

SİYAH ASKER SİNEĞİNİN (*Hermetia illucens* L.) BİYODİZEL KAYNAĞI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. M. Emin BİLİGİLİ

Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, eminbilgili@gmail.com (sorumlu yazar)

Dr. Öğr. Üyesi Seyithan SEYDOŞOĞLU

Siirt Üniversitesi, seyithanseydosoglu@siirt.edu.tr

Dr. Uğur SEVİLMİŞ

Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, sevilmisugur@yahoo.com

Dr. Yasemin VURARAK

Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, yasemin.vurarak@tarim.gov.tr

ÖZET

Dünyanın en büyük biyokütlelerinden biri böceklerdir ve bir böcek türü olan siyah asker sineği (*Hermetia illucens* L.) son yıllarda dikkati üzerine çekmiştir. Bu tür gıda ile rekabet etmeden, küresel ölçekte önemli bir çevresel sorun halinde olan hayvan gübresi ve sebze atıkları gibi organik atıkları, larva aşamasında iken %32-58 oranda protein ve %15-40 oranında yağa dönüştürme özelliğine sahiptirler. Larvaların işlenmesi sonucu ortaya çıkan hücre döküntülerinin kanatlılar ve balıkların yemine karıştırıldığında ikame yağlı tohumlardan elde edilen proteinlerin yerini başarıyla doldurabildiği farklı ülkelerde yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur. Larvaların işlenmesi sonrası oluşan yağdan %90 verimle elde edilen biyodizelin ise yürütülmüş çalışmalarda ASTM D6751 ve EN 14214 biyodizel standartlarına uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu derleme, temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak siyah asker sineği biyodizeli konusunda yapılmış uluslararası çalışmaların değerlendirilmesini yapmak ve farkındalık oluşturmak amacıyla hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Siyah Asker Sineği, larva, yağ, biyodizel

EVALUATION OF BLACK SOLDIER FLY (*Hermetia illucens* L.) AS A BIODIZEL SOURCE

ABSTRACT

One of the largest biomass in the world is insects, and an insect species named black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) is taking attention in recent years. This species have the ability to convert organic wastes such as animal manure and vegetable wastes, which are an important environmental

problem on a global scale, to protein and protein content of 32-58% and 15-40%, while they are at larval stage, without competing with food. It has been shown in different countries that cell debris resulting from the processing of larvae can successfully replace the proteins obtained from substitute oil seeds when mixed with poultry and fish feed. The biodiesel obtained from the oil obtained after processing the larvae in 90% yield was found to comply with ASTM D6751 and EN 14214 biodiesel standards. This review has been prepared to evaluate the international studies on black soldier fly biodiesel in terms of a clean renewable energy source and to raise awareness.

Keywords: Black Soldier Fly, larva, fat, biodiesel.

GİRİŞ

Fosil kökenli yakıt rezervlerinin tükeniyor olması ve bu yakıtların atmosferin karbondioksit düzeyine etki etmekle birlikte birçok çevresel sorunlara neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle alternatif ve sürdürülebilir enerji araştırmalarını ortaya koymaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının yenilenebilir, çevreci ve ülke topraklarından temin edilebilir olması, enerjisinin 3/4'ünü ithal eden Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için önem arz etmektedir. Dolayısıyla hayvansal ve bitkisel yağlar çözüm fırsatı sunmaktadırlar. Dizel motorlarda kullanılabilen alternatif yakıtların en önemlisi biyodizeldir. Çevreci ve ekonomik olması nedeniyle biyodizel üretimi önemlidir.

Biyodizel, bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan veya geri dönüştürülmüş restoran yağlarından yapılmış bir alternatif yakıt şeklidir. Ticari olarak biyodizel hammaddeleri kolza tohumu, soya, hurma, ayçiçeği vb. den elde edilen yağlardır. Fakat bunlar gıda olarak da temel gereksinimler arasındadır. Hammadde maliyeti biyodizelin üretilmesinde önemli bir ekonomik faktördür (Tilman ve ark., 2009). Dünyanın en büyük biyokütlelerinden biri olarak kabul edilen böcekler dünyanın her köşesinde bulunmaktadır (Liu ve ark., 2007).

Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi süreci, bu yağların yağ asidi içeriği, biyodizel oksidatif stabilitesi, hayvansal yağların biyodizelinin yüksek setan sayısı değeri, düşük sülfür içeriği ve bazı maddelerin kapsamı gibi konularda çalışılması hergeçen gün önem kazanmaktadır.

Siyah Asker Sineği Larvaları (SASL), atıkları en hızlı biyodizele dönüştürülmesinde ve verimli hale getirilmesinde etkinliği yüksek olan bir böcektir. SASL biyodizeli mineral yakıtlara göre daha düşük CO₂ üretmektedir. Türkiye'de EPDK (Enerji Piyasası Denetleme Kurulu) motorine en az %0.5 biyodizel harmanlamasını 2018 yılı itibariyle zorunlu kılmıştır. Türkiye'de yıllık motorin tüketimi 29.10⁶ m³ olup bunun için 145.10³ m³ biyodizele ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir.

Bu derlemenin amacı, konu araştırmalarına, SASL biyoyakıtı dönüştürülmesi, elde edilen yakıtın özellikleri, kullanım alanları, standartları ve çevresel etkisi konusunda uluslararası alanda yapılmış çalışmaların bir özeti sunmaktadır.

SİYAH ASKER SİNEĞİ (SAS) LARVALARININ ÜRETİMİ

SAS larvalarının doğal besinleri; hayvan gübrelere, meyve ve sebze atıkları, insan dışkısı ve hayvan leşleridir (Rozkosny, 1983). SASL bu biyoatıkları tüketerek, larva biyokütlesine dönüştürür ve olgunlaşmamış kompost benzeri bir tortuyu geride bırakır (Xiao ve ark., 2018).

Hayvan gübresi (Li ve ark., 2011), çeltik samanı (Zheng ve ark., 2012a), restoran atıkları (Zheng ve ark., 2012b) ve mısır koçanı (Li ve ark., 2015) ile beslenen SASL kullanılarak biyodizel üretiminin yapılabileceği rapor edilmiştir. Sheppard ve ark. (1994) Siyah Asker Sineği (*Hermetia illucens* L.) gıda ile rekabet etmeden organik atıkları faydalı ürünlere, Live ark. (2011) organik atıklar içindeki çoğu besin ve enerjiyi SAS biyokütlesine dönüştürme potansiyeline sahip olduklarını bildirmişlerdir. İlk olarak, SAS organik atıklara güçlü sindirim enzimleri salgılar, sonrasında karmaşık organik malzemeler çözülebilir organik moleküllere (şeker, amino asitler ve yağ asitleri) dönüşür, çözünür organik moleküller SAS yağına dönüşür ve daha sonra biyodizel üretimi için yağ çıkarılır. Li ve ark. (2011) yeryüzünde atıkları SAS'den daha hızlı ve verimli bir şekilde tüketebilecek hiçbir canlı olmadığını göstermiştir.

Ishak ve Kamari (2019), 20 gün boyunca mutfak atıklarında SASL yetiştirmişlerdir. Sheppard ve ark. (2002); Holmes ve ark. (2012), SASL üretimi için %30-90 arası (%60 ideal) nem ve 27-37 °C arası (27-30 °C ideal) sıcaklığın uygun olduğu bildirilmiştir. Diener ve ark., (2009), 1 m² alanda 2.5 kg kuru madde larva üretilebileceğini ifade etmişlerdir.

Zheng ve ark. (2011), SASL yağından biyodizel elde etmek amaçlı restoran ve gübre atıklarının değerlendirilmesi sonucunda elde edilen biyodizelin bazı özellikleri EN14214 Standartları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 1). Verilen iki biyodizel kaynağı ile standarta uygunluğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. SASL restoran ve gübrede yetiştirilmesine göre biyodizelinin EN14214 standartları bakımından karşılaştırılması

