



Derleme

www.ziraat.selcuk.edu.tr/ojs
Selçuk Üniversitesi
Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi
26 (2): (2012) 79-86
ISSN:1309-0550



Patateste (*Solanum tuberosum* L.) Hastalık ve Zararlılara Dayanıklılık Islahında Kullanılan Moleküler İşaretleyiciler

Ercan ÖZKAYNAK^{1,4}, Zübeyir DEVRAN², Erdem KAHVECİ³

¹Yüksel Tohumculuk Tarım San. Ltd. Şti., Antalya/Türkiye

²Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Antalya/Türkiye

³Multi Tarım San. Ltd. Şti, Antalya/Türkiye

(Geliş Tarihi: 27.02.2012, Kabul Tarihi: 02.05.2012)

Özet

İnsan beslenmesi açısından en önemli bitki türlerinden biri olan patateste değişik hastalık ve zararlılar, ekonomik düzeyde kayıplara neden olurken, kayıpları azaltmak için farklı mücadele yöntemleri uygulanmaktadır. Dayanıklı çeşit kullanımı en etkili ve çevreci mücadele yöntemlerinden birisidir. Ancak, Patates ıslah çalışmalarında patojenlere dayanıklılığın klasik testleme yöntemleriyle belirlenmesi uzun zaman almakta, yoğun iş gücü gerektirmekte ve maliyeti yükseltmektedir. Bu zorluklar moleküler işaretleyicilerin kullanılmasıyla aşılabilmektedir. Moleküler işaretleyiciler, ilgili ıslah materyallerinde dayanıklılık genlerinin hızlı ve güvenli takip edilmesine imkân vermekte ve günümüzde patateste dayanıklılık ıslahında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Dayanıklılık genleri çoğunlukla patatesin yabani formlarında bulunmakta olup, klasik veya biyoteknolojik yöntemlerle kültür formlarına aktarılmaktadır. Bu derleme, patateste başlıca hastalık-zararlılar için geliştirilen moleküler işaretleyicilerin kullanımları hakkında bilgi vermeyi amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Dayanıklılık, Moleküler işaretleyiciler, Patates, *Solanum tuberosum*

Molecular Markers for Diseases and Pests Resistance Breeding in Potato (*Solanum tuberosum* L.)

Abstract

Potato is one of the most important plant species for human nutrition. While several diseases and pests cause economic losses in potato production, different control measures are applied to diminish these damages. The use of resistant varieties is one of the most effective, the cheapest and environmentally friendly way. Resistance tests are time consuming, laborious and costly in potato breeding. These difficulties are overcome by using molecular markers. Molecular markers allow rapid and reliable screening of the genotypes and have been commonly used in potato breeding. Resistance genes mostly exist in wild forms of potato, and are transferred to cultivated potato by classic breeding or biotechnological methods. This article aims to review the applications of molecular markers which were improved against main diseases and pests of potato.

Key words: Molecular markers, Potato, Resistance, *Solanum tuberosum*

Giriş

Patates; buğday, mısır ve çeltikten sonra dünyada en fazla üretilen bitkidir (FAO, 2009). Dünyada 2010 yılı verilerine göre 18.6 milyon hektar dikim alanında yaklaşık 324 milyon ton, Türkiye’de ise 141 bin hektar alanda 4.5 milyon ton üretim gerçekleştirilmiştir (FAO, 2010). Patatesin bahsedilen üretim kapasitesiyle dünyada 31 milyar dolardan fazla ekonomik değer oluşturduğu belirtilmiştir (Bakker ve ark., 2011). Dünyanın birçok ülkesinde insan ve hayvan beslenmesinde değerli bir besin kaynağı olarak önem kazanan patatesten aynı zamanda sanayi hammaddesi (nişasta, etil alkol vb.) olarak da yararlanılmaktadır.

Patates üretimi, birçok hastalık ve zararlı etmenlerinden olumsuz etkilenmektedir. Dünya genelinde patatesin en önemli fungal hastalığı patates mildiyösüdür (Bradshaw, 2007). Hastalık etmenleri içerisinde

önemli bir yere sahip olan Patates Yaprak Kıvrıkcılığı Virüsü (PLRV), Patates Y Virüsü (PVY), Patates A Virüsü (PVA), Patates M Virüsü (PVM), Patates S virüsü (PVS) ve Patates X Virüsü (PVX) dünyada patateste geniş ölçekte zarar yapan en önemli virüslerdir (Gebhardt ve Valkonen 2001; Valkonen, 2007). Ülkemizde bu virüslerden, PLRV, PVX ve PVY daha yaygın olmakla birlikte PVS, PVA ve PVM virüsleri de etkili olmaktadır (Bostan ve Haliloğlu, 2004; Bostan ve ark., 2006; Güner ve Yorgancı, 2006; Sökmen ve ark., 2005). Patates üretiminin yoğun olarak yapıldığı Bolu, Erzurum, İzmir, Nevşehir, Niğde illerini kapsayan bir araştırmada tohumluk olarak kullanılan patates yumrularında %13.38 PLRV, %6.4 PVS, %6.9 PVX ve %16.8 PVY bulaşıklığı belirlenmiştir (Bostan ve Haliloğlu, 2004). Yaprak bitleri, patates böceği, kök-ur nematodları ve kist nematodları en önemli zararlılar olarak bilinmektedir (Bradshaw, 2007).

