

Genetiği Değiştirilmiş Bitkilerin Böceklere Etkileri

Ekrem ÖGÜR¹ Celal TUNCER²

ÖZET: Son yıllarda, tarımsal üretimde dünyanın en çok ilgilendiği konuların başında genetiği değiştirilmiş bitkilerin kullanımı gelmektedir. Genetiği değiştirilmiş bitkilerin çevre üzerindeki etkileri, özellikle hibritleşme ve yatay gen transferi konusu halen yoğun bir şekilde tartışılmaktadır. Hibritleşme ve gen transferi üzerine olan etkilerin yanında aynı zamanda böceklere olan etkileri de dikkat çekmektedir. Genetiği değiştirilmiş bitkilerin, besin zincirindeki ekolojik etkileri de son yıllarda üzerinde durulan konular arasında yer almaktadır. Bu besin zincirinde ise böcekler herbivor, carnivor ve çürükçül olarak “anahtar organizma” rolündedir. Bu derlemede, genetiği değiştirilmiş bitkilerin; böcek dayanıklılığına, yeni zararlıların ortaya çıkmasına, biyolojik çeşitliliğe, insektisit kullanımına ve doğal düşmanlara olan etkileri üzerinde durulmuştur.

Anahtar kelimeler: Genetiği değiştirilmiş bitkiler, böcek, dayanıklılık, insektisit, doğal düşman

The Effects of Genetically Modified Plants on Insects



ABSTRACT: In recent years, in agriculture production one of the most emphasized subject of the world is the use of genetically modified plants. The effects of genetically modified plants on the environment, especially hybridization and horizontal gene transfer have already been discussed. Not only hybridization and horizontal gene transfer, but also effects on insects have taken attention. The ecological effect of genetically modified plants in the food web is one of the other subjects that have been emphasized on during the last years. In the food web, insects are “key organisms” with herbivores, carnivores and decomposers. In this review, we focus on the effects of genetically modified plants on; insect resistance, new plant pests emerging, biological diversity, insecticide use and natural enemies.

Keywords: Genetically modified plants, insect, resistance, insecticide, natural enemy

¹ Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Konya, Türkiye

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Samsun, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Ekrem ÖGÜR, ekremogur@selcuk.edu.tr

GİRİŞ

Genetiği değiştirilmiş bitkilerin (transgenik bitkiler) tarla denemelerine 1985 yılında başlanmıştır. Genetik mühendisliği ile üretilmiş ilk gıda olan “Flavr Savr Domatesi” 1994 yılında ABD’de üretilmiştir (Hagvar and Aasen, 2004). Ticari anlamda bitkisel üretime ise 1996 yılında başlanmıştır (Demir ve ark., 2006). Dünyada, 29 ülkedeki 15.4 milyon çiftçi, 2010 yılında toplam 148 milyon ha alanda transgenik bitki üretimi gerçekleştirmiştir. Ekim alanlarına göre sırasıyla; ABD (66.8 milyon ha), Brezilya (25.4 milyon ha) ve Arjantin (22.9 milyon ha) ilk üç sırada yer almaktadır (James, 2010). Şu an ticari olarak genetiği değiştirilmiş iki ana bitki tipi (herbisit dayanaklı ve böcekler dayanaklı bitkiler) ve her ikisinin kombinasyonu olan bitkiler bulunmaktadır. Böcekler dayanaklı bitkiler *Bacillus thuringiensis* (Bt) bakterisinden aktarılan gen sayesinde zehirli *Cry* proteinini salgılamakta ve bu toksinler bazı böcekleri öldürmektedir (Hagvar and Aasen, 2004). *Bacillus thuringiensis* endotoksinleri yapısal özellikleri ve konukçu profiline göre *Cry* I, *Cry* II, *Cry* III ve *Cry* IV olmak üzere 4 farklı grup altında sınıflandırılmaktadır (Özcan ve ark., 2001). Transgenik ürünlerin yetiştirildiği toplam ekim alanın % 61’inde herbisitlere, % 17’sinde ise böcekler karşı dayanıklı bitkiler yetiştirilmektedir. Kombine transgenik ürünlerin toplam ekim alanı içerisindeki payı ise % 22’ye ulaşmıştır (James, 2010). Ticari olarak ekili transgenik ürünlerin % 99’unu soya, mısır, pamuk ve kanola oluşturmaktadır (Anonymous, 2010c). Türkiye’de hazırlanan mevzuat kapsamında transgenik bitkilerin alan denemeleri, 1998 yılından itibaren, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı’na bağlı Araştırma Enstitüleri tarafından yürütülmektedir. Denemelere alınan transgenik bitkilerde ele alınan transgenik özellikler; pamukta yabancı ot ilacına, pembe ve yeşil kurda dayanıklılık, mısırdaki sapkurdu ve koçan kurduna dayanıklılık, patatesten ise patates böceğine dayanıklılıktır (Demir ve ark., 2006). Türkiye’de, Birleşmiş Milletler Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi’ne ek protokol olarak hazırlanan “Cartagena Protokolü” olarak anılan Biyogüvenlik Protokolü’nü 24 Mayıs 2000 tarihinde imzalamış ve 11 Eylül 2003’te yürürlüğe girmiştir (Kaynar, 2010). Ülkemiz biyolojik çeşitliliğinin zarar görmemesi için transgenik tohum ve buna bağlı ürünlerin üretimi, 26.10.2009 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Gıda ve Yem Amaçlı Genetik Yapısı Değiştirilmiş Organizmalar ve Ürünlerinin İthalatı, İşlenmesi, İhracatı, Kontrol ve Denetimi-

ne Dair Yönetmelik’ in dayandığı yasalar esas alınarak yasaklanmıştır (Anonymous, 2009a). 26.03.2010 tarihli 27533 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Biyogüvenlik kanunu” 5. maddesi gereğince ülkemizde “Genetiği değiştirilmiş bitki ve hayvanların üretimi” yasaktır (Anonymous, 2010b). Bu literatür çalışmasında, ülkemizde üretilmesi yasak olsa da, etkilerinin bizden uzak olmadığı göz önüne alınarak, dünyanın değişik ülkelerinde 16 yıldır böceklerle mücadele amacıyla yetiştiriciliği yapılan transgenik bitkilerin, böcekler üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri incelenmiştir.

