

Biberlerde Türler Arası Melezleme

Kazım Mavi^{1*} 

ÖZET

Türler arası melezleme doğada yeni türlerin ortaya çıkmasında sıklıkla rastlanılan bir durumdur. *Helianthus*, *Triticum*, *Brassica* gibi cinsler içerisindeki türlerde sıklıkla görülen melezlemeler sonucunda doğal olarak kromozom sayıları da katlanmış olan melez türler ortaya çıkmıştır. Diğer birçok tür açısından ise doğada türler arası melezleme çok sık karşılaşılan bir durum değildir. Patlıcangiller familyasının bir üyesi olan biberlerde doğal ortamda türler arası melezleme rastlanılan bir durum olmamakla birlikte, türler arası melezlerin üstün özelliklerinden faydalanabilmek amacıyla ıslahçılar tarafından türler arası melezleme çalışmaları yapılmaktadır. Özellikle kök çürüklüğü hastalığı başta olmak üzere, verim artışı sağlamak, biyotik ve abiyotik stres faktörlerine dayanımı arttırmak, anaç olarak kullanılacak çeşitler geliştirmek ve çeşitlerin sağlık açısından kalitesini arttırmak için türler arası melezlemelerden elde edilecek bilgi ve veriler çok önemlidir. Ülkemizde biberde türler arası melezleme konusunda çalışmalar ise yok denecek kadar azdır. Bu sebeple bu derleme ile biberde türler arası melezleme konusunda yapılan çalışmalar ışığında konunun önemine dikkat çekilmesi hedeflenmiştir.

MAKALE GEÇMİŞİ

Geliş 17 Nisan 2020
Kabul 22 Mayıs 2020

ANAHTAR KELİMELER

Biber ıslahı,
Capsicum spp.,
türler arası melezleme

Interspecific Hybridization in Pepper Species

ABSTRACT

Interspecific hybridization is a common situation in the emergence of new species in natural flora. As a result of crosses frequently seen in species in the genus such as *Helianthus*, *Triticum*, *Brassica*, hybrid species, whose chromosome numbers are also doubled, naturally emerged. In terms of many other species, interspecific hybridization is not very common in crossing of nature flora. In pepper, which is a member of the Solanaceae family, interspecific hybridization studies are carried out by breeders to benefit from the superior properties of interspecific crosses. The information and data to be obtained from interspecific crosses are very important to increase yield, increase resistance to abiotic and biotic stress factors, to develop varieties that can be used as rootstocks and to improve the quality of the cultivars, especially root rot disease. In our country, studies on interspecific hybridization in pepper are almost nonexistent. For this reason, with this review, it is aimed to draw attention to the importance of the subject in the light of previous studies on interspecific hybridization in pepper.

ARTICLE HISTORY

Received
17 April 2020
Accepted
22 May 2020

KEY WORDS

Pepper breeding,
Capsicum spp.,
interspecific
hybridization

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Hatay, Türkiye

* Sorumlu yazar: kazimmavi@hotmail.com

Giriş

Türler arası melezleme, biyotik ve abiyotik strese dayanım gibi belirli özellikleri yabani akrabalarından kültür bitkilerine aktararak özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. Uygulanabilir olduğunda, bu yaklaşım çok etkili bir gen transfer yöntemidir. Doğada, çiçekli bitki türlerinin % 30 ila % 35'i türler arası melezleme ve ardından kromozom sayılarının ikiye katlanması ile meydana gelmişlerdir [1]. Türler arası melezlemeden yola çıkılarak, allotetraploitler gibi allopoliploitler, F₁ hibritlerin kromozom sayısının iki katına çıkarılmasında da kullanılabilir. Başarılı bir allopoliploit eldesi, yeni bir genom kombinasyonunun oluşması veya daha önce var olmayan bir türün meydana gelmesi ile sonuçlanabilir. Ancak, kültür türlerini ve yabani türleri mezlemek için çok büyük çaba gösterilmesi gerekebilir. İnsan eli ile yapılan ilk türler arası melezlemenin 1717'de karanfil (*Dianthus caryophyllus* L.) ve *Dianthus barbatus* L. arasında yapıldığı bildirilmektedir [2]. O zamandan beri binlerce türler arası melezleme denemesine rağmen başarı oldukça sınırlı kalmıştır. Başarılı bir türler arası melezlemeyi, türler arasındaki kromozomal, genetik, sitoplazmik veya mekanik izolasyon bariyerleri engelleyebilmektedir. Bitki ıslahçılarının, buğday (*Triticum aestivus* L.) ve çavdar (*Secale cereale* L.) türlerinin melezlemesinden, yeni bir bitki türü olan tritikale'yi ıslah etmesi yaklaşık 100 yıl sürmüştür [3]. Türler arası melezleme, yararları ve başarıdaki zorlukları ile genetikçiler ve bitki ıslahçıları için önemli bir amaç haline gelmiştir.

Solanaceae familyasındaki türler arası melezlemeler *Solanum* [4], *Nicotiana* [5], *Datura* [6], *Petunia* [7], *Lycium* [8] ve *Physalis* [9] gibi bazı cinslerde çalışılmıştır. *Nicotiana* cinsi içerisinde *Nicotiana tabacum* (2n=48) ve *Nicotiana glauca* (2n=24) türlerinin melezlenmesinden amphidiploid (2n=36) F₁ bireyler elde edilmiştir [10]. Bununla birlikte, Solanaceae familyasında *Solanum* cinsinde türler arası melezleme, bazı türler açısından başarıyla kullanılmıştır [11]. Ancak bu cins içerisindeki tüm türlerde türler arası melezlemede başarıyı yakalamak mümkün olmamıştır.

Günümüzde kültürü yapılan biberler Solanaceae familyasının 98 cinsinden [12] birisi olan *Capsicum* cinsi içerisinde yer almaktadır. *Capsicum* cinsi içerisinde 38 olan tür sayısı [12, 13], yeni keşfedilen 5 türlerle [14, 15] birlikte 43 olarak revize edilmiştir (Tablo 1). Bu türlerden *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. baccatum* L., *C. chinense* Jacq. ve *C. pubescens* Ruiz & Pav. olmak üzere 5 tanesinin kültürü yapılmaktadır. *Capsicum* cinsi içerisindeki türlerin kromozom sayıları 2n=24 ve 2n=26 olarak değiştiği

belirlenmiştir. Henüz kromozom sayıları belirlenmemiş 13 adet *Capsicum* türü bulunmaktadır (Tablo 1). *Capsicum annuum* türü içerisinde genetik varyasyon her ne kadar geniş olsa da, kök çürüklüğü (*Phytophthora capsici*) ve antraknoz (*Colletotrichum acutatum*, *C. capsici* vb) gibi hastalıklar başta olmak üzere bazı durumlarda bu geniş varyasyon yetersiz kalmaktadır. Biber türlerindeki geniş çeşitlilik ise, biyotik ve abiyotik stres koşullarına dayanımlarındaki farklılıklar nedeniyle ıslahçıların her zaman ilgi alanları içerisinde olmuştur. Bu nedenle türler arası melezlemeler önem kazanmakta ve ıslahçılar tarafından sorunların çözümüne yönelik olarak kullanılmaktadır. Türler arası melezleme bir türü ait dişi organın başka bir türün çiçek tozu ile tozlanıp döllenmesi işlemidir (Şekil 1).



Şekil 1 Melezleme aşamaları; A emaskulasyon için uygun balon çiçek şekli, B emaskulasyon sonrası, C farklı bir tür ile tozlama, D tozlama sonrası çiçek izolasyonu, E döllenme ve etiketleme (Orijinal Kazım MAVİ 2020)

Biberlerde bilinen ilk türler arası melezleme çalışması 1912'de Halstead tarafından *Capsicum annuum* ve *C. frutescens* türleri arasında yapılmıştır [16]. Tarihsel olarak, biberlerde türler arası melezlemede çeşitli yaklaşımlar (geleneksel ve biyoteknolojik) farklı türler arasındaki tozlanma ve döllenme engellerinin üstesinden gelmek için kullanılmıştır.