⁴Sorumlu Yazar: eozykaynak@yukseletohum.com

Ülkemizde ise son yıllarda patates mildiyözü, erken yanıklık, patates siğil hastalığı, kök-ur nematodu, yaprak biti, tel kurdu ve patates böceği zararlıları önde gelmektedir (Anonim, 2010)

Patates ıslahının amacı; verimli, kaliteli, adaptasyon yeteneği yüksek, hastalık-zararlılara dayanıklı ve stres faktörlerine toleranslı çeşit geliştirmektir. Patateste yürütülen klasik ıslahıta; yabancı veya kültür formunda bulunan dayanıklılık genleri ya da ilgili diğer genler arzulanan çeşitlere tekrarlanan geri melezlemeler ile aktarılmaktadır. Her generasyonda fenotipik seleksiyon yapılmaktadır. Bu nedenle ıslah süresi uzun olmakta ve çok sayıda melezlemeden yüksek bir seleksiyon oranıyla seçim yapmak gerekmektedir (Barone, 2004; Gebhardt ve ark., 2006). Patates bitkisinin tetraploid genetik yapı göstermesi, kendine uyumsuzluk görülmesi, yüksek derecede heterozigotluk göstermesi ve ıslahçılar için önemli olan birçok özelliğin çok gen tarafından idare edilmesi patates ıslahında dezavantaj oluşturmaktadır (Bradshaw, 2007; Mullins ve ark., 2006; Sliwka ve ark., 2010). Bu sebeplerden dolayı patates ıslahçıları 11-12 yıl gibi çok uzun bir süre içerisinde yaklaşık 100 bin fidede en az 50 farklı özelliğe bakarak çeşit seçmek ve geliştirmek zorunda kalmaktadırlar (Sliwka ve ark., 2010).

Patateste dayanıklılık genleri bağlamında, çoğunlukla dominant veya resesif genlerden söz edilirken (Gebhardt ve ark., 2006), diğer bazı özellikler için majör genler veya kantitatif özellik lokusları (QTL)'nin dayanıklılık ya da tolerans sağladığı ifade edilmektedir (Gebhardt ve Valkonen 2001; Gebhardt ve ark., 2006). Son yıllarda patates ıslah programlarında hastalıklara ve zararlılara dayanıklı yeni çeşitlerin geliştirilmesinde ilgili genlere bağlı moleküler işaretleyiciler geliştirilmiş ve başarıyla kullanılmaktadır (Bakker ve ark., 2011; Caromel ve ark., 2005; Flis ve ark., 2005; Gebhardt ve Valkonen, 2001; Gebhardt ve ark., 2006; Simko ve ark., 2007).

Moleküler İşaretleyiciler

Moleküler işaretleyici, organizmanın genomunda ilgili genle birliktelik gösteren DNA parçasıdır. Fakat bazen genin kendisi de işaretleyici olarak kullanılabilir. Bu işaretleyiciler, polimeraz zincir reaksiyonuna bağlı olmayan; *Restriction Fragment Length Polymorphisms-RFLP* ve bağlı olanlar; *Random Amplified Polymorphic DNA-RAPD*, *Amplified Fragment Length Polymorphisms-AFLP*, *Simple Sequence Repeats-SSR*, *Single Nucleotide Polymorphism-SNP* vb. şeklinde iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu işaretleyicilerin kullanımında birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Genel olarak incelendiğinde; RFLP, uygulaması zor ve insan sağlığı için zararlı olan radyo aktif madde kullanmak gerekmesi, RAPD, uygulaması kolay fakat sonuçlarda sık sık tekrarlanabilirlik problemi yaşanması, AFLP yoğun iş gücü gerektirmesi ve güçlü laboratuvar donanımına ihtiyaç duyması, SSR ve ISSR primerlerini geliştirmek için sekans çalışması

gerekmesi ve SNP ise pahalı olan sekans işlemine ve cihazlara dayalı olmasıdır. Moleküler işaretleyiciler alleller arası ilişkiyi açıklamada dominant ya da co-dominant özellik göstermektedirler. Dayanıklılık ıslahı çalışmalarında moleküler işaretleyicinin co-dominant özellik taşıması büyük önem taşımakta ve test edilecek bitkilerin sayısının azalmasına imkân vermektedir (Devran, 2004).

Moleküler işaretleyici yardımcı seleksiyon, arzulanan karaktere bağlı moleküler işaretleyici kullanılarak ilgili bireylerin seçilmesidir. Bu çalışmayı geleneksel yöntemlere göre yapmak, fazla zaman, yer, materyal, iş gücü gerektirmekte, homozigot-heterozigot ayrımı yapılamamakta, aynı zamanda birden fazla hastalık ya da zararlı etmeninin test edilmesi mümkün olmamaktadır. Bu zorluklar ilgili karaktere bağlı moleküler işaretleyici geliştirilmesiyle aşılmakta, zaman ve işgücü tasarrufu sağlamaktadır (Devran, 2004).

Patates Dayanıklılık Islahında Moleküler İşaretleyici Destekli Seleksiyon Uygulamaları

Patates Y Virüsü (PVY)

Patates Y virüsü (PVY), patatesteki en zararlı virüslerden biridir ve Potyvirus içinde yer alır (Solomon-Blackburn ve Barker, 2001). Hastalık etmeni tohumla taşınmazken, bulaşık tohumluk yumrularla, temasla, yaprak bitleriyle taşınmakta ve % 90'lara varan ürün kayıplarına neden olmaktadır (Flis ve ark., 2005; Boris-Sagredo ve ark., 2009). Hastalık belirtileri çeşide ve virüsün ırkına göre değişebilmektedir. PVY⁰, en yaygın olan ırk iken, en virulent olanı PVY^N'dir. PVY⁰, yapraklarda daha çok mozaik belirtileri ve nekrotik lekeler oluştururken PVY^C damar nekrozuna sebep olmaktadır. PVY^N ise yapraklarda mozaikler ya da belirti vermeksizin latent enfeksiyonlar meydana getirmekte, bunun alt ırkı olan PVY^{NTN} de çoğunlukla yumrularla halkalı lekelerle kendini göstermektedir (Boris-Sagredo ve ark., 2009; Stevenson ve ark., 2004).

