

Derleme/Review

## Yıl Boyu Kitlese Bombus Arısı (*Bombus terrestris*) Yetiştiriciliğinde Çiftleştirme Aşaması

Ayhan GÖSTERİT<sup>1\*</sup>, Fehmi GÜREL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Antalya, Türkiye

\*e-posta: ayhangosterit@sdu.edu.tr

**Özet:** Örtü altı yetiştiriciliği yapılan birçok bitki türünde tozlayıcı vektör olarak kullanılan bombus arılarının yetiştiriciliği, dünyada önemi giderek artan stratejik bir tarımsal uğraşı haline gelmiştir. Bombus arılarının kontrollü koşullarda yıl boyu yetiştiriciliği koloni oluşturma, ana ve erkek arı yetiştirme, seleksiyon, çiftleştirme ve diyapoz dönemini kontrol etme gibi çeşitli aşamaları içermektedir. Kitlese yetiştiriciliğin sürdürülebilir olması için en kritik aşamalardan birisi çiftleştirmedir. Bal arılarının aksine, *Bombus terrestris* ana (♀) ve erkekleri (♂) kapalı ortamlarda, çiftleşme kafeslerinde çiftleşebilmektedir. Erkek arılar çiftleşme sonrası tekrar çiftleşebilirken ana arılar sadece bir erkek arı ile çiftleşmektedir. Yaş ve vücut büyüklüğü, çene bezlerinden salgılanan uçucu feromonlar, çiftleşme kafesindeki erkek arı/ana arı oranı, ışık şiddeti ve frekansı, sıcaklık, nem, fotoperiyot, yuva materyali gibi çevre faktörleri *B. terrestris* ana (♀) ve erkeklerinin (♂) çiftleşme başarısına etki etmektedir. Bal arılarında olduğu gibi bombus arılarında da haplo diploid üreme sistemi söz konusudur. Cinsiyet lokuslarında homozigotlaşma olması durumunda ana arı tarafından yumurtlanan diploid yumurtalardan diploid erkek bireyler gelişir. Akrabalı yetiştiricilik diploid erkek üretimini önemli ölçüde artırır. Bu nedenle, gelecek generasyonlarda kaliteli koloniler üretmek için yeteli sayıdaki genç ana arının kendilerine akraba olmayan erkek arılar ile çiftleştirilmesi önemlidir. Bu çalışmada, *B. terrestris* arısının kitlese yetiştiriciliğinde yer alan çiftleştirme aşaması için temel gerekliliklerinin açıklanması amaçlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bombus arısı, *Bombus terrestris*, Çiftleştirme, Kitlese üretim

### Mating Stage on Year-Round Rearing of Bumblebees (*Bombus terrestris*)

**Abstract:** Year-round bumble bee rearing facilities as a pollination vector in the production of many crops under greenhouse conditions are a strategic area of agriculture that is increasingly prevalent all over the world. Year round rearing of bumblebees under controlled conditions involves stages such as colony initiation, queen and male rearing, selection, mating, and breaking of diapause. Mating is one of the most critical stages for sustainability of year-round rearing. In contrast to honeybees, *B. terrestris* queens (♀) and males (♂) can be mated in flight cages. While the males do not die after copulation and can remate, the queens mate with only one male. Many factors such as age and body size, volatile pheromones secreted from the labial glands, male / queen ratio in mating cage, environmental conditions such as light intensity & frequency, temperature, photoperiod and nest material have effects on mating success. Like honeybees, the sex of bumblebees is determined by haplodiploidy in *B. terrestris*. Fertilized eggs laid by mated queens develop into adult diploid males if they are homozygous at a single sex locus. The production of diploid males increases dramatically with inbreeding. For this reason, rearing the young queens in sufficient numbers and mating them with unrelated males is also crucial for obtain quality colonies in successive generation. In this study, definition of basic necessities for mating stage on rearing stage of *B. terrestris* under controlled conditions was aimed.

