



İpekböceği Pupalarının Besin Değeri ve Kullanımı

Fehmi GÜREL*

Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Antalya, Türkiye

Fehmi GÜREL, ORCID No: [0000-0003-1492-8910](https://orcid.org/0000-0003-1492-8910)

MAKALE BİLGİSİ

ÖZ

Derleme

Bu çalışma "4. Uluslararası Yenilikçi Akademik Çalışmalar Konferansında" sözlü olarak sunulmuş ve yalnız özeti yayımlanmıştır.

Geliş: 02.03.2024
Kabul: 18.10.2024

Anahtar Kelimeler

İpekböceği
Pupa
Besin değeri
Kullanımı

* Sorumlu Yazar

fgurel@akdeniz.edu.tr

İpekböceği (*Bombyx mori* L.), yaklaşık beş bin yıldır ipek üretmek için geleneksel olarak yetiştirilen, ekonomik olarak önemli evcilleştirilmiş bir böcektir. Ticari ipek üretiminde kozalar, kelebekler çıkmadan önce hasat edilmekte ve pupalar başkalaşımını tamamlamadan önce genellikle buhar veya sıcak hava ile öldürülmektedir. Daha sonra kozalardan ipek iplikleri çekilmektedir. Her bir kg ham ipek üretiminde yaklaşık 2 kg kuru pupa (8 kg yaş pupa) ipek sanayinin başlıca yan ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. İpekböceği pupaları proteinler, lipitler, esansiyel amino asitler, yağ asitleri ve diğer besin maddeleri açısından zengin bir içeriğe sahiptir. İpekböceği pupaları çoğunlukla hayvan yemi ve gübre olarak kullanılmakta ve bazı Asya ülkelerinde yenilebilir bir böcek olarak insanlar tarafından da tüketilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ipekböceği pupalarının yüksek besin değerlerinin yanı sıra farmakolojik etkiler gösteren çok çeşitli bioaktif bileşikler içerdiği de bulunmuştur. Bu derlemede ipekböceği pupalarının besin değeri ve kullanımı konusunda son yıllarda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

The Nutritional Value and Utilization of Silkworm Pupae

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Review

This study was presented as oral in "4th International Conference on Innovative Academic Studies" and was published as abstract only.

Received : 02.03.2024
Accepted : 18.10.2024

Keywords

Silkworm
Pupae
Nutritive value
Utilization

* Corresponding Author

fgurel@akdeniz.edu.tr

The silkworm (*Bombyx mori* L.), traditionally cultivated for silk production for approximately five thousand years, is an economically significant domesticated insect. For commercial silk production, cocoons are harvested before the adults emerge and the pupae are usually killed with steam or hot air before completing their metamorphosis and then silk fibers are reeled. Approximately 2 kg of dry pupae (8 kg of wet pupae) are generated for each kg of raw silk production. Therefore, silkworm pupae are the main byproduct of the silk industry. Silkworm pupae have a rich content of proteins, lipids, essential amino acids, fatty acids and many other nutrients. Silkworm pupae are mostly used as animal feed and fertilizer and are also consumed by humans as an edible insect in some Asian countries. In addition to their high nutritional value, recent studies have also found that silkworm pupae contain a wide variety of bioactive compounds that have pharmacological effects. This review summarizes recent studies on the nutritional value and utilization of silkworm pupae.

Lütfen aşağıdaki şekilde atıf yapınız / Please cite this paper as following;

Gürel, F., 2024. İpekböceği pupalarının besin değeri ve kullanımı. Journal of Animal Science and Products (JASP) 7 (2):153-165. DOI: [10.51970/jasp.1446220](https://doi.org/10.51970/jasp.1446220)

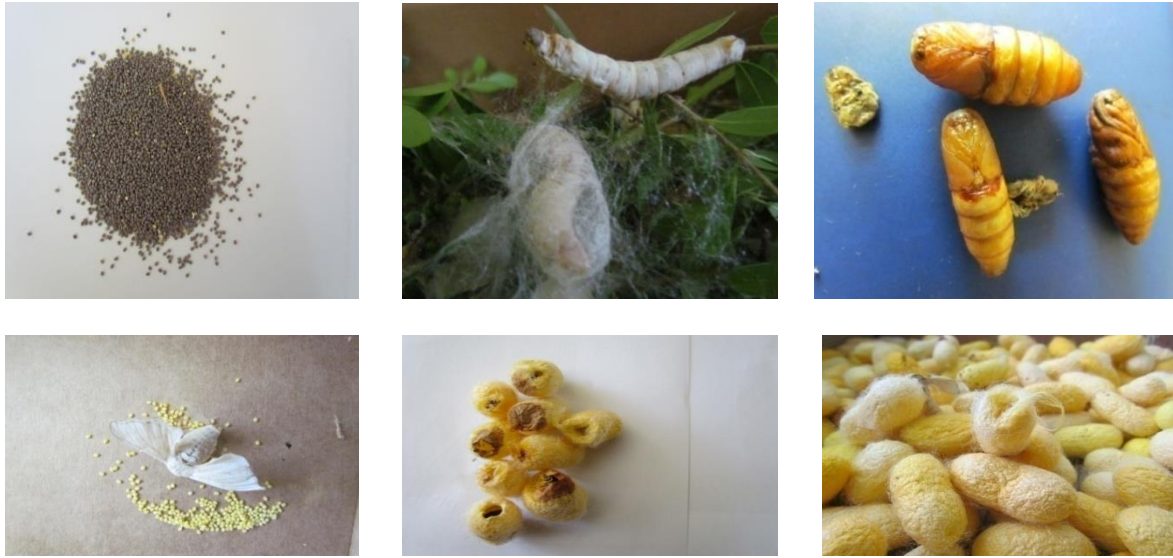
Giriş

Yaklaşık beş bin yıl önce Çin’de keşfedilmiş olan ipekböceği, ilk evcilleştirilen ve kitlesel yetiştiriciliği en çok yapılan böcek türüdür. İpek ipliği, ipekböceği larvalarının koza örmek için salgıladıkları çok ince ipek liflerinin bir araya getirilmesiyle elde edilmektedir. Tarih boyunca çok değerli olan ipek ipliği, yumuşaklığı, parlaklığı, dayanıklılığı ve iyi boya tutma kabiliyetinden dolayı günümüzde de en değerli doğal lif olarak kabul edilmektedir. Dünyada Dut ipeği, Eri ipeği, Tasar ipeği ve Muga ipeği olmak üzere ticari olarak üretilen dört çeşit doğal ipek bulunmaktadır. Yalnız dut yaprağı ile beslenen ipekböceklerinden (*Bombyx mori* L.) elde edilen Dut ipeği, dünya ipek üretiminin % 90’ından fazlasını oluşturmaktadır. Bu nedenle “ipek” terimi genel olarak dut yaprakları ile beslenen ipekböceklerinin ürettiği ipeği ifade etmektedir (Xiang ve ark., 2005; Şahan, 2011; Bhattacharyya ve ark., 2016; Reddy ve ark., 2021).

