
SERİ

B

CİLT

49

SAYI

1 - 2 - 3 - 4

1999

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ



ZARARLILARIN VE BİTKİ HASTALIKLARININ KONTROLÜNDE BİYOTEKNOLOJİ KULLANIMI İLE İLGİLİ DÜŞÜNCELER

Y. Doç. Dr. Süleyman AKBULUT¹⁾

Kısa Özet

Zararlıların ve bitki hastalıklarının neden olduğu kayıplar önemli boyutlardadır. Bu kayıplara neden olan organizmalara karşı geliştirilen farklı kontrol yöntemleri vardır. Son yıllarda genetik biliminde meydana gelen gelişmeler biyoteknolojinin zararlıların kontrolünde kullanılmasını sağlamış ve bu konuda geleceğin önemli bir kontrol stratejisi olabileceğini göstermiştir. Ancak biyoteknolojinin hem bitkilerde hem de hayvanlarda kullanımı sonucu gelecekte ortaya çıkabilecek sorunlar herkesi düşündürülen bir konudur. Özellikle transgenic bitkilerden elde edilen besin maddelerinde insan sağlığı açısından bir sorun olmadığının tam anlamıyla belirlenmesi gerekir. Bu nedenle, biyoteknolojinin kullanımı ile ilgili belirsizliklerin giderilmesi ve giderilinceye kadar biyoteknolojinin zararlılar ve bitkilerde kullanımının sınırlı düzeyde ve mutlak kontrol altında tutulması yerinde olacaktır.

1.GİRİŞ

Milyonlarca insanın açlıktan öldüğü ve üretilen ürünlerin neredeyse yarısının zararlılar ve hastalıklar nedeniyle yok edildiği bir dünyada yaşıyoruz. Bu kayıplardan sorumlu olan organizmalar arasında böcekler, mantarlar, bakteriler, nematodlar, virüsler ve yabancı otlar bulunmaktadır. Bitkilerin bu zararlılara karşı morfolojik ve fizyolojik karakterli bazı savunma mekanizmaları vardır. Ancak zaman içerisinde pek çok patojenin şiddetli saldırıları sonucunda bu savunma mekanizmaları aşılabilir hale gelmiştir.

Bitkilerin korunması amacıyla çok farklı kontrol stratejileri geliştirilmekte ve bunlardan farklı düzeylerde başarılar elde edilmektedir. Bu stratejilerin çoğunluğunda kimyasal pestisidlerin kullanımı esas alınmış ve geniş çaplı başarılar elde edilmiştir. Son yıllarda, aşırı oranda kullanılan kimyasal pestisidlerin oldukça ciddi boyutlardaki olumsuz etkileri kamuoyunun dikkatini çekmiştir. Sürekli tekrar edilen kimyasal ilaç kullanımına bağlı olarak pek çok zararlının zamanla dayanıklılık kazanması, kimyasal maddelerin aynı zamanda zararlıların yırtıcılarını öldürerek ekosistemdeki doğal dengeyi yok etmesi başlangıçta üretici firmalar ve kullanıcılar tarafından genellikle dikkate alınmamıştır. Kimyasal pestisidlerin çoğunun su kaynaklarını kirletmesi, besin zinciri-

¹⁾ A.İ.B.Ü. Orman Fakültesi Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı

ni bozması, toprak mikroflorasını yok etmesi ve insanlarda çeşitli sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olması gibi olumsuzluklar kamuoyunda kimyasallara olan güveni azaltmıştır. Bu durum hem hükümetleri hem de özel sektörü, kullanımı daha güvenli olan kimyasalların bulunmasına ve daha önemlisi zararlı problemlerinin çözümü için farklı kontrol alternatiflerinin geliştirilmesine yöneltmiştir. Bunlardan en önemlisi biyolojik mücadele ve biyoteknolojinin zararlı kontrolünde kullanımıdır.

