

Derleme
(Review)

Necip TOSUN^{1*}

Emin ONAN²

¹Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü 35100 Bornova-İZMİR

²Manisa Celal Bayar Üniversitesi Alaşehir Meslek Yüksek Okulu 45600 Alaşehir-MANİSA

¹Orcid No: 0000-0001-5804-5760

²Orcid No: 0000-0001-6888-2132

*sorumlu yazar: neciptosun@hotmail.com

Anahtar Sözcükler:

Bitki immunitesi uyarıcıları, elisitör, bitki hastalık yönetimi, bitki aktivatörü.

Keywords:

Plant immunity inducers, elicitor, plant diseases management, plant activators.

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.,2020, 57 (1):145-156
DOI: [10.20289/zfdergi.526102](https://doi.org/10.20289/zfdergi.526102)

Bitki Hastalıklarının Entegre Yönetiminde Bitki İmmunitesi Uyarıcılarının Potansiyel Kullanımı

Potential Usage of Plant Immunity Inducers in Integrated Plant Disease Management

Alınış (Received): 29.01.2019

Kabul Tarihi (Accepted): 12.03.2020

ÖZ

Bitki hastalıklarının kontrolü büyük oranda fungusitlerin, bakterisitlerin ve insektisitlerin kullanımına dayanmaktadır. Bu kimyasallar patojenlere ve/veya bitki hastalıklarının vektörlerine toksik olan bileşiklerdir. Ancak, kimyasal pestisitlerin ve/veya parçalanma ürünlerinin çevre kirliliği ve gıda güvenliği sorunları nedeniyle kullanımınlarını azaltmak/sınırlamak arayışı gündemde ilk sıraya oturmuştur. Bitki immunitesinin nasıl arttırılacağı, son yıllarda bitki korumada yeni ve hızlı gelişen araştırma alanıdır. Elisitör olarak da adlandırılan bitki immunitesini uyarıcı bileşikler biyolojik olan ve olmayan aktif moleküller olmak üzere iki grupta toplanabilir. Biyolojik olanlar patojen ile konukçusu arasındaki etkileşim sırasında üretilen aktif küçük moleküllerdir. Bunlar metabolitler, oligosakkaritler, glikoproteinler, glikopeptidler, proteinler, polipeptidler, lipitler, maya fermentasyon ürünü cerevisane ve diğer hücresel bileşenlerdir. Biyolojik olmayan aktif moleküller ise, sentetik bitki immunitesini uyarıcı kimyasallardır. Başlıcaları; SA türevleri, isonikotinic asit türevleri (INA), thiadiazole ve isothiazole türevleri, JA analogu ve β-aminobutyric asit (BABA)'tir. Bitki immunitesi uyarıcılarının bitkisel üretimde pratikte kullanılması ilaçlama programlarında kimyasal pestisitlerin kullanım alanını daraltacak, buna bağlı olarak da sürdürülebilir tarımın gelişmesine katkıda bulunacaktır. Bu derlemede bitkisel üretimde biyotik hastalıklara karşı yeni kullanılmaya başlanan ve kullanım alanı gittikçe genişleyen "biyolojik kaynaklı bitki immunitesi uyarıcıları" ile "sentetik bitki immunitesi uyarıcı kimyasallar"a dikkat çekilmektedir.

ABSTRACT

Management of plant diseases relies substantially on the application of fungicides, bactericides and insecticides. These pesticides kill or suppress both the pathogens and their vectors. Either overuse or inappropriate use of chemical pesticides could give rise to environmental pollution, food safety concern and side effects of non-target organisms. Therefore, search for alternative ways of both reducing the use of chemical pesticides has been on the top of the agenda. Methods that increase plant immunity have been a new and rapidly developing field in plant protection research in recent years. Immunity inducers can be divided into nonbiologically and biologically active molecules. Biologically active molecules are active small molecules produced during the interaction between the pathogen and its host. They are metabolites, oligosaccharides, glycoproteins, glycopeptides, proteins, polypeptides, lipids, cerevisane obtained by yeast fermentation processes and other cellular components. Nonbiologically active molecules are synthetic immunity inducers. These are SA derivatives, Isonicotinic acid derivatives (INA), Thiadiazole and Isothiazole derivatives, JA analog and β-aminobutyric acid (BABA). The uses of plant immunity inducers in practice in plant production could decrease both the numbers of applications and the total amount of pesticides in spraying programs, thus could contribute the development of sustainable agriculture. In this review, recent studies are included on proteins, oligosaccharides and microbial stimulants from biologically active molecules, and SA derivatives, isonicotinic acid derivatives (INA), thiadiazole and isothiazole derivatives, JA analog, β-aminobutyric acid (BABA) from synthetic immunity inducers related plant disease management.

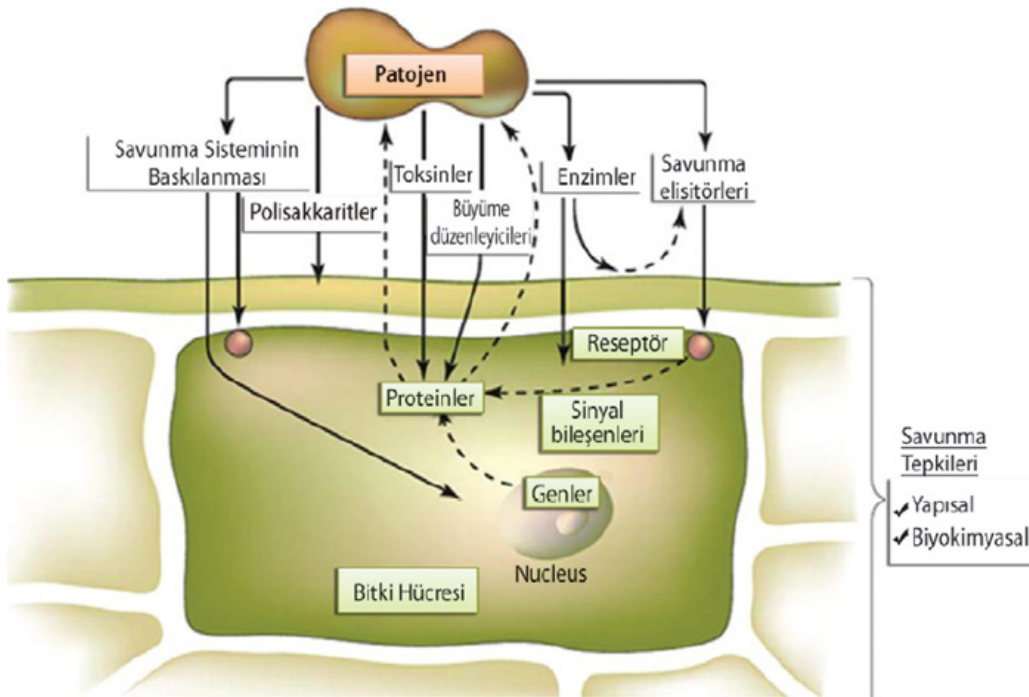
GİRİŞ

Tarımsal ürünler insanların önemli besin kaynaklarıdır. Ancak bitkiler çeşitli bitki hastalıklarına ve önemli ekonomik kayıplara neden olan patojen mikroorganizmaların saldırısına uğrarlar. Bitkilerde patojen saldırılarından kaynaklanan verim kayıplarını önlemek için geleneksel kimyasal pestisitler geliştirilmiştir. Pestisitler patojenler üzerinde doğrudan öldürücü etki yapan kimyasallardır. Ancak bu etkiyi yaparken yararlı mikroorganizmalar üzerinde, üreticiler ve tüketicilerin sağlığı üzerinde olumsuz etkilere de neden olurlar. Ayrıca geleneksel pestisitlerin sürekli uygulanması, seleksiyon sonucu patojen popülasyonunda duyarlı bireylerin yok olmasına, pestisite dayanıklı bireylerin ise popülasyonda baskın duruma gelmesine yol açmaktadır. Sonuçta spesifik pestisit etkisiz hale gelebilmektedir (Burketova et al., 2015).

Son yıllarda kimyasal pestisitlerin aşırı ve uygun olmayan kullanımlarından kaynaklanan çevre kirliliği ve gıda güvenliği sorunları konularına dünya genelinde büyük ilgi gösterilmektedir (Dai, 2013). Bu bağlamda kimyasal pestisitlerin kullanımını azaltmak için ülkeler giderek toksik olmayan seçenekleri gündemlerine almaya başlamışlardır.

Bitki immunitisini arttıran ve sağlıklı bitki gelişimini destekleyen stratejiler, bitki hastalıklarının önlemek için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu tür stratejilerin pestisitlere olan bağımlılığı azaltacağı kolayca anlaşılmaktadır (Jones et al. 2013). Bu nedenle bitki immunitisini arttıran yöntemler, son yıllarda bitki korumada yeni ve hızlı gelişen araştırma ve geliştirme alanı olarak öne çıkmıştır.

