Original article KOREAN JOURNAL OF APPLIED ENTOMOLOGY

한국응용곤충학회지
Korean J. Appl. Entomol. 55(1): 53-62 (2016)
DOI: http://dx.doi.org/10.5656/KSAE.2016.01.1.076

ⓒ The Korean Society of Applied Entomology
pISSN 1225-0171, eISSN 2287-545X

벼메뚜기[*Oxya chinensis sinuosa* Mistshenko] 분말 섭취와 유산소성 운동훈련에 의한 마우스의 에너지 대사 변화

김이슬 · 전병덕[1] · 최석립[2] · 김우철[2] · 이동운[3]* · 류승필**

경북대학교 레저스포츠학과, [1]수성대학교 생활체육레저과, [2]대구보건대학교 스포츠재활학과, [3]경북대학교 생태환경관광학부 생물응용전공

Effects of Grasshopper (*Oxya chinensis sinuosa* Mistshenko) Powder and Aerobic Exercise on Energy Metabolism in ICR Mice

Yiseul Kim, Byungduk Jeon[1], Seokrip Choi[2], Woocheol Kim[2], Dong Woon Lee[3]* and Sungpil Ryu**

Dept. of Leisure Sports Kyungpook National University, Sangju, Gyeongbuk, 37224, Korea
[1]Dept. of Physical Education Leisure, Suseong College, Daegu, 42078, Korea
[2]Dept. of Sports Rehabilitation, Daegu Health College, Daegu, 41453, Korea
[3]Major of Applied Biology, School of Ecological Environment and Tourism, Kyungpook National University, Sangju, Gyeongbuk, 37224, Korea

ABSTRACT: The purpose of this study was to analyze the effect of grasshopper (*Oxya chinensis sinuosa*) powder ingestion with/without aerobic exercise (treadmill running) on energy metabolism. To achieve this purpose, 28 Institute of Cancer Research (ICR) mice were divided into four groups: normal diet control group (CON), a normal diet with exercise control group (COEX), a grasshopper powder-supplemented diet group (GH), and a grasshopper powder-supplemented diet with exercise group (GHEX). Duration of the powder ingestion and aerobic exercise training were 6 weeks. Body weight gain ratio was not significant. Fat mass significantly decreased in GH and GHEX. There were no changes in blood glutamic oxaloacetic transaminase and glutamic pyruvic transaminase levels between groups. Glucose transporter type 2 and glucose transporter type 4 protein levels were not significantly different between groups. Fibronectin type III domain-containing protein 5 level was the highest in GHEX. AMP-activated protein kinase level significantly increased in GHEX compared to the levels in the other groups. Glycogen synthase kinase 3 beta protein level was reduced in GHEX compared to that in CON. These results suggest that grasshopper powder ingestion and endurance exercise training influence energy metabolism.

Key words: Grasshopper, Aerobic exercise, Energy metabolism, Mouse

초 록: 본 연구의 목적은 벼메뚜기(*Oxya chinensis sinuosa*) 분말 섭취가 유산소성 운동훈련(트레드밀 달리기)의 병행 유무에 의해 ICR 생쥐의 에너지 대사를 증가시키는지를 알아보고자 하는 것이다. 이 목적을 달성하기 위하여, 28 마리의 ICR 생쥐를 보통식 대조군(CON), 보통식 대조군으로서 운동훈련 병행군(COEX), 벼메뚜기 분말이 혼합된 사료 섭취군(GH), 그리고 벼메뚜기 분말이 혼합된 사료를 섭취함과 동시에 운동훈련을 병행군(GHEX)으로 구분하였다. 벼메뚜기 분말 사료섭취 및 운동은 6주간 진행하였다. 체중증가율은 유의하지 않았다. 지방량은 GH와 GHEX에서 유의하게 감소하였다. 혈중 glutamic oxaloacetic transaminase와 glutamic pyruvic transaminase 수준은 처치 집단간 변화가 없었다. 제2형 당수송체 및 제4형 당수송체는 처치 집단간 유의한 차이가 없었다. GHEX의 fibronectin type III domain-containing protein 5 단백질 발현량이 가장 높았다. AMP-activated protein kinase 단백질 수준은 GHEX에서 유의하게 증가하였다. Glycogen synthase kinase 3 beta 단백질 발현량은 GHEX가 CON과 비교할 때 감소하였다. 이러한 결과들은 벼메뚜기 분말을 섭취하면서 지구성 운동훈련을 하는 경우에 에너지 대사에 영향을 준다는 것을 제시하고 있다.

검색어: 벼메뚜기, 유산소성 운동, 에너지 대사, 마우스

***Corresponding author:** whitegrub@knu.ac.kr
****Co-corresponding author:** ryusp@knu.ac.kr
Received December 8 2015; **Revised** January 29 2016
Accepted February 17 2016

유엔 식량 농업기구(Food and Agriculture Organization: FAO, 2013)의 보고에서는 2050년에 세계 인구가 90억명으로 예상되기 때문에, 생존을 위해 현재보다 두 배에 달하는 식량이 필

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.

요할 것으로 예측·보고하였다. 따라서 기존의 식량 공급원 이외의 새로운 대안을 추구하고, 인류 식량난의 문제 해결책으로써 식용곤충을 대체식품으로 제시하였다. 또한, 현재 전 세계의 농경지 중 86% 이상이 가축의 사료를 재배하기 위하여 사용되고 있으며, 가축이 내뿜는 메탄가스와 이산화탄소는 지구온난화의 주범으로서 이로 인하여 아프리카 지역은 가뭄이 심각해지고, 가축 사망률이 20～60% 이상 증가하였다(FAO, 2008). 이렇게 지구온난화로 인한 사막화 현상은 점점 가속화 되고 있으며, 머지않아 전 세계적으로 식량난과 환경문제가 심각한 문제로 대두될 것이다. 한편 곤충은 가축에 비하여 온실가스 배출이 현저하게 적기 때문에 환경에 대한 부담이 적은 친환경적 먹거리 자원으로 인식되고 있다(Sah and Jung, 2012).

인류는 곤충을 먹거리 자원으로 이용한 역사는 수렵 채취 생활을 하던 원시시대 이후로 지속되어 온 것으로 세계 각국에서 현재도 곤충을 식용으로 활용하고 있으며 특히 동물성 단백질 자원이 빈약한 지역에서는 곤충을 보편적으로 먹거리로 이용하고 있다(Kim et al., 2015; Nam and Ma, 2000). 인류가 먹는 곤충은 1,900여종 이상으로 추정하고 있는데(FAO, 2013), 우리나라에서도 예로부터 곤충을 먹거리로 이용하여 일제 강점기에 조사된 자료에 의하면 식용곤충 16종, 약용곤충 77종이 기록되어 있다(Kim et al., 2015). 근래에는 메뚜기와 누에(*Bombyx mori*)번데기, 백강잠, 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 유충, 흰점박이꽃무지(*Protaetia brevitarsis seulensis*) 유충이 식용 소재로 인정받아 식품의 원료로 활용 가능하게 되었다(Lee et al., 2014).

