곤충식품의 미생물 안전성에 대한 고찰

Food Safety Concerns for Edible Insect Foods

이예원[1], 윤요한[1,2,*] (Yewon Lee[1], Yohan Yoon[1,2,*])
[1]숙명여자대학교 식품영양학과, [2]숙명여자대학교 위해분석연구센터
[1]Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University
[2]Risk Analysis Research Center, Sookmyung Women's University

I. 서론

최근 국제식량농업기구(FAO)에서는 2050년경 세계 인구가 약 90억 명에 달할 것으로 추정하였으며, 이로 인한 식량 부족이 예상됨에 따라 미래 대체 식량으로 곤충식품을 제시한 바 있다 (농촌진흥청, 2016). 곤충은 영양학적으로 주요 단백질원을 포함하고 있으며, 불포화지방산이 총 지방산 중 70% 이상 차지하고, 칼슘, 철 등의 무기질 함량이 높아 영양적 가치가 매우 높다 (농촌진흥청, 2016). 2015년 한국농촌경제연구원(KREI)에서 보고한 바에 의하면, 국내 식용 곤충시장의 규모는 2015년 60억 원 대비 2020년 1,014억 원으로 크게 증가할 것으로 전망했다 (표 1)(김연중과 박영구, 2016). 현재 밝혀진 곤충은 약 120여만 종으로 전체 동물의 70% 이상을 차지하며, 실제 해충은 전체 곤충 중에서 1-5%에 해당되고, 나머지 대부분의 곤충들은 직·간접적으로 우리에게 이롭게 이용될 수 있다 (농림축산식품부, 2005).

표 1. 국내 곤충시장 현황 및 전망 (김연중 등, 2016)

(단위: 억원, %)

	계	학습 애완	화분매개	천적	환경정화	식용	사료	약용	지역행사	유용물질
2011	1,680	778	340	96	–	–	25	–	400	41
2015	3,039	421	432	30	–	60	60	20	1,816	200
2020	5,363	590	575	40	10	1,014	183	39	2,542	380

*Corresponding author: Yohan Yoon
Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea
Risk Analysis Research Center, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea
Tel: +82-2-2077-7585
Fax: +82-2-719-9479
Email: yyoon@sookmyung.ac.kr

현재 국내에 식용 가능하도록 허가된 곤충은 총 7종이며, 식품공전에 제시된 벼메뚜기(*Oxya chinensis sinuosa*), 누에번데기(*Bombyx mori*), 백강잠(*Batryticatus bombyx*), 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 유충, 쌍별귀뚜라미(*Gryllus bimaculatus*) 5종과 농촌진흥청에서 새로운 일반 식품원료로 등록한 흰점박이꽃무지 유충(*Protaetia orientalis*)과 장수풍뎅이 유충(*Allomyrina dichotoma*) 2종이 있다 (농촌진흥청, 2016). 곤충은 식품의 원료로 활용될 가능성이 높지만, 식용 곤충은 다양한 영양소와 수분을 가지고 있기 때문에 미생물이 생장하기에 적합한 환경이다(Van Huis 등, 2013). 이럼에도 불구하고 곤충식품 개발에 대한 노력은 많이 해왔지만, 미생물 안전성에 대한 연구는 매우 미미하다. 따라서, 곤충식품에서 식중독이 발생할 수 있는 가능성이 높으므로 곤충식품의 미생물 안전성에 대해 살펴볼 필요가 있다.

