

미래 식량자원으로서 장수풍뎅이 유충의 영양학적 평가

최영진¹ · 범미기¹ · 김은경² · 이슬비³ · 황연현³ · 장영호³ · 배성문^{3,*}
¹건국대학교 바이오융합과학부 식품학전공, ²동아대학교 건강과학대학 식품영양학과,
³경상남도농업기술원 환경농업연구과

In vivo assessment of the nutritional value of *Allomyrina dichotoma* larva protein as future protein resource

Young-Jin Choi¹, Meiqi Fan¹, Eun-Kyung Kim², Seul-bi Lee³, Yeon-hyeon Hwang³,
Yeong-Ho Jang³, and Sung-Mun Bae^{3,*}

¹Department of Food Science, College of Biomedical and Health Sciences, Konkuk University

²Department of Food Science and Nutrition, College of Health Science, Dong-A University

³Environmental Agriculture Research Division, Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services

Abstract Edible insects might be used as a means to solve food insecurity caused by population growth. Many studies have investigated the biological activity of insects; however, few studies have investigated the nutritional value of insects. Therefore, the aim of this study was to investigate the nutritional value of *Allomyrina dichotoma* larva protein (ADP) as a source of protein replacement. *In vivo* studies were conducted to determine the food efficiency ratio (FER), protein efficiency ratio (PER), and true digestibility (TD) of ADP. Experiments were conducted in 3 groups of 8 animals per group using twenty-four 4-week-old SD rats. The experimental groups included the general diet group (Con), in which 20% of the total Kcal in the diet was composed of casein protein, and the ADP group (ADP), in which 20% of the total Kcal was composed of ADP protein, and a non-protein diet group (NP) to measure the protein (metabolic fecal nitrogen) excreted by metabolic processes in the body. As a result of this experiment, we found that the FERs were 0.52 and 0.41 in the casein protein intake (Con) and ADP groups, respectively, thus showing a significantly lower level in the ADP group. The PERs of ADP and Con were 2.39 and 2.63, respectively. The TD of Con and ADP were 91% and 80%, respectively.

Keywords: *Allomyrina dichotoma* larva protein, food efficiency ratio, protein efficiency ratio, true digestibility, protein

서론

기대 수명의 증가로 인해 전세계 인구는 2050년 90억명일 것으로 예상된다. 현재 농업 생산량으로는 90억명 인구를 충족시킬 수 없을뿐더러 축산물을 생산할 토지조차 현저히 부족한 실정이다(FAO, 2015). 이에 2013년 FAO는 인류의 부족한 식량을 충족 시켜줄 대체 단백질 공급원으로 식용 곤충을 언급하였다(FAO, 2015). 식용 곤충은 조 단백질 함량이 45-60%으로 매우 높으며 지방산 조성 및 각종 비타민과 마그네슘, 아연, 철분과 같은 무기질 함량 또한 매우 우수하여 기존 축산물을 대체할 미래 식량으로서 더욱 주목받고 있다(Sampat et al, 2017). 현재 국내에서 식품으로 인정된 곤충은 벼메뚜기, 누에 번데기, 백강잠, 갈색거

저리 유충, 쌍별귀뚜라미, 장수풍뎅이 유충, 흰점박이꽃무지 유충 그리고 2020년에 인정된 왕아메리카거저리를 포함하여 총 8종이다. 그 중 장수풍뎅이(*Allomyrina dichotoma*)는 딱정벌레목 장수풍뎅이과의 곤충으로 한국, 일본, 중국, 인도에 분포하고 있으며, 상수리나무 또는 졸참나무와 같은 여러 종류의 나무에 서식하는 것으로 보고 되었다. Ghosh 등은 장수풍뎅이 유충은 건물 100g 당 단백질 54.18 g, 지방 20.24 g, 섬유소 4.03 g, 회분 3.88 g을 함유하고 있으며(Ghosh 등, 2017), FAO는 장수풍뎅이 유충은 필수 아미노산 함량기준을 충족시켰다고 발표하였다(FAO, 2016). 최근 까지 기능성 식품소재로서 장수풍뎅이 유충에 관한 연구로는 항산화 효능(Suh et al, 2010) 또는 항 비만(Yoon 등, 2015, Kim et al., 2016), 간 보호 효능(Choi 등, 2006), 항균효과(Shin 등, 2019), 치매예방(Kim 등, 2014) 효과 등 탁월한 기능이 보고되었다. 반면, 식품소재로서 활용 가능한 장수풍뎅이 유충의 영양학적 기초 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 장수풍뎅이 유충의 미래 식량 자원으로서 영양학적 기능을 규명하기 위한 기초연구를 실시하였다. 장수풍뎅이 유충 첨가 식이가 카제인 단백질과 비교하여 쥐의 성장과 장기 발달에 미치는 영향을 알아보고 영양적으로 우수한 장수풍뎅이 유충의 단백질 생체이용률을 조사하였다.

