creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

생활과학박사학위논문

식품소재화를 위한 갈색거저리 유충의 이화학적 특성 및 분말화 연구

Physicochemical Characteristics of Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) and Preparation of Powders for Food Material

2017년 2월

서울대학교 대학원

식품영양학과

손 양 주

식품소재화를 위한 갈색거저리 유충의 이화학적 특성 및 분말화 연구

Physicochemical Characteristics of Mealworm (*Tenebrio molitor* Larvae) and Preparation of Powders for Food Material

지도교수 황 인 경

이 논문을 생활과학박사학위논문으로 제출함
2016년 10월

서울대학교 대학원
식품영양학과
손양주

손양주의 박사학위논문을 인준함
2017년 1월

위 원 장 _____ (인)

부 위 원 장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

갈색거저리(*Tenebrio molitor L.*) 유충은 널리 알려진 식용 곤충 중 하나로, 한국을 포함하여 전세계적으로 많은 국가에서 식품 재료로 사용할 수 있도록 허가되어 있다. 갈색거저리 유충은 그 맛이 우수하고, 대량 사육에도 적합하여 다양한 식용 곤충 중에서도 크게 각광받고 있으며, 특히 산업적인 활용도가 높은 것으로 평가되고 있다. 그러나 갈색거저리 유충을 식품으로 이용하기 위한 연구는 현재 초기 단계에 머물러 있으며, 기존 연구는 대체로 동물의 사료로 갈색거저리 유충을 활용하는 데 주로 초점이 맞춰져 식품으로 활용하기 위한 연구는 크게 선행되어 있지 않다. 이에 본 연구는 갈색거저리 유충을 이용하여 산업적으로 제품을 생산하고 또한 그 품질을 평가함으로써, 갈색거저리 유충을 식품 소재화 하는 것을 목표로 하였다. 갈색거저리 유충을 소재로 하여 산업적으로 생산과 저장, 유통에 적합한 형태의 기본 제품을 제조하기 위하여 적절하게 희생한 뒤, 열풍건조하여 건조품을 제조하였으며, 또한 식품 재료로의 이용성을 높이기 위해 건조품을 이용하여 분말을 제조하였다. 먼저 건조품의 제조를 위하여 갈색거저리 유충의 적절한 희생법을 확립하였으며, 희생된 갈색거저리 유충의 냉장저장성을 확인하였다. 또한 생산된 건조품의 구성 성분에 대하여 특성을 분석하였다. 이후 건조품은 다양한 방법으로 미세 분말화 하여 품질을 확인함으로써 적절한 분말화 방법을 모색하고, 생산된 분말은 산화안정성을 확인하여 저장 및 유통에 적합한지 탐구하였다. 이에 본 연구에서는 갈색거저리 유충의 적절한 산업적 전처리 과정을 확립하고, 소비자에게 실제 판매될 형태의 제품(건조품 및 분말)의 물리화학적인 품질을 평가하였으며, 또한 실제 소비자가 섭취하게 되는 형태의 갈색거저리 유충에 대한 영양성을 확인하였다. 이를

통하여 최종적으로 갈색거저리 유충에 대하여 새로운 식품 재료로 이용하기 위한 효용성을 확인하였고, 또한 구성 성분의 특성을 탐구하여 다양한 소재로의 활용 방향을 일부 제시하였으므로, 갈색거저리 유충의 산업적인 이용성을 증대시키는데 연구 결과가 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 식용 곤충, 갈색거저리 유충, 구성 성분, 이화학적 특성, 분말화
학 번 : 2012-21494

목 차

국문초록····· i

목차····· iii

표목차····· xii

그림목차····· xvii

Ⅰ. 서론····· 1

Ⅱ. 연구 문헌 고찰····· 3

1. 곤충의 식품 소재화 필요성····· 3

2. 갈색거저리 유충의 특성 및 연구 현황 ····· 9

Ⅲ. 갈색거저리 유충의 산업적 희생법 확립과 구성 성분의 특성 ····· 16

1. 서론····· 16

2. 실험방법····· 18

2.1. 갈색거저리 유충의 적절한 희생법 확립 ····· 18

2.1.1. 시료의 제조····· 18

2.1.2. 구성 성분····· 20

2.1.2.1. 일반성분 ····· 20

2.1.2.2. 유리아미노산 ····· 20

2.1.2.3. 양이온 및 음이온····· 22

2.1.3. 물리화학적 특성 ····· 25
2.1.3.1. 색도 ····· 25
2.1.3.2. 수분흡착력 및 유분흡착력 ····· 25
2.1.4. 기호도 ····· 26
2.2. 블랜칭 법으로 희생한 갈색거저리 유충의 냉장저장성 ····· 27
2.2.1. 실험재료 ····· 27
2.2.2. 색도 ····· 27
2.2.3. 산화 지표의 측정 ····· 28
2.2.3.1. 적정 산도 ····· 28
2.2.3.2. 과산화물가 ····· 28
2.2.3.3. 산가 ····· 28
2.2.3.4. TBARS ····· 29
2.2.3.5. 휘발성 염기질소 ····· 29
2.2.4. 일반세균수 및 대장균 ····· 30
2.3. 블랜칭 희생 후 열풍건조한 갈색거저리 유충의 구성 성분 특성 ····· 31
2.3.1. 블랜칭 희생 후 열풍건조한 갈색거저리 유충 시료 제조 ·· 31
2.3.2. 일반성분 ····· 31
2.3.3. 단백질 특성 ····· 32
2.3.3.1. 실험 재료 ····· 32
2.3.3.2. 아미노산 분석 ····· 36

2.3.3.2.1. 구성아미노산 ····· 36
2.3.3.2.2. BCAA 함량 ····· 36
2.3.3.2.3. 아미노산가 ····· 37
2.3.3.2.4. 유리아미노산 ····· 37
2.3.3.3. 단백질의 물리화학적 특성 ····· 38
2.3.3.3.1. pH에 따른 단백질 용해도 ····· 38
2.3.3.3.2. GPC를 이용한 단백질 크기 분포 ····· 38
2.3.4. 지질 특성 ····· 42
2.3.4.1. 기름의 추출과 기름 중 비 비누화 물질 제조 ····· 42
2.3.4.2. 기름의 구성 성분 ····· 45
2.3.4.2.1. 지방산 ····· 45
2.3.4.2.2. 토코페롤 함량 ····· 47
2.3.4.2.3. 폴리페놀 함량 ····· 49
2.3.4.2.4. 스쿠알렌 및 스테롤 계열 물질의 함량 ····· 49
2.3.4.3. 기름의 물리화학적 특성 ····· 53
2.3.4.3.1. 비중 ····· 53
2.3.4.3.2. 점도 ····· 53
2.3.4.3.3. 색도 ····· 53
2.3.4.3.4. 과산화물가 ····· 53
2.3.4.3.5. 산가 ····· 54

