

Research Article



CrossMark

Open Access

기주식물별 풀무치의 영양성분 및 유해물질 비교분석

김선영[†], 각규원[†], 김은선, 박관호, 김남희, 송명하, 김용순*, 윤형주*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부 곤충산업과

Comparative Analysis of Nutrients and Hazardous Substances in *Locusta Migratoria* from Host Plants

Sun Young Kim[†], Kyu-Won Kwak[†], Eunsun Kim, Kwanho Park, Nang Hee Kim, Myung-Ha Song, Yong-Soon Kim* and Hyung Joo Yoon* (Industrial Insect Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 4 September 2020/ Revised: 10 September 2020/ Accepted: 15 September 2020

Copyright © 2020 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Sun Young Kim
<https://orcid.org/0000-0002-9953-0110>

Kyu-Won Kwak
<https://orcid.org/0000-0001-9059-7629>

Eunsun Kim
<https://orcid.org/0000-0002-1474-1905>

Kwanho Park
<https://orcid.org/0000-0002-3147-8651>

Nang Hee Kim
<https://orcid.org/0000-0001-6369-5813>

Myung-Ha Song
<https://orcid.org/0000-0003-3709-0612>

Yong-Soon Kim
<https://orcid.org/0000-0001-5310-2201>

Hyung Joo Yoon
<https://orcid.org/0000-0002-4113-5214>

Abstract

BACKGROUND: It has been reported that the nutritional composition of *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae) changes nutrients depending on the host plants. In this study, to confirm whether *Locusta migratoria* is an edible insect, the nutrients and harmful substances such as heavy metals and pathogens were analyzed and compared according to corn (LC) or wheat (LW) as host plants.

[†]These authors contributed equally to this study.

*Corresponding author: Hyung Joo Yoon
Phone: +82-63-238-2955; Fax: +82-63-238-3833;
E-mail: yoonhj1023@korea.kr

*Corresponding author: Yong-Soon Kim
Phone: +82-63-238-2992; Fax: +82-63-238-3833;
E-mail: kaiko0214@korea.kr

METHODS AND RESULTS: All experimental methods mainly referred to AOAC (2004). The content of crude protein per dry weight was 77.3% in (LW), 1.1 times higher than 69.8% in LC. Crude fat was 6.5% in LW, 2.2 times less than LC 14.3%. Alpha-linolenic acid, which has the highest content among unsaturated fatty acids, was 1.2 times higher in LC (39.9%) than LW (32.5%). As a result of analysis of harmful substances by LC and LW, lead and cadmium among heavy metals were at levels suitable for heavy metal standards of edible insects, and arsenic was not detected in both groups. *E. coli* and *Salmonella* spp. were not detected in both groups.

CONCLUSION: When comparing the overall nutrients composition of LW and LC, it was confirmed nutrients are different depending on the host plants, and the safety was proved.

Key words: Edible Insect, Harmful Substances, Host Plants, *Locustra Migratoria*, Nutrients

서론

지구 온난화, 대기 및 수질오염 등과 같은 환경문제와 세계인구의 증가로 사료 전환 효율이 높은 곤충을 단백질 대체 식품 및 동물사료로서의 이용은 지속적으로 논의되고 있으며, 유엔식량농업기구(FAO)에서 2013년 곤충을 미래식량자원으로 지정하였다[1]. 전세계의 약 113개국에서 선사시대부터 곤충을 섭취해왔다고 알려져 있으며 식용곤충으로는 나비목(Lepidoptera), 딱정벌레목(Coleoptera), 메뚜기목(Orthoptera), 흰개미목(Isoptera)과 벌목(Hymenoptera) 등의 2,000종 이상이 있다고 알려져 있다[2, 3].

현재 우리나라에서 이전부터 먹어왔던 곤충인 누에(유충, 번데기), 백강잠, 벼메뚜기와 2016년 식품공전에 등재된 갈색 거저리(유충), 흰점박이꽃무지(유충), 장수풍뎅이(유충), 쌍별 귀뚜라미 등을 포함하여 총 7종이 식품공전에 식용곤충으로 등록되어 있다. 추가적으로 2020년 영양성과 안전성이 입증되어 아메리카왕거저리(유충 탈치분말)과 수벌 번데기가 한시적 식용원료로 등록되었다[식품의약품안전처, 2020].

식용곤충인 벼메뚜기보다 대형인 풀무치(*Locusta migratoria*)는 메뚜기목(Orthoptera) 풀무치과(Acrididae)에 속한다[4]. 벨기에와 스위스에서 풀무치는 영양성과 안전성이 인정되어 법적으로 허용된 식용곤충이다[Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen, 2017]. 국내에서도 이미 등록된 벼메뚜기와 비교 시 풀무치는 크기는 2배이상 크고, 사육 기간, 사육 난이도, 먹이 효율성 등을 고려했을 때 훨씬 경제적이다. 따라서 풀무치는 벼메뚜기를 대체할 가능성을 가지므로, 식품원료로 활용되기 위한 영양학적 가치와 더불어 유해물질 분석을 통한 안전성을 입증할 수 있는 기초자료가 필요하다.

뿐만 아니라, 풀무치는 항산화[5], 항균[6], 천식, 기관지염, 뇌졸중 및 알츠하이머[6, 7]에 관한 연구를 통해 효과가 입증되어 기능성 소재로서의 이용 가능성이 확인되었다. 이외에도 최근 풀무치의 추출물이 신경모세포 생성 및 조골세포 분화에도 효과가 있는 것으로 나타났다[8, 9]. 또한 풀무치의 영양성분 관련 문헌에 따르면 조단백질 50.42%, 조지방 4.78%, 탄수화물 15.65%, 조섬유 6.24%로 구성되어 있으며 지방산에는 포화지방산(팔미트산, 스테아르산)과 불포화지방산(올레산, 리놀레산, 오메가-6, 오메가-3 지방산)을 포함하는 것으로 확인되었다[10-12]. 농촌진흥청 연구 결과에 따르면, 조단백질 76.49-78.12%, 조지방 6.06-6.88%, 탄수화물 8.14-8.34%, 조섬유 13.07-13.67%로 나타났으며 지방산에는 포화지방산(팔미트산, 스테아르산 등)과 불포화지방산(올레산, 리놀레산(오메가-6), 리놀렌산(오메가-3) 등, 칼륨, 인, 마그네슘, 아연 등의 무기질을 포함하는 것을 확인하였다[농촌진흥청, 2017]. 이와 같이 영양성분은 기주식물에 따라 변화되므로 본 연구에서 기주식물인 옥수수과 밀을 먹이원으로 적용하였을 때 풀무치의 영양성분과 유해물질 함량의 차이를 알

아보고자 비교분석하였다.

