

PAPER DETAILS

TITLE: BÖCEKLERE GEN AKTARIMI TEKNİKLERİ

AUTHORS: Ferit TURANLI, Seniz KISMALI

PAGES: 0-0

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/19989>

BÖCEKLERE GEN AKTARIMI TEKNİKLERİ

Ferit TURANLI

Şeniz KISMALI

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü
Bornova, İzmir/TURKEY

ÖZ: İnsanlığa tarımsal ve medikal açıdan sorun olan zararlı böceklerle karşı yıllardır uygulanan savaş yöntemlerinin yanı sıra konu ile ilgili yeni ve etkili alternatif savaş yöntemleri arayışı da durmaksızın devam etmektedir. Özellikle son yıllarda derinlik kazanan genetik çalışmaların böcekler üzerinde de araştırma ve uygulama alanı bulması ile alternatif yöntemler arasında genetik olarak değiştirilmiş böceklerin farklı şekillerde kullanılması da dahil olmuştur. Doğal olarak gen aktarılabilecek ve gen kaynağı olabilecek canlıların genetik yapılarının ortaya çıkarılması, çalışmaların öncelikli konusu olmuştur. Muhtemel genlerin hedef organizmaya aktarılmasında kullanılacak vektör sistemler ve gen aktarılmış bireylerin diğerlerinden ayrılmasını sağlayacak işaretleyiciler diğer öncelikli konular arasındadır. Çalışmaların yoğunlaştığı böcek türlerinin başında çok sık döl veren Sirkesineği (*Drosophila melanogaster*), önemli tarımsal zararlı Akdeniz Meyvesineği (*Ceratitis capitata*), medikal zararlılar sivrisinekler (*Aedes aegypti* ve *Anopheles gambiae*) gelmektedir. Çalışmaların yoğunlaştığı konular ise, gen taşıyıcı vektör sistemler olan P elementi, Minos elementi, Mariner, Mos 1, Himar 1 elementleri grubu, hobo, Tam 3 (hAT), Hermes, Homer, Hector elementleri grubu, PiggyBac elementi, viral ve bakteriyel sistemler üzerinde olmuştur.

Anahtar Sözcükler: Gen aktarılmış böcekler, *Aedes aegypti*, *Anopheles gambiae*, *Ceratitis capitata*, *Drosophila melanogaster*, Minos, Mariner, Mos 1, Himar 1, hobo, Tam 3, Hermes, Homer, Hector, PiggyBac.

GENE TRANSFER TECHNIQUES TO INSECT

ABSTRACT: New and innovative alternative methods to current control measurements which have been used for many years have been searched continuously for harmful insects to humanbeing in view of agricultural and medical aspects. Alternative studies have been concentrated on the gene transfer into insects and on the use of genetically modified insects parallel to recent developments in genetic studies. Naturally, to decode of genetic maps of living organisms that is suitable for gene transfer and gene sources have been received the most priority attention with these studies. Vector systems to be used for the transfer of possible genes into insects and markers to make genetically modified insects differentiate are among the other important topics. The insect species that studies carried out are *Drosophila melanogaster* which is multivoltine species, *Ceratitis capitata* which is very important agricultural pest, *Aedes aegypti* and *A. gambiae* which are medically important pests. The topics widely focused on are on P element, Minos element, Mariner, Mos 1, Himar 1 elements, hobo, Tam 3 (hAT), Hermes, Homer, Hector elements, PiggyBac element, viral and bacterial systems that are vector systems transferring genes.