Tablo 1 *Capsicum* cinsi içerisindeki türler, kültür durumları, kromozom sayıları, yayılma alanları

****	Tür	*	KS**	Yayılma alanı***	Kaynak
1a	<i>C. annuum</i> var. <i>annuum</i>	K	12	Tüm dünya	[12]
1b	<i>C. annuum</i> var. <i>glabriusculum</i>	YK	12	Amerika Birleşik Devletlerinden Kuzey/Kuzeydoğu Brezilya	[13]
2a	<i>C. baccatum</i> var. <i>baccatum</i>	K	12	Kolombiya-Kuzey Arjantin, Güney-Doğu Brezilya	[13]
2b	<i>C. baccatum</i> var. <i>pendulum</i>	K	12	ABD, Orta ve Güney Amerika ve Hindistan	[13]
2c	<i>C. baccatum</i> var. <i>praetermissum</i>	YK	12	Paraguay, Güneydoğu ve Merkez Brezilya	[13]
3	<i>C. benoistii</i>	Y	?	Ekvator (endemik)	[14]
4	<i>C. buforum</i>	Y	13	Brezilya: SP ve RJ	[12]
5	<i>C. caatingae</i>	Y	12	Brezilya: BA, PE, ve Kuzey MG (endemik)	[13]
6	<i>C. caballeroi</i>	Y	?	Bolivya (endemik)	[12]
7	<i>C. campylopodium</i>	Y	13	Brezilya: ES, MG, ve RJ (endemik)	[12]
8	<i>C. carrasense</i>	Y	?	Güneydoğu Brezilya (endemik)	[15]
9	<i>C. cardenasii</i>	Y	12	Bolivya (endemik)	[12]
10	<i>C. ceratocalyx</i>	Y	?	Bolivya (endemik)	[12]
11	<i>C. chacoense</i>	Y	12	Güney Bolivya, Paraguay, Kuzey ve Orta Arjantin	[12]
12	<i>C. chinense</i>	K/YK	12	EUA, Orta ve Güney Amerika, Çin ve Japonya	[12]
13	<i>C. coccineum</i>	Y	?	Peru ve Bolivya	[12]
14	<i>C. cornutum</i>	Y	13	Brezilya: RJ and SP (endemik)	[12]
15	<i>C. dimorphum</i>	Y	?	Kolombiya ve Ekvator	[12]
16	<i>C. dusenii</i>	Y	?	Güneydoğu Brezilya	[12]
17	<i>C. eshbaughii</i>	Y	12	Güney-Merkez Bolivya	[12]
18	<i>C. eximium</i>	Y	12	Güney Bolivya ve Kuzey Arjantin	[12]
19	<i>C. flexuosum</i>	Y	12	Paraguay, Güney ve Güneydoğu Brezilya ve Kuzeydoğu Arjantin	[12]
20	<i>C. friburgense</i>	Y	13	Brezilya: RJ (endemik)	[12]
21	<i>C. frutescens</i>	K	12	Amerika, Afrika, Asya	[12]
22	<i>C. galapagoense</i>	Y	12	Galapagos Adaları (endemik)	[12]
23	<i>C. geminifolium</i>	Y	?	Kolombiya, Ekvator ve Peru	[12]
24	<i>C. hookerianum</i>	Y	?	Güney Ekvator ve Kuzey Peru (endemik)	[12]
25	<i>C. hunzikerianum</i>	Y	13	Brezilya: SP (endemik)	[12]
26	<i>C. lanceolatum</i>	Y	13	Meksika ve Guatemala	[12]
27	<i>C. leptopodium</i>	Y	?	Brezilya	[12]
28	<i>C. longidentatum</i>	Y	12	Brezilya: BA and PE (endemik)	[13]
29	<i>C. longifolium</i>	Y	13	Andean	[14]
30	<i>C. lycianthoides</i>	Y	13	Andean	[17]
31	<i>C. minutiflorum</i>	Y	?	Bolivya	[17]
32	<i>C. mirabile</i>	Y	13	Brezilya: MG, RJ, and SP (endemik)	[12]
33	<i>C. neei</i>	Y	?	Bolivya (Endemik)	[14]

Tablo 1. Devamı

	Tür	*	KS**	Yayılma alanı***	Kaynak
34	<i>C. parvifolium</i>	Y	12	Kolombiya, Venezuela ve Kuzeydoğu Brezilya	[12]
35	<i>C. pereirae</i>	Y	13	Brezilya: ES, RJ, and SP (endemik)	[12]
36	<i>C. piuranum</i>	Y	13	Peru	[14]
37	<i>C. pubescens</i>	K	12	Meksika, Orta ve Güney Amerika	[12]
38	<i>C. recurvatum</i>	Y	13	Brezilya: RJ, SP, PR, and SC (endemik)	[12]
39	<i>C. rhomboideum</i>	Y	13	Brezilya: MG, RJ, and SP (endemik)	[12]
40	<i>C. schottianum</i>	Y	13	Brezilya: MG, RJ, and SP (endemik)	[12]
41	<i>C. scolnikianum</i>	Y	?	Peru ve Ekvator (endemik)	[12]
42	<i>C. tovarii</i>	Y	12	Peru (endemik)	[12]
43a	<i>C. villosum</i> var. <i>villosum</i>	Y	13	Brezilya: MG, RJ ve SP (endemik)	[13]
43b	<i>C. villosum</i> var. <i>muticatum</i>	Y	13	Güneydoğu Brezilya	[13]

* K Kültür, Y Yabani, YK Yarı kültür

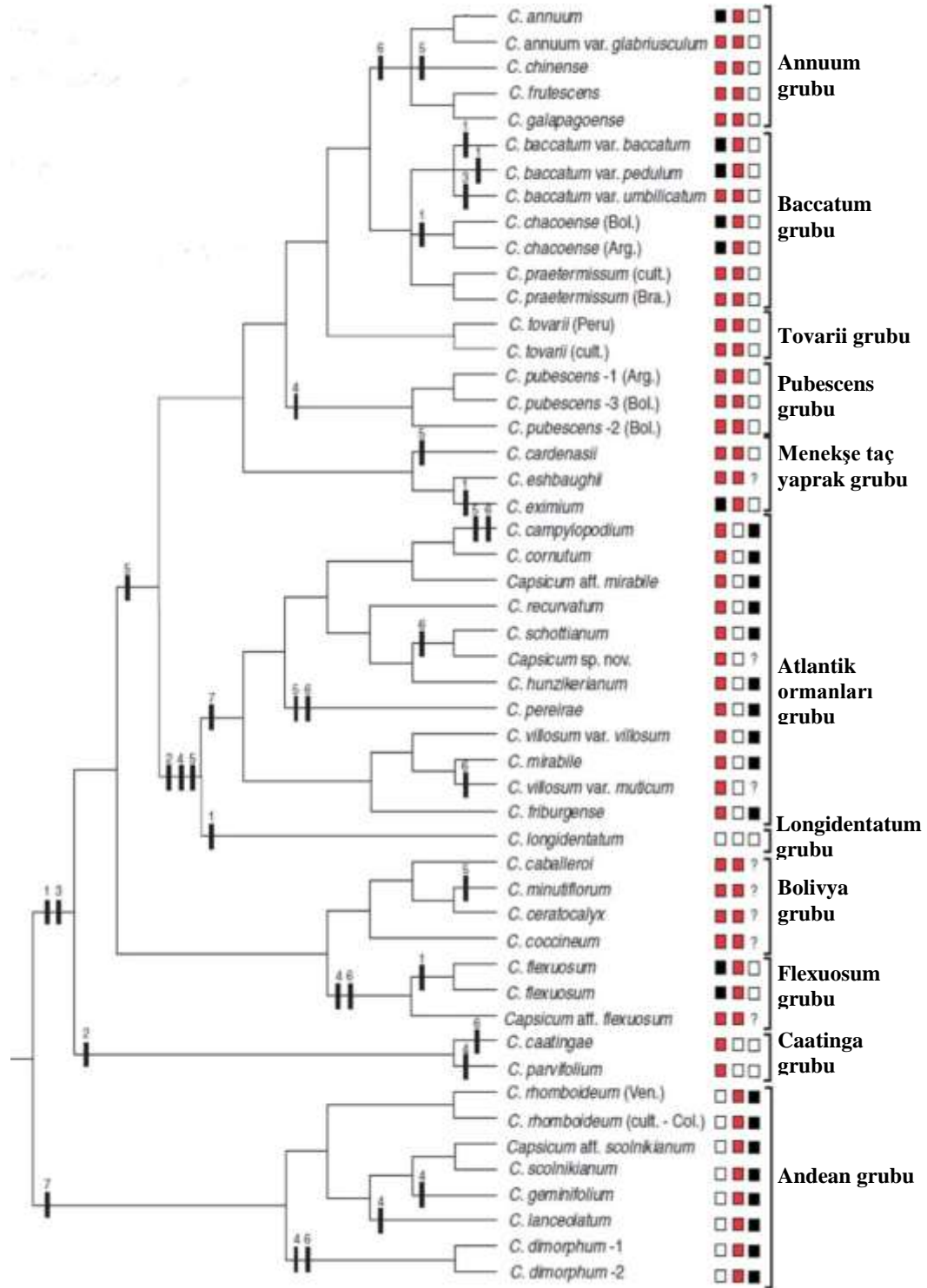
** KS Kromozom sayısı, ? kromozom sayısı belli olmayan türler

***RJ Rio de Janeiro, SP São Paulo, MG Minas Gerais, ES Espirito Santo, BA Bahia, PE Pernambuco

**** Sıra numaralarından sonraki harfler o tür içerisindeki alt türleri ifade etmektedir.

Sistematik ve Türler arası Melezlemedeki Gelişmeler

İlk başarılı türler arası melezler *Capsicum pubescens* ve *C. cardenasii* türlerinin melezlenmesinden elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen F₁ hibritlerin yüksek fertiliteye sahip oldukları belirlenmiştir [18]. Yakın zamanda yapılan çalışmalarda türler arası melezleme yetenekleri açısından cinsin türleri üç farklı grup olarak ayrılmışlardır. Bunlardan birincisi *C. annuum* L. [var. *annuum* ve *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill], *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. chacoense* Hunz. ve *C. galapagoense* Hunz. türlerini içeren *C. annuum* grubu [19], ikincisi *C. baccatum* L. [var. *baccatum*, *praetermissum* ve *pendulum* (Willd.) Eshbaugh], ve *C. tovarii* Eshbaugh, Smith & Nickerent türlerini içeren *C. baccatum* grubu [20], üçüncüsü *C. cardenasii* Heiser & Smith, *C. eximium* Hunz. ve *C. pubescens* Ruiz & Pav. türlerini içeren *C. pubescens* grubudur [21]. Son yıllardaki çalışmalarda ise moleküler teknikler (Plastit DNA markörleri matK ve psbA-trnH) ile türlerin akrabalıkları belirlenmiş ve cins içerisindeki türler 11 farklı grup olarak sınıflandırılmışlardır (Şekil 2) [13].

