

누에나방(*Bombyx mori* L.) 번데기 분말 섭취가 마우스의 저항성운동 훈련 후 근육량 증가에 미치는 영향

김이슬 · 김희빈 · 전병덕¹ · 이동운^{2*} · 류승필**

경북대학교 레저스포츠학과, ¹수성대학교 생활체육레저과, ²경북대학교 생태환경관광학부 생물응용전공

Increased Muscle Mass after Resistance Exercise Training and Ingestion of Silkworm Pupae Powder (*Bombyx mori* L.) in ICR Mice

Yiseul Kim, Heebin Kim, Byungduk Jeon¹, Dong Woon Lee^{2*} and Sungpil Ryu**

Dept. of Leisure Sports Kyungpook National University, Sangju, Gyeongbuk, 37224, Korea

¹Dept. of Physical Education Leisure, Suseong College, Daegu, 42078, Korea

²Major of Applied Biology, School of Ecological Environment and Tourism, Kyungpook National University, Sangju, Gyeongbuk, 37224, Korea

ABSTRACT: Edible insects are an interesting alternative global food resource. The purpose of this study was to investigate whether ingestion of silkworm (*Bombyx mori*) pupae powder with and without resistance exercise training (isometric contraction training) increased muscle mass in ICR mice. To achieve this, 28 ICR mice were grouped into control (CON), resistance exercise training (EX), silkworm pupae powder ingested control (SP), and silkworm powder ingestion with resistance exercise training (SPEX) groups. The change in body weight ratio was significantly decreased in the EX and SPEX groups compared to the CON and SP groups. Total blood protein levels were the highest in SPEX mice compared to those in other groups. The albumin concentration increased only in the EX group. Blood GOT and GPT levels were not significantly affected. Changes in Akt and Gsk-3 β protein expression were not significant but there was a tendency for Akt to increase and for Gsk-3 β to increase following the ingestion of the powder. The size of the gastrocnemius muscle increased significantly in response to resistance exercise training only. Furthermore, the ingestion of silkworm pupae powder tended to increase muscle mass without significance. These results suggested that the ingestion of silkworm pupae powder with resistance exercise training might enhance muscle mass without hepatotoxicity. However, future study may be needed to obtain detailed results and practical suggestions.

Key words: Silkworm pupae, Resistance exercise, Skeletal muscle, Mouse

초록: 식용곤충은 대체 식량자원으로 관심이 증가되고 있다. 본 연구의 목적은 누에나방 번데기 분말 섭취 유무에 따른 저항성운동 훈련(등장성 수축)이 ICR 마우스의 근육량 증가에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위하여 ICR 마우스 28마리를 대조군(CON), 저항성운동 훈련군(EX), 누에나방 번데기 분말 섭취군(SP), 누에나방 번데기분말 섭취 저항성운동 훈련군(SPEX)으로 그룹 당 각각 7마리씩 분류하였다. 체중증가율은 EX와 SPEX가 CON과 SP에 비해 유의하게 억제되었다. 혈중 총 단백질 농도는 SPEX가 다른 그룹에 비하여 가장 높았다. 알부민 농도 변화는 운동훈련 병행 시에만 증가하였다. 혈액 GOT와 GPT 수준은 유의차가 없었다. Akt와 Gsk-3 β 의 단백질 발현의 유의차는 없었다. 그러나 번데기 분말 섭취 시 Akt 증가 및 Gsk-3 β 의 감소 경향이 나타났다. 비복근 근육 양은 저항성 운동 훈련을 하였을 때만 증가하였다. 그리고 또한, 번데기 분말 섭취 시 근육량은 유의차가 없었으나 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 저항성 운동훈련과 누에나방 번데기 분말 섭취는 간독성을 유발하지 않고 근육량을 증가시킬 수 있다는 점을 시사한다. 그러나 보다 상세한 결과를 제시하기 위해 추가적인 연구가 필요할 것이다.

검색어: 누에번데기, 저항성 운동, 골격근, 마우스

*Corresponding author: whitegrub@knu.ac.kr

**Co-corresponding author: ryusp@knu.ac.kr

Received June 23 2015; Revised October 16 2015

Accepted December 3 2015

곤충의 식용화는 동물성 단백질 공급이 부족한 곳에서 시작되었으며, 섭취할 수 있는 식용곤충의 종류는 약 1,000여종에 달한다(Defoliart, 1999). 영양소 측면에서 식용곤충은 단백질,

아미노산, 단일불포화지방산 또는 다가불포화지방산, 미량영양소로서 구리, 철분, 마그네슘, 망간, 인, 셀레늄, 그리고 아연 등이 함유되어 있으며, 비타민 중에서는 리보플라빈, 판토텐산, 비오틴, 엽산 등도 함유되어 있다(Rumpold and Schlüter, 2013). 곤충은 세계적으로 전통 식품에 속하며 특히, 단백질이 많은 고영양소원이기 때문에 잠재적으로 식품과 단백질 공급원으로 사용될 수 있을 것이다(Rumpold and Schlüter, 2013). 또한, 동물성 단백질을 생산하는데 있어서 식용곤충을 섭취할 경우, 환경오염에 대한 위험성을 감소시킬 수 있을 것이라 제안되기도 하였다(Oonincx et al., 2012).

한국인의 식습관이 서구화 되면서 다양한 음식을 많이 섭취하고 있으나, 곡물 섭취는 감소하고 있고 육류 섭취는 매년 증가하고 있다. 육류섭취의 증가는 대사관련 질환을 발생시킬 가능성이 있다. 즉, 육류에는 인체에서 꼭 필요로 하는 필수아미노산을 갖고 있으나 포화지방산 함량이 높아 체내에서 콜레스테롤 생합성이 증가하여 대사성질환을 유발할 수도 있다.

