su ile birlikte topraklara dört dozda (%0, %1, %2 ve %4), mikoriza ise 2 dozda (mikorizalı ve mikorizasız) uygulanmıştır. Bitkiler ekimden 15 hafta sonra hasat edilmiştir. Elde edilen sonuçların istatistiksel değerlendirmesine göre, uygulamaların kontrole göre önemli ($p<0.05$) derecede farklılık gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek yeşil aksam ağırlığı yosun gübresinin %1'lik uygulanması ile elde edilmiştir. Mikoriza ve %0.2'lik yosun gübresinin birlikte uygulanması ile bitki yeşil aksam boyu ve kök uzunluğu diğer uygulamalara göre daha fazla artmıştır. Mikoriza ve %1'lik yosun gübresinin birlikte uygulanması kök kuru ağırlığı, yaprakların klorofil içerikleri, kök bölgesi (rizosfer) β -glukosidaz, dehidrogenaz, alkalik fosfataz enzim aktiviteleri ve CO₂ içeriği üzerine etkili olmuştur. Mikoriza ve yosun gübresinin birlikte uygulanması, mercimek bitkilerinin temel gelişme özelliklerini de iyileştireceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Biyostimülant, Mercimek, Mikoriza, Rizosferin biyolojik özellikleri, Yosun gübresi

Abstract

The aim of this study was to determine the effects of seaweed fertilizer and mycorrhiza on the development of lentil plants and some microbiological properties in the rhizosphere, separately and together. The experiment was carried out in a greenhouse with natural light according to a randomized plot design with 5 replications. Commercially available seaweed and mycorrhizal fertilizers were used in the experiment. Liquid seaweed fertilizer sold as a biostimulant was applied to the soil with water at four doses (0%, 1%, 2% and 4%), while mycorrhiza was applied at two doses (with and without mycorrhiza). Plants were harvested 15 weeks after planting. According to the statistical evaluation of the results obtained, it was determined that the applications showed significant ($p<0.05$) differences compared to the control. The highest green parts weight was obtained with 1% seaweed fertilizer application. With the combined application of mycorrhiza and 0.2% seaweed fertilizer, plant green parts length and root length increased more than other applications. The combined application of mycorrhiza and 1% seaweed fertilizer was effective on root dry weight, chlorophyll contents of leaves, root zone (rhizosphere) β -glucosidase, dehydrogenase, alkaline phosphatase enzyme activities and CO₂ content. Although the application doses of seaweed fertilizer showed differences in their effects on the basic growth parameters of lentil plants, the combined application of mycorrhiza and seaweed fertilizer showed that it increased both plant development and microbiological properties of rhizosphere soil.

Keywords: Biostimulant, Lentils, Mycorrhiza, Biological properties of the rhizosphere, Liquid seaweed fertilizer

*Çiğdem KÜÇÜK; ckucuk@harran.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Tarım arazilerinin sürekli işlenmesi nedeniyle dünya genelinde toprakların; bitki büyümesi ve verimi için gerekli olan temel besin maddeleri bakımından fakir olduğu bildirilmiştir (Al-Karaki, 2013). Kimyasal gübreler kullanılarak verimi artırmak için yeni arayışlar hız kazanmıştır (Subhashini, 2016; Anlı vd., 2020). Kimyasal gübrelerin yanlış ve aşırı kullanımı toprak kalitesini, verimliliğini ve insan sağlığını olumsuz etkileyerek yetiştiricileri büyük kayıplara uğratmıştır (Rivera-Becerril vd., 2017). Tarım topraklarına her yıl büyük miktarlarda kimyasal gübre uygulanmaktadır (Baligar vd., 2001; Rivera-Becerril vd., 2017). Artan dünya nüfusu için gıda üretimini artırmak amacıyla, kullanılan kimyasal gübre oranlarının gelecekte artacağı tahmin edilmektedir (Cordell vd., 2009). Kimyasal gübre girdilerini en aza indirmek için çeşitli agroekolojik uygulamalar araştırılmıştır. Biyo-gübreler bu uygulamalar arasında yer almakta ve bitki verimliliğinin sürdürülmesinde etkili görünmektedir (Sumbul vd., 2017). Rizosfer; bitki, toprak ve mikroorganizma arasındaki etkileşimin belirlenmesinde oldukça önemli bir alandır. Rizosfer mikroorganizmalarının, organik asitlerin, amino asitlerin, karbonhidratların ve ikincil metabolizma ürünlerinin salınımına katkıda bulunduğu (Chen vd., 2022), organik maddenin parçalanması ve dönüşümünden ve buna eşlik eden besin maddelerinin salınımından bitki hormonunun oluşumundan, bitkinin mineral beslenmesinin iyileştirilmesi ve toprak agregatının oluşumundan sorumlu olduğu bildirilmiştir (Chen vd., 2022). Kolonizasyondan sonra, kökle ilişkili mikrobiyal topluluklar, besin maddelerinin kullanımını ve bulunabilirliğini artırarak, fitohormonları sentezleyerek ve patojenlere karşı direnç göstererek bitki büyümesini ve sağlığını destekleyebilmiştir (Ait-El-Mokhtar vd., 2019). Ekili topraklara besin girdileri, mikrobiyal topluluk yapısını ve aktivitelerini değiştirebilmektedir (Ait-El-Mokhtar vd., 2019; Shukla vd., 2019). Bu nedenle, gübreleme sonunda rizosferin mikrobiyolojik özelliklerinin de incelemesi topraklara verilen biyostimülantların etkinliğinin belirlenmesi açısından önemlidir (Chen vd., 2022; Ait-El-Mokhtar vd., 2019). Kimyasal gübreler tarımda yaygın olarak kullanıldığından, kimyasal gübrenin uzun süreli ve aşırı uygulanması; mikrobiyal çeşitliliği azaltabilmekte sonuçta bitki-mikroorganizma etkileşimini zayıflayabilir, toprağın mikrobiyal işlevini düzensizleştirebilir, bu durum bitkilerin topraktan alacağı besin elementlerini azaltmakta ve toprak sağlığını olumsuz etkileyeceğinden uzun vadede sürdürülebilir toprak verimliliği engellenebilmektedir (Anlı vd., 2020). Bu sorunun çözümü için toprak mikrobiyomunu yönetmek, toprağın mikrobiyal çeşitliliğini korumak, organik gübre veya biyostimülantları ekleyerek toprağı desteklemek önerilmiştir (Rasouli vd., 2023; Shukla vd., 2019).