식용곤충과 관련 된 연구는 단순히 식품의 원료로서 활용가능성을 연구하는 것뿐만 아니라 곤충으로부터 다양한 기능성을 밝히는 연구들이 시도되고 있다. 즉, 누에번데기 섭취에 의한 지질대사 증대효과(Ryu, 2014), 면역력 증강 및 근육량 증대 가능성 제시(Yeo et al., 2013a,b)에 대한 연구가 있었으며, 수컷 누에번데기 분말 섭취에 의한 지질과산화 억제(Oh et al., 2012), 누에 추출물 섭취에 의한 에스트로겐 합성 활동의 상승(Yang et al., 2010) 등의 연구가 있다. 선행연구에 따르면 식용곤충은 혈중 콜레스테롤 및 중성지질을 저하시키고 지방합성이 억제되어 혈중지질 성분이 개선될 수 있으며 곤충 단백질이 세포 내에서의 면역 기능을 증진시켜 다양한 질환을 예방할 수 있다고 보고되었다. Longvah et al. (2012)은 누에 번데기 기름을 흰쥐에게 18주간 섭취시킨 결과, 혈중 총콜레스테롤 및 중성지질이 감소하였으며, High density lipoprotein cholesterol이 유의하게 증가하였다고 하였다. 또한, 누에번데기의 지방산이 아닌 펩타이드 역시 지방합성을 억제하는 효과가 있는 것으로 나타났다(Lee et al., 2012). 그러나 누에 번데기에 비하여 벼메뚜기 기능성에 관련된 연구는 초기단계로 판단되며 더욱 연구가 필요할 것이다.

벼메뚜기의 구성성분은 성별에 따라 다소 차이는 있으나, 조단백질량이 평균 70%를 상회하는 양질의 단백질 구성을 가지고 있으며, 지질량은 10% 내외로 나타난다(RDA, 2014). 지질 가운데 지방산 조성에서 불포화지방산인 oleic acid, linoleic acid, linolenic acid가 70%를 상회하는 것으로 보고되었고, 이외에도 다양한 비타민 및 무기질이 함유되어 있다(RDA, 2014). 벼메뚜기에는 키틴이 10～40% 함유되어 있고, 철 함유량은 포유동물의 간과 비슷한 수준으로 알려져 있으며 비타민 A도 다량 포함하고 있는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2015). 이와 같은 성분의 구성은 건강증진을 위해서 반드시 필요한 영양소로서 다양한 접근이 필요하다고 할 수 있다.

위에서 제시된 바와 같이 곤충 혹은 현재 식용곤충은 식량자원뿐만 아니라 약용자원, 화분매개자원, 천적자원 등 곤충의 다양한 자원으로 가치가 재조명되고 있다(Park, 2001). 아울러 곤충식품 시장 규모가 증가하면서 다양한 요리와 섭취방법 또한 개발되고 있지만 식용곤충의 부작용이나 섭취에 따른 효과들에 대한 기초 연구 자료가 미진하여 구체적이고 다양한 연구를 통한 식용곤충의 효과 입증이 필요할 것이다.

따라서 본 연구에서는 경제성과 친환경적인 특성을 이용하여 식량원으로 활용하고자 하는 시도가 이루어지고 있는 식용곤충 중 벼메뚜기를 이용하여 운동과 병행할 때 에너지 대사를 증가시킬 수 있는지에 대한 검토를 하고자 수행하였다. 이를 통하여 벼메뚜기를 새로운 보조식품으로서의 효과와 건강에 미치는 영향을 제공함과 동시에 식용곤충 자원으로서 벼메뚜기의 활용도를 높일 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

실험동물 및 사육방법

본 연구에서는 생후 5주령된 수컷 ICR mouse 28마리를 사용하였으며, 마우스는 케이지 당 3～4마리씩 분류하였다. 사육실 내부 환경은 자동 냉난방기를 이용하여 23～25℃, 상대습도는 60% 내외로 유지시키고 08:00～20:00까지를 암기로 하였다. 집단구분은 보통식 대조군(normal diet control group: CON), 보통식 대조군으로서 운동훈련 병행군(normal diet control with exercise training group: COEX), 벼메뚜기 분말이 혼합된 사료 섭취군(Grasshopper powder added diet ingested group: GH), 벼메뚜기 분말이 혼합된 사료를 섭취함과 동시에 운동훈련을 병행군(Grasshopper powder added diet with exercise training group: GHEX)으로 구분하였다. 본 연구는 경북대학교 동물실험윤리위원회에 의해 승인되었다(승인번호 KNU 2015-121).

식이조성 및 섭취방법

식이 조성은 AIN-76을 바탕으로 제조하였으며, 벼메뚜기 분말의 단백질, 비타민 및 미네랄 함량을 고려하여 각각의 영양소를 가감하여 조제하였다(Table 1; RDA, 2014). 식이의 섭취는 오전 08:00에 각 30 g을 하루에 한번 공급하였으며, 물은 자유 섭취할 수 있도록 하였으며 물통의 절반을 섭취하였을 경우에 재 공급하였다.

벼메뚜기

실험에 이용한 벼메뚜기는 경상북도 문경시의 벼논과 주변 과수원에서 채집하여 사용하였는데 채집 후 벼메뚜기를 식이에 첨가하기 위하여 3일간 공복을 시킨 후, 날개를 제거한 상태로 동결건조(Labconco, Kansas city, Missouri, USA)후 분말로 가공하여 식이에 첨가하였다. 분말가공은 분쇄기(Hanil, Seoul, Korea)를 이용하였다.

운동방법

예비사육 후 6주령이 되었을 때부터 6주간, 주당 2일 운동 1일 휴식, 3일 운동 1일 휴식의 패턴으로 5일간 하루에 한번 트레드밀 운동을 시행하였으며, 각 구간마다 시간과 속도를 점진적으로 증가시켜 1주에는 5～15분 동안 5～10 m의 강도로서 진행하였으며 마지막 6주째가 되었을 때 30분 동안 26 m/min를 실시하였다. 전체 운동 기간 중 스트레스를 최소화하기 위하여 전기자극 부하에 의한 강제 운동은 수행하지 않았다.

Table 1. Composition of experimental diets (g)

Constituents	Normal diet	Grasshopper powder diet
Corn starch	400	400
Grasshopper powder	-	200
Sucrose	200	200
Casein	200	44
Corn oil	60	60
Cellulose	50	50
Lard	40	40
Mineral mix*	35	35
Vitamin mix*	10	10
D,L-methionine	3.5	3.5
Choline	1.5	1.5

*AIN-76 formula.

체중측정

체중의 측정은 동일한 시간과 환경에서 매주 2회 측정하였다. 즉, 실험 기간 중 매주 월요일, 목요일 오전 9시에 규칙적으로 측정하여 동일한 환경을 유지할 수 있도록 하였다. 측정된 주당 2회의 자료를 평균을 구하여 사육 전, 후 비율을 그래프로 작성하여 표기하였다.

