

Biyolojik Mücadeleye Giriş

(Kısım 1: Bitki Hastalıklarıyla Biyolojik Mücadele)

Doç. Dr. Ümit ÖZYILMAZ - 2026

Tarım; temeli çok eski tarihlere dayanan, insanların karnını doyurmak için belirli bir alanda aynı bitkiyi yetiştirmesidir. İlk çağlarda insanlar bunu kendi karınlarını doyurmak için yaparlarken yıllar içerisinde yavaş yavaş ticari bir hal almış, yetiştirilen ürünler başka ürün ya da objelerle takas edilmiş veya günümüzde olduğu gibi para karşılığı satılmıştır. Günümüzde tarımsız bir dünya düşünmek mümkün değildir. Yaklaşık 8 milyar civarına gelen dünya nüfusunun beslenmesi gerekmekte ve bunun tek



çaresi de tarımdır. Ancak günümüzde tarımdan bahsederken küçük aile işletmelerinden ziyade adeta bir fabrika gibi işleyen büyük alanlarda yapılan devasa üretimler akla gelmektedir. Büyük alanlarda yapılan bu üretimler ile artan talebe cevap vermek mümkün olacaktır. İşin ticari boyutuna bakıldığında ise bu tür büyük tarımsal üretimin getirisi de aynı ölçüde büyük olmaktadır. Büyük alanlarda yapılan tarımsal üretimin başlangıç maliyeti büyük olsa da bu toplu üretimden dolayı ürünün birim fiyatı düşmekte ve aile işletmelerinin ya da küçük işletmelerin bu büyük işletmeler ile mücadelesini zorlaştırmaktadır. Tarım ne şekilde ve ne büyüklükte yapılırsa yapılsın elde edilen ürünün bizim zararlı diye isimlendirdiğimiz diğer organizmalardan korunması gerekmektedir. Yetiştirilen ürünleri bu organizmalardan korumak daha da ötesinde

kalite ve miktarı arttırmak için zirai mücadele olarak adlandırılan bir takım işlemler yapılmaktadır. Bitki koruma olarak da adlandırılan bu çabalar içerisinde kültürel önlemler, karantina, dayanıklı çeşit kullanımı, fiziksel ya da kimyasal önlemler ve biyolojik mücadele yer almaktadır. Tüm bu önlemlerin birlikte değerlendirildiği entegre mücadele olarak adlandırılan bir





mücadele yöntemi daha vardır. Bu yöntemlere bakıldığında kimyasal mücadele günümüzde en çok kullanılan ve tercih edilen mücadele yöntemlerinden bir tanesidir. Sonuçlarının çok hızlı görüldüğü bu yöntem, bazı durumlarda diğer yöntemlere göre daha etkili ve ekonomiktir. Günümüzde ziraatten bahsederken kimyasal kullanılmadan yapılan bir üretimden söz edilmesi neredeyse mümkün değildir. Tarım yani mono kültür bitki yetiştirilmesi ile doğal denge insan eliyle bozulmakta, kimyasal mücadele başta olmak üzere insanların bir takım korunma önlemleri almasını zorunlu kılmaktadır. Bilinçsiz ve yanlış kullanıldıkları zaman kimyasal ilaçların oluşturduğu bir çok sakınca herkes tarafından bilinmektedir. Kimyasal savaşım sorunları basit olarak; **sağlık boyutu**, **çevre kirliliği boyutu**, **dayanıklılık boyutu** ve **doğal denge boyutu** açısından incelenmektedir. Ancak genelde insan sağlığı ön plana çıkmakta, tüketicileri, sağlık kuruluşlarını bu konu tedirgin etmektedir. Tarımsal üretimde kullanılan kimyasallara **pestisit** adı verilmektedir. Pestisitler üretiminde çalışan işçiden son tüketicinin karnındaki bebeğe kadar çok geniş bir insan kitlesini sağlık açısından tehdit edebilmektedir. İnsanlar bu kimyasallardan ya ani olarak (**akut**) ya da bunların vücutları içerisinde birikmesi sonucu zaman içinde sağlık sorunlarının çıkması (**kronik**) şeklinde etkilenirler. Tarım ürünlerindeki kimyasal kalıntıdan kaçmak son tüketici tarafından iyice yıkanması ile mümkün değildir. Tarımda **sistemik** olarak adlandırılan ve bitki dokusu içine işleyerek orada etki gösteren bir çok pestisit kullanılmaktadır. Ne kadar yıkanırsa yıkansın bu kimyasallardan arınmak neredeyse imkansızdır. Bu kimyasallar vücuda sadece ağız yoluyla alınmazlar, özellikle üretimleri ve kullanımları sırasında nefes ya da deri yoluyla da bünyeye alınarak daha büyük riskler oluştururlar. Kimyasal savaşımın neden olduğu sorunlar sadece sağlık açısından önemli değildir. Pestisitler özellikle çevreyi de kirletmektedir. Özellikle toprak ve suya bir şekilde geçmeleri ya da yıkanmaları sonucunda buraları kirletmektedirler. Düşünüldüğünde hazırlanan onca ilacın araziye uygulanmasından sonra hepsinin bitki üzerine gitmediği basit bir mantık ile görülebilir. Hedef dışına giden bu ilaç ilk önce toprağa daha sonra oradan da suya geçebilmektedir. Sadece bitki yüzeyinin ilaçlanması neredeyse imkansızdır (Ancak günümüzde sadece bitkilerin üzerine ilaçlama yapılmasına olanak sağlayan modern uygulama cihazları üzerine çalışılmaktadır). Hatalı bir uygulama yapılmaması durumunda dahi hedef dışına bu pestisitler taşınmaktadır. Buna ek olarak uygun dozun ya da püskürtme hacminin seçilmemesi durumunda ise bu olumsuzluk kat kat daha fazla olarak karşımıza gelmektedir. Tarım ilaçlarının olumsuz etkilerinden bir tanesi de hedef alınan organizmanın zaman içerisinde bu ilaçlara karşı dayanıklılık oluşturmasıdır. Bununla kalmayarak bu dayanıklılığın nesilden nesile geçmesi ile

mevcut ilaçlarla mücadeleyi neredeyse imkansız hale getirmektedir. Dayanıklılık riski genelde sistemik etkili ilaçlarda ortaya çıkmaktadır. Aynı etkili maddeli ilaçların peş peşe kullanılmaması ve önerilen dozların dışına çıkılmaması bu sorun ile mücadelede üreticilere yardım edecektir. Kimyasal mücadelenin olumsuzluklarından bir tanesi de doğal dengeye olan etkileridir. Bilindiği üzere toprak canlı bir unsurdur. Toprak içerisinde; element döngülerinde, çürümeye, ayrıştırma işlevlerinde görev alan, belkide hastalık etmenlerini baskı altında tutan bir çok faydalı mikroorganizma yaşamaktadır. Kimyasal ilaçların kullanımı ile bu mikroorganizma gruplarının ortadan kaldırılması toprağın canlılık özelliğinde azalmaya neden olacağından doğal denge etkilenecektir. Toprakta yaşayan diğer bitkiler ve böcekler de bu kimyasallardan etkilenmektedir. Herbir canlı ekosistem zincirinin bir halkasını oluşturmaktadır. Bu zincir üzerinde meydana gelen herhangi bir kopukluk kendiliğinden süre gelen dengenin bozulmasına neden olabilmektedir. İnsanlar tarım yaparak zaten doğal dengeyi bozmaktadırlar, ayrıca doğru yapmadıkları kimyasal mücadele ile bu olayı daha da baltalamaktadırlar.



