



Original research article

식품소재 사용을 위한 서양종꿀벌 (*Apis mellifera* L.) 수벌번데기의 생산시기 최적화 연구

김효영, 김세건, 김선미, 최홍민, 문효정, 한상미*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부

Analysis on the Optimal Production Seasonal of Drone Pupae (*Apis mellifera* L.) for the Using Food Materials

Hyo Young Kim, Se Gun Kim, Seon Mi Kim, Hong Min Choi, Hyo Jung Moon and Sang Mi Han*

Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract

The study investigated the seasonal changes in the food components, harmful microorganisms and 9 veterinary drugs residues in drone pupae (*Apis mellifera* L.). Drone pupae were obtained monthly from April 2020 to July 2020 at apiary located in Wanju, Jeonbuk. The fresh weight of drone pupae was the highest in April 21 to May 20 2020 at 605~658 g and the content was higher seasonally than those of the other drone pupae. The contents of moisture, carbonate, crude protein, crude fat and ash in proximate composition were 0.23~0.76%, 15.98~22.81%, 51.87~53.92%, 20.18~26.15% and 4.0~4.52% respectively. According to the Korean Food Code test method, coliforms, *Salmonella* species, *Staphylococcus aureus*, and enterohemorrhagic *Escherichia coli* were not detected in production season of drone pupae. In addition, 6 veterinary drug residues were not detected. The detected drug residues in drone pupae were cymiazole, amitraz and fluvalinate, but the levels were mostly below the MRL (Maximum Residue Limit).

Keywords

Drone pupae, Proximate analysis, Foodborne pathogens, Veterinary drug residues

서론

지구상에 존재하는 식물의 약 65%는 화분매개를 필요로 하며, 비나 바람, 화분매개자(pollinator)가 주요 매개체로 알려져 있다(Barth, 1985). 화분매개자 중 화분매개곤충에 의한 경제적 가치는 약 1,500억 유로로 추산되고(Gallai *et al.*, 2009) 특히, 꿀벌(honeybee)은 작물수정의 90%의 비중을 차지할 만큼 전 세계에서 중요한 화분매개곤충이다(Allsopp *et al.*, 2008). 꿀벌은 한 마리의 여왕벌과 수만 마리의 일벌, 그리고 수천 마리의 수벌로 구성된 고도의 사회성 곤충으로 양봉은 인류의 역사와 함께 오래된 곤충 사

육의 역사를 가진다. 국내 양봉업은 2013년 19,903 농가에서 2017년 24,629 농가, 봉군은 2013년 176만 군에서 2017년 239만 군으로 매년 증가하는 상황으로 2017년 양봉산업 경제규모를 살펴보면 벌꿀 생산액은 1,228억 원, 프로폴리스 500억 원, 화분 57억 원, 로열젤리 19억 원 등 벌꿀 생산액이 전체 생산액(2,288억 원)의 53.7% 차지하는 것으로 확인되었다(이 등, 2019). 이처럼 국내 양봉산업은 벌꿀 생산에 의존하는 경향이 있어 이상기후와 돌발 병해충 발생 시 벌꿀 생산량이 급감하면서 양봉농가 소득 감소로 이어졌다(이 등, 2019). 이에 양봉농가 소득안정을 위한 지원 대책으로 우리나라는 2020년 8월 ‘양봉산업의 육성 및