**Keywords:** Bumblebee, *Bombus terrestris*, Mating stage, Mass rearing

### Giriş

Mevsime bağlı yaşam döngüsüne sahip olan ve özellikle örtü altı domates yetiştiriciliğinde başlıca polinasyon aracı olarak yaygın olarak kullanılan bombus arılarının yetiştiriciliği dünyada önemi giderek artan stratejik bir tarımsal uğraşı haline gelmiştir. Dünya çapında yaklaşık 30 farklı küresel firma tarafından üretilen yıllık bir milyon adetten fazla koloni polinasyon amacıyla kullanılmaktadır (Velthuis ve van Doorn 2006). Türkiye’de 2016-2017 sera üretim döneminde kullanılan ticari bombus arısı koloni sayısı ise 250 bin adet olarak tahmin edilmektedir. Günümüze kadar yapılan çalışmalar ile yaklaşık 200 farklı bombus arısı türü tanımlanmış olup, bu

türler içinde gerek koloni popülasyonunun kalabalık olması ve gerekse kitlesel yetiştiriciliğe daha uygun olması nedeniyle polinasyon amacıyla en yaygın kullanılan tür *Bombus terrestris* türüdür (Williams 1998).

*B. terrestris* arısının laboratuvar koşullarında yetiştiriciliği diyapoz döneminin kontrol edilmesi, diyapozu tamamlamış ana arılardan koloni oluşturulması, kolonilerden erkek ve ana arıların elde edilmesi ve bu erkek ve ana arıların çiftleştirilmesi gibi aşamaları gerektirmektedir. Yetiştiricilik sürecinde yer alan bu aşamalarda karşılaşılan sorunların çözümüne yönelik farklı araştırmacılar tarafından son 30 yıl içinde geniş çaplı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Röseler 1985; Beekman ve ark. 1998; Gürel ve Gösterit 2008; Amin ve ark. 2012).

*B. terrestris* arısının kontrollü koşullarda yıl boyu ve generasyonlar boyunca yetiştirilmesi ve koloni oluşturabilecek kalitede ana arılar elde edilmesi özellikle üreme davranışı hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirmektedir. Bu nedenle kitlesel üretimde çiftleştirme bir sonraki generasyonun üretilmesi ve üretimin sürekliliğinin sağlanması için en önemli aşamalardan birisidir (Gösterit ve Gürel 2016). Doğal yaşam döngüsünde tek bir erkek arı ile çiftleşmiş olan ana arı ilkbaharda diyapozdan çıkarak koloniyi oluşturmaktadır. Genellikle koloniler yaşam döngüsünün başlangıcında işçi arı üretirken, genç ana arı ve erkek arılar koloni yaşamının sonlarına doğru üretilmektedir. Kolonilerde üretilen genç ana arılar bir erkek arı ile çiftleşerek kış boyunca diyapoz dönemini geçirirler ve bir sonraki generasyonun kolonilerini üretirler. Böylece koloni yaşam döngüsü tamamlanmış olur (Alford 1969; Schmid-Hempel ve Schmid-Hempel 2000).

*B. terrestris* arısının doğal ortamda çiftleşmesinde erkek arı uçuş sırasında çene bezlerinden salgılar üreterek bu salgılar ile işaretler bırakır. Bu salgıların ana arının cezbedilmesi ve çiftleşmenin gerçekleşmesinde rol oynadığı düşünülmektedir. Kontrollü koşullarda çiftleştirme araştırma sonucuna göre erkek arının davranışlarının yaklaşma, kontrol ve çiftleşmeye kalkışma, ana arının ise hareketsiz durma, korkutma ve uçuş olmak üzere üç aşamada gerçekleştiği, ana arının da erkek arıyı kontrol etme davranışı sergilediği bildirilmiştir. Ayrıca çiftleşme başarısının ana ve erkek arının birbirlerini kontrol etme davranışı ile pozitif, ana arının hareketsiz durma davranışı ile negatif ilişkili olduğu belirlenmiştir (Djegham ve ark. 1994).