İpekböceğinin yaşam döngüsü yumurta, larva, pupa (krizalit) ve kelebek (ergin) olmak üzere 4 farklı gelişim aşamasıyla tamamlanır (Resim 1.). İpekböceği yumurtaları 10-14 gün süren kuluçka döneminden sonra larva dönemine geçerler. İpekböcekleri, beslenme ve çevre koşullarına göre değişmekle birlikte uygun koşullarda yaklaşık 25 gün süren larva döneminde dut yaprağı ile yoğun beslenirler ve bu süreçte yaklaşık on bin kat ağırlık artışı kazanırlar. Larvalar kısa sürede hızlı büyüdükleri için deri değiştirirler. Larva döneminde ipekböcekleri 4 defa deri değiştirir. İpekböceği larvası deri değiştirirken besleme olmaksızın en az 24 saat hareketsiz kalır. Bu devre deri değiştirme ya da uyku devresi olarak adlandırılır. Deri değiştirerek uyku dönemini tamamlayan larvalar yeni bir yaşa girerek dut yaprağı yemeye (beslenmeye) devam ederler. Ticari yetiştiriciliği yapılan ipekböceği larvaları 4 uyku ve 5 yaş dönemi geçirirler. En uzun süren yaş dönemi yaklaşık 8 gün süren 5. yaş dönemidir. İpekböceği larvası 5. yaşın sonunda yem tüketmeyi sonlandırır ve 2-3 günde vücudunun her iki tarafındaki ipek bezlerinden salgıladığı ipek lifi ile kendisini içine hapsettiği ve yaklaşık 1000-1400 metre uzunluğundaki ipek ipliğinden oluşan kozasını örür. Koza örme işlemi bitince ipekböceği larvası koza içerisinde başkalaşım (metamorfoz) geçirerek pupa dönemine geçer. İpekböceği çevre koşullarına bağlı olarak koza örmeye başladıktan yaklaşık 15 gün sonra koza içerisinde kelebek formuna dönüşür ve kelebek salgıladığı bir sıvı ile kozayı delerek koza dışına çıkar (Resim 1.). Erkek ve dişi kelebekler çiftleşir. Dişi kelebekler yumurtlar ve birkaç gün içerisinde erkek ve dişi kelebekler ölürler. Binlerce yıldır evcilleştirmenin bir sonucu olarak kelebekler uçuş yeteneklerini yitirmişlerdir ve beslenmezler. Ticari koza üretiminde ise kozanın delinmesini önlemek için larvaların koza örmeye başladıklarından sonraki 8-10. günlerde pupa aşamasında, kozalar hasat edilir, pupalar uygun yöntemlerle öldürülür, kozalar kurutulur ve daha sonra çekilerek ipek ipliği elde edilir (Akbay, 1986; FAO, 1987; Anonim, 1997; Şahan, 2011; Shahzadi ve ark., 2022).

İpekböceği yetiştiriciliği temel olarak ipekböceklerini dut yaprakları ile besleyerek ipek kozalarını üretmeyi amaçlayan tarımsal bir faaliyettir. Bu tarımsal faaliyet ipekböceğinin tek besin kaynağı olan dut yaprağının üretilmesi (dut fidanı ve ağacı yetiştirilmesi), damızlık ipekböceği yumurta (tohum) üretimi, yumurtalardan larvaların çıkışı (kuluçka), larvaların bakım ve beslenmesi, koza hasadı, koza boğma ve kurutma, kozadan ipek çekilmesi ve ipeğin işlenmesi ve ürüne dönüştürülmesi gibi birçok aşamayı da kapsamaktadır (Akbay, 1986; Anonim, 1997; Şahan, 2011). Dut yaprağından ipek ipliği üretimine kadar geçen süreçte

ipekböceği yumurta kabukları, ipekböceği dışkısı, larva deri döküntülerini, kurumuş yaprakları ve dalları içeren ipekböceği altlığı, ipekböceği pupası, ipek lifi atıkları ve serizin gibi birçok atık ürün/ yan ürün ortaya çıkmaktadır. Bu ürünlerden bazıları uzun yıllardır Çin, Hindistan gibi Asya ülkelerinde beslenme ve geleneksel tıp uygulamalarında kullanılmaktadır. Son yıllarda ise ipekböceği yetiştiriciliğinin atık ve yan ürünleri ve bu ürünleri kullanarak geliştirilen yeni ürünlerin farmakoloji, kozmetik, hayvan besleme, gıda gibi çeşitli sektörlerde kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır (Singh ve Jayasomu, 2002; Sharma ve ark., 2022; Mahanta ve ark., 2023). İpekböceği yetiştiriciliğinde sıralanan bu yan ürünler, atık ürünler arasında en fazla ortaya çıkan, çok farklı amaçla kullanılan ve üzerinde en çok araştırma yapılan yan ürün / artık ürün ipekböceği pupasıdır (Priyadharshini ve ark., 2017; Wu ve ark., 2021; Tassoni ve ark., 2022; Zhou ve ark., 2022; Habeanu ve ark., 2023). Bu nedenle bu derlemede ipekböceği pupasının özellikleri ve kullanım alanları ile ilgili güncel bilgilerin sunulması amaçlanmıştır.



Resim 1. İpekböceği yumurta, larva, pupa, kelebek ve kozalarına ait görseller (F. Gürel)
 Picture 1. Images of egg, larvae, pupae, adult and cocoons of silkworm (F. Gürel)

İpekböceği Pupası

İpekböceği kozalarından ipek ipliği elde etmek için kozaların içindeki pupalar yaygın olarak sıcak kuru hava, sıcak buhar, güneş ışığı ve diğer bazı yöntemlerle öldürülür. Kozaların hasadı ve pupaların öldürülmesi için en uygun zaman pupa derisinin sertleşerek kahverengine döndüğü evredir. Yaş koza hasat edildiği zaman yaklaşık % 60 oranında nem içermektedir. Kozaların uzun süre depolanarak saklanması için koza bünyesindeki nem oranının % 10'un altına düşecek şekilde kurutulması gereklidir. Kurutulan kozalar sıcak sular içerisinde yumuşatılarak geleneksel veya modern tekniklerle çekilmekte ve ipek ipliği elde edilmektedir. Pupa ağırlığı, yaş koza ağırlığının yaklaşık % 80'ini kuru koza ağırlığının ise % 50-60'ını oluşturmaktadır (Akbaş, 1986; FAO, 1987; Anonim, 1997; Şahan, 2011).