Spesifik immunitite hücreleri geliştirmiş olan hayvanların aksine, bitkilerde hemen hemen her hücre patojen saldırılarıyla savaşmak için bir "immunitite hücresi" olarak hareket edebilmektedir (Şekil 1) (Agrios, 2005). Bitkide hüresel boyutta başlayan ve bir dizi sinyalizasyonlar ile devam eden ve sonucunda oluşan savunma yanıtlarını da kapsayan bu sistem için "bitki immünitesi" terimini kullanmak uygun olacaktır. Bitkinin lokal bir dokusunda, bitkinin doğuştan gelen immunitesinin uyarılması, savunma sinyallerinin sistemik olarak sağlıklı dokulara taşınmasına yol açar. Bu olay, patojenlere karşı uzun-süreli dayanıklılık sağlar. Bu tür dayanıklılık, sistemik kazanılmış dayanıklılık (SAR) olarak bilinmektedir. SAR sinyal moleküllerinin sırasıyla floem yoluyla (bitki içinde) veya hava yoluyla (bitkiler arası uçucu bileşikler) hareket edebildiği saptanmıştır (Şekil 2) (Adam et al., 2018).



Şekil 1. Hüresel düzeyde bitkilerde oluşan bitki immunitesinin şematik görünümü (Agrios, 2005).

Figure 1. Schematic representation of pathogen interactions with host plant cells (Agrios, 2005).



Şekil 2. Sistemik kazanılmış dayanıklılık (SAR) gelişimi. SAR sinyal molekülleri, infekteli organdan (yapraklar) bitkinin patojensiz uzak kısımlarına hareket eder. Yeşil ve kırmızı oklar sinyal moleküllerinin sırasıyla floem yoluyla veya hava yoluyla (bitki içinde veya bitkiler arası uçucu bileşikler) hareketini göstermektedir (Adam et al., 2018).

Figure 2. Development of systemic acquired resistance (SAR). SAR signal molecules moves from infected organs (leaves) to far away pathogen free parts of plant. Green and red arrows show movements of signal molecules, respectively, via phloem or air (volatile compounds within plants or among plants (Adam et al., 2018).

Elisitör olarak da bilinen daha kapsamlı ismiyle bitki immunitesi (bağışıklığı) uyarıcıları, bitkilerde sistemik kazanılmış dayanıklılığa neden olabilen immun-aktif bileşiklerdir. Bu bileşikler kaynaklarına bağlı olarak biyolojik olan ve olmayan aktif moleküller olmak üzere iki grupta toplanabilir. Biyolojik olmayan aktif moleküller sentetik bitki savunma elisitörlerini içerir (Bektas and Eulgem, 2015). Diğer deyişle bunlara "sentetik bitki immunitesi uyarıcı kimyasallar" da diyebiliriz. Bunlar başlıca; SA türevleri, isonikotinic asit türevleri (INA), thiadiazole ve isothiazole türevleri, JA analoğu ve β -aminobutirik asit (BABA)'tir. "Biyolojik bitki immunitesi uyarıcı moleküller" ise; bir patojen ile konukçusu arasındaki etkileşim sırasında üretilen aktif küçük moleküllerdir (Zhou and Wang, 2018; Tosun ve Yiğit, 2012). Biyolojik aktif moleküller; metabolitleri, oligosakkaritleri, glikoproteinleri, glikopeptitleri, proteinleri, polipeptitleri, lipitleri ve diğer hücrel bileşenleri içerir (Dewen et al. 2017).

Bitki koruma ürünü ruhsatı almış bazı bitki immunitesi uyarıcıları ise; Messenger (harpin-ABD), Bion (Benzothiadiazole-İsviçre), Probenazole (Japonya), Vacciplant (Laminarin-Fransa), Chitosan (Kore), Actigard (Acibenzolar-S-methyl-ABD, İsviçre), Romeo, Julietta (Cerevisane-Fransa), Atailing (Çin), Serenade (*Bacillus subtilis*-ABD), Oligosaccharins (Çin) (Dewen et al. 2017) dir.

Bu uyarıcılar bitki hücrelerinin yüzeyindeki reseptörler tarafından tanınır ve bitki savunma tepkilerini tetikleyerek sistemik dayanıklılığa neden olurlar (Heese et al. 2007). Böylece, patojenleri doğrudan öldürmek yerine, patojen saldırılarını dolaylı yoldan önlerler.

Sistemik immunitenin diğer bir türü "uyarılmış sistemik dayanıklılık (ISR)" tir. Bu dayanıklılığı patojen olmayan yararlı mikroorganizmalar uyarır (Pieterse et al., 2014). ISR ve SAR her ikisi de sistemik savunma mekanizması olmasına karşın, çeşitli şekillerde farklılık gösterirler. Bu farklılıklardan birincisi, ISR ve SAR'ın uyarılmasının temelde farklı olmasıdır. SAR patojen etkileşimleri ile uyarılırken, ISR patojen olmayan mikroorganizmalar tarafından uyarılmaktadır. İkincisi, ISR ve SAR geniş etki spektrumlu olsalar da etki spektrumlarının kısmen örtüşmeleridir. Üçüncüsü, SA, SAR için kritik olmasına karşın, ISR'nin SA'ya bağımlılığının az olması ve çoğunlukla JA ve etilen (ET) tarafından düzenlenmesidir (Pieterse et al., 2014). Dördüncüsü, SAR'a PR genleri ve proteinlerinin uyarılması eşlik ederken SA'dan bağımsız ISR'de böyle bir uyarılma söz konusu değildir. Savunma mekanizmalarının doğrudan uyarılması yerine, ISR ile koşullandırılan bitkiler, patojenlere karşı daha hızlı ve/veya daha güçlü savunma tepkisi gösterebilmektedir (Conrath et al., 2006; Baş, 2018).

Günümüzde, bitki immunitesi uyarıcıları konusundaki araştırmaların aşırı duyarlı proteinler, deniz yosunu, maya ekstraktı ve *Trichoderma harzianum* üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Kullanılan ana ürünler arasında harpin proteinleri, deniz yosunu sıvı gübrelere, deniz yosunu tozu ve biyolojik etmenler bulunmaktadır (Dewen et al., 2017).

Bitki immunitesi uyarıcılarının geliştirilmesi ve uygulanabilir duruma getirilmesi, sağlıklı bitki gelişimini sağlamak, hastalıkların ortaya çıkmasını önlemek, kimyasal pestisitlere olan bağımlılığı azaltmak ve kullanımlarını en alt düzeye indirmek açısından önemlidir. Bu nedenle bitki immunitesi uyarıcıları, tarımsal ürünlerdeki pestisit kalıntılarının azaltılmasında ve gıda güvenliğinin sağlanmasında yeni bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu derlemede “biyolojik kaynaklı bitki immunitesi uyarıcıları” olan proteinler, oligosakkaritler ve mikrobiyal uyarıcılar ile “sentetik bitki immunitesi uyarıcı kimyasallar” olan SA türevleri, isonikotinic asit türevleri (INA), thiadiazole ve isothiazole türevleri, JA analogu, β -aminobutirik asit (BABA) konusunda yapılmış son çalışmalara yer verilmiştir.

BİTKİ İMMUNİTESİ UYARICILARI

A. Biyolojik Bitki İmmunitesi Uyarıcılar

a. Bitki immunitesini uyarıcı proteinler

Bitkilerde dayanıklılık olgusu ilk kez 1963 yılında gözlenmiştir. 1992 yılına gelinceye kadar bitki dayanıklılığını hipersensitif proteinin (harpin) uyardığı kanıtlanmamıştır. Bu protein, ateş yanıklığı hastalığına neden olan bakterinin (*Erwinia amylovora*) protein materyalidir (Wei et al., 1992).

Harpinler, bitkilerde verimi arttırabilmekte, kaliteyi iyileştirebilmekte, viral hastalıklara ve yaprak bitlerine karşı dayanıklılığı arttırabilmektedir. Bu patojen bakteri proteinini içeren bitki koruma ürünü Messenger (harpin proteini) Cornell Üniversitesi'nde W. Zhongmin tarafından bulunmuştur. Messenger, Amerika Birleşik Devletleri'nde Eden Biotechnology şirketi tarafından ruhsatlandırılmış ve tüm ürünlerde kullanımına izin verilmiştir (Çizelge 1). 2000'de bu bitki koruma ürünü, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından verilen Presidential Green Chemistry Challenge Ödülünü kazandı ve bitki koruma ve tarım ürünleri güvenliğinde ilk yeşil devrim olarak tanımlanmıştır. 2001 yılından beri ABD, Meksika, İspanya ve diğer ülkelerde tütün, sebze ve meyvelerde kullanılmaktadır. Çin'de de 2007 yılında

ruhsatlandırılan bu ürün domates, biber, tütün ve kolzada kullanılmaktadır. Özgün etki mekanizması, hastalık ve böceklere karşı bitkilerde oluşturduğu belirgin dayanıklılık etkisi nedeniyle bilim insanları ve üreticiler tarafından yoğun ilgi görmektedir (Dewen et al. 2017). Messenger Gold Türkiye'de de “Bitki Aktivatörleri” sınıfında ruhsatlandırılmış olmakla birlikte FRAC'da “Bitki İmmunitesi Uyarıcıları (P)” sınıfında yer almamaktadır (Anonim, 2020b).