Tüm bu olumsuzluklar düşünüldüğünde dahi kimyasal mücadeleden uzaklaşmak neredeyse mümkün değildir. Tarımsal savaşım yöntemleri içinde anılan biyolojik savaş kimyasal mücadelenin yerini almasından ziyade, bu uygulamaları azaltacak, doğal dengeyi bozmayacak, insana zararı olmayan bir alternatif arayışıdır.

Dünyada biyolojik mücadele uygulamaları 19. yüzyılın sonlarında başlamış ve özellikle klasik biyolojik mücadele örnekleriyle bilimsel temele oturmuştur. 1888 yılında ABD’de turuncu pamuklu bitine karşı *Vedalia* böceğinin başarıyla kullanılması, biyolojik mücadelenin modern başlangıcı kabul edilir. Bu gelişme, zararlı türlerin doğal düşmanlarının başka bölgelere taşınarak popülasyonlarının baskılanabileceğini göstermiştir. 20. yüzyıl boyunca farklı kıtalarda çok sayıda klasik biyolojik mücadele programı uygulanmış, özellikle ada ekosistemlerinde ve istilacı türlerin kontrolünde önemli başarılar elde edilmiştir. 1980’li yıllardan itibaren sera tarımının yaygınlaşmasıyla birlikte ticari biyolojik mücadele firmaları ortaya çıkmış ve doğal düşmanların kitlesel üretimi hız kazanmıştır. Avrupa Birliği ülkelerinde çevre ve insan sağlığına yönelik hassasiyetin artması, pestisit kullanımına getirilen kısıtlamalar ve Yeşil Mutabakat hedefleri biyolojik mücadeleyi stratejik bir araç haline getirmiştir. Özellikle Hollanda ve İspanya’da sera sebzeçiliğinde kimyasal mücadele minimum seviyeye indirilmiş, biyolojik ve biyoteknik yöntemler temel uygulama haline gelmiştir. Amerika Birleşik Devletleri’nde ise hem klasik hem

de destekleyici salım biyolojik mücadele sistemleri gelişmiştir ve büyük ölçekli üretim firmaları dünya pazarına doğal düşman sağlamaktadır. Günümüzde biyolojik mücadele yalnızca makro organizmalarla (predatör ve parazitoitler) sınırlı değildir; mikroorganizma temelli biyopestisitler de hızla gelişmektedir. *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* ve *Trichoderma* türleri dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle entegre zararlı yönetimi (IPM) programlarının vazgeçilmez bir unsuru haline gelen biyolojik mücadele, sürdürülebilir tarım politikalarının merkezinde yer almaktadır. Küresel eğilim, kimyasal pestisit kullanımının azaltılması ve ekolojik dengeyi destekleyen yöntemlerin artırılması yönündedir. Türkiye’de biyolojik mücadele çalışmaları 20. yüzyılın başlarında başlamış, özellikle narenciye zararlıları üzerinde klasik biyolojik mücadele uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Cumhuriyet döneminde tarımsal araştırma enstitülerinin kurulmasıyla birlikte bu çalışmalar sistematik hale gelmiş ve faydalı organizmaların üretimi ve salımı planlı şekilde yürütülmeye başlanmıştır. Özellikle 1970’li yıllardan sonra entegre mücadele kavramının benimsenmesiyle biyolojik yöntemler daha fazla önem kazanmıştır. Günümüzde Türkiye’de biyolojik mücadele en yaygın olarak örtü altı (sera) üretiminde uygulanmaktadır. Antalya başta olmak üzere Akdeniz Bölgesi’nde domates, biber ve salatalık üretiminde beyaz sinek, trips ve kırmızı örümcek gibi zararlılara karşı faydalı böcek salımları rutin uygulama haline gelmiştir. Ayrıca *Bacillus thuringiensis* ve *Trichoderma* türleri gibi mikrobiyal preparatlar hem sebze hem de meyve üretiminde kullanılmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından biyolojik ve biyoteknik mücadele uygulamalarına destek verilmekte, üreticilere teşvik ödemeleri yapılmaktadır. Bunun yanında entegre mücadele programları ve eğitim faaliyetleri yürütülmektedir. Açık alan üretiminde de narenciye, bağ, zeytin ve mısır gibi ürünlerde biyolojik mücadele uygulanmakla birlikte, sera üretimindeki kadar yaygın değildir. Son yıllarda kalıntı sorunu ve ihracat standartları nedeniyle biyolojik mücadeleye olan ilgi artmaktadır. Türkiye’de biyolojik mücadelenin yaygınlaşmasında bazı yapısal ve uygulamaya dönük sorunlar bulunmaktadır. Öncelikle üreticilerin bilgi düzeyinin yeterli olmaması ve biyolojik mücadelenin çalışma prensibini tam olarak kavrayamamaları önemli bir engeldir. Biyolojik mücadele kimyasal mücadele gibi ani ve hızlı sonuç vermez; belirli bir denge süreci gerektirir. Bu durum, kısa vadeli sonuç bekleyen üreticiler için bir tereddüt oluşturmaktadır. Bir diğer sorun başlangıç maliyetinin yüksek algılanmasıdır. Faydalı böcek veya mikrobiyal preparat temini ilk aşamada pahalı görülebilmekte, ancak uzun vadede ilaçlama maliyetini azalttığı çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Ayrıca yanlış zamanlama, uygun olmayan çevre koşulları ve eş zamanlı kimyasal ilaç kullanımı biyolojik mücadelenin etkinliğini azaltmaktadır. Teknik danışmanlık eksikliği ve yeterli saha takibinin yapılmaması da başarı oranını düşüren faktörler arasındadır. Açık alanlarda

