

TRANSGENİK TAHILLAR

TARNSGENIC CEREALS

M. Murat KARAOĞLU*, H. Gürbüz KOTANCILAR

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum

ÖZET: Gıda genetik mühendisliği bitki yada hayvanların genetik materyallerinin bilinçli bir şekilde değiştirilmesini içeren bir bilim dalıdır. Genetik modifiye organizmalar 1960'lerden beri dünyada yetiştirilmekte olup, son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Gen transfer teknolojisindeki gelişmeler ile, pek çok gen çeşitli amaçlar için tahıllara transfer edilmiştir. *In vitro* rejenerasyona karşı inatçılıkları ve *Agrobacterium*'a karşı olan dirençlerinden dolayı, tahılların genetik modifikasyon çalışmalarında bir takım zorluklar bulunmaktadır. Ancak, DNA transfer metodlarında meydana gelen gelişmeler buğday, pirinç ve mısır gibi önemli tahıllar için güvenilir transformasyon protokollerinin gelişmesine neden olmuştur. Tahıllar temelde, şimdiki kadar en popüler teknik olan, partikül bombardıman tekniği gibi direkt transformasyon metodları ile modifiye edilmektedir. Bununla birlikte, *Agrobacterium* aracılığı ile yapılan transformasyon mısır ve pirinç gibi tahıllarda etkili bir şekilde kullanılabilir. Bir takım potansiyel faydalarına rağmen, genetik modifiye organizmaların insan sağlığı ve çevre üzerine olası olumsuz etkileri ile ilgili endişeler bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Genetik modifikasyon, genetik modifikasyon teknikleri, tahıl

ABSTRACT: Genetic engineering of food is the science which involves conscious modification of the genetic material of plants or animals. Since the mid 1960s, genetically modified organisms (GMO) have been grown commercially in the world on a scale that has increased steadily over the years. With advances in gene transfer technology, more and more genes have been transferred to cereals for various purposes. There are some problems in genetic modification of cereals, mainly due to their recalcitrance to *in vitro* regeneration and their resistance to *Agrobacterium* infection. However, development of various DNA delivery methods has led the development of reliable transformation protocols for the major cereals including wheat, rice and maize. Cereals have been transformed primarily by direct transformation methods, such as particle bombardment, which has been the most popular technique to date. However, *Agrobacterium*-mediated transformation can be efficiently used in cereals such as maize and rice. Despite such potential benefits, there are concerns regarding possible adverse effects of genetic modified organisms on health and on the environment.

Keywords: Genetic modification, genetic modification techniques, cereal

GİRİŞ

Gıdalarda genetik mühendisliği çok eski zamanlardan beri uygulanmaktadır. Genetik mühendisliğindeki gelişmeler, çeşitli bitkilerin farklı türlerini melezleştirerek ve ana bitkinin istenen birçok özelliğini ortaya çıkararak yeni türlerin oluşumuna yol açmıştır (1). Bitki, hayvan ya da mikroorganizmalarda, canlıların bütün özellikleri hücrenin içinde bulunan DNA molekülünde kodlanmıştır. DNA moleküllerinin düzeninde yapılan değişiklikler, bir canlının çeşitli özelliklerinin de değişmesine neden olmaktadır. Canlıların genetik özellikleri, bir canlının DNA'sının belli bir bölümünde değişiklik yapılarak ya da bir canlıya başka bir canlı türüne ait bir gen aktararak değiştirilebilmektedir. Bu yolla genetik özellikleri değiştirilmiş ürünlere "transgenik" ya da "gen aktarımlı" ürünler adı verilmektedir (2). İki tür arasındaki gen transferi, az sayıda bilgi taşıdığından yapılan değişiklikler tür içi varyasyonla sınırlı kalmakta, bir türden başka bir tür oluşmamaktadır. Örneğin 80,000 geni olan buğdaya iki gen aktarılması, yaklaşık %0,0025 oranında bir değişiklik meydana getirebilmektedir.

* E-posta: mmurat@atauni.edu.tr

Gen aktarımı çalışmaları ilk olarak 1953'te DNA molekülünün yapısının keşfedilmesiyle başlamış ve 1970'lerde Stanford Üniversitesi'nden araştırmacılar iki farklı canlının DNA'sını birleştirmenin yolunu bularak ilk rekombinant DNA molekülünü oluşturmuşlardır. Gıdalardaki genetik mühendisliği uygulamaları ise 1960'larda başlamıştır. 1967'de yüksek kuru madde içeriğinden dolayı cips yapımı için uygun olan Lenape Patates olarak adlandırılan bir tür patates geliştirilmiştir. Bundan iki yıl sonra, bu yeni patates türü solenin adı verilen bir toksin ürettiği için piyasadan çekilmiştir. Genetik modifiye edilmiş patateste böyle bir toksinin gelişmesi bitki ve hayvanlardaki genetik değişikliğin umulmadık olumsuz değişikliklere sebep olabileceği şüphesini doğurmuştur (1).