2. BİYOTEKNOLOJİ VE ZARARLI KONTROLÜ

Zararlıların ve bitki hastalıklarının kontrol edilmesinde gelecek vaad eden en önemli stratejilerden biri biyolojik metodların kullanımıdır. Biyolojik savaş hem kimyasal maddelere alternatif olabilmesi, hem de gerekli yerlerde diğer yöntemlerle ortak kullanımı nedeniyle cazip görünmektedir. Ancak biyolojik mücadelenin klasik stratejileri genellikle sınırlı bir başarı sağlar. Pek çok durumda etkili olmalarına rağmen, başarının yavaş gerçekleşmesi, kullanımının kolay ve ekonomik olmaması olumsuz yönleri olarak söylenebilir. Bununla birlikte son yıllarda moleküler biyolojide gerçekleşen gelişmeler, mevcut biyolojik kontrol yöntemlerinin geliştirilmesinde bir potansiyel olarak görülmektedir. Tabiatın bitki patojenlerini, dayanıklı bitkiler ve doğal düşmanlar yoluyla kontrol etme gibi uzun süreden beri bilinen kendine has başarılı bir tarzı vardır. Biyoteknolojinin kullanımı ile bu doğal kontrol mekanizmalarının değişikliğe uğratılması ve geliştirilmesiyle, bitkilerin patojenlere karşı daha iyi korunması sağlanabilir. Bazı bitkilerde bu tür çalışmalar (domates, mısır, pamuk v.b.) gerçekleştirilmiş ve önemli başarılar elde edilmiştir.

Bitkilerde meydana getirdikleri zarar ve aynı zamanda bazı mikrobiyolojik patojenlerin vektörü olmaları nedeniyle böcekler, bitkilerin en önemli zararlıları sayılırlar. Canlı iki organizmanın birlikte yaşama zorunluluğu bitkilerin zararlı böceklere karşı doğal savunma mekanizmaları geliştirmelerine neden olmuştur. Bunların bazıları fizyolojik (böceklere karşı toksik madde üretme, phytoalexins gibi) bazıları da morfolojik (sert kutikula tabakası) engellerdir. Klasik biyolojik kontrol stratejileri bu yararlı doğal koruma mekanizmalarını (melezleştirme yolu ile) en yüksek düzeye ulaştırmayı amaç edinmiştir. Korumanın her zaman sağlanamaması ve koruma mekanizmasının tam anlamıyla anlaşılmasına rağmen, melezleştirme ile koruma esas biyolojik kontrol stratejisi olarak tarihsel çağlardan beri kullanılmaktadır. Pek çok olayda başarılı olmasına rağmen melezleştirme ile korumanın bazı önemli eksikleri vardır. En önemli nokta sürecin çok yavaş ve yorucu olmasıdır. Buna ek olarak patojenin adaptasyonu da sözkonusu olabilir. Üstelik koruma sürekli olarak kalıtsal yolla yeni döllere ulaştırılamayabilir ve sadece birbirine benzer bitki türleri arasında transfer edilebilir.

1970'li yıllarda biyokimyasal yöntemlerin kullanılarak nükleik asit ve proteinlerin karakterize ve manipüle edilebilmesi moleküler biyolojinin gelişimi için son derece önemlidir. Bu dönemde DNA üzerinde değişiklikler yapılabilmesi ve arzu edilen genetik materyalin yabancı bir organizmanın genomu içine aktarılabilmesinin belirlenmesi moleküler biyoloji açısından önemli bir gelişmedir. Son 20 yılda hızlı bir ivme kazanan biyoteknoloji, hem ürün miktar ve kalitesinin artırılması, hem de bitkilerin zararlılara karşı korunması açısından önemli bir potansiyel olarak kabul edilmektedir. Biyoteknoloji, bir organizmanın DNA'sının genetik olarak modifiye edilmesini sağlayan bir bilimdir (ALLEE 2000). Böylece organizma yeni kazanmış olduğu özellikler sayesinde zararlı faktörlere karşı daha dayanıklı hale gelir. Bitkilerin korunması için biyoteknolojinin kullanımında 3 yaklaşım dikkat çekmektedir:

1. Biyolojik mücadelenin daha etkin hale getirilebilmesi için doğal düşmanların genetik olarak modifikasyona uğratılması,

2. Bitkilerin kendisini genetik olarak modife ederek zararlılardan koruma ve
3. Doğal düşmanların ya da bitkilerin genetik olarak modife edilerek pestisidlere karşı daha dayanıklı hale getirilmesi ve böylece pestisid kullanım alternatifinin uygulanabilirliğinin devam ettirilmesi (WAAGE 1996).