Keywords: *Genetically Modified Insects, Aedes aegypti, Anopheles gambiae, Ceratitis capitata, Drosophila melanogaster, Minos, Mariner, Mos 1, Himar 1, hobo, Tam 3, Hermes, Homer, Hector, PiggyBac.*

GİRİŞ

Günümüz dünyasında baş döndürücü bir hızla yol alan bilimsel gelişmelerin içerisinde genetik çalışmalar oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle canlılardaki bazı genetiksel bozuklukların tedavisi ve tıp alanında organ nakilleri için gerekli organların bulunması konusunda yoğun olarak çalışılmaktadır. Bu çalışmalar sürerken elde edilen sonuçların ve geliştirilen yöntemlerin uzantıları da diğer bilimsel alanlardaki çalışmalara ışık tutmuştur. Böylece hayvanlara, bitkilere ve böcekler gen aktarılması çalışmaları başlamıştır. Özellikle hayvanlar ve bitkiler üzerinde gerçekleştirilen genetik çalışmalar, böceklerle yapılan gen aktarımı çalışmalarına göre sivrisinekler gibi medikal zararlı bazı böcek grupları dışında, oldukça fazladır. Son yıllarda ivme kazanmaya başlayan böcekler gen aktarımı çalışmaları yavaş yavaş uygulama alanlarını genişletmiş ve bu sayede de araştırmacıların ilgisini daha fazla çekmiştir.

Uzun yıllar öncesinde başlatılan klasik çaprazlamalarla yıllarca süren yeni genetik yapılarıdaki bireylerin oluşturulması işlemleri, günümüzde direk gen aktarımı çalışmalarıyla hızlı ve farklı yaklaşımlar içerisine girmiştir. Örneğin tıp alanında sıtma hastalığının yayılmasının engellenmesi konusunda, tarımsal alandaki zararlı türlerle savaşım ve faydalı türlerin desteklenmesi konusunda, endüstriyel alanda uçaklar için ipek üretimi gibi konularda yapılan çalışmalar bunlardan bazılarıdır (Waage, 1996). Çalışmalarda hastalık vektörü böceklerin hastalık yaymalarını engelleyecek, faydalıların daha etkili ve geniş alanlarda kullanımlarını sağlayacak uygulamalar ve endüstride kullanılabilecek yeni materyallerin oluşturulması üzerinde yoğun olarak durulmaktadır.

Tek hücreli canlıların aksine böcekler binlerce hücrelerden oluşmaktadır. Dolayısıyla her hücreye yeni bir DNA parçası eklenmiş böcek üretmek ilk bakışta oldukça zor bir işlem olarak görülmüştür. Bilim adamlarının şanslı oldukları nokta böcek gelişiminde embriyo dönemindeki hücre bölünmesi olmuştur. Diğer bir deyişle böceğin ilk başta tek bir yumurta hücresinden oluşuyor olması araştırmalar için önemli bir avantaj sağlamıştır. Bu tek hücreye aktarılabilecek yeni DNA parçası, hücrenin bölünmesi ile oluşacak diğer hücrelere ve bu hücrelerden oluşacak böceğin tüm hücrelerine direk olarak geçecektir. Ancak yine de gen aktarımı yapılmış bir böcek üretmek gen aktarımı yapılmış bir bakteri veya bitki üretmekten oldukça zor ve kompleks bir işlemdir. Çünkü bir bitki biyoteknolojisti gen aktarımı yapılmış bir bitkiden başka bir bitki üretmek için bitkinin herhangi bir parçasını kullanabilirken

böceklerde bu işlem için sadece böceğin DNA'sı değiştirilmiş üreme hücreleri kullanılabilir.

Böceklerde gen aktarımında Sirkesineği (*Drosophila melanogaster*)'nin kısa sürede döl vermesi ve üretiminin kolay olması, çalışan araştırmacılara pek çok zorluğun aşılmasında önemli bir avantaj sağlamıştır. Bu böcek türünün üzerinde yapılan pek çok çalışma diğer böceklerle yapılacak olan çalışmalara model oluşturmuş ve genetik çalışma olasılıklarını ortaya çıkarmıştır.

