



Cydia pomonella (L)'da İnsektisit Direnci ve Mekanizmaları: Küresel Durum

Mustafa Murat Yeşilirmak^{1*}, Recep Ay²

¹Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü – Isparta-Türkiye

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü – Isparta - Türkiye

*Sorumlu yazar: mustafamuratyesilirmak@hotmail.com

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi: 17/02/2023

Kabul tarihi: 29/04/2023

Anahtar Kelimeler: *Cydia pomonella*,
Direnç, Elma içkürdu, İnsektisit

DOI: 10.55979/tjse.1252173

ÖZET

Dünya genelinde *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) yumuşak çekirdekli meyvelerin (elma ve armut) ve cevizin önemli bir zararlısıdır. Çevreyle uyumlu entegre mücadele yöntemleri; kitle yakalama yöntemi, şaşırtma tekniği ve kısır böcek salımı, parazitoit salımı, *Bacillus thuringiensis* kurstaki, *C. pomonella* granül virüsü, bakteri kökenli yeni nesil bioinsektisitlerin kullanımı gibi yöntemler *C. pomonella* popülasyonlarını baskı altına almak için kullanılmaktadır. Ancak bu uygulamalar tek başına kullanıldığında içkürdu popülasyonlarını istenilen seviyede baskı altına alamamaktadır. Bu nedenle, neredeyse tüm yumuşak çekirdekli meyve üreten ülkelerde *C. pomonella* mücadelesi, insektisitler kullanılarak yapılmaktadır. Dünya çapında insektisitlerin yoğun kullanımı sonucunda *C. pomonella*'nın organofosfat, karbamat, pyrethroid, benzoilurea, neonicotinoid, granülovirüs, DDT, fenoxycarb, arsenat, diacylhydrazine ve cyclodiene organoklorlular sınıfındaki insektisitlere direnç geliştirdiği belirlenmiştir. Bu derlemede geçmişten günümüze kadar farklı *C. pomonella* popülasyonlarının belirlenen 'nin insektisit direnci, biyokimyasal ve moleküler mekanizmaları özetlenmiştir.

Insecticide Resistance and Mechanisms in *Cydia pomonella* (L): Global Situation

ARTICLE INFO

Received: 17/02/2023

Accepted: 29/04/2023

Keywords: *Cydia pomonella*, Resistance,
Codling moth, Insecticide

DOI: 10.55979/tjse.1252173

ABSTRACT

Cydia pomonella (Lepidoptera: Tortricidae) is an important pest of pome fruits (apples and pears) and walnuts worldwide. Integrated control methods compatible with the environment; such as the mating disruption technique, mass trapping and sterile insect technique, parasitoid release, *Bacillus thuringiensis* kurstaki, *C. pomonella* granule virus and applying new generation bioinsecticides of bacterial origin have been used to suppress *C. pomonella* populations. However, these management methods cannot suppress the codling moth populations at desired level when they are used alone. Therefore, in almost all pome fruit producing countries, *C. pomonella* is controlled by insecticides. As a result of the intensive use of insecticides worldwide, it has been determined that *C. pomonella* has developed resistance to wide range of pesticides including organophosphate, carbamate, pyrethroid, benzoilurea, neonicotinoid, granulavirus, DDT, fenoxycarb, arsenate, diacylhydrazine and cyclodiene organochlorines. In this review, insecticide resistance, biochemical and molecular mechanisms of different populations of *C. pomonella*, which have been determined from past to present, are summarized.

1. Giriş

Cydia pomonella (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) ergin dişileri gri renkli 10 mm uzunluğunda, her iki kanat ucunda üçgen şeklinde koyu renkte leke ile diğer güvelerden ayrımı yapılmaktadır. Kışı ördükleri kokonlar içerisinde olgun larva olarak çatlamış ağaç kabukları ve yere dökülmüş toprakta bulunan kalıntılar arasında geçirir (Alford, 1984). Larva erken ilkbaharda sıcaklık 10 °C'yi aştığında koza içerisinde pupaya dönüşür. Çevre sıcaklığına bağlı olarak pupa dönemi 7-30 gün sürer. Teorik olarak, Ocak ayından itibaren etkili sıcaklıkların kümülatif toplamı 250 gün dereceyi bulduğunda 1. nesil larva çıkışı, 800 gün dereceyi bulduğunda ise 2. nesil belirlenir. 1. nesil ergin çıkışları Mayıs ayı başından itibaren başlayıp temmuz ayı ortalarına kadar, 2. nesil çıkışları ise Temmuz ayı ortasından Ağustos ayı ortasına kadar devam eder (Higbee vd., 2001).

C. pomonella küresel anlamda yumuşak çekirdekli meyvelerin (elma ve armut) ve cevizin önemli bir zararlısıdır (Reyes vd., 2007; Voudouris vd., 2011; Yang

& Zhang, 2015). Zararlı ile mücadelenin yapılmadığı meyve bahçelerinde, zarar oranları elma bahçelerinde %80 ve armut bahçelerinde ise %60'a kadar ulaşabilmektedir (Wan vd., 2019).

Çevreyle uyumlu entegre mücadele yöntemleri şaşırtma tekniği, kitle yakalma yöntemi ve kısır böcek salımı, parazitoit salımı, *Bacillus thuringiensis kurstaki*, *C. pomonella* granül virüsü, bakteri kökenli yeni nesil bioinsektisitler kullanımı gibi yöntemler *C. pomonella* popülasyonlarını baskı altına almak için kullanılmıştır. Ancak bu uygulamalar tek başına *C. pomonella* popülasyonlarını baskı altına alamamaktadır. Bu nedenle, neredeyse tüm yumuşak çekirdekli meyve üreten ülkelerde *C. pomonella* mücadelesi, kimyasal mücadele ile yapılmaktadır (Calkins & Faust, 2003).