II. 본론

1. 식용 곤충의 미생물 오염

식용 곤충에 대한 미생물 분석은 다년간 진행되어 왔고, 이를 통해 다양한 미생물들이 곤충에 오염되어 있음을 입증하였다(표 2). 식용 곤충의 대표적인 4종[슈퍼밀웜(*Zophobas morio*), 애벌레(*Chilecomadia moorei*), 꿀벌부채명나방(*Galleria melonella*), 갈색거저리, 집귀뚜라미(*Acheta domesticus*)]에 대해 오염 미생물을 분석한 결과, 높은 수준(10^5-10^6 CFU/g)의 일반세균 오염을 보였으며, *Micrococcus* 종과 *Lactobacillus* 종 등의 그람 양성 세균도 10^5 CFU/g 이상이 검출되었고, *Staphylococcus* 종(species)은 약 10^3 CFU/g으로 나타났다(Giaccone, 2005). Braide 등 (2011)이 캐비지 트리 황제 나방 (*Bunaea alcinoe*)을 분석한 결과, 일반세균이 4.5×10^7 CFU/g으로 나타났으며, 여기에는 *Proteus* 종, *Bacillus* 종뿐만 아니라, 기회성 감염세균인 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*)과 독소형 식중독 세균인 *Staphylococcus aureus*도 포함되어 있었다. 또한 Braide 등 (2009)과 Amadi 등 (2005)의 연구에서 동일 곤충인 캐비지 트리 황제나방의 피부와 장내에서 *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Micrococcus* 그리고 *Acinetobacter*가 검출되었다. 버팔로웜(*Alphitobius diaperinus*)은 양계장에서 *Campylobacter* 주요 오염원으로 작용하며, 이는 양계장 내 휴경 기간 동안에도 주요 벡터로 작용한다(Templeton 등, 2006). *Campylobacter*는 곤충에서 최대 생존 시간은 72시간에서 1주이지만(Hazeleger 등, 2008), EFSA (2012)에 따르면 *Campylobacter*는 주요 인수공통감염병의 오염원이기 때문에 버팔로웜을 이용한 곤충식품 제조 시 *Campylobacter*에 대한 식품 안전을 위한 각별한 관리가 요구된다. Agabou와 Alloui (2010)가 보고한 바에 따르면, 대장균군, 연쇄상구균이 버팔로웜의 장내에 존재할 수 있으며, 유충의 겉면에는 *Staphylococcus* 종과 *Micrococcus* 종이 많이 오염되어 있었다. 또한, 병원성 대장균을 삼킨 파리의 장내에서 대장균이 최소 3일 이상 생존하였다(Kobayashi 등, 1999). 농업과학기술원 잠사곤충부에서는 애반딧불이(*Luciola lateralis*) 600마리가 치사하여 이에 대한 세균 분석 결과, 토양으로부터 감염된 *Pseudomonas* 종이 원인이었음을 확인하였고, *Pseudomonas* 종이 방출한 물질에 의해 곤충의 지방체 파괴가 일어났을 것이라고 추정하였다 (Kim 등, 2005). 메뚜기 병사충 대상 미생물 조사 결과, 세균은 *Acinetobacter* 종이었으며, 사슴벌레의 병사충에서는 패혈증을 일으키는 세균 *Serratia* 종이 확인되었다(Kim 등, 2005). 황제나방(*Imbrasia belina*)에서는 *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phycomycetes* 등의 곰팡이가 검출되었으며, 병원성 세균인 *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus cereus*가 가공 과정의 애벌레에서 검출되었다 (Gashe 등, 1997).

이러한 연구결과를 바탕으로 살펴볼 때, 곤충이 삼킨 병원성 세균들이 곤충의 장내와 표면에 존재할 가능성이 높을 것으로 생각된다. 이는 식용 곤충 가공 및 섭취

