U. Ü. ZİRAAT FAKÜLTESİ DERGİSİ, 2007, Cilt 21, Sayı 2, 27-40
(Journal of Agricultural Faculty of Uludag University)

Klasik Bitki Islahı ve Genetik Mühendisliği ile Oluşturulan Değişimlere Genel Bakış

Hakan Ulukan[1]

[1]*Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 06110, Ankara*
e-posta: ulukan@agri.ankara.edu.tr

Özet: Bitki ıslahı insanlar tarafından binlerce yıl önce başlatılmıştır. Tarım öncesi dönemde insanlar tohumları yılın belli bir zamanında toprağa bırakmayı öğrenmişler; bu ise bitkilerin kültüre alınmasında başlangıca ve bitkilerin ilk olarak üretilmelerine yol açmıştır. Kültür bitkileri, farklı genetik kaynaklardaki doğal varyasyonun kullanılmasıyla ve klasik ıslah yöntemleri (seleksiyon, mutasyon, melezleme...)'nden yararlanarak geliştirilmiştir. Genlerin doğal yoldan aktarımında seleksiyon ya da genetik mühendisliği gibi birçok genetik teknikler alternatif olabilirler. Pestisite dayanıklı (*Bt*) ürünlerinin geliştirilmesi, virüs kılıf proteinleri yardımıyla virütik hastalıklara karşı dayanıklılığı sağlayan genlerin kazandırılması, kültür bitkilerinin besin madde düzeyinin artan yönde hızlandırılması transgenik teknolojinin başarılarından bazılarıdır.

Anahtar Kelimeler: Kültür bitkileri, klasik bitki ıslah, genetik mühendisliği.

General Outlook of Variations Induced by Conventional Plant Breeding and Genetic Engineering

Abstract: Plant improvement by man began many thousand of years ago. Pre-agricultural man learned that seeds put into the ground at a certain time of the year. This was the beginning of domestication of plants and led to the production of the first crops. Crop plants have been improved with traditional plant breeding methods (selection, mutation etc.) utilizing natural variation within different genetic resources. The natural transfer of genes can be altered using many genetic techniques such as selection or genetic engineering. The development of pest-resistant (*Bt*) crops, introduction of virus coat protein-mediated resistance to viral diseases, and enhancing nutritional level crop plants are some of the accomplishments of transgenic technology.

Key Words: Cultivated or domesticated plants, conventional plant breeding, genetic engineering

Giriş

Besin olarak tüketimlerinin yanı sıra ilaç, yağ, pigment, reçine gibi geniş kullanım alanlarına sahip olan bitkilerde (Ferber, 1999; Phillips, 2006), ileri yetiştiricilik teknikleri kullanılarak verim ve kaliteyi yükseltmek amaçlanmaktadır. Bitkilerde fenotipi, anaçlardan gelen faktörler ile içinde bulundukları ortamın koşulları belirlerken; doğal yoldan gen

geçişleri ve bunların fenotipi belirleyici etkileri ise çeşitli bitki ıslahı yöntemlerinin kullanılmasıyla sağlanabilmektedir (Mohan et al. 1997; Allard, 1999). Bitki ıslahının en önemli ve temel amaçlarından biri genetik çeşitliliği bitki düzeyinde sürdürerek, klasik ıslaha ek olarak seleksiyon, mutasyon, melezleme ile çeşitli moleküler yöntemleri kullanmaktır. Klasik bitki ıslahı yöntemleri, insanlığın temel besin maddesini oluşturan pek çok kültür bitkisinin üretiminde uygulana gelmektedir. Örneğin günümüzde öğütülerek un halinde tüketilen buğday tanesinin fındık gibi kabuklu olduğu, yapılan klasik ıslah çalışmalarıyla günümüzdeki halini aldığı (fındıksı yapının kaybolduğu) bilinmektedir.

Yine mısırdaki (*Zea mays* L.), melez gücünün keşfedilerek (Duvick, 2001) bundan yararlanılmasıyla kocadarı (*Andropogon sorgum* Brot.) ve kum darı (*Panicum miliaceum* L.)' nın tane verimlerinde de 1965–1990 döneminde ilerlemeler sağlanmıştır (Jauhar, 2001). Öte yandan, 1960 ve 1970'li yıllarda yüksek verimli buğday (*Triticum* spp.) (Jauhar, 2001) ve çeltik (*Oryza sativa* L.) çeşitleri ile Asya'da başlayan *yeşil devrim* ile (Nevo, 1998) sitogenetik ve kromozom mühendisliğinde yeni tekniklerin kullanılmasıyla bitki ıslahı daha da karmaşıklaşmış; ayrıca, doğrudan gen aktarımının geliştirilmesiyle çalışmalar yeni bir boyut kazanmış ve monokotiledonlara (özellikle buğdaya) yabancı gen aktarımı olası hale gelmiştir (Jain, 2001; Jauhar, 2001; Muthukrishnan et al., 2001; Repellin et al., 2001). Transgenik teknolojinin önemli başarıları arasında; pestisitlere, virüslere, herbisitlere dayanıklı (*Bt*) bitkilerinin (örnek mısır, soya, pamuk) geliştirilmesi, virüs kılıf proteinlerini yapan genlerin aktarılmasıyla virüse dayanıklı bitkilerin elde edilmesi, kültür bitkilerinde besin maddesi içeriğinin arttırılması gibi gelişmeler sayılabilir (Jauhar, 2001; Livermore, 2002). Yine, iki önemli ve temel besin maddesi olan vitamin A ve Fe'ce zengin çeltik çeşidinin ("Golden Rice") genetik mühendisliği teknikleriyle geliştirilmesi tüm zamanların en büyük başarısını oluşturmuş (Ye et al., 2000; Jauhar, 2001; Potrykus, 2001; Livermoore, 2002); bunu mısır kurdu (Ostrinia nubilalis (Hbn.)'na dayanıklı (Bolin et al., 1996) çeşitler geliştirilerek klasik bitki koruma yöntemlerine göre daha etkili ve kalıcı sonuçlar alınmıştır (Gepts, 2002). Genetik mühendisliği yöntemleri kullanılarak geliştirilen bitki sayısı artış göstermektedir. Yapılan araştırmalarla elde edilen bulgular, dünyanın çeşitli yerlerindeki genetik değişimlerin bitkilerin oluşumuna katkıda bulunduğunu göstermektedirler (Harlan, 1992; Gepts, 2002). Bu tür değişimlerle yakından ilgili olup etkisini gösteren seleksiyon, kültür koşullarına uyum yapma olanaklarını artırdığı gibi (Ulukan 2005b); aynı zamanda da hasat edilen ürünlerin (tahıllar, meyveler, lifler vb) tüketime uygunluklarını da sağlamıştır (Poehlman and Sleeper, 1995; Gepts, 1999; Gepts, 2002). Son yüzyılda, ıslah çalışmalarındaki gelişmelerin sonucunda üretilen ürünlerin gerek kalitesinde gerekse kantitesinde önemli artışlar sağlanmış, diğer bir ifadeyle, günümüz nüfusunun beslenmesi için yeterli bir üretim düzeyine ulaşılmıştır.