Genetiği Değiştirilmiş Bitkilerin Böceklere Etkileri

Böceklerin genetiği değiştirilmiş bitkilere dayanıklılık geliştirmesi: Son 40 yılda yüzlerce böcek türü bir veya daha fazla mücadele yöntemine karşı dayanıklılık kazanmıştır (MacIntosh, 2009). 500’den fazla zararlı türünün de en az bir insektisite karşı dayanıklılık geliştirmiş olduğu belirlenmiştir (Ali ve ark., 2008). *Bacillus thuringiensis*’li ürünlerin kullanımı ve çeşitliliği bu şekilde artışa devam ederse birçok böcek türü ve popülasyonun transgenik bitkilere karşı dayanıklılık kazanması mümkündür (Ferry ve Gatehouse, 2009). Böcekler, insektisitlere karşı geliştirdiği dayanıklılıktan bile daha hızlı bir şekilde Bt toksinine karşı dayanıklılık geliştirebilmektedir. Çünkü böcekler bitkinin hayatı süresince veya daha uzun bir süre bu toksinlere maruz kalmaktadır (Hagvar and Aasen, 2004). Bu nedenle genetiği değiştirilmiş bitkilerin yetiştiriciliğini yaparken böcek dayanıklılık yönetimine (IRM=Insect Resistant Management) önem verilmelidir. Böcek dayanıklılık yönetimi stratejisi geliştirirken de zararlının biyolojisi, ekolojisi, ürünün yayılma durumu, yerel yetiştiricilik sistemi, zararlı duyarlılığının belirlenmesi ve çiftçilerle iletişim gibi konulara dikkat edilmelidir. IRM stratejileri üretim durumuna da uygun olmalıdır. Bugüne kadar, birçok değişik ülkede ticari olarak yaklaşık 16 yıldan beri kullanılan Bt’li ürünlere karşı geniş alanlarda dayanıklılık meselesinin ortaya çıktığına dair herhangi bir kayıt yoktur. Bu duruma IRM uygulamalarının dayanıklılık riskini azaltarak katkıda bulunduğu düşünülmektedir (MacIntosh, 2009). Bütün sınırlamalarına rağmen, şu anda birçok uzman tarafından “barınak stratejisi” dayanıklılığın ortaya çıkışını geciktirmede etkili yöntem olarak kabul edilmektedir (NRC, 2000; Bates et al., 2005; Christou et al., 2006; Tabashnik et al., 2008; Ferry and Gatehouse, 2009). Bu strate-

ji, Bt'li ürünlerin yakınında, hassas zararlı türlerin yaşantısına devam etmelerini sağlayacak Bt toksini içermeyen konukçu bitkilerin bulunması esasına dayanmaktadır. Böylece Bt'li bitkiler üzerinde yaşayan az sayıdaki dayanıklı böcek Bt toksini içermeyen konukçu barınak bitkilerde bol miktarda bulunan hassas böceklerle çifteleşecek, eğer dayanıklılık kalıtımı çekinik ise meydana gelecek bireyler Bt'li bitkiler üzerinde beslenerek ölecek ve böylece dayanıklılık gelişimi yavaşlatılmış olacaktır (Tabashnik et al., 2008; Ferry and Gatehouse, 2009). Ancak, 2002 yılında Amerikan Tarım Bakanlığı (USDA= United States Department of Agriculture)'ndan elde edilen verilere göre Bt'li mısır kullanan çiftçilerin yaklaşık % 20'si barınak yöntemi stratejisini uygulamada başarısız olmuşlardır (Battie, 2003).

Ticari olarak ekimi yapılan Bt'li pamukların tamamı *Cry1Ac* pamuklarıdır. Bu genin seçilmesinin sebebi, *Cry1Ac*'nin, *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae), *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae), *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae)'ya karşı yüksek, *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae)'ya karşı orta derecede toksik olmasından dolayıdır. İkinci nesil Bt'li pamuklar ise aynı bitkide hem *Cry1Ac* hem de *Cry2Ab* genlerini içermektedir. Bu iki Bt toksinini birleştirmedeki esas amaç dayanıklılık yönetimi ve etkinliği artırmaktır (Lelley et al., 2002).

Avustralya, Çin, İspanya ve Amerika'da altı ana lepidopter türüne (*H. armigera*, *H. zea*, *H. virescens*, *Ostrinia nubilalis*, *P. gossypiella* ve *Sesamia nonagrioides*) karşı kullanılan Bt'li ürünlerde 10 yıldan fazla bir süredir yapılan gözlemler sonucunda elde edilen verilere göre *H. zea*'nın bazı arazi popülasyonlarında dayanıklılık allellerinin frekansında büyük ölçüde artış olduğu gözlenmiştir. Ancak diğer böceklerde bu durum gözlenmemiştir (Tabashnik et al., 2008). Arkansas ve Mississippi'deki (Amerika Birleşik Devletleri) bazı arazi popülasyonlarında da Bt'li pamuğun kullanımından 7-8 yıl sonra *Cry1Ac* genine karşı *H. zea*'da dayanıklılık geliştiği kaydedilmiştir (Ferry and Gatehouse, 2009).

