KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 49, No. 4, pp. 444~452 (2017)
https://doi.org/10.9721/KJFST.2017.49.4.444

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

©The Korean Society of Food Science and Technology

압출성형 공정변수가 갈색거저리 애벌레(mealworm) 첨가 쌀 팽화 스낵의 이화학적 특성에 미치는 영향

조선영 · 정다혜 · 류기형*
공주대학교 식품공학과

Effect of extrusion process variable on physicochemical properties of extruded rice snack with mealworm

Sun Young Cho, Da Hye Jeong, and Gi Hyung Ryu*
Department of Food Science and Technology, Kongju National University

Abstract This study aims to investigate the physicochemical properties of the extruded rice snack with added the containing mealworm. Adding the mealworm addition enhanced protein and unsaturated fatty acid contents, which are insufficient in rice. As the extrusion process variables, the death temperatures and moisture content were set to at respective 130 and 140°C, and 20 and 25%, respectively. The expansion ratio increased as with death temperature, whereas the increased moisture content decreased. The nitrogen solubility index and protein digestibility index increased with the added mealworm content of mealworm increased. As mealworm content and death temperature, and moisture content increased, DPPH radical scavenging activity significantly increased but the rancidity decreased. As the result of this study, confirmed that the addition of mealworm to the extruded rice snack was the confirmed as the effective process to improve nutrition, and antioxidation. Also, death temperature and moisture content have an effect on softened the texture of extruded rice snack.

Keywords: extruded rice snack, mealworm, death temperature, moisture content

서 론

쌀은 세계 주요 국가에서 주식으로 이용하고 있으며 밀, 옥수수와 더불어 세계 3대 곡물자원 중의 하나이다(1). 쌀은 우리나라에서 약 95%가 주식인 밥의 형태로 소비되고 있으나 사회 전반적인 서구화 현상으로 인한 식생활 패턴의 변화로 1인당 연간 쌀 소비량은 2011년 기준 71.2 kg에서 2014년에는 65.1 kg, 2016년에는 61.9 kg으로 지속적 감소 추세를 나타내 쌀의 잉여문제가 심각한 문제점으로 대두되고 있다. 또한 가공식품 제조에 이용되는 쌀은 국내 생산량의 약 6%에 불과해 쌀 가공식품의 활성화를 통한 쌀 소비 확대가 절실하게 요구되는 실정이다(2). 밀가루에는 밀단백질이 함유되어 있는데 이로 인해 알레르기 질환인 셀리악병(celiac disease)이 발병되는 것으로 밝혀지면서(3), 알레르기의 유발을 저하시키고자 밀가루를 쌀가루로 대체한 과자류 및 빵류, 팽화 식품 등 다양한 가공식품들이 개발되고 있다(4-11). 쌀가루는 필수 아미노산, 비타민 B 복합체 등 영양학적인 측면에서 장점을 갖고 있고 소화가 잘 되며 알레르기 유발율이 현저히 낮다(12,13). 또한 쌀가루는 그물구조를 형성하는 글루텐을 함유하고 있지 않으며 다른 곡류에 비해 전분입자의 크기가 작아 여러 곡류 가루 중 gluten-free 과자류 제조를 위한 밀가루를 대체할 수 있는 좋은 스낵 소재로 사용되고 있다(14). 하지만, 구성성분 중 80%가 녹말으로 이루어져 낮은 단백질 함량과 필수 아미노산의 일종인 라이신, 트레오닌 등이 부족해 영양 강화의 필요성이 요구되어 왔다(15).

식용곤충은 소와, 돼지 등과 같은 육류와 비교하여 손색이 없는 고품질의 단백질, 지방, 비타민, 각종 무기질과 쌀에 부족한 라이신과 메타오닌과 같은 필수 아미노산 성분을 함유하고 있다. 또한 향미 면에서도 소비자들에게 좋은 평가를 받고 있으며 환경오염 없이 낮은 비용으로 지속적 생산이 가능해 가격대비 우수한 식품 소재이다(16). 특히 '고소애'라고도 불리는 갈색거저리(mealworm)는 고단백이면서도 다른 식용 곤충에 비하여 탄수화물 함량이 낮고 불포화 지방산인 오메가 3(omega-3 fatty acid)와 오메가 6(omega-6 fatty acid)가 생선만큼 많이 함유되어 있어 상품가치가 크다(17). Pansawat 등(18)은 압출 성형 쌀가루에 생선, 오일과 같은 동물성 단백질과 지방을 함께 첨가하였을 때 압출성형 스낵으로써의 텍스처와 영양적인 측면이 향상되었다고 보고하였다.

또한, 쌀 전분이나 쌀가루를 적절한 조건으로 압출 성형하면 분자 구조의 변화와 물리적 작용에 의해 새로운 성질을 가진 쌀 스낵의 제조가 가능하기 때문에 새로운 소재 개발을 위한 방법으로 용이하며 다른 열처리 가공공정과 비교하여 경제적이며 효율적이다(8,19). 현재는 압출성형 쌀에 생선을 첨가한 스낵(18), 오징어 첨가 곡류 스낵(20), 쌀에 콩단백과 쥐치어를 첨가한 압

*Corresponding author: Gi Hyung Ryu, Department of Food Science and Technology, Kongju National University, Yesan, Chungnam 32439, Korea
Tel: +82-41-330-1484
Fax: +82-41-330-1489
E-mail: ghryu@kongju.ac.kr
Received March 22, 2017; revised April 19, 2017;
accepted April 28, 2017

출성형(21)과 어류와 대두 단백질 첨가에 대한 연구가 다수 진행되어 있으나 갈색거저리 첨가에 대한 연구는 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 조직감과 영양 면에서 우수한 팽화스낵 제조를 위하여 갈색거저리의 첨가량과 사출구 온도, 수분함량에 따른 압출성형 쌀 스낵의 이화학적 특성에 대하여 살펴보았다.

재료 및 방법

재료

본 실험에서 사용한 쌀가루는 신통정미소(Asan, Korea)에서 정미한 쌀을 사용하였으며 갈색거저리(M.G Natural, Damyang, Korea)는 건조된 것을 쌀분쇄 돌롤러기(Shinpoong Eng. Ltd., Seoul, Korea)로 분쇄한 가루를 사용하였다.

분석시약은 닌하이드린(ninhydrin, Duksan Chemical Co., Ansan, Korea), 에틸렌글리콜(ethylene glycol, Daejung Chemical Co., Goryeong, Korea), 아세틱에씨드(acetic acid, Daejung Chemical Co.), 소듐아세테이트(sodium acetate, Duksan Chemical Co.), 염화주석(II) (stannous chloride II, Kokusan Chemical Co., Kitasaiwai Nishi-ku, Japan)를 구입하여 사용하였다.

일반 성분

압출성형 원료의 일반 성분은 AACC 방법(22)의 측정 방법에 따라서 수분함량은 105°C 상압건조법, 조지방은 속실렛(Soxhlet) 추출법, 조단백은 Ninhydrin법(23)으로 정량하였다. 갈색거저리의 수분함량은 9.69±0.25%, 조단백은 44.88±0.31%, 조지방은 34.05±0.15%였으며 쌀가루의 수분함량은 8.12±0.08%, 조단백은 7.54±0.24%, 조지방은 0.45±0.08%의 값을 나타내었다.