Arbusküler mikorizal mantarlar ve sıvı deniz yosunu ekstraktları, özellikle toprakların organik besin açısından fakir olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde sürdürülebilir tarımın sağlanması için önemli stratejilerden biri haline gelmiştir (Rady vd., 2018). Mikorizalar, bitkilerle simbiyotik bir ilişki kurabilen mikroorganizmalar olarak adlandırılmıştır (Van Der Heijden vd., 2015). Çeşitli çalışmalar, mikoriza uygulamasının bitki büyümesi ve mineral beslenmesinin iyileştirilmesi, abiyotik ve biyotik streslere karşı tolerans kazanması gibi yararlı etkilerini doğrulamıştır (Meddich vd., 2015; Wicaksono vd., 2018; Ait-El-Mokhtar vd., 2019). Benzer şekilde, sıvı yosun gübresi de bitki büyümesini ve verimini artırma yetenekleriyle değerlendirilmiştir (Abd El-Gawad & Osman, 2014).

Sıvı yosun gübresinin bitki gelişimi üzerindeki etkileri, soya fasulyesi, mısır, çeltik, patlıcan, muz ve kabak gibi yüksek ekonomik değere sahip çok sayıda ürünü içeren denemelerle kanıtlanmıştır (Roshdy, 2014; Rouphael vd., 2017; Ağırağaç ve Zorer Çelebi, 2022). Deniz yosununun içeriğindeki makrobesin ve mikro element besin maddeleri, büyüme hormonları, amino asitler, vitaminler, betainler, sitokininler ve steroller, bitkisel üretimde verimi artırmıştır (De Pascale vd., 2017). Deniz yosunu ekstraktları fizyolojik ve biyokimyasal süreçte değişikliklere neden olarak besin alımının artmasına ve bitkinin daha iyi büyümesine yol açmış, tohumların erken çimlenmesini teşvik etmiş, kök büyümesini iyileştirmiş, yaprak klorofil içeriğini ve bitki verimini artırmış, bitkilerin biyotik ve abiyotik strese karşı direncini arttırmıştır (Anlı vd., 2020; Ağırağaç ve Zorer Çelebi, 2024). Ayrıca deniz yosunu ekstraktları toprağın fiziko-kimyasal ve biyolojik özelliklerini de iyileştirmiştir (Yakhin vd., 2017). Deniz yosunu ekstraktının topraklara eklenmesinin domates, mısır, buğday vb. ürünlerde faydalı olduğu kanıtlanmıştır (Shukla vd., 2019). Mikoriza ve deniz yosunu ekstraktları toprakta ve bitkilerde meydana gelen metabolik süreçleri artırarak besin kazanımını ve translokasyonunu kolaylaştırabilir. Örneğin, mikoriza veya yosun ekstraktlarının topraklara eklenmesi, toprakta bulunan fosfor ve azotun mineral değişimini tetikleyerek bu besin maddelerinin bitkiler tarafından kullanılabilir olmasını sağlamıştır (De Pascale vd., 2017; Lucini vd., 2019; Shukla vd., 2019). Kanada ve Hindistan mercimek ekiminde dünyada ilk sırada yer almakta bunu Avustralya, Amerika ve Türkiye

izlemektedir (Gülaç, 2022). Mercimek, besin değerleri bakımından zengin olmakla birlikte, üretimi yapılan toprakta olumlu etkilerde bulunmalarıyla da önemlidir (Gülaç, 2022). Çalışmamızda topraktan uygulanan sıvı yosun gübresi ve mikorizanın mercimek bitkisinin temel büyüme özellikleri ile rizosfer bölgesinde bazı toprak mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Material and method

Çalışmamızda mercimek bitkisi tohumu materyal olarak kullanılmıştır. Mercimek tohumları, sıvı yosun gübresi ve mikoriza gübresi ticari olarak temin edilmiştir. Sıvı yosun gübresinin organik madde içeriği %12, pH'ı 6, suda çözünür potasyum oksit içeriği %3, Aljinit asit miktarı %0.3, EC; 13.56 dS/m'dir. Ticari olarak temin edilen Mikorizal gübre içerisinde *Glomus mosseae*, *G.intraradices*, *G.clarum*, *G.monosporus*, *G. deserticola*, *G. brasilianum*, *G. aggregatum*, *Gigaspora margarita*, *G.etunicatum*, *G.fasciculatum* bulunmakta, ürün içerisinde spor sayısı 1×10^5 propagül/pkt'tür. Denemede kullanılan toprağın bazı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Toprak örneklerinin analizi GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde yaptırılmıştır. Çalışmada kullanılan toprak 121 °C'de ardışık 3 gün otoklavda steril edilmiş, 2 kg'lık saksılara doldurulmuştur. Çalışma, doğal ışık alan serada gerçekleştirilmiştir. Tohumlar seyreltilmiş soyum hipoklorit ve steril distile su (1:2; v:v) karışımı ile yüzey sterilizasyonu yapıldıktan sonra kurutma kağıtları üzerinde nemleri alınmış ve daha sonra saksılara 10'ar adet ekilmiş (26 Ekim 2022), çimlenme sonunda her saksıda 3 bitki kalacak şekilde seyreltilmiştir. Bitkiler gerektiğinde %75 tarla kapasitesinde tartılarak çeşme suyu ile sulanmıştır. Deney, her biri beş tekrarlı olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Mikorizalı ve mikorizasız yosun gübresinin kontrol (%0), %0.2, %0.4 ve %1'lik dozları saksılara uygulanmıştır. Mikoriza ekimle birlikte tohum yatağına uygulanmıştır. Hasat; ekimden 15 hafta sonra (2 Şubat 2023) yapılmış, besin eksikliği olan bir sistemi korumak ve uygulanan mikorizal suşun enfektivitesini teşvik etmek için topraklara hiçbir kimyasal gübre uygulanmamıştır.