Çinli bilim insanları yaptıkları çalışmalarla *Alternaria tenuissima*, *Magnaporthe oryzae*, *Verticillium dahliae*, *Botrytis cinerea*, *Brevibacillus laterosporus*, ve *Bacillus amyloliquefaciens* dahil geniş bir dizi patojenden çeşitli bitki immunitesi-uyarıcı proteinler (PeaT1, Hrip1, MoHrip1, MoHrip2, PemG1, PevD1, BcGs1, PebC1, PeBL1 ve PeBA1) elde etmişlerdir (Chen et al. 2012, 2014a ve b; Kulye et al. 2012; Wang et al. 2016; Zhang et al. 2015). Bu proteinlerin yeni protein kaynaklı bitki koruma ürünlerine dönüşme potansiyeli bulunmaktadır. Çin'de, düşük maliyetle yüksek verimlilikte bitki immunitesi-uyarıcı proteinler üretmek için yeni teknolojiler geliştirilmektedir (Dewen et al. 2017).

Birçok çalışma bitki bağışıklık-uyarıcı proteinler için çok işlevli, çok endeksli bir değerlendirme sistemi kurmaya odaklanmıştır. Böyle bir sistem, protein-uyarımlı bitki dayanıklılığını ve artan bitki gelişim mekanizmasını açıklamaya yardımcı olabilmekten yanı sıra bu mekanizmalar ve ilgili sinyal iletim yolları için moleküler temeli ortaya çıkarmaya da yardımcı olabilir. Bitki immunitesi-uyarıcı proteinlerin mekanizmalarını ortaya koymak için araştırmacılar, tütün hücre membranında bitki immunitesi-uyarıcı proteinlerin bağlanma yerlerini, ilk bitki savunma sinyallerinin aktivasyonunu (pH artar ve H₂O₂ ve nitrik oksit [NO] üretimi) ve savunma ile ilgili genlerin, proteinlerin ve protein kinazların seviyelerini analiz ettiler (Chen et al. 2012, 2014a and b; Wang et al. 2011; Zhang et al. 2014). Bu sonuçlara göre, aşırı duyarlılık yanıtının, Tütün mozaik virüsü (TMV) dayanıklılığının, oksijen patlamalarının, savunma ile ilgili genlerin ekspresyonunun, NO üretiminin, hücre dışı sıvı pH'sındaki değişikliklerin ve bitki gelişimindeki değişikliklerin ölçülmesini kapsayan çok fonksiyonlu, çok endeksli bir değerlendirme sistemi kurulmuştur (Kulye et al. 2012; Liu et al. 2016; Zhang et al. 2015).

b. Oligosakkaritler

Deniz yosunu ve ekstraktlarının yetiştiricilikte kullanılması birçok uluslararası kuruluş ve ülkelerce kabul edilmiştir (Leonard et al. 2012). Avrupa Birliği'nde ve Çin'de deniz yosunu ürünlerinin zararlı kontrolünde, çiftlik hayvanları yemlerinde, toprak verimliliğinde

kullanılmasına izin verilmiştir. Son yıllarda deniz yosunu ve ekstraktlarının tarımda uygulanmasına daha fazla önem verilmekte ve bu alandaki teknolojiler sürekli iyileştirilmektedir ([Arioli et al. 2015](#)).

Oligosakkaritler, Çin'de bitki immunitesi uyarıcıları olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır. Doğal kitosan oligosakkaritleri ve trehaloz, etkili bitki immunitesi uyarıcılarıdır ve çeşitli bitkilerde hastalığa dayanıklılığı arttırdığı gösterilmiştir ([Tsutsui et al. 2015](#)). Bitki-patojen etkileşimi sürecinde, bitki immunitesinin uyarılmasına aracılık eden hücre çeperi, dayanıklılığı arttırmak için oligosakkaritlerin salgılanmasına neden olur. Oligosakkaritler, bu amaçla kullanılabilir ve geliştirilebilir ([Yin et al. 2016](#)). Oligosakkarit elemanları üzerindeki araştırmalar bitki koruma alanında yoğunlaşmıştır ve bu tür bileşiklere dayalı bitki koruma ürünlerinin sayısı giderek artmaktadır ([Dewen et al. 2017](#)).

Kitosan, bazı patojen bakterilerin hücre çeperlerinin bir bileşenidir ve bitki-patojen etkileşimleri sırasında salınan bu polimerin bozunma ürünleri bitki savunma yanıtlarını tetikleyerek hastalığa dayanıklılığı arttırmaktadır. Kitosan hem bitki gelişmesini hem de abiyotik stres toleransını arttırmak ve patojene dayanıklılığı uyarmak için bir biyostimulant olarak kullanılmaktadır (Pichyangkura and Chadchawan 2015). Kitosanın uyardığı bitki savunma sistemi NO sinyal yolu ile tetiklenmektedir ([Raho et al. 2011](#); [Zhang et al. 2011a](#)).

Ticari boyutta birkaç oligosakkarit başarıyla üretilmektedir. Günümüzde bu tür bitki koruma ürünleri Çin'de ruhsatlıdır ([Dewen et al. 2017](#)). Kitosan birçok ucuz hammadde bulunur ve kolayca bozulur, kitosan ve türevleri kullanılarak birçok ürün geliştirilmiştir ([Yin et al. 2016](#)). Çin'de araştırmacılar, karışım pestisit formülasyonlarına eklemek için biyolojik kitosan ve proteinlerin biyolojik preparatlarını geliştirmeye odaklanmıştır. Kitosan ayrıca Güney Kore Tarım ve Orman bakanlığı tarafından çevre dostu bitki koruma ürünü olarak ruhsatlandırılmıştır ([Dewen et al. 2017](#)). Çin'de, bazı şekerler bitki immunitesi uyarıcıları olarak ruhsatlandırılmıştır. Tek başına veya kitosan oligosakkarit ürünlerinin bileşenleri olarak kullanılmak üzere 80'den fazla ürün geliştirilmiştir ([Cavazza et al. 2018](#); [Zanzotto and Morroni, 2016](#); [El Hadrami et al., 2010](#); [Kishimoto et al., 2010](#)).

Kitin ve kitosanın yanı sıra, bitki ve patojen hücre çeperlerinin diğer birçok polisakkarit bileşenleri bitki-patojen etkileşimleri sırasında salınır. Bu ürünlerin bazı bitkilerde hastalığa dayanıklılığı kuvvetli şekilde uyardığı gösterilmiştir ([Dewen et al. 2017](#)).

c. Mikrobiyal uyarıcılar

Günümüzde 60'tan fazla ülkede 100'den fazla biyolojik bitki koruma ürünü kullanılmaktadır. Toprak kökenli hastalıkların biyolojik savaşımında kullanılan fungal biyolojik bitki koruma ürünleri çevresel kirlilik ve patojenlerde dayanıklılık sorunu yaratmamakta, organik üretimde de kullanılabilir. Biyolojik bitki koruma ürünleri köklerde koruyucu bir tabaka oluşturabilmekte ve bitki gelişimini teşvik edebilmektedir ([Soliman et al. 2013](#); [Marchand, 2018](#)).

Mikroorganizmalar bitki immunitesi tepkilerini de uyurabilmekte ve daha sonraki patojen saldırılarına karşı bitkileri dayanıklı kılabilir. Trichoderma fungusunun biyolojik savaşımında kullanımı ile ilgili uzun bir geçmişi vardır ve bu fungusun ticari ürünlere dönüştürülmesi amacıyla üzerinde çok fazla araştırma yapılmıştır ([Perazzolli et al. 2011](#)). Günümüzde bu fungusun ticari ürünleri küresel ölçekte geniş ölçüde dağıtılmaktadır.