본 연구에서 기주식물에 따른 풀무치 영양성분의 특성을 구명하여 용도별 선택 가능한 먹이원의 정보를 제공하고, 중금속, 병원성미생물 등의 유해물질을 비교분석하여 향후 풀무치를 식용곤충으로 활용하기 위한 안전성을 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

실험곤충 및 전처리

풀무치는 벼과작물을 먹고 자라는 곤충으로, 주로 밀과 옥수수로 사육한다. 밀은 동계식물로 1~4월과 11~12월, 옥수수는 하계식물로 5~10월에 재배된다. 밀과 옥수수를 먹인 풀무치는 온도 28±2℃, 상대습도 65%, 광주기 9L:15D 조건의 실내사육실에서 사육하였고[농촌진흥청, 2017], 기주식물(밀, 옥수수)별로 사육한 풀무치를 전라남도(장성 소재)의 농가에서 구입해 실험에 사용하였다. 풀무치 성충의 기주식물별(옥수수, 밀) 영양성분 특성 분석과 안전성 검증을 위해 전라남도(장성 소재) 농가에서 구입하였다. 사육망 안에서 약1일간 절식시킨 풀무치는 영하 70℃의 초저온 냉동고(NIHON freezer, Tokyo, Japan)에서 24시간 이상 급속냉동 후 해동시켜 분변 및 이물질을 제거를 위해 흐르는 물에 2-3회 세척하였다. 전처리 후 풀무치는 115℃, 0.9 kgf/cm²로 10-15분 동안 가압증기멸균기(Tomy Kogyo co., LTD, Tokyo, Japan)로 고온고압멸균하고 영하 70℃의 초저온 냉동고에 24시간 이상 급속 냉동하였다. 그런 다음 동결건조기(Ilshinbiobase, Dongducheon, Korea)를 이용하여 약 65±5시간 동안 건조시켰다. 100 메쉬로 분쇄기(Garyeo Industry, Siheung, Korea)에 분쇄하여 풀무치 분말을 제조하였다.

일반성분 분석

공인분석화학자협회(Association of Official Analytical Chemists, AOAC)[13]의 기준에 따라 풀무치의 일반성분은 조사하였고, 수분 함량은 105℃ 상압건조법, 조회분 함량은 550℃ 직접회화법을 이용하여 분석하였다. 조사된 영양성분 중 일반성분인 조단백질, 탄수화물, 조회분 조섬유의 조성을 확인하였다. 조단백질 함량은 micro-Kjeldahl법을 이용하여 질소정량법으로 조단백질 함량을 측정하였고, ether 추출법에 따라 조지방 성분 함량을 측정하였다. 수분, 조회분, 조단백질, 조지방의 분석된 함량으로부터 탄수화물 함량을 계산하였다.

아미노산 조성 분석

조사된 영양성분 중 구성아미노산 성분으로 필수아미노산(methionine, threonine, valine, isoleucine, leucine, phenylalanine, lysine, histidine) 및 비필수아미노산(cysteine, aspartic acid, serine, glutamic acid, glycine, alanine, tyrosine, arginine, proline)의 조성을 확인하였다. 아미노산은 Ninhydrin법에 의해 조사하였다[13]. 시료는 각각 50

mg을 취해서 분해병에 넣은 후, 6 N-염산 40 ml를 가하고 질소가스를 주입하였다. 분해병에 넣은 시료는 110°C에서 24시간 가수분해한 후 염산을 50°C에서 감압 농축시키고 0.2N sodium citrate buffer (pH 2.2) 50 ml를 넣어 희석시켰다. 희석된 시료는 여과지(0.45 µm, Pall Life Sciences, California, USA)를 이용해 여과한 후 아미노산분석기(L-8900 High-speed Amino Acid analyzer, Hitachi, Tokyo, Japan)를 이용하여 아미노산을 분석하였다.

지방산 조성 분석

영양성분 중 포화지방산(myristic acid, palmitic acid, stearic acid)와 불포화지방산(linolenic acid, eicosapentaenoic acid, docosahexaenoic acid 등)의 함량을 조사하였다. Folch 등 [14]의 방법에 따라서, 시료 50 g과 chloroform:methanol (2:1, v/v) 용액 250 ml을 homogenizer 3000 ppm으로 균질하여 지질을 추출하였다. 무수황산나트륨으로 수분을 제거하고 여과액을 50-55°C에서 농축한 후, 1 ml 트리코산산을 첨가하고, 1 ml 0.5N 수산화나트륨을 넣었다. 이 후, 여과액을 100°C에서 20분 동안 가열 후 30분간 방냉한 다음 삼불화붕소를 2 ml 첨가하고 20분 가열하고 30분 동안 방냉하였다. 1 ml 헵탄과 8 ml 염화나트륨을 첨가 후 상등액을 취하여 시험용액으로 사용하였다. 불꽃이온화 검출기가 장착된 gas chromatography (US/HP 6890, Agilent Technologies, Seoul, Korea)에 capillary column (Sigma-Aldrich SP-2560, St.Louis, MO, USA)과 검출온도 285°C, 흐름속도 0.75 mL/min, 주입량 1 µL, 오븐온도 100°C (4 min), 208°C (3°C/min), 244°C (15min)의 분석조건으로 지방산을 분석하였다.

무기질 및 중금속 분석

풀무치 시료 체내의 무기질(칼륨, 인, 마그네슘, 칼슘, 아연, 철, 망간, 구리 등)과 유해물질로서 중금속 (납, 카드뮴, 비소, 수은) 분석을 위해 동결건조된 시료 분말 50 mg을 예비회화시켰다. 준비된 풀무치 시료는 600°C의 전기로에서 2시간 이상 회화시키고 염산용액(1:1, w/v)을 첨가하여 18시간 방치하며 용해하였다. 용해된 시료를 No. 6 여과지(Whatman International Co., Maidstone, UK)로 여과하였고, 무기질과 중금속 함량은 inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES, Horiba, Kyoto, Japan)를 이용하여 분석하였다[13].