한편, 서구화되고 있는 생활과 더불어 최근에는 다이어트와 몸 만들기 열풍으로 인한 단백질 보충제에 대한 홍보가 증가함에 따라 다양한 단백질 보충제 섭취는 대중들의 선호도가 높다(Lee et al., 2008). 저항성 운동 후 루신과 풍부한 아미노산을 섭취 시켰을 때 근육 단백질 합성을 복원하고, 신진대사 반응을 증가할 수 있으며, 골격근의 성능이 강화된다(Dickinson et al., 2014). 이렇게 저항성 운동과 더불어 적절한 단백질 보충제의 섭취로 인한 제지방량의 증가는 기초대사량의 증가를 발하여 건강을 유지·증진하는데 도움을 줄 수 있을 것이다. 아미노산 섭취와 저항성 운동 병행은 근육량을 증가시키고, 식이 또는 운동에 의한 체중 감량시 에너지 부족에 의한 근육량 손실을 방지한다(Churchward-Venne et al., 2013). 저항성 운동은 골격근의 크기와 질량(신진대사 능력)을 증가시켜 골격근의 비대를 촉진시킨다(Cheema et al., 2014; Kim et al., 2011). 이러한 근육합성 및 골격근비대의 증가방법으로는 저항성운동으로 인한 자극에 의해 증가된다고 보고하고 있다(Guimarães-Ferreira et al., 2014).

대부분의 단백질 보충제는 필수 아미노산이 함유 되어있는 동물성 단백질로 구성되어 있으나, 권장량 이상의 단백질 섭취 시 비만을 유도하고, 심장마비나 심혈관계질환의 발병 위험성이 있다(Morris et al., 2013). 또한 장기간의 단백질 섭취는 뼈의 미네랄 손실과 신장 손상을 유발하며 골다공증이나 요로결석, 통풍, 자가 면역질환 등 발생위험을 높이기도 한다(Tipton, 2011)는 등의 보충제 부작용에 대한 정보가 제공되고 있다. 따라서, 안전한 단백질 보충제를 섭취하기 위하여 동물성 단백질 효율과 유사하고 친환경적이며 경제성이 뛰어난 대체 식품에

대한 관심이 증가되어야 할 것이다.

우리나라에서는 오래 전부터 양질의 단백질 원으로서 번데기를 섭취하여 왔다. 번데기는 식용곤충의 한 종류로서 단백질, 아미노산, 불포화지방산이 풍부하게 함유되어 있다. 쇠고기에 비하여 단백질 효율이 높고, 대두 단백질보다 높다(Jeon and Park, 1992). 또한, 값싸고 친환경적인 특성을 이용한다는 큰 장점이 있으며, 번데기에는 독성이 없고, 혈중 콜레스테롤 및 지방농도를 낮추며 고밀도지단백콜레스테롤 농도를 증가시켜(Kim et al., 2012), 지방 합성을 억제함으로써 지방 축적량과 지방세포의 크기가 감소한다(Lee et al., 2012). 또한, 누에번데기 섭취에 의한 근육량 증가를 보고한 결과(Yeo et al., 2013)에서는 누에번데기 섭취에 의해 아미노산의 일종인 아르기닌이 혈중에서 증가하였으며, 근육 구성 아미노산의 총량을 증가시키는 것으로 나타났다고 하였다. 이는 수영운동을 부하한 경우에도 같은 결과가 나타난 것으로 보아 누에번데기 섭취에 의한 구성 아미노산 함량의 증가가 근육량 증대로 이루어졌다는 점을 시사하고 있다. 누에섭취는 흰쥐의 골격근에서 근육 관련 유전자인 uncoupling protein-3 (UCP-3), myogenin, mRNA의 발현량을 증가시켰으며, 근육 증가와 관련된 기전에 영향을 준다(Yang et al., 2013).

한편, 운동 시에 있어 Akt가 활성화 되면 mTOR, Gsk-3 β 는 단백질합성의 조절뿐만 아니라, 단백질 합성의 전사와 증식에도 강하게 반응한다(Glass, 2003). 인슐린 혹은 IGF-I에 의해 Akt가 활성화 되거나 아미노산 일종의 루신이 세포 내로 유입되면서 신호전달작용을 받게 되는 경우 mTOR가 활성화 되면서 p70S6k, 4E-BP1, eLF4G 인자들에 신호전달자극에 의해 최종적으로 근육 합성이 증가한다. Camera et al. (2015)는 사이클 운동과 저항성 운동을 병행한 후 단백질 섭취에 의해 근원섬유의 단백질 합성이 증가하였다고 하였다. Gsk-3 β (Glycogen synthase kinase 3 beta)는 Akt (protein kinase B (PKB)로도 알려져 있는 serine/threonine protein kinase)가 활성화 되면 신호전달을 차단시켜 Gsk-3 β 의 활성이 감소하면서 근육 합성이 일어난다.

따라서 본 연구에서는 미래의 식량 자원으로 식용 곤충이 주목 받고 있는 가운데 약용이나 가축 사료용으로 영양 및 비용 면에서 효과적으로 사용되고 있고, 새로운 바이오 의약 소재로도 많은 연구를 하고 있음에도 불구하고, 단백질로 구성되어 있는 보충제의 대체 공급원으로 건강 증진을 위한 연구는 부족하다는 점에 착안하여 연구를 수행하였다. 이를 통하여, 번데기 섭취와 저항성 운동 병행 시 근육 합성에 미치는 영향을 알아봄으로써 단백질 보충제의 대체 식품이나 건강 기능성식품으로서의 효능을 검증하고 국내산 번데기의 운동 보조물로 활용 가

능한 영양학적 가치를 입증하여 대체 단백질 급원으로서의 자료를 제공함으로써 그 활용도를 증가시키는데 기여하고자 한다.

재료 및 방법

실험동물 및 사육방법

본 연구에서는 생후 5주령의 수컷 ICR mouse 28마리를 사용하여, 케이지 당 4마리씩 개별 사육하였다. 사육실 내부 환경은 23-25°C, 상대습도는 60% 내·외를 유지시키고 08:00-20:00 까지 12시간 간격으로 명·암주기를 조절하였다. 집단은 일반식이군(Control diet: CON), 일반식이+저항운동군(Control diet + Resistance Exercise: EX), 누에번데기섭취군(Silkworm Pupae diet: SP), 누에번데기섭취+저항운동군(Silkworm Pupae diet + Resistance Exercise: SPEX)으로 구분하였다.

