



**Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa  
Bilimleri Dergisi**  
Usak University Journal of Science and Natural Sciences

http://dergipark.gov.tr/usufedbid  
<https://doi.org/10.47137/usufedbid.979710>



Derleme Makalesi

**Biyolojik Mücadelede *Trichoderma*'lar ve Biyolojik Kontrol  
Mekanizmaları**

Deniz BULUT, Havva DİNLER\*

\*Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye

Geliş: 6 Ağustos 2021

Kabul: 13 Ekim 2021 / Received: 6 August 2021

Accepted: 13 October 2021

**Abstract**

Pesticides have been widely preferred in chemical control for many years in the management against plant diseases in agricultural production. Intensive and uncontrolled use of pesticides, deterioration of the natural balance, negative effects on the environment and human health, as well as residue problems of chemicals cause serious problems in marketing. Due to the prohibition of most chemical fungicides by the European Union, it has brought along the search for new methods in the control of plant diseases as a sustainable alternative. The first method that comes to mind in the management against plant diseases, which can be sustainable, environmentally friendly and effective for a long time, is biological control. In recent years, many studies have been conducted on biological agents. *Trichoderma* species from these biocontrol factors are used as biocontrol agents in the control of plant pathogenic fungi. At the present time, commercial products of *Trichoderma* are used as biopesticide, soil conditioner and plant growth regulator. In this review, the importance of *Trichoderma* in biological control, the mechanisms of action of *Trichoderma* species and their use in biotic and abiotic stress conditions were examined.

**Keywords:** Biological control, plant pathogens, antagonist microorganism, *Trichoderma* spp..

**Özet**

Tarımsal üretimde bitki hastalıklarıyla mücadelede pestisitler uzun yıllardan bu yana kimyasal mücadelede yaygın olarak tercih edilmektedir. Pestisitlerin yoğun ve kontrolsüz bir şekilde kullanımı doğal dengenin bozulması, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri ayrıca kimyasalların kalıntı sorunları da pazarlamada ciddi sıkıntılara sebep olmaktadır. Çoğu kimyasal fungisitlerin Avrupa Birliği tarafından yasaklanması nedeniyle sürdürülebilir bir alternatif olarak bitki hastalıklarının mücadelesinde yeni yöntem arayışlarını beraberinde getirmiştir. Bitki hastalıklarıyla mücadelede sürdürülebilir, çevre dostu ve uzun süre etkili olabilecek ilk akla gelen yöntem biyolojik mücadele olmaktadır. Son yıllarda biyolojik ajanlara yönelik yapılan çalışmalar hız kazanmaktadır. Bu biyokontrol etmenlerinden *Trichoderma*'lar bitki patojeni fungusların mücadelesinde uzun süredir çok yönlü biyokontrol ajanı olarak yer almakta ve günümüzde *Trichoderma*'ların ticari ürünleri; biyopestisit, toprak düzenleyici ve bitki gelişim düzenleyici olarak da kullanılmaktadır. Bu derlemede biyolojik mücadelede *Trichoderma*'nın önemi, *Trichoderma* türlerinin etki mekanizmaları ile biyotik ve abiyotik stres koşullarında kullanımları konusunda yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyolojik mücadele, bitki hastalıkları, antagonist mikroorganizmalar, *Trichoderma* spp.,

©2021 Usak University all rights reserved.

\*Corresponding author:

E-mail: [havva.dinler@usak.edu.tr](mailto:havva.dinler@usak.edu.tr) (ORCID ID: 0000-0002-7011-5183)

©2021 Usak University all rights reserved.

## 1. Giriş

Tarımsal üretim, dünya genelinde insanların geçim kaynağı olmasının yanı sıra insan ve hayvan beslenmesinde ve endüstri alanlarında ana hammadde kaynağı olarak yer almaktadır. İklim değişikliklerinden ve yeni ortaya çıkan hastalık ve zararlı türlerinden dolayı, 2050 yılına kadar dünya genelinde yaklaşık 9,8 milyar insanın besin ihtiyacını karşılamak için tarımsal ürünlerin veriminin % 70 oranında artırılması gerekmektedir [1]. Çeşitli ülkelerde yetiştiriciliği yapılan kültür bitkilerinde bitki patojeni fungus, bakteri, virüs, nematodlar, böcekler, yabancı otların neden olduğu biyotik faktörlerden dolayı % 31-42 oranında verim kayıpları belirtilirken, bununla birlikte ekstrem hava koşulları, tuzluluk, alkalilik, asitlik, toprak kirleticiler, kuraklık, sel vb. abiyotik faktörler de toprak sağlığının bozulmasına neden olmaktadır. Tarımsal üretimin iyileştirilmesi ve artırılmasının başlıca yollarından biri de bu stres kaynaklı kayıpların azaltılmasıdır.

Tarımsal üretimde bitki hastalıklarıyla mücadelede kimyasal mücadele uzun yıllardır yaygın olarak tercih edilen yöntemlerdendir. Pestisitlerin yoğun ve kontrolsüz bir şekilde kullanımını doğal dengenin bozulması, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri ve ayrıca kimyasal fungusitlerin çoğunun Avrupa Birliği tarafından yasaklanması nedeniyle bitki hastalıklarının mücadelesinde sürdürülebilir, alternatif yeni yöntem arayışlarını da beraberinde getirmiştir [2]. Dolayısıyla tüm bu olumsuz etkileri nedeniyle son yıllarda hastalıklarla mücadelede kimyasalların kullanımını azaltmak amacıyla yeni alternatif yöntemler oldukça gerekli hale gelmiştir. Günümüzde dikimden önce toprağa uygulanan kimyasallar, uygun uygulama yöntemleriyle birlikte etkili araçlar ile kullanılırsa topraktaki inokulum miktarının önemli ölçüde azaltılabileceği bildirilmiştir [2].

Bitki dikimi yapılmadan önce buhar uygulaması, solarizasyon ve anaerobik toprak dezenfeksiyonu gibi kimyasal olmayan uygulamalar, toprakta inokulum miktarının azalmasına neden olmakta, ancak kullanılan bu yöntemlerin etkileri sınırlı kalmaktadır [3, 4]. Bu amaçla bitki hastalıklarıyla mücadele sürdürülebilir, çevre dostu ve uzun süre etkili olabilecek ilk akla gelen yöntemlerden biri biyolojik mücadeledir. Biyolojik mücadele bitki hastalıklarıyla savaşmada bu gereksinimleri karşılayan ve tarımda yaygın olarak kullanılan bir alternatif mücadele yöntemi olarak görülmektedir [5,6-7].

Son yıllarda biyolojik ajanlara yönelik çalışmalar hız kazanmakta ve yöntemin tercih edilmesinde ki öncelik pestisit kullanımının azaltılarak veya daha az miktarlarda kullanılmalarının sağlanmasıdır [8,9]. Günümüzde biyolojik kontrol etmenlerinden *Aspergillus*, *Gliocladium*, *Trichoderma*, *Ampelomyces*, *Candida*, *Coniothyrium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* ve *Agrobacterium* genusları bitki hastalıklarıyla biyolojik mücadelede yaygın olarak kullanılmaktadır [10,11,12,13, 14,3-4].

Bu biyokontrol etmenlerinden *Trichoderma*'lar bitki patojeni fungusların mücadelesinde uzun süredir çok yönlü biyokontrol ajanı olarak yer almıştır. *Trichoderma* türlerinin izole edilmesi oldukça kolay olup, fungus organik maddeler üzerinde hızla büyümekte ve çeşitli bitkilerin köklerinden, çürümüş kabuk dokularından, sklerotlardan veya fungusların diğer üreme organlarının üzerinden izole edilebilmektedir [10-15]. *Trichoderma* türlerinin bitki hastalıkları ile mücadelede uzun süredir kullanılan çok yönlü etkili biyokontrol etmenleri olduğu çok sayıda çalışmada belirtilmiş [16] ve günümüzde *Trichoderma*'ların ticari ürünleri, biyopestisitler, toprak düzenleyicileri ve bitki gelişim düzenleyicileri olarak kullanılmaktadır [10,17,18-19]. Son yıllarda toprak kaynaklı patojenlerle mücadelede etkili, ekonomik ve ticari olarak üretimi yapılan biyokontrol ürünleri arayışı ortaya çıkmıştır. Bitki hastalıklarıyla mücadelede günümüzde bazı biyolojik kontrol ajanları, hali hazırda preparat haline getirilerek tarla koşullarında

kullanılmaları amacıyla ticari olarak formülasyon haline getirilmektedir [20]. Bu antagonistlerin mikoparazitizm, yer-besin için rekabet, antibiyotik ve sekonder metabolit üretimi, bitki savunmasını uyarma şeklinde farklı etki mekanizmaları mevcut olup [21,22,8-9] bitki gelişimi ve ürün verimini de arttırmaktadırlar [23].

Bitki patojenleri kullanılan kimyasal pestisitlerden dolayı direnç kazanmakta ve patojenler fungusitlere dirençli hale gelmektedirler. Bu nedenle çoğu zaman bitki hastalıkları ile mücadele etmek, kontrol altına almak oldukça güç olmaktadır. Kimyasal pestisitlerin uygunsuz kullanımından dolayı, üretim maliyetlerinin artması ve gelirin azalması nedeniyle üreticiler, biyokontrol etmenlerinin önemli etkilerinden dolayı, ekonomik, çevre dostu, biyotik ve abiyotik stres koşullarını yöneten, sürdürülebilir, etkili entegre mücadele arayışındadırlar [24]. Günümüzde, *Trichoderma* spp., sürdürülebilir hastalık mücadele (yönetim) programlarında bitki hastalıklarını kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır.Etkili ve verimli şekilde kullanılması için ajanların etki mekanizmalarının nasıl işlediği ve bu mekanizmaların etkisini azaltan ve sınırlandıran faktörlerin neler olduğunun bilinmesi gerekmektedir. Böylelikle, biyokontrol ajanlarının uygulanması ve kullanımı konusunda etkili yöntemler geliştirilebilir. Bu derlemede biyolojik mücadelede *Trichoderma*'nın önemi, *Trichoderma* türlerinin etki mekanizmaları ile biyotik ve abiyotik stres koşullarında kullanımları konusunda yapılan çalışmalar incelenmiştir.

## 2. *Trichoderma* spp. ile İlgili Genel Bilgiler

*Trichoderma*'lar, ilk olarak Almanya'da 1794 yılında Persoon tarafından teşhis edilmiş ve daha sonra birçok araştırmacı tarafından *Trichoderma* türleri üzerinde yoğun çalışmalar yapılmıştır. Weindling [25], *Trichoderma lingnorum*'un (*viride*), toprak kökenli fungal patojen olan *Rhizoctonia solani*'ye ve daha sonraları aynı *Trichoderma* türünün *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizopus* ve *Sclerotium rolfsii*'ye mikoparazitik etki gösterdiği bulunmuştur [26]. *Trichoderma* türlerinin mikoparazit özellikleri ve üretmiş oldukları antibiyotikler ile ilk olarak 1934'lü yıllarda antifungal etkilerinin belirlenmesi [27] konunun önemi iyice artmış ve günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. *Trichoderma*'ların bitki hastalıklarıyla mücadelede özellikle de toprak kaynaklı patojenlere karşı etkilerinin yanında aynı zamanda toprakta bitki kalıntılarını ayrıştırmak, rizosfer kolonizasyonunu, bitkiler tarafından makro ve mikro besin elementlerinin alınımını artırarak bitki büyümesini, kök gelişimini teşvik etmek ve bitki savunma mekanizmalarını arttırmak gibi çeşitli özellikleri de bulunmaktadır [19,18-24].