시료채취

동물사육 기간이 종료된 6주 후에 12시간 절식 시킨 다음 Ethylether(Duksan, Gyeong gi-do, Korea)의 흡입 마취 상태에서 개복하여, 복대동맥에서 채혈하였다. 채취된 혈액은 3,000 rpm으로 10분간 원심분리(Gyrozen, Seoul, Korea)후 분석 시까지 냉동고(Nihon freezer, Tokyo, Japan)에 보관하였다. 그 후 간과 근육 등 분석에 필요한 장기를 적출하여 액체 질소를 활용하여 활성을 정지시킨 상태에서 분석 시까지 -80℃ 냉동고(Nihon freezer)에 분석 시까지 보관하였다.

분석항목 및 방법

혈액 분석

Glutamic oxaloacetic transaminase (GOT), Glutamic pyruvic transaminase (GPT) 농도는 효소법에 의한 분석 kit (Asan pharmacy, Seoul, Korea)를 이용하여 분광광도계(Mechasys, Daejeon, Korea)를 사용하여 흡광도를 분석하고, 분석시약에 동봉된 계산식을 이용하여 산출하였다.

단백질 발현량 분석

근육 조직과 간 조직의 처리는 RIPA Buffer (Biosesang, Gyonggi-do, Korea) 1 ml을 샘플 0.1 g에 넣어 균질화 작업을 하였다. 균질화 작업이 끝난 후 샘플을 12,000 rpm에서 10분간 원심분리 후 상층액을 분리한 다음, 3 × SDS-PAGE sample buffer를 섞어서 샘플을 만들어 100℃에서 10분간 끓인 후, 조각 얼음통에 보관하였다. 단백질 분석을 위하여 10% SDS-PAGE Gel에 protein marker (Gindepot, Barker, Texas, USA) 10 μl와 단백질 샘플 15 μl를 분주한 후에 75 V에서 전기영동하여 단백질을 분리하였다. 단백질 분리 후 Nitocellulose blotting membranes (GE Healthcare Life Sciences, Seoul, Korea)로 100 V에서 60분간 membrane으로 전이시켰다. 전이가 끝난 후 1 ×

TBST buffer (TBST buffer; 50 mM, Tris-Hcl; 150 mM, NaCl; 0.05% tween-20)에 skim milk powder (MB cell, Seoul, Korea)를 혼합하여 blocking solution을 만들어 membrane을 담근 뒤, 교반기 위에 올려 실온에 2시간동안 반응 시켰다. 이후 5분간 7회 세척한 후 일차항체로 반응시켰다. 일차항체의 희석배수와 구입처는 다음과 같다. GLUT-2 항체는 1:200배(Santa cruz biotechnology, Dalls, Texas, USA), GLUT-4 항체는 1:200배(Santa cruz biotechnology), FNDC 5 항체는 1:1,000배(abcam, Cambrigde, Vermont, USA), AMPK 항체는 1:1,000배(Cell Signaling Technolohy, Boston, Massachusetts, USA), Gsk-3β 항체는 1:1,000배(Cell Signaling Technolohy) blocking solution에 희석한 하여 4℃ 에서 약 16시간 반응시켰다. 이후 1 × TBST buffer를 이용하여 5분간 7회 세척한 후 이차항체로 반응시켰다. 이차항체의 희석배수와 구입처는 다음과 같다. Goat-anti-rabbit 항체는 1:3,000배(Santa cruz Biotechnology) blocking solution에 희석하여 2 시간 동안 반응을 시킨 후 1 × TBST로 5분간 7회 세척하였다. 이에 따라 도출된 근육과 간에 대한 밴드의 동정은 ECL (GE Healthcare Life Sciences) kit를 이용해 membrane을 발광시킨 후 X-ray film에 현상하였다. 검출된 단백질 발현량을 확인하기 위하여 β-Actin 항체는 1:500배(Santa cruz biotechnology) blocking solution에 희석하여 4℃ 에서 약 16시간 반응 시킨 후 1 × TBST를 이용하여 5분간 7회 세척하였다. 이차항체는 goat anti mouse 항체로 1:3,000배(Santa cruz biotechnology)를 blocking solution에 희석하여 2시간동안 반응 시킨 후 1 × TBST로 5분간 7회 세척한 후 ECL kit을 이용해 membrane을 발광시킨 후 X-ray film에 현상하였다. Band의 세기는 image J (NIH ver. 1.48, USA)를 이용하여 각 샘플의 면적을 설정한 후 상대되는 β-Actin의 면적을 동일한 방법으로 설정하여 그 값을 나누어 계산하였다. 즉, Band/β-Actin으로 계산하였다. 각 샘플의 단백질 양을 정량화하기 위하여 원심분리 한 샘플의 상층액 1 µl 와 5 × Brad-ford (Bio-Rad, Hercules, California, USA) 1 ml을 혼합 후 각 샘플을 ELISA plate에 200 µl 를 넣어서 595 nm의 파장으로 흡광도를 측정하였다.

자료분석

연구결과 자료는 Windows용 통계프로그램 SPSS/PC+21.0K를 이용하였다. 모든 실험 결과는 평균과 표준오차로 나타내고, 각 그룹의 유의성 검증을 위하여 일원분산분석을 실시하였으며, 유의한 차이가 나타난 항목에 대해서는 least significant different 법으로 사후검정을 실시하였다. 모든 차의 유의성은 $p<0.05$ 이하로 설정하였다.

결 과

체중 변화

총 6주간의 사육기간 동안 증가한 체중량을 사육 전, 후 비율로 표기하였다. 전체 그룹간의 유의차는 나타나지 않았다(Fig. 1).

조직량 차이

복부 지방량은 그룹간 유의성 있는 차이를 나타나지 않았다(Table 2). 그러나, 부고환 지방량의 경우 GH와 CON 간의 유의성 있는 차이를 보였으며($p<0.05$), GHEX는 CON 및 COEX에 비하여 그룹간의 유의성 있는 차이가 나타났다. 또한, 지방량의 합은 GH와 CON 간의 유의성 있는 차이가 나타났으며, GHEX는 CON 및 COEX에 비하여 그룹간의 유의성 있는 차이가 나타났다($p<0.05$). 지방량 비율의 경우 운동 병행 시 감소하는 경향을 보였으며, CON은 다른 그룹에 비하여 유의하게 높았다($p<0.05$).

혈액성분 차이

간 독성 검사 항목인 GOT의 경우 CON에 비하여 COEX, GH 그리고 GHEX에서 각각 1.00%, 1.00% 그리고 0.88%의 차이가 나타났으나 그룹간의 유의성 있는 차이는 없었다(Table 3). GPT의 경우 CON에 비하여 COEX, GH 그리고 GHEX는 각각 6.73, 6.73, 7.64%의 차이가 있었으나 그룹간의 유의성 있는 차

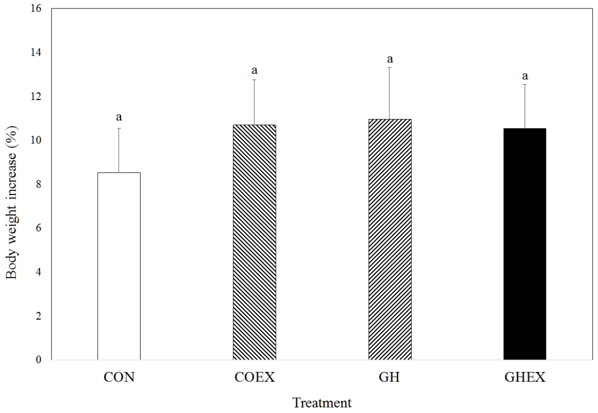

Fig. 1. Body weight increasing ratios after experimental period. Mean ± standard deviation. CON: normal diet control group; COEX: normal diet control with exercise group; GH: grasshopper powder-supplemented-diet group; GHEX: grasshopper powder-supplemented diet with exercise group. The same letters over the bars in each treatment indicate no significant differences among means (LSD test, $p<.05$).

