



Food and Agriculture
Organization of the
United Nations



Pestisitlerin Dağıtım ve Kullanımıyla İlgili Uluslararası Uygulama İlkeleri

Pestisit Direncinin Önlenmesi ve Yönetimi Rehberi



Eylül 2012

Kimyasalların Sağlıklı Yönetimi için Örgütler Arası Program (IOMC), kimyasal güvenlik alanında işbirliğini güçlendirmek ve uluslararası koordinasyonu artırmak için, 1992 BM Çevre ve Kalkınma Konferansı tavsiyelerini takiben 1995 yılında kurulmuştur. Katılımcı kuruluşlar Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD), Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), Birleşmiş Milletler Endüstriyel Kalkınma Örgütü (UNIDO), Birleşmiş Milletler Eğitim ve Araştırma Enstitüsü (UNITAR) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'dür. Dünya Bankası ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) gözlemcilerdir. IOMC'nin amacı, insan sağlığı ve çevre ile ilgili olarak, kimyasalların sağlıklı bir şekilde yönetilmesini sağlamak için katılımcı kuruluşlar tarafından ortak veya bireysel olarak izlenen politika ve faaliyetlerin koordinasyonunu teşvik etmektir.

Bu yayın IOMC bağlamında geliştirilmiştir. İçerikler, IOMC'ye dahil olan bireysel kuruluşların görüşlerini veya belirtilen politikalarını mutlaka yansıtmayabilir.

The designations employed and the presentation of material in this information product do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) concerning the legal or development status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. The mention of specific companies or products of manufacturers, whether or not these have been patented, does not imply that these have been endorsed or recommended by FAO in preference to others of a similar nature that are not mentioned.

The views expressed in this information product are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views or policies of FAO.

© FAO, 2023



Some rights reserved. This work is made available under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO licence (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/legalcode>).

Under the terms of this licence, this work may be copied, redistributed and adapted for non-commercial purposes, provided that the work is appropriately cited. In any use of this work, there should be no suggestion that FAO endorses any specific organization, products or services. The use of the FAO logo is not permitted. If the work is adapted, then it must be licensed under the same or equivalent Creative Commons licence. If a translation of this work is created, it must include the following disclaimer along with the required citation: "This translation was not created by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAO is not responsible for the content or accuracy of this translation. The original [Language] edition shall be the authoritative edition."

Disputes arising under the licence that cannot be settled amicably will be resolved by mediation and arbitration as described in Article 8 of the licence except as otherwise provided herein. The applicable mediation rules will be the mediation rules of the World Intellectual Property Organization <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> and any arbitration will be conducted in accordance with the Arbitration Rules of the United Nations Commission on International Trade Law (UNCITRAL).

Third-party materials. Users wishing to reuse material from this work that is attributed to a third party, such as tables, figures or images, are responsible for determining whether permission is needed for that reuse and for obtaining permission from the copyright holder. The risk of claims resulting from infringement of any third-party-owned component in the work rests solely with the user.

Sales, rights and licensing. FAO information products are available on the FAO website (www.fao.org/publications) and can be purchased through publications-sales@fao.org. Requests for commercial use should be submitted via: www.fao.org/contact-us/licence-request. Queries regarding rights and licensing should be submitted to: copyright@fao.org.

İçindekiler

Kısaltmalar.....	2
Tanımlar	3
1 Giriş	5
1.1 Rehberin kapsamı	5
1.2 Sorun ve nedenleri	5
1.3 Direnç yönetiminin amaç ve zorlukları	6
1.4 Çiftçi eğitimi	6
2 Direnç riskinin değerlendirilmesi	7
2.1 Direncin temel prensipleri	7
2.2 Direnç mekanizması	8
2.3 Direnç gelişiminde anahtar faktörler	10
2.3.1 Biyolojik faktörler	11
2.3.2 Genetik faktörler	14
2.3.3 İşletimsel faktörler.....	16
2.4 Fungusite direnci riski.....	19
2.5 Herbist direnci riski.....	22
2.6 İnsektisite direnç riski.....	24
2.7 Rodentisite direnç riski.....	26
3 Pestisite direncin önlenmesi ve yönetimi.....	26
3.1 Direnç yönetim planının geliştirilmesi	26
3.2 Genel ilkeler.....	26
3.3. Her türden pestisitlere - direnç yönetimi taktikleri	28
3.4 Fungusitlerde direnç yönetimi taktikleri	30
3.5 Herbisit direnci yönetimi taktikleri.....	32
3.6 İnsektisit direnci yönetimi taktikleri.....	34
3.7 Rodentisite direnç yönetimi taktikleri.....	35
4 Direncin saptanması ve doğrulanması	36
4.1 Direnci saptama ve izlemenin amaçları.....	36
4.2 Direnci doğrulama yöntemleri.....	37
4.3 Test işlemleri.....	39
5 Direnç ve transgenik bitkiler	39
5.1 Giriş.....	39
5.2 Bt bitkilerde direnç geliştirmenin tarihçesi	39
5.3 Bt toksinlerine karşı direnç gelişimini önleme taktikleri	40
6 Direnç ve direnç vektörleri.....	42
Ek 1 - Ek okuma ve başvuru kaynakları	43
Ek 2 - Gerçek direnç yönetim planlarına örnekler	47
Ek 3 - Uzman grupları.....	49

Kısaltmalar

<i>Bt</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i>
D bireyler	Dirençli bireyler (R individuals)
DiH	Direnç için Heterozigot (RS)
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü (WHO)
Du bireyler	Duyarlı bireyler (S individuals)
DYP	Direnç Yönetim Planı (RMP)
EM	Etki Mekanizması (MoA)
EZY	Entegre zararlı mücadelesi (IPM)
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FDEK	Fungusit Direnci Eylem Komitesi (FRAC)
GDO	Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar (GMO)
HD	Homozigot Dayanımlı (RR)
HDEK	Herbisit Direnci Eylem Komitesi (HRAC)
HDu	Homozigot Duyarlı (SS)
İDEG	İnsektisit Direnci Eylem Grubu (IRAG)
İDEK	İnsektisit Direnci Eylem Komitesi (IRAC)
kdd	knock-down dayanıklılığı (kdr)
OKP	Onchocerciasis Kontrol Programı (OCP)
OP	Organofosfat (OP)
RDEK	Rodentisit Direnci Eylem Komitesi (RRAC)

Tanımlar

Ayrırt edici doz - dirençli ve duyarlı bireyler arasında ayırım yapmak için kullanılan ve alan etkinliğiyle doğrudan ilişkili olmayan bir doz.

Çapraz direnç - bir pestisite karşı kazanılmış olan direncin, hiç temasta bulunmadığı diğer bir pestisite karşı da kazanılmış olması durumudur. Çapraz direnç, iki veya daha fazla bileşiğin aynı hedef bölge üzerinde çalışması ve / veya aynı direnç mekanizmasından etkilenmesi nedeniyle oluşur. Çapraz direnç, her zaman aynı şekilde olmamak kaydıyla en yaygın olarak, aynı etki tarzına sahip olan ve genellikle, kimyasal içeriği aynı olan kimyasal gruplarla ilişkili bileşiklerde gelişir. Tam veya kısmi olabilir (dirençten birden fazla mekanizma sorumluyorsa).

Çok bölgeli bileşik - birden fazla hedef bölgeyi etkileyen bileşiktir. Organizmanın dirençli hale gelmesi için, birden fazla hedef bölgede direnç geliştirmesi gerekecektir ki bu, yalnızca bir hedef bölgeyi etkileyen bileşiğe direnç geliştirmekten daha zordur.

Çoklu direnç - aynı organizmada birkaç farklı direnç mekanizmasının eşzamanlı varlığıdır. Birden çok pestisit sınıfına direnç sağlamak için farklı direnç mekanizmaları bir araya gelebilir. Alanda çoklu direnç ve çapraz direnç görülebilmektedir, ancak bunlardan birincisi seleksiyondan kaynaklanırken, ikincisi paylaşılan direnç mekanizmalarının sonucudur.

Davranışsal direnç - pestisitlerin öldürücü etkilerinden kaçınmasına yardımcı olmak üzere, zararlının davranışında ortaya çıkan herhangi bir değişikliktir. Bu durumda zararlı organizma hâlâ pestisite duyarlı olup öldürücü bir doza maruz kalınca ölür. Sonuçta, pestisitten kaçan bireyler hayatta kalıp çoğalarak davranışsal olarak dirençli bir neslin gelişmesine yol açabilir.

Diploid - çekirdekte çiftler halinde ikişer homolog kromozoma sahip olma durumudur. Böylece haploid bireylerdekinin iki katı kromozom bulunur ve genellikle 2n olarak ifade edilir.

Direnç (pratik) - bir zararlı popülasyonunu üzerinde beklenen kontrol düzeyine ulaşmak için, belli bir zararlı türüne karşı etiket tavsiyesine göre kullanıldığında ve ürün depolama, uygulama ve olağandışı iklim veya çevre koşullarında oluşacak sorunların, başarısızlığın nedeni olmayacak şekilde bertaraf edilebildiği durumlarda, zararlı popülasyonunun duyarlılığında birden fazla kez tekrarlanan başarısızlıkla sonuçlanan kalıtsal direnç.

Direnç (teknik) - pestisite direnç seleksiyonunun sonucu olarak bir organizmada oluşan, arazide zararlı kontrolünü bozabilecek genetik değişiklik.

Direnç mekanizması - pestisitinin öldürücü etkisini önlemek için zararlının kullandığı biyolojik işlemlerdir. Dirençli organizmalar birden fazla direnç mekanizmasına sahip olabilir.

Direnç seleksiyonu - popülasyondaki duyarlı bireyler pestisit uygulamasıyla yok edilirken, dirençli bireylerin hayatta kalması durumudur. Pestisite karşı giderek daha az duyarlı hale gelen bireyler "selekte edilir". Bu seleksiyon süreci zararlı türüne, pestisitle temas durumuna ve belirli bir pestisite karşı direncin genetiğine bağlı olarak, bir veya iki mevsim kadar hızlı olabileceği gibi yavaş şekilde birkaç yıl içinde de gelişebilir.

Etki Mekanizması (EM) - bir pestisitinin mutata zararlı biyolojisini bozarak genellikle zararlının ölümüyle sonuçlanan biyokimyasal süreçtir. Normalde bu durum, pestisitinin hedef bir bölgeye bağlanması şeklinde ya da önemli bir biyolojik süreç olarak gerçekleşir.

Haploid - somatik bir hücrede tek bir eşleşmemiş kromozom setine sahip olma durumu. Haploidi, eşey ve bakteri hücrelerinin bir özelliğidir.

Metabolik direnç - metabolik bir süreçle ortaya çıkan dirençtir. Toksini, duyarlı zararlılardan daha hızlı detoksifiye edebilme, parçalayabilme veya vücutlarını toksik moleküllerden hızla kurtarma durumu bu tür dirence örnektir. Böcekler, böcek öldürücüleri parçalamak için enzim sistemlerini kullanırlar. Dirençli türler, bu enzimlerin daha yüksek seviyelerini alarak veya detoksifikasyon etkisi daha yüksek olan enzimler sayesinde direnç oluşturabilirler. Bu enzim sistemleri daha etkin olmanın yanı sıra, geniş bir aktivite spektrumuna sahip olarak birçok farklı pestisiti de bozabilir.

Penetrasyon direnci - esasen böceklerle sınırlı olup, böceğin gövdesindeki kütikula tabakasının, pestisit vücuda nüfuz etmesini yavaşlattığı bir direnç mekanizmasıdır. Penetrasyon direnci genellikle diğer direnç biçimleriyle birlikte mevcuttur ve azalan penetrasyon, diğer mekanizmaların etkilerini güçlendirir.

Pestisit - gıda, tarım ürünleri, kereste ve ağaç ürünleri veya yemlerin üretimi, işlenmesi, depolanması, taşınması, pazarlanması sırasında veya başka bir yolla zarar veren, insan veya hayvan hastalık vektörleri, zararlı böcekler, istenmeyen bitki türleri veya zarara neden olan hayvanlar dahil olmak üzere, herhangi bir zararlıyı kaçırmak, yok etmek veya kontrol etmek için tasarlanmış, herhangi bir madde, madde karışımı veya virüsler dahil mikro organizmalardır. Böcek veya bitki büyüme düzenleyicileri olarak kullanılması amaçlanan maddeler, yaprak dökücüler, kurutucular, meyvelerin erken dökülerek seyrekleşmesini önleyen maddeler, depolama ve nakliye sırasında ürünün bozulmasını önlemek için hasat öncesi ve sonrası uygulanan maddeler de bu kapsamdadır. Bu terim ayrıca, pestisit performansının ayrılmaz parçası olan pestisit eş etkin ilaçları ve koruyucuları da kapsar.

Teşhis dozu - toplanan zararlıların pestisite dayanım testinde etkili olduğu halde, saha denemelerinde başarız kalan pestisit dozudur.

Pestisit Direncinin Önlenmesi ve Yönetimi Rehberi

1 Giriş

1.1 Rehberin kapsamı

Bu rehber, tarımda pestisit direnci sorunuyla baş etme ve ürünleri zararlılardan korurken pestisit direnci gelişiminin nasıl sınırlandıracağı konularını ele almaktadır. Rehber, pestisitlere karşı direnç yönetimi planlarını hazırlayan veya değerlendiren bilimsel, teknik ve politika uzmanları ile yeni pestisitlerin ruhsatlanması veya verilmiş ruhsatların yenilenmesi sırasında direnç gelişim riskini değerlendirmekle görevli yöneticiler için tasarlanmıştır.

Rehber aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir:

- ilk bölüm kısaca sorunlar ve nedenlerini özetlemiş, pestisit direncini yönetmedeki hedeflere ve zorluklara değinmiştir;
- bölüm 2, direnç gelişimini etkileyen faktörleri, riskin nasıl değerlendirileceğini veya pestisite karşı direncin gelişme olasılığını anlatır;
- bölüm 3, direnci önlemek ve yönetmek için gerçekleştirilecek uygulama ve stratejileri açıklar;
- bölüm 4, direncin tarla koşullarında nasıl belirlendiğini ve doğrulandığını açıklar;
- bölüm 5, Bt ürünlerinde direncin nasıl önlendiğini anlatır;
- bölüm 6, kısaca insan hastalık vektörlerindeki dirence değinir;
- ek 1 daha fazla basılı ve çevrimiçi kaynakların bir listesini verir;
- ek 2 direnç yönetimi planlarının gerçek hayattaki örneklerine ilişkin internet bağlantılarını içerir.

Bu rehber, tarımda transgenik ürünler dahil olmak üzere böcekler, yabancı otlar, mantari hastalıklar ve kemirgenlerde, kimyasal pestisitlere karşı direncin yönetimine odaklanmaktadır. Açıklanan ilkelerin çoğu, halk sağlığı veya ormancılık gibi pestisit kullanılan alanlar için geçerli olsa da halk sağlığı zararlıları ve hastalık vektörleri için pestisit direnç yönetimi hakkında rehberlik yapacak başka kaynaklar mevcut olduğundan, diğer kullanım şekilleri ayrıntılı olarak ele alınmamaktadır.

1.2 Sorun ve nedenleri

Direnç, bir organizmanın normalde onu öldürecek pestisit dozuna maruz kaldığı halde hayatta kalmasını sağlayan genetik temelli bir özelliktir. Direnç genleri, bazı zararlı bireylerinde genetik mutasyon ve kalıtım nedeniyle doğal olarak ortaya çıkar. Tekrarlanan pestisit kullanımının getirdiği bir seleksiyon süreci nedeniyle zararlı popülasyonlarına yayılırlar. Dirençli bireyler hayatta kaldığı ve sonra da çoğaldığı için dirençli popülasyonlar gelişerek bu özelliği sonraki nesillerde “selekte edilir” ve duyarlı bireyler ortadan kalkar. Pestisit uygulaması devam ederse, selekte edilerek hayatta kalanların oranı artar ve duyarlı bireylerin oluşturduğu popülasyon, pestisit artık kabul edilebilir bir kontrol sağlayamadığı düzeye düşer.

Belirli zararlı kontrol uygulamalarının, zararlıların duyarlı popülasyonlarının sürekli olarak kaybını ve direnç gelişimini şiddetlendirdiği gösterilmiştir.

Bu uygulamalar aşağıdaki hususları içermektedir:

- tek bir pestisit veya buna çok yakın başka pestisitlerin aynı zararlı popülasyonuna sürekli ve sık uygulanması;
- etikette tavsiye edilenlerin altında veya üstündeki oranların uygulanması;
- uygulama yapılan alan kapsamının yetersiz olması;
- nesil süreleri kısa olan büyük popülasyonlu organizmalara sık sık pestisit uygulanması;
- mümkün olduğunda pestisit dışı kontrol önlemlerinin uygulanmaması; ve
- larva ve yetişkin aşamalarındaki zararlılara tek veya ilişkili bileşiklerin eşzamanlı olarak uygulanması.

Bunlara ek olarak, zararlı ot tohumlarının ve sporların yayılmasını önlemeye yardımcı olan ürün nöbeti ve çiftlik ekipmanının temizlenmesi gibi iyi tarım uygulamalarına uyulmaması, direncin yayılmasını şiddetlendirebilir.

1.3 Direnç yönetiminin amaç ve zorlukları

Direnç yönetiminin amacı, zararlı popülasyonlarında dirençli bireylerin birikmesini önlemek veya en azından yavaşlatmak, böylece mevcut pestisitlerin etkinliğini korumaktır. Direnç yönetimi, direnç genlerini en az düzeyde tutarken zararlı popülasyonu içindeki duyarlı genleri de yüksek oranda korumayı amaçlaması itibarıyla aynı zamanda duyarlılık yönetimi olarak da düşünülebilir. Buradaki zorluk, bir yandan ürünü yeterli düzeyde korurken aynı anda direnci sağlayan seleksiyon baskısını azaltmaktır.

Direnç yönetimi, özünde nispeten basit olsa da belirli bir ürün veya zararlı için uygulamaya konulması oldukça zordur. Ne yazık ki tüm pestisitler, zararlılar ve ürünler için küresel olarak uygulanabilecek tek bir direnç yönetimi reçetesi yoktur. Direnç, yalnızca yeni bir etki mekanizmasına sahip, doğru ve yeni pestisitle kolayca üstesinden gelinebilecek teknik bir sorun veya geleneksel pestisitlerin kullanım biçiminde bir ayarlama da değildir.

Direnç yönetimi şunları gerektirir: öncelikle pestisit kullanımını ve dolayısıyla direnç geliştirmede seleksiyon baskısını azaltan entegre zararlı veya vektör yönetimi ilkelerine dayalı rasyonel zararlı kontrol stratejilerinin kullanılması; ikincisi de bitki yetiştirme sistemi için Entegre Zararlı Yönetimi (EZY) stratejisinin ayrılmaz bir parçasını oluşturan; zararlıya, ürüne ve bölgeye uyarlanmış kapsamlı ve ihtiyaca özel hazırlanmış Direnç Yönetim Planının (DYP) uygulanmasıdır. EZM'nin temel ilkelerinden biri, pestisitleri yalnızca kesinlikle gerekli olduğunda uygulamak ve mümkün olduğunda alternatif zararlı yönetimi tekniklerini kullanmaktır. Bu nedenle EZY, direnç geliştirmeye yol açan seleksiyon baskısını en aza indireceğinden, direnç yönetimine temel bir yaklaşım oluşturmaktadır.

1.4 Çiftçi eğitimi

Sosyoekonomi ve altyapı, her direnç yönetimi planlarının başarısını etkileyen faktörlerdir. Maliyet unsuru her zaman bir kaygı kaynağıdır. Pestisit seçiminde öncelik, neredeyse daima en ucuz olanlar yönündedir. Pestisit direnci gelişmesinin önüne geçmenin en iyi seçenek olduğu aşikâr olsa da özellikle kullanılan pestisitlerin nispeten ucuz olması ve direnç geliştirmenin uzun süre alması nedeniyle yetiştiriciler bu durumu her zaman idrak edememektedir. EZY'ye uyulması ve iyi tasarlanmış bir DYP'nin kârlılığı artırması durumunda, çiftçiler muhtemelen bu uygulamaları daha yakından takip edecektir. Programın hiç avantajı olmadığı gözlenmesi veya önerilen uygulamalara maddi yönden ulaşamaması durumlarında planlar daha az uygulanacak, zararlılar daha fazla direnç geliştirecektir. Bir Direnç Geliştirme Planının uygulanmasında üreticilerin eğitimi ve bilgiye erişimi, bu nedenle kritik önem taşır. Yetiştiriciler, EZY'yi uygulamak ve direnç gelişimini önlemek için ne yapılması gerektiğini ve bunun neden önemli olduğunu bilmelidir. Bilgi geniş çapta erişilebilir ve anlaşılır olmalıdır.

2 Direnç riskinin değerlendirilmesi

Direnci etkili bir şekilde önlemek ve yönetmek için, hem direncin kökeninde yatan prensipler, hem de gelişimi ve yayılmasını etkileyebilecek faktörlerin anlaşılması gerekir.

2.1 Direncin temel prensipleri

Direnç nedir?

Direnç, toksik maddelere karşı direnç geliştirme sonucunda bir organizmada meydana gelen genetik değişiklik olarak tanımlanır. Direncin gelişmesi, otomatik olarak zararlı kontrolünün zayıflamasına yol açmaz. Örneğin, sahada anlık sorunlar ortaya çıkmadan da laboratuvarında düşük direnç seviyeleri gözlemlenebilir. Bununla birlikte, direnç geliştirmenin önüne geçmek gerektiğinde, zararlılar sahada kontrolden çıkmadan önce erken bir aşamada direnç durumu tespit edilmeli ve çaresine bakılmalıdır.

Pestisit direnci nedeniyle tarla koşullarında zararlı kontrolünün başarısız olması durumunda, “pratik dirençten” bahsedilir. Bu durum, zararlı popülasyonunun duyarlılığındaki kalıtsal bir değişiklik olup, pestisit söz konusu zararlı türüne etiketteki talimata uygun şekilde tatbik edilmesi; ürünün depolama, uygulama ve olağandışı iklim veya çevresel koşullardan kaynaklanacak sorunları bertaraf edildiği durumlarda bile, zararlı popülasyonunu istenen düzeyde ve mükerrer olarak (birden fazla kez) kontrol edememe şeklinde ortaya çıkar. Bu nedenle ikinci tanım, birincisinden daha dar kapsamlıdır. Gelinen aşamada zararlılarda gelişen direnç nedeniyle ekonomik sorunlar ortaya çıksa bile direnç yönetimi önlemlerini oluşturmak için geç kalınmış olabilir.

Direncin genetik temeli

Direnç, doğal gelişen genetik mutasyonlar sonucu popülasyonun küçük bir kısmının pestisit etkisine direnerek hayatta kalmasına izin verdiğinde ortaya çıkar. Sürekli aynı pestisit kullanılmasıyla bu avantaj sürdürülürse dirençli organizmalar çoğalacak ve dirence neden olan genetik değişiklikler ebeveynlerden döllerine aktarılacaktır. Bu “seleksiyon süreci” sayesinde dirençli organizmalar bir hayli çoğalır ve pestisit ile kontrolde başarısızlığa uğranabilir (Şekil 1). Direnç, insektisitlere ölümcül düzey altında uygulanan doz sonucu ortaya çıkabilecek tolerans ile karıştırılmamalıdır. Bu durumda direnç genetik olarak döllerine geçmez.

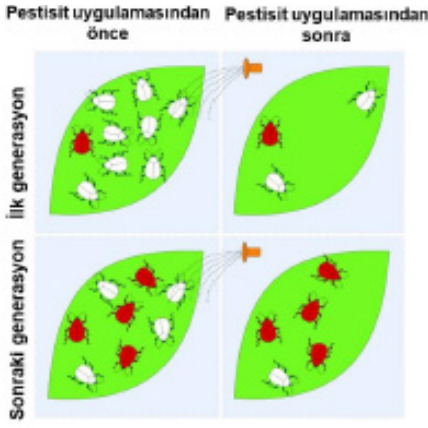
Direnç gelişimi genetik bir süreçtir. Direnç kazandıran karakteristik veya “özellik” bir veya daha fazla gende bulunur. Gen organizmanın hücresindeki kromozomların bir parçasıdır. Bireyler yeni döller verdiğinde, yavrularına benzersiz gen kombinasyonları aktarırlar. Allel, bir genin iki veya daha fazla varyantından biridir. Örneğin, bir allel dirençli (D) olabilirken; diğeri duyarlı olabilir (Du).