Şuan bilim adamlarının üzerinde durduğu diğer bir konu ise, bazı dayanıklı böceklerin (örneğin *Plutella xylostella*) Bt toksinlerini ek bir gıda proteini gibi kullanarak Bt'li transgenik bitkiler üzerindeki dayanıklılıklarını artırmış olması ihtimalidir (Sayyed et al., 2003).

Yeni zararlıların ortaya çıkması: *Bacillus thuringiensis*'li bitkilere tüm zararlılar hassas değildir. Bu nedenle ikincil durumdaki zararlılar ana zararlıyla olan rekabetin azalmasından dolayı avantaj elde edebilirler ve önceden yapmadıkları şekilde ekonomik anlamda kayıplara yol açabilirler (Hagvar and Aasen, 2004). Ana zararlılarla mücadele etmek için kullanılan geniş spektrumlu insektisitler aynı zamanda ekonomik olarak daha az kayba neden olan ikincil durumdaki zararlı popülasyonlarını da baskı altında tutmaktadır. Ancak, Bt'li bitkilerin kullanılmasıyla birlikte azalan insektisit kullanımı ve bununla birlikte ana zararlı ile olan rekabetin azalması, ikincil zararlıların daha baskın hale gelmesine sebep olabilecektir (Anonymous, 2006; Ferry and Gatehouse, 2009). Buna örnek olarak ABD'de mısırdaki ikincil zararlı konumunda bulunan *Striacosta albicosta* (Lepidoptera: Noctuidae) türünü verebiliriz. 2000 yılından bu yana, *Cry1Ab* toksin proteinini üreten Bt'li mısır alanları belirgin bir şekilde *S. albicosta* tarafından istila edilmektedir. *Striacosta albicosta* önceden sadece belirli bölgelerde bulunup mısırdaki çok fazla problem oluşturmazken şimdi ise ABD'deki birçok eyalete yayılmış durumda ve ciddi manada ekonomik kayba sebep olmaktadır (Catangui and Berg, 2006; Eichenseer et al., 2008; Ferry and Gatehouse, 2009; Anonymous, 2010a). Zararlı coğrafik alanını genişletmiş ve 2009 yılında da ilk defa Kanada'da belirlenmiştir. Bu yeni zararlı çok geniş alanlarda yetiştirildiği yapılan *Cry1Ab* toksinine sahip Bt'li mısırlardan dolayı artış göstermiştir. Bu durum ise çoğu kez entansif tarımda yoğun şekilde pestisit kullanımı sonucu ortaya çıkan yeni zararlıların ortaya çıkışına benzemektedir. *Cry1Ab* toksini sadece *O. nubilalis*'e karşı toksik değil aynı zamanda *H. zea*'ya karşı da toksiktir. *Helicoverpa zea*, *S. albicosta* ile rekabet halindedir. Transgenik ürünler *H. zea*'yı baskı altında tuttuğu için, *S. albicosta* rekabet edeceği bir rakibi olmadığından dolayı kontrolsüz bir şekilde çoğalmıştır. Çünkü *H. zea* *Cry1Ab* toksinine karşı hassastır ama *S. albicosta* hassas değildir. Böylece iki zararlı arasındaki denge bozulmuş ve yeni zararlı çok geniş bir alana yayılma fırsatı bulmuştur (Anonymous, 2010a).

Biyolojik çeşitliliğe etkileri: Transgenik bitkilerin kullanılması nedeniyle duyulan endişelerden bir diğeri de, bu bitkilerin biyolojik çeşitliliğe ve doğal dengeye verebileceği zararlardır (Glare et al., 2001). Aktarılan genlerin doğal bitki türlerine atlayarak buldukları çevrenin doğal türlerindeki genetik çeşitliliğin kaybına

ve yabancı türlerin doğal yapısında sapmaya yol açabileceği düşünülmektedir (Kaynar, 2010). Genetiği değiştirilmiş bitki türleri ile rekabet edemeyen doğal türlerin hızla kaybolması genetik çeşitliliğin yanı sıra biyolojik çeşitliliği de tehdit etmektedir (Çelik ve Balık, 2007). Transgenik bitkilerde Bt toksinleri bitkinin tamamında veya birçok kısmında bulunmaktadır. Buna bitkinin polenleri de dahildir. Toksin taşıyan polenlerle beslenen diğer böceklerin zarar görmesi yanında, bu polenlerin konukçu bitkilerinin üzerine gelmesi sonucu beslenen doğal düşmanlar da olumsuz yönde etkilenebilirler (Hagvar and Aasen, 2004). Hassas ve heterozigot özelliklere sahip dayanıklı böceklerin % 100'ünü öldürmek amacıyla transgenik bitkilerde yüksek Bt toksin konsantrasyonu zararlı dayanıklılık yönetimi için tavsiye edilen bir husustur. Ancak yapılan bu uygulamayla hassas böceklerin (hedef ve hedef olmayan) yerel olarak yok olmasına ve bunlar üzerinde beslenen doğal düşmanların da zararlı dayanıklılık gelişimini erteleme uğruna yok olmalarına neden olabileceği düşünülmektedir (Hilbeck, 2001). Bu bağlamda, örneğin Bt'li mısır polenlerinin, Kuzey Amerika'da yaygın olarak bulunan Kral kelebeğinin larvaları üzerinde öldürücü etkileri saptanmıştır. Bu kelebekler mısırla beslenmedikleri halde, Bt'li mısır polenlerinin kelebeğin temel besin kaynağı olan ipek otu üzerine ulaşması, larvaların ölümüne neden olmuştur (Kaynar, 2010). Men et al. (2003) Çin'de transgenik ve normal pamuk bitkisi üzerinde yaptıkları deneme sonucunda arthropodların hem toplam sayıları hem de tür çeşitliliği birbirinden oldukça farklı çıkmıştır. Transgenik olmayan pamuklardaki toplam zararlı böcek sayısı Bt'li pamuklardakinden daha fazla bulunmuştur. Özellikle Bt'li pamuktaki doğal düşman zenginliğinin azalmasına konukçu popülasyonundaki azalmanın sebep olduğu düşünülmektedir. Çünkü Bt'li pamukta doğal düşmanların besin kaynağını oluşturan zararlılara ait yumurta, larva ve pupa daha az bulunmaktadır.