*Trichoderma* türleri dünya genelinde geniş bir yayılım gösteren hemen hemen her türlü toprakta, çürümüş bitki parçalarında ve diğer substratlarda yoğun olarak bulunabilen, anaerobik, fakültatif ve kozmopolit funguslardır [28,29]. *Trichodermalar* (teleomorph: Hypocrea); funguslar alemi, Ascomycota şubesi; Pezizomycotina alt şubesi; Euascomycetes veya Sordariomycetes sınıfı; Hypocreales takımı; Hypocreaceae familyasında yer almakta ve 200'den fazla türü kapsamaktadır [24]. *Trichoderma* türleri biyotik ve abiyotik stres yönetimi, bitki büyümesini teşvik edici enzimler ve antibiyotik üretimi/endüstriyel kullanımlar, moleküler biyoloji, transgenik ürünler ve ticari biyofungusitler vb. gibi alanlarda kapsamlı bir şekilde çalışılmakta ve kullanılmaktadır. Organik maddenin polisakaritlerinin ayrışmasında önemli bir rol oynarlar ve bitki kök ekosistemlerinin rizosferinde ve kök yüzeyinde bulunabilirler [30,31]. *T. harzianum*, *T. viride*, *T. virens*, *T. asperellum* vb. 200'den fazla *Trichoderma* türü dünyanın her yerinde farklı ekosistemlerde rapor edilmiştir [32,33-34]. Kozmopolitler, tarım topraklarında, çöl topraklarında, meralarda, bataklık arazilerde, göllerde, çeşitli ekosistemlerde tuzlu

topraklarda her yerde bulunabilirler [18]. Ancak *T. agresivum*, *T. pleurotophilum* ve *T. fulvidum*; *Agaricus bisporus* (kültür mantarı) ve *Pleurotus ostreatus* (kavak mantarı)'da yeşil küf hastalığına neden olmaktadır. Bu *Trichoderma* türleri, yer ve besin maddesi için etkin bir şekilde rekabet ederek, hücre dışı enzimler, toksik sekonder metabolitler, uçucu organik bileşikler üreterek mantarın büyümesini engeller ve ürünlerde önemli verim kayıplarına neden olabilirler [35,36-37]. Bu nedenle, *P. ostreatus*'da (kavak mantarı) yeşil küfe neden olan *T. pleurotum* ve *T. pleurotica*'nın hızlı bir şekilde tanımlanmasında, patojenlerin PCR analizi ile teşhis yöntemleri geliştirilmiştir [38]. Benzer şekilde, *T. longibrachiatum*'un bağışıklığı düşük insanlarda ortaya çıkan fungal patojen olduğu rapor edilmiştir [22,39]. Endofit olarak yaşayan *Trichoderma* türleri yaprak, kök, odun parçaları, tek yıllık ve odunsu bitkilerin birçok dokusunda tespit edilmiş fungal patojenleri baskı altına alarak konukçuya birçok avantaj sağlamaktadır [40,41,42-43]. Bitki konukçusu için oldukça faydalı biyoaktif sekonder metabolitleri salgırlarlar. *Gen* aktivasyonu modelini değiştirerek mikrobiyal etkileşimleri ve bitki fizyolojisini etkilerler [44]. Azotlu gübrelerin daha yüksek alınmasını sağlayan fitohormonların üretimine yardımcı olur, otçulları ve patojenleri engelleyen biyoaktif ikincil toksik metabolitlerin üretimi, hastalıklara karşı direnci artırır ve bitkilerin kuraklığa alışmasına yardımcı olur, ağır metal toleransı, düşük pH, yüksek tuzluluk, daha fazla fotosentetik ürün üretimini sağlarlar [45,46]. Hindistan'da Pusa Basmati-1 çeltik çeşidinde *T. asperellum* ve *T. asperelloides* [47]; Çin'de *Dendrobium nobile* (orkide) de *T. chlorosporum* [48]; *Theobroma cacao* (kakao)'da Brezilya'da *T. martiale* [49], ABD [50] *T. hamatum* ve Endonezya'da *T. asperellum* [51]; Amazon havzasında *Hevea* spp.'den *T. amazonicum*[30]; olmak üzere yapılan çalışmalarda farklı ülkelerde birçok endofit tür tespit edilmiştir.

Bununla birlikte mercimekte *T. gamsii* [52] ve Himalaya izolatu *T. gamsii*, *Phoma herbarum*, *Fusarium flocciferum*'nin mücadelesinde umut verici biyokontrol ajanları olduğu kabul edilmiştir [53]. Endofitik *Trichoderma* türleri *Pinus halepensis*'in (halep çamı) fidelerinde *Gremmeniella abietina*'nin meydana getirdiği nekroz belirtilerinin azalmasına neden olmuştur [54]. Bu tür endofitik *Trichoderma* türlerinin hastalık ve zararlılarla mücadelede bitki koruma yöntemleri içinde kullanılması bitkisel üretimde tarımsal girdileri en aza indirmek açısından oldukça önemlidir [30,55-56].

### 3. *Trichoderma* spp.'nin Biyolojik Kontrol Mekanizmaları

*Trichoderma* türlerinin biyolojik kontrol mekanizmaları onlarca yıldır incelenmektedir [18,57]. Bu non-patojen olan toprak kaynaklı mikroorganizmalar, fungal patojenlere karşı antagonist ve mikoparazit etkilere, bitki kök sisteminin ve bitki savunma mekanizmalarını uyarma yeteneğine sahiptirler [58]. Fitohormon aracılığıyla ortaya çıkan savunma mekanizmaları, sistemik kazanılmış dayanıklılık (SAR) ve uyarılmış sistemik dayanıklılık (ISR) olarak bilinir [59]. Bitkilere faydalı funguslar olan *Trichoderma* türleri, jasmonatlara (JA) ve etilene (ET) bağlı olmalarından dolayı, ISR mekanizmalarını uyarma yetenekleri ile bilinmektedir [58]. Bazı *Trichoderma* türlerinin salisilik asit (SA) aracılığıyla bitki savunmasını uyardığı da bildirilmiştir [60,61].

Antagonistik mikroorganizmalar, toprak kökenli patojenlerin gelişimini doğrudan veya dolaylı olarak kontrol edebilirler. Bitki hastalıklarına karşı etkili biyokontrol ajanı olan *Trichoderma* türleri yer ve besin için rekabet ederek, çevre koşullarını değiştirerek veya bitki büyümesini ve bitki savunma mekanizmalarını, antibiyosisi teşvik ederek veya doğrudan mikoparazitizm gibi mekanizmalarla dolaylı olarak etki hareket edebilirler [10,8-19]. Antagonist *Trichoderma* spp.'nin patojen funguslara karşı etki mekanizması, yer ve besin için rekabet, patojenin sporlarının çimlenmesini engelleyen metabolit üretimi ve patojenin doğrudan temas yoluyla toksik olarak ve antibiyosisi ile hücreleri

öldüren hidrolitik enzimlerin sentezi gibi interaksyonu çeşitli şekillerde gerçekleşmektedir [9]. Biyolojik mekanizmalar, yer ve besin için rekabet; antibiyosis; mikoparazitizm; konukçu bitkinin savunma mekanizmasının uyarılması; vb. bitki hastalıklarının kimyasal mücadelesine alternatif olarak biyotik stres/hastalıkların kontrol altına alınmasına yardımcı olmaktadır [17;Tablo 1].

Tablo 1. *Trichoderma* spp.'nin bitki patojenlerine karşı biyolojik kontrol mekanizmaları

Mekanizma şekli	Mekanizma	Görevi
Dolaylı (indirect) olarak antagonizm	Yer, besin-beslenme için rekabet	Kökleri çok hızlı bir şekilde kolonize eder ve besin maddelerini kullanır. Fiziksel olarak alan işgal eder.
	Konukçu dayanıklılığının uyarılması	Bitki ile işbirliği, bitki hormonları salisilik asit, jasmonek asit ve etilenin aracılık ettiği bir sinyal ağı aracılığıyla moleküler tanımayı sağlar. İlgili metabolitlerin ve fenilalanin amonyak liyaz (PAL), kitinaz, glukanaaz, vb. enzimlerin üretimi aracılığıyla bitki savunma reaksiyonunda bir dizi biyokimyasal değişiklik başlatır.
Doğrudan (direct) antagonism	Hyperparazitizm/baskı altına alıp engellemek	Hücre duvarını parçalayan kitinaz, $\beta$ -1, 3 glukanaaz, glikozit hidrolazlar, proteazlar vb. enzimler fungal bitki patojenlerinin hücre duvarının parçalanmasına ve ölümüne neden olur.
Birleşik (mixed) antagonizm	Antibiozis/ Liziz	Düşük moleküler ağırlıklı sekonder metabolitlerin aracılık ettiği biyoajanlar ve bitki patojenleri arasındaki antagonistik etkileşim veya patojenlerin büyüme ve gelişimini etkileyen biyoajanların antibiyotikleri, örn. gliovirin, gliotoksin, pironlar ve peptaiboller, vb.

### Yer ve besin için rekabet

*Trichoderma* türleri dünyada geniş bir yayılış alanına sahip, hemen hemen her türlü habitatlarda gelişen oldukça hızlı büyüyen funguslardır ve diğer funguslar gibi heterotroftir ve toprak kökenli patojenlerle; *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium* gibi diğer mikroorganizmalar ile yer ve besin maddesi için karbon, nitrojen, fosfor, demir, mineraller vb. için rekabet ederler [62]. Yer ve besin için patojenlere karşı çok etkili rakip olan [63] *Trichoderma* spp., herbisitler, fungusitler ve fenolik bileşikler dahil olmak üzere birçok toksik bileşiğe doğal olarak dayanıklıdır. Bu nedenle, spor çimlenmesini engelleyen (fungustatik), hücreleri öldüren (antibiyosis) veya rizosferi değiştiren (örneğin, patojenlerin gelişmemesi için toprağı asitleştirerek) metabolik bileşikler üreterek hızla gelişir ve patojenlerin gelişimini engellerler [9]. Açlık, mikroorganizmalar

için en yaygın ölüm nedeni olup, az miktarda olan sınırlı besin için rekabet, özellikle bitki hastalıklarının biyolojik kontrolünde oldukça önemlidir. Demir alımı, ipliksi (filamentous) funguslar için gereklidir ve demir eksikliğinde funguslar, sideroforlar olarak adlandırılan düşük moleküler ağırlıklı ferrik demire özgü şelatörler salgılayabilir ve demiri şelatlayan ve diğer fungusların büyümesini durduran yüksek verimli sideroforlar üretebilirler [9]. Bu nedenle, toprak özellikleri biyolojik kontrol ajanı olarak *Trichoderma*'yı etkilemektedir.

### Antibiyosis ve lizis

**Antibiyosis;** Düşük moleküler ağırlıklı metabolik bileşikler veya bunlar tarafından salgılanan antibiyotikler nedeniyle bir organizmanın diğeri tarafından büyüme ve gelişiminin engellenmesidir. *Trichoderma* türleri, gliovirin, a-piron, peptaiboller, trikotoksinler, asperelinler, trikopolinler, alametisinler, 6-pentil- $\alpha$ -piron, massoilakton, heptelidik asit [64]; gibi uçucu ve uçucu olmayan toksik metabolitler salgırlar, patojenlerle interaksiyonlarında antagonistik sinyal molekülleri olarak hareket eder, büyümelerini etkileyerek [18,9] patojen kolonizasyonunu engellerler [65]. Mikroorganizma tarafından salgılanan hidrolitik enzimler ve antibiyotikler, antagonizm seviyesini arttırmaktadır. *Botrytis cinerea* ve *Rhizoctonia solani*' ve karşı *T.harzianum*'dan elde edilen endokitinaz enzimi ile gliotoksin hidrolitik enzimler ve peptaibol hücre dışı enzimleri ve  $\alpha$ -piron arasında oldukça yüksek düzeyde bir sinerjistik antagonizm gözlemlendiği belirtilmiştir [66,8]. *B. cinerea* propagüllerine antibiyotik kombinasyonları ve birkaç çeşit hidrolitik enzim uygulandığında ve *F. oxysporum*'da sinerjizm oluşmuş, ancak antibiyotiklerden sonra enzimler eklendiğinde ise sinerjizm daha düşük bulunmuş, bu da sinerjistik etkileşimi oluşturmak için hücre duvarı bozulmasının gerekli olduğunu göstermiştir [8].

**Lizis;** Bitki ve hayvan hücrelerinin hidrolitik enzimler tarafından parçalanmasıdır. *Trichoderma*'lar kitini, proteinleri, selülozu, DNA'yı vb. çözen hücre duvarı lizis enzimi yani kitinaz, glukanaaz vb. polimerik bileşikler salgırlar[67].