압출성형 공정

본 실험에 사용된 압출성형기는 실험용 동방향 쌍축압출성형기(THK31T, Incheon Machinary Co. Incheon, Korea)로 스크루 직경은 30.0 mm, 길이와 직경의 비(L/D ratio)는 23:1이었고, 사출구는 원형으로 직경이 3 mm인 것을 사용하였으며, 스크류의 배열은 Fig. 1과 같다. 완전 맞물림 형 쌍축압출성형기로서 pitch 비율이 큰 스크루는 feeding section으로 스크루 앞부분이 원료로 차도록 보장하는 기능을 하고, pitch 비율이 작은 스크루는 압축부분(compression section)으로 스크루 사입 부위에서 들어오는 원료를 압축, 전진시키는 부위이다. 수분함량은 사전에 측정된 원료의 수분함량을 기준으로 하여 부가할 수분의 양을 원료 사입구에 펌프로 직접 물을 주입하여 조절하였다. 용융물의 온도는 전열기와 냉각수를 사용하여 조절하였으며 원료 사입량은 100 g/min, 스크루 회전 속도 250 rpm으로 고정하였다. 압출성형물의 원료는 쌀가루 100%, 쌀가루 90%에 갈색거저리 10%, 쌀가루 80%에 갈색 거저리 20%를 각각, 실온에서 수작업으로 혼합하였다. 압출성형 공정 변수는 갈색거저리 첨가 압출성형물의 사출구 온도와 수분 함량에 따른 품질 특성을 알아보기 위해 사출구 온도를 130°C와 140°C, 수분 함량을 20%와 30%로 조절하였다. 제조한 압출성형 시료들은 50°C에서 8시간 건조하여 물리적 특성을 측정하였고, 가정용 분쇄기(FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 14-30 mesh의 분말을 시료로 사용하여 화학적 특성을 측정하였다.

직경 팽화율

압출성형물의 직경 팽화율은 압출 성형물의 직경을 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co., Tokyo, Japan)로 10회 측정하여 사출구의 직경과 압출 성형물의 직경 비의 평균값으로 산출하였다(24).

비길이

압출성형물의 비길이(specific length)는 일정한 길이로 절단한 압출성형물의 길이와 무게의 비로 10회 측정한 후 식 (1)을 이용하여 평균값과 오차를 구하였다(25). 압출성형물의 길이는 캘리퍼스(CD-15C, Mitutoyo Co.)를 이용하였고, 무게는 전자저울(MW-II, CAS Co.)을 사용하였다.

$$\text{Specific length (cm/g)} = \frac{\text{length of extrudate (cm)}}{\text{weight of extrudate (g)}} \quad (1)$$

조각밀도

압출성형물의 조각밀도는 차조를 이용한 종자 치환법으로 총 10회 반복하여 식 (2)를 이용하여 계산하였다(26).

$$P_F = \frac{M}{M+M_0-M_1} P \quad (2)$$

P_F: piece density of extrudate
P: bulk density of waxy millet
M: mass of waxy millet in 125 mL cup
M_0: mass of extrudate
M_1: mass of extrudate and waxy millet in 125 mL cup

겉보기 탄성계수와 파괴세기

압출성형물의 겉보기 탄성 계수와 파괴세기은 레오미터(Sun Rheo-meter, Compac-100II, Sun Sci. Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 10회 측정 후 평균값을 산출하였다. 측정조건은 probe angle type (65°), 최대응력 10 kg, 지지대 이동 속도 60 mm/min, 지지대 간의 거리 3 cm였다. 측정치를 Ryu와 Ng의 방법(27)을 이용하여 겉보기 탄성계수(E_{app})와 파괴세기(F_{bs})를 각각 식 (3)과 (4)로 계산하였다.

$$E_{app} = (\delta F/\delta l)(64d^3/48\pi D^4) \quad (3)$$

E_{app}: apparent elastic modulus
$\delta F/\delta l$: slope of the linear section of the force-distance curve
D: diameter of extrudate
d: distance between two supports

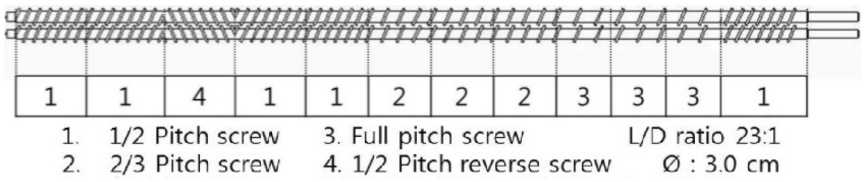

Fig. 1. Screw configuration used in this experiment (Model THK 31T).

$$F_{bs}=F_m/S \quad (4)$$

F_{bs}: breaking strength (N/m^2)
F_m: maximum stress of extrudate
S: cross-sectional area of extrudate

색도

압출성형물을 분쇄하여 14~30 mesh 사이의 시료를 색차계(Chroma Meter CR-300, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b) 값을 3회 측정한 평균값으로 나타내고 식 (4)로 색 변화도(color difference, ΔE) 값을 나타내었다. 표준 백색판의 값은 L=97.80, a=0.33, b=2.01이었다.

$$\Delta E = \sqrt{(L+L_0)^2+(a+a_0)^2+(b+b_0)^2} \quad (5)$$

L: lightness
a: redness
b: yellowness
L_0: raw material lightness
a_0: raw material redness
b_0: raw material yellowness

수분용해지수와 수분흡착지수

압출성형물의 수용성 성질을 분석하기 위하여 AACC 방법(28)을 응용하여 건량 기준으로 시료 1.5 g에 증류수 30 mL를 가하여 30°C의 항온 수조(BF-45SB, Biofree Co., Seoul, Korea)에서 30분간 교반한 후 원심분리기(H-1000-3, Hanil Science Industrial Co., Gangneung, Korea)에서 2000×*g*으로 20분간 원심분리 하였다. 상층액은 알루미늄 접시에 부은 후 침전물의 무게를 측정하고 알루미늄 접시를 105°C의 열풍건조기(HB-502MP, Han Beak Co., Bucheon, Korea)에서 2시간 동안 건조하여 상층액의 고형분 함량을 측정하여 수분용해지수(water soluble index, WSI)와 수분흡착지수(water adsorption index, WAI)를 각각 식(6)와 식(7)으로 계산하였다.

$$\text{WSI (\%)} = \frac{\text{dry solid wt. recovered by evaporating the supernatant}}{\text{dry sample wt.}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{WAI (g/g)} = \frac{\text{hydrated sample wt.}-\text{dry sample wt.}}{\text{dry sample wt.}} \quad (7)$$

수용성 질소지수

압출성형물의 수용성 질소 지수(nitrogen solubility index)의 실험은 Capritar 등(29)의 방법을 응용하여 사용하였다. 시료 1.5 g을 0.5%의 수산화포타슘(KOH) 용액 75 mL에 넣고 30°C의 진탕기(Shaker, SI-300R, Jeiotech, Seoul, Korea)에 120 rpm으로 교반하였다. 그 중 50 mL를 취하여 2000×*g*에서 20분 동안 원심분리 한 후 0.5 mL의 상층액을 최종적으로 취하여 Ninhydrin 방법(23)으로 수용성 질소함량(Soluble nitrogen content)을 측정하였다. 총 질소 함량 값은 시료 1.5 g을 6 N의 염산 100°C에 24시간 동안 완전히 가수분해하여 75 mL의 증류수에 녹인 후 상층액 0.5 mL를 취하여 Ninhydrin 방법(23)으로 측정하여 다음 식 (8)에 대입하였다.