지원에 관한 법률'(약칭: 양봉산업법)이 시행되면서 양봉 농가 소득 안정화를 위한 법적 기반이 마련되었다(양봉산업법, 2020). 양봉산업법 제9조는 연구 및 기술개발로 꿀벌품종개량, 양봉산물 제품개발, 꿀벌사육·관리기술개발 등의 내용을 다루고 있다. 최근 들어 양봉산물 중에서 수벌번데기(drone pupae)의 기능성에 관한 연구가 집중되면서 수벌번데기 추출물의 항산화 및 혈당강화(Kim *et al.*, 2020a), 수벌번데기 추출물의 탈모개선(Kim *et al.*, 2020b), 수벌번데기 가수분해 단백질 특성(Kim *et al.*, 2020c) 및 수벌유충, 번데기, 성충의 항당뇨 활성(Pyo *et al.*, 2020) 등이 보고 되었다. 중국의 경우 최고 의서로 불리는 <신농본초경>을 비롯하여 <도경초본>, <영포록이> 등에서 수벌의 약리 작용 및 영양적 가치를 평가한 바 있다. UN 세계 인구전망 보고서에 따르면 2016년 기준 74억 명인 세계 인구가 2050년 기준 약 96억 명까지 증가할 것으로 예상하고 있으며, 국제연합식량농업기구(FAO)에서는 세계 인구 증가에 따른 식량문제 해결 방안으로 기존 에너지 공급원(쌀, 보리, 축산물, 가금류 등)이 아닌 새로운 공급원으로 식용곤충을 주목하였다(UN, 2013; van Huis *et al.*, 2013). 식용곤충(edible insect)은 식용을 목적으로 하여 사육하는 곤충의 총칭으로, 나비목(Lepidoptera), 딱정벌레목(Coleoptera), 메뚜기목(Orthoptera), 흰개미목(Isoptera), 벌목(Hymenoptera) 등이 있다(Yoo *et al.*, 2013). 2020년 12월 기준, 식품의약품안전처에서 식품원료로 사용가능한 식용곤충은 누에(*Bombyx mori* L.), 메뚜기(*Oxya japonica* Thunberg), 백강잠(누에 유충이 백강병균 *Beauveria bassiana* Vuill.의 감염에 의한 백강병으로 경직사한 몸체), 갈색거저리 유충(*Tenebrio molitor* L.), 흰점박이꽃무지 유충(*Protaetia brevitarsis*), 장수풍뎅이 유충(*Allomyrina dichotoma*), 쌍별귀뚜라미(*Gryllus bimaculatus*), 아메리카왕거저리 유충(탈지분말) (*Zophobas atratus*)과 수벌번데기(*Apis mellifera* L.)를 포함해서 총 9종이다. Kim *et al.* (2018a) 연구에 따르면 수벌번데기는 단백질 함량이 높고 탄수화물, 지방 및 각종 아미노산과 무기물, 비타민을 함유한 영양학적 가치가 높은 곤충이라고 보고하였다. 앞선 수벌번데기의 영양성분과 기능성에 관한 연구를 바탕으로 양봉농가에서 여왕벌과 교미에만 이용하는 것이 아니라 새로운 식품소재로의 개발이 필요한 시점이다. 그리고 식품소재로 활용하기 위해 양봉농가에서 생산시스템이 갖춰줘야 하지만 현재 수벌번데기의 생산, 운반 및 보관 등의 공정이 확립되어 있지 않아 많은 양봉농가들이 어려움을

겪고 있다. 이러한 부분을 해결하고 대량 생산이 가능토록 생산시기 설정과 생산공정에 관한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

따라서, 본 연구는 새로운 한시적 식품원료인 수벌번데기를 생산시기에 따른 생산성과 영양성분 및 위해 인자의 안전성 여부를 분석하여 식품소재로서 이용 가능성과 양봉농가 현장에서 최적 생산 시기를 적용할 목적으로 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험재료

본 시험에 사용된 수벌번데기는 2020년 전라북도 완주 양봉농가에서 사육 중인 서양종꿀벌(*Apis mellifera* L.)을 이용하여 산란 후 17~23일령의 수벌번데기를 사용하였다. 수벌번데기는 채취, 보관 및 운반 공정 모두 -20°C 냉동상태를 유지하였고 분석시료 제조 방법은 Kim *et al.* (2019)에 따라 제조하였다.