Genetik Değişimler ve Kültür Bitkilerindeki Gelişme

Dar anlamda insan eliyle ve farklı sürelerde gerçekleşen evrim olarak algılanabilen bitki ıslahı, arkeolojik bulgulara göre on binlerce yıl önce başlamıştır. İnsanlar henüz yerleşik hayata ve tarıma geçmezden önce ve ancak belli zamanlarda tohumları toprağa bırakmışlar (Losey et al., 1999); daha sonra, büyüyen bitkilerden bazılarının daha iyi gelişme göstermeleri ya da hayvanlarca daha çok sevilerek otlanmalarına veya daha yüksek verim düzeyine ulaşmalarına dikkat edilerek, yapılan bilinçli-bilinçsiz seçmelerle bitki ıslahının en temel ve önemli ilkelerinden olan "seleksiyon" ortaya çıkmıştır (Gasser and

Fraley, 1989; Harlan, 1992; Losey et al., 1999; Gepts, 2002). İnsanların ihtiyaçlarını (üretim ve tüketim) gidermekte kullandıkları bitki ve hayvanların uyum sağlayabilmeleri için yapılan seleksiyon işlemi (= kültüre alma) doğada, belirli zaman, bölge ve çevre koşullarının etkisi altında doğada da oluşmaktadır (Örnek doğal melezlemeyle makarnalık buğdaylardan ekmekliklerin gelişmesi) (Gepts, 2002). Bu tip doğal seleksiyon, organizmaların yalnızca çevre koşullarına adaptasyonlarında etkili olmuştur (Gasser and Fraley, 1989; Ulukan, 2008a). Öte yandan, üreticilerin yaptıkları seleksiyon işlemi bu sürecin yalnızca bir uzantısı olup daha çok aralarından amaca uygun olanların seçilimine yöneliktir (Gasser and Fraley, 1989). Öte yandan, ekonomik önemi olan bitkilerin kültüre alınmaları birbirinden tamamen bağımsız ve en az altı farklı bölgede (Orta Amerika, And Dağlarının güneyi, Yakındoğu, Afrika, Güneydoğu Asya ve Çin) yaklaşık 10,000 yıllık bir zaman diliminde (Gepts, 2002) olmuş; aralarında Avrupa ve Kuzey Amerika'nın bulunduğu alanlara doğru bitki yetiştiriciliğinin yayılması aşama aşama gerçekleşmiştir (Vavilov, 1951).

Ne var ki, değişik coğrafi bölgelere doğru olan bu yayılımda, farklı merkezlerde kültüre alınmış bitkilerin benzer karakterlere sahip olmaları dikkat çekici (Gepts, 2002) olup, bu duruma yabani populasyonda ve doğal mutasyon vb lerinin etkilediği karakterlerden fide, çiçeklenme vb dönemlerinde (Ulukan, 2008b) ya da hasattan sonra uygulanan seçmelerin neden olduğu düşünülebilir (Harlan, 1992) (Çizelge 1). İnsanların kendi ihtiyaçları için yabani formlardaki bazı karakterleri (eşzamanlı çimlenme ve oluma gelme, tohumlarını dökmeme vb) kültüre alma sürecinde seleksiyona tabii tutmuşlardır. Çoğu tarla bitkisi, çeşitli hastalık ve yırtıcı hayvan saldırılarına karşı korunmak için bünyelerinde (Örneğin Cassava ve lima fasulyesinde "*Cyanogenic Glucosides*"; pamukta "*Gossypol*"; patateste "*Steriod Yapısındaki Alkaloidler*"; tahıl ve baklagillerde "*Hemaglutinin* ve *Trypsin İnhibitörü*"; kabakgillerde "*Cucurbitacianlar*"; lahanalarda "*Kükürtlü bileşikler*", kolza'da "*Erusik asit*" vb. çeşitli toksik maddeler oluşturmuşlardır (Muthukrishnan et al., 2001; Gepts, 2002; Şehirali ve Özgen, 2007). Bu tip toksik maddelerin beslenmeyi engelleyen ve sağlığı olumsuz yönde etkileyen faktörlerden dolayı beslenme amaçlı kullanımlarında (özellikle hayvanlarda) dikkatli olunmalıdır (Anonim, 2003). Ayrıca, yapılan ıslah çalışmalarıyla bu gibi bileşiklerin miktarları ya en aza indirilmiş ya da önemli ölçüde azaltılmıştır (Demir, 1975; Gepts, 2002; Şehirali ve Özgen, 2007). Klasik bitki ıslahı programları ile kültür bitkilerine yabanilerinden az sayıda da olsa zararlı gen geçiş(ler)i olmuştur. Bunlardan bazılarındaki genetik bağlılık (=linkage) -aynı kromozom üzerinde iki ya da daha çok sayıda gen varsa bunlar bağımsız olarak bir araya gelemeyeceklerinden gametlere dağılımları da aralarındaki bağlılıktan dolayı olumsuz yönde etkilenecektir (Şehirali ve Özgen, 2007)- önemini korumaktadır. Genotipindeki zararlı tüm genler izole edilerek tamamen evcilleştirilmiş bitkiler dahi insan müdahalesi olmadan yaşamlarını sürdüremeyecekleri için bunlara yeni genlerin kazandırılmasıyla insanlara olan bağımlılıklarını-ki hastalıklara dayanıklılık, besin maddesi düzeyi buna örnektir- ortadan kaldırılamaz (Crawley et al., 2001) (Çizelge 1). Kültür bitkilerindeki çeşitli karakterler yabaniliğe doğru eğilim gösterirler. (Örneğin kolzada harnupların çatlaması, mürdümükte tohumda dormansi, gül'de dikenlilik vb. (Demir, 1975; Liljegren et al., 2000). Bu durum ilgili özelliklerin yabanilerden kazanıldığını göstermekte; ayrıca bu bakımdan kültüre alma zamanına, ıslah programının yoğunluğuna bağlı olarak azalma göstermesinin ayrı bir önemi vardır (Şehirali ve Özgen, 2007).