Kitlesel yetiştiricilikte de genç ana arıların farklı kolonilerden erkek arılar ile çiftleştirilmesi gereklidir. Bal arıları ve diğer birçok sosyal böcek türünden farklı olarak kapalı ortamlarda çiftleştirilebilmesi nedeniyle *B. terrestris* sosyal böceklerin çiftleşme davranışının araştırılması için ideal böcek türü olarak değerlendirilmektedir (Baer 2003). Erkek arıların yaşı ve vücut büyüklüğü, ana arıların kalitesi, ana arı yaşı, çene bezlerinden salgılanan uçucu feromonlar, sıcaklık, nem, fotoperiyot ve çiftleştirme kafesinin yapımında kullanılan materyal gibi faktörler *B. terrestris* arılarında çiftleşme başarısını etkilemektedir (Kwon ve ark. 2006; Amin ve ark. 2010; Amin ve ark. 2012; Imran ve ark. 2015). Bu çalışmada *B. terrestris* ana (♀) ve erkeklerinde (♂) çiftleşme aktivitesini etkileyen unsurlar, bu kapsamda çiftleştirme yapılırken dikkat edilecek hususlar ve çiftleşme davranışı özetlenmeye çalışılmıştır.

## ***B. terrestris* Arısında Çiftleşme Başarısını Etkileyen Unsurlar**

### *Bireylerin çiftleşme sayısı*

Bal arılarında ana arı, yaşamı boyunca yalnız bir kez çıktığı çiftleşme uçuşu sırasında ortalama 8-10 adet erkek arı ile çiftleşerek 7 yıla kadar sürebilen hayatı boyunca bu erkek arılardan aldığı spermeleri kullanmaktadır. Çiftleşme sonunda felç olan ve iç organlarının bir kısmı çiftleşme işareti olarak ana arıda kalan erkek arılar ise çiftleştikten sonra ölürlü (Koeniger 1990). *Bombus* arılarında çiftleşme sayısı ise türlere göre değişiklik göstermektedir. Örneğin *Bombus hypnorum* türü ana arıları birden fazla çiftleşebilmektedir (Brown ve ark. 2002). Ancak bal arılarının ve bazı *bombus* türlerinin aksine *B. terrestris* ana arısı sadece bir erkek arı ile çiftleşirken, çiftleşen erkek arı ise çiftleştikten sonra yaşamına devam ederek tekrar çiftleşebilmektedir (Amin ve ark. 2012). Yapılan araştırmalar ile erkek arıların ikinci kez çiftleştirilmelerinin ana arıların koloni oluşturma başarısı üzerine etkili olduğu ve daha önce çiftleşmiş erkek arılar ile çiftleşen ana arılar tarafından oluşturulan kolonilerde daha fazla sayıda genç ana ve erkek arı üretildiği, erkek arıların ilk çiftleşmelerinin ikinci çiftleşmelerine göre daha kısa sürdüğü belirlenmiştir (Gösterit ve Gürel 2016).

Birçok böcek türünde erkek bireyler çiftleşme esnasında dişi bireyin üreme kanalına sperm ile birlikte ilave maddeler de aktarmaktadırlar. Bu maddeler dişi bireylerin fizyolojik ve davranışsal değişimlerini düzenlemektedir (Gillot 2003). Eklenti üreme bezlerinde yaklaşık 600 bin sperm bulunan *bombus* erkek arıları çiftleşme sırasında 40 ila 60 bin arasındaki sperm hücrelerini ana arının spermatekasına transfer etmektedirler (Tasei ve ark. 1998). Erkek arı tarafından sperm ile birlikte çiftleşme tıkaçında transfer edilen yağ asitleri (palmitik asit, linoleik asit, oleik asit ve stearik asit) ve siklopropil prolin maddesi ana arının tekrar çiftleşmesini

engellemektedir. Dolayısıyla *B. terrestris* ana arısının tekrar çiftleşmesinin erkek arı tarafından engellendiğini söylemek mümkündür (Baer ve ark. 2001).