Çok hücreli organizmalar çoğunlukla diploiddir, yani iki set kromozomu vardır. Diploid organizmalar her kromozomda her genin bir kopyasına, dolayısıyla da birer allele sahiptir. Her iki allel de aynıysa birey homozigot, alleller farklıysa heterozigottur.

Bazı organizmalar (mantarlar gibi yaşam döngülerinin vegetative bölümü sırasında) haploiddir. Bunların bir tek set eşleşmemiş kromozomu vardır.

Direnç alelleri, dominanttan başlayarak, yarı dominant ile resesif arasında değişebilir. Dominant veya yarı dominant özelliğin yavruda tamamen veya kısmen ifade edilebilmesi için, yalnızca bir ebeveynin bu özelliğe sahip olması gerekir. Resesif bireylerde ise, her iki ebeveyn de bu özellikte olmalıdır. Neyse ki, çoğu direnç mekanizması resesif veya yarı dominant alleller tarafından kontrol edilir ve bu da direncin popülasyon içinde yayılmasını yavaşlatır.

Organizma pestisite maruz kaldığında hayatta kalmasını sağlayan genetik özellik, genin allellerinden birinde veya her ikisinde bulunur. Özellik her iki allelde olduğunda (RR olarak yazılır), organizma homozigot dirençli olur. Homozigot dirençli bireyler pestisite karşı çok dirençli olabilir ve bir dirençli allelini (R) yavrularına aktarabilirler. Bunların dölü de diğer ebeveynlerinden bir R geni alırlarsa, homozigot dirençli (RR) olacaklardır. Direnç özelliği genin allellerinden sadece birinde bulunursa (RS), organizma heterozigot dirençlidir. Bu bireyler pestisite karşı daha az dirençli olup döllerine direnç geni geçirecek veya geçirmeyecektir. Homozigotlar duyarlı bireyler (SS) pestisite duyarlıdır.



Şekil 1 Pestisit uygulamalarıyla dirençli bireyler gelişebilir. Şekilde ilk nesilde bir pestisite karşı yüksek dirençli bir adet birey (kırmızı) varken, pestisit uygulamasından sonra dirençli bireyin soyundan gelenler, duyarlı bireylerin (beyaz) selektif olarak öldürülmesi sonucu popülasyonun daha büyük bir bölümünü oluşturur. Tekrarlanan uygulamalardan sonra, dirençli bireyler popülasyonun çoğunluğunu oluşturabilir (kaynak: Wikipedia; 11 Ocak 2012)

Pestisitlere hiç maruz kalmamış organizma popülasyonları genellikle tamamen duyarlı olup direnç genleri nadiren bulunur. Bu durum genellikle “uyum bedeli” olarak adlandırılan, yani dirençli organizmaların bu özelliği kazanma bahasına kaybettikleri başka bir özellik veya kaliteden yoksun olma şeklinde ortaya çıkar. Örneğin dirençli organizmaların doğurganlığı veya genel gücünde bir azalma görülebilir. Dirençli organizmalar pestisit ortadan kaldırıldıktan sonra uyum bedeli nedeniyle duyarlı organizmalara kıyasla dezavantajlı durumda kalırlar. Sonrasında duyarlı organizmalar selektif avantaja sahip olacak ve organizma popülasyonu prensip olarak duyarlı durumuna geri dönecektir.

Duyarlılığa geri dönüş, direnç yönetiminin altında yatan varsayımdır. Bununla birlikte eski haline dönme oranları değişkendir ve özellikle bir pestisit uzun yıllar boyunca kullanıldığı durumlarda çok yavaş olabilir. Direnç gelişiminin önlenmesinin, direnç geliştikten sonra durumu “düzeltmeye” çalışmaktan daha iyi olmasının nedenlerinden birisi budur.

2.2 Direnç mekanizması

Tarımsal zararlılar, toksik maddelere maruz kalmamak için çeşitli mekanizmalar kullanır. Bu mekanizmalardan iki veya daha fazlası aynı anda kullanıldığında, direnç daha kolay gelişebilir. Direnç mekanizmaları aşağıdaki genel kategorilere ayrılır:

Metabolik detoksifikasyon (enzimatik)

Metabolik detoksifikasyon yoluyla direnç, çoğunlukla böceklerde olup, yabancı otlar ve patojenlerde daha az yaygındır. Zararlıların konukçu bitkilerinde ve kanla beslenen böceklerin emdiği kanda bulunan doğal toksinleri detoksifiye etmek için geliştirdikleri enzim sistemlerine dayanmaktadır. Bu sistemler arasında esterazlar, sitokrom P450 mono-oksijenazlar ve glutathiyon S-transferazlar bulunur. Dirençli böcekler, pestisiti değiştirilmemiş biçime göre çok daha hızlı bir oranda metabolize eden yüksek enzim düzeyine veya değiştirilmiş enzim biçimlerine sahip olabilir. Her iki durumda da dirençli böcekler, pestisiti kendilerini öldürmeden önce detoksifiye edebilir.

Metabolik direnç bileşiğe özgü dirençten, çok genel dirence kadar geniş bir bileşik yelpazesinde değişebilir. Benzer şekilde, böceğin geliştirdiği direnç seviyesi, çok düşüğe kadar ve bileşikten bileşiğe değişebilir. Bu mekanizma genellikle pestisit molekülünü parçalar veya bileşiği detoksifiye eden örneğin, glutatyon transferaz moleküllerini pestisite ekler.

Yabancı otlarda gelişmiş metabolizma da yaygın bir direnç mekanizmasıdır. Buna örnek olarak asetil-CoA karboksilaz (ACCaz), asetolaktat sentaz (ALS) ve fotosistem 2 (PS2) herbisitlerinin artan metabolizma oranları bildirilmiştir.

Hedef bölgede azaltılmış hassasiyet

Bu mekanizma ile, pestisitlerin bağlanma sahası, hedef bölgeye etkin bir şekilde bağlanamayacak şekilde değiştirilerek pestisitlerin etkinliği ortadan kaldırılır veya önemli ölçüde azaltılır. Mantar ve yabancı otlarda en yaygın olarak görülen mekanizmadır. Böceklerde de çok yaygındır. Böceklerde dört adet genel hedef bölge direnç kategorisi vardır:

- *kdr* (knock-down direnci) sinir hücrelerindeki sodyum kanalına müdahale eder. Bu, *Anopheles gambiae*, *Blattella germanica* gibi DDT ve piretroidlere karşı direnç oluşturmada kullanılan yaygın bir mekanizmadır. *kdr* ve süper *kdr* üreten birkaç mutasyon şekli vardır.
- *MACE* (modifiye edilmiş asetilkolinesteraz), asetilkolinesterazın yapısını, bir daha böcek ilacından etkilenmeyecek şekilde değiştirir. Bu durum, örneğin, *Phorodon humuli*'deki pirimikarb direnci mekanizmasıdır ve *Tetranychus urticae*'deki dirençten sorumludur.
- *Rdl* (dieldrine direnç), GABA reseptöründe dieldrin bağlanmasını azaltan bir nokta mutasyonudur. *Anopheles quadrimaculatus* sivrisineklerinde ve koyun sineği *Lucilia cuprina*'da dieldrin direncinden sorumludur.
- *Bt* direnci, hücre adhezyonunda önemli rol oynayan cadherin maddesi kaybıyla oluşur ve dokulardaki hücrelerin birbirine bağlanmasını sağlar. Bu mekanizma, örneğin, *Bt*'ye dirençli lahana yaprak güvesinde (*Plutella xylostella*) bulunur.

Yabancı otlarda hedef bölge direncinin birçok örneği vardır. Bunlardan en önemlileri şunları içerir:

- Hedef bölge enzimi ALS'de değişikliğe neden olan *ALS* (Asetolaktat sentaz) inhibitörleri
- *ACCase* (Acetyl-CoA karboksilaz) inhibitörleri
- *PS2* (Fitosistem 2) inhibitörleri

Azaltılmış penetrasyon

Bu mekanizma, pestisitlerin dirençli böceklerin kütikulasına nüfuz etmesini yavaşlatır. Bu mekanizma tek başına sadece düşük düzeyde dirence neden olur. Bununla birlikte, toksik maddenin kütikula içinden penetrasyonunu yavaşlatarak, diğer direnç mekanizmalarının etkisini büyük ölçüde artırabilir. Örneğin, herhangi bir penetrasyon direnci olmayan bir böcek 25 kat dirençli olabilirken, penetre edilen pestisitlerin iki kat azaltılması durumunda genel direnç yaklaşık 50 kat olabilir.

Tutma

Bitkilerdeki pestisitler, organizmanın hassas kısımlarından, vakuoller gibi hedef organizma için önemli derecede zararsız olan toleranslı bölgeye çıkarılır. Bu tür bir direnç, glifosat, parakuat ve 2,4-D gibi herbisitlere karşı görülmüştür. Yaprak bitleri ve *Culex* sivrisinekleri gibi metabolik enzimleri toplam vücut proteininin %15'i gibi büyük ölçüde çoğaltılıp insektiside bağlanarak tutulur ve insektisit metabolize edilmeden bünyede kalır.

Davranışsal direnç

Davranışsal direnci böcekler, akarlar ve kemirgenlerle sınırlıdır. Bu direnç tipi organizmanın davranışında, pestisitlerin ölümcül etkilerinden kaçınmaya yardımcı olan herhangi bir değişikliktir. Bu direnç mekanizması, organoklorinler, organofosfatlar, karbamatlar ve piretroidler dahil olmak üzere çeşitli insektisit sınıflarında bildirilmiştir. Böcekler, belirli insektisitlerle karşılaştıklarında beslenmelerini durdurabilir veya ilaç uygulanan alanı terk ederek örneğin, ilaçlanan bir yaprağın alt tarafına gidebilir, bitkinin tepe tacının altından derine inebilir veya hedef alandan uzaklaşabilirler. Farelerde de davranışsal direnç gelişmesi bildirilmiştir.

Davranışsal direnç, yukarıda bahsedilen fizyolojik direnç mekanizmaları kadar önemli olmayıp, pestisitlerin öldürücü dozlarından kaçınmasına yol açan bir faktör olarak düşünülebilir.

2.3 Direnç gelişiminde anahtar faktörler

Direnç geliştirme riski, pestisit grupları ve zararlı türleri arasında ve içinde oldukça değişken olup günümüzün belirli etki mekanizmalarına sahip seçici pestisitlerinin çoğu için bu risk yüksektir. Genel olarak, çok sayıda döl verebilen büyük bir zararlı popülasyonuna, defalarca aynı hedef bölgesi üzerine uygulanan pestisitler, daha düşük sayıda nesil geliştiren ve birkaç hedef bölgesine daha az sıklıkla uygulanan pestisitlere göre direnç gelişimi açısından daha riskli durumda olacaktır. İlk durumda seleksiyon baskısı çok yüksek olurken ikincisinde çok daha düşük olacaktır. Bununla birlikte direnç, her zaman tahmin edildiği şekilde gelişmemektedir.

Günümüzde kullanılan pestisitlerin çoğu için, çeşitli ürün ve zararlılara karşı gelişen dirençle ilgili önemli ölçüde bilgi mevcuttur. Bu tür bilgiler, pestisitlerin yeni coğrafi konumlarda oluşturabileceği direnç geliştirme riskini tahmin etmekte kullanılabilir. Özellikle yeni kimyasal içerikleri olan yeni pestisitlerin, direnç geliştirme riskini değerlendirmek daha zordur. Bu konuda benzer içerik ve hedef zararlılarla ilgili deneyimlerin yanı sıra bileşiğin etki mekanizması da fikir verebilmekle beraber yine de öğrenilecek çok şey vardır. Gerçekte şu an mümkün olan sadece direnç gelişim riskinin düşük, orta veya yüksek olup olmadığını tahmin etmekten ibarettir.

Direnç gelişimini etkileyen faktörler: zararlının genetik yapısı, zararlının biyolojisi ile “operasyonel faktörler” (Tablo 1) olarak bilinen agronomik uygulamalar, pestisitlerin özellikleri ve uygulanma şekli gibi özellikler olmak üzere üç gruba ayrılır. Belirli bir bileşiğe karşı direnç gelişimini kesin olarak tahmin etmek mümkün olmasa da her bir pestisit-zararlı-ürün için bu faktörleri dikkate alarak riski değerlendirmek mümkündür. Bu nedenle, zararlının biyolojisi, uygulanan bileşiğin özellikleri, bileşiğin kullanımı ve kullanılacağı özel durum hakkında olabildiğince fazla bilgi toplamak kritik öneme sahiptir. Bileşikler, zararlılar ve kullanım şekilleri arasında benzerlikler olacaktır, ancak her durum farklı özellikler arz edecektir. Sıralanan tüm faktörleri dikkate aldığımızda, tasarlanacak bir direnç yönetim planının başarılı olabilmesi için uzun bir yol kat edilmesi gerekecektir.

Tablo 1 Direnç gelişiminde biyolojik, genetik ve operasyonel faktörler.

Faktör	Direnç geliştirme potansiyeli	
	Daha düşük	Daha yüksek
Biyolojik faktörler		
Popülasyon büyüklüğü	Küçük	Büyük
Üreme potansiyeli	Düşük	Yüksek
Nesil verme sayısı	Yılda bir ya da daha az nesil	Her yıl çok sayıda nesil
Üreme şekli	Eşeyli	Eşeysiz
Yayıma	Az	Fazla
Tohum bankası	Büyük	Küçük veya yok
Pestisit metabolizması	Zor	Kolay
Pestisit hedef bölge sayısı	Birden fazla	Tek, spesifik
Zararlının barınma sahası	Dar	Geniş

Genetik faktörler		
Direnç genlerinin oluşması	Yok	Var
Direnç mekanizmasının sayısı	Bir	Çok
Gen frekansı	Düşük	Yüksek
Direnç genlerinin dominansı	Resesif	Dominant
"R" bireylerinin uyumu	Zayıf	İyi
"R" genince sağlanan koruma	Zayıf	İyi
Çapraz direnç	Negatif veya hiç	Pozitif
Geçmişinde seleksiyon	Hiç	Önemli ölçüde
Değiştirici genler	Yok	Var
Operasyonel faktörler		
Pestisit aktivite genişliği	Dar spektrum	Geniş kapsamlı spectrum Etiket oranından daha düşük: heterozigotlar hayatta kair
Pestisit uygulama oranı	Etiket oranı; heterozigotlar öldürülür (R geni tam olarak baskın değilse)	Etiket oranından daha fazla: Sadece bazı homozigot dirençli bireyler hayatta kalır ve çoğalır (özellikle çok az göç varsa)
Uygulamanın kapsamı	İyi	Zayıf
Sistemik olma durumu	Faktörün etkisi değişken; direnç riskini artırabilir veya azaltabilir	
Uygulama sıklığı	Düşük	Yüksek
İkincil zararlıların varlığı	Yok (sadece hedef zararlı etkilenir)	Mevcut (hedef (potansiyel) zararlılar da etkilenir)
İlgili pestisitlerin uygulandığı yaşam evreleri	Bir	Çok
Pestisit uygulanan popülasyon oranı	Faktörün etkisi değişkendir; direnç riskini artırabilir veya azaltabilir	
Kalıcılık	Kısa	Uzun
Uygulama yapılan ürün sayısı	Bir	Çok
Ürün döngüsü	Ürünler zamana ve yere göre ayrılıyor	Ürünler araya ekiliyor; aralık bırakılmadan ekiliyor; sürekli
Zararlı kontrol taktikleri	Çoklu kontrol taktikleri (kimyasal, biyolojik, kültürel)	Sürekli aynı yöntem ve bileşikler kullanılıyor
Hedef alınmayanlara etki	Seçici etki, doğal düşmanlar üzerinde etkisi yok	Seçici değil, doğal düşmanlar da öldürülüyor

2.3.1 Biyolojik faktörler

Popülasyon büyüklüğü

Popülasyon büyüklüğü, direncin gelişmesinde önemli bir faktördür. Böceklerde popülasyon ne kadar büyükse, direncin gelişme şansı da o kadar artar. Büyük poplasyonlarda dirençli bireylerin oranı düşük olsa bile, pestisit uygulamasından sonra hayatta kalan bireylerin sayısı çok fazla olabilir. Tekrarlanan pestisit uygulamaları duyarlı bireylerin çoğunu ortadan kaldırdığında, hayatta kalan dirençli bireylerin eş bulma ve direnç genlerini döllerine geçirme olasılığı çok daha yüksek olabilir. Bunun tersine, zararlı popülasyonu küçükse, hayatta kalan az sayıdaki dirençli bireyin üretken olabilecek bir şekilde çiftleşme şansı çok düşük ve direnç gelişimi yavaş olacaktır.

Mantar popülasyonlarında da benzer bir durum vardır. "Doğal" patojen mantar popülasyonlarının çoğu, küçük bir oranda dirençli bireyler içerir. Fungusit uygulaması, seçici olarak bu bireylere zarar vermezken bir yandan da uygulanan pestisit yetersiz düzeyde olması durumunda, duyarlı bireylerin tamamı ortadan kaldırmayacaktır.

Böylece fungusit uygulamasından sonra sağ kalan popülasyon daha da yüksek oranda dirençli bireyler içerecek, ancak popülasyondaki bireylerin tamamı dirençli olmayacaktır. Yönetim planının olmadığı durumlarda, zararlı popülasyonu problem yaratmaya yetecek düzeyde dirençli bireyler içerene kadar bu süreç tekrarlanacaktır. Alan dışından duyarlı bireylerin uygulama alanına girmesi ile süreç yavaşlatılabilir.

Sonuç olarak direnç yönetimi sayılarla ilgili bir konudur. Zararlı kontrol sorunu doğrudan doğruya dirençli bireylerin sayısı ile ilgilidir. Nispeten az sayıda bireyin oluşturacağı zararlı istilası durumunda, dirençli bireylerin sayısı fazla olsa bile, zararlıların kontrol altına alınması ciddi bir sorun oluşturmaz. Tersine, şiddetli bir zararlı istilası durumunda geliştirilen direnç seviyesinin orta düzeyde olması, istilanın kontrolünde sorun yaratacaktır.

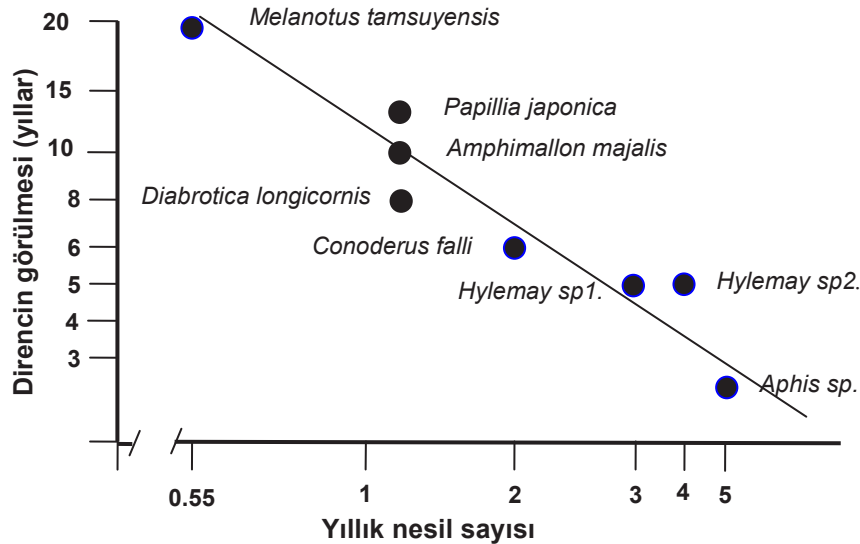
Üreme potansiyeli

Üreme potansiyeli veya döl sayısı, bir başka ifadeyle “ebeveyn” başına düşen yavru, tohum veya spor sayısı, zararlı popülasyonlarında direnç gelişimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Pestisitlerin hedef aldığı ve diğer faktörlerin eşit olduğu tüm eşeyli olarak çoğalan zararlılarda, organizma başına düşen yavru sayısı arttıkça dirençli bireylerin sayısı da artacaktır.

Bunun nedeni böceklerde, çok sayıda döl vermenin daha fazla direnç geni taşıyan bireyler üretme olasılığını, dolayısıyla da pestisit kullanımının sürdürülmesi durumunda, bir veya iki direnç alleli taşıyan bireylerin ortaya çıkma olasılığını arttırmasıdır. Hayatta kalan direnç genlerine sahip bireylerin sayısı arttıkça, heterozigot veya homozigot bireylerin çiftleşme potansiyeli de artar. Bu durum popülasyondaki direnç genleri sıklığında bir artışa neden olabilir.

Çok miktarda tohum üreten ve genetik çeşitliliği yüksek olan bir yıllık yabancı ot türlerinin direnç geliştirme şansı, az sayıda tohum üreten ve genetik çeşitliliği düşük türlere göre daha yüksektir.

Mantarlarda çoğalma, mevsim boyunca su sıçramasıyla veya rüzgarla dağılan eşeysiz sporlarla ve yine her bir hastalık lezyonundan salgılanan çok sayıda sporlarla olur. Bu tür sporlar, patojene bağlı olarak birkaç metreden yüzlerce kilometreye kadar yol kat edebilir. Üretken sporlar buldukları yerde genellikle sezon sonlarında oluşur ve kış geçtikten sonra mevsim başlarında salınır. Bunlar mantarda yeni çeşitlilik kaynakları olmakla beraber, direnç gelişimindeki rolleri bilinmemektedir.



Şekil 2 Zararlı böceğin yıllık nesil sayısı ile toprağa aldrin / dieldrin uygulamaları sonucu gelişen direncin görünümü arasındaki ilişki [Kaynak: NRC (1986)].

Generasyon devir süresi

Direnç geliştirme hızında, iki neslin oluşması arasında geçen süre önemli rol oynar. Böcekler, yabancı otlar ve bitki patojenlerinde direnç gelişimi, her yıl birkaç nesil yerine yalnızca bir nesil geliştirilmesi durumunda, popülasyonların yılda yalnızca birkaç kez doğal seleksiyona tabi olması nedeniyle daha yavaş olacaktır. Şekil 2, farklı böcek popülasyonlarının aldrin / dieldrin insektisitine karşı direnç geliştirme oranlarını karşılaştırmaktadır. Bu süre, yılda 5 nesil veren yaprak bitlerinde 2 yıldan, yaşam döngüsü 2 yıl olan *Melanotus tamsuyensis*'te 20 yıla kadar değişir.

Üreme tipi

Hem eşeyli hem de eşeysiz üreme direnç gelişmesine katkıda bulunabilir. Eşeyli üreme, genom düzeyinde yeniden düzenlemelere itici güç sağlar. Bununla birlikte dirençli bireyler selekte olduktan sonra, bunların eşeysiz üreme yoluyla hızla yayılma olasılığı daha yüksektir. Örneğin yaprak bitlerinde çoğu üreme, yıl boyunca eşeysiz olur, mantar patojenlerinin çoğu da eşeysiz sporlar (conidia) yoluyla yayılır. Esasen yavrular ebeveynlerinin klonları durumundadır. Yaprak biti veya mantar popülasyonunun bir kısmında direnç geni varsa, bunlar hayatta kalırken, popülasyonun duyarlı kısmı yoğun pestisit uygulamasıyla ortadan kaldırılır. Direnç yönetim programının uygulanmaması durumunda, hayatta kalan dirençli bireyler kısa sürede çoğalarak hızlı şekilde direnç geliştirir.

Bitki patojenlerinde eşeyli üretim döngüsü sonucu yeni gen kombinasyonlarının oluşarak direnç geliştirme olasılığının arttığı düşünülmektedir. Bu durumun tersine böyle bir eşey rekombinasyonunun gen dizilerini kırması ve direnç faktörlerinin kaybına yol açması da eşit derecede olasıdır. Uygulamada çoğu fungusit direncinin, fungusit uygulanmamış patojen popülasyonlarında çok düşük bir düzeyde bulunduğu görülmektedir. Bu tür direnç fungusite maruz bırakılan patojenlerde gelişmektedir. Kendine tozlaşan veya vejetatif olarak çoğalan yabancı ot türlerinde direncin yayılma potansiyeli, yabancı tozlaşanlara göre daha düşüktür.