Tablo 1. Denemede kullanılan toprağın bazı özellikleri

Table 1. Some properties of the soil used in the experiment or the trial

Toprak derinliği	pH	EC (dS/m)	Organik madde (%)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	Toprak tekstürü	Yarayışlı fosfor (kg/da)
0-30	8.08	0.95	1.70	19.37	60.02	20.61	Killi	4.88

2.1. Temel bitki gelişme parametreleri

2.1.1. Basic plant growth parameters

Deneme sonunda her bir saksıdaki bitkinin bitki boyu (Elkoca, 1997), kök uzunluğu (Goertz & Coons, 1991), yeşil aksam ve kök kuru ağırlıkları (Elkoca, 1997) belirlenmiştir. Her bir uygulamadan, hasat öncesi alınan yaprak örneklerinde klorofil tayini Küçük vd. (2024)'e göre belirlenerek hesaplanmıştır.

2.2. Kök bölgesi toprakların bazı mikrobiyolojik özellikleri

2.2.1. Some microbiological properties of root zone soils

Hasat zamanı; her bir uygulamanın olduğu saksıdaki bitkilerin köklerine yapışan topraklar alınarak steril torbalara konulmuş, bekletilmeden laboratuvara getirilen topraklarda aşağıda verilen mikrobiyolojik analizleri yapılmıştır.

2.2.1.1. Mikrobiyal toprak solunumu (CO₂ oluşumu)

2.2.1.1.1. Microbial soil respiration (CO₂ formation)

Kök bölgesi topraklarında solunum Isermayer yöntemine göre yapılmıştır. Toprak örneği, BaOH içeren kapaklı şişelere eklenmiş, alkali çözelti içinde tutulan CO₂, HCl çözeltisi ile titre edilerek mg CO₂/100 g toprak olarak hesaplanmıştır (Küçük & Cevheri, 2019).

2.2.2. Beta-glukosidaz enzim aktivitesi

2.2.2. Beta-glucosidase enzyme activity

Her bir uygulamadaki toprağın beta-glukosidaz aktivitesi Küçük & Şinşek (2018)'e göre yapılmıştır. Toprak örneğine; toluen, MUB tamponu (pH 6), p-nitrofenil β -D-glukopiranosid eklenerek 60 dakika boyunca 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Süre sonunda, karışıma 0.5 M CaCl₂ ve 0.1 M THAM solüsyonları eklemiş, karıştırılmış ve 12.000 x g'da 10 dakika santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası elde edilen süpernatant 410 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüştür (Küçük & Şinşek, 2018).

2.2.3. Dehidrogenaz aktivite

2.2.3. Dehydrogenase activity

Her bir uygulamadaki toprak örneklerinin dehidrogenaz aktivitesi Küçük & Cevheri (2019)'e göre yapılmıştır. Toprak örneğinin üzerine %3'lük TTC (2,3,5-trifenil tetrazolium klorür) çözeltisi distile su eklenerek 25 °C'de 24 saat inkübe edilmiştir. Süre sonunda oluşan 1,3,5 trifenil formazon 485 nm dalga boyunda spektrofotometrede okunmuştur. Sonuç mg TPF/g toprak olarak hesaplanmıştır.

2.2.4. Alkalın fosfataz aktivitesi

2.2.4. Alkaline phosphatase activity

Her bir uygulamada toprak örneklerindeki alkalın fosfataz enzim aktivitesi Küçük & Cevheri (2019)'a göre yapılmıştır. Rizosfer toprak örneğine sırası ile toluen, MUB (pH 11), p-nitrofenilfosfat eklenmiş, karıştırılmış ve 37°C'de 1saat inkübe edilmiştir. Süre sonunda örneklere CaCl₂ ve NaOH eklenerek 12.000 g'de 7 dakika santrifüjlenmiştir. Elde edilen süpernatant 410 nm dalga boyunda spektrofotometrede ölçülmüştür (Küçük & Şinşek, 2018).