1980'den sonra tarımı yapılan tahıllar üzerinde genetik modifikasyonun uygulanması ile gıda ve beslenmenin buna dayandırılması biyolojik bir devrimin habercisi olmuştur. 1990'ların ortalarında ise gıda üretimindeki genetik mühendislik çalışmaları laboratuardan pazara taşınmış ve böylece genetik modifiye ürünler etkili bir oranda piyasa da kabul görmeye başlamıştır (1, 3). 1996'da 1,7 milyon hektar olan genetik modifiye tohum ekim alanı 2000 yılında 13 farklı ülkede yaklaşık 44,2 milyon hektara ulaşmıştır (4). Bu gün ABD'de mısır, soya fasulyesi, kanola, patates, papaya, keten, pamuk, şeker pancarı ve domatesin de bulunduğu 40'ın üzerinde genetik ürün ticari olarak elde edilmektedir (5).

Bitkilerde Gen Aktarımının Uygulanması

Bitkilere gen aktarımı temelde iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar yaygın olarak kullanılan, direkt transformasyon tekniği (biolistik veya mikroprojectile bombardıman sistemi) ve *Agrobacterium* aracılığı ile yapılan transformasyondur.

1. Direkt transformasyon tekniği

Son çalışmaların çoğunda parçacık bombardımanı, bitki materyallerinin direkt olarak transformasyonunda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Parçacık bombardımanı veya biolistik yöntem olarak ta bilinen bu teknik direkt transformasyon etkinliği çok iyi olan bir yöntemdir ve "gen tabancası" olarak bilinen bir aygıt kullanılarak uygulanmaktadır (6).

Bu teknikte, ilgili geni ihtiva eden DNA 0.5-5 mikro metre boyutundaki, kimyasal olarak nötr karaktere sahip, altın veya tungsten parçacıklara kaplanmaktadır. DNA-kaplı parçacığa bitki hücre duvarını, sitoplazmayı veya çekirdek membranını rahatça geçebilecek kadar (gen tabancası yardımıyla) belli bir hız kazandırılır. Böylece DNA-kaplı parçacıklar zarar görmeksizin canlı bitki hücrelerine aktarılmış olur. Daha sonra DNA parçacıktan kurtulur ve hangi hücrelerin yeni genlerle başarılı şekilde birleştirildiğini görmek için hücre büyümesi izlenir. Bunun için örnek kaplarında gözlem yapılmaktadır. Örneğin; Cornell Üniversitesi'nde yapılan bir araştırmada modifiye edilen 10 pirinç bitkisinden sadece bir ya da ikisinin gelişmiş pirinç olma yolunda büyüme gösterdiği tespit edilmiştir (7, 8).

Gen transferinin başarılı bir şekilde sonuçlanması bazı şartlara bağlıdır. Bunlar; DNA'nın atıldığı mesafe gibi fiziksel bombardıman şartları, büyüklük, şekil ve parçacıkların kimyasal kompozisyonu gibi diğer şartlardır. Ayrıca parçacık hızının sabit kalması ve güvenliği için helyum, hava basıncı veya elektrikle çalışan tabancalar gerekmektedir.

2. *Agrobacterium* aracılığı ile transformasyon tekniği

Toprakta yaşayan, bitki patojeni olan *Agrobacterium tumefaciens* dikotiledon bitkilerin transformasyonunda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. *Agrobacterium* aracılığı ile yapılan transformasyonunun en belirgin avantajları; DNA parçacıklarının (T-DNA) transferi, yüksek kalite ve bitki transformasyonunun verimliliğidir. Bu transformasyon tekniğinin esası, hedef genin *Agrobacterium* adlı toprak bakterisinin içine sokulması, sonra bu bakterinin hedef hücreye verilmesi ve eklenen genle birlikte bakterinin DNA'sının bir bölümünün (T-DNA) organizmaya aktarılmasıdır. Enjeksiyon esnasında konakçı bitki hücre genomuna DNA'nın özel bir parçası olan T-DNA'yı transfer etmede *Agrobacterium tumefaciens* ve *Agrobacterium rhizogenes* patojen

bakterilerinden yararlanılmaktadır. Yalnızca bu iki bakteri türü bitki transformasyonunda kullanılmaktadır. Her ikisi de bitki genomlarına DNA bölümlerini transfer etme kabiliyetine sahiptirler (7, 8, 9).

3. Diğer transformasyon yöntemleri

Transgenik tahıllar, mikrokoloni kültürü pirinç süspansiyonu, olgunlaşmamış mısır embriyosu ve buğday skutellum ile tritordeum içine DNA'nın elektroporasyonu metodu ile elde edilebilirler. Ayrıca, silikon karpit teller kullanılarak gerçekleştirilen transformasyon teknikleri de mısır hücre süspansiyon kültürlerini ve olgunlaşmamış skutellum dokularını transforme etmede başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak bu teknikler direkt transformasyon ve *Agrobacterium* aracılığı ile yapılan transformasyon teknikleri kadar teknik avantajlara sahip değildir. Bitki hücreleri içine DNA'nın absorpsiyon, mikroenjeksiyon, polietilen glikol muamelesi (PEG), makroenjeksiyon, elektroforez, ultrason muamelesi, lazer muamelesi yada polen tüp aracılığı ile transfer edilmesi tahılların transformasyonunda kullanılan diğer metotlardır. (10, 11).