Yayılma

Zararlıların hem uzun mesafe, hem de nispeten kısa mesafe boyunca hareketi, tarla veya sahadaki popülasyonların duyarlılığını etkileyebilir. Böcekler, sporlar ve tohumlar rüzgarla yayılabilir; tohum, toprak, ekipman, bitki kökleri, konteynerler, bitkisel ürünler vb. ile dışarıdan gelebilir veya söz konusu böcekler olduğunda, bunlar yeni alanlara uçabilir. Tohumları rüzgarla kolayca yayılabilen yabancı ot türlerinde, tohumların kalıcı veya yayılıcı olma direnci, potansiyel olarak çok daha büyük olacaktır. Heterojen veya duyarlı bireylerin dış ortamdan girerek popülasyon içindeki pestisit uygulamasından sağ çıkan dirençli bireylerle çiftleşmesi yanında, ortama giren bitki patojen sporlarının daha az lezyon geliştirip duyarlı tiplerin kolonilerini oluşturması sonucu, böcek ve hastalık amillerinin popülasyondaki direnci genellikle zayıflar. Bu durum zararlıların duyarlı popülasyonlarını sürdürmede, sığınak kullanımı yönteminin temelini oluşturur. Öte yandan direnç konusunun sorun olduğu bir bölgeden göç eden bireylerin, başka bir popülasyona direnç genleri kazandırması da mümkündür. Örneğin serada direnç geliştiren bir böcek türü, çevredeki alanlara gidebilir (göç edebilir) ve direnç genini tarladaki popülasyona aktarabilir.

Direncin operasyonel olarak resesif olduğu durumlarda, insektisit uygulanmasından sonra sadece birkaç homozigot dirençli (RR) birey hayatta kalacaktır. Homozigot duyarlı (SS) bireyler bölgeye girip sağ kalanlarla çiftleştikçe, birçok heterozigot (RS) veya duyarlı (SS) bireyler olacaktır. Ortama doğru doz kullanarak iyi bir insektisit uygulanırsa, SS'ler ve RS'li bireylerin tamamı olmasa da çoğu ölecektir. Bununla birlikte, insektisit düşük bir dozda kullanılır ve / veya kapsamı zayıf olursa, bunu izleyen uygulamalar, çok sayıda RS bireyinin hayatta kalması ve dirençli bir popülasyonun daha hızlı şekilde seleksiyonuna neden olabilir.

Tohum bankası

Tohum durgunluk (dormansi) oranı yüksek olan yabancı ot türlerinde, yani toprakta zaman içinde yeşermeyi bekleyen çok sayıda canlı tohumun olduğu durumlarda, direnç gelişimi yavaş olacaktır. Bir herbisit her uygulamasından sonra çoğalan tohumlar daha yüksek oranda dirençli bireyler içerebilirken, tohum bankasından gelen duyarlı tohumlar direnç seviyesini düşürecektir.

Pestisit metabolizması

Bir pestisit'in metabolik yolla bozunması, başta böcekler ve akarlar olmak üzere belirli organizmalardaki direnç mekanizmalarından biridir (bakınız 2.2). Yaygın biyotransformasyon süreçleri ile nispeten kolayca metabolize edilen pestisitler, direnç gelişimi yoluyla organizmada detoksifikasyonu daha zor olan pestisitlere göre daha az etkili olma riski taşır.

Pestisit'in hedef bölge sayısı

Bir pestisit'in hedef bölgesi tek ise, direnç daha hızlı gelişir. Pestisit'in birden fazla hedef bölgesi varsa, zararlı'nın tüm bu alanlar için direnç geliştirmesi gerekir. Pestisit'in yalnızca bir hedef bölgesine etkili olması durumunda tek bir gende oluşacak tek bir mutasyon, direnç gelişimine yol açabilir.

Zararlı barınma ortamının çeşitliliği

Çok sayıda ürün üzerinde yaşayabilen geniş konukçu yelpazesine sahip zararlıların, ürüne özgü zararlılara göre direnç geliştirme riski daha yüksek olabilir. Bir böcek türünün birçok farklı bitki türüne zarar verebilmesinden dolayı, bu konu özellikle insektisitler açısından önem taşımaktadır. Mücadele stratejileri çoğu kez civarda bulunan veya dönüşümlü olarak yetiştirilen konukçu bitkilere veya böcek hareketine bakılmaksızın belirli bir ürüne göre tasarlanmış olduğundan, uygulama sayısı yanlış hesaplanmaktadır. Örneğin, belirli bir böcek türüne karşı pamuk üzerinde üç ila dört uygulama ve yakınlardaki veya bir sonraki sebze üzerinde dört ila beş uygulama ile sonuç alınabilir. Bu durumda böcekler pamuk üzerindeki üç ila dört seleksiyon geçirirken; sebze üzerindeki dört ila beş seleksiyon geçirecek; bununla beraber aslında toplamda yedi ila dokuz seleksiyon geçirmiş olacaktır. Bu nedenle, özellikle insektisitler için, ürün odaklı olmaktan çok alan odaklı yönetim stratejileri tasarlamak önemlidir.

Fungusit uygulamalarında sorun yaratan bitki patojenleri hemen her zaman ürüne özgü olduğundan ve bu problem sadece civardaki ürünler pestisit uygulanan ürünle aynı olduğunda ortaya çıkacağından, fungusitler için bu husus daha az önemlidir. Bununla birlikte, ilaçlama programlarının çiftlik temelli olmaktan ziyade coğrafi alana göre tanımlanması dikkate alınması gereken bir husustur. Burada en doğru yaklaşım, ilaçlama programlarının hastalık etmeninin fungusite sürekli maruz kalmasıyla oluşacak direnç geliştirme baskısını en aza indirecek şekilde koordine edilmesidir.

2.3.2 Genetik faktörler

Direnç genlerinin oluşumu

Bir zararlı popülasyonunda direnç yönünde bir seleksiyonun olması için, en azından bazı bireylerinde direnç geninin bulunması gerekir. Direncin derecesi ve popülasyon içindeki gelişme hızı, gen(ler)in zararlıyı korumadaki etkinliğine bağlıdır. Genel olarak, gen(ler)le sağlanan koruma ne kadar büyükse, uyum bedeli o kadar düşük; direnç geninin frekansı ne kadar yüksekse, dirençli bireylerin seleksiyonu o ölçüde hızlı olur.

Direnç mekanizmalarının sayısı

Yukarıda açıklandığı gibi (bakınız 2.2), tarımsal zararlıların toksik maddelere maruz kalmaları durumunda hayatta kalmasını sağlayan birkaç mekanizma vardır. Bir organizma bu mekanizmalardan birden fazlasına sahip olduğunda direnç daha kolay gelişebilir. Bir mekanizma diğerlerine oranla daha belirgin olsa bile, özellikle böceklerin direnç geliştirmede birden fazla mekanizmanın kullanabildiği durumlar vardır.

İki mekanizmanın birleşik etkisi de direncin derecesini büyük ölçüde artırabilir. Örneğin bir böcek, bir pestisite karşı enzimatik detoksifikasyon yoluyla 10 kat, azalan penetrasyon nedeniyle iki kat dirençliyse, toplam direnç seviyesi 12 kat yerine 20 kat olabilir (Fungusitler için bu tür bir durum söz konusu değildir.) Ayrıca, aynı organizmada aynı anda birkaç farklı direnç mekanizması varsa, bu durum birden fazla pestisit sınıfına karşı dirençle sonuçlanabilir. Buna çoklu direnç denir.

Gen frekansı

Sıklıkla allel frekansı olarak da adlandırılan gen frekansı, geni oluşturan gen varyantlarının (veya allellerinin), tüm kopyalarına oranıdır. Direnci kodlayan allellerin frekansı, direncin gelişimi üzerinde önemli derecede

etkilidir. Çoğu durumda, yeni bir pestisite dirençli homozigot bireylerin frekansı örneğin 10^{-4} veya daha düşük değerdeyken, heterozigot bireyler daha yüksek sıklıkta bulunabilir. Popülasyondaki direnç geliştirme özelliğinin seleksiyonu birçok faktörün etkisinde olmakla beraber, genel olarak direnç geni frekansı ne kadar yüksekse direnç o kadar hızlı gelişir.

Mantari hastalık etmenlerinden Oomisetlerde (karakteristik mildiyö mantarı) durum biraz farklıdır. Haploid canlılar olan Oomisetlerde doğal popülasyonlarda dirençli mutant bireylerin ortaya çıkması, seleksiyon baskısının sonucudur.

Direnç gen(ler)inin dominansı

Direnç genleri dominant, yarı dominant ve resesif arasında değişen karakterdedir. Bir karakter dominant veya yarı dominant ise, aynı karakterin dölünde de tamamen veya kısmen ifade edilebilmesi için, yalnızca bir ebeveynin bu özelliğe sahip olması gerekir. Resesif bireylerde ise, her iki ebeveyn de bu özellikte olmalıdır. Direnç karakteri genetik olarak baskın ise, popülasyon içinde hızla gelişerek yönetilmesi zor bir duruma gelebilir. Neyse ki çoğu direnç mekanizması (örneğin *kdr*), resesif veya yarı dominant genler tarafından kontrol edilir. Bu durum dirençli popülasyonların yönetilme şansını artırır. Örneğin, karboksilik asit amid fungusitlerinden *Plasmopara viticola*, bu karakter bakımından resesif olduğundan sadece homozigot resesif bireyler dirençlidir. *Plasmopara viticola* popülasyonlarında neden direnç oluşmadığı, bu şekilde açıklanmaktadır.

Böceklerde tam resesif olmayan veya dominant olan genler, bu genleri taşıyan bireylere daha düşük oranlarda pestisit uygulandığında, işlevsel olarak dominant hale gelebilmektedir. Bu düşük doz, kasıtlı olarak düşük doz kullanımından, uygulamanın yapıldığı bitki popülasyonu veya alanın tamamının ilaçlanamamasından veya uygulamanın yapıldığı yüzeyde bozulmuş pestisit kalıntılarıyla temas etme sonucu olabilir. Bu durum gerçekleştiğinde, heterozigot bireyler hayatta kalıp diğer heterozigot veya duyarlı bireylerle çiftleşerek direnç genini döllere geçirirler.

“R ” bireylerin uygunluğu

Direnç geni taşıyan bireyler, bünyesinin zayıflaması ve / veya yaşam döngüsü içinde çiftleşme dönemlerinin R genine sahip olmayan bireylerle senkronize olmaması şeklinde bir uyum bedeline maruz kalabilir. Uyum bedeli düşükse, popülasyonda direnç genleri oldukça hızlı birikebilir. Bununla birlikte, direnç genini kazanma sonucu yitirilecek özelliklerin fazla olması durumunda, sadece pestisit uygulanan ortamlardaki dirençli bireyler, duyarlı olanlara göre önemli bir avantaja sahip olacaktır. Pestisitlerin yokluğunda dirençli formlar rekabetçi olmayabilir ve çok çabuk kaybolabilir. Ürün nöbeti uygulaması, işte bu nedenle başarılı bir direnç yönetimi aracıdır.

Bununla birlikte, dirençli bireyler bu özelliği kazanmak için mutlaka bir bedel ödemek zorunda değildir. Fungusit direnci geliştiren mantarlar, bu karakteri kazanmak için her zaman bedel ödemezler, dolayısıyla duyarlı bireylerle aynı özelliklere sahip olmayı sürdürebilirler. Daha az uyum bedeli ödeyen bireylerin, mutasyona uğrayarak daha fazla uyum gücü yönünde seleksiyona uğraması da mümkündür.

“R ” geni tarafından kazandırılan koruma

Direnç geni pestisitlere karşı yüksek derecede koruma sağlıyorsa, bu geni taşıyan bireylerin pestisit uygulamasından sağ çıkma ve direnç genini bir sonraki nesle geçirme olasılığı çok yüksektir. Bununla birlikte, direnç geni sadece orta düzeyde bir koruma sağlıyorsa, bu geni taşıyan bireyler yüksek dozlardan değil, ancak daha düşük dozlardaki pestisitten kurtulabilirler. Bir pestisit tam etiket oranlarında kullanılması ve mümkün olan en iyi kapsamı sağlama gereğinin başka bir nedeni de budur. Daha düşük dozlar ve uygulamada tüm alanın kapsanmaması, popülasyonda direnç genlerinin birikmesine olanak verir.

Çapraz direnç

Çapraz direnç, belirli bir pestisite direnci olan bir zararlının, daha önce hiç karşılaşmadığı başka bir pestisite karşı da dirençli olması anlamına gelir. Bu nedenle sözkonusu özelliğin varlığı, direnç riskini artırır. Çapraz direnç, iki veya daha fazla bileşiğin aynı hedef bölgede çalışmaması ve / veya aynı direnç mekanizmasından etkilenmesi sonucu oluşur. Çapraz direnç, her zaman olmamakla beraber, en yaygın olarak aynı etki mekanizmasına sahip, genellikle aynı kimyasal grupla ilişkili olan bileşiklere karşı gelişir. Tam veya kısmi olabilir (dirençten birden fazla mekanizma sorumluya).

Bazı direnç mekanizmaları farklı kimyasal sınıflardaki bileşiklere karşı etkilidir, ancak bu olay büyük ölçüde insektisitlerle sınırlıdır. Örneğin hem DDT hem de piretroidler, sinir hücrelerindeki sodyum kanalında karşılaştıkları *kdr* geninden etkilenir. DDY'ye direnç oluşturan bir popülasyonda yoğun piretroid kullanımı, o popülasyonda piretroid direncinin gelişmesine neden olabilir.

Bazı durumlarda da bir direnç mekanizması, organizmayı bir pestisite karşı dirençli hale getirip, başka bir pestisite duyarlılığını arttırabilir. Bu duruma negatif çapraz direnç denir.

Geçmişteki seleksiyon

Geçmişteki seleksiyon sonucu direnç geni oluşan bireylerin popülasyondaki direnç geni frekansının artmasıyla, yeni bileşiklere karşı daha kolay direnç geliştirmeleri muhtemeldir. Bu durum yeni bileşiğin etkisiz olacağı veya ona karşı direncin hızla gelişeceği anlamına gelmez. Basit anlatımla daha önce ilgili bileşikler kullanılmadığı için, direnç geliştirme potansiyeli daha yüksek olacaktır. Bununla birlikte, yüksek düzeyde çapraz direnç ile birlikte geçmişte ciddi bir direnç sorunu da varsa, yeni bileşiğe karşı hızla direnç geliştirme potansiyeli yüksektir.

Modifiye edici genler

Direnç genleri, bunlara az ya da çok sahip olan zararlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir. Bununla birlikte, zamanla ve sürekli seleksiyon sonucu dirençli bireylerin uyum bedeli olarak yitirdiği özellikler, uygunluğun geliştirilmesi sonucu ilişkili yardımcı veya değiştirici genlerle geri kazanılabilir. Bazı durumlarda uyum bedeli sorunu tamamen aşılar, dirençli gen zararlı popülasyonunda görünmeye devam eder, orijinal duyarlı genlere dönüş çok yavaş gerçekleşir veya hiç olmaz. Diğer durumlarda uyum bedeli sorunu aşılamaz, seleksiyonun olmadığı ortamlarda popülasyonun eski durumuna dönmesi oldukça hızlı gerçekleşir. Modifiye edici genlerin rolü en iyi böceklerde ve yabancı otlarda görülür. Mantarlarda modifiye edici genler üzerine nispeten az çalışma yapılmış olmakla beraber, minör etkiye sahip çok sayıda genin birikimi yanında majör genlere ya da majör genlerin modifiye edici genlerle birlikte oluşturdukları etkiye bağlı olarak, demetlesyon inhibitörü fungusitlere karşı direnç gelişebileceği bilinmektedir.

2.3.3 İşletimsel faktörler

Pestisitlerin etkinlik yelpazesi

Çok çeşitli zararlılara veya türlere etkili olan geniş spektrumlu pestisitlerin, çok sayıda zararlı türünü kontrol etmelerinden dolayı belirli alanlarda muhtemelen çok daha sık kullanılmış olması muhtemeldir. Bu durumda dar spektrumlu pestisitlere göre direnç sorunlarına neden olma olasılığı daha yüksektir. Kontrol edilmesi gereken başka hedef zararlıların olduğu çoğu durumda, dar spektrumlu pestisitler daha seyrek kullanılacağından, neden olacakları seleksiyon baskısı daha düşük olacaktır.

Alt eşik düzeyinde kullanıldığında, hedef zararlılarla birlikte uygulama alanındaki diğer zararlı türlerinde direnç gelişimine neden olabilmesi bakımından, geniş spektrumlu pestisitlerin kullanımında dikkatli olmak gerekir. Örneğin, asmalarda mildiyöyü kontrol etmek için çok dar spektrumlu bir fungusit olan karboksilik asit amidin kullanılması, diğer asma hastalıklarını etkilemeyecek ve bu nedenle mildiyö dışında herhangi bir seleksiyon baskısı oluşmayacaktır. Bunun tersine, belirli bir hastalığı kontrol etmek için tahıllara uygulanan bir DMI veya QoI fungusiti, bu kimyasal grupların geniş etki yelpazesine sahip olmasından dolayı mevcut diğer hastalıklarda bir seleksiyon baskısı uygulayabilir. İkincil zararlı, uygulamanın hedeflendiği birincil zararlıdan daha yüksek bir kontrol oranına gerek duyulacak düzeyde direnç oluşturursa, durum daha da kötüleşebilir. İkincil zararlı zamanla birincil sorun haline gelirse, direnç gelişimi çok hızlı gerçekleşebilir.

Uygulama oranı

Pestisit uygulama dozları, geliştirecekleri direnç açısından belirlenmemiş olsa da düşük doz yerine önerilen miktarın uygulanması önemlidir. İdeal olarak bu oran, popülasyondaki tüm duyarlı ve heterozigot dirençli bireyleri elimine ederken, zararlı bireylerin sayısını ekonomik eşiğin altına düşürmelidir. Doz çok düşüğe duyarlı bireyler elimine edilirken, kısmen dirençli olan heterozigot bireyler hayatta kalacaktır. Aynı zamanda çok düşük bir doz, direnç genini işlevsel olarak dominant hale getirecek ve direnç oldukça hızlı gelişebilecektir. Bununla birlikte, eğer popülasyon çok büyük değilse, duyarlı bireyler çoğunlukta ve popülasyona dışarıdan duyarlı bireyler katılıyorsa, bu durumda heterozigot bireyleri ortadan kaldırmaya çalışmak çok etkili olacaktır.

Böyle popülasyonda nadiren yüksek düzeyde duyarlı bireyler bulunacağından sahip oldukları direnç genlerine karşılık uyum bedeli sorunuyla karşı karşıya kalacaktır.

Kimyasalların önerilen dozdan daha yüksek miktarlarda uygulanması da istenmez. Bunun nedeni, yüksek dozlarda hayatta kalabilen bireylerin büyük olasılıkla homozigot dirençli olmalarıdır. Özellikle dışarıdan bir duyarlı popülasyon göçü yoksa, yüksek dozlarda direnç gelişiminin artırma olasılığı çok yüksektir. Ayrıca daha yüksek doz uygulanmasıyla daha fazla doğal düşmanı yok edilecek ve bu da zararlı popülasyonlarının artmasına neden olacaktır.

Kapsama

Kimyasal uygulanan ürün veya maddenin, ne ölçüde kapsanabildiği konusu da çok önemlidir. Tüm alana doğru miktarda pestisit uygulandığında, istenen ölümcül orana daha fazla erişilecektir. Kapsamanın zayıf olması durumunda, bazı alanlar daha fazla pestisit alırken diğer yerler daha az alır veya hiç almazsa, etikette önerilenin altındaki dozların kullanımındaki sonuca benzer bir durum oluşarak homozigot bireyler selekte edilip direnç gelişimi teşvik edilecektir.

Sistemiklik

Temas etkili pestisitlerden ziyade sistemik ilaçların kullanılması, direnç gelişimini hem hızlandırabilir hem de yavaşlatabilir. Sistemik insektisitler genellikle zararlıyla bağlantılı yararlı böcekler üzerinde çok daha düşük bir etkiye sahiptir. Böylelikle, bir insektisit uygulaması sonrasında predatörler hâlâ ortamda bulunabilir ve hayatta kalan birçok zararlıyı ortadan kaldırıp direnç genlerinin zararlı popülasyonuna daha fazla aktarılmasını önleyebilir. Bununla birlikte sistemik bileşiklerin dezavantajları da vardır.

Sistemik etki, içerdiği bileşikle ilişkilidir. Sistemik insektisitler hedef zararlıya daha tekdüze bir doz uygulanmasını sağlayabilir, yaprak altına yerleşerek temas etkisinden kurtulan zararlılara ulaşabilir. Bu durum zararlıların kontrolü açısından iyi olsa da duyarlı bireylerin uygulamadan kaçma ve popülasyonda duyarlılık genlerinin kalması olasılığını ortadan kaldırdığından, dirençli bireylerin seleksiyonunu artırabilir. Sistemik etkili fungusitler, yapraklar genişlediğinde de bitkiye nüfuz edeceğinden bitki dokusunu koruyan bir özelliğe sahiptir. Genel olarak sistemik bileşikler, bitki içinde temas yoluyla etkili olan pestisitlere göre daha uzun süre kalarak dışarıdan sürekli bir zararlı girişi olduğu yerlerde, direnç oluşturma yönünde daha fazla seleksiyon baskısı yaratırlar.

Bitki dokusunda mantari bir hastalık etmenin gelişmesi ardından oluşan enfeksiyonun tedavisinde en yaygın uygulama sistemik fungusitlerin kullanılmasıdır. Genel olarak bu iyi bir uygulama olarak kabul edilmez ve artan seleksiyon baskısı nedeniyle çoğu direnç yönetimi kılavuzu, buna zıt uygulamalar önerir.

Uygulama sıklığı

Gereksiz kimyasal uygulamaları zararlı popülasyonu üzerindeki seleksiyon baskısını artırdığı için, pestisit muamele sıklığı ürünü koruyacak veya zararlıyı kontrol altına alacak sayısıyla sınırlandırılmalıdır. Bu konuda özellikle hızlı şekilde direnç gelişimine yol açan sık ve optimal altı (kimyasal maliyetlerini düşürmek için) uygulamalardan kaçınılması gerekir. Popülasyondan yalnızca duyarlı bireyler çıkarılırken, heterozigot bireyler işlevsel olarak dirençli kalacak ve sonuçta homozigot dirençli bireylerle birlikte selekte edilecektir. Sık uygulamalar sonucu, geçici olsa da olağanüstü bir zararlı kontrolünün sağlandığı durumlar vardır. Bu durumu çok ciddi bir direnç probleminin gelişmesi takip eder. Alana, hiç pestisit uygulanmamış bireylerin sürekli olarak girmesi nedeniyle sık sık pestisit uygulanmasının gerekli olduğu durumda, zararlı popülasyonu üzerindeki seleksiyon baskısını azaltmak için birbirlerine benzemeyen yapıda bileşiklerin dönüşümlü olarak kullanılması uygun olacaktır.

İkincil zararlıların varlığı

Zararlı konukçu spektrumuna ilişkin bölümde de belirtildiği gibi ele alınması gereken diğer bir konu da ortamda zarar eşliğindeki hedef türlerle birlikte bulunan, ekonomik eşik seviyesi altında kalıp hedef alınmayan duyarlı türlerdir. İkincil zararlı türü de hedef alınsa, birincil tür uygulanan pestisit ile dirençli bireyler lehine selekte edilecektir. Bu nedenle ayrıntılı pestisit uygulama kayıtları tutulmalı ve kayıtlar dikkate alınmalıdır. Ne yazık ki işin uzmanları zararlı kontrol programı tasarlarken genellikle, zararlı ekonomik düzey altındayken yapılan uygulamaları dikkate almamaktadır.

Yaşam evresi

Böcekler, özellikle yaşam döngülerinin pestisitlere karşı savunmasız olduklarında evrelerinde ilaçlandıklarında (örneğin, Lepidoptera'da yeni doğmuş veya ilk dönem larvaları ile yetişkin erkekler, insektisitleri çok daha az metabolize edebilirler) veya mümkünse farklı yaşam evrelerinde birbirleriyle ilgisiz bileşiklerle muamele edildiklerinde, direnç gelişme olasılığı daha düşüktür. Bunun nedeni, bazı bireyler yaşamlarının bir aşamasında bir pestisite karşı dirençliyken, sonraki aşamasında ilintisiz başka bir bileşikle muamele edildiklerinde muhtemelen ortadan kaldırılacak olmalarıdır. Bununla birlikte, nesiller çok eşzamanlı değilse veya larvalar ile yetişkinleri farklı ortamlarda yaşamıyorsa, böyle bir fırsata yakalamak genellikle zordur. Alanda çoğu zaman farklı yaşam aşamalarının bir karışımı vardır.