$$\text{NSI (\%)} = \frac{\text{soluble nitrogen content}}{\text{total nitrogen content in sample}} \times 100 \quad (8)$$

단백질 소화율

압출성형물의 단백질 소화율 실험은 Mertz 등(30)의 방법을 사용하였다. 총 단백질 함량은 시료 0.2 g을 취하여 Ninhydrin 방법(23)으로 측정하였다. 소화되지 않은 단백질의 값은 시료 0.2 g을 0.084 N의 염산을 가한 펩신(pepsin) 용액에 넣고 37°C의 온도에서 150 rpm으로 교반한 후 2 M의 NaOH 용액 2 mL을 가하여 2000×*g*으로 원심 분리하였다. 상층액을 제거 후 잔사에 0.1 M의 인산포타슘 완충용액(potassium phosphate buffer)를 넣어 원심분리 하는 작업을 두 번 반복하였고 남은 잔사를 30°C의 드라이오븐에 넣고 완전히 건조 시킨 후 잔사의 질소 함량을 Ninhydrin 방법(23)으로 측정하여 다음 식 (9)에 대입하였다.

$$\text{Protein digestibility (\%)} = \frac{\text{total protein}-\text{undigested protein}}{\text{total protein}} \times 100 \quad (9)$$

DPPH 라디칼 소거 활성

압출성형물의 DPPH 라디칼 소거 활성 실험은 Brand-Williams 등(31)의 방법을 사용하였다. 시료 1 g을 80% methanol (메탄올) 10 mL에 넣고 2시간 동안 추출한 후 2000×*g*으로 30분 동안 원심 분리하였다. 그 중 상층액 0.1 mL를 취하여 methanol에 녹인 DPPH 시약 3.9 mL에 넣고 실온의 암실에서 30분 동안 반응시킨 후 분광광도계 515 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 공시험도 역시 같은 방법으로 시행하고 산출된 흡광도를 이용하여 다음 식 (10)에 대입하였다.

$$\text{Radical scavenging activity (\%)} = (A_0-A_i)/A_0 \times 100 \quad (10)$$

A_0: absorbance of the blank
A_i: absorbance of the sample

산패도

압출성형물의 산패도 측정을 위한 TBA가는 Chang 등(32)의 방법을 변형하여 사용하였다. 5 g의 시료를 시험관에 취하여 에탄올에 녹인 3% BHT용액 0.3 mL 와 pH 2.0 의 과염소산용액 45 mL를 가한 후에 2,000×*g*으로 30분 동안 원심분리하여 상층액을 종이여과 하였다. 걸러진 여액 중 5 mL를 유리 시험관에 옮긴 후 빙초산(glacial acetic acid) 99.5%에 2-thiobarbituric acid 0.69%를 용해시킨 TBA 시약 5 mL를 각각의 시험관에 가하였다. 이를 100°C에서 35분 동안 중탕 가열하고 침지 냉각한 후에 분광광도계 531 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 공시험도 같은 방법으로 시행하고 산출된 흡광도를 이용하여 다음 식(11)에 대입하여 시료 kg당 malonaldehyde의 양을 mg으로 표시하였다.

$$\text{TBARS (mg/kg)} = (a-b)\times 3\times 100/s \quad (11)$$

a: absorbance of the sample
b: absorbance of the blank
s: weight of sample (g)

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS (version 23.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시한 후 유의적 차이가 있는 항목에 대해서 $p<0.05$수준에서 그 결과를 던컨의 다중점검(Duncan's multiple range test)로 검정하였다.

결과 및 고찰

팽화 특성

압출성형물의 팽화 특성인 직경팽화율, 비길이, 조각밀도는 압출성형물의 조직감에 영향을 미치는 중요한 인자로 제품의 품질 및 소비자의 기호에 영향을 미친다(33).

쌀 압출성형물의 직경팽화율, 비길이, 조각밀도는 Table 1에 나타내었다. 직경팽화율은 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 20%인 시료가 11.79±0.05로 가장 높은 값을 나타내었고 갈색 거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 25%인 시료가 6.63±0.02로 가장 낮은 값을 나타내었다. 갈색거저리의 첨가 함량이 높을수록 직경팽화율은 감소하였으나 비길이에서는 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 25%인 시료가 71.37±0.09 cm/g로 가장 높은 값을 나타내었으며, 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 20%인 시료가 25.54±0.05 cm/g으로 가장 낮은 값을 나타내어 갈색거저리 첨가 함량이 높을수록 값이 유의적으로 증가하였다.

밀도는 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 20%인 시료가 0.35±0.21 g/cm^{3}로 가장 낮은 값을 나타내었고 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 25%인 시료가 0.68±0.09 g/cm^{3}로 가장 높은 값을 나타내어 갈색거저리 첨가 함량이 높을수록 값이 증가한 비길이와 같은 패턴을 보였다.

Pansawat 등(18)의 연구결과에서는 압출성형 쌀에 생선과 오일을 첨가하였을 때 팽화율이 증가하여 스낵으로써의 조직감이 개선되었다고 보고하였으나, 조단백 수치가 생선보다 높은 갈색거저리를 첨가한 본 연구에서는 반대의 경향을 나타내었다. 이는 불용성 탄수화물인 쌀과 갈색거저리에 함유된 고함량 단백질이 고온 압출을 통해 용융되면서 망목구조가 형성되어 조직의 조밀도가 증가하고 팽화는 감소된 것으로 생각된다(34).

온도와 수분함량에 따른 팽화 특성의 변화는 사출구 온도가 130°C에서 140°C로 증가하고 수분함량이 25%에서 20%로 감소할수록 직경팽화율은 증가하고 비길이와 조각밀도는 감소하는 경향을 보였다. 이는 온도가 낮고 수분함량이 높을수록 직경팽화보다 길이 팽화가 일어나 압출성형물의 밀도와 비길이가 증가하고, 온도가 높고 수분함량이 낮을수록 쉽게 팽화가 일어나기 때문에 길이 팽화보다 직경팽화가 이루어진 것으로 생각된다(25). 또한, 쌀을 낮은 수분함량에서 압출성형 하였을 때 조직의 기공이 커지고 형성된 기공의 수축도 감소되지만, 수분함량을 증가시키면 압출성형물의 기공이 수분 증발로 인해 쉽게 수축되어 밀도가 증가한다는 Hagenimana 등(35)의 연구결과와도 일치하였다.

파괴세기와 겉보기 탄성계수

파괴세기와 겉보기 탄성계수는 팽화율, 밀도, 기공 구조에 영향을 받으며 압출성형물의 품질을 결정하는 중요한 인자다(33). 압출성형 쌀가루의 겉보기 탄성계수와 파괴세기의 값은 Table 1과 같다.