본 연구는 경북대학교 동물실험윤리위원회에 의해 승인되었다(승인번호 KNU 2015-120).

식이 조성 및 섭취방법

식이 조성은 AIN-76을 바탕으로 하여 번데기 분말을 카제인과 1:1로 치환하여 조제하였다. 누에번데기의 안정성을 확인한 최대섭취량은 1.5 g/kg/d으로 제시되고 있고(Zhou et al., 2006), 식이의 섭취는 오전 08:00에 각 30 g 씩 하루에 한번 공급하였으며, 물은 자유 음용 하였다. 식이조성은 Table 1과 같다. 또한, 경북 영덕의 잠업 농가에서 사육한 누에나방의 번데기를 사용

Table 1. Experimental diet composition (g/kg diet)

Constituents	Control diet	Silkworm Pupae diet
Casein	200	-
Silkworm Pupae	-	200
Sucrose	200	200
Corn starch	400	400
Corn oil	60	60
Lard	40	40
Cellulose	50	50
Mineral mix*	35	30
Vitamin mix*	10	5
D,L-methionine	3.5	3.5
Choline	1.5	1.5

*AIN-76 formular.

하였으며, 번데기를 식이에 첨가하기 위해 동결건조하여 분말로 가공한 후 식이에 첨가하였다. 동결건조는 경북대학교 상주 캠퍼스 공동실험실습관 분관에 보유하고 있는 진공동결건조기(SFDKS 10K, 삼원냉열엔지니어링, 대한민국)를 사용하였다.

운동방법

저항성 운동(Fig. 1)은 예비사육 후 6주령이 되었을 때부터 8주간 매일 시행하였으며, 매주 점진적으로 부하를 증가하여 운동시간은 1주에서 3주간 3분 운동 1분 휴식을 3회 반복하고, 4주에서 6주까지는 4분 운동 1분 휴식을 3회 반복하였다. 마지막 7주와 8주에는 5분 운동 1분 휴식을 3회 반복하였다. 운동방법은 Krüger et al. (2013)의 방법을 변경하여 진행하였으며, 운동시간은 Table 2와 같다.

체중측정

체중의 측정은 같은 시간과 환경에서 매주 2회 측정하였다. 즉, 실험기간 중 매주 월요일, 목요일 오전 10시에 규칙적으로 측정하여 동일한 환경을 유지할 수 있도록 하였다.

시료채취

12시간 절식 후 Ethyl Ether (No.548, Duksan, Korea)를 이



Fig. 1. Resistance exercise model.

Table 2. Eight-week resistance exercise program

Exercise duration (weeks)	Exercise time (min)	Set (time)	Rest (min)
0-3	3	3	1
4-6	4	3	1
7-8	5	3	1

용하여 흡입 마취 상태에서 개복하여 복대동맥에서 채혈하였으며, 10분간 3,000 rpm으로 원심분리(1580 MER, Gyrozen, Korea) 후 분석 시까지 냉동고(NF-400SF, HFC, Japan)에 보관하고 그 후 조직을 적출하여 액체질소에서 활성을 정지시킨 후 -80°C 냉동고에 분석 시까지 보관하였다.

분석 항목 및 방법

비복근 정량

하지의 비복근량을 정량하기 위하여 실험 쥐를 눕힌 상태에서 하지를 들어 올린 후 발목의 복사뼈부터 슬개골까지 가위를 이용하여 절단하였다. 적출 부위의 오차를 줄이기 위해 한 명의 검사자가 비복근의 동일한 부위를 선정하여 일정한 양을 적출 후 정량화 하였다.

혈중 단백질 농도 분석

총 단백질(total protein: TP), 알부민(albumin: Alb), GOT, GPT 농도는 효소법에 의한 분석 kit (아산제약, 대한민국)를 이용하여 분광광도계(UV-mini-1240, Shimadzu, Japan)를 사용하여 흡광도를 분석하고 분석시약에 동봉된 계산식을 이용하여 산출하였다.

단백질 발현량 분석

근육 조직의 처리는 RIPA buffer를 샘플에 넣어 균질화 작업을 하였다. 균질화 작업이 끝난 후 샘플을 10분간 12000 rpm에서 원심분리 후 상층액을 분리 한 다음 각 샘플의 단백질 정량을 위하여 상층에서 분리한 샘플 1 µl와 brad-ford 1 ml을 잘 혼합 후 각 샘플을 ELISA plate에 200 µl를 넣어서 595 nm의 흡광도를 측정한다 다음, Laemmli sample buffer을 섞어서 샘플을 만들었다. 단백질 분석을 위하여 10% sodium dodecyl sulphate (SDS)-polyacrylamide gel에 단백질 샘플을 각각 15 µl를 loading 한 후에 100 V에서 전기영동하여 단백질을 분리하였다. 단백질 분리 후 polyvinylidene difluoride membranes으로 전기영동 100 V에 의해 1시간 동안 membrane으로 전이시켰다. 전이가 끝난 후 5% BSA가 포함된 blocking buffer (TBST buffer; 50 mM Tris-hcl, 150 mM NaCl, and 0.05%, Tween 20)을 이용하여 1시간 30분간 blocking을 실시하였다. 1차 항체(Akt, Gsk-3β)를 각각의 방법에 따라 희석 한 후 4°C에서 over-night 시킨 후 TBST (5% tween-20)를 이용하여 10분간 5회 washing

을 실시하였다. 2차 항체를 각각에 방법에 따라 희석하여 두 시간 동안 반응을 시킨 후 TBST (5% tween-20)로 10분간 5회 washing을 실시하였으며, 근육에 대한 밴드의 동정은 enhanced chemiluminescence (ECL) kit을 이용해 membrane을 발광 시킨 후 X-ray film에 현상한 다음 band의 density는 image j (NIH ver. 1.48, USA)를 이용하여 band/β-actin으로 계산하였다.

자료처리

연구결과 데이터는 Windows용 통계프로그램 SPSS/PC + 18.0을 이용하였으며, 모든 실험 결과는 평균과 표준편차로 나타내고, 각 그룹의 유의성 검증을 위하여 일원분산분석을 실시하였다. 유의한 차이가 나타난 항목에 대해서는 least significant different (LSD) 법으로 사후검정을 실시하였다. 모든 차의 유의성은 $p < .05$ 이하로 설정하였다.