Pestisit uygulanan bireylerin popülasyondaki oranı

Genel olarak direnç, bir zararlı türünün tüm coğrafi aralığındaki bireylerinde aynı anda gelişmez. Direncin yerel olarak gelişmesi çok daha olasıdır. Örneğin tahıl küllemesi gibi mantari hastalıklar söz konusu olduğunda, direnç genellikle ilk olarak en yüksek fungusit kullanımı ve en yüksek hastalık yoğunluğu olan alanlarda, örneğin önce Kuzey Avrupa'da görülür ve daha sonra güneye doğru yayılır. İnsektisit ve herbisitlerin sadece belirli tarlalara veya lokalize alanlara uygulanması durumunda, hassas bireyler veya tohumlar pestisit uygulanan alana doğru gider, zararlıların duyarlı bireyleri ve duyarlı bitkilerin polenleri dirençli oldukları için hayatta kalanlarla döllenir, böylece ortamdaki dirençli genlere sahip bireyler seyrelir. Tersine durum tüm pestisitler için geçerli olup, lokal bir alan aşırı derecede pestisit uygulamasına tabi tutulursa yerelleştirilmiş bir dirençli popülasyon yaratılabilir. Eğer ortamdaki türler rüzgârla taşınan sporlar, tohumlar ve eklembacaklılar gibi son derece hareketli ise, bu durumda direnç genleri bu genin bulunmadığı veya çok düşük bir frekansta bulunacağı alanlara taşınabilir.

Kalıcılık

Tüm koşulların dengeli olduğu ortamlarda seleksiyon baskısı daha düşük olacağından, direncin daha az kalıcı pestisitler yoluyla gelişmesi olasılığı daha düşüktür. Bununla birlikte çoğu durumda, daha az uygulama gerektirmesi açısından uzun süreli kalıntı etkisine sahip ürünler istenmektedir. Bu durumda pestisit yavaş yavaş dağılıp bir noktada dirençli bireyleri selekte edeceği orana ulaşılır ve dirençli bireylerin seleksiyonu gerçekleşir.

Dirençli bireylerin selekte edilen miktarı, böcek türlerinde kısmen zararlının hareketine bağlıdır. Örneğin, orijinal uygulama ile zararlıların çoğu ortadan kaldırılmış ve uygulama alanında pestisit ulaşmadığı çok az sayıda birey varsa, o zaman seleksiyon çok az olacaktır. Bununla birlikte, bitişik alanlardan veya toprak altında kalarak pestisite temas etmemiş bireyler sürekli olarak ortama giriyorsa, daha fazla sayıda dirençli birey selekte edilecektir. Pestisit uygulaması sık yapılmıyor ve kalıcılık durumu zayıfsa, popülasyondaki direnç genleri dışarıdan duyarlı bireylerin katılımıyla ile seyretililebilir. Bunlardan en ideal olanı, zararlıları etkin bir şekilde kontrol eden ve ardından çok hızlı bir şekilde bozulan oldukça aktif pestisitlerdir. Kalıcılık uygulama sıklığıyla ilişkilidir. Az kalıntı bırakan pestisitler daha az seleksiyon baskısı uygulama eğiliminde olup direnç gelişimi daha yavaş gerçekleşir. Bununla birlikte sık uygulamalar, kalıntı etkisi düşük pestisitlerin faydalarını ortadan kaldırabilir.

Uygulama yapılan ürün sayısı

Aynı pestisit bir çok farklı ürüne uygulanması durumunda, özellikle geniş bir konukçu yelpazesine sahip zararlıların direnç geliştirme riski daha yüksek olacaktır. Pestisit birbirinin peşi sıra yetiştirilen ürünler üzerindeki böceklerde direnç gelişimini teşvik edebilir. Bu durumda duyarlı bireylerin barınabileceği sığınaklar daha daralacaktır.

Ürün döngüsü

Aynı alanda yetiştirilen ürünler zaman içinde değiştirilir (örneğin, araya nadas ve farklı ürün döngüleri konursa) veya ürünler farklı coğrafi bölgelerde yetiştirilirse, direnç gelişimi riski daha düşük olacaktır. Öte yandan sürekli aynı ürün yetiştirildiğinde, bir pestisite karşı direnç kazanan bireylerin seleksiyonu daha hızlı olacaktır. Benzer şekilde, ürünlerin geniş ve kesintisiz bir alanda yetiştirilmesi durumunda, duyarlı bireylerin hayatta kalabileceği sığınaklar daha daralacaktır.

Zararlı kontrol taktikleri

Tek bir pestisitlin sürekli kullanımı veya sadece kimyasallara dayanan bir kontrol yöntemi, pestisitlere karşı direnç gelişimi riskini artırabilir. Bu nedenle direnç önleme ve yönetim stratejileri, kimyasal, biyolojik ve kültürel uygulamalara dayalı çoklu kontrol taktiklerinin kullanımını öngörmektedir.

Hedef dışı etki

Özellikle insektisitlerde, selektif ilaçların kullanımı ve / veya alternatif zararlı yönetimi teknikleri gibi ürün zararlılarının doğal düşmanları üzerinde çok az etkisi olan kontrol yöntemleri, direnç gelişimini yavaşlatmaya katkıda bulunur. Bunun nedeni, doğal düşmanların hem dirençli hem de duyarlı böcekleri öldürecek ve böylece direnç henüz baskın değilken popülasyondaki dirençli genlerin sıklığını azaltacak olmasıdır.

2.4 Fungusite direnci riski

Direnç geliştirme riski büyük ölçüde fungusitin kimyasal sınıfına, ilgili patojene, uygulamanın nasıl ve nerede yapıldığına bağlıdır. Her kimyasal sınıf, kendine özgü bir direnç biçimiyle karakterize edilir. Büyük kimyasal sınıflar ve direnç geliştirme riskine göre bileşiklerin yüksek, orta veya düşük direnç sınıfları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2 Farklı fungusitler ve kimyasal fungusit sınıflarına ilişkili doğal direnç riski.

Direnç riski	Bileşiklerin kimyasal sınıfı
Yüksek	Benzimidazoller, dikarboksimidler, fenilamidler, strobilurin analogları (örneğin metoksiakrilatlar, oksimino asetatlar)
Orta	2-Amino-pirimidinler, aminler (morfolinler dahil), anilinopirimidinler, aromatik hidrokarbonlar, azoller, karboksanilitler, karboksilik asit amidler, karpropamid, simoksanil, fenheksamid, kasugamisin, fenilpiroller, fosfortiyolatlar, kuinoksifen
Düşük	Klorotalonil, bakırlar, ditiyokarbamatlar, fosetil-Al, pirokilon, ftalimidler, süpersürler, trisiklazol

[Kaynak: Brent & Hollomon (2007a,b), FRAC (2011)]

Çeşitli fungusitlerle ilişkili direnç riskine ek olarak, yıllar içinde direnç geliştirme eğilimi gösteren bir dizi patojen de vardır. Bunlar Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 3 Yüksek direnç gelişimi riski taşıdığı düşünülen önemli bitki patojenlerine örnekler.

Patojen	Bitki
<i>Phytophthora infestans</i>	Patates (sadece fenilamidler)
<i>Plasmopara viticola</i>	Asma
<i>Erysiphe graminis</i>	Buğday ve arpa
<i>Uncinula necator</i>	Asma
<i>Sphaerotheca</i> spp.	Muhtelif
<i>Mycosphaerella fijiensis</i>	Muz
<i>Pyricularia oryzae</i>	Çeltik
<i>Gibberella fujikuroi</i>	Çeltik
<i>Botryotinia fuckeliana</i>	Muhtelif, özellikle asma
<i>Venturia</i> spp.	Elma ve armut

[Kaynak: OEPP/EPPPO (2002)]

Yukarıdaki kategorilere uymayan yeni fungusitlerde, direnç gelişimine yol açabilecek bireysel faktörleri dikkate almak gerekir. Tablo 4 verilen çerçevede hazırlanmış olup bu amaçla kullanılabilir.

Tablo 4 Yeni bir fungusite karşı direnç gelişimini tahmin etmede kullanılacak çerçeve liste.

Faktör	Direnç riskinin pozitif göstergesi
Fungusitin doğal özellikleri	
Fungusit sınıfı	Fungusit, direnç problemi öyküsü olan bir sınıfın üyesi olduğunda.
Hedef bölge	Tek bir hedef bölge varsa; ya da bölgenin diğer fungusitlerden etkilenmeyen ya da daha az etkilenen bir biçime dönüştüğü biliniyorsa.
Çapraz direnç	Mevcut fungusitlere dirençli, yeni fungusite de direnç gösteren hedef patojen suşları varsa.
Mutajenik amillere cevap	Mutajenik ajanların uygulanması, hedef mantarın dirençli, sağlıklı mutantlar üretmesine neden oluyorsa.
Seksüel yolla birleşme deneylerindeki yanıt	Seksüel yolla çoğalma, hedef mantarı hastalık etmeninin dirençli ve sağlıklı rekombinantlar üretmesine neden oluyorsa.
Yinelenen fungusit uygulamasına yanıt	Laboratuvar veya sahada yinelenen fungusit uygulamaları, hedef mantarı hastalık etmeninin belirlenebilir düzeyde dirençli ve sağlıklı suşlarının ortaya çıkmasına yol açıyorsa.
Bitki patojeninin doğal özellikleri	
Nesil verme süresi	Hedef patojenin hızlı çoğalması sonucu sık sık fungusit uygulanıyorsa
Sporlanma miktarı	Patojen bol spor üretiyorsa
Sporların yayılması	Sporlar bitki, ürün ve bölgeler arasında kolayca yayılıyorsa
Genetik uyum durumu	Patojen haploid ise, mutasyonların dirence karşı ifadesine izin veren bir gen yapısına sahipse, hastalık döngüsünde zorunlu bir eşeyli ve eşeysiz üreme döngüsü varsa veya başka genetik uyum belirtileri gösteriyorsa
Direnç tarihçesi	Patojenin fungusitlere (herhangi bir tür) karşı direnç geliştirme öyküsü varsa
Kullanım koşulları (yerel olarak belirlenir)	
Fungusitin uygulanışı	Fungusit uygulamaları tekrarlanacaksa, fungusit (veya çapraz dirençle ilgili fungusitler) bölgedeki ürünlerde sürekli ve / veya yaygın olarak kullanılacaksa
Tamamlayıcı önlemler	Diğer fungusit türleri (karışım halinde veya dönüşümlü olarak) veya kimyasal olmayan hastalık önleyici tedbirler (örneğin ürün rotasyonu, dirençli çeşitler, hijyen önlemleri) kullanılmayacaksa
Patojenin görünme sıklığı ("hastalık baskısı")	Patojen büyük miktarlarda ve / veya geniş alanlarda mevcutsa ve / veya uzun zaman periyotları içinde hızla çoğalıyorsa (kısa nesil süresi)
Patojen izolasyonu	Hedef patojenin popülasyonları izole edilmişse ve / veya örneğin, sera bitkileri gibi göç etmiyorsa
[Kaynak: Brent & Holloman (2007a)]	

Şekil 3, spesifik fungusitler ve patojenlerle ilişkili doğal direnç riskinin nasıl kategorize edilebileceğini göstermektedir. Risk kategorizasyonun tahmini ve verilen puanlar takdire dayalı olmakla beraber bunlar mevcut bilgiler ışığında yapılabilecek en iyi tahminlerdir. Fungusit direnç yönetimi rehberliği sağlayan, CropLife International'ın uzman teknik grubu olan Fungusite Direnç Eylem Komitesi (FRAC), kimyasal grupların direnç riskini düzenli olarak gözden geçirmekte ve mutasyon çalışmaları da dahil olmak üzere, bir organizmanın sahada veya laboratuvarında herhangi bir direnç gösterip göstermediğini açıklayan Hastalık Kontrol Ajanlarına Dirençli Bitki Patojenik Organizmaların Listesini tutmaktadır.

Şekil 3 Fungusit-patojen kombinasyonları için spesifik direnç geliştirme riski. Spesifik mantar öldürücüler ve patojenlerle ilişkili doğal direnç riski, ilk önce yüksek, orta, düşük veya yok (bu değerlere karşılık 3, 2, 1 veya 0.5 olarak puanlanır) olarak ayrı ayrı kategorize edilebilir ve ardından bir mantar öldürücü-patojen skoru için birleştirilebilir (9 - 0,5 arası). [Kaynak: Brent & Holloman (2007a)]

Birleşik risk: 1 = düşük, 2-6 = orta, 9 = yüksek				
Yüksek Benzimidazoller Qoller Fenilamidler Dikarboksimidler	3	3	6	9
Orta Karboksanilitler DMI'lar Fenilpiroller Fosfortiyolatlar Anilinopirimidinler MBI-D'ler	2	2	4	6
Düşük Bakırlar, Kükürt Klorotalonil Ditiokarbamatlar Ftalimidler MBI-R'ler Probenazol	0.5*	0.5	1	1.5
	1	2	3	
	Düşük <i>Rhizoctonia</i> Paslar Toprak kaynaklı Rastıklar ve Sürmeler	Orta Eyespot <i>Mycosphaerella graminicola</i> <i>Rhynchosporium</i>	Yüksek <i>Botrytis</i> <i>Blumeria</i> <i>Magnaporthe</i> <i>Venturia</i> <i>Plasmopara</i> <i>Penicillium</i> <i>M. fijiensis</i> <i>Phytophthora infestans**</i>	
<p>* Düşük puan, bu düşük riskli grupta uzun süredir devam eden "dirençsiz" rekorunu yansıtmaktadır.</p> <p>** <i>Phytophthora infestans</i>, bazılarında yüksek risk sınıflandırmasının büyük ölçüde fenilamidlere reaksiyona dayandırıldığından, orta riskli olduğu kabul edilir</p> <p>En yeni bilgiler FRAC web sitesinde mevcuttur: www.frac.info</p>				

Son olarak, bir ülke veya bölgede direncin gelişmesi, aynı zamanda fungusit kullanım koşullarına da bağlıdır. Bu koşullar bazen risk değiştiriciler olarak adlandırılabilirler da gerçekte direnç gelişiminin önemli belirleyicileri olup her zaman bu değerlendirmenin ayrılmaz bir parçasıdır. Direnç gelişimini etkileyen en önemli faktörler aşağıda sıralanmaktadır:

- uygulama sayısı - belirli bir bileşik, patojen popülasyona ne kadar sık uygulanırsa, direnç seleksiyonu o kadar hızlı gerçekleşir;
- tek bir etki mekanizmasının koşulsuz kullanımı - uygulamada tek bir etki mekanizması kullanıldığı sürece, direnç yönünde seleksiyon baskısı o ölçüde uzun sürdürülür;
- kullanılan fungusitin "dozu" - ürün etiketinde tavsiye edilenden daha düşükse direnç geliştirmek için seleksiyon basıncı artabilir;
- fungusite maruz kalan patojen popülasyonlarının boyutu - bir bölgede hastalık çıkma sıklığı nispeten düşük, ara sıra veya mevsimden mevsime düzensizse, direnç seleksiyonu azalır;
- pestisit uygulanan parsellerin genişliği, alan veya bölgenin oranı - uygulama yapılan parseller ne kadar büyük, fungusit kullanılan alanın oranı ne kadar fazlaysa, dirençli bireylerin seleksiyonu ve oluşumu o kadar yaygın olur;

- yalnızca fungusitlere bağlı kalan entegre hastalık yönetiminin uygulanması - fungusit direnci seleksiyon baskısının artmasına neden olacaktır; ve
- hassas formların dışarıdan girişini önlemek suretiyle patojen popülasyonlarının izolasyonu (örneğin seralarda, polietilen tünellerde veya izole tarım alanlarında) - dirençli popülasyonların gelişimini destekleyebilir.

2.5 Herbist direnci riski

Herbisitlere direnç, insektisitlere ve fungusitlere karşı dirençten daha yavaş şekilde gelişmekle beraber, konuya ilişkin dünya çapında bildirilen vakalar vardır. Bu durum aşağıdaki hususlara dayandırılmaktadır:

- bitkilerin genellikle yılda sadece bir nesil gibi nispeten yavaş üremesi;
- herbisitlerden kaynaklanan herbisite direnç baskısının yetersiz olması;
- topraktaki tohum stokları (tohum bankası);
- otsu bitkilerin esnek oluşu;
- eski tip herbisitlerin birden fazla etki mekanizmasına sahip olması; ve
- herbisit yanında kimyasal olmayan yabancı ot kontrol yöntemlerinin kullanılması.

Yabancı otların herhangi bir direnç geni kazanmaları karşısında çoğu durumda diğer özelliklerini yitirmedikleri görülmüştür. Sonuç olarak bu genlerin frekansı, herbisit kullanımı yoluyla selekte edilmeden önce bile yüksek değerde olabilir. Herbisit direnci vakalarının çoğu, bazı işlevlerde tek bir mutasyon veya modifikasyon sonucu dirençlilik veya çapraz dirençlilik olarak ortaya çıkar. Çoklu direnç vakaları da bildirilmiş olmakla beraber, bir bitkinin birden fazla direnç mekanizmasına sahip olması çok nadirdir.

Herbisitlere karşı direnç günümüzde üstel olarak katlanarak artmaktadır. Bunun nedeni, çok etkin yeni herbisitlerin çoğunun yalnızca bir hedef bölge üzerinde etkin olmasıdır.

Başlıca herbisite direnç mekanizmaları şunlardır:

- *hedef etki bölgesinin değişmesi*: hedef bölgenin yapısındaki bir değişiklik nedeniyle herbisit artık normal etki alanına bağlanmadığından, bitki herbisit uygulamasından sonra hayatta kalır;
- *geliştirilmiş metabolizma*: dirençli bitkiler bünyelerindeki herbisiti, fototoksik olmayan maddelere normal hassas bir bitkiden daha hızlı bir şekilde dönüştürebilir, böylece birçok kültür bitkisi herbisit uygulamasından sonra hayatta kalabilir; ve
- *bölgelere ayrılma / tutma*: herbisit, bitki hücrelerinin hassas kısımlarından, vakuol gibi bitki gelişimi üzerine bilfiil zararsız olan toleranslı bir bölgeye çıkarılır.

Herbisit direncinin gelişmesindeki en önemli faktör, benzer etki mekanizmasına sahip herbisitlerin sık periyotlarla kullanılmasıdır. Diğer faktörler aşağıda sıralanmaktadır:

- seleksiyon baskısının yoğunluğu;
- münavebeli tarımda yabancı ot mücadelesinin herbisite dayalı olarak yapılması - herbisit uygulama sıklığını ve kullanılacak herbisit türünü belirleyecek olması bakımından ürün münavebesi önemlidir. Münavebe, kimyasal olmayan yabancı ot kontrol seçeneklerinin belirlenmesinde de ana faktör olup yabancı ot florası üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir;
- biyoteknik yabancı ot kontrol uygulamalarının eksikliği - entegre yaklaşımın bir parçası olarak kültürel yollarla veya kimyasal kullanılmadan yapılan yabancı ot kontrol teknikleri, sürdürülebilir ürün yönetim sistemi için gereklidir;
- herbisit uygulanan yabancı otlarda direnç genlerinin sıklığı; ve
- tohum bankasının (toprakta durgun vaziyette duran ve tampon görevi yaparak direncin gelişmesini geciktiren yabancı ot tohumları) boyutu ve canlılığı.

Farklı işletimsel faktörlerin herbisit direncinin gelişimini nasıl etkilediği ve farklı uygulamaların yabancı otlarda direnç seleksiyonu konusunda ne ölçüde risk oluşturduğu Tablo 5’te gösterilmektedir.

Table 5 İşletimsel faktörlerin herbisit direnci geliştirme üzerine etkileri.

İşletimsel faktörler	Direnç geliştirme riski		
	Düşük	Orta	Yüksek
Münavebe sistemi	Münavebe tam	Münavebe sınırlı	Münavebe yok
Yetiştiricilikte herbisit kullanımı ve rotasyon birlikte uygulanıyor	2’den fazla etki tarzı	2 etki tarzı	1 etki tarzı
Yetiştiricilikte yabancı ot kontrolü	Kültürel, mekanik ve kimyasal	Kültürel ve kimyasal	Kimyasal
Her sezon aynı etki mekanizmasının kullanımı	Bir defa	Birden fazla	Çok defa
Yabancı otun etki mekanizmasına direnci	Bilinmiyor	Sınırlı	Yaygın
Yabancı ot istilası	Düşük	Orta	Yüksek
Son 3 yılda kontrol	İyi	Azalıyor	Zayıf
[Kaynak: HRAC (2011)]			

Bazı herbisit sınıflarının, direnç geliştirme olasılığı diğerlerine göre daha yüksektir. CropLife International bünyesinde herbisit direnci yönetimi rehberliği sağlayan uzman teknik grup Herbisit Direnci Eylem Komitesi (HRAC) tarafından, nüfuz bölgesine göre sınıflandırılan çeşitli herbisit gruplarının direnç geliştirme hızı ve olasılığı Tablo 6’da verilmektedir.

Tablo 6 HRAC (Herbisit Direnci Eylem Komitesi)’nin belirlediği herbisit gruplarında direnç gelişimi için gerekli süre ve direnç riski.

Herbisit grupları (HRAC sınıflandırması)	Direnç gelişmesi için geçecek süre	Direnç riski
A	6 - 8	Yüksek
B	4	Yüksek
C	10 - 15	Orta
D	10 - 15	Orta
F	10	Orta
I	Bilinmiyor	Düşük
L	> 15	Düşük
M	15	Düşük

[Kaynak: HRAC herbicide classification, FAO (2008)]

Kimyasalların kullanılmadığı bir alanda, seleksiyon basıncı düşük bir herbisit, yabancı ot kontrolünde dönüşümlü olarak seyrek de olsa uygulanması sonucu direnç riskinin azalması genel bir kuraldır. Herbisite direnç geliştirme eğilimi gösteren birkaç yabancı ot türü de vardır. Bu türler Tablo 7’de listelenmiştir.

Tablo7 Dünya çapında herbisit direnci geliştiren önemli on yabancı ot türleri

Türler	Yaygın adı
<i>Lolium rigidum</i>	Sertçim
<i>Avena fatua</i>	Yabani yulaf
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Tilki kuyruğu
<i>Chenopodium album</i>	Ak sirken
<i>Setaria viridis</i>	Yeşil sıçansaçı
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Darıcan
<i>Kochia scoparia</i>	Ateş topu
<i>Conyza canadensis</i>	Selvi otu
<i>Amaranthus hybridus</i>	Melez mancar

[Kaynak: HRAC (1999)]

2.6 İnsektisite direnç riski

Böcek ilaçlarına karşı direnç konusunun uzun bir geçmişi vardır. Aslında belli başlı her insektisite karşı er ya da geç direnç gelişir. Bugüne kadar direnç konusunda yapılan araştırmaların çoğu, insektisit direncinin üstesinden gelmek veya geciktirmek için taktikler geliştirmek üzerinedir.

Böcek direnci sorunlarının çoğu Tablo 8’de sıralanan faktörlerle ilişkilidir,

Tablo 8 Böceklerde direnç gelişimini etkileyen faktörler.