2.3. İstatistik analiz

2.3. Statistical analysis

Uygulamalar arasındaki farklılıkları belirlemek amacıyla, deneme sonunda elde edilen veriler JMP11 istatistik programında analiz edilmiştir. Elde edilen ortalama değerler arasındaki farklılıklar p<0.05 önem seviyesinde karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

3. Results and discussion

Bu çalışmada kullanılan mikoriza ve yosun gübresi uygulamaları mercimek bitkilerinin bitki boyu, kök uzunluğu üzerinde istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Mikoriza ile %0.2'lik yosun gübresinin birlikte uygulanması bitki boyunu kontrole göre %8.75 oranında artırırken; kök uzunluğu üzerinde Mikoriza ile %0.2'lik yosun gübresinin birlikte kullanılması %21.4 oranında artışa neden olmuştur. Yeşil aksam kuru ağırlıkta kontrolde mikoriza nispeten etkili olurken; yosun dozları arasındaki fark önemsiz olmakla birlikte, mikorizasız %1 yosun dozu nispeten daha etkili (önemli) olmuştur (p<0.05). Mikoriza ve yosun gübresinin %1'lik uygulama dozu yeşil aksam kuru ağırlığını kontrole göre %29 oranında, mikorizasız yosun gübresinin %1'lik dozu yeşil aksam ağırlığını %42.5 oranında artırmıştır. Kök kuru ağırlığında da mikorizalı %1 yosun gübresi; mikorizasız %1'lik yosun gübresine göre nispeten daha etkili bulunmuştur (Tablo 2). Yeşil aksam ağırlığı üzerine mikorizasız yosun gübresinin %1'lik dozu etkili bulunurken (p<0.05), kök kuru ağırlığı üzerine mikorizalı %1'lik yosun gübresi uygulaması etkili bulunmuş (p<0.05) ve kök kuru ağırlığını %177 oranında arttırmıştır (Tablo 1). Mikoriza aşılmasının bitkilerin büyümesini ve biyokütlesini artırdığı ve bu artışın hormonal seviyelerdeki artışa neden olduğu rapor edilmiştir (Sukumar vd., 2013). Büyüme teşvikinin bitkinin hormonal durumunu değiştirdiğine ve böylece besin emilimini önemli ölçüde artırdığına inanılmaktadır (Rouphael & Colla, 2018).

Son yıllarda birçok tarımsal araştırma, gıda güvenliğini sağlayan çevre dostu yönetim stratejilerinin keşfedilmesine odaklanmıştır (Begum vd., 2018; Ait-El-Mokhtar vd., 2019; Hussain vd., 2021). Sürdürülebilir tarımsal üretim sistemlerinin gelişmesiyle birlikte, bitki verimliliğini artırmak, sürdürülebilir bir ekolojik çevreye ulaşmak için besin uyarıcıları veya simbiyotiklerin kullanılması gerekmektedir. Spesifik

fizyolojik ve moleküler etkileri olan uyarıcılar, besin maddelerinin emilimini ve verimliliğini artırmakta ve ürünlerin verimini ve kalitesini yükseltmektedir (Hussain vd., 2021).

Tablo 2. Mikoriza ve yosun gübresinin bazı temel bitki özelliklerine etkileri
Table 2. Effects of mycorrhiza and algae fertilizer on some basic plant characteristics

Mikoriza uygulaması	Yosun gübresi (%)	Yeşil aksam kuru ağı. (g/bitki)	Kök kuru ağı. (g/bitki)	Bitki boyu (cm)	Kök uzunluğu (cm/bitki)	Klorofil a (mg/l)	Klorofil b (mg/l)
Mikorizalı	0	0.87 cde *	0.09 c	37.7 ab	10.7 a	14.2 f	7.4 d
	0.2	0.70 c	0.18 ab	41 a	13 a	16.4 e	11.3 c
	0.4	0.61c	0.15 bc	33.7 b	10.3 a	20.8 b	16.9 b
	1	1.24 ab	0.25 a	35.3 ab	11.7 a	22.3 a	19.2 a
Mikorizasız	0	0.75 bc	0.16 bc	33.7 b	9.7 a	10.8 h	5.7 e
	0.2	0.91 abc	0.15 bc	32.3 b	10.3 a	12 g	7.6 d
	0.4	0.81 bc	0.10 c	31.7 b	10.3 a	16.9 d	8.5 d
	1	1.39 a	0.21 ab	36 ab	11.3 a	18.6 c	10.4 c

* Farklı harfler birbirinden farklı olan değerleri göstermektedir (p < 0.05)

Bu uyarıcıların, özellikle mikrobiyal ve mikrobiyal olmayan uyarıcıların uygulanması, bitkilerin büyümesini ve verimliliğini etkili bir şekilde artırabilir. Biyostimülantların birlikte uygulanmasının etkileri antagonistik veya sinerjik olabilir. Bu etkiler, araştırmacıları işlevsel nitelikleri bakımından belirli performanslara sahip çeşitli biyostimülantlar tasarlamaya ve formüle etmeye teşvik etmiştir (Rouphael & Colla, 2018). Tablo 2’de görüldüğü gibi çalışmamızda da biyostimülant olarak kullanılan mikoriza aşılması ve %0.2’lik yosun gübresinin birlikte uygulanması bitki boyunu diğer uygulamalara göre artırmıştır (p<0.05). Sonuçlarımızla uyumlu olarak, Golubkina vd. (2020) mikoriza kullanımının çörtük bitkisinde büyüme özelliklerini artırdığını rapor etmiştir. Benzer şekilde, Begum vd. (2018) arbusküler mikoriza mantarının simbiyotik bir ilişki yoluyla ve geniş bir hif sistemi oluşturarak bezelye bitkilerinde su ve besin emilimini artırdığını bildirmiştir. Ayrıca, deniz yosunu ekstraktlarının mikro ve makro elementler, vitaminler, amino asitler ile gibberellin ve sitokin gibi bitki hormonları içerdiği yapılan çalışmalarda açıklandığından (Carrasso-Gill vd., 2018; Hussain vd., 2021), çalışmamızda yosun gübresinin biyostimülant olarak uygulanmasıyla mercimeğin büyüme özelliklerinin kontrole göre artmasının; kökler yoluyla besin ve su emilimine, bitki hormonlarının etkisiyle büyümenin teşvik edilmesine bağlanabilir.