Transformasyonu Yapılan Tahıllar

Tahıllar yaklaşık 10.000 yıldır insan gıdası olarak kullanılmakta ve bu gün dünya gıda kaynağının üçte ikisini oluşturmaktadırlar. Son zamanlara kadar, tahılların agronomik performanslarının gelişimi, böceklerle karşı tolerans ve yüksek verim genellikle konvansiyonel yetiştiricilik ve bazı durumlarda türler ve cinsler arası melezleştirme ile sağlanmıştır (12, 13). 1980'li yıllarda hücre ve moleküler biyoloji tekniklerini bünyesinde barındıran biyoteknolojinin gelişmesi ile tahıllarda da verimin artırılması ve olumsuz şartlara daha dayanıklı ürün elde edilmesinde genetik transformasyon teknikleri kullanılmaya başlanmıştır.

Tahılların insan diyetinde dünya çapında bir üstünlüğe sahip olmaları, genetik transformasyon çalışmalarında ilk hedeflerden biri olmasına sebep olmuştur. Ancak daha sonraki uygulama çalışmalarında, tahıllarda transformasyon çalışmalarının problemleri olduğu anlaşılmıştır. Genellikle, monokotiledonlu hücreler ve dokular in vitro rejenerasyona diğerlerine göre daha az isteklidir ve *Agrobacterium* aracılığı ile yapılan transformasyona pek fazla karşılık vermemektedirler. Ayrıca, dikotiledonlu transformasyon sistemlerinde yüksek aktivite sergileyen bazı destekleyiciler, monokotiledonlu doku ve hücrelerde düşük aktivite göstermektedirler. Bütün bu nedenlerden dolayı tahılların genetik transformasyonu daha geç başlamıştır. Bu gün, tahıllar için genetik transformasyon alanındaki gelişmelere paralel olarak, artık transgenik mısır, pirinç, buğday ve arpa üretim çalışmaları başarılı bir şekilde yürütülmektedir (14).

Buğday

Buğday dünyada ekim yapılan alanların (>200 milyon hektar) yaklaşık olarak %17'sinde yetiştirilmekte ve insan beslenmesinde protein ve karbonhidrat kaynağının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Buğday; mayalı ekmek yapımına olanak sağlayan glutene sahip olup bazı kahvaltılık tahıl ürünleri, pasta, kek ve bisküvi gibi diğer ürünlerin de hammaddesidir. Bunlara ilaveten buğdaydan elde edilmiş ingredientler bazı spesifik fonksiyonel özellikler vermesi için gıda proseslerinde genişçe kullanılmaktadır. Ayrıca yan ürünlerinden hayvan yemi olarak yararlanmak da mümkündür. Dünya nüfusunun 2025 yılında yaklaşık 8 milyara ulaşacağı ve artan dünya nüfusunun beslenme ihtiyacının karşılanması için gıda üretiminin yıllık % 1.2 kadar artmasının zorunlu olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle, buğdayın genetik gelişimi, ürün verimindeki artış, uygun olmayan çevresel faktörlerden dolayı oluşan tane kayıplarının minimize edilmesi ve çeşitli zararlı ve patojenlere karşı direncin artırılması gibi faktörler göz önünde bulundurulduğu zaman büyük önem kazanmaktadır (15, 16, 17, 18).

Gen transferinde en başarılı olunan bitkiler domates, patates, mısır, soya fasulyesi, pamuk, tütün ve kolza'dır. Tahıllarda başarının gecikmesinde bitkinin biyolojisi yanında tohum değiştirmeme ihtimalinin yüksek ve dolayısıyla kâr oranının az olması da etkili olmaktadır. Özellikle buğdayda çalışmalar hibrit buğday elde etmeye yönlendirilmiştir (19).

Tahıllar genellikle partikül bombardımanı gibi direkt transformasyon tekniği ile modifiye edilmelerine rağmen, mısır ve pirinç gibi tahılların transformasyonunda *Agrobacterium tumefaciens* daha etkin bir şekilde

kullanılabilmektedir (6). Tahılların genetik transformasyonu, aktarılan dokuların, seçilen ortamda hızla çoğalmasına ve sonradan aktarılan hücrelerden, bitkilerin yeniden çoğalma yeteneklerine bağlıdır. Tahıllarda olgunlaşmamış embriyonun, embriyojenik dokular oluşturabilme yeteneği, özellikle buğdayın genetik transformasyonunda önemli avantajlar sağlamaktadır (20).