Özellikler	SASL yağı biyodizeli		EN14214
	Restoran atıkları	Gübre	
Yoğunluk(kg/m ³)	860	885	860-900
Viskozite at 40 °C (mm ² /s)	4.9	5.8	3.5-5.0
Sülfür içeriği (Ağırlıkça %)	-	-	0.02 max.
Ester içeriği (%)	96.9	97.2	96.5
Su içeriği (mg/kg)	0.02	0.03	0.03 max.
Parlama noktası (°C)	128	123	120 min.
Setan sayısı	58	53	51 min.
Asit sayısı (mg KOH/g)	0.6	1.1	0.5 max.
Damıtma sıcaklığı (°C)	360	360	-

SAS LARVALARININ BİYODİZEL DIŞI KULLANIMI

SAS larvasının biyokütlesi, %32-58 protein ve % 15-39 yağ (kuru ağırlık) içerir; ki bu durum onları kümes hayvanları, memeliler, balık, evcil hayvanlar ve biyoyakıtlar için hayvan yemi üretiminde değerli kılar (Barragan-Fonseca ve ark., 2017; Wang ve Shelomi, 2017; Bosch ve ark., 2014; Surendra ve ark., 2016). SASL yağ ekstraksiyonundan sonraki hücre döküntüleri, suda yaşayan hayvanların, kümes hayvanlarının ve çiftlik hayvanlarının yetiştirilmesi için yüksek proteinli bir yem olarak kullanılabilir (Li ve ark., 2011). Böceklerle ilgili, karasal ve sucul hayvanlar için yem içerik maddesi olarak ilgi her geçen yıl artmaya devam etmekte ve artan sayıda bilimsel makaleler yayınlanmaktadır (Vargas-Abúndez ve ark., 2019). AB, ABD, Kanada, Meksika, Avustralya, Çin, Güney Afrika, Kenya ve Uganda belirli koşullar altında yem üretimi için SASL kullanımına izin vermeye başlamıştır (EC, 2017; KEBS, 2017; UNBS, 2017).

SAS LARVALARININ YAĞ ÖZELLİKLERİ

Li ve ark. (2011) Böcek yağının doymuş yağ asidinin yüksek olması nedeniyle böcek yağından türetilen biyodizelin viskozitesi yüksektir. SAS larvaları, %20-40 yağ içerir (Dierenfeld ve King, 2008; Ooninx ve ark., 2015). SASL, kinematik viskozite, kalorifik değer, oksidasyon kararlılığı gibi arzu edilen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip, büyük miktarda doymuş yağ asidini (C18 ve C16) biriktirebilirler (Manzano-Agugliaro, 2012).

Hayvansal ve balık yağlarından biyodizel elde etme sürecinde uygulanan standart yöntemler Mata ve ark. (2014) tarafından belirlenmiş ve Tablo 2’de verilmiştir. Bu standart yöntemi 10 metoddan oluşmaktadır.

Tablo 2. Hayvansal yağlar ve balık yağının biyodizel karakterizasyonu için uygulanan standart yöntemler

Parametreler	Metod
1. Asid değeri	Titrimetric method, ISO 14104:2011 standard
2. İyot değeri	Titrimetric method with Wijs reagent, EN 14111:2009 standard
3. Kinematik viskosite	Glass capillary viscometers Cannon-Fenske Series 200, ISO 3104:1994
4. Yoğunluk	Hydrometer method, EN ISO 3675:1998 standard
5. Su içeriği	Karl Fischer coulometric titration, NP EN ISO 12937:2003 standard
6. Parlama noktası	Rapid equilibrium closed cup method, ISO 3679:2004 standard
7. Bakır korozyonu	Copper strip test, ISO 2160:1998 standard
8. CFPP	Standardized filtration equipment, EN 116:2002 standard
9. FAME içeriği	Gas chromatography (GC), EN 14103:2010 standard
10. Üst ısııl değeri	Oxygen bomb calorimeter, ASTM method D240-87

Kumar ve ark. (2006) ise dizel ve biyodizel kaynağı olan hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilen yakıtların bazı özellikleri belirlemişlerdir. Bu özellikler Tablo 3’ te verilmiştir.