Geçmişten günümüze kadar organofosfatlar, neonicotinoidler, hidrazinler, benzoilüreler, piretroidler, diamidler, spinosinler, avermektinler, JH mimikleri, karbamatlar, oksadiazinler, CpGV'ler ve organoklorinler dahil olmak üzere 13 insektisit sınıfı *C. pomonella* kontrolü

için önerilmiş veya kullanılmıştır (Reyes vd., 2007; Rodríguez vd., 2011; Bosch vd., 2018). Günümüze kadar kullanılan insektisit sınıfları Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Ülkemizde ise hali hazırda ruhsatlı 11 farklı etki mekanizmasına sahip insektisit vardır. Bunlar asetilkolinesteraz inhibitörleri (organofosfatlar), sodyum kanalı modülatörleri (pyrethroid), nikotinik asetilkolin reseptör agonistleri (neonikotinoid), nikotinik asetilkolin reseptör agonist allosterik modülatörleri (spinosin), klorid kanal aktivatörleri (avermektin), voltaj-bağımlı sodyum kanal blokerleri (oxadiazine) ve ryanodine reseptör modülatörleri (diamide), kitin biyosentez inhibitörleri (benzoylurea), ekdizon agonistleri (diacylhydrazine), böcek mide zarını bozan mikrobiyal bozucular (*Bacillus thuringiensis*) ve baculovirüsler (Granulavirüsler) (Anonim, 2023a).

Bu insektisit grupları arasında diamidler tüm dünyada *C. pomonella* mücadelesinde en yaygın kullanılan insektisit grubunu oluşturur ve bunu hidrazinler, oksadiazinler, piretroidler ve spinosinler takip eder. Birçok ülkede *C. pomonella* mücadelesi için avermektinler, neonikotinoidler, organofosfatlar ve benzoylurea’lar da önerilmiştir (Ju vd., 2021).

2. *Cydia pomonella*’nın Direnç Durumu

1914 yılından Günümüze kadar 629 adet böcek ve akar türünün bir veya daha çok insektisite direnç geliştirdiği belirlenmiştir. Günümüze kadar *C. pomonella*’nın belirlenen 196 direnç vakasından; sentetik insektisitlerden 11 insektisit grubundan (organofosfat, karbamat, pyrethroid, benzoylurea, neonikotinoid, granulavirüs, DDT, fenoxycarb, arsenat, diacylhydrazine ve cyclodiene organoklorin) 22 aktif maddeye karşı direnç geliştirdiği bildirilmiştir (Anonim, 2023b). İnsektisit sınıflarının ülkelere göre direnç durumu Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Yoğun insektisit kullanımı *C. pomonella* direncinde seleksiyon baskısına neden olmuştur (Balasko vd., 2020). *C. pomonella*’nın ilk kez 1928’de Amerika Birleşik Devletleri’nde Virginia eyaleti bahçe popülasyonunda kurşun arsenat’a karşı direnç geliştirdiği tespit edilmiştir (Hough, 1928). O zamandan beri, dünya çapında elma yetiştirilen başlıca bölgelerin neredeyse tamamında yeni direnç vakaları bildirilmiştir. 1980’ler ve 1990’lar boyunca Avrupa’da *C. pomonella* mücadelesi, geniş spektrumlu insektisitler (piretroidler ve organofosfatlar (OP)) kullanılarak sağlanmıştır. Ancak, söz konusu zararlı bu insektisitlere karşı hızlı bir şekilde direnç geliştirmiştir (Sauphanour vd., 2000). Amerika’da *C. pomonella*’nın tarla popülasyonlarında, DDT’nin piyasaya sürülmesinden kısa bir süre sonra söz konusu insektisite karşı direnç saptanmıştır (Cutright, 1954; Glass & Fiori, 1955; Hamilton, 1956; Madsen & Hoyt, 1958).

Avrupa’da söz konusu zararlıda insektisit direnci ilk olarak 1994 yılında İtalya ve güneydoğu Fransa’da elma bahçelerinde diflubenzuron’a karşı rapor edilmiştir (Sauphanor & Bouvier, 1995).

Daha önce yapılan çalışmalarda, *C. pomonella*’nın günümüze kadar Arjantin, Türkiye, Ermenistan,

Avustralya, Kanada, Şili, Çin, Çek Cumhuriyeti, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İsrail, Şili, İtalya, Güney Afrika, İspanya, İsviçre ve ABD olmak üzere en az 16 ülkede direnç geliştirdiği belirlenmiştir (Anonim, 2023b).

1950–2020 yılları arasında, Fransa ve İspanya’da 11 insektisit sınıfından, ardından İtalya’da 10 insektisit sınıfından farklı insektisitlere karşı direnç bildirilmiştir. Zararlının mücadelesinde Şili, Macaristan, İsrail ve Türkiye’de 9’dan fazla insektisit sınıfı rotasyon dahilinde kullanıldığından, yalnızca 1-2 insektisit grubuna karşı direnç geliştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, Fransa, İtalya ve İspanya’da *C. pomonella* için çok sayıda direnç durumu rapor edilmiştir (Ju vd., 2021).

İren (1966), tarafından ülkemizde ilk defa arazi koşullarında Konya, Niğde, Kayseri, Kastamonu, Tokat ve Ankara illeri elma bahçelerinde 1962-1964 yılları arasında *C. pomonella*’nın DDT’ye direnç durumunu araştırılmıştır.

Yine İşçi (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, Isparta ili ve ilçelerin’den toplanan *C. pomonella* popülasyonlarında chlorpyrifos, diflubenzuron ve chlorantraniliprole karşı düşük, thiacloprid’e karşı orta düzeyde direnç belirlenmiştir.

Farklı insektisit sınıflarının ayırıcı doz denemeleri direnç durumunu belirlemede etkili olmuştur. Ayırıcı doz denemeleri sonucunda organofosfat, neonikotinoid, hidrazin, benzoylurea, piretroid, JH mimikleri ve karbamat insektisit sınıflarına karşı tarla popülasyonlarının yarısından fazlasında ölüm oranında bir azalma gözlenmiştir (Ju vd., 2021). Bu durum *C. pomonella*’nın insektisitlere karşı geliştirdiği direncin dünya çapında ciddi ve büyüyen bir sorun olduğunu göstermektedir.