Bugün özellikle kullanılan metod, Recombinant DNA tekniğidir. İki DNA molekülü arasında segment değişimi gerçekleştirilerek uygulanan ve böylece elde edilen bireyin ebeveynlerinden farklı bir alel kombinasyonuna sahip olmasını sağlayan bir tekniktir (HOY 1994). Bu yöntemle istenilen genin moleküler düzeydeki detaylı çalışmalarının yapılması mümkün olmuştur.

3. BİYOTEKNOLOJİK YAKALAŞIMLAR VE KULLANILABİLECEK CANLI GRUPLARI

3.1 Biyoteknolojinin Bitkilerin Modifikasyonunda Kullanımı

Klasik yaklaşımın böceklere dayanıklı bitkiler üretmesine benzer bir şekilde, moleküler biyoloji de bitkilerin doğal kontrol mekanizmalarını geliştirmeyi amaç edinir. Ancak iki yaklaşım arasındaki benzerlik bu noktada sona erer. Moleküler yaklaşım, doğrudan genlerin manipüle edilmesiyle dayanıklı bitkiler üretmeyi amaçlar. Pek çok stratejide phytoalexin (fizyolojik savunma mekanizması) üretimi için genler aktarılır ya da mevcut genlerde değişiklikler yapılarak phytoalexin üretimi artırılarak bitkinin bunlardan fayda sağlaması amaç edinilir. Bu tür çalışmaların merkezini kendi DNA'sının bir parçasını bulaşma esnasında bitkinin hücrelerine taşıyabilen *Agrobacterium tumefaciens* adlı bakteri oluşturmaktadır. Bu bakteriyi kullanarak yabancı genlerin bitkilerin içine yerleştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Gelecek için oldukça yararlı olabileceği düşünülen pek çok gen bulunmaktadır. *Bacillus thuringiensis*'in (Bt endotoksin) delta endotoksin üretiminden sorumlu olan bir geni örnek olarak gösterilebilir. Bt endotoksin güvenli olarak kullanılabilen bir biyopestisiddir ve tek bir genin ürünü olarak bulunmuş ve izole edilmiştir. Aynı gen başarılı bir şekilde bütün bitkisine de aktarılmıştır. Bu tür çalışmalar diğer bitkilere yönelik olarak devam etmektedir.

Diğer bir yaklaşım mevcut genlerin bir şekilde modifikasyona uğratılmasıdır. Bir böcek tarafından zarar oluşturulduğunda bitkiler doğal olarak oksidatif enzimler üretir. Bu enzimler böceklerin gereksinimi olan pek çok besinin kullanılmasını engeller. Aynı zamanda böceklerin doğal ve sentetik toksinleri zehirsiz hale getirmesini de engeller. Önerilen stratejilerden birisi, oksidatif enzimlerden sorumlu olan genin modifikasyona uğratılarak üretilen enzimlerin böcek saldırısından önce önleyici bir mekanizma olarak üretilmesini sağlamaktır.

Genetik bilimi kullanılarak üretilen dayanıklı bitkilerin kimyasal pestisidlere ve klasik biyolojik savaş stratejilerine göre avantajları vardır. Bitkilerin hava koşullarındaki değişikliklere ve pestisidlerin kullanılmadığı zamanlarda bile sürekli bir dayanıklılığa kavuşturulması bunlardan biridir. Buna ek olarak kimyasal ilaçların püskürtme yoluyla kullanımında ulaşılamayan bitki kısımları (kökler, gölgede kalan altlardaki dallar, yeni büyüyen kısımlar) bu yolla kolaylıkla korunabilmektedir. Özellikle tarım bitkilerinde, biyogenetik olarak geliştirilmiş bitkilerin kullanılması ile, sürekli tekrar edilen pestisid uygulamalarının ekonomik maliyeti arasında pek fark bulunmamaktadır (Örneğin pamuk gibi). Belki de böceklere dayanıklı bir bitkinin geliştirilmesi için yapılan masraf bir kimyasal pestisidin geliştirilmesi için yapılabilecek eşdeğerde olabilir. Konukçu dayanıklılığının en önemli avantajı hem çevre hem de insan sağlığı açısından çok düşük bir risk taşımasıdır. Çünkü genetik varyasyon ve toksik maddelerin çevreye yayılma riski yok sayılabilir. He-

def alınmayan diğer organizmalar üzerinde herhangi bir zararı da sözkonusu değildir. çünkü sadece o bitkide zarar yapan ve o bitkiyle beslenen organizmalarda etkilidir. Yine de genetik olarak geliştirilmiş olan bitkilerin doğal çevrede vereceği tepkinin farklı olması olasılığı göz ardı edilmemesi gereken bir konudur. Fakat bitkinin test edilmesi kimyasal maddelere göre daha kolay ve klasik çaprazlama metodlarından daha az zamanda gerçekleştirilebilir.