#### *Vücut büyüklüğü ve cinsel olgunluk yaşı*

Bombus arılarında aynı kolonide üretilen ana, erkek ve işçi arıların vücut büyüklükleri bakımından belirgin bir varyasyon söz konusudur. Bu varyasyon bireylerin çiftleşme davranışı üzerinde etkili olabilmektedir. *B. terrestris* arısında erkek arı salgıladığı maddelerle ana arının çiftleşme sayısını etkilerken aynı zamanda çiftleşme süresini de etkilemektedir. Örneğin sahip oldukları ağırlık erkek arıların ikinci kez çiftleşme kabiliyetini etkilemekte, hafif erkek arılar ağır olan erkek arılara göre daha geç çiftleşmeye başlamakta ve çiftleşme süreleri daha uzun sürmektedir (Amin ve ark. 2012; Gösterit ve Gürel 2016). Diğer taraftan *B. terrestris* arısında sperm uzunluğu ile erkek arı vücut büyüklüğü arasında pozitif ilişki olduğu ve sperm özelliklerinin ana arının diyapoz başarısı, yaşama gücü ve ömür uzunluğunu etkilediği de bilinmektedir (Baer ve ark. 2003; Baer ve Schmid-Hempel 2005). Ana arının vücut büyüklüğü ile de pozitif ilişkili olan çiftleşme süresi 20 ila 40 dakika arasında değişmekle birlikte sperm transferinin büyük bir bölümü çiftleşmenin ilk 2 dakikası içinde gerçekleşmektedir. Ancak çiftleşme süresi ile koloni gelişim özellikleri arasında bir ilişki bildirilmemiştir (Amin ve ark. 2007; Amin ve ark. 2009).

Tüm canlılarda olduğu gibi *B. terrestris* arılarında da yaş eş seçimi ve çiftleşme performansının belirlenmesinde etkili faktörlerden birisidir. *B. terrestris* türünde çiftleşme yaşı aralığı ana arılar için 1 ila 11 gün arasında, erkek arılar için ise 5 ila 25 gün arasında değişmektedir (Tasei ve ark. 1998). Ancak uygulamada en uygun çiftleşme yaşı ana arılar için 6 gün, erkek arıları için ise 12 gündür (Djegham ve ark. 1994; Kwon ve ark. 2006; Amin ve ark. 2010). Bu sürelerin dışında çiftleşme başarısında önemli düşüşler gözlenmektedir. Çiftleştirilecek erkek ve ana arıların yaşları bir taraftan çiftleşme öncesi süreyi etkilerken, diğer taraftan çiftleşme süresini de etkilemekte ve yaş arttıkça hem çiftleşme öncesi süre hem de çiftleşme süresi artmaktadır (Amin ve ark. 2012).

#### *Çevre koşulları*

*B. terrestris* arısında bireylerin maruz kaldığı ışıklenme süresi (fotoperiyot), sıcaklık, nem, çiftleştirme kafesinin yapımında kullanılan malzemenin cinsi ve çiftleştirme kafesindeki ana arı / erkek arı oranı gibi çevresel faktörler çiftleşme başarısını etkilemektedir. Canlıların yaşam döngülerini etkileyen fotoperiyot, bombus arılarının çiftleşme başarısını etkileyebilmektedir. Yapılan çalışmalarda çiftleşme öncesi 16 saat karanlık 8 saat aydınlık ortamda tutulan ana arıların yaklaşık % 93'ünün çiftleştiği belirlenmiştir (Kwon ve ark. 2006). Çiftleştirme kafeslerine konulan ana arı ve erkek arı sayısı çiftleşme başarısını etkileyen diğer önemli bir unsurdur. Yapılan bazı bilimsel çalışmalarda en uygun ana arı /erkek arı oranı 1:5 olarak bildirilirken (Jie ve ark. 2005) bazı çalışmalarda bu oran 1:2 olarak bildirilmiştir (Kwon ve ark. 2006). Kitlesel üretimde ise genellikle ana arı sayısının 1,5-2 katı kadar uygun yaşta erkek arı kullanılmaktadır (Velthuis ve van Doorn 2006).

*B. terrestris* arısında çiftleştirme işlemi sırasında en uygun ortam sıcaklığı 23 °C olarak kabul edilmektedir (Amin ve ark. 2010; Gösterit ve Gürel 2016). Kitlesel üretimi gerçekleştirilen önemli türlerden olan *B. ignitus* türünde de yüksek çiftleşme başarısının 14 saat aydınlık ortamda tutulan ana arılarda elde edilmiş, en uygun çiftleşme sıcaklığı 22-25 °C ve en uygun çiftleşme öncesi bekleme sıcaklığı ise 18 °C olarak bildirilmiştir (Yoon ve ark. 2007). Bu faktörler dışında bir çevresel faktör olarak değerlendirilebilecek olan çiftleştirme kafesinin yapımında kullanılan malzemenin cinsi de çiftleşme başarısı üzerine etkili olup polikarbon malzemenin imal edilen çiftleştirme kafeslerinde en yüksek çiftleşme oranının elde edildiği bildirilmiştir (Imran ve ark. 2015).