Diğer taraftan transgenik bitkilerin kullanılmasının biyolojik çeşitliliğe olumlu etki de yapabileceği düşünülmektedir (Conner et al., 2003). Genetiği değiştirilmiş bitkiler, eğer zararlı ve yabancı ot kontrolünde herbisit ve insektisitlerden daha spesifik bir şekilde kullanılırlarsa tarım alanlarındaki biyolojik çeşitliliğe olumlu etkileri olacaktır. Özellikle böceklere dayanıklı Bt'li bitkilerin benimsenmesi, geniş spektrumlu insektisitlerin kullanımını azaltacaktır. *Bacillus thuringiensis*'li bitkiler oldukça dar spektrumlu bir etkiye sahiptir ve

hedef olmayan organizmalara karşı çok az veya hiç zararları yoktur. Ayrıca bitki dokusunda üretilen toksinler, bitki üzerinde beslenmeyen diğer hayvanlara karşı olumsuz etkiyi de minimuma indirmektedir. Yapılan çok sayıda arazi çalışmasının sonuçlarına göre, insektisit uygulanmamış geleneksel yetiştiricilik ile Bt'li bitki kullanılmış araziler kommunité yapısı veya tür çeşitliliği bakımından karşılaştırıldığında çok az fark bulunmuş veya hiçbir fark bulunmamıştır. Daha az bulunan türler ise hedef zararlı tür ve o türe özelleşmiş parazitlerden ibarettir. Geleneksel tarımda, hedef zararlı için yapılan ilaçlamalardan hedef olmayan birçok tür de olumsuz olarak etkilenebilir. Bu nedenle geleneksel yetiştiricilik yapılan alanlar ile Bt'li bitki kullanılmış alanlar, hedef olmayan böcek popülasyonları bakımından karşılaştırıldığında, Bt'li bitki kullanılmış alanlardaki böcek popülasyonlarının daha fazla olduğu belirlenmiştir (Ammann, 2005). Amerika, Avustralya ve Çin'de yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Reed et al., 2001; Naranjo et al., 2002; Ammann, 2005).

İnsektisit kullanımı ve tüketimine etki: Transgenik bitkilerin kullanılmasıyla sağlanacak en önemli faydalardan birinin de pestisit (herbisit, insektisit, fungusit) kullanımındaki azalma olacağı ileri sürülmektedir (Anonymous, 2008). Bu azalma; bazı insektisitlerin artık kullanılmaması, uygulama sıklığının azalması veya uygulama yapılan alanın azalması yoluyla olabilir (Lövei, 2001). Transgenik bitkilerin yakın gelecekte pestisit ve suni gübre kullanımını azaltacağı düşünülse de uzun vadede dayanıklı yabancı ot ve böceklerin ortaya çıkmasına neden olabileceği endişesi bulunmaktadır. Bu durumun tarım kimyasallarına (pestisit ve gübreler) olan bağılılığı daha da artırarak çevresel kirliliğin de artmasına neden olabileceği düşünülmektedir (Çelik ve Balık, 2007). Genetiği değiştirilmiş ürünlerin bulunduğu alanlarda 1996 - 2007 yılları arasında zirai ilaç kullanımında yaklaşık olarak aktif madde bazında 359 milyon kg'lık bir tasarruf elde edilmiştir (Anonymous, 2009b) (Çizelge1). Bu da dünyada kullanılan toplam zirai ilaç miktarının % 8.8'ine karşılık gelmektedir (Anonymous, 2009b; James, 2010). Bitkilere uygulanan pestisit miktarındaki değişim çevresel etki için iyi bir gösterge olsa da eksik kalmaktadır. Daha sağlam ve kapsamlı bir ölçüm şekli ise "Çevresel Etki Oranı" (EIQ= Environmental Impact Quotient) dir. Bu ölçüme göre transgenik bitkilerin kullanıldığı alanlarda herbisit ve insektisit kullanımının çevresel etki oranı

Çizelge 1. Transgenik bitkilerin herbisit ve insektisit kullanımındaki değişikliğe global etkisi (1996-2007)

| Özellik | Aktif madde miktarı kullanımındaki değişim (milyon kg) | Aktif madde miktarı kullanımındaki değişim (%) | Çevresel etki oranındaki değişim (%) |
|---------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Herbisit dayanıklı soya | -73.0 | -4.6 | -20.9 |
| Herbisit dayanıklı mısır | -81.8 | -6.0 | -6.8 |
| Herbisit dayanıklı pamuk | -37.0 | -15.1 | -16.0 |
| Herbisit dayanıklı kanola | -9.7 | -13.9 | -25.8 |
| Böcek dayanıklı mısır | -10.2 | -5.9 | -6.0 |
| Böcek dayanıklı pamuk | -147.6 | -23.0 | -27.8 |
| TOPLAM | -359.3 | -8.8 | -17.2 |

% 17.2 oranında azalmıştır. 1996 yılından bu yana böceklerle dayanıklı pamuk yetiştiren çiftçiler 147.6 milyon kg daha az insektisit kullanmışlardır (% 23 azalma) ve bu da insektisitlerin çevresel etkisini % 27.8 oranında azaltmıştır (Anonymous, 2009b). Özellikle Bt'li pamukta olmak üzere Bt'li mısırdaki ve pamukta insektisit kullanımını azaltmıştır (Benbrook, 2001; Phipps and Park, 2002; Naranjo, 2009).