Tablo 3. Dizel, hayvansal yağ ve bitkisel yağların özellikleri

Özellikler	Diezel	Hayvansal yağ	Bitkisel yağ
Yoğunluk (kg/m ³)	840	920	904
Alt ısııl değer (kJ/kg)	42.490	39.770	37.000
Viskosite (10 ⁻⁶ m ² /s) de 30°C	4.59	45	40
Karbon (% kütlece)	84-87	73	77.6
Hidrojen (% kütlece)	13-16	12.3	11.6
Oksijen (% kütlece)	00	12.5	10.8
Sülfür (% kütlece)	0.29	0.0	0.0
Yağ asidi bileşimi			
Oleik asit (%kütlece)		42.1	64.1
Palmitik asit (kütlece %)		22.7	3.5
Linoleik asit (kütlece%)		17.1	22.3
Palmitoleik acid (kütlece%)		8.3	0.1
Stearik asit (kütlece%)		5.4	0.9

SAS LARVALARININ BİYODİZEL ÜRETİM SÜRECİ

Surendra ve ark. (2016) Böcekler, yüksek yağ içeriği, kısa ömür döngüleri ve yüksek üreme hızları nedeniyle biyodizel üretimi için hammadde kaynağı olarak büyük ilgi gördüğünü, Li ve ark. (2015) bu böcekler lignoselülozik biyokütle dâhil çeşitli organik atıkları bozabildiğini, Nguyen ve ark (2017) elde edilen biyodizelin yakıt özelliklerinin EN 14214 Avrupa biyodizel standardının özelliklerini karşıladığı gösterilmişlerdir. SAS larvasından geleneksel yöntemle biyodizel üretimi birkaç aşama içerir. Bunlar, biyokütle kurutma, ezme, yağ çıkarma, arıtma ve transesterifikasyondur (Nguyen ve ark., 2017). Bununla birlikte, yağın oleojen biyokütleden ekstrakte edilmesi ve ardından yağ rafine edilmesi pahalıdır (Cui ve Liang, 2014), yüksek miktarda enerji tüketir (Jazzar ve ark., 2015) ve düşük biyodizel verimi ile sonuçlanır (Zeng ve ark., 2008). Bu engellerin aşılması için, daha az aşama içeren bir yöntem olarak doğrudan transesterifikasyon önerilmiştir (Ma ve ark., 2015). Bu yöntem, mikroalg (Religia ve Wijanarko, 2015), mantar (Kakkad ve ark., 2015) ve yağlı tohumlar (Singh ve ark., 2017) için başarıyla kullanılmıştır.

Wang ve ark. (2017) çalışmalarında, elde edilen böcek lipidinin gaz kromatografisi kütle spektrumları, bileşiminde %22.54 oleik, %12.67 linoleik ve %6.45 palmitoleik asit göstermiştir. SAS larvalarının böcek yağ asitleri profilinin yaygın biyodizel besleme stoklarıyla karşılaştırılması, böceğin biyodizel üretimi için uygun olduğunu göstermiştir. Feng ve ark. (2018) çalışmalarında, çözücü içinde lipitlerin difüzyonunun, ekstraksiyon işleminde sınırlama aşaması olduğunu göstermiştir.

Ur Rehman ve ark. (2018) çalışmalarında, SAS biyodizelinin emisyonunun yanmasını, performansını konvansiyonel dizel ile karşılaştırmıştır. Yakıt enjeksiyon zamanını ve yakıt enjeksiyon basıncı artırıldığında SAS biyodizelin eşdeğer yakıt tüketim oranının daha yüksek (245-260 g / kWh) olduğu gözlenmiştir fakat bu oran saf dizel yakıtına kıyasla düşük olmuştur.

Leong ve ark. (2016) çalışmalarında, yağ asidi metil esteri (FAME) olarak biyodizeli, metanolde katalizör olarak sülfürik asit kullanarak SAS larva yağının transesterleştirilmesi yoluyla