Kozalar ipek çekim tesislerinde çekilmekte ve koza içerisindeki pupalar önemli bir yan ürün ve/veya biyolojik atık olarak ortaya çıkmaktadır. Her bir kg ham ipek çekimi sürecinde

yaklaşık 8 kg yaş pupa ve bu pupaların kurutulmasıyla yaklaşık 2 kg kuru pupa doğal olarak meydana gelmektedir (Patil ve ark., 2013; Sheikh ve ark., 2018; Reddy ve ark., 2021). Uzun yıllardır dünya ham ipek üretiminin yaklaşık % 95'i Çin (% 58) ve Hindistan'da (% 37) yapılmaktadır. Son yıllarda düşüş gözlenirse de dünyada yılda yaklaşık 100 000 ton ham ipek üretilmekte ve dolayısıyla her yıl Çin'de 100 000 ton'dan, Hindistan'da ise 50 000 ton'dan fazla kuru pupa yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır (INSERCO, 2021; Wu ve ark., 2021; Sadat ve ark., 2022) Kozalardan ipek çekimi yapıldıktan sonra ortaya çıkan büyük miktarlardaki taze pupalar yüksek su içerikleri nedeniyle hızla parçalanmakta, bozulmakta, kokmaya başlamakta ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Yan ürün olarak ortaya çıkan pupalar geçmiş yıllarda bazı bölgelerde atık olarak yerleşim bölgelerinin dışına atılmış, bazı bölgelerde gübre olarak, bazı bölgelerde ise kurutulmuş ve öğütülerek hayvan yemi olarak değerlendirilmiş ve uzun yıllardır Çin ve bazı Asya ülkelerinde ise işlenerek insanlar tarafından tüketilmektedir (Yhoung-Aree ve ark., 1997; Zhou ve Han, 2006; Wu ve ark., 2021).

İpekböcekleri sadece larva döneminde dut yaprağı ile beslenirler. Larva döneminin sonunda koza örmeye başladığı aşamada besleme faaliyeti sonlanmakta ancak yaşam döngüsü devam etmektedir (Akbay, 1986; Anonim, 1997; Şahan, 2011). İpekböceği, koza içerisinde pupa ve kelebeğe dönüşebilmesi ve kelebek olduktan sonra da birkaç gün yaşaması, çiftleşebilmesi ve dişi kelebeklerin yaklaşık 500 yumurta yumurtlaması için gerekli tüm besin maddelerini depoladığı besinlerinden sağlamaktadır. Bu nedenle pupa evresi ipekböceğinin yaşam döngüsünde besin maddelerinin en üst düzeyde depolandığı aşamadır. Son yıllarda yapılan çalışmalardan elde edilen veriler ipekböceği pupalarının zengin bir besin profiline sahip olduğunu göstermektedir. İpekböceği pupaları protein ve esansiyel amino asitler, yağlar ve çoklu doymamış yağ asitleri, karbonhidratlar, mineraller ve vitaminler bakımından oldukça zengin bir içeriğe sahiptir (Patil ve ark., 2013; Priyadharshini ve ark., 2017; Sheikh ve ark., 2018; Wu ve ark., 2021; Sadat ve ark., 2022; Tassoni ve ark., 2022; Zhou ve ark., 2022; Habeanu ve ark., 2023). Son yıllarda yüksek besin değerleri ve çeşitli biyolojik özellikleri nedeniyle ipekböceği pupalarının başta farmakoloji, kozmetik, gıda, hayvan besleme olmak üzere bir çok sektörde katma değeri yüksek yeni ticari ürünlere dönüştürülmesine yönelik çalışmalar yoğunlaşmış ve birçok ürün de geliştirilmiştir (Singh ve Jayasomu, 2002; Sharma ve ark., 2022; Mahanta ve ark., 2023).

İpekböceği Pupasının Besin Bileşenleri

Son yıllarda ipekböceği pupalarının besin öğeleri ve gıda, hayvan besleme, farmakoloji gibi çeşitli sektörlerde kullanıma yönelik çok sayıda araştırma yapılmıştır. Araştırmalar dünya yaş koza üretiminde lider konumda olan Çin ve Hindistan'da yoğunlaşmış ayrıca araştırma sonuçlarının topluca değerlendirildiği etki faktörü yüksek dergilerde derlemeler de yayınlanmıştır. Larva beslemesinde kullanılan dut yaprağı miktarı ve kalitesi, ipekböceği pupalarının öldürülme zamanı ve yöntemi, kozadan ipek çekim yöntemi, örnek alınan pupaların kurutma yöntemleri ve saklama koşulları, uygulanan analiz yöntemleri gibi birçok faktör pupaların kimyasal bileşimine etki edebilmektedir (Sadat ve ark., 2022; Sharma ve ark., 2022; Tassoni ve ark., 2022; Zhou ve ark., 2022). İpekböceği kozalarından ipek çekilme aşamasında kozaların sıcak su içerisinde yumuşatılması gerekmektedir. Bu nedenle elde edilen pupalar yüksek su içerikleri nedeniyle çabuk bozulmaktadır. Bu makalede kimyasal analiz değerleri incelenen pupa örnekleri kurutulmuş ve toz haline getirilmiş pupa örnekleridir. Kurutulmuş ve

toz haline getirilmiş pupa içeriklerine ait birçok çalışmadan elde edilen analiz sonuçları genel olarak değerlendirilerek, özetlenmiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda ipekböceği pupasının ham protein oranı, kuru ağırlığın % 50-60'ı arasında değişim gösterdiği bulunmuştur. İpekböceği pupası amino asit çeşitliliği ve esansiyel amino asitleri yüksek oranda içermesi nedeniyle kaliteli ve önemli bir protein kaynağıdır. Pupa, esansiyel amino asitlerin tamamı olmak üzere toplam 18 amino asit içermektedir. İpekböceği pupasında metionin, valin ve fenilalanin gibi esansiyel amino asitler yüksek düzeyde bulunmaktadır (Tomotake ve ark., 2010; Anootthato ve ark., 2019; Akande ve ark., 2020; Priyadharshini ve Swathiga, 2021; Sadat ve ark., 2022; Sharma ve ark., 2022; Tassoni ve ark. 2022; Zhou ve ark., 2022). Yağı alınmış pupa ununda ise protein oranı % 70-80' e ulaşırken, yağ oranı % 4' ün altına düşmektedir (Kim ve ark., 2016; Anootthato ve ark., 2019; Felix ve ark., 2020).