*Corresponding author: Sung-Mun Bae, Environmental Agriculture Research Division, Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services, Jinju 52733, Republic of Korea
Tel :82-55-254-1333
Fax: 82-55-254-1339
E-mail: smbae@korea.kr
Received September 17, 2020; revised November 8, 2020;
accepted November 17, 2020

재료 및 방법

실험사료 배합 및 식이효율, 단백질효율, 소화율 분석

실험 동물 사료는 AIN-76을 기초로 하여 배합하였다. 실험식이 배합을 위하여 장수풍뎅이 유충과 casein의 순 단백질 함량을 kjeldahl법에 의해 분석하였다. 장수풍뎅이는 순 단백질 함량은 57.6%, casein은 85%로 나타나 이를 토대로 실험사료의 총 가소화 에너지 함량(DE, 3902 kcal/kg diet)을 동일한 수준으로 조절하며 그 중 kcal의 20%를 단백질로 맞추어 사료를 제작하였다. Casein 단백질을 첨가한 사료를 식이하는 일반식이군(Con), 장수풍뎅이 유충의 단백질을 첨가한 사료를 식이하는 장수풍뎅이 유충 단백질식이군(ADP) 그리고 체내 대사작용에 의해 배설되는 단백질(metabolic fecal nitrogen)을 측정하기 위하여 단백질 무첨가 식이군(NP, non-protein diet)을 두어 사료를 배합하였다. 사용되는 단백질 무첨가 사료는 기초사료에 첨가되는 단백질 급원만을 제외하고 kcal를 맞춰 주기 위해 sucrose, cellulose, corn oil의 함량을 높여 배합하였다. 실험에 사용된 사료의 조성표는 Table 1과 같다.

실험동물은 체중 약 100 g의 Sprague Dawley Strain 4주령 흰쥐 수컷 24마리를 사용하였다. 시판고형사료를 이용하여 1주일간 적응기를 가졌다. 대사케이지에 사육되었으며 사육실의 온도는 20-25°C, 습도 50-60%로 유지하면서 12시간(06:00-18:00) 점등을 실시하였다. 본 연구에 사용된 동물실험에 관련된 모든 실험과정과 절차는 건국대학교 동물실험윤리위원회의 사전심의와 윤리 규정을 준수하여 수행되었다(KU18090).

안정기 이후 각 그룹에 실험사료 공급하였으며, 사료섭취량과 실험동물의 체중은 각각 1주일, 3일에 1회씩 조사하였다. 실험동물의 분은 시험 4주째부터 7일간에 걸쳐서 1일 2회 수집하였으며 수집한 분은 무게측정 후 냉동보관하여 분쇄기로 분쇄한 다음 일반성분 분석을 실시하였다. 사료 섭취량에 따른 체중증가량과 실험동물의 분을 일반분석하여 아래 공식을 이용해 식이효율(food efficiency ratio, FER)과 단백질 효율(protein efficiency ratio, PER), 순 소화율(true digestibility, TD)을 구해 장수풍뎅이 유충 단백질의 소화율을 평가하였다.

$$PER = \frac{\text{Body weight gain for experimental period (g)}}{\text{Food intake for experimental period (g)}}$$

$$PER = \frac{\text{Body weight gain for experimental period (g)}}{\text{Protein intake for experimental period (g)}}$$

$$\text{True digestibility} = \frac{\text{N intake} - (\text{fecal N} - \text{metabolic fecal N})}{\text{N intake}} \times 100$$

사육기간이 끝난 후 실험동물을 ethyl ether로 마취시켜 심장내 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 3000 rpm에서 20분간 원심분리하여 혈장을 채취한 후 즉시 -80°C에 보관하였다가 GOP, GTP 분석에 사용하였다. 혈액을 채취한 후 실험동물의 간, 신장, 비장, 림프선을 채취하여 무게를 측정하였다.