유해미생물 분석

동결건조된 풀무치의 안전성 확인을 위해 식품공전의 규정에 따라 병원성 미생물인 식중독균(*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp.) 유무를 검사하였다[13]. 대장균 O157:H7(*E. coli* O157:H7)의 검사는 시료 25 g을 225 ml의 mEC 배지(EC broth, Novobiocin Supplement, Thermo Fisher Scientific, UK)에 첨가한 뒤 35-37°C에서 24±2시간 배양하였다. 증균 배양액을 cefixime (0.05 mg/l) 및 potassium tellurite (2.5 mg/l)가 첨가된 MacConkey

sorbitol 한천배지(Sorbitol MacConkey Agar, Thermo Fisher Scientific, UK)에 도말하였고, 35-37°C에서 18시간 배양하였다. 대장균으로 간주되는 보라색 집락을 보통한천배지에 접종하였으며 순수 배양하였다. 이 후 그람염색법과 O/H 혈청형 시험법을 이용하여 대장균 유무를 확인하였다. 살모넬라균(*Salmonella* spp.)은 시료 25 g을 225 ml의 펄프수에 첨가한 후 35-37°C에서 24±2시간 배양하였다. 배양액 0.1 ml를 취하여 10 ml의 Rappaport-Vassiliadis 배지에 접종한 뒤, 42±1°C에서 24±2시간 배양하였다. XLD 한천배지에 접종 후 집락의 중앙 부분이 검거나 붉으면 보통한천배지에 접종하여 36±1°C, 24시간 동안 배양하였다. 이 후, TSI 한천배지(Triple Sugar Iron Agar, Thermo Fisher Scientific, UK)에 접종 후 살모넬라균으로 의심될 경우, 그람염색법과 살모넬라균(*Salmonella* spp.) O/H 혈청 응집 시험법으로 확인하였다.

결과 및 고찰

일반성분 비교분석

기주식물(옥수수, 밀)에 따른 풀무치의 일반성분 분석 결과(Table 1), 건조중량 기준 조단백질 함량이 69.8-77.3%로 가장 많았고, 조지방 6.5-14.3%, 조섬유 9.4-13.4%, 탄수화물 8.2-11.7%, 조회분 3.2-4.1%를 함유하고 있었고, 수분은 0.9-3.8%였다. 조단백질은 밀을 먹은 풀무치(LW)에서 77.3%로 옥수수를 먹은 풀무치(LC) 69.8%에 비해 1.1배 더 많았다. 조지방 함량은 LW (6.5%)가 LC (14.3%)보다 2.2배 더 적게 나타났다. 조회분은 LW (4.1%)에서 LC (3.2%)보다 1.3배 더 많았으며, 조섬유 역시 LW (13.4%)가 LC (9.4%)에 비해 1.4배 많았다. 수분 함량 또한 LW (3.8%)가 LC (0.9%)에 비해 4.1배 더 많게 나타났다.

탄수화물은 LW (8.2%)가 LC (11.7%)에 비해 1.4배 적은 함량이었다. 이상의 결과로 볼 때, LC와 LW는 전체적으로 일반성분이 우수한 것으로 생각된다.

일반식품의 단백질 함량은 난류 8.5-14.7%, 육류 16.1-35.1%, 어류 7.1-56.0%, 두류 7.9-26.1%이다[15]. 식용곤충인 벼메뚜기(70.4%), 쌍별귀뚜라미(64.3%), 아메리카왕거저리(60.6%), 흰점박이꽃무지(57.9%), 누에(56.8%), 갈색거저리(50.3%), 장수풍뎅이(39.3%)의 단백질 함량은 39.3-70.4%로 일반식품과 비교시 1.3-9.9배나 많았다[15,16]. LC의 단백질 함량은 69.8%로 벼메뚜기(70.4%)와 비슷한 수준이었고, LW 단백질은 77.3%로 기존의 식용곤충에 비해 1.1-2.0배 더 많은 함량을 나타냈다. 높은 단백질 함량을 고려할 때, 옥수수 와 밀을 먹은 풀무치 모두 동물성 단백질 대체식품으로 활용될 가능성을 가지고 있다.

아미노산 조성 비교분석

옥수수와 밀을 먹은 풀무치(LC, LW)를 대상으로 17종의 구성아미노산 함량을 분석하였다(Fig. 1, Fig. 2). LC와 LW의 구성아미노산 중 필수아미노산은 각각 23.4%와 22.7%, 비필수아미노산은 37.1%와 38.5%로 비슷한 함량을 나타냈다.

Table 1. Proximate composition of corn- and wheat-eating *Locusta migratoria*

Proximate composition (%)	LC	LW
Moisture	0.9±0.4	3.8±0.3*
Crude protein	69.8±0.3	77.3±1.2*
Crude fat	14.3±1.2*	6.5±0.6
Crude ash	3.2±0.03	4.1±0.1*
Crude fiber	9.4±1.1	13.4±0.4*
Carbohydrate [†]	11.7±0.4**	8.2±0.1

[†]Carbohydrate = 100 - (moisture + crude protein + crude fat + crude ash)

¹⁾ Values are mean ± S.D. (n=2), t-test, *, $p < 0.05$, **, $p < 0.01$

Abbreviations

LC, corn-eating *Locusta migratoria*

LW, wheat-eating *Locusta migratoria*

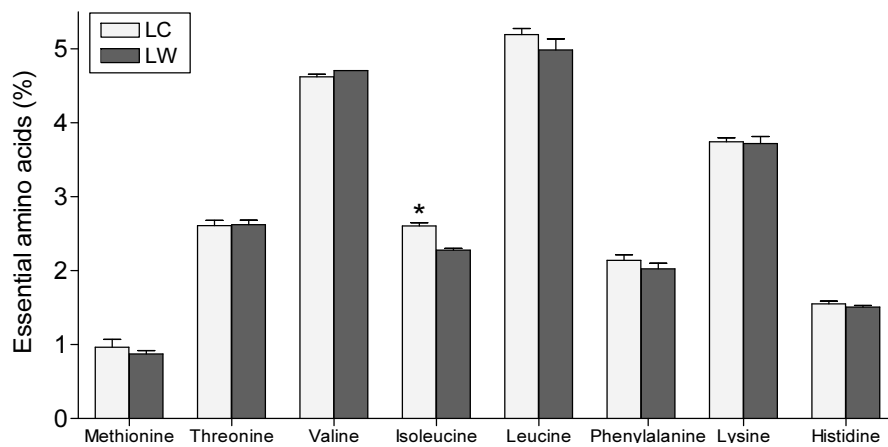


Fig. 1. Essential amino acid contents of corn- and wheat-eating *Locusta migratoria*.