Çizelge 1. Bitkilerde ıslah edilen bazı tarımsal karakterler (Ulukan, 2008b)

	KARAKTERLER		
SELEKSİYON DÖNEMİ	**GENEL**	**ÖZEL**	**ÖRNEK**
Fide	*Çıkış gücünün artması*	*Dormansinin önlenmesi*	Birçok bitki
Üreme sistemi	*Kendilenme oranının yükseltilmesi*		Domates
	Vejetatif çoğaltmanın adaptasyonu		Cassava
Hasat yada hasat sonrası	*Tohum veriminde artış*	*Tohum dökmenin engellenmesi*	Mısır
		Daha kompakt büyüme şekli	Baklagiller, mısır
		Çiçek büyüklüğü ve sayısında artış	Buğday, arpa ve mısır
		Çiçek başına tohum sayısında artış	Mısır, *Amarathus* ssp.
		Fotoperiyoda duyarlılıkta değişim	Baklagiller, Çeltik
	Tüketici isteği	*Renk, boyut, tat ve doku*	Birçok bitki
		İle Toksik maddede azalma	Cassava, Lima fasülyesi

Kültür Bitkilerinde Karakterlerin Dağılımı

20. yüzyılın başlarında Mendel Kanunlarının tekrar keşfinden günümüze kadar çok kez araştırılan bu konu (Hilu, 1983; Gottlieb, 1984; Ladizinsky, 1985); böylesi karakterlerin kantitatif özellikte oldukları düşüncesiyle fenotipik bakımdan sınıflandırıldıklarından "*Mendel Karakterleri*" adını almıştır. Günümüzde bu tip karakterler QTL yöntemiyle analiz edilmektedir (Tanksley, 1993; Lee, 1995; Flint-Garcia et al., 2003; Schmid et al., 2000). Bu teknik oldukça güçlü bir ıslah yöntemi olup, farklı karakterlerin aynı zamanda genom düzeyinde de analizlerinin yapılarak kendilerini yöneten genlerin yerlerinin kromozom üzerinde saptanmasına olanak sağlamaktadır (Tanksley, 1993; Lee, 1995). Analizi yapılan cinsler arasında mısır, fasulye, domates, çeltik, darı gibi ekonomik önem taşıyan bitkiler vardır (Gepts, 2002). Genetik kontrol, birçok karakter için çoğunluğu büyük etkili ancak sınırlı sayıda olan geni içerir. Ayrıca bu genlerin aralarındaki ilişkiler fenotipik varyasyonların pek çoğuna neden olmaktadır ki bu durum o karaktere yüksek düzeyde bir kalıtsallığı da sağlar (Gepts, 2002). Bilindiği üzere genlerin çoğu bağlılık gruplarıyla temasta olup kalıtım düzenlerine kültüre alınma koşulları etkilemekte; özellikle yüksek kalıtım derecesine sahip karakterleri kontrol eden genlerin kültüre alma sürecinde seleksiyonu kolaylaştırdıkları bilinmektedir (Harlan, 1992). Benzeri şekilde, yapısında enzim ya da protein bulunduran organizmalara yeni fonksiyonlar kazandıran aktif mutasyonlar azalıp inaktif mutasyonlar artmış, diğer bir deyişle, çok sayıda gen ya ressesifleşmiş ya da mutasyona uğramıştır (Gepts, 2002). Son zamanlarda moleküler düzeyde karakterizasyonu yapılan kültür mısırındaki "*Tb-1"* geni bunun bir tipik bir örneği olup yabanisindeki (*Euchlaena mexicana*) *tb-1* alleline dominanttır (Doebley et al., 1997). Öte yandan, yukarıda ifade edilenin tersine dominant olan bazı mutasyonlar ise zararlı

genlerin populasyondan uzaklaşmasını sağladıklarından dolayı bitki ıslahı açısından yararlı sayılmakta ve özellikle de yabancı gen akışının kolay olduğu, büyük oranda yabancı döllenen mısır ve ayçiçeği gibi bitkilerinin seçiminde oldukça kolaylaştırıcı etki taşımaktadırlar.

Yabani Formlardan Kültür Bitkilerine Dönüşüm

Bitkilerde ıslah edilmiş bir fenotipe ulaşmak için gereken süre tam olarak bilinmemekte; bu açıdan etkili olan genlerin ise çalışma mekanizmasındaki basitliğin kültüre alınma hızını da ivmelendirdiği ifade edilmektedir (Nevo, 1998; Gepts, 2002). Günümüz bitkilerinin, yabani atalarından kültür formlarına ulaşana kadar geçirdiği aşamaları tam olarak aydınlatabilecek özellikteki agro-arkeolojik kanıtlar yeterli değildir. Nitekim bitki yetiştiriciliğinin önemli merkezlerinden olan ve çok sayıda arkeolojik bulguyu barındıran Yakın Doğu ile diğer bölgelerden sağlanan bilgilere göre; yabani tahılların kültür formlarına dönüşümlerinin–morfolojik değişikliklerin ölçülmesiyle- en az 1000 yılda olduğu (Long et al., 1989; Willcox,1998; Pope et al., 2001); ve bu süredeki seçmelerin her yıl ayrı ayrı değil; değişik yıllarda ve farklı dozlarda gerçekleştiği görüşü hâkimdir (Gepts, 2002). Eldeki verilere göre; tarımı yapılan bitkilerin gereksinim duyuldukça kültüre alındıkları, bunlara uygulanan seleksiyonların yoğunluk ve tipinin bilinmediği, ancak daha güçlü ya da şiddetli bir seleksiyon uygulamasıyla bu sürenin hızlandırabileceği bildirilmektedir (Gepts, 2002). Genetik ve ıslah açısından; fenotipik varyasyona (Nevo, 1998; Allard, 1999; Ulukan, 2005b; Şehirali ve Özgen, 2007), gen etkileri ile etkileşim büyüklüklerinin, bunların önem ve miktarının, kalıtım düzen(ler)inin, seleksiyon yoğunluğunun (Falconer,1989), mutasyon frekansının (Drake et al., 1998), yabancı döllenme oranının, populasyon genişliği ile genlerarası rekombinasyon-linkage (bağlılık) derecesinin (Hilmann and Davies, 1999) seleksiyondan sağlanan ilerlemeye önemli sayılabilecek sınırlamalar getirdiği saptanmış ve bu açıdan da dört tipte veriye ulaşılmıştır. Bunlardan ilki, mısır, fasulye, çeltik, darı, domates gibi bitkilerdeki moleküler düzeyde haritalama çalışmaları (Doebley et al., 1990; Garandillo and Tanksley, 1996; Xiong et al., 1999); ikincisi; tarla denemeleri ve Hillman ve Davies (1999)'a göre başak ekseni kırılıcılığı araştırmaları; üçüncüsü, Le Thierry D'Ennequin et al. (1999)'ın çoklu genler için seleksiyon benzetimleri (simülasyonları) ile sonuncusu ise mısır genlerinin moleküler düzeyde varyasyon analizi tekniklerinden oluşmaktadır (Hilton and Gaut, 1998). "*QTL teknikleri*" olarak da bilinen bu haritalama çalışmalarıyla kültüre alınan karakterlerin oransal olarak basit kalıtım düzenine sahip oldukları ortaya konulmuştur (Tanksley, 1993). Büyük etkili genlerce kısmen kontrol edilen, kalıtım derecesi yüksek fenotipik karakterlerin esas alındığı seleksiyonlarda tepki hızlıdır. Örneğin, halk arasında "*kaplıca buğdayı*" olarak tanına Einkorn (*Triticum monoccocum* L.)'da tek bir genin yönettiği başak ekseni kırılıcılığına, % 90–95 üzerinde gen frekansıyla ulaşmak için geçmesi gereken seleksiyon süresi yaklaşık 200 yıl olarak ifade edilirken; yüksek düzeyde yapılan bir kendilemeyle güçlü bir seleksiyonun bu süreyi kısalttığı; ancak, genetik yapıda çeşitli olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olduğu yapılan analizlerle saptanmıştır (Örneğin, Mısır) (Gepts, 2002).