Diğer genom çalışmaları ile karşılaştırıldığında böcek genom çalışmaları araştırmacı sayısı ve gerekli kaynaklar bakımından oldukça küçük çapta kalmış çalışmalardır. Ancak bu durumu istisnai olarak üzerinde oldukça yoğun çalışılan medikal zararlı sivrisinek, *Anopheles* türleri bozmaktadır. Medikal zararlı grubunun gördüğü yoğun araştırmacı ve maddi kaynak ilgisini, tarımsal zararlılar özellikle toplumsal kaynaklardan görememiş, kısmi olarak özel sektöre bağlı kaynaklardan görebilmiştir.

Böceklerle gen aktarımının tarihçesi ve bugünkü durumu

Böceklerle gen aktarımı çalışmaları 1960'lı yıllarda ağırlık kazanmış ancak bu yıllar içerisinde *Ephestia*, *Bombyx* ve *Drosophila* cinslerine bağlı türlerle yapılan çalışmalarda kullanılan sistemler ve sonuçlar başarısız olmuştur. Çalışmaların devam ettiği 1970'li ve 80'li yıllarda *Drosophila melanogaster*'e gen aktarımı gerçekleştirilmiştir. Ancak gerçekleştirilen bu gen aktarımında kullanılan sistem, diğer böceklerle gen aktarımında başarısız olmuştur. 1990'lı yıllara gelindiğinde ilk kez önemli bir tarımsal zararlı olan *Ceratitis capitata*'ya gen aktarımı gerçekleştirilmiş ve yeni gen aktarma sistemleri denenmeye başlanmıştır. 2000'li yılların başında ise 10'un üzerinde zararlıya yaygın olarak kullanılan 4 sistem ile gen aktarımı gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1).

Böceklerle gen aktarımında kullanılan teknolojiler

Canlıların tüm hayatsal faaliyetlerini düzenleyen genler ve bu genlerin aktarımı çalışmaları, birey kopyalama anlamındaki genetik çalışmalardan tamamen farklıdır. Bu farklılığı kısaca açıklayacak olursak, kopyalama işleminde anneden alınan yumurta hücresindeki DNA tamamen boşaltılarak babadan alınan sperm hücresinin DNA'sı yumurtaya aktarılır ve böylece yeni oluşan birey tamamen babanın özelliklerini taşır. Gen aktarımında ise bireyin DNA'sının tamamen çıkartılması veya eklenmesi değil sadece DNA ya bir gen parçası aktarılması işlemi söz konusudur. Bu yöntem Rekombinant DNA yöntemi olarak da adlandırılabilir. Yöntemin kullanımındaki ilk aşama, hedef organizmaya aktarılabilecek genin tanımlanmasıdır.

İkinci aşamadan ise tanımlanan genin kaynak organizmanın DNA'sın dan izole edilmesi gerçekleştirilir. Daha sonra izole edilen genin uygun bir vektör sisteme yüklenerek hedef organizmanın DNA'sına girmesi sağlanır (Erkan, 1992).

Çizelge 1. Böcekler gen aktarımının tarihçesi ve bugünkü durumu (O'Brochta, 2001'den değiştirilerek).

Table 1. History and recent statues of gene transfer to insects.