### Mikoparazitizm

*Trichoderma* ve patojen arasındaki doğrudan etkileşime mikoparazitizm denir. İlk defa 1932 yılında Weindling *Trichoderma* türlerinin biyokontrol ajanı olduğunu ve ayrıca *T. lignorum* (*viride*) hiflerinin *R. solani*'yi parazitleyerek öldürmesini mikoparazitizm olarak ifade etmiştir [26]. Mikoparazitizm, hücre duvarının litik enzim üretimini içeren karışık mekanizmadır [18]. *Trichoderma* spp.'nin litik enzimleri, fungal patojenlerinin hücre duvarlarının sindiriminde rol aldığı [68,69], patojen kontrolünde aktif olarak bulunduğu bilinmektedir [70]. Kitin ve  $\beta$ -1,3-glukanlar, fungus hücre duvarlarının ana yapısal bileşenleridir [71,72-73]. *Trichoderma* spp. bir çok fungusu parazitleyerek, diğer fungusları da tespit ederek ve onlara doğru miselyum geliştirerek doğrudan biyokontrol sağlar. Belirli mesafeden algılama ise, çoğunlukla kitinaz, glukanaaz ve proteazlar olmak üzere hücre duvarını parçalayan enzimlerin ekspresyonundan kaynaklanmaktadır [18]. Her enzimin yapısı bir *Trichoderma* türünden diğerine farklılık gösterir. Fungusların ekzokitinazları yapısal olarak düşük seviyelerde salgıladığı düşünülmektedir. Kitinazlar fungusun hücre duvarlarını bozduğunda, ekzokitinazları uyaran oligomerleri serbest bırakırlar ve saldırı başlar. Chet ve ark. [74] mikoparazitizmin, kemotropizm ve tanıma; tutunma ve sarma; hücre duvarı penetrasyonu; ve konukçu hücrenin sindirimi olarak dört aşamada gerçekleştiğini ifade etmektedir. Sırayla birinci aşamada mikoparazit konukçuya yönelerek kemotrofik gelişir, daha sonra ikinci aşamada diğer konukçu olan bitki patojeni fungusları tanıır, onlara doğru gelişir, üçüncü aşamada hücre duvarını parçalayan hidrolitik enzimler salgırlar ve dördüncü olan son aşamada da konukçu olan

patojenin hiflerine bağlanarak, hiflerini sarar. Ardından konukçu yüzeyinde bir appressorium oluşturarak, konukçu hücreye nüfuz ederek konukçu hifleri parazitlemektedir [75]. Mikoparazitizmin moleküler düzeyde uyarılması ilk olarak 1994'te [76], endokitinaz kodlayan bir genin (ech42) düzenlenmesine dayalı olarak ortaya konmuştur. Ech42, *T. harzianum* ve *R. solani* arasındaki mikoparazitik interaksiyon sırasında belirlenmiştir. Ayrıca başka bir çalışmada, *T. atroviride*'nin P1 mutant suşunda, fungus hücre duvarlarından saflaştırılmış kolloidal kitin içeren uygulamalarda mikoparazitizmi uyarmak için ekzokitinaz naçi veya endokitinaz ech42 geninin ekspresyonuna ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir [19]. Farklı *Trichoderma* türleri, fungusun misellerini enfekte eden selüloz, kitinaz, proteaz, glikozit,  $\beta$ -1,3-glukanaz,  $\beta$ -1,6-glukanaz, N-asetil- $\beta$ -d-hidrolazlar gibi birçok hücre dışı enzim üretirler [18]. *Trichoderma* spp. tarafından kitinaz, glukanaz ve proteaz gibi litik enzimlerin üretimi ve düzenlenmesi de mikoparazitizm/biyokontrol sürecinde önemli rol oynamaktadır [77].

Bu enzim proteinlerini kodlayan genlerin, bitkilerde birçok patojen funguslara karşı direnç oluşturdukları bilinmektedir [78,79]. *Trichoderma* spp.'nin selüloz üretiminde oldukça önemli bir yere sahip oldukları belirtilmiştir [80,81]. Birçok araştırmacı tarafından 1990'lı yıllarda yapılan çalışmalarda, biyokontrol enzimlerin yapılarının çok kompleks olduğu ve bunların çoğunu kodlayan genlerin izole edildiği ve sekans analizlerinin yapıldığı ifade edilmiştir [82,83]. Enzimlerin fungitoksik olduğu ve enzim karışımlarının antifungal özelliklerinin sinerjistik olduğu ve *Trichoderma*'dan elde edilen farklı kitinolitik veya glukanolitik enzimlerin, farklı organizmalardan gelen enzimler gibi sinerjik olduğu belirtilmektedir [84].

Biyokontrol ajanlarının bitki patojeni funguslara karşı antagonistik etkilerini arttırmak amacıyla farklı enzimler üreten *Trichoderma* türleri ile birçok çalışma yapıldığı bilinmektedir [85].

### ***Trichoderma* spp.'nin bitki gelişimini teşvik etmesi**

*Trichoderma* spp. bitki gelişimini teşvik edici, verimi arttırıcı etkileri ve aynı zamanda bitki hastalıklarıyla mücadelede biyokontrol ajanı olarak kullanılan çok yönlü işlevleri olan simbiyotik funguslardandır [86]. *Trichoderma* türleri sadece patojenler için bir biyokontrol ajanı değil, aynı zamanda bitki büyümesi ve kök gelişimini (biyo gübre) arttıran ve bitki savunma mekanizmalarını uyaran antagonistlerdir [18]. Bazı *Trichoderma* türlerinin epidermise nüfuz ettiği ve kök yüzeylerinde sağlam ve uzun süreli kolonizasyon oluşturduğu ifade edilmekte [18] marul, domates ve biberde bitki gelişimini arttırdığı gözlenmiştir [87]. Yapılan bir çalışmada; *Trichoderma harzianum* T-22 türü uygulanan mısır bitkilerinde birkaç ay sonra bitki kökleri, kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında yaklaşık iki kat daha uzun olduğu belirtilmiştir [18]. Cutler ve ark. [88,89], *Trichoderma koningii* (koniningin A) ve *Trichoderma harzianum* (6-pentyl alpha pryone) türlerinin ürettiği sekonder metabolitlerin bitki büyüme düzenleyicileri olarak görev yaptığı ortaya konulmuştur. *Trichoderma* uygulanan bitkilerde, sitokinin (Zeatin) ve gibberellin benzeri moleküller (GA3 veya GA4) [90], fitohormonlar [18,91,92,93-94] da dahil olmak üzere sekonder metabolitlerin üretimi ile bitki gelişim parametreleri, bitki gelişimi [18,91] ve veriminin [95] artması sayesinde fotosentez oranı [96], besin maddesi alımı, abiyotik ve biyotik strese toleransın artması nedeniyle çeltik ve mısır gibi birçok üründe bitki gelişimi, verim ve ürün miktarı artışı kaydedilmiştir. *Trichoderma* türleri ayrıca glukonik ve sitrik asit üreterek, toprak pH'ını düşürmekte ve fosfatların, mikro besin maddelerinin, demir, magnezyum ve manganez gibi mineral bileşenlerin çözünürlüğünü arttırmaktadır [9,97-19]. Günümüzde *Trichoderma*'lar; biyopestisit,

biyogübre, bitki gelişimi ve verim arttırıcı, ayrıca besin maddesi çözücü ve organik madde ayrıştırıcıları olarak pazarlanmaktadır [98]. *Trichoderma* spp. toprakta fosforu çözerek alınabilir forma getirerek, organik maddeyi ayrıştırmakta ve bitkilerde mikro besin maddelerinin artmasına yardımcı olmaktadır [87,94]. *Trichoderma erinaceum* tohum çimlenme oranı, fide gücü, daha yüksek klorofil içeriği, daha fazla besin maddesi birikimi ile Karuna ve Sahabhagidhan çeltik çeşitlerinin gelişimini teşvik ederek ve verim artışı sağlayarak biyokontrol ajanı ve biyogübre görevi üstlenerek biyotik ve abiyotik stres koşullarında stres yönetimi ile ilişkili olan bazı enzimlerin artışını sağlamıştır [94].

### ***Trichoderma* spp.'nin bitkilerde savunma reaksiyonunu uyarması**

Yapılan çalışmalarda *Trichoderma* spp.'nin bitkilerde antagonistik mikroorganizmalara karşı kitinaz, glukanaz ve peroksidaz gibi proteinlerin gen ekspresyonunu uyardığı [99, 100-97]ve bitkilere *Trichoderma* ile ön uygulama yapılmasının hastalıklara karşı direnci artırdığı ifade edilmiştir [18]. *Trichoderma* spp. fırsatçı (opportonistic) istilacı, bitki büyümesini hızlandıran ve bol miktarda spor üreten funguslar olup, hücre çeperini parçalayan enzimlere (örneğin, selülaz, kitinaz ve glukanaz) sahip ve antibiyotik üreten antagonistlerdir [19]. Ayrıca, *Trichoderma* spp.'nin varlığı, bitkilerde aşırı duyarlılık (HR), sistemik kazanılmış dayanıklılık (SAR) ve uyarılmış sistemik dayanıklılığı (ISR) teşvik etmektedir [9,19;Tablo 2]. Bu konuda yürütülen çalışmalarda, domateste *T. hamatum*'un bitki fizyolojisinde ve hastalık direncinde aktif olarak sistemik değişikliklere neden olduğu [101], hıyar bitkilerinde ise, *T. asperellum*'un, fenilalanin ve hidroperoksidaz liyazı kodlayan iki savunma geninin sistemik uyarılmış reaksiyonu ve *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*'a karşı fitoaleksinlerin sistemik olarak birikimini aktive ettiği bildirilmiştir [99]. *T. harzianum* ve *Ganoderma boninense* uygulanmış palmye ağacında kitinaz ekspresyonunun savunma geni, sadece *G. boninense* ile uygulanan bitkilerle karşılaştırıldığında arttığı ifade edilmiştir [102]. Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda *Trichoderma* spp.'nin sistemik dayanıklılığa dolaylı olarak katkıda bulunabileceği belirtilmiştir [103, 104]. Harman ve ark. [18], *Trichoderma* spp. lokal veya sistemik dayanıklılığı uyarması nedeniyle bitki hastalıklarıyla mücadelede önemli bir faktördür. Dolayısıyla *Trichoderma* spp.'nin konukçu bitkilerde lokal veya sistemik dayanıklılık reaksiyonlarını teşvik eden belirli bileşikler ürettiği [91,105], bu nedenle *Trichoderma*'ların bitki kök kolonizasyonunun hastalıkla mücadelede etkili olduğu ve söz konusu konukçu bitki, patojen, biyokontrol etmeni ve çeşitli çevresel faktörler arasında karmaşık bir interaksiyon olduğu ortaya konulmuştur [18,106-101].

Endofitik *Trichoderma*, bitki gen ekspresyonundaki değişiklik nedeniyle bitki fizyolojisini değiştirmekte, besin maddesi alımını ve hastalıklara karşı direnci arttırmaktadır. Toprağa ve tohuma uygulanan *T. asperellum*, *T. harzianum* vb. metabolik değişiklikleri uyarak bitki patojenlerine karşı SAR'ı teşvik etmektedirler [107].