2. 생산시기에 따른 수벌번데기 생중량 측정

2020년 4월부터 7월 초까지 5차례 걸쳐 수벌 전용 소초광을 수거하여 초저온냉동고(지엠에스, Korea)에 보관한 후 실험에 사용하였으며, 수벌 전용 소초광에서 수벌번데기 중량을 측정하였다(Table 1).

3. 일반성분 함량 분석


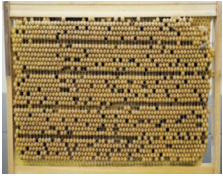



수벌번데기의 일반성분은 식품공전 식품성분시험법에 따라 측정하였다(식품의약품안전처, 2020a). 수분함량은 105°C 상압가열 건조법에 따라 측정하였고 회분 함량은 검체가 백색~회백색의 회분이 생성될 때까지 $550\sim 600^{\circ}\text{C}$ 에서 직접회분법을 이용하였다. 조단백질 함량은 시료의 전처리 및 추출과정을 거쳐서 Kjeldahl법에 따라 측정하였고 조지방 함량분석은 석유에테르를 추출용매로 Soxhlet 추출장치를 이용하여 Soxhlet 추출법에 따라 측정하였다. 탄수화물 함량은 검체 100 g 중에 수분, 회분, 조단백질 및 조지방 함량을 뺀 나머지 값으로 나타내었다.

4. 위생지표균 및 식중독균 분석

위생지표균인 대장균군(Coliforms)과 식중독균인 살모

Table 1. Samples collected and tested in this study

Place	Jeonbuk Wanju (JW)				
Sample ID	JW20-1	JW20-2	JW20-3	JW20-4	JW20-5
Sampling time	April 20 2020	April 21~30 2020	May 1~20 2020	May 21~31 2020	June 20 2020

Drone pupae comb					
------------------	---	---	---	---	---

넬라 (*Salmonella* spp.), 황색포도상구균 (*Staphylococcus aureus*) 및 장출혈성대장균 (*Enterohemorrhage Escherichia coli*)의 정성시험은 식품공전 미생물시험법에 따라 진행되었다. 간략히, 대장균군 (Coliforms)은 시험액 1 mL를 Durham관을 넣은 brilliant green lactose bile broth (BGLB, Hardy diagnostics, USA)에 접종하고 37°C에서 48시간 배양하여 가스의 발생이 확인되면 endo agar에 희석 배양한 후 대장균군을 확인하였다. 살모넬라 (*Salmonella* spp.) 분석은 시료 25 g에 펩톤수 225 mL의 배양액을 가한 후 균질기를 이용하여 1분간 균질화시킨 다음 35~37°C에서 18~24시간 배양하였다. 배양액 0.1 mL를 10 mL rappaport-vassiliadis 배지에 접종하여 42°C에서 24시간 배양한 후 2차 배양액을 XDL (xylose lysine desoxycholate) agar에 배양하여 배지에서 분홍색 집락형성 여부를 확인하였다. 황색포도상구균 (*Staphylococcus aureus*) 분석은 시료 25 g에 10% 염화나트륨 용액을 첨가한 TSB (tryptone soy broth) 배지 225 mL를 넣고 35~37°C에서 18~24시간 배양하였다. 배양액을 난황첨가 만니톨 식염한천배지에 배양한 후 황색 불투명 집락과 백색환의 집락형성 여부를 확인하여 황색포도상구균의 검출 여부를 판단하였다. 장출혈성대장균 (*Enterohemorrhage Escherichia coli*) 시험은 mTSB (modified tryptone soya broth) 배지 225 mL에 시료 25 g을 첨가하고 35~37°C에서 18~24시간 배양하였다. 배양액 1 mL를 취하여 멸균증류수와 혼합한 후 10분간 끓인 다음 원심분리하여 상등액을 주형 DNA로 사용하였다. PCR 분석은 VT1, VT2 프라이머를 사용하였고 최종산물 반응액을 2% agarose로 전기영동한 다음 반응생성물 (VT1: 180 bp, VT2: 255 bp)을 확인하여 장출혈성대장균의 검출 여부를 판단하였다.