Table 2. Influence of diet on fat contents

	CON	COEX	GH	GHEX
Abdominal (g)	0.46 ± 0.16[a]*	0.34 ± 0.18[a]	0.35 ± 0.18[a]	0.34 ± 0.21[a]
Epididymal (g)	0.84 ± 0.09[a]	0.53 ± 0.05[b]	0.38 ± 0.04[bc]	0.38 ± 0.04[c]
Sum of fat (g)	1.15 ± 0.11[a]	0.72 ± 0.08[b]	0.56 ± 0.04[bc]	0.46 ± 0.05[c]
Fat ratio (%)	3.11 ± 0.41[a]	1.90 ± 0.24[b]	1.49 ± 0.17[b]	1.23 ± 0.19[b]

Mean ± standard error. CON: normal diet control group; COEX: normal diet control with exercise group; GH: grasshopper powder-supplemented diet group; GHEX: grasshopper powder-supplemented diet with exercise group. *Means followed by same letters between the columns are not significantly different (LSD test, *p*<.05).

Table 3. Influence of diet on blood GOT and GPT

	CON	COEX	GH	GHEX
GOT (karmen)	14.28 ± 0.01[a]*	14.42 ± 0.06[a]	14.31 ± 0.01[a]	14.41 ± 0.00[a]
GPT (karmen)	13.36 ± 0.02[a]	13.51 ± 0.02[a]	13.46 ± 0.03[a]	13.58 ± 0.12[a]

Mean ± standard error. CON: normal diet control group; COEX: normal diet control with exercise group; GH: grasshopper powder-supplemented diet group; GHEX: grasshopper powder-supplemented diet with exercise group. *Means followed by same letters between the columns are not significantly different (LSD test, *p*<.05).

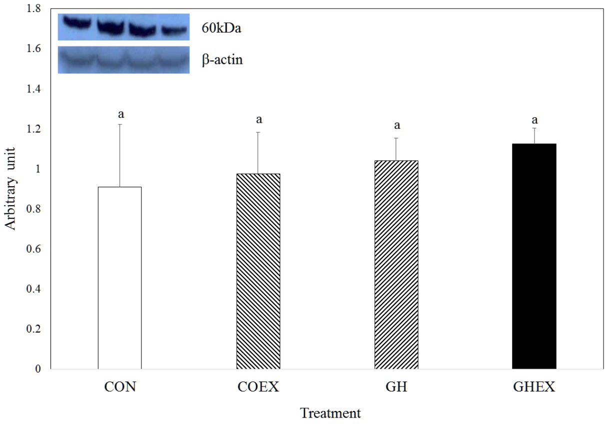

Fig. 2. Differences in GLUT2 protein expression in liver. Bars are mean ± standard error. CON: normal diet control group; COEX: normal diet control with exercise group; GH: grasshopper powder-added diet group; GHEX: grasshopper powder-added diet with exercise group. The same letters over the bars in each treatment indicate that there were no significant differences among means (LSD test, *p*<.05).

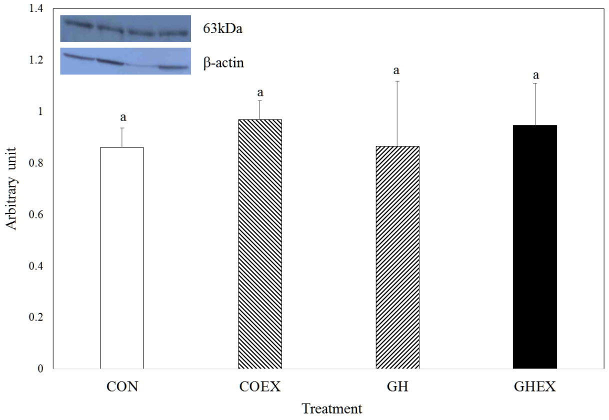

Fig. 3. Differences of GLUT4 protein expression in skeletal muscle. Bars are mean ± standard error. CON: normal diet control group; COEX: normal diet control with exercise group; GH: grasshopper powder-added diet group; GHEX: grasshopper powder-added diet with exercise group. The same letters over the bars in each treatment indicate no significant differences among means (LSD test, *p*<.05).

이는 나타나지 않았다(Table 3).

단백질 발현량의 차이

GLUT2 단백질 발현량 차이는 COEX의 경우 CON에 비하여 7.4%, GH는 COEX에 비하여 6.6%, GHEX는 GH에 비하여 7.9% 높은 경향을 보였으나, 그룹간 유의성 있는 차이는 나타나지 않았다. 운동 유무에 따른 유의성 있는 차이 또한 나타나지 않았다(Fig. 2).

GLUT4 단백질 발현량 차이는 COEX의 경우 CON에 비하여 12.6% 높게 나타났으며, GH 및 GHEX는 0.6% 및 9.9% 높은 경향을 보였으나 그룹간의 유의성 있는 차이는 없었다(Fig. 3). 또한, 운동 유무에 따른 유의성 있는 차이도 나타나지 않았다.

FNDC5 단백질 발현량 차이는 GHEX의 경우 CON, COEX 그리고 GH에 비하여 각각 43.3% 및 39.5, 49.2%로 유의하게 높았다(p<0.05) (Fig. 4).

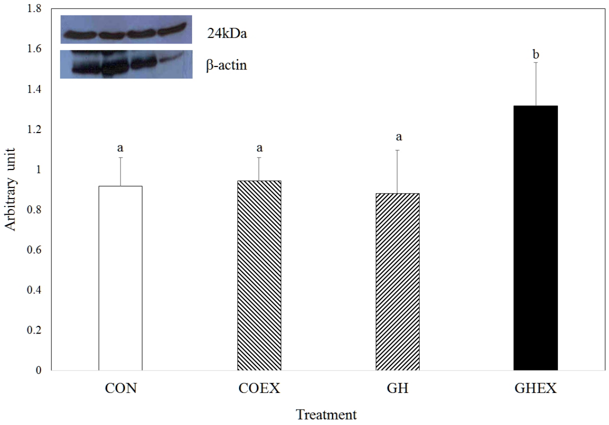

Fig. 4. Differences in FNDC5 protein expression in skeletal muscle. Bars are mean ± standard error. CON: normal diet control group; COEX: normal diet control with exercise group; GH: grasshopper powder-added diet group; GHEX: grasshopper powder-added diet with exercise group. The different letters over the bars in each treatment indicate significant differences among means (LSD test, p<.05).