Çalışmanın yılı Year of the study	Cins veya türler Genus and species	Uygulanan sistem Applied system
1960'lı yıllar 1960's years	<i>Ephestia, Bobyx, Drosophila</i> 'ye gen aktarımı denendi Gene transfer tried to <i>Ephestia, Bobyx, Drosophila</i>	Başarı yok, Sistem yok No success, No system
1970'li yıllar 1970's years	<i>Drosophila melanogaster</i> 'e gen aktarımı Gene transfer to <i>Drosophila melanogaster</i>	Başarı var, sistem yok Success, No system
1980'li yıllar 1980's years	<i>Drosophila melanogaster</i> 'e gen aktarımı Gene transfer to <i>Drosophila melanogaster</i>	Başarı var, P element sistemi geliştirildi fakat diğer böceklerde çalışmadı. Success, P element is developed but worked only in <i>Drosophila melanogaster</i>
1990'lı yıllar 1990's years	<i>Ceratitis capitata</i> 'ya gen aktarımı Gene transfer to <i>Ceratitis capitata</i>	Yeni sistemlerle sınırlı başarı Limited successfulness with new systems
2000'li yıllar 2000's years	<i>Ceratitis capitata, Bactrocera dorsalis, Anastrepha suspensa, Pectinophora gossypiella, Stomoxys calcitrans, Helicoverpa zea, Tribolium castaneum</i> gibi bazı türlere gen aktarımı Gene transfer to some species as <i>Ceratitis capitata, Bactrocera dorsalis, Anastrepha suspensa, Pectinophora gossypiella, Stomoxys calcitrans, Helicoverpa zea, Tribolium castaneum</i>	Yeni 4 sistem başarı ile yaygın kullanımda Four new systems are commonly in use with success

Böceklerde gen aktarımının çoğunlukla embriyo döneminde yani germ-band üzerinde yapılması tercih edilir ve yumurtalara mikroenjeksiyon uygulanarak bu gen aktarımı işlemi gerçekleştirilir. Bu iş için dişi ve erkek birey çiftleştirildikten sonra

bırakılan yumurtalar toplanarak ortalama 5 dakika % 4'lük formaldehit solüsyonunda temizlenir, saf suda çalkalanır, alkolde kurutulur ve petrilere yerleştirilir. Bu yumurtalara en kısa sürede mikroenjeksiyon yöntemi uygulanmalıdır, çünkü türe göre değişmekle beraber yumurtlamayı izleyen ilk saatlerde yumurtanın ventralinde germ band oluşmaya başlar. Bu oluşumun hemen arkasından da mayoz bölünme gerçekleşeceği için mikroenjeksiyon yöntemi dorsalden uygulanmalıdır. Mikroenjeksiyon ile yeni gen hedef türün DNA sınıfının bir bölümüne kaynaşır ve böylece bu hücreden oluşacak bireylerde ve onların üreme hücrelerinde yeni gen bulunur. Sonuçta bu bireyden oluşan döllere de genin aktarılması sağlanmış olacaktır (Thomas ve ark., 2002).

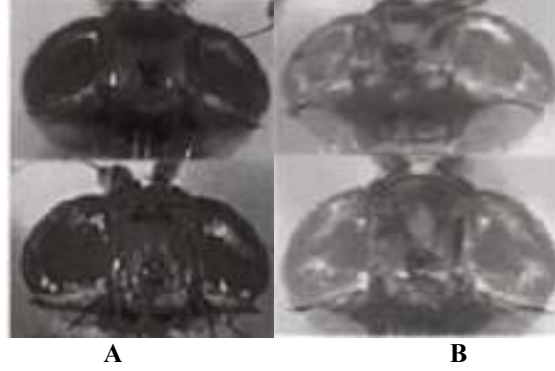
Mikroenjeksiyon yöntemi dışında böceğe direk girme kabiliyetinde olan vektörlerle, somatik gen aktarımları da gerçekleştirilebilir.

Genel olarak gen aktarımı sisteminin dört önemli bileşeni olması gerekir;

- 1- birincisi; aktarılmak istenen geni, hedef zararlı veya faydalı böcek türünün genomuna aktarabilecek vektör sistem,
- 2- ikincisi; amacımıza uygun olarak seçilmiş, EcoRV, KpnI, EcoRI v.b. kesici enzimlerle kesilerek elde edilmiş, zararlı veya faydalı böcek türünde uygun değişiklikleri yapabilecek gen parçası,
- 3- üçüncüsü; gen aktarımı yapılmış yeni genomun bozulmaya uğramadan stabil halde, sonraki döllere geçerek populasyon içinde yayılmasını sağlayacak yine genlerden oluşan yardımcı mekanizmalar. Bu genler mayoz bölünme esnasında kromozom ayrışımını bozarak istenen kromozom düzenini teşvik edeceklerdir.
- 4- sonuncusu ise; gen aktarımı çalışmalarında ihmal edilmemesi gereken marker yani işaretleyici genlerdir. Bu durum gen aktarımı yapılmış olan bireylerin tanınmasında son derece önemlidir (Şekil 1).