2.3.4.3.6. TBARS 함량 ····· 54
2.3.4.4. 산화유도기간 ····· 54
2.3.5. 탄수화물 특성 ····· 55
2.3.5.1. 당 성분 분석 ····· 55
2.3.5.1.1. 총 수용성 당 ····· 55
2.3.5.1.2. 환원당 ····· 55
2.3.5.1.3. 유리당 ····· 56
2.3.5.1.4. 고분자 당의 정량 ····· 58
2.3.5.2. 키틴의 함량 및 물리화학적 특성 ····· 59
2.3.5.2.1. 키틴의 정제와 키토산의 제조 ····· 59
2.3.5.2.2. 키틴의 수율 ····· 60
2.3.5.2.3. 수분 및 단백질량 ····· 60
2.3.5.2.4. 색도 및 백색도 ····· 60
2.3.5.2.5. FESEM imaging과 EDS를 이용한 원소량 분석 · 60
2.3.5.2.6. ^{1}H, ^{13}C NMR ····· 61
2.3.5.2.7. FT-IR ····· 62
2.3.5.2.8. XRD ····· 63
2.3.6. 양이온 및 음이온 함량 ····· 64
2.3.7. 기능성 성분 함량 분석 및 항산화능 ····· 64
2.3.7.1. GABA 및 taurine 함량 ····· 64

2.3.7.2. 총 글루코사민 함량 ····· 64
2.3.7.3. 갈색거저리 유충 용매 탈지분의 80% MeOH 추출물 제조 ····· 65
2.3.7.4. 폴리페놀 함량 분석 ····· 65
2.3.7.5. 플라보노이드 함량 분석 ····· 65
2.3.7.6. DPPH 자유기 소거 활성능 ····· 66
2.3.7.7 ABTS 자유기 소거 활성능 ····· 66
2.4. 통계 처리 ····· 68

3. 실험결과 ····· 69
3.1. 갈색거저리 유충의 적절한 희생법 확립 ····· 69
3.1.1. 구성 성분 ····· 69
3.1.2. 물리화학적 특성 ····· 78
3.1.3. 기호도 ····· 82
3.2. 블랜칭 법으로 희생한 갈색거저리 유충의 냉장저장성 ····· 84
3.2.1. 색도 ····· 84
3.2.2. 저장 중 산화 지표의 변화 ····· 86
3.2.3. 일반세균수 및 대장균 검출 ····· 91
3.3. 블랜칭 희생 후 열풍건조한 갈색거저리 유충의 구성 성분 특성 ····· 93
3.3.1. 일반성분 ····· 93

3.3.2. 단백질 특성 ····· 95
3.3.2.1. 아미노산 분석 ····· 95
3.3.2.2. 단백질의 물리화학적 특성 ····· 104
3.3.2.2.1. pH에 따른 단백질 용해도 ····· 104
3.3.2.2.2. GPC를 이용한 추출물의 단백질 크기 분포 분석 ····· 108
3.3.3. 지질 특성 ····· 117
3.3.3.1. 기름의 구성 성분 ····· 117
3.3.3.1.1. 지방산 분석 ····· 117
3.3.3.1.2. 기름 중 생리활성 물질의 함량 ····· 120
3.3.3.2. 기름의 물리화학적 특성 ····· 125
3.3.3.3. 기름의 산화안정성 예측 ····· 128
3.3.4. 탄수화물 특성 ····· 131
3.3.4.1. 갈색거저리 유충의 당 함량 ····· 131
3.3.4.2. 키틴의 함량 및 물리화학적 특성 ····· 133
3.3.4.2.1. 키틴의 수율 및 기초 특성 ····· 133
3.3.4.2.2. 키틴 및 키토산의 물리화학적 특성 ····· 135
3.3.5. 양이온 및 음이온 ····· 151
3.3.6. 기능성 성분 함량 분석 및 항산화능 ····· 154
3.3.6.1. GABA 및 taurine 함량 ····· 154
3.3.6.2. 총 글루코사민, 폴리페놀, 플라보노이드 함량 및

항산화능 탐색 ····· 157

4. 요약 및 결론 ····· 161

Ⅳ. 갈색거저리 유충의 식품소재화를 위한 미세 분말화 공정 적용 ···· 164

1. 서론 ····· 164

2. 실험방법 ····· 166

2.1. 갈색거저리 유충의 압착 탈지 조건 확립 ····· 166

2.1.1. 실험 재료 ····· 166

2.1.2. 분말의 물리화학적 특성 ····· 168

2.1.2.1. 지질 함량 ····· 168

2.1.2.2. 평균 입도 ····· 168

2.1.2.3. 색도 ····· 168

2.1.2.4. 수분흡착력과 유지흡착력 ····· 168

2.1.2.5. 유화력 ····· 169

2.1.3. 관능적 특성 ····· 169

2.2. 서로 다른 산업용 분쇄기를 적용한 갈색거저리 유충 미세 분말의 물리화학적 특성 ····· 170

2.2.1. 시료의 제조 ····· 170

2.2.2. 분말의 구성 성분 ····· 174

2.2.2.1. 일반성분 ····· 174

2.2.2.2. 유리아미노산 ····· 174

2.2.2.3. 양이온 및 음이온 ····· 174
2.2.3. 분말의 물리화학적 특성 ····· 175
2.2.3.1. 색도 ····· 175
2.2.3.2. 입자 크기 분포 및 입자의 모양 ····· 175
2.2.3.3. 물리적 특성 및 흐름성 ····· 175
2.2.3.4. 수분흡착력 및 유지흡착력 ····· 175
2.2.3.5. 유화력 및 유화안정성 ····· 175
2.2.3.6. 거품형성능 및 거품안정성 ····· 176
2.2.4. 기호도 ····· 176
2.3. 제조된 갈색거저리 유충 분말의 산화안정성 ····· 178
2.3.1. 실험재료 ····· 178
2.3.2. 산화 지표 측정 ····· 181
2.3.2.1. 과산화물가 ····· 181
2.3.2.2. 산가 ····· 181
2.3.2.3. 휘발성 염기질소 ····· 181
2.3.5. 일반세균수 및 대장균 ····· 181

3. 실험결과 ····· 182
3.1. 갈색거저리 유충의 압착 탈지 조건 확립 ····· 182
3.1.1. 압착 탈지 분말의 물리화학적 특성 ····· 182

3.1.2. 분말의 관능적 특성 ····· 187
3.2. 서로 다른 분쇄기를 적용한 갈색거저리 유충 분말의 물리 화학적 특성 ····· 190
3.2.1. 분말의 구성 성분 ····· 190
3.2.2. 분말의 물리화학적 특성 ····· 198
3.2.2.1. 색도 ····· 198
3.2.2.2. 분말의 입자 크기 및 입자의 모양 ····· 201
3.2.2.3. 분말의 흐름성 ····· 206
3.2.2.4. 분말의 수용액 내 물리화학적 특성 ····· 210
3.2.3. 분말의 기호도 ····· 212
3.3. 갈색거저리 유충 분말의 산화안정성 ····· 215
3.3.1. 산화 지표의 측정 ····· 215
3.3.2. 일반세균수 및 대장균 ····· 224
4. 요약 및 결론 ····· 227

Ⅴ. 종합적 결론 ····· 229

Appendix ····· 232

참고문헌 ····· 233

Abstract ····· 265

표 목차

Table 1. Feed conversion effeciencies of animal protein sources ····· 7

Table 2. Allergenic proteins of mealworms identified by NCBI database using MALDI-MS/MS ····· 12

Table 3. Gel formation properties of supernatant fractions of edible insects ····· 14

Table 4. Operating conditions for analyzing free amino acid contents ····· 21

Table 5-1. Operation conditions of ICS (cations) ····· 23

Table 5-2. Operation conditions of ICS (anions) ····· 24

Table 6. Yields and protein contents of mealworm extracts and mealworm protein isolate ····· 35

Table 7-1. Operating conditions for GPC analysis (hydrophillic) ····· 40

Table 7-2. Operating conditions for GPC analysis (hydrophobic) ····· 41

Table 8. Operating conditions of fatty acid composition by GC analysis ····· 46

Table 9. Operating conditions for analyzing tocopherol contents by HPLC analysis ····· 48