Çalışmamızda mikorizalı ve mikorizasız yosun gübresinin %1’lik dozu diğer dozlarla karşılaştırıldığında yeşil aksam ve kök kuru ağırlığı üzerinde önemli (p<0.05) bulunmuştur. Bulgularımızla uyumlu olarak, Alam vd. (2013) yosun gübresinin yapraktan kullanımının çilek, kanola ve çam dahil olmak üzere farklı bitki türlerinin kök ve sürgünlerinin büyümesi üzerinde kayda değer bir etkisi olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, Hussain vd. (2021) domates bitkilerinin kök uzunluğu, gövde ve kök kuru ağırlığı gibi büyüme özelliklerinin yosun kullanımı ile arttığını bildirmiştir. Yaprakların fotosentetik kapasitesi doğrudan bitki verimliliği seviyesini yansıtmaktadır (Shuab vd., 2017). Çalışmamızda mikoriza uygulaması bitkinin klorofil içeriğini artırmıştır (Tablo 2). Bu artış, mikorizal hifler tarafından daha iyi su emilimi ve/veya besin maddelerinin daha iyi alınımından kaynaklanıyor olabilir (Ait-El-Mokhtar vd., 2019). Uygulama dozları karşılaştırıldığında; yosun gübresinin %1’lik dozu klorofil içeriği üzerinde etkili bulunmuştur. Mikoriza ve %1’lik yosun gübresinin birlikte kullanımı klorofil içeriğini diğer uygulamalara göre arttırmıştır. Yosun gübresinin kullanımı, bitkilerde klorofil içeriğini ve işlevini artırmak için gerekli elementlerden biri olan bitki

dokusundaki Fe içeriğini artırmaktadır (Carrasco-Gil vd., 2018). Yapılan çalışmalarda; mikoriza ve sıvı deniz yosunu ekstraktlarının birlikte uygulanmasının stoma iletkenliğinin yanı sıra klorofil floresansını iyileştirebileceğini ve bunun da bitki büyümesini etkileyecek fotosentetik aktiviteyi ve CO₂ asimilasyonunu artırabileceğini göstermiştir (Carrasco-Gil vd., 2018). Bu artış, hücrelerin karbon bağlama yeteneğini geliştirerek fotosentetik pigment seviyelerini artırarak fotosentetik aktiviteyi geliştirebilen fitohormonların zengin deniz yosunu ekstraktlarının bileşiminden kaynaklandığı açıklanmıştır (Rouphael vd., 2018; Yakhin vd., 2017). Bu sonuçlar bizim bulgularımızı da desteklemektedir. *Ecklonia maxima* ekstraktlarının uygulanması, klorofil içeriğini ve transpirasyon oranını artırarak kabak (*Cucurbita pepo* L.) fizyolojisini iyileştirmiştir (Rouphael vd., 2017). Klorofil floresansının yoğunluğu, uyarılmış klorofil moleküllerinin konsantrasyonuyla doğrudan ilişkili bulunmuştur (Oyetunji vd., 2007). Deniz yosunu ekstraktları, polisakaritler, yağ asitleri, vitaminler, mineral elementler (fosfor vb.), fitohormonlar (indol asetik asit, sitokinin, gibberellik asit ve poliaminler) içerdiğinden bitki büyümesini önemli ölçüde arttırmıştır (Khan vd., 2009; Zhao, 2018). Kullanılan yosun gübresinin içerdiği metabolitler, mercimeğin fotosentetik özelliklerinin ve mineral beslenmesinin artırılmasında ve antioksidan sistemin uyarılmasında önemli bir rol oynayabilir. Ayrıca, mercimeğin gelişmesindeki artış; hormonal mekanizmalara deniz yosunu ve mikorizada bulunan mineral elementlerin doğrudan veya mikoriza miselleri aracılığıyla topraktan bitkiye dolaylı olarak emilmesine bağlı olabilir. Bu sonuçlar, mercimek bitkilerinin deniz yosunu ve mikorizanın birlikte uygulanmasına göre, mikoriza veya deniz yosununun tek başına uygulanması daha fazla fayda sağladığını göstermektedir.

Toprak enzimleri besin döngüsü ile ilişkilidir, faaliyetleri toprak verimliliğinin korunması için gereklidir (Gianfreda vd., 2005). Üreaz ve fosfataz enzim aktivitelerinin sırasıyla azot ve fosfor mineralizasyonunda önemli rol oynarken, invertaz ve proteinaz karbon döngüsünde yer almaktadır (Gianfreda vd., 2005). Tüm bu enzimler, toprak verimliliğine önemli katkılarda bulunur ve aktiviteleri toprağın biyokimyasal işleyişinin göstergesi kabul edilmiştir (Acosta-Martinez vd., 2007). Gianfreda vd. (2005), sürekli mısır tarımı yapılan toprakların düşük organik madde içeriği ve düşük dehidrogenaz, invertaz, arilsülfataz ve β -glukosidaz aktiviteleri gösterdiğini bildirmiştir. Çalışmamızda, mikoriza uygulaması toprakların enzim aktivitelerini arttırmıştır. Yosun gübresinin farklı dozlarının enzim aktiviteleri üzerinde önemli olduğu ($p < 0.05$) belirlenmiştir. Mikoriza ve yosun gübresinin birlikte uygulanması aktiviteler üzerinde farklılık göstermiştir. Kontrolle karşılaştırıldığında dehidrogenaz ve toprak solunumu üzerine; mikoriza ve %1'lik yosun gübresinin birlikte uygulanması sırasıyla %304 ve % 63.9 oranında artış göstermiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Uygulamaların rizosferdeki bazı biyolojik özelliklere etkileri

Table 3. Effects of applications on some biological properties in the rhizosphere