Yağ, ipekböceği pupalarında proteinden sonra en çok bulunan ikinci bileşendir. Yağ, pupanın toplam kuru ağırlığının yaklaşık %30' unu (% 25-35) oluşturmaktadır. İpekböceği pupaları yalnızca yüksek düzeyde yağ içermemekte, aynı zamanda yüksek düzeyde doymamış yağ asitleri özellikle de beslenmede çok önemli olan çoklu doymamış yağ asitlerini içermektedir. Yapılan çalışmalarda ipekböceği pupasından elde edilen yağ asitlerinin büyük ölçüde palmitik, stearik, oleik, linoleik ve alfa-linolenik asit' den oluştuğu bulunmuştur. Toplam yağ asitlerinin % 60-70' ini doymamış yağ asitleri oluşturmaktadır. Çoklu doymamış yağ asidi olan alfa-linolenik asit toplam yağ asitlerinin yaklaşık % 38' ini oluşturmaktadır (Tomotake ve ark., 2010; Kumar ve ark., 2021; Tassoni ve ark., 2022; Habeanu ve ark., 2023).

İpekböceği pupalarının çok sayıda mineral maddeyi içerdiği saptanmıştır. İpekböceği pupaları iyi bir kalsiyum, potasyum, magnezyum ve fosfor kaynağıdır. Ayrıca yüksek demir ve çinko içeriği ve düşük Na/K oranı da sağlık beslenmedeki önemini artırmaktadır (Kim ve ark., 2016; Akande ve ark., 2020; Tassoni ve ark., 2022; Habeanu ve ark., 2023). İpekböceği pupaları vitamin bakımından da zengindir. Pupada en çok bulunan vitaminler B1, B2, B3, B5, B7, B9, B12 ve E vitamindir. İpekböceği pupaları iyi bir tiamin, riboflavin ve niasin kaynağıdır. İpekböceği pupaları yüksek düzeyde tokoferoller içermektedir (Paul ve Dey, 2014; Wu ve ark., 2021). İpekböceği pupalarından elde edilen kitin ve kitosan, dimetiladenozin türevleri, polifenoller, peptitler, yağ asitleri güçlü fizyolojik aktiviteler gösteren bioaktif bileşiklerdir ve farmakolojik çalışmalarda test edilmektedir (Sadat ve ark., 2022; Zhou ve ark., 2022; Mahanta ve ark., 2023).

İpekböceği Pupasının İnsan Beslenmesinde Kullanım

İpekböceği pupaları yüksek protein ve diğer zengin besin içeriğinden dolayı Asya'da ipek üreten Çin, Hindistan, Japonya, Güney Kore ve Tayland gibi ülkelerde uzun yıllardan beri insanlar tarafından sevilerek tüketilen bir yiyecektir (Mitsuhashi, 1997; Yhoung-Aree ve ark., 1997; Valerie ve ark., 2015; Feng ve ark., 2018). Ancak, geçmişte ipekböceği yetiştiriciliğinin yoğun yapıldığı Anadolu, Balkanlar ve Avrupa'da hayvansal protein kaynaklarının bol olması ve dini, kültürel, beslenme tarzı gibi nedenlerden dolayı ipekböceği pupaları insanlar tarafından tüketilmemektedir. İpekböceği pupaları henüz Avrupa'da yenilebilir böcek olarak kabul edilmemiştir. (Habeanu ve ark., 2023; Stobernack ve ark., 2023). Günümüzde ipekböceği pupaları; taze ipekböceği pupası, kurutulmuş ipekböceği pupası, dondurulmuş ipekböceği pupası, konserve ipekböceği pupası, kurutulmuş ipekböceği pupa unu, yağı alınmış ipekböceği

pupa unu, yağı alınmış pelet formunda ipekböceği pupası gibi çeşili ticari ürünlere dönüştürülerek Asya ülkelerinde tüketime sunulmaktadır.

İpekböceği pupaları Asya ülkelerinde çiğ, haşlanmış ve kızartılmış olarak tüketilebilmektedir. Bazı ülkelerde kebap yapılarak sokak yemeği atıştırılmalığı olarak tüketimi yaygınken, bazı ülkelerde cips, çerez gibi paketlenmiş atıştırılmalık olarak da tüketimi yaygındır. Aromatik bitkiler eklenerek ipekböceği pupalarından geleneksel yemekler de yapılmaktadır. İpekböceği pupa unu ve özellikle yağı alınmış pupa unu yüksek protein içeriği nedeniyle protein kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Yağı alınmış pupa unu çorbalara, soslara, yoğurt, mayonez, ekmek, kek kurabiye gibi ürünlere de katılarak bu gıdaların protein miktarını ve lezzetini artırmak için kullanılmaktadır. Japonya’da pupa unundan yapılan bir kurabiyenin astronotların beslenmesinde kullanılması da önerilmiştir. İpekböceği pupası ve ipekböceği pupa unu hijyenik olmayan taşıma, işleme, paketlenme ve depolama koşullarında gıda kaynaklı enfeksiyon risk taşımaktadır. Ancak birçok firma sağlıklı, taze ipekböceği pupalarını sterilize edip, uygun yöntemlerle kurutup, vakumlayarak tüketime sunmaktadır. Bu işlemler taze ipekböceği pupasında tüketiciler tarafından hoş karşılanmayan kokuların da giderilmesine katkı sağlamaktadır. Benzer şekilde pupa yağının alınması da hoş olmayan kokuların giderilmesinde önemli bir uygulamadır (Valerie ve ark., 2015; Feng ve ark., 2018; Imathiu, 2020 ;Priyadharshini ve Swathiga, 2021;Ying ve ark., 2022).