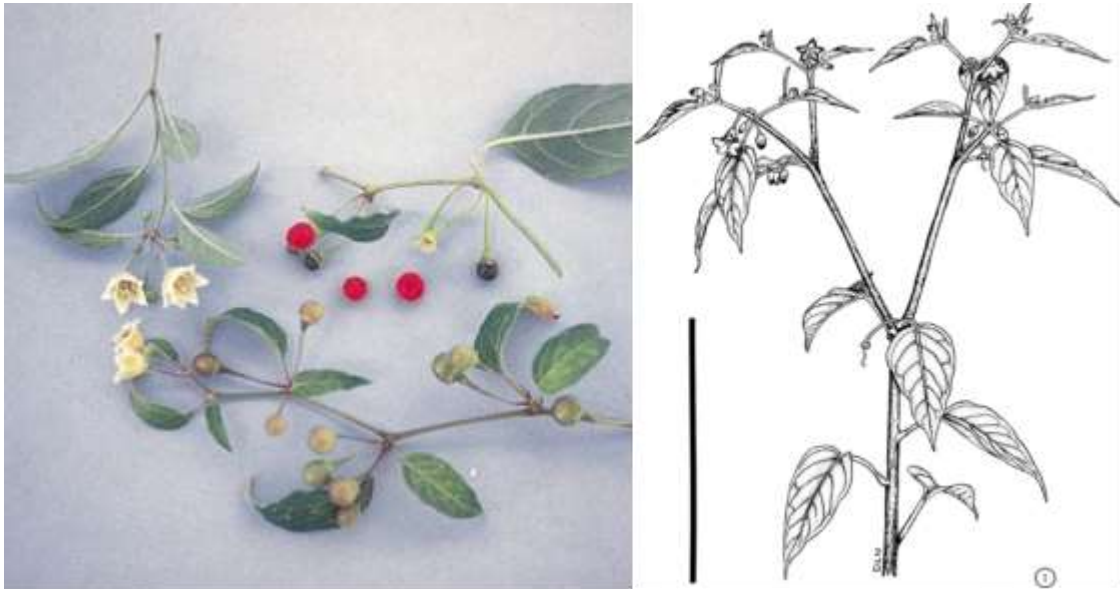


Şekil 2 Biber türlerinin filogenetik akrabalıkları; Birinci sütun acılık □ yok, ■ var, ■ değişken, ikinci sütun olgun meyve rengi □ altın sarısı, ■ kırmızı, üçüncü sütun kromozom sayısını (n) □ 12, ■ 13 [13]

Kültür türlerinin ve çeşitlerinin geliştirilmesi ve ıslahı, türler arası melezleme çalışmalarında yabani türlerin başarılı bir şekilde kullanılması ile çok yakından ilişkilidir.

Capsicum cinsi içerisinde türler arası filogenetik akrabalıkları anlayabilmek için, türler arasında morfolojik karşılaştırmalar [22], polen tüpü gelişimi [23], uyuşmazlık mekanizması [19], mezlelenebilme [24], kromozom eşleştirmesi [25], izoenzim değişkenliği [26] ve DNA varyasyonu [27] üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Her bir çalışmada türlerin grup sayıları değişmekle birlikte, farklı çalışmalardan elde edilen temel filogenetik ağaçlar benzer bulunmuştur. Örneğin, *Capsicum annuum* ve diğer kültür türleri birbirine daha yakın bulunurlarken, *C. longidentatum* tek başına ayrı bir grup oluşturmuş ve diğer yabani türler kültür türlerinden farklı gruplarda yer almışlardır. *C. dimorphum* ve içerisinde yer aldığı grup cins içerisindeki en uzak akrabalığa sahip grup olmuştur (Şekil 2).

Capsicum tovarii, Eshbaugh ve ark. tarafından 1983 [28] yılında Peru'nun Mantaro nehri kıyılarında bulunmuş ve tanımlanmıştır (Şekil 3). Yapılan çalışmalar, *C. tovarii*'nin, *C. baccatum* grubuna, *C. annuum* ve *C. pubescens* grubuna kıyasla, genetik olarak daha yakın ilişkili olduğunu göstermektedir. Araştırmacılar bu kanıya geniş bir türle (*C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. chacoense*, *C. galapogense*, *C. baccatum*, *C. praetermissum*, *C. cardenasii*, *C. eximium* and *C. pubescens*) yaptıkları resiprokal melezlemeler sonucunda, *C. baccatum* × *C. tovarii*'nin melezlemesinden F₁, F₂ ve geriye melezlerin (backcross) elde edilmesi sonucunda varmışlardır [20]. Bununla birlikte Ibiza ve ark. [29] ve Carrizo Garcia ve ark. [13] yapmış oldukları gruplandırmalara göre türü *Baccatum* grubundan uzak ve farklı bir grupta sınıflandırmışlardır (Şekil 2).



Şekil 3 *Capsicum tovarii* morfolojik özellikleri [20, 28]

C. tovarii ve diğer *Capsicum* türleri arasında yapılan melezlemeler sonucunda elde edilen F₁ hibritler sitolojik olarak analiz edilmiş ve türün diğer türlerle olan genetik ilişkisi daha iyi anlaşılmasına çalışılmıştır. Sonuçta *C. tovarii* ve *C. baccatum*'un diakinez ve metafaz-I safhasındaki mayotik hücreleri analiz edildiğinde, hücrelerin % 100'ünde 12 çift kromozom olduğu, hiçbir kromozom köprüsü veya kromozom bozulmasının (lagging) bu türlerde gözlenmediği belirlenmiştir. Bu melezlemeden elde edilen F₁ (*C. baccatum* x *C. tovarii*) bitkilerinin diakinez ve metafaz-I safhalarındaki hücreleri incelendiğinde ise oldukça kompleks kromozom ilişkileri saptanmıştır. Çoğu kromozom iki değerlikli (bivalent) olarak eşlenirken, tek değerlikli (univalent), dört değerlikli (quadrivalent) ve bir tanede quinquevalent değerlikli eşleşme tespit edilmiştir. Bu duruma rağmen F₁'lerden bazılarının kendilenmesi ile F₂ bitkiler ve anne ile melezlenmesi ile geriye melez bitkilerde elde edilmiştir [20].

C. tovarii türündeki heterokromatin içeriği ve dağılımının bu türü mor çiçek türler grubu ile daha yakın akraba olabileceğini düşündürmüştür [21]. Moscone ve ark. [30] ise türün *C. baccatum* grubunun türlerine daha yakın olduğunu bildirmektedir. Çalışmalarda kullanılan her iki genotipin morfolojik olarak benzer olduğu bildirilmiştir. Dolayısıyla, heterokromatin içeriği ve dağılımında bulunan farklılıklar, *C. tovarii* içindeki genotiplerdeki doğal değişkenlik ile açıklanabilmektedir. İnce ve ark. [31] RAPD markörleri kullanarak yaptıkları moleküler çalışma ile *C. tovarii* türünün *C. baccatum*'a yakın olduğunu belirlemişlerdir. Scaldaferrro ve ark. [32] da yaptıkları çalışma ile *C. baccatum* kompleksine dahil edilmesini desteklemektedirler. Bu durumdan farklı olarak, Ibiza ve ark. [29], AFLP ve SSR primerleri kullanarak yaptıkları analizde *C. tovarii*'nin Annum grubuna biraz daha yakın görünse de, farklı bir grupta sınıflandığını göstermişlerdir. Bu durumun araştırmacıların farklı genotip kullanmalarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Kromozom sayısı 2n=26 olan biber türlerinde ise henüz fertil bireylere sahip türler arası melez kombinasyonuna yapılan çalışmalarda rastlanmamıştır. Bu amaçla yabani türler olan *C. lanceolatum* (2n=26) ve *C. buforum* (2n=26) üzerinde çalışılmıştır. Tong ve Bosland [33] *C. buforum* türünü 2n=24 kromozomlu olarak bildirmesine rağmen, bunu doğrulayan başka çalışma bulunmamaktadır. *C. buforum*, *C. cardenasii* ile birlikte kendine uyumsuz olarak bildirilen bir türdür. Bu tür *C. pubescens*, *C. cardenasii* ve *C. eximium* ile diğer *Capsicum* türlerinden daha yakından ilişkili bulunmuş ve farklı

uyumluluk düzeyleri göstermiştir [34]. Bu çalışmalar türler arası melezlemeler için kullanılacak tür kombinasyonlarına alt yapı oluşturmaktadır.

Türler Arası Melezlemelerde Sorunlar ve Çözüm Önerileri

Melezleme bariyerleri

Birçok çalışma, *Capsicum*'da türler arası melezlemeye karşı güçlü bir bariyer bulunduğunu göstermiştir. Kültürü yapılan *Capsicum* türleri ile bunların yabancı akrabaları arasındaki çaprazlamalardaki uyumsuzluğun nedenleri tam olarak anlaşılammıştır. Uyuşmazlık, polen gelişiminin gecikmesi, polenlerin dişicik tepesinde çimlenememesi, stigma içerisinde polen çim borusunun uzamasının duraklaması, polen tüpünün yumurtalıktan içeri girememesi, zigotun hücre bölünmesinin engellenmesi ve endosperm kısmında anormallikler oluşması şeklinde karakterize edilmektedir [19, 24, 35, 36].