Table 2. Chromatographic conditions for analysis of flumethrin

Parameters	Condition
Column	Capcell Pak C18 AQ (4.6 × 250 mm, 5.0 μm)
Flow rate	1.0 mL/min
Column temperature	20°C
Injection volume	10 μL
UV detection	266 nm
Mobile phase	85% acetonitrile : H ₂ O

5. 동물용의약품 분석 및 분석조건

잔류 동물용의약품 분석은 식품공전 잔류동물용의약품 분석법에 따라 실시하였다. Flumethrin 분석조건은 Table 2에 나타내었고 MRM (multiple reaction monitoring)은 Table 3과 같은 조건으로 분석하였다. 이온화는 electrospray ionization (ESI) 방식으로 하였으며, 각 성분의 정량 분석을 위한 product ion 및 collision energy (CE)는 표준용액을 질량분석기에 직접 주입하여 선정하였다. 이동상과 함께 표준용액을 주입하면서 MS parameter의 조건을 최적화하였다.

결과 및 고찰

식품소재로 활용하기 위해 수벌번데기의 최적 생산시기를 알아보고자 무밀기와 유밀기로 나누어 수벌번데기의 생산량, 작업 편의성을 Fig. 1과 Table 4에 나타내었다. 먼저 생산시기에 따른 수벌번데기의 생중량 (g) 결과 JW20-2 (658 g), JW20-3 (605 g), JW20-5 (578 g) 순으로 수벌번데

Table 3. Analytical conditions of the MRM transition of MS/MS

Analyte	Precursor ion (m/z)	Product ion (m/z)	Collision energy (eV)	Ionization mode
Cymiazole	219.0	105	30	Positive
		144	32	
		171	28	
Amitraz	294.4	163	23	Positive
		164.1	21	
Coumaphos	363	227	27	Positive
		307	21	
Fluvalinate	503	208	19	Positive
		181	37	
Neomycin	615.5	160.9	45	Positive
		455.5	30	
Streptomycin	582	246	36	Positive
		263	29	
Dihydrostreptomycin	584	246	33	Positive
		263	29	
Oxytetracycline	461	200	36	Positive
		426	16	
		443	10	

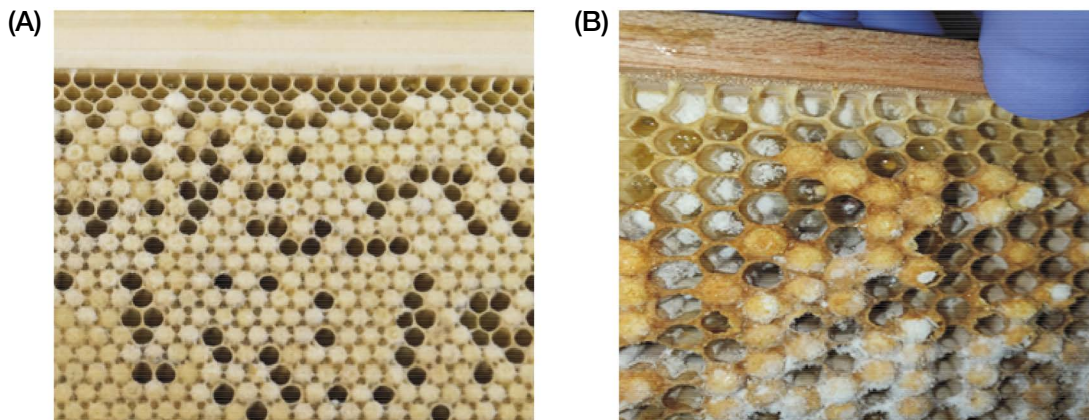


Fig. 1. Conditions of drone pupae combs by production season. (A) drone pupae comb in nonhoney flow period, (B) honey-rich drone pupae comb in honey flow period.