표 2. 식용 곤충 별 검출되는 미생물

곤충 종류	검출 미생물	참고 문헌
귀뚜라미류 (*Acheta domesticus, Brachytrupes*)	Enterobacteriaceae (*Klebsiella* sp., *Yersinia* sp., *Citrobacter* sp.)	Klunder 등, 2012 Ulrich 등, 1981
외미거저리 (*Alphitobius diaperinus*)	Coliform, Streptococci, *Staphylococcus* 종, *Micrococcus* 종, *Campylobacter* 종	Agabou와 Alloui, 2010 Templeton 등, 2006
황제나방 (*Imbrasia belina*)	*Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phycomycetes*, *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus cereus*	Gashe 등, 1997
캐비지 트리 황제 나방 (*Bunaea alcinoe*)	*Staphylococcus* 종, *Bacillus* 종, *Micrococcus* 종, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus* 종, *Bacillus* 종	Braide 등, 2009 Braide 등, 2011 Amadi 등, 2005
슈퍼밀웜(*Zophobas morio*), 애벌레(*Chilecomadia moorei*), 벌집 나방(*Galleria melonella*), 갈색거저리(*Tenebrio molitor*), 집귀뚜라미(*Acheta domesticus*)	*Micrococcus* 종, *Lactobacillus* spp, *Staphylococcus* 종	Giaccone, 2005
풀무치(*Locusta migratoria*)	Enterobacteriaceae (*Klebsiella* sp., *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Yersinia* sp., *Enterobacter cloacae*), *Enterococcus* sp., *Pseudomonas aeruginosa* vector and reservoir for vesicular stomatitis virus	Stoops 등, 2016 Shi 등, 2014 Su 등, 2014 Nunamaker 등, 2003
사막 메뚜기 (*Schistocerca gregaria*)	Enterobacteriaceae (*Enterobacter* 종, *Enterobacter liquefaciens*, *K. pneumonia*, *K. oxytoca*, *Escherichia coli*, *E. cloacae, Enterobacter agglomerans*, *Serratia marcescens*, *Citrobacter* sp.), *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium septicum*, *Clostridium difficile*, *Clostridium sporogenes*, *Clostridium capitovale*, *P. aeruginosa*, *Acinetobacter* 종, *Enterococcus* 종, *Staphylococcus* 종, *Streptococcus* 종, *Rhodococcus* 종	Dillon 등, 2002
백강잠(*Bombyx mori*)	*Enterobacteriaceae* (*Proteus vulgaris*, *K. pneumoniae*, *Citrobacter freundii*, *Serratia liquefaciens*, *Serratia* 종, *Shigella* 종, *Enterobacter* 종, *Erwinia* 종, *Pantoea* 종), *Aeromonas* 종, *P. aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Clostridium* 종, *Bacillus* 종, *Bacillus circulans*, *Staphylococcus* 종, *Streptococcus* 종, *Enterococcus* 종, *Enterococcus mundtii*, *Acinetobacter* 종, *Moraxella* 종, *Aeromonas hydrophila*, *Actinobacteria*	Liang 등, 2014 Anand 등, 2010
갈색거저리(*Tenebrio molitor*)	Enterobacteriaceae (*Salmonella* 종, *Erwinia* 종, *Pantoea* 종), *Staphylococcus* 종, *Haemophilus* 종, *Clostridium* 종, *Bacillus* 종, *Enterococcus* 종, *Bacillus* 종	Stoops 등, 2016
아메리카 동애등에 (*Hermetia illucens*)	Enterobacteriaceae (*K. pneumoniae*, *E. coli*, *Morganella morganii*, *Klebsiella* 종, *Klebsiella granulomatis*, *Shigella* 종, *Proteus mirabilis*, *Providencia rettgeri*, *Providencia stuartii*, *Citrobacter* 종, *Enterobacter* 종) *Enterococcus caccae*, *Clostridium* 종, *Bacillus* 종, *Strepptococcus* 종, *Pseudomonas* 종, *Staphylococcus* 종, *Corynebacterium* 종, *Acinetobacter* 종,	Jeon 등, 2011
독일바퀴벌레 (*Blattella germanica*)	사육조건에 따라 종종 외부 미생물에서 자동 태선 미생물로 전이됨 Enterobacteriaceae (*E. coli, Salmonella* 종, *Klebsiella* 종, *K. pneumoniae*, *Enterobacter* 종, *Enterobacter aeroginus*, *E. cloacae*, *Serratia* 종, *Serratia marcesens*, *Citrobacter* 종, *C. freundii*, *Proteus* 종, *P. mirabilis*, *Shigella* 종) Enterococcaceae, *Enterococcus* 종, *Staphylococcaceae* 종, *S. aureus*, *Streptococcus* 종, *Aeromonas* 종, *Pseudomonadaceae*, *Pseudomonas* 종, *P. aeruginosa*	Menasria 등, 2014 Vojvodic 등, 2013
이질바퀴(*Periplaneta americana*)	사육 조건에 따라 다양함 Enterobacteriaceae (*E. coli*, *Escherichia vulneris*, *Salmonella* 종, *E. aeroginus*, *E. cloacae*, *Shigella flexneri*, *K. pneumoniae*, *S. marcesens*, *C. freundii*, *E. cloacae*, *Providencia* sp., *Y. pseudotuberculosis*, *Yersinia intermedia*, *Klebsiella* 종, *K. oxytoca*, *Klebsiella planticola*, *Salmonella* 종) *Proteus* 종, *P. mirabilis*, *P. vulgaris*, *Leclercia adecarboxylata*, *Rahnella aquatilis*, *Bacillus* 종, *Staphylococcus* 종, *S. aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Enterococcus* 종, *P. aeruginosa*, *A. niger*, *Mucor* 종, *Candida* 종, *Fusarium* 종, *Penicillium*, round worm (*A. lumbricoides*), whipworm (*T. trichiura*), *Coccidia*, *Entamoeba histolytica*, *Enterobius vermicularis*, *Schistosoma haematobium*, *Balantidium coli*	Pai 등, 2004 Akbari 등, 2015