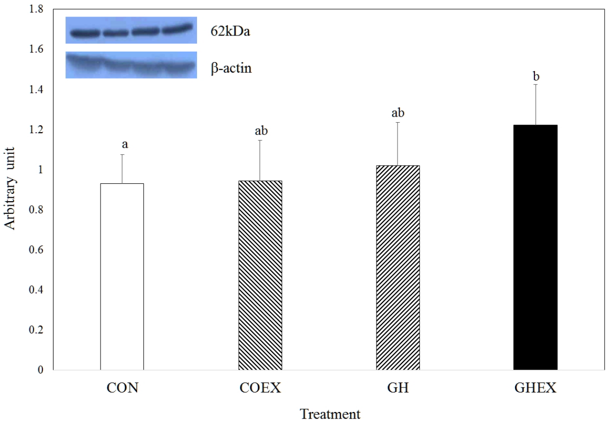

Fig. 5. Differences in AMPK protein expression in skeletal muscle. Bars are mean ± standard error. CON: normal diet control group; COEX: normal diet control with exercise group; GH: grasshopper powder-added diet group; GHEX: grasshopper powder-added diet with exercise group. The different letters over the bars in each treatment indicate significant differences among means (LSD test, p<.05).

대사 활성에 관여하는 AMPK 단백질 발현량의 차이는 GHEX의 경우 CON에 비하여 31.4% 유의하게 높았다(p<0.05) (Fig. 5).

단백질 합성에 관여하는 Gsk-3β 단백질 발현량 차이는 GHEX의 경우 CON 보다 Gsk-3β 단백질 발현량이 31.7% 유의하게 낮았다(p<0.05) (Fig. 6). 또한, GHEX의 경우 COEX 및 GH에 비하여 각각 30.0, 28.9% 낮게 나타났으나 유의성 있는 차이는 나타나지 않았다.

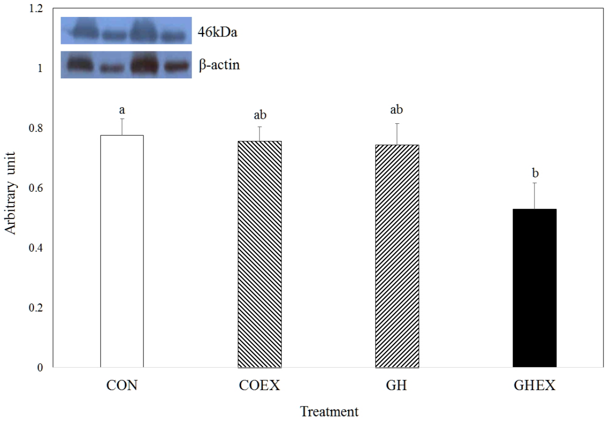

Fig. 6. Differences in Gsk-3β protein expression in skeletal muscle. Bars are mean ± standard error. CON: normal diet control group; COEX: normal diet control with exercise group; GH: grasshopper powder-added diet group; GHEX: grasshopper powder-added diet with exercise group. The different letters over the bars in each treatment indicate significant differences among means (LSD test, p<.05).

고 찰

본 연구에서는 벼메뚜기 분말 섭취에 의한 에너지 대사 증대 효과를 보고자 하였다. 이를 위하여 ICR mouse 수컷 흰쥐를 대상으로 벼메뚜기를 동결건조 하여 분말가공 후 사료에 혼합하여 섭취시켰다. 동시에 주 5회, 6주간 유산소성 운동훈련을 부하하여 나타나는 에너지대사 관련 변인을 분석하였다. 본 실험에서 사용한 벼메뚜기는 경북 문경지역에서 채집하여 사용하였으며 일반적인 벼메뚜기의 성분특성은 70% 이상의 단백질, 다량의 불포화지방산 그리고 비타민 및 미네랄을 함유하고 있다(RDA, 2014).

체중과 체지방의 감소는 운동에 의한 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 실제로 Higa et al. (2014)은 8주간의 유산소성 운동인 트레드밀 달리기를 통하여 체중과 체지방 증가가 억제되었고, Chen et al. (2014)의 연구에서는 수영운동을 통하여 체중증가가 감소되었다고 보고하였다. 본 연구에서의 체중변화에 유의한 변화가 나타나지 않았다. 그러나 운동 또는 벼메뚜기분말을 섭취하였을 때 체중증가가 억제되는 경향을 보였으며, 운동과 벼메뚜기 분말을 섭취시켰을 때 가장 많이 억제되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 수영운동에 의한 체중 감소(Jang et al., 2014)와 자발적 운동에 의한 체중증가의 억제(Ohyama et al., 2015), 체중 및 간 중량의 감소(Marchianti et al., 2014) 등의 연구결과와 동일하게 나타나 운동에 의한 체중 증가 및 체지방 감소의 결과 가능성이 제시된다고 할 수 있을 것이다. 이는 벼메뚜기에 함유된 다량의 불포화지방산(RDA, 2014)에 의해 체

중증가 억제와 저장 지방량이 감소하였을 것으로 생각된다. 벼메뚜기의 지방은 불포화도가 높은 건성유로서(Kim et al., 2015) 벼메뚜기의 구성 성분 중 불포화지방산의 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다. 실제로 Cui et al. (2015)의 연구에서는 비만 Sprague Dawley (SD) 쥐에게 7주간 고지방 식이를 섭취시켜 비만 쥐 모델로 만든 뒤 8주동안 불포화지방산의 일종인 conjugated linoleic acid (CLA)를 주 5회 공급하고, 트레드밀 운동훈련을 병행한 결과 체중증가가 억제되었으며, 지방증가 및 체지방량이 감소되었다. 또한, Fragua et al. (2015)의 연구에서 개에게 필수지방산으로써 중쇄지방산인 대두-카놀라유를 80% 섭취시킨 결과, 체중이 감소한 것으로 나타났으며, 인체를 대상으로 한 연구 즉, 30-55세 성인을 대상으로 24주간 우유 200 ml, CLA 3 g 섭취를 통하여 체중 및 총 지방량이 감소한 것으로 보고되기도 하였다(López et al., 2013). 이와 유사하게 Ryu (2014)의 연구에서는 식용곤충으로서 불포화지방산이 다량 함유되어 있는 누에번데기 분말섭취와 수영운동 병행 시 체중증가가 억제되었다고 제시하고 있다. 따라서, 벼메뚜기 분말 섭취는 단독 섭취 혹은 운동과 병행하였을 때 함유되어 있는 불포화지방산의 효과로 인하여 체중증가 억제와 체지방의 저장을 감소시키는 것으로 생각된다.