파괴세기와 겉보기 탄성계수는 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 25 %인 시료가 각각 80.35±0.19 N/cm^2, 와 9.89×10^3 N/cm^{2}로 가장 높았는데 이는 전분함량이 높은 쌀가루의 압출성형 중 나타나는 호화된 전분 조직은 냉각 후 점탄성이 낮고 쉽게 노화가 진행되어 단단해지기 때문이라고 생각된다(36).

파괴세기와 겉보기 탄성계수가 가장 낮은 것은 갈색거저리 첨가 함량 10%에 사출구 온도 140°C, 수분함량이 25%인 시료로 각각, 53.39±0.12, 5.05×10^3 N/cm^{2}값을 나타내었다. 팽화 특성에서는 갈색거저리의 첨가함량이 증가할수록 직경팽화율은 감소하고 비길이와 밀도는 증가하는 일정한 패턴을 보였으나, 파괴세기와 탄성계수에서는 갈색거저리 첨가함량이 10% 일 때 값이 유의적으로 감소하였다. 이는 갈색거저리에 함유된 지방질이 전분의 아밀로오스나 아밀로펙틴의 긴 사슬과 결합함으로써 전분의 재결정화를 막아 노화를 억제하여 압출성형물의 조직이 유연화된 것으로 생각된다(37,38).

갈색거저리 첨가 함량이 20%일 때 파괴세기와 겉보기 탄성계수의 값이 다소 증가한 것은 쌀 압출성형물의 단백질 농도를 증가시켰을 때 압출성형물의 조직이 단단하고 치밀해졌다는 Saio(39)의 연구 결과와 일치하여, 갈색거저리의 첨가함량이 압출성형 쌀 스낵의 견고성과 탄성에 영향을 주는 것으로 생각된다.

또한 사출구 온도가 130°C에서 140°C로 증가하고, 수분함량이 25%에서 20%로 감소할수록 파괴세기와 겉보기 탄성 계수가 감소한 것은 온도가 높고 수분함량이 낮을수록 팽화가 크게 일어나 압출성형물의 기공 구조가 커져 입자 층의 조밀도가 감소하

Table 1. Expansion properties and breaking strength, apparent elastic modulus of extruded rice snack with mealworm

Mealworm content (%)	Temperature (°C)	Moisture content (%)	Expansion ratio	Specific length (cm/g)	Density (g/cm^3)	Breaking strength (N/cm^2)	Modulus of elasting (N/cm^2)
0	130	20	10.37±0.12$^{1)b2)}$	25.54±0.05^{l}	0.46±0.05^{h}	73.08±0.05^{b}	8.45E+03^{b}
		25	7.62±0.15^{h}	28.25±0.12^{j}	0.55±0.09^{f}	80.35±0.19^{a}	9.89E+03^{a}
	140	20	11.79±0.05^{a}	25.90±0.09^{k}	0.35±0.21^{j}	70.25±0.09^{d}	6.72E+03^{f}
		25	8.83±0.15^{e}	31.56±0.09^{i}	0.40±0.05^{i}	72.63±0.02^{c}	7.98E+03^{c}
10	130	20	9.74±0.09^{d}	45.52±0.11^{h}	0.59±0.13^{e}	56.25±1.11^{i}	6.32E+03^{i}
		25	7.73±0.11^{g}	56.55±0.05^{e}	0.61±0.02^{cd}	63.19±0.02^{h}	6.59E+03^{fg}
	140	20	9.87±0.05^{c}	48.64±0.02^{g}	0.51±0.09^{g}	51.24±0.25^{k}	5.89E+03^{j}
		25	8.04±0.07^{f}	55.65±0.05^{f}	0.54±0.12^{f}	53.39±0.12^{j}	5.05E+03^{k}
20	130	20	6.87±0.11^{j}	62.95±0.08^{c}	0.64±0.09^{b}	64.35±0.09^{g}	7.01E+03^{d}
		25	6.63±0.02^{l}	71.37±0.09^{a}	0.68±0.09^{a}	70.24±0.32^{e}	8.51E+03^{b}
	140	20	7.28±0.06^{i}	56.61±0.15^{d}	0.61±0.05^{d}	65.21±0.25^{f}	6.38E+03^{i}
		25	6.64±0.12^{k}	67.35±0.02^{b}	0.62±0.03^{c}	68.32±0.16^{e}	6.54E+03^{h}

1)Mean±SD
2)Means with different letters within a column are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

Table 2. Change in color value of extruded rice snack with mealworm

Mealworm content (%)	Temperature (°C)	Moisture content (%)	L	a	b	ΔE
0	130	20	79.45±0.19[1)d2)]	-0.93±0.05[k]	11.93±0.09[i]	12.10±0.07[k]
		25	82.21±0.09[c]	-1.34±0.07[i]	10.67±0.12[l]	11.62±0.09[l]
	140	20	84.00±0.05[b]	-0.80±0.09[j]	11.06±0.15[j]	16.46±0.05[i]
		25	85.54±0.06[a]	-1.23±0.05[l]	10.86±0.02[k]	13.51±0.05[j]
10	130	20	72.72±0.03[h]	1.87±0.12[g]	16.17±0.09[g]	24.43±0.11[h]
		25	73.63±0.15[g]	1.53±0.09[h]	16.02±0.05[h]	25.67±0.12[g]
	140	20	73.91±0.09[f]	2.15±0.04[e]	17.27±0.02[e]	26.04±0.04[f]
		25	74.82±0.12[e]	1.98±0.09[f]	16.95±0.03[f]	27.59±0.03[c]
20	130	20	68.43±0.06[l]	3.57±0.12[c]	19.90±0.11[c]	27.28±0.09[d]
		25	69.58±0.09[j]	3.02±0.05[d]	18.11±0.05[d]	26.89±0.11[e]
	140	20	68.91±0.12[k]	4.01±0.09[a]	21.77±0.03[a]	29.65±0.05[a]
		25	70.92±0.13[i]	3.97±0.12[b]	20.15±0.08[b]	28.84±0.06[b]

L: lightness, a: redness, b: yellowness.
[1)]Mean±SD
[2)]Means with different letters within a column are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

였기 때문으로 생각된다(40).

색도

쌀 압출성형물의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b) 값은 Table 2와 같다. 명도는 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 25%인 시료의 값이 85.54±0.06으로 가장 높았고 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 20%인 시료가 68.43±0.06으로 가장 낮았다. 적색도와 황색도가 가장 높은 것은 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 20%인 시료로 갈색거저리 첨가 함량이 증가할수록 명도는 감소하고 적색도와 황색도는 증가하는 경향을 보였다. 이는 갈색거저리 원료가 지닌 고유의 황색과 함유된 단백질 성분이 압출성형을 통해 갈변화를 촉진하여 명도는 감소하고 적색도와 황색도는 증가한 것으로 생각되며, Youssef와 Barbut(41)의 연구 결과에서 단백질 함량이 증가할수록 명도는 어두워지며, 적색도 값은 증가한다는 보고와도 일치하였다.