Tarımda Köken Merkezlerinden Yayılma Hızı

Yeni Dünya ürünlerinin Avrupa'ya yayılmasında Columbus önder olmuştur (Gepts, 2002). Başlangıçta, bunlardan, domatesin süs bitkisi olarak yetiştirilebileceği, toksik etkisinin olduğu ve insanlarca tüketime uygun olmadığı görüşü kabul edilerek (Gepts, 2002); Avrupa kıtasına 1550 yılından önce girmesine karşılık dolaşımı İtalya ve İspanya ile sınırlı kaldığı gibi, ancak 17. yy'dan sonra Kuzey Avrupa'dan başlayan bir tüketilme olanağına kavuşmuştur (Sauer, 1993). Benzer şekilde, fasulye bitkisinde de aynı durum olmuş; bitki bilim adamlarınca ayrıntılı olarak tanınmasına karşın, detayları ancak, 1543'de Fuchs tarafından yayınlanmış (Gepts, 2002) ve aradan geçen 22 yıl sonra, Pisa Katedrali'nin kapılarında bakla, acı bakla, fasulye gibi eski ve yeni dünya baklagillerine ilişkin resimlere rastlanılmıştır. Elde edilen bilgi ve bulguların ışığında, yeni dünya bitkilerinin Avrupa kıtasındaki yayılışlarının bir ya da iki yüzyılda olduğunun sonucuna varılmıştır. Kültüre almada toplumların daha çok konservatif halde kalmayı yeğledikleri gözlenirken; genetik mühendisliği tekniklerinin kullanılarak bitkilere yeni özelliklerin kazandırılmasıyla tarım toplumlarına birçok ürünün girişi sağlanmıştır (Örnek mısırda heterosis) (Duvick, 2001).

Yeni Çeşit Geliştirme

Kültür bitkileri; doğal melezleme, seleksiyon, mutasyon, poliploidi sonucu meydana gelen varyasyonlarla gelişmiş; ancak, son 20 yıllık zaman dilimi göz önüne alındığında yeni çeşitlerin geliştirilmesi için klasik bitki ıslahındaki eşeyli (sexual) üreme yöntemleri ile genetik mühendisliği tekniklerinden yararlanılmış ve halen de yararlanılmaktadır (Vavilov, 1951; Allard, 1960; Demir, 1975; Harlan, 1992; Tanksley, 1993; Allard, 1999; Poehlman and Slepper, 1995; Nevo, 1998; Livermore, 2002; Şehirali ve Özgen, 2007; Ulukan ve Kün, 2007). Genel olarak ele alınırsa, gen aktarım teknikleri iki ana başlık altında incelenebilir (Ulukan, 2005a). Bunlar, i) Aracılı (vektörle): Bitkilerde ur oluşturabilen bir toprak bakterisini (*Agrobacterium*) kullanarak plazmidlerle genetik materyal aktarılır (Jauhar and Chibbar, 1999; Gelvin, 2000; Wei et al. 2000; Bottinger et al. 2001), ii) Doğrudan: Tümör oluşturma yeteneği olmayan (disarmed) bitkilere (yani monokotiledonlara) uygulan mikroenjeksiyon, partikül bombardımanı… gibi çeşitli yöntemleri içerir (Kartha et al., 1993; Lazzeri and Shewry, 1993; Barcelo and Lazzeri, 1998; Jauhar and Chibbar, 1999; Repellin et al., 2001; Ulukan, 2005a). Yeni bitki çeşitlerinin geliştirilmesi açısından; genetik mühendisliğinin klasik bitki ıslahından daha hızlı ve kesin sonuç alıcı yol olduğu sıkça ifade edilmekle birlikte, kimi araştırmacılar bunun her zaman doğru olmadığını (Gepts, 2002) ifade ederek; yeni çeşitleri geliştirmenin dönüşümü olan bir sürecin sonucunda gerçekleştiği ve bunun her birinin de; yeni çeşitliliğin oluşması ve populasyonda toplanılması, üstün bireyleri saptamak amacıyla seçmenin yapılarak denemeye alınıp piyasaya sunulması, dağıtılması ve ticaretinin yapılması şeklinde iç içe geçen dairelerden oluştuğunu ifade etmektedirler (Poehlman and Sleper, 1995). Bitki ıslahçısı ilk aşamada eğer varyasyon varsa doğal olarak oluşan, heterojen bitki topluluğundan amaca uygunlarını seçer. Eğer gereken varyasyon yoksa ya bunu çeşitli teknikleri ya da klasik bitki ıslahı veya genetik mühendisliği yöntemlerini kullanarak amacına uygun gen birleşimlerini seçer (Allard, 1999; Gepts, 2002; Şehirali ve Özgen, 2007).