Avustralya da 1996 - 2004 yılları arasında tek bir gen taşıyan Bt'li pamuk (Ingard™) ekimi, geleneksel pamuk yetiştiriciliği ile kıyaslandığında % 59 oranında daha az insektisit uygulaması ve % 44 daha az aktif madde kullanımı ile sonuçlanmıştır. 2002 - 2006 yılları arasında iki gen taşıyan Bt'li pamuk (Ibolland II™) kullanımıyla ilaçlamada % 85, aktif madde kullanımında ise % 65-75 azalma meydana gelmiştir. Dünyadaki en büyük pamuk üreticisi olan Çin'de de Bt'li pamuk ile geleneksel tarım karşılaştırıldığında, insektisit uygulamalarının % 59-66 oranında azaldığı ve bunun da toplam insektisit miktarında % 61-80 oranında azalmaya neden olduğu tahmin edilmektedir. Amerika'da pamuk zararlıları için kullanılan bütün insektisitlerin kullanımını azaltmıştır. *Bacillus thuringiensis*'li pamuk kullanılmadan önceki 10 yılın ortalaması ile Bt'li pamuk kullanılmaya başlandıktan 11 yıl sonrasının ortalamalarına bakıldığında ilaç uygulamalarının yaklaşık % 40 oranında azaldığı görülmektedir. Bu azalmayı tamamıyla Bt'li pamuğa bağlamak gerekir. Örneğin, bu azalmaya yeni ve daha etkili insektisitlerin kullanılması ve bir zamanlar pamuğun en önemli zararlılarından biri olan *Anthonomus grandis*'in yakın tarihte tamamen ortadan kaldırılmış olması da ilaç uygulamalarında azalmaya sebep olmuştur (Naranjo, 2009).

Doğal düşmanlara etkileri: *Bacillus thuringiensis*'li bitkilerin kullanılmasının doğurabileceği diğer bir risk de biyolojik kontrol ajanlarının, predatör ve parazitoidlerin, zarar görme ihtimalleridir. Do-

ğal düşmanlar genetiği değiştirilmiş bitkiler tarafından doğrudan veya dolaylı olarak iki şekilde etkilenebilirler (Hagvar and Aasen, 2004).

Doğrudan etki için, toksinin doğal düşman tarafından beslenmeyle doğrudan bitki üzerinden alınması (örneğin; polen) veya konukçu/av üzerinden biyolojik aktif formda geçiş yapması gerekmektedir (Fontes et al., 2002; Romeis et al., 2006). Örneğin, ergin parazitoidler, çiçekler üzerinde beslenme ile toksini doğrudan vücutlarına alabilirler (Schuler et al., 1999).

Genetiği değiştirilmiş bitkilerde beslenmiş avı yiyen doğal düşmanlar dolaylı olarak etkilenirler. Sadece hassas, ölmek üzere olan avın yenmesi değil, hassas olmayan fakat transgenik bitkiyle beslenmiş avların da doğal düşmanları etkileme ihtimalleri vardır (Hagvar and Aasen, 2004). Diğer bir dolaylı etkilenme şekli de, konukçunun besin kalitesindeki azalmadan kaynaklanmaktadır. Özellikle parazitoidler yaşamlarını genellikle tek bir konukçu üzerinde tamamlamaları nedeniyle konukçu kalitesindeki değişime karşı daha hassastırlar (Romeis et al., 2008). Transgenik bitkiler, çekici kimyasal kokularının üretimini azaltarak da, doğal düşmanları dolaylı olarak etkileyebilirler (Fontes et al., 2002). *Bacillus thuringiensis*'li bitkiler ayrıca doğal düşmanların av veya konukçu sayısını azaltarak da dolaylı olarak etkili olabilir (Ferry and Gatehouse, 2009). Bu durum daha çok parazitoidleri etkiler çünkü predatörler, parazitoidlerden farklı olarak yaşamlarını tamamlayabilmeleri için birkaç konukçu ile beslenirken, parazitoidler genellikle gelişimlerini tek bir konukçu birey üzerinde tamamlarlar (Schuler et al., 1999; Chen et al., 2008). Örneğin Bt'li mısırdaki, *O. nubilalis* popülasyonunun azalmasından dolayı, zararlının *Lydella thompsoni* ve *Pseudoperichaeta nigrolineata* (Diptera: Tachinidae) tarafından parazitlenme seviyesinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Benzer şekilde *Cry1Ab* toksini üreten mısır tarlalarında *Macrocentrus*

cingulum (Hymenoptera: Braconidae) popülasyonunda da önemli miktarda azalma meydana geldiği belirlenmiştir (Romeis et al., 2008).

Laboratuar ve sera denemelerinde, Bt'ye hassas av veya konukçu böcek kullanıldığı zaman doğal düşmanlar üzerinde olumsuz etki belirlenmiştir. Diğer yandan bazı arazi denemelerinde Bt'li ve Bt'siz ürünlerde bulunan parazitoit ve predatör popülasyonunun ve aktivitesinin benzer olduğu gözlenmiştir (Romeis et al., 2006). Yapılan bazı çalışmalarda predatör ve parazitoitlere herhangi bir olumsuz etkinin olmadığı sonucu elde edilirken, bazılarında ise transgenik bitkiler üzerindeki sağlıklı böceklerin doğal düşmanlar tarafından yenmesi sonucu doğal düşmanların ömrünün kısaldığı, gelişme oranı ve doğurganlığın azaldığı gibi sonuçlar elde edilmiştir. Bt'li ve Bt'li olmayan mısırdaki *O. nubilalis*'in doğal düşmanları üzerinde yapılan bir çalışmada, Bt'li bitkilerin, doğal düşmanlara herhangi bir akut zararı veya avlanma kabiliyetine olumsuz bir etkisinin olmadığı sonucu elde edilmiştir. Benzer şekilde, Bt'li mısır ve pamuktaki doğal düşman miktarı ve çeşidinin Bt'li olmayan arazidekilerden farklı olmadığı görülmüştür (Cannon, 2000).