Mikoriza uygulaması	Yosun gübresi %	Mikrobiyal toprak solunumu (mg CO ₂ /100 g toprak)	β -glukosidaz aktivitesi (mg p-nitrofenol /100 g toprak)	Dehidrogenaz aktivitesi (mg TPF/g toprak)	Alkalin fosfataz enzimi aktivitesi (μ gPNP/ toprak)
Mikorizalı	0	26.1±0.3 d*	11.2±0.03 g	2.4±0.01 g	9.6±0.02 d
	0.2	31.7±0.3 c	23.9±0.02 e	4.7±0.04 e	10.1±0.02 c
	0.4	34.9±0.4 b	24.8±0.08 c	6.2±0.01 b	10.5±0.03 b
	1	42.8±0.4 a	35.7±0.2 a	9.7±0.01 a	12.1±0.04 a
Mikorizasız	0	18.6±0.2 f	9.1±0.03 h	1.8±0.03 h	6.7 ±0.03h
	0.2	18.9±0.8 f	22.7±0.02 f	4.3±0.03 f	7.2±0.2 g
	0.4	22.9±0.1 e	24.2±0.02 d	4.9±0.03 d	7.8±0.03 f
	1	26.7±0.3 d	25.1±0.03 b	5.1±0.03 c	8.1±0.04 f

*Farklı harfler birbirinden farklı olan değerleri göstermektedir ($p < 0.05$)

Alkalın fosfataz ve β -glukosidaz aktivitelerini mikoriza ve %1'lik yosun gübresi uygulaması kontrole göre sırasıyla; % 26.04 ve % 218.8 oranında arttırmıştır (Tablo 3). En düşük değerler hiçbir uygulamanın yapılmadığı kontrolden alınmıştır. Bu sonuçlar, uygulamaların topraktaki enzim aktivitelerini uyardığını ve sonuçta toprak enzim aktivitelerini farklı olarak etkilediğini göstermiştir. Bu sonuçlara dayanarak, mikoriza ve yosun gübresinin toprağa uygulanmasının toprak mineralizasyonunu artırdığını ve mevcut besin maddelerinin konsantrasyonunu yükselteceğini tahmin ediyoruz. Mikorizal mantarlar gibi mikrobiyal topluluklarda; deniz yosunu ekstraktlarının farklı konsantrasyonları içerdikleri düşük ve yüksek molekül ağırlıklı organik bileşikler aracılığıyla rizosfer ve kök sistemi yapısı, makro besin ve mikro besin elementlerinin emilimini etkin bir şekilde artırabilir (Gonzales-Gonzales vd., 2020). Deniz yosunu ekstraktlarının içerdiği bileşikler, topraktaki mikoriza başta olmak üzere faydalı fungusların büyümesini teşvik edebilmekte, kök gelişmesini ve hifsel büyümeyi önemli ölçüde artırabilmiştir (Golubkina vd., 2020). Çalışmamızda da mikoriza aşılması sonunda farklı yosun gübresi dozlarının kontrole karşılaştırıldığında kök gelişiminin, kök kuru ağırlığının ve rizosfer enzim aktivitelerinin artması araştırmacıların bulguları ile desteklenmektedir. Çalışmamızda, sıvı deniz yosunu ve mikorizanın özellikle kombine bir uygulama olarak uygulanması, toprakların enzim aktivitelerini, kök uzunluğu, bitki boyu, yeşil aksam ve kök ağırlığını kontrole göre artırmıştır. Yosun gübresinin topraktan uygulamaları ve mikorizanın tek başına veya kombinasyon halinde uygulanması mercimek bitkilerinin gelişimi için umut verici araçlar olduğunu kanıtlamaktadır.

4.Sonuç

4. Conclusion

Mikoriza ve yosun gübresinin birlikte uygulanması, mercimek gelişimini artırmak için sürdürülebilir ve uygulanabilir bir biyo-gübreleme yaklaşımı olarak katkıda bulunabilir. Bu biyostimülantlar, tek başlarına veya birlikte uygulandıklarında besin eksikliği olan sistemlerde bitkisel üretimi iyileştirme potansiyeline sahiptir. Yosun gübresinin (%1'lik) ve mikorizanın birlikte toprağa uygulanması mercimek bitkisinin rizosfer bölgesindeki mikrobiyal solunumu, alkalın fosfataz, dehidrogenaz ve β -glukosidaz aktivitelerini mikorizasız uygulamalara göre önemli ölçüde artırmıştır. Ayrıca yosun gübresinin %1'lik dozu ve mikorizanın birlikte uygulanması, mercimek bitkilerinin kök kuru ağırlığını, klorofil içeriğini iyileştirmiştir. Bitki boyu ve kök uzunluğu üzerinde mikoriza ve %0.2'lik yosun gübresi diğer uygulamalarla karşılaştırıldığında daha fazla etkili olmuştur. Bu nedenle, deniz yosunu ve mikoriza uygulaması, mercimek bitkisi gelişimi ve rizosfer toprağının mikrobiyal aktivitesini iyileştirmek için umut verici bir araç olarak önerilebilir. Mikoriza ve deniz yosununun birlikte kullanımı güvenilir bir biyogübreleme metodolojisi olarak düşünülebilir. Sonuç olarak, bu biyogübrelerin birlikte uygulanması, sadece kimyasal gübrelerin girdisini ve ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda mercimek bitkilerinin temel gelişme özelliklerini de iyileştireceğini göstermektedir. Bu bakımdan, mercimek verimini artırmak için çiftçilere biyolojik gübreler önerilmelidir. Biyolojik gübrelerin doğal koşullarda da etkinliklerinin belirlenmesi ile ilgili daha fazla çalışmaya gereksinim vardır. Tarımda hem mikrobiyal hem de mikrobiyal olmayan biyostimülant ürünlerin uygulanması sürdürülebilirlik çabalarını önemli ölçüde destekleyebilir.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu araştırmanın yapılmasında maddi destek sağlayan Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine (HÜBAP-21257) teşekkürlerimizi sunarız.