doğal dūřmanların çevresel koşullardan daha fazla etkilenmesi ve kontrolün sera ortamına göre daha zor olması da uygulamayı sınırlamaktadır. Buna rağmen artan pestisit kısıtlamaları ve ihracat talepleri, bu sorunların çözümüne yönelik çalışmaları hızlandırmaktadır. Biyolojik mücadele, günümüzde sürdürülebilir tarımın temel unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir. Kimyasal pestisitlerin evre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, direnç gelişimi ve kalıntı problemleri biyolojik yöntemlerin önemini artırmıştır. Dünya genelinde evre dostu üretim modellerine geçiş hızlanmakta, entegre mücadele sistemleri yaygınlaşmaktadır. Özellikle Avrupa Birliđi'nin pestisit azaltma politikaları, biyolojik mücadele pazarını bytmektedir. Türkiye'de örtü altı üretimde önemli ilerlemeler sağlanmış, bazı bölgelerde biyolojik mücadele standart uygulama haline gelmiştir. Ancak açık alan üretiminde yaygınlaştırma çalışmaları devam etmektedir. Eđitim, teknik destek ve devlet teşviklerinin artırılması biyolojik mücadelenin başarısını doğrudan etkilemektedir. Gelecekte hem iç piyasa talepleri hem de ihracat standartları nedeniyle biyolojik mücadelenin önemi daha da artacak, kimyasal mücadeleye alternatif değil tamamlayıcı ve çođu durumda temel yöntem haline gelecektir.

Biyolojik savaş ya da biyolojik mücadele anlatılırken canlılar arasındaki tüm karşlıklı ilişkiler ekolojik bir bütünlük içinde değerlendirilmelidir; nkn bu yöntem doğada zaten var olan etkileşimlerin bilinçli biçimde yönlendirilmesine dayanır. Ekosistemlerde türler arasında rekabet, predatrlk (avcı-av ilişkisi), parazitizm, parasitoidlik, patojenite, mutualizm, kommensalizm, amensalizm ve genel anlamda simbiyotik ilişkiler görülür. Predatrlkte bir organizma diğerini doğrudan tketer; biyolojik mücadelede uğur böcekleri, predatör akarlar ve benzeri faydalılar bu ilişki tipinin uygulamadaki örnekleridir. Parazitizmde parazit konukusundan beslenir ancak onu hemen öldürmez; parasitoidlikte ise gelişim süreci sonunda konukçu ölür ve bu özellik biyolojik mücadelede özellikle tercih edilir. Mikroorganizma temelli uygulamalarda patojenite ilişkisi ne çıkar; *Bacillus*, *Beauveria*, *Metarhizium* veya *Trichoderma* gibi mikroorganizmalar hedef zararlı ya da patojeni enfekte ederek baskılar. Rekabet ilişkisi de biyolojik mücadelede kritik önemdedir; özellikle rizosferde yerleşen faydalı mikroorganizmalar besin ve yaşam alanı için patojenlerle rekabete girerek onların gelişimini sınırlar. Amensalizm, bir türün diğerini olumsuz etkilerken kendisinin etkilenmemesi durumudur ve antibiyotik madde üretimi buna örnektir; birçok biyolojik ajan salgıladığı metabolitlerle patojenleri baskılar. Mutualizm ve genel anlamda simbiyotik ilişkilerde ise iki taraf da fayda sağlar; örneğin bitki kökleri ile bazı faydalı mikroorganizmalar arasında kurulan simbiyotik birliktelik bitkinin direncini artırabilir. Kommensalizmde bir tür fayda görürken diğerine ne yarar ne zarar görür; bu ilişki biyolojik mücadelede doğrudan bir kontrol mekanizması olmasa da ekosistem dengesinin parçasıdır.

Biyolojik savaşta özellikle predatrlk, parasitoidlik, parazitizm, patojenite, rekabet ve amensalizm ilişkileri aktif olarak kullanılırken, mutualistik ve diğer simbiyotik ilişkiler bitkinin dayanıklılığını ve sistemin stabilitesini gclendiren tamamlayıcı unsurlar olarak önem taşır; dolayısıyla biyolojik mücadele, canlılar arasındaki bu karmaşık etkileşim ağının bilimsel olarak analiz edilip tarımsal üretim lehine yönlendirilmesidir.

Biyolojik savaş temel anlamda canlıyı canlıya kırdırmaktır, tarım yaparak bozduğumuz doğan dengeyi tekrar tahsis etmektir. Peki bu bahsedilen canlılar nelerdir. Bu ders kapsamında ilk olarak mücadele edeceğimiz mikrobiyal hastalık etmenleridir. Bunlara **paraziter bitki hastalık etmenleri** de denilmektedir. Bu gözle görülemeyecek kadar ufak canlılar (mikroorganizmalar; başlıca funguslar bakteriler) bitkilerde hastalıklara neden olurlar. Genel anlamda her bitki grubunu hastalandıran ona özgü hastalık etmenleri vardır. Her hastalık etmeni her bitkiyi hastalandıramaz. Ancak farklı etmenler aynı bitki grubunda farklı hastalıklara neden olabilirler. Bu doğanın kendisinde olan bir olgudur. Onu zararlı veya hastalık olarak nitelendirmemiz tamamen doğa değil de insan gözünden bakıyor olmamızdandır. Hastalık veya zararlı isminin olumsuzluğu tamamen insanın bunları düşman olarak görmesinde kaynaklanmaktadır. nk insanlar tarım yaparak istedikleri bitkileri başka bir canlının yemesine fırsat vermeden hasat etmek isterler. Doğanın gözünde bitki üzerinde onla beslenen ve yaşaması için o bitkiye ihtiyaç duyan mikroorganizma da insan kadar masumdur. Ancak tarım yaparak insanoğlu onlara zararlı demiş ve tarım arazilerinde istememiştir. Buna benzer olarak bu zararlı/hastalık etmenlerini yiyen, onları öldürerek karnını doyuran diğer canlılara da yararlı demiştir. nk düşman olarak nitelendirdiği canlıları yiyen bu canlılara “yararlı” isminden başka bir isim veremezdi. Dikkat edilecek olursa tüm bu kavramlar insan gözünden ele alınmıştır. Biyolojik savaşta zararlı veya hastalık etmenini bir şekilde durduran, öldüren, engel olan canlılar bizim gözümüzde **yararlıdır** (ve bundan sonra bu şekilde anılacaktır). Bitki hastalık etmenlerinin öldürülmesi ya da durdurulması için, onlara karşı kullanılan bu mikroorganizmalara **Biyolojik Savaş Elemanı**, **Biyolojik Savaş Ajanı** veya **antagonist** adı verilmektedir. Bu yararlı mikroorganizmalar hastalık etmenlerini şitli etki mekanizmaları ile öldürür ya da durdururlar. Bunlar genel olarak **antibiosis**, **yarışma**, **hiperparazitizm**, **hipovirulens**, **uyarılmış dayanıklılık** ve **apraz koruma** olarak sıralanabilir.