단백질 분석

Spirulina, casein 및 변의 단백질 함량을 알아보기 위해 단백질 자동분석기(Kjeltec Auto1026 Analyser, Tecator Co. Ltd., Hgans, Sweden)를 이용하여 Kjeldahl법에 의해 질소 함량을 분석한 후 단백질 함량을 계산하였다.

혈액분석

Glutamic oxaloacetic transaminase (GOT), γ -glutamic pyruvic transaminase (GPT)는 Reitman Frankel 법(Reitman and Frankel, 1957)에 의해 조제된 분석 kit (ASAN GPT-Lq Reagents, 아산제약, 서울시, 동대문구)를 이용하여 혈장 내 GOT, GTP 농도를 분석하였다. 실험 방법은 제조사의 매뉴얼에 따라 실시하였다.

통계분석

실험 결과에 따른 그룹간 유의성 검정은 SPSS (Ver. 11.5, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 평균과 표준오차를 산출하여 t-test를 실시하였으며, $p < 0.05$ 일 때 유의한 것으로 판정하였다.

결과 및 고찰

장수풍뎅이 유충 단백질 첨가 식이가 쥐의 성장에 미치는 영향

1일 사료 섭취량 평균값은 casein 단백질 20% 함유된 사료를 섭취하는 Con 그룹은 12.8 g, 장수풍뎅이 유충의 단백질을 20% 함유한 사료를 섭취한 ADP 그룹은 14.9 g 섭취하여 유의적인 차이가 있었다 Fig. 1A 사료를 섭취한 지 4주차가 되었을 때 Con

Table 1 . Dietary composition in rats fed diets containing ADP

Ingredient	Con		ADP		NP	
	(g)	kcal	(g)	kcal	(g)	kcal
Casein	200	800	-	-	-	-
<i>A. dichotoma</i>	-	-	347	800	-	-
DL-Methionine	3	12	3	12	-	-
Corn Starch	150	600	150	600	200	800
Sucrose	500	2000	500	2000	631.8	2527.2
Cellulose	50	0	50	0	66.462	66.462
Corn Oil	50	450	50	450	54.6	491.4
AIN 76A Mineral Mix	35	0	35	0	37.128	0
AIN 76A Vitamin Mix	10	40	10	40	10	40
Choline Bitartrate	2	0	2	0	2	0
Total	1000	3902	1147	3902	1000	3925

Con, digestibility experimental diet group containing 20% casein protein; ADP, digestibility experimental diet group containing 20% *Allomyrina dichotoma* protein; NP, non-Protein diet group