Buğdayda ilk transformasyon denemesi *Triticum monococcum* buğdayına, protoplazmadan oluşan hücre süspansiyonu içine *nptII* geni transfer edilerek uygulanmıştır. Daha sonraki denemelerde, buğdayda hedef doku olarak embriyo seçilmiş ve *uidA* genini taşıyan tungsten parçacıklarıyla buğday embriyosu bombardımana tabi tutulmuştur. *Triticum aestivum* üzerinde 1991 yılına kadar fazla bir transformasyon denemesi bulunmazken, ilk olarak Vasil ve ark. (21) tarafından mikroprojektil yöntemi ile kaplı süspansiyon hücrelerine *nptII*, *uidA* ve *ESPS* genleri transfer edilerek uygulanmıştır. Yine, Vasil ve ark. (22) partikül bombardımanı tekniğini kullanarak, ilk transgenik buğday bitkisini elde etmeyi başarmışlardır. Daha sonraki yıllarda ise diğer tahıllarda olduğu gibi buğdayda da *Agrobacterium* aracılığı ile yapılan genetik transformasyon tekniği kullanılmaya başlanmıştır (23). Bu metot araştırmacılar tarafından geliştirilerek, etkinliği artırılmış ve hedef doku olarak yeni izole edilen olgunlaşmamış embriyo, olgunlaşmamış embriyolu ön kültürler ve embriyonik dokular kullanılmıştır (24).

Arpa

Arpa, tahılların önemli bir üyesi olmasına rağmen, diğer tahıllara uygulanan gen transfer teknolojisinin biraz gerisinde kalmıştır. Ticari arpa çeşitleri düşük rejenerasyon özellikleri sergilediğinden, doku kültürüne karşı inatçıdır. Buna rağmen, yapılan çalışmalarda kültür ortamında yapılan bazı modifikasyonların bitki rejenerasyon oranını artırdığı tespit edilmiştir. Elektroporasyon, mikroenjeksiyon, partikül bombardımanı ve *Agrobacterium tumefaciens* arpanın genetik modifiye edilmesinde kullanılan en başarılı transformasyon teknikleridir (25).

Pirinç

Pirinç, dünya nüfusunun yaklaşık üçte birinin temel kalori kaynağını karşılayan önemli bir üründür. Diğer tahıllarda olduğu gibi, böcek ve çeşitli hastalıklar pirinç yetiştiriciliğinde de bir takım problemlere sebep olmaktadır. Bu nedenle, pirinç yetiştiriciliğinde verimi artırmak amacıyla konvensiyonel tarım ve son zamanlarda genetik mühendisliği uygulamaları yaygınlaşmaya başlamıştır (26). İlk fertil transgenik pirinç 1980'lerin sonlarına doğru elde edildikten sonra, pirinç üzerinde yapılan transformasyon çalışmaları daha da gelişmeye başlamıştır. Pirinç transformasyonunda ilk yıllarda elektroporasyon, polietilen glikol muamesesi (PEG), mikroprojektil bombardımanı kullanılırken, son yıllarda *Agrobacterium* aracılığı ile yapılan transformasyon daha fazla önem kazanmıştır. Şimdiye kadar yaklaşık 50 pirinç kültürü, herbisit, böcek, virüs ve küflere karşı direnç ve istenen verim artışının sağlanması için modifiye edilmiştir (27). Daha sonra yapılan çalışmalarda, pirinç bitkisine nergis ve bakteri genleri aktararak, A vitamininin yapı taşı olan β -karoten üretecek forma dönüştürülebilmıştır (28, 29).

Mısır

Mısır global bir pazara sahip önemli bir üründür. Dünyada üretilen nişastanın % 80'i mısırdan elde edilmektedir. Önemli bir mısır yetiştiricisi olan ABD'de üretilen mısırların % 40'ı genetik olarak modifiye edilmiştir. Bu gün hem ABD'de hem de diğer ülkelerde bu oranın daha da arttığı tahmin edilmektedir. Transgenik mısırın gelişmesi ve bu ürünlerin global pazara girmesi, mısır üretimi, transportu ve pazarlama prosedürleri üzerine de önemli derecede etkili olmuştur. 2004 yılında global olarak 700 milyon ton transgenik mısır üretildiği tahmin edilmektedir.

Mısır genomuna gen aktarılmasında en yaygın kullanılan yöntemler; mikroprojektil bombardımanı, whisker ve *Agrobacterium tumefaciens* aracılığı ile yapılan transformasyon teknikleridir. Bu metotların hepsi, seçilebilir bir marker geni de içeren yabancı bir DNA'nın mısır doku hücrelerinin nükleusuna dahil edilmesini kapsamaktadır. Genelde herbisit dirençli olan seçilebilir genlerin yanı sıra, yabancı DNA aynı zamanda istenen özellikleri sağlayacak olan diğer genleri de içerebilir (30). Ticari olarak mevcut transgenik mısırlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. 2004 yılı itibarıyla ticari olarak mevcut olan transgenik mısırlar

Transgenik Mısır	Özellik	Avrupa Birliği Tarafından Onay Durumu	Hibrid Sayısı
Bt11	Böcek dirençli ve Herbisit toleranslı	Onaylanmış	60
Bt176	Böcek dirençli	Onaylanmış	3
TC1507	Böcek dirençli ve Herbisit toleranslı	Onaylanmamış	34
Mon810	Böcek dirençli	Onaylanmış	936
Mon863	Böcek dirençli	Onaylanmamış	260
MonGa21	Herbisit toleranslı	Onaylanmamış	387
Nk603	Herbisit toleranslı	Onaylanmış	383
T25	Herbisit toleranslı	Onaylanmış	83
Mon810+GA21	Böcek dirençli ve Herbisit toleranslı	Onaylanmamış	202
Mon810+NK603	Böcek dirençli ve Herbisit toleranslı	Onaylanmamış	203
Mon810+T25	Böcek dirençli ve Herbisit toleranslı	Onaylanmamış	4
Mon863+GA21	Böcek dirençli ve Herbisit toleranslı	Onaylanmamış	21
Mon863+Nk603	Böcek dirençli ve Herbisit toleranslı	Onaylanmamış	43