Antibiosis

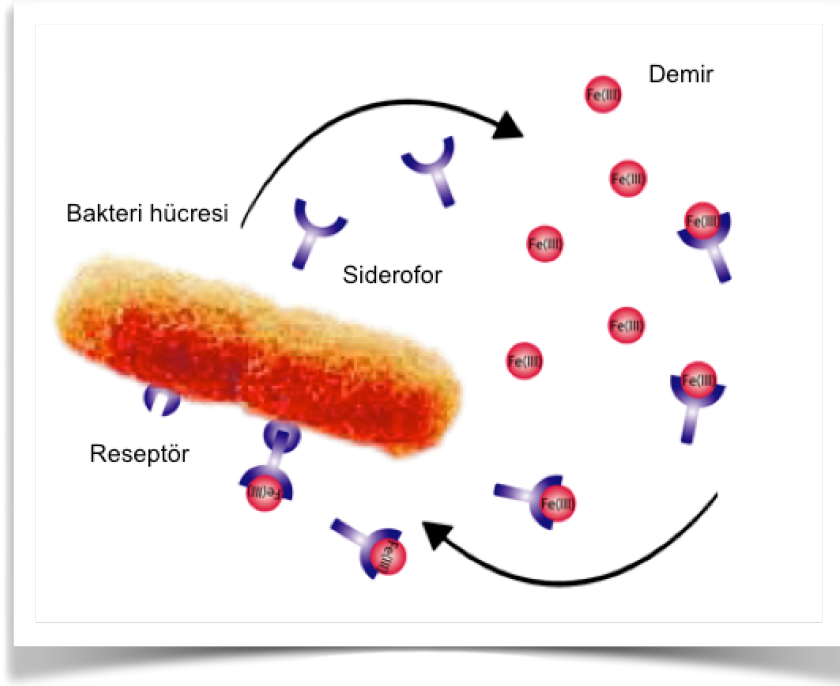
Bir organizmanın, başka bir organizmayı ürettiği metabolitleriyle engellemesi ya da yıkıma uğratmasıdır. Bu metabolitlere genel olarak **antibiyotik** adı verilmektedir. Genellikle düşük moleküler ağırlıklı, uçucu olan ya da olmayan ve ortamda yayılabilen toksik bileşiklerdir. Bazı

metabolitler enzim özelliğindedir ve hastalık etmeninin hücre kısımlarını yıkarak/eriterek (**litik**) etki gösterirler. Bu metabolitlerin üretilmesi için antagonistlerin buldukları ortamın besin içeriği önemlidir. Çünkü bu metabolitler ancak belirli besin koşulları oluştuğunda üretilirler. Bu nedenle laboratuvar ortamında etki gösteren bir antagonist doğa koşullarında etki göstermeyebilir. Laboratuvar koşullarında besin kıtlığı veya yokluğu çekilmez, besin içeriği açısından zengindir ve ayarlanabilir. Ancak doğa besin içeriği açısından kıttır. Besin içeriği açısından doğada belkide en zengin bölge topraktır. Toprakta özellikle bitkilerin kök bölgesinde yapılan biyolojik mücadele iyi sonuçlar verebilmektedir. Kök bölgesi (**Rizosfer**) bitki kökünden salgılanan besin değeri yüksek bazı maddelerce de zengindir. Bu besin maddeleri antagonistlerin burada gelişmesini teşvik edebilir ya da metabolit oluşturmalarını tetikleyebilirler. Kök bölgesinde kökü kılıf gibi saran antagonistler kök bölgesine özellikle kök hastalıklarının sokulmasına müsaade etmezler. Buna benzer olarak toprak üstü aksamda da biyolojik savaş yapılabilir. **Fillopleyn** olarak adlandırılan bu toprak üstü kısımlarda yapılan biyolojik savaşta seçilecek olan antagonistin kötü çevre koşullarına uygun olması gerekmektedir. Çünkü bu kısım doğrudan güneş gören, besin maddesi açısından yoksun, kuru ve sıcak bir bölgedir. Sayılan bu özellikler antagonistin etki göstermesi hatta yaşaması için uygun değildir.

Yarışma

İki ya da daha fazla mikroorganizmanın aynı şeye gereksinim duyduğunda bunu yalnızca birinin kullanarak diğerinin yararlanamaması durumunda ortaya çıkar. Bu **besin** için olabileceği gibi **yer** için de olabilmektedir. Yarışma genelde ortamda kıtlığı çekilen faktörler üzerinde yapılmaktadır. Örneğin bazı fungal hastalık etmenleri gelişebilmeleri için demire ihtiyaç duyarlar. Topraktaki demiri **siderofor** adı verilen bir metaboliti üreterek bağlar, bunu özel algılayıcıları ile yakalar ve kullanırlar. Bu metaboliti bir antagonist grubu bakteri de üretir. Bitkiye herhangi bir zararı olmayan bu antagonist grup bakterisi topraktaki demiri aynı hastalık etmenine benzer olarak bağlar. Ancak bunların sayıları çok fazladır ve çok çabuk çoğalırlar. Buna ek olarak bu antagonistler hastalık etmeninin ürettiği sideroforların bağladığı demiri de kullanırlar. Buna karşın hastalık etmeni sadece kendi ürettiği sideroforları tanır. Böylece hastalık etmeni demir açısında yoksun kalır ve popülasyonunda bir azalma sağlanmış olur.

Başka bir yarışma türü de yer rekabetidir. Genelde aynı yeri paylaşan farklı bireyler aynı habitat içinde farklı alanlara yerleşirler. Bir yerin bir mikroorganizma grubu tarafından işgal edilmesi durumunda o bölgede farklı türlerin varlığına pek rastlanmaz. Bazı biyolojik savaş elemanları eğer hastalıktan önce o bölgeye gelir, yerleşir ve miktarını arttırırsa orada baskın tür pozisyonuna

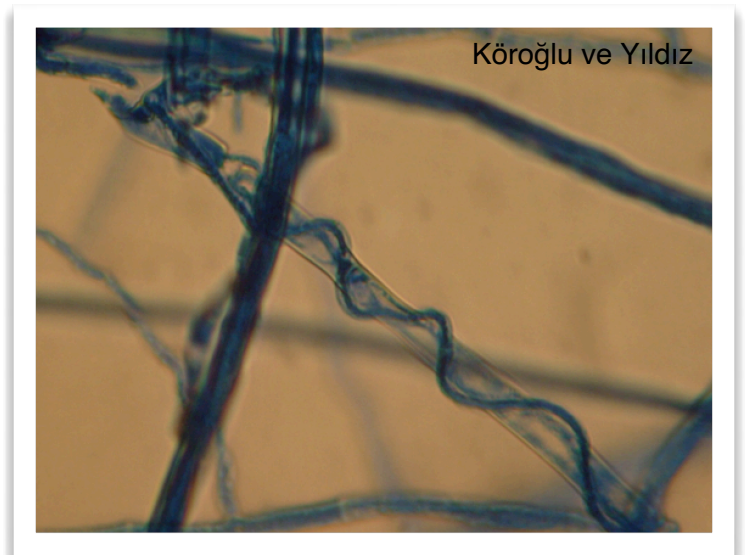


gelir. Bu bölge hastalık etmeni dahil diğer mikroorganizmalar tarafından tercih edilmez duruma gelmektedir.