The values showed as means ± S. D. (n=2). t-test, *, $p < 0.05$

Abbreviations

LC, corn-eating *Locusta migratoria*

LW, wheat-eating *Locusta migratoria*

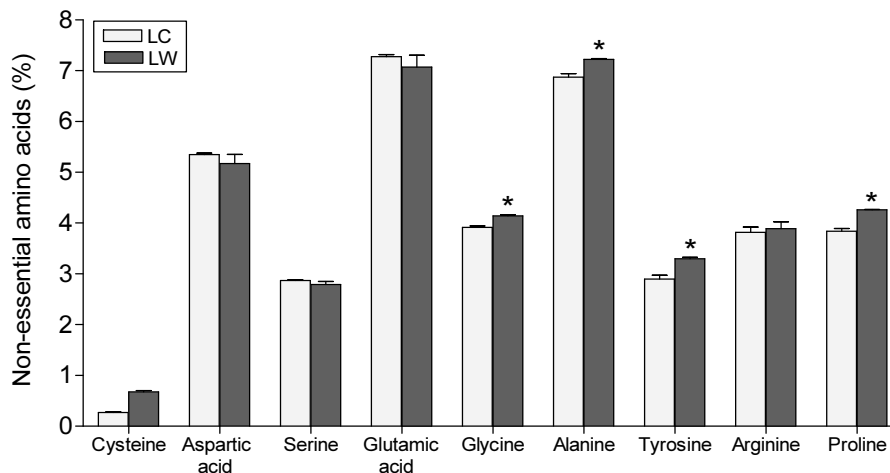


Fig. 2. Non-Essential amino acid contents of corn- and wheat-eating *Locusta migratoria*.

The values showed as means ± S. D. (n=2). t-test, *, $p < 0.05$

Abbreviations

LC, corn-eating *Locusta migratoria*

LW, wheat-eating *Locusta migratoria*

식용곤충인 장수풍뎡이, 흰점박이꽃무지, 갈색거저리, 아메리카왕거저리, 수벌 번데기의 필수아미노산은 13.2-28.2%, 비필수아미노산은 21.6-34.3%이다[16, 17]. LC와 LW의 필수아미노산 함량은 갈색거저리(17.8%)보다 1.3배 높았고, 비필수아미노산은 아메리카왕거저리(34.3%)보다 1.1배 높았다.

필수아미노산은 체내에서 합성되지 않거나 매우 적은 양만이 합성되기 때문에 반드시 식품으로부터 공급이 필요하다[15, 17, 18]. 필수아미노산 methionine, threonine, valine, isoleucine, leucine, phenylalanine, lysine, histidine 중에서 valine과 leucine은 비슷한 수치를 나타냈고, isoleucine은 LC (2.6%)에서 LW (2.3%)보다 1.1배 더 많았다. leucine, valine, isoleucine은 분지사슬 아미노산(Branched Chain Amino Acids, BCAA)이라 불리며, 분지사슬 아미노산은 골격근의 에너지 대사와 밀접한 관련이 있고 운동 시 에너지 원으로 이용된다. 인체실험 결과에서도 운동 전후에 분지사슬 아미노산을 투여하면 운동에 의한 근육 손상과 근육통을 감소시킬 수 있는 것으로 밝혀졌다[17,40]. 특히, 혈당 조절과 뼈, 근육조직의 성장, 에너지 생성 등에 관여하는leucine의 경우, 필수아미노산 중 LC (5.2%)와 LW (5.0%) 모두 가장 높았다. Methionine과histidine은 0.9-1.6%로 상대적으로 낮은 수치를 보였다(Fig. 1).

비필수아미노산은 체내에서 합성되어 생성되기 때문에 굳이 섭취할 필요가 없는 아미노산이다[15,16,18]. 비필수아미노산인 cysteine, aspartic acid, serine, glutamic acid, glycine, alanine, tyrosine, arginine 및 proline 중에서 뇌의 발달이나 기억력에 기여하며, L-글루탐산일나트륨(monosodium L-glutamate, MSG)의 기본성분이 되는glutamic acid는 비필수아미노산 중 LC에서 7.3%로 가장 많은 함량을 나타냈고, LW에서도 7.1%로 비슷하였다. LW에서 가장 많은 양을 차지하는 aspartic acid는 LW에서 7.2%, LC에서 6.9%로 LW에서 1.1배 더 많았다(Fig. 2). 2번째로 많은 함량을 나타내는alanine은 간기능을 활성화시켜 숙취예방과 해독작용을 하는 것으로 알려져 있으며[16], LW에서 7.2%로 LC (6.9%)보다 1.1배 많았다. LC와 LW에서 3번째로 높은 수치를 나타낸 aspartic acid는 중추신경계를 보호하고 피로에 대한 저항성 및 지구력을 증가시키는 것으로 알려져 있다[17]. Proline, glycine, tyrosine은 LW에서 3.3-4.3%, LC 2.9-3.9%로 LW에서 1.1배 더 많은 함량을 나타냈다. Serine과 arginine은 LC에서 2.9%와 3.8%, LW에서 2.8%와 3.9%로 비슷하였다. Cysteine 함량은 LC (0.3%)와 LW (0.7%)에서 가장 낮았고 LW에서 2.5배 더 많았다(Fig. 2). 이미 등록된 식용곤충 들 처럼 LC와 LW 모두 아미노산 함량이 풍부하며, 특히 분지사슬 아미노산 함량이 많기 때문에 단백질 섭취가 더욱 중요한 운동선수, 노인, 수술 후 회복기 환자 등에게 활용도가 높을 것으로 생각된다.

지방산 조성 비교분석

옥수수과 밀을 먹은 풀무치(LC, LW)의 지방산 조성을 불포화지방산과 포화지방산으로 나누어 분석하였다(Fig. 3). 전

체 지방산 함량 중 불포화지방산 함량은 LC와 LW에서 각각 74.2%와 72.5%, 포화지방산은 25.9%와 27.2%로 기주식물에 따른 차이가 없었으며, 불포화지방산 함량이 포화지방산보다 2.7-2.9배나 높게 나타났다. Fig. 3에서 보는 바와 같이, 3개의 포화지방산(myristic acid, palmitic acid, stearic acid) 중, LC에서는 palmitic acid가 가장 많은 함량을 나타냈고, 16.8%로 LW (12.7%)에서보다 1.3배 더 많았다. LW에서는 stearic acid의 함량이 13.8%로 가장 많았고, LC(8.1%)에서보다 1.7배 더 높은 수치를 나타냈다(Fig. 3). 8개의 불포화지방산 중 γ -linolenic acid, eicosenoic acid, eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) 4종은 발견출 되었다. 불포화지방산 중 α -linolenic acid가 가장 많은 함량을 나타냈고 LC에서 39.9%로 LW (32.5%)보다 1.2배 높게 검출되었다. 다음으로 높은 함량을 나타냈던 oleic acid는 LW에서 22.9%, LC에서 19.2%로 LW 함량이 1.2배 더 많았다(Fig. 3).