Capsicum cinsi içerisindeki türler arasındaki melezleme bariyerlerinin üstesinden gelmek için bazı geleneksel yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu amaçla genetik köprü kullanımı [37], büyümeyi düzenleyiciler [38], polen ışınlaması [19] ve *in vitro* polen tüpü gelişim çalışmaları yapılmıştır [23]. Somatik hibridizasyon gibi biyoteknolojik tekniklerin de *Capsicum* cinsindeki türler arası bu engellerin üstesinden gelmek için kullanılabileceği önerilmiştir [39]. Ancak bu teknikler biber türlerindeki türler arası melezleme engellerinin tamamını ortadan kaldırmak için yeterli olmamaktadır. Örneğin *C. pubescens* türünün polen tüpünün dişicik borusu içerisinde büyümesini önleyen prezigotik bariyerler ve polen tüpü gelişse bile görülebilen postzigotik bariyerler nedeniyle, diğer dört kültür türü ile melezlenmesi mümkün olmamaktadır [23].

Capsicum baccatum türünde türler arası melezlemede üzerinde yoğun çalışılan türlerden biridir. Bu türde *C. annuum* ile başarısız melezleme sonuçları göstermiştir [40], ancak bu türün hastalıklara karşı önemli bir dayanıklılık kaynağı olması ıslah çalışmalarında genetik kaynak olarak sürekli kullanılmasına neden olmaktadır. *C. annuum* ile *C. baccatum* var. *pendulum* türlerinin melezlenmesindeki ısrarlı çalışmalar, sonunda elde edilen geriye melezlerden antraknoza dayanıklı çeşitler geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır [41].

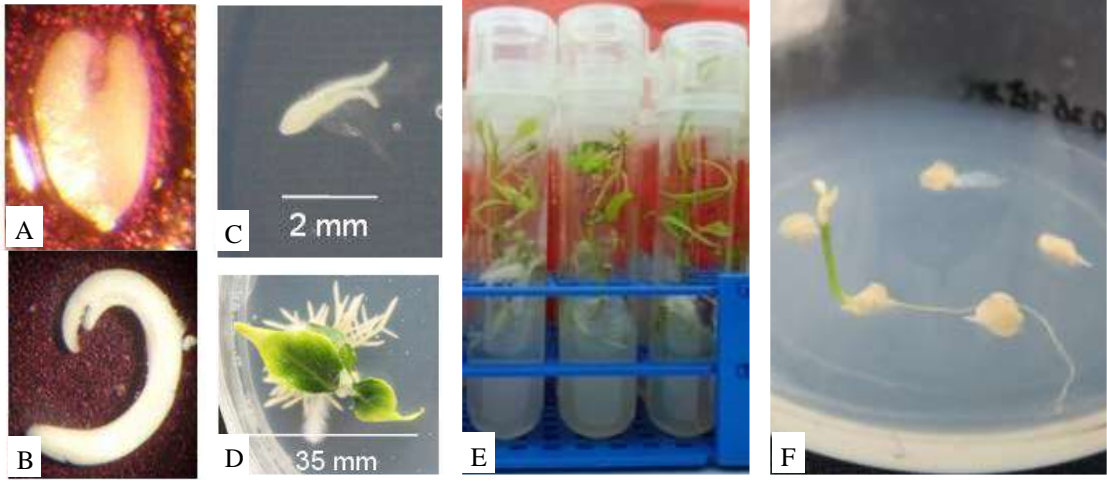
Zijlstra ve ark. [23], *C. chinense* × *C. annuum* ve *C. baccatum* × *C. annuum* türleri arasındaki melezlenme engelini polen tüpü uzama seviyesinin yumurta hücresine ulaşmamasından meydana geldiğini belirlemişlerdir. Aynı yazarlar ayrıca *C. chinense* ×

C. pubescens ve *C. baccatum* × *C. pubescens* arasındaki melezleme engellerinin ise çiçek borusu içerisinde polen tüpü büyümesinin durmasından kaynaklandığını bulmuşlardır. *C. chinense* ve *C. baccatum* türlerinin resiprokal olarak melezlendiği başka bir çalışmada ise tozlanmadan 24 saat sonra polen tüplerinin dışıçık borusu içerisinde gelişimini devam ettirdiği, yumurtalığa girebildiği ve ovüllere ulaşabildiği belirlenmiştir. Özellikle *C. baccatum* × *C. chinense* melezlemesinden çimlenme yüzdesi yüksek sağlıklı tohumlar ve bu tohumlardan da sağlıklı gelişen fideler elde etmişlerdir [42]. Bu nedenle biberlerdeki türler arası melezlenme sorunları sadece post zigotik olarak gerçeklemede, farklı türlerde farklı melezlenme engelleri görülebilmektedir.

Döllenme sonrası anormallikler ve embriyo kurtarma

Gelişmiş bitkilerde, hibrit embriyoların postzigotik başarısızlığı genellikle ebeveyn kromozomları arasındaki uyumsuzluğa değil, endospermdeki uyumsuzluk sorunlarına bağlı olduğu ifade edilmektedir. Bu gibi durumlarda, türler arası melezleme sonrasında gelişen meyvelerden erken dönemde embriyoların kurtarılması gerekir; aksi takdirde embriyonun gelişmemesi ve/veya endosperm dejenerasyonu nedeniyle çimlenme kabiliyetinde tohum elde edilememesi ile sonuçlanacaktır. Embriyolar bazen olgunlaşmamış veya endospermden yoksun olsalar bile yeni bitki üretiminde kullanılabilir. Doku kültürü ile entegre olarak kullanılan embriyo kurtarma tekniği, türler arası melezlemede daha fazla ilerlemeye imkân sağlayacak önemli bir tekniktir.

Capsicum cinsi içerisindeki türler arası melezlemelerde, postzigotik bazı uyumsuzluk bariyerlerinden dolayı elde edilen hibrit embriyoların bitkiye dönüşüm oranı çok düşük kalmaktadır [43]. Hossain ve ark. [43] tozlanmadan 28-33 gün sonra, temel MS ortamının kazein hidrolizat, maya özü, hindistan cevizi suyu, gibberellin (GA) ve naftalenasetik asit (NAA) ile takviye edildiğinde embriyoların doku kültürü ortamında başarılı bir şekilde geliştirilebildiğini saptamışlardır. Biber için bu tekniğe çok sınırlı dikkat edilmiştir, ancak türler arası hibridizasyon için son yıllarda yapılan çalışmalar ile önemli bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir [44, 45, 46, 47, 48]. Bu çalışmalar sonucunda bazı türler arası melezlerden embriyo kurtarma tekniği ile başarılı bir şekilde bitki elde edildiği bildirilmiştir (Şekil 4).