sentezlemiştir. Yağ asidinin ana bileşimlerinin C12: 0, C16: 0 ve C18: 1 n9c olduğunu tespit etmişlerdir. Meyve atığı, arıtma çamuru ve hurma atığı ile beslenen C12:0 yağ asidi kompozisyonunun larva lipidinde en fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Elde edilen C12:0, sırasıyla %76.13, %58.31 ve %48.06 olmuştur. Ek olarak, C16:0 yağ asidi arıtma çamuru ve hurma atığı ile besleme sonrası sırasıyla %16.48 ve %25.48 oranında elde etmişlerdir. Bulgulara dayanarak, larva yağından türetilen FAME'in, biyodizel üretimi için kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Nguyen ve ark. (2018a) yürüttükleri çalışmalarında, %96.97'lik maksimum biyodizel verimini, 12 saatlik bir reaksiyon süresinde, 14.64:1 metil asetat/yağa oranında, %17.58 oranında enzim yüklemesinde ve 39.5 °C'lik sıcaklıkta elde etmişlerdir. Bu optimal reaksiyon koşulları altında Novozym 435'i, enzim aktivitesinde bir kayıp olmadan 20 döngüye kadar tekrar kullanılabilir bulmuşlardır. SASL biyodizelinin özelliklerinin tümü EN 14214 Avrupa standardına uygun bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda, SASL yağının metil asetat ile enzimatik interesterifikasyonunun yakıt üretimi için umut verici ve çevre dostu bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir.

Nguyen ve ark. (2018b), test ettikleri çözücülerden biri olan n-heksanın, reaksiyon için en etkili yardımcı çözücü olduğunu, bir yardımcı çözücü olmadan yürütülen reaksiyona kıyasla, biyodizel veriminde 14.5 katlık bir artış sağlandığını tespit etmişlerdir. Bir yardımcı çözücü olarak n-heksan kullanarak yaptıkları doğrudan transesterifikasyonu, daha sonra, biyodizel verimini en üst düzeye çıkarmak için optimize etmişlerdir. %94.14 olan en yüksek biyodizel verimini, 1:2 (v/v) metanol hacim oranı, 12 mL çözücü dozajı, 1.2 mL katalizör yüklemesi, 120 °C sıcaklık ve 90 dakikalık bir reaksiyon süresiyle elde etmişlerdir. SASL biyodizelinin özelliklerini çoğunun - biyodizel yoğunluğu (875 kg/m³), su içeriği (0.03 mg/kg), ester içeriği (%98.3), asit değeri (<0.8mg KOH/g), viskozite (5.2 mm²/s), parlama noktası (121°C) ve setan indeksinin (50) - EN 14214 Avrupa Standardı şartnamelerine uyduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışma, bir yardımcı madde olarak n-heksan kullanılarak yapılan doğrudan transesterifikasyonun SASL'den biyodizel üretimi için umut verici bir yöntem olabileceğini ve üretim maliyetlerini düşürdüğünü göstermiştir.

Ishak ve Kamari, (2019), larvaların yağını çıkardıktan sonra iki aşamalı transesterifikasyonla biyodizele dönüştürmüşlerdir.

Mata ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, hayvansal yağlardan elde edilen biyodizelin özellikleri ile EN14214 limitleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Hayvansal ve balık yağının biyodizel özellikleri

Biodizel özelliği	Tavuk yağı	Sığır içi yağı	Domuz yağı	Sardalya yağı	EN 14214 limitleri
Reaksiyon verim (kütlece %)	76.8	90.8	91.4	89.5	–
Üst ısıl değeri (MJ/kg biodizel)	39.4	40.0	39.9	39.7	–
Yoğunluk 15 °C (kg/m ³)	883	870	872	886	860-900
Kinematik viskozite 40 °C (mm ² /s)	5.85	5.40	4.96	4.33	3.50-5.00
Su içeriği (mg/kg)	1237	585	149	200	≤ 500
İyot değeri (g iodine/100 g biodizel)	76	45	76	163	≤ 120
Asit değeri (mg KOH/g biodizel)	0.32	0.21	0.20	0.20	≤ 0.50
Grup I metaller (Na+ + K+) (mg/kg)	53.5	3.9	39.7	13.0	≤ 5.0
Bakır korozyon (3 h te 50 °C)	1B	1B	1B	1A	class 1
Parlama noktası (°C)	171	172	147	160	≥ 101
CFPP (°C)	+3	+10	+5	-1	≤ +5

Li ve ark. (2011) tarafından yapılan araştırmada, SASL yağından elde edilen biyodizelin kalitesi ile EN14214 standardının karşılaştırılması Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. SASL yağından elde edilen biyodizelin kalite parametreleri ve analizi