Table 10. Operating conditions of squalene and sterols by GC-MS analysis ····· 51

Table 11. Operating condition for free sugar ····· 57

Table 12. Proximate compositions of mealworm powders with different sacrifice methods ····· 71

Table 13. Free amino acids contents of mealworm powders with different sacrifice methods ····· 74

Table 14. The contents of cations and anions of mealworm powders with different sacrifice methods ····· 77

Table 15. Color values of mealworm powders with different sacrifice methods ····· 79

Table 16. WAC and OAC of mealworm powders with different sacrifice methods ····· 81

Table 17. Changes in color values of sacrificed mealworm during storage at 4℃ ····· 85

Table 18. Changes in indicators of oxidation for sacrificed mealworm during storage at 4℃ ····· 90

Table 19. Changes in microbial counts of mealworm sacrificed with blanching during storage at 4℃ ····· 92

Table 20. Proximate compositions of blanched and hot-air dried mealworms with- or without-fat ····· 94

Table 21. Amino acids composition of mealworms with- or without-fat ····· 95

Table 22. Amino acids scores of mealworms with- or without-fat ····· 98

Table 23. Free amino acids contents of mealworm powders and extracts ····· 100

Table 24. Free amino acids contents of mealworm powders and extracts which affect tastes ····· 103

Table 25. Results of GPC analysis for mealworm extracts (hydrophillic) ····· 113

Table 26. Results of GPC analysis for mealworm extracts (hydrophobic) ····· 116

Table 27. Fatty acid compositions of mealworm oil ····· 119

Table 28. Tocopherol contents, polyphenol contents, and contents of squalene for mealworm oil extracted with n-hexane ····· 124

Table 29. Physicochemical properties of mealworm oil extracted with n-hexane ····· 127

Table 30. The induction times of three oils and their shelf-life

prediction for 20℃ ····· 130

Table 31. Contents of sugar, reducing sugar, oligo- and poly-sacharides, free sugar for mealworm ····· 132

Table 32. Specific gravity, viscosity, and color values of chitin from mealworm ····· 134

Table 33. Ratio of nitrogen and carbon element, degree of acetylation for chitin, and degree of deacetylation for chitosan ····· 139

Table 34. Useful absorbance peaks of FT-IR for chitins ····· 145

Table 35. The degree of crystallinity for α-chitin from shrimp shell and chitin from mealworm ····· 150

Table 36. Mineral contents of whole fat- or defatted-mealworms ····· 153

Table 37. GABA and taurine contents of whole fat- or defatted-mealworms and mealworm extracts ····· 156

Table 38. The contents of glucosamine, polyphenols, and flavonoids of mealworm ····· 159

Table 39. Extraction conditions of pressed mealworm powders ····· 167

Table 40. Manufacture conditions of defatted mealworm powders ····· 180

Table 41. Lipid contents, average particle sizes, and color values of defatted mealworm powders ····· 184

Table 42. Physicochemical properties of defatted mealworm powders ····· 186

Table 43. Selected sensory terms for defatted mealworm powders by FGI analysis ····· 189

Table 44. Proximate compositions of mealworm powders with different manufacturing conditions ····· 192

Table 45. Free amino acids contents of mealworm powders with different manufacturing conditions ····· 194

Table 46. The contents of cations and anions of mealworm powders with different manufacturing conditions ····· 197

Table 47. Color values of mealworm powders with different manufacturing conditions ····· 200

Table 48. Values of powder flowability parameters for mealworm powders ····· 209

Table 49. Physicochemical properties of mealworm powders ·· 211

Table 50. Changes in microbial counts of four mealworm powders during storage ····· 226

그림 목차

Fig. 1. Global food security risk index (2013) ····· 4

Fig. 2. Number of food entries included in BioFoodComp database ····· 5

Fig. 3. Global warming potential (GWP) of animal protein sources ····· 8

Fig. 4. Relative abundance of the bacterial community (%) of mealworm ····· 10

Fig. 5. Preference scores of house crickets and mealworms by different preparation ····· 15

Fig. 6. Images of mealworm powders with different sacrifice conditions ····· 19

Fig. 7. Pictures of whole- or non-fat mealworm powders, MPI, and mealworm extracts with- or without-enzyme treat ····· 34

Fig. 8. Pictures of mealworm oil extracted with n-hexane ····· 44

Fig. 9. Acceptability evaluation scores of mealworm powders with different sacrifice methods (7-point scale) ····· 83

Fig. 10. Protein solubility of blanched and hot-air dried

mealworms (SDF) ····· 106

Fig. 11. Protein solubility of mealworm extracts and mealworm protein isolate ····· 107

Fig. 12. GPC calibration plot with polystyrene (hydrophillic) ····· 111

Fig. 13. Particle size distribution of mealworm extracts by GPC analysis (hydrophillic) ····· 112

Fig. 14. GPC calibration plot with polystyrene (hydrophobic) ····· 114

Fig. 15. Particle size distribution of mealworm extracts by GPC analysis (hydrophobic) ····· 115

Fig. 16. SEM micrographs of α-chitin from shrimp shell ····· 136

Fig. 17. SEM micrographs of chitin from mealworm ····· 137

Fig. 18. SEM micrographs of chitosan from mealworm ····· 138

Fig. 19. Results of ^{1}H NMR for chitosan from mealworm ····· 141

Fig. 20. Results of ^{13}C NMR for (A) α-chitin from shrimp shell and (B) chitin from mealworm ····· 142

Fig. 21. Results of ^{13}C NMR for chitosan from mealworm ····· 143

Fig. 22. Results of FT-IR for α-chitin, chitin from mealworm, and chitosan from mealworm ····· 146

Fig. 23. Structures of chitin, chitosan, and dibutyrylchitin (DBC) ····· 147

Fig. 24. XRD patterns of α-chitin, chitin from mealworm, and chitosan from mealworm ····· 149

Fig. 25. DPPH and ABTS radical scavenging activities of defatted mealworm powder ····· 160

Fig. 26. Preparation of mealworm and a process flow diagram of mealworm powders ····· 172

Fig. 27. Pictures of mealworm powders with different manufacturing conditions ····· 173

Fig. 28. Particle size distribution of mealworm powders and their average particle sizes ····· 204

Fig. 29. Particle images of mealworm powders and their circularities and specific surface areas ····· 205

Fig. 30. Preference scores of mealworm powders with different manufacturing conditions ····· 214

Fig. 31. Changes in peroxide values of four mealworm powders during storage ····· 217

Fig. 32. Changes in acid values of four mealworm powders during storage ····· 220

Fig. 33. Changes in VBN contents of four mealworm powders during storage ····· 223