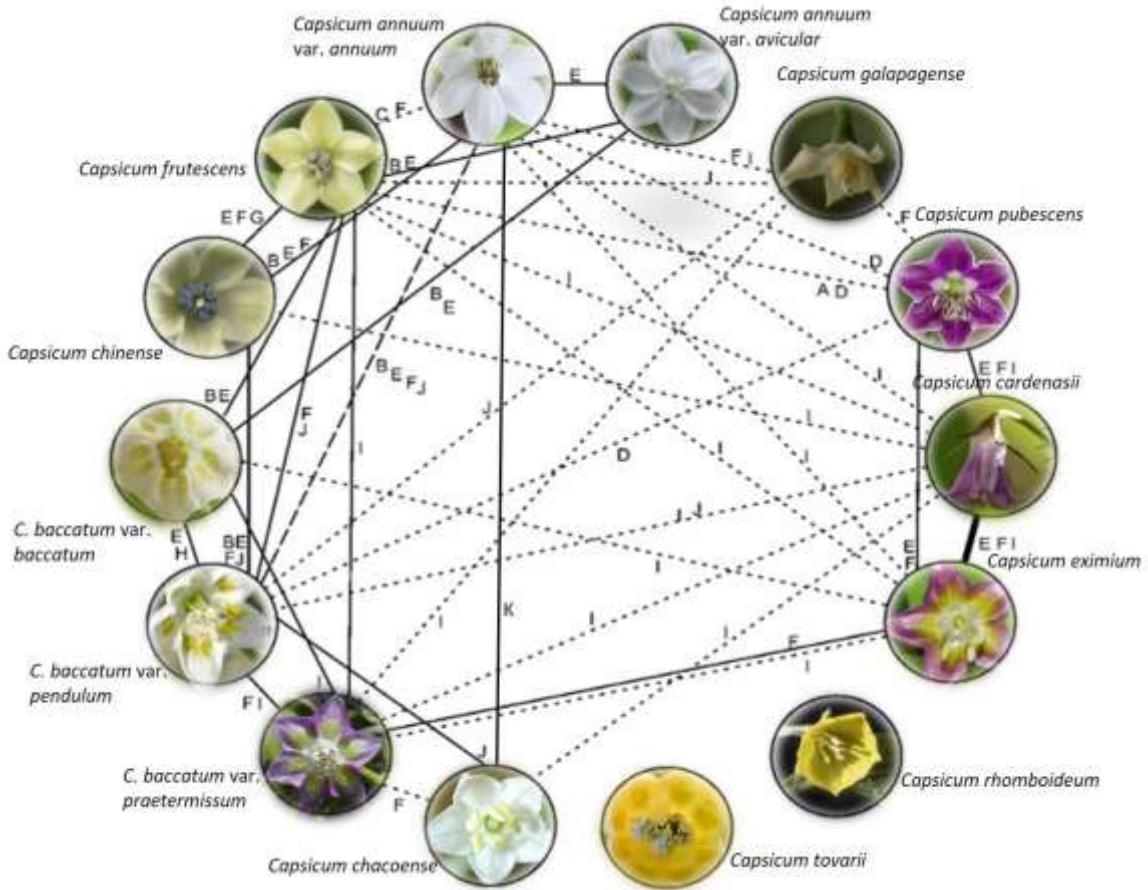


Şekil 4 A. B. Embriyo kurtarma tekniğinde kullanılabilen torpedo ve kotiledon tip embriyo örnekleri, C. Kotiledon tip embriyo (tozlanmadan 30 gün sonra doku kültürü ortamında), D. Tozlanmadan 60 gün sonra doku kültüründeki gelişim [49], E. *C. chinense* × *C. annuum* melezleri embriyo kurtarma tekniği ile bitki gelişimi [45], F. *C. annuum* × *C. chinense* melezleri embriyo kurtarma tozlanmadan 32-34 gün sonra [46]

Türler arası hibritlerde kısırlık (sterillik)

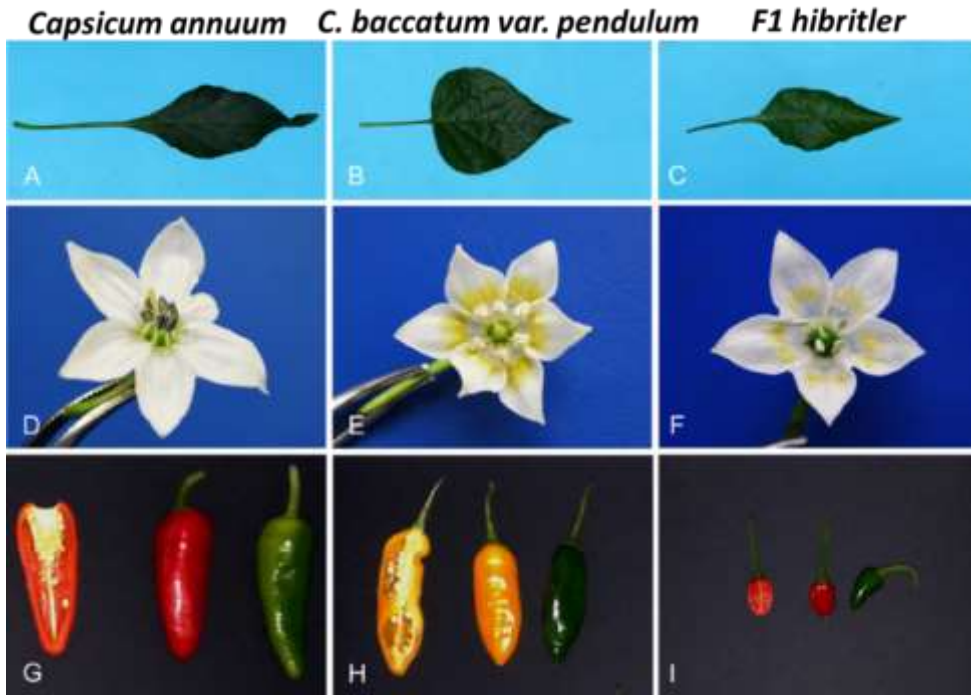
Biberde türler arası melezlemelerde yapılan çalışmalar incelendiğinde melezleme sonrasında elde edilen hibritlerin büyük çoğunluğunun kısırlık problemleri gösterdiği ifade edilmektedir. Çalışmalardaki kısırlık sorunlarının ise mayotik anormallikler ile ilişkili olduğu ve türler arası melezlemenin kullanılabilirliğini engellediği sonucuna varılmıştır. Türler arası mezlenebilme yeteneği, yabani türlerdeki istenilen özelliklerin kültür türlerine aktarılması için bir umut ışığı olarak görülmektedir. Ancak *Capsicum* cinsi içerisindeki türler arası melezlemede fertil birey elde edilme oranları bazı kombinasyonlarda çok düşük kalmış bazı kombinasyonlarda ise tamamen başarısız olmuştur. Bunun başlıca nedeni türler arasındaki uyumsuzluklar, tek taraflı uyumsuzluklar olarak gösterilmektedir ve döllenme sonrasında embriyonun gelişmemesi ve erkek kısır bireyler elde edilmesi ile sonuçlanmaktadır. Türler arası melezleme çalışmalarından derlenen mezlenebilirlik durumları şekil üzerinde özetlenmiştir (Şekil 5). Ayrıca iki tür genetik olarak birbirlerinden ne kadar uzaksa, melezleri o kadar fazla steril veya cansız olmaktadır. Monteiro ve ark. [50] altı farklı türe ait farklı genotipleri kullandığı çalışmalarında diğer türlere en uzak akraba olan *C. pubescens* türünün diğer türlerle melezlenmesinden meyve tutumu dahi elde edememiştir.

Maraş biberlerinde meyvenin saptan kolay kopması istenen bir özelliktir. Ancak ülkemizde geliştirilen çeşitlerde meyvenin saptan kopma durumu maraş biberlerinde çok kuvvetli ve istenmeyen bir özellik göstermektedir. Yapılan çalışmalar kolay kopma özelliğine sahip çeşit geliştirilmesi için sürmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalardan birinde türler arası melezleme ile saptan kopma direnci zayıf (0.199 N) olan *C. chacoense* türünün bir çeşidi kullanılarak, bu özelliğin *C. annuum* türünün çeşitleri (kopma dirençleri 3.86 ve 7.34 N arasında değişen) olan Maraş tipi biberlere aktarılması hedeflenmiştir. Dila, Sena, K7 ve K8 Maraş biberi genotiplerinin *C. chacoense* türü ile melezlemesinden başarılı şekilde F₁ bireyler elde edilmiştir. Bu bireylerin tamamının saptan kopma durumları 0.22 ile 0.26 N arasında değiştiği ve Maraş genotipleri ile kıyaslandığında oldukça düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 5) [51].



Şekil 5 *Capsicum* türleri arası melezleme çalışmalarında kullanılan bazı türler ve başarı durumları, — yüksek oranda fertil bireyler, — canlı hibritler ve tohumlar, - - - F₁ bireyler steril, - - - tamamen steril, aralarında çizgi olmayanlar ise tozlanma ve dölleme başarı elde edilemeyenler A - [52]; B - [53]; C - [54]; D - [55]; E - [56]; F - [25]; G - [57]; H - [58]; I - [59]; J - [60]; K - [51]

Ancak bu başarılı sonuçların yanında türler arası melezlemelerin kısır bireyler meydana getirdiği farklı çalışmalarda bildirilmiştir. Cremona ve ark. [48] *C. annuum* (cv. Friariello) türünü anne, *C. baccatum* var. *pendulum* (cv. P04) türünü baba olarak kullandıkları çalışmada F₁ bireyler elde etmişler ancak elde ettikleri F₁'lerin polen canlılıklarının çok düşük olduğunu ve bu bireylerin erkek kısır olduklarını bildirmişlerdir (Şekil 6). Çiçekteki lekeler ve hibritlerin bu kanı taşıyanlarında çiçeklerde leke küçülse de varlığı devam etmektedir. F₁ bireylerin partenokarpi eğilimli oldukları görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6 *Capsicum annuum* × *C. baccatum* var. *pendulum* türler arası melezlemesi sonucunda elde edilen hibritlerde yaprak (A, B, C), çiçek (D, E, F) ve meyvelerin (G, H, I) fenotipik görünüşleri [48]

Genel olarak, *C. frutescens* × *C. chinense* türleri arasındaki melezleme kombinasyonlarının mümkün olduğu ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Pickersgill [21] ve Zijlstra ve ark. [23], *C. frutescens* × *C. chinense* türlerinin aynı genetik kompleks (grup) içerisinde yer almaları nedeniyle çaprazlanmaları sonucunda verimli F₁ bireyler meydana getirebildiklerini bildirmişlerdir. Aynı türleri kromozom homolojisi açısından inceleyen Moreira ve ark. [61] da türler arası melezlemeden elde edilen hibritlerin normal mayoz bölünme gösterdiğini, bivalent 12 kromozom sayısına sahip olduklarını ve hibritlerden elde edilen tohumların canlılığının %73 olduğunu belirlemişlerdir. Diğer

açından farklı genetik komplekslere ait türler arasındaki çaprazlamalardan verimli türler arası melezler oluşturmak çok daha zordur (Şekil 5).

Moleküler Teknikler ile Türler Arası Melezlerin Tespiti

Sitogenetik ve moleküler analizler birçok türün akrabalık seviyelerini, evrim genetiğini ve karyotipik stabilitesini aydınlatmaya yardımcı olmaktadır. Türler arası melezlemeler de genetik haritalama popülasyonları oluşturmak, istenen lokusları etiketlemek, markör tabanlı linkage haritaları elde etmek için başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Tablo 2). Moleküler markörler ile melez bireylerin haritalanması konusundaki yapılan ilk çalışmada *C. annuum* × *C. chinense* türlerinin melezlerinin tanımlaması RFLP markörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir [62].