Patateste PVY virüsüne karşı dayanıklılık, dominant tek gen tarafından kontrol edilmekte ve ırk spesifik olmayan (non-spesifik) dayanıklılık göstermektedir (Simko ve ark., 2007; Mori ve ark., 2012). *Solanum tuberosum* subsp. *andigena* türünde Ry^{adg} ve Ry^{chc}, *S. stoloniferum*'da ise Ry^{sto} ve Ry^{fsto} genlerinin PVY'yi kontrol eden genler olduğu belirlenmiştir (Flis ve ark., 2005; Kasai ve ark., 2000; Takeuchi ve ark., 2008; Witek ve ark., 2006; Mori ve ark., 2012). Ry^{adg} geni XI. kromozomda (Kasai ve ark., 2000), Ry^{chc} geni IX. (Takeuchi ve ark., 2008) ve Ry^{sto} ve Ry^{fsto} genleri ise XII. kromozomda haritalanmıştır (Flis ve ark., 2005; Song ve ark., 2005; Witek ve ark., 2006). PVY'ne dayanıklılık genleri ile bağlantılı olan moleküler işaretleyiciler patateste seleksiyon ıslahında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Gebhardt ve ark., 2006). Mori ve ark., (2012) yaptıkları çalışmada *Globodera rostochiensis*'e dayanıklılık sağlayan H1 geni ile PVY'ye dayanıklılık sağlayan Ry^{chc} genini moleküler

ler işaretleyici destekli seleksiyonla tek bir hatta birleştirmişler ve bu etmenlere dayanıklı genotipler geliştirmişlerdir.

Patates X Virüsü (PVX)

Patates üretiminde ekonomik kayıplara sebep olan Patates X virüsü (PVX), Potexvirus virüslerindedir (Solomon-Blackburn ve Barker, 2001). Tohum ile taşınmayan PVX, yumrularla, mekanik yolla, ısırcı böceklerle ve bir fungus olan *Synchytrium endobioticum*'un sporları ile taşınıp bulaşmaktadır. Genellikle hafif mozaiklere sebep olmakla birlikte şiddetli enfeksiyonlarla yapraklarda küçülme, bitkide cüceleşme ve yumrulara nekroza yol açar (Stevenson ve ark., 2004).

S. tuberosum subsp. *andigena*'da (Rx1 geni) ve *Solanum acaule*'de (Rx2 geni) patates X virüsüne dayanıklılığı kontrol eden genler olarak belirlenmiştir (Gebhardt ve ark., 2006). Dominant kalıtım gösteren Rx1 geni XII. kromozomda haritalanmış tek dominant gen olup (Ohbayashi ve ark., 2010), PVX'e ekstrem dayanıklılık sağlar (Simko ve ark., 2007). Rx2 geninin ise V. kromozomda lokalize olduğu belirlenmiştir (Gebhardt ve ark., 2006). Bahsedilen Rx1 genine ait moleküler işaretleyiciler, patates dayanıklılık ıslah çalışmalarında rutin şekilde uygulanmaktadır (Gebhardt ve ark., 2006; Mori ve ark., 2011).

Patates Siğil Hastalığı (*Synchytrium endobioticum*)

Patates siğil hastalığı, toprak kökenli obligat bir fungus olan *Synchytrium endobioticum* tarafından oluşturulmaktadır. Bu hastalık ılıman iklime sahip ülkelerin patates üretim alanlarında ciddi bir problemdir ve karantinaya tabidir. Avrupa patates alanlarında giderek büyüyen bir problem haline gelen hastalık yumru, stolon ve gövde enfeksiyonları sonucunda % 50-100'e varan ürün kayıplarına sebep olmaktadır. Hastalığın tipik belirtileri siğil şeklindeki oluşumlardır. Boyutları birkaç milimetreden santimetrelere ulaşan karnabahar görünümündeki siğillerin içinde etmenin sporları oluşmaktadır. Toprakta 20-40 yıl canlılığını sürdürebilen etmenin yayılması daha çok enfekte olmuş yumru ve tarımsal aletler ile olmaktadır. Hastalık etmeninin Avrupa ülkelerinde tespit edilen 38 patotipinden 4 tanesinin (patotip 1, 2, 6 ve 18) daha yaygın ve agresif olduğu bildirilmektedir (Ballvora ve ark., 2011). Mücadelesinde sadece karantina önlemleri, sanitasyon ve dayanıklı çeşitlerin kullanılması etkili olurken kimyasal mücadelesi bulunmamaktadır (Stevenson ve ark., 2004; Ballvora ve ark., 2011). Dünyanın değişik bölgelerinde görülen bu hastalık etmeni Türkiye'de ilk olarak 2005 yılında rapor edilmiştir (Çakır, 2005). Daha sonra yürütülen survey çalışmalarında Ordu, Giresun, Trabzon, Nevşehir, Niğde, Kayseri ve Erzurum illerinde tespit edilmiştir (Çakır ve Maden, 2010).

S. endobioticum'un "1" nolu patotipine dayanıklılık, Sen1 adı verilen bir dominant gen tarafından kontrol edilmektedir (Gebhardt ve ark., 2006; Marczewski ve

ark., 2001). Sen1 geni XI. kromozomda Ry_{adg} geni ile benzer bir pozisyonda diploid bir germplazmda tespit edilmiştir ve ıslah çalışmalarında kullanılmaktadır (Bormann ve ark., 2004; Gebhardt ve ark., 2006; Simko ve ark., 2007).

Patates Kist Nematodları (*Globodera rostochiensis* ve *Globodera pallida*)