İpekböceği pupası ve pupa unu genellikle güvenli gıdalar olarak kabul edilmektedir. Yüksek proteinli diğer gıdalarla özellikle deniz ürünleri ile karşılaştırıldığında daha güvenli oldukları da ifade edilmektedir. Ancak hem mikrobiyal ve toksikolojik güvenlik hem de alerjik reaksiyonlar açısından ilave araştırmalara ve güvenlik değerlendirmelerine hala ihtiyaç duyulmaktadır (Feng ve ark., 2018 ; Imathiu, 2020; Zhou ve ark., 2022). İpekböceği pupaları da dahil olmak üzere yenilebilir böceklerin ve yeni protein kaynaklarının gıda alerjisine neden olma potansiyelleri vardır. Son yıllarda ipekböceği pupaları tüketildikten sonra ürtiker, baş dönmesi, ciltte kaşıntı ve hatta anafilaktik şok da dahil çok sayıda alerjik reaksiyon vakası rapor edilmiştir (Ji ve ark., 2008; Araujo ve ark., 2014; Feng ve ark., 2018). Ancak ipekböceği pupalarının neden olduğu alerjik reaksiyonlar, karides ve balık gibi geleneksel gıdaların neden olduğu alerjik reaksiyonlardan daha yaygın ve tehlikeli değildir (Gier ve Verhoeckx, 2018). İpekböceği pupalarının günlük insan diyetine giderek daha fazla dahil edilmesi nedeniyle, bu alerjik reaksiyonları yönlendiren mekanizmaların açıklığa kavuşturulması gerekmektedir. Bugüne kadar 26 ipekböceği proteini alerjen olarak tanımlanmasına karşın, ipekböceği pupalarında alerjen olarak onaylanan tek protein arginin kinaz’ dır. Arginin kinaz dışında, ipekböceği pupalarının hiçbir alerjeni, Dünya Sağlık Örgütü ve Uluslararası İmmünoloji Toplulukları Birliği (WHO/IUIS) tarafından resmi olarak doğrulanmamış ve tescil edilmemiştir. Ayrıca arginin kinaz’ın ipekböceği larvalarının alerjeni olduğu, larvalar büyüdükçe arttığı, pupalarda ise nispeten düşük bir seviyede bulunduğu ve pupaların alerjeni olmadığı da rapor edilmiştir. Bu nedenle ipekböceği pupalarında arginin kinaz kaynaklı alerjiyi inceleyen çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Ji ve ark., 2008; Liu ve ark., 2009; Araujo ve ark., 2014; Wu ve ark., 2021). Alerjik reaksiyonlar, ipekböceği pupalarının gıda veya sağlık ürünlerinde kullanımını sınırlayabilir. Bu nedenle alerjik reaksiyonları azaltacak uygulamaların bulunması önem kazanmaktadır. Gıda endüstrisinde, ısı işlem, hidroliz, fermantasyon, yüksek basınç gibi uygulamalar ürünlerin alerjik reaksiyonlarını azaltılabilmektedir (Lepski ve Brockmeyer, 2013; Verhoeckx ve ark., 2015; Wu ve ark., 2021). Yenilebilir böceklerin

doğrudan gıda olarak benimsenmesinin önündeki en büyük engellerden biri tüketici tarafından kabul edilmesindeki güçlüklerdir. Tüketiciler için böceklerden ekstrakte edilen belirli bileşenleri içeren ürünler (örneğin protein tozu veya hidrolize peptitleri içeren ürünler gibi) böcekleri doğrudan tüketmeye oranla daha çok tercih edilmektedir (Wu ve ark., 2021; Zhou ve ark., 2022).

İpekböceği Pupasının Hayvan Beslemede Kullanımı

Hayvan beslemede sürekli artan yem talebini karşılamak için protein açısından zengin alternatif yem kaynaklarının araştırılması ve kullanımı hep gündemde olmuştur. Hayvan yemi olarak böceklerin yaygın kullanımı 1960'lı yıllarda başlamıştır (Ordenez-Araque ve ark., 2022). İpekböceği pupalarında proteinlerin, esansiyel amino asitlerin ve yağ asitlerinin yüksek düzeyde bulunması hayvan beslemede kullanılmasına yönelik ilgiyi artırmıştır. İpekböceği pupaları uzun zamandır Asya ülkelerinde hayvan beslemede kullanılmaktadır. Ayrıca Avrupa Birliği ülkelerinde de hem su ürünleri beslemesinde hem de kanatlı ve domuz gibi çiftlik hayvanları beslemesinde ipekböceği pupalarının kullanımına birkaç yıl önce izin verilmiştir. İpekböceği pupaları, hayvan beslemede yaygın kullanılan soya fasulyesi küspesi veya balık unu gibi geleneksel protein kaynaklarının yerini daha düşük maliyetle alabilecek yem kaynağı olarak değerlendirilmektedir. İpekböceği pupalarının kanatlı hayvan türleri, su ürünleri (balık türleri, karides vb.) geniş getiren hayvan türleri ve pet hayvanları beslenmesinde kullanılmasına yönelik çok sayıda araştırma yapılmıştır (Shakoori ve ark., 2013; Asimi ve ark., 2017; Sheikh ve ark., 2018; Habeanu ve ark., 2023; Mahanta ve ark., 2023).

İpekböceği pupası toksik bileşenler içermemektedir. Ancak hayvan besleme rasyonlarında yüksek yağ içeriği nedeniyle yaygın olarak yağı alınmış ipekböceği pupa unu kullanılmaktadır. Yağı alınmış pupa ununda ise protein oranı % 70-80 e ulaşırken, yağ oranı % 4' e kadar düşmektedir (Kim ve ark., 2016; Anoothatho ve ark., 2019; Felix ve ark., 2020). İpekböceği pupa unu, balık unundan biraz daha düşük kaliteye sahip, değerli ve daha ucuz bir alternatif protein kaynağıdır. İpekböceği pupa unu en yaygın balık beslemede kullanılmaktadır. Özellikle sazan, alabalık türleri gibi havuzlarda beslenen balıkların beslenmesinde başarı ile kullanılmaktadır. Kanatlı, domuz, büyükbaş ve küçükbaş hayvan beslemede rasyondaki balık unu miktarı azaltılarak, ipekböceği pupa unu ikame edilmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Benzer şekilde ipekböceği pupa unu kedi ve köpek mamalarının üretiminde de kullanılmaktadır (Ioselevich ve ark., 2004; Medhi ve ark., 2009; Jintasataporn, 2012; Sheikh ve ark., 2018).

İpekböceği Pupasının Gübre Olarak Kullanımı

Kozalardan ipek çekimi sonucunda ortaya çıkan ipekböceği pupaları tarımsal ürünlerden daha yüksek verim elde etmek için gübre ve kompost olarak da kullanılmaktadır. Kozalar çekildikten sonra artık ürün olarak ortaya çıkan pupalar çok yaş oldukları için kurutulmuş ve öğütülerek doğrudan toprağa serpilmekte, saksı toprakları ile karıştırılmakta veya kompost yapımında kullanılmaktadır. Kurutulmuş ipekböceği pupaları % 8 oranında nitrojen ve birçok makro ve mikro besin maddelerini içermektedir. İpekböceği pupası da katılarak yapılan kompostun, dut ağaçlarında hem büyüme hem de verim özelliklerini önemli ölçüde arttırdığı saptanmıştır (Priyadharshini ve ark., 2017; Priyadharshini ve Swathiga, 2021; Sharma ve ark., 2022).