Tablo 2 Biber türler arası melezlerinde yapılan moleküler çalışmalar ve moleküler markör haritaları

Ebeveynler	Populasyon	Markör tipi	Markör Sayısı	Kaynak
<i>C. annuum</i> cv. Doux des landes × <i>C. chinense</i> cv. PI 159234	BC	RFLP, isozyme	85	[62]
<i>C. annuum</i> cv. NuMex RNaky × <i>C. chinense</i> cv. PI 159234	F ₂	RFLP	192	[63]
<i>C. annuum</i> cv. NuMex RNaky × <i>C. chinense</i> cv. PI 159234	F ₂	AFLP, RAPD, RFLP	1007	[64]
<i>C. annuum</i> cv. TF68 × <i>C. chinense</i> cv. Habanero	F ₂	AFLP, RFLP	580	[65]
<i>C. annuum</i> cv. Maor × <i>C. frutescens</i> cv. BG2816	BC ₂	RFLP	92	[66]
<i>C. annuum</i> cv. TF68 × <i>C. chinense</i> cv. Habanero	F ₂	SSR, RFLP	333	[67]
<i>C. annuum</i> cv. TF68 × <i>C. chinense</i> cv. Habanero	F ₂	SSR, EST-SSR, RFLP	243	[68]
<i>C. annuum</i> cv. NuMex RNaky × <i>C. frutescens</i> cv. BG 2814-6	F ₂	COS II	263	[69]
<i>C. annuum</i> cv. BA3 × <i>C. frutescens</i> cv. YNXML	F ₂	SSR	64	[70]
<i>C. annuum</i> cv. FL 201 × <i>C. galapagoense</i> cv. TC 07245	F ₂	SSR	400	[71]

Türler arası melezlerin ebeveynler ile akrabalıklarını belirlemek için yapılan moleküler tanımlamalar neticesinde türler arasındaki uyuma durumları ve F₁ bireylerdeki fertilitte durumları da ortaya konulabilmektedir. RAPD [64] tekniğinin yanı sıra, AFLP [65], RFLP [65, 66, 67, 68], COS II [69] ve SSR [67, 68, 70, 71] gibi moleküler markör teknikleri de türler arası melezlerin haritalanmasında başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

Türler Arası Melezlerin Diğer Kullanılma Potansiyelleri

Türler arası melezleme çalışmalarında türlerin biyotik ve abiyotik stres şartlarına dayanıklılıkları melezleme çalışmalarında en öncel hedeflerin başında gelmektedir. İkincil bazı özellikler açısından ise farklı biber türlerinde eşsiz bir genetik potansiyel bulunmaktadır. Özellikle acılık, aroma bileşikleri, renk ve bazı süs bitkisi olarak kullanılabilme özellikleri (Alacalı yaprak rengi, boğum arası kısalığı) açısından farklı türlerdeki özelliklerin diğer türlere aktarılabilmesi için türler arası melezleme çalışmalarının sürdürülmesi gerekmektedir.

Biberlerde olgun meyve rengi sarı, turuncu, kahverengi ve kırmızı tonlarında olabileceği bildirilmektedir. Stommel ve Griesbach [72] farklı biber özelliklerinin kalıtımını açıklayabilmek için yürüttükleri çalışmada olgun meyve rengi turuncu ve kırmızı olan ebeveynleri melezlemiştir. F₁, F₂ ve geriye melezlerin olgun meyve renklerinin turuncu ve kırmızı olduğunu bildirmişlerdir. *C. baccatum* türü genotipleri kullanılarak yapılan bir çalışmada ise sarı ve kırmızı olgun meyve rengine sahip ebeveynlerin melezlenmesi sonucu çok daha geniş bir renk yelpazesi (beyaz, sarı, açık sarı koyu sarı, turuncu, koyu turuncu ve kırmızı) gözlemlenmiştir (Şekil 7) [73].



Şekil 7 *Capsicum baccatum* var. *pendulum* türü içerisindeki olgun meyve renk ve şekil farklılıkları (Orijinal resim. Foto: Kazım Mavi 2020)

Bu daha geniş renk çeşitliliğinin Annuum kompleksi içerisindeki çeşitlere aktarılabilmesi için türler arası melezleme bir alternatif olabilir. Olgun meyve rengi, klorofil ve

antosiyenin pigmentlerindeki azalma ve karotenoid pigmentlerin birikmesi sonucunda oluşmaktadır. Olgun meyvelerdeki renk oluşumu üzerine 30'dan fazla farklı karotenoid birikimini etkileyen, çok sayıda gen etki etmektedir [74]. Baskın *B* geni olgun meyvelerde yüksek β -karoten içeriğini kontrol etmektedir. *B* geni ile etkileşime giren *t* geninin ise β -karoten seviyesindeki farklılıklara neden olmaktadır [75]. Kahverengi meyvelerin ise *y+* (kırmızı meyve rengi) geni ile *cl* (klorofil tutucu gen) geninin birleşmesi ile meydana geldiği belirlenmiştir [76]. Meyve şeklinin olgunlaşmamış meyve rengiyle ilişkili olarak ve olgun meyve renginden bağımsız olarak sonraki bireylere aktarıldığı belirlenmiştir [77].

Biberlerde yaprak renginin alacalılığı ve antosiyenin birikmesi çok sayıda gen tarafından kontrol edilmektedir. Süs biberlerinde alacalı yaprak rengi süs bitkisi olarak kullanılacak çeşitlerde istenen bir özelliktir. Alacalı yaprak rengine sahip çeşitler geliştirilmiştir. Bu çeşitlerde hastalık ve zararlılara dayanıklılık zayıf olabilmektedir. Bu nedenle farklı türler ile melezlenerek dayanıklılıkları artırılabilir. Biberlerde *pi* geninin, plastitlerde düzensizliğe neden olarak yapraklarda yeşil ve beyaz renklenmeye neden olduğu tespit edilmiştir [77]. *A* ve *MoA* genlerinin ekspresyonu, alacalı ve alacalı olmayan yeşil yapraklarda menekşe renkli beneklenmeler olmasına neden olmaktadır [77, 78, 79].

Biberlerde acılığın kalıtımı, üzerinde çok fazla çalışılan konuların başında gelmektedir. Tatlı ve acı çeşit ve türler bu amaçla melezlenmiş ve acılığın tatlılık üzerine baskın olduğu belirlenmiştir. Biberlerde ilk tatlı çeşidin acı biberlerden mutasyon yolu ile ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Bir başka deyişle yabani türlerin tamamının acı olduğu düşünülmüştür [80]. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda bazı yabani türlerinde tatlı genotiplere sahip olduğu bildirilmiştir. *C. longidentatum* türü ve Andean kompleksindeki türlerin tatlı biberlere sahip oldukları tespit edilmiştir (Şekil 2) [13]. Günümüzde ıslah edilen en acı çeşitler olan Bhut jolokia, Trinidad Moruga Scorpion gibi çeşitler (1.019.687 scoville acılık değeri üzerinde) *C. chinense* türüne ait çeşitlerdir [81]. Yapılan moleküler analiz sonucunda ilginç bir şekilde bu çeşidin genetik yapısında *C. frutescens* kanı olduğu belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak çeşidin doğal olarak oluşan bir türler arası melez olduğu ifade edilmiştir [82]. Bu durum *C. chinense* türünü kapsaisin içeriğini arttırmak için önemli bir genetik kaynak haline getirmektedir.

Kültürlere ve taleplere bağlı olarak acı ve tatlı çeşit tercihleri, acılık seviyesi tercihleri değişebilmektedir. Acılık stres koşullarına bağlı olarak bir miktar artış gösterebilmekte,

ancak tatlı bir çeşidin acı olması veya acı bir çeşidin tatlı olması söz konusu olmamaktadır. Özellikle daha önce de belirtildiği gibi acılık baskın bir karakter olması nedeniyle tatlı çeşitlerin eldesi için mutlaka iki tatlı çeşidin kullanılması gerekmektedir ki bu durumda bile elde edilecek varyasyonda acı bireylerin meydana gelmesi olasıdır. Türler arası melezlemeler acılık oranını arttırılması ve tatlı genotiplerin bir miktar acılaştırılması için kullanılabilceği gibi türlerin hastalık dayanımlarının aktarılması içinde kullanılabilir. Acılığın kalıtımının incelenmesi için yürütülen bir çalışmada *C. annuum* (cv. Takanotsume orta acı) ve *C. frutescens* (cv. Ac 1443 çok acı) türlerine ait çeşitler kullanılarak melez bireylerdeki acılık durumları belirlenmiştir. Melezlemeden elde edilen F₁ bireyler kendilenmiş ve elde edilen tüm F₂ bireylerin acılık değerleri belirlenmiştir. Elde edilen 22 adet F₂ bireyden 18 tanesi, anne olarak kullanılan *C. annuum* cv. Takanotsume çeşidinden daha acı olarak belirlenmiştir. F₂ bireylerden 9 tanesinin ise baba tür olan *C. frutescens*'ten de daha acı olduğunu tespit etmişlerdir [83]. Biberlerde türler arası melezleme kültür türleri arasında daha yoğun olarak çalışılmıştır. Yabani türlerin melezlenebilirlikleri konusunda hala çok fazla bilinmeyen konu bulunmaktadır. Bu derleme ile bazı konularda daha önce yapılan çalışmalar üzerinden bilgiler sunulmuştur. Özellikle birbirine yakın gruplardaki türlerin melezlenmesinde başarı şansı daha yüksektir. Amaç ve hedeflere yönelik olarak türler arası melezlemelerin bir programlama çerçevesinde yapılması gereklidir. Türlerdeki hastalık ve zararlılara dayanıklılık, abiyotik stres koşullarına dayanıklılık ve meyve kalitesine yönelik kullanılabilir türler belirlenmeli ve kültür türleri ile melezlenerek üstün özelliklerin istediğimiz türlere aktarılması için çalışmalar devam ettirilmelidir. Başarılı bir melezleme için çalışılan türlerle ilgili olarak türler arasındaki prezigotik ve postzigotik engellerinde ayrı ayrı incelenmesi ve ortaya konulması gereklidir. Sonuçta bu ilişkilerin araştırılmasıyla elde edilen yeni bilgiler, biberlerde kültür türleri ile yabani türler arasında melezlemede başarılı olmamızı sağlayabilecektir. Ayrıca ıslahçılar için varyasyon kaynağı olarak başarı sağlanan her türün ıslah programlarında yer almasının önü açılmış olacaktır.