Genetik metodlar kullanılarak geliştirilen dayanıklı bitkilerle ilgili moleküler yaklaşımlarda olası bazı çekinceler sözkonusudur. Bunlardan en geçerli olanı, böceklerin phytoalexinlere karşı bağışıklık kazanabilme olasılığıdır. Özellikle, Bt endotoksinlerinin pek çok böcekteki moleküller etki yolunun ne olduğu, nasıl geliştiği halen tam olarak bilinmemektedir. Hangi bakteriyel unsurların böcek dokularıyla etkileşim içine girdiği ve farklı böceklerde farklı toksikolojik yanıtların nasıl oluştuğu gibi konular aydınlatılmayı beklemektedir. Bazı böceklerin Bt endotoksin veya diğer toksinlere karşı bağışıklılık geliştirmesi büyük bir olasılık olarak gözükmemektedir. Bu noktada özellikle farklı toksinlerin etki mekanizmaları, bitkilerde metabolit üretiminin farklı yolları ve bitki genomu konularında çalışma yapılması yerinde olacaktır.

3.2 Biyoteknolojinin Doğal Düşmanların Modifikasyonunda Kullanımı

Zararlı böcekleri kontrol etmek amacıyla uygulanabilecek bir diğer yöntem mevcut doğal düşmanların ve böcek yırtıcılarının artırılması ya da başka bir bölgeden getirilmesidir. Bu tür stratejiler genellikle sınırlı bir başarıya sahiptir, çünkü yırtıcılar, özellikle dışarıdan getirilenler çoğu zaman yaşamlarını ve üreme yeteneklerini sürdürmezler ya da öldürücü özelliklerini kaybederler. Moleküler yaklaşımda, bazı teknikler kullanılarak (Recombinant DNA technology) yırtıcıların yeni çevre şartlarında yaşayabilmeleri, üreyebilmeleri ve hedef alınan zararlı popülasyonuna karşı öldürücü özelliklerini kaybetmemeleri sağlanmaya çalışılır. Buna ek olarak genler değişikliğe uğratarak yeni meydana gelecek yavruların, zor iklim koşullarında yaşamlarını devam ettirmeleri sağlanabilir. Yavruların yaşam evrelerinin zararlı popülasyonunun yaşam evreleri ile eş zamanlı olması zararlıların kontrolünün daha etkili bir şekilde yapılmasını sağlar. Bütün bu tekniklerin başlangıcı öncelikle istenilen özelliğin gerçekleşmesini sağlayan uygun genin izole edilmesiyle başlar. Daha sonra bu gen istenilen yırtıcı organizmaya transfer edilir ve sonuçta ekosisteme bırakılır.

Doğal düşmanların daha etkin hale getirilmesi için yapılan çalışmaların çoğunluğu entomopatogenik organizmalar üzerine yoğunlaşmıştır. Bakteri ve virüsler, mantar, protozoa ve nematodlara göre daha fazla ilgi çekmekte ve çalışmalar bu yönde devam etmektedir. Bunun nedeni bakteri ve virüslerin genomlarının daha iyi anlaşılması ve manipülasyonlarının kolay olmasından kaynaklanmaktadır. Bunlardan biri olan virüsler oldukça yararlı bir grup olarak zararlı böceklerle mücadelede kullanılabilir. Baculovirüslerin viral insektisid olarak geleneksel kullanımında başarılar elde edilmesine rağmen sürecin çok yavaş gerçekleşmesi bir handikap olarak kabul edilmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, uygun yabancı genlerin baculovirüs genomu içine yerleştirilmesiyle patojenliğinin ve insektisid aktivitesinin artırılmasını mümkün kılmaya yöneliktir. Virüsler içinde NPV(Nuclear polyhedrosis virus) oldukça etkili bir zararlı kontrol ajanı olarak dikkat çekmektedir. Bu baculovirus kullanım açısından son derece güvenlidir. Sadece omurgasızlarda zararlı ve fitotoksik etkisi olmayan bir virüstür. Ayrıca virüsün oldukça büyük bir pazar potansiyeli bulunmaktadır. Uygun formülasyon sağlanarak saklanmalarının optimize edilebilmesi, ıslatılabilirliği, suspansiyon özelliği, akışkanlık ve sprey karakteristikleri gibi özellikleri bu virüsü markette değerli yapmaktadır. Virüs sindirimden hemen sonra aktif hale geçerek hastalığın gelişmesi sırasında üremeye başlar. Normal baculovirüs içine uygun yabancı bir genin yerleştirilmesi ve yeni kombinasyonların sağlanmasıyla bu virüsün etkenliği daha da artırılabilir.