Dona dayanıklı bazı bitkilerin yapraklarında su sıcaklığı 0°C 'nin biraz altına düştüğü zaman oluşan buz; kristal oluşumunu başlatan buz çekirdeklerinin varlığını gösterir. Bu buz çekirdeği görevini abiyotik maddeler (toz, mineral vb.) üstlenebileceği gibi bazı mikroorganizma da olabilmektedir. Bu gibi kristal oluşumunu başlatıcı çekirdeklerin yokluğunda su -5 ya da -12°C de donmadan sıvı formda kalabilir. Eğer bitkide buz çekirdeği oluşturan bakteriler bu çekirdeği oluşumunu etkisiz kılan diğer bakteriler ile yer için yarışabilirse don zararı önlenir.

Hiperparazitizm

Genel olarak bitki patojeni etmenlere bitki paraziti mikroorganizmalar ya da etmenler de denilmektedir. Çünkü gelişmeleri için konukçu bir bitkiye gelmeleri ve onun üzerinden beslenmeleri gerekmektedir. Bu paraziter hastalık etmeni üzerinde başka bir mikroorganizma varsa ve bu mikroorganizma bu hastalık etmeni üzerinde besleniyorsa bizim yararımıza bir iş yapıyor demektir. Beslenme şekline



bakılacak olursa onun ismi de parazittir. İşte bizim zararlı olarak nitelendirdiğimiz parazitin üzerindeki bu parazitlere **hiperparazit** yani parazitin paraziti adı verilmektedir. Özellikle bir grup yararlı fungus (*Trichoderma* spp.) bitkilerde hastalıklara neden olan zararlı bir grup fungusun üzerinde paraziter olarak gelişerek onları durdurmaktadır.

Hipovirulens

Bir virülens azalışı (hastalandırma şiddetinde azalma) olarak bilinen bu olgu, virulent bir patojen ve onunla akraba olan daha az virulent bireyler arasındaki bir olaydır. Fungusları enfekte eden virüslere **mikovirüs** adı verilmektedir. Mikovirüslerin çoğu herhangi bir belirti göstermeksizin konukçularında latent kalırlar. Ancak bulaştıkları patojen hücrelerinde virülens azalışına nede olurlar. Mikovirüsler hiflerin birbirine değmesi ile mikovirüsten ari bireylere geçebilmektedirler. Böylece mikovirüs bulaşan hastalık etmenlerinde bir virülens azalışı meydana gelmektedir. Mikovirüsler ile bulaşık bu virülensi düşmüş bireyler virülensi yüksek bireylere bu durumlarını bulaştırırlar ve biyolojik savaşta kullanılırlar. Hipovirulent terimi ilk kez 1900 lü yılların ortalarında İtalya ve Güney Fransa'da kestane ağaçlarında iyileşen kanserlerden elde edilen *Cryphonectia parasitica* ırklarını tanılamak için kullanılmıştır. Bu ırkların içindeki mikovirüslerin Amerika'daki hasta kestanelerdeki virulent *C. parasitica* ırklarına stoplazmik olarak aktarıldığı, bu hastalık yapma yeteneğinde olan ırkların artık virülensliklerini kaybettiği ve kanser yaralarının kapandığı tespit edilmiştir.

Uyarılmış Dayanıklılık

Hayvanlardaki bağışıklık sisteminden yapı ve işleyiş bakımından biraz farklı olsa da, bitkiler de hastalıklara karşı bir sistem ile karşı koymaya çalışırlar. Bitkilerde hastalıklara dayanıklılık mekanizmalarından birisi düşük moleküler ağırlıklı antimikrobiyal maddelerin (**Fitoaleksinler**) hemen enfeksiyon yerinde ve çevresinde birikmesidir. Bu maddeler bitkide ön-enfeksiyon yoluyla, enfeksiyon ya da stresten hemen sonra birikirler ve bitkinin bu olumsuzluk ile baş etmesine yardımcı olurlar. Konukçu bitkinin hastalıklara dayanıklılık mekanizmaları sadece fitoaleksin sentezi ve birikmesi ile ilişkili değildir. Buna benzer olarak bitkiye saldıran patojenlerin çeşitli kısımlarını eritebilecek enzimler de dahil bir çok metabolitin üretilmesi de söz konusudur. Zararsız bir mikroorganizma, bir biyolojik savaş elemanı veya zayıf virulent bir patojen gerçek bir patojen gibi davranarak konukçu bitkinin savunma sisteminin tetiklenmesine, böylece konukçu bitkinin sonradan gelecek herhangi bir saldırıya hazır duruma gelmesine neden olabilmektedir. Buna uyarılmış dayanıklılık adı verilmekte ve biyolojik savaş yöntemi olarak kabul görmektedir. Uyarılmış dayanıklılık bitkinin her yerinde koruyuculuk sağlayabilmektedir. Yani kökten uyarılan bir konukçu yaprak enfeksiyonlarına karşı dayanıklı hale gelebilmekte ve

etkisi çok uzun süreler boyu devam edebilmektedir. Patojenik olmayan mikroorganizmalar, özellikle bitki gelişimini uyaran kök bakterilerinin (**PGPR**) özel ırkları da sistemik dayanıklılığı uyarabilmektedir.

Çapraz Koruma

Çapraz koruma da uyarılmış dayanıklılık gibi bitkinin içinde oluşan bir biyolojik savaş mekanizmasıdır. Çapraz koruma antagonist organizma tarafından konukçu doku içinde patojene antibiosis, yer ve besin için yarışma, hifsel interferans ya da parazitizm gibi mekanizmalardan birisi ya da bunların kombinasyonu ile önlenmesini içermektedir. Uyarılmış dayanıklılığın etkisi dolaylıdır ve antagonist tarafından uyarılır uyarılmaz mikroorganizmalara karşı bitkilerin aktif savunma mekanizmalarını harekete geçirmesiyle ilgilidir. Çapraz korumada kullanılan uyarıcı izolat ya önlemesi istenen patojenle akrabadır ya da diğer ürünlerin benzer dokularında patojendir. Bu akraba ırklar yanı ekolojik alana uyum sağlamış herhangi iki mikroorganizma gibi oradaki tüketilebilir benzer materyaller için yarışabilirler.