결과

체중의 변화

집단 간의 체중 변화율을 비교해 보면 CON은 30.04%, EX와 SP, SPEX는 각각 14.60, 14.42, 14.32%로 실험 전에 비하여 실험 후에 각각 증가한 것으로 나타났다(Fig. 2). 집단간의 차이는 CON에 비하여 EX가 유의하게 낮았으며($p < 0.05$), SP에 비하여 SPEX가 유의하게 낮은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 또한, EX에 비하여 SPEX가 낮은 경향을 보였으며, CON에 비하여 SP 역시 동일하게 나타났으나 유의차는 나타나지 않았다.

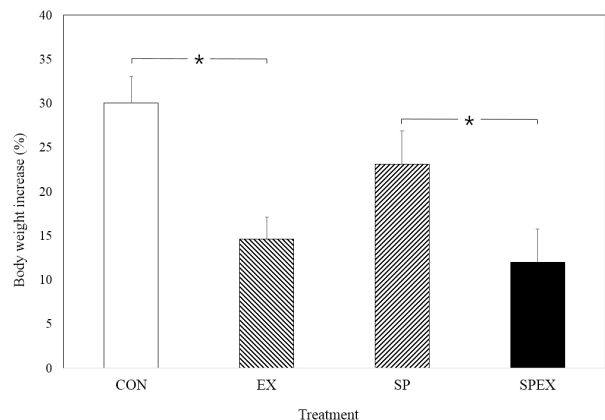


Fig. 2. Differences in the body weight ratio depending on different dietary protein sources in trained and untrained ICR mice. Bars represent mean \pm standard deviation. CON: control group; EX: exercise training group; SP: silkworm pupae ingested group; SPEX: silkworm pupae ingested with exercise training group. * $p < 0.05$.

혈액성분의 차이

집단 간의 total protein의 농도는 CON 4.69 g/dl에 비하여 SPEX군이 5.48 g/dl로 유의하게 높은 것으로 나타났다(Fig. 3). 집단간의 차이는 CON에 비하여 SPEX가 유의하게 높았으며, EX 및 SP 보다 SPEX의 농도가 현저히 높은 것으로 나타났다 ($p < 0.05$).

집단 간의 albumin 농도도 SPEX 시험군이 2.87 g/dl로 CON 군이나 다른 집단에 비하여 높게 나타났다(Fig. 4). 집단 간의 차이는 SP에 비하여 EX가 유의하게 높은 것으로 나타났으며 ($p < 0.05$), SP에 비하여 SPEX가 유의하게 높은 경향을 보였다 ($p < 0.05$). 또한, EX에 비하여 SPEX가 높은 경향을 보였으나 유의차는 나타나지 않았다.

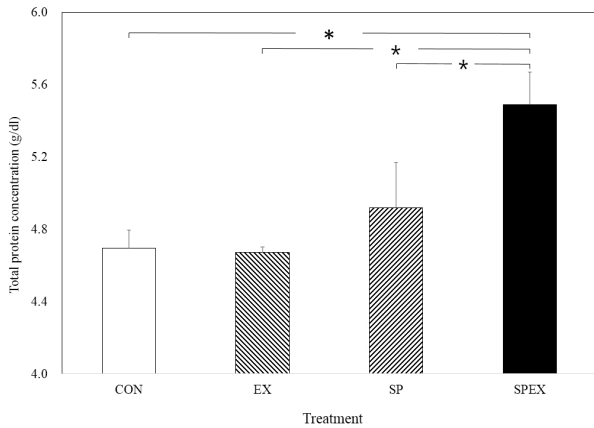


Fig. 3. Differences in the blood total protein concentration in response to different dietary protein sources in trained and untrained ICR mice. Bars represent mean \pm standard deviation. For treatments, refer to Fig. 2. * $p < 0.05$.

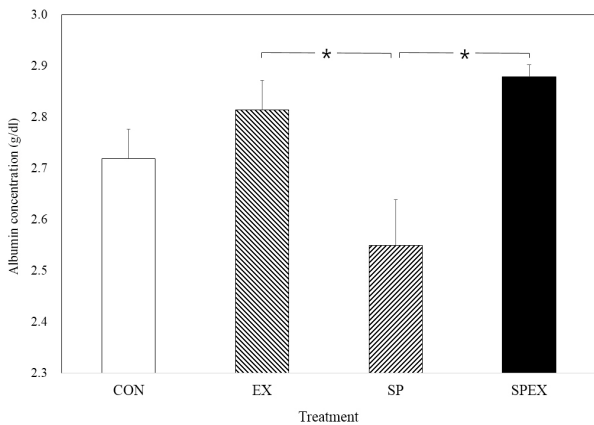


Fig. 4. Differences in the blood albumin concentration in response to different dietary protein sources in trained and untrained ICR mice. Bars represent mean \pm standard deviation. For treatment, refer to Fig. 2. * $p < 0.05$.

집단 간의 GOT 농도를 비교해 보았을 때 CON에 비하여 EX 및 SP, SPEX가 높은 경향을 보였으나, 집단 간의 유의차는 나타나지 않았으며, 운동유무에 대한 차이 또한 나타나지 않았다 (Fig. 5).

GPT 농도는 EX에 비하여 SPEX는 높은 경향으로 나타났으며, SP는 CON에 비하여 낮은 경향을 보였다(Fig. 6). 그러나 집단 간의 유의차는 나타나지 않았으며, 운동유무에 대한 집단 간 유의차도 없었다.

단백질 발현량의 차이

집단의 Akt 단백질 발현량은 SP는 CON에 비하여 높은 경향을 나타냈으며, SPEX는 EX에 비하여 높은 경향을 보였다(Fig. 7).