Yazar katkısı

Author contribution

Birinci yazar araştırma konusunun seçiminde, araştırma kurgusunun oluşturulmasında, analizlerin yapımında ve makalenin son yazım aşamalarında, ikinci yazar deneyin kurulumu, analizlerin yapılmasında, literatür araştırması aşamalarında katkı sunmuştur.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Çalışma, etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar*References*

- Abd El-Gawad, H.G., & Osman, H.S. (2014). Effect of exogenous application of boric acid and seaweed extract on growth, biochemical content and yield of eggplant. *Journal Horticultural Science & Ornamental Plants*, 6, 133-143. <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2014.6.3.1147>
- Acosta-Martinez, V., Cruz, L., Sotomayor-Ramirez, D., & Pérez-Alegría, L. (2007). Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. *Applied Soil Ecology*, 35, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.05.012>.
- Ağırağaç, Z., & Zorer Çelebi, Ş. (2024). Combined applications and Multi-Faceted evaluations of humic acid, seaweed, and vermicompost with chemical and organo-mineral fertilizers on corn, part I: chlorophyll concentration. *Journal of Plant Nutrition*, 1-12.
- Ağırağaç, Z., Çelebi, Ş. Z. (2022). Karasal İklimde Yetiştirilen İkinci Ürün Mısırın Silaj Verimi Üzerine Deniz Yosunu Uygulamasının Etkisi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 6(1), 7-19.
- Al-Karaki, G. (2013). Application of mycorrhizae in sustainable date palm cultivation. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25, 854. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i11.16499>.
- Alam, M.Z., Braun, G., Norrie, J., & Hodges, D.M. (2013). Effect of *Ascophyllum* extract application on plant growth, fruit yield and soil microbial communities of strawberry. *Canadian Journal Plant Science*, 93, 23-36. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-260>.
- Ait-El-Mokhtar, M., Ben-Laouane, R., Anli, M., Boutasknit, A., & Wahbi, S., Meddich, A. (2019). Use of mycorrhizal fungi in improving tolerance of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seedlings to salt stress. *Scientia Horticulturae*, 253, 429-438. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00131>.
- Anlı, M., El Kaouana, M., Ait-El-Mokhtar, M., Boutasknit, A., Ben-Laouane, R., Toubali, S., Baslam, M., Lyamlouli, K., Hafidi, M., & Meddich, A. (2020). Seaweed extract application and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation: a tool for promoting growth and development of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv Boufgous. *South African Journal Botany*, 132, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.04.004>.
- Baligar, V.C., Fageria, N.K., & He, Z.L. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32, 921-950. <https://doi.org/10.1081/CSS-100104098>.
- Begum, M., Bordoloi, B.C., Singha, D.D., & Ojha, N.J. (2018). Role of seaweed extract on growth, yield and quality of some agricultural crops: A review. *Agriculture Review*, 39, 321-326. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1838>.
- Carrasco-Gil, S., Hernandez-Apaolaza, L., & Lucena, J. J. (2018). Effect of several commercial seaweed extracts in the mitigation of iron chlorosis of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Growth Regulation*, 86, 401-411. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030507>.
- Chen, C.L., Song, W.L., Sun, L., Qin, S., Ren, C.G., Yang, J.C., Feng, D.W., Liu, N., Yan, J., & Cui, B.B. (2022). Effect of Seaweed Extract Supplement on Rice Rhizosphere Bacterial Community in Tillering and Heading Stages. *Agronomy* 12, 342. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020342>
- Cordell, D., Drangert, J.O., & White, S. (2009). The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Environ. Change*, 19, 292-305. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>.
- De Pascale, S., Roupheal, Y., & Colla, G. (2017). Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *European Journal of Horticultural Science*, 82, 277-285. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.6.2>.
- Elkoca, E. (1997). *Fasulye (Phaseolus vulgaris L)'de tuza dayanıklılık üzerine bir araştırma* [Yüksek Lisans Tezi Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