옥수수를 먹은 풀무치(LC)와 밀을 먹은 풀무치(LW)의 불포화지방산은 100g 각각 74.2%와 72.5%로 갈색거저리(76.8%), 흰점박이꽃무지(80.0%)에 비해 1.1배 이상 낮게 함유되어 있었고, 장수풍뎡이(59.6%)에 비해 1.2배 높은 수치였다[16]. 또한, 불포화지방산은 주로 식물성지방과 어패류지방에 많으며, 식품 중 올리브 오일 84.1%, 아보카도 오일 62.5%, 계란 65.5%, 소고기(안심) 56.5%, 고등어 70.6%, 오리고기에서 69.3%를 함유하고 있다[25-30]. 옥수수를 먹은 풀무치(LC)와 밀을 먹은 풀무치(LW)의 불포화지방산 함량은 74.2%, 72.5%로 주단백질원에 속하는 소고기(안심) 56.5% 보다 1.3배 이상 높았으므로 육류 대체식품으로 활용될 가능성을 가진다. Oleic acid와 linoleic acid는 혈압과 혈중 LDL 콜레스테롤을 낮추고 HDL 콜레스테롤 농도를 높이는 작용을 하며 간을 보호하는 것으로 알려져 있다[19, 20]. 특히, linoleic acid와 linolenic acid는 항산화, 항암 및 체지방 감소와 콜레스테롤 감소 등의 효과가 있는 것으로 연구되어 있다[21-24]. 위의 결과에 따르면 특히 α -linolenic acid와 oleic acid와 같은 불포화지방산 함량이 높게 나타난 것으로 보아 풀무치 분말을 섭취할 경우 체지방과 콜레스테롤 감소 및 항산화 효능이 있을 것으로 사료된다.

무기질 조성 비교분석

옥수수를 먹은 풀무치(LC)와 밀을 먹은 풀무치(LW)의 다량무기질 함량을 비교분석한 결과, 칼륨(318.0 mg/100g과 1144.1 mg/100g), 인(621.1 mg/100g과 808.6 mg/100g), 마그네슘(96.0 mg/100g과 137.1 mg/100g), 칼슘(67.9 mg/100g과 77.4 mg/100g) 순으로 나타났다(Fig. 4A). 칼륨(K), 인(P)의 경우에는 LW가 LC 비해 1.3-3.6배 높았다. LW에서 가장 높은 함량을 차지하는 칼륨(K)은 근육의 수축과 이완, 나트륨의 과잉섭취로 유발된 고혈압에 대한 보호기능이 있으며 [31-33], 칼륨/나트륨의 섭취비율을 1에 가깝게 유지하는 것이 고혈압 예방에 중요하다고 연구되어 있다[34, 35]. 본 연구에서 풀무치 시료의 LW는 LC보다 칼륨 함량이 약 3.6배 높게

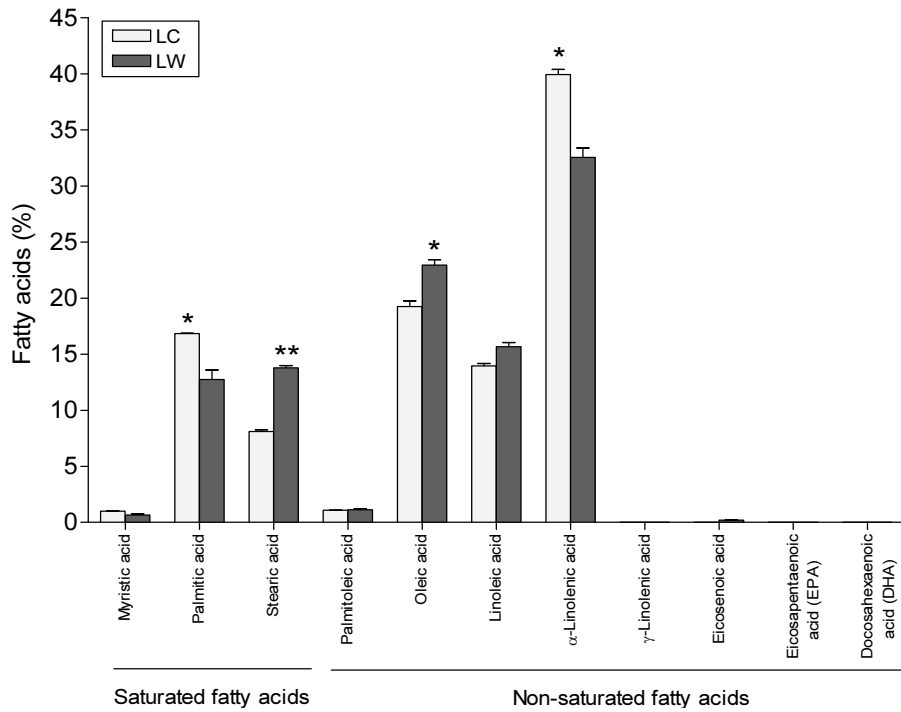


Fig. 3. Fatty acid compositions of corn- and wheat-eating *Locusta migratoria*.

The values showed as means \pm S. D. (n=2). t-test, *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$