Eğer çok etkili bir gen aktarımının söz konusu olduğu türün bireylerinin, diğer bireylerden fark edilmesi mümkün değilse bu gen aktarımının bir anlamı olmayacaktır. Burada işaretleyici genler, daha çok böceğin göz rengini etkileyen doğal tip genlerin yerine kullanılmaktadır. Bu tipte bir gen aktarımı yapılmış bireyler doğal popülasyondaki bireylerden rahatlıkla ayrılırlar. Bu durum Akdeniz Meyvesineği, (*Ceratitis capitata*)'ya karşı uygulanan SIT programlarında oldukça önemli kolaylıklar sağlamaktadır (Robinson, 2002). Marker gen aktarımında böceğin yaşamsal yönüne müdahale eden herhangi bir etki söz konusu değildir (Whitten and Oakeshott, 1991; O'Brochta and Atkinson, 1997).

Yukarıda belirtilen tüm öğelerin oluşturulduğu ve böcek gruplarına gen aktarımı konusunda en çok tercih edilen kombinasyon, vektör – gen (-ler)- işaretleyici gen ve yardımcı mekanizmaların birlikte oluşturdukları kompleks yapıların kullanıldığı sistemlerdir.



Şekil 1. Böceklerde gen aktarımı yoluyla işaretleme çalışmalarına örnek (O’Brochta, 2001’ den değiştirilerek). A) Bazı türlere ait doğal göz rengi B) Aynı türlerin gen aktarımı sonrası göz rengi.

Figure 1. Specimens for marker studies with gene transfer to insects. A) Natural eyes colour of some specimens B) Genetically modified eyes colour of the same specimens.

Böceklere gen aktarımında kullanılan vektör element sistemleri

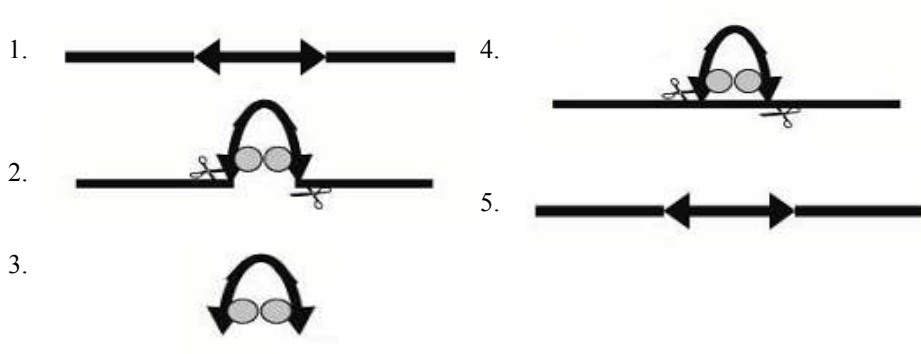
P elementi

Yapısının ve fonksiyonlarının ayrıntılı çalışmalarıyla aydınlatılması sonucunda, vektörlük özelliği ortaya çıkan bu elementin, elde edildiği *Drosophila* cinsindeki böceklerde ve diğer böcek gruplarında etkili olabileceği düşünülmüştür. Bu element kullanılarak diğer böcek gruplarına gen aktarımı çalışmalarında başarı yüzdeleri çok düşük olmuş ve daha sonra bu gen aktarımlarının P elementinden değil tesadüfi aktarımlar olduğu saptanmıştır. Elementin diğer böcek gruplarına uygulanamaması vektör sisteminin kullanımını sınırlandırmış ve araştırmacıları yeni vektör sistemleri aramaya yöneltmiştir. Ancak P elementinin çalışılmasından elde edilen pek çok bilgi daha sonra bulunacak olan vektör sistemlerinin çalışılması ve