Trichoderma spp. topraklarda yaygın bulunan yararlı mikroorganizmalardır. Yapılan çalışmalar, Trichoderma spp. ve metabolitlerinin bitki immunitesini uyurabildiğini ve bitki dayanıklılığını arttırabildiğini göstermektedir ([Djonovic' et al. 2007](#)). Trichoderma spp. serin proteaz, 22-kDa ksilanaz, bir kitin deasetilaz, kitinazlar, Chit42, SnodProt1 proteinleri (Sm1, and Epl1), lipopeptitler, patulinler ve bir avirülans (AVR) proteini dahil birçok protein salgılamaktadır. Bunlar sadece bitki immunitesini değil aynı zamanda bitki gelişimini de teşvik etmektedir ([Perazzolli et al. 2011](#)). Çeşitli bakteriler (örneğin, *Bacillus subtilis*) ve funguslar (örneğin, Trichoderma spp.) bitkilerde immunitite tepkisini uyurabilmektedir. Bazı spesifik elisitörler, örneğin, AVR proteinleri ve dayanıklı genlerin ürünleri, spesifik etkileşimlere katılmakta ve bitkilerde immunitite tepkilerine neden olabilmektedir ([Zhang and Zhou 2010](#)). Bu nedenle, bu tür organizmaların dayanıklılığı uyurmada ve bitki gelişimini teşvik etmede geniş uygulamaları bulunmaktadır.

Trichoderma spp.'nin beş ana suşu, *T. virens*, *T. viride*, *T. harzianum*, *T. asperellum* ve *T. Aureoviri* bitki immunitesinin mikrobiyal uyarıcıları olarak kullanılmaktadır ([Dewen et al. 2017](#)). *Alternaria alternata* fungusunun da bitki hastalıklarına dayanıklılığı arttırabileceği gösterilmiştir. *A. alternata*'dan elde edilen bitki immunitesi-uyarıcı protein PeaT1'in virüslere karşı bitki dayanıklılığını arttırdığı, tarla denemelerinde kontrolle kıyaslandığında viral hastalığı %70 ile %80 azalttığı ve tane verimini en az %10 arttırdığı saptanmıştır

(Zhang et al. 2011b). PeaT1'den oluşan ATailing adlı bitki koruma ürünü Çin'de ruhsatlıdır. Bu bitki koruma ürününün çevresel değerlendirmeleri, proteinin toksik olmadığını ve çevre dostu olduğunu, insanlara veya diğer hayvanlara gıda güvenliği sorunu yaratmadığını ortaya koymuştur. ATailing'in, uluslararası pazara sunulan ilk Çin kaynaklı bitki-immunitesi uyarıcı protein pestisit olduğu görülmektedir (Dewen et al., 2017).

d. Mikroorganizma Fermentasyon Ürünleri

Saccharomyces cerevisiae LAS117 streyninin hücre duvarından fermentasyon işlemi ile elde edilen Cerevisane, AB tarafından düşük riskli maddeler olarak 540/2011 Annex ile MRL değerleri bulunmayan Annex IV EC 396/2005 listesinde yer almaktadır. Romeo ve Julietta ticari isimleri ile Agrauxine Lesaffre Plant Care firması tarafından üretilen Cerevisane, fungusitlerin güncel sınıflandırma sisteminde "P06" FRAC Kodu ile mikrobiyal elisitörler olarak "P: Bitki İmmunitesi uyarıcıları" grubundadır. Yapısında glukanlar, mannanlar, proteinler, lipitler ve kitinler içermektedir (Pujos, et al., 2014; De Miccolis Angelini et al., 2019).

Diğer bir canlı olmayan benzer maya ekstraktı örneği ise, maya hücre çeperi fermentasyon ürünü ISR-2000 ticari ismi ile "Bitki Aktivatörleri" sınıfında Alltech CropScience firması tarafından Türkiye'de ruhsatlandırılmış üründür (Anonim, 2019; Anonim, 2020a).

B. Sentetik Bitki İmmunitesi Uyarıcı Kimyasallar

Sentetik bitki immunitesi uyarıcı kimyasallar, yapısal olarak biyolojik bitki uyarıcılarından farklıdır. Basit olarak biyolojik immunitesi uyarıcılarının yapılarını taklit ederek bitki immunitesini uyarabilmektedirler. Biyolojik bitki uyarıcıları ile yapısal olarak akraba da olmayabilirler ve savunma sinyal bileşenlerinin bir alt kümesini hedefleyebilirler (Zhou and Wang, 2018).

a. SA (salisilik asit) türevleri

Önemli bir bitki immunitesi hormonu olan salisilik asit (SA), bitki immunitesinin oluşumunda çok önemli bir rol oynar. SA, SAR'ı uyardığı bildirilen ilk bitki endojen kimyasalları arasındadır, PR proteinlerinin birikimini uyarır ve domatestede TMV'ye dayanıklılığı sağlar. Aynı çalışmada SA türevi Aspirin'in de SAR'ı uyardığı gösterilmiştir. SA türevleri 4-kloro-SA, 5-kloro-SA ve 3,5-kloro-SA'nın da PR birikimini uyardığı ve tütünde TMV enfeksiyonuna dayanıklılığı sağladığı saptanmıştır (Conrath et al., 1995). SA türevleri üzerinde yapılan kapsamlı araştırmalar, 3- ve 5- pozisyonlu

türevlerin 4- ve 6- pozisyonlu türevlerden daha aktif olduğunu göstermiştir. Elektronları uzaklaştırılan türevlerin aktivitesi artmıştır. 6-fluoro -SA dışında test edilen tüm fluoro- ve kloro-SA türevleri, TMV'ye karşı dayanıklılığı SA'dan daha fazla uyarmıştır (Silverman et al., 2005). SA hidrazin türevi, çok az in vitro antifungal aktivite gösterirken, *Colletotrichum orbiculare*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, ve *Phytophthora capsici*'ye karşı önemli in vivo antifungal aktivite göstermiştir (Cui et al., 2014). Domates mildiyösünün mücadelesinde salisilik asidin etkili olduğu belirlenmiştir (Tosun et al., 2003). SA hidrazin, SA'nın bir türevi olmasına karşın SA marker genlerinin ekspresyonunu uyarılmamakta, JA marker genlerini ise uyarılmaktadır. Bu da SA hidrazin türevinin, SA ile benzer işlev görmediğini, başka immunitesi sinyal bileşenlerini hedeflediğini göstermektedir (Liu, et al., 2014; Zhou and Wang, 2018).

b. İsonikotinic asit türevleri (INA)

INA ilk kez Ciba-Geigy tarafından, hıyarda fungal patojen *Colletotrichum lagenarium*'a karşı dayanıklılığı uyarabilecek kimyasalları saptamak için yapılan çalışmalarda tanımlanmıştır. INA'nın Arabidopsis, tütün, armut, biber, çeltik, hıyar ve fasulye gibi çeşitli bitkilerde patojen dayanıklılığını uyardığı gösterilmiştir (Uknes et al., 1992). INA'nın SA'dan bağımsız olarak SA ile benzer immunitesi tetikleyebildiği belirlenmiştir. Ayrıca INA'nın SA'nın reseptörleri NPR3 ve NPR4'ü bağlayarak rekabet ettiği de gösterilmiştir (Fu et al., 2012). Bununla birlikte, fitotoksitesite etkileri nedeniyle, INA veya türevleri tarımsal kullanım için ticarileştirilmemiştir.

İsonikotinic asit türevi ailesinden N-siyanometil-2-kloro isonikotinic asit (NCl), bir diğer güçlü bitki immunitesi uyarıcısıdır. NCl, yüksek dozda bile, in vitro çeltik yanıklığına fungusit etki göstermemiştir. Bununla birlikte, çeltik yanıklığına karşı tek bir uygulamada in vivo antifungal etkisi 30 gün devam etmiştir. NCl tütünde PR genlerinin ekspresyonunu uyarmıştır. Bu nedenle NCl'nin immunitesi uyarıcı etkisi SA birikimine dayanmamaktadır. *Arabidopsis*'te yapılan bir başka çalışma, NCl-uyarımlı immunitenin SA birikiminden bağımsız, NPR1'e bağımlı olduğunu göstermiştir (Yasuda, 2007). NCl'nin SA ve NPR1 arasındaki sinyal adımlarıyla etkileşime girdiği ileri sürülmektedir (Şekil 3) (Lee et al., 2015; Zhou and Wang, 2018).

c. Thiadiazole ve Isothiazole türevleri

Bir thiadiazole türevi olan BTH Ciba-Geigy tarafından tanımlanmış başka bir güçlü sentetik SAR uyarıcısıdır (Oostendorp et al., 2001). BTH, in

vitro antimikrobiyal aktivite göstermez. Bununla birlikte, çeşitli bitki türlerinde çeşitli patojenlere karşı hastalığa dayanıklılığı tetikleyebilmektedir. BTH elma ve armutlarda ateş yanıklığına, domateste bakteriyel kansere, greyfurtta kansere, kanolada siyah bacak hastalığına, börülcede antraknoz vb. karşı dayanıklılık dahil 120'den fazla patosistemde testlenmiştir (Soylu et al., 2003; Potlakayala et al., 2007; Graham and Myers, 2011). BTH da SAR ve PR genlerinin ekspresyonunu uyarabilmektedir. BTH, metil SA esteraz ile asibenzolar'a dönüştürülebilmektedir (Tripathi et al., 2010). Düşük dozlarda bile BTH, bitki immunitisini başlatabilmektedir. *Arabidopsis*'te bu başlatma etkisi NPR1'e bağımlıdır (Goellner and Conrath, 2008). INA'dan farklı olarak, BTH etkili bir bitki koruma ürünü olarak ticarileştirilmiştir.