Ⅰ. 서론

갈색거저리(*Tenebrio molitor L.*)는 딱정벌레목 거저리과에 속하며, 한국을 비롯한 전 세계에 분포하고 있고, 알, 유충, 번데기 및 성충의 시기를 거치는 완전변태를 하는 곤충이다(Chung MY 등 2013b). 갈색거저리 유충은 전세계적으로 널리 알려진 식용 곤충 중 하나이며(Oonincx DGAB & de Boer IJM 2012), 이미 벨기에, 네덜란드, 미국, 한국, 일본, 중국 등 많은 서양 및 아시아 국가에서 식품으로 허가되어 있다(Yoo JM 등 2013). 국내에서 일반 식품 원료로 인증 받기 전에도 다양한 애완동물의 사료 공급원으로써 대량 사육 농가가 이미 형성되어 있었으며, 고소한 맛이 강하여 고소애라는 명칭이 붙을 만큼 맛이 우수하여 크게 각광받고 있다. 또한 갈색거저리 유충에는 단백질과 불포화지방산이 풍부하게 함유되어 있고 비타민과 무기질의 함량도 높아 단백질 급원 식품으로 다양하게 활용될 수 있는 것으로 알려져 있다(Kim HS & Jung CE 2013; Simon E 등 2013; Ravzanaadii N 등 2012). 더욱이 갈색거저리 유충은 사육할 때 넓은 공간을 필요치 않고, 먹이도 크게 가리지 않아 쉽게 사육할 수 있는 곤충이다(Makkar PS 등 2014). 이러한 이유로 갈색거저리 유충은 소규모 농장이나 대규모 농장을 가리지 않고 모두 적합하게 사육할 수 있는 장점이 있다. 2016년 2월 1일 '한국 음식평론가 협회'의 회원들인 국내 조리 분야 전문인들을 대상으로 사전 조사를 진행한 결과, 관능적 기호도, 조리적 범용성, 심리적 거부감 등에 대해서도 여러 식용 곤충 중 갈색거저리 유충에 가장 높은 점수를 부여하여 식품 원료로써의 우수성을 확인하였다. 또한 갈색거저리 유충은 다른 곤충에 비해 크기가 작아 가공 시간을 단축할 수 있으며, 머리와 다리의 비율이 낮고 배 부분의 비율이 높아 개별 체적 내 분포가 비교적 균일하여 단일 개체 내 부위에 따른 색, 맛 등의 차이가 거의 없어 가공 적성에 있어서 큰 이점이 있다. 그러나 갈색거저리 유충을 식품으로 이용하기 위한 연구는 현재

초기 단계로써, 일반성분, 지방산 함량 등에 대한 기본적인 연구와 일부 미량 영양소에 대한 연구가 진행되었으나(Jones LD 등 1972; Chung MY 등 2013b), 기존 연구는 대체로 동물의 사료로써 갈색거저리 유충을 활용하는 데에 초점이 맞춰져 식품으로 활용하기 위한 연구는 크게 되어있지 않았다. 식품의 소재로써 갈색거저리 유충을 이용하기 위해서는 먼저 저장 및 유통을 고려한 제품을 생산할 필요가 있다. 곤충의 경우 사후 부패가 빠르고, 특히 갈색거저리 유충은 phenol oxidase 효소가 풍부하여 적절한 전처리 공정을 거치지 않으면 급격하게 색이 검어지는 특성이 있다. 따라서 적절한 품질의 갈색거저리 유충 관련 식품 소재를 개발하기 위해서는 먼저 산업적으로 대량의 갈색거저리 유충을 전처리하는 방법을 확립할 필요성이 있었다.

이에 본 연구에서는 갈색거저리 유충을 식품 소재화 하기 위하여 산업계에서 대량으로 생산, 저장 및 유통 하기에 적합한 공정을 확립하고자 계획하였다. 이를 위하여 먼저 갈색거저리 유충의 적절한 희생법을 확립하고, 희생된 갈색거저리 유충을 열풍건조하여 유통에 적합한 형태의 건조품을 제조하여 구성 성분의 특성을 확인하고, 최종적으로는 식품 소재로 쉽게 활용하기 위해 적절한 품질을 가진 분말 형태의 제품을 제조하고자 하였다.

Ⅱ. 연구 문헌 고찰

1. 곤충의 식품 소재화 필요성

세계의 식량 보급 문제는 20세기 들어 1970년 농학자로서는 처음으로 노벨 평화상을 수상한 Brlaug NE에 의해 ‘Green revolution’으로 일컬어지는 육종 및 재배 기술의 급속한 발전 이후 일부 완화되기는 하였으나, 아직도 전세계에서 1억 명이 넘는 인구가 식량 부족 현상을 겪고 있다(Fig. 1). 최근에는 인구의 급증으로 인해 식량 부족이 더욱 심화되고 있으며, 2030년경이 되면 현재보다 50%의 식량이 더 필요할 것으로 추정되는 가운데, 이는 급격한 기후 변화로 인한 식량 생산량의 하락이 큰 원인이 되고 있다(Wheeler T & Braun JV 2013). 식량 부족 문제가 심화된 데에는 특히 단백질원 수요의 급증이 주요 원인으로 꼽히고 있는데, 세계에서 인구 규모가 2번째로 큰 중국의 육류 수요는 2000년대 들어 2배가량 증가하였으며, 또한 많은 개발도상국에서 최근 육류 수요가 급증하면서 기존 축산 생산 시스템만으로 단백질원을 공급하기에는 한계가 보이고 있는 실정이다(Jung C 2013). 이에 새로운 단백질 공급원의 필요성에 따라 국제연합식량농업기구(FAO)는 국제 포럼에서 가장 경제성이 높고, 미래지속성을 지닌 단백질 공급원 대안으로써 식용 곤충을 제시한 바 있다. 식량 공급원으로써 곤충의 이용은 완전히 새로운 개념이 아니라 이미 전통적으로 전세계 약 2억명의 인구가 1,900여종의 곤충을 섭취하고 있는 것으로 알려져 있으며, 실제로 영양 성분이 연구되어 식품 데이터베이스에 등재되어 있는 곤충도 약 450종에 이른다(Fig. 2). 그러나 곤충에 대한 혐오감 등의 이유로 대중적인 식량 공급원으로써 이용되지 않았었기 때문에 다시 새롭게 주목을 받고 있는 추세이다.

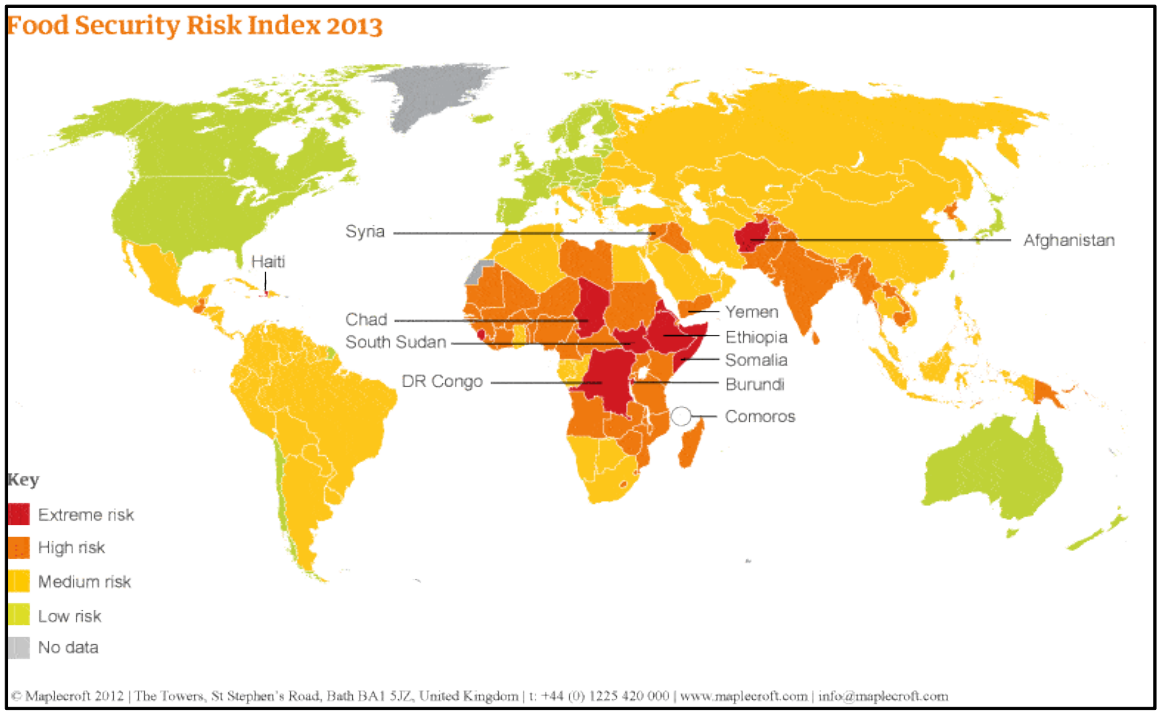


Fig. 1. Global food security risk index (2013)