Lövei et al. (2009) 55 tanesi *Cry* toksinleriyle, 27 tanesi de proteinaz inhibitörleriyle ilgili yapılmış olan laboratuar çalışmalarını kullanarak hazırladıkları derlemede, parazitoitlerin, predatörlere göre *Cry* toksinlerine ve proteinaz inhibitörlerine karşı daha hassas olduğu, predatörlere karşı proteinaz inhibitörlerinin negatif etkisinin *Cry* toksinlerine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Hardwood ve ark. (2005), transgenik mısır üzerinde beslenen fakat toksinin hedefi olmayan herbivorlarda (*Chaetocnema pulicaria*, *Popillia japonica*, *Diabrotica undecimpunctata howardi*) önemli miktarda *Cry1Ab* endotoksininin bulunduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca aynı alandan toplanan predatör böceklerde de (Coccinellidae, Nabidae ve Araneae) önemli miktarda *Cry1Ab* endotoksininin bulunması, toksinin besin zincirinde yüksek basamaklara doğru hareket ettiğini göstermiştir. Bu üç takıma ait predatörlerin her bir gram taze vücut ağırlığı başına 0.5 ng *Cry1Ab* olan eşğin üzerinde *Cry1Ab* endotoksin içerdiklerini bulmuşlardır. *Cry1Ab* endotoksinini içeren avlar uzun süre tüketilirse, doğal düşmanların etkinliğinde azalmalar görüldüğü belirlenmiştir.

Bacillus thuringiensis'li ve Bt'li olmayan ürünlerin bulunduğu tarlalarda doğal düşman popülasyonu genellikle birbirinden önemli derecede farklı olmamak-

tadır. Farklı olduğu durumlarda ise genellikle Bt'li tarlalarda doğal düşman popülasyonu Bt'li olmayanlardan daha fazla olmaktadır. Bu farklılık ise Bt'li arazilerde Bt'li olmayanlara göre daha az insektisit uygulamasıyla ilişkilidir (Head et al., 2005). Wisconsin'de, 5 farklı patates tarlasında 4 yıl süreyle yürütülen bir çalışmada, Bt'li patates tarlalarına göre geleneksel yetiştiriciliğin yapıldığı ve insektisit uygulanan patates tarlalarında predatör popülasyonunun ortalama % 63.8 oranında, parazitoit popülasyonunun da % 58.4 oranında daha düşük olduğu belirlenmiştir (NRC, 2000).

Lektin geninin aktarımı ile geliştirilen transgenik patateslerde, *Myzus persicae* ve *Aphidius colemani* ile yapılan bir çalışmada gen değişikliğinin, hem aphidin doğurganlığı, hayatta kalması ve popülasyon gelişimine, hem de zararlı ile bulaşık olan ve olmayan bitkiler üzerindeki doğal düşman koloni davranışına olumsuz etkisi bulunmamıştır (Hagvar and Aasen, 2004). *Bacillus thuringiensis*'li mısırdaki beslenen *O. nubilalis*'in, predatör *Chrysoperla carnea*'ya etkisinin araştırıldığı bir denemede, Bt'li mısır üzerindeki *O. nubilalis* larvalarıyla beslenen *C. carnea* larvalarındaki ölüm oranının, Bt'li olmayan mısırdaki ölümlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Stewart, 2004). Chen et al. (2008), *Cry1C* proteinine karşı dayanıklı *Plutella xylostella* ırkı ve önemli bir parazitoiti olan *Diadegma insulare* ile yaptıkları çalışmada, dayanıklı *P. xylostella* ırkı Bt'li bitki üzerinde beslenmiş daha sonra *D. insulare* tarafından parazitlenmiştir. Parazitoit konukçu içerisindeki *Cry1C* proteinine maruz kalmış fakat bundan zarar görmemiştir.

Predatörler arasında *C. carnea*'nın diğer predatörlere göre genetiği değiştirilmiş bitkilere karşı daha hassas olduğu gözlenmiştir (Head, 2005; Lövei et al., 2009). *Cry1Ab* toksini üreten Bt'li mısırın *C. carnea* larvasına olan etkisini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada, farklı avları mısır yaprağı üzerinde beslemişler ve bunları ilk dönem *C. carnea* larvalarına yedirmişlerdir. *Chrysoperla carnea* larvaları *Rhopalosiphum padi* ve *Tetranychus urticae* ile beslendiklerinde az miktarda ölüm meydana gelmiştir. *Cry1Ab* toksinine hassas olmayan fakat fazla miktarda aktif Bt toksini içeren *Tetranychus urticae* ile beslenen larvalar bundan olumsuz olarak etkilenmemişlerdir. *Bacillus thuringiensis*'li mısır ve kontrol arasındaki fark da önemli bulunmamıştır. Ancak larvalar *Spodoptera littoralis* ile beslendiklerinde ise Bt'li mısırdaki ölüm oranı daha yüksek çıkmıştır (Ferry and Gatehouse, 2009). Ayrıca Bt'li mısırdaki

beslenen konukçularda beslenen larvalar gelişmelerini daha uzun sürede tamamlamışlardır. Bu sonuçlardan, *C. carnea* larvalarının doğrudan Bt toksininden ziyade, Bt'li mısırdaki beslenen *S. littoralis* larvalarının besleme kalitesinin düşmesinden etkilendiği sonucuna varılmıştır (Romeis et al., 2008).

Bacillus thuringiensis'li bitkilerin sınırlı sayıda parazitoid ve predatöre olan etkisi incelenmiş olmasına rağmen 2 genel sonuç belirlenmiştir; ilk olarak, Bt'li bitkilerde bulunan toksinlerin predatörlere ve parazitoidlere doğrudan toksik etkilerinin olmadığı belirlenmiştir (Head, 2005; Romeis et al., 2006; Ferry and Gatehouse, 2009). İkincisi ise, doğal düşmanlara olumsuz etki sadece toksine hassas konukçu/av üzerinde beslenildiğinde görülmüştür (Romeis et al., 2006).