Faktör	Direnç gelişimi üzerine etkisi
Böceklerle ilgili faktörler	
Kısa yaşam döngüsü	Böcek popülasyonuna, her yetiştirme sezonu ve ürün başına birkaç veya daha fazla insektisit uygulanırsa bu durum direnç geliştirme süresini kısaltabilir.
Yüksek istila / popülasyon düzeyi	Yüksek kontrol düzeyleri sağlandığında bile nispeten yüksek sayıda dirençli bireyler hayatta kalabilir. Bu durum daha hızlı direnç gelişimine yol açar.
Dişi başına çok sayıda yavru	Direnç gen(ler)i bakımından selekte edilmiş nispeten az sayıda canlı bireyler tarafından hızla yeniden büyük popülasyonlar oluşturulur
Geniş konukçu çeşitliliği	Böcekler her yıl muhtelif bitki türlerine karşı direnç geliştirir.
İşletimsel faktörler	
Haçların etikette önerilen dozun altında uygulanması	Böcek popülasyonunda heterozigot dirençli bireyler selekte edilerek direnç geni frekansı artar.
Popülasyonun tamamına ulaşamama	Dirençli heterozigotların hayatta kalarak, direnç gen(ler)ine sahip bireylerin frekansını artıran düşük doz uygulama ile eşdeğer uygulamadır
Uygulama zamanının hatalı olması	Böceğin az hassas olduğu gelişme dönemlerinde yapılan uygulamalar, popülasyonun devasa bir boyuta ulaşmasına yol açar. Bu durum, gelişmelerinin daha az hassas oldukları dönem boyunca, çok sayıda heterozigot dirençli bireylerin seleksiyonuyla sonuçlanır
Tek bir sınıfa ait kimyasalların kullanımı	Dirençli bireylerin seleksiyon baskısını yüksek düzeyde artırır
Neredeyse tamamen kimyasal kontrole bağlı kalma	İnsektisitlerin neden olduğu yüksek seleksiyon baskısı; predatör ve parazitleri öldürür, böylece zararlı popülasyonunda direnç genlerinin frekansı artar
Tek bir hedef zararlı türü ve ürüne yoğunlaşmak	Eşik düzeyinin altındaki böcekleri ve diğer bitkilere pestisit uygulanmasını dikkate almaz. Böylece hedef olmayan türlerde direnç seleksiyonu artar
Kalıntı etkisi uzun süren bileşiklerin kullanılması	Bileşikler bozunarak heterozigot bireylerin hayatta kalmasına izin verir, böylece direnç genlerinin frekansı artar.

Geniş spektrumlu bileşiklerin kullanımı

Hedef zararlı kontrolüne katkıda bulunabilecek predatörleri ve parazitleri ortadan kaldırır, aynı bölgedeki hedef olmayan zararlılarda direnç seleksiyona yol açar

[Kaynak: IRAC (2011), Whalon et al, (2008), NRC (1986)]

Bazı böcek türleri diğerlerinden daha sık direnç geliştirir. Tablo 9'da gösterildiği gibi, dünyadaki en zor ve ekonomik yönden zararlı eklembecaklı türlerinin çoğu böyledir. Döl verme süreleri kısa ve çok sayıda döl verebilen bu türler yüksek popülasyon sayılarına ulaşabilir. Sonuç olarak, böcek istilasına karşı her yıl çok sayıda ilaçlama yapılması gerekir. Bu türlerin çoğuyla yıllardır yeni geliştirilen insektisit veya akarisitlerle mücadele edilmektedir. Bu türler tüm böcek ilaçlarına karşı dirençli olmasalar da ekstra özen gerektirir. Türlerden herhangi biri hedef bir zararlı haline gelirse, mevcut veya yeni bir böcek ilacı kullanılmadan önce, mümkün olduğunca çok sayıda EZM uygulaması içeren bir DYP geliştirmek çok önemlidir. Aslında, bu listeye dahil edilmeyen türlerle mücadele ederken de dikkatli olunmalıdır. Yeni bir kimyasal sınıfa ait yeni bir insektisite direnç geliştirmelerinin mümkün olmadığı sanılmamalıdır. En sonunda bu da gerçekleşebilir.

Tablo 9 Tarım ve halk sağlığında dirençli oldukları bildirilen ilk 20 eklembecaklı. Sıralama, böceklerin dirençli olduğu insektisit sayısına 1'den (en fazla bileşiğe dirençli) 20'ye kadar dayanmaktadır.

Ordo	Familya	Türler	Sıra	Konukçusu
Acari	Acaridae	<i>Rhizoglyphus robini</i>	19	Süs bitkileri, depolanmış soğan
Acari	Ixodidae	<i>Boophilus microplus</i>	6	Siğir
Acari	Tetranychidae	<i>Panonychus ulmi</i>	9	Meyve ağaçları
Acari	Tetranychidae	<i>Tetranychus urticae</i>	1	Pamuk, çiçekler, meyveler, sebzeler
Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	4	Patates, patlıcan, domates
Coleoptera	Tenebrionidae	<i>Tribolium castaneum</i>	17	Depolanmış hububat, yerfıstığı, sorgum
Dermoptera	Blattellidae	<i>Blattella germanica</i>	7	Kentsel
Diptera	Calliphoridae	<i>Lucilia cuprina</i>	18	Siğir, koyun
Diptera	Culicidae	<i>Anopheles albimanus</i>	20	İnsan
Diptera	Culicidae	<i>Culex pipiens pipiens</i>	11	İnsan
Diptera	Culicidae	<i>Culex quinquefasciatus</i>	15	İnsan
Diptera	Muscidae	<i>Musca domestica</i>	5	Kentsel
Hemiptera	Aleyrodidae	<i>Bemisia tabaci</i>	8	Sera, pamuk, Kabakgiller, Turpgiller ve sebzeler
Hemiptera	Aphididae	<i>Aphis gossypii</i>	10	Pamuk, sebzeler
Hemiptera	Aphididae	<i>Myzus persicae</i>	3	Meyve, sebzeler, ağaçlar, tahıllar
Hemiptera	Aphididae	<i>Phorodon humuli</i>	12	Şerbetçiotu, erik
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Helicoverpa armigera</i>	13	Pamuk, mısır, domates
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Heliothis virescens</i>	14	Nohut, pamuk, mısır, domates
Lepidoptera	Noctuidae	<i>Spodoptera littoralis</i>	16	Yonca, mısır, patates, sebzeler
Lepidoptera	Plutellidae	<i>Plutella xylostella</i>	2	Turpgiller

[Kaynak: Michigan State University (tarihsiz)]

2.7 Rodentisite direnç riski

Diğer zararlı türlerindeki benzer şekilde, kemirgenlerde direnç geliştirme süreci de aşırı kullanım, yetersiz dozaj ve tek bir kimyasal sınıfının kullanımı gibi uygulamaların sonucudur. Bununla birlikte, iki faktör rodentisitlerin performansına özgüdür. Bunlar aşağıda verilmektedir:

- bazı kemirgenlerin “yem utangaçlığı” veya “öğrenilmiş gıda isteksizliği” olarak adlandırılan, en sık akut zehirlere karşı görülen zehirli yemlerden ve tuzaklardan kaçınmayı öğrenme yeteneği vardır. Bu nedenle modern rodentisitler, gecikmeli etkiye sahip antikoagülanlarla sınırlıdır;
- tipik olarak mantarlar, böcekler veya yabancı otlardan çok daha küçük olan kemirgen popülasyonlarının boyutu, kemirgenleri diğerlerinden ayıran önemli bir özelliktir. Burada ana kontrol aracı, tüm kemirgenlerin yemeye karar vermesi gereken zehirli yemlerdir. Bu ilaçlar, herbisit ve insektisitler gibi geniş alanlara püskürtülerek uygulanmaz.

Kemirgenlerde antikoagülan direncinin oldukça karmaşık olduğu kanıtlanmıştır. Norveç sıçanlarında (*Rattus norvegicus*) direnç oluşmasının başlıca nedeni, K vitamini metabolizmasını etkileyen VKOR genindeki mutasyonlardır. Sitokrom P450 ile artan detoksifikasyon da dirençle ilişkilidir. Eklem bacaklı zararlılarda olduğu gibi üreme şekilleri, pestisit özelliği ve popülasyonun geçmişi gibi faktörler, kemirgenlerde de direnç üzerinde etkilidir.

Bazı antikoagülan bileşiklere direnç, özellikle Kuzey Amerika ve kuzey Avrupa ülkelerinde ve *R. norvegicus*, *Mus musculus*, *M. domesticus* ve *R. rattus* gibi türlerde görülse de şu anda direncin olduğu yerlerde mevcut rodentisitlerle bile kemirgenleri istenen düzeyde kontrol etmek hâlâ mümkündür. Bu durum öngörülebilir gelecekte de büyük olasılıkla böyle kalacaktır.

3 Pestisite direncin önlenmesi ve yönetimi

3.1 Direnç yönetim planının geliştirilmesi

DYP, belirli bir zararlının pestisit direnci geliştirmesini önlemek ve / veya yönetmek için alınması gereken taktikleri veya önlemleri tanımlar. Burada amaç zararlı popülasyonunda direnç genleri seleksiyonunu azaltmaktır. Uygulanacak taktikler bir yandan zararlının istenen düzeyde kontrolünü sağlarken, seleksiyon baskısını düşürmek suretiyle, zararlı popülasyonundaki duyarlı genlerin frekansını yükseltip dirençli genlerin frekansını azaltmayı sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu taktikler her zararlı grubu için farklı olmakla beraber genel ilkeler tüm DYP'ler için geçerlidir.

3.2 Genel ilkeler

EZY'nin bir parçası olarak pestisit direnci yönetimi

Belirli bir zararlı ve bitkisel üretim sistemi için, genel bir entegre zararlı yönetimi yaklaşımı çerçevesinde bir direnç yönetimi planı geliştirilmesi şiddetle tavsiye edilir. Direnç gelişiminin yönetiminde, sadece gerektiğinde pestisit kullanımı ve mümkün olduğunda alternatif zararlı yönetimi tekniklerinin kullanımı dahil olmak üzere, EZY ilkelerine dayalı rasyonel zararlı kontrol stratejileri tasarlanmalıdır.

Yeni pestisitler piyasaya sürüldüğünde direnç önleme ve yönetim programları uygulayın

DYP'ler, direnç konusu bir sorun haline gelmeden önce ve beklenen biyolojik faydalarını tam olarak elde etmek için geniş alanlarda tekdüze uygulanmalıdır. Direncin ilk göze çarpan semptomları ortaya çıktığında, direnç gen(ler)inin frekansı büyük ölçüde artmış olacaktır. Bu durum zararlı popülasyonunun genel duyarlılık düzeyinin korunmasını daha da zorlaştıracaktır. Kazanılan dirence karşılık uyum bedeli çok ağır olmadığı sürece, direnç gen(ler)i zararlı popülasyonunda kademeli olarak birikebilir.

Zararlılara yoğunlaşın

Bir DYP tasarlarlarken, zararlı ve konukçularının biyolojisi hakkında mümkün olduğunca fazla şey bilmek önemlidir. Bu bilgi, hedef zararlıda duyarlılık kaybını ve direnç gelişimini anlamak için gereklidir. DYP yalnızca hedef bitkileri değil, zararlının bulunduğu tüm alanı kapsamalıdır. Tercihen tarım yapılan bölgenin tamamında

bölgedeki tüm yetiştiricilerin katılımıyla, belirli bir üründen çok zararlıya odaklanarak uygulanmalıdır. Uygulamada küçük bir uyumsuzluk bile DYP'nin çabalarını boşa çıkarabilir. Fungusitler söz konusu olduğunda, DYP tüm bölgeler veya ülkeler olmak üzere geniş coğrafi alanlarda uygulanmalıdır. Herbisitler söz konusu olduğunda DYP, tamamen ürün rotasyonu yoluyla yabancı ot kontrolüne odaklanmalıdır

Civardaki konukçu bitkileri dikkate alın

DYP'ler özellikle böceklerde direnç gelişim sürecini yönetmek söz konusu olduğunda, ana konukçu bitkinin yakınında bulunan alternatif konukçuların da aynı uygulamaya tabi tutulması hususunu da dikkate almalıdır. Aynı zararlının büyük popülasyonları yakın mesafedeki tarlalardan veya yakınlarındaki yabancı konukçular üzerinde farklı gelişme evresine sahip bireyler bulunduracak şekilde gelişiyor olabilir. Tüm bitkilerde aynı veya benzer nitelikte pestisitlerin uygulandığı ortamlardaki böcek popülasyonları, hesaplanandan çok daha ağır seleksiyon baskısı altında demektir.

Örneğin, *Bemisia* sp. hem pamuğa hem de sebzelere musallat olan ve bir bitkiden diğerine kolayca geçen bir zararlıdır. Pamuğa beş, sebzeğe de beş ilaçlama yapılması durumunda, *Bemisia* sp. popülasyonu yılda on uygulamaya veya on kez seleksiyon baskısına maruz kalacaktır. Her ürün tek başına değerlendirilseydi, aynı popülasyon yılda yalnızca beş kez seleksiyona tabi olacaktı. Bir DYP tasarlarırken bu durumu da hesaba katmak önemlidir. Farklı yetiştiriciler ve uzmanların bulunduğu bir yerde, her ürünün diğerlerinden ayrı değerlendirilmesi sonucu özellikle böcek popülasyonları üzerindeki seleksiyon baskısının ihmal edilmesi muhtemeldir.

Alternatif (kimyasal olmayan) zararlı yönetimi önlemlerini dikkate alın

EZY ilkeleri ve stratejilerine uygun olarak hazırlanacak bir DYP, zararlıların yönetilmesine etkili bir şekilde katkıda buldukları sürece, mümkün olduğunca çok sayıda kimyasal dışı zararlı kontrol araçları ve alternatif yöntemlerini içermelidir. Bunlar arasında biyopestisitler, predatörler ve parazitoitler gibi biyolojik kontrol araçları, dirençli bitki çeşitleri, istila riskini azaltmak için ekim döneminin ayarlanması, ürün rotasyonu uygulanması ve zararlıların üreme döngülerini engelleyen diğer kültürel önlemler, tohum ve sporların yayılmasını durdurmak için uygulamalarda kullanılan ekipmanın temizliği gibi hijyenik uygulamalar bulunmaktadır.

Tek bir sınıf pestisitten fazlasını kullanın

Bir pestisite karşı direnç, hiç uygulanmadığı halde diğer pestisit çeşidine karşı da görülüyorsa, böyle bir durumda tasarlanacak DYP, çapraz direncin gelişmesini önlemek için mümkün olduğu kadar çok farklı pestisit sınıflarını bünyesinde toplamalıdır. Çapraz dirence neden olmayan bileşikler ne kadar çok kullanılırsa, söz konusu bileşik veya bileşik sınıflara karşı seleksiyon baskısı o ölçüde düşük olacaktır. Böyle farklı sınıflar, dönüşümlü olarak birbirini izleyecek şekilde veya farklı etki mekanizmalarına ve farklı direnç mekanizmalarına sahip bileşikler içeren koformulanların karışımları şeklinde uygulanabilir. Çeşitli fungusit, herbisit ve insektisitlerin etki mekanizması Ek 1'de verilen bağlantılarda bulunabilir.

Yıl boyunca yapılan tüm uygulamaları dikkate alın

DYP'ler farklı bileşiklerle ve zararlıların farklı yaşam evrelerinde yapılanlar dahil olmak üzere, yıl boyunca ürüne uygulanan tüm pestisitleri dikkate almalıdır. Her pestisit uygulandığında bir miktar direnç seleksiyonu gerçekleşir. Direnç genlerinin seleksiyonunu azaltmak için önlemler alınmadığı sürece, ne kadar çok kimyasal uygulansa ve bu kimyasallar böceklerin ne kadar farklı yaşam evreleri ve generasyonlarına tatbik edilirse, duyarlılık da o kadar hızlı kaybolarak direnç artacaktır.

Örneğin bir toprak böceğine toprak insektisiti uygulandığında, larvalar üzerinde direnç geliştirme yönünde seleksiyon basıncı oluşacaktır. Toprakta homojen bir pestisit konsantrasyonu sağlamak güç olduğundan, bu durumda bazı heterozigot larvalar hayatta kalabilecektir. Dirençli larvalardan gelişen ergin bireylere aynı veya benzer bir insektisit tekrar uygulanırsa, o neslin ikinci kez seleksiyon yaşaması söz konusu olacaktır. Bu durumda seleksiyonun ikinci aşamasından söz edilebilir. Kimyasal uygulamasından kurtulan bazı heterozigot bireyler yetişkinlere yapılan pestisit uygulamasıyla ortadan kalkacak ve popülasyonda zamanla dirençli bireyler birikecektir. Bundan kaçınmak için mümkünse larvalar ve erginlere birbiriyle ilişkisiz bileşikler uygulanmalıdır.

Benzer şekilde bir zararlı türü yıl boyunca birkaç ürüne musallat oluyor, mücadelede hep aynı veya benzer

bileşikler kullanılıyorsa, söz konusu popülasyon tüm ürünler ve uygulama sayılarının dikkate alınmaması durumunda düşünülen çok daha ağır bir seleksiyon baskısı altında kalacaktır.

Yalnızca önerilen pestisit dozlarını uygulayın

Her zaman doğru doz uygulanmalıdır. Maliyetleri aşağı çekmek için pestisit dozunun düşürülmesi, istenen kontrolü sağlıyor gibi görünebilse de bu durum geçicidir. Sürekli olarak etikette verilen dozların altında kullanımlar, heterozigot ve homozigot dirençli bireylerin seleksiyonunun artmasıyla sonuçlanacak ve böylece popülasyon direnci gelişecektir. Etiket dozları gereğince uygulanırsa heterozigot dirençli bireyler zararlı popülasyonundan çıkar ve dirençli bir popülasyonun gelişimi önemli ölçüde yavaşlar.

Paydaşları işin içine katın

Başarılı yakalamak için yetiştiriciler, ruhsatlamada görevli personel, pestisit şirketleri / distribütörleri, tarım bakanlığı ve yayım hizmetleri dahil olmak üzere tüm paydaşlar tarafından herhangi bir direnç yönetimi stratejisi üzerinde anlaşmaya varılmalıdır. Uygulanacak strateji çiftçilerin anlayacağı ve kabul edeceği şekilde olmalıdır. Geniş alanları kapsayan DYP'lerin başarılı bir şekilde geliştirilmesi ve uygulanması için, fungusitlere tasarlananlar gibi yerel ve bölgesel iş birliği temel unsurlardır.

DYP 'yi değerlendirin ve geliştirin

Direncin gelişimi dinamik ve devamlı evrilen bir süreçtir; bunun sonucu olarak, DYP'ler esnek de olmalıdır. Planların etkin kalması için zararlıların direnç seviyesindeki değişiklikler, yeni etki mekanizmalarına sahip yeni pestisitlerin mevcudiyeti veya zararlıya dirençli yeni bitki çeşitlerinin mevcudiyeti gibi konular sürekli olarak yeniden değerlendirilmeli ve değişen duruma göre uyarlanmalıdır.

3.3. Her türden pestisitlere - direnç yönetimi taktikleri

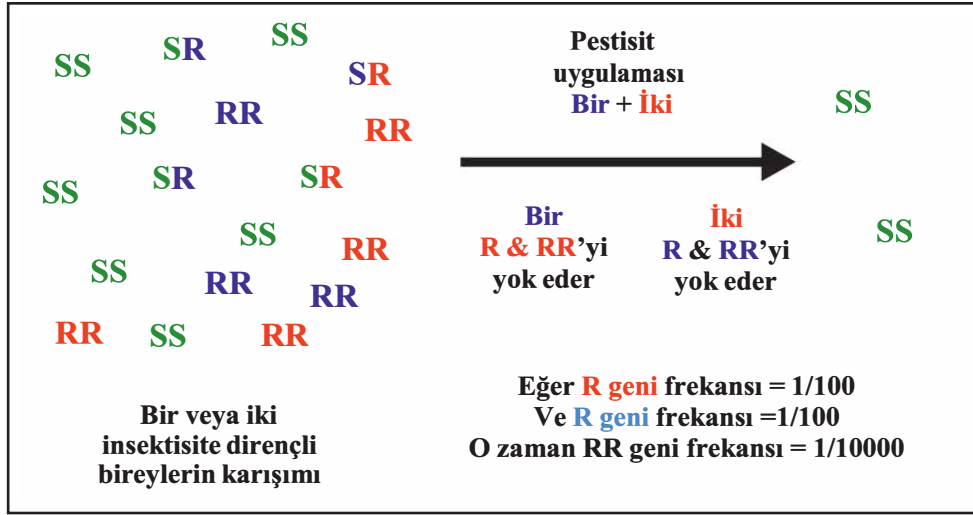
Farklı etki veya direnç mekanizmalarına sahip pestisit karışımları

Farklı etki mekanizmalarına sahip pestisit karışımları, direnç gelişimini yönetmede etkili olabilir. Tarımsal ve diğer amaçlı zararlıların kontrolünde çeşitli türlerde pestisit karışımları kullanılır. Zararlıların farklı spektrumuna sahip iki pestisit, bir pestisit ve bir sinerjistik kombinasyonu, bir böcek ilacı ve bir mantar ilacı kombinasyonu, bir böcek ilacına mikro besinlerin eklenmesi vb. uygulamalar buna örnektir. Burada sadece zararlı direnç yönetimine karşı önerilecek karışımlar dikkate alınmıştır.

Önceden formüle edilmiş karışımlar ve tank karışımlarının, böcekleri kontrol etmede ve direnç gelişimini geciktirmede nispeten başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, tekli bileşiklerin kullanımında olduğu gibi, karışımlar da her zaman bir DYP'nin parçası olmalıdır. Başarılı karışımlar veya önceden formüle edilmiş karışım ürünleri tarımsal üretim sistemleri, faydalı eklemeciler üzerindeki etkileri ve ortamdaki zararlılar gibi belirli durumlar için ve dikkatlice değerlendirildikten sonra tasarlanmalıdır. Hedef zararlı popülasyonu, bir pestisit karışımındaki bileşenlerden herhangi birine karşı önemli bir dirence sahipse, bu karışımın uygulanması zararlı popülasyonunda çoklu direnç gelişimini teşvik ederek durumu daha da kötüleştirebilir.

Önceden formüle edilmiş karışımlar, direnç yönetimi özelliğinin üretici tarafından kazandırılmış olma avantajına sahiptir. Tank karışımları, daha fazla esneklik sağlamakla beraber, kullanıcının bunları doğru şekilde tasarlayabilmesi koşuluyla etkilidir. Yüksek risk direncinin yönetimi amacıyla oluşturulacak bir fungusit karışımı geleneksel olarak, "düşük riskli" bileşene sahip bir fungusit ile "yüksek riskli" (direnç gelişimi) bileşeni olan bir fungusitin karışımından oluşur. Bununla birlikte, doğru kullanıldığında dikkatlice tasarlanmış iki yüksek riskli bileşen içeren karışımlar, çok daha etkili olabilir. İnsektisitlerin özel karışımlarının kullanılması önerilmemektedir. Özel amaçla tasarlanmış karışımların yapılması doğru değildir. Yanlış tasarlanmış karışımlar direnç gelişiminde gecikme sağlamayabilir ve hatta daha da kötüleştirebilir.

Bir insektisit karışımının, karışımındaki iki insektisitten birine dirençli (RR) veya kısmen dirençli (RS) olduğu bir böcek popülasyonunun bazı bireylerini nasıl etkilediği Şekil 4'te gösterilmektedir. İnsektisit karışımındaki bir bileşenin yok edemediği bireyler, diğer bileşen tarafından öldürülür. RRRR bireylerin sayısının son derece düşük olduğu, onların da hayatta kalacakları varsayılmıştır.



Şekil 4 Bir zararlı popülasyonunda direnç genlerinin birikimini azaltmak için karışımların kullanımı.

Pestisit karışımları dikkatli kullanılmalı, karışım dikkatlice araştırılmadıkça ve aşağıdaki gereksinimleri karşılamadıkça önerilmemelidir:

- karışımı oluşturan bileşikler çapraz dirence neden olmaz, bir veya diğer bileşene dirençli bireyler nadirdir, her iki bileşene de dirençli bireyler son derece nadirdir;
- karışım her iki pestisit etiket oranlarında verildiği şekilde hazırlanır. Uygulanan oranların etkisi düşükse heterozigot bireyleri öldürmekte yetersiz kalacağından direnç gelişmesi olasılığı artacaktır;
- her iki bileşiğin kalıntı aktivitesi hemen hemen aynı olmalıdır. Aksi takdirde daha kısa süreli kalıntı etkisine sahip bileşik bozulur ve daha uzun kalıntı süresine sahip bileşene karşı direnç geliştirme süreci başlar.

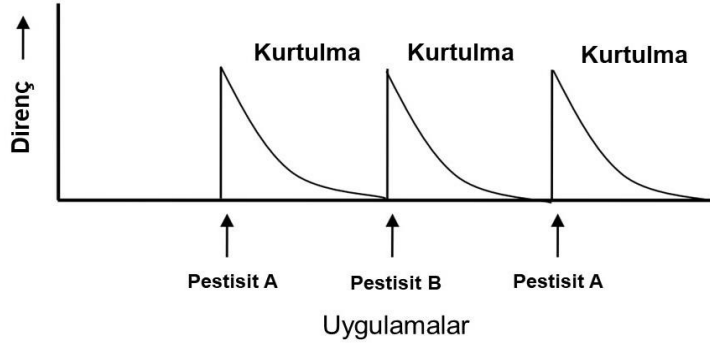
Pestisitlerin nöbetleşe veya değiştirilerek kullanımı

Pestisitlerin değiştirilerek kullanımı direnç gelişimini yönetmekte kullanılan başka bir taktiktir.