2.1. *Cydia pomonella*’nın organofosfat insektisit sınıfına karşı direnç durumu

Organofosfatlar 1940’lı yıllarda piyasaya sürülmüştür (Silva vd., 2014). Organofosfatların *C. pomonella* mücadelesinde yoğun ve gelişigüzel kullanımı sonucu 14 farklı ülkede zararlıda direnç saptanmıştır. Organofosfat insektisit sınıfından parathion direnç ilk olarak 1989’da Wilkes County, North Carolina (ABD)’de rapor edilmiştir (Bush vd., 1993). Daha sonra zararlının bu bölgede ve Arjantin, Şili, Çek Cumhuriyeti, İsrail, İtalya, İsviçre ve Çin gibi diğer ülkelerden azinphos-metil ve phosmet gibi diğer OP’lere karşı da direnç geliştirdiği bildirilmiştir (Fuentes-Contreras vd., 2014; Yang & Zhang, 2015; İşçi & Ay, 2017). Azinphos methyl, parathion, phosmet, phosalone ve chlorpyrifos ethyl çoğu ülkede *C. pomonella* mücadelesi için kullanılan başlıca OP’lerdir ve bildirilen direnç vakaların çoğundan sorumludurlar. OP’ler 70 yıl önce piyasaya sürüldüğünden dolayı bu insektisitlere karşı yayınlanmış direnç vakalarının sayısı yüksektir. Yang & Zhang (2015), Çin’de dört farklı *C. pomonella* popülasyonu ile gerçekleştirdiği ayırıcı doz denemelerinde zararlının chlorpyrifos ethyl’e karşı direnç geliştiğini belirlemişlerdir. Soleno vd. (2008), Arjantin’den toplanan popülasyon ile gerçekleştirdikleri ayırıcı doz

denemelerinde üç popülasyonda azinphos methyl'e direnç saptamışlardır.

2.2. *Cydia pomonella*'nın piretroit insektisit sınıfına karşı direnç durumu

Piretroidler memelilere karşı düşük toksisite ve böcekler üzerinde güçlü ilk etkileri nedeniyle 1980'lerde sık kullanılmaya başlamıştır. Ancak günümüze kadar yoğun bir şekilde kullanılmaları nedeniyle, söz konusu zararlının birçok ülkede piretroidlere karşı direnç geliştirildiği bildirilmiştir (Elliott, 1989; Silva vd., 2014). Avignon'dan (Fransa) bahçe popülasyonu, deltametrine karşı oldukça yüksek (372 kat) direnç geliştirmiştir (Sauphanor & Bouvier, 1995). Zararlı ile deltametrine karşı gerçekleştirilen ayrırcı doz denemelerinde, Fransa ve

Ermenistan'dan toplanan hassas popülasyonların %99.5'ini öldürebilen dozu 100 mg/L olduğu belirlenmiştir (Reyes vd., 2007). Farklı ülkelerden toplanan tarla popülasyonlarının çoğunda piretroidlere karşı benzer bir doz belirlenmiştir (Reyes vd., 2007; Mota-Sanchez vd., 2008). İspanya'da 20 farklı tarla popülasyonunun 10 farklı aktif maddeye karşı direnç durumu araştırılmıştır. Popülasyonların tamamının methoxyfenozide ve lambda-cyhalothrine karşı yüksek oranda dirençli olduğu ve %50'sinin ise thiaclopride karşı direnç geliştirdiği belirlenmiştir (Bosch vd., 2018). Çin'in kuzeydoğusundaki Zhangwu armut bahçesinden toplanan bir popülasyonda lambda-cyhalothrine karşı orta seviyede (16.97 kat), kuzeybatı bölgesinde ise düşük seviyede direnç belirlenmiştir (Yang & Zhang, 2015; Wei vd., 2020).

Çizelge 1. *Cydia pomonella* mücadelesinde kullanılan farklı sınıflardan insektisitlerin ilk piyasaya çıkış tarihleri ile zararlıya direnç durumlarının belirlendiği tarihler ve ülkeler (Balasko vd., 2020)

Table 1. The first release dates of different classes of insecticides used in the control of *Cydia pomonella*, and the dates and countries where the resistance status of the pest was determined (Balasko vd., 2020)

İnsektisit Sınıfı	Aktif Madde	İlk Piyasaya Çıkışı	İlk Direnç Zamanı ve Bölgesi
Inorganik	Arsenat	1890s-1950s	1928/USA
Klorlu hidrokarbonlar	DDT	1940-1970	1955/USA
	Endosülfan	1960s-1970s	1965/Suriye
Organofosfatlar	Azinphosmethyl	1950	1991/USA
	Chlorpyrifos-ethyl	1960	2011/Fransa, İspanya
	Phosmet	1970	1999/USA
Karbamatlar	Carbaryl	1970	2012/İspanya
Piretroidler	Deltamethrin	1970	2001/Çin
	Lambda-cyhalotrin	1980	2008/USA
Mikrobiyal İnsektisitler	<i>Cydia pomonella</i> granulovirus	1980	2007/Almanya
	Diflubenzuron		1988/USA
Benzoylureas	Triflumuron	1970	1995/Fransa
	Teflubenzuron		1995/Fransa
	Flufenoxuron		2011/İspanya
	Tebufenozide		1995/Fransa
Hidrazinler	Methoxyfenozide	1990	2008/USA
	Acetamiprid		2010/USA
Neonikotinoid	Thiacloprid	2001	2011/İspanya

2.3. *Cydia pomonella*'nın neonikotinoid insektisit sınıfına karşı direnç durumu

İlk neonikotinoid insektisit imidacloprid 1991 yılında piyasaya sürülmüştür. 2014 yılında bu insektisit sınıfı, toplam küresel böcek ilacı satışlarının %25'inden fazlasını oluşturmuştur (Bass vd., 2015). Neonikotinoidlere (thiacloprid ve imidacloprid) direnç vakası ilk kez 2003 yılında İsviçre'de bildirilmiştir (Pasquier & Charmillot, 2004) Günümüze kadar 5 ülkede neonikotinoid sınıfına karşı direnç belirlenmiştir (Anonim, 2023b).

2.4. *Cydia pomonella*'nın diğer insektisit sınıflarına karşı direnç durumu

Bazı ülkelerde OP'lerin yasaklanması ve neonikotinoidler ile piretroidlerde karşılaşılan ciddi direnç sorunları nedeniyle, benzoylurealar, JH mimikleri ve karbamatlar gibi diğer insektisit sınıfları, bu zararlının mücadelesi için en yaygın kullanılan insektisitler konumuna gelmiştir (Bosch vd., 2018). Bu insektisit sınıflarının yoğun kullanılması sebebiyle *C. pomonella* tarla popülasyonları benzoylurealar, JH mimiklerine ve karbamatlara karşı direnç geliştirmiştir. Spinosinler, diamidler, oxadiazinler ve avermektinler de birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır ve tarla popülasyonlarının çoğu bu böcek ilaçlarına karşı hala hassastır.