Baculovirus kullanmanın en önemli avantajlarından biri çevreye yönelik zararının oldukça düşük ve aşırı derecede konukçuya özel olmasıdır. Bir virüsü sadece belirli bir konukçu cinsi ile sınırlı tutmak genetik yolla mümkün olabilir, ancak aşırı derecede cins spesifik olması hem insanlar hem de hayvanlar için bazı tehlikeleri beraberinde getirebilir. Baculovirüslerin kullanımıyla ilgili bazı endişeler de sözkonusudur. Genetik yolla planlanan bazı virüsler doğal ortamda yer alan virüslerin yerini alarak çevre üzerinde ciddi etkiler yaratabilir. Eğer böyle bir durum sözkonusu olursa bu virüsün ekosistemden uzaklaştırılması oldukça güç olur. Çünkü virüs oldukça yüksek yaşam yeteneğine sahip olabilir. Bu durumda genetik mühendisliğinden yararlanarak baculovirüsün yaşama kabiliyetinin azaltılması yoluna gidilebilir. Diğer endişeye neden olan nokta genetik olarak değiştirilmiş olan organizmaların ortama bırakıldığı zaman diğer doğal organizmalarla rekombinasyonların oluşabilmesi olasılığıdır. En fazla kullanılan baculovirüs insektisidin etkinliği, birkaç günden birkaç haftaya kadar sürebilir. Bu süre, virüse, konukçuya ve çevre koşullarına göre değişir. Aslında bu durum bir kaç saat içinde sonuç veren kimyasal insektisidlere ve diğer böcek yarıtlılarına göre bir dezavantaj olarak kabul edilebilir. İleriki çalışmaların genlerin viral genom içine yerleştirilmesi örneğin böcek hormon genleri gibi, ve baculovirüs insektisidlerin daha hızlı ve etkili sonuç vermesi hedefinde yoğunlaşması yararlı olabilir.

Böcek kontrolünde kullanılan diğer önemli bir yaklaşım bakteriyel biyopestisidlerin kullanılmasıdır. En fazla çalışılan ve kullanılan bakteriyel insektisid *Bacillus thuringiensis*'tir. Dünya pazarında satılan biyopestisidlerin %90'nını oluşturur. Sporlanma esnasında ürettiği toksinler (Kristal protein) pekçok Lepidoptera türlerine ve bazı Diptera ve Coleoptera türlerine karşı etkilidir. İnsektisid özelliği olan bu kristal proteinlerin doğal avantajı, diğer hayvanlara ve bitkilere herhangi bir zararının olmamasıdır. İnsektisid özelliği olan tek bakteri *B. thuringiensis* değildir. Bilinen 100'ün üzerinde entomopatojenik bakteri bulunmaktadır. Bu bakterilerin pek çoğu vektör olarak rol oynayan böcekleri kontrolde de etkili olmaktadır. Geniş sayılabilecek bir konukçu yelpazesine etki edebilmeleri ve hedef alınmayan organizmalar üzerinde negatif etkisinin olmaması önemli özelliklerdir. Diğer avantajları arasında üretim maliyetinin düşük olması ve kolaylıkla büyük kitleler halinde üretilebilmeleri sayılabilir. Bu bakterilerle ilgili olarak geleceğe yönelik yapılacak çalışmalar bu organizmaların konukçu yelpazesini genişletmeye ve farklı delta endotoksin genlerinin karışımı ile öldürücü etkisi daha iyi olan bakteri ırklarının bulunmasına yönelik olması yerinde olacaktır.