Bu taktik, (1) her iki pestisite de dirençli zararlıların nadir olduğunu, dolayısıyla ilk pestisit uygulamasından kurtulanların ikincisi tarafından öldürüleceğini, (2) pestisit uygulananmamada direnç mekanizmasının kararsızlığı nedeniyle dirençli böcek yüzdesinin azalacağını varsayar. Taktiğin etkili olması için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekir:

- dönüşümlü kullanılan pestisitler birbiriyle ilgili olmayan kimyasal sınıflara ait olmalı ve çapraz dirence neden olmamalıdır (bakınız Ek 1 - Etki Mekanizmalarının sınıflandırmaları);
- her iki pestisit de normal etiket dozları uygulandığında eşit derecede etkili olmalı;
- dönüşümlü pestisit uygulamaları arasındaki süre, Şekil 5'te gösterildiği gibi zararlı popülasyonunun orijinal duyarlılık düzeyine dönmesine yetecek uzunlukta olmalıdır (burada Kurtulma = duyarlılığın geri kazanımı anlamındadır).

Pestisit karışımlarında olduğu gibi, fungusitlerdeki dönüşüm programları genellikle bir "yüksek riskli" ve bir "düşük riskli" pestisit kullanımına dayanmaktadır. Sadece "yüksek riskli" pestisitleri içeren programlar da mümkündür. Bu taktik önce "yüksek riskli" pestisit uygulaması sonucu hayatta kalan dirençli birey veya izolatların "düşük riskli" bir pestisitle dönüşümlü olarak muamele edilmesine dayanır.



Şekil 5 İnsektisit direnci yönetim programında, bileşik rotasyonunun insektisit direnç düzeylerine etkisi.

Pestisit rotasyonu ve biyolojik kontrolde kullanılan direnç yönetimlerine bir örnek

Batı Afrika 'da Onchocerciasis Kontrol Programı

Batı Afrika'da, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından yönetilen Onchocerciasis Kontrol Programı (OKP), büyük ölçüde kara sinek (*Simulium*) vektörü larvalarının yok edilmesi için, nehirlerin her hafta larvisitle ilaçlanmasına dayanıyordu. Haftalık ilaçlamalar sekiz ülkede en az 15 yıl boyunca sürdürüldü, böylece vektör popülasyonları üzerinde çok yüksek bir seleksiyon baskısı uygulanmış oldu. Kısa süre içinde Programın ilk aşamalarında kullanılan tek larvisit olan temephos'a direnç sorunu ortaya çıktı. OKP bu kez direnç izleme yönünde güçlendirildi ve çok etkili bir direnç yönetimi planı geliştirdi. Plan, temephos gibi tek bir organofosfat (OP) larvisitin sürekli kullanımı yerine, ilgisiz ürünlerin önceden planlanmış rotasyonu getirilerek değiştirdi. OP'ler mikrobiyal bir larvisit, *Bacillus thuringiensis israelensis* (*Bti*), bir piretroid ve bir karbamat insektisit ile birlikte kısa süreler boyunca kullanıldı. Direnç durumu ve eğilimleri, vektör popülasyon dinamikleri, çevresel etki, maliyet ve lojistik faktörlere dayalı olarak *Bti* ve kimyasal larvisitler uygulandı.

Bu strateji uygulandığı 17 yılı boyunca çok başarılı olmuştur. Direnç, temephos'un rotasyon planına yeniden dahil etmenin mümkün olduğu noktaya kadar gerilemiş ve daha önce direncin gelişmediği alanlarda da hiç direnç oluşmamıştır. Kara sinekler direnç geliştirme potansiyeline sahip olmalarına rağmen, kullanılan diğer böcek ilaçlarının hiçbirine karşı direnç geliştirmemiştir. Çoklu toksinler kullanarak böceklerle mücadele etmenin biyolojik bir yolu olan mikrobiyal larvisit *Bti*'nin kullanımı sonucu, bakteri uygulanan nehirlerin biyolojik dengesinde ölçülebilir herhangi orta veya uzun vadeli etki olmaksızın başarılı bir direnç yönetimi ortaya konmuştur.

3.4 Fungusitlerde direnç yönetimi taktikleri

Fungusit direncini yönetmek için çok sayıda taktik vardır. Taktikler farklı fungusit grupları, hedef patojenler, bitki türleri ve coğrafi alanlar için değişiklik göstermekle birlikte, bunların iki veya daha fazlasını bir DYP'ye entegre etmek genellikle mümkün ve etkilidir. Aşağıda açıklanan taktikler fungusitlerde DYP'nin temelini oluşturur. Çeşitli fungusit grupları için özel direnç yönetimi stratejileri geliştirilmiştir.

Entegre hastalık yönetimi (entegre zararlı yönetimi) uygulayın

Kültürel uygulamaların ve fungusitlerin entegre kullanımı sadece ekonomik ve çevresel yönden faydalı olmakla kalmaz, aynı zamanda fungusite karşı direnç gelişmeyi engellerken veya geciktirmek için yapılan mücadelede önemli bir stratejidir. Ne yazık ki, bitki hastalıklarının kimyasal kullanılmadan kontrolü olanaksız veya uygulanan yöntemlerin etkisi çok zayıf olabilir. Bu nedenle fungusit uygulaması patates mildiyösü, bağ mildiyösü, muzda Sigatoga hastalığı ve buğdayda sürme dahil birçok hastalıkla mücadelede önde gelen, hatta tek seçenektir.

Entegre hastalık yönetimi aşağıda sıralanan hususları kapsar:

Kültürel uygulamalar

- Hastalık vakalarını azaltmak için hastalığa dirençli çeşitler ve biyolojik kontrol araçlarını kullanın; münavebeli ekim, çok yıllık bitkilerin hastalıklı kısımlarının uzaklaştırılması gibi temel hijyenik önlemler alın.
- Özellikle duyarlı oldukları bilinen çeşitleri geniş alanlarda kullanmaktan kaçının.
- Patojenik hastalıkların yayılmasını önlemek için toprağı ve tarım aletlerini sterilize edin. Bu durum özellikle sera bitkileri için geçerlidir.
- Toprak kaynaklı patojenlerin yayılmasını önlemek için münavebe aralıklarını mümkün olduğunca uzatın.
- Hastalıklar ortaya çıkmadan önce sık sık tarlaya giderek hastalık semptomlarını gözlemleyin.
- Hastalık gelişimiyle ilişkili çevresel ve ürün koşulları hakkında bilgi sahibi olun.

Fungusit kullanımı

- Fungusitleri sadece gerçekten gerekli olduklarında kullanın.
- Fungusitleri etikette önerilen oranda ve ürünün tamamına gelecek şekilde kullanın.
- Önceden hastalığa dirençli oldukları bilinen çeşitleri kırabilecek daha virüent patotiplerin güçlenmesinin önüne geçmek için fungusit kullanın.
- Yaprak hastalıklarının kontrolünde toprak ilaçlaması yapmayın.

Mümkün olan yerlerde farklı etki mekanizmalarına sahip pestisitler kullanın

Belli başlı bitki hastalıkları için farklı tipte fungusitlerin mevcudiyeti hem çevresel olarak hem de direnç problemlerinin üstesinden gelmek için oldukça faydalıdır. Yıllar boyunca bir veya birkaç sınıf bileşiğin aralıksız kullanımı, çok daha fazla yan etki riskine yol açar ve hedef organizmaların direncini artırır.

Farklı etki mekanizmalarına sahip fungusitleri ya da farklı fungusitleri değiştirerek veya dönüşümlü olarak kullanın (bakınız Ek 1 - Etki Mekanizmalarının sınıflandırması). Direnç geliştirme riski bulunan bileşiklerin ilişkisiz fungusitler ile karışımları veya bileşiklerin muhtelif şekillerde bir arada uygulanması gibi alternatif uygulamalar, DYP'lerde kontrol edilmek istenen hastalıkların spektrumunu genişletmek ve direnci yönetmek için sıkça kullanılan yöntemlerdir.

Karışım veya dönüşümlü olarak uygulanan “arkadaş” veya “partner” bileşikler, riskli fungusitlerin oluşturduğu seleksiyon baskısını azaltacak ve dirençli bir popülasyonun gelişmesini engelleyecektir. Genel olarak, iyi partnerler oluşturan fungusitler, patojenlere karşı oldukça etkili ve düşük direnç riskine sahip çok bölgeye etkili inhibitörlerdir. Bununla birlikte etki mekanizmaları itibarıyla partneriyle çapraz direnç veya bilinen herhangi bir direnç geliştirme özellikleri bakımından birbirleriyle ilişkili olmayan, tek bölgeye etkili bir fungusit kullanılması da mümkündür. İki adet tek bölgeye etkili fungusit karışımının kullanılması, bir miktar çift dirençli suşların seleksiyon riski oluşturacaktır, ancak aynı anda iki mutasyonun meydana gelme şansı, tek bir mutasyona kıyasla çok düşüktür.

Sezon başına uygulama sayısını sınırlayın, sadece kesinlikle gerekli olduğunda uygulayın

Fungusitin toplam uygulama sayısını azaltığı için bu yaklaşım da münavebe gibi direnç seleksiyonunu bir dereceye kadar yavaşlatır. Ayrıca, uyum maliyetinden dolayı sağlıklı durumdaki dirençli bireylerin azalmasını da destekleyebilir. Bununla birlikte direnç oluşumunda gecikme, ilaç uygulama sayısındaki azalma ile orantılı olmayabilir. Bunun nedeni, günümüzde yapılan uygulamaların genellikle, salgın hastalıkların en aktif aşamaları ile seleksiyon baskısının en yüksek olduğu dönemlere denk gelmesindedir. Öte yandan kimyasal kullanımının patojenin çoğalma dönemindeyken kesilmesi, daha duyarlı formların yararına olarak yeniden canlanmalarına yol açabilir.

Etkin dozları, yani önerilen dozları kullanın

Fungusitlerin muhtelif koşullar altında etkinliklerini sağlamak için önerilen dozda uygulanması gerekir. Dozu azaltmak direnç gelişimini artırabilir.

Eradike edici maddelerin kullanımından kaçının

Sistemik fungusitler hastalıkların kökünü kazıyabilir veya iyileştirebilir; bu durum tarımsal mücadelede “eşik” olarak bilinen, zararının ekonomik olarak dayanılmaz bir düzeye çıktığında mücadelenin başlatılması esasına büyük ölçüde yardımcı olur. Bununla birlikte, özellikle fungusitin sistemik ve sistemik olmayan bileşiklerin karışımıyla oluşturması durumunda, patojene çok yüksek bir seleksiyon baskısı uygulayabileceğinden dolayı onarıcı veya eradikasyona yol açan bir uygulama önerilmemektedir. Özellikle yaprak hastalıklarının eradikasyonu için, fenilamidlerin çok bölgesel etkiye sahip bir fungusit ile karışım halinde kullanımından kaçınılmalıdır. Bu durumda söz edilen fungusitlerden ikincisi, eradikant olarak çalışmaz, böylece karışımdaki sistemik bileşik enfeksiyona karşı tek başına hareket ederek seleksiyon baskısını artırır.

Fungusitlerin eradikant olarak kullanımından kaçınmak, başka bir nedenden dolayı da direnci geciktirebilir. Patojen popülasyonunun zararlı eşik düzeyine gelmesini beklemek, genellikle sporlanan lezyonların (yaprak alanının yüzde 5'ini kaplayan) fungusite maruz kalması anlamına gelir. Bu durumda dirençli bireylerin gelişme şansı, fungusitin popülasyon düzeyini kalıcı olarak düşük tutmak için önleyici olarak uygulanmasına kıyasla muhtemelen çok daha büyük olacaktır.

3.5 Herbisit direnç yönetimi taktikleri

Herbisite direnç yönetiminin temeli fiziksel, kimyasal ve biyolojik kontrol yöntemlerini entegre eden ve herhangi bir yöntem aşırı bağımlılığı önleyen, sürdürülebilir bir sistemin kullanılmasıdır. Kısa vadede kullanılmakta olan herbisitlerin değiştirilmesi gibi direnç seleksiyonu baskısını azaltan herhangi bir yönetim uygulaması, dirençli yabancı otların gelişme oranını düşürecektir. Ancak orta ila uzun vadeli tarımsal üretim faaliyetlerinde kimyasal ve mekanik yabancı ot kontrol araçlarının, koşullara uygun şekilde kullanımını içeren bir program oluşturulması gerekir. Bu teknikler entegre bir yaklaşımla kullanıldığında, seleksiyon baskısını azaltmaya ve dirençli yabancı otların hayatta kalma şansını önemli ölçüde düşürmeye yardımcı olacaktır.

Bitkisel ürünlerin yönetimi

Aşağıda sıralanan geniş kabul görmüş bitkisel ürün yönetimi tekniklerinin her zaman uygulanması gerekir.

- Benzer yabancı ot türlerini kontrol etmek için özdeş etki mekanizmasına sahip herbisitlerin kullanımını gerektiren türlerin peş peşe aynı tarlada yetiştirilmesinden kaçınmak için, farklı herbisit etki mekanizmalarına uygun ve / veya yaşam döngülerine sahip ürünleri dönüşümlü olarak değiştirmek gerekir. Farklı bitkisel ürünler farklı etki mekanizmasına sahip herbisitlerin rotasyonuna izin vereceğinden, yabancı otların gelişme dönemini sekteye uğratabilir veya bozabilir. Ek olarak farklı dönemlerde tohum yatağı hazırlanarak ekilen tarım ürünleri, belirli bir yabancı ot sorunuyla mücadele için çeşitli kültürel tekniklerin kullanılmasına izin verebilir. Bitkisel ürünler aynı zamanda yabancı otlara karşı doğal rekabet güçleri bakımından da farklılık gösterir. Yüksek düzeyde rekabetçi kültür bitkisi türlerinin, yabancı otların tohum üretimini sınırlama şansı daha yüksektir.
- Ekimi geciktirin bu suretle yeni çıkan yabancı otlar seçici olmayan herbisitlerle kolayca kontrol edilebilir.
- Yeni çıkmış bitkileri kontrol etmek ve çimlenmemiş tohumları toprağa gömmek için ekimden önce elle ot mücadelesi yapın veya tarlayı sürün. Bu teknikler hiçbir kimyasal seleksiyon baskısı uygulamaz ve topraktaki tohum bankasının zayıflamasına büyük ölçüde yardımcı olur.
- Yabancı ot tohumlarından arındırılmış sertifikalı tohumluk kullanın.
- Uygun olan yerlerde hasat sonrası otlatmayı teşvik edin.
- Yabancı ot tohumlarının canlılığını yitirmesi için izin verilen yerlerde anızı yakın.
- Aşırı direnç geliştirmiş yabancı otların tohum bağlamasını önlemek için biçin.

- Yabancı ot tohumlarının mekanik yollarla yayılmasını önlemek için tarım aletlerini, üzerinde yabancı ot tohumu kalmayacak şekilde temizleyin.

Kimyasal araçlar: herbisit rotasyonu ve karışımları

Bitki / herbisit / yabancı ot komplekslerinde karşılaşılan direnç sorununu konu eden ve direnç gelişiminin başlamasını engellemede çoklu etki mekanizmalara sahip herbisitlerin avantajları ve kullanılması gerektiğine dair çok sayıda araştırma raporu vardır. Örnek olarak aşağıdaki ardışık uygulamaları verebiliriz: herbisit karışımlarının uygulanması; aynı bitkisel üründe ardışık olarak kullanılan çıkış sonrası herbisitler; aktif herbisitlerin çıkış öncesi toprağa uygulanması ve ardından aynı ürüne çıkış sonrası aktif ürünler uygulanması; bir ürün rotasyonu içinde farklı yıllarda / farklı ürünlerde değişik herbisitlerin kullanılması.

Herbisitlerin rotasyonu, direnç gelişmesini önlemede tek başına yeterli değildir. Kimyasal rotasyon, en azından bazı kimyasal olmayan yabancı ot kontrol önlemleri ile bağlantılı olarak kullanılmalıdır. Metabolik direncin mevcut olduğu durumlarda, herbisitlerin etki mekanizması her zaman ana kriter değildir. Bu koşullarda, bozunma mekanizması çok önemli olabilir, farklı etki mekanizmaları ve kimyasal bileşimlere sahip herbisit gruplarının önüne geçebilir. Bozunma ile ilgili herbisit sınıflandırması henüz mevcut değildir. Bu tür örneklerin vaka bazında ele alınması gerekir.

Aynı yabancı ot türlerini kontrol etmek için, ardışık uygulamalarda veya karışımlarda, farklı etki mekanizması sahip gruplara ait ürünler seçilmelidir. Etki mekanizmasına göre herbisitlerin düzenli olarak güncellenen bir sınıflandırması mevcuttur (bakınız Ek 1). Bu sınıflama yabancı ot kontrol programının planlanmasında faydalı olabilir.

Herbisit rotasyonu ve karışımları için aşağıdaki rehber bilgilere uyulmalıdır.

- Az kalıntı bırakan herbisitler kullanın.
- Mümkün olduğunda farklı gelişme dönemlerine sahip bitkisel ürünleri, dönüşümlü olarak yetiştirin.
- Diğer yabancı ot kontrol uygulamaları ile entegre edilmedikçe, aynı herbisiti veya aynı etki mekanizmasına sahip herbisitleri aynı alanda devamlı olarak kullanmaktan kaçının.
- Tek bir üretim sezonunda tek bir herbisit veya aynı etki mekanizmasına sahip herbisitlerin uygulama sayısını sınırlayın.
- Mümkün olduğu durumlarda, aynı hedef yabancı ot üzerinde aktif olan farklı etki mekanizmasına sahip herbisitlerin karışımlarını veya ardışık işlemlerini kullanın. Karışımların etkili olabilmesi için, aktif bileşenlerinin her biri hedef yabancı ot üzerinde yüksek düzeyde kontrol sağlamalıdır.
- Yabancı otların ana üründen önce çıkışını kontrol etmek için seçici olmayan herbisitler kullanın.
- Çıkış sonrası herbisitleri daima etikette önerilen zamanda ve yabancı otun önerilen gelişme döneminde uygulayın.

Ek direnç yönetimi rehberi

- Üreticiler tarlalarını veya tarım dışı alanları hangi yabancı otların istila ettiğini bilmeli ve mümkünse yabancı ot kontrol programlarını, otların yoğunluğuna ve / veya ekonomik eşiklere göre uyarlamalıdır.
- Herbisitlerin etiketindeki kullanım talimatlarını, özellikle önerilen kullanım oranları ve uygulama zamanlamasını dikkatlice izleyin.
- Herbisit uygulamalarının sonuçlarını rutin olarak izleyerek, yabancı ot popülasyonlarındaki herhangi bir eğilim veya değişiklikten haberdar olun.
- Ürün ve herbisit uygulamalarının geçmişinin bilinmesi için ayrıntılı tarla kayıtları tutun.

3.6 İnektisit direnci yönetimi taktikleri

Böcek direncini yönetirken, birincil amacın tüm böcekleri öldürmek değil, ürünü korumak veya vektörü kontrol etmek olduğunu akılda tutmak önemlidir. Burada genel strateji, tek bir inektisit etki mekanizmasının aşırı kullanımından kaçınmak olmalıdır. İnektisit direnci yönetiminde uygulanabilecek bazı ek taktikler aşağıda verilmiştir.

Zararlına göre ürün taktiğine karşı bölgesel taktikler

“Zararlına göre ürün” taktiği, tek bir ürün-zararlı kombinasyonuna yoğunlaşır. Üretim alanı geniş ve alanın tamamında bir böcek ilacı ile mücadele edilecek bir tek zararlı türü (örneğin domates üzerinde *Helicoverpa*) varsa uygun olabilir.

Bununla birlikte bahçe ve tarla tarımı yapılan alanlarında genellikle çeşitli ürünler ve çok sayıda zararlı türleri bulunur. Bu denli bitki çeşitliliği olan bir ortamda, üründen ürüne kolayca hareket edebilen birden fazla sayıda zararlıyı kontrol etmek için tek bir EM’ye sahip bir veya daha fazla inektisit kullanılması durumunda, direnç riski muhtemelen artacaktır. Örneğin, Turpgiller familyası sebzelerine zarar veren elmas sırtlı güve için geliştirilecek direnç yönetimi taktikleri, benzer böcek ilaçlarının yaygın olarak kullanılması durumunda, elmas sırtlı güvenin kanola bitkisinde kontrolünü tehlikeye atılabilir. Ek olarak, üretim bölgeleri içinde belirli bir ürüne musallat olan zararlı kompleksi değişkenlik gösterebileceğinden, tek bir zararlıya göre ürün taktiğinin uygulanması hatalı olacaktır.

Zararlına göre ürün taktiğine bir alternatif, yalnızca bir ürün ve zararlı kombinasyonları için değil, belirli bir coğrafi alandaki çeşitli ürünler ve zararlılar için entegre direnç yönetimi planlarının geliştirildiği “bölgesel taktikler” dir. Avustralya’nın New South Wales ve Victoria şehirlerinde tahıllar ve bir yıllık bahçe bitkileri veya ABD’nin Florida eyaletinde sebzeler için geliştirilen entegre direnç yönetimi stratejileri buna örnek olarak verilebilir.

Genel uygulamalar

İnektisit direncinin gelişmesi riskini azaltmak için aşağıdaki yönetsel taktikler önerilir:

Entegre bir yaklaşım kullanın

İnektisit direncinin yönetimi yetiştirme tekniği uygulamaları, fiziksel ve biyolojik mücadele yöntemleri ve zararlı biyolojisi dahil olmak üzere bitkisel üretimin tüm yönlerinin dikkate alınmasını gerektirir. Sadece entegre ürün yönetimi kavramlarına uymak bile direncin gelişmesini önlemeye yardımcı olabilir. Örneğin, tavsiye edilen zararlı ve / veya hasar eşiklerini izlemek ve bunlara uymak, doğal düşmanlardan yararlanmak, basit temizlik önlemleri almak, hasat sonrası kalıntıları tarladan uzaklaştırmak, dirençli çeşitler kullanmak, tarım alanlarını yıl boyunca meşgul etmekten ve sürekli olarak aynı ürünü yetiştirmekten kaçınmak, direnç gelişimini yavaşlatmaya ve hatta önlemeye yardımcı olabilir.

Yararlı organizmaları koruyun

Zararlıların doğal düşmanlarını olabildiğince koruyun. Yararlı organizmaların zararlıların kontrolüne katkısı birçok ürün sisteminde önemli olabilir. Faydalı organizmalar direnç derecesine veya direnç mekanizmasına bakılmaksızın hedef zararlıların kontrolüne yardımcı olduklarından, direnç yönetiminde önemli bir rol oynayabilir ve bu nedenle direnç seleksiyonu sürecini yavaşlatmaya yardımcı olabilir. Doğal düşmanlar, örneğin seçici böcek öldürücüler kullanarak, aşırı dozdan kaçınarak veya kimyasal olmayan kontrol seçenekleri uygulayarak korunabilir.

Önerilen uygulama oranlarını kullanın

İnektisit etiketlerinde önerilen oranları ve uygulama aralıklarına riayet edin. Hedef olmayan organizmalar ve çevre üzerinde direnç ve / veya istenmeyen etkilere neden olabileceğinden, asla önerilen orandan daha fazla veya daha az uygulamayın. Yanlış oranlarda ilaçlamamak ve direnç gelişmesine neden olmamak için, ilaçlama pompasının iyi durumda olduğundan, püskürtme başlıklarının ve filtrelerin tıkanmadığından emin olun.

İlişkili olmayan bileşikleri dönüşümlü olarak kullanın

Söz konusu kullanım için çapraz dirence neden olmayan birbirleriyle ilgisiz kimyasal sınıflara ait ruhsatlı bileşikler kullanın, asla tek bir bileşik veya sınıfı kullanmayın.

Karışımları dikkatli kullanın

Yanlış kullanımı direnci artırabileceğinden karışımlar çok dikkatli kullanılmalı ve çok sınırlı durumlar dışında önerilmemektedir. Hedef zararlının karışımdaki etki mekanizmalarından birine dirençli olması durumunda, karışımlar asla kullanılmamalıdır. Karışımların kullanılması gerekiyorsa, aktif bileşenler önerilen uygulama oranlarında olmalı ve en uzun kalıntı aktivitesine sahip bileşene karşı direnç geliştirmesini önlemek için, benzer kalıntı aktivite sinde sahip olmalıdır.