Abbreviations

LC, corn-eating *Locusta migratoria*

LW, wheat-eating *Locusta migratoria*

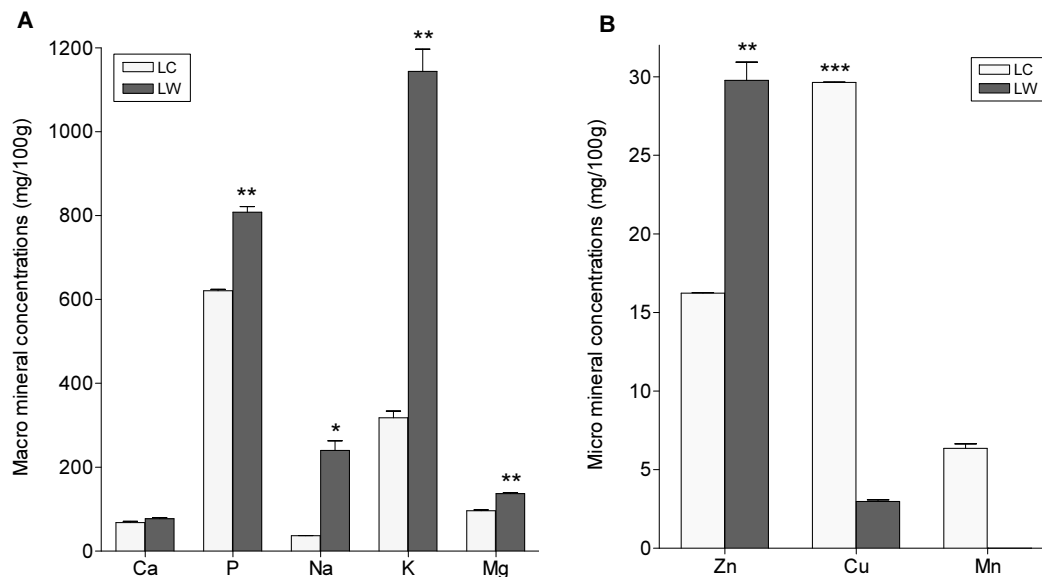


Fig. 4. Macro (A) and micro mineral (B) concentrations of corn- and wheat-eating *Locusta migratoria*.

The values showed as means \pm S. D. (n=2). t-test, *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$

나타났다. LW에서 2번째로 높은 함량을 나타낸 인(P)은 LW가 LC에 비해 1.3배 높았으며, 인은 칼슘과 더불어 치아와 뼈속에서 수산화인회석($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$)의 주요성분으로, 몸의

산·염기 농도를 조절해주고, 세포 재생을 촉진하는 것으로 알려져 있다. 또한, 초등학교 아동의 적절한 인의 섭취는 영구치 우식 예방에 긍정적인 효과가 있다고 밝혀졌다[36, 37]. 식

용곤충 3종(갈색거저리, 흰점박이꽃무지, 장수풍뎅이)에서도 무기질 성분 중 칼륨(865.2-1597.0 mg/100g)과 인(424.7-593.2 mg/100g) 함량이 높게 나타났다[16, 31].

마그네슘(Mg)은 LW에서 LC에 비해 3.6배 높게 나타났으며, 칼슘, 인과 같이 서로 상호작용을 하며 혈중 지질 농도와 순환기계 질환 발생과 관련이 있으며, 칼슘, 마그네슘, 구리(Cu), 아연(Zn)은 대부분 골격에 존재하면서 골질량을 증가시켜 건강한 골격을 유지하는데 중요하다고 알려져 있다[38]. 칼슘(Ca)은 LW와 LC가 수치상 거의 차이가 없었다.

LC와 LW의 미량 무기질 함량 분석 결과, 아연(16.2 mg/100 g과 29.8 mg/100 g), 구리(29.6 mg/100 g과 3.0 mg/100 g), 망간(6.4 mg/100 g과 0.0 mg/100 g) 순이었다(Fig. 4B).

아연(Zn)은 면역 반응 조절, 항산화, 효소 보조인자, 전자형성과 스테로이드 합성, 비타민 A 대사, 인슐린 저장과 방출, 에너지 대사, 단백질 합성, 세포 분화, DNA 전사 조절 기능이 알려져 있다[20, 39-41]. 본 풀무치 시료의 무기질 함량 중 아연(Zn)은 LW가 LC보다 1.8배 높았으며, 구리(Cu)는 LC에서 LW에 비해 9.9배 높은 함량을 나타냈다. 구리(Cu)는 아연과 더불어 SOD (Superoxide dismutase)라고 하는 역돌연변이 촉매 금속효소 (metalloenzyme)와 깊은 연관이 있으며, 아연이나 구리가 결핍되었을 시 SDO의 활성도가 감소되어 산화적 손상이 오는 것으로 알려져 있다[42, 43]. 특히 구리 이온이 감소가 되면 당화현상(glycosylation), 혈전증 및 동맥경화증 유발이 증가되는 것으로 밝혀졌다[44].

신체 조직의 구성성분인 무기질은 영양소의 흡수와 운송, 골격과 치아의 구성, 근육의 수축과 이완 작용, 체내 수분과 산·염기의 평형 유지 등과 같은 여러 생리기능 조절 및 유지에 중추적인 역할을 한다. 따라서 LC와 LW 모두 다양한 무기질이 고루 분포하기 때문에 식품 원료로 활용될 가능성이 충분하다고 생각된다.

유해물질 비교분석

중금속 4종인 납(Pb), 카드뮴(Cd), 비소(As), 수은(Hg)과 병원성 미생물 대장균(*E. coli*)과 살모넬라균(*Salmonella* spp.)의 유해물질 검사 결과를 Table 2에 나타내었다. 중금속 4종의 분석 결과, LC에서 납은 0.13 mg/kg, 카드뮴은

0.03 mg/kg 검출되었고, LW에서는 납은 0.01 mg/kg, 카드뮴은 검출되지 않았다. 비소는 두 시험군 모두 미검출되었으며, 수은은 LC, LW 모두 0.01 mg/kg으로 검출되었다. 식용곤충 (갈색거저리, 흰점박이꽃무지, 쌍별귀뚜라미, 장수풍뎅이) 중금속 관리 기준은 현재 납(0.1-0.3 mg/kg), 카드뮴(0.05-0.3 mg/kg), 비소(0.1 mg/kg, 갈색거저리와 흰점박이꽃무지에만 적용)로 정해져 있으므로, LC, LW의 중금속 함량은 현 식용곤충 중금속 관리 기준 내에서 검출되었다. Table 2에서 보는 바와 같이, 병원성 미생물인 대장균과 살모넬라균은 LC와 LW에서 모두 불검출 되었다. 식품공전에서 관리하는 식중독균이 검출되지 않아 안전성이 높은 것으로 사료된다.

위의 모든 결과에서 LW가 LC보다 탄수화물과 조지방이 1.4배, 2.2배 많게 나타났다. 또한, 아미노산은 필수아미노산과 비필수아미노산의 경우 LW와 LC의 성분함량이 거의 차이가 없었다. 지방산의 경우에도 포화지방산과 불포화지방산의 성분함량의 차이가 거의 없었다. LC 및 LW 단백질 함량(69.8%와 77.3%)이 식용 곤충인 갈색거저리(50.3%), 장수풍뎅이(39.3%) 보다 1.1-1.5배 많았다. 또한 필수아미노산(22.43%와 22.72%), 불포화지방산(74.2-77.3%) 등 체내에서 합성되지 않는 영양소를 많이 함유하고 있을 뿐만 아니라, 중금속, 병원성 미생물 등 유해물질 분석 결과 안전성이 검증되었다.