Diğer bir potansiyel zararlı kontrol mekanizması fungal biyopestisidlerdir. Funguslar oldukça eski dönemlerden beri zararlıların biyolojik kontrolünde ilgi odağı olan organizmalardır. Şu anda markette sunulan mikropestisidler çok önemli sayılabilecek bir başarı sağlamamışlardır. Potansiyel mikropestisidlerin pek çoğu kimyasal pestisidlere göre oldukça düşük öldürücülüğe ya da etkinliğe ve yavaş seyreden bir mekanizmaya sahiptirler. Bazen arazide yaşayabilme yeteneğinde olmayabilirler. Çevre koşullarına karşı hassas olmaları nedeniyle bunlarla çalışmak oldukça zordur. Örneğin bir fungusu potansiyel bir mikropestisid olarak belirleseniz bile bu fungusun üretimi ve formülasyonu oldukça zor bir süreçtir. Üretim süreci sırasında dahi hayatiyetlerini kaybetme olasılıkları vardır.

Moleküler biyolojideki pek çok yeni gelişme mikroinsektisidlerle problemlerin çözümüne yeni yollar sunmaktadır. Son dönemlerde yapılan genetik ağırlıklı çalışmalar fungusların spesifik bir konukçuya özgü öldürücülüğünü ve etkenliğini arttırmaya yöneliktir. DNA transformasyon sistemleri, istenilen özelliğe yönelik genlerin izole edilmesini ve modife edilerek geliştirilmiş organizmaların üretilmesini sağlar. Pek çok potansiyel biyokontrol fungusunun phytoalexin ürettiği belirlenmiştir. *Phytoalexin* üretimine yönelik moleküler yaklaşımlarda, öncelikle fungus ve hedef alınan böcekler arasındaki moleküler etkileşimlerin çalışılması gereklidir. Fungal insektisidlerin

en önemli avantajlarından biri etki mekanizmalarıdır. Son zamanlarda yapılan pek çok sayıdaki çalışma entomopatojenik fungusların, böcekleri öldürebilmesi için tüketilmesine gerek olmadığını göstermiştir. Fungus sporları böceğin yüzeyine tutunarak orada çimlenip hüfleriyle böcek kutikulasını delerler. Daha sonra bu hüfler hemocoel'e girerek ya hızlı bir şekilde kompleks toksik metabolitler üreterek ya da daha yavaş bir şekilde aşırı yoğun hüflü oluşumu ve organların fiziksel engellenmesi şeklinde etkilerini gerçekleştirirler. Bununla birlikte mikroinsektisidlerin oldukça zayıf depolanma özellikleri ve iklim koşullarına karşı son derece hassas olmaları gibi dezavantajları da vardır. Bu nedenle, fungusların yararlı toksinler üretmesi ve uygun ortamda yaşayabilmeleri için gerekli olan genetik çalışmalara önem verilmesi yerinde olacaktır.

Diğer biyopestisid grubu oldukça iyi gelecek sunabilecek ancak yeterince ilgiyi çekemeyen nematod ürünü olanlardır. Entomopatojenik nematodların biyolojik kontroldeki etkinliği ve uygulaması ile ilgili olarak pek çok bilimsel makale yazılmıştır. Morfolojik açıdan nematodlar çok basit gibi görünse de oldukça farklı ortamlarda yaşayabilmektedirler. Nematodların örümcekler, annelidler, kabuklular, yumuşakçalar ve çok sayıda böceği kontrol edebilme potansiyeli olduğu bilinmektedir. Nematodların çoğu, zararlı populasyonların kontrolünde bakterilerle birlikte hareket ederler. Nematodlar konukçuların segmentler arası bölgelerine saldırır ve buradan içeri girerler ve bakteriyel hücreler nematodun intestinininden hemolimfe yayılırlar ve 48 saat içerisinde konukçuyu öldürürler. Nematodlar bakteriyel hücrelerle ve konukçunun dokusuyla beslenirler, iki veya üç nesil oluşturarak yeni konukçular aramak için çıkarlar. Bu hızlı ölüm oranı nematodların konukçu sayısının sınırlarını genişletmesine olanak sağlar. Bütün böcek takımlarını içine alabilecek bir konukçu yelpazesine sahip olmaları nematodları önemli bir mikrobiyolojik kontrol ajanı durumuna getirmektedir.