Çizelge 2. İnsektisit sınıflarının ülkelere göre direnç durumu (Anonim, 2023b)

Table 2. Resistance status of insecticide classes by country (Anonim, 2023b)

İnsektisit Sınıfı	Aktif Madde	Ülke	Yılı	Direnç oranı	Kaynak	
Organafosfat	Azinphos-methyl	Arjantin	2011	8.7	Soleno vd., 2012	
		Kanada	2010	5.2	Grigg & McGuffin, 2015	
		İsrail	2000-2001	7	Reuveny & Cohen, 2004	
			2005-2006	5	Mota-Sanchez vd., 2008	
		ABD	1991	3.6	Knight vd., 1994	
			1989	6.2	Varela vd., 1993	
		İspanya	1998	7.9	Reyes vd., 2011	
		Phosalone	Çek Cumhuriyeti	2004	4.73	Stara & Kocourek, 2007
		Parathion		1989	8.3	Bush vd., 1993
		Phosmet	ABD	2004-2005	7	Mota-Sanchez vd., 2008
2005-2006	8					
Hydrazinler	Tebufenozide	Fransa	1994	26	Sauphanor & Bouvier, 1995	
		ABD	1999	3.89	Knight vd., 2001	
	Methoxyfenozide	ABD	1999	4.99	Knight vd., 2001	
			1999	11.37		
		2005-2006	14	Mota-Sanchez vd., 2008		
			2004-2005		16	
		İspanya	2011	14.6	Bosch vd., 2018	
			2011	15.9		
Piretroidler	λ-cyhalothrin	Arjantin	2012	30.55	Soleno vd., 2020	
			36.7			
			37.54			
		Çin	2018	16.97	Wei vd., 2020	
			2005-2006	6		
		ABD	2004-2005	10	Mota-Sanchez vd., 2008	
			2011	62.8		
		İspanya	2011	7.7	Bosch vd., 2018	
			2012	22.8		
			1994	3		
Deltamethrin	Fransa	1994	372	Sauphanor & Bouvier, 1995		
		2012	16.47	İşçi & Ay, 2017		
Neonikotinoid	Thiacloprid	Türkiye	2012	16.47	İşçi & Ay, 2017	
	Acetamiprid	ABD	2009	3.5	Knight vd., 2010	
	Thiacloprid	İspanya	2011	11.2	Bosch vd., 2018	
Benzoylureas	Teflubenzuron	Çek	2004	7.89	Stara & Kocourek, 2007	
		Fransa	1994	7	Sauphanor & Bouvier, 1995	
	Diflubenzuron	Çek	2005	4.21	Stara & Kocourek, 2007	
	Triflumuron	Fransa	1994	102	Sauphanor & Bouvier, 1995	
			2005	14.21	Stara & Kocourek, 2007	
JH Taklitçisi	Fenoxycarb	Çek	2005	14.21	Stara & Kocourek, 2007	
Diamidler	Chlorantraniliprole	İspanya	2008	4.7	Bosch vd., 2018	
Oxadiazinler	Indoxacarb	ABD	2005-2006	6	Mota-Sanchez vd., 2008	
Spinosyns	Spinosad	ABD	2004-2005	3		

2.5. *Cydia pomonella*'nın granularvirüslere karşı direnç durumu

Kimyasal insektisitlere ek olarak, ticari *C. pomonella* granuloovirus (CpGV'ler), *C. pomonella*'nın biyolojik mücadelesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. CpGV ürünleri 1987'de ruhsatlandırılmış ve hedef olmayan böceklerle ve hayvanlara zararsız olması nedeniyle *C. pomonella* mücadelesinde dünya çapında yumuşak

çekirdekli meyve yetiştiren hemen hemen tüm ülkelerde bir biyolojik mücadele etmeni olarak kullanılmaktadır. Söz konusu zararlıda CpGV'ye karşı ilk direnç 2005 yılında Almanya'da rapor edilmiş olup, daha sonra yapılan çalışmalarda Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Fransa, Almanya, İtalya, Hollanda ve İsviçre'nin meyve bahçelerinde zararlı *C. pomonella* için CpGV mücadelesinde başarısızlıklar bildirilmiştir (Jehle vd., 2017).

3. Direnç Mekanizmaları

Bugüne kadar *C. pomonella*'da görülen insektisit direnç mekanizmalarına ilişkin yapılan çalışmalarda "detoksifikasyon enzimleri" ve "hedef bölge nokta mutasyonu" olmak üzere iki direnç mekanizması rapor edilmiştir (Ju vd., 2021).

3.1. *Cydia pomonella*'nın Biyokimyasal Direnç Mekanizması

C. pomonella metabolik direncinde Sitokrom P450, esterazlar ve GST'ler rol oynamaktadır (Rodríguez vd., 2010; Bosch vd., 2018).