<http://www.theguardian.com/global-development/graphic/2012/oct/10/food-security-risk-index-map (last access: 2016.12.30.)>

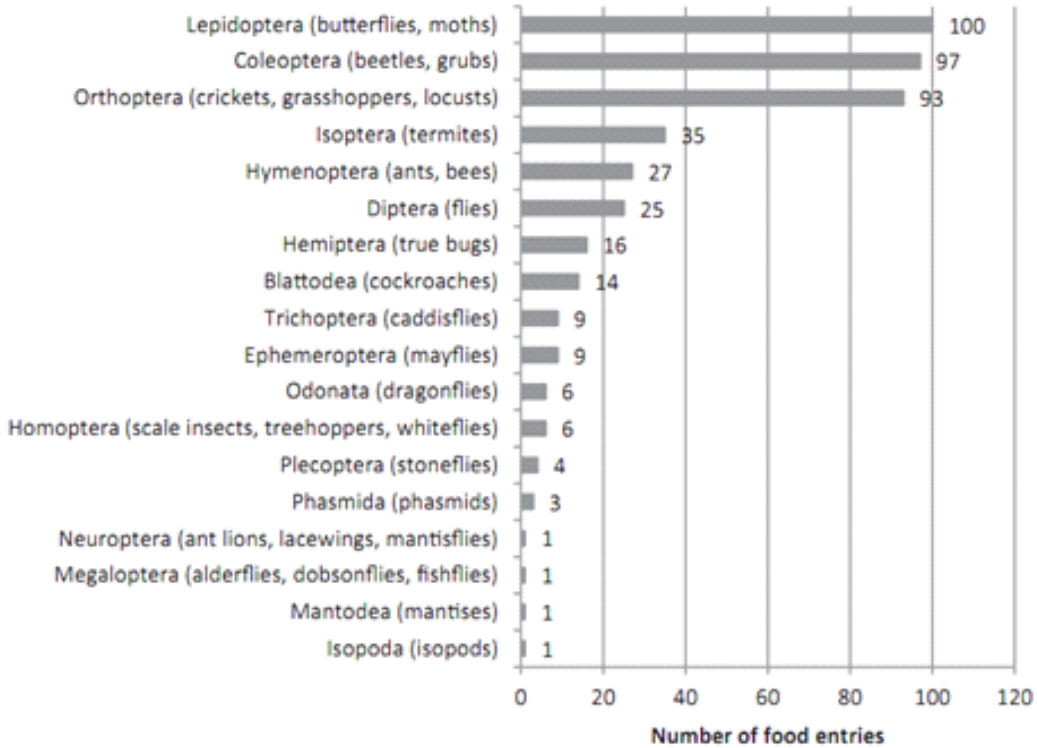


Fig. 2. Number of food entries included in BioFoodComp database (<Ref.> Nowak V *et al.* 2016)

식용 곤충은 대체로 50%가 넘는 단백질량을 보유하여 육류에 비해 뒤떨어지지 않는 단백질량을 가지고 있으며, 아미노산의 조성 및 단백질가 또한 육류에 비해 뒤떨어지지 않아 단백질 공급원으로 육류를 대체하기에 부족함이 없다(Bukkens SGF 1997; Gorham JR 1979). 또한 식용 곤충으로 기존 동물 단백질 급원을 대체할 경우, 소의 15분의 1, 돼지의 5분의 1, 가금류의 2분의 1에 해당하는 양의 사료만으로 동일한 양의 식량을 생산할 수 있어 그 효율이 매우 높고(Table 1), 사육 기간 중 훨씬 적은 양의 온실가스를 배출하여 환경에 매우 친화적이라는 장점이 있다(Fig. 3)(van Huis A 2013; Oonincx DGAB & de Boer IJM 2012; van Huis A 등 2013). 또한 식용 곤충은 식물성 단백질 급원에 비해 아미노산의 질이 좋고, branched chain amino acids(BCAA) 함량이 높은 등 영양적으로도 우수한 단백질원으로 알려져 있다(Kim HM 등 2015). 이러한 장점들로 인해 전세계적으로 식용 곤충을 식품원료로 인정하는 국가들이 증가하고 있는 추세이며, 대한민국도 이 추세에 동참하고 있다.

국내에서는 백강잠, 누에번데기, 메뚜기를 기존부터 식품으로 이용해왔으며, 이외에 굼벵이와 지네 등 일부 곤충은 약용해왔다. 이러한 가운데, 2015년부터 식품의약안전처로부터 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 유충과 쌍별 귀뚜라미(*Gryllus bimaculatus*)가 새롭게 일반식품원료로 인증을 받아 식품공전에 등록되었으며, 민간에서 '굼벵이'로 불리는 흰점박이꽃무지(*Protaetia brevitarsis*) 유충과 장수풍뎅이(*Allomyrina dichotoma*) 유충이 한시적 식품으로 인증을 받은 상태이다. 식량의 부족으로 인하여 '식량안보(food security)'의 개념이 대두되는 가운데, 대한민국의 식량 자급률은 20% 수준으로 OECD 국가 중 최하위에 머물고 있으며, 특히 사료 작물에 대한 식량자급률이 낮은 상황에서 식용 곤충은 국내에서 중요한 단백질 공급원으로 이용될 수 있는 가능성이 농후하다.

Table 1. Feed conversion effeciencies of animal protein sources

Protein sources	Feed conversion effeciency (kg of feed/kg of live weight	Feed conversion effeciency considering edible portion (kg of feed/kg of edible weight)
Milk	0.7	0.7
Carp	1.5	2.3
Eggs	3.8	4.2
Poultry	2.5	4.5
Pork	5.9	10.7
Beef	12.7	31.7
Cricket	1.7	2.1

(<Ref.> van Huis A 2013; Smil V 2002)