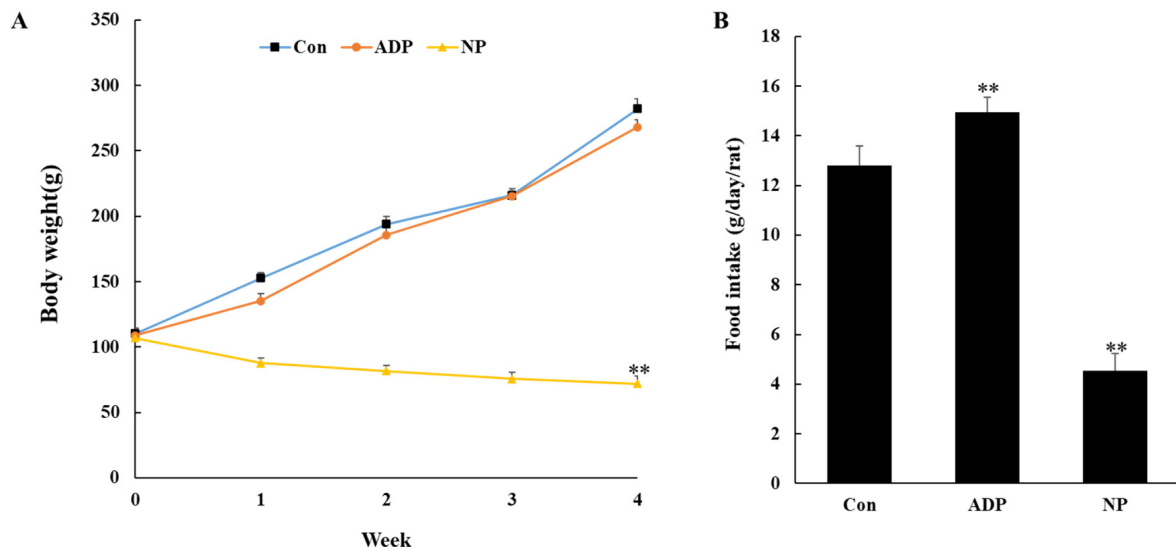


Fig. 1. Body weight, food intake supplemented with larva of *Allomyrina dichotoma* in rats. (A) Body weight. (B) food intake (g/day/rat). Con, digestibility experimental diet group containing 20% casein protein; ADP, digestibility experimental diet group containing 20% *Allomyrina dichotoma* protein; NP, non-Protein diet group. Significant differences at ** $p < 0.01$ compared with the Con group.

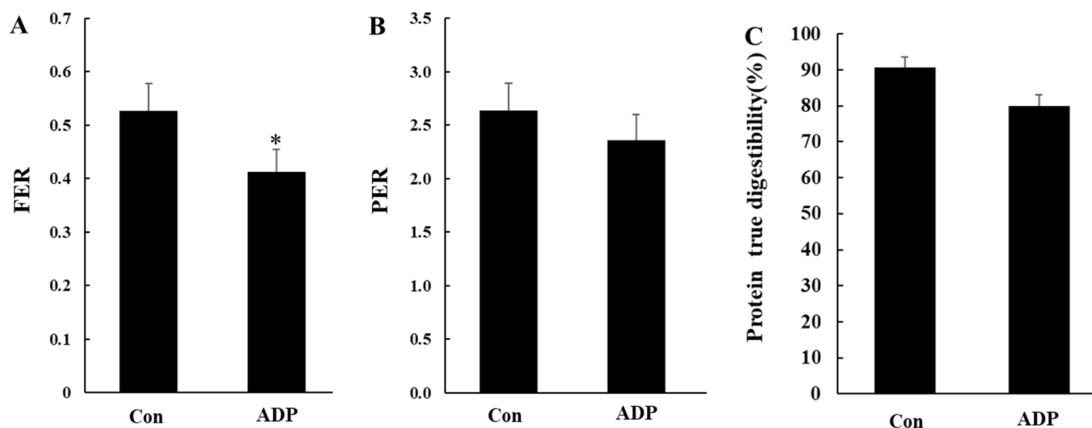


Fig. 2. Digestibility in rats feed stock diet supplemented with larva of *Allomyrina dichotoma*. (A) Food Efficiency Ratio (FER). (B) Protein Efficiency Ratio (PER). (C) True digestibility (TD). Con, digestibility experimental diet group containing 20% casein protein; ADP, digestibility experimental diet group containing 20% *Allomyrina dichotoma* protein; NP, non-Protein diet group. Significant differences at * $p < 0.05$ compared with the Con group.

그룹은 282 g, ADP 그룹은 268 g으로 ADP 섭취 그룹이 몸무게가 낮았으나 유의적인 차이는 없었다. 실험동물을 희생한 후 주요 장기인 간, 신장, 비장, 림프선의 각 장기 무게를 단위 체중당으로 환산한 값을 Fig. 2에 나타냈다. 결과적으로 Con, ADP 그룹간 장기 무게는 유의적으로 차이가 없었다. 본 실험에서 ADP 그룹의 사료 섭취량은 Con보다 유의적으로 높았으나, 성장과 장기 발달에는 큰 차이가 나지 않았다. 이전 보고된 연구결과에 따르면 장수풍뎅이 유충은 체지방 합성을 억제하여 비만에 도움을 줄 수 있다는 논문이 다수 보고된 바 있어 본 실험결과와는 장수풍뎅이 유충 단백질의 항비만 효능을 간접적으로 나타내주고 있다고 사료된다(Yoon 등, 2015, Kim 등, 2016).