İpekböceği Pupasının Farmakoloji ve Diğer Alanlarda Kullanımı

İpekböceği pupaları, uzun yıllardan beri geleneksel Çin tıbbında, bakteri oluşumunun azaltılması, karaciğerin korunması, bağışıklık sisteminin güçlendirilmesi, kan basıncının düşürülmesi, kan şeker ve lipid düzeyinin düzenlenmesi gibi çeşitli amaçlarla kullanılmıştır (Ratcliffe ve ark., 2011). İpekböceği pupasında, yüksek düzeyde protein, yağ, esansiyel amino asitler ve yağ asitlerinin bulunmasının yanı sıra çeşitli biyoaktif bileşenler içeren polisakkaritler (kitin ve diğerleri), peptitler, polifenoller gibi metabolitler de bulunmaktadır. Günümüzde yapılan deneysel çalışmalarda ipekböceği pupalarında bulunan bioaktif bileşenlerin kalp damar sistemini koruyucu, karaciğeri koruyucu, bağışıklık sistemini düzenleyici, antitümör, antioksidan, antibakteriyal etkiler gibi insan sağlığı üzerinde önemli olumlu etkilere sahip olabileceği gösterilmiştir (Sadat ve ark., 2022; Zhou ve ark., 2022; Habeanu ve ark., 2023; Mahanta ve ark., 2023). İpekböceği pupalarının çeşitli farmakolojik etkiler gösteren bileşikler içermesine ek olarak kısa sürede büyük miktarlarda düşük maliyetle üretilebilir olması da ilaç ve diğer sağlık ürünlerinin üretiminde kullanılabilecek umut verici bir kaynak olmasını sağlamaktadır. Ancak ipekböceği pupalarının sağlık sektöründe kullanımı sınırlayan faktörler de bulunmaktadır. Kozalardan ipek ipliği üretildikten sonra elde edilen ipekböceği pupaları su içeriği çok yüksek organik bir materyaldir ve çürüme ve mikrobiyal bozulmaya karşı hassastır. Pupalарın uygun şekilde toplanması, yabancı maddelerden ayrıştırılması, kurutulması, muhafaza edilmesi ve ayrıca pupa içerisinde bulunan bioaktif maddelerin standart yöntemlerle ekstraksiyonları, saflaştırılmaları ve yapısal özelliklerinin tanımlanmaları gerekmektedir. İpekböceği pupalarında bulunan bioaktif maddelerin etki mekanizmalarına ilişkin mevcut araştırmalar yeterli değildir ve bu çalışmalар yalnızca in vitro ve sınırlı hayvan deneyleri düzeyinde kalmıştır. İpekböceği pupalarında bulunan bioaktif maddelerin etki mekanizmalarını doğrulayacak ayrıntılı klinik araştırmalara gereksinim duyulmaktadır (Reddy ve ark., 2021; Wu ve ark., 2021; Habeanu ve ark., 2023).

Pupa proteinleri ve peptitleri

İpekböceği pupaları yüksek düzeyde protein içermektedir. Yağı alınmış kuru pupa ununda protein oranı % 70-80 düzeyine ulaşabilmektedir. Günümüzde çeşitli yöntemlerle ipekböceği pupalarından peptidler ve polifenoller izole edilebilmekte ve bu maddelerin etkileri de in vitro koşullarda ve bazı hayvan deneylerinde test edilmektedir. Proteinlerin saflaştırılması ve daha fazla aktif peptitlerin elde edilmesi tıbbi uygulamalar için öncelikli bir aşamadır. Son yıllarda, Çin'de yağı alınmış ipekböceği pupa proteinlerinden elde edilen bileşik amino asitleri içeren toplam 11 ürün Çin Sağlık Bakanlığı ve Devlet Gıda ve İlaç İdaresi tarafından onaylanmış ve Çin pazarında ticari olarak satışı sunulmuştur (Wu ve ark., 2021; Zhou ve ark., 2022). Yapılan çalışmalarda ipekböceği pupa proteinleri ve hidrolize peptitlerinin kanser oluşumunu önleme, bakteri gelişimini önleme, kan basıncını düşürme, kan şeker ve yağ düzeyini azaltma, antioksidan etki gösterme, hücre yaşlanmasını azaltma gibi çok önemli etkilerinin olabileceği gösterilmiştir (Reddy ve ark., 2021; Wu ve ark., 2021; Sadat ve ark., 2022; Zhou ve ark., 2022; Mahanta ve ark., 2023).

Pupa yağı

Kurutulmuş ipekböceği pupaları yüksek oranda yaklaşık % 30 düzeyinde yağ içermektedir. İpekböceği pupasından elde edilen yağ, yüzde 70' den fazla doymamış yağ

asitleri, özellikle de yüksek düzeyde alfa-linolenik asit ve oleik asit içermektedir. İpekböceği pupaları kurutulmakta, ekstraksiyon, rafinasyon gibi işlemlerden geçirilerek saf, kokusuz, açık renkli pupa yağı elde edilebilmekte ve gıda, kozmetik, sağlık gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. İlaç endüstrisinde pupa yağının iltihap ve enfeksiyon önleyici ve lenfatik dolaşımı uyarıcı etkilerinden faydalanılmaktadır. Çin ve Japonya’da pupa yağı kullanılarak geliştirilmiş iki ilaç satışa sunulmuştur (Tomotake ve ark., 2010; Kumar ve ark., 2021; Tassoni ve ark., 2022; Habeanu ve ark., 2023). Hayvanlarda yapılan çalışmada pupa yağının lipit metabolizmasını düzenlediği ve karaciğer yağlanmasını azalttığı saptanmıştır (Liao ve ark., 2023). Ayrıca pupa yağ asitlerinin kalp damar hastalıkları üzerinde özellikle kalp krizi riskini azaltmada yararlı etkileri olabileceği belirtilmiştir (Kim ve ark., 2020). İpekböceği pupa yağı, krem, pudra, nemlendirici, losyon, deodorant, tonik ve sabun gibi birçok kozmetik ürünün üretiminde kullanılmaktadır. Pupa yağı ayrıca tekstil (jüt, ipek sanayi), boya, vernik, mum, plastik sektöründe de farklı amaçlarla kullanılabilir (Priyadharshini ve ark., 2017; Sharma ve ark., 2022).

Kitin

Kitin, böcekler, örümcekler, yengeçler, karidesler gibi eklem bacaklıların dış iskeletlerinde ve kabuklularda bulunan azotlu bir polisakkarittir. İpekböceği pupa derisi, pupa kuru ağırlığının yaklaşık % 4’ü düzeyinde kitinden oluşmaktadır. Kitinin birçok türevi bulunmaktadır ve bunlar arasında en önemlisi kitinden deasitle edilen kitosan’ dır. Kitin ve kitosan türevleri gıda, kozmetik, tarım, tıp, tekstil, kâğıt ve arıtma olmak üzere çeşitli sektörlerde geniş kullanım alanı bulmuştur. Kitin ve kitosan türevleri farmakolojide de ameliyat sonrası yaraların iyileştirilmesinde, bakteri ve mantar gelişiminin önlenmesinde, ilaç salınımının düzenlenmesinde ve kontak lens yapımında kullanılmaktadır (Singh ve Jayasomu, 2002; Ahamed ve Satry, 2011, Priyadharshini ve ark., 2017; Sadat ve ark., 2022).