Sinerjist ilaçları dikkatli kullanın

İnsektisitlerin metabolik detoksifikasyonunu bloke eden veya geciktiren sinerjistlerin kullanımı, bunların insektisitten önce veya aynı zamanda toksik olmayan bir oranda uygulanması durumunda (örneğin, insektisit ile karışım halinde), etkinliklerini arttırıp faydalı ömürlerini uzatabilir. Sinerjistler, insektisiti hapsedebilen veya parçalayabilen ve / veya ilacın penetrasyonunu arttırabilen metabolik enzim sistemlerini baskılar. Bu durum, sinerjistin metabolik enzimlere bağlanması ve insektisit daha büyük bir kısmının hedef bölgeye ulaşmasına izin vermesinden kaynaklanır. Tek etkisi metabolik enzimleri baskılamak olan sinerjistler, hedef bölgenin değiştirilmesi durumunda yararlı olmazlar.

Spesifik olmayan ürünleri kullanın

Yağlar ve sabunlar gibi spesifik olmayan etki tarzına sahip bitki koruma ürünleri, iyi direnç yönetimi araçlarıdır. Hem duyarlı hem de dirençli hedef zararlı popülasyonlarını etkili bir şekilde kontrol etmeleri koşuluyla, mümkün olduğunda geleneksel insektisitlerle dönüşümlü olarak veya karışımlarda kullanılmalıdırlar.

Ürünleri dikkatli bir şekilde uygulayın

İnsektisitleri zararlı kontrolünün en elverişli olduğu dönemde, yani böcek istilası çok fazla yoğunlaşmadan, eylem eşiğine ulaştığında uygulayın. Kapsamın iyi olduğundan emin olun. Gelişme dönemi boyunca çok sayıda nesil veren bir zararlıyı kontrol etmek için, aynı etki mekanizmasına sahip bileşikler kullanmayın.

Sorun oluşturan zararlıları izleyin

Duyarlılık durumlarındaki ilk değişiklikleri belirlemek için zararlı istilalarını izleyin. Temsili alan popülasyonlarının temel duyarlılık verileri çoğu durumlar için, ürünler yaygın olarak kullanılmadan önce oluşturulmuştur. Bu popülasyonların insektisit duyarlılığının düzenli aralıklarla gözlenmesi, olası duyarlılık değişimlerini ortaya çıkarabilir. Popülasyonların kontrolünde ciddi sorunlar ortaya çıkmadan önce zararlı duyarlılığındaki olası değişiklikleri tespit etmek için direncin düzenli aralıklarla izlenmesi önerilir (ayrıca bakınız Bölüm 4).

3.7 Rodentisite direnç yönetimi taktikleri

Rodentisitlere direnç konusu ele alınırken ilk adım, kuşku edilen direnç vakalarının gerçekte direnç olduğunu ve sadece zehirli ilacın yeterince alınmaması veya kemirgenin ortamı terk etmesi gibi kontrol dışı olaylardan kaynaklanmadığını doğrulamaktır. Rodentisit direncinin kemirgenlerin yemi almaktaki isteksizlikten değil, uzun süre yemle beslenmeye devam etme kabiliyetiyle tanımlanabileceği unutulmamalıdır. Direncin doğrulanması en iyi şekilde standartlaştırılmış metodoloji kullanılarak yapılır. Kemirgen türleri ve ırklarının değişkenliği ile erkek ve dişi bireylerin tepkileri arasındaki farklılıklar ve aktif içeriklerdeki farklılıklar nedeniyle, bu işlemin yapılması gereklidir.

Rodentisite direnç yönetimi, bitki patojenleri, böcekler ve yabancı otlarda olduğu gibi, kemirgenlerin duyarlılığını korumaya veya fenotipik direnç frekansını kabul edilebilir bir düzeye düşürmeye odaklanmalıdır. Bu da dirençli bireylerin selektif olarak dezavantajlı duruma düşürülmesiyle başarılabilir. Rodentisitlerin sayısı ne yazık ki sınırlıdır. Bu nedenle bitki pestisitlerinde olduğu gibi farklı rodentisit sınıflarının rotasyonu yoluyla direncin önlenmesi şansı yüksek değildir.

Diğer zararlı organizmalarda olduğu gibi, kemirgenlerde direnç yönetiminde, doğru DYP taktiklerinin kullanılması gerekir. Bu konuda temel stratejiler aşağıda sıralanmaktadır:

- kemirgenlerin yiyecek, barınak ve suya erişimlerini kısıtlayarak yapılan habitat yönetimi;
- kemirgenlerin duyarlı ürünlere, depolara veya binalara erişimini engelleyecek bariyerler koymak;
- kemirgen popülasyonlarını kimyasal ve fiziksel önlemlerle kontrol etmek.

Aşağıdaki eylemler kimyasallar kullanırken kemirgen popülasyonlarında direnç gelişimini önlemeye yardımcı olacaktır.

- Amaçlanan kullanıma göre etiketlenmiş, kaliteli antikoagülan bileşikler kullanın.
- Tüm yem istasyonlarını sık sık gözleyin ve gerekirse eski yem istasyonlarını değiştirin.
- İstila ortadan kalkıncaya kadar etiket talimatlarını uygulayın.
- Kontrol sağlandığında tüm yemleri kaldırın.
- Sadece antikoagülan kullanımına bağlı kalmayın; kalıcı istasyonları yalnızca dışarıdan çok sayıda rodent girişi olan yerlerde kullanın.
- Kemirgen aktivitesini rutin olarak izleyin ve uygulamanın ayrıntılı ve düzgün kayıtlarını tutun.
- Kemirgen sorunlarının devam ettiği durumlarda, çeşitli kontrol önlemleri uygulayın, alternatif yemler kullanın, programı genişletin.
- Kemirgen istilasının tamamen ortadan kaldırıldığından emin olun.

4 Direncin saptanması ve doğrulanması

4.1 Direnci saptama ve izlemenin amaçları

Bir pestisit beklediği gibi çalışmaması durumunda yapılacak ilk iş sorunun belirlenmesidir. Ürünün performansında pestisitlere direnç dışında birçok nedenle sorunlar olabilir. Bunlar arasında uygulama kapsamının yetersizliği, uygulama oranının hatalı olması, zararlının yanlış tanımlanması, olumsuz çevre koşulları, yanlış zamanlama gibi konular yer alır. Olağan saha koşullarında ortaya çıkan olumsuzluklar da kolaylıkla dirençle ilişkilendirilebilir. Direnç gelişimi yanında diğer olası faktörler de araştırılmalıdır.

Direnç tespiti bir zararlı popülasyonunun pestisitlere duyarlılığında ortaya çıkacak önemli bir değişikliğin belirlenmesidir. Araştırmacılar veya çiftçiler tarafından bu amaçla yapılan geçici gözlemler veya sistematik izlemelerle direnç oluştuğu belirlenebilir. Direnç izlenerek zaman ve mekân içinde gözlenen direnç değişikliklerin frekansı veya ölçüsü belirlenmeye çalışılır. İzleme işlemi direnç gelişimini önlemek, geciktirmek veya yönetmek için kullanılan farklı taktiklerin etkinliğini değerlendirmek için de kullanılabilir. Hem direnç tespiti hem de izleme, en fazla direnç olayının erken döneminde yapıldığında yararlı olur.

Direnç izleme işlemi prensip olarak, direnç geliştirme kuşkusu veya olasılığı varsa yapılmalıdır. Örneğin, daha önce direncin tespit edildiği zararlılar ve pestisitler için direnç izleme programları başlatılmalıdır. Direnç geliştirme riski çok yüksek olan zararlılarda, henüz direnç belirlenmeden önce bir direnç izleme programı oluşturulması DYP'nin ayrılmaz bir parçasıdır. Direnç belirleme ve izleme işleri pek çok ülkede ulusal veya bölgesel araştırma kurumları tarafından yürütülmekte, buna pestisit üreticileri de dahil olabilmektedir.

Tablo 10, Temel bir direnç izleme program ve bunun DYP'ye entegrasyonunu göstermektedir

Tablo 10. Yeni bir pestisit için direnç izleme ve yönetim aşamaları

Zamanlama	Direnç belirleme ve izleme çalışmaları	Diğer yönetim çalışmaları	Yürütücüler
Satışlar başlamadan 1-2 yıl önce	Örnekleme ve test yöntemleri oluştur Ön duyarlılık veri etüdü yap	Riski değerlendir Kullanım stratejisine karar ver; DYP geliştir	Pestisit endüstrisi
Kullanıldığı yıllar boyunca	Ürünün / zararlının özel önemine ilişkin risk değerlendirmesi doğrulandıysa, ilaç uygulanan rasgele alanlarda direnç gelişimini izle	DYP'yi uygula; pestisitün uygulamadaki performansını yakından izle	Araştırma kurumları, yayım / danışmanlık hizmetleri, pestisit kullanıcıları (büyük), pestisit endüstrisi
Direnç belirtileri tespit edilir edilmez	Direncin boyutunu ve pratik önemini belirlemek için izle Çapraz direnç oluşumunu ve dirençli organizma varyantlarının canlılığını incele, direnç gelişimini etkileyen diğer faktörleri değerlendir	Direnç sorunu onaylanırsa, DYP'yi gözden geçir ve değiştir	Araştırma enstitüleri, pestisit endüstrisi
Peşi sıra	Yayıma oranını veya direncin düşüşünü izle	Pestisitün performansını gözle; DYP'leri gözden geçir	Araştırma enstitüleri, pestisit endüstrisi
Kaynak: NRC (1986)'dan uyarlanmıştır			

Direnç gelişimi organizmayı, konukçuyu ve pestisit uygulama programını etkileyen çok sayıda faktörün varlığından dolayı son derece değişken olup organizmanın çeşitlilik aralığı boyunca tekdüze değildir. Belirli bir alanda direnç gelişimi belgelenmiş olsa bile, pestisitün tamamen kullanım dışı bırakılması gerekmez. Ayrıca popülasyonda dirençli bireylerin belirlenmiş olması, tüm popülasyonun dirençli ve kontrol edilemez olduğunu göstermez. Bununla birlikte popülasyonda direnç geninin sıklığının artması ve sorun yaratmasını önlemek açısından, DYP'nin düzeltilmesi gerektiği konusunda erken bir uyarı sağlar.

4.2 Direnci doğrulama yöntemleri

Fungusit, herbisit veya insektisit; söz konusu pestisit ne olursa olsun, belirli bir organizmada direnci doğrulamada kullanılan çeşitli yöntem ve gereçler vardır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır:

Ayırt edici doz analizi

Ayırtıcı veya tanı amaçlı doz deneyi, özellikle insektisitlerin sahadaki direncini izlemeye en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Kolaydır, nispeten çevreye duyarlı ve kaynakların sürdürülebilir kullanımına uygundur. Ayırt edici doz analizinin amacı, popülasyonun duyarlılık durumunun değişip değişmediğini belirlemektir. Bununla birlikte direnç geni frekansı yüzde 1'den fazla olana kadar dirençli bireylerin tespiti genellikle mümkün değildir.

Tek bir ayırt edici doz izleme programının tasarlanmasındaki üç önemli husus aşağıda verilmiştir:

1. duyarlı bireyleri dirençli olanlardan ayırmak için "tamlayıcı doz" oluşturulması;
2. her lokasyonda toplanacak örnek büyüklüğünün belirlenmesi;
3. ayırt edici dozdan zarar görmeyen bireylere etkin olacak dozun belirlenmesi.

Ayırt edici doza ilişkin veriler, alanda başka bir bileşiğin kullanılmadığı varsayılarak, uygulama sonrası hayatta

kalan bireylerin biyoanalizleri sonucu elde edilebilir.

Biyoanaliz testleri, hedef zararlı(lar) üzerinde yeni bir bileşiğin devreye girmesi veya yeni bir transgenik ürünün ekilmeye başlamasından hemen önce veya hemen sonra geliştirilmelidir. Bu işlem genellikle pestisit üreticileri tarafından ulusal veya bölgesel araştırma kurumları ile iş birliği içinde yapılır. Testler, zararlı popülasyonundaki doğal duyarlılık değişkenliğini belirlemek ve gelecekte direnç durumlarını doğrulamak için kullanılacak bir temel oluşturmaya yarar. Testler sağlam, hızlı ve yapılması nispeten kolay olmalıdır. Prosedür doğru ve gerçekçi olmalı, nicel, tekrarlanabilir ve kolayca anlaşılabilir sonuçlar sağlamalıdır.

Duyarlılığı ölçmek için kullanılacak standartlaştırılmış test yöntemleri Ek 1'de verilen bağlantılarda bulunabilir. Önemli zararlı organizmalar (örneğin sıtma sivrisinekleri) için hazır direnç izleme biyoanaliz kitleri mevcuttur.

Doz-yanıt testi

Zararlı popülasyonun bir bileşiğe veya özelliğe duyarlılığını değerlendirmenin en kesin yöntemi, klasik doz-yanıt biyoanalizidir. Başlangıçta, insektisitlerde yüzde 5 ila 95 arasında ve herbisitlerde ise yüzde 0 ila 100 arasında değişen ölüm oranlarına neden olan bir dizi doz ve doz-yanıt verileri, bir seri popülasyon örnekleri üzerinde geliştirilmelidir. Herbisitler söz konusu olduğunda yalnızca teste konu popülasyon ve duyarlı olduğu bilinen bir popülasyonun test edilmesi gerekir. Veriler, geniş çaplı uygulamalar yapılmadan önce popülasyondaki duyarlılık aralığını belirlemede kullanılabilir. Beklenenden daha az kontrol sağlanması durumunda bu bilgiler daha sonra faydalı olabilir.

Biyokimyasal ve immünolojik testler

Dirençli böceklerin kendine has detoksifikasyon enzimlerini tanımlamaya yönelik biyokimyasal testler hem dirençli bireylerin hem de popülasyonların araştırmasında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Monoklonal antikorların kullanılması yoluyla detoksifikasyon enzimlerinin tanımlanması esasına dayanarak direnç gelişiminin immünolojisini belirleyen testler geliştirilmiştir.

Altılık veri

Zararlı organizmanın pestisite duyarlılığına ilişkin altılık veriler, tercihen ürünün belirli bir alanda kullanılmaya başlamasından önce toplanmalıdır. Kullanılan direnç doğrulama yöntemine bakılmaksızın, testlerin sonucu her zaman temel alınan veriyle karşılaştırılır.

Insektisitlerin temel duyarlılık değerlerini belirlemek için, genellikle laboratuvar suşları kullanılır. Bu değerler, gözlemlenebilecek en yüksek duyarlılık hakkında bilgi sağlayabildikleri için kullanım alanı bulmaktadır. Bununla birlikte, laboratuvar popülasyonlarının çoğu, yapay yetiştirme işlemleri dolayısıyla zayıfladığı için aslında açık alandaki popülasyonlarından daha duyarlıdır. Altılık veri değerlerinin aralığın geniş olması, hedef organizma popülasyonu içinde önemli bir genetik çeşitlilik olduğunu ve altılık veri değer aralığının küçük olmasına göre direncin daha hızlı gelişebileceğini gösterir.

Fungusitler için bir duyarlılık referans değeri oluşturmak için hiç işlem görmemiş, kimyasala temas etmemiş izolatların kullanılması normaldir. Doğal popülasyonların kullanımında, popülasyonun genel değişkenliğinin gerçekçi bir görünümünü sağlamak için numunelerin mümkün olduğunca geniş bir coğrafi alandan toplanması gerekir. Referans değeri büyük olasılıkla pestisit uygulanmasından sonra üretilen verilerin ölçülebileceği bir mutlak değerden ziyade, bir değerler aralığı olacaktır. Fungusit duyarlılığına ilişkin altılık veriler genellikle eşit olarak dağıtılmayıp, düşük bir orandaki ortalamadan çok daha yüksek EC₅₀ değerindeki bireyleri içerecek şekilde, bariz bir çarpıktır gösterir. Bu tür bireyler, duyarlılık spektrumunun doğal bileşenleri olup bunlar dirençli olarak sınıflandırılmaz ve normal fungusit uygulamasıyla kontrol edilebilirler. Fungusitlerin referans değerlerinin oluşturulmasıyla ilgili daha fazla bilgi, diğer kaynaklarda verilmiştir.

Yabancı otlarda bu işlem, dirençli olmayan popülasyonların dirençli olduklarından kuşku edilen popülasyonlarla karşılaştırılması şeklinde yapılır.

Biyoanaliz sonuçları ile saha performansı arasındaki ilişki

Mümkün olan en kısa sürede, biyoanaliz sonuçları ile saha performansı arasında korelasyon kurulmalıdır. Bu, zararlı duyarlılığı ve saha performansındaki düşüşün tahmin edilmesine izin verecektir. Bazı bileşiklerin duyarlılıklarında biyoanalizlerle belirlenen küçük ölçüde değişiklikler, ürünün saha performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olacaktır. Diğer bileşiklerin saha performansı üzerindeki etkileri belirlenmeden önce, duyarlılıkta büyük farklılıkların ortaya çıkması gereklidir.

4.3 Test işlemleri

Çeşitli zararlılara, yabancı otlara ve böceklere karşı pestisit direncini değerlendirmek ve onaylamak için doğrulanmış test prosedürleri mevcuttur. Bu testlerin bir kısmı FDEK, HDEK ve İDEK gibi çeşitli direnç eylem komitesi web sitelerinde, ayrıca Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) web sitelerinde bulunabilir. Bunlar Ek 1'de listelenmiştir.

5 Direnç ve transgenik bitkiler

5.1 Giriş

Bir veya daha fazla genin eklenmesiyle genetik yapısı değiştirilen transgenik bitkiler, direnç yönetimi bakımından birçok avantajlara sahiptir. Transgenik bitkilerle ilgili önemli bir avantaj, zaman içinde toksin konsantrasyonundaki düşüşünün minimum olması ve seleksiyon baskısına neden olabilecek oranların sezonun sonuna doğru yalnızca bir kez ortaya çıkmasıdır. Bunun tersine geleneksel pestisitlere uygulanan doz, kapsama alanından kaynaklanan başarısızlık ve aktif bileşenin bozunması nedeniyle, bitkisine göre ve zaman içinde değişebilir. Bu durum pestisitlerin tekrar uygulanmasını gerektirir ve çoğu zaman fazlaca direnç seleksiyonuna neden olur. Direnç seleksiyonu potansiyeli transgenik bitkilerle tamamen ortadan kaldırılmamasına rağmen, nispeten çok azalmıştır.

Tarla koşullarında *Bt* toksinine karşı bir miktar direnç geliştiği bildirilmiş olmasına rağmen, bugüne kadar transgenik bitkilerin yetiştirilmesi yoluyla zararlı kontrolünde dirençle ilişkili sadece birkaç başarısız vaka gözlemlenmiştir. Gelecekte bunun olmasını önlemek için DYP'lere sıkı sıkıya bağlı kalınması gerekecektir. *Bt* toksinine karşı böcek direnci gelişmesi, bitkisel üretim üzerinde ciddi etkilere yol açabilir. Herbisite toleranslı bitkilerde gözlemlenen glifosata karşı yabancı ot direnci, esasen transgenik olmayan bitkiler için de olağan bir herbisit direnci durumu olmakla beraber dirençli yabancı ot türlerinin sayısı küresel olarak artmaktadır. Glifosat direncinin yaygınlaşarak gelişmesi, glifosata tolerant transgenik bitkiler için ciddi bir tehdit olabilir.

5.2 *Bt* bitkilerde direnç geliştirmenin tarihçesi

1990'ların ortalarında, *Bt* toksini içeren ilk transgenik bitkiler geliştirilirken, *Bt* toksinine karşı direncin gelişeceğine dair ciddi bir endişe vardı. Aslında bu tahminler, direncin 3 ila 5 yıl gibi kısa bir sürede gelişeceği yönündeydi. Tahminlerin dayandığı gözlemler şunlardı:

- *Plutella xylostella*, püskürtülebilir *Bt* formülasyonlarına karşı sahada direnç geliştirdi, böylece *Bt*'ye karşı direncin gelişebileceğini göstermiş oldu;
- *Bt* içeren insektisitlere direnç ve *Bt* Cry proteinleri laboratuarda geliştirildi;
- bitkiler uzun süre boyunca yüksek dozda toksin bulundurdu, bu da birden fazla nesil boyunca çok yüksek seleksiyon baskısına neden oldu;
- toksin bitki tarafından mevsimler boyunca açığa vuruldu. Ayrıca transgenik bitkiler geniş çapta yetiştirildi, böylece selekte edilecek herhangi bir direnç geninin seyreltilmesi için çok az fırsat sağlandı;
- toksin, bitkilerde tohumun çimlendiği andan itibaren gelişti ve böylece iyileştirici bir durumdan ziyade önleyici bir ortam oluşturdu. Çoğu durumda zararlı popülasyonu seviyeleri uygulama eşliğinin altında gelişti ve bu da gereksiz yere direnç gelişmesine neden oldu;
- *Bt* toksini esasen ortamdaki yegâne aktif bileşendi ve *Bt*'ye dirençli zararlı popülasyonun seleksiyonuyla

sonuçlanacak bir dizi olası direnç mekanizması mevcuttu.

Son on yılda *Bt* pamukta yaşanan gerçek saha deneyimi, direnç gelişimi riskinin başlangıçta tahmin edilenden çok daha düşük olduğunu göstermiştir. Şimdiye kadar *Bt* direnç genleri yalnızca düşük frekanslarda bulunmuş ve sınırlı sayıda saha direnci sorunu bildirilmiştir. Bunun önemli bir nedeni, ürüne ruhsat verilmesi için öngörülen güçlü direnç yönetimi planlarıdır. Agronomik uygulamalar, biyo-kontrol yöntemleri, geleneksel yaprak pestisitleri ve diğer entegre zararlı yönetimi taktikleri hep birlikte *Bt* bitkileriyle entegrasyonu, direnç gelişimini önlemeye yardımcı olmuştur. Ek olarak aşağıdaki faktörlerin de katkısı vardır:

- *Bt* mısır ve *Bt* pamuk gibi ürünlerin yetiştirildiği geniş alanlar dışında *Bt* bitkilerin tüm tarım alanlarında baskın olduğu yerler nispeten azdır;
 - bu alanlarda temel zararlıların birçoğu geniş konukçu yelpazesine ve geniş bir yayılma alanına sahiptir. Bu nedenle popülasyonun sadece bir kısmı *Bt* direnci geliştirecek şekilde toksine maruz kalır. Ek olarak, DYP'nin üzerindeki yapısal sığınağı kullanmak amacıyla, *Bt* bitkinin yanında yetiştirilen tek bir *Bt* proteini ifade eden transgenik olmayan bir bitkiye ihtiyacı vardır. Transgenik olmayan çeşitler ve ürünler, hedef türlerin çok sayıda duyarlı bireyinin hayatta kalmasını sağlar;
 - böceklerde direnç sağlayan genler işlevsel olarak resesif olma eğilimindedir ve yüksek uyum bedeli ile karşı karşıyadır. Şimdiye kadar *Bt* bitkiler üzerinde gelişimini tamamlayabilen ve çoğalabilen çok sayıda dirençli larva bulmak zordur. Tarla örneklerinden yetiştirilen *Bt*'ye dirençli popülasyonların kolonileri, birkaç nesilden fazla hayatta kalamamıştır;
 - *Bt* bitkilerinde yüksek oranda toksin vardır. Bu miktar en azından çoğu hedef zararlının heterozigot popülasyonlarını kontrol etmeye yetecek kadar yüksektir ve gelişme sezonu boyunca bitkide kalır. Bu durum pestisitlerin sık uygulanması (pestisit kalıntılarının, tekrarlanan pestisit uygulamasından önce optimal altı düzeylere düştüğü durumlarda) nedeniyle tekrarlanan seleksiyona oranla, direnç geliştirmeyi daha zor hale getirir. Ek olarak tek bölgeye etkili (böcek orta-bağırsak reseptörleri gibi) bir dizi farklı *Bt* proteini de artık bitkide konuşlanmıştır.
- Bütün bu faktörler, çeşitli zararlı türünün *Bt*'ye dirençli popülasyonlar geliştirmesinin neden zor olduğunu açıklamaktadır. 2012 yılına kadar *Bt* bitkilerine karşı tarla direnci (ürünün zayıf olduğu yıllar dahil) yalnızca Porto Riko'da güz tırtılı (*Spodoptera frugiperda*), Afrika'da Afrika mısır sap kurdu (*Busseola fusca*), Hindistan'da pembe kurt (*Pectinophora gossypiella*) ve en son olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde batı mısır kök kurdu (*Diabrotica virgifera virgifera*)'nda belgelenmiştir. Bu vakaların kısmen de olsa, ürün-zararlı kombinasyonları için genel olarak tavsiye edilen DYP'lere sıkı sıkıya uyulmamasının bir sonucu olduğuna dair işaretler vardır.