Nematodları kullanarak elde edilecek başarı, sadece nematodların daha öldürücü bir forma kavuşturulmasını değil aynı zamanda oldukça zor olan çevre şartlarında yaşayabilmelerini de garanti altına almayı gerektirir. Geleceğe yönelik çalışmaların özellikle bulaşma evresindeki davranış şeklini açıklamaya yönelik olmasında fayda vardır. Kısa vadede başarı için özellikle nematod tarafından taşınan *Xenorhabdus* spp. bakterilerinin genetik olarak geliştirilmesi yerinde olacaktır. Çünkü zararlıyı öldüren bakterilerdir. Nematodların kolaylıkla üretebilmeleri, bu organizmaların biyolojik mücadelede kullanılması açısından büyük bir gelecek sunmaktadır. Bununla birlikte zararlı böceklerin kontrol edilmesinde bazen gerekli olan başarı elde edilememektedir. Özellikle toprak içinde başarısızlık sözkonusudur. Nedenleri tam olarak bilinmese de nematodların genetiği, ekolojisi, davranışları ve biyolojileri hakkındaki bilgilerin yeterli olmaması bu başarısızlığı açıklayabilir. Davranış özelliklerinin ve genetiklerinin daha iyi anlaşılması, belki de arazideki zararlı böceklerin kontrolü için en uyumlu türlerin bulunarak üretilmesini sağlayacaktır.

4. SONUÇ

Biyolojik mücadele ve özellikle de son yıllarda popüleritesi sürekli artan biyoteknolojinin kullanımı zararlılarla mücadelede bir kurtarıcı olarak görülmektedir. Biyoteknolojinin kullanımıyla spesifik genlerin istenilen mikroorganizmaya, bitkilere ya da böceklerle aktarılmasıyla, bitkilerin zararlılara karşı daha dayanıklı, doğal düşmanların zararlılara karşı daha etkili ve öldürücü ya da olumsuz çevre şartlarına dayanıklı olabilmeleri sağlanabilmektedir. Bu konu ile ilgili çalışmalar son yıllarda önemli derecede artmıştır. Bilinen ve izin alınan biyopestisidlerin dağılımı; 104 bakteriyel, 44 nematod, 12 fungus, 8 virüs, 6 protozoa ve 107 arthropod türü olarak bilinmektedir (LISANSKY 1993). Bu sayının her geçen gün artması olasıdır.

Biyoteknoloji zararlılarla mücadelede gerçekten son derece etkili olabilecek bir yöntemdir. Ancak, bu konuda pek çok bilinmeyen bulunması, geniş çaplı kullanımının artması sonucu insanlığın ileride ne tür sonuçlarla karşılaşabileceği sorusunu gündeme getirmektedir. Transgenic bitkilerin önemli potansiyel avantajları olabilir. Bunların içerisinde kimyasal ilaçlara olan gereksinimi azaltma, kullanımın kolay olması ve bütün teknolojinin tohumda kullanıma hazır bulunması sayılabilir. Bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da olabilir. Besinin güvenli olup olmaması, transgenic bitkilerin maliyetinin yüksek olma olasılığı ve doğal ortamda gen erozyonu ve hibrit oluşumu ile ilgili endişeler sayılabilir (ALLEE 2000). 150'nin üzerinde transgenic bitki variyetesi araştırma amaçlı olarak gelişmekte olan ülkelere gönderilmiştir ve kullanılmaktadır (DE KATHEN 1996). Yukarıdaki potansiyel risklerin ortaya çıkması olasıdır. Bu tür bir tehlikenin ortaya çıkması ABD'de küçük olasılık olarak görülebilir. Çünkü transgenic bitkiler doğal akraba bitkilere yakın olan alanlarda ekilmemektedir ve bu konuda gerekli olan yasal düzenlemeler vardır. Ancak bu yasal düzenlemelerin gelişmekte olan ülkelerde yeterli düzeyde olmaması bu problemlerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Önemli çekincelerden bir diğeri de biyopestisid olarak kullanılan organizmalara karşı zararlıların bağışıklık kazanabilme olasılığıdır. Bunun örneği *B. thuringiensis*'te yaşanmıştır. Bir kelebek türü olan *Plutella xylostella* (L.)'nin lokal popülasyonlarında Bt'ye karşı bağışıklık kazandığı gözlenmiştir (TABASHNIK 1994). Transgenic bitkiler zararlı popülasyonlarını kontrolde oldukça etkili bir araç olabilir. Ancak önemli olan nasıl kullanılacağıın bilinmesidir. Transgenic bitkiye karşı zararlıların bağışıklık kazanmaması için yapılabilecek en basit uygulama, transgenic bitki türünün doğal olanı ile birlikte ekilmesi ve böylece zararlılara alternatif konukçu sağlanmasıdır. Zararlıın sığınabileceği bir konukçunun olması transgenic bitkiye karşı bağışıklık kazanmasını engeller veya bu süreci yavaşlatır.