denenmesi konusuna ışık tutmuştur. P elementinin kullanımını sınırlayan diğer unsur da elementin, hedef türün kromozomundaki birleşme yerini tesadüfen belirlemesi ve sistemin sadece hedef genomundaki genetik materyale ek yapabilme yeteneğinde olmasıdır. Yani bu sistemle, gen aktarma işleminde bir genin yerine başka bir gen değil sadece hedef genoma ek yapabilme şansı olabilmıştır (Handler, 2001; Atkinson, 2002).

Minos elementi

Drosophila hydei'den izole edilmiş Minos vektör elementi *Drosophila* cinsi dışındaki böceklerde ilk gen aktarımının gerçekleştirmiş olması açısından önemlidir. Diptera dışında Lepidoptera takımına da oldukça etkili aktarımları gerçekleştirebilen ve aynı zamanda taşınan genin taşınma sonrasında aktivitesini düzenleyebilen bir vektör elementtir. “Kes-yapıştır” adı verilen ve taşıdığı geni, hedef bireyin genomundaki genin yerine aktarabilen bu vektör element sayesinde yeni oluşan bireylerde sadece aktarılan genin özelliklerinin gözlenmesi mümkün olabilmıştır (Şekil 2). Bu sistemin ilk kullanıldığı böcek türü *C. capitata* olmuştur. Bu türde beyaz gözlü bireylerin oluşmasını sağlayıcı gen % 1-3 oranında başarı ile aktarılmış, böylece gen aktarımı yapılmış bireylerin diğerlerinden kolaylık ayrılması sağlanmıştır (Handler, 2001; Atkinson, 2002).



Şekil 2. Canlılara gen aktarımında kullanılan “kes-yapıştır” tekniği (O’Brochta, 2001’den değiştirilerek). 1. Aktarılabacak genin tanımlanması ve izolasyonu, 2. Genin kesilişi, 3. Genin taşınması, 3.Genin hedef türe verililişi, 4.Genin hedef genoma yapıştırılması.

Figure 2. “Cut and Paste” technique for gene transfer to living organisms. 1. Gene isolation, 2. Gene cutting, 3. Gene transportation, 4. Gene injection to the target species, 5. Gene integration to target DNA.

Mariner, Mos 1, Himar 1 elementleri

Drosophila mauritiana türünden elde edilmiş olan bu vektör element grubunda birbirine benzer ve kes-yapıştır esasına göre çalışan vektör elementler yer alırlar. İnsanlar, böcekler ve diğer pek çok canlıda bulunduğu için çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle, bu vektör element grubunun üzerinde oldukça fazla çalışılmıştır. Özellikle sivrisineklerdeki yüksek başarı yüzdeli (%4) gen aktarımı, bu gruptaki vektör elementlerini daha da ön plana çıkarmıştır (Handler, 2001).

hAT elementleri; hobo, Tam 3, Hermes, Homer, Hector

Hobo elementi, *D. melanogaster*'den elde edilen ve böceklerde ilk gen taşıyıcı sistemlerden bir tanesidir. *Drosophila* cinsi dışındaki böceklerde gen vektörlüğü yeteneği daha sonra fark edilen bu sistem *Musca domestica* ve *Bactrocera tryoni*'de gen taşımada oldukça başarılı olmuş ve akraba sistemleri araştırılmaya başlanmıştır. Bu gruptaki vektör sistemler de kes-yapıştır esası ile çalışan sistemlerdendir. Hermes elementi *Musca domestica*'dan, Hector elementi *M. vetustissima*'dan, Tam 3 Aslanağzı bitkisinden ve Homer elementi *B. tryoni*'den izole edilmiştir (O'Brochta ve Atkinson, 1997; Handler, 2001; Atkinson, 2002) .