İsothiazole-bazlı sentetik bitki immunitesi uyarıcı, Isotianil, Bayer AG ve Sumitomo Chemical Co. tarafından çeltik yanıklığına karşı koruyucu kapsamlı bir çalışma yapılırken tanılanmıştır. Çeltiğin yanı sıra, Isotianil'in buğdayda külemeye, hiyarda antraknoza ve bakteriyel yaprak lekesine, Çin lahanasında *Alternaria* yaprak lekesine, kabakta külemeye, çilekte antraknoza ve şeftalide bakteriyel yaprak lekesine karşı koruyucu etkide olduğu gösterilmiştir (Ogawa et al., 2011; Krämer et al., 2012). Isotianil, *in vitro* antimikrobiyal etkiye sahip değildir, çeltik yanıklığına karşı koruyucu etkisi güçlü immunité uyarıcı gücüne dayanır (Ogawa et al., 2011). Şimdiye kadar, Isotianil'in immunité uyarıcı etkisi, moleküler düzeyde saptanmamıştır (Maienfisch and Edmunds, 2017).

d. JA analogu

JA ve metil-JA (MeJA) esas olarak nekrotrof patojenlere ve herbivorlara karşı immunitéyi kontrol etmektedir (Santino et al., 2013). JA, MeJA ve JA-isoleucine (JA-Ile)'e metabolize edilebilmektedir (Svoboda and Boland, 2010; Pieterse et al., 2012).

Fitotoksin ve coronatine, JA-Ile'nin doğal yapısal ve fonksiyonel bir taklididir (Fonseca et al., 2009). Coronatine, JA ile benzer tepkiler ortaya çıkarabilmektedir. Coronatine'in daha güçlü taklitlerini belirlemek için yapılan bir çalışmada, sentetik JA'yı taklit eden coronalon sentezlenmiştir. Coronalon, MeJA'nın aktive ettiği savunma ürünlerini ve MeJA'ya yanıt veren genleri uyarabilmektedir (Pluskota et al., 2007).

Coronalon'un yanı sıra, çeşitli sentetik JA taklitçileri de araştırılmış ve bunların lima fasulyesi, soya fasulyesi ve coyote tütününde JA sinyalini ve savunma tepkilerini uyardığı gösterilmiştir (Pluskota et al., 2007).

e. β -Aminobutirik Asit (BABA)

BABA, 1963'ten beri bitki dayanıklılığını uyardığı bilinen protein olmayan bir amino asittir. Yaklaşık 40 farklı bitki türünü, virüsler, bakteriler, oomycetler, funguslar, nematodlar ve eklem bacaklılar dahil çeşitli patojen ve zararlılara karşı koruduğu gösterilmiştir (Cohen et al., 2016). BABA SA'ya bağımlı ve SA'ya bağımsız yollarla düzenlenen çoklu savunma mekanizmalarını başlatır (Ton et al., 2005). BABA'nın yarattığı etki sonraki nesilde de sürebilmektedir. Bu nedenle BABA nesiller arası etkinliğe sahip ilk bitki immunitesi uyarıcısıdır. (Slaughter et al., 2012). BABA'nın aspartil-tRNA sentetaz aktivitesini engellemesi bitkilerde toksisiteye neden olmaktadır. Fitotoksisiteye neden olması, BABA'yı tarımsal kullanım için uygun kılmamaktadır. Yapılan son bir çalışmada BABA *Arabidopsis*, Çin lahanası, mısır ve buğday dahil çeşitli bitki türlerinde sentezlenen endojen bir metabolit olarak tanımlanmıştır (Thevenet et al., 2017).

C. FRAC'da Bulunan Bitki İmmunitesi Uyarıcıları

Kısaca FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) olarak adlandırılan Fungisit Dayanıklılık Eylem Komitesi, fungusitleri biyokimyasal etki mekanizmalarına göre farklı fungusit gruplarını ayırd etmek için bir **Kod** sayıları ve harfleri sistemi geliştirmiştir. Bu kodlar FRAC Kodu olarak adlandırılmakta ve günümüzde fungusitlerin güncel etiketlerinde yer almaktadır. Buna göre, "**Bitki immunitesi uyarıcıları**" etki mekanizmasına sahip bitki koruma ürünlerini "**P**" grubu altında toplamaktadır. Günümüzde FRAC'da etki mekanizması ile belirtilen "**P**" FRAC Kodu altında bitki immunitesi uyarıcı bitki koruma ürünleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Daha önce fungusit olarak ruhsatlandırılmış olan fosetyl-Al ve fosforoz asidi, bitki immunitesini uyardığı için yeniden sınıflandırılmış ve "**P**" grubuna alınmıştır. Türkiye'de ticari olarak acibenzolar-S-methyl %4 ve metalaxyl %40 karışım halinde (FRAC P01+A1;4) Bion MX 44 WG adı ile pazarlanmaktadır.

Türkiye'de ise, bitki immunitesi uyarıcıları Bitki Koruma Ürünlerinin genellikle "Bitki Aktivatörleri" sınıfında ruhsatlandırılmaktadır. Bitki aktivatörü ise, "bitkilerdeki zararlı organizmalara ve/veya stres koşullarına karşı doğrudan etkili olmayıp bitkilerin doğal savunma sistemini aktive ederek etkili olan ve bu özelliklerden birini veya birkaçını bir arada taşıyan maddeler" olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2017).

Bitki aktivatörleri sınıfında yer alan ruhsatlı bitki koruma ürünleri Çizelge 2'de verilmiştir (Anonim, 2020a).

Çizelge 1. FRAC Kod listesinde yer alan bitki immunitesi uyarıcıları (https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2020-final.pdf?sfvrsn=8301499a_2)

Table 1. Plant immunity inducers in FRAC Code List (https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2020-final.pdf?sfvrsn=8301499a_2)

Etki Şekli	Hedef Yeri & Kod	Grup Adı	Kimyasal & Biyolojik Grup	Genel Adı *	FRAC Kod
P: Bitki immunitesi uyarıcıları	P1 salisilik asit ilişkili	benzo- thiadiazole BTH	benzo-thiadiazole BTH	acibenzolar-S-methyl*	P 01
	P2 salisilik asit ilişkili	benzisothiazole	benzisothiazole	Probenazole (aynı anda antibakteriyal ve antifungal etki)	P 02
	P3 salisilik asit ilişkili	thiadiazole-carboxamide	thiadiazole- carboxamide	tiadinil isotianil	P 03
	P4 Polysakkarit elisitörleri	doğal	polisakkaritler	laminarin	P 04
	P5 Anthraquinone elisitörleri	bitki ekstraktı	kompleks karışım, etanol ekstraktı (anthraquinones, resveratrol)	<i>Reynoutria sachalinensis</i> * (dev çoban değneği) ekstraktı	P 05
	P6 mikrobiyal elisitörler	mikrobiyal	bakteriyel Bacillus spp. fungal Saccharomyces spp.	<i>Bacillus mycoides</i> izolat J <i>Saccharomyces cerevisiae</i> strain LAS117'nin hücre duvarı	P 06
	P7 fosfonatlar	fosfonatlar	etil fosfonatlar	fosetyl fosetyl-AI* phosphorous (fosforoz, fosfonik) asit ve tuzları*	P 07 (33)

*: Türkiye'de ruhsatlı bitki immunitesi uyarıcıları.