### **Akrabalı Çiftleştirmenin Olumsuz Etkileri**

Bal arısı ve zarkanatlılar takımında yer alan diğer bazı türlerde olduğu gibi bombus arılarında da haplodiploid üreme sistemi söz konusudur (Duchateau ve ark. 1994). Ana arı tarafından yumurtlanan döllü yumurtalar cinsiyet lokuslarında hererezigotluk söz konusu olduğunda diploid dişi bireyler (işçi arı veya ana arı) olarak gelişirken cinsiyet lokuslarında homozigotlaşma olması durumunda diploid erkek bireyler olarak gelişirler (Heimpel ve de Boer 2008; Whitehorn ve ark. 2009a). Populasyondaki akrabalık düzeyinin artışı ile birlikte diploid erkek üretimi de artar. Koloni yaşamının sonuna doğru kurucu ana arı ve yumurtlayan işçi arıların yumurtladığı döllenmemiş yumurtalar ise normal haploid erkek bireyler olarak gelişirler (Alaux ve ark. 2007).

Diploid erkek üretimi bal arısı gibi gelişmiş haplodiploid populasyonlarda nadiren görülmektedir. Bal arılarında ana arı farklı genetik kaynaklardan çok sayıda erkek arı ile çiftleşir. Bu nedenle süper kız kardeş, yarım kız kardeş ve üvey kız kardeş olmak üzere üç farklı işçi arı alt grubunun olduğu ve süper aile olarak adlandırılan bal

arısı kolonilerinde bu aile yapısı ve ana arının çiftleşme davranışı diploid erkek üretimini engellemektedir (Oldroyd ve ark. 1992).

Bal arılarının aksine *B. terrestris* türünde ana arının sadece bir erkek arı ile çiftleşmesi nedeniyle kolonideki bütün bireylerin kendi aralarında süper kız kardeşlik durumu söz konusudur (Schmid-Hempel ve Schmid-Hempel 2000). Populasyondaki cinsiyet allellerinin az olması durumunda yakın akraba bireyler ile çiftleşme ihtimali yüksektir. Dolayısıyla haplodiploid populasyonlarda akrabalık homozigotlaşmayı artırmaktadır. *B. terrestris* populasyonlarında ana arı kendisine akraba erkek arılar ile çiftleştiğinde koloni yaşamının henüz daha başında yumurtlanan dömlü yumurtalardan diploid erkek bireyler gelişir. Bu istenmeyen diploid erkek üretimi kolonide üretilen işçi arı sayısını, gelişimini ve cinsiyet üretim kapasitesini olumsuz etkilemektedir (Maebe ve ark. 2014). Bu nedenle akrabalık durumunda belirgin şekilde artan koloni yaşamının erken döneminde erkek arı üretimi koloni oluşturma başarısını azaltmaktadır (Whitehorn ve ark. 2009b). *B. terrestris* arısında aynı kolonide yetiştirilen bireyler kullanıldığında erkek kardeş – kız kardeş ve yeğen – teyze çiftleşme durumları söz konusudur. Örneğin aynı koloniden erkek ve ana arı alınarak yapılan çiftleştirmede, çiftleşen ana arının yumurtladığı dömlü yumurtaların diploid erkek olarak gelişme ihtimali alınan bütün bireylerin sadece erkek kardeş – kız kardeş olması durumunda % 25, sadece yeğen – teyze olması durumunda % 37.5 ve hem erkek kardeş – kız kardeş hem de yeğen – teyze olması durumunda ise % 33.3'tür (Gösterit 2016). Diploid erkek larvalar bal arısı kolonilerinde işçi arılar tarafından temizlenip ergin birey olarak gelişmeleri engellenmektedir. Ancak bombus arısında diploid erkek larvalar ergin birey olarak gelişirler ve çiftleşme yeteneğine sahiptirler. Bu erkek arılar ile çiftleşen ana arılar ise triploid işçi arı ve ana arılar üretirler. Ancak triploid ana arıların üreme yeteneği yoktur (Darvill ve ark. 2012). Bahsedilen bu olumsuz etkileri nedeniyle *B. terrestris* arısının kontrollü koşullarda yetiştiriciliğinde akrabalık durumu çiftleştirme yapılırken özellikle dikkate alınması gereken son derece önemli bir husustur.