Bt Mısır

Mısır transformasyonu tane özelliklerini geliştirme amacıyla özellikle de patojenlere ve böceklerle karşı direnci arttırmak için kullanılmaktadır (31). Böceklerle karşı dirençli gen aktarımlı bitkiler, genelde *Bacillus thuringiensis*'e ait bir gen taşımaktadırlar. Bu gen böcek öldüren protein üretilmesini sağladığı gibi biyolojik kontrol ajanı olarak ta yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu gen mısır bitkisine aktarılırken bir de "işaret geni" bitkinin hücrelerine sokulmaktadır. İşaret geninin sokulma amacı asıl aktarılmak istenen genin hücreye girip girmediğini kontrol etmektir. Bu işaret geni genellikle, hücrelerde antibiyotiklere karşı direnç sağlayan bir gen olmakta ve daha sonra hücreye antibiyotik verilerek gen aktarımının hangi hücrelerde başarılı olduğu belirlenmektedir. Daha sonra gen aktarımlı hücreler laboratuvar ortamında geliştirilerek gen aktarımlı bitkiler elde edilmektedir (32, 33).

Mısır üreticileri için önemli verim kayıplarına neden olan Avrupa mısır kurdu, Bt protein ihtiva eden bitki hücrelerini tükettiğinde, sonuçta öldürücü olan biyolojik bir böcek zehrini tüketmiş olacağı için mısır tarlalarındaki faaliyeti son bulmaktadır. Bir pul kanatlılar familyası böceklerinden olan Avrupa mısır kurdunun larvaları tarafından saldırılara direnç kazandırılan mısır Kanada'da izin verilen ilk transgenik tahıllar arasındadır (31, 33).

Bt mısırın geliştirilmesiyle tane zararlarında ve kimyasal insektisitlerin kullanımında önemli derecede bir azalma sağlanmıştır. Bt mısır yetiştirilerek, kimyasal insektisitler kullanımıyla tehlike altında bulunan 405 bin hektarlık alanın korumaya alındığı Çin' de toksik kimyasal insektisitlerin kullanımındaki azalışın (% 60-80), insan sağlığı üzerinde de olumlu yönde etkili olduğu bildirilmektedir. Avrupa mısır kurdu popülasyonundaki farklılığa bağlı olarak Bt mısırın uygulamadaki yararları bölgeden bölgeye ve yıldan yıla değişmektedir.

Bt mısırın kullanımı genetik modifiye tanelerle ilgili tartışmaların odak noktasını oluşturmaktadır. Böceklerle karşı direncin geliştirilmesiyle ilgili olarak iki farklı şüphenin doğmasına neden olmuştur. Bunlarda ilki transgenik tanelere giren diğer yararlı organizmalar üzerinde insektisidal proteinlerin etkisi, ikincisi ise Avrupa mısır kurdunun insektisit proteinlere karşı direnç geliştirebilmesidir (33).

Genetik Modifikasyonun Avantajları

1. Raf ömrü ve organoleptik kalitenin geliştirilmesi. Genetik modifikasyon bazı tahıllarda raf ömrü ve organoleptik kalitenin gelişmesini sağlamaktadır (33). Ayrıca, genetik modifikasyon ile allerjenite ve toksisite azaltılabilir, olgunlaşma geciktirilebilir, nişasta içeriği ve raf ömrü arttırılabilmektedir.
2. Besin değerinde yükselme. Genetik modifikasyon ile gıdaların besin değeri ve protein kalitesi arttırılabilmektedir.

3. Kâr artışı. Genetik mühendisliği tarımda kâr artışına olanak verebilmekte ve pestisit, insektisit, tuzluluk, pH, sıcaklık, don, kuraklık ve olumsuz hava şartlarına karşı toleranslı bitkiler geliştirerek ürün kayıpları azaltılabilmektedir.
4. Aşı ve ilaç elde edilmesi ve sağlık alanında kullanımı. Genetik modifiye ürünlerin, yeni hastalık teşhisi yöntemlerinin geliştirilmesi, erken teşhiste genetik tanı yöntemlerinin kullanılması, uygun ilaç dizaynı, farmagenomik gen terapisi, yenilebilir aşıların da dahil olduğu aşı ve antikor üretimi, transplantasyon programları için doku üretimi ve organizmalar arasında tanımlanması gibi faydalarından bahsedilmektedir.
5. Genetik modifiye ürünlerin çevresel yararları. Bitkilerin genetik modifikasyonu çiftçilere pestisitleri kontrol stratejilerinde çok büyük rahatlık sağlar böylece yabancı otlar seçici şekilde kontrol edilir ve çevreye daha hassas herbisitler kullanılır.
6. Tarım ve gıda üretimine pozitif etkisi. Genetik modifikasyon, gübre etkinliğini artırır, ürün üretim etkinliğini geliştirir ve çevreyle dost ürünler meydana getirerek dünya gıda ihtiyacını destekler. Günümüzde biyoteknolojik ürünler topraktan direk nitrojen almak için geliştirilmiştir. Bu sayede kimyasal gübreye olan ihtiyaç azalmış ve gübreden gelecek zarar azaltılmıştır. Genelde su ile yıkanarak veya evapore olarak ortaya çıkan gübre israfı çevre için tehlike yaratabilir (1).