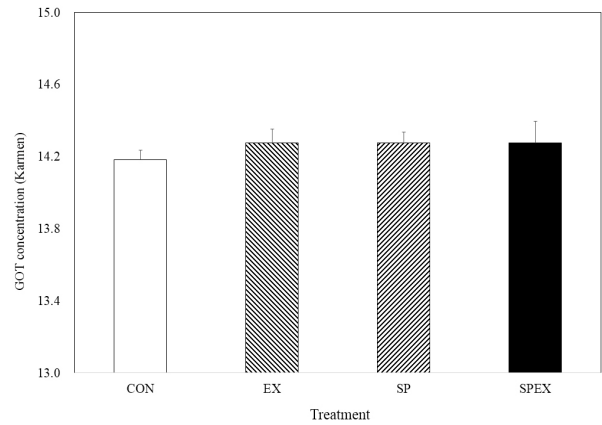


Fig. 5. Differences in the GOT concentration in response to different dietary protein sources in trained and untrained ICR mice. Bars represent mean \pm standard deviation. For treatment, refer to Fig. 2.

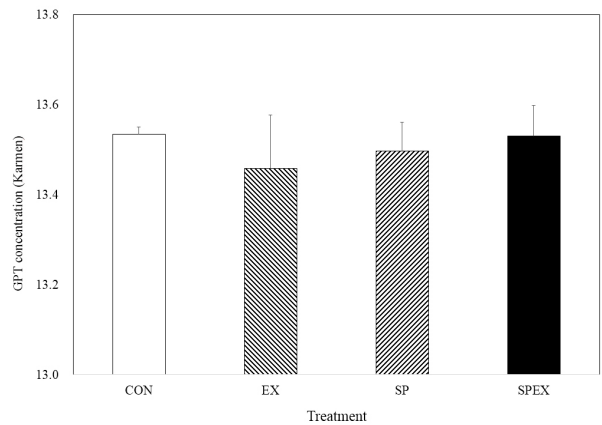


Fig. 6. Differences in the GPT concentration in response to different dietary protein sources in trained and untrained ICR mice. Bars represent mean \pm standard deviation. For treatment, refer to Fig. 2.

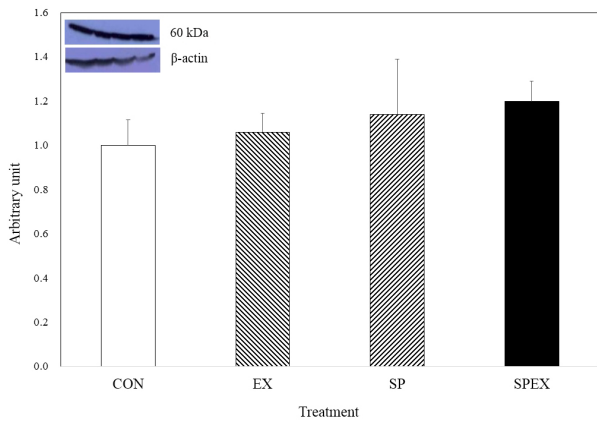


Fig. 7. Differences in Akt protein expression in response to dietary protein sources in trained and untrained ICR mice. Bars represent mean \pm standard deviation. For treatment, refer to Fig. 2.

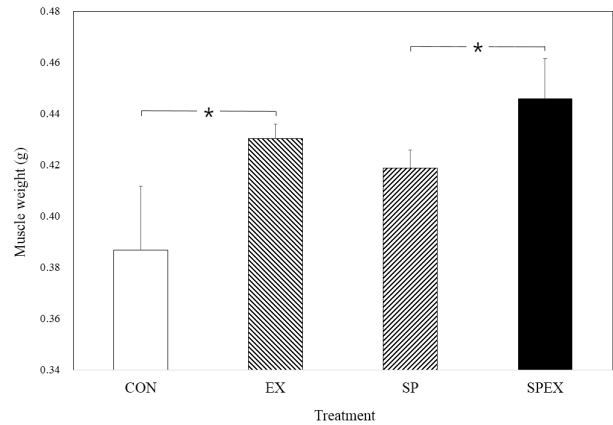


Fig. 9. Differences in gastrocnemius muscle weight in response to different dietary protein sources in trained and untrained ICR mice. Bars represent mean \pm standard deviation. For treatment, refer to Fig. 2. * $p < 0.05$.

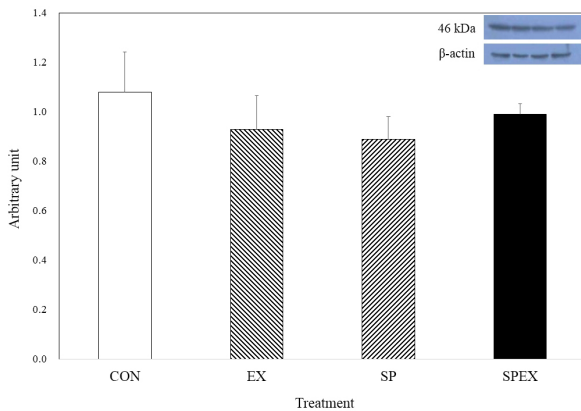


Fig. 8. Differences in Gsk-3 β protein expression in response to different dietary protein sources in trained and untrained ICR mice. Bars represent mean \pm standard deviation. For treatment, refer to Fig. 2.

그러나 집단간의 유의차는 나타나지 않았으며, 운동유무에 대한 유의차도 없었다. 집단의 GSK-3 β 단백질 발현량은 SP는 CON에 비하여 낮은 경향을 나타냈으며, SPEX는 EX에 비하여 높은 경향을 보였다(Fig. 8). 그러나 집단간의 유의차는 나타나지 않았으며, 운동유무에 대한 유의차도 없었다.

근육량의 차이

집단의 양쪽 비복근 근육량은 EX는 CON에 비하여 근육량이 많은 것으로 나타났으며, SPEX는 SP에 비하여 근육량이 많은 것으로 나타났(Fig. 9). SPEX는 EX에 비하여 높은 경향을 보였으나, 유의하지 않았다. 또한, SP는 CON에 비하여 높은 경향을 보였으나 유의차는 없었다.