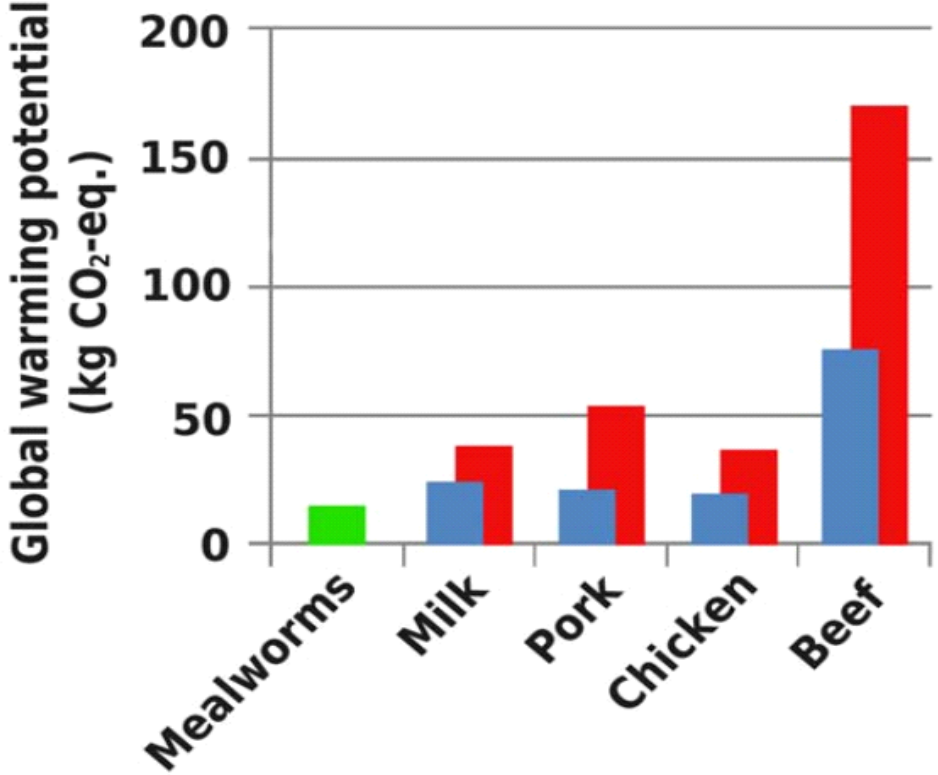


Fig. 3. Global warming potential (GWP) of animal protein sources (<Ref.> Oonincx DGAB & de Boer IJM 2012)

2. 갈색거저리 유충의 특성 및 연구 현황

갈색거저리 유충은 딱정벌레목 거저리과에 속하는 식용 곤충으로, 영문명은 mealworm, 학명은 *Tenebrio molitor L.*이다. 갈색거저리는 전세계적으로 널리 분포하고 있는 곤충으로 저장된 곡식을 주로 먹이로 하여 인간의 주변에 가깝게 서식하고 있으며, 이전부터 생태와 생체 구조 및 생체 내 메커니즘, 먹이에 따른 성장 효율 등에 관하여 많은 연구가 진행되었다(Hosen M 등 2004; Meyer DH & Meyer WL 1975; Li LY 등 2013). 또한 대량 사육에 적합한 특성을 고려하여 물고기, 생쥐 및 다양한 동물의 사료화에 대한 연구(Ng WK 등 2001; Martin RD 등 1976; Roncarati A 등 2015)가 꾸준히 진행되었다. 사람의 식량 공급원으로 이용하기 위한 연구로는 주로 기초적인 연구로써, 일반성분, 아미노산 조성, 지방산 조성, 비타민 및 무기질 등 기본적인 영양소에 관한 연구가 꾸준히 진행되었으며(Ghaly AE & Alkoaik FN 2009; Fraenkel G 1950; Ravzanaadii N 등 2012; Siemianowska E 등 2013), 안전성(Han SR 등 2016; Belluco S 등 2015), 알레르기 관련 연구(Vehoeckx KC 등 2013; Broekman H 등 2014) 등이 진행되었다. 이 중 안전성에 대해서는 식용곤충의 경우 주로 안전성을 위협하는 요인으로 미생물, 독성 물질, 기생충, 알레르기 등이 언급되고 있으나, Belluco S 등(2015)은 갈색거저리 유충의 경우에는 기생충과 독성 물질에 대해서는 안전하나, 내재된 미생물이 많고, 일부 알레르기 유발 가능성이 있다고 하였다. 따라서 갈색거저리 유충은 적절한 처리를 통해 미생물을 효과적으로 살균할 필요성이 있으며, 제품의 미생물 안전성을 주의깊게 살펴 볼 필요성이 있다. 갈색거저리 유충에는 많은 미생물이 내재되어 총균수가 8 log CFU/g을 초과하는 것으로 알려져 있으며, 여기에는 젖산균, 장내 세균, 곰팡이 등이 골고루 분포하고 있다(Vandeweyer D 등 2017). Stoops J 등(2016)은 내재 미생물을 동정한 결과 다양한 균총이 존재하였으며, propionibacterium 종이 22.2%로 가장 그 비율이 높았다고 하였다(Fig. 4).

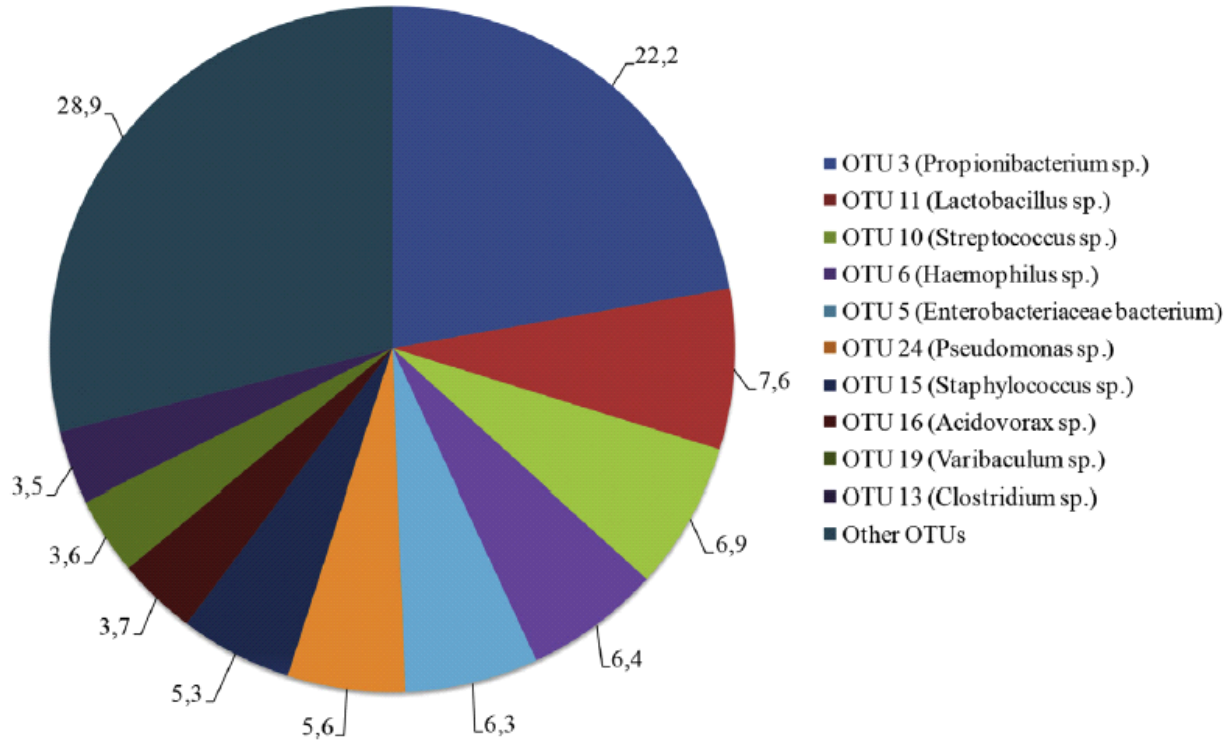


Fig. 4. Relative abundance of the bacterial community (%) of mealworm (<Ref.> Stoops J *et al.* 2016)