Genetik Modifikasyonun Potansiyel Riskleri

1. Gıdaların besin değerindeki değişim. Yabancı genler gıdaların besin değerini artırırken, bazı besinlerin miktarını da azaltarak değiştirebilirler.
2. Antibiyotiklere karşı direnç. Transgenik besinde bulunan antibiyotiklere direnç özelliğinin normal şartlarda insan bağırsağında bulunan mikroorganizmalara marker genler aracılığıyla aktarılması, önemli sağlık sorunlarına neden olacağından oldukça önemlidir.
3. Genetik modifiye gıdaların oluşturduğu allerjik reaksiyonlar. Genetik modifiye gıdalarda allerjik sorunların oluşması veya artmasından şüphelenilmektedir. Bu konuda hem alıcı hem de verici organizmalarda allerjik potansiyelle dikkat edilmesi gerektiği önerilmektedir.
4. Dinsel, kültürel ve ahlâki sorunlar. Genetik modifiye olan ve olmayan gıdalar birbirlerinden ayırt edilemeyecek kadar benzerdirler. Şayet etiket bilgileri üzerinde belirtilmemiş ise tüketicinin seçme şansı bulunmamaktadır. Örneğin, Yahudi ve Müslümanlar domuz geni içeren bir genetik modifiye gıdayı tüketmek istemezler. Benzer şekilde vejeteryanlar da hayvan geni ihtiva eden sebze ve meyvelere karşıdır. Ayrıca, insan geni içeren bir gıda maddesini bilmeden tüketmek de insanları kaygılandırmaktadır.
5. Etiketlemede ilgili sorunlar. Etiketleme, genetik modifiye gıdaların tüketici tarafından bilinçsiz bir şekilde kullanılmasını engelleyecek önemli bir konudur. 15 Mayıs 1997'de Avrupa Birliği Yeni Besin Düzenlemeleri genetik modifiye gıdaların veya genetik modifiye organizmalar tarafından üretilen besinlerin bilimsel bir temelde varolan bir besine büyük eşdeğerlilik taşıyorsa etiketlenmesini zorunlu hale getirmiştir.
6. Organik tarım üzerindeki olumsuz etkisi. Daha zahmetli ve verimin daha az olduğu organik tarım ürünleri ile genetik modifiye gıdaların karıştırılması da önemli bir konudur. Organik gıdalar, toksik kimyasallar kullanılmaksızın, ilaçsız, pestisitsiz, herbisitsiz, hormonsuz ve genetik olarak hiçbir müdahaleye maruz kalmaksızın doğal olarak üretilerek elde edilen ürünlerdir. Organik ürünler, komşu çiftliklerdeki genetik modifiye ürünlerle tozlaşma veya yabancı otlarla bağlantı kurarak herbisitlere dirençli bitkilerin yetiştirilmesi sürecinde kontamine olması gibi bir sorunla karşı karşıyadır (1).
7. Dış çaprazlama. Genlerin genetik modifiye bitkilerden, doğadaki herhangi bir ekine veya ilişkili türlerine taşınması (dış- çaprazlama), genetik modifiye ürünler için kullanılan tohumlarla sıradan bitki tohumlarının karışması bakımından son derece sakıncalıdır. Pek çok ülke, bu karışmayı önlemek için stratejiler geliştirmekte ve normal tahılların yetiştirildiği tarlalar ile genetik modifiye tahılların yetiştirildiği tarlaları belirgin bir şekilde ayırmaktadır.

8. Sosyoekonomik kuşular. Sosyoekonomik kuşulardan biri, tohumların filizlenmesini önleyen ve yok edici genler olarak adlandırılan genlerin yanlış kullanılmasıyla ilgilidir.

Genetik Modifiye Ürünlerle İlgili Yasal Düzenlemeler

Dünyada Genetik Modifiye Gıdalar ile ilgili tartışmalar halen devam etmekte olup, bu ürünlere karşı tüketicilerin büyük tepkisi söz konusudur. Türkiye'nin de dahil olduğu 130 ülke 24 Mayıs 2000'de Birleşmiş Milletler Biyogüvenlik Protokolü' nü imzalamışlardır. Bu protokolün amacı, biyoteknolojinin dünyanın doğal kaynaklarına verebileceği zararı en aza indirmek ve modifiye organizmaları içeren ürünlerin ticaretini düzenlemektir. Genellikle GMO ihracatçısı ülkeler (ABD, Kanada ve Avustralya) GMO'ların serbest ticaretinden yana politika izlemektedirler.