SONUÇ

Dünya nüfusunun 2050 yılında şu andaki 7 milyardan 9.2 milyara çıkması beklenmektedir. Bu yıla kadar gıda üretiminin iki katına çıkarılması ve bunun yaklaşık olarak aynı ekilebilir alanda, daha az kaynak özellikle fosil yakıt, su ve azot kullanılarak yapılması gerekmektedir. Klasik ıslah yöntemleriyle elde edilebilecek biyolojik verim artışının da artık sınırlarına geldiği düşünüldüğünde, bitki ve hayvan ıslah çalışmalarında gen aktarım teknolojisinin kullanılması kaçınılmaz görünmektedir. Tarımsal üretimi artırmak için yapılan diğer uygulamalarda olduğu gibi, transgenik bitkilerin kullanılması sonucu oluşabilecek bazı risklerin olması kaçınılmazdır. Ancak bu risklerinin politik ve ekonomik kaygılardan uzak tutularak bilimsel temellere oturtulması gerekmektedir. Şu an için genetiği değiştirilmiş ürünlerin çevresel etkileriyle ilgili bilgilerin yetersiz olması sebebiyle tam bir risk belirlemesi yapmak oldukça güçtür. Ayrıca doğruluğu kanıtlanmamış ve yeterli gözlem yapılmadan elde edilmiş bilgilere dayanarak bu bitkilerin çevreye olan olumlu etkilerini göz ardı etmemiz gerekmektedir. Transgenik bitkilerle ilgili devam eden çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen henüz yeterli sayıya ulaşılmadığından yararları veya zararları konusunda kesin bir yargıya varmanın şu an için mümkün olmadığı düşünülmektedir. Transgenik bitkilerin bazı potansiyel riskleri olmasına rağmen, sağladığı birçok avantaj göz önünde bulundurularak, konuyla ilgili daha kapsamlı, tarafsız, kaliteli ve uygulamalı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Ali, S., Zafar, Y., Xianyin, Z., Ali, G. M., Jumin, T., 2008. Transgenic crops: Current challenges and future perspectives. *African Journal of Biotechnology*, 7(25): 4667-4676.
- Ammann, K., 2005. Effects of biotechnology on biodiversity: Herbicide-tolerant and insect-resistant GM Crops. *Trends in Biotechnology*, 23(8): 388-394.
- Anonymous, 2006. Ecological impacts of genetically modified crops. *Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Zurich*.
- Anonymous, 2008. Who benefits from GM crops? The rise in pesticide use. *Friends of the Earth International* 112.
- Anonymous, 2009a. Genetiği değiştirilmiş organizmalara (GDO) dair yönetmelikle ilgili basın açıklaması. http://www.tarim.gov.tr/Duyurular,haber_Detayli_Gosterim.html?NewsID=607 (Erişim tarihi: 01.05.2010).
- Anonymous, 2009b. Focus on environmental impacts- Biotech crops-evidence, Outcomes and Impacts 1996-2007. <http://www.pgeconomics.co.uk/pdf/focusonenvimpacts2009.pdf> (Erişim tarihi: 26.04.2010).
- Anonymous, 2010a. Agro-biotechnology: New plant pest caused by genetically engineered corn. *Testbiotech Institute for Independent Impact Assessment in Biotechnology, München, Germany*.
- Anonymous, 2010b. Biyogüvenlik Kanunu. *Resmî Gazete, Sayı: 27533*.
- Anonymous, 2010c. Who benefits from GM crops? *Friends of the Earth International*. http://www.foeurope.org/GMOs/Who_Benefits/who_benefits_full_report_2010.pdf (Erişim tarihi: 25.04.2010).
- Bates, S.L., Zhao, J.Z., Roush, R.T., Shelton, A.M., 2005. Insect Resistance Management in GM Crops: Past, Present and Future. *Nature Biotechnology*, 23(1): 57-62.
- Batie, S.S., 2003. The environmental impacts of genetically modified plants: Challenges to decision making. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(5): 1107-1111.
- Benbrook, C., 2001. Do Gm crops mean less pesticide use? *Pesticide Outlook, The Royal Society of Chemistry*, 204-207.
- Cannon, R.J.C., 2000. Bt transgenic crops: Risks and benefits. *Integrated Pest Management Reviews*, 5: 151-173.
- Catangui, M.A., Berg, R.K., 2006. Western Bean Cutworm, *Striacosta albicosta* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), as a potential pest of transgenic Cry1Ab *Bacillus thuringiensis* Corn Hybrids in South Dakota. *Environmental Entomology*, 35(5): 1439-1452.
- Chen, M., Zhao, J.Z., Collins, H.L., Earle, E.D., Cao, J., Shelton, A.M., 2008. A critical assessment of the effects of bt transgenic plants on parasitoids. *PLoS ONE*, 3(5): 1-7.
- Christou, P., Capell, T., Kohli, A., Gatehouse, J.A., Gatehouse, A.M.R., 2006. Recent developments and future prospects in insect pest control in transgenic crops. *TRENDS in Plant Science*, 11(6): 302-308.
- Conner, A.J., Glare, T.R., Nap, J.P., 2003. The release of genetically modified crops into the environment. *The Plant Journal*, 33: 19-46.
- Çelik, V., Balık, D.T., 2007. Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar (GDO). *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23(1-2): 13-23.
- Demir, A., Seyis, F., Kurt, O., 2006. Genetik yapısı değiştirilmiş organizmalar: I. Bitkiler. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 21(2): 249-260.