- Gianfreda, L., Rao, M.A., Piotrowska, A., Palumbo, G., & Colombo, C. (2005). Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *Science of the Total Environment*, 341, 265-279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.10.005>.
- Goertz, S.H., & Coons, J.M. (1991). Tolerance of tepary and navy beans to NaCl during germination and emergence. *Horticulturae Science*, 26(3), 246-249. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.3.246>.
- Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., Shevchuk, O., Sekara, A., Tallarita, A., & Carusa, G. (2020). Yield, essential oil and quality performances of *Artemisia dracunculus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. *Plants*, 9, 375. <https://doi.org/10.3390/plants9030375>.
- Gonzalez-Gonzalez, H.F., Ocampo-Alvarez, H., Santacruz-Ruvalcaba, F., Sanchez-Hernandez, C.V., Casarrubias-Castillo, K., Beceril-Espinosa, A., Castaneda-Nava, J.J., & Hernandez-Herrera, R.M. (2020). Physiological, Ecological, and Biochemical Implications in Tomato Plants of Two Plant Biostimulants: Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Seaweed Extract. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00999>.
- Gülaç, Z.N. (2022). Ürün Raporu Mercimek 2022. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, p.32. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/teppe/Belgeler/PDF%20C3%9Cr%C3%BCn%20Raporlar%C4%B1/2022%20C3%9Cr%C3%BCn%20Raporlar%C4%B1/Mercimek%20C3%9Cr%C3%BCn%20Raporu-TEPGE-358.pdf>.
- Hussain, H. I., Kasinadhuni, N. & Arioli, T. (2021). The effect of seaweed extract on tomato plant growth, productivity and soil. *Journal Applied Phycology*, 33,1305–1314. <https://doi.org/10.1007/s10811-021-02387-2>.
- Khan, U.P., Rayirath, S., Subramanian, M.N., Jithesh, P., Rayorath, D.M., Hodges, A.T., Critchley, J., CraigiJ., Norrie, B., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth Regulation*, 28, 386-399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>.
- Küçük, Ç., Uslu, P., & Sezen, G. (2024). *Cladophora* sp. ve Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF) Spor Aşılmasının Mısır Bitkisinin (*Zea mays* L.) Gelişim Parametreleri ve Bazı Rizosfer Toprak Enzimlerine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 28(2), 189-1965. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1473028>.
- Küçük, Ç., & Şinşek, N. (2020). The effects of different agricultural wastes on some microbiological properties of soil. *Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences* 15, 451-460. <https://ejons.org/index.php/ejons/article/view/129>.
- Küçük, Ç., & Cevheri, C. (2019). Investigation of some soil microbiological properties of rhizosphere soil of halophytic forage plants. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 37(1), 7-14. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2031899>.
- Lucini, L., Colla, G., Morebo, M. B. M., Bernardo, L., Cardarelli, M., & Terzi, V. (2019). Inoculation of *Rhizoglossum irregulare* or *Trichoderma atroviride* differentially modulates metabolite profiling of wheat root exudates. *Phytochemistry*, 157, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.10.033>.
- Meddich, A., Jaiti, F., Bourzik, W., El Asli, A., & Hafidi, M. (2015). Use of mycorrhizal fungi as a strategy for improving the drought tolerance in date palm (*Phoenix dactylifera*). *Scientia Horticulturae*, 192, 468-474. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.06.024>.
- Oyetunji, O.J., Ekanayake, I.J., & Osonubi, O. (2007). Chlorophyll fluorescence analysis for assessing water deficit and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Advanced Research*, 1, 108-117.
- Rady, M.M., Taha, S.S., & Kusvuran, S. (2018). Integrative application of cyanobacteria and antioxidants improves common bean performance under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 233, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.047>.
- Rasouli, F., Nasiri, Y., Hassanpouraghdam, M.B., Asadi, M., Qaderi, T., Trifa, A., Strzemeski, M., Dresler, S., & Szczepanek, M. (2023). Seaweed extract and arbuscular mycorrhiza co-application affect the growth responses and essential oil composition of *Foeniculum vulgare* L.. *Scientific Reports* 13, 11902. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39194-3>

- Rivera-Becerril, F., Van-Tunien, O., Rivera-Becerril, F., Van-Tuinen, O., Chataignier, N., Rouard, J., Béguet, C., Kuszala, G., Soulas, V., Gianinazzi-Pearson, F. & Martin Laurent, F. (2017). Impact of a pesticide cocktail (fenhexamid, folpel, deltamethrin) on the abundance of Glomeromycota in two agricultural soils. *Science of the Total Environment*, 577, 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.098>.
- Roshdy, K.A. 2014. Effect of spraying silicon and seaweed extract on growth and fruiting of grandnaine banana. *The Egyptian Journal of Agricultural Research*, 92, 979-991. <https://doi.org/10.21608/ejar.2014.156427>.
- Rouphael, Y., De Micco, V., Arena, C., Raimondi, G., Colla, G., De Pascale, S. (2017). Effect of *Ecklonia maxima* seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange, and leaf anatomy of zucchini squash grown under saline conditions. *Journal of Applied Phycology*, 29, 459-470. <https://doi.org/10.3390/agronomy13112745>.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1655. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655>.
- Shuab, R., Lone, R., & Koul, K.K. (2017). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on storage metabolites, mineral nutrition, and nitrogen-assimilating enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) plant. *Journal of Plant Nutrition*, 40, 1386-1396. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1263317>.
- Subhashini, D.V. (2016). Effect of NPK fertilizers and co-inoculation with phosphate-solubilizing arbuscular mycorrhizal fungus and potassium-mobilizing bacteria on growth, yield, nutrient acquisition, and quality of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47, 328-337. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1123724>.
- Shukla, P.S., Mantin, E.G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A.T., & Prithiviraj, B. (2019). *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in Plant Science*, 10, 655. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>.
- Sumbul, A., Mahmood, I., Rizvi, R., & Ansari, R.A. (2017). *Mycorrhiza: an alliance for the nutrient management in plants*. In V. Kumar, M. Kumar, S. Sharma, & R. Prasad (Eds.), *Probiotics in Agroecosystem*, (ss. 1-537). Springer, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-4059-7_19.
- Sukumar, P., Legue, V., Vayssieres, A., Martin, F., Tuskan, G.A., & Kalluri, U.C. (2013). Involvement of auxin pathways in modulating root architecture during beneficial plant–microorganism interactions. *Plant Cell Environment*, 36, 909–919. <https://doi.org/10.1111/pce.12036>.
- Van Der Heijden, M.G.A., Martin, F.M., Selosse, M.A., & Sanders, I.R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist*, 205, 1406-1423. <https://doi.org/10.1111/nph.13288>.
- Wicaksono, W.A., Sansom, C.E., Jones, E., Perry, N.B., Monk, J., Ridgway, H.J. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Leptospermum scoparium* (mānuka): effects on plant growth and essential oil content. *Symbiosis*, 75, 39-50. <https://doi.org/10.1007/s13199-017-0506-3>.
- Yakhin, O.I., Lubyaynov, A.A., Yakhin, I.A., & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective *Frontiers Plant Science*, 7, 1-32. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>.
- Zhao, Y. (2018). Essential roles of local auxin biosynthesis in plant development and in adaptation to environmental changes. *The Annual Review of Plant Biology*, 69, 417-435. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040226>.