Biyolojik Savaş Elemanlarının Elde Edilme Süreçleri

Belirli bir bitkide, belirli bir hastalık etmenine karşı biyolojik savaşta kullanılacak olan mikrobiyal savaş elemanları doğada aranmasından ürün haline getirilinceye kadar bir dizi süreçten geçilmektedir. Bu adımları bilmek, gerek elde edilmesi gerekse kitle üretimi ve formülasyon haline getirilmesinde bize yardımcı olacaktır. Son aşamalarda bizi üretimde zor durumda bırakacak ya da insan sağlığıyla ilgili olabilecek biyolojik savaş ajanlarının ilk aşamalarda elenmesi gerekmektedir. Bu ve bunun gibi konular göz önünde bulundurularak bu aşamalar sıralanacak olursa;

- Biyolojik savaş elemanının (BSE) bulunması ve tanınması
- Etkinlik testleri
- Tarla denemelerinin yapılması
- Güvenlik testleri (Kullanıcı, çevre, hedef dışı organizmaların güvenliği)
- BSE'nin kalıtsal değişmezlik testi
- Kitle üretim potansiyelinin araştırılması
- Etkinliğini arttırabilecek taşıyıcı bi madde içinde BSE'nin formülasyonunun geliştirilmesi
- Etkinin değişmezliği ve raf ömrü testleri
- BSE nin pazar potansiyelinin araştırılması
- Ürünün maliyet analizi, yatırım/getiri oranının değerlendirilmesi
- Patent alınması
- Biyopreparatın ticari olarak değerlendirilip dağıtımının yapılması

Bu maddeler izlendiğinde ilk aşamalarda potansiyel antagonistlere **antagonist aday** adı verilmektedir. Adımlar ilerledikçe ve etkinlikleri gerek laboratuvarında (**in-vitro**) gerekse arazide (**in-vivo**) ortaya kondukça antagonist adayından ziyade antagonist olarak adlandırılmaya başlanılır. Peki **etkili bir antagonistin ne gibi özellikleri olması gerekmektedir**. Bu sorunun cevabı aşağıda listelenmiştir;

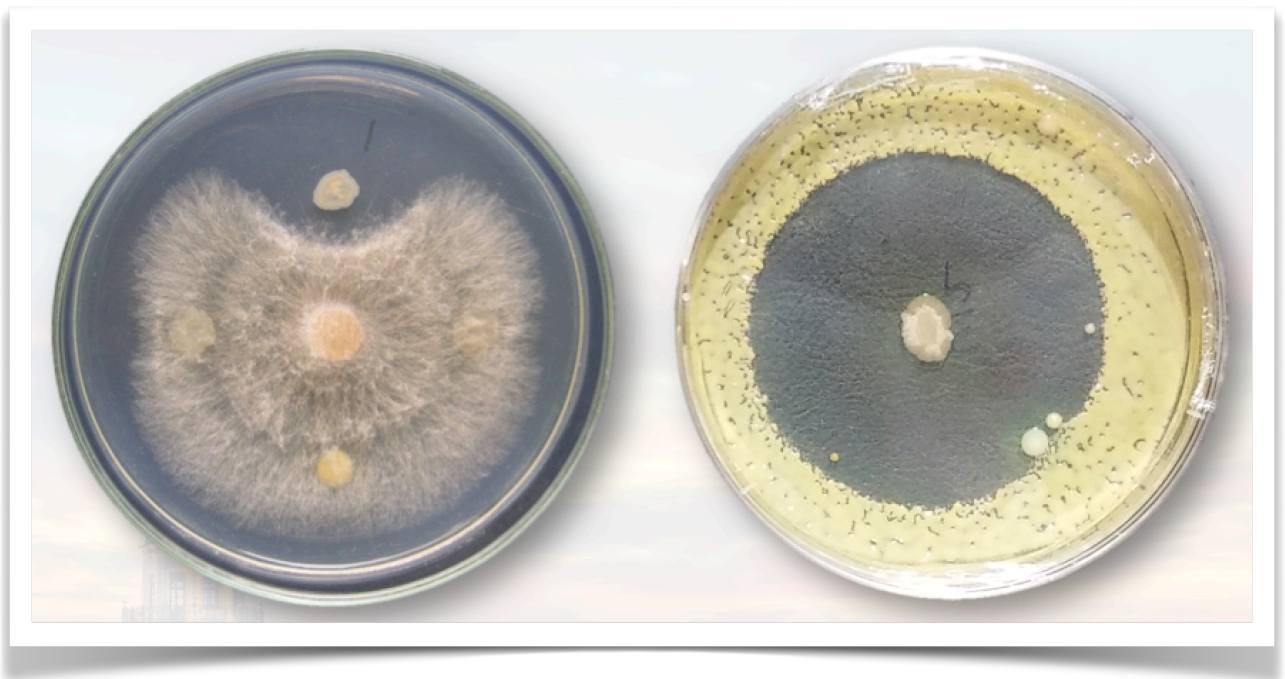
- Genetik değişmezlik göstermelidir
- Yüksek ve sürekli etkililik göstermelidir
- Olumsuz çevre koşulları altında yaşamını sürdürebilmelidir.
- Antagonist birden fazla patojene etkili olmalıdır
- Kitle üretimi için pahalı olmayan ortamlarda geliştirilebilmelidir
- Depolama ile özelliğini uzun süre yitirmemelidir
- İlk başta insan olmak üzere, çevredeki diğer canlılara enfeksiyonel ya da ürettiği ikincil metabolitleri ile zararı olmamalıdır
- Standart fungusitlere dayanıklı olmalıdır
- Özellikle hasat sonrası hastalıklar için BSE diğer fiziksel ve kimyasal işlemlerin uygulanmasına uygun olmalıdır