기의 생중량이 높게 나타났다. 특히, JW20-4는 유밀기 시기로 수벌 전용 소초광에 유충과 벌꿀 등이 다량 함유되어 있어 수벌번데기 채집에 용이하지 않을 뿐만 아니라 수벌번데기 생산량도 가장 낮은 것을 확인하였다. 한편 꿀벌의 수벌은 일벌이나 여왕벌에 비하여 번데기 시기가 길어서 수벌번데기의 산물로의 가치는 높을 것으로 보고한 바 있

다(Choi *et al.*, 2009). 따라서 수벌번데기 생산량, 작업 용이성 등을 고려하면 벌꿀 채밀 전과 채밀 후에 수벌번데기를 채집하는 것이 가장 적합한 것으로 사료된다.

생산시기에 따른 동결건조 수벌번데기의 식품학적 성분인 수분, 탄수화물, 조단백질, 조지방 및 회분은 Table 5에 나타내었다. 본 연구에서 분석된 생산시기별 수벌번데기

의 수분함량은 JW20-1에서 가장 높게 나타났고, 조회분 함량의 경우 시료 모두에서 4% 이상 나타내었다. 생명체의 성장과 발달에 중요한 역할을 하는 3대 영양소인 탄수화물, 지방, 단백질은 각각 15~22%, 51~53%, 20~26%로 단백질 함량이 가장 높게 나타났다. Baek *et al.* (2017)에 따르면 식품공전에 등재된 식용곤충의 일반성분 분석 결과 단백질 함량(39~57%)이 높은 것으로 보고하였고 Choi *et al.* (2009)에서는 수벌번데기(16~22일령) 동결건조물의 단백질 함량이 46.7%로 보고하여 본 연구 결과와 유사한 경향을 보였다. 본 연구 결과를 통해 생산시기에 따른 수벌번데기의 영양학적 성분 차이는 나타나지 않았지만 인간

의 생명유지 및 활동에 필요한 에너지를 생산하는 3대 영양소가 고르게 함유하고 있으며, 특히 단백질 함량이 높아 단백질 보충 관련 식품소재로의 활용을 기대해 볼 수 있을 것이다.

식약처에서는 2020년 수벌번데기를 새로운 식품원료로 인정하였고 이는 국내에서 식품으로 섭취 경험이 없는 원료에 대해 안전성 등을 평가하는 것으로 식품공전 등재 전까지 한시적으로 사용할 수 있으며, 지속적으로 안전성 등의 평가가 요구된다(식품의약품안전처, 2020b). 수벌번데기는 생산, 운반, 멸균, 건조 및 보관 등 가공공정의 다양성으로 위생적인 공정 여부 이외의 원인으로도 위생지표균과 식중독균이 발생할 수 있으므로, 생산시기별 수벌번데기의 미생물적 안전성을 확보하기 위해 유해미생물 4종에 대해 미생물 오염도를 조사하였다. 그 결과 생산시기별 동결건조 수벌번데기에서 대장균군, 살모넬라, 황색포도상구균 및 장출혈성대장균 모두 검출되지 않았다(Table 6). 이는 2017년과 2018년 동결건조 수벌번데기에서 대장균군, 살모넬라, 황색포도상구균 및 장출혈성대장균이 검출되지 않았다는 보고와 일치하는 것으로 확인되었다(Kim *et al.*, 2018b). 위생지표균인 세균수, 대장균 및 대장균군은 식품 위생의 중요한 지표로 활용되고 식중독균인 살모

Table 4. Fresh weight (g) of larvae, drone pupae according to production season in Korean apiary

Sample ID	Honeybee	
	Larvae (g)	Pupae (g)
JW20-1	33 ± 3 ¹⁾	420 ± 25
JW20-2	23 ± 2	658 ± 32
JW20-3	18 ± 2	605 ± 25
JW20-4	193 ± 6	340 ± 33
JW20-5	26 ± 3	578 ± 42

¹⁾All samples were tested in a set of triplicated experiment.