Tablo 2. *Trichoderma* spp.'nin bitkilerde uyarılmış sistemik dayanıklılık (ISR) mekanizması

<b>Trichoderma spp., Bitki ve Patojen</b>	<b>Uyarılmış sistemik dayanıklılık (ISR)</b>	<b>Kaynak</b>
<i>T. harzianum</i> (T-39): Domates, biber, tütün, marul, fasulye: <i>Botrytis cinerea</i>	Yapraklarda hastalık yok	De Meyer ve ark. [107]
Bağ: <i>Plasmopara viticola</i>	Savunma mekanizmalarının uyarılması	Levy ve ark. [108]
Hıyar, fasulye, domates ve çilek: <i>B. cinerea</i> ; <i>Podosphaera xanthii</i>	Yaprak hastalıklarından korunma	Levy ve ark. [108]
<i>T. harzianum</i> T-22; <i>T. atroviride</i> P1 Fasulye: <i>B. cinerea</i> , <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>phaseoli</i>	Yapraklarda antifungal bileşiklerle ilişkili yolların uyarılması	Harman ve ark. [97]
<i>T. harzianum</i> T-1 & T-22; <i>T. virens</i> T3 Hıyar: Green-mottle, mosaik virus	Türlerin köke inokulasyonu ile yaprakların hastalıktan korunması	Lo ve ark. [104]
<i>T. harzianum</i> T-22 Domates: <i>Alternaria solani</i>	Türlerin köke inokulasyonu ile yaprakların hastalıktan korunması	Seaman [109]
<i>Trichoderma</i> GT3-2 Hıyar: <i>Colletotrichum orbiculare</i> , <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>lachrymans</i>	Lignifikasyonla ilgili savunma genlerinin aktivasyonu	Koike ve ark. [110]
<i>T. harzianum</i> Biber: <i>Phytophthora capsici</i>	Fitoaleksinin kapsidiolün artan üretimi	Ahmed ve ark. [103]
<i>T. asperellum</i> (T-203) Hıyar: <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>lachrymans</i>	Jasmonik asit/etilen sinyalizasyonu ile ilgili proteinlerin ekspresyonu	Shoresh ve ark. [111]
<i>T. harzianum</i> Tr6, & <i>Pseudomonas</i> sp. Ps14 Hıyar: <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicis</i>	Her iki tür de savunma genleri aktivasyonu	Alizadeh ve ark. [112]
<i>T. virens</i> & <i>T. atroviride</i> Domates: <i>A. solani</i> , <i>B. cinerea</i> , ve <i>P. syringae</i> pv. <i>tomato</i> (Pst DC3000)	SAR'ın uyarılması ile ilişkili olarak salgılanan proteinler Sm1 ve Epl	Salas-Marina ve ark. [113]
<i>T. virens</i> G-6, G-6-5 ve G-11 Pamuk: <i>Rhizoctonia solani</i>	Fungitoksik terpenoid fitoaleksinin oluşumu ile bitkinin korunması	Howell ve ark. [114]

### **Trichoderma spp.'nin bitki kök kolonizasyonu**

*Trichoderma* spp. ile yapılan çalışmalar, fungusun kök kolonizasyonunu, peroksidaz, kitinaz,  $\beta$ -1, 3 glukanaz, fenilalanin ve biyosentetik sinyalizasyonu başlatan hidroperoksidaz liyaz enzimler ile bitki savunma reaksiyonlarını uyardığı ve düşük moleküler ağırlıklı fitoaleksinin birikimini sağladığı belirtilmiştir [114,99-18]. Yedidia

ve ark. [21] yapılan çalışmada *T. harzianum* T-203 ırkının hıyarda bitki kökünü penetre ettiği, epidermis ve dış kortekste gelişme gösterdiği, bu durumun da peroksidaz ve kitinaz üretimini uyardığı ifade edilmiştir. Bu nedenle, *Trichoderma*'nın bitki köklerinde kolonize olması ve bitkinin de hastalıklardan korunması bu interaksiyonun simbiyotik bir ilişki olduğunu göstermektedir. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda *Trichoderma* spp.'nin sadece bitkilerin kök yüzeylerinde değil aynı zamanda bitkilerin çeşitli kısımlarında da endofitik olarak geliştikleri belirtilmiştir [56]. Dolayısıyla bu endofitik türlerin bitki gelişimini teşvik ederek, bitkiyi çeşitli biyotik ve abiyotik stres koşullarından koruduğu ortaya konulmuştur [50].

### ***Trichoderma* spp.'nin antibiyotik ve sekonder bileşik üretimi**

*Trichoderma* türleri tarafından üretilen sekonder bileşikler ve antibiyotikler, antagonistik etkileri nedeniyle biyolojik mücadelede önemli bir rol oynamaktadır [19,115]. Sivasithamparam ve Ghisalberti [116]*Trichoderma* türlerinin polipeptidler, pironlar ve terpenler gibi antibakteriyel ve antifungal antibiyotikler dahil olmak üzere bazı sekonder bileşikler ürettiğini bildirmişlerdir. Antibiyotikler ve sekonder metabolitler savunma reaksiyonunda, simbiyosiste, besin maddesi taşınımında, farklılaşmada, spor oluşumunu ve çimlenmeyi uyarma veya engellemede önemli rol oynamaktadır [117,19]. Antibiyotikler genellikle patojenlere karşı biyokontrol etkisi ile ilişkilendirilmektedir. *T. harzianum*'un pyrone benzeri antibiyotik üretimi, *Ganumannomyces graminis*'e karşı biyokontrol etkisi göstermiştir [118]. Peptit antibiyotik paraselsin, *Trichoderma* spp.'de özdeşleşen ilk sekonder metabolittir [119,120]. Sivasithamparam ve Ghisalberti [116], *Trichoderma* spp. tarafından üretilen sekonder metabolitlerin; uçucu bileşikler (örn., 6-pentil-alfa-pirron), suda çözünür bileşikler (örn. heptelidik asit) ve alfa-aminoizobutirat yönünden zengin, N-asetillenmiş ve C-ucunda bir amino alkol grubuna sahip 12-22 amino asitten oluşan doğrusal oligopeptitler olan peptaibol bileşikleri olmak üzere üç kategoriye ayrılabilir. Öne sürülmüştür.

### ***Trichoderma* spp.'nin diğer kullanım alanları**

Reese [121] *Trichoderma reesei*'nin selülaz enzimi ürettiğini tespit etmesinin ardından, fungusun önemli bir selülaz veya enzim üreticisi olmasının yolu açılmıştır. *Trichoderma* spp. tarafından üretilen selülaz esas olarak malt (malting), fırınlama (baking) ve etanol üretiminde kullanılmaktadır [122]. İpliği yapıda selüloolitik *Trichoderma* spp. çok çeşitli selülaz ve hemiselülazlar üretirler. Lignoselülozik biyomas kağıt hamuru, kağıt ve tekstil endüstrilerinde [123], kullanılmasına rağmen asıl etanol gibi biyoyakıtların üretiminde yer almaktadır [124,125]. *Trichoderma* türleri güvenli endüstriyel enzim üretimi için de kullanılmaktadır [126]. Maserating enzimler, meyve suyu üretiminde mayalanma işlemini iyileştirmek ve çiftlik hayvanları ile evcil hayvan besinlerinde yem katkı maddesi olarak yer almaktadır [127]. Yapılan çalışmalarda *Trichoderma*'lar ayrıca tohum çimlenmesinde de kullanılmaktadır. *T. viride* ve *T. reesei* uygulanmış tohumlarda kontrol bitkilerine kıyasla ayçiçeği tohumlarının çimlenmesini önemli ölçüde arttırdığı belirlenmiştir [128]. Yetiştiriciliği yapılan birçok üründe bitki gelişimini arttırmak ve hastalıklardan korumak amacıyla bazı *Trichoderma* türlerinin ticari olarak üretimi yapılmakta olup, bir çok üründe kullanım alanına sahiptir [129, 28]. Günümüzde RootShieldTM, BioTrek 22TM, T22GTM ve T-22HBTM (Bio-works, ABD); SuprevisitTM (Borregaard BioPlant, Danimarka); BinabTM (Bio-Innovation İsveç); TrichopelTM, TrichojetTM, TrichodowelsTM ve TrichosealTM (Agimm, Yeni Zelanda); TriecoTM (Ecosense Labs, Hindistan) ve Tricho-green (Mycology Lab, Malezya) ticari olarak piyasada yer alan formülasyonlardır. Bu preparatların tümü biyo-kontrol ajanı olarak ruhsatlı olmayıp, bitki büyüme düzenleyicisi, bitki gelişimini teşvik edici ve toprak düzenleyicileri olarak da pazarlanmaktadır.

## 4. *Trichoderma*'ların Biyotik ve Abiyotik Stres Koşullarında Kullanımları

### Biyotik Stres Yönetiminde *Trichoderma*'lar

*Trichoderma* spp. tahıl, baklagiller, yağlı tohumlu bitkiler, meyveler ve sebzeler, ticari ürünler ve diğer ekonomik öneme sahip ürünlerde çökerten (*Pythium* spp.), gövde kanseri/çürüme (*Phytophthora* spp.) solgunluk (*Fusarium* spp.), kök çürüklüğü, öz çürüklüğü (*Rhizoctonia* spp., *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotium* spp., *Sclerotinia* spp., *Botrytis* spp.), gövde çürüklüğü (*Aspergillus* spp.), yaprak lekeleri (*Alternaria* spp.) gibi bir çok fungal hastalıkların biyolojik mücadelesinde etkili biyokontrol ajanlarıdır [24; Tablo 3].

### Abiyotik Stres Yönetiminde *Trichoderma*'lar

*Trichoderma* spp.'nin bitkileri kuraklık, tuzluluk, alkalilik, allelopati, oksidatif stresler, ağır metal birikimi gibi abiyotik stres faktörlerine karşı koruma ve rizobakterilere benzer şekilde bitki ve kök büyümesini arttırarak; artan besin alımı ve oksidatif strese karşı uyarılmış koruma gibi etkilerinin olduğu yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur [151,152].

### Kuraklık Stresi

Kuraklık veya su eksikliği, kısa bir süre için bile olsa, çeltik üretiminde verimi azaltan son derece önemli abiyotik stres faktörlerindedir. *T. harzianum* T-22 ile kök kolonizasyonu, peroksidaz, kitinaz,  $\beta$ -1,3-glukanazlar, hidro-peroksit liyaz enzimlerinin ve bitkiye stres koşullarında uzun süre dayanıklılık sağlayan lipoksijenaz, fitoaleksinin ve fenol bileşiklerinin miktarlarını arttırmaktadır. Süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz ve katalaz enzimleri (CAT), zararlı reaktif oksijen türleri (ROS), süperoksit ( $O_2^-$ ) ve hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) düzeylerini ortadan kaldırmak için enzimatik radikal temizleyiciler olarak görev yaparak bitkilerin su eksikliğine yani kuraklık, metil viologen (MV) maruz kalması ve diğer abiyotik streslere direnmesini sağlayan yükseltgenme-indirgenme durumuna yardımcı olmaktadır [95]. *T. harzianum* Th-56 ( 30 g/lit) ile çeltik (cv. PSD-17) köklerinin daldırılması kök ve sürgün uzunluğu, yaprak alanı indeksi, toplam kuru madde, nisbi nem ve klorofil içeriği ile membran stabilite indeksinin, katalaz ve peroksidaz aktivitesinin artmasına ve yaprak kıvrıcılığı, uç yanıklığı ve yaprak yanıklığı/yaşlanan yaprak sayısında azalmaya, serbest prolin birikimi ve daha iyi kuraklık toleransına neden olmaktadır. Dolayısıyla *Trichoderma* uygulaması kuraklık koşullarında bitkiler tarafından üretilen serbest radikaller ve zararlı bileşiklerin uzaklaştırılmasını sağlamakta ve böylece çeltiğin kuraklıktan etkilenmesini önlemektedir [153]. Domateste *Trichoderma* spp. [91,95]; Kakao'da *T. hamatum* DIS2196 [50]; ve mısırda *T. harzianum* [154] ile yapılan çalışmalarda kuraklık stresi ile mücadelede benzer sonuçların elde edildiği yapılan çalışmalar sonucunda ortaya konulmuştur.