Globodera rostochiensis (Patates altın nematodu) ve *Globodera pallida* (Patates beyaz kist nematodu) patatesteki ekonomik kayıplara neden olan en önemli bitki parazit nematodlarıdır. Bu nematodlarla mücadelede nematisit kullanımı, biyolojik mücadele ve ekim nöbeti uygulamalarının etkin olmadığı bildirilmektedir (Michzarec ve ark., 2011; Schultz ve ark., 2012). Kist nematodlarıyla en iyi mücadele şekli dayanıklı çeşitlerin kullanılmasıdır (Sattarzadeh ve ark., 2006). *Globodera rostochiensis*'in 5 farklı ırkı (Ro1-Ro5) bulunmaktadır. Orijinal olarak *Solanum spegazzinii*'den geliştirilen ve VII. kromozomda haritalanan dominant dayanıklılık sağlayan Gro1-4 geni *Globodera rostochiensis*'in patotiplerinden Ro1 ve Ro5'e dayanıklılık sağlamaktadır (Barone ve ark., 1990; Gebhardt ve ark., 2006; Paal ve ark., 2004; Simko ve ark., 2007). Diğer dayanıklılık geni H1 dominant kalıtım göstermekte ve nematodun Ro1 ve Ro4 ırklarına dayanıklılık sağlamaktadır (Bakker ve ark., 2004). H1 geni *S. tuberosum* subsp. *andigena*'da V. kromozomda belirlenmiştir (Gebhardt ve Valkonen 2001; Takeuchi ve ark., 2008; Mori ve ark., 2011). H1 ve Gro1-4 genleriyle bağlantılı moleküler işaretleyiciler, kist nematoduna dayanıklılık ıslahı çalışmalarında yaygın olarak kullanılmakta ve ticari çeşitlere aktarılmaktadır (Bakker ve ark., 2004; Bormann ve ark., 2004; Gebhardt ve ark., 2006; Schultz ve ark., 2012). Yapılan çalışmalarda H1 geni ile bağlantılı olan bazı moleküler işaretleyiciler arasındaki bağlantının rekombinasyon nedeniyle kırılmasından dolayı etkin ve istenilen sonucu vermediği belirtilmiştir. Geliştirilen yeni moleküler işaretleyicilerden daha güvenilir sonuçlar vermiş ve *Globodera rostochiensis*'e dayanıklı-hassas genotiplerin etkin bir şekilde ayırt edilmesinde kullanılmıştır (Schultz ve ark., 2012).

Globodera pallida, kontrolünün yetersiz olduğu koşullarda verimde %20-70'e varan düşüslere neden olabilmektedir (Achenbach ve ark., 2009). *G. pallida*'ya karşı dayanıklılık sağlayan genler, kantitatif özellik gösterdikleri için fenotipik seleksiyon zor olmakta, zaman almakta ve maliyet artmaktadır (Achenbach ve ark., 2009; Sattarzadeh ve ark., 2006) Ayrıca bu nematoda karşı yapılan patolojik testleme, genotipe ve inokülasyonda kullanılan nematod popülasyonuna göre farklılık gösterebilmektedir (Sattarzadeh ve ark., 2006). Bu nedenlerden dolayı *G. pallida*'ya dayanıklı çeşit geliştirilmesi, *G. rostochiensis*'e göre daha zor olmaktadır. *G. pallida*'nın farklılaşmış 3 (Pa1, Pa2 ve Pa3) patotipinden Avrupa'da Pa2 ve Pa3 patotiplerinin karışık popülasyonu (Pa2/3) yaygın olarak görülmektedir (Sattarzadeh ve ark., 2006). *G. pallida*'ya en

önemli dayanıklılık kaynağı olarak *Solanum vernei* kullanılmaktadır (Sattarzadeh ve ark., 2006). Bu nematoda karşı dayanıklılık sağlayan genlerin haritalama çalışmalarında farklı diploid populasyonlarda çok sayıda QTL belirlenmiştir (Caromel ve ark., 2005; Sattarzadeh ve ark., 2006).

Kök-ur Nematodları (*Meloidogyne spp.*)

Meloidogyne chitwoodi, *M. fallax* ve *M. Hapla*, patates yetiştiriliciliğinde problem oluşturan en önemli kök-ur nematodlarıdır (Brown ve Mojtahedi 2005; Draaistra, 2006; Tan ve ark., 2009; Voort ve ark., 1999). Türkiye’de *Meloidogyne chitwoodi*’nin Niğde İli’nin farklı patates üretim bölgelerinde yaygın olarak bulunduğu bildirilmiştir (Devran ve ark., 2009). Bu nematodlar, patates yumrularının kabukları altında kahverengi lekelerle, yumru yüzeyinde ise urlara neden olarak yumru kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Brown ve ark., 1995). Kök-ur nematodlarının kontrolünde fumigant ilaçların kullanılması en etkili yöntemlerden birisi olmakla birlikte, geniş alanlarda nematod kontrolü maliyetli ve çevreye zararlı olmaktadır. Ekim nöbeti uygulaması özellikle dar konukçu dizisine sahip olan kök-ur nematod türlerinde yaygın şekilde kullanılmakta, geniş konukçu dizisine sahip olan türlerde ise sınırlı başarı göstermektedir. Bu nedenle patateste yaygın görülen *M. chitwoodi* ile mücadelede dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi en etkili yöntem olarak görülmektedir (Brown ve ark., 2003; Zhang ve ark., 2007).

Patateste kök-ur nematodlarına dayanıklılıkta *Solanum hougasii*, *S. bulbocastanum* ve *S. fendleri* gibi yabancı *Solanum* türleri kullanılmaktadır (Brown ve ark., 2003). Dünyada patates üretiminde önemli kök-ur nematod türü *Meloidogyne chitwoodi*’ye karşı dayanıklı çeşit geliştirme çalışmaları yapılmaktadır (Brown ve ark., 1996; Berthou ve ark., 2003). *M. chitwoodi*’ye dayanıklılık sağlayan R_{Mc1} geni *S. bulbocastanum*’dan aktarılmış ve XI. kromozomda haritalanmıştır (Brown ve ark., 1996; Gebhardt ve Valkonen, 2001; Voort ark., 1999; Zhang ve ark., 2007). R_{Mc1} dayanıklılık genine bağlı moleküler işaretleyiciler patates ıslah çalışmalarında kullanılmaktadır (Brown ve ark., 2009; Voort ve ark., 1999; Zhang ve ark., 2007).

Patates Mildiyösü (*Phytophthora infestans*)

Obligat bir fungus olan *Phytophthora infestans* dünyada patatesin en önemli etmenidir ve her yıl tüm dünyada yaklaşık 5.2 milyar £’luk ekonomik kayba neden olmaktadır (Haverkort ve ark., 2009). 1840’lı yıllarda İrlanda’da kıtlığa neden olan hastalık, patates yetiştirilen her yerde özellikle yağmurlama sulama yapılan alanlarda ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Patates bitkisinin yeşil aksamında yanıklık, yumrularında yüzeysel kuru çürüklük meydana gelmekte, nemli ve kapalı havalarda hastalığın şiddeti artmaktadır. Irkları bulunan hastalık etmeni enfekte olmuş yumrularla ve bitki artıklarıyla sonraki yetiştirme

sezonuna taşınmaktadır (Anonim, 2009-2010; Stevenson ve ark., 2004).