본 연구에서 나타난 간 독성의 지표를 활용되는 GOT, GPT는 전체 집단간 유의한 차이가 나타나지 않았다. Noh et al. (2015)의 연구에서는 장수풍뎅이 유충(*Allomyrina dichotoma*)을 동결건조하여 SD계 쥐에게 경구투여 하였을 때, 아무런 독성 효과가 나타나지 않았다. 또한, 갈색거저리 역시 SD계 쥐에게 동결건조한 분말을 섭취시켰을 때, 수컷 및 암컷 모두에게서 생리적인 독성 및 유전적 독성이 나타나지 않았다고 하였다 (Han et al., 2014). 이와 유사하게 Turkez et al. (2014)은 동강의 풀무치(*Locusta migratoria* L.) 애벌레를 물 추출하여 *in vitro* 연구를 한 결과, 0 - 1,000 mg/l의 범위 내에서는 유전적 독성이 나타나지 않았다고 하였다. 이러한 선행연구와 같이 대부분의 식용곤충은 독성이 없는 것을 보고되고 있으며, 이에 본 연구의 간 독성을 알아보고자 분석한 GOT 및 GPT의 유의한 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 또한, Longvah et al. (2012)은 누에 번데기 추출 기름을 18주동안 쥐에게 섭취시켰을 경우에도 독성이 나타나지 않아 추출물의 안정성에 대한 보고를 제시하기도 하였다.

당수송체(glucose transporter: GLUT)는 단당류의 세포막 투과를 돕는 주된 역할을 함에 따라 혈당 조절과 조직 대사에 관여하게 되며(Welch et al., 2013), 일반적으로 운동에 의해 증가하는 것으로 알려져 있다. Kim et al. (2014)은 운동강도와 운동기간에 따라 GLUT4 수준이 증가한다고 하였으며, 규칙적인 축구운동을 한 경우에 GLUT4의 상승(Anderson et al., 2014) 및 Nallamuthu et al. (2014)은 수영훈련에 의해 GLUT4가 약 2배 증가하였다. 그러나 본 연구에서는 GLUT2와 GLUT4 모두는 집단간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 본 연구에서 선택한 운동강도가 Kim et al. (2014)의 연구에 비하여 경사도를 부하하지 않은 낮은 강도였으며, 운동시간도 하루 30분으로 설정하여 운동에 의한 당수송체의 변화는 없었다고 판단된다. 또한, 1회성 운동을 부여한 경우에 GLUT1이 8%, GLUT4가 15% 증가하였다는 보고(Lukaszuk et al., 2012)와 운동을 하였을 경우에도 GLUT4의 발현이 영향을 미치지 않았다는 보고 (Pasini et al., 2012)를 볼 때, 운동에 의한 변화가 항상 일정하게 나타나지 않는다는 점을 시사하고 있다. 벼메뚜기 섭취에 의한 변화도 나타나지 않은 것은 벼메뚜기의 주된 성분이 단백질과 지방산(RDA, 2014)으로서 탄수화물 대사에 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다. 그러나 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

한편, Tsuchiya et al. (2015)은 지구성 운동에 비하여 저항성 운동을 수행 함으로서 FNDC5 즉, irisin 전구체의 반응이 높게 나타난다고 하였다. FNDC5는 백색지방조직을 갈색지방조직으로 전환하는 irisin의 전구체(Gamas et al., 2015; Zhou et al., 2015)로서 에너지 대사에 관여하는 단백질이다. 일반적으로 지구성 운동 또는 저항성 운동 후 일정시간이 경과한 이후에는 FNDC5 발현에 영향을 미치지 않는 것으로 나타난다(Nygaard et al., 2015). 실제로 본 연구에서 COEX에서는 FNDC5의 증가가 나타나지 않았다. 이는 비만 쥐에게 운동을 부하하였을 경우에 FNDC5의 mRNA 발현이 증가하지 않았다는 보고(Peterson et al., 2014)에서도 알 수 있다. 그러나 벼메뚜기 섭취와 운동을 병행하였을 경우인 GHEX에서는 유의하게 증가한 것으로 나타났다. 지방산과 글루코스가 irisin의 순환에 중요한 역할을 한다는 점(Kurdiova et al., 2014)을 고려할 때, 벼메뚜기에 함유되어 있는 다양한 지방산이 FNDC5에 영향을 주었을 것이라 판단된다. 이를 통하여 두 가지의 병행이 에너지 대사를 가장 향상시켰을 것이라고 예상할 수 있으며, 골격근의 AMPK는 FNDC5 발현을 유지하는데 필수적이라고 하는 보고(Lally et al., 2015)를 볼 때, AMPK의 변화를 살펴보는 것이 의미가 있을 것으로 판단된다. 실제로 본 연구에서 나타난 AMPK의 변화는 FNDC5의 결과와 동일하게 두 가지의 병행에 의하여 가장 높은 발현량을 보였다. 이는 벼메뚜기 분말 섭취와 운동에 의한 에너지 대사 상승작용이 유발되었다는 것이라는 점을 시사하고 있다. 또한, 흥미로운 점은 AMPK가 COEX 및 GH간에 유의한 차이 없이 유사한 발현이 유발되었다는 점이다. 이는 운동에 의한 체열생산(Wu et al., 2014) 및 단백질 섭취 저하에 의한 체열생산의 저하(Claycombe et al., 2015), 단백질 섭취량 증

가에 의한 체열생산 증가(Luscombe-Marsh et al., 2013), 단백질 섭취에 의한 대사량의 증가(Bray et al., 2015; Martens et al., 2015), 불포화지방산 섭취에 의한 체열생산 반응 증가(Krishnan and Cooper, 2014)의 효과라 판단된다. 이와 유사하게 불포화지방산이 다량 함유되어 있는 생선 기름을 마우스에게 섭취시켰을 때 체열생산 marker가 증가하였다는 보고(Bargut et al., 2015)에서도 유추할 수 있다. 이러한 결과를 통하여 본 연구의 벼메뚜기만을 섭취한 GH와 운동만을 수행한 COEX간의 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 또한 Luscombe-Marsh et al. (2013)은 고농도의 에너지 섭취 즉, 고지방 식이에 의해 위제거속도(gastric emptying time)가 늦어져 체열생산이 감소하였다고 제시하고 있다는 점을 고려할 때, 벼메뚜기는 약 70%를 상회하는 단백질을 함유하여 상대적으로 적은 양의 지방을 함유하고 있어 위제거속도 역시 감소하지 않았을 것으로 판단되며 양질의 영양공급원으로서 효과적인 식품으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 위에서 제시한 많은 효과의 상승작용을 통하여 GHEX에서의 AMPK 상승이 유발된 것으로 사료된다. 이러한 결과는 벼메뚜기 섭취에 의한 에너지 대사의 증대에 영향을 미칠 수 있을 것으로 기대할 수 있을 것이다.