Tablo 3. Bitki hastalıklarıyla mücadelede bazı *Trichoderma* türleri

Bitki ve Patojen	Biokontrol ajanları	Uygulama	Kaynaklar
Çeltik ( <i>Oryza sativa</i> ) <i>Magnaporthe oryzae</i> <i>Rhizoctonia solani</i> <i>Ustilaginoidea virens</i>	<i>T. harzianum</i> <i>T. harzianum</i> , <i>T. viride</i> , <i>T. harzianum</i>	Tohum, yaprak Tohum, Fide Tohum	Chou ve ark. [130] Pal ve McSpadden Gardener [131] Kannahi ve ark. [132]
Buğday ( <i>Triticum aestivum</i> ) <i>Neovossia indica</i> <i>Ustilago segetum tritici</i>	<i>T. viride</i> , <i>T. harzianum</i> <i>T. viride</i> , <i>T. lignorum</i>	Tohum Tohum& toprak	Aggarwal ve ark. [133,134]
Mısır ( <i>Zea mays</i> ) <i>Fusarium graminearum</i> Post-flowering stalk rot complex	<i>T. harzianum</i> <i>T. harzianum</i> (IARI)	Tohum& toprak Tohum	Kandasamy ve ark. [135]
Sorgum ( <i>Sorghum bicolor</i> ) <i>Gloeocercospora sorghi</i> <i>Colletotrichum sublineolum</i>	<i>T. harzianum</i> <i>T. harzianum</i> WKY1	Yaprak Tohum, toprak	Purohit ve ark. [136] Wesam ve ark. [137]
Nohut ( <i>Cicer arietinum</i> ) <i>F. oxysporum f. sp. ciceris</i> <i>R. solani</i> <i>R. bataticola</i> <i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>T. harzianum</i> , <i>T. viride</i> , <i>Trichoderma</i> spp. <i>T. viride</i> , <i>T. virens</i> ; <i>T. harzianum</i> , <i>T. viride</i>	Tohum biyo-kapsül; biyopriming; biyogübre Tohum, biyokapsüller Tohum-biyopriming Toprak-zenginleştirilen biyogübre	Pandey ve ark. [138] Jaisanive ark. [139] Dubey ve ark. [140] Pandey ve ark. [138] Mukherjee ve ark. [31]
Güvercin bezelyesi ( <i>Cajanus cajan</i> ) <i>Fusarium udum</i>	<i>T. viride</i> , <i>T. harzianum</i>	Tohum, toprağa biyogübre	Ram ve Pandey [141]
Maş fasulyesi ( <i>Vigna radiata</i> ) <i>Macrophomina phaseolina</i> <i>R. solani</i>	<i>Trichoderma</i> spp. <i>T. viride</i> , <i>T. harzianum</i> , <i>T. virens</i>	Tohum, toprak biyokapsül Tohum-biyopriming Toprak- zenginleştirilen biyogübre	Meena ve ark. [142] Pandey ve ark. [138] Dubey ve Patel [143]
Soya fasulyesi ( <i>Glycine max</i> ) <i>M. phaseolina</i> Myrothecium Yaprak Lekesi, Antraknoz <i>Rhizoctonia</i>	<i>T. harzianum</i> , <i>T. viride</i> <i>T. viride</i>	Tohum biyopriming Toprak- zenginleştirilen biyogübre Tohum kaplama	Pandey ve Gohel [144] Falah Kuchlan ve ark. [145]
Yerfıstığı ( <i>Arachis hypogaea</i> ) <i>S. rolfsii</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Cercosporidium personatum</i>	<i>T. harzianum</i> <i>T. viride</i> <i>T. harzianum</i>	Tohum & toprak Tohum & toprak Tohum ve yaprak	Rakholiya ve ark. [146] Hossain ve Hossain [147]
Patates ( <i>Solanum tuberosum</i> ) <i>R. solani</i>	<i>T. virens</i> , <i>T. atroviride</i>	Toprak uygulaması	Hicks ve ark. [148]
Patlıcan ( <i>Solanum melongena</i> ) <i>Pythium ahanidermatum</i>	<i>T. harzianum</i>	Tohum & toprak	Nirmalkar ve ark. [149]
Domates ( <i>Solanum lycopersicum</i> ) <i>Pythium indicum</i> <i>Meloidogyne javanica</i>	<i>T. harzianum</i> <i>T. harzianum</i>	Tohum uygulaması Toprağa ön uygulama	Nirmalkar ve ark. [149] Sharon ve ark. [150]

## Tuz Stresi

Tuz stresi tüm dünyada tarımsal üretimde verimi kısıtlayan en önemli abiyotik stres faktörlerinden biri olup, bitkilerde büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkileyerek üründe verim ve kaliteyi etkilemekte hatta bitkilerde ölümlere neden olmaktadır.

Tuz stresine maruz kalan *Ochradenus baccatus*'un bitki fizyolojisini olumsuz etkilemiş ve tohum çimlenmesi, bitki büyümesi, pigment içeriği, membran stabilite indeksi, bitki dokularında su ve toplam lipid içeriğinde önemli bir düşüşe neden olmuştur. Fenol, diasilgliserol, sterol ester, doymamış yağ asitlerinin, süperoksit dismutaz, katalaz, peroksidaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz enzimatik antioksidanlar, lipid peroksidasyonun sentezini hızlandırarak ve seviyelerini arttırarak; sürgünlerde Na<sup>+</sup> ve K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ve Ca<sup>2+</sup> içeriğini önemli ölçüde azalmasına sebep olmuştur. Yapılan çalışmada *T. hamatum* uygulaması sonucunda, yukarıda ifade edilen metabolik süreçler ve tuz stresinin bitki büyümesi üzerindeki zararlı etkisinin azaldığı belirtilmiştir [155]. *T. asperellum* [156] ve *T. asperellum* ACCC30536 türlerinden "1-aminosiklopropan 1-karboksilat (ACC) deaminaz (ACCD) enzimlerinin belirlenmesi, diğer yararlı mikroorganizmalarda olduğu gibi *Populus* sp.' nin tuzluluk toleransını artırabilen TaACCD genini ortaya çıkardığı belirtilmiştir [157]. Tuz stresinin ortadan kaldırılması amacıyla *T. hazianum* uygulaması konusunda yapılan bazı çalışmalarda, domates [95]; hardal [158]; mısır ve çeltik [151] ile diğer bitkilerde [152] benzer sonuçların elde edildiği sonuçlar rapor edilmiştir.

## Topraklarda Ağır Metal Stresi

Topraklarda biriken ağır metaller hem çevre kirliliği hem de ekosistemde olumsuz etkilere yol açmakta, atmosferde biriken ağır metaller toprak ve suya karışarak bitkilere ve yine topraktan hayvan ve insanlara geçebilmektedir. Bu durum (ağır metal stresi) bitkisel üretimde bitki fizyolojisini olumsuz yönde etkileyerek verim de azalmalara neden olmaktadır.

Yapılan çalışmalarda soğanda *T. asperellum* uygulaması Cu birikiminin azaltılmasına ve soğan yapraklarında bir yerden başka bir yere taşınmasına yardımcı olmuş [159]; *T. atroviride*'nin hardalda kullanıldığı çalışmada ise kadmiyum ve nikelin foto ekstraksiyon etkisini geliştirerek hücrel toksisitesini azalttığı belirtilmiştir [160]. *T. harzianum*, ağır metallere, tuzluluğa karşı toleransı, *R. solani* ve *Pseudomanas syringae*'ye karşı dayanıklılığı arttırmaktadır [161].

## Aşırı Sıcaklık ve Soğuk Stresi

Bitkiler, hücrel bileşenlerin zarar görmesine neden olan şiddetli stres koşulları altında birikmiş reaktif oksijeni uzaklaştıramazlar. Bu gibi durumlarda, *Trichoderma* uygulanan bitkilerde, reaktif oksijen türlerini uzaklaştırma yeteneklerini artırarak stresten korunabilmektedirler. *T. harzianum* AK 20G ırkı lipid peroksidasyon oranını ve elektrolit sızıntısını azaltarak yaprak su içeriğinin ve prolin birikiminin artmasına yardımcı olmakta böylelikle soğuk stresinin olumsuz etkilerinin azalmasına katkı sağlamaktadır [162]. Yapılan çalışmada benzer şekilde, *T. harzianum* uygulanmış *Arabidopsis* bitkilerinde, sıcaklık şoku proteinlerinin üretimi nedeniyle bitkinin sıcaklık stresini tolere ettiği belirtilmiştir [163].

## 5. Sonuç

*Trichoderma* genusu ilk olarak 1930'da Weindling tarafından biyolojik kontrol ajanı olarak tespit edilmesiyle birlikte günümüze kadar söz konusu konu ile ilgili birçok çalışmada *Trichoderma* spp.'nin bitki hastalıklarına karşı etkili bir biyolojik kontrol ajanı olduğu ortaya konulmuştur. *Trichoderma* spp.'nin fitopatojen fungusların mücadelesinde biyolojik kontrol mekanizmaları üzerine yapılan çalışmalarda, hem enzimleri kodlayan birkaç genin izolasyonu yapısal veya düzenleyici proteinler hem de *Trichoderma* türlerinin konukçuda spesifik tanınmasını sağlayan sinyal bileşenleri gibi mekanizmaların daha iyi anlaşılmasına yol açmıştır. Bu konuda ülkemizde ve dünyada hali hazırda birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Dolayısıyla bu etki mekanizmalarının bilinmesi ile tarımsal üretimde hem hasat öncesi hem de hasat sonrası dönemlerde görülen fungal patojenlerle mücadelede daha etkili *Trichoderma* türleri tespit edilerek, farklı kombinasyonlarının değerlendirilmesiyle başarılı sonuçlar elde edilebilir. *Trichoderma* türlerinin konukçu bitki-patojen arasındaki interaksyonu doğru ve etkili bir şekilde yönetildiğinde biyolojik kontrol başarıya ulaşmakta ve ayrıca bitkilerde savunma reaksiyonlarının arttırdığı da bilinmektedir. Dolayısıyla *Trichoderma* spp.'nin etkili bir biyokontrol ajanı olarak kullanılması kesinlikle sürdürülebilir hastalık yönetiminde etkin kontrol yöntemlerinden biri olarak görülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Deniz BULUT'un Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarım Bilimleri Anabilim Dalı'nda yürütmüş olduğu yüksek lisans tezinin bir bölümünden hazırlanmıştır.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

## 6. Kaynaklar

1. FAO. The future of food and agriculture—trends and challenges. FAO, 2017; Rome, p. 163.
2. Koike ST, Gordon TR. Management of Fusarium wilt of strawberry, Crop Protection, 2015; 1-6.
3. Cawoy H, Wagner B, Fickers B, Ongena M. *Bacillus* Based Biological Control Plant Diseases, Pesticides in the Modern World: Pesticides Use and Management. China: InTech Europe; 2011.
4. Naher L, Yusuf UK, Ismail A, Hossain K. *Trichoderma* Spp.: A Biocontrol agent for sustainable management of plant diseases, Pak. J. Bot., 2014; 46(4): 1489-1493.
5. Gouvea A, Kuhn OJ, Mazaro SM, May-De Mio LL, Deschamps C, Biasi LA and Fonseca, V de C. Controle de doenças foliares e de flores e qualidade pós-colheita do morangueiro tratado com *Saccharomyces cerevisiae*. Hort. Bras., 2009; 27(4): 527-533.
6. Noling JW. Nematode management in strawberries. University of Florida publication series no. ENY-031, USA, p. 12, 2016.
7. Abd-Elgawad MMM. Optimizing biological control agents for controlling nematodes of tomato in Egypt. Egypt J. Biol. Pest. Cont., 2020; 30:58.
8. Howell CR. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. Plant Dis., 2003; 87:4-10.