Patates mildiyösüne dayanıklılık; kalitatif (ırk-spesifik, tek genli) ve kantitatif (ırk-spesifik olmayan-çok genli) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Orlowska ve ark., 2012; Shi ve ark., 2012). Farklı irkları olduğu bilinen patates mildiyösüne dayanıklılık, 11 farklı R geni tarafından sağlanmaktadır. Bu genler, patatesin yabancı türü olan *Solanum demissum*’da belirlenmiş ve günümüzde ıslah çalışmalarında kullanılmaktadır (Park ve ark., 2009; Sliwka ve ark., 2010). R3 (R3a ve R3b), R5, R6, R7, R8, R9, R10 ve R11 genleri XI. kromozomda birbirine yakın pozisyonda bulunurken, diğer iki genden R2 IV. kromozomda, R1 ise V. kromozomda haritalanmıştır (Park ve ark., 2009). R1 geni Avrupa ticari çeşitlerine aktarılmış ve işaretleyici destekli seleksiyonda yaygın şekilde kullanılmaktadır (Ballvora ve ark., 2002). R2 de dayanıklılık ıslahı çalışmalarında kullanılmaktadır (Ohbayashi ve ark., 2010). Yapılan çalışmalarda, *S. demissum* kaynaklı R genlerinden 4 tanesi (R1, R2, R3 ve R10) ticari çeşitlere aktarılmış ama patojenin dayanıklılığa karşı yeni irklar geliştirmesi ve dayanıklılığın stabil olmaması bu genlerin etkinliğini azaltmıştır (Tan ve ark., 2010). Patateste *P. infestans*’a karşı dayanıklılık sağlayan R genleri ile geçicilik arasında güçlü bir linkage olması (Bormann ve ark., 2004), geri melezlemelerin uzun zaman alması, R genleriyle birlikte istenmeyen çok sayıda allelin yabancıdan gelmesi (linkage drag etkisi) gibi önemli birçok dezavantaj nedeniyle farklı dayanıklılık stratejileri ve genleri üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Park ve ark., 2009; Orlowska ve ark., 2012).

Son yıllarda patateste *P. infestans*’a kısmi dayanıklılık sağlayan R genleri haricinde yabancı *Solanum* türlerinden geliştirilen ve daha etkin dayanıklılık sağlayan *Rpi* genleri (*Resistance to P. infestans*) yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Van der Vossen ve ark., 2003; Chen ve ark., 2012). *Solanum berthaultii*, *S. bulbocastanum*, *S. pinnatisectum*, *S. mochiquense*, *S. phureja* ve *S. microdontum*’da *Rpi* genleri belirlenmiştir (Park ve ark., 2009). *Rpi* genleri gibi tür spesifik olmayan dayanıklılık, R genlerine göre daha stabil ve geniş ölçekli dayanıklılık sağladığı için çalışmalar kantitatif dayanıklılık (QTL) üzerinde yoğunlaşmıştır (Shi ve ark., 2012). Patates mildiyösüne kantitatif dayanıklılığın genetik temellerini analiz etmek üzere farklı açılım gösteren populasyonlarda QTL’leri değerlendirmek için çalışmalar yapılmış ve QTL’ler elde edilmiştir (Shi ve ark., 2012). QTL dayanıklılık çalışmalarına ilave olarak mildiyöye karşı koruma gösterecek dayanıklılık sağlayan patogenesis ile ilişkili proteinler (pathogenesis-related proteins-PR) üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır. Bunlar bitki-patojen interaksyonlarında önemli rol oynamakta ve herhangi bir patojen saldırısında bitkide dayanıklılık sağlamaktadır. Belirlenen PR genleri işaretleyici olarak kullanılarak dayanıklılık takip edilmektedir. Patateste bulunan

“StPRp27” bir PR geni olup mildiyö etmenine karşı dayanıklılık sağlamak için kullanılmaktadır (Shi ve ark., 2012).

P. infestans dayanıklılık ıslahı çalışmalarında daha stabil bir dayanıklılık sağlamak için klasik ıslah ile genetik modifikasyon (GM) stratejisi birlikte kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalarda 4 *Rpi* geni; R1 (Ballvora ve ark., 2002), R3a (Huang ve ark., 2005), *Rpi-blb-1/RB* (Van der Vossen ve ark., 2003) ve *Rpi-blb2* (Van der Vossen ve ark., 2005) genleri izole edilerek GM stratejisi ile hassas çeşitlere aktarılmış ve *P. infestans*'ın değişik ırklarına dayanıklılık sağlanmıştır (Park ve ark., 2009). GM stratejisiyle hem “linkage drag” gibi problemlerin önüne geçilmiş hem de genetik olarak değiştirilmiş organizma çalışmalarından farklı olarak aynı tür içinde yabancılerden ya da başka bitkilerden (bitkiden bitkiye gen aktarma) kültür formlarına genlerin aktarılmasına olanak sağlanmıştır (Park ve ark., 2009). Son yıllarda *Rpi* genlerinin piramitlemesi yolu ile birden fazla dayanıklılık geni aktarma çalışması yapılmış (Tan ve ark., 2010) ve 4 *Rpi* geninden ikisini taşıyan GM çeşitler geliştirilmiştir (Park ve ark., 2009).