현재 많은 소비량을 보이는 흰점박이꽃무지 및 갈색거저리와 단백질 함량을 비교했을 때 풀무치는 1.2-1.5배 높았다. 또한, 대부분의 식용곤충이 필수지방산 중 oleic acid 함량이 가장 높는데 반해, 풀무치는 α -linolenic acid(오메가 3) 함량이 가장 높았다. 여러 연구를 통해 α -linolenic acid가 EPA나 DHA로 전환되지 않더라도 이 성분 자체가 우울증, 불안, 스트레스 수준을 낮추는 데에 효과가 있다[45, 46]고 하였으므로, 단백질 대체식품 혹은 고령친화식품으로 활용될 가치가 충분하다고 생각된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Table 2. Hazardous substances of corn- and wheat-eating *Locusta migratoria*

Hazardous substance		LC	LW
Heavy metals (mg/kg)	Lead (Pb)	0.13	0.01
	Cadmium (Cd)	0.03	ND [†]
	Arsenic (As)	ND [†]	ND [†]
	Mercury (Hg)	0.01	0.01
Food poisoning bacteria	<i>Escherichia coli</i> (O157:H7)	ND [†]	ND [†]
	<i>Salmonella</i> spp.	ND [†]	ND [†]

[†]ND, Not Detected.

Abbreviations

LC, corn-eating *Locusta migratoria*

LW, wheat-eating *Locusta migratoria*

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01352501)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

1. Van Huis A (2013) Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>.
2. Kouřimská L, Adámková A (2016) Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal* 4, 22-26. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>.
3. Yoo JM, Hwang JS, Goo TW, Yun EY (2013) Comparative analysis of nutritional and harmful components in Korean and Chinese mealworms (*Tenebrio molitor*). *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42(2), 249-254. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2013.42.2.249>.
4. Tanaka S, Nichide Y (2012) A green morph of the migratory locust, *Locusta migratoria* L. (Orthoptera: Acrididae) that occurred after inbreeding. *Journal of Orthoptera Research*, 21, 175-177. <https://doi.org/10.1665/034.021.0205>.
5. Kim T, Lee J, Choi B, Ryu H. (1987) Nutritional value of dried paddy grasshopper, *Oxya chinensis formosana*. *Journal of the Korean Society of Food and Nutrition*, 16(2), 98-104.
6. Kim HJ, Kang SJ, Kim SG, Kim JE, Koo HY (2014) Antioxidant activity and antimicrobial activity of the grasshopper, *Oxya chinensis sinuosa*. *Journal of Agriculture Science & Technology*, 49, 19-26. <https://doi.org/10.29335/tals.2014.49.19>.
7. Lee HJ, Seo M, Lee JH, Kim I, Kim SY, Hwang J, Kim M (2018) Anti-neuroinflammatory effects of a *Locusta migratoria* ethanol extract in LPS-stimulated BV-2 microglia. *Journal of Life Science*, 28, 1332-1338. <https://doi.org/10.5352/JLS.2018.28.11.1332>.
8. Baek M, Seo M, Lee JH, Kim IW, Kim M, Hwang J (2018) Osteoblastogenic activity of *Locusta migratoria* ethanol extracts on pre-osteoblastic MG-63 cells. *Journal of Life Science*, 28(12), 1448-1454. <https://doi.org/10.5352/JLS.2018.28.12.1448>.
9. Baek M, Seo M, Lee JH, Lee HJ, Kim IW, Kim SY, Kim M, Kim S, Hwang J (2019) Inhibitory effects of *Locusta migratoria* ethanol extract on RANKL-induced osteoblast differentiation. *Journal of Life Science*, 29, 1104-1110. <https://doi.org/10.5352/JLS.2018.28.12.1448>.
10. Clakson C, Miroso M, Birch J (2018) Potential of extracted *Locusta migratoria* protein fractions as value-added ingredients. *Insects*, 9, 1-12. <http://doi.org/10.3390/insects9010020>.
11. Mohamed EHA (2015) Determination of nutritive value of the edible migratory locust *Locusta migratoria*, Linnaeus, 1758 (Orthoptera: Acrididae). *International Journal of Advances Pharmacy, Biology and Chemistry*, 4, 144-148.
12. Mohamed EHA (2015) Fatty acids contents of the edible migratory locust *Locusta migratoria*, Linnaeus, 1758 (Orthoptera: Acrididae). *International Journal of Advances Pharmacy, Biology and Chemistry*, 4, 746-750.
13. Association of Official Agricultural Chemists (2010) *Official Methods of Analysis*. Ch.9 - Ch.46, 18th edition, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, USA.
14. Folch J, Lees M, Stanley GHS (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-509.
15. Chung MY, Hwang JS, Goo TW, Yun EY (2013) Analysis of general composition and harmful material of *Protaetia brevitarsis*. *Journal of Life Science*, 23, 664-668. <https://doi.org/10.5352/JLS.2013.23.5.664>.
16. Kim SY, Lee KY, Kim HG, Hwang JS, Yoon HJ (2017) A nutritional analysis of Chinese red-headed Centipedes (*Scolopendra subspinipes mutilans*) from different regions of Korea. *Journal of Life Science*, 27, 1308-1314. <https://doi.org/10.5352/JLS.2017.27.11.1308>.
17. Kim SY, Kim HG, Lee KY, Ko HJ, Kim NJ, Yoon HJ (2018) Effects of brewer's spent grain on the growth and nutrition of the giant mealworm beetle, *Zophobas atratus*. *International Journal of Industrial Entomology*, 37, 73-81. <https://doi.org/10.7852/ijie.2018.37.2.73>.
18. Kim KN, Kim SB, Yoon WJ, Yang KS, Park SY (2008) Induction of apoptosis by *Scolopendra subspinipes mutilans* in human leukemia HL-60 cells through Bcl-X1 regulation. *Journal of the Korean Society Food and Science*, 37, 1408-1414. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2008.37.11.1408>.
19. Priore P, Gnoni A, Natali F, Testini M, Gnoni GV, Siculella L, Damiano F (2017) Oleic acid and hydroxytyrosol inhibit cholesterol and fatty acid synthesis in C6 glioma cells. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 9, 9076052. <https://doi.org/10.1155/2017/9076052>.