Bt bitkilerde sürdürülebilir canlılığın, güçlü direnç yönetimi planlarının geliştirilmesine ve kullanımına bağlı olacağı açıktır. Direnç riskinin tüm ürünler ve kullanım modelleri için aynı olmadığını hatırlamak gerekir. Şimdiye kadar *Bt* ile yaşanan deneyimlerin, yeni transgenik ürünlerde mutlaka yukarıdakilere benzer olacağı varsayılmaz.

5.3 *Bt* toksinlerine karşı direnç gelişimini önleme taktikleri

Genel olarak *Bt* ürünlerine karşı direnç yönetimi taktikleri, geleneksel pestisitlerle aynıdır; ancak zararlı popülasyonlarında duyarlılık genlerini korumak için yeni taktikler eklenmiştir. Günümüzde *Bt* bitkilerinde kullanılan ana taktikler şunlardır.

- Ürün yönetim taktikleri: konvansiyonel pestisitlerde ürün yönetimi ve entegre zararlı yönetimi, direnç yönetiminin temelini oluşturur. İyi ürün yönetimi ihtiyaç duyulan pestisit uygulama sayısını azaltmanın yanı sıra, predatör ve parazitik böcek popülasyonlarının korunmasına da yardımcı olur. Bu yararlı türlerin transgenik bitki üzerinde hayatta kalan zararlıları ortadan kaldırma ihtimali yüksektir.
- Hedef zararlının spektrumu ve dozu: bazı böcek türleri *Bt* proteinine diğerlerinden daha duyarlıdır ve *Bt* proteini, bitki boyunca eşit olarak açığa çıkmamış olabilir. *Bt* proteini kritik bitki dokularında ifade edildiği ve doz tüm duyarlı hedef zararlı popülasyonlarını öldürmeye yeterli olduğu sürece, direnç seleksiyonunun çok yavaş ilerlemesi beklenir. Bu durumun tersine toksin düzeyi heterozigot bireyler dahil bazılarının hayatta kalmasına izin verecek kadar düşükse, direnç daha hızlı gelişebilir.

- Duyarlı zararlı böcek türleri için sığınaklar: *Bt* bitkilerine direnç yönetim planlarının çoğunda, *Bt* olmayan bitki sığınaklarının bulundurulması ve / veya korunması konusuna yer verilmiştir. *Bt* bitkilerinin yanına veya içine yerleştirilen sığınaklar, genel zararlı popülasyonunda yeterli sayıda duyarlı birey genlerini korumak üzere bunların hayatta kalmasına izin verir. Böcek larvalarının ve yetişkinlerin hareketi, *Bt* olmayan bitki sığınaklarının nasıl yerleştirileceği konusunda fikir verecektir. Örneğin, Avrupa mısır kurdu (*Ostrinia nubilalis*) larvaları, en iyi mısır sıraları arasında değil, sıralar boyunca hareket ettiğinden, bunlar için en iyi çözüm tarla içinde sığınma (örneğin, sekiz sıra *Bt* mısırı yanına iki sıra *Bt* olmayan mısır) olmaktadır. Bununla birlikte, hedef zararlıların hem sıra boyunca hem de sıra arasında hareket ettiği pamuk için sığınak, sıralar halinde ekim yerine sığınak bitkilerin bloklar halinde yetiştirilmesidir. Tarla dışındaki sığınaklar yetişkin böceklerin rastgele çiftleşmesine izin verecek şekilde *Bt* ürünlerine yeterince yakın olmalıdır. Pamukta hedef zararlılar (özellikle helyotinler) çok hareketli olduğundan, göç sonucu diğer *Bt* olmayan ürünlerden önemli sayıda duyarlı böcek girişi olmaktadır.
- *Bt* bitkilerin seçilmesi: göç eden böcek popülasyonları, diğer alanlardaki farklı ürünlerde bulunan aynı veya benzer *Bt* proteinlerine karşı direnç geliştirebileceğinden, farklı *Bt* bitkilerinde bulunan *Bt* proteinlerinin tipine dikkat edilmelidir. Bu nedenle bazı ülkeler belirli bir *Bt* proteinini belirli bir ürünle sınırlamak için adımlar atmıştır. Piramitleme adı verilen diğer bir yaklaşımda, kendine has bağlanma bölgelerine sahip iki veya daha fazla *Bt* proteini, aynı bitki üzerine yerleştirilmektedir. Bir böceğin iki farklı toksine karşı direnç geliştirmesi pek olası değildir. ABD Çevre Koruma Ajansı azaltılmış direnç riski, hedef zararlıların çok hareketli olması ve yakınlardaki *Bt* olmayan bitkilere kolayca göç edebilmeleri nedeniyle, *Bt* pamuk yetiştiriciliğinde yapısal sığınak oluşturmak yerine, transgenik pamuk yanına iki farklı Cry proteini ifade eden doğal sığınakların kullanımına izin vermiştir.

Tablo 11’de *Bt* ve diğer transgenik bitkilerde kullanılan çeşitli direnç yönetimi taktiklerinin güçlü yönleri ve kısıtları verilmektedir.

Tablo 11 Böceklerle dirençli transgenik ürünlerde kullanılan direnç yönetimi taktiklerinin güçlü yönleri ve kısıtları

Taktik	Güçlü yönler ve kısıtlar
Heterozigotluğu kontrol için yüksek doz	Mümkün olduğu durumlarda birincil hedef zararlılara karşı tek tip yüksek doz uygulaması sağlanır.
Duyarlı böcekler için yapısal barınak	Birkaç ülkede başarıyla uygulanmıştır ancak, çoğu zaman karmaşık ve uygulanması maliyetlidir.
Yapısal olmayan / doğal barınaklar (= alternatif konukçular)	Yalnızca birincil hedef zararlılar çok sayıda bitki türü üzerinde barınabildiğinde önemlidir.
Aktif bileşiklerin dönüşümlü kullanımı	Bir sezon içinde mümkün değildir, sezonlar arasında uygulanması ve sonuçlarının doğrulanması karmaşık ve maliyetlidir.
Aktif bileşiğin piramitleştirilmesi	İki toksinin kendilerine has etki bölgelerine sahip ve aynı böcek türlerine karşı aktif olduğu sürece başarılı bir stratejidir. Böcekler üzerindeki etkinlik yelpazesini de genişletebilir.
Bir bölgede transgenik bitki yetiştirilmesine izin verilen alanın sınırlandırılması (alan sınırlandırma).	Filipinler ve Avustralya’da sınırlı sayıda başarılı uygulama vakası vardır; bazı sistemlerde yönetmek imkansız olabilir.
Entegre zararlı yönetimi	Hedeflenen kültürel, biyolojik ve kimyasal EZY araçları, dirençli popülasyonların hayatta kalmasını önemli ölçüde azaltabilir.
Böcek duyarlılığının izlenmesi	Düzensiz yürütülürse, muhtemel büyük ölçekli bir başarısızlık yaşanmadan, böcek duyarlılığındaki küçük değişiklikleri ölçülebilir. Böcek popülasyonlarının ve böcek biyoanalizlerinin toplanması zor olabilir. Tarlada oluşacak beklenmedik zararların izlenmesi de son derece değerlidir.
Paydaşların eğitimi ve iletişim	Yetiştiriciler ve diğer paydaşlar, <i>Bt</i> ürünlerinin seçimi ve direnç yönetimi taktiklerinin önemi hakkında bilgilendirilmelidir. Yapısal bir sığınak gerekiyorsa, bunun yetiştiricilerce benimseme durumu izlenmelidir.

[Kaynak: Ferre et al. (2008)]

6 Direnç ve direnç vektörleri

Pestisit direnci tarımda büyük bir sorun olmakla birlikte hastalıkları insan ve hayvanlara yayan böcek vektörlerinin kontrolü de önemli bir sorundur. İnsektisit direnci riski taşıyan önemli vektör kaynaklı hastalıklar arasında, diğerlerinin yanında, sıtma, dang humması, layşmanyaz ve şagaz hastalığı yer alır. Hastalıkların ciddiyeti ve bunları kontrol etmeye yarayan nispeten az sayıda insektisit olması, direnç konusunu önemli hale getirmektedir.

Hastalık vektörlerinde, belirli uygulamalar farklı olsa da direnç önleme ve yönetim ilkeleri tarımdakilerle aynıdır. Bu konu önümüzdeki kılavuzun hedefleri ötesine geçmektedir. Bu nedenle okuyucular direnç riski, hastalık vektörlerinin tespiti ve yönetimi hakkında daha fazla bilgi için DSÖ ve İDEK'e başvurmalıdır (bakınız Ek 1).

Bu noktada özellikle endişe verici bir konu, tarımda insektisit kullanımından kaynaklanan insan hastalık vektörleri üzerindeki artan direnç seleksiyonu baskısıdır. Bu durum vektör kontrolünde uygulanan insektisitlerin, aynı yerdeki tarımsal uygulamalarda da geniş ölçekte kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu tür riskleri yönetmek için tarım ve sağlık sektörleri arasında yakın iş birliği ve DYP'lerin birlikte detaylandırılması tavsiye edilir.

Ek 1 - Ek okuma ve başvuru kaynakları

Bu kılavuzda ele alınan konularla ilgili seçilmiş bazı ek başvuru kaynakları aşağıda sıralanmıştır. Bazı kaynakların çok sayıda konuyu kapsayabileceğini unutulmamalıdır [bunlar köşeli parantez içinde belirtilmiştir].

Direnç riski değerlendirilmesi ve risk faktörleri

Genel

OEPP/EPPO 2002. Resistance risk analysis. Standards for efficacy evaluation of plant protection products, PP 1/213(2). European and Mediterranean Plant Protection Organization, Paris. (Şu adreste: <http://pp1.eppo.org/getnorme.php?n=213>)

Fungusitler

Brent, K.J. & Hollomon, D.W. 2007a. Fungicide resistance: The assessment of risk. FRAC Monograph 2 (revised). (Şu adreste: <http://www.frac.info/frac/index.htm>) [not: ayrıca “belirleme and doğrulama”]

Herbisitler

HRAC. Tarihsiz. Herbicide cross resistance and multiple resistance in plants. Monograph. Herbicide Resistance Action Committee. (Şu adreste: <http://hracglobal.com/Publications/HerbicideCrossResistanceandMultipleResistance.aspx>)

İnsektisitler

Whalon, M.E., Mota-Sanchez, D & Hollingworth, R.M. (eds.) 2008. Global pesticide resistance in arthropods. CABI, Wallingford.) [not: ayrıca “direnç önleme ve yönetimi” ve “transgenik ürünler”]

Rodentisitler

Buckle, A.P, Prescott, C. V. & Ward, K.J. 1994. Resistance to the first and second generation anticoagulant rodenticides - A new perspective. In: W.S. Halverson & A.C. Crabb, eds. Proc. 16th Vertebrate Pest Conference. pp. 137-144. Univ. of California, Davis. (Şu adreste: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1006&context=vpc16>)

Etki mekanizmasının sınıflandırması

Fungusitler

FRAC. 2011 FRAC Code list: (Şu adreste: <http://www.frac.info/frac/publication/anhang/FRAC%20Code%20List%202011-final.pdf>)

Herbisitler

HRAC. Tarihsiz. Classification of herbicides according to site of action. (Şu adreste: <http://www.hracglobal.com/Publications/ClassificationofHerbicideSiteofAction.aspx>)

İnsektisitler

IRAC. 2011. IRAC MoA Classification Scheme (Şu adreste:

<http://www.irac-online.org/teams/mode-of-action/>)

Doğrulanmış direnç sorunları ve raporlandıkları veritabanları

Fungusitler

FRAC. 2011. FRAC list of plant pathogenic organisms resistant to disease control agents. (Şu adreste: http://www.frac.info/frac/publication/anhang/List%20of%20resistant%20plant%20pathogens_Jan%202011.pdf)

Herbisitler

ISHRW. Tarihsiz. International Survey of Herbicide Resistance Weeds. (Şu adreste: <http://www.weedscience.org/in.asp>)

İnsektisitler

MSU. Tarihsiz. Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University. (Şu adreste: <http://www.pesticideresistance.org/>)

Direnç önleme ve yönetimi

Genel

NRC. 1986. *Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. Board on Agriculture, National Research Council. National Academies Press, Washington, DC (Şu adreste: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=619&page=313)
[not: ayrıca “risk değerlendirmesi ve risk faktörleri” ve “belirleme ve doğrulama”]

Fungusitler

Brent, K.J. & Hollomon, D.W. 2007b. *Fungicide resistance in crop pathogens: How can it be managed?* FRAC Monograph No. 1 (revised edition). Fungicide Resistance Action Committee, Basel. (Şu adreste: <http://www.frac.info/frac/index.htm>)

Damicone, J. 2007. *Fungicide resistance management*. Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheet F- 7663. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University. (Şu adreste: <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-2317/EPP-7663web.pdf>)
[not: ayrıca “risk değerlendirme ve risk faktörleri”]

Herbisitler

HRAC. 2011. *Guideline to the management of herbicide resistance*. Herbicide Resistance Action Committee (Şu adreste: <http://www.hracglobal.com/Publications/ManagementofHerbicideResistance.aspx>)

Palou, A.T., Ranzenberger, A.C., & Larios C.Z. 2008. *Management of herbicide-resistant weed populations - 100 questions on resistance*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. (Şu adreste: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a1422e/a1422e00.pdf>)

Valverde, B.E. 2003. *Herbicide resistance management in developing countries*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. (Şu adreste: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y5031E/y5031e0h.htm>)

Rodentisitler

CropLife. 2003. Anticogulant resistance management strategy for pest management professionals, central and local government and other competent users of rodenticides. Technical Monograph. CropLife International,

Brussels (Şu adreste: http://www.rrac.info/downloads/technical_monograph_2003_ARM.pdf)

İnsektisitler

Onstad, D.W. (ed.) Insect resistance management: Biology economics and prediction. Elsevier, Amsterdam [not: ayrıca “risk değerlendirmesi verisk faktörleri” ve “belirleme ve doğrulama”]

Direnç belirleme ve doğrulama

Fungusitler

FRAC. Tarihsiz. Monitoring methods to investigate possible development of resistance. Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) (Şu adreste: <http://www.frac.info/frac/index.htm>)

Herbisitler

HRAC. 1999. Detecting herbicide resistance. Herbicide Resistance Action Committee. (Şu adreste: <http://www.hracglobal.com/Publications/DetectingHerbicideResistance.aspx>)

İnsektisitler

IRAC. Tarihsiz. Insecticide and acaricide resistance monitoring methods. Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). (Şu adreste: <http://www.irc-online.org/teams/methods>)

WHOPES. Tarihsiz. Test procedures for monitoring resistance in disease vectors. WHO Pesticide Evaluation Scheme. (Şu adreste: <http://www.who.int/whopes/resistance/en>)

Rodentisitler

CropLife. 2003. A reappraisal of blood clotting response tests for anticoagulant resistance and a proposal for a standardised BCR test methodology. Technical monograph. (Şu adreste: http://www.rrac.info/releases_01.htm)

Prescott, C.V., Buckle, A.P., Hussain, I., Endepols, S. 2007. A standardised BCR- resistance test for all anticoagulant rodenticides. *Int. J. PestMgt.* 53(4): 265-272.

Direnç ve transgenik bitkiler

Carriere, Y., Dennehy, T.J., Pedersen, B., Haller, S., Ellers-Kirk, C., Antilla, L., Yong Biao, L., Willott, E. & Tabashnik, B.E. 2001 Large scale management of insect resistance to transgenic cotton in Arizona: Can transgenic insecticidal crops be sustained? *J. Econ. Entomol.* 94(2): 315-325. (Şu adreste: <http://esa.publisher.ingentaconnect.com/content/esa/jee/2001/00000094/00000002/art00001>)

Ferre, J., Rie, J.V. & MacIntosh, S.C. 2008. Insecticidal genetically modified crops and insecticide resistance management (IRM). In: J. Romeis, A. M. Shelton & G. Kennedy. eds. *Integration of insect-resistant genetically modified crops within IPM programmes.* Progress in Biological Control, Vol. 5. Springer, Dordrecht.

Gassmann, A. J., 2012. Field-evolved resistance to Bt maize by western corn rootworm: Predictions from the laboratory and effects in the field. *J. Invert. Path.* 110 (2012) 287- 293.

Macintosh, S.C. 2009. *Managing the risk of insect resistance to transgenic insect control traits: Practical approaches in local environments,* Insecticide Resistance Action Committee, Brussels. (Şu adreste: <http://www.irc-online.org/content/uploads/2009/09/SC-MacIntosh-IRM-manuscript.pdf>)

Bates, S.L., Ahao, J., Roush, R.T. & Selton, A.M. 2005. Insect resistance management in GM crops: past, present and future. *Nature Biotechnology* 23(1): 57-62.

Tabashnik, B.E., van Rensburg, J.B.J. & Carriere, Y. (2009) Field-evolved resistance to Bt crops: definition, theory and data. *Journal of Economic Entomology* 102: 2011-2025 (Şu adreste: <http://docserver.ingentaconnect.com/deliver/connect/esa/00220493/v102n6/s1.pdf?expires=1346048945&id=0000&titleid=10264&checksum=0256E56CD08BF19CE865F2A3A09E4357>)

Huang, F., Andow, D.A. & Buschman, L.L. (2011) Success of the high-dose/refuge resistance management strategy after 15 years of *Bt* crops use in North America. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 140:1-16 (Şu dreste: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1570-7458.2011.01138.x/pdf>)

Direnç ve direnç vektörleri

Brogdon, W.G. & McAllister, J. C. 1998. Insecticide resistance and vector control. *Emerging Infectious Diseases* 4(4): 517-713. (Şu dreste: <http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol4no4/brogdon.htm>)

IRAC. 2011. *Prevention and management of insecticide resistance in vectors and pests of public health importance.* 2nd edition. Insecticide Resistance Action Committee (IRAC), Brussels. (Şu adreste: http://www.iraconline.org/wp-content/uploads/2009/09/VM-Layout-v2.6_LR.pdf)

Knobler, S.L., Lemon, S. M., Najafi, M., & Burroughs, T. (eds). 2003. *The resistance phenomenon in microbes and infectious disease vectors: Implications for human health and strategies for containment.* Chapter 3 - Vector resistance. National Academies Press, Washington, D.C. (Şu adreste: <http://books.nap.edu/openbook.php?recordid=10651&page=88>)

Ek 2 - Gerçek direnç yönetim planlarına örnekler

Belirli ürünler veya pestisit grupları için gerçek direnç yönetimi planlarının (DYP'ler) bazı örnekleri aşağıda verilmiştir. Liste kapsamlı olmayıp sadece gösterge niteliğindedir. FAO bireysel DYP'ler için sorumluluk almaz. Metinde vurgulandığı gibi, pestisit kullanılarak her özel durum için DYP geliştirilmesi gerekmektedir.

Fungusitler

Genel bilgiler

- <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-2317/F-7663web.pdf>
- http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1953
- <http://www.cottoncrc.org.au/content/Industry/Publications/PestsandBeneficials/InsectResistanceManagement.aspx>

Kolza

- <http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups/frag>

Patates

- <http://www.potatodiseases.org/pdf/Fungicide-Resistance-Management.pdf>
- <http://www.extension.umn.edu/AgProfessionals/components/CPM/StevensonFungicides.pdf>

Meyve ağaçları

- <http://tfpg.cas.psu.edu/56.htm>

Herbisitler

Genel bilgiler

- FAO - Herbisite dirençli yabancı otların popülasyonlarının yönetimi: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a1422e/a1422e00.pdf>
- http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1954
- http://www.dpi.qld.gov.au/cps/rde/xchg/dpi/hs.xsl/26_4240_ENA_HTML.htm
- http://www.dpi.qld.gov.au/cps/rde/xchg/dpi/hs.xsl/26_4239_ENA_HTML.htm
- http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1854,
- <http://www.croplifeaustralia.org.au/files/resistancemanagement/herbicides/2010%20Herbicide%20Resistance%20Management%20Strategies.pdf>

Pamuk

- <http://cottoninfo.ucdavis.edu/ProductionGuidelines/>
- <http://www.cotton.org/tech/pest/upload/07CIweedresistbulletin.pdf>

Mısır

- <http://www.nwnyteam.org/Corn%20Congress%20Presentations/Herbicide%20Resistance%20Management%20Sstrategies.pdf>

Transgenik mısır

- <http://text.lsuagcenter.com/NR/rdonlyres/FC8C9299-F8CA-4F99-869D-f3EB0FB0B5502/45400/pub2963herbicideresistancecotton2008HIGHRES.pdf>

İnsektisitler

Genel bilgiler

- http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1955

Pamuk

- <http://www.cottoncrc.org.au/industry/Publications/Pests and Beneficials/Insect Resistance Management>

Turpgil sebzeleri

- http://www.sardi.sa.gov.au/data/assets/pdf_file/0005/91616/irm_flyer_sept_2008.pdf

Seralar

- www.entomology.umn.edu/cues/4015/ppts/greenhouseRM.ppt

Kolza

- <http://www.irc-online.org/news/updated-monitoring-and-irm-guidelines-in-oilseed-2>
- <http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups/frag>

Süs bitkileri

- http://solutionsforyourlife.ufl.edu/hot_topics/agriculture/whiteflies.html#resistance

Karışık ürünler (pamuk, kavun ve sebzeler)

- <http://www.cals.arizona.edu/pubs/insects/az1319.pdf>

Patates

- http://www.nationalpotatocouncil.org/NPC/p_documents/document_280607084102.pdf
- <http://www.hort.uconn.edu/IPM/veg/htms/cpbipm.htm>
- <http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups/irag>

Sıra bitkileri

- <http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups/irag>

Çilek

- <http://www.ipmcenters.org/pmsp/pdf/CASTRWBERRY.PDF>

Ek 3 - Uzman grupları

Dirençle ilgili uzman grupları

Uluslararası - Direnç Eylem Komiteleri (REK'ler)

Pestisit endüstrisinden uzmanlardan oluşan CropLife International uzman grupları.

- [Fungisit Direnci Eylem Komitesi \(FDEK\): http://www.frac.info/frac/index.htm](http://www.frac.info/frac/index.htm)
- [Herbisit Direnci Eylem Komitesi \(HDEK\): http://www.hracglobal.com/](http://www.hracglobal.com/)
- [Insektisit Direnci Eylem Komitesi \(İDEK\): http://www.irc-online.org/](http://www.irc-online.org/)
- [Rodentisit Direnci Eylem Komitesi \(RDEK\): http://www.rrac.info/](http://www.rrac.info/)

İngiltere - Direnç Eylem Grupları

Pestisit endüstrisinden uzmanlardan ve bağımsız kuruluşlardan oluşan İngiltere merkezli Direniş Eylem Grupları.

- <http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups>

Avustralya - Direnç Yönetimi İnceleme Grupları

Pestisit endüstrisinden uzmanlardan oluşan CropLife Avustralya uzman grupları

- http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1952

Uzman grupları - Ürün ve diğer gruplar

- Amerika Entomoloji Derneği - Direnç bilgileri şu adreste mevcuttur: <http://www.entsoc.org/Search/default.aspx> (Enter *resistance* in search box)
- Weed Science Society of America - Direnç bilgisi şu adreste mevcuttur: http://www.wssa.net/00Search/search.php?zoom_query=herbicide+resistance
- Avrupa Yabancı Ot Birliği - Direnç bilgisi şu adreste mevcuttur: http://www.ewrs.org/herbicide_resistance.asp
- Ulusal Pamuk Konseyi - Direnç bilgisi şu adreste mevcuttur: <http://www.cotton.org/search.cfm> (Arama kutusuna *böcek ilacı direnci veya herbisit direnci* girin).
- WERA060: Pestisit Direnci Yönetimi (WERA60)
- <http://nimss.umd.edu/homepages/home.cfm?trackID=9616>