Özellikler	EN 14214	SASL Biyodizeli
Yoğunluk (kg/m ³)	860–900	872 ± 0.3
Ester içeriği (%)	96.5	97.2 ± 1.4
Parlama noktası (Kapalı kap) (°C)	120	121 ± 2.6
Su ve tortu (mg/kg)	500	300 ± 3.7
Kinematik viskozite 40 °C (mm ² /s)	2.5–6.0	4.5 ± 0.1
Asit miktarı (mg KOH/g)	0.50	0.8 ± 0.2
Metanol or etanol (m/m)	0.2%	algılanamadı
Damıtma-Distillation	--	91 ± 1.87% den 360 °C

SAS LARVASININ BİYODİZEL STANDARTLARA UYGUMU

Optik polarizasyon mikroskopisi kullanılarak –5 ile +15 °C arasında yaptıkları analizde, iğneye benzer minik kristaller gözlemlenmiştir. Fourier transform kızılötesi spektrumları, siyah asker sineği biyodizelinin, biyodizelin ana fonksiyonel grubu olan metil estere karşılık gelen 1 459 ve 1 435 cm⁻¹'de absorpsiyon bantları olduğunu ortaya çıkarmıştır. Siyah asker sineği larva yağının biyodizele başarılı bir şekilde dönüştürüldüğü ortaya konmuştur. Bu biyodizel, Amerikan Test ve Malzemeler Derneği D6751 ve Avrupa Standardı 14214 ile uyumlu bulunmuştur (Ishak ve Kamari, 2019).

Biyoyakıtın özellikleri, SASL'nın ham vücut sıvısı üstün kalitede biyoyakıt için çok büyük bir potansiyele sahiptir. Her bir parametre için öngörülen analizler ASTM standartlarına göre Tablo 6'da karşılaştırılmıştır (Choudhury ve ark., 2018).

Tablo 6. SASL' den elde edilen biyodizelin analizi

Parametreler	Birim	Biyodizel	Dizel	ASTM Standardı
Yoğunluk	Kg/L	0.864	0.838	0.84 - 0.9
Viskosite	mm ² /s	5.2	1.9 - 4.1	3.5 - 5.0
Parlama nokta	°C	155	60	Min 100
Katılma noktası	°C	-12	-50	- 10 -15
Toplam baz değeri	mg KOH/gm	3.41	10 - 15	2-5
Üst ısıl değer	Mj/Kg	41	40 - 45	-

SONUÇ

Larvaların %30-90 nem ve 25-30 °C koşullarında 3 hafta gibi kısa sürede, 1 m²'de 2-5 kg elde edilebildiği ve işlenmesi sonucu ortaya çıkan hücre döküntülerinin kanatlılar ve balıkların yemine karıştırıldığında ikame yağlı tohumlardan elde edilen proteinlerin yerini başarıyla doldurabildiği söylenebilir. Ayrıca SASL, yüksek oranda protein (%32-58) ve yağa (%15-40) dönüştürme özelliğine sahip olması, larvaların işlenmesi sonrası oluşan yağdan %90 verimle elde edilen biyodizelin ise yürütülmüş çalışmalarda, ASTM D6751 ve EN 14214 biyodizel standartlarına uyumlu olduğu ve temiz bir çevre, yenilenebilir enerji kaynağı ve yerli olması açısından Siyah Asker Sineği biyodizeli faydalı olabileceği tahmin edilmektedir. Yapılan araştırmalara göre bu enerji kaynağının belirgin bir oranda Ülke ekonomisine katkı sağlayabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Barragan-Fonseca, K.B., Dicke, M., Van Loon, J.J 2017. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed-a review. Journal of Insects as Food and Feed, 3(2):105-120.
- Bosch, G., Zhang, S., Oonincx, D. G., Hendriks, W.H 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. Journal of nutritional science, 3.
- Choudhury, A.R., Kumar, A.N, Srinivas, K., Arutchelvan, V., Rao, T.K., Nanduri, R.S., Kumar-Dugyala, S., Goutham-Reddy, M. 2018. Black soldier fly larvae, a viable opportunity for entrepreneurship. Acta Scientific Agriculture 2:(1).
- Cui, Y., Liang, Y 2014. Direct transesterification of wet *Cryptococcus curvatus* cells to biodiesel through use of microwave irradiation. Applied Energy (119):438-444.
- Diener, S., Zurbrugg, C., Tockner, K 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing Optimal Feeding Rates. WMR (27):603-610.
- European Commission (EC), (2017). Commission regulation (EU) 2017/893: amending regulation No 999/2001 and No 142/2011. Off. J. Eur. Union.