장수풍뎅이 유충 단백질 첨가 식이의 소화율

장수풍뎅이의 식이 효율을 측정하기 위해서 일일 식이 섭취량 및 사료 내 단백질 섭취량을 조사하였다. PER의 경우 단순 단백질의 섭취량과 변 내 단백질 차이로 구하는 반면 TD값은 체내

대사 단백질 함량을 배제하여 측정함으로써 단백질의 소화율을 평가하는데 더 정확한 결과를 나타낸다(Church 등, 1988). 본 실험에서 소화기관 점막 상피 조직, 소화 효소, 장내 미생물 등에서 유래된 체내 대사 단백질 함량은 NP군 변의 단백질 함량으로 간주하였다. 변은 해부하기 7일전부터 metabolic cage에서 오전 9시, 오후 9시 2회에 걸쳐 변을 채취하고, 그때의 식이 섭취량은 변 채취 전날 24시간 동안의 식이 섭취량을 사용하여 계산하였다.

섭취한 사료 대비 체중 증가량을 나타내는 FER 결과는 Con에서 0.52, ADP에서 0.41로 ADP에서 유의적으로 낮은 수준을 보였다(Fig. 2A). 섭취한 단백질 대비 체중 증가량을 나타내는 PER은 ADP에서 2.39, Con에서 2.63으로 ADP는 Con에 비해 낮았으나 유의적인 차이는 없었다(Fig. 2B). TD는 Con에서 91%, ADP에서 80%로 나타났으며 통계적인 유의적 차이는 없었다(Fig. 2C). 본 실험결과 Casein 단백질의 TD값은 이전 보고된 Silva와 Seena 연구에서 각각 92.32%, 90.46%로 본 실험결과와 유사했다(Silva

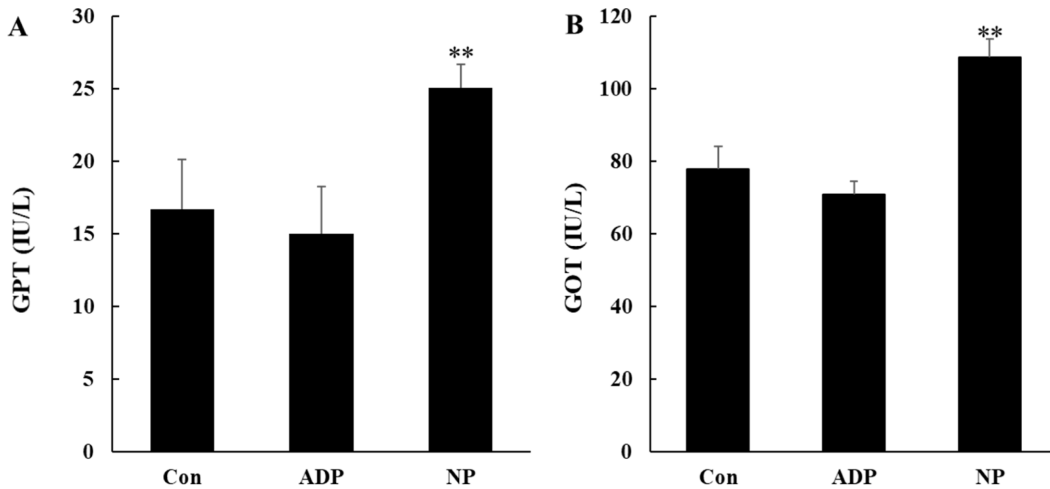


Fig. 3. Plasma GPT, GOT level in rats feed stock diet supplemented with larva of *Allomyrina dichotoma*. (A) Plasma GPT level (B) Plasma GOT level (C) True digestibility (TD). Con, digestibility experimental diet group containing 20% casein protein; ADP, digestibility experimental diet group containing 20% *Allomyrina dichotoma* protein; NP, non-Protein diet group. Significant differences at $**p < 0.01$ compared with the Con group.