P450'ler, insektisitler ve bitki toksinleri gibi xenobiotikleri metabolize eden önemli bir metabolik enzim grubudur (Li vd., 2007; Feyereisen, 2012). İspanya, Fransa, Yunanistan ve Türkiye'den toplanan diflubenzuron, deltametrin, azinphos-methyl, chlorpyrifos-ethyl, fenoxycarb, phosalone, tebufenozide, thiacloprid ve chlorantraniliprole dirençli popülasyonlarda gibi etkili maddeli insektisitlere karşı dirençli *C. pomonella* popülasyonlarında, oldukça yüksek P450 enzim aktiviteleri belirlenmiştir (Bouvier vd., 2002; Voudouris vd., 2011; İşci & Ay, 2017; Bosch vd., 2018). Laboratuvar koşullarında deltamethrine karşı 3 170 kat direnç kazandırılan *C. pomonella* Fransa popülasyonunda P450 enzim miktarında artış belirlenmiştir (Sauphanour vd., 1997). Fransa, İtalya, İsviçre, Ermenistan ve İspanya'dan toplanan *C. pomonella* popülasyonlarında belirlenen azinphos-methyl, diflubenzuron, spinosad, tebufenozide ve thiaclopride karşı belirlenen direncin P450 ve GST enzim aktiviteleri ile ilişkili olduğu saptanmıştır (Reyes vd., 2007). Arjantin'de acetamiprid ve thiaclopride karşı dirençli bulunan 13 farklı popülasyonda yüksek P450 enzim aktivitesi belirlenmiştir (Cichon vd., 2013). Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya ve İspanya'dan toplanan *C. pomonella* popülasyonlarının chlorantraniliprole aktif maddesine karşı hassasiyet kaybetmediğini ve bireylerin %12.1 ile %100'nün sitokrom P450 monooksijenaz (P450) enzim aktivitelerinin arttığı belirlenmiştir (Bosch vd., 2018). Acetamipride dirençli bulunan Arjantin Villa Regina popülasyonunda yüksek P450 enzim aktivitesi belirlenmiştir (Parra-Morales vd., 2019). İspanya'da 32 popülasyondan 23'ünde yüksek P450 enzim aktivitesi belirlenmiştir (Dolors vd., 2011). Yine İspanya'da 9 tarla popülasyonunda 5.1-16.6 kat P450 enzim aktivitesi artışı belirlenirken, sadece 1 popülasyonda 3 kat GST, 5 kat EST enzim artışı saptanmıştır (Rodríguez vd., 2011). Fransa, İtalya, Ermenistan ve Şili gibi ülkelerde ise 27 farklı lokasyondan toplanan popülasyonlarda oldukça yüksek P450 enzim seviyesi belirlenmiştir (Franck vd., 2007). 11 farklı ülkeden toplanan 29 farklı popülasyondan Arjantin, Uruguay ve Yunanistan popülasyonlarında yüksek GST ve P450, Çek Cumhuriyeti ve Fransa popülasyonlarında ise yüksek P450 ve düşük EST enzim aktiviteleri belirlenmiştir (Reyes vd., 2009)

C. pomonella'nın tarla popülasyonlarında artan GST enzim aktiviteleri ile insektisit direnci arasında pozitif bir ilişki belirlenmiştir (Bouvier vd., 2002; Reyes vd., 2007; Rodríguez vd., 2011; Voudouris vd., 2011). Son

araştırmalar, *C. pomonella*'nın lamda-cyhalothrin ve chlorpyrifos-methyle maruz kalmasından sonra GST aktivitesinin arttığını göstermiştir (Liu vd., 2014). Arjantin'de azinphos-methyle dirençli diyapoz sonrası larvalarda istatistiksel olarak yüksek oranda GST aktivitesi belirlenmiştir (Fuentes-Contreras vd., 2007). Yunanistan'da 38 farklı popülasyondan dirençli bulunanlarda GST enzim artışı belirlenmiştir (Voudouris vd., 2011). Şili'de altı farklı lokasyondaki chlorpyrifos, azinphos-methyl, tebufenozide dirençli bulunan popülasyonlarda yüksek GST enzim aktiviteleri belirlenmiştir (Reyes vd., 2015). Çin'de lambda-cyhalothrin, chlorpyrifos-ethyl, carbaryl ve imidacloprid aktif maddeli insektisitlerin farklı dozları uygulanarak direnç kazandırılan *C. pomonella* popülasyonlarında GST enzim seviyesinin arttığını belirlenmiştir (Yang & Zhang, 2015).

Karboksilesterazlar, kolinesteraz, proteazlar, lipazlar, dehalojenazlar, peroksidazlar ve epoksit hidrolazları içerir (Nardini & Dijkstra, 1999; Wheelock vd., 2005). *C. pomonella*'nın özellikle organofosfatlar ve karbamat sınıfındaki insektisitlere direnci üzerine yapılan çalışmalarda CarE'ların insektisit direncine etkisi, kapsamlı bir şekilde belgelenmiştir (Bush vd., 1993; Reyes vd., 2007; Rodríguez vd., 2010; İşci & Ay, 2017). Örneğin, karboksilesteraz enzim miktarındaki artış chlorpyrifos-ethyl, azinphos-methyl ve phosalone direnciyle ilişkilendirilmiştir (Rodríguez vd., 2010). Bunun aksine Avrupa'da azinphos-methyl, tebufenozide ve thiacloprid'e dirençli tarla popülasyonları (Reyes vd., 2007; Voudouris vd., 2011; Rodríguez vd., 2012) ve kuzeybatı Çin'de chlorpyrifos ve carbaryl'e dirençli popülasyonlarda düşük CarE enzimi belirlenmiştir (Yang & Zhang, 2015). Arjantin'de 2003-2005 yılları arasında azinphos-methyle dirençli bulunan popülasyonlarda belirlenen direncin esteraz enzim aktivitelerinin artışı ile ilişkili olduğu saptanmıştır (Soleno vd., 2008). İspanya'da flufenoxuron, azinphos-methyl ve phosmete dirençli 9 popülasyonda 5.1-16.6 kat P450, 3 kat GST ve 5 kat EST enzim artışı belirlenmiştir (Rodríguez vd., 2011).

3.2. *Cydia pomonella*'da Belirlenen Hedef Bölge Nokta Mutasyonu

Proteinleri kodlayan hedef genlerin insektisitlerle etkileşime girmesinin sonucu nokta mutasyonları oluşmaktadır (Li vd., 2007; Liu, 2015). *C. pomonella*'da hedef bölgenin insektisitlere duyarsızlığı sonucu oluşan direnç mekanizması daha önceki çalışmalarla belgelenmiştir (Bouvier vd., 2002; Brun-Barale vd., 2005; Cassanelli vd., 2006; Soleno vd., 2020).