9. Benitez T, Rincon AM, Limon MC, Codon AC. Biocontrol mechanism of *Trichoderma* strains. International Microbiol., 2004; 7: 249-260.
10. Papavizas GC. Trichodema and Gliocladium: Biology, ecology and potential for biocontrol. Ann. Rev. Phytopathol., 1985; 22: 23-54.
11. Koumoutsis, A, Chen XH, Henne A, Liesegang H, Hitzeroth G, Franhe P, Vater J and Borris R. Structural and functional characterization of gene clusters directing nonribosomal synthesis of bioactive cyclic lipopeptides in *Bacillus amyloli quefaciens* strain FZB42. J. Bacteriol., 2004; 186: 1084-1096.
12. Mavrodi DV, Mavrodi OV, McSpaddens-Gardener BB, Landa BB, Weller DM, Thomashow LS. Identification of differences in genome content among pHID-positive *Pseudomonas fluorescens* strains by using PCR based subtractive hybridization. Appl. Environ. Microbiol., 2002; 68: 5170-5776.
13. Atehnkeng J, Ojiambo PS, Ikotum T, Sikora RA, Cotty PJ, Bandyopadhyay R. Evaluation of atoxigenic isolates of *Aspergillus flavus* as potential biocontrol agents for aflatoxin in maize. Food Additives & Contaminants: Part A., 2008; 25: 1266-1273.
14. Gilardi G, Manker DC, Garibaddi A, Gullino ML. Efficacy of the biocontrol agents *Bacillus subtilis* and *Ampebmyces quisqualis* applied in combination with fungicides against powdery mildew of Zucchini. J. Plant Diseases Protect., 2008; 115: 208-213.
15. Ahmed MFA, El-Fiki IAI. Effect of biological control of root rot diseases of strawberry using *Trichoderma* spp. Middle East Journal of Applied Sciences, 2017; 7(3): 482-492.
16. Aydın MH. Bitki Fungal Hastalıklarıyla Biyolojik Savaşta *Trichoderma*'lar. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 2015; 2:135-148.
17. Chet I. *Trichoderma*-application, mode of action, and potential as a biocontrol agent of soilborne plant pathogenic fungi. In: Innovative approaches to plant disease control. (Ed.) Chet I. New York: John Wiley and Sons; 1987. pp.147-160.
18. Harman, GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I, Lorito M. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Rev. Microbiol., 2004a; 2: 43-56.
19. Vinale F, Sivasithamparam K, Ghisalberti LE, Marra R, Woo LS, Lorito M. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. Soil. Biol. Biochem., 2008; 40: 1-10.
20. Spadaro D, Gullino ML. Improving the efficacy of biocontrol agents against soilborne pathogens. Crop Protection, 2005;24(7):601-613.
21. Yedidia I, Benhamou N, Chet I. Induction of defence responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. Appl. Environ. Microbiol., 1999; 65: 10061-1070.
22. Kredics L, Antal Z, Doczi I, Manczinger L, Kevei F, Nagy E. Clinical importance of the genus *Trichoderma*. A review. Acta Microbiol. Immunol. Hung., 2003; 50:105-117.
23. Harman, GE. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. Phytopathology, 2006; 96: 190-194.
24. Pandey RN, Jaisani P, Yadav DL. *Trichoderma* spp. in the management of stresses in plants and rural prosperity. Indian Phytopathology, 2021; 74: 453-467.
25. Weindling R. *Trichoderma lignorum* as a parasite of other soil fungi. Phytopathology, 1932; 22: 837- 845.
26. Wells DH. *Trichoderma* as a biocontrol agent. In: Biocontrol and plant diseases. (Eds.): Mukerji KG and Garg KL. Florida: CRC press; pp. 73. 1988.

27. Weindling R. Studies on lethal principle effective in the parasitic action of *Trichoderma lignorum* on *Rhizoctinia solani* and other soil fungi. *Phytopathol.*, 1934; 24: 1153-1179.
28. Samuels, GJ. *Trichoderma*: A review of biology and systematics of the genus. *Mycol. Res.*, 1996; 100: 923-935.
29. Irina D, Christian PK. Species and biodiversity in *Trichoderma* and Hypocera: from aggregate species to species clusters. *J. of Zhejiang Uni. Sci.*, 2004; 6: 100-112.
30. Chaverri P, Gazis R, Samuels GJ. *Trichoderma amazonicum*, a new endophytic species on *Hevea brasiliensis* and guianensis from the Amazon basin. *Mycologia*, 2011; 103:139–151.
31. Mukherjee PK, Horwitz BA, Singh US, Mukherjee M, Schmoll M. *Trichoderma* in agriculture, industry and medicine: an overview. In: Mukherjee PK, Horwitz BA, Singh US, Mukherjee M, Schmoll M (eds) *Trichoderma: biology and applications*. Nosworthy: CABI; 2013. pp 1–9.
32. Kubicek CP, Bissett J, Druzhinina I, Kullnig-Gradinger C, Szakacs G. Genetic and metabolic diversity of *Trichoderma*: a case study on South-East Asian isolates. *Fungal Genetics and Biology*, 2003; 38(3): 310-319.
33. Christian R, Röhrich WM, Jaklitsch H, Voglmayr A, Iversen CZ, Christian B, Henry M, Meinckel R, Komon-Zelazowska M, Druzhinina I, Christian S, Kubicek P, Berg G. Fungal diversity in the rhizosphere of endemic plant species of Tenerife (Canary Islands): relationship to vegetation zones and environmental factors. *ISME J*, 2009; 3: 79–92.
34. Migheli Q, Balmas V, Komoň-Zelazowska M, Scherm B, Fiori S, Caria R, Alexey G, Kopchinskiy A, Kubicek CP, Druzhinina IS. Soils of a Mediterranean hot spot of biodiversity and endemism (Sardinia, Tyrrhenian Islands) are inhabited by pan-European, invasive species of *Hypocrea/Trichoderma*. *Environ. Microbiol.* 2009; 11(1): 35–46.
35. Hatvani L, Antal Z, Manczinger L, Szekeres A, Druzhinina IS, Kubicek CP, Nagy A, Nagy E, Vagvolgyi C, Kredics L. Green mold diseases of *Agaricus* and *Pleurotus* spp. are caused by related but phylogenetically different *Trichoderma* species. *Phytopathology*, 2007; 97: 532–537.
36. Kredics L, García Jimenez L, Naeimi S, Czifra D, Urbán P, Manczinger L, Vágvolgyi C, Hatvani L. A challenge to mushroom growers: the green mould disease of cultivated champignons. *Topics in applied microbiology and microbial biotechnology*, 2010; 1–2: 295–30.
37. Samuels GJ, Dodd SL, Gams W, Castlebury LA, Petrini O. *Trichoderma* species associated with the green mold epidemic of commercially grown *Agaricus bisporus*. *Mycologia*, 2002; 94(1): 146-170.
38. Kredics L, Kocsubé S, Nagy L, Komon-Zelazowska M, Manczinger L, Sajben E, Nagy A, Vágvolgyi C, Kubicek CP, Druzhinina IS, Hatvani L. Molecular identification of *Trichoderma* species associated with *Pleurotus ostreatus* and natural substrates of the oyster mushroom. *FEMS Microbiol Lett.*, 2009; 300: 58–67.
39. Kredics L, Antal Z, Szekeres A, Manczinger L, Doczi I, Kevei F, Nagy E. Production of extracellular proteases by human pathogenic *Trichoderma longibrachiatum* strains. *Acta Microbiol Immunol Hung*, 2004; 51: 283–295.
40. Petrini O. Fungal Endophytes of Tree Leaves. In: Andrews JH, Hirano SS (eds) *Microbial ecology of leaves*. New York: Springer; 1991. pp 179–197.
41. Gazis R, Chaverri P. Diversity of fungal endophytes in leaves and stems of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) in Tambopata. *Peru Fungal Ecol.*, 2010; 4:94–102.



42. Patel JS, Kharwar RN, Singh HB, Upadhyay RS, Sarma BK. *Trichoderma asperellum* (T42) and *Pseudomonas fluorescens* (OKC)-enhances resistance of pea against *Erysiphe pisi* through enhanced ROS generation and lignifications. *Front Microbiol.*,2017; 8: 306.
43. Cummings NJ, Ambrose A, Braithwaite M, Bissett J, Roslan HA, Abdullah J, Stewart A, Agbayani FV, Steyaert J, Hill RA. Diversity of root-endophytic *Trichoderma* from Malaysian Borneo. *Mycol. Progress*, 2016; 15: 50.
44. Ghaffari MR, Ghabooli M, Khatabi B, Hajirezaei MR, Schweizer P, Salekdeh GH. Metabolic and transcriptional response of central metabolism affected by root endophytic fungus *Piriformospora indica* under salinity in barley. *Plant Mol. Biol.*,2016; 90: 699–717.
45. Chaverri P, Cattlebury LA, Samuels GJ, Geiser MD. Multilocus phylogenetic structure within the *Trichoderma harzianum*/ *Hypocrea lixii* complex. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 2003; 27: 302–313.
46. El Komy MH, Saleh AA, Eranthodi A, Molan YY. Characterization of novel *Trichoderma asperellum* isolates to select effective biocontrol agents against tomato fusarium wilt. *Plant Pathol. J.*, 2015; 31(1): 50–60.
47. Leon VC, Raja M, Pandian RTP, Kumar A, Sharma P. Studies on opportunistic endophytism of *Trichoderma* species in rice (*Pusa Basmati-1* (PB1)). *Indian J. Exp. Biol.*, 2017; 56: 121–128.
48. Yuan ZL, Chen YC, Zhang CL, Lin FC, Chen LQ. *Trichoderma chlorosporum*, a new record of endophytic fungi from *Dendrobium nobile* in China (in Chinese). *Mycosystema*, 2008; 27: 608–610.
49. Hanada RE, de Jorge Souza T, Pomella AW, Hebbbar KP, Pereira JO, Ismaiel A, Samuels GJ. *Trichoderma martiale* sp. nov., a new endophyte from sapwood of *Theobroma cacao* with a potential for biological control. *Mycol Res.*, 2008; 112(Pt 11): 1335–1143.
50. Bae H, Sicher RC, Kim MS, KimSH, Strem MD, MeInice RL, Bailey BA. The beneficial endophyte *Trichoderma hamatum* isolate DS 219b promotes growth and delays the onset of the drought response in *Theobroma cacao*. *Journal of Experimental Botany*, 2009; 60: 3279-3295.
51. Rosmana A, Samuels GJ, Ismaiel A, Ibrahim ES, Chaverri P, Herawati Y, Asman A. *Trichoderma asperellum*: a dominant endophyte species in cacao grown in Sulawesi with potential for controlling vascular streak dieback disease. *Trop. Plant Pathol.*, 2015;40:19–25.
52. Rinu K, Sati P, Pandey A. *Trichoderma gamsii* (NFCCI 2177): A newly isolated endophytic, psychrotolerant, plant growth promoting, and antagonistic fungal strain. *J. Basic Microbiol.*, 2014; 54: 408-417.
53. Chen JL, Sun SZ, Miao CP, Wu K, Chen YW, Xu LH, Guan HL, Zhao LX. Endophytic *Trichoderma gamsii* YIM PH30019: a promising biocontrol agent with hyperosmolar, mycoparasitism, and antagonistic activities of induced volatile organic compounds on root-rot pathogenic fungi of *Panax notoginseng*. *J. Ginseng Res.*, 2016; 40:315–324.
54. Romeralo C, Santamaría O, Pando V, Diez JJ. Fungal endophytes reduce necrosis length produced by *Gremmeniella abietina* in *Pinus halepensis* seedlings. *Biol. Control*, 2015; 80:30–90.
55. Samuels GJ, Dodd SL, Lu BS, Petrini O, Schroer HJ, Druzhinina IS. The *Trichoderma koningii* aggregate species. *Stud. Mycol.*, 2006; 56: 67–133.
56. Druzhinina IS, Seidl-Seiboth, V, Herrera-Estrella A, Horwitz BA, Kenerley CM, Monte E, Mukherjee PK, Zeilinger S, Grigoriev I, Kubicek CP. *Trichoderma*-The

- genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, 2011; 9: 749-759.
57. Lorito M, Woo SL, Harman GE, Monte E. Translational research on *Trichoderma*: from omics to the field. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 2010; 48:395-417.
  58. Hermosa R, Botella L, Keck E, Jiménez JA, Montero-Barrientos M, Arbona V, Gómez-Cadenas A, Monte E, Nicolás C. The overexpression in *Arabidopsis thaliana* of a *Trichoderma harzianum* gene that modulates glucosidase activity, and enhances tolerance to salt and osmotic stresses. *J Plant Physiol.*, 2011; 168:1295-1302.
  59. Pieterse CMJ, Reyes AL, Van der Ent S, Van Wees SCM. Networking by small-molecule hormones in plant immunity. *Nature Chemical Biology*, 2009; 5: 308-316.
  60. Salas-Marina MA, Silva-Flores MA, Uresti-Rivera EE, Castro-Longoria E, Herrera-Estrella A, Casas-Flores S. Colonization of *Arabidopsis* roots by *Trichoderma atroviride* promotes growth and enhances systemic disease resistance through jasmonic acid/ethylene and salicylic acid pathways. *European Journal of Plant Pathology*, 2011; 131: 15-26.
  61. Tucci M, Ruocco M, De Masi L, De Palma M, Lorito M. The beneficial effect of *Trichoderma* spp. on tomato is modulated by the plant genotype. *Mol Plant Pathol.* 2011; 12: 341-354.
  62. Sarrocco S, Guidi L, Fambrini S, Degl'Innocenti E, Vannacci G. Competition for cellulose exploitation between *Rhizoctonia solani* and two *Trichoderma* isolated in the decomposition of wheat straw. *J. Plant Pathol.*, 2009; 91: 331-338.
  63. Hjeljord, LG, Stensvand A, Tronsmo A. Effect of temperature and nutrient stress on the capacity of commercial *Trichoderma* products to control *Botrytis cinerea* and *Mucor piriformis* in greenhouse strawberries. *Biolog Control*, 2000; 19: 149-160.
  64. Christian R, Röhrich WM, Jaklitsch H, Voglmayr A, Iversen CZ, Christian B, Henry M, Meinckel R, Komon-Zelazowska M, Druzhinina I, Christian S, Kubicek P, Berg G. Fungal diversity in the rhizosphere of endemic plant species of Tenerife (Canary Islands): relationship to vegetation zones and environmental factors. *ISME J*, 2009; 3: 79-92.
  65. Abbas A, Jiang D, Fu Y. *Trichoderma* spp. as antagonist of *Rhizoctonia solani*. *J. Plant Pathol. Microbiol.*, 2017; 8(3): 402-409.
  66. Rey M, Delgado-Jarana J, Benítez T. Improved antifungal activity of a mutant of *Trichoderma harzianum* CECT 2413 which produces more extracellular proteins. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2001; 55:604-608.
  67. Bull CT, Shetty KG, Subbarao KV. Interactions between Myxobacteria, plant pathogenic fungi, and biocontrol agents. *Plant Dis.*, 2002; 86:889-896.
  68. Viterbo A, Ramot O, Chernin L, Chet I. Significance of lytic enzymes from *Trichoderma* spp. in the biocontrol of fungal plant pathogens. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2002; 81: 549-556.
  69. Sivan A, Chet I. Degradation fungal cell walls by lytic enzymes of *Trichoderma harzianum* *J. Gen Microbiol.*, 1989; 135: 675-682.
  70. Elad Y. Mycoparasitism. In: Kohmoto, K, Singh, US, Singh, RP (eds) *Pathogenesis and host specificities in plant disease: histopathological, biochemical, genetic and molecular basis, eucaryotes*. Vol. 2. Pergamon, Oxford, 1995. pp 289-307.
  71. Cherif M, Benhamou N. Cytochemical aspects of chitin breakdown during the parasitic action of *Trichoderma* sp. on *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Phytopathology*, 1990; 80: 1406-1412.

72. Soglio FK, Bertagnolli BL, Sinclair JB, Yu GY, Eastburn DM. Production of chitinolytic enzymes and endoglucanase in the soybean rhizosphere in the presence of *Trichoderma harzianum* and *Rhizoctonia solani*. Biol. Control, 1998; 12: 111-117.
73. Innocenti G, Roberti R, Montanari M, Zakrisson E. Efficacy of microorganisms antagonistic to *Rhizoctonia ceralis* and their cell wall degrading enzymatic activities. Mycol. Res., 2003; 107 (4): 421-427.
74. Chet, I, Benhamou N, Harman S. Mycoparasitism and lytic enzymes. In: *Trichoderma and Gliocladium* Vol. 2. (Eds.): Harman GE and Kubick CP. London: Taylor and Francis; 1998. pp. 153-172.
75. Steyaert JM, Ridgway HJ, Elad Y, Stewart A. Genetic basis of mycoparasitism: A mechanism of biological control by species of *Trichoderma*. J. Crop. Horticult. Sci., 2003; 31: 281-291.
76. Carsolio, C, Benhamou N, Haran S, Cortes C, Gutierrez A, Chet I, Herrera-Estrella A. Role of the *Trichoderma harzianum* endochitinase gene, ech42, in mycoparasitism. Appl. Environ. Microbiol., 1999; 65: 929-935.
77. Mukherjee KP, Nautiyal CS, Mukhopadhyay AN. Molecular mechanisms of plant and microbe coexistence. Heidelberg: Springer; 2008.
78. Bolar JP, Norelli JL, Wong KW, Hayes, CK, Harman G, Aldwinckle HS. Expression of endochitinase from *Trichoderma harzianum* in transgenic apple increases resistance to apple scab and reduces vigor. Phytopathology, 2000; 90: 72-77.
79. Bolar JP, Norelli JL, Harman GE, Brown SK, Aldwinckle HS. Synergistic activity of endochitinase and exochitinase from *Trichoderma atroviride* (*T. harzianum*) against the pathogenic fungus (*Venturia inaequalis*) in transgenic apple plants. Transgenic Res., 2001; 10(6): 533-543.
80. Mandels M. Microbial sources of cellulase. Biotechnol. Bioeng. Sym. 1975; 5:81-105.
81. Mandels M, Reese ET. Induction of cellulase in *Trichoderma viride* as influenced by carbon sources and metals. J. Bacteriol., 1957; 73: 269-278.
82. Benitez T, Delgado-Jarana J, Rincón AM, Rey M, Limón MC. Biofungicides: *Trichoderma* as a biocontrol agent against phytopathogenic fungi. In: Pandalai SG (ed) Recent research developments in microbiology, Research Signpost, Trivandrum, 1998, 2: 129-150.
83. Lorito M, Woo SL, Garcia-Fernandez I, Colucci G, Harman GE, Pintor-Toro JA, Filippone E, Muccifora S, Lawrence CB, Zoina A, Tuzun S, Scala F. Genes from mycoparasitic fungi as a source for improving plant resistance to fungal pathogens. Proc Natl Acad Sci USA, 1998; 95: 7860-7865.
84. Lorito M, Woo SL, Donzelli B, Scala F. Synergistic, antifungal interactions of chitinolytic enzymes from fungi, bacteria and plants. in: Chitin Enzymology II. Muzzarelli RAA. ed. Atec, Grottammare (AP), Italy. P 157-164. 1996.
85. Sood M, Kapoor D, Kumar V, Sheteiwiy MS, Ramakrishnan M, Landi M, Araniti Fabrizio, Sharma A. *Trichoderma*: The “Secrets” of a Multitalented Biocontrol Agent. Plants, 2020; 9: 762.
86. Harman GE. Multifunctional fungal plant symbionts: new tools to enhance plant growth and productivity. New Phytol., 2011; 189(3): 647-649.
87. Vinale F, Marra R, Scale F, Ghisalberti EL, Lorito M, Sivasithamparam K. Major secondary metabolites produced by two commercial *Trichoderma* strains active different phytopathogens. Letter in Applied Microbiol., 2006; 43: 143-148.
88. Cutler HG, Cox RH, Crumley FG, Cole PD. 6- Pentyl-apryrone from *Trichoderma harzianum*: Its plant growth inhibitory and antimicrobial properties. Agricul Biolog Chem., 1986; 50: 2943-2945.

89. Cutler HG, Himmetsbach DS, Arrendale RF, Cole PD, Cox RH. Koninginin A: a novel plant regulator from *Trichoderma koningii*. *Agricul. Biolog. Chem.*, 1989; 53: 2605-2611.
90. Kashyap PL, Kumar S, Srivastava AK. Nanodiagnosics for plant pathogens. *Environ. Chem. Lett.*, 2017; 15: 7-13.
91. Shores M, Mastouri F and Harman GH. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annu.Rev. Phytopathol.*, 2010; 48:21-43
92. Chowdappa P, Mohan Kumar SP, Jyothi Lakshmi M, Upreti KK. Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. *Biol. Control*, 2013; 65(1): 109-11.
93. Zhao L, Liu Q, Zhang Y, Cui Q, Liang Y. Effect of acid phosphatase produced by *Trichoderma asperellum* Q1 on growth of *Arabidopsis* under salt stress. *J. Integr. Agric.*, 2017; 16, 1341-1346.
94. Swain H, Adak T, Mukherjee AK, Mukherjee PK, Bhattacharyya P, Behera S. Novel *Trichoderma* strains isolated from tree barks as potential biocontrol agents and biofertilizers for direct seeded rice. *Microbiol. Res.*, 2018; 214: 83-90.
95. Mastouri F, Thomas B, Harman GE. *Trichoderma harzianum* enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. *Mol Plant Microbe Interact.*, 2012; 25(9): 1264-1271.
96. Doni F, Al-Shorgani NKN, Tibin EMM, Abuelhassan NN, Anizan I, Che-Radziah CMZ. Microbial involvement in growth of paddy. *Curr Res J Biol Sci*, 2013; 5(6): 285-290.
97. Harman, GE, Petzoldt R, Comis A, Chen J. Interactions between *Trichoderma harzianum* strain T22 and maize inbred line M017 and effects of these interactions on diseases by *Pythium ultimum* and *Collectotrichum graminicola*. *Phytopathol.*, 2004b; 94: 147-153.
98. Woo Sheridan L, Ruocco M, Vinale F, Nigro M, Marra R, Lombardi N, Pascale A, Lanzuise S, Manganiello G, Lorito M. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. *Open Mycol. J.* 2014; 8 (Suppl-1, M 4): 71-126.
99. Yedidia I, Shores M, Kerem Z, Benhamou N, Kapulnik Y, Chet I. Concomitant induction of systemic resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* in cucumber by *Trichoderma asperellum* (T-203) and accumulation of phytoalexins. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2003; 69: 7343-7353.
100. Hanson LE, Howell CR. Elicitors of plant defence responses from biocontrol strains of *Trichoderma virens*. *Phytopathol.*, 2004; 94: 171-176.
101. Alfano G, Lewis Ivey LM, Cakir C, Bos JIB, Miller SA, Madden Kamoun VL, Hoitink JAH. Systemic modulation of gene S. expression in tomato by *Trichoderma hamatum* 382. *Biolog Control*, 2007; 97: 429-437.
102. Naher L, Ho CL, Tan SG, Yusuf UK, Abdullah F. Cloning transcripts encoding chitinases from *Elaeis guineensis* Jacq. and their expression profiles in response to fungal infections. *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 2011; 76: 96-103.
103. Ahmed AS, Sanchez CP, Candela ME. Evaluation of induction of systemic resistance in pepper plants (*Capsicum annuum*) to *Phytophthora capsici* using *Trichoderma harzianum* and its relation with capsidiol accumulation. *Eur. J. Plant Pathol.*, 2000; 106: 817-829.
104. Lo, CT, Liao TF, Deng TC. Induction of systemic resistance of cucumber to cucumber green mosaic virus by the root-colonizing *Trichoderma* spp. *Phytopathol.*, 2000; 90: S47.
105. Bae H, Roberts DP, Lim HS, Strem M, Park SC, Ryu CM. Endophytic *Trichoderma* isolates from tropical environments delay disease and induce resistance against