Yine, üzerinde çalıştıkları bitkinin üreme biyolojisi ve tozlanma özelliklerine (kendine, yabancı, kendine-yabancı) göre çalışma yöntemlerinde değişikliklere giderek (Şehirali ve Özgen, 2007) oluşturdukları ya da oluşturacakları genetik çeşitlilik kaynaklarıyla amaçlarına uygun olan değişim(ler)i gerçekleştirir. Bu aşamada yapılan seçmenin zamanlaması (geççi generasyonlarda erkencilik), çevre koşullarının etkisi (özellikle strese uyum), deneme lokasyonları ve yürütülme süresi gibi etmenler de göz önünde bulundurulur (Gepts, 2002; Barnabas, 2008). Kuşkusuz bunları yaparken yeni çeşitlerin dağıtımı ve ticaretinde anaç olarak kullanılacak üstün genotip(ler)in getireceği kalıcı garantinin söz konusu olamayabileceği gözden kaçırılmamalı (Gepts, 2002); ve olanaklar da uygunsa amaca göre genetik mühendisliği tekniklerine başvurulmalıdır. Yüksek miktarda provitamin (A) içeriğine sahip "Golden Rice" çeltik çeşidinin, *"Erwina uredovora"* bakterisi ile nergis bitkisinden bir çift gen aktarılmasıyla elde edilmesi bunun oldukça güzel bir örneğidir (Ye et al., 2000; Potrykus, 2001; Gepts, 2002; Ulukan, 2008b). Sadece bu gelişmeyle Asya kıtasında büyük insan kitlelerinin tüketimine konu olan çeltik çeşitlerinin sağladığı beslenmenin kalitesinde kalıcı bir iyileşme sağlanmıştır. Yine, bu çalışmaya ek olarak verim ve adaptasyon gücü, hastalık ve zararlılara dayanıklılık gibi önemli tarımsal özelliklerin daha da iyileştirilebilmesi bakımından çalışmalar sürdürülmektedir. Bitki genetik mühendisliği teknikleri, gen havuzunda herhangi bir doğal dayanıklılık kaynağı bulunmadığı ya da kalmadığında hastalıklara dayanıklılığın kazandırılmasında birtakım olanaklar getirir (Örnek Papaya'da "*ringspot virüs*" ne (PRSV) dayanıklılık (Lius et al., 1997). Bu teknikler, klasik ıslahta tamamlayıcı olup; herhangi bir bitki yetiştirme programının başlangıç noktasını oluşturan genetik çeşitlilikte ekstra bir yolu temsil etmektedirler (Gepts, 2002). Öte yandan, bu yöntemleri birbirleriyle karşılaştırırsak; klasik bitki ıslahında seleksiyon ile yeni çeşitler geliştirilip, türlerdeki genetik materyale ulaşmak için araştırmalar yapılırken, sexual-asexual üremelerle belli karakterlere sahip genotipik kararlılık gösteren melez döllerin elde edileceği ancak durumun genetik mühendisliğinde ise tamamen farklı olduğu görülür. Nitekim bu tekniklerin kullanıldığı ürünler de klasik ıslahtakinin tersine her açıdan yeni ve değişiktirler (Hansen, 2000).

Klasik bitki ıslahı ile son altmış yılda, özellikle melez çeşitlerden yararlanarak elde edilen ürünün miktar ve kalitesinde önemli artışların sağlanmasına karşılık hastalık ve zararlılara dayanıklılık başta olmak üzere öteki tarımsal özellikleri iyileştirmede aynı başarı sağlanamamıştır. Nitekim kısırlık ve uyuşmazlık nedeniyle türlerarası melezlemenin yapılabildiği bitki sayısındaki azlık, doğrudan doğruya istenen karakterlerin aktarılmasındaki başarıya azaltıcı etki yapmakta; oysaki karakterlerin değişik bitki türlerine aktarımı olanaklı dahi olsa istenmeyen özelliklerin melez döllere geçmelerinin önlemek neredeyse olanaksızlaştığından bu gibi olumsuzluk(ları) giderebilmek için ayrıca geri melezlemelere almaya çalışmak da ıslah işlemlerinin uzamasına neden olmaktadır. Yaygınlaşan bitki genetik mühendisliği tekniklerinin uygulanmasıyla bu olumsuzluklar kolayca aşılabilmekte; istenilen karakterleri etkilemeden öngörülen özellikleri kazandırabilmek için aktarım yapabilmek olanak sınırlarında kalmakta; dahası, klasik ıslahta ancak türler içindeki çeşitlerle, akraba, yakın akraba cins ya da türler arasındaki genetik aktarım(lar) olabiliyor; sadece botanik akrabaları ile yabanilerin melezlenebilmesi gibi bir sınırlama, bu teknikle tamamen ortadan kalkmaktadır (Hansen, 2000).

Genetik mühendisliği tekniklerinin kullanılmasıyla son derece yararlı çalışmalarda bulunulmuştur (Pilson and Prendeville, 2004). Ana hatları ile konu örneklenecek olursa; genelde düşük toksititesi ile geniş yapraklı, tek yıllık ve buğdaygiller (*Poaceae* ya da

Gramineae) familyasından olan yabancı otlara karşı etkili *glyphosate* ve aromatik aminoasitlerin biyosentezinde rol alan "5-*enolpyruvylshikimate*-3-*phosphate synthase* (EPSPS)" enziminin oluşumu engellenmiş; yine, "*Glyphosate"* otöldürücüsüne (herbisite) duyarlı olan enzimlerin üretimini düzenleyen ancak mutant hale gelmiş olan genlerin aktarılmasıyla bu herbisite toleranslı olan (katlanabilen) bitkiler elde edilmiştir. Yine, mutant "*acetolactate synthase"* (ALS) genlerinin aktarımının ve adı geçen enzim yapımının engellenmesi yoluyla "*sulfonyllurea"* ya karşı dayanıklı bitkiler üretilmiş; "*Salmonella typhimurium"* dan sağlanan "*aroA*" geninin tütüne aktarılmasıyla "*glyphosate"* a, ve *Streptomyces hygroscopicus*'dan elde edilip tütün, patates ve yonca'ya aktarılan "*bar*" geninin etkisiyle "*L-phosphinothricin"* otöldürücüsüne (herbisite); bakteriyel genlerden yararlanarak *bromoxynil* ve "2,4-*dicholorophenoxyacetic acid"* e; böceklerin ölmelerine neden olan toksik proteini üreten *Bacillus thuringiensis* (*Bt*)'in ve bitkisel kökenli proteinlerinin "*proteinase*" inhibitörleri olarak kullanılmasıyla (böceklere) dayanıklı bitkilerin üretiminde önemli ilerlemeler sağlanmış, yine (*Bt*) geninin aktarıldığı domates, tütün, pamuk ve mısır bitkileriyle yapılan tarla denemelerinde böceklere karşı dayanıklı oldukları görülmüş (Ulukan, 2005a); börülceden elde edilen "*trypsin inhibitör* (*CpTi*)" geni, tütüne aktarıldığında sürgün kurdu (*Heliothis virescens*) larvalarının saldırılarına karşı dayanıklılık göstermiştir. Bilindiği gibi virüslere kaşı tek başına kimyasal yöntemleri kullanarak tarımsal savaşım yapmak neredeyse olanaksızdır. Genetik mühendisliği ile bu bakımdan virüslere dayanıklı bitkilerin eldesinde; kılıf proteinlerinin yapımını yöneten genlerin aktarılmasından elde edilen çapraz korunma tekniğinden yararlanılır. Tütün mozaik virüsü (*TMV*) kılıf proteini geninin aktarıldığı bitkilerin buna dayanıklı oldukları; domates, patates, yonca başta olmak üzere değişik yonca mozaik virüsü, hıyar mozaik virüsü, patates X ve Y virüslerine karşı aynı tepkiyi verdikleri; kültürde satellitli RNA'nın bulunması halinde virüs zararının azaldığı ve bu yöntemle hıyar mozaik virüsü (*CMV* 35S) ile tütün halkalı leke virüsü satellitli RNA'lardan cDNA kopyalarının aktarıldığı transgenik bitkilerde yüksek miktarlarda dayanıklılık tepkisi saptanmıştır (Özgen ve Özcan, 1996). Öte yandan, yabaniler ile kültür formlarının melezlendiği klasik ıslah programlarında melezlemeye alınan bitkilerdeki genetik materyal, sadece belirli bir kısmının kullanılmasına olanak sağlamakta; ürünlerin kalite ve kantitesi kısmen de olsa belirli sınırlarda kalmak kaydıyla, agronomik bakımdan daha çok yarar getirmekte; buna karşılık, genetik mühendisliğinde, değişik bitki familyalarından sağlanan ve kökenleri farklı olan bu genlerin tek bir organizmada bir araya gelmeleri sağlanmaktadır (Demuth and Wade, 2006).