또한, 수분함량이 20%에서 25%로 증가할수록 명도가 증가하고 적색도와 황색도는 감소하는 경향을 보였는데 이는 압출성형 중 수분 함량 증가로 인해 온도가 감소하고 수분이 수증기로 되어 사출구에서 빠져 나올 때 갈변화가 덜 일어났기 때문인 것으로 생각된다(42). 색도차는 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 20%인 시료가 29.65±0.05로 가장 높은 값을 나타내었고 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 25%인 시료가 11.62±0.09로 가장 낮은 값을 나타내었다. 갈색거저리 첨가 함량과 사출구 온도가 증가할수록 색도차가 컸는데 이는 배럴 온도가 증가할수록 갈변 반응도 증가하여 색도 변화가 크다는 Altan 등(43)의 보고와 일치하는 것이며, 단백질 함량이 높은 갈색거저리 첨가 함량이 증가할수록 온도 상승에 의한 메일라드 반응도 증가하는 것으로 생각된다.

수분용해지수와 수분흡착지수

쌀, 보리, 옥수수 등에 포함된 전분이 압출성형 공정을 거치면서 부분적인 호화와 스크류의 회전을 통해 배럴 내부물질에 가해지는 전단력에 의한 전분사슬의 절단과 함께 아밀로펙틴의 분획화를 통해 아밀로오스 함량이 증가하여 수분용해지수와 수분흡착지수가 증가한다고 하였다(44). 또한, 수분용해지수와 수분흡착지수는 호화도와 팽화율에 영향을 받으며 팽화스낵에서 수치가 높을수록 좋은 품질로 인정된다(45).

쌀 압출성형물의 수분용해지수와 수분흡착지수는 Table 3에 나타내었다. 수분용해지수는 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 20%인 시료 값이 24.32±0.09%로 가장 높았고 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 20%인 시료의 값이 13.78±0.11%로 갈색거저리 첨가 함량이 높을수록 낮은 값을 나타내었다. 이는 Kim 등(46)의 연구 결과에서 지방과 단백질을 제거하였을 때 쌀의 점성과 용해도가 상승하였다고 보고된 바 갈색거저리에 함유되어 있는 불용성 지방 성분과 단백질이 쌀 압출성형물의 수분용해도를 낮추었기 때문인 것으로 생각된다. 또한 사출구 온도가 140°C에서 130°C로 감소하고, 수분함량이 20%에서 25%로 증가할수록 수분용해지수는 감소하는 경향을 보였는데 이는 수분함량을 증가시키고 배럴온도를 조절하였을 때 압출성형물의 수분용해지수가 감소하였다는 Jin 등(47)의 보고와 일치하는 것이다.

수분흡착지수는 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 25%의 시료가 8.50±0.15 g/g로 가장 높은 값을 나타내었고 가장 낮은 값을 나타낸 것은 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 25%에서 5.74±0.11 g/g으로 갈색거저리의 첨가 함량이 높을수록 값이 다소 증가하는 경향을 보였다. Lee 등(48)은 전분 압출성형물의 수분흡착지수가 증가하는 요인은 전분 용융물이 기계적 전단력에 취약해져 수분을 흡수하기 쉬운 기공이 많은 조직으로 변화하기 때문이라고 보고한 바 있으나 본 연구에서는 갈색거저리 첨가 함량이 높을수록 팽화율이 감소하였기에 기공조직의 영향보다는 갈색거저리에 함유되어 있는 지방성분이 전분의 재결정화를 막아 쌀 압출성형물의 견고성을 감소시켜 수분 흡수성이 증가한 것으로 생각된다(37,38).

수용성 질소지수 및 단백질 소화율

우리 몸을 구성하고 있는 단백질은 아미노산 질소 화합물로 질소는 우리 몸의 면역 체계와 호르몬 조절 등을 관장하는 필수 구성 성분이며 순수한 단백질뿐만이 아니라 핵산 퓨린, 피리미딘 등에도 포함되어 있다(49). 그 중 강한 수용성의 성질을 가지고

Table 3. Water solubility index, water absorption index, nitrogen solubility index, protein digestibility of extruded rice snack with mealworm

Mealworm content (%)	Temperature (°C)	Moisture content (%)	Water solubility index (%)	Water absorption index (g/g)	Nitrogen solubility index (%)	Protein digestibility (%)
0	130	20	21.97±0.48[1)b2)]	5.93±0.09[j]	18.01±0.72[i]	69.98±0.08[i]
		25	14.68±0.15[f]	5.74±0.11[k]	19.31±0.32[h]	68.34±0.15[j]
	140	20	24.32±0.09[a]	7.45±0.19[f]	12.23±0.19[j]	63.25±0.21[k]
		25	16.36±0.15[e]	6.10±0.25[i]	12.07±0.25[j]	63.07±0.13[l]
10	130	20	18.85±0.11[d]	7.80±0.31[c]	35.02±0.15[e]	82.03±0.11[e]
		25	11.70±0.53[j]	7.46±0.09[f]	34.87±0.03[e]	81.94±0.21[f]
	140	20	19.05±0.45[c]	6.97±0.05[h]	29.31±0.18[g]	79.07±0.09[g]
		25	12.90±0.18[h]	7.51±0.12[e]	31.52±0.14[f]	77.31±0.12[h]
20	130	20	12.86±0.05[i]	7.53±0.19[d]	56.27±0.15[a]	88.63±0.09[b]
		25	7.82±0.09[l]	8.50±0.15[a]	54.35±0.32[b]	91.34±0.15[a]
	140	20	13.78±0.11[g]	7.31±0.35[g]	49.87±0.11[d]	87.06±0.09[d]
		25	8.09±0.19[k]	8.26±0.25[b]	52.01±0.21[c]	87.35±0.25[c]

[1)]Mean±SD
[2)]Means with different letters within a column are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple range test.

있는 아미노산을 선택적으로 검출 할 수 있는 방법으로 수용성 질소지수의 측정이 널리 사용된다.

수용성 질소지수가 가장 높은 것은 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 20%인 시료로 56.27±0.15%의 값을 나타내었고, 가장 낮은 값을 나타낸 것은 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 25%인 시료가 12.07±0.25%로 갈색거저리의 첨가 함량이 높을수록 값은 상승하는 경향을 보였다(Table 3). 이는 쌀 함량이 감소하고 단백질 첨가물이 증가하였을 때 수용성질소지수의 값이 증가하였다는 Han 등(15)의 보고와도 일치하는 것이다. 수용성질소지수와 수분함량과의 상관관계는 없었으나 사출구 온도가 120°C에서 130°C로 증가할수록 값이 감소하는 경향을 보였다. 이는 압출성형물 속 단백질이 조직화 되는 과정에서 열에 의해 변성되었으며 온도가 상승할수록 변성정도도 증가하였기 때문이라고 생각된다(34).

단백질 소화율은 인체에서 배설되지 않고 흡수되는 단백질 양을 측정하는 실험으로 영양연구의 기초자료 및 원료의 영양학적 가치를 결정하는데 매우 필수적인 자료가 된다(50). 현재 식용곤충이 인체에 미치는 영양적인 유용함과 소화율에 관한 연구는 없으나 대두나 생선과 같은 전형적인 단백질 원료 대신 식용곤충을 식단에 포함했을 때 유의적 차이가 없었다는 결과가 있었다(51).