## Sonuç

Gerek doğal gerekse kültüre alınmış birçok bitkinin tozlaşmasını sağlayan *B. terrestris* arıları son yıllarda kitlesel olarak üretilmekte ve örtü altı sebze yetiştiriciliğinde tozlaşma amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Tozlaşmadaki önemlerinin bilinmesine karşın *B. terrestris* arısının kontrollü koşullarda yetiştiriciliği ile ilgili ticari sır kapsamındaki gizem devam etmektedir. Örtü altı sebze yetiştiriciliğinde tozlaşma açısından vazgeçilmez unsur olan bombus arılarının yetiştiriciliği ülkemizde ve dünyada az sayıda küresel firma tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu firmalar sahip oldukları yetiştiricilik ile ilgili bilgileri gizli tutmakta ve hiçbir şekilde paylaşımına açmamaktadır. Önemli bir seracılık ülkesi olan Türkiye'de örtü altı yetiştiriciliğin en yaygın olduğu bölge Akdeniz sahil bölgesidir ve kolonilerin büyük bölümü bu bölgede kullanılmaktadır. Buna karşın gerek Akdeniz sahil bölgesinde ve gerekse yayla bölgelerindeki sera alanlarının artması bombus arılarına olan talebi giderek artırmaktadır. Türkiye'de bir sera üretim döneminde kullanılan yaklaşık 250 bin adet bombus arısı kolonisi 5 firma tarafından üretilip satılmaktadır. Bu nedenle yetiştiricilik ile ilgili sorunların çözümüne yönelik ulaşılabilir olan tüm bilgi ve bulgular Türkiye'de ticari bombus arısı yetiştiriciliğinin geliştirilerek yaygınlaşmasına, üretim teknikleri konusunda yabancı firmalara bağımlılığın ortadan kalkmasına ve yeni istihdam alanları yaratılmasına önemli katkı sağlayacaktır.

## Kaynaklar

- Alaux C, Boutot M, Jaisson P, Hefetz A (2007). Reproductive plasticity in bumblebee workers (*Bombus terrestris*)- reversion from fertility to sterility under queen influence. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 62: 213–222.
- Alford DV (1969). A study of the hibernation of bumble bees (Hymenoptera: Bombidae) in Southern England. *J. Anim. Ecol.* 38: 149-170.
- Amin MR, Kwon YJ, Suh SJ (2007). Photoperiodic influence on the body mass of bumblebee, *Bombus terrestris* and its copulation duration. *J. Appl. Entomol.* 131(8): 537-541.
- Amin MR, Than KK, Kwon YJ (2009). Copulation duration of bumblebee *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae): Impacts on polyandry and colony parameters. *J. Asia Pac. Entomol.* 12: 141–144.
- Amin MR, Than KK, Kwon YJ (2010). Mating status of bumblebees, *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae) with notes on ambient temperature, age and virginity. *Appl. Entomol. Zool.* 45(3): 363-367.
- Amin MR, Bussiere LF, Goulson D (2012). Effects of male age and size on mating success in the bumblebee *Bombus terrestris*. *J. Insect Behav.* 25: 362–374.
- Baer B, Morgan ED, Schmid-Hempel P (2001). A non-specific fatty acid within the bumblebee mating plug prevents females from remating. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98: 3926–3928.