한편, Gsk-3β는 장기간의 트레드밀 운동에 의해 발현이 억제된다(Liu et al., 2013). 또한 하경사 달리기 훈련을 하였을 경우에도 발현이 억제된다고 보고(Amin et al., 2014)된 바 있다. 본 연구에서도 운동만을 수행한 COEX군에서 다소 감소하는 경향이 보였으며, GHEX가 CON에 비하여 유의하게 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 단백질 합성이 증가할 가능성을 시사하고 있다. 즉, Gsk-3β의 인산화가 억제됨으로 인하여 mTOR, elF2B 등의 단백질이 인산화가 진행되어 단백질 합성이 증가한다는 보고(Zhang et al., 2014)에서도 예측이 가능할 것이다. 이에 대한 다양한 연구방법적 접근을 통하여 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

본 연구 결과를 볼 때, 벼메뚜기 분말 섭취에 의한 에너지대사 변화는 운동을 병행할 때 증진되는 것으로 나타났다. 특히, 벼메뚜기 분말 섭취 시 탄수화물 대사보다는 체중 증가 및 지방 저장의 억제효과로 보아 지방대사에 보다 영향을 미쳐 에너지 대사율을 증가시킬 수 있음을 시사하고 있다. 이러한 결과를 통하여 영양공급원이 상대적으로 부족한 지역에서 가장 많이 서식하고 있는 메뚜기를 식용으로서 선택한다면 단백질 결핍에 의한 증상의 위험성을 줄여주며 양질의 지방산을 공급할 수 있게 되어 인간의 영양적 균형을 조절할 수 있는 것으로 기대되어 대체 식품으로서의 식용곤충 활용도가 높아질 수 있을 것이라 생각된다. 이에 대한 과학적 데이터를 다량 확보하기 위해서 장기적인 관점에서 영양소를 공급할 수 있는 식용곤충 연구가 지속되어야 할 것이다.

Literature Cited

Amin, H., Vachris, J., Hamilton, A., Steuerwald, N., Howden, R., Arthur, S.T., 2014. GSK3β inhibition and LEF1 upregulation in skeletal muscle following a bout of downhill running. J. Physiol. Sci. 64, 1-11.

Andersen, T.R., Schmidt, J.F., Thomassen, M., Hornstrup, T., Frandsen, U., Randers, M.B., Hansen, P.R., Krustrup, P., Bangsbo, J., 2014. A preliminary study: effects of football training on glucose control, body composition, and performance in men with type 2 diabetes. Scand. J. Med. Sci. Sports. 1, 43-56.

Bargut, T.C., Silva-E-Silva, A.C., Souza-Mello, V., Mandarim-de-Lacerda, C.A., Aguila, M.B., 2015. Mice fed fish oil diet and upregulation of brown adipose tissue thermogenic markers. Eur. J. Nutr. 23, 1-11.

Bray, G.A., Redman, L.M., de Jonge, L., Covington, J., Rood, J., Brock, C., Mancuso, S., Martin, C.K., Smith, S.R., 2015. Effect of protein overfeeding on energy expenditure measured in a metabolic chamber. Am. J. Clin. Nutr. 101, 496-505.

Chen, W.C., Huang, W.C., Chiu, C.C., Chang, Y.K., Huang, C.C., 2014. Whey protein improves exercise performance and biochemical profiles in trained mice. Med. Sci. Sports Exerc. 46, 1517-1524.

Claycombe, K.J., Vomhof-DeKrey, E.E., Roemmich, J.N., Rhen, T., Ghribi, O., 2015. Maternal low-protein diet causes body weight loss in male, neonate Sprague-Dawley rats involving UCP-1-mediated thermogenesis. J. Nutr. Biochem. 26, 729-735.

Cui, J., Bai, Y., Li, M., Xu, X., Dai, Y., Zhang, J., 2015. Effects of conjugated linoleic acid and exercise on RBP4 of liver and adipose tissues in adolescent obese rats. Wei Sheng Yan Jiu. 44, 8-14.

FAO., 2008. Climate change and food security: a framework document. FAO. Rome. pp. 1-93.

FAO., 2013. Edible insects: Future prospects for food and feed security. FAO. Rome. pp. 1-159.

Fragua, V., Barroeta, A.C., Manzanilla, E.G., Codony, R., Villaverde, C., 2015. Evaluation of the use of esterified fatty acid oils enriched in medium-chain fatty acids in weight loss diets for dogs. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl). 99, 48-59.

Gamas, L., Matafome, P., Seiça, R., 2015. Irisin and myonectin regulation in the insulin resistant muscle: implications to adipose tissue: muscle crosstalk. J. Diabetes Res. 2015: 359159.

Han, S.R., Yun, E.Y., Kim, J.Y., Hwang, J.S., Jeong, E.J., Moon, K.S., 2014. Evaluation of genotoxicity and 28-day oral dose toxicity on freeze-dried Powder of *Tenebrio molitor* Larvae (Yellow Mealworm). Toxicol. Res. 30, 121-130.

Higa, T.S., Spinola, A.V., Fonseca-Alaniz, M.H., Evangelista, F.S., 2014. Remodeling of white adipose tissue metabolism by physical

training prevents insulin resistance. Life Sci. 103, 41-48.

Jang, A., Kim, D., Sung, K.S., Jung, S., Kim, H.J., Jo, C., 2014. The effect of dietary α-lipoic acid, betaine, l-carnitine, and swimming on the obesity of mice induced by a high-fat diet. Food Funct. 5, 1966-1974.

Kim, C.H., Gu, G.S., Yun, C.H., 2015. Edible and medicinal insect. Hyemyeong Press. Gyeongsangnamdo. Korea. p.200.

Kim, J.S., Lee, Y.H., Kim, J.C., Ko, Y.H., Yoon, C.S., Yi, H.K., 2014. Effect of exercise training of different intensities on anti-inflammatory reaction in streptozotocin-induced diabetic rats. Biol. Sport. 31, 73-79.

Krishnan, S., Cooper, J.A., 2014. Effect of dietary fatty acid composition on substrate utilization and body weight maintenance in humans. Eur. J. Nutr. 53, 691-710.

Kurdiova, T., Balaz, M., Vician, M., Maderova, D., Vlcek, M., Valkovic, L., Srbecky, M., Imrich, R., Kyselovicova, O., Belan, V., Jelok, I., Wolfrum, C., Klimes, I., Krssak, M., Zemkova, E., Gasperikova, D., Ukropec, J., Ukropcova, B., 2014. Effects of obesity, diabetes and exercise on Fndc5 gene expression and irisin release in human skeletal muscle and adipose tissue: in vivo and in vitro studies. J. Physiol. 592, 1091-1107.

Lally, J.S., Ford, R.J., Johar, J., Crane, J.D., Kemp, B.E., Steinberg, G.R., 2015. Skeletal muscle AMPK is essential for the maintenance of FNDC5 expression. Physiol. Rep. 3, e12343.

Lee, S.H., Park, D., Yang, G., Bae, D.K., Yang, Y.H., Kim, T.K., Kim, D., Kyung, J., Yeon, S., Koo, K.C., Lee, J.Y., Hwang, S.Y., Joo, S.S., Kim, Y.B., 2012. Silk and silkworm pupa peptides suppress adipogenesis in preadipocytes and fat accumulation in rats fed a high-fat diet. Eur. J. Nutr. 51, 1011-1019.

Lee, S., Kwon, S., Ma, K., Son, S., Jung, C., 2014. Industrialization of edible insects; explore for business strategy. Korean J. Soil Zool. 18, 45-50.

Liu, H.L., Zhao, G., Zhang, H., Shi, L.D., 2013. Long-term treadmill exercise inhibits the progression of Alzheimer's disease-like neuropathology in the hippocampus of APP/PS1 transgenic mice. Behav. Brain Res. 256, 261-272.

Longvah, T., Manghtya, K., Qadri, S.S., 2012. Eri silkworm: a source of edible oil with a high content of α-linolenic acid and of significant nutritional value. J. Sci. Food Agric. 92, 1988-1993.