Sonuç

İnsan beslenmesi açısından önemi her geçen gün artan ve dünyanın değişik bölgelerinde yetiştirilen patatesin üretimi hastalık ve zararlılar tarafından sınırlanmaktadır. Bu etmenlere karşı kültürel önlemler, ekim nöbeti, biyolojik ve kimyasal uygulamalar gibi değişik mücadele yöntemleri kullanılmakla birlikte en etkili, ekonomik ve çevreci yöntem dayanıklı çeşit kullanımıdır. Dayanıklı patates çeşitlerinin ıslahı; patates bitkisinin genetik yapısından ve yumru ile vejetatif olarak çoğaltılmasından dolayı teknik olarak oldukça zor, yüksek maliyetli ve uzun zaman alan bir çalışma gerektirmektedir. Son yıllarda patateste ekonomik öneme sahip etmenlere dayanıklılık sağlayan genler için moleküler işaretleyiciler geliştirilmesi ve bunların seleksiyon çalışmalarına dahil edilmesiyle patates ıslahındaki söz konusu zorluklar aşılabilmektedir.

Kaynaklar

- Achenbach, U., Paolo, J., Ilarionova, E., Lübeck, J., Strahwald, J., Tacke, E., Hofferbert, H.R., Gebhard, C., 2009. Using SNP markers to dissect linkage disequilibrium at a major quantitative trait locus for resistance to the potato cyst nematode *Globodera pallida* on potato chromosome V. *Theoretical and Applied Genetics*, 118: 619-629.
- Anonim, 2009. Patates Hastalık ve Zararlıları ile Mücadele. *Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü*, 1-58, Ankara
- Anonim, 2010. Patates Hastalık ve Zararlıları ile Mücadele. *Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü*, 1-48, Ankara

- Bakker, E., Achenbach, U., Bakker, J., Van Vliet, J., Peleman, J., Segers, B., Heijden, S., Linde, P., Van Eck, H., Vossen, E., Graveland, R., Hutten, R., Govere, A., 2004. A high-resolution map of the *H1* locus harbouring resistance to the potato cyst nematode (*Globodera rostochiensis*). *Theoretical and Applied Genetics*, 109: 146-152.
- Bakker, E., Borm, T., Prins, P., Van der Vossen, E., Uenk, H., Arens, M., Boer, J., Eck, H., Muskens, M., Vossen, J., Linden G., Ham, R., Klein-Lankhorst, R., Visser, R., Smant, G., Bakker, J., Govere, A., 2011. A genome-wide genetic map of NB-LRR disease resistance loci in potato. *Theoretical and Applied Genetics*, 123: 493-508.
- Ballvora, A., Ercolano, M.R., Weiß, J., Meksem, K., Bormann, C.A., Oberhagemann, P., Salamini, F., Gebhardt, C., 2002. The *R1* gene for potato resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) belong to the *leucine zipper/NBS/LRR* class of plant resistance genes. *Plant Journal*, 30: 361-371.
- Ballvora, A., Flath, K., Lübeck, J., Strahwald, J., Tacke, E., Hofferbert, H.R., Gebhard, C., 2011. Multiple alleles for resistance and susceptibility modulate the defence response in the interaction of tetraploid potato (*Solanum tuberosum*) with *Synchytrium endobioticum* pathotypes 1, 2, 6 and 18. *Theoretical and Applied Genetics*, 123:1281-1292.
- Barone, A., Ritter, E., Schachtschabel, U., Debener, R., Salamini F., Gebhardt, C., 1990. Localization of restricted fragment length polymorphism mapping in potato of a major dominant gene conferring resistance to the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis*. *Molecular Gene and Genetic.*, 224: 177-182.
- Barone, A., 2004. Molecular marker-assisted selection for potato breeding. *American Journal of Potato Research*, 81: 111-117.
- Berthou, F., Kouassi, A., Bossis, M., Dantec, J.P., Eddaoudi, M., Ferji, Z., Pele, R., Taghzouit, M., Ellisseche, D., Mugniery, D., 2003. Enhancing the resistance of the potato to southern root-knot nematodes by using *Solanum sparsipilum* germplasm. *Euphytica*, 132: 57-65.
- Boris Sagredo, D., Monica-Mathias, R., Claudia-Barrientos, P., Ivette-Acuna, B., Julia-Kalazich, B., Santos-Rojas, J., 2009. Evaluation of scar RYSC3 marker of the *Ry_{adg}* gene to select resistance genotypes to potato virus Y (PVY) in the Inia potato breeding program. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69: 305-315.
- Bormann, C.A., Rickert, A.M., Ruiz, R.A.C., Paal, J., Lübeck, J., Strahwald, J., Buhr, K., Gebhard, C. 2004. Tagging quantitative trait loci for maturity-corrected late blight resistance in tetraploid potato