- Baer B (2003). Bumblebees as model organisms to study male sexual selection in social insects. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 55: 523–532.
- Baer B, Schmid-Hempel P, Hoeg JT, Boomsma JJ (2003). Sperm length, sperm storage and mating system evolution in bumblebees. *Insectes Soc.* 50: 101–108.
- Baer B, Schmid-Hempel P (2005). Sperm influences female hibernation success, survival and fitness in the bumble -bee *Bombus terrestris*. *Proc. R. Soc. B.* 272: 319-323.
- Beekman M, van Stratum P, Lingeman R (1998). Diapause survival and post diapause performance in bumble bee queens. *Entomol. Exp. Appl.* 89: 207–214.
- Brown MJF, Bear B, Schmid-Hempel R, Schmid-Hempel P (2002). Dynamics of multiple-mating in the bumble bee *Bombus hypnorum*. *Insectes Soc.* 49(4): 315–319.
- Darvill B, Lepais O, Woodall LC, Goulson D (2012). Triploid bumblebees indicate a direct cost of inbreeding in fragmented populations. *Mol. Ecol.* 21: 3988–3995.
- Djegham, Y, Verhaeghe, JC, Rasmont, P (1994). Copulation of *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae) in Captivity. *Journal of Apicultural Research*, 33(1), 15-20.
- Duchateau MJ, Hoshiba H, Velthuis HHW (1994). Diploid males in the bumble bee *Bombus terrestris*, sex determination, sex alleles and viability. *Entomol. Exp. Appl.* 71: 263–269.
- Gillot C (2003). Male accessory gland secretions: Modulators of female reproductive physiology and behaviour. *Annu. Rev. Entomol.* 48: 163–184.
- Gösterit A (2016). Adverse effects of inbreeding on colony foundation success in bumblebees, *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae). *Appl. Entomol. Zool.* 51(4): 521-526.
- Gösterit A, Gürel F (2016). Male remating and its influences on queen colony foundation success in the bumblebee, *Bombus terrestris*. *Apidologie*, 47(6): 828–834.
- Gürel F, Gösterit A (2008). Effects of different starting methods on colony initiation and development of *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera; Apidae) queens. *Appl. Entomol. Zool.* 43(1): 113-117.
- Heimpel GE, de Boer JG (2008). Sex determination in the Hymenoptera. *Ann. Rev. Entomol.* 53: 209–230.
- Imran M, Ahmad M, Nasir MF, Saeed S (2015). Effect of different nest box materials on the mating of European bumblebee, *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae) under controlled environmental conditions. *Pak. J. Zool.* 47(1): 241–247.
- Jie W, Wenjun P, Jiandong A, Zhanbao G, Yueming T, Jilian L (2005). Techniques for year round rearing of *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera, Apidea) in China. *J. Apic. Sci.* 49(1): 65-69.
- Koeniger G (1990). The role of the mating sign in honey bees, *A. mellifera* L.: does it hinder or promote multiple mating. *Anim. Behav.* 39: 444–449.
- Kwon YJ, Amin MR, Suh SJ (2006). Mating propensity of *Bombus terrestris* reared in different photoperiodic regimes. *Apidologie.* 37: 679–686.
- Maebe K, Meeus I, Ganne M, Wackers F, Smagge G (2014). Scientific note on microsatellite DNA analyses revealing diploid and haploid drones in bumblebee mass breeding. *Apidologie.* 45: 189–191.
- Oldroyd BJ, Rinderer TE, Harbo JR, Buco SM (1992). Effects of intracolony genetic diversity on honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony performance. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 85: 335–343.
- Röseler PF (1985). A technique for year-round rearing of *Bombus terrestris*. (Apidae, Bombini) colonies in captivity. *Apidologie.* 16(2): 165-170.
- Schmid-Hempel R, Schmid-Hempel P (2000). Female mating frequencies in *Bombus spp.* from central Europe. *Insectes Soc.* 47: 36-41.
- Tasei JN, Moinard C, Moreau L, Himpens B, Guyonnaud S (1998). Relationship between aging, mating and sperm production in captive *Bombus terrestris*. *J. Apic. Res.* 37: 107–113
- Velthuis HHW, van Doorn A (2006). A Century of advances in bumble bee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidologie.* 37: 421-451.
- Whitehorn PR, Tinsley MC, Goulson D (2009a). Kin recognition and inbreeding reluctance in bumblebees. *Apidologie.* 40: 627–633.
- Whitehorn PR, Tinsley MC, Brown MJF, Darvill B, Goulson D (2009b). Impacts of inbreeding on bumblebee colony fitness under field conditions. *Evol. Biol.* 9: 152.
- Williams PH (1998). An annotated checklist of bumble bees with an analysis of patterns of description (Hymenoptera: Apidae, Bombini). *Bull. Nat. Hist. Mus. Entomol.* 67(1): 79-152.
- Yoon HJ, Kim SE, Lee KY, Lee SB, Park IG (2007). Mating conditions favorable for improving mating rate of the bumble bee, *Bombus ignitus*. *Int. J. Indust. Entomol.* 14(2): 107-114.