Çizelge 2. Türkiye'de "Bitki Aktivatörleri" sınıfında yer alan ruhsatlı bitki immunitesi uyarıcıları (<https://bku.tarim.gov.tr/BKURuhsat/Index>)

Table 2. Registered plant immunity inducers as "Plant Activators" in Turkey (<https://bku.tarim.gov.tr/BKURuhsat/Index>)

No	Etkili Madde	Bitki Aktivatörü
1	<i>Lactobacillus acidophilus</i> (Sıvı fermentasyon ürünü 893,80 g/L, Bitki Ekstraktı 147,15 g/L, Manganez sülfat 27,25 g/L, Demir sülfat 16,35 g/L, Bakır sülfat 5,45 g/L)	Crop-Set
2	<i>Lactobacillus acidophilus</i> (Sıvı fermentasyon ürünü 855,81 g/L, Maya Ekstraktı 140,97 g/L, Bitki Ekstraktı 111,00 g/L, Benzoik asit 2,22 g/L)	ISR-2000
3	<i>Lactobacillus acidophilus</i> (Sıvı fermentasyon ürünü 781,18 g/L, Bitki Ekstraktı 37,06 g/L, Çinko Klorür 92,77 g/L; 36 g/L çinko eşdeğer, Bakır Klorür 74,86 g/L bakır eşdeğer, Demir Klorür 77,86 g/L; 24,5 g/L demir eşdeğer, Manganez Klorür 26,27 g/L)	Soil-Set
4	<i>Lactobacillus acidophilus</i> (Fermentasyon ürünü 960,96 g/L, Bitki Ekstraktı 56,7 g/L, Manganez sülfat 27,09 g/L, Manganez asit 5,25 g/L)	Grain-Set
5	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus paracasei</i> 751,05 g/L	Sojall Vitanal
6	Gammaaminobutyric acid %29,2 + Glutamic acid %29,2	Auxigro
7	Silisik asit 28,9 g/L	Silamol
8	Biflanovoid kompleks %3 + Palm çekirdek yağı %22 + Gliserin %30 + Sitrik asit %12	ProalexinTM PNA002
9	Harpin protein WG %1	Messenger Gold
10	Sebze yağ asitleri %80	Green Miracle

Çizelge 3. Bitki immunitesi uyarıcılar (elisitörler) ve örnekler (Thakur and Sohal, 2013)
Table 3. Plant immune inducers (elicitors) and their examples (Thakur and Sohal, 2013)

A. Fiziksel Elisitörler		A. Kimyasal Elisitörler	
Yaralanma	1. Abiyotik Elisitörler	2. Biyotik Elisitörler	
	1.1. Metal iyonları	2.1. Yapısı karmaşık olanlar Maya hücre çeperi, misel hücre çeperi, fungal sporlar	2.2. Yapısı belirli olanlar 2.2.1. Karbonhidratlar 2.2.1.1. Polisakkaritler: Alginat, pectin ve kitosan 2.2.1.2. Oligosakkaritler: Mannuronat, gluronat, mannan ve galakturonitler 2.2.2. Proteinler 2.2.2.1. Peptitler: Glutathion 2.2.2.2. Proteinler: Sellülaz ve oligandrin 2.2.3. Lipitler: Lipopolisakkaritler 2.2.4. Glikoproteinler: Karakterize edilmemiştir 2.2.5. Uçucular: C ₆ -C ₁₀ bileşikler

BİTKİ İMMUNİTESİ UYARICILARININ GELECEĞİ

Bitki korumada fungusitlere alternatifler, duyarlı bitkilerde ardisıra enfeksiyonlara dayanıklılık sağlayan lokal veya sistemik bir dayanıklılığı uyaran biyotik veya abiyotik kaynaklı bitki immunitesi uyarıcıların keşfi ile hız kazanmıştır. Etkililiklerine göre bu bileşikler ya tek başlarına ya da fungusitlerle birlikte veya dönüşümlü kullanılabilir (Thakur and Sohal, 2013; La Torre et al., 2019; Sürer ve Tosun, 2019). Örneğin; şaşırtma, çiçeklenme, meyve tutumu, hasad dönemi gibi bitkilerin hastalıklara daha duyarlı olduğu evrelerde tek başlarına, hastalık riskinin yüksek olduğu evrelerde ise fungusitlerle birlikte kullanılmaları başarı oranlarını arttıracaktır (Tosun ve Yiğit, 2012).

Kimyasal pestisitlerin kullanımına olan bağımlılığın en alt düzeye indirilmesi, böylece bitkisel ürünlerdeki pestisit kalıntılarının önlenmesi ve buna bağlı gıda güvenliğinin sağlanması için, bitkilerde immunitesi uyarıcılar büyük bir potansiyel taşımaktadır. Ancak yüksek üretim maliyetleri ve bazı bitki koruma ürünü üretici firmaların ticari kaygıları nedeniyle bitkisel üretimde yeni yeni kullanılmaya başlanmıştır.

Özellikle Çin'de biyolojik bitki immunitesi uyarıcılarını ucuz ve büyük ölçekte üretmek için yeni teknolojiler ve yöntemler geliştirilmektedir (Dewen et

al., 2017). Geliştirilen bu yeni teknolojiler ve yöntemlere bağlı olarak bu ülkede pestisit ruhsatı almış bitki immunitesi uyarıcılarının sayısı giderek artmaktadır (Çizelge 1). Bitki immunitesi uyarıcıları sadece hastalıkları önlemekle kalmamakta aynı zamanda bitkilerin sağlıklı gelişmesini sağlayarak bitkileri zararlılara da dayanıklı kılmaktadır. Bitki immunitesi uyarıcılarını ön plana çıkaran bir diğer konu da hiçbir kimyasal pestisit etkili olmadığı bitki viral hastalıklarına karşı etkili olabilmesidir. Çin'de biyopestisit olarak ruhsatlı bir bitki immunitesi uyarıcının (ATaiLing) viral hastalıkları %70'den fazla azalttığı, sebze, meyve ve çayda verimi %10'dan fazla arttırdığı gösterilmiştir (Dewen et al., 2017). Bu nedenle bitki immunitesi uyarıcıları entegre mücadele programlarında mutlaka yer alması gereken bitki koruma ürünleridir. Bitkilerin doğal immunitesi sistemini tetikleyerek etkili oldukları için tüm meyve ve sebzelerde güvenle kullanılabilirler.

Sonuç olarak, bitki immunitesi uyarıcılarının kullanılması bitki sağlığı, çevre sağlığı, gıda güvenliği ve insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır ve bitki hastalıklarının kontrolünde yeni bir yaklaşım olarak gelişimini sürdürmektedir (Myresiotis et al., 2012). Yakın gelecekte entegre mücadelede bitki immunitesi uyarıcılarının bitki koruma ürünü olarak kullanılması olasıdır; (a) uygulama sonrası tekrar

uygulama alanına giriş süresinin (REI) bir günden az olması, (b) son uygulama ile hasad arasında bekleme süresinin (PHI) olmaması, (c) maksimum rezidü limitlerinin (MRL) olmaması, (d) başarılı mücadele yapılamayan fungal, bakteriyel ve viral hastalıklara karşı da etkili olması, (e) hastalık etmenlerinde

dayanıklılık oluşmaması, (f) pazarlanabilir üründe verim ve kaliteye dikkate değer etkilerinin olması, (g) uygulayıcı ve çevre dostu olması ve (h) arılar gibi hedef dışı organizmalara zararlı etkisinin olmaması gibi avantajları göz önüne alındığında yüksek olacaktır.