단백질 소화율은 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 25%인 시료가 91.34±0.15%로 가장 높았고, 가장 값이 낮은 시료는 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 140°C, 25%인 시료가 63.07±0.13%로 갈색거저리 첨가 함량이 높고 사출구 온도가 낮을수록 다소 높은 값을 나타내었다. 이는 갈색거저리가 쌀보다 높은 단백질 소화율 수치를 지니고 있으며 낮은 온도에서 더 높은 수치를 보인 수용성 질소의 패턴과 거의 일치하여 상승한 것으로 보아 수용성 질소는 인체에 거의 흡수되는 아미노산이며, 갈색거저리의 첨가가 쌀 압출성형물의 소화율을 향상시킨 것으로 생각된다(Table 3).

DPPH 라디칼 소거 활성

DPPH 라디칼 소거 활성은 플라보노이드류 및 기타 페놀성 물질에 대한 항산화 활성의 지표이며, 천연물의 수용성 또는 유기용매 추출물의 항산화 활성에 널리 사용되는 측정법이다(52,53).

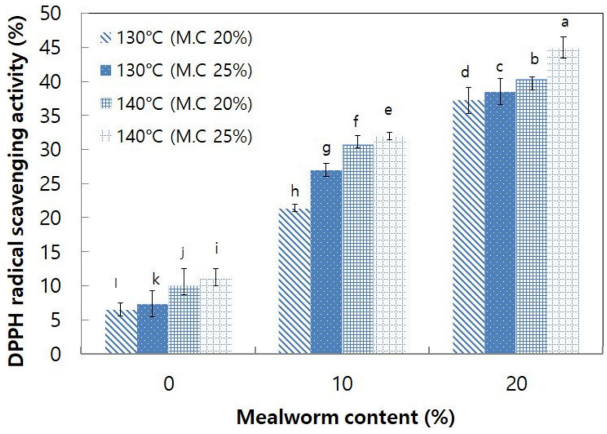

Fig. 2. DPPH radical scavenging activity of extruded rice snack with mealworm. M.C: Moisture Content [a-l]Values with different letters within the same row differ significantly (p<0.05).

압출성형 쌀 스낵과 갈색거저리 첨가 쌀 압출성형물의 DPPH 라디칼 소거 활성의 값은 Fig. 2에 나타내었다. DPPH 라디칼 소거 활성 값은 갈색거저리 첨가함량 0%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 20%인 시료가 6.48±0.95%로 가장 낮은 값을 나타내었고, 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 25%인 시료가 45.02±1.54%로 가장 높은 값을 나타내어 갈색거저리의 첨가함량이 높을수록 DPPH 라디칼 소거 활성도 유의적으로 증가하는 양의 상관관계를 보였다. 이는 갈색거저리에 함유되어 있는 항산화 미네랄 성분 셀레늄이 과산화물의 농도를 낮추어 활성산소 자유 라디칼의 생성을 억제하는 작용을 한 것으로 생각된다(54).

갈색거저리 첨가 함량 0, 10, 20%에서 모두 사출구 온도 140°C, 수분함량 25%의 시료가 각각 11.23±1.25, 31.95±0.54, 45.02±1.54%로 가장 높은 값을 나타내었는데 이는 사출구 온도가 130°C에서 140°C로, 수분함량이 20%에서 25%로 증가할수록 DPPH 라디칼 소거 활성 값도 증가함을 보여준다. 이는 Park 등(55)의 연구에서 수분 손실률이 적고 수분 보유력이 큰 시료일수록 DPPH

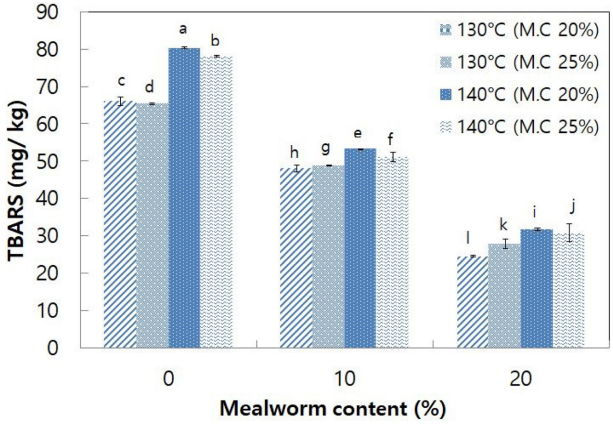

Fig. 3. TBARS (2-thiobarbituric acid reactive substances) of extruded rice snack with mealworm. M.C: Moisture content. [a-l]Values with different letters within the same row differ significantly (p<0.05).

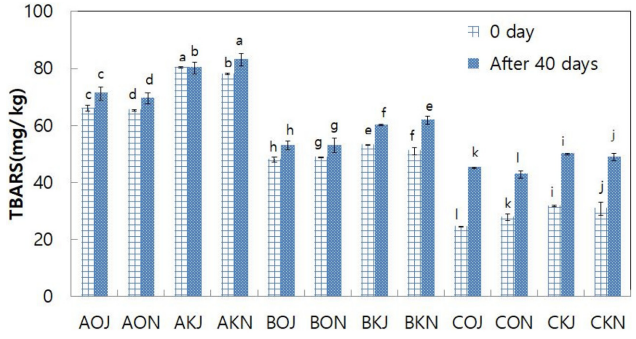

Fig. 4. Change of TBARS (2-thiobarbituric acid reactive substances) of extruded rice snack with mealworm during storage periods. A: mealworm content 0%, B: mealworm content 5%, C: mealworm content 10%, O: death temperature 130°C, K: death temperature 140°C, J: moisture content 20%, N: moisture content 25%. [a-l]Values with different letters within the same row differ significantly (p<0.05).

라디칼 소거활성 값이 증가하였다고 보고된바 수분이 항산화 성분의 보존 능력을 향상시키는 것으로 생각된다.

또한, 사출구 온도가 증가할수록 DPPH 라디칼 소거활성이 증가하는 것은 압출 열로 인해 압출성형물에 함유되어 있는 단백질 펩타이드가 가수분해 되면서 항산화 활성능력이 비례하여 향상되었기 때문인 것으로 생각되며(56) 이는 열처리가 항산화 활성 효과를 증진시킨다는 Lee 등(57)의 보고와도 일치하였다.

산패도

식품 또는 생물조직 중의 지질 산패도를 측정하기 위한 일반적인 방법으로 특정 과산화물과의 반응생성물의 최대 흡수파장을 이용한 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS)법을 주로 이용한다(32).

압출성형 당일 측정한 시료의 TBARS 값은 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 20%의 시료가 80.31±0.25 mg/kg로 가장 높았으며 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 20%의 시료가 24.51±0.19 mg/kg로 가장 낮았다(Fig. 3). 지방 함량이 높은 갈색거저리의 첨가 함량이 높을수록 TBARS 값은 오히려 감소하는 경향을 보였는데 이는 DPPH 라디칼 소거 활성 실험 결과(Fig. 2)에서 알 수 있듯이 갈색거저리에 함유된 항산화 성분이 지방 산화로 인해 발생하는 과산화 지질의 형성을 막아 산패도를 감소시킨 것으로 생각된다. 이는 항산화력과 과산화물가 사이에는 역상관관계가 있다는 Kim 등(58)의 보고와도 일치하였다(Fig. 3).

저장 기간에 따른 산패도의 변화 값은 Fig. 4에 나타내었다. 저장기간 40일 후의 TBARS 값은 갈색거저리 첨가 함량 0%에 사출구 온도 140°C, 수분함량 25% (AKN)인 시료가 83.07±2.15 mg/kg로 가장 높은 값을 나타내었고, 갈색거저리 첨가 함량 20%에 사출구 온도 130°C, 수분함량 20% (COJ)가 42.85±1.32 mg/kg로 가장 낮은 값을 나타내었다.