Table 5. Physicochemical contents of drone pupae according to production season in Korean apiary

Component	Sample ID				
	JW20-1	JW20-2	JW20-3	JW20-4	JW20-5
Moisture (%)	0.76 ± 0.12 ¹⁾	0.23 ± 0.05	0.29 ± 0.06	0.23 ± 0.08	0.26 ± 0.06
Carbonate (%)	21.15 ± 0.23	20.99 ± 1.17	22.81 ± 1.20	22.34 ± 1.46	15.98 ± 1.72
Crude protein (%)	53.21 ± 0.06	53.92 ± 2.28	52.33 ± 1.15	52.80 ± 1.33	51.87 ± 1.28
Crude fat (%)	20.54 ± 0.52	20.34 ± 0.61	20.18 ± 0.51	22.11 ± 1.62	26.15 ± 1.06
Ash (%)	4.34 ± 0.05	4.52 ± 0.10	4.39 ± 0.21	4.32 ± 0.17	4.0 ± 0.07

¹⁾All samples were tested in a set of triplicated experiment.

Table 6. Foodborne pathogens of drone pupae according to production season in Korean apiary

Bacteria	Sample ID				
	JW20-1	JW20-2	JW20-3	JW20-4	JW20-5
Coliforms	ND ¹⁾	ND	ND	ND	ND
<i>Salmonella</i> spp.	ND	ND	ND	ND	ND
<i>S. aureus</i>	ND	ND	ND	ND	ND
Enterohemorrhage <i>E. coli</i>	ND	ND	ND	ND	ND

¹⁾ND: Not detected

Table 7. Veterinary drug residues contents (mg/kg) of drone pupae according to production season in Korean apiary

Analyte	Sample ID				
	JW20-1	JW20-2	JW20-3	JW20-4	JW20-5
Cymiazole	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Amitraz	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005
Coumaphos	ND ¹⁾	ND	ND	ND	ND
Flumethrin	ND	ND	ND	ND	ND
Fluvalinate	0.00001	0.00002	0.00001	0.00002	0.00002
Neomycin	ND	ND	ND	ND	ND
Dihydrostreptomycin	ND	ND	ND	ND	ND
Streptomycin	ND	ND	ND	ND	ND
Oxytetracycline	ND	ND	ND	ND	ND

¹⁾ND: Not detected

넬라를 비롯하여 바실러스 세레우스, 황색포도상구균, 장염비브리오, 장출혈성대장균 등은 식약처에서 식품유형별 기준 규격을 설정하여 관리를 하고 있다(식품의약품안전처, 2020c). 따라서 현재 수벌번데기의 유해미생물에 대한 기준 규격은 마련되어 있지 않지만 본 연구 결과를 통해 생산시기별 수벌번데기는 유해미생물에 대해 안전한 것으로 확인하였고, 추후에 유해미생물에 대한 기준 규격 설정에 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

양봉농가에서는 꿀벌의 질병 예방 및 치료를 위해 다양한 동물용의약품(살충제 및 항균제 등)을 사용하고 있다. 사용된 약제의 오남용과 벌꿀 내 잔류로 인한 약제 저항성을 막기 위해 식약처에서는 벌꿀에 주로 사용되는 동물용의약품인 네오마이신, 디히드로스트렙토마이신/스트렙토마이신, 옥시테트라사이클린, 아미트라즈, 코마포스, 플루메트린, 플루발리네이트, 시미아졸에 대한 기준을 설정하여 관리하고 있다(식품의약품안전처, 2020d). 현재 수벌번데기는 동물용의약품의 종류와 잔류허용기준이 설정되어 있지 않지만 로열젤리, 벌꿀, 화분 등을 먹이원으로 하는 만큼 벌꿀 기준규격으로 9종류의 동물용의약품 잔류량을 조사하였다. 그 결과 검사한 모든 시료에서 네오마이신, 디히드로스트렙토마이신/스트렙토마이신, 옥시테트라사이클린, 코마포스 및 플루메트린은 검출되지 않았고 시미아졸, 아미트라즈 및 플루발리네이트에서는 검출되었으나 잔류허용기준 이하를 나타내었다(Table 7). Kang *et al.* (2010) 연구에 따르면 벌꿀 중 동물용의약품 조사한 결과 네오마이신, 디히드로스트렙토마이신/스트렙토마이신, 아미트라즈 및 코마포스 모두 기준치 이하였다고 보고한 바