- with PCR-based candidate gene markers. *MPMI*, 17: 1126-1138.
- Bostan, H., Haliloğlu, K., 2004. Distribution of PLRV, PVS, PVX and PVY (PVY^N, PVY^O, PVY^C) in the seed potato tubers in Turkey. *Pakistan Journal Botany*, 7: 1140-1143.
- Bostan, H., Güçlü, Ç., Öztürk, E., Özdemir, I., İlbağ, H., 2006. Influence of aphids on the epidemiology of potato virus diseases (PVY, PVS and PLRV) in the high altitude areas of Turkey. *Pakistan Journal Biological Science*, 9: 759-765.
- Bradshaw, J.E., 2007. The breeding of potato. Industry highlights. Principles of Plant Genetics and Breeding (Editör: Acquaah, G.), *Blackwell Publishing*, p: 539-542.
- Brown, C.R., Mojtahedi, H., Santo, G.S., 1995. Introgression of resistance to Columbia and northern root-knot nematode from *Solanum bulbocastanum* into cultivated potato. *Euphytica*, 83:71-78.
- Brown, C.R., Mojtahedi, H., Santo, G.S., 2003. Characteristics of resistance to Columbia root-knot introgressed from several Mexican and North American wild potato species. *Acta Horticulturae*, 619: 117-225.
- Brown, C.R., Mojtahedi, H., 2005. Breeding for resistance to *Meloidogyne* species and trichodoid-vectored virus. In M.K. Razdan and A.K. Matto (ed.). Genetic improvement of *Solanaceous* crops, Vol 1. *Potato. Science Publication*. Einfield, NH. . p, 267-292.
- Brown, C.R., Mojtahedi, H., Zhang, L.H., Riga, E., 2009. Independent resistant reaction expressed in root and tuber of potato breeding lines with introgressed resistance to *Meloidogyne chitwoodi*. *Phytopathology*, 99: 1085-1089.
- Brown, C.R., Yang, C., Mojtahedi, H., Santo, G.S., Masuelli, R., 1996. RFLP analysis of resistance to Columbia root-knot nematode derived from *Solanum bulbocastanum* in a BC2 population. *Theoretical and Applied Genetics*, 92: 572-576.
- Caromel, B., Mugniery, D., Kerlan, M.C., Andrzejewski, S., Palloix, A., Ellisçhe, D., 2005. Resistance quantitative trait loci originating from *Solanum sparsipilum* act independently on the sex ration of *Globodera pallida* and together for developing a necrotic reaction. *Mol. Plant Microbe Interactions*, 18: 1186-1194.
- Chen, Y., Liu, Z., Halterman, D.A., 2012. Molecular determinants of resistance activation and suppression by *Phytophthora infestans* effector IPI-O. *Plos Pathogens*, 8: 1-10.
- Çakır, E., 2005. First report of potato wart disease in Turkey. *Journal Plant Pathology*, 54: 584p.
- Çakır, E., Maden, S., 2010. Patates siğil hastalığı etmeni (*Synchytrium endobioticum* (Schilb) Perc.)'un patotipleri, dünya ve Türkiye'deki durumu. *Selçuk Tarım ve Gıda Dergisi*, 24:80-91.
- Draaistra, J., 2006. Genetic analysis of root-knot nematode resistance in potato. *PhD thesis, Wageningen University, Netherland*.
- Devran, 2003. Moleküler işaretleyicilerin dayanıklılık ıslahında kullanılması. *Derim*, 20:1-6.
- Devran, Z., Mutlu, N., Özarslandan, A., Elekcioğlu, H., 2009. Identification and genetic diversity of *Meloidogyne chitwoodi* in potato production areas of Turkey. *Nematropica*, 39: 75-83.
- FAO. Production. Crops. Country.2010. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> (Ulaşım: 24 Şubat 2012)
- FAO 2009. Production. Crops. Country.2010. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> (Ulaşım: 24 Şubat 2012)
- Flis, B., Henning, J., Strelczyk-Zyta, D., Gebhardt, C., Marczewski, W., 2005. The Ry-f_{st0} gene from *Solanum stoloniferum* for extreme resistance to Potato virus Y maps to potato chromosome XII and is diagnosed by PCR marker GP122₇₁₈ in PVY resistant cultivars. *Molecular Breeding*, 15: 95-101.
- Gebhardt, C., Bellin, D., Henselewski, H., Lehmann, W., Schwarzfischer, J., Valkonen, J.P.T., 2006. Marker assisted combination of major genes for pathogen resistance in potato. *Theoretical and Applied Genetics*, 112: 1458-1464.
- Gebhardt, C., Valkonen, J.P.T., 2001. Organization of genes controlling disease resistance in the potato genome. *Annual Review of Phytopathology*, 39: 79-102.
- Güner, Ü., Yorgancı, Ü., 2006. Niğde ve Nevşehir illeri patates ekiliş alanlarında saptanan viral etmenler. *Bitki Koruma Bülteni*, 46: 35-49.
- Haverkort, A., Struik, P., Visser, R., Jacobsen, E., 2009. Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. *Potato Research*, 52: 249-264.
- Huang, S., Van der Vossen, E.A.G., Kuang, H., Vleeshouwers, V.G.A.A., Zhang, N., Borm, T.J.A., Van Eck, H.J., Bakker, B., Jacobsen, E., 2005. Comparative genomics enabled the isolation of the R3a late blight resistance gene in potato. *Plant Journal*, 42: 251-261.
- Kasai, K., Morikawa, Y., Sorri, V.A., Gebhardt, C., Valkonen, J.P.T., Watanabe, K.N., 2000. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene Ry_{adg} based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome*, 43: 1-8.