ABD'de Genetik modifiye gıdaların etiketlenmesi ile ilgili bir zorunluluk yoktur, ancak eğer ürünün besin değerinde bir değişiklik varsa, sağlıkla ilgili bir uyarı gerektiyorsa etiketlenmesi gerekmektedir. AB ülkelerinde ise genetik modifiye ürünlerin etiketlenmesi zorunludur, ancak %1'den az genetik modifiye ürün içeren gıdaların etiketlenmesi zorunlu değildir.

Ülkemizde transgenik bitkiler ile ilgili mevzuat çalışmaları Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü koordinasyonluğunda yürütülmektedir. Transgenik Kültür Bitkilerinin Alan Denemeleri Hakkında Talimat 14.5.1998 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Ancak, bu talimat kapsamında uygulamada bazı aksaklıklar ortaya çıkmış, bunun yanında tescil ile ilgili düzenlemelerin de yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Her iki konunun da Bitki Çeşitlerinin Tescil Edilmesine İlişkin Yönetmelik kapsamına alınması çalışmaları devam etmektedir.

Hangi bitki cins ve türlerine ait tohumluklara yada bitkisel çoğaltım materyallerine ithal izni verileceği, 27 Aralık 2002 tarih ve 24976 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Dış Ticarete Standardizasyon Tebliği" (Tebliğ No:2003/5) esas alınarak yapılmaktadır. Bununla beraber, tüm bitki türleri için ithal edilecek bitki çeşitleri, tohumluk sınıfları, kademeleri ve miktarlarını güncel olarak belirleme yetki ve sorumluluğu Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'na aittir. Bakanlıkça, genetik mühendisliği yöntemleri ile elde edilmiş transgenik bitki çeşitlerine ait tohumluklara, ürün yetiştirmede kullanma amacıyla ithal izni verilmemektedir.

Ülkemizde transgenik ürün ithalatı yasaktır. Ancak, ülkemizde risk değerlendirmeleri ile ilgili herhangi bir ürünün (tohum veya gıda olarak işlenmiş ürün) transgenik bir ürün içerip içermediğinin tespitine yönelik analizler periyodik olarak yapılmamaktadır. ABD'nde her yıl mısır ekimi yapılan alanın yaklaşık %30'luk bölümü transgeniktir. Transgenik mısır ile transgenik olmayan mısır paçal olarak diğer ülkelere ihraç edilmektedir.

Türkiye, Uluslararası Biyogüvenlik Sözleşmesi olan "Cartagena Protokolü"ne taraf ülkelerden biri olmasına karşın Ulusal Acil Eylem Planı'nı hâlâ hazırlamamıştır. Biyogüvenlik Komitesi bu konudaki çalışmalarını bugünlerde sonuçlandırma yolundadır. Ancak ne yazık ki hazırlanan yasa taslağı ülkeyi bu şirketlerin saldırısından korumanın tersine, söz konusu saldırılara kucak açacak niteliktedir. Şu anda Türkiye'de GDO'lar ile ilgili atılmış tek adım, GDO tohum ithalinin yasak olmasıdır. Ancak ülke içinde deneme amaçlı üretime izin verilmektedir. GDO ile ilgili hiçbir yasal düzenleme ve yönetmeliğin olmaması, etiketleme zorunluluğunun olmaması Türkiye'yi potansiyel pazar haline getirmektedir.