있다. 이상의 결과를 토대로 생산시기별 수벌번데기의 잔류 동물용의약품 함량은 기준치 이하로 검출되어 안전한 것으로 판단되지만 향후 국민의 식품안전과 동물용의약품의 안전관리를 위해 지속적인 교육 및 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구에서는 국산 수벌번데기의 생산시기에 따른 생산량과 영양성분, 유해미생물 및 동물용의약품에 대한 안전성을 검토하여 최적 생산시기를 설정하고자 수행하였다. 검사 시료는 국내 양봉농가에서 2020년 사이에 직접 생산한 수벌번데기를 사용하였다. 생산시기별 수벌번데기 생중량(g)은 4월 중순(JW20-2)이 658 g, 5월 초(JW20-3) 605 g 그리고 6월 중순(JW20-5)이 578 g으로 나타났다. 아카시아꿀 채밀시기인 5월 초에서 중순(JW20-4)은 340 g으로 생중량이 가장 낮았고 벌꿀과 유충 등이 많이 함유되어 있어 생산시기로 적합하지 않았다. 식품공전 시험법에 따라 영양성분 분석 결과 3대 필수영양소인 탄수화물, 지방, 단백질이 고르게 분포하고 특히 단백질 함량이 50% 이상 함유되었다. 유해미생물 관련 대장균군, 살모넬라, 황색포도상구균 및 장출혈성대장균 검출 여부를 조사한 결과 검사 시료 모두 검출되지 않았다. 또한, 동물용의약품에 대한 잔류 모니터링을 실시한 결과 네오마이신, 디히드로스트렙토마이신/스트렙토마이신, 옥시테트라사이클린, 코마포스 및 플루메트린은 불검출되었으며 검출된 시미아졸,

아미트라즈 및 플루발리네이트는 식품공전의 잔류허용기준 이하로 안전한 것으로 나타났다. 따라서 생산시기별 국산 수벌번데기는 영양적인 면에서 탄수화물, 지방, 고단백질을 함유하고, 미생물학적 및 동물용의약품으로부터 안전성이 입증되어 식품소재로서 활용 가능성이 있음이 확인되었다. 결론적으로 이와 같은 결과를 토대로 수벌번데기는 유밀기를 제외한 벌꿀 채집 전과 채집 후에 생산하는 것이 생산량과 작업면에서 최적 생산시기로 판단되고, 추후에 대량생산을 통해 벌꿀 이외의 새로운 양봉농가 소득 창출에 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 어젠다연구사업 (과제번호: PJ01617702)에 의하여 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