Biyoteknoloji kullanımının olumlu ve olumsuz yönlerini sadece transgenic bitkiler açısından düşünmek yeterli değildir. Aynı zamanda genetik olarak değişime uğratarak üretilen mikroorganizmalar ve arthropodlar açısından da irdelemek gerekir. Biyoteknolojinin doğal düşmanların zararlılara karşı daha etkili ve öldürücü olmasını sağlayacağı kesin gibi gözükmemektedir. Ancak transgenic bitkilerin kullanımı sonucu ortaya çıkabilecek riskler genetik mühendislik ürünü olan doğal düşmanların kullanımı için de söz konusu olabilir. Acaba transgenic arthropodlarla doğal arthropod türleri arasında bir gen transferi meydana gelebilir mi? Yeni salıverilen transgenic popülasyonun ekosistemdeki doğal şartlar altındaki başarısı ne olabilir? Konukçu ya da av yelpazesi değişecek mi? Ekolojik çevredeki sürekliliği ne olacak? Kolaylıkla kontrol edilebilme olasılığı var mı? gibi konular net olarak bilinmemektedir. Ayrıca ekolojik ortama bırakılan transgenic organizmanın bırakıldığı alandan ne kadar uzağa hangi hızla yayılabileceği de yanıtlanması gereken önemli bir bilinmeyendir.

Sonuç olarak biyoteknolojinin kullanımı ile ilgili olarak akıllarda bulunan soru işaretlerinin giderilmesi için gerekli olan çalışmaların hızlı bir şekilde devam ettirilmesi ve kamuoyunun biyoteknolojik ürünlerin kullanımıyla ilgili endişelerini gidermeye yönelik çalışmalara hız verilmesi yerinde olacaktır. Tüketilen besinlerin insan sağlığı açısından güvenli ve salıverilen transgenic organizmaların ekosistemdeki biyolojik çeşitlilik ve canlılar arasındaki ilişkiler açısından bir risk taşımadığının tam anlamıyla ispat edilmesine kadar büyük alanda kullanımın sınırlandırılması ve kısa süreli olması yerinde olacaktır. Bu nedenle, yakın gelecekte yapılacak denemelerin herbirinin ilgili kuruluşlarca titizlikle takip edilmesi ve beklenmedik bir sonuç oluştuğunda derhal müdahale edilebilecek nitelikte olması gelecek açısından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

- ALLEE, L. L., 2000: International Issues In Entomology: A Student Debate. Summaries of the Background and Pro and Con Position Statements for Three Issues are Presented From the Student Debates at the 1997 ESA Annual Meeting in Nashville, Tennessee. *American Entomologist*, 46 (3) 162-171.
- DE KATHEN, A., 1996: Transgenic Crops in Central American Agriculture. *Biotech. Dev. Monit.* 29: 7-9.
- HOY, M. A., 1994: *Insect Molecular Genetics. An Introduction to Principles and Applications.* Academic Press Inc. San Diego, California. 546pp.
- LISANSKY, S. G., 1993: Crop Protection Without Chemicals: The Present and Future of Biopesticides. In Cartwright, A. (ed.) *World Agriculture 1993.* Sterling Publications, London, UK, pp. 39-71.
- TABASHNIK, B. E., 1994: Evolution of Resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology* 39: 47-79.
- WAAGE, J., 1996: Integrated Pest Management and Biotechnology: Analysis of Their Potential for Integration. In *Biotechnology and Integrated Pest Management.* Edited by G. J. Persley. CAB International, *Biotechnology in Agriculture No:15.* Wallingford Oxon OX10 8DE UK, 37-60