Bu grupta günümüzde kullanımı en yoğun olan elementler hobo ve Hermes elementleridir.

PiggyBac elementi

Diğer elementler gibi *Drosophila* cinsinden izole edilen bu element ve benzerlerinin Lepidoptera takımında doğal olarak bulunduğu saptanmıştır. Kes-yapıştır esaslı bir taşıyıcı sistemdir. İlk olarak Akdeniz Meyvesineği'nde kullanılan bu element % 3-5 oranında başarıyla beyaz gözlülük genini bu türün bireylerine taşımıştır. Sıcaklık şoklarına hassasiyet genlerini de taşımada başarılı olan bu sistem İpek böceği (*Bombyx mori*), Pembekurt (*Pectinophora gossypiella*) gibi Lepidoptera takımının önemli bireylerine ve Coleoptera takımında *Tribolium castaneum*'a da ilk gen aktarımını başarı ile gerçekleştirmiştir (Handler, 2001; Atkinson, 2002) .

Günümüzde yoğun olarak kullanılan bir başka vektör elementtir.

Viral vektörler

Viruslar etkili somatik ve embriyonik gen aktarımlarını gerçekleştirebilen önemli bir vektör gruptur. Patojenik etkileri bir tarafa bırakılacak olursa retroviruslar

denilen gruptaki viral etmenlerin, böceklerle gen aktarımlarında kullanılması önemli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle retroviral vektörlerin hastalık yapma ve bulaştırma yetenekleri, istenen genin hedef organizmanın DNA sına ulaştırılmasında oldukça etkili olmuştur. Hatta bu konuda ortaya çıkan bazı problemlerin elimine olmasını sağlamıştır. Yukarıda sözü edilen diğer vektör element sistemlerinde, vektör elementin taşıdığı geni hedef böcek genomuna aktarabilmesi için mikro- enjeksiyon yöntemi kaçınılmazken, viral vektörler kendiliğinden organizmaya girerek gen aktarımını gerçekleştirir. Önceki vektör sistemlerde, gen aktarımlarının başarılı olması ağırlıklı olarak işlemi gerçekleştiren kişiye ve uygulama yeteneğine bağlı iken viral vektörlerle, kişiden kaynaklanan hatalar ortadan kaldırılmaktadır (Whitten ve Oakeshot, 1991; O'Brochta ve Atkinson, 1997).

Densovirüsler gibi diğer viral sistemlerin de bazı dipter ve lepidopterlerde gen aktarma yeteneğinde oldukları saptanmıştır. Bu grup virüsler, patojenik biyolojik savaş ajanları gibi veya gen aktarımı vektörü gibi çalışırlar. Genel olarak virüsler genin popülasyon içerisinde yayılmasında da oldukça önemlidir (Handler, 2001).

Bu aktarım sisteminin aksayan yönlerinden bir tanesi viral vektörün boyutlarının diğer taşıyıcılara göre daha küçük olması, vektörlerin üzerine eklenecek genin boyutlarını sınırlamasıdır. Ayrıca virüslerin içinde bulundukları protein kılıfların, hücre ile virüsün intereksiyonunu sınırlandırması bu konudaki diğer önemli sorundur (Whitten ve Oakeshot, 1991).

Bakteriyel vektörler

Bazı türlerde hedef böceğe etkili bir gen aktarımının gerçekleştirilebilmesi mevcut sistemlerle mümkün olamamakta, hatta aktarma hiç gerçekleşmemektedir. Böyle durumlarda böceklerde simbiyotik olarak yaşayan organizmaların gen aktarma işlemi için kullanılabileceği saptanmıştır. Bu durum paratransgenesis olarak da adlandırılmaktadır. İki endosimbiyotik bakteri, bu konuda en bilinen örneklerdir. Böceklerde ve diğer pek çok arthropod'un midesinde bulunan bu bakterilerden birincisi *Wolbachia pipientis*, diğeri ise *Rhodnius prolixus* böcek türünün midesinde bulunan *Rhodococcus rhodnii* bakterisidir (Handler, 2001).