인용 문헌

- 식품의약품안전처. 2020a. 식품공전 일반시험법-식품성분시험법. 2020-128호.
- 식품의약품안전처. 2020b. https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=44402.
- 식품의약품안전처. 2020c. 식품공전 식품의 기준 및 규격. 2020-128호.
- 식품의약품안전처. 2020d. 식품공전 식품 중 동물용의약품의 잔류허용기준. 2020-128호.
- 양봉산업법. 2020. 양봉산업의 육성 및 지원에 관한 법률. 제16547호.
- 이정민, 김용렬, 김창호, 우성휘. 2019. 양봉산업의 위기와 시사점. 한국농촌경제연구원. 제178호.
- Allsopp, M. H., W. J. de Lange and R. Veldtman. 2008. Valuing insect pollination services with cost of replacement. *PLoS One* 3(9): e3128.
- Barth, F. G. 1985. *Insects and flowers. The biology of a partnerships.* George Allen and Unwin. pp. 293.
- Baek, M. H., J. S. Hwang, M. A. Kim, S. H. Kim, T. W. Goo and E. Y. Yun. 2017. Comparative analysis of nutritional components of edible insects registered as novel foods. *J. Life Sci.* 27(3): 334-338.
- Choi, Y. S., M. L. Lee, M. Y. Lee, H. K. Kim, K. G. Lee, J. H. Yeo and S. O. Yoo. 2009. Management for high quality drone products. *J. Apiculture* 24(1): 1-7.
- Gallai, N., J. M. Salles, J. Settele and B. E. Vaissière. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68(3): 810-821.
- Kang, E. G., Y. H. Jung, J. H. Jung, M. R. Kim, K. J. Lee, J. J. Jung, J. S. Park, K. N. Bahn, Y. M. Jang and C. S. Kang. 2010. Monitoring of veterinary medicine residues in honey. *Korean J. Food Sci. Technol.* 42(6): 643-647.
- Kim, S. G., S. O. Woo, K. W. Bang, H. R. Jang and S. M. Han. 2018a. Chemical composition of drone pupa of *Apis mellifera* and its nutritional evaluation. *J. Apiculture* 33(1): 17-23.
- Kim, S. G., S. O. Woo, H. R. Jang, H. M. Choi, H. J. Moon and S. M. Han. 2018b. Safety investigation on foodborne pathogens and mycotoxins in honeybee drone pupas. *J. Food Hyg. Saf.* 33(5): 399-403.
- Kim, H. Y., S. O. Woo, S. G. Kim, K. W. Bang, H. M. Choi, H. J. Moon and S. M. Han. 2019. Analysis of oxidative stability in drone pupae (*Apis mellifera* L.). *J. Apiculture* 34(1): 63-66.
- Kim, H. Y., S. O. Woo, S. G. Kim, H. M. Choi, H. J. Moon and S. M. Han. 2020a. Antioxidant and antihyperglycemic effects of honeybee drone pupae (*Apis mellifera* L.) extracts. *J. Apiculture* 35(1): 33-39.
- Kim, J. E., D. I. Kim, H. Y. Koo, H. J. Kim, S. Y. Kim, Y. B. Lee, J. H. Moon and Y. S. Choi. 2020b. Evaluation of honeybee (*Apis mellifera* L.) drone pupa extracts on the improvement of hair loss. *J. Apiculture* 35(3): 179-188.
- Kim, J. E., D. I. Kim, H. J. Kim, S. Y. Kim, Y. B. Lee, J. H. Moon, H. G. Park and Y. S. Choi. 2020c. Characteristics of hydrolysis of protein in drone pupa (*Apis mellifera* L.). *J. Apiculture* 35(3): 169-177.
- Pyo, S. J., C. E. Jung and H. Y. Sohn. 2020. Platelet aggregatory and antidiabetic activities of larvae, pupae, and adult of honeybee drone (*Apis mellifera*). *J. Apiculture* 35(1): 41-48.
- UN. 2013. *World population prospects : The 2012 revision.* UN, New York, USA.
- van Huis, A., J. Van Itterbeeck, H. Klunder, E. Mertens, A. Halloran, G. Muir and P. Vantomme. 2013. *Edible insects: future prospects for food and feed security.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Yoo, J. M., J. S. Hwang, T. W. Goo and E. Y. Yun. 2013. Comparative analysis of nutritional and harmful components in Korean and Chinese mealworms (*Tenebrio molitor*). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 42(2): 249-254.