et al., 2014; Seena et al., 2004). PER의 경우 식이 단백질 수준이 증가함에 따라 소화율이 증가하는 양상을 보이지만 단백질 순 소화율은 식이 섭취량에 영향을 받지 않고 일정한 수준 유지된다는 보고가 있다(Gertjan, 2000). 본 실험결과에서 ADP의 단백질 순 소화율은 콩과류의 단백질 순 소화율이 64-77%에 비해 높은 수준을 보였다(Bhatty 등, 2000). 반면 동물성 단백질인 계란과 소고기 등에 비해 낮은 수준을 보이고 있다(Gertjan, 2000). 결론적으로 장수풍뎅이 유충은 단백질 함량이 우수할 뿐 아니라 단백질 소화율 또한 두류보다 우수한 것으로 나타났다. 또한 사료 섭취량 대비 체중 증가량은 낮아 서구화 식단으로 비판해지고 있는 현대인에게 도움을 줄 수 있는 식품 소재라 판단된다. 한편, 장수풍뎅이 유충 단백질의 필수아미노산 함량은 20.120 mg/g이며 카제인의 필수아미노산 함량은 50.510 mg/g으로 장수풍뎅이 유충 단백질의 필수아미노산 함량은 카제인 대비 39.83% 수준이었다(Liu 등, 2019). 이에, 본 논문에서는 단순히 열량을 기준으로 카제인과 장수풍뎅이 단백질을 비교하여 아미노산의 구성에 따른 비교는 어려운 점이 있었으므로, 향후 장수풍뎅이 단백질의 생리활성 등의 연구 진행을 위해서는 아미노산 구성에 대한 편차 분석 및 casein 외 다른 단백질과의 비교연구가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

장수풍뎅이 유충 단백질 첨가 식이의 독성평가

4주간 장수풍뎅이 유충이 포함된 식이를 섭취한 쥐의 체내 독성 평가를 위해 혈액 독성 유무 생체표지자인 GOP, GTP 실험을 실시하였다. 간세포 기능 수치를 나타내는 GOT, GTP는 독성으로 인해 간세포가 손상 받는 경우 증가하는 양상을 보인다. 실험 결과 Con 그룹과 ADP 그룹 간 유의적인 차이는 나타나지 않았다(Fig. 3). 장수풍뎅이 유충은 4주간 섭취하여도 독성으로 인한 간 내 손상은 없는 것으로 판단된다. 또한 Fig. 4에서 독성으로 인한 무게의 변화가 고려되는 장기인 간, 비장, 신장에서도 ADP 그룹은 Con 그룹에서 차이가 없었다. 결론적으로 장수풍뎅이 단백질만 이루어진 식이를 4주간 섭취하여도 안전하며 정상적인 성장을 유지할 수 있어 동물성 단백질 대체식품으로 충분하다고 판단된다.

요 약

식용 곤충은 인구증가에 따른 식량 문제를 해결하기 위한 하나의 방법으로 제시되며 최근 곤충의 생리활성 기능과 관련한 연구가 많이 수행되고 있다. 반면 식품으로서 활용 가능한 기초연구는 부족한 실정으로 본 연구에서 장수풍뎅이 유충의 단백질 대체 자원으로서 영양학적 기능을 규명하기 위한 실험을 실시하여 장수풍뎅이 유충 단백질(ADP)의 식이 효율, 단백질 효율, 순 소화율 등을 동물실험을 통해 알아보았다. 4주령 SD-rat 24마리를 이용하여 각 그룹 당 8마리 3그룹으로 실험을 실시하였다. 실험군은 사료 내 전체 kcal 20%가 Casein 단백질로 구성된 사료를 식이 하는 일반 식이군(Con), 전체 kcal 20%가 장수풍뎅이 유충의 단백질로 구성된 사료를 식이 하는 장수풍뎅이 유충 단백질 식이군(ADP), 그리고 체내 대사작용에 의해 배설되는 단백질(metabolic fecal nitrogen)을 측정하기 위하여 단백질 무 첨가 식이군(NP, non-protein diet)으로 설정했다. 4주간 식이를 공급하여 장수풍뎅이 유충 단백질의 식이 효율(Food Efficiency Ratio, FER), 단백질 효율(Protein Efficiency Ratio, PER), 순 소화율(true digestibility, TD)을 평가했다. 본 실험 결과 식이 효율은 Con군에서 0.52, 장수풍뎅이 유충 단백질 섭취군에서 0.41로 ADP에서 유의적으로 낮은 수준을 보였다. 단백질 효율은 ADP군에서 2.39, Con군에서 2.63으로 ADP군은 Con군에 비해 낮았으나 유의적인 차이는 없었다. 순 소화율은 Con군에서 91%, ADP군에서 80%로 나타났으며 통계적인 유의적 차이는 없었다. 장수풍뎅이 유충의 순 소화율은 80%로 나타났으며 콩과류의 단백질 순 소화율 64-77%에 비해 높은 수준을 보였다.