고찰

본 연구에서 나타난 체중 증가율의 차이는 누에번데기 분말 섭취 유무와 관련 없이 운동에 의한 억제만이 나타났다. 많은 선행연구에서 다양한 운동방법을 적용하여 체중 감량의 결과를 보고하고 있다(Ohyama et al., 2015; Kim et al., 2014; Chu et al., 2014). 저항성 운동에 의해서도 효과적으로 체중 감량 효과가 나타난다(Myers et al., 2014; Christensen et al., 2011). 본 연구에서 활용한 매달리기 운동은 isometric contraction이 유발되는 저항성 운동으로서 고혈압 환자의 체중을 효과적으로 감소시킨다는 보고(Shi et al., 2015)를 볼 때 매달리기 운동 역시 운동의 효과를 기대할 수 있을 것이라 사료된다. Ryu (2014)의 연구에서는 누에 번데기 섭취에 의해 체중의 증가가 다소 억제되는 것으로 보고된 바 있다. 그러나 본 연구에서는 유의한 차이는 없으며 체중 증가의 억제 경향만이 나타났다. 이는 Ryu (2014)의 연구에서는 유산소성 운동훈련인 수영운동을 부하하였으나, 본 연구에서는 저항성 운동훈련을 수행한 차이가 있을 것이라 사료된다.

한편, 본 연구에서 분석한 혈액 성분 중 총단백질 및 알부민은 스트레스 상황이나 장기손상 등에 의해 증가하는 것으로 보고되고 있다(Seida et al., 2014). 또한 에탄올에 꿀 또는 sucrose 혼합하여 섭취하는 것도 동일한 결과를 초래하는 것으로 최근 보고되었다(Désiré et al., 2014). 특히, 위의 두 선행연구에서는 동일하게 GOT 및 GPT의 상승이 유발되었다고 보고하고 있다. 이 점을 고려할 때, 본 연구에서 SPEX군의 총단백질의 상승과 알부민의 결과에서 나타난 운동군에서의 상승은 긍정적인 효과보다는 부정적인 결과가 초래될 수 있는 가능성이 제시되고

있다고 사료된다. 그러나 누에 번데기 분말 섭취군의 혈중 총단백질 농도의 증가는, Yeo et al. (2013)에서 나타난 결과를 볼 때, 누에번데기 분말 섭취와 수영운동의 병행에 의하여 혈중 총단백질 농도 및 근육 구성아미노산의 총량이 가장 많았다는 점과 누에 번데기의 아미노산이 약 18종에 이르며(Oh et al., 2012) 동일하게 최대 가능섭취량인 1.5 g/kg을 상회하지 않았으므로 부작용을 없을 것으로 기대된다. 이는 본 연구의 GOT 및 GPT 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다는 점을 볼 때에도 일부 설명이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 혈중 총단백질과 알부민의 증가하는 수준이 일부 차이가 나타났다는 점은 고려되어야 할 점이라 판단된다. 혈중 알부민은 운동에 의해 증가하며, 동일하게 운동을 할 경우라도 운동강도가 높을 경우에 더욱 증가하는 것으로 나타난다(Petriz et al., 2015). 본 연구에서도 운동군에서만 알부민 농도가 유의하게 증가하여 선행연구와 동일한 결과가 나타났다고 할 수 있다. 또한 근력이 혈중 알부민과 정적상관을 보인다는 Akpinar et al. (2014)의 보고를 볼 때, 본 연구에서 SEPX가 EX에 비하여 혈중 알부민이 다소 높은 경향을 보였다는 점은 누에 번데기 분말 섭취기간과 다양한 연구 방법적 접근을 통하여 근력 상승효과를 검증할 수도 있을 것이라 기대할 수 있을 것이라 사료된다.

Akt는 protein kinase B라고도 불리며, 노화의 과정으로 알려져 있는 근육 낭비(wasting)는 Akt-mTOR의 신호와 관련이 있으며, 무산소성 자극 즉, 저항성 운동으로 인하여 근육합성이 증가하는 신호에 영향을 준다(Zacharewicz et al., 2014). 본 연구에서는 Akt가 누에번데기 분말 섭취에 의하여 다소 증가하는 경향을 보였으며, 운동을 병행하였을 때 가장 많은 증가의 경향을 보였다. 이는 위의 선행연구(Zacharewicz et al., 2014)에서 나타난 바와 같이 일회성 저항성 운동에 의해서도 Akt-mTOR 신호에 영향을 주어 근육합성이 개선될 수 있다는 보고에서도 나타난 바와 같이 근육 합성량의 증대에 일부 영향을 미칠 수 있다는 점을 시사한다고 할 수 있다. 또한, Spillane et al. (2014)의 보고에서도 고중량의 저항성 운동에 의하여 총 Akt 단백질 발현이 증가함과 동시에 총 근육 단백질 함량이 유의하게 증가하였다고 보고한바 있다. 이와 유사하게 PHLPP1 (PH domain leucine-rich repeat protein phosphatase)의 결핍에 의해 Akt를 인위적으로 상승시켰을 경우에도 심근의 단백질 합성이 유의하게 증가한다는 보고(Moc et al., 2015)도 있다. 따라서 본 연구에서도 유의하지는 않았으나, 일부 증가하는 경향을 보였다는 점은 누에 번데기 분말 섭취가 근육량 상승에 일부 기여할 수 있을 것이라 판단된다. 실제로 Yeo et al. (2013)은 누에 번데기 분말 섭취에 의하여 근육량 증가에 대한 결과를 보고한 바 있다. 이는 유산소성 운동훈련을 부하하였을 경우에는 유의

한 증가가 나타나지 않았다는 보고(Souza et al., 2014)를 볼 때, 저항성 운동훈련에서 나타날 수 있는 결과라 사료된다. 그러나 Yeo et al. (2013)의 결과에서는 유산소성 수영운동을 부하한 결과이므로 다소 차이가 있을 수 있으나, 누에 번데기 분말만을 섭취한 집단이 운동만을 부하한 집단에 비하여 유의하게 증가하였으므로 본 연구결과의 가능성을 지지한다고 사료된다.