- Feng, W., Qian, L., Wang, W., Wang, T., Deng, Z., Yang, F., Wang, C 2018. Exploring the potential of lipids from black soldier fly: New paradigm for biodiesel production (II)-Extraction kinetics and thermodynamic. *Renewable Energy*, (119):12-18.
- Holmes, L.A, Vanlaerhoven, S.L, Tomberlin, J.K 2012. Relative humidity effects on the life history of *hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environ Entomol*, 41(4):971-978.
- Ishak, S., Kamari, A 2019. Biodiesel from black soldier fly larvae grown on restaurant kitchen waste. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2):1143-1150.
- Jazzar, S., Olivares-Carrillo, P., de los Ríos, A.P., Marzouki, M.N., Ación-Fernández, F.G., Fernández-Sevilla, J.M., Quesada-Medina, J 2015. Direct supercritical methanolysis of wet and dry unwashed marine microalgae (*Nannochloropsis gaditana*) to biodiesel. *Applied Energy*, (148):210-219.
- Kakkad, H., Khot, M., Zinjarde, S., RaviKumar, A., Kumar, V. R., Kulkarni, B.D 2015. Conversion of dried *Aspergillus candidus* mycelia grown on waste whey to biodiesel by in situ acid transesterification. *Bioresource Technology*, (197):502-507.
- Kenyan Bureau of Standards (KEBS), 2017. DKS 2711:2017: Dried Insect products for compounding animal feeds - Specification. Nairobi, Kenya.
- Kumar, M.S, Senthil, M., Kerihuel, A., Bellettre, J., Tazerout, M 2006. A comparative study of different methods of using animal fat as a fuel in a compression ignition engine. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. OCTOBER 2006, Vol. 128 / 907-914.
- Leong, S.Y., Kutty, S.R.M., Malakahmad, A., Tan, C.K 2016. Feasibility study of biodiesel production using lipids of *Hermetia illucens* larva fed with organic waste. *Waste Management*, (47):84-90.
- Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z., Zhou, S 2011. From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. *Fuel*, 90(4):1545-1548.
- Li, Q., Zheng, L., Qiu, N., Cai, H., Tomberlin, J. K., Yu, Z 2011. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. *Waste Management*, 31(6):1316-1320.
- Li, W., Li, Q., Zheng, L., Wang, Y., Zhang, J., Yu, Z., Zhang, Y 2015. Potential biodiesel and biogas production from corncob by anaerobic fermentation and black soldier fly. *Bioresource Technology*, (194):276-282.
- Liu, W.C., Bonsall, M.B., Godfray, H.C.J 2007. The form of host density-dependence and the likelihood of host-pathogen cycles in forest-insect systems. *Theoretical Population Biology*, 72(1):86-95.