KAYNAKLAR

- Adam, L.A., Nagy, Z.A., Katay, G., Mergenthaler, E. 2018. Signals of systemic immunity in Plants: Progree and open questions. *International Journal of Molecular Sciences* 19(4):1146. Doi:103390/ijms 19041146.
- Agrios, G.N., 2005. *Plant Pathology*. Fifth Ed. Elsevier Academic Press. 922 p.
- Arioli, T., Mattner, S. W., Winberg, P. C. 2015. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: Past, present and future. *J. Appl. Phycol.* 27:2007-2015.
- Anonim, 2017. Resmi Gazete 09.11.2017, Sayı: 30235.
- Anonim, 2019. FRAC,IRAC ve HRAC Etki Şekillerine Göre Bitki Koruma Ürünleri Rehberi. Harman Yayıncılık, İstanbul. ISBN: 978-605-68060-1-8. 504 s.
- Anonim, 2020a. (<https://bku.tarim.gov.tr/BKURuhsat/Index>) Erişim tarihi:24.01.2020.
- Anonim, 2020b. (https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2020-final.pdf?sfvrsn=8301499a_2) Erişim tarihi:28.02.2020.
- Baş, B. 2018. Bitki Patojen İnteraksiyonlarının Yeni Paradigması: Bitki İmmünolojisi; Temel Kavramlar. *Türk J Life Sci.* 3/1:231-243. e-ISSN: 2536-4472
- Bektas, Y., Eulgem, T. 2015. Synthetic plant defense elicitors. *Front. Plant Sci.* 5:804.
- Burketova, L., Trda, L., Ott, P. G., Valentova, O. 2015. Bio-based resistance inducers for sustainable plant protection against pathogens. *Biotechnol. Adv.* 33, 994–1004. doi: 10.1016/j.biotechadv.2015.01.004
- Cavazza, F., Preti, M., Franceschelli, F., Landi, M., Montanari, M., Antoniaci, L., & Bugiani, R. 2018. Efficacy evaluation of low-risk fungicides for the control of *Botrytis cinerea* on grapevine in Emilia-Romagna. *Atti, Giornate Fitopatologiche, Chianciano Terme (SI), Italia*, 6-9 marzo 2018, Volume secondo, 567-574.
- Chen, J., Dou, K., Gao, Y. D., Li, Y. Q. 2014a. Mechanism and application of *Trichoderma* spp. in biological control of corn diseases. *Mycosystema* 33:1154-1167.
- Chen, M., Zeng, H., Qiu, D., Guo, L., Yang, X., Shi, H., Zhou, T., and Zhao, J. 2012. Purification and characterization of a novel hypersensitive response-inducing elicitor from *Magnaporthe oryzae* that triggers defense response in rice. *PLoS One* 7:e 37654.
- Chen, M., Zhang, C., Zi, Q., Qiu, D., Liu, W., and Zeng, H. 2014b. A novel elicitor identified from *Magnaporthe oryzae* triggers defense responses in tobacco and rice. *Plant Cell Rep.* 33:1865-1879.
- Cohen, Y., Vaknin, M., Mauch-Mani, B. (2016). BABA-induced resistance: milestones along a 55-year journey. *Phytoparasitica* 44, 513–538. doi: 10.1007/s12600-016-0546-x
- Conrath, U., Beckers, G. J. M., Flors, V., Garcia-Agustin, P., Jakab, G., Mauch, F. 2006. Priming: getting ready for battle. *Mol. Plant Microbe Interact.* 19, 1062–1071. doi: 10.1094/MPMI-19-1062.
- Conrath, U., Chen, Z., Ricigliano, J. R., Klessig, D. F. 1995. Two inducers of plant defense responses, 2,6-dichloroisonicotinic acid and salicylic acid, inhibit catalase activity in tobacco. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 92, 7143–7147. doi: 10.1073/pnas.92.16.7143.
- Cui, Z. N., Ito, J., Dohi, H., Amemiya, Y., Nishida, Y. 2014. Molecular design and synthesis of novel salicyl glycoconjugates as elicitors against plant diseases. *PLoS One* 9:e108338. doi: 10.1371/journal.pone.0108338.
- Dai, W. B. 2013. Research on prevention and control of chinese agricultural ecological environment pollution to ensure food safety. *Adv. Mater. Res.-Switz.* 616-618:2247-2250.
- De Miccolis Angelini, R. M., Rotolo, C., Gerin, D., Abate, D., Pollastro, S., & Faretra, F. (2019). Global transcriptome analysis and differentially expressed genes in grapevine after application of the yeast-derived defense inducer cerevisiane. *Pest management science*, 75(7), 2020-2033.
- Dewen, Q., Yijie, D., Yi, Z., Shupeng, L., Fachao, S. 2017. Plant immunity inducer development and application. *MPMI*, 30 (5): 355-360. <http://dx.doi.org/10.1094/MPMI-11-16-0231-CR>.
- Djonovic, S., Vargas, W. A., Kolomiets, M. V., Horndeski, M., Wiest, A., Kenerley, C. M. 2007. A proteinaceous elicitor Sm1 from the beneficial fungus *Trichoderma virens* is required for induced systemic resistance in maize. *Plant Physiol.* 145:875-889.
- El Hadrami, A., Adam, L. R., El Hadrami, I., & Daayf, F. 2010. Chitosan in plant protection. *Marine drugs*, 8(4), 968-987.
- Fonseca, S., Chini, A., Hamberg, M., Adie, B., Porzel, A., Kramell, R. 2009. (C)-7-iso-jasmonoyl-L-isoleucine is the endogenous bioactive jasmonate. *Nat. Chem. Biol.* 5, 344–350. doi: 10.1038/nchembio.161
- Fu, Z. Q., Yan, S., Saleh, A., Wang, W., Ruble, J., Oka, N. 2012. NPR3 and NPR4 are receptors for the immune signal salicylic acid in plants. *Nature* 486, 228–232. doi: 10.1038/nature11162.
- Goellner, K., Conrath, U. 2008. Priming: it's all the world to induced disease resistance. *Eur. J. Plant Pathol.* 121, 233–242. doi: 10.1007/s10658-007-9251-4
- Graham, J. H., Myers, M. E. 2011. Soil application of sar inducers imidacloprid, thiamethoxam, and acibenzolar-S-Methyl for citrus canker control in young grapefruit trees. *Plant Dis.* 95, 725–728. doi: 0.1094/PDIS-09-10-0653.
- Heese, A., Hann, D. R., Gimenez-Ibanez, S., Jones, A. M. E., He, K., Li, J., Schroeder, J. I., Peck, S. C., Rathjen, J. P. 2007. The receptor-like kinase SERK3/BAK1 is a central regulator of innate immunity in plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104:12217-12222.
- Jones, A. M. E., Monaghan, J., Ntoukakis, V. 2013. Editorial: Mechanisms regulating immunity in plants. *Front. Plant Sci.* 4:64.