40일 이후에도 역시 갈색거저리 첨가 함량이 높을수록 TBARS 값이 감소하였으나 압출성형 당일 시료와 비교하여 볼 때, 갈색거저리 첨가 함량이 높을수록 산패도의 증가 폭이 다소 커지는 경향을 보였다. 이는 저장기간이 길어지면서 갈색거저리의 고함량 지방 성분이 산패를 촉진하고 항산화 활성능력이 감소되어 지방 함량이 적은 쌀 압출성형물보다 산패도의 증가가 크게 일어난 것으로 생각된다(59). TBARS 값과 수분함량과의 상관관계는 없었으나 사출구 온도가 130°C에서 140°C로 증가할수록 TBARS 값도 증가하였는데 이는 압출 열의 상승으로 인하여 시료가 함유하고 있는 지질의 상태가 불안정해져 산패가 촉진되었기 때문인 것으로 생각된다(60). 갈색거저리의 첨가로 인하여 산패도가 감소하였으므로 장기간 보관 시 저장에만 유의한다면 압출성형 쌀 스낵 고유의 영양과 항산화성을 유지할 수 있을 것으로 추측된다.

요 약

본 연구는 조직감과 영양이 뛰어난 쌀 팽화 스낵 제조를 위하여, 쌀가루에 부족한 각종 영양소를 보충할 수 있는 저렴하고 우수한 식품 소재인 갈색거저리(mealworm)를 첨가한 압출성형물의 이화학적 특성에 대하여 살펴보았다. 쌀 압출성형 원료배합비는 쌀가루 100%, 쌀가루 90%에 갈색거저리 10%, 쌀가루 80%에 갈색거저리 20%로 하였고, 압출성형 공정변수는 사출구 온도를 130°C와 140°C, 수분함량을 20%와 25%로 조절하였다. 압출성형한 후 직경 팽화율, 비길이, 조각밀도, 파괴세기 및 겉보기 탄성계수, 색도, 수분용해지수 및 수분흡착지수, 수용성질소지수, 단백질 소화율, DPPH 라디칼 소거 활성, 산패도를 측정하였다. 갈색거저리 첨가 함량이 증가할수록 팽화율은 감소하였고 비길이와 밀도는 증가하였다. 온도와 수분함량에 따른 변화에서는 사출구 온도가 증가하고 수분함량이 감소할수록 직경팽화율은 증가하였으며 밀도는 감소하는 경향을 보였다. 파괴세기와 겉보기 탄성계수에서는 갈색거저리 첨가 함량이 10%일 때 감소하였다가 20%일 때 다소 증가하였다. 또한 사출구 온도가 감소하고 수분함량이 증가할수록 값이 증가하였다. 수분용해지수는 갈색거저리 첨가 함량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며 사출구 온도와 수분함량이 증가할수록 값이 상승하였다. 수분흡착지수는 갈색거저리 첨가함량이 높을수록 증가하였다. DPPH 라디칼 소거 활성에서는 갈색거저리의 첨가 함량이 높을수록 값이 유의적으로 증가하였고 사출구 온도와 수분함량이 증가할수록 값이 증가하였다. 산패도는 갈색거저리의 첨가 함량이 높을수록 감소하였고 40일 이후에도 갈색거저리 첨가 함량이 높을수록 값이 감소하였으나 값의 상승폭은 쌀 압출성형물에 비하여 다소 크게 나타났다. 쌀가루에 갈색거저리의 첨가는 쌀 스낵의 영양적인 면을 개선하고 항산화성을 부여하는 유효한 공정이며 사출구 온도를 낮추고

수분함량을 증가시켰을 때 팽화스낵으로써 조직감이 향상되었음을 확인하였다.

감사의 글

한국연구재단의 2014년도 일반 연구자 지원 사업(NRF-2014R1A1A4A03004018)에 의하여 수행된 연구 결과의 일부로 연구비 지원에 감사드립니다.