갈색거저리 유충의 또다른 위험 요소인 알레르기에 관한 연구 결과, Broekman H 등(2015)은 갈색거저리 유충을 열처리 하면 알레르기 물질이 물리적인 구조 변화로 용해도는 증가하나, 알레르기 유발 정도는 감소하지 않아 주의가 필요하다고 하였으며, Vehoeckx KC 등(2013)은 갑각류와 집먼지 진드기에 알레르기가 있는 사람의 경우 갈색거저리 유충에 의해 알레르기가 유발될 가능성이 크다고 하였다. 또한 곡물 알레르기나, 곤충 알레르기가 있는 경우에는 접촉 또는 먼지의 흡입만으로도 심각한 알레르기가 발생할 수도 있으며, anaphylaxis shock를 경험하는 환자도 있다고 하여 알레르기가 있는 사람은 반드시 취급 및 섭취에 주의가 필요하다(Bernstein DI 등 1983; Freye HB 등 1996). 갈색거저리 유충을 섭취하는 경우에는 일반적인 식품 중 새우와 알레르기 유발 물질이 가장 비슷하여 새우에 알레르기가 있는 사람의 경우 갈색거저리 유충에도 비슷한 정도로 알레르기가 유발된다고 알려져 있다(Broekman H 등 2016). 이에 대하여 van Broekhoven S 등(2016)은 갈색거저리 유충 내 알레르기 유발 단백질(allergen)을 allergen database를 이용하여 일부 동정하였으며, 근육에 주로 분포하는 단백질인 actin, myosin 계열의 단백질이 주된 알레르기 유발 물질인 것으로 확인되었다(Table 2).

Table 2. Allergenic proteins of mealworms identified by NCBI database using MALDI-MS/MS

Band #	Protein	Accession	Calculated MW (kDa)	Score	Sequence coverage (%)
Cross-reacting with HDM allergic serum pool					
1	Predicted: paramyosin long form	XP_970719.1	101.90	128	12
2	Chain A, structure of *Tenebrio molitor* larval α-amylase in complex with Ragi bifunctional inhibitor	1TMQ_A	51.70	555	39
3	Actin	P90689	41.97	228	33
4	Actin-2	Q9Y707	41.98	81	21
5	–	–	–	–	–
6	Predicted: similar to larval cuticle protein A1A (TM-A1A) (TM-LCP A1A)	XP_975673	26.71	66	9
7	–	–	–	–	–
8	Hexamerin 1B precursor	XP_966959	93.78	362	17
9	Muscle myosin heavy chain	CAA37309	135.63	269	12
10	Muscle myosin heavy chain	CAA37309	135.63	410	14
Cross-reacting with crustacean allergic serum pool					
1	Actin beta/gamma 1	GAA36800	35.71	235	43
2	Tropomyosin 1, isoform A	NP_524360	29.34	152	38
3	–	–	–	–	–
4	–	–	–	–	–
5	Tropomyosin	P31816	32.45	200	40
6	Tropomyosin, partial	AGJ71763	30.79	139	31
7	–	–	–	–	–

(<Ref.> van Broekhoven S *et al.* 2016)

갈색거저리 유충을 식품 소재로 이용하기 위하여 안전성에 대한 연구가 비교적 많이 진행된 반면, 식품 재료로써 갈색거저리 유충의 물리화학적인 특성을 분석한 연구는 매우 미미한 상황이다. 특히 구성 성분 중 미량 성분의 정량, 물리화학적인 특성, 미량 생리활성 성분 분석 등 심화적인 연구는 거의 진행된 바가 없어 갈색거저리 유충을 산업적으로 적용하기에는 기초 연구가 부족하다. 갈색거저리 유충의 물리화학적인 연구는 갈색거저리 유충 내 일부 단백질의 분리 및 정성 연구, 겔 형성능에 대한 연구(Table 3) 등 단백질 특성과 관련된 몇몇 연구(Broekman H 등 2015; Liya Yi 등 2013)와 갈색거저리 유충 기름의 일부 물리화학적 특성과 저장성에 대한 연구(Jeon YH 등 2016) 등이 진행되었으나, 실질적인 식품 소재화를 위해서는 추가적인 연구가 필요한 상황이다. 또한 아직은 식용 곤충에 대하여 회의감과 역겨움 등 거부감을 표현하는 소비자가 많아 곤충의 식량화는 일부 한계에 부딪혀있으므로(Verbeke W 2015), 다양한 가공을 통하여 소비자의 기호성을 높일 필요성이 있다. Megido RC 등(2014)은 갈색거저리 유충을 적절히 처리하는 경우 소비자의 기호성이 높았다고 하였으며(Fig. 5), Min KT 등(2016)은 쿠키에 갈색거저리 유충 분말을 추가한 경우 고소한 맛이 증가하여 대조군보다 더 높은 기호성을 나타내었다고 하였다.

따라서 갈색거저리 유충을 식품 재료로 이용하기 위해서는 산업적인 가공 적성에 대한 연구가 필요한 실정이라 할 수 있다. 또한 갈색거저리 유충은 antifreeze protein (AFP)과 같은 독특한 생리활성 물질을 일부 함유하고 있고(Hansen TN & Baust JG 1988), 다양한 항균 펩타이드(Haine ER 등 2008; Long S 등 2012)와 다양한 항산화성 펩타이드(Zhang LS 등 2009) 등을 함유하고 있다. 따라서 적절하게 산업적으로 처리하면 영양성과 기호성이 높은 새로운 식품 소재를 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 3. Gel formation properties of supernatant fractions of edible insects

	pH 3	pH 5	pH 7	pH 10
3%				
T. molitor supernatant	X	A	A	X
A. diaperinus supernatant	X	A	A	X
Z. morio supernatant	X	A	A	X
A. domesticus supernatant	X	A	O	X
B. dubia supernatant	X	A	A	X
30%				
T. molitor supernatant	X	V	O	O
A. diaperinus supernatant	X	V	O	O
Z. morio supernatant	X	V	O	O
A. domesticus supernatant	X	V	O	O
B. dubia supernatant	X	V	O	O

(X: no gel formation, A: aggregation, V: viscous fluid, O: gel formation)

(<Ref.> Liya Yi *et al.* 2013)