Kaynaklar

1. Stebbins, G.L., Chromosomal evolution in higher plants. Addison-Wesley, London. 1971. p. 216.
2. Stalker, H.T., Utilization of wild species for crop improvement. Adv. Agron., 1980. 33: p.111–147.

3. Zillinsky, F.J., Triticale: An update on yield, adaptation, and world production, In: Triticale. R.A. Forsberg (Editor). Crop Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. No. 9. Amer. Soc. Agron., 1985. Madison, Wis. p. 1–7.
4. Pandey, K.K., Interspecific incompatibility in *Solanum* species. American Journal of Botany, 1962. 49(8): p.874-882.
5. Lammerts, W.E. Interspecific hybridization in *Nicotiana*. XII. The amphidiploid *rustica-paniculata* hybrid; its origin and cyto-genetic behavior. Genetics, 1930. 16: p.191-211.
6. Schieder, O., Somatic Hybrids of *Datura innoxia* Mill. + *Datura discolor* Bernh. and of *Datura innoxia* Mill. + *Datura stramonium* L. var. *tatula* L. II. Analysis of progenies of three sexual generations. Molec. Gen. Genet., 1980. 179: p.387-390.
7. Wijsman, H.J.W., and J.H. De Jong, On the interrelationships of certain species of *Petunia* IV. Hybridization between *P. linearis* and *P. calycina* and nomenclatorial consequences in the *Petunia* group. Acta Bot. Neerl., 1985. 34(3): p. 337-349.
8. Bernardello, L. et al., The hybrid nature of *Lycium ciliatum* × *cestroides* (Solanaceae): experimental, anatomical and cytological evidence. Canadian Journal of Botany, 1995. 73: p. 1995-2005.
9. Azeez, S.O., and J. O. Faluyi, Hybridization in four Nigerian *Physalis* (Linn.) species. Not Sci Biol, 2018. 10(2): p. 205-210.
10. Trojak-Goluch, A., and A. Berbec, Cytological investigations of the interspecific hybrids of *Nicotiana tabacum* L. × *N. glauca* Grah. J. Appl. Genet., 2003. 44(1): p. 45-54.
11. Fatokun, C.A., Cytological studies of the F₁ interspecific hybrid between *Solanum aethiopicum* and *S. gilo* Raddi. Cytologia, 1989. 54: p. 425-428.
12. Eshbaugh, W.H., The taxonomy of the genus *Capsicum*. In: Peppers Botany, Production and Uses. Vincent M. Russo (Editor), 2012. CAB International. p. 14-28.
13. Carrizo Garcia, C. et al, Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, *Solanaceae*). Annals of Botany, 2016. 118: p. 35-51.
14. Barboza, G.E. et al., Four new species of *Capsicum* (*Solanaceae*) from the tropical Andes and an update on the phylogeny of the genus. PLoS ONE, 2019. 14(1): e0209792.
15. Barboza, G.E., B.L. Bianchetti, and J.R. Stehmann, *Capsicum carassense* (*Solanaceae*), a new species from the Brazilian Atlantic Forest. PhytoKeys, 2020. 140: p. 125–138.
16. Halstead, H. D., Experiments with peppers. N. J. Agr. Exp. Sta. Ann. Rpt., 1912. 33: p. 365-368.
17. Khoury C.K. et al., Modeled distributions and conservation status of the wild relatives of chile peppers (*Capsicum* L). Diversity and Distributions, 2020. 26: p. 209-225.
18. Yakub, C.M., and P. Smith, Nature and inheritance of self-incompatibility in *Capsicum pubescens* and *C. cardenasii*. Hilgardia, 1971. 40(12): p. 459-470.
19. Onus, A.N., and Pickersgill, B., Unilateral incompatibility in *Capsicum* (*Solanaceae*): occurrence and taxonomic distribution. Annals of Botany, 2004. 94: p. 289–295.
20. Tong, N., and P.W. Bosland, *Capsicum tovarii*, a new member of the *Capsicum baccatum* complex. Euphytica, 1999. 109: p. 71-77.
21. Pickersgill, B., Cytogenetics and evolution of *Capsicum* L., in Chromosome Engineering in Plants: Genetics, Breeding, Evolution, Part B, T. Tsuchiya and P.K. Gupta, Editors. 1991, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, p. 139-160.
22. Baral, J.B., and P.W. Bosland, Unraveling the species dilemma in *Capsicum frutescens* and *C. chinense* (*Solanaceae*): A multiple evidence approach using morphology, molecular analysis, and sexual compatibility. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2004. 129(6): p. 826-832.
23. Zijlstra, S., A.C. Purimahu, and P. Lindhout, Pollen tube growth in interspecific crosses between *Capsicum* species. HortScience, 1991. 26: p. 585-586.
24. Martins, K.C. et al, Crossability and evaluation of incompatibility barriers in crosses between *Capsicum* species. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 2015. 15: p. 139-145.

25. Lippert L.F., P.G. Smith, and B.O. Bergh, Cytogenetics of the vegetable crops. Garden pepper, *Capsicum* sp. The Botanical Review, 1966. 32: p. 24-55.
26. McLeod, M.J. et al., An electrophoretic study of the evolution in *Capsicum* (*Solanaceae*). Evolution, 1983. 37: p. 562-574.
27. Kochieva E.Z. et al., Assessment of genetic relationships in the genus *Capsicum* using different DNA marker systems. XIIth Meeting on Genetics and Breeding of *Capsicum* and Eggplant, 2004. p: 44-50, Noordwijkerhout, The Netherlands.
28. Eshbaugh, W.H., P.G. Smith, and D.L. Nickrent, *Capsicum tovarii* (*Solanaceae*), a new species of pepper from Peru. Brittonia, 1983. 35(1): p. 55-60.
29. Ibiza V.P. et al., Taxonomy and genetic diversity of domesticated *Capsicum* species in the Andean region. Genetic Resources and Crop Evolution, 2012. 59: p. 1077-1088.
30. Moscone, E.A. et al., The evolution of chili peppers (*Capsicum*–*Solanaceae*): A cytogenetic perspective. Acta Horticulturae, 2007. 745: p. 137-170.
31. Ince, A.G., M. Karaca, and N. Onus, Genetic relationships within and between *Capsicum* species. Biochem Genetics, 2010. 48: p. 83-95.
32. Scaldaferrro, M.A., M. Grabile, and E.A. Moscone, Heterochromatin type, amount and distribution in wild species of chili peppers (*Capsicum*-*Solanaceae*). Genetic Resources and Crop Evolution, 2013. 60: p. 693-709.
33. Tong, N., and P.W. Bosland, Observations on interspecific compatibility and meiotic chromosome behavior of *Capsicum buforum* and *C. lanceolatum*. Genetic Resources and Crop Evolution, 2003. 50: p. 193-199.
34. Batista, F.R.C., Cytogenetics in *Capsicum* L. in, Production and Breeding of Chilli Pepper (*Capsicum* spp.), do Rêgo, E.R. et al., (Editors). 2016. Springer. p: 41-56.
35. Onus, A.N., A study on crossability relationships between some of the white and purple flowered *Capsicum* species. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2001. 14(1): p. 101-106.
36. Onus, A.N., *Capsicum* cinsi içerisinde tek taraflı uyumsuzluk üzerine bir araştırma. Anadolu, 2002. 12(2): p. 75-86.
37. Kannangara K. N. et al., Tri-species bridge crosses (*C. annuum* L. × *C. chinense* Jacq.) × (*C. chinense* Jacq. × *C. frutescens* L.) as an alternative approach for introgression of Cucumber Mosaic Virus (CMV) and Chilli Veinal Mosaic Virus (CVMV) resistance from *C. frutescens* L. into *C. annuum* L. Tropical Agricultural Research, 2017. 28 (4): p. 472-489.
38. Yoon J.B. et al., Overcoming two post-fertilization genetic barriers in interspecific hybridization between *Capsicum annuum* and *C. baccatum* for introgression of anthracnose resistance. Breeding Science, 2006. 56: p. 31–38.
39. Morrison, R.A., R.E. Koning, and D.A. Evans, Anther culture of an interspecific hybrid of *Capsicum*. Journal of Plant Physiology, 1986. 126(1): p. 1-9.
40. Yoon J.B. et al., Interspecific cross compatibility among five domesticated species of *Capsicum* genus. Journal of Korean Society of Horticultural Science, 2004. 45: p. 324-329.
41. Yoon J.B., J. Lee, and J.W. Do, Breeding anthracnose resistance in chili pepper: From genetic resources to commercialization. APSA Seed Congress, <https://apsaseed.org/wp-content/uploads/2017/02/1.-Breeding-Anthracnose-Resistance-in-Chilli-from-genetic-resources-to-commercialization-J.B.-Yoon.pdf> (Erişim tarihi: 29.03.2020).
42. Kamvorn, W. et al., Compatibility of inter-specific crosses between *Capsicum chinense* Jacq. and *Capsicum baccatum* L. at different fertilization stages. Scientia Horticulturae, 2014. 179: p. 9-15.
43. Hossain, M.A., M. Minami, and K. Nemoto, Immature embryo culture and interspecific hybridization between *Capsicum annuum* L. and *C. frutescens* L. via embryo rescue. Jpn. J. Trop. Agric., 2003. 47: p. 9-16.
44. Suprunova, T.P. et al., Production and analysis of interspecific hybrids among four species of the genus *Capsicum*. Proceedings of the XIVth EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of *Capsicum* & Eggplant. Ed. Universitat Politècnica de València. 2010.