References

1. Kim HK, Han HS, Lee GD, Kim KH. Physiological activities of fresh Pleurotus eryngii extacts. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 34: 439-445 (2005)
2. Kim MR. The status of Korea's rice industry and the rice processing industry. Food Ind. Nutr. 16: 22-26 (2011)
3. Moore MM, Heinbockel M, Dockery P, Ulmer HM, Arendt EK. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. Cereal Chem. 83: 28-36 (2006)
4. Kim HY, Lee IS, Kang JY, Kim GY. Quality characteristics of cookies with various levels of functional rice flour. Korean J. Food Sci. Technol. 34: 642-646 (2002)
5. Kwon YR, Jung MH, Cho JH, Song YC, Kang HW, Lee WY, Youn KS. Quality characteristics of rice cookies prepared with different amylose contents. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 40: 832-838 (2011)
6. Kim JN, Shin WS. Physical and sensory of chiffon cake made with rice flour. Korean J Food Sci. Technol. 41: 69-76 (2009)
7. Lee MH, Lee SY, Lee SA, Choi YS. Physicochemical characteristics of rice flour sponge cakes containing various levels of pumpkin flour. Korean J. Food Nutr. 23: 162-170 (2010)
8. Kim SJ, Kim HJ, Ma SJ, Kim SJ. Preparation and quality characteristics of rice breads. Korean J. Food Cult. 20: 433-437 (2005)
9. Lee MH, Chang HG, Lee YT. Effects of enzymes and emulsifiers on the loaf volume and crumb hardness of rice breads. J Korean Soc. Food Sci. Nutr. 37: 761-766 (2008)
10. Park MK, Lee KH, Kang SA. Effect of particle size of rice flour on popping rice bread. Korean J. Food Cook. Sci. 22: 419-427 (2006)
11. We GJ, Cho YS, Yoon MR, Shin MS, Ko SH. Development of rice flour-based puffing snack for early childhood. Food Eng. Prog. 14: 322-327 (2010)
12. Payne FA, Taraba JL, Saputra D. A review of puffing processes for expansion of biological products. J. Food Eng. 10: 183-197 (1989)
13. Kang SH, Ryu GH. Improvement in the Yukwa manufacturing by extrusion process with CO_2 gas injection. Food Sci. Biotechnol. 10: 1-6 (2001)
14. Ju JE, Nam YH, Lee KA. Quality characteristics of sponge cakes with wheat-rice composite flour. Korean J. Food Cook. Sci. 22: 923-929 (2006)
15. Han O, Park YH, Lee SH, Lee HY, Min BL. The texturization properties of textured extudate made by a mixture of rice flour and isolated soybean protein. J. Korean Food Sci. Technol. 6: 780-787 (1989)
16. DeFoliart GR. Insect as food: Annual review of entomology. Framtidens Lantbruk 44: 21-50 (1999)
17. Huis A. Potential of insects as food and feed in assuring food security. J. Annu. Rev. Ento. 58: 563-583 (2013)
18. Pansawat N, Eitenmiller RR, Phillips RD. Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks. LWT-Food Sci. Technol. 41: 632-641 (2008)
19. Jeong SH, Kang WS, Shin M. Physicochemical properties of high yieding non-waxy rice flours extruded with different moisture contents. Korean J. Food Cook. Sci. 746-754 (2011)
20. Jung BM, Park DK, Kim ES, Rhee KS, Rhee KC. Sing-screw extrusion putting of rice flour defatted soy flour squid blends. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 29: 412-419 (2000)
21. Lee C. Optimization for extrusion-cooking of rice-isp-file fish mixture by response surface methodology. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 33: 1742-1747 (2004)
22. AACC. Approved Method of the AACC. 11th ed. Method 08-01, 30-25, 46-10, 56-20. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA (1999)
23. Starcher B. A Ninhydrin-based assay to quantitate the total protein content of tissue samples. Anal. Biochem. 292: 125-129 (2011)
24. Alverez-Marinez L, Kondury KP, Harper JM. A general model for expansion of extruded products. J. Food Sci. 53: 609-615 (1988)
25. Kim CH, Tie J, Rye GH. Effects of moisture content on physical properties of extruded cereal flours. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41: 1603-1610 (2012)
26. Jin T, Gu BJ, Ryu GH. Manufacturing of hemp seed flake by using extrusion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. Food Eng. Prog. 53: 147-154 (2010)
27. Ryu GH, Ng PKW. Effects of selected process parameters on expansion and mechanical properties of wheat flour and whole cornmeal extrudates. Starch/Starke 53: 147-154 (2001)
28. AACC. Approved Method of the AACC. 10th ed. Method 56-20. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA (1983)
29. Capritar R, Caprita A, Cretescu I. Protein solubility as quality index for processed soybean. J. Animal Sci. Biotechnol. 43: 375-378 (2010)
30. Mertz ET, Hassen MM, Carins-Whittern C, Kirleis AW, Tu L, Axtell JD. Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. Proc. Natl. Acad. Sci. 81: 1-2 (1984)
31. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Sci. Technol. 28: 25-30 (1995)
32. Chang WP, Hong GE, Jang SH, Kim J, Kim SK, Lee CH. A method for measuring lipid peroxidation of freeze-dried egg yolk by using chemiluminescence analyzer. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 1: 98-102 (2012)
33. Gu BJ, Norajit K, Ryu GH. Physicochemical properties of extruded defatted hemp seed and its energy bar manufacturing. Food Eng. Prog. 14: 127-134 (2010)
34. Han O, Lee SH, Lee HY, Oh SL, Lee CH. The effects of screw speeds and moisture contents on soy protein under texturization using a single-screw extruder. J. Korean Food Sci. Technol. 21: 772-779 (1989)
35. Hagenimana A, Ding X, Fang T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 43: 38-46 (2006)
36. Song JY, Shin M. Effects of soaking and particle sizes on the properties of rice flour and gluten-free rice bread. J. Korean Soc. Food Sci. Biotechnol. 16: 759-764 (2007)
37. Lagendijk J, Pennings HJ. Relation between compex formation of starch with monoglycerides and the firmness of bread. Cereal Sci. 15: 354-356 (1970)
38. Huang JJ, White PJ. Waxy corn starch: Monoglyceride interaction in a model system. Cereal Cham. 70: 42-47 (1993)
39. Saio K. Expansion and texturization mechanisms of soybean proteins relating to the microstructures. Nippon Shokuhin Kogyo Garraishi 34: 407-408 (1987)
40. Chinaswamy R, Hanna MA. Macromolecular and functional properties of native and extrusion cooked corn-starch. Cereal Chem. 6: 490-498 (1999)
41. Youssef MK, Barbut S. Effects of two types of soy protein isolates, native, and preheated whey protein isolateds on emulsified meat batters prepared at different protein levels. Meat Sci. 87: 54-60 (2010)
42. Miwa M, Kong ZL, Shinihara K, Watanabe M. Macrophage stimulating activity of food. Agri. Biol. Chem. 54: 1863-1866 (1990)
43. Altan A, Mccarthy KL, Maskan M. Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization by using response surface methodology. J. Korean Soc. Food Sci. Agric. 88: 1648-1659 (2008)
44. Jin T, Yu JH, Ryu, GH. Effect of moisture content and tempera-

ture on physical properties of instant puffed rice snacks J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41: 846-852 (2012)
45. Lee SH, Kim CK. Optimization for extrusion cooking conditions of rice extrudate by response surface methodology. J. Korea Soc. Food Sci. Nutr. 7: 137-143 (1994)
46. Kim SW, Kim DS, Kim BY, Baik MY. Physicochemical properties of waxy rice, waxy rice flour and waxy rice starch during steeping. J. Appl. Biol. Chem. 51: 277-284 (2008)
47. Jin T, Park HY, Ryu GH. Characteristics of cereals prepared by extrusion- cooking and freeze-drying. J. Korean Soc. Food Sci. Thchnol. 37: 757-762 (2005)
48. Lee KC, Kim YS, Ryu GH. Saccharification characteristics of extruded corn starch at different process parameters. Food Eng. Prog. 15: 155-161 (2011)
49. Yoo GY, Bai SC. Effects of different dietary protein sources on apparent digestibility and growth in juvenile river puffer *Takifugu obscurus*. Kor. J. Fish Aquat. Sci. 47: 383-389 (2014)
50. Mattews DE. Proteins and amino acids. Modern nutrition in health and disease. 9th ed. Lippicott Williams & Wilkins, Baltimore, MD, USA. pp. 11-19 (1999)
51. Finke MD, Defoliat GR, Benevenga NJ. Use of a four-parameter logistic model to evaluate the quality of the protein from three insect species when fed to rats. J. Nutr. 119: 864-871 (1989)
52. Gam LS. Effect of heat treatment on the antioxidant activities and quality characteristics of strawberries. MS thesis. Gyeongsang National University, Jinju, Korea (2013)
53. Lee HJ, Oh SK, Kim DJ, Yoon MR, Chun A, Choi IS, Lee JS, Kim YG. Comparison of antioxidant activities by different extraction temperatures of some commercially available cultivars of rice bran in Korea. Korean J. Food Nutr. 26: 1-7 (2013)
54. Rumpold BA, Schluter OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. J. Molecular Nutr. 57: 802-823 (2013)
55. Park HJ, Lee MJ, Lee HR. Vitamin C and antioxidant capacity stability in cherry and romaine during storage at different temperatures. J. Nutr. 49: 51-58 (2016)
56. Choi J, Kim JH, Lee JW. Physiological properties of tuna cooking drips hydrolysate prepared with gamma irradiation. Process Biochem. 46: 1875-1878 (2011)
57. Lee KH, Kim MJ, Kim AJ. Physicochemical composition and antioxidative activities of phynchosia nulubilis according to roasting temperature. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 43: 675-681 (2014)
58. Kim AR, Lee JJ, Lee MY. Antioxidative effect of angelica acutiloba kitagawa ethanol extract. J. Life Sci. 19: 501-759 (2009)
59. Lee S, Kang SH, Kim MK, Song SR, Lee MW, Kang HJ. Degree of rancidity and sensory characteristics of frying oils with reuse and storage at home. Korean J. Food Cook. Sci. 28: 265-273 (2012)
60. Koh HY, Kwon YJ. Effect of storage temperature and humidity on water adsorption and rancidity of peanuts. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 18: 216-222 (1989)