또한 근육단백질 합성에 영향을 미치는 단백질인 Gsk-3 β (Glycogen synthase kinase-3 beta)는 본 연구에서 대조군에 비하여 나머지 집단에서 유의하지는 않았으나 감소하는 경향을 보였다. Gsk-3 β 는 근육 모세포 분화를 촉진시켜 근육 세포를 형성하는 C-Myb의 발현에 영향(Kitagawa et al., 2010)을 주기 때문에 Gsk-3 β 의 증가는 근육합성을 억제시킨다고 할 수 있다. Liu et al. (2013)은 장기간 트레드밀 운동이 알츠하이머를 유발한 쥐의 Gsk-3 β 를 억제한다고 보고하였으며, 하경사 달리기(Downhill running)를 부하하였을 경우에 총 Gsk-3 β 및 활성 Gsk-3 β 의 단백질 발현이 유의하게 감소하였다는 보고도 있다(Amin et al., 2014). 이와 유사하게 Fang et al. (2013)의 연구에서는 트레드밀 운동이 Gsk-3 β 의 인산화를 억제하였다고 보고한 것을 볼 때, 운동은 Gsk-3 β 의 활성을 억제하여 근육 단백질 합성을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서는 누에 번데기 분말 섭취에 의한 Gsk-3 β 의 감소 경향만이 나타났기 때문에 선행연구의 결과와는 일치한다고 할 수 없으나, 다소 유사한 경향이 나타났을 것이라 판단된다. 누에 번데기 분말 섭취에 의해서 Gsk-3 β 단백질 발현이 유의하게 억제되었으며, 이를 통하여 근육량 증가를 보고한바 있다(Yeo et al., 2013). 이를 바탕으로 본 연구에서 나타난 근육량 증가는 운동에 의해서 유의한 증가를 보였다. 또한 SPEX에서 가장 많은 근육량의 증가경향이 보였다는 것은 누에 번데기 섭취와 운동의 병행이, 많은 선행연구를 바탕으로 고려할 때 효과적인 근육량 증가에 도움이 될 것으로 판단된다. 그러나, 근육량 합성에 영향을 미치는 단백질 발현량의 유의한 차이가 나타나지 않았으므로 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이상의 결과는, 누에 번데기 분말은 근육량 증가를 위한 단백질 대체 공급원으로서 섭취하여도 무방할 것이라는 점을 시사하고 있다. 이에 대한 확고한 결과를 획득하기 위하여 누에 번데기 분말을 활용한 대사적인 측면에서의 연구를 다각도로 진행함으로써 동물성 단백질을 대체할 수 있는 곤충 단백질 공급원으로서의 활용도를 제고함으로써 국내산 누에 번데기 가치를 알릴 수 있을 것으로 기대된다.

Literature Cited

- Akpinar, T.S., Tayfur, M., Tufan, F., Sahinkaya, T., Köse, M., Özşenel, E.B., Bahat, Öztürk, G., Saka, B., Erten, N., Yildiz, S., Karan, M.A., 2014. Uncomplicated diabetes does not accelerate age-related sarcopenia. *Aging Male*. 17, 205-10.
- Amin, H., Vachris, J., Hamilton, A., Steuerwald, N., Howden, R., Arthur, S.T., 2014. GSK3 β inhibition and LEF1 upregulation in skeletal muscle following a bout of downhill running. *J. Physiol. Sci.* 64, 1-11.
- Camera, D.M., West, D.W., Phillips, S.M., Reracich, T., Stellingwerff, T., Hawley, J.A., Coffey, V.G., 2015. Protein ingestion increases myofibrillar protein synthesis after concurrent exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 47, 82-91.
- Cheema, B.S., Vizza, L., Swaraj, S., 2014. Progressive resistance training in polycystic ovary syndrome: Can pumping iron improve clinical outcomes? *Sports Med.* 44, 1197-1207.
- Christensen, J.R., Faber, A., Ekner, D., Overgaard, K., Holtermann, A., Søgaard, K., 2011. Diet, physical exercise and cognitive behavioral training as a combined workplace based intervention to reduce body weight and increase physical capacity in health care workers - a randomized controlled trial. *BMC Public Health*. 27, 671.
- Chu, P., Gotink, R.A., Yeh, G.Y., Goldie, S.J., Hunink, M.M., 2014. The effectiveness of yoga in modifying risk factors for cardiovascular disease and metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 15, pii: 2047487314562741.
- Churchward-Venne, T.A., Murphy, C.H., Longland, T.M., Phillips, S.M., 2013. Role of protein and amino acids in promoting lean mass accretion with resistance exercise and attenuating lean mass loss during energy deficit in humans. *Amino Acids*. 45, 231-240.
- DeFoliart, G.R., 1999. Inserts as food: why the western attitude is important. *Annu. Rev. Entomol.* 44, 21-50.
- Désiré, D.D., Amélie, M., Claude, B.D., Bibi-Farouck, A.O., Léonard, T., Théophile, D., Pierre, K., 2014. Antihypertensive potential of the aqueous extract which combine leaf of *Persea americana* Mill. (Lauraceae), stems and leaf of *Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf. (Poaceae), fruits of *Citrus medical* L. (Rutaceae) as well as honey in ethanol and sucrose experimental model. *BMC Complement Altern. Med.* 14, 507.
- Dickinson, J.M., Gundermann, D.M., Walker, D.K., Reidy, P.T., Borack, M.S., Drummond, M.J., Arora, M., Volpi, E., Rasmussen, B.B., 2014. Leucine-enriched amino acid ingestion after resistance exercise prolongs myofibrillar protein synthesis and amino acid transporter expression in older men. *J. Nutr.* 144, 1694-1702.
- Fang, Z.H., Lee, C.H., Seo, M.K., Cho, H., Lee, J.G., Lee, B.J., Park, S.W., Kim, Y.H., 2013. Effect of treadmill exercise on the BDNF-mediated pathway in the hippocampus of stressed rats. *Neurosci. Res.* 76, 187-194.
- Glass, D.J., 2003. Signaling pathways that mediate skeletal muscle hypertrophy and atrophy. *Nat. Cell Biol.* 5, 87-90.
- Guimarães-Ferreira, L., Cholewa, J.M., Naimo, M.A., Zhi, X.I., Magagnin, D., Dal, Ponte, de Sá, R.B., Streck, E.L., da Silva, Teixeira, T., Zanchi, N.E., 2014. Synergistic effects of resistance training and protein intake: Practical aspects. *Nutrition*. pii: S0899-9007(14)00035-5.
- Jeon, J.R., Park, J.R., 1992. Functional properties of silkworm larvae protein concentrate after enzyme treatments. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* 21, 706-711.
- Kim, H., Lee, S., Choue, R., 2011. Metabolic responses to high protein diet in Korean elite bodybuilders with high-intensity resistance exercise. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 4, 8-10.
- Kim, J., Kyung, J., Kim, D., Choi, E.K., Bang, P., Park, D., Kim, Y.B., 2012. Anti-obesity effects of rapha diet® preparation in mice fed a high-fat diet. *Lab. Anim. Res.* 28, 265-271.
- Kim, T.N., Park, M.S., Ryu, J.Y., Choi, H.Y., Hong, H.C., Yoo, H.J., Kang, H.J., Song, W., Park, S.W., Baik, S.H., Newman, A.B., Choi, K.M., 2014. Impact of visceral fat on skeletal muscle mass and vice versa in a prospective cohort study: The Korean sarcopenic obesity study (KSOS). *PLoS One*. 17; 9(12), e115407.
- Kitagawa, K., Kotake, Y., Hiramatsu, Y., Liu, N., Suzuki, S., Nakamura, S., Kikuchi, A., Kitagawa, M., 2010. GSK3 regulates the expressions of human and mouse c-Myb via different mechanisms. *Cell Div.* 21, 5:27.
- Krüger, K., Gessner, D.K., Seimetz, M., Banisch, J., Ringseis, R., Eder, K., Weissmann, N., Mooren, F.C., 2013. Functional and muscular adaptations in an experimental model for isometric strength training in mice. *PLoS One*. 8(11), e79069.
- 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, Y.K., Jeon, H.R., Jeon, B.D., Ryu, S., Lee, S.C., 2008. Investigations of body composition, nutritional intake and dietary supplementation status before and after weight loss before match in bodybuilders. *Kor. J. Phy. Edu.* 47, 467-474.
- 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.
- Moc, C., Taylor, A.E., Chesini, G.P., Zambrano, C.M., Barlow, M.S., Zhang, X., Gustafsson, A.B., Purcell, N.H., 2015. Physiological activation of Akt by PHLPP1 deletion protects against pathological hypertrophy. *Cardiovasc. Res.* 105, 160-170.
- Morris, M.S., Jacquese, P.F., 2013. Total protein, animal protein and physical activity in relation to muscle mass in middle-aged and older Americans. *Br. J. Nutr.* 109(7), 1294-1303.