Sonuç

İpekböceği yetiştiriciliği, binlerce yıldır yapılan ve özellikle kırsal alanda yaşayan insanlar için gelir ve istihdam kaynağı olan tarımsal bir faaliyettir. Dut ağaçlarının azalması ve ekonomik sebeplerden dolayı son yıllarda hem dünya hem de ülkemiz ipekböceği yetiştiriciliğinde gerileme yaşansa da ipek üretim sürecinde ortaya çıkan yan ürünlerin (dışkı, pupa, serizin vb.) bilimsel ve teknolojik gelişmeler ışığında gübre, yem, gıda, ilaç, kozmetik gibi sektörlerde katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülme çabalarının ipek üretiminin artırılmasına katkı sağlayacağı beklenmektedir.

İpekböceği yetiştiriciliği ülkemizde 1500 yıldan beri geleneksel olan yapılan kültürel boyutu da önemli olan tarımsal bir faaliyettir. Sürekli kamu desteğine karşın, ülkemizde yıllara göre değişimle birlikte yaklaşık 25 ton ham ipek üretilmektedir (Şahan, 2011). Dolayısıyla yan ürün olarak yaklaşık 50 ton pupa ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde de gübre ve yem olarak değerlendirilme potansiyeli olan pupaların katma değeri daha yüksek fonksiyonel ürünlere dönüştürülmesine yönelik çalışmaların yapılması, ülkemiz ipekböcekçiliğinin gelişmesine önemli katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak, dünya nüfusunun yaklaşık 1/3’ünü oluşturan ve dünya ipek üretiminin % 95’ini üreten Çin ve Hindistan’da ipekböceği yan ürünlerini ve özellikle pupaları kullanarak sağlık, kozmetik, biyoteknoloji gibi farklı alanlarda katma değeri

yüksek ürünlere dönüştürme çabaları ipekböceği yetiştiriciliğini sadece ipek lifi üretmenin ötesine taşımaktadır.

Kaynaklar

- Ahamed, M. I. S., Satry, T. P., 2011. Wound dressing application of chitosan based bioactive compounds. *International Journal of Pharmacy and Life Sciences*, 2(8): 991-996.
- Akande, A. O., Jolayemi, O. S., Adelugba, V. A., Akande, S. T., 2020. Silkworm pupae (*Bombyx mori*) and locusts as alternative protein sources for high-energy biscuits. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23: 234–241.
- Akbay, R. 1986. Arı ve İpekböceği Yetiştirme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 956, Ders Kitabı: 276.
- Anonim, 1997. İpekböceği ve Dutçuluk. Bursa, İpekböceği Araştırma Enstitüsü Yayınları, 97.
- Anoothatho, S., Therdtai, N., Ritthiruangdej, P., 2019. Characterization of protein hydrolysate from silkworm pupae (*Bombyx mori*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 43: e14021.
- Araujo, L. M., Filho, N. A. R., Riedi, C. A., 2014. Respiratory allergy to moth: The importance of sensitization to *Bombyx mori* in children with asthma and rhinitis. *Jornal de Pediatria*, 90(2): 176–181.
- Asimi, O.A., Bhat, T.H., Nasir, H., Irfan, K., 2017. Alternative source of protein “silkworm pupae” (*Bombyx mori*) in coldwater aquaculture. *International Journal of Poultry and Fisheries Sciences*, 1: 1–4.
- Bhattacharyya, P., Jha, S., Mandal, P., Ghosh, A., 2016. Artificial diet based silkworm rearing system-A Review. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 4(6): 114-122.
- FAO, 1987. Silk Worm Rearing. FAO, United Nations, Rome, 2: (15) 2.
- Felix, M., Bascon, C., Cermeno, M., Fitz Gerald, R.J., de la Fuente, J., Carrera-Sanchez, C., 2020. Interfacial / foaming properties and antioxidant activity of a silkworm (*Bombyx mori*) pupae protein concentrate. *Food Hydrocolloids*, 103: 105645.
- Feng, Y., Chen, X. M., Zhao, M., He, Z., Sun, L., Wang, C.Y., Ding, W. F., 2018. Edible insects in China: Utilization and prospects. *Insect Science*, 25: 184–198.
- Gier, S., Verhoeckx, K., 2018. Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, 100: 82–106.
- Habeanu, M., Gheorghe, A., Mihalcea, T., 2023. Nutritional value of silkworm pupae (*Bombyx mori*) with emphases on fatty acids profile and their potential applications for humans and animals. *Insects*, 14 (3): 254.
- Imathiu, S., 2020. Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal*, 18: 1–11.
- INSERCO, 2021. International Sericultural Commission, INSERCO, 2021 Statistics.
- Ioselevich, M., Steingab, H., Rajamurodov, Z., Drochner, W., 2004. Nutritive value of silkworm pupae for ruminants. *VDLUFA, Qualitätssicherung in landwirtschaftlichen Produktionssystemen*, Rostock, 116: 108.
- Ji, K. M., Zhan, Z. K., Chen, J. J., Liu, Z. G., 2008. Anaphylactic shock caused by silkworm pupa consumption in China. *Allergy*, 63(10): 1407-1408.