- Eichenseer, H., Strohhahn, R., Burks, J.C., 2008. Frequency and severity of Western Bean Cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) ear damage in transgenic corn hybrids expressing different *Bacillus thuringiensis* cry toxins. *Journal of Economic Entomology*, 101(2): 555-563.
- Ferry, N., Gatehouse, A.M.R., 2009. Environmental impact of genetically modified crops. UK.
- Fontes, E.M.G., Pires, C.S.S., Sujii, E.R., Panizzi, A.R., 2002. The environmental effects of genetically modified crops resistant to insects. *Neotropical Entomology*, 31(4): 497-513.
- Glare, T.R., O'Callaghan, M., Malone, L.A., Burgess, E.P.J., 2001. Summary of current scientific awareness of the effect of genetically modified organisms on the natural environment. Report for The Ministry of Agriculture and Forestry, AgResearch.
- Hagvar, E., Aasen, S., 2004. Possible effects of genetically modified plants on insects in the plant food web. *Latvijas Entomologs*, 41: 111-117.
- Harwood, J.D., Wallin, W.G., Obrycki, J.J., 2005. Uptake of Bt endotoxins by nontarget herbivores and higher order arthropod predators: molecular evidence from a transgenic corn agroecosystem. *Molecular Ecology*, 14: 2815-2823.
- Head, G., Moar, W., Eubanks, M., Freeman, B., Ruberson, J., Haggerty, A., Turnipseed, S., 2005. A multiyear, large-scale comparison of arthropod populations on commercially managed Bt and non-Bt cotton fields. *Environ. Entomology*, 34(5): 1257-1266.
- Head, G., 2005. Assessing the influence of Bt crops on natural enemies. Second International Symposium on Biological Control of Arthropods, Davos, Switzerland, 12-16 September.
- Hilbeck, A., 2001. Implications of transgenic, insecticidal plants for insect and plant biodiversity. *Urban & Fischer Verlag*, 4(1): 43-61.
- James, C., 2010. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2010, ISAAA Brief 42: Executive Summary. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/42/executive-summary/pdf/Brief%2042%20-20Executive%20Summary%20-%20English.pdf> (Erişim tarihi: 25.01.2012).
- James, C., 2010. 2009 yılında üretilen transgenik ürünlerin (GDO) global durumunun özeti. ISAAA Özet41. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/41/highlights/pdf/Brief%2041%20-%20Highlights%20-%20Turkish.pdf> (Erişim tarihi: 05.05.2010).
- James, C., 2010. Pazara sunulan Biyoteknoloji/GDO Ürünlerin Global Durumu: 2010. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/42/highlights/pdf/Brief%2042%20-%20Highlights%20-%20Turkish.pdf> (Erişim tarihi: 25.01.2012).
- Kaynar, P., 2010. Genetik olarak değiştirilmiş organizmalar (GDO)'a genel bir bakış. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 66(4): 177-186.
- Lelley, T., Balázs, E., Tepfer, M., 2002. Ecological impact of GMO dissemination in Agro-Ecosystems. *Austria*, p. 218.
- Lövei, G.L., 2001. Ecological risks and benefits of transgenic plants. *New Zealand Plant Protection*, 54: 93-100.
- Lövei, G. L., Andow, D.A., Arpaia, S., 2009. Transgenic insecticidal crops and natural enemies: A detailed review of laboratory studies. *Environmental Entomology*, 38(2): 293-306
- MacIntosh, S. C., 2009. Managing the risk of insect resistance to transgenic insect control traits: Practical approaches in local environments. *Pest Management Science*, 65: 100-106.
- Men, X., Ge, F., Liu, X., Yardim, E.N., 2003. 25. Diversity of arthropod communities in transgenic Bt cotton and nontransgenic cotton agroecosystems. *Environmental Entomology*, 32(2): 270-275.
- Naranjo, S.E., Ellsworth, P.C., Chu, C.C., Henneberry, T.J., 2002. Conservation of predatory arthropods in cotton: role of action thresholds for Bemisia tabaci (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 95(4): 682-691.
- Naranjo, S. E., 2009. Impacts of Bt crops on non-target invertebrates and insecticide use patterns. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 4(11): 1-23.
- National Research Council. 2000. Genetically modified pest-protected plants: Science and Regulation, Washington, D.C.
- Özcan, S., Gürel, E., Babaoğlu, M., 2001. Bitki Biyoteknolojisi II. s. 456.
- Phipps, R.H., Park, J.R., 2002. Environmental benefits of genetically modified crops: Global and European perspectives on their ability to reduce pesticide use. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 11: 1-18.
- Reed, G.L., Jensen, A.S., Riebe J., Head, G., Duan, J.J., 2001. Transgenic Bt potato and conventional insecticides for Colorado potato beetle management: Comparative efficacy and non-target impacts. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 100: 89-100.
- Romeis, J., Meissle, M., Bigler, F., 2006. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. *Nature Biotechnology*, 24(1): 63-71.
- Romeis, J., Shelton, A.M., Kennedy, G.G., 2008. Integration of insect-resistant genetically modified crops within IPM programs. USA
- Sayyed, A.H., Cerda, H., Wright, D.J., 2003. Could Bt transgenic crops have nutritionally favourable effects on resistant insects?. *Ecology Letters*, 6: 167-169.
- Schuler, T.H., Poppy, G.M., Kerry, B.R., Denholm, I., 1999. Potential side effects of insect-resistant transgenic plants on arthropod natural enemies. *TIBTECH*, 17: 210-216.
- Stewart, C.N., 2004. Genetically modified plant, environmental impacts of genetically engineered plants. New York,
- Tabashnik, B.E., Gassmann, A J., Crowder, D.W., Carrière, Y., 2008. Insect resistance to Bt crops: Evidence versus theory. *Nature Biotechnology*, 26(2): 199-202.