감사의 글

본 연구는 농림식품기술기획평가원(과제번호: 316027-05-HD040)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

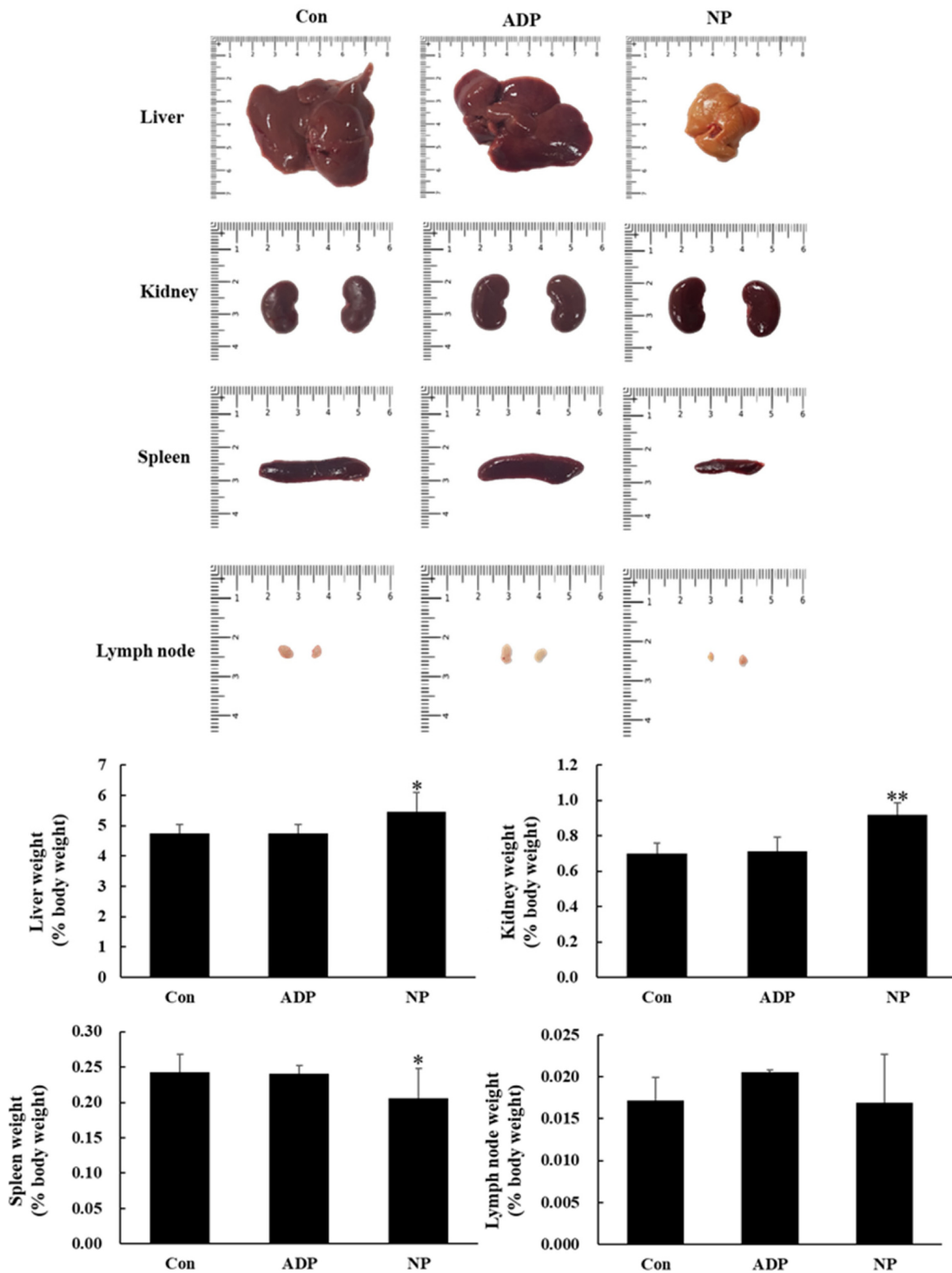


Fig. 4. Organ weights in rats feed stock diet supplemented with larva of *Allomyrina dichotoma*. Con, digestibility experimental diet group containing 20% casein protein; ADP, digestibility experimental diet group containing 20% *Allomyrina dichotoma* protein; NP, non-Protein diet group. Significant differences at * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ compared with the Con group.

References

- Bhatty N, Gilani AH, Nagra SA. Effect of cooking and supplementation on nutritional value of gram (*Cicer arietinum*). *Nutr. Res.* 20: 297-307 (2000)
- Bukkens SGF. The nutritional value of edible insects. *Ecol. Food Nutr.* 36: 287-319 (1997)
- Choi YH, Lee KY, Yang KM, Jeong YM, Seo JS. Effect of larva

extract of *Allomyrina dichotoma* on carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in mice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 35: 1349-1355 (2006)

Food and Agricultural Organization of the United Nations. Insects for Food and Feed. Available from: <http://www.fao.org/edible-insects/en>. Accessed Sep. 19, 2016

Ghosh S, Lee SM, Jung C, Meyer-Rochow VB. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *J. Asia*

- Pac. 20: 686-694 (2017)
- Gertjan S. The protein digestibility-corrected amino acid score. J. Nutr. 130: 1865S-1867S (2000)
- Kim J, Yun EY, Park SW, Goo TW, Seo M. *Allomyrina dichotoma* larvae regulate food intake and body weight in high fat diet-induced obese mice through mTOR and Mapk signaling pathways. Nutrients, 8: 100-111 (2016).