Doğada BSE adayları aranırken konukçu bitki ve bu konukçu bitkide hasatlık yapan etmen iyi değerlendirilmeli, hastalığın ortaya çıktığı yer ve zamanda BSE'nin izolasyonuna özen gösterilmelidir. Çünkü bu zamanlarda izole edilen antagonsitler tekrar bu zamanda kullanılacaklarından hem çevre koşullarına hem de buldukları ortama uyum sağlamaları konularında bir sıkıntı yaşanmayacaktır. Örneğin kışın izole edilen bir antagonistin yazın çalışması çoğu zaman çevre koşulları nedeniyle mümkün olamayabilecektir. Veya yaprak yüzeyinden izole edilen bir antagonistin kök bölgesinde çalışması zor olacaktır ya da tam tersi. Hastalanmış bitkilerin içinde sağlıklı görülen bitkiler antagonist arayışında hedeflenen bitkilerdir. Bu bitkiler bir şekilde hastalıklı alanlarda sağlıklı kalmayı başaran bitkilerdir ve belkide bunların kök bölgesinde, yüzeyinde veya içinde kendiliğinden bulaşan antagonistleri barındırarak bu özelliğe sahip olmuş olabilirler. Bu bitkiler izolasyon çalışmalarında özellikle göz önünde bulundurulmalıdırlar. Antagonistin etkili olabilmesi için uygun çevre koşullarında bulunması gerekmektedir, bu sorun onu bu söz konusu çevre koşullarında ve zamanda izole etmek ile aşılabılır. Antagonistler bitkinin yüzeyinde, kök bölgesinde (rizosfer) ya da bitkinin içinde (**endofitik**) aranarak izole edilebilirler. Toprak çok karmaşık bir yapıya sahiptir ve çok sayıda mikroorganizma barındırmaktadır. Toprağa uygulanacak antagonistin topraktaki diğer mikroorganizmalar ile uyum içinde olması gerekmektedir. Antagonistin topraktaki bu

mikroorganizmaların oluşturduğu metabolitlerden etkilenmemesi ya da etkinliğini düşürmemesi gerekmektedir. Ayrıca kullanılacakları alanda rahat **kolonize** olmaları (çoğalarak sayılarını arttırmaları) ve orada baskın popülasyon haline gelmeleri gerekmektedir. Bu nedenle uygulandıkları bölgede olabildiğince uzun süre varlıklarını sürdürebilmelidirler. Buna ek olarak özellikle korunması için hedef alınan kültür bitkisi yüzeyinde, içinde ya da kök bölgesinde rahatlıkla üreyebilmeli ve bu bölgeleri kendine ekolojik habitat olarak seçmelidir. Özellikle bitkiler kendilerine özgü bir takım maddeler salgırlar. Örneğin kök bölgesinden bitki tarafından salgılanan ve bu bitkiye has olan bu maddelerin varlığında gelişebilen antagonistler vardır. Bu antagonistlerin bulunarak bunların kullanılması ekstra bir özellik kazandıracaktır.

Her zaman için laboratuvarda elde edilen sonuçlar arazide elde edilemeyebilir. Hatta çoğu araştırmacı laboratuvarda elde ettikleri olumlu etkileri arazide alamadıklarından söz etmektedirler. Çünkü laboratuvar gerek sıcaklık, gerekse besin açısından kontrollü koşullardır. Arazide ise homojen olmayan ve kıt sayılabilecek oranda besin vardır; sıcaklığı, nemi değişkendir. Bazı durumlarda antagonistler güneşte bulunan UV ışınlarına maruz kalarak ölebilmektedirler. Ayrıca yukarıda bahsedildiği üzere toprak canlı bir yapıdadır ve burada çalışmasını beklediğimiz antagonistin gelişmesini engelleyebilen mikroorganizmalar bulunabilmektedir. Tüm bu koşullar düşünüldüğünde arazide antagonistin hedef patojenimize aynı laboratuvarda olduğu gibi etki göstermesi istenmektedir.

Laboratuvar testlerinin ilk aşaması **ikili kültür** çalışmalarıdır. Bu çalışmalar ile antagonist ve patojen besi yeri içinde bir araya getirilerek birbirine olan etkileri incelenmeye çalışılır. Genel



olarak besi yerine antagonistler patojenden bir gün önce ekilirler. Antagonist ekiminden bir gün sonra ise patojen ekimi gerçekleştirilir. Bu bir günlük farkta antagonist eğer antibiyotik üretme kabiliyetindeyse besi yerinde yayılabilen metabolitlerini üretmeye başlar. Daha sonra patojen ekildiğinde patojen besi yerinde gelişmeye başlar ancak antagonistin ürettiği metabolitler ile karşılaştığında gelişmesine bu noktadan itibaren devam edemez ve antagonist ile patojen arasında patojenin gelişemediği bir alan oluşur, bu alana **engelleme zonu** adı verilir. Ve bu alanın büyüklüğü antagonistin ikili kültürde patojene olan etkisi ile doğru orantılıdır. Antagonistin ve patojenin ekildiği bu besi yerinin cinsi ve ekim yöntemleri kullanılan antagonist ve patojenin içinde buldukları canlı gruplarına (fungus, bakteri vs) farklılık gösterir.

Etkinlik testlerinin yapılmasından sonra antagonistik etki gösteren mikroorganizmalar daha sonraki laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere saklanırlar. Özellikle bu antagonistlerin belirli bir sıcaklık aralığında yaşaması istenir. Özellikle bir antagonist mikroorganizmanın doğada karşılaşılabileceği maksimum sıcaklıklarda gelişip gelişmediğinin incelenmesi gerekmektedir. Sıcaklık toleransı olmayan ve nisbeten yüksek sıcaklıklarda ölen mikroorganizmaların elenmesi gerekmektedir. Çünkü bunlardan daha sonra arazide koruma yapmaları istendiğinde yüksek sıcaklıklar ile karşılaştıklarında etki göstermeden ölebilmektedirler. İkili kültür testleri ile başlayan bu süreçte aynı zamanda elde edilen bu durdurucu etkilerin hangi metabolitler ile sağlandığının araştırılmasının da çok sayıda antagonist içinden en etkililerin seçiminde bize yardımcı olacaktır. Antagonistler çok sayıda antibiyotik, litik enzim ya da ikincil metabolit üretme yeteneğindedirler. Bir antagonist bu etkiyi sadece bir metaboliti ile yapabilirken çok sayıda metabolit de üretebilmektedir. Ne kadar çok sayıda patojene etkili ve ne kadar çok farklı metabolit üretirse o kadar çok arazide potansiyel kullanım olanağı bulacaktır.

Etkileri ve mekanizmaları belirlenen antagonistler tür düzeyinde tanılanmaya çalışılmalıdır. Günümüzdeki moleküler teknolojilerin gelişmesiyle beraber mikroorganizmaların hangi türde oldukları genlerine bakılarak çok kısa sürede anlaşılabilir. Antagonistlerin hangi türden olduğunu bilmemiz bize insan sağlığı açısından bir sıkıntının olup olmayacağı konusunda bilgi sağlayacaktır. Elde edilen tür isimleri literatür taranarak araştırılması gerekmektedir. Tıp literatürlerinde anılan, patojen ya da zayıflık patojenleri olarak saptanmış olan mikroorganizmaların çalışmadan çıkarılması gerekmektedir. Patojenlere etkili olsa da bu antagonistlerin kullanılmaması gerekmektedir.