C. pomonella dahil olmak üzere böceklerde ace-1 ve ace-2 genleri tarafından kodlanan iki AChE nokta mutasyonları tanımlanmıştır (Weill vd., 2003; Cassanelli vd., 2006). Bu iki gen arasından sadece ace-1 geni organofosfat ve karbamat direnciyle ilişkilidir. Azinphos-methyle dirençli Raz popülasyonunda tek bir amino asit yer değiştirmesi F399V bölgesinde belirlenmiştir (Cassanelli vd., 2006). Aynı hedef bölge değişikliği, 2004 ve 2005 yıllarında 11 farklı ülkeden toplanan 29 popülasyondan sadece İspanya popülasyonunda belirlenmiştir (Reyes vd., 2009). Söz

konusu nokta mutasyonu, İspanya'daki Catalonya ve Aragon bölgelerinde 24 popülasyonun tamamında tespit edilmiştir (Bosch vd., 2018). Ace-1 F399V bölgesindeki nokta mutasyonları chlorpyrifos-ethyl, azinphosmethyl ve paraoxon-methyl aktif maddelerine karşı sırasıyla 0.7, 3.2 ve 21.2 kat direnç kazandırılan popülasyonlarda belirlenmiştir (Reyes vd., 2011). İspanya'da (F290V) nokta mutasyonu 21 Catalonya ve 3 Aragon bölgesinde belirlenmiştir (Dolors vd., 2011).

Piretroitlere ve DDT insektisit sınıflarına karşı her biri altı transmembran sarmalından (S1-S6) ve dört bölge (I-IV)'den oluşan voltaj kapılı sodyum kanalında, kdr nokta mutasyonları meydana gelmektedir (Liu, 2015). Günümüze kadar piretroitlere direnç kazanan *C. pomonella* popülasyonlarının sodyum kanallarındaki 1014 (L1014F) bölgesinde leucine phenylalanine aminoasit yer değiştirmesi sonucu kdr mutasyonları belirlenmiştir (Brun-Barale vd., 2005; Soleno vd., 2020). Güneydoğu Fransa'da deltamethrine dirençli Rv popülasyonunda kdr mutasyonu olduğu belirlenmiştir (Bouvier vd., 2002; Brun-Barale vd., 2005). Yeni Zelanda, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Fransa, Amerika Birleşik Devletleri, Arjantin, Şili ve Uruguay dahil olmak üzere sekiz ülkede L1014F kdr nokta mutasyonu tespit edilmiştir (Reyes vd., 2009). Fransa, İtalya, İsviçre, Ermenistan ve İspanya'dan toplanan 46 popülasyonun tamamında kdr mutasyonu belirlenmiştir (Reyes vd., 2007). İspanya'da ise kimyasal ve şaşırtma tekniği ile mücadele yapılan 12 tarla popülasyonunun tamamında L1014F mutasyonu tespit edilmiştir (Bosch vd., 2018). Arjantin'de lamda-cyhalothrine karşı yüksek seviyelerde (>30 kat) direnç geliştirmiş 10 farklı tarla popülasyonunda L1014F mutasyonları tespit edilip kdr mutasyonunun sıklığı 0.063 ile 0.61 arasında olduğu belirlenmiştir (Soleno vd., 2020). Şili'de yapılan bir çalışmada Molina bölgesinden toplanan popülasyonun %3'ünde kdr nokta mutasyonu belirlenmiştir (Reyes vd., 2015). İspanya Catalonya bölgesinden toplanan 12 popülasyonda L1014F kdr nokta mutasyonu belirlenmiştir (Dolors vd., 2011). Piretroit insektisitlerin yoğun kullanıldığı Güney Fransa ve Ermenistan ülkelerinde kdr mutasyonu belirlenmiştir (Franck vd., 2007). İspanya'daki Catalonya, bölgesinde meyve bahçelerinden toplanan 12 popülasyonun tamamında kdr direnci tespit edilmiştir (Bosch vd., 2018). Yeni Zelanda, Bulgaristan, Fransa, ABD, Arjantin, Şili, Uruguay ülkelerinde 10 popülasyonda kdr mutasyonu belirlenmiştir (Reyes vd., 2009). Ermenistan, Arjantin, Fransa, Yeni Zelanda, Türkiye, ABD, Bulgaristan, Uruguay, İsviçre ve Güney Fransa ülkelerinde 21 popülasyonun tamamında kdr mutasyonu belirlenmiştir (Franck vd., 2012).

4. Sonuç

Dünya çapındaki araştırmacılar 1920'lerden günümüze kadar *C. pomonella*'nın insektisit direncini ve direnç mekanizmaları üzerine çalışmalar yapmaktadır. Dünya çapında, *C. pomonella*'ya karşı yoğun insektisit kullanımı sebebiyle bugüne kadar yapılan çalışmalarda zararlının hemen hemen tüm insektisit sınıflarına karşı direnç geliştirdiği belirlenmiştir. *C. pomonella*'ya karşı başarılı bir entegre direnç yönetimi geliştirmek için direncin izlenmesi, farklı etki mekanizmalı insektisitlerin

rotasyonu, *Bacillus thuringiensis kurstaki*, *C. pomonella* granul virüsü, bakteri kökenli yeni nesil biyolojik insektisitlerin (spinosad, spinetoram) kullanımı, şaşırtma tekniği, kısır böcek salım tekniği ve parazitoit salımı gibi çevre dostu yöntemlerin bir arada kullanılarak insektisit uygulamalarının azaltılması gerekmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