Söz konusu gen(ler)in bir araya gelince ne gibi tepki verecekleri tam olarak bilinemediği için yapılan bu "*genetik mühendisliği*" çalışmasının sonucunda da umulmadık ya da beklenmedik sonuçlar elde edilebilmektedir. Yine, genetik mühendisliği yöntemleri ile orijinal bitki genomuna yerleştirilen unsurlar kontrol edilebiliyorken, aynı durum genom üzerindeki bağlantı yeri için geçerli olmadığı gibi söz konusu etkinin genomal yapıyla ilişkisi bakımından istenildiği şekilde olmamaktadır. Tüm organizmalarda genin etkisinde bulunduğu konumunun katkısından dolayı lokasyon kontrolü bu açıdan son derece önemli olup beklenmedik etkilerin ortaya çıkması bakımından önem taşımaktadır (Hansen, 2000; Ulukan, 2006). Oysaki klasik ıslahta böyle bir durum yoktur. Beklenmedik sonuçların tipik bir örneği *Arabidopsis thaliana* 'nın kullanıldığı denemede görülmüştür. Bu bitkiden, biri kimyasal mutagen uygulamasıyla, diğer ikisi genetik mühendisliği yöntemiyle olmak üzere geliştirilen toplam 3 çeşidinin *chlorsulphuron* otöldürücüsüne (herbisite) toleranslı oldukları saptanmış; bunlardan transgenik olan son ikisindeki yabancı döllenme oranının

(% 5.98), diğerinden 20 kat daha çok (% 0.30) olduğu saptanarak, genetik mühendisliği teknikleriyle geliştirilen transgeniklerdeki önemli bu tip farklılıkların (% 1.2, % 10.8), genetik materyalde çok büyük bir değişiklik olmamasına karşın, genlerdeki bağlanma yerlerindeki farklılıktan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (Hansen, 2000). Klasik bitki ıslahının tersine, genetik mühendisliği ile geliştirilen bitkilerde karnıbahar mozaik virüsünden elde edilen promotor geni (*CaMV* 35S) bulunmak zorundadır (Hansen, 2000); ancak bu durum bazı güvenlik endişelerini de beraberinde getirmiştir. Bu promotor'u (*CaMV* 35S) yalnızca transgenler etkilememekte; bu kısım, kromozomun hem bağlanma yerinde hem de çevresindeki çok sayıdaki gen çifti ile diğer kromozom(lar)da bulunan genlerin davranışlarını da etkileyebilmekte; ayrıca kromozoma bağlanma yerine göre organizmanın toksin üretmesine de yol açabilmektedir. Bilindiği gibi genlerin çalışma düzenindeki kararlılıkları genom içindeki birleşme pozisyonuna ve çevresel etmenlere bağlıdır (Jauhar and Chibbar, 1999). Transgenlerin kararlılıkları ve çevre koşullarının beklenilmeyen etkileri, (*Bt*) özellikteki ve *glyphosate'a* toleranslı pamuklar için üretim izninin alındığı ilk yılda gözlenmiş; Missouri'de ekilen bu tipteki pamuğun 8.000 ha'lık kısmı herbisitten zarar görmüştür (Fox, 1997). Bu duruma ekstrem iklim koşullarının neden olduğu gen kararsızlılığın da yol açtığı düşünülmektedir (Fox, 1997). Benzer şekilde Texas'da (*Bt*) pamuğunun *Helicoverpazea*'ya karşı tam olarak kontrolü sağlamada başarılı olamadığı anlaşılmıştır; ayrıca çok sayıda üretici söz konusu tohumlarda çimlenme yetersizliği, düzensiz büyüme, gelişme, kalite ve kantite yetersizliği, düşük verim gibi önemli tarımsal sorunlarla karşılaşılmıştır. Kuşkusuz olumlu yönde başarıların elde edildiği hem araştırmaların hem de bitkilerin sayısı giderek artmaktadır.

Sonuç

Gen mutasyonları; cins, tür ve çeşitler arasındaki melezleme, poliploidi vb ile sağlanan genetik değişimlerin katkısı ile doğal-yapay seçmelerin eşliğinde gelişmiştir (Ulukan 2005a, 2005b; Şehirali ve Özgen, 2007). Binlerce yıl önce başlayan bitki ıslahıyla, verim ve kalitenin yükselmesi, hastalık ve zararlılara dayanıklılık gibi ölçütler ön planda tutularak öteki agronomik öğelerde ve uygulanan diğer ıslah yöntemlerinin de katkısıyla önemli başarılar sağlanmıştır. Bitkiler yıllarca hastalık ve zararlılara karşı kimyasal yöntemlerle korunmuşlar; ancak, kullanılan kimyasalların kalıntı bırakması, organizmaların bağışıklılık kazanması, virüs ya da virüs benzerleri vb karşı yeterince etkili olamaması gibi nedenlerden dolayı ileri ıslah yöntemlerine yönelim kaçınılmaz olmuştur. Kuşkusuz, artan nüfusun beslenme zorunluluğu da buna önemli etki yapmış ve halen de yapmaktadır. Klasik ıslah programları, zaman içinde genetik sınırlamalardan kaynaklanan darboğazlarla karşılaşmış (kısırlık, uyuşmazlık, linkage gibi); ancak bunlardan bir kısmına genetik mühendisliği teknikleri yardımcı olmuştur (Mohan et al., 1997; Oldah et al., 2001; Rajam et al., 2006; Şehirali ve Özgen, 2007). Yoğun olarak sürdürülen genetik ve sitogenetik çalışmalarla bitki ıslahı daha da karmaşıklaşırken yabancı genlerin kültür bitkilerine aktarılmasını ise daha kolaylaştırmıştır. Kullanım alanı genişleyen bitki genetik mühendisliği teknikleriyle ıslah programlarının süresi kısalmakta, melezlemede karşılaşılan engeller, genetik bağlılık, gen havuzlarından yararlanmada ortaya çıkan sınırlamalar vb ortadan kalkmaktadır. Kuşkusuz, her yeni teknolojide olduğu gibi, genetik mühendisliği teknikleri ile elde edilen bitkilerin gerek üretiminde gerekse tüketiminde değişik görüşler bulunup aralarında hem gerçek olabilecekler hem de konuyla ilgisi olmadığı gibi çok da doğru olmayanlar yer almaktadır. Ancak, şurası açıktır ki, bitki ıslahına yeni olanaklar getiren bu teknoloji(ler) çok dikkatli

ve bütünüyle sağlık, tüketici isteklerine uygunluk, ekonomiklik, pazarlama vb. ögeler göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir.