Dikkat edilecek olursa izolasyon sırasında elde edilen çok sayıda antagonist adayı mikroorganizma olumlu ve olumsuz yönleri araştırılarak bir eliminasyon yöntemi izlenmektedir.



Bu eliminasyonda olumlu yanları çok olan ve olumsuz yanı olmayan antagonistler seçilerek arazi denemelerine geçilmektedir.

Laboratuvar çalışmaları ile etkili olabileceği düşünülen antagonistler arazide denenmeden önce **iklim odası** olarak adlandırılan ve kontrollü koşullarda yetiştirilen bitkiler üzerinde denenmelidir. Antagonist, patojen ve bitki bu aşamada ilk kez bir araya gelmekte (eğer özel bir laboratuvar çalışması yapılmadı ise) ve etki incelenmektedir. İklim odası çalışmaları doğa çalışmalarına en yakın çalışmalardır. Burada yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar da antagonist adaylarının eliminasyonunda kullanılırlar. İklim odalarında sıcaklık, ışık, nem gibi çevre koşulları cihazlar tarafından ayarlanmakta ve bitkilerin yetiştirildikleri topraklar sterilize edilmektedir. Kontrollü olan bu koşullar aslında doğayı tam olarak yansıtmamaktadır. Sıcaklık, ışık ve nem doğada değişkenlik göstermektedir. Özellikle toprağın yapısı, içindeki canlı unsurların bulunması, su içeriği, pH'sı gibi bir çok faktör standart dışına çıkmaktadır. En önemlisi toprak canlı bir materyaldir. İklim odasında alınan olumlu sonuçlar arazi çalışmalarında olumsuzza dönebilir.

Hem laboratuvar hem de iklim odasında yapılan çalışmalar sonucunda etkili bulunan antagonistler arazide etkili bulunmayabilir. Bu nedenle laboratuvar ve iklim odası çalışmalarının arazi ortamını yansıtacak şekilde azami şekilde dikkat edilerek kurulması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Dikkat edilecek olursa laboratuvarında etkili olduğu halde arazide etkinin alınmadığı durumlarla çok karşılaşıldığına değinilmiştir. Peki tam tersi bir durum karşımıza gelebilir mi? Evet. Örneğin laboratuvarında etkisiz olarak bulduğunuz bir antagonist adayı belki de

eğer elenmeseydi arazide çok başarılı olabilecekti. Ancak bu silsile sırasında bir şekilde elenmiş olan bu antagonist adayı laboratuvarında uygun koşulların oluşturulmamasından dolayı maalesef gözden kaçabilecektir. Bundan dolayı antagonist adaylarının aranması sırasında; patojen, bitki ve çevre faktörleri olabildiğince iyi irdelenmeli ve çalışma kurgusu ona göre oluşturulmalıdır.

Her şey yolunda gittiği düşünülduğünde kitle üretimi ve formülasyon çalışmalarına geçilmesi gerekmektedir. Antagonistin kitle üretimine müsait olması gerekmektedir. Laboratuvarında antagonistin geliştirilmesi için kullanılan kimyasallar çok pahalıdır ve sadece çalışma yapacak kadar mikroorganizma üretilmektedir. Büyük kitleler halinde antagonistin üretilmesi için antagonistin kolaylıkla gelişebileceği, rahat ve her zaman temin edilebilir, ucuz bir maddeden besi yeri yapılması ve antagonistin bu besi yerinde geliştirilebilmesi gerekmektedir. Kitle halinde geliştirilen antagonistin doğada kullanabilecek bir formülasyona sokulması gerekmektedir. Bu formülasyon ile antagonistin rafa konduğunda etkinliğini kaybetmemesi, raf ömrünün uzun olması, ufak bir ambalajı olması ve arazide uygulamasının kolay olması gerekmektedir. Zaten kimyasala bir alternatif olarak sunulan **biopreparatlar** (Biyolojik savaş ajanlarının formüle edilmiş ve ruhsatlanmış son halleri)'in uygulama zorluluğunun olmaması, üreticinin bunu tercih etmesi açısından oldukça önemlidir.

Bitki hastalıklarına karşı kullanılan biyolojik savaş ajanlarının formülasyonları, etken organizmanın canlılığını koruyacak, raf ömrünü uzatacak, uygulama kolaylığı sağlayacak ve tarla koşullarında etkinliğini sürdüreceği şekilde geliştirilir; bu ajanlar çoğunlukla bakteri (örneğin *Bacillus* ve *Pseudomonas* türleri), fungus (örneğin *Trichoderma* türleri) veya daha nadiren maya ve aktinomiset kökenlidir ve formülasyon sürecinde mikroorganizmanın spor ya da dayanıklı hücre yapısından yararlanır. En yaygın formülasyon tipleri ıslanabilir toz (WP), suda dağılabilir granül (WG), toz (DP), sıvı süspansiyon konsantre (SC), emülsiyon formülasyonları ve mikroenkapsüle ürünlerdir; katı formülasyonlarda genellikle taşıyıcı olarak talk, kaolin, bentonit, turba, vermikülit gibi inert maddeler kullanılırken sıvı formülasyonlarda su bazlı taşıyıcılar, stabilizatörler, yapışma artırıcılar ve koruyucu maddeler yer alır. Formülasyonun temel amacı, mikroorganizmayı depolama süresince sıcaklık, nem ve UV ışınlarının olumsuz etkilerinden korumak ve uygulama sonrası bitki yüzeyinde veya rizosferde tutunmasını artırmaktır; bu nedenle koruyucu polimerler, besleyici katkıları ve osmotik denge sağlayıcı maddeler ilave edilebilir. Özellikle spor oluşturan bakteriler ve funguslar kuru formülasyonlarda daha uzun raf ömrüne sahipken, vejetatif hücre içeren sıvı formülasyonlarda canlılık kaybını önlemek için pH ve sıcaklık stabilitesi kritik öneme sahiptir. Son yıllarda kontrollü salım sağlayan mikroenkapsülasyon teknikleri, biyolojik ajanın çevresel stres faktörlerine karşı korunmasını ve

hedef bölgede kademeli olarak aktif hale gelmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca tohum kaplama formülasyonları, fide kök daldırma preparatları ve damla sulama sistemine uygun sıvı biyopreparatlar da yaygınlaşmaktadır. Etkili bir biyolojik formülasyon; yüksek canlı hücre veya spor yoğunluğu, homojen dağılım, kolay uygulanabilirlik, depolama stabilitesi ve hedef patojene karşı tutarlı performans özelliklerini birlikte sağlamalıdır; bu nedenle formülasyon geliştirme süreci, biyoteknolojik üretim kadar önemli bir aşama olup ürünün ticari başarısını doğrudan belirlemektedir.