5. Kaynaklar

- Alford, D. V. (1984). *A Color Atlas of Fruit Pests Their Recognition, Biology, and Control*. USA, Wolfe.
- Anonim (2023a). Elma İçkurdu'na Ruhsatlı İnsektisitler. <https://bku.tarim.gov.tr/Zararli/Details/146> (Son erişim tarihi: 5 Ocak 2023)
- Anonim (2023b). Arthropod Pesticide Resistance Database. <https://www.pesticideresistance.org> (Son erişim tarihi: 5 Ocak 2023)
- Balasko, M. K., Mikac, K. M., Lemic, D., & Zivkovic, I. P. (2020). Pest management challenges and control practices in codling moth. *Insects*, 11(38), 1-22. <https://doi.org/10.3390/insects11010038>
- Bass, C., Denholm, I., Williamson, M. S., & Nauen, R., (2015). The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 121, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.04.004>
- Bosch, D., Rodríguez, M. A., & Avilla, J. (2018). Monitoring resistance of *Cydia pomonella* (L.) Spanish field populations to new chemical insecticides and the mechanisms involved. *Pest Management Science*, 74(4), 933-943. <https://doi.org/10.1002/arch.10052>
- Bouvier, J. C., Boivin, T., Beslay, D., & Sauphanor, B. (2002). Age-dependent response to insecticides and enzymatic variation in susceptible and resistant codling moth larvae. *Insect Biochemistry and Physiology*, 51, 55-66. <https://doi.org/10.1002/arch.10052>
- Brun-Barale, A., Bouvier, J. C., Pauron, D., Berge, J. B., & Sauphanor, B. (2005). Involvement of a sodium channel mutation in pyrethroid resistance in *Cydia pomonella* L., and development of a diagnostic test. *Pest Management Science*, 61(6), 549-554. <https://doi.org/10.1002/ps.1002>
- Bush, M. R., Abdel-All, Y. A., & Rock, G. C. (1993). Parathion resistance and esterase activity in codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from North Carolina. *Journal of Economic Entomology*, 86(3), 660-666. <https://doi.org/10.1093/jee/86.3.660>
- Calkins, C. O., & Faust, R. J. (2003). Overview of areawide programs and the program for suppression of codling moth in the western USA directed by the United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service. *Pest Management Science*, 59(6-7), 601-604. <https://doi.org/10.1002/ps.712>
- Cassanelli, S., Reyes, M., Rault, M., Manicardi, G. C., & Sauphanor, B. (2006). Acetylcholinesterase mutation in an insecticide-resistant population of the codling moth *Cydia pomonella* (L.). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. 36(8), 642-653. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2006.05.007>
- Cichon, L. B., Soleno, J., Anguiano, O. L., Garrido, S. A. S., & Montagna, C. M. (2013). Evaluation of cytochrome p450 activity in field populations of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: tortricidae) resistant to azinphosmethyl, acetamiprid, and thiacloprid. *Journal of Economic Entomology*, 106(2), 939-944. <https://doi.org/10.1603/EC12349>
- Cutright, C. R. (1954). A codling moth population resistant to DDT. *Journal of Economic Entomology*, 47(1), 189-190. <https://doi.org/10.1093/jee/47.1.189>
- Elliott, M. (1989). The pyrethroids: early discovery, recent advances and the future. *Pesticide Science*, 27(4), 337-351. <https://doi.org/10.1002/ps.2780270403>
- Feyereisen, R. (2012). Insect CYP genes and P450 enzymes. *Insect Molecular Biology and Biochemistry. Academic*, 236-316. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384747-8.10008-X>
- Franck, P., Reyes, M., Olivares, J., & Sauphanor, B. (2007). Genetic