시 미생물 감염 위험이 존재하는 것을 의미하며, 식용 곤충을 이용한 식품 개발 시 가공 공정 단계의 미생물 안전성 확보가 필수적임을 의미한다.

2. 식용 곤충의 미생물 안전성 확보 방안

이러한 곤충 식품의 미생물 안전성이 대두가 되면서 Klunder 등 (2012)은 곤충식품 중 거저리류와 귀뚜라미류 (*Acheta domesticus*, *Brachytrupes*)를 이용하여 아무것도 처리하지 않는 것, 끓인 것, 튀긴 것, 처리하지 않고 냉장 보관, 끓인 후 냉장보관 등의 미생물 저감화 방안을 분석하였다. 미생물 분석 결과, 아무것도 처리하지 않은 곤충에서는 Enterobacteriaceae와 포자형성균이 검출된 반면, 끓인 곤충은 Enterobacteriaceae가 사멸하였으나, 포자형성균은 여전히 존재하였으며, 끓인 후 5℃-7℃에서 냉장 보관하는 방법이 모든 균을 사멸하는데 적합하였다.

Rumpold 등 (2014)의 연구에서는 곤충의 표면에 간접적인 플라즈마 처리를 통한 세균 저감화 기술을 제시하였다. 간접적인 플라즈마 처리 기술은 이온화 가스를 주입하여 반응을 얻는 것인데, 높은 정수압(600 MPa)과 90℃의 열처리를 해도 세균 저감 효과가 낮았다. 또 다른 연구에서는 귀뚜라미류(*G. bimaculatus*)와 슈퍼밀웜을 가공 과정을 거친 후의 미생물학적 변화를 관찰한 결과, 처리 전 곤충에서는 약 7 log CFU/g의 일반세균이 검출되었으며, Enterobacteriaceae, Staphylococci, Bacilli, 효모와 곰팡이가 모두 검출되었다. 다양한 온도 조건(T1=10분 가열, 24시간 60℃ 건조; T2= 10분 가열, 24시간 80℃ 건조; T3=30분 가열, 12 시간 80℃ 건조 후 12 시간 100℃ 건조; T4=T3의 처리를 거친 것을 5일 후 재가열)의 노출 결과, 30분간 끓인 후 80℃에서 12시간 1차 건조, 100℃에서 12시간 2차 건조한 공정에서 가장 낮은 세균 검출률을 나타냈으나, Bacilli는 여전히 검출되었으며, Bacilli는 80℃에서 24시간 건조과정을 거치는 경우가 더욱 효과적으로 사멸하였다. 따라서 식용 곤충에 대한 미생물학적 안전성을 위해서는 미생물 종에 따른 서로 다른 가공 공정 처리가 필요하다고 제시하였다(Grabowski와 Klein, 2016).