45. Debbarama, C. et al., Wide hybridization and embryo-rescue for crop improvement in *Capsicum*. *Agrotechnology*, 2013. 11: p. 2-6.
46. Sui, Y.H., and N.B. Hui, Acquisition, identification and analysis of an inter-specific *Capsicum* hybrid (*C. annuum* × *C. chinense*). *J Hortic Sci Biotechnol*, 2015. 90: p. 31-38.
47. Manzur, J.P. et al., Successful wide hybridization and introgression breeding in a diverse set of common peppers (*Capsicum annuum*) using different cultivated Aji' (*C. baccatum*) accessions as donor parents. *PLoSONE*, 2015. 10(12):e0144142.
48. Cremona, G. et al., Production of embryo rescued hybrids between the landrace "Friariello" (*Capsicum annuum* var. *annuum*) and *C. baccatum* var. *pendulum*: phenotypic and cytological characterization. *Euphytica*, 2018. 214(8): p. 129.
49. Manzur, J.P., Técnicas y estrategias de mejora para facilitar la hibridación interespecífica y el acortamiento del ciclo generacional en el género *Capsicum*. Para optar al título de Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universidad Politécnica de Valencia. 2013.
50. Monteiro, C.E.S., T.N.P. Pereira, and K.P. Campos, Reproductive characterization of interspecific hybrids among *Capsicum* species. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 2011. 11: p. 241-249.
51. Arpacı, B.B., and F. Yaralı Karakan, Inter-specific (*Capsicum chacoense* Hunz. and *Capsicum annuum* L.) inheritance of fruit detachment force trait in hot pepper. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*, 2018. 57: p. 391-394.
52. Heiser, C.B.Jr, and P.G. Smith, Observations on another species of cultivated pepper, *Capsicum pubescens* R & P. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science*, 1948. 52: p. 331-335.
53. Pickersgill, B., Relationships between weedy and cultivated form in some species of chili peppers (genus *Capsicum*). *Evolution*, 1971. 25: p. 683-691.
54. Smith, P.G., and C.B.Jr. Heiser, Taxonomic and genetic studies on the cultivated peppers *Capsicum annuum* L. and *C. frutescens* L. *American Journal of Botany*, 1951. 38: p. 362-368.
55. Heiser, C.B.Jr, and P.G. Smith, The cultivated *Capsicum* species. *Economic Botany*, 1953. 7: p. 214-227.
56. Eshbaugh, W.H., Genetic and biochemical systematic studies of chili peppers (*Capsicum* - *Solanaceae*). *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 1975. 102: p. 396-403.
57. Smith, P.G., and C.B. Jr. Heiser, Taxonomy of *Capsicum sinense* Jacq. and the geographic distribution of the cultivated *Capsicum* species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 1957. 84: p. 413-420.
58. Eshbaugh, W.H. A biosystematic and evolutionary study of *Capsicum baccatum* (Solanaceae). *Brittonia*, 1970. 22: p. 31-43.
59. Heiser, C.B.Jr, and P.G. Smith, New species of *Capsicum* from South America. *Brittonia*, 1958. 10: p. 194-201.
60. Emboden, W.A.Jr., A preliminary study of the crossing relationships of *Capsicum baccatum*, *Butler University Botanical Studies*, 1961. Vol. 14, Article 2.
61. Moreira, N.F., T.N.S. Pereira, and K.C. Martins, Meiotic analysis of interspecific hybrids between *Capsicum frutescens* and *Capsicum chinense*, *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 2017. 17: p. 159-163.
62. Tanksley, S.D. et al., Conservation of gene repertoire but not gene order in pepper and tomato. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1988. 85(17): p. 6419-6423.
63. Prince, J.P., E. Pochard, and S.D. Tanksley, Construction of a molecular linkage map of pepper and a comparison of synteny with tomato. *Genome*, 1993. 36: p. 404-417.
64. Livingstone, K.D. et al., Genome mapping in *Capsicum* and the evolution of genome structure in the Solanaceae. *Genetics*, 1999. 152: p. 1183-1202.
65. Kang, B.C. et al., An interspecific (*Capsicum annuum* × *C. chinense*) F₂ linkage map in pepper using RFLP and AFLP markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 2001. 102: p. 531-539.

66. Rao, U.G. et al., Mapping of yield related QTLs in pepper in an interspecific cross of *Capsicum annuum* and *Capsicum frutescens*. *Theoretical and Applied Genetics*, 2003. 106: p. 1457-1466.
67. Lee, J.M. et al., Characterization and molecular genetic mapping of microsatellite loci in pepper. *Theoretical and Applied Genetics*, 2004. 108: p. 619-627.
68. Yi, G. et al., Exploitation of pepper EST-SSRs and an SSR-based linkage map. *Theoretical and Applied Genetics*, 2006. 114: p. 113-130.
69. Wu, F. et al., A COSII genetic map of the pepper genome provides a detailed picture of synteny with tomato and new insights into recent chromosome evolution in the genus *Capsicum*. *Theoretical and Applied Genetics*, 2009. 118: p. 1279-1293.
70. Tan, S. et al., Construction of an interspecific genetic map based on indel and SSR for mapping the QTLs affecting the initiation of flower primordia in pepper (*Capsicum* spp.). *PLoS ONE*, 2015. 10(3): e0119389.
71. Arjun, K. et al., Mapping of fruit length related QTLs in interspecific cross (*Capsicum annuum* L. × *Capsicum galapagoense* Hunz.) of chilli. *Breeding Science*, 2018. 68: p. 219-226.
72. Stommel, J.R., and R.J. Griesbach, Inheritance of fruit, foliar and plant habit attributes in *Capsicum* L. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2008. 133: p. 396-407.
73. Mavi, K. et al., *Capsicum baccatum* var. *pendulum* türü biberlerde melezleme yolu ile çeşit geliştirilmesi. III. Uluslara Arası Tarım Kongresi Özet Kitabı, ISBN: 978-605-80128-2-0, Sayfa:18, Hammamet-Tunus (5-9 Mart), 2020.
74. Matus, Z., J. Deli, and J.J. Szaaboles, Carotenoid composition of yellow pepper during ripening— isolation of b-cryptoxanthin 5,6-epoxide. *J. Agr. Food Chem.*, 1991. 39: p. 1907-1914.
75. Brauer, O., Untersuchungen ueber qualitatseigenschaften in F₁ hybriden von paprika, *Capsicum annuum* L. *Z. fuer Pflanzenzuecht.* 1962. 48: p. 259-276.
76. Smith, P.G., Brown, mature fruit color in pepper (*Capsicum frutescens*). *Science*, 1948. 107: p. 345-346.
77. Lippert, L.F., B.O. Bergh, and P.G. Smith, Gene list for the pepper. *J. Heredity*, 1965. 56: p. 30-34.
78. Peterson, P.A., Linkage of fruit shape and color genes in *Capsicum*. *Genetics*, 1959. 44: p. 407-419.
79. Wang, D., and P.W. Bosland, The genes of *Capsicum*. *HortScience*, 2006. 41(5): p. 1169-1187.
80. Mavi, K., Kendisi küçük acısı büyük bir lezzet: Süs biberi. *Agrokop*, 2013. Ağustos: p. 24-28.
81. Bosland, P.W., D. Coon, and G. Reeves, Trinidad Moruga Scorpion pepper is the world's hottest measured chile pepper at more than two million Scoville heat units. *Horttechnology*, 2012. 22: p. 534-538.
82. Bosland, P.W., and J.B. Baral, 'Bhut Jolokia' the world's hottest known chile pepper is a putative naturally occurring interspecific hybrid. *HortScience*, 2007. 42: p. 222-224.
83. Ohta, Y., Physiological and genetic studies on the pungency of *Capsicum*, V. Inheritance of pungency. *Jpn. J. Genet.*, 1962. 37: p. 169-175.