- Myers, T.R., Schneider, M.G., Schmale, M.S., Hazell, T.J., 2014. A whole-body aerobic resistance training circuit improves aerobic fitness and muscle strength in sedentary young females. *J. Strength Cond. Res.* 5.
- 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 capsinoids supplementation additively suppresses diet-induced obesity by increasing energy expenditure in mice. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 308, 315-323.
- Ooninx, D.G., de Boer, I.J., 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans - a life cycle assessment. *PLoS One.* 7(12), e51145.
- Petriz, B.A., Almeida, J.A., Gomes, C.P., Pereira, R.W., Murad, A.M., Franco, O.L., 2015. NanoUPLC/MS(E) proteomic analysis reveals modulation on left ventricle proteome from hypertensive rats after exercise training. *J. Proteomics.* 113, 351-365.
- Rumpold, B.A., Schlüter, O.K., 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol. Nutr. Food Res.* 57, 802-823.
- Ryu, S., 2014. Silkworm pupae powder ingestion increases fat metabolism in swim-trained rats. *J. Exerc. Nutr. Biochem.* 18, 141-149.
- Seida, A.A., El Tanbouly, N.D., Islam, W.T., Eid, H.H., El Maraghy, S.A., El Senousy, A.S., 2014. Bioassay-guided fractionation of a hepatoprotective and antioxidant extract of pea by-product. *Nat. Prod. Res.* 10, 1-6.
- Shi, L., Zhang, H., Chen, Y., Liu, Y., Lu, N., Zhao, T., Zhang, L., 2015. Chronic exercise normalizes changes of Cav 1.2 and KCa 1.1 channels in mesenteric arteries from spontaneously hypertensive rats. *Br. J. Pharmacol.* 172, 1846-1858.
- Souza, R.W., Piedade, W.P., Soares, L.C., Souza, P.A., Aguiar, A.F., Vechetti-Júnior, I.J., Campos, D.H., Fernandes, A.A., Okoshi, K., Carvalho, R.F., Cicogna, A.C., Dal-Pai-Silva, M., 2014. Aerobic exercise training prevents heart failure-induced skeletal muscle atrophy by anti-catabolic, but not anabolic actions. *PLoS One.* 9(10), e110020.
- Spillane, M., Schwarz, N., Willoughby, D.S. 2014. Heavy resistance training and peri-exercise ingestion of a multi-ingredient ergogenic nutritional supplement in males: effects on body composition, muscle performance and markers of muscle protein synthesis. *J. Sports Sci. Med.* 13, 894-903.
- Tipton, K.D. 2011. Efficacy and consequences of very-high-protein diets for athletes and exercisers. *Proc. Nutr. Soc.* 70, 205-214.
- Yang, S.J., Kim, C.Y., Lee, J.B., Kang, S.S., Lee, J.J. 2013. The Effects of the mulberry and silkworm intake on muscle increase of rats for resistance exercise. *Kor. Soc. Sericul. Sci.* 52, 123-129.
- Yeo, Y.G., An, E.Y., Ryu, S. 2013. Effect of pupa powder diet on muscle and blood amino acids composition in rat. *Kor. J. Phy. Edu.* 52, 807-818.
- Zacharewicz, E., Della, Gatta, P., Reynolds, J., Garnham, A., Crowley, T., Russell, A.P., Lamon, S. 2014. Identification of MicroRNAs linked to regulators of muscle protein synthesis and regeneration in young and old skeletal muscle. *PLoS One.* 9(12), e114009.
- Zhou, J., Han, D. 2006. Safety evaluation of protein of silkworm (*Antheraea pernyi*) pupae. *Food Chem. Toxicol.* 44, 1123-1130.