III. 결론

과거에는 곤충의 자연적인 수명주기에서의 연구가 주를 이루었으나, 최근 들어서 곤충의 식용화를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 현재까지 보고된 연구에 의하면, 식용 곤충과 가공된 식용 곤충에서 다양한 식중독 세균이 검출된 바 있다. 따라서 식용 곤충을 위해 양식된 곤충에 대한 식품 안전 연구가 필요하며, 기존 식품 연구와는 다른 양상이 제시될 가능성이 높다. 식용 곤충을 이용한 식품은 미생물학적으로 안전하지 않으므로, 곤충식품 개발을 위해서는 식용 곤충의 미생물 안전성이 뒷받침되어야 한다. 그러므로 식용 곤충에서 자주 발견되는 잠재적인 병원체 미생물에 대한 연구가 이루어져야 하며, 식용 곤충의 양식 및 가공 공정 단계까지 미생물학적인 안전성을 확보하기 위한 기술 개발이 필요하다.

참고문헌

1. Agabou A, Alloui N. 2010. Importance of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) as a reservoir for pathogenic bacteria in Algerian broiler houses. Vet World 3:71-73.

2. Akbari S, Oshaghi MA, Hashemi-Aghdam SS, Hajikhani S, Oshaghi G, Shirazi MH. 2015. Aerobic bacterial

community of American cockroach *Periplaneta americana*, a step toward finding suitable paratransgenesis candidates. J Arthropod Borne Dis 9:35-48.

3. Amadi EN, Ogbalu OK, Barimalaa IS, Pius M. 2005. Microbiology and nutritional composition of an edible larva (*Bunaea alcinoe* Stoll) of the Niger Delta. J Food Saf 25:193-197.
4. Anand AAP, Vennison SJ, Sankar SG, Prabhu DI, Wasan PT, Raghuraman T, Geoffrey CJ, Vendan SE. 2010. Isolation and characterization of bacteria from the gut of *Bombyx mori* that degrade cellulose, xylan, pectin and starch and their impact on digestion. J Insect Sci 10:107-127.
5. Braide W, Oranusi SU, Udegbunam LI, Oguoma OI, Akobondu C, Nwaoguikpe RN. 2011. Microbiological quality of an edible caterpillar of an emperor moth, Bunaea alcinoe. J Econ Nat Environ 3:176-180.
6. Braide W, Sokari TG, Hart AD, Nwaoguikpe RN. 2009. Microbiology of the gut content of an edible caterpillar of an emperor moth, *Bunaea alcinoe*. Curr Trends in Microbiol 5:31-36.
7. Dillon R, Charnley K. 2002. Mutualism between the desert locust *Schistocerca gregaria* and its gut microbiota. Res Microbiol 153:503-509.
8. EFSA. 2012. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2010. EFSA J 10:2597.
9. Gashe BA, Mpuchane SF, Siame BA, Allotey J, Teferra G. 1997. The microbiology of phane, and edible caterpillar of the emperor moth, *Imbrasia bellina*. J Food Protect 60:1376-1380.
10. Giaccone V. 2005. Hygiene and health features of mini livestock. Ecological implications of minilivestock: Role of rodents, frogs, snails and insects for sustainable development. Science Publisher 579-598.
11. Grabowski NT, Klein G. 2016. Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets (*Gryllus bimaculatus*) and superworms (*Zophobas atratus*) submitted to four different heating treatments. Food Sci Technol Int 23:17-23.
12. Hazeleger WC, BolderNM, Beumer RR, Jacobs-Reitsma WF. 2008. Darkling beetles (*Alphitobius diaperinus*) and their larvae as potential vectors for the transfer of *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enterica* Serovar Paratyphi B Variant Java between successive broiler flocks. Appl Environ Microbiol 74:6887-6891.
13. Jeon H, Park S, Choi J, Jeong G, Lee SB, Choi Y, Lee SJ. 2011. The intestinal bacterial community in the food waste-reducing larvae of *Hermetia illucens*. Curr Microbiol 62:1390-1399.
14. Kim K, Choi J, Kim W, Kim S, Yoon H. 2005. Survey of the occurrence of major diseases in resource insects. Korean J Appl Entomol 160-160.
15. Klunder HC, Wolkers-Rooijackers J, Korpela JM, Nout MJR. 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. Food Control 26:628-631.
16. Kobayashi M, Sasaki T, Saito N, Tamura K, Suzuki K, Watanabe H, Agui N. 1999. Houseflies: Not simple mechanical vectors of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7. Am J Trop Med Hyg 61:625-629.
17. Liang X, Fu Y, Tong L, Liu H. 2014. Microbial shifts of the silkworm larval gut in response to lettuce leaf feeding. Appl Microbiol Biotechnol 98:3769-3776.
18. Menasria T, Moussa F, El-Hamza S, Tine S, Megri R, Chenchouni H. 2014. Bacterial load of German cockroach