López-Plaza, B., Bermejo, L.M., Koester, Weber, T, Parra, P., Serra, F., Hernández, M., Palma, Milla, S., Gómez-Candela, C., 2013. Effects of milk supplementation with conjugated linoleic acid on weight control and body composition in healthy overweight people. Nutr. Hosp. 28, 2090-2098.

Lukaszuk, B., Bialuk, I., Górski, J., Zajączkiewicz, M., Winnicka, M.M., Chabowski, A., 2012. A single bout of exercise increases the expression of glucose but not fatty acid transporters in skeletal muscle of IL-6 KO mice. Lipids. 47, 763-783.

Luscombe-Marsh, N.D., Seimon, R.V., Bollmeyer, E., Wishart, J.M., Wittert, G.A., Horowitz, M., Bellon, M., Feinle-Bisset, C., 2013. Acute effects of oral preloads with increasing energy density on gastric emptying, gut hormone release, thermogenesis and energy intake, in overweight and obese men. Asia Pac. J. Clin. Nutr. 22, 380-390.

Marchianti, A.C., Arimura, E., Ushikai, M., Horiuchi, M., 2014. Voluntary exercise under a food restriction condition decreases blood branched-chain amino acid levels, in addition to improvement of glucose and lipid metabolism, in db mice, animal model of type 2 diabetes. Environ. Health Prev. Med. 19, 339-347.

Martens, E.A., Gonnissen, H.K., Gatta-Cherifi, B., Janssens, P.L., Westerterp-Plantenga, M.S., 2015. Maintenance of energy expenditure on high-protein vs. high-carbohydrate diets at a constant body weight may prevent a positive energy balance. Clin. Nutr. 3, 968-975.

Nallamuthu, I., Tamatam, A., Khanum, F., 2014. Effect of hydroalcoholic extract of Aegle marmelos fruit on radical scavenging activity and exercise-endurance capacity in mice. Pharm. Biol. 52, 551-559.

Nam, J.H., Ma, Y.I., 2000. Utilization and resource of insect in various countries. Seoul National University Press. Seoul, Korea. p.206.

Noh, J.H., Yun, E.Y., Park, H., Jung, K.J., Hwang, J.S., Jeong, E.J., Moon, K.S., 2015. Subchronic oral dose toxicity of freeze-dried powder of *Allomyrina dichotoma* Larvae. Toxicol. Res. 31, 69-75.

Nygaard, H., Slettaløkken, G., Vegge, G., Hollan, I., Whist, J.E., Strand, T., Rønnestad, B.R., Ellefsen, S., 2015. Irisin in blood increases transiently after single sessions of intense endurance exercise and heavy strength training. PLoS One. 10, e0121367.

Oh, H.G., Lee, H.Y., Kim, J.H., Kang, Y.R., Moon, D.I., Seo, M.Y., Back, H.I., Kim, S.Y., Oh, M.R., Park, S.H., Kim, M.G., Jeon, J.Y., Shin, S.J., Ryu, K.S., Chae, S.W., Kim, O., Park, J.K., 2012. Effects of male silkworm pupa powder on the erectile dysfunction by chronic ethanol consumption in rats. Lab. Anim. Res. 28, 83-90.

Ohyama, K., Nogusa, Y., Suzuki, K., Shinoda, K., Kajimura, S., Bannai, M., 2015. A combination of exercise and capsinoid supplementation additively suppresses diet-induced obesity by increasing energy expenditure in mice. Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. 308, e315-323.

Park, K.T. 2001. Insect resources. Academy book. Seoul. Korea. p.334.

Pasini, E., Le Douairon, L.S., Flati, V., Assanelli, D., Corsetti, G., Speca, S., Bernabei, R., Calvani, R., Marzetti, E., 2012. Effects of treadmill exercise and training frequency on anabolic signaling pathways in the skeletal muscle of aged rats. Exp. Gerontol. 47, 23-28.

Peterson, J.M., Mart, R., Bond, C.E., 2014. Effect of obesity and exercise on the expression of the novel myokines, Myonectin and Fibronectin type III domain containing 5. PeerJ. DOI 10.7717/peerj.605

RDA., 2014. Rearing standards and specifications for beneficial insect (II) Rural Development Administration. RDA. Korea. pp.172-194.

Ryu, S., 2014. Silkworm pupae powder ingestion increases fat metabolism in swim-trained rats. J. Exerc. Nutr. Biochem. 18, 141-149.

Sah, L., Jung, C., 2012. Global perspectives of edible insects as human food. Korean J. Soil Zool. 16, 1-8.

Tsuchiya, Y., Ando, D., Takamatsu, K., Goto, K., 2015. Resistance exercise induces a greater irisin response than endurance exercise. Metabolism. 30, 233-237.

Turkez, H., Incekara, U., Güner, A., Aydın, E., Dirican, E., Togar, B., 2014. The cytogenetic effects of the aqueous extracts of migratory locust (*Locusta migratoria* L.) in vitro. Toxicol. Ind. Health. 30, 233-237.

Welch, K.C.Jr, Allalou, A., Sehgal, P., Cheng, J., Ashok, A., 2013. Glucose transporter expression in an avian nectarivore: the ruby-throated humming bird (*Archilochus colubris*). PLoS One. 8, e77003.

Wu, M.V., Bikopoulos, G., Hung, S., Ceddia, R.B., 2014. Thermogenic capacity is antagonistically regulated in classical brown and white subcutaneous fat depots by high fat diet and endurance training in rats: impact on whole-body energy expenditure. J. Biol. Chem. 289, 34129-34140.

Yang, H.J., Lee, J.W., Lee, S.H., Ryu, J.S., Kwak, D.H., Nam, K.S., Park, Y.I., Lee, Y.C., Jung, K.Y., Choo, Y.K., 2010. Estrogenic activity produced by aqueous extracts of silkworm (*Bombyx mori*) pupae in ovariectomized rats. Am. J. Chin. Med. 38, 89-97.

Yeo, Y., Cho, M., Jeon, B., Seo, H., Kwon, T., Ryu, S., 2013a. Changes of pupa powder ingestion on inflammatory cytokine in rats. J. Exerc. Nutr. Biochem. 17, 71-80.

Yeo, Y., Ahn, E.Y., Ryu, S., 2013b. Effect of pupa powder diet on muscle and blood amino acids composition in rat. Kor. J. Physical Edu. 52, 807-818.

Zhang, X., Zhao, F., Si, Y., Huang, Y., Yu, C., Luo, C., Zhang, N., Li, Q., Gao, X., 2014. GSK3β regulates milk synthesis in and proliferation of dairy cow mammary epithelial cells via the mTOR/S6K1 signaling pathway. Molecules. 19, 9435-9452.

Zhou, Q., Chen, K., Liu, P., Gao, Y., Zou, D., Deng, H., Huang, Y., Zhang, Q., Zhu, J., Mi, M., 2015. Dihydromyricetin stimulates irisin secretion partially via the PGC-1α pathway. Mol. Cell Endocrinol. 412, 349-357.