- Jintasataporn O., 2012. Production performance of broiler chickens fed with silkworm pupa (*Bombyx mori*). *Journal of Agricultural Sciences and Technology*, 2: 505-510.
- Kim, S.K., Weaver, C.M., Choi, M.K., 2016. Proximate composition and mineral content of five edible insects consumed in Korea. *CyTA—Journal of Food*, 15 (1): 143–146.
- Kim, Y.J., Lee, K.P., Kim, Y.T., Aek, S., Yoon, M.S., 2020. Inhibitory effect of modified silkworm pupae oil in PDGF-BB-induced proliferation and migration of vascular smooth muscle cells. *Food Science and Biotechnology*, 29:1091-1099.
- Kumar, R.V., Srivastava, D., Kumar, U., Kumar, M., Singh, P., 2021. Bioprospecting of omega-3 fatty acid from silkworm pupal oil: From molecular mechanism to biological activities. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 10: 495–506.
- Lepski, S., Brockmeyer, J., 2013. Impact of dietary factors and food processing on food allergy. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(1):145–152.
- Liao, A.M., Zhang, J., Thakur, K., Zhang, J.G., Wei, Z.J., 2023. Beneficial effects of silkworm (*Bombyx mori*) pupal oil on serum and hepatic lipid parameters in high fat diet fed rats. *Journal of Insects as Food and Feed*, 9 (1): 109–118.
- Liu, Z., Xia, L., Wu, Y., Xia, Q., Chen, J., Roux, K. H., 2009. Identification and characterization of an arginine kinase as a major allergen from silkworm (*Bombyx mori*) larvae. *International Archives of Allergy and Immunology*, 150 (1): 8–14.
- Mahanta, D.K., Komal, J., Samal, I., Bhoi, T.K., Dubey, V.K., Pradhan, K., Nekkanti, A., et al., 2023. Nutritional aspects and dietary benefits of “Silkworms”: Current scenario and future outlook. *Frontiers in Nutrition*, 10:1121508.
- Medhi, D., Nath, N.C., Gohain, A.K., Bhuyan, R., 2009. Effect of silk worm pupae meal on carcass characteristics and composition of meat in pigs. *Indian Veterinary Journal*, 86:816-818.
- Mitsuhashi J., 1997. Insects as traditional foods in Japan. *Ecology of Food and Nutrition*, 36:187-199.
- Ordóñez-Araque, R., Quishpillo-Miranda, N., Ramos-Guerrero, L., 2022. Edible insects for humans and animals: Nutritional composition and an option for mitigating environmental damage. *Insects*, 13(10): 944.
- Patil, S.R., Amena, S., Vikas, A., Rahul, P., Jagadeesh, K., Praveen, K., 2013. Utilization of silkworm litter and pupal waste-an eco-friendly approach for mass production of *Bacillus thuringiensis*. *Bioreserch Technology*, 131: 545–547.
- Paul, D., Dey, S., 2014. Essential amino acids, lipid profile and fat-soluble vitamins of the edible silkworm *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 34: 239–247.
- Priyadarshini, P., Maria Joncy, A., Saratha, M., 2017. Industrial utilization of silkworm pupae – A review. *Journal of International Academic Research for Multidisciplinary*, 5(7): 62-70.
- Priyadarshini, P., Swathiga, G., 2021. Value addition of silkworm pupae. *Just Agriculture*, 2(1): 1-8.
- Ratcliffe, N. A., Mello, C. B., Garcia, E. S., Butt, T. M., Azambuja, P., 2011. Insect natural products and processes: New treatments for human disease. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 41(10):747–769.

- Reddy, R., Jiang, Q., Aramwit, P., Reddy, N., 2021. Litter to leaf: The unexplored potential of silk byproducts. *Trends in Biotechnology*, 39 (7): 706-717.
- Sadat, A., Biswas, T., Cardoso, M., Mondal, R., Ghosh, A., Dam, P., et al., 2022. Silkworm pupae as a future food with nutritional and medicinal benefits. *Current Opinion in Food Science*, 44:100818.
- Shahzadi, N., Tahir, H.M., Ali, S., Bhatti, M.F., Azizullah Khan, S.Y., Khaliq, A., 2022. An overview of sericulture and enhanced silk production in *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae) through artificial diet supplementation. *Punjab University Journal of Zoology*, 37(1): 07-17.
- Shakoori, M., Gholipour, M., Naseri, S., 2013. Effect of replacing dietary fish meal with silkworm (*Bombyx mori*) pupae on hematological parameters of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Comparative Clinical Pathology*, 24: 139–143.
- Sharma, P., Bali, K., Sharma, A., Gupta, R.K., Attri, K., 2022. Potential use of sericultural by products: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 11(8): 1154-1158.
- Sheikh, I.U., Banday, M.T., Baba, I.A., Adil, S., Nissa, S.S., Zaffer, B., Bulbul, K.H., 2018. Utilization of silkworm pupae meal as an alternative source of protein in the diet of livestock and poultry: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(4): 1010-1016.
- Singh, K.P., Jayasomu, R.S., 2002. *Bombyx mori* – A review of its potential as a medicinal insect. *Pharmaceutical Biology*, 40 (1): 28-32.
- Stobernack, T., Zarske, M., Niedzwiecka, A., Zagon, J., Steinhilber, A., Poetz, O., Herfurth, U.M., 2023. LC-MS-based detection of silkworm pupae in feed with and without prior immunoaffinity enrichment. *Journal of Insects as Food and Feed*, 9(4): 463-474.
- Şahan, Ü. 2011. İpekböcekçiliği. Bursa, Dora Yayıncılık Ltd. Şti.
- Tassoni, L., Cappellozza, S., Dalle Zotte, A., Belluco, S., Antonelli, P., Marzoli, F., Saviane, A., 2022. Nutritional composition of *Bombyx mori* pupae: A systematic review. *Insects*, 13 (7): 644.
- Tomotake, H., Katagiri, M., Yamato, M., 2010. Silkworm pupae (*Bombyx mori*) are new sources of high quality protein and lipid. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 56: 446–448.
- Valerie, H., Tran, G., Giger-Reverdin, S., Lebas, F., 2015. Silkworm pupae meal. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO.
- Verhoeckx, K. C. M., Vissers, Y. M., Baumert, J. L., Faludi, R., Feys, M., Flanagan, S., et al., 2015. Food processing and allergenicity. *Food and Chemical Toxicology*, 80: 223-240.
- Wu, X., He, K., Velickovic, TC., Liu, Z., 2021. Nutritional, functional, and allergenic properties of silkworm Pupae. *Food Science & Nutrition*, 9:4655–4665.
- Xiang, Z., Huang, J., Xia, J., Lu, C., 2005. *Biology of Sericulture*. Beijing, China, China Forestry Publishing House.
- Ying, L.Y., Seng, N.S.S., Mustapha, W.A.W., Razalli, N.S.M., 2022. . Physicochemical characteristics and microbiological quality of silkworm (*Bombyx mori*) larval and pupae powder: Comparative study. *Sains Malaysiana*, 51(2): 547-558.
- Yhoun-Aree, J., Puwastien, P., Attig, G.A., 1997. Edible insects in Thailand: An unconventional protein source. *Ecology of Food and Nutrition*, 36:133-149.

- Zhou, J., Han, D., 2006. Safety evaluation of protein of silkworm (*Antheraea pernyi*) pupae. Food and Chemical Toxicology, 44(7): 1123–1130.
- Zhou, Y., Zhou, S., Duan, H., Wang, J., Yan, W., 2022. Silkworm pupae: A functional food with health benefits for humans. Foods, 11 (11): 1594.