- Ma, G., Hu, W., Pei, H., Jiang, L., Song, M., Mu, R. 2015. In situ heterogeneous transesterification of microalgae using combined ultrasound and microwave irradiation. *Energy Conversion and Management*, (90):41-46.
- Manzano-Agugliaro, F., Sanchez-Muros, M.J., Barroso, F.G., Martinez-Sanchez, A., Rojo, S., Perez-Banon, C 2012. Insects for biodiesel production. *Renew Sustain Energy* (16):3744-53.
- Mata, T., Mendes, A., Caetano, N., Martins, A 2014. Properties and sustainability of biodiesel from animal fats and fish oil, *Chemical Engineering Transactions*, (38):175-180.
- Nguyen, H.C., Liang, S.H., Chen, S.S., Su, C.H., Lin, J.H., Chien, C.C 2018a. Enzymatic production of biodiesel from insect fat using methyl acetate as an acyl acceptor: optimization by using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, (158):168-175.
- Nguyen, H.C., Liang, S.H., Doan, T.T., Su, C.H., Yang, P.C 2017. Lipase-catalyzed synthesis of biodiesel from black soldier fly (*Hermetica illucens*): Optimization by using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, (145):335-342.
- Nguyen, H.C., Liang, S.H., Doan, T.T., Su, C.H., Yang, P.C 2017. Lipase-catalyzed synthesis of biodiesel from black soldier fly (*Hermetica illucens*): Optimization by using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, (145):335-342.
- Nguyen, H.C., Liang, S.H., Li, S.Y., Su, C.H., Chien, C.C., Chen, Y.J., Huong, D.T.M 2018b. Direct transesterification of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for biodiesel production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, (85):165-169.
- Oonincx, D.G.A.B., Van Huis, A., Van Loon, J.J.A 2015. Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(2): 131-139.
- Religia, P., Wijanarko, A 2015. Utilization of n-hexane as co-solvent to increase biodiesel yield on direct transesterification reaction from marine microalgae. *Procedia Environmental Sciences*, (23):412-420.
- Rozkosny, R 1983. *A Biosystematic Study of the European Stratiomyidae (Diptera): Volume 2- Clitellariinae, Hermediinae, Pachygasterinae and Bibliography (Vol. 25)*. Springer Science & Business Media.
- Sheppard, D.C, Tomberlin, J.K., Joyce, J.A., Kiser, B.C., Sumner, S.M 2002. Rearing methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *J Med Entomol*, 39(4):695-698.
- Sheppard, D.C., Newton, G.L., Thompson, S.A., Savage, S 1994. A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology*, 50(3):275-279.
- Singh, V., Yadav, M., Sharma, Y.C 2017. Effect of co-solvent on biodiesel production using calcium aluminium oxide as a reusable catalyst and waste vegetable oil. *Fuel*, (203): 360-369.
- Surendra, K.C., Olivier, R., Tomberlin, J.K., Jha, R., Khanal, S.K 2016. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, (98):197-202.

- Surendra, K.C., Olivier, R., Tomberlin, J.K., Jha, R., Khanal, S.K 2016. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, (98):197-202.
- Tilman, D., Socolow, R., Foley, J.A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Williams, R 2009. Beneficial biofuels-the food, energy, and environment trilemma. *Science*, 325(5938): 270-271.
- Ugandan Bureau of Standards (UNBS), (2017). DUS 1712:2017: Dried insect products for compounding animal feeds - Specification. Kampala, Uganda.
- Ur Rehman, K., Liu, X., Wang, H., Zheng, L., ur Rehman, R., Cheng, X., Yu, Z 2018. Effects of black soldier fly biodiesel blended with diesel fuel on combustion, performance and emission characteristics of diesel engine. *Energy Conversion and Management*, (173): 489-498.
- Vargas-Abúndez, A.J., Randazzo, B., Foddai, M., Sanchini, L., Truzzi, C., Giorgini, E., Olivotto, I 2019. Insect meal based diets for clownfish: Biometric, histological, spectroscopic, biochemical and molecular implications. *Aquaculture*, (498):1-11.
- Wang, C., Qian, L., Wang, W., Wang, T., Deng, Z., Yang, F., Feng, W 2017. Exploring the potential of lipids from black soldier fly: New paradigm for biodiesel production (I). *Renewable Energy*, (111):749-756.
- Wang, Y.S., Shelomi, M 2017. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10):91.
- Xiao, X., Mazza, L., Yu, Y., Cai, M., Zheng, L., Tomberlin, J. K., Zhang, J 2018. Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by *Hermetia illucens* L.(Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria. *Journal of Environmental Management*, (217):668-676.
- Zeng, J., Wang, X., Zhao, B., Sun, J., Wang, Y 2008. Rapid in situ transesterification of sunflower oil. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(2):850-856.
- Zheng, L.Li., Q. Zhang, J.Yu Z 2011. Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production. 0960-1481/ 2011 *Renewable Energy* xxx (2011) 1-5. Elsevier Ltd.doi:10.1016/j.renene.2011.10.004.