- architecture in codling moth populations: comparison between microsatellite and insecticide resistance markers. *Molecular Ecology*, 16, 3554-3564. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03410.x>
- Fuentes-Contreras, E., Reyes, M., Barros, W., & Sauphanor, B. (2014). Evaluation of azinphos-methyl resistance and activity of detoxifying enzymes in codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) from Central Chile. *Journal of Economic Entomology*, 100(2), 551-556. <https://doi.org/10.1093/jee/100.2.551>
- Glass, E. H., & Fiori, B. (1955). Codling moth resistance to DDT in New York. *Journal of Economic Entomology*, 48(5), 598-599. <https://doi.org/10.1093/jee/48.5.598>
- Hamilton, D. W. (1956). Resistance of the codling moth to DDT sprays. *Journal of Economic Entomology*, 49(6), 866-867. <https://doi.org/10.1093/jee/49.6.866>
- Higbee, B. S., Calkins, C. O., & Temple, C. A. (2001). Overwintering of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) larvae in apple harvest bins and subsequent moth emergence. *Journal of Economic Entomology*, 94, 1511-1517. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-94.6.1511>
- Hough, W. S. (1928). Relative resistance to arsenical poisoning of two codling moth strains. *Journal of Economic Entomology*, 21, 325-329. <https://doi.org/10.1093/jee/21.2.325>
- İren, Z. (1966). Bazı illerimizde elma içkürdü'na karşı mücadele, DDT'ye mukavemet konusu ve sevin'in meyve seyreltmesini tetkik bakımından yapılan çalışmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, 6(2), 49-66.
- İşçi, M., & Ay, R. (2017). Determination of resistance and resistance mechanisms to thiacloprid in *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) populations collected from apple orchards in Isparta Province, Turkey. *Crop Protection*, 91, 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.015>
- İşçi, M. (2014). *Isparta İlinde Elma Bahçelerinde Zararlı Olan Elma İçkürdü [Cydia Pomonella (L.) Lep.: Tortricidae]'nın Yaygın Olarak Kullanılan Bazı İnekstisitlere Karşı Duyarlılık Düzeylerinin Belirlenmesi*. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Jehle, J. A., Schulze-Bopp, S., Undorf-Spahn, K., & Fritsch, E. (2017). Evidence for a second type of resistance against *Cydia pomonella* granulovirus in field populations of codling moths. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(2). <https://doi.org/10.1128/AEM.02330-16>
- Ju, D., Mota Sanchez, D., Fuentes-Contreras, E., Zhang, Y. L., Wang, X. Q., & Yang, X. Q. (2021). Insecticide resistance in the *Cydia pomonella* (L): Global status, mechanisms, and research directions. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 178, 104925. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104925>
- Li, X. C., Schuler, M. A., & Berenbaum, M. R. (2007). Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. *Annual Review of Entomology*, 52, 231-253. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151104>
- Liu, J. Y., Yang, X. Q., & Zhang, Y. L. (2014). Characterization of a lambda-cyhalothrin metabolizing glutathione S-transferase CpGSTd1 from *Cydia pomonella* (L.). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(21), 8947-8962. <https://doi.org/10.1007/s00253-14-5786-4>
- Madsen, H. F., & Hoyt, S. C. (1958). Investigations with new insecticides for codling moth control. *Journal of Economic Entomology*, 51(4), 422-424. <https://doi.org/10.1093/jee/51.4.422>
- Mota-Sanchez, D., Wise, J. C., Poppen, R. V., Gut, L. J., & Hollingworth, R. W. (2008). Resistance of codling moth, *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), larvae in Michigan to insecticides with different modes of action and the impact on field residual activity. *Pest Management Science*, 6(9), 881-890. <https://doi.org/10.1002/ps.1576>
- Nardini, M., & Dijkstra, B. W. (1999). α/β hydrolase fold enzymes: the family keeps growing. *Current Opinion in Structural Biology*, 9(6), 732-737. [https://doi.org/10.1016/S0959-440X\(99\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S0959-440X(99)00037-8)
- Parra-Morales, L. B., Alzogaray, R., Brio, J., Cichón, L., Garrido, S. A., Hervé, F. D., & Montagna, M. (2019). Acetamiprid induced response of biotransformation and antioxidant parameters in the codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *International Journal of Pest Management*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/09670874.2019.1698787>
- Pasquier, D., & Charmillot, P. J. (2004). Effectiveness of twelve insecticides applied topically to diapausing larvae of the codling moth, *Cydia pomonella* L. *Pest Management Science*, 60(3), 305-308. <https://doi.org/10.1002/ps.776>
- Reuveny, H., & Cohen, E. (2010). Resistance of the codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lep., Tortricidae) to pesticides in Israel. *Journal of Applied Entomology*, 128(9-10), 645-651. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2004.00901.x>
- Reyes, M., Franck, P., Charmillot, P. J., Ioriatti, C., Olivares, J., Pasqualini, E., & Sauphanor, B. (2007). Diversity of insecticide resistance mechanisms and spectrum in European populations of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Pest Management Sciences*, 63, 890-902. <https://doi.org/10.1002/ps.1421>
- Reyes, M., Franck, P., Olivares, J., Margaritopoulos, J., Knight, A., & Sauphanor, B. (2009). Worldwide variability of insecticide resistance mechanisms in the codling moth, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae). *Bulletin of Entomological Research*, 99(4), 359-369. <https://doi.org/10.1017/S0007485308006366>
- Reyes, M., Collange, B., Rault, M., Casanelli, S., & Sauphanor, B. (2011). Combined Detoxification Mechanisms and Target Mutation Fail to Confer a High Level of Resistance to Organophosphates in *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 99, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.09.004>
- Rodríguez, M. A., Bosch, D., Sauphanor, B., & Avilla, J. (2010). Susceptibility to organophosphate insecticides and activity of detoxifying enzymes in Spanish populations of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology*, 103(2), 482-491. <https://doi.org/10.1603/EC09249>
- Rodríguez, M. A., Marques, T., Bosch, D., & Avilla, J. (2011). "Assessment of insecticide resistance in eggs and neonate larvae of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae)". *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 100(2), 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.03.003>
- Rodríguez, M. A., Bosch, D., & Avilla, J. (2012). Azinphos-methyl and carbaryl resistance in adults of the codling moth (*Cydia pomonella* (L.)), Lepidoptera: Tortricidae) from Northeastern Spain. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 103(1), 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.03.002>
- Sauphanor, B., & Bouvier, J. C. (1995). Cross-Resistance between benzovlureas and benzoilhydrazines in the Codling Moth, *Cydia pomonella* L. *Pesticide Sciences*, 45, 369-375. <https://doi.org/10.1002/ps.2780450412>
- Sauphanor, B., Cuany, A., Bouvier, J. C., Brosse, V., Amichot, M., & Berge, J. B. (1997). Mechanism of resistance to deltamethrin in *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 58(2), 109-117. <https://doi.org/10.1006/pest.1997.2291>
- Sauphanor, B., Brosse, V., Bouvier, J. C., Speich, P., Micoud, A., & Martinet, C. (2000). Monitoring resistance to diflubenzuron and deltamethrin in French codling moth populations (*Cydia pomonella*). *Pest Management Sciences*, 56, 74-82. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1526-4998\(200001\)56:1<74::AID-PS96>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1526-4998(200001)56:1<74::AID-PS96>3.0.CO;2-C)
- Silva, A. P. B., Santos, J. M. M., & Martins, A. J. (2014). Mutations in the voltage-gated sodium channel gene of anophelines and their association with resistance to pyrethroids—a review. *Parasites and Vectors*, 7(1), 450. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-450>
- Soleno, J., Anguiano, L., D'Angelo, A. P., Cicho, L., Fernandez, D., & Montagna, C. (2008). Toxicological and biochemical response to azinphos-methyl in *Cydia pomonella* l. (Lepidoptera: Tortricidae) among orchards from the Argentinian Patagonia. *Pest Management Science*, 64, 964-970.
- Soleno, J., Parra-Morales, L., Cichón, L., Garrido, S., Guiñazú, N., & Montagna, C. (2020). Occurrence of pyrethroid resistance mutation in *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) throughout Argentina. *Bulletin of Entomological Research*, 110(2), 201-206. <https://doi.org/10.1017/S0007485319000439>
- Stara, J., & Kocourek, F. (2007). Insecticidal resistance and cross-resistance in populations of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in Central Europe. *Journal of Economic Entomology*, 100(5), 1587-1592. <https://doi.org/10.1093/jee/100.5.1587>
- Voudouris, C. C., Sauphanor, B., Franck, P., Reyes, M., Mamuris, Z., Tsitsipis, J. A., Vontas, J., & Margaritopoulos, J. T., (2011). Insecticide resistance status of the codling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) from Greece. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 100(3), 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.04.006>
- Wan, F. H., Yin, C. L., & Tang, R. (2019). A chromosome-level genome assembly of *Cydia pomonella* provides insights into chemical ecology and insecticide resistance. *Nature Communications*, 10(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12175-9>
- Wei, Z. H., Liu, M., Hu, C., & Yang, X. Q. (2020). Overexpression of

- glutathione S-transferase genes in field λ -cyhalothrin-resistant population of *Cydia pomonella*: reference gene selection and expression analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(21), 5825-5834. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01367>
- Weill, M., Lutfalla, G., Mogensen, K., Chandre, F., Berthomieu, A., Berticat, C., Pasteur, N., Philips, A., Fort, P., & Raymond, M. (2003). Comparative genomics: insecticide resistance in mosquito vectors. *Nature*, 423(6936), 136. <https://doi.org/10.1038/423136b>
- Wheelock, C. E., Shan, G., & Ottea, J. (2005). Overview of carboxylesterases and their role in the metabolism of insecticides. *Journal of Pesticide Science*, 30(2), 75-83. <https://doi.org/10.1584/jpestics.30.75>
- Yang, X. Q., & Zhang, Y. L. (2015). Investigation of insecticide-resistance status of *Cydia pomonella* in Chinese populations. *Bulletin of Entomological Research*, 105, 316-325. <https://doi.org/10.1017/S0007485315000115>