- Kishimoto, K., Kouzai, Y., Kaku, H., Shibuya, N., Minami, E., & Nishizawa, Y. 2010. Perception of the chitin oligosaccharides contributes to disease resistance to blast fungus *Magnaporthe oryzae* in rice. *The Plant Journal*, 64(2), 343-354.
- Krämer, W., Schirmer, U., Jeschke, P., Witschel, M. 2012. *Modern Crop Protection Compounds*, 2nd Edn. Hoboken, NJ: Wiley.
- Kulye, M., Liu, H., Zhang, Y., Zeng, H., Yang, X., Qiu, D. 2012. Hrip1, a novel protein elicitor from necrotrophic fungus, *Alternaria tenuissima*, elicits cell death, expression of defence-related genes and systemic acquired resistance in tobacco. *Plant Cell Environ.* 35:2104-2120.
- La Torre, A., Righi, L., Iovino, V. 2019. Evaluation of copper alternative products to control grape downy mildew in organic farming. *J Plant Pathol.* 101: 1005. <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00330-6>
- Lee, H.J., Park, Y.J., Seo, P.J., Kim, J., H., Sim, H., J., Kim, S. G., Park, C., M. 2015. Systemic immunity requires SnRK2.8-mediated nuclear import of NPR1 in Arabidopsis. *Plant Cell* 27: 3425–3438.
- Leonard, S. G., Sweeney, T., Bahar, B., O'Doherty, J. V. 2012. Effect of maternal seaweed extract supplementation on suckling piglet growth, humoral immunity, selected microflora, and immune response after an ex vivo lipopolysaccharide challenge. *J. Anim. Sci.* 90:505-514.
- Liu, Y., Ge, Y., Bi, Y., Li, C., Deng, H., Hu, L., & Dong, B. 2014. Effect of postharvest acibenzolar-S-methyl dipping on phenylpropanoid pathway metabolism in muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits. *Scientia Horticulturae*, 168, 113-119.
- Liu, M., Khan, N. U., Wang, N., Yang, X., and Qiu, D. 2016. The protein elicitor PevD1 enhances resistance to pathogens and promotes growth in Arabidopsis. *Int. J. Biol. Sci.* 12:931-943.
- Maienfisch, P., Edmunds, A. J. F. 2017. "Thiazole and isothiazole ring-containing compounds in crop protection," in *Heterocyclic Chemistry in the 21st Century: A Tribute to Alan Katritzky*, eds E. F. V. Scriven and C. A. Ramsden (San Diego: Elsevier Academic Press Inc), 35–88.
- Marchand, P. A. 2018. Novel plant protection regulation: new perspectives for organic production. *Organic Farming*, 4(1), 3-6.
- Myresiotis, C. K., Karaoglanidis, G. S., Vryzas, Z., & Papadopoulou-Mourkidou, E. 2012. Evaluation of plant-growth-promoting rhizobacteria, acibenzolar-S-methyl and hymexazol for integrated control of *Fusarium* crown and root rot on tomato. *Pest management science*, 68(3), 404-411.
- Ogawa, M., Kadowaki, A., Yamada, T. 2011. Applied development of a novel fungicide isotianil (STOUT). *Sumitomo Kagaku* 2011, 1–15.
- Oostendorp, M., Kunz, W., Dietrich, B., Staub, T. 2001. Induced disease resistance in plants by chemicals. *Eur. J. Plant Pathol.* 107, 19–28. doi: 10.1023/A:1008760518772
- Perazzolli, M., Roatti, B., Bozza, E., Pertot, I. 2011. *Trichoderma harzianum* T39 induces resistance against downy mildew by priming for defense without costs for grapevine. *Biol. Control* 58:74-82.
- Pichyangkura, R. and Chadchawan, S. 2015. Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Sci. Hortic. (Amsterdam)* 196:49-65.
- Pieterse, C. M., Van Der Does, D., Zamioudis, C., Leon-Reyes, A., Van Wees, S. C. 2012. Hormonal modulation of plant immunity. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 28, 489–521. doi: 10.1146/annurev-cellbio-092910-154055
- Pieterse, C. M. J., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C. M., Bakker, P. A. H. M. 2014. Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annu. Rev. Phytopathol.* 52, 347–375. doi: 10.1146/annurev-phyto-082712-102340
- Pluskota, W. E., Qu, N., Maitrejean, M., Boland, W., Baldwin, I. T. 2007. Jasmonates and its mimics differentially elicit systemic defence responses in *Nicotiana attenuata*. *J. Exp. Bot.* 58, 4071–4082. doi: 10.1093/jxb/erm263
- Potlakayala, S. D., Reed, D. W., Covello, P. S., Fobert, P. R. 2007. Systemic acquired resistance in canola is linked with pathogenesis-related gene expression and requires salicylic Acid. *Phytopathology* 97, 794–802. doi: 10.1094/PHYTO-97-7-0794.
- Raho, N., Ramirez, L., Lanteri, M. L., Gonorazky, G., Lamattina, L., ten Have, A., Laxalt, A. M. 2011. Phosphatidic acid production in chitosan-elicited tomato cells, via both phospholipase D and phospholipase C/diacylglycerol kinase, requires nitric oxide. *J. Plant Physiol.* 168:534-539.
- Pujos, P., Martin, A., Farabullini, E., & Pizzi, M. 2014. RomeoTM, cerevisiane-based biofungicide against the main diseases of grape and of other crops: general description. *Atti, Giornate Fitopatologiche, Chianciano Terme (Siena)*, 18-21 marzo 2014, Volume secondo, 51-56.
- Santino, A., Taurino, M., De Domenico, S., Bonsegna, S., Poltronieri, P., Pastor, V. 2013. Jasmonate signaling in plant development and defense response to multiple (a)biotic stresses. *Plant Cell Rep.* 32, 1085–1098. doi: 10.1007/s00299-013-1441-2
- Silverman, F. P., Petracek, P. D., Heiman, D. F., Fledderman, C. M., Warrior, P. 2005. Salicylate activity. 3. Structure relationship to systemic acquired resistance. *J. Agric. Food Chem.* 53, 9775–9780. doi: 10.1021/jf051383t
- Slaughter, A., Daniel, X., Flors, V., Luna, E., Hohn, B., Mauch-Mani, B. 2012. Descendants of primed Arabidopsis plants exhibit resistance to biotic stress. *Plant Physiol.* 158, 835–843. doi: 10.1104/pp.111.191593.
- Soliman, S. S., Trobacher, C. P., Tsao, R., Greenwood, J. S., Raizada, M. N. 2013. A fungal endophyte induces transcription of genes encoding a redundant fungicide pathway in its host plant. *BMC Plant Biol.* 13:93.
- Soylu, S., Baysal, Ö., Soyulu, E. M. 2003. Induction of disease resistance by the plant activator, acibenzolar-S-methyl (ASM), against bacterial canker (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) in tomato seedlings. *Plant Sci.* 165, 1069–1075. doi: 10.1016/S0168-9452(03)00302-9
- Sürer İ., Tosun N. 2019. Bazı Bitki Koruma Ürünlerinin Serin İklim Çim Bitkilerinde *Fusarium* Yanıklığı (*Fusarium* spp.) Hastalığının Kontrolünde Etkililiklerinin Belirlenmesi. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 56 (4):475-485. doi:10.20289/zfdergi.539935.
- Svoboda, J., Boland, W. 2010. Plant defense elicitors: analogues of jasmonoyl-isoleucine conjugate. *Phytochemistry* 71, 1445–1449. doi: 10.1016/j.phytochem. 2010.04.027
- Thakur, M., Sohal, B.S. 2013. Role of Elicitors in Inducing Resistance in Plants Against Pathogen Infection: A Review. *ISRN Biochemistry.* <http://dx.doi.org/10.1155/2013/762412>.
- Thevenet, D., Pastor, V., Baccelli, I., Balmer, A., Vallat, A., Neier, R. 2017. The priming molecule b-aminobutyric acid is naturally present in plants and is induced by stress. *New Phytol.* 213, 552–559. doi: 10.1111/nph.14298
- Ton, J., Jakab, G., Toquin, V., Flors, V., Iavicoli, A., Maeder, M. N. 2005. Dissecting the beta-aminobutyric acid-induced priming phenomenon in Arabidopsis. *Plant Cell* 17, 987–999. doi: 10.1105/tpc.104.029728

- Tosun, N., Aktaş, L., Karabay Yavaşoğlu, N.Ü., Türküsay, H. 2003. Effects of Salicylic Acid, Harpin and Phosphorus acid in Control of Late Blight (*Phytophthora infestans* Mont. De. Barry) Disease and Some Physiological Parameters of Tomato. *J.Turk.Phytopath.*, Vol.32, No.3, 165-175.
- Tosun, N., Yiğit, S. 2012. Bitkiler kendilerini nasıl savunur? Hasad Bitkisel üretim, 323,74-78. Hasad Yayıncılık, İstanbul.
- Tripathi, D., Jiang, Y. L., Kumar, D. 2010. SABP2, a methyl salicylate esterase is required for the systemic acquired resistance induced by acibenzolar-S-methyl in plants. *FEBS Lett.* 584, 3458–3463. doi: 10.1016/j.febslet.2010.06.046.
- Tsutsui, T., Nakano, A., Ueda, T. 2015. The plant-specific RAB5 GTPase ARA6 is required for starch and sugar homeostasis in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol.* 56:1073-1083.
- Uknes, S., Mauch-Mani, B., Moyer, M., Potter, S., Williams, S., Dincher, S. 1992. Acquired resistance in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 4, 645–656. doi: 10.1105/tpc.4.6.645.
- Wang, L., Yang, X., Zeng, H., Qiu, D., Guo, L., and Liu, Z. 2011. [Extracellular expression of protein elicitor PeaT1 in *Bacillus subtilis* to enhance drought tolerance and growth in wheat]. *Sheng Wu Gong Cheng Xue Bao* 27:1355-1362.
- Wang, N., Liu, M., Guo, L., Yang, X., Qiu, D. 2016. A novel protein elicitor (PeBA1) from *Bacillus amyloliquefaciens* NC6 induces systemic resistance in tobacco. *Int. J. Biol. Sci.* 12:757-767.
- Wei, Z. M., Laby, R. J., Zumoff, C. H., Bauer, D. W., He, S. Y., Collmer, A., Beer, S. V. 1992. Harpin, elicitor of the hypersensitive response produced by the plant pathogen *Erwinia amylovora*. *Science* 257:85-88.
- Yasuda, M. 2007. Regulation mechanisms of systemic acquired resistance induced by plant activators (Society Awards 2007 (on high prospectiveness)). *J. Pestic. Sci.* 32, 281–282. doi: 10.1584/jpestics.32.281
- Yin, H., Du, Y., Dong, Z. 2016. Chitin oligosaccharide and chitosan oligosaccharide: Two similar but different plant elicitors. *Front. Plant Sci.* 7:522.
- Zanzotto, A., Morrone, M. 2016. Major Biocontrol Studies and Measures Against Fungal and Oomycete Pathogens of Grapevine, P: 1-34. In: *Biocontrol of Major Grapevine Diseases.* (Eds. S. Compant and F. Mathieu) CAB International. P:233.
- Zhang, H., Zhao, X., Yang, J., Yin, H., Wang, W., Lu, H., Du, Y. 2011a. Nitric oxide production and its functional link with OIPK in tobacco defense response elicited by chitoooligosaccharide. *Plant Cell Rep.* 30:1153-1162.
- Zhang, J., Zhou, J. M. 2010. Plant immunity triggered by microbial molecular signatures. *Mol. Plant* 3:783-793.
- Zhang, W., Yang, X., Qiu, D., Guo, L., Zeng, H., Mao, J., Gao, Q. 2011b. PeaT1-induced systemic acquired resistance in tobacco follows salicylic acid-dependent pathway. *Mol. Biol. Rep.* 38:2549-2556.
- Zhang, Y., Yang, X., Zeng, H., Guo, L., Yuan, J., Qiu, D. 2014. Fungal elicitor protein PebC1 from *Botrytis cinerea* improves disease resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Biotechnol. Lett.* 36:1069-1078.
- Zhang, Y., Zhang, Y., Qiu, D., Zeng, H., Guo, L., Yang, X. 2015. BcGs1, a glycoprotein from *Botrytis cinerea*, elicits defence response and improves disease resistance in host plants. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 457:627-634.
- Zhou, M., Wang, W. 2018. Recent advances in synthetic chemical inducers of plant immunity. *Front. Plant. Sci.* 9: 1613. Doi: 10.3389/fpls.2018.01613.