Sistemin önemli avantajı *Wolbachia* bakterisi ile enfekteli bir dişi, bakteri ile enfekte olmuş veya olmamış bir erkekle çiftleştğinde fertilite normal olarak devam etmektedir. Böylece popülasyon içindeki enfekteli bireylerin sayısı hızla artış gösterebilmektedir. Sözü edilen her iki bakterinin hastalık taşıyan böceklerle savaşım konusunda kullanılması ile önemli başarılar elde edilmiştir.

SONUÇ

Böceklerle yakın zamanda yapılan gen aktarımı çalışmalarının sonuçları genel olarak değerlendirilirse, ilerdeki yıllarda çalışmaların daha çok vektör yani taşıyıcı sistemler üzerinde olması ve bu sayede yeni vektör sistemler geliştirilerek gen aktarımı konusundaki tesadüfi yerleştirme yöntemlerinin elimine edilmesi beklenmelidir. Ayrıca gen aktarımı işleminin sonunda genin tam ve doğru biçimde aktarılıp aktarılamadığı, aktarılan genin yeni nesillere geçme durumu, yeni genetik ırkın ekolojik veya diğer özelliklerinin istendiği biçimde gelişip gelişmediği, oluşabilecek aksaklıkların sebepleri gelecekteki çalışmaların önemli konuları arasında yer alacaktır.

Bu konuda ihtiyaç duyulan bilgiler, ancak önemli zararlı türler ile muhtemel vektör kaynağı canlıların genom haritalarının çıkarılması ve yeni oluşan gen aktarılmış bireylerin yoğun olarak üretileceği tarla kafesi denemelerinden elde edilecektir (Atkinson, 2002).

Hiçbir zaman unutulmamalıdır ki gen aktarımı yapılmış bireyler bir kez doğaya salındığında bir daha laboratuvara geri döndürülemez.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Atkinson, P. W. 2002. Genetic engineering in insects of agricultural importance. *Journal of Insect Biochemistry and Molecular Biology*. Vol 32 (10), 1237-1242.
- Erkan, S. 1992. Moleküler biyoloji. Doğruluk Matbaacılık Ltd. Şti. Çankaya, İzmir 140 s.
- Handler, A. M. 2001. A current perspective on insect gene transformation. *Journal of Insect Biochemistry and Molecular Biology*. Vol 31 (2), 111-128.
- O'Brochta, D. A., and P.W. Atkinson. 1997. Recent Developments in Transgenic Insect Technology. *Parasitology*. Vol. 13 (3): 99-104.
- O'Brochta, D. A. 2001. Transgenic Insects: Programs, Technology, Benefits and Risks. LMOs and the Environment: An International Conference, Raleigh-Durham, the United States, 27-30 November.

- Robinson, A. S. 2002. Transgenic Mediterranean fruit flies for the sterile insect technique Proceedings of "The 7th International Symposium on Biosafety of Transgenic Organisms" Beijing. October 10-16, pp.:195-210.
- Thomas, J. L., M. Da Rocha, A. Besse, B. Mauchamp, and G. Chavancy. 2002. 3x P3- EGFP marker facilitates screening for transgenic silkworm *Bombyx mori* L. from the embryonic stage onwards. Journal of Insect Biochemistry and Molecular Biology. Vol 31 (3): 247-253.
- Waage, J. 1996. Integrated Pest Management and Biotechnology: An Analysis of Their Potential for Integration. CAB International. Biotechnology and Integrated Pest Management (ed. G. J. Persley). 37-60.
- Whitten, M. J., and J. G. Oakeshott. 1991. Opportunities for modern biotechnology in control of insect pests and weeds, with special reference to developing countries. FAO Plant Prot. Bull. Vol 39 (4): 155-181.