20. Chung KW (1990) Effects of chronic ethanol intake on aromatization of androgens and concentration of estrogen and androgen receptors in rat liver. *Toxicology*, 62(3), 285-95.
[https://doi.org/10.1016/0300-483x\(90\)90052-i](https://doi.org/10.1016/0300-483x(90)90052-i).
21. Angerer P, von Schacky C (2000) n-3 polyunsaturated fatty acids and the cardiovascular system. *Current Opinion in Lipidology*, 11(1), 57-63.
<https://doi.org/10.1097/00075197-200011000-00005>.
22. Harper CR, Jacobson TA (2001) The fats of life: the role of omega-3 fatty acids in the prevention of coronary heart disease. *Archives of Internal Medicine*, 161, 2185-2192.
<https://doi.org/10.1001/archinte.161.18.2185>.
23. Lim SY, Rhee SH, Yi SY, Park KY (1997) Growth inhibitory effect and changes in membrane phospholipid fatty acid composition on MG-63 and AZ-521 human cancer cells by linoleic acid. *Journal of the Korean Society Food and Science Nutrition*, 26, 662-668.
24. Massaro M, Scoditti E, Carluccio MA, Calabriso N, Santarpino G, Verri T, De Caterina R (2020) Effects of olive oil on blood pressure: epidemiological, clinical, and mechanistic evidence. *Nutrients*, 12(6), 1548.
<https://doi.org/10.3390/nu12061548>.
25. Cho EA, Lee YS (2014) A study on the classifying quality standard by comparison with physicochemical characteristics of virgin, pure, pomace olive oil. *The Korean Journal of Food and Nutrition*, 27, 339-347.
<https://doi.org/10.9799/ksfan.2014.27.3.339>.
26. Hong EC, Choo HJ, Kang BS, Kim CD, Heo KN, Lee MJ, Hwangbo J, Suh OS, Choi HC et al. (2012) Performance of growing period of large-type Korean native ducks. *Korean Journal of Poultry Science*, 39, 143-149. <https://doi.org/10.5536/KJPS.2012.39.2.143>.
27. Indriyani L, Rohman A, Riyanto S (2016) Physicochemical characterization of Avocado (*Persea Americana* Mill.) oil from three Indonesian avocado cultivars. *Research Journal of Medicinal Plants Research*, 10, 67-78. <https://doi.org/10.3923/rjmp.2016.67.78>.
28. Koo NS, Wang SG, Park JM (2002) Change of fatty acid content in egg yolk oil of various chicken eggs during storage. *Journal of the Korean Society Food Science and Nutrition*, 31, 184-188.
<https://doi.org/10.3746/jkfn.2002.31.2.184>.
29. Nam HY, Lee KT (2007) Analysis of characterization in commercial extra virgin olive oils. *Journal of the Korean Society Food Science and Nutrition*, 36, 866-873.
<https://doi.org/10.3746/jkfn.2007.36.7.866>.
30. Seo YH, Ko KY, Jang YK (2010) Determination of cholesterol, fatty acids and polyaromatic hydrocarbons in PM10 particles collected from meat charbroiling. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 32(2), 155-164.
31. Baek MH, Hwang JS, Kim MA, Kim SH, Goo TW, Yun EY (2017) Comparative analysis of nutritional components of edible insects registered as novel foods. *Journal of Life Science*, 27, 334-338.
<https://doi.org/10.5352/JLS.2017.27.3.334>.
32. Kwok TC, Chan TY, Woo J (2003) Relationship of urinary sodium/potassium excretion and calcium intake to blood pressure and prevalence of hypertension among older Chinese vegetarians. *European Journal of Clinical Nutrition*, 57(2):299-304.
<https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601553>.
33. Sabatier M, Garcia-Rodenas CL, De Castro CA, Kastenmayer P, Vigo M, Dubascoux S, Andrey D, Nicolas M, Payot JR, Bordier V, Thakkar SK, Beauport L, Tolsa JF, Fumeaux CJF, Affolter M (2019) Longitudinal Changes of Mineral Concentrations in Preterm and Term Human Milk from Lactating Swiss Women. *Nutrients*, 11,1855. <https://doi.org/10.3390/nu11081855>.
34. Tannen RL (1983) Effects of potassium on blood pressure control. *Annual International Medicine*, 98, 773-780. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-98-5-773>.
35. Macgregor GA, Markandu ND, Smith SJ, Banks RA, Sagnella GA (1982) Moderate potassium supplementation in essential hypertension. *Lancet*, 320, 567-570.
36. Weaver CM. (2006) Present knowledge in nutrition, pp. 373-382, 9th edition, International Life Science Institute Press, Washington DC, USA.
37. Anderson JJB, Klemmer PJ, Watts MLS, Garner SC, Calvo MS (2006) Present knowledge in nutrition, pp. 383-399, Wiley-Blackwell, Washington DC, USA.
38. Yun ME, Lee DH, Kim MH (2008) Effects of soy isoflavones supplementation and exercise on urinary calcium, magnesium, copper and zinc excretion in postmenopausal woman. *Korean Journal of Nutrition*, 41(7), 612-620.
39. Florescu L, Popa G, Bălănică G, Azoicăi D (2009) Zinc-essential micronutrient for child health and nutrition. *Revista Medico-chirurgicala a Societatii de Medici si Naturalisti din Iasi*, 113(3), 650-655.
40. Forbes RM (1984) Use of laboratory animals to define physiological functions and bioavailability of zinc. *Federation Proceedings*, 43(13), 2835-2839.
41. Salgueiro MJ, Zubillaga M, Lysionek A, Cremaschi G, Goldman CG, Caro R, Paoli TD, Hager A, Weill R, Boccio J (2000) Zinc status and immune system

- relationship. *Biological Trace Element Research*, 76, 193-205. <https://doi.org/10.1385/BTER:76:3:193>.
42. Gordon AF, David JL, Andrew T (1997) The possible role of copper ions in atherogenesis: the blue janus. *Artherosclerosis*, 133, 139-152.
43. Gyorffy EJ, Chan H (1992) Copper deficiency and microcytic anemia resulting from prolonged ingestion of over-the counter zinc. *The American Journal of Gastroenterology*, 87, 1054-1055.
44. Richard MJ, Arnaud J, Jurkovitz E (1991) Trace elements and lipid peroxidation abnormalities in patients with chronic renal failure. *Nephron*, 57, 10-15.
45. Su KP, Matsuoka Y, Pae CU (2015) Omega-3 polyunsaturated fatty acids in prevention of mood and anxiety disorders. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 13, 129-137. <https://dx.doi.org/10.9758/cpn.2015.13.2.129>.
46. Su KP, Wang SM, Pae CU (2013) Omega-3 polyunsaturated fatty acids for major depressive disorder. *Expert Opinion on Investigational Drugs*. 22, 1519-1534. <https://doi.org/10.1517/13543784.2013.836487>.