- Phytophthora capsici* in hot pepper using multiple mechanisms. Mol Plant-Microbe Interact., 2011; 24: 336–351.
106. Hoitink, HAJ, Madden LV, Dorrance AE. Systemic resistance induced by *Trichoderma* spp.: Interactions between the host, the pathogen, the biocontrol agent, and soil organic matter quality. Phytopathol., 2006; 96: 186-189.
  107. De Meyer G, Bigirimana J, Elad Y, Hofte M. Induced systemic resistance in *Trichoderma harzianum* T39 biocontrol of *Botrytis cinerea*. Eur. J. Plant Pathol., 1998; 104: 279–286.
  108. Levy NO, Meller HY, Haile ZM, Elad Y, David E, Jurkevitch E, Katan J. Induced resistance to foliar diseases by soil solarization and *Trichoderma harzianum*. Plant Pathol., 2015; 64: 365–374.
  109. Seaman A. Efcacy of OMRI-approved products for tomato foliar disease control. N Y State Integr Pest Manag Program Publ.,2003; 129: 164–167.
  110. Koike N, Hyakumachi M, Kageyama K, Tsuyumu S, Doke N. Induction of systemic resistance in cucumber against several diseases by plant growth-promoting fungi: lignification and superoxide generation. Eur. J. Plant Pathol. 2001; 107: 523–533.
  111. Shores M, Yedidia I, Chet I. Involvement of jasmonic acid/ ethylene signaling pathway in the systemic resistance induced in cucumber by *Trichoderma asperellum* T203. Phytopathology, 2005; 95: 76–84.
  112. Alizadeh H, Behboudi K, Ahmadzadeh M, Javan-Nikkhah M, Zamioudis C, Pieterse CM, Bakker PA. Induced systemic resistance in cucumber and *Arabidopsis thaliana* by the combination of *Trichoderma harzianum* Tr6 and *Pseudomonas* sp. Ps14. Biol. Control, 2013; 65(1): 14–23.
  113. Salas-Marina MA, Isordia-Jasso M, Islas-Osuna MA, Delgado-Sánchez P, Jiménez-Bremont JF, Rodríguez-Kessler M, Rosales-Saavedra MT, Herrera-Estrella A, Casas-Flores S. The Epl1 and Sm1 proteins from *Trichoderma atroviride* and *Trichoderma virens* differentially modulate systemic disease resistance against different life style pathogens in *Solanum lycopersicum*. Front. Plant Sci., 2015; 6: 77.
  114. Howell CR, Hanson LE, Stipanovic RD, Puckhaber LS. Induction of terpenoid synthesis in cotton roots and control of *Rhizoctonia solani* by seed treatment with *Trichoderma virens*. Phytopathol., 2000; 90: 248-252.
  115. Ajitha PS, Lakshmedevi N. Effect of volatile and von-volatile compounds from *Trichoderma* spp. against *Colletotrichum capsici* incitant of anthracnose on Bell peppers. Nature and Sci., 2010; 8: 265-296.
  116. Sivasithamparam K, Ghisalberti EL. Secondary metabolism in *Trichoderma* and *Gliocladium*. In: *Trichoderma and Gliocladium*. (Eds.): Harman GE and Kubicek CP. Taylor and Francis, London, 1998, 1: 139-191.
  117. Demain AL and Fang A. The natural functions of secondary metabolites. Advances in Biochemi Engineer Biotechnol., 2000; 69: 1-39.
  118. Ghisalberti EL, Narbey MJ, Dewan MM, Sivasithamparam K. Variability among strains of *Trichoderma harzianum* in their ability to reduce take-all and to produce pyrones. Plant and Soil, 1990; 121: 287-291.
  119. Bruckner H, Graf H. Paracelsin, a peptide antibiotic containing alpha-aminoisobutyric acid, isolated from *Trichoderma reesei* Simmons Part A. Experientia., 1983; 139: 528-530.
  120. Bruckner H, Graf H, Bokel M. Paracelsin; characterization by NMR spectroscopy and circular dichroism, and hemolytic properties of a peptaibol antibiotic from the cellulolytically active mold *Trichoderma reesei* Part B. Experientia., 1984; 40: 1189-1197.

121. Reese ET. History of the cellulose program at the U.S. Army Natick development center. *Biotechnol. Bioeng Sympos.*, 1976; 6: 9-20.
122. Galante YM, Conti A and Monteverdi R. Application of *Trichoderma* enzymes in the food and food industries. In: *Trichoderma and Gliocladium*, (Eds.): Harman GE and Kubicek CP. Vol. 2. Taylor and Francis, London, 1998b. pp. 327-342.
123. Galante YM, Conti A and Monteverdi R. Application of *Trichoderma* enzymes in the textile industry. In: *Trichoderma and Gliocladium*, (Eds.): Harman GE and Kubicek CP. Vol. 2. Taylor and Francis, London, 1998a. pp. 311-326.
124. Lin Y and Tanaka S. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospect. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2006; 69: 627-624.
125. Gimbert HS, Margeor A, Dolla A, Jan G, Molle D, Lignon S, Mathis H, Sigoillot CJ, Monot F and Asther M. Comparative secretoma analyses of two *Trichoderma reesei* RUT-C30 and CL847 hypersecretory strains. *Biotechnol for Biofuels.*, 2008; 1: 18.
126. Nevalaines H, Suominen P, Taimisto K. On the safety of *Trichoderma reesei*. *J. Biotech.*, 1994; 37: 193-200.
127. Schaster A, Schmoll M. Biology and Biotechnology of *Trichoderma*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2010; 87: 787-799.
128. Anis M, Zaki MJ, Dawar S. Development of a Naalginate based bioformulation and its use in the management of charcoal rot sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Pak. J. Bot.*, 2012; 44: 1167-1170.
129. Lumsden, RD, Lewis, JA, Lock JC. Managing soilborne plant pathogens with fungal antagonists. In: *In pest management: Biology based technologies*. American Chemical Society Publishers, Washington, 1993; pp. 196-203.
130. Chou C, Castilla N, Hadi B, Tanaka T, Chib S, Sato I. Rice blast management in Cambodian rice fields using *Trichoderma harzianum* and a resistant variety. *Crop Protect.*, 2020; 135: 104864.
131. Pal KK, Gardener BMS. Biological control of plant pathogens. *The Plant Health Instructor*, 2006; pp 1-25.
132. Kannahi M, Dhivya S, Senthil Kumar R. Biological control on rice false smut disease using *Trichoderma* species. *Int. J. Pure. App. Biosci.*, 2016; 4(2): 311-316.
133. Aggarwal R, Srivastava KD, Singh DV, Bahadur P, Nagarajan S. Possible biocontrol of loose smut of wheat. *J. Bio. Control*, 1991; 6: 114-115.
134. Aggarwal R, Singh DV, Srivastava KD, Bahadur P. The potential of antagonists for biocontrol of *Neovossia indica* causing Karnal bunt of wheat. *Indian J. Biol. Control*, 1996; 9: 69-70.
135. Saravanakumar K, Li Y, Yu C, Wang Q, Wang M, Sun J, Gao J, Chen J. Effect of *Trichoderma harzianum* on maize rhizosphere microbiome and biocontrol of Fusarium Stalk rot. *Sci Rep.*, 2017; 7: 1771.
136. Purohit J, Singh Y, Bisht S, Srinivasaraghvan A. Evaluation of antagonistic potential of *Trichoderma harzianum* and *Pseudomonas fluorescens* isolates against *Gloeocercospora sorghi* causing zonate leaf spot of sorghum. *Bioscan*, 2013; 8(4): 1327-1330.
137. Saber WI, Ghoneem KM, Rashad YM, Al-Askar AA. *Trichoderma harzianum* WKY1: an indole acetic acid producer for growth improvement and anthracnose disease control in sorghum. *Biocontrol Sci. Tech.*, 2017; 27(5): 654-676.
138. Pandey RN, Gohel NM, Jaisani P. Management of wilt and root rot of chickpea caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri* and *Macrophomina phaseolina* through seed biopriming and soil application of bio-Agents. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 2017; 6(5): 2516-2522.

139. Jaisani P, Prajapati HN, Yadav DL, Pandey RN. Seed biopriming and *Trichoderma* enriched FYM based soil application in management of chickpea (*Cicer arietinum* L.) wilt complex. J Pure Appl Microbiol., 2016; 10(3): 2453–2460.
140. Dubey SC, Tripathi A, Singh B. Combination of soil application and seed treatment formulations of *Trichoderma* species for integrated management of wet root rot caused by *Rhizoctonia solani* in chickpea (*Cicer arietinum*). Indian J Agric Sci., 2012; 82(4): 357–364.
141. Ram H, Pandey RN. Efficacy of bio-control agents and fungicides in the management of wilt of pigeon pea. Indian Phytopath., 2011; 64(3): 269–271.
142. Meena BN, Pandey RN, Dama R. Seed bio-priming for management of root rot and blight of mungbean incited by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) goid. and *Rhizoctonia solani* Kuhn. J. Pure Appl. Microbiol., 2016; 10(2): 1223–1510.
143. Dubey SC, Patel B. Mass multiplication of antagonists and standardization of effective dose for management of web blight of urd and mung bean. Indian Phytopath., 2002; 55: 338–341.
144. Pandey RN, Gohel NM, Jaisani P. Management of wilt and root rot of chickpea caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri* and *Macrophomina phaseolina* through seed biopriming and soil application of bio-Agents. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci., 2017; 6(5): 2516–2522.
145. Falah Kuchlan P, Ansari K, Kuchlan MM, Ansari MM. Efficient application of *Trichoderma viride* on soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seed using thin layer polymer coating. Legume Res., 2019; 42(2): 60–64.
146. Rakholiya KB, Jadeja KB. Effect of seed treatment of biocontrol agents and chemicals for the management of stem and pod rot of groundnut. Int. J. Plant Prot., 2010; 3(2): 276–278.
147. Hossain MH, Hossain I. Evaluation of three botanicals, bavistin and BAU-biofungicide for controlling Leaf spot of groundnut caused by *Cercospora arachidicola* and *Cercosporidium personatum*. Agriculturists, 2014; 12(1): 41–49.
148. Hicks E, Bienkowski D, Braithwaite M, Kirstin M, Richard Falloon R, Stewart A. *Trichoderma* strains suppress *Rhizoctonia* diseases and promote growth of potato. Phytopathologia Mediterranea, 2014; 53(3): 502–514.
149. Nirmalkar VK, Tiwari RKS, Singh S. Efficacy of bio-agents against damping of in solanaceous crops under nursery conditions. Int. J. Plant Protect., 2018; 11(1): 1–9.
150. Sharon E, Bar-Eyal M, Chet I, Herrera-Estrella A, Kleifeld O, Spiegel Y. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. Phytopathology, 2001; 91: 687–693.
151. Yasmeen R, Siddiqui ZS. Physiological responses of crop plants against *Trichoderma harzianum* in saline environment. Acta Bot. Croat, 2017; 76(2): 154–162.
152. Hidangmayum A, Dwivedi P. Plant responses to *Trichoderma* spp. and their tolerance to abiotic stresses: a review. J Pharmacogn Phytochem., 2018; 7(1): 758–766.
153. Pandey V, Ansari MW, Tula S, Yadav, Sahoo RK, Shukla N, Bains G. Dose-dependent response of *Trichoderma harzianum* in improving drought tolerance in rice genotypes. Planta, 2016; 243: 1251–1264.
154. Harman GE. Myths and dogmas of biocontrol. Changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. Plant Dis., 2000; 84: 377–393.
155. Hashem Abeer EF, Abd\_Allah AA, Alqarawi AA, Al Huqail AA, Egamberdieva D. Alleviation of abiotic salt stress in *Ochradenus baccatus* (Del.) by *Trichoderma hamatum* (Bonord.) Bainier. J. Plant Interact., 2014; 9(1): 857–868.

156. Viterbo A, Landau U, Kim S, Chernin L, Chet I. Characterization of ACC deaminase from the biocontrol and plant growth promoting agent *Trichoderma asperellum* T203. FEMS Microbiol. Lett., 2010; 305: 42–48.
157. Zhang M, Liu JM, Zhao JL, Li N, Chen RD, Xie KB, Zhang WJ, Feng KP, Yan Z, Wang N, Dai JG. Two new diterpenoids from the endophytic fungus *Trichoderma* sp. Xy24 isolated from mangrove plant *Xylocarpus granatum*. Chinese Chemical Letters, 2016; 27(6): 957-960.
158. Ahmad P, Abeer H, Elsayed FAA, Alqarawi AA, Rifat J, Dilfuza E. Role of *Trichoderma harzianum* in mitigating NaCl stress in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) through antioxidative defense system. Front Plant Sci., 2015; 6: 868.
159. Tellez-Vargas J, Rodríguez-Monroy M, López-Meyer M, Montes-Belmont R, Sepúlveda-Jiménez G. *Trichoderma asperellum* ameliorates phytotoxic effects of copper in onion (*Allium cepa* L.). Environ. Exp. Bot., 2017; 136: 85–93.
160. Cao L, Jiang M, Zeng Z, Du A, Tan H, Liu Y. *Trichoderma atroviride* F6 improves phytoextraction efficiency of mustard (*Brassica juncea* (L.) Coss.var. *foliosa* Bailey) in Cd, Ni contaminated soils. Chemosphere, 2008; 71(9): 1769–1773.
161. Dana MM, Pintor-Toro JA, Cubero B. Transgenic tobacco plants overexpressing chitinases of fungal origin show enhanced resistance to biotic and abiotic stress agents. Plant Physiol., 2006; 142: 722–730.
162. Ghorbanpour A, Salimi A, Ghanbary MAT, Pirdashti H, Dehestani A. The effect of *Trichoderma harzianum* in mitigating low temperature stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. Sci Hortic., 2018; 230: 134–141.
163. Montero-Barrientos M, Hermosa R, Cardoza, RE, Gutierrez S, Nicolás C, Monte E. Transgenic expression of the *Trichoderma harzianum* HSP70 gene increases Arabidopsis resistance to heat and other abiotic stresses. J. Plant Physiol., 2010; 167: 659–665.