(*Blattella germanica*) found in hospital environment. Pathog Glob Health 108:141-147.

19. Nunamaker RA, Lockwood JA, Stith CE, Campbell CL, Schell SP, Drolet BS, Wilson WC, White DM, Letchworth GJ. 2003. Grasshoppers (Orthoptera:Acrididae) could serve as reservoirs and vectors of vesicular stomatitis virus. J Med Entomol 40:957-963.
20. Pai HH, Chen WC, Peng CF. 2004. Cockroaches as potential vectors of nosocomial infections. Infect Control Hosp Epidemiol 25:979-984.
21. Rumpold BA, Fröhling A, Reineke K, Knorr D, Boguslawski S, Ehlbeck J, Schlüter O. 2014. Comparison of volumetric and surface decontamination techniques for innovative processing of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). Innov Food Sci Emerg Technol 26:232-241.
22. Shi W, Guo Y, Xu C, Tan S, Miao J, Feng U, Zhao H, St leger RJ, Fang W. 2014. Unveiling the mechanism by which microsporidian parasites prevent locust swarm behavior. Proc Natl Acad Sci 111:1343-1348.
23. Stoops J, Crauwels S, Waud M, Claes J, Lievens B, Van Camperhout L. 2016. Microbial community assessment of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and grasshoppers (*Locusta migratoria migratorioides*) sold for human consumption. Food Microbiol 53:122-127.
24. Su LJ, Liu H, Li Y, Zhang HF, Chen M, Gao XH, Wang FQ, Song AD. 2014. Cellulolytic activity and structure of symbiotic bacteria in locust guts. Genet Mol Res 13:7926-7936.
25. Templeton JM, De Jong AJ, Blackall PJ, Miflin JK. 2006. Survival of *Campylobacter* species in darkling beetles (*Alphitobius diaperinus*) and their larvae in Australia. Appl Environ Microbiol 72:7909-11.
26. Ulrich RG, Buthala DA, Klug MJ. 1981. Microbiota associated with the gastrointestinal tract of the common house cricket, *Acheta domestica*. Appl Environ Microbiol 41:246-254.
27. Van Huis A, van Itterbeeck J, Klunder HC, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P. 2013. Edible insects: Future prospects for food and feed security edible insects: Future prospects for food and feed security (No. 171). FAO.
28. Vojvodic S, Rehan SM, Anderson KE, 2013. Microbial gut diversity of Africanized and European honey bee larval instars. PLOS ONE 8:72-106.
29. 김연중, 박영구. 2016. 곤충산업 실태와 육성정책 방향. 한국농촌경제연구원 농정포커스 122:1–24.
30. 농림축산식품부. 2005. 신 소득원으로서의 장수풍뎅이의 대량증식기술개발에 관한 연구.
31. 농촌진흥청. 2016. 창업을 위한 식용곤충 요리.