Yakın bir zamana kadar, daha iyi mahsul veren tahılları yetiştirmek için geleneksel yöntemler ve konvensiyonel tarım kullanılırken, son yıllarda verim ve çeşitli zararlılara karşı bitkinin direncini artırmak için genetik modifikasyon uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Genetik mühendisliğinin kullanıldığı yöntem konvensiyonel üretimden oldukça farklıdır. Konvensiyonel üreticiler genetik yapısı benzer olan yakın akraba organizmaları melezlemektedir. Böylece onbinlerce gen aktarılmaktadır. Genetik mühendisliğinde ise birbiriyle uzaktan ilişkili olan ya da hiç ilişkili olmayan türler arasında bir seferde yalnızca birkaç gen aktarılabilmektedir. Potansiyel birtakım risklerden dolayı transgenik ürünler artık şüphe ile karşılanmakta, bu ürünlere alternatif olarak organik tarım sonucu elde edilen ürünlere olan ilgi ise giderek artmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Uzogara SG. 2000. The impact of genetik modifikasyon of human foods in the 21st century. *Biotechnology Advances*, 18: 179-206.
2. Holm F. 2002. GM Foods. Food group Denmark, p. 32, Denmark.
3. Wagner WC. 2002. Genetically engineered crops and food is back to the basics of the technology diffusion. *Technology in Society*, 24: 265-283.
4. Thamson, J. 2003. Genetically modified food crops for improving agricultural practice and their effects on human health. *Trends in food science technology*, 14: 210-228.
5. König A. 2004. Assessment of the safety of foods derived from genetically modified (GM) crops. *Food and Chemical Toxicology*, 42: 1047-1088.
6. Komari T. 1998. Advances in cereal gene transfer. *Current Opinion in Plant Biology*, 1: 61-165.
7. Job D. 2002. Plant biotechnology in agriculture. *Biochimie*, 84: 1105-1110.
8. Engel KH. 2004. Unintended effects and their detection in genetically modified crops. *Food and Chemical Toxicology*, 42: 1089-1125.
9. Eede G. 2004. The relevance of gene transfer to safety of food and feed derived from genetically. *Food and Chemical Toxicology*, 42: 1127-1156.
10. Songstad DD, Somers DA, Griesbach RJ. 1995. Advances in alternative DNA delivery techniques. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.*, 40: 1-15.
11. Matsushita J, Otani M, Wakita Y, Tanaka O, Shimada T. 1999. Transgenic plant regeneration through silicon carbide whisker-mediated transformation of rice (*Oryza sativa* L.). *Breed. Sci.*, 49: 21-26.
12. Friebe B, Jiang J, Raupp WJ, McIntosh RA, Gill BS. 1996. Characterization of wheat-alien translocations conferring resistance to diseases and pests: current status. *Euphytica*, 91: 59-87.
13. Jauhar PP, Chibbar RN. 1999. Chromosome-mediated and direct gene transfers in wheat. *Genome*, 42: 570-583.
14. Repellin A, Baga M, Jauhar PP, Chibbar RN. 2001. Genetic enrichment of cereal crops via alien gene transfer: New challenges, *Plant Cell. Tissue and Organ Culture*, 64: 159 -183.
15. Rosegrant MW, Leach N, Gerpacio RV. 1999. Alternative futures for world cereal and meat consumption, *Proc. Nutr. Soc.*, 58: 219- 234.
16. Herrera-Estrella LR. 2000. Genetically Modified Crops and Developing Countries. *Plant Physiology*, 124: 923-925.
17. Rakszegi M, Tamas C, Szucs P, Tamas L, Bedo D. 2001. Current status of wheat transformation. *J. Plant Biotechnol.*, 3: 67-81.
18. Jones HD. 2005. Review Wheat transformation: current technology and applications to grain development and composition. *Journal of Cereal Science*, 41: 137-147.
19. Kıyak S. 2004. Genetik olarak değiştirilmiş gıdalar, Cartagena biyogüvenlik protokolü ve Türkiye'de durum. *Genç Bakış*, 5: 1-20.
20. Sahrawat AK, Becker D, Lu S, Lorz H. 2003. Genetic improvement of wheat via alien gene transfer, an assessment. *Plant Science*, 165: 1147-1168.
21. Vasil V, Castillo AM, Fromm ME, Vasil IK. 1992. Herbicide resistant fertile transgenic wheat plants obtained by microprojectile bombardment of regenerable embryogenic callus. *Biotechnology*, 10: 667-674.
22. Vasil V, Brown SM, Re D, Fromm ME, Vasil IK. 1991. Stably transformed callus lines from microprojectile bombardment of cell suspension cultures of wheat. *Biotechnology*, 9: 743-747.
23. Chan MT, Chang HH, Ho SL, Tong WF, Yu SM. 1993. Agrobacterium-mediated production of transgenic rice plants expressing a chimeric α -amylase promoter-glucuronidase gene. *Plant Mol. Biol.*, 22: 491-506.
24. Cheng M, Fry JE, Pang S, Zhou H, Hironaka CM, Duncan DR, Conner TW, Wan Y. 1997. Genetic transformation of wheat mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Physiol.*, 115: 971- 980.
25. Manoharan M, Dahleen LS. 2002. Genetic transformation of the commercial barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar Conlon by particle bombardment of callus. *Plant Cell Rep.*, 21: 76-80.
26. Rhodes CA, Pierce DA, Mettler IJ, Mascarenhas D, Detmer JJ. 1998. Genetically transformed maize plants from protoplasts. *Science*, 240: 204-207.

27. Tang K, Zhao E, Sun X, Wang B, Lu X. 2001. Production of Transgenic Rice Homozygous Lines with Enhanced Resistance to the Rice Brown Planthopper. *Acta Biotechnol.*, 21: 117–128.
28. Ye X, Al-Babili S, Klöti A, Zhang J, Lucca P, Beyer P, Potrykus I. 2000. Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid free) rice endosperm. *Science*, 287: 303-305.
29. Beyer P, Al-Babili S, Ye X, Lucca P, Schaub P, Welsch R, Potrykus I. 2002. Golden Rice: introducing the beta-carotene biosynthesis pathway into rice endosperm by genetic engineering to defeat vitamin A deficiency. *J. Nutr.*, 3: 506-510.
30. Scott MP, Pollak LM. 2005. Transgenic Maize. *Starch*, 57: 187-195.
31. Novak WK, Haslberger AG. 2000. Substantial Equivalence of Antinutrients and Inherent Plant Toxins in Genetically Modified Novel Foods. *Food and Chemical Toxicology*, 38,:473 - 483.
32. Wisniewski JP. 2002. Between myth and reality: genetically modified maize, an example of a sizeable scientific controversy. *Biochimie*, 84: 1095-1103.
33. Belzei FJ. 2002. Transgenic, trasplastomic and other genetically modified plants; a Canadian perspective. *Biochimie*, 84: 1111-1118.