Kaynaklar

Allard, R. W., 1960. Principles of Plant Breeding, Library of Congress Catalog Card Number 60-14240, ISBN 0 471 12310, 1-485, John Wiley and Sons, Inc., Newyork, London, Sydney

Allard, R. W., 1999. History of plant population genetics, Annu. Rev. Genet. 33:1-27.

Anonim, 2003. Cornell University Animal Breeding Web Page, http://www.ansi.cornell.edu/plants/toxins.html

Barcelo, P. and P. A. Lazzeri, 1998. Direct Gene Transfer: Chemical & Physical Methods, Transgenic Plant research (ed.) K. Lindsay, 2:35-55.

Barnabas, B., K. Jager, and A. Feher, 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive process in cereals, Plant Cell and Environment, 31:11-38.

Bolin, P., W. Hutchison, and D. Davis, 1996. Resistant hybrids and *Bacillus thuringiensis* for management of European corn borer (*Lepidoptera*: *Pyralidae*) in sweet corn. J. Econ. Entomol. 89:82-91.

Bottinger, P., A. Steinmetz, O. Scheider, and T. Pickard, 2001. Agrobacterium-mediated transformation of *Vicia faba,* Molecular Breeding, 3:243-254.

Crawley, M. J., S. L. Brown, R.S. Hails, D.D. Kohn, and M. Rees, 2001. Biotechnology-transgenic crops in natural habitats. Nature 409:682-683.

Demir, İ., 1975. Genel Bitki Islahı, Ege Üniv. Zir. Fak. Yay. No 212, 331 sayfa, Bornova, İzmir.

Demuth, P.J. and M.J. Wade, 2006. Experimental methods for measuring gene interactions, Annu. Rev. Evol. Syst., 37:289-316.

Doebley, J., A. Stec, J. Wendel, and M. Edwards, 1990. Genetic and morphological analysis of a maize-teosinte F_2 population: Implications for the origin of maize. Proc. Natl. Acad. Sci. (USA) 87:9888-9892.

Doebley, J., A. Stec, and L. Hubbard, 1997. The evolution of apical dominance. Nature.386:485-488.

Drake, J., B. Charlesworth, D. Charlesworth, and J. Crow, 1998. Rates of spontaneous mutation. Genetics 148:1667-1686.

Duvick, D., 2001. Biotechnology in the 1930s: The development of hybrid maize. Nature Rev. Genet. 2:69-74.

Falconer, D.S., 1989. Introduction to quantitative genetics. 3rd ed. Longman Burnt Mill, Harlow, Essex, UK.

Ferber, D., 1999. Risks and benefits: GM crops in the cross hairs. Science 286:1662-6.

Flint-Garcia, A.S., M.J. Thornsberry, and E.S. Bucker, 2003. Structure of linkage disequlibrium in plants, Annu. Rev. Plant Biol., 54: 357-374.

Fox, J.L., 1997. Farmers say Monsanto's engineered cotton drops bolls. Nature Biotechnology, 15:1233.

Garandillo, S. and S.D. Tanksley, 1996. QTL analysis of horticultural traits differentiating the cultivated tomato from the closely related species *Lycopersicon pimpinellifolium*. Theor. Appl. Genet. 92:935-951.

Gasser, C.S. and T.R. Fraley, 1989. Genetically engineered plants for crop improvement. Science 4910: 1293-1299.

Gelvin, B. S., 2000. Agrobacterium and plant genes involved in T-DNA Transfer and Integration, Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.51:223-256.

Gepts, P., 1999. A phylogenetic and genomic analysis of crop germplasm: A necessary condition for its rational conservation and utilization. pp. 163-181. In J. Gustafson (ed.) Proc. Stadler symposium. Plenum, New York.

Gepts, P., 2002. A Comparison between Crop Domestication, Classical Plant Breeding, and Genetic Engineering. Crop Sci. 42: 1780-1790.

Gottlieb, L.D., 1984. Genetics and morphological evolution in plants. Am. Nat. 123:681-709.

Hansen, M.K., 2000. Genetic engineering is not an extension of conventional plant breeding: How genetic engineering differs from conventional breeding, hybridization, wide crosses and horizontal gene transfer. pp: 1-7. Research Associate, Consumer Policy Institute, Consumers Union.

Hargrove, T., W. Coffman, and V. Cabanilla, 1979. Genetic interrelationships of improved rice varieties in Asia. Research paper series No.23. IRRI, Los Banos, the Philippines.

Harlan, J., 1992. Crops and man. 2nd ed. ASA, Madison, WI. Hails, R.S., Rees, M., Kohn,

D.D. and M.J. Crawley, 1997. Burial and seed survival in *Brassica napus* subsp. *oleifera* and *Sinapis arvensis* including a comparison of transgenic and non- transgenic lines of the crop. Proc. R. Soc. London Ser. B. 264:1-7.

Hillman, G. and S. Davies, 1999. Domestication rate in wild wheats and barley under primitive cultivation. pp:70-102. In P. Anderson (ed.) Prehistory of agriculture: New experimental and ethnographic approaches, Vol.Monograph 40. Institute of Archaeology, University of California, Los Angeles, CA.

Hilton, H. and B. Gaut, 1998. Speciation and domestication in maize and its wild relatives. Evidence from the *globulin-1* gene. Genetics 150:863-872.

Hilu, K., 1983. The role of single-gene mutation in the evolution of flowering plants. pp: 97-128. In M.K. Hecht et al. (ed.) Evolutionary biology, Vol.16, Plenum, New York.

Jain, M. S., 2001. Tissue culture-derived variation in crop improvement, Euphytica, 118:153-166.

Jauhar, P. P., 2001. Genetic engineering and accelerated plant improvement: Opportunities and challenges, Plant Cell, Tissue and Organ Culture 64: 87-91.

Jauhar, P. P. and R.N. Chibbar, 1999. Chromosome-mediated and direct gene transfers in wheat, Genome 4:570-583.