- Marczewski, W., Flis, B., Syller, J., Schäfer-Pregl, R., Gebhardt, C., 2001. A major QTL for resistance to potato leafroll virus (PLRV) is located in a resistance hotspot on potato chromosome XI and is tightly linked to N-gene-like markers. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 14: 1420-1425.
- Milczarec, D. Flis, B., Przetakiewicz, A., 2011. Suitability of markers for select potatoes resistant to *Globodera* spp. *American Journal of Potato Research*, 88: 245-255.
- Mori, K., Mukojima, N., Nakao, T., Tamiya, S., Sakamoto, Y., Sohbaru, N., Hayashi, K., Watanuki, H., Nara, K., Yamazaki, K., Ishii, T., Hosaka, K., 2012. Germplasm Release: Saikai 35, a male and female fertile breeding line carrying *Solanum phureja*-derived cytoplasm and potato cyst nematode resistance (H1) and potato virus Y resistance (Ry_{che}) genes. *American Journal of Potato Research*, 89: 63-72.
- Mori, K., Sakamoto, Y., Mukojima, N., Tamiya, S., Nakao, T., Ishii, T., Hosaka, K., 2011. Development of a multiplex PCR method for simultaneous detection of diagnostic DNA markers of five disease and pest resistance genes in potato. *Euphytica*, 180: 347-355.
- Mullins, E., Milbourne, D., Petti, C., Doyle-Prestwich, B., Meade, C., 2006. Potato in the age of biotechnology. *Trends in Plant Science*, 11: 254-260.
- Ohbayashi, K., Nakato, N., Chaya, M., Kamura, K., 2010. Development of a detection method of resistance to potato disease and pest using DNA markers. I detection methods of resistance to potato virus X, potato cyst nematode and late blight. *Bulletin Nagasaki Agriculture, Forest and Technology Development Center*, 1:1-26.
- Orlowska, E., Fiil, A., Kirk, H.G, Llorente, B., Cvitanich, C., 2012. Differential gene induction in resistant and susceptible potato cultivars at early stages of infection by *Phytophthora infestans*. *Plant Cell Reports*, 31: 187-203.
- Paal, J., Henselewski, H., Muth, J., Meksem, K., Menendez, C.M., Salamini, F., Ballvora, A., Gebhardt, C., 2004. Molecular cloning of the potato *Gro1-4* gene conferring resistance to patotype *Ro1* of the root cyst nematode *Globodera rostochiensis*, based on a candidate gene approach. *Plant Journal*, 38: 285-297.
- Park, T.H., Vleeshouwers, G.G.A. A., Jacobsen, E., Van der Vossen, E., Visser, R.G.F., 2009. Molecular breeding for resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in potato (*Solanum tuberosum* L.): a perspective of cisgenesis. *Plant Breeding*, 128: 109-117.
- Satterzadeh, A., Achenbach, U., Lübeck, J., Strahwald, J., Tache, E., Hofferbert, R.T., Rothsteyn, T., Gebhardt, C., 2006. Single nucleotide polymorphism (SNP) genotyping as basis for developing a PCR-based marker highly diagnostic for potato varieties with high resistance to *Globodera pallida* pathotype *Pa2/3*. *Molecular Breeding*, 18: 301-312.
- Schultz, L., Cogan, N.O.I., Mclean, K., Finlay, M., Dale, B., Bryan, G.J., Forster, J.W., Slater, A.J., 2012. Evaluation and implementation of potential diagnostic molecular marker for H1-conferred potato cyst nematode resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Breeding*, 131: 315-321.
- Shi, Z., Tian, Z., Liu, Z., Vossen, E.A.G., Xie, C., 2012. A potato pathogenesis-related protein gene, StPRp27, contributes to race-nonspecific resistance against *Phytophthora infestans*. *Molecular Biology Reports*, 39: 1909-1916.
- Simko, I., Shelley, J., Stephenson, S., Spooner, D., 2007. Genetics of resistance to pest and disease. *Potato Biology and Biotechnology Advances and Perspectives (Editörler: Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., MacKerron, D.K.L., Taylor, M.A. and Ross, H.A.)*, Elsevier, p:117-147.
- Sliwka, J., Jakuczun, H., Kaminski, P., Zimnoch-Guzowska, E., 2010. Marker assisted selection of diploid and tetraploid potatoes carrying *Rpi-phu1*, a major gene for resistance to *Phytophthora infestans*. *Journal of Applied Genetics*, 51: 133-140.
- Solomon-Blackburn, R.M., Barker, H., 2001. A review of host major-gene resistance to potato viruses X, Y, A and V in potato: genes, genetics and maps locations. *Heredity*, 86: 8-16.
- Song, Y.S., Heptin, G.L., Schweizer, L., Hartl, G., Wenzel, Schwarzfischer, A., 2005 Mapping of extreme resistance to PVY(*Rysto*) on chromosome XII using anther-culture-derived primary dihaploid potato lines. *Heredity*, 111: 879-887.
- Sökmen, M.A., Ayan, A.K., Şevik, M.A., 2005. Trabzon ve Bayburt İllerinde tohumluk patates (*Solanum tuberosum* L.) yumrularında belirlenen virüsler. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20: 23-26.
- Stevenson, W.R., Loria, R., Franc, G.D., Weingartner, D.P., 2004. Compendium of Potato Diseases (2nd ed.). *The American Phytopathological Society*, APS Press, U.S.A.
- Takeuchi, T., Sasaki, J., Suzuki, T., Horita, H., İketani, S., 2008. High-resolution maps and DNA markers of the potato virus Y resistance gene Ry_{che} and the potato cyst nematode resistance gene *H1*. *Breeding Research*, 10 (Suppl 1): 148.

- Tan, M.Y.A., Alles, R., Hutten, R.C.B., Visser, R.G.F., van Eck, H.J., 2009. Pyramiding of *Meloidogyne hapla* resistance genes in potato does not result in an increase of resistance. *Potato Research*, 52: 331-340.
- Tan, M.Y.A., Hutten, R.C.B., Visser, R.G.F., van Eck, H.J., 2010. The effect of pyramiding *Phytophthora infestans* resistance genes *R_{Pi-med1}* and *R_{Pi-ber}* in potato. *Theoretical and Applied Genetics*, 121: 117-125.
- Valkonen, J.P.T., 2007. Viruses: Economical losses and biotechnological potential Potato Biology and Biotechnology Advances and Perspectives (Editörler: Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., MacKerron, D.K.L., Taylor, M.A. and Ross, H.A.), Elsevier, p: 619-633.
- Voort, J., Lindeman, W., Folkerstma, R., Hutten, R., Overmars, H., van der Vossen, E., Jacobsen, E., Bakker J., 1999. A QTL for broad-spectrum resistance to cyst nematode species (*Globodera spp.*) maps to a resistance gene cluster in potato. *Theoretical and Applied Genetics*, 96: 654-661.
- Van der Vossen, E., Gros, E.A.G.J., Sikkema, A., Muskens, M., Wouters, D., Wolters, P., Pereira, A., Allefs, S., 2005. The *R_{Pi-blb-2}* gene from *Solanum bulbocastanum* is an *Mi-1* gene homolog conferring broad-spectrum late blight resistance in potato. *Plant Journal*, 44: 208-222.
- Van der Vossen, E., Sikkema, A., Hekkert, B.L., Gros, J., Stevens, P., Muskens, M., Wouters, D., Pereira, A., Stiekema, W., Allefs, S., 2003. An ancient *R* gene from the wild potato species *Solanum bulbocastanum* confers broad-spectrum resistance to *Phytophthora infestans* in cultivated potato and tomato. *Plant Journal*, 36: 867-882.
- Witek, K., Strzelczyk-Zyta, D., Henning, J., Marczewski, W., 2006. A multiplex PCR approach to simultaneously genotype potato towards the resistance alleles *Ry-f_{sto}* and *Ns*. *Molecular Breeding*, 18: 273-275.
- Zhang, L.H., Mojtahedi, H., Kuang, H., Baker, B., Brown, C.R., 2007. Marker-assisted selection of Columbia root-knot nematode resistance to introgressed from *Solanum bulbocastanum*. *Crop Science*, 47: 2021-2026.