- Kim M, Youn K, Yun EY, Hwang JS, Ahn MR, Jeong WS, Jun M. Effects of solvent fractions of *Allomyrina dichotoma* larvae through the inhibition of in vitro BACE1 and β -amyloid (25-35)-induced toxicity in rat pheochromocytoma PC 12 cells. Entomol. Res. 44: 23-30 (2014)
- Liu J, Klebach M, Visser M, Hofman, Z. Amino acid availability of a dairy and vegetable protein blend compared to single casein, whey, soy, and pea proteins: A double-blind, cross-over trial. Nutrients. 11: 2613 (2019)
- Seena S, Sridhar KR. Nutrient composition and biological evaluation of an unconventional legume, *Canavalia cathartica* of mangroves. Int. J. Food Sci. 55: 615-625 (2004)
- Shin CS, Kim DY, Shin WS. Characterization of chitosan extracted from Mealworm Beetle (*Tenebrio molitor*; *Zophobas morio*) and Rhinoceros Beetle (*Allomyrina dichotoma*) and their antibacterial activities. Int. J. Biol. Macromol. 125: 72-77 (2019)
- Silva LE, Barbosa MC, Hiane PA, Braga Neto JA, Macedo ML. R. Proteins of Bacuri almonds: nutritional value and *in vivo* digestibility. J. Food Sci. Technol. 34: 55-61 (2014)
- Suh HJ, Kim SR, Lee KS, Park S, Kang SC. Antioxidant activity of various solvent extracts from *Allomyrina dichotoma* (Arthropoda: Insecta) larvae. J. Photochem. Photobiol. 99: 67-73 (2010)
- Yoon YI, Chung MY, Hwang JS, Han MS, Goo TW, Yun EY. *Allomyrina dichotoma* (Arthropoda: Insecta) larvae confer resistance to obesity in mice fed a high-fat diet. Nutrients. 7: 1978-1991 (2015)