Kartha, K. K., N. S. Nehra, R. N. Chibbar, and J.R. Henry, 1993. Genetic engineering of wheat and barley, pp: 21-30 Cereal Chem. Div. Symp on Imp. of Cereal Quality by Genetic Engineering, Sydney Australia, 12-16 September 1993

Lazzeri, P. A. and P.R. Shewry, 1993. Biotechnology of Cereals, Biotechnology and Genetic Engineering Review, (ed.) M. P. Tombr, pp:79-146.

Ladizinsky, G., 1985. Founder effect in crop plant evolution. Econ. Bot. 39:191-198.

Lee, M., 1995. DNA markers and plant breeding programs. Adv. Argon. 35:265-344.

Le Thierry D'Ennequin, M., B. Toupance, T. Robert, B. Godelle, and P. Gouyon, 1999. Plant domestication: A model for studying the selection of linkage. J. Evol. Biol. 12:1138-1147.

Liljegren, S., G. Ditta, H. Eshed, B. Savidge, J. Bowman, and M. Yanofsky, 2000. Shatterproof mads-box genes control seed dispersal in *Arabidopsis*. Nature 404:766-770.

Lius, S., R. Manshardt, M. Fitch, J. Slightom, J. Sanford, and D. Gonsalves, 1997. Pathogen-derived resistance provides papaya with effective protection against papaya ringspot virus. Mol. Breed. 3:161-168

Livermore, M., 2002. The role of modern biotechnology in developing country agriculture. Nutrition Bulletin, 1:47-50.

Long, A., B. Benz, D. Donahue, A. Jull, and L. Toolin, 1989. First direct AMS dates on early maize from Tehuacn, Mexico. Radiocarbon 31:1035-1040.

Losey, J.E., L. S. Rayor, and M.E. Carter, 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. Nature 399 (6733): 214.

Mohan, M., S. Nair, A. Bhagwat, T. G. Krishna, M. Yano, C. R. Bhatia, and T. Sasaki, 1997. Genome mapping, molecular markers and marker-assisted selection in crop plants. Molecular Breeding, 3: 87-103.

Muthukrishnan, S, H. G. Liang, N. H. Trick, and S.B. Gill, 2001. Pathogenesis-related proteins and their genes in cereals, Plant Cell, Tissue and Organ Culture 64: 93-114.

Nevo, E., 1998. Genetic diversity in wild cereals: regional and local studies and their bearing on conservation *ex situ* and *in situ*. Genet. Res. and Crop Evol. 45:355-370.

Oldah H. K., D. Becker, and H. Lörz, 2001. Heterologous Expression of Genes Mediating Enhanced Fungal Resistance in Transgenic Wheat, Molecular Plant-Microbe Interactions, 7:832-838.

Özgen, M. ve S. Özcan, 1996. Bitki genetik mühendisliği. Kükem. 1: 69-95.

Phillips, L. 2006. Food globalization, Annu. Rev. Anthropol., 35:37-57.

Pilson, D. and H.R. Prendeville, 2004. Ecological effects of transgenic crops and the escape of transgenes into wild populations, Annu. Rev. Evol. Syst., 35:149-174.

Poehlman, J.M. and D. Sleper, 1995. Breeding field crops. 4th ed. Iowa State University Pres, Ames, IA.

Pope, K.O., M.E.D. Pohl, J.G. Jones, D.L. Lentz, C.V. Nagy, F.J. Vega, and I.R. Quitmyer, 2001. Origin and environmental setting of ancient agriculture in the lowlands of Mesoamerica. Science 292:1370-1373.

Potrykus, I., 2001. Turning point article “The Golden Rice” Tale, In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant 37:93-100.

Rajam, M.V., R. Kumria, and S. Singh, 2006. Molecular biology and genetic engineering in plants. Pp: 60-77, In: Plant Biotechnology and Molecular Markers, DOI: 10.2007/1-4020-3213-7_5.

Repellin. A., M. Baga., P.P. Jauhar, and N.R. Chibbar, 2001. Genetic enrichment of cereal crops via alien gene transfer: New challenges, Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 64:159-183.

Sauer, J., 1993. Historical geography of plants CRC Press, Boca Raton, FL.

Schmid, E. J, T. S. Burgos, M. M. Mesmer, and P. Stamp, 2000. Spelt (*Triticum spelta* L.) wheat a Genetic Resource for stress tolerance, Crop Development for the Cool and Wet Regions of Europe, Edited by Prente G. and J. Frame, Proc. of The Final Conference, EUR 19683, Pordenone, Italy.

Şehirali, S. ve M. Özgen, 2007. Bitki Islahı. Ankara Üniv. Zir. Fak. Yay., 1553/506, 270 sayfa, Ankara.

Tanksley, S., 1993. Mapping polygenes. Annu. Rev. Genet. 27:205-233.

Ulukan, H., 2005a. Tahıllarda *In vitro* Çalışmalar, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Hatay, Türkiye, 8:19–31.

Ulukan, H., 2005b. Ülkemizde bazı tahıl ve yemeklik tane baklagillerin tarımı: (1925–2003), Hasad Dergisi (Bitkisel Üretim), 21:76-84.

Ulukan, H., 2006. Buğday’da pas hastalıklarına (*Puccinia* spp.) dayanıklılıkta yabani gen kaynakları, Hasad Dergisi (Bitkisel Üretim), 22:78–44.

Ulukan, H. ve E. Kün, 2007. Effect of between and on row distance of first development, tillering, yield and yield components in wheat cultivars (*Triticum* spp.), Pakistan J. of Biol. Sci., 10:4354-4364.

Ulukan, H., 2008a. Agronomic adaptation of some field crops: A general approach, J. of Agron. and Crop Sci., 194:169-179.

Ulukan, H., 2008b. The evolution of cultivated plant species: classical plant breeding versus genetic engineering, Plnt Sys and Evol., DOI:10 .1007/s00606-008-0118-8.

Wei, L., G. Guangqin and Z. Guochang, 2000. *Agrobacterium*-mediated transformation: state of the art and future prospect, Chinese Science Bulletin, 17:1537-1545.

Vavilov, N. I., 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Translated by Chester, K.S., Chron. Bot. Comp. 13: 366.

Willcox, G., 1998. Archaeobotanical evidence for the beginnings of agriculture in southwest Asia. pp: 25-38. In A. Damania et al. (ed.) The origins of agriculture and crop domestication. ICARDA, Aleppo, Syria.

Xiong, L., K. Liu, X. Dai, C. Xu, and Q. Zhang, 1999. Identification of genetic factors controlling domestication-related traits of rice using an F_2 population of a cross between *Oryza sativa* and *O*. rufipogon. Theor. Appl. Genet. 98:243-251.

Ye, X., S. Al- Babill, A. Klötl, J. Zhang, P. Lucca, P. Beyer, and I. Potrykus, 2000. Engineering the provitamin A (β-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. Science 287: 303-305.