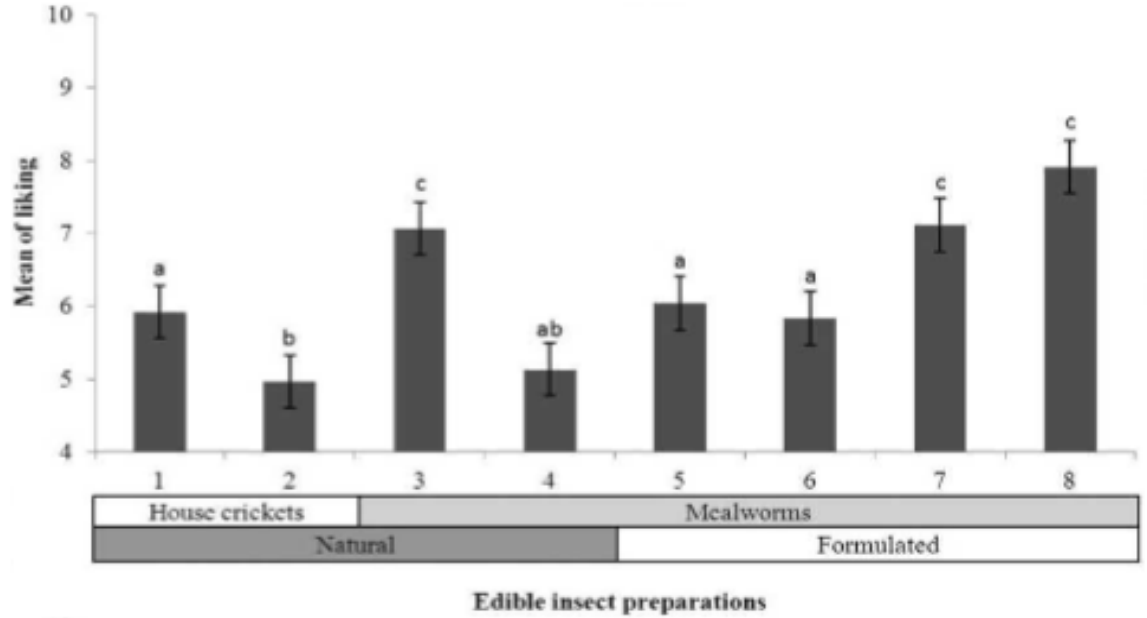


Fig. 5. Preference scores of house crickets and mealworms by different preparation (1) House crickets baked (2) House crickets boiled (3) Mealworms baked (4) Mealworms boiled (5) Crushed mix of two insects (6) Mealworms with vanilla (7) Mealworms with paprika (8) Mealworms with chocolate

(<Ref.> Megido RC *et al.* 2014)

Ⅲ. 갈색거저리 유충의 산업적 희생법 확립과 구성 성분의 특성

1. 서론

살아있는 갈색거저리 유충을 산업적으로 이용하기 위한 식품 재료로 만들기 위해서는 먼저 적절한 희생법의 확립이 중요하다. 적절한 희생을 거치지 않으면 갈색거저리 유충 개체별로 희생 시간이 달라지고, 이를 통하여 개체마다 서로 다른 외관과 부패도를 가진 결과물이 발생할 수 있어 그 품질이 크게 하락하게 된다. 일반적으로 동물을 희생하는 방법에는 냉각에 의한 희생법, 이산화탄소를 이용한 희생법, 가열에 의한 희생법 등을 이용할 수 있으나, 이산화탄소를 이용한 희생법의 경우에는 적절한 설비 또는 도구가 필요하고 시간 및 비용의 증가가 큰 단점이 있다. 따라서 갈색거저리 유충의 적절한 희생법을 확인하기 위하여 비가열 희생법으로 냉각에 의한 희생, 소니케이션에 의한 희생 등 2가지의 방법을 설정하고, 가열 희생법으로는 블랜칭법에 의한 희생과 볶음에 의한 희생 등 2가지 방법을 함께 설정하여 가장 적절한 희생법을 확인하고자 하였다. 이 중 블랜칭은 끓는 물에 재료를 담그는 방법으로, 곤충을 희생할 때에 이를 적용하게 되면 뜨거운 물이 빠르게 곤충 내로 침투하여 단시간에 희생시켜 희생 동안의 변질을 억제하며, 효소의 불활성화 및 일부 살균 효과도 함께 거둘 수 있어 고루 장점을 갖춘 희생 방법으로, 현재 산업계에서 가장 많이 활용되고 있는 방법으로 알려져 있다.

희생된 곤충은 냉장 또는 냉동 보관을 통하여 이후 가공 시까지 저장하게 되는데, 냉동 보관 시에는 저장 비용이 크게 증가하고 냉동 및 해동 과정을 거치면서 그 특성이 크게 변할 수 있다. 하지만 냉장 저장을 통하여 희생된 곤충을 저장할 경우에는 높은 단백질과 지질 함량에 의해 산패가 쉽게 일어나며, 특히 갈색거저리 유충은 원래 비교적 많은 내재

된 미생물을 지니고 있어(Rumpold BA 등 2014), 산화 및 위생 안전성에 대한 연구가 필요한 실정이다. 따라서 갈색거저리 유충을 블랜칭 법을 통하여 희생한 후 4℃에서 총 42일까지 냉장보관하면서 색도, 적정 산도, 과산화물가, 산가, TBARS 함량, 휘발성염기질소 함량, 일반세균수 및 대장균 검출 시험 등을 시행하여 갈색거저리 유충의 단백질 및 지질 산화 안정성과 위생안정성을 확인하고자 하였다.

희생된 갈색거저리 유충은 건조 효율이 좋고 비용이 낮아 산업적으로 많이 이용되고 있고, 또한 가정에서도 비교적 저렴한 가격에 구입할 수 있는 건조기에 적용되는 방식인 열풍건조법을 이용하여 건조된 식품 재료 형태를 제조하였다. 이는 실제로 산업적으로 유통될 수 있는 가장 기초적인 제품의 형태로써, 실제 소비자가 구입하고 섭취하는 식품 재료로 생각할 수 있다. 그러나 갈색거저리 유충을 식품으로 이용할 때, 어떠한 구성 성분으로 이루어져 있으며 또한 그 구성 성분이 어떠한 특성을 지니고 있는지에 대한 연구는 기초적인 수준의 연구만 찾아볼 수 있으며, 특히 미량 생리활성 성분에 대한 연구는 거의 전무한 상황이다. 또한 기존의 연구는 생체 자체에 대한 연구만 진행되어 실제 섭취되는 형태에 대한 성분 분석은 찾아볼 수 없었다.

따라서 본 연구에서는 실제로 식품 재료로 활용할 수 있는 전처리가 완료된 형태의 갈색거저리 유충을 준비하고, 이에 대한 구성성분 분석을 진행함으로써 실제 섭취되는 형태의 갈색거저리 유충의 영양성을 파악하고자 하였다. 갈색거저리 유충의 구성 성분 분석은 먼저 일반성분 분석을 통해 다량 영양소의 비율을 분석한 뒤, 단백질, 지질, 탄수화물 등 다량영양소에 대한 세부적인 성분과 특성을 분석하고자 하였으며, 또한 양이온 및 음이온과 같은 미량영양소 함께 기능성 성분으로 알려진 미량영양성분 또한 함께 분석하고 추출물의 항산화성을 확인하는 등 갈색거저리 유충의 영양적 가치와 함께 구성 성분의 특성을 함께 알아보고자 연구를 진행하였다.

2. 실험 방법

2.1. 갈색거저리 유충의 적절한 희생법 확립

2.1.1. 시료의 제조

본 실험의 갈색거저리 유충은 경기도 인근의 농가에서 식용으로 사육한 것을 구입하여 이용하였다. 갈색거저리 유충은 3일간 절식시킨 뒤, 깨끗한 물로 2-3회 세척하고 페이퍼 타올로 물기를 제거하여 준비하였다. 냉동 희생은 −20℃에서 3일, 소니케이션 희생은 50℃에서 6 min 동안 진행하였고, 블랜칭 희생은 곤충 무게의 10배의 끓는 물(95-100℃)에 6 min 동안, 볶음 희생은 150℃의 뜨거운 팬에서 6 min 동안 처리하여 갈색거저리 유충을 희생하였다. 블랜칭 희생한 유충에 대해서는 산업용 중적외선 조사기(MS3-6; Lichtzen, Gunpo, Korea)를 이용하여 110℃에서 6 min 동안 처리한 복합 처리 시료를 추가로 제조하였다. 제조된 5가지 원시료는 산업용 열풍건조기(LH.FC-PO-150; Lab house, Pocheon, Korea)를 이용하여 60℃에서 12 h 동안 건조한 뒤, 산업용 핀밀(GRC-10; Garyeo, Siheung, Korea)을 이용하여 분말화하였다. 제조된 분말 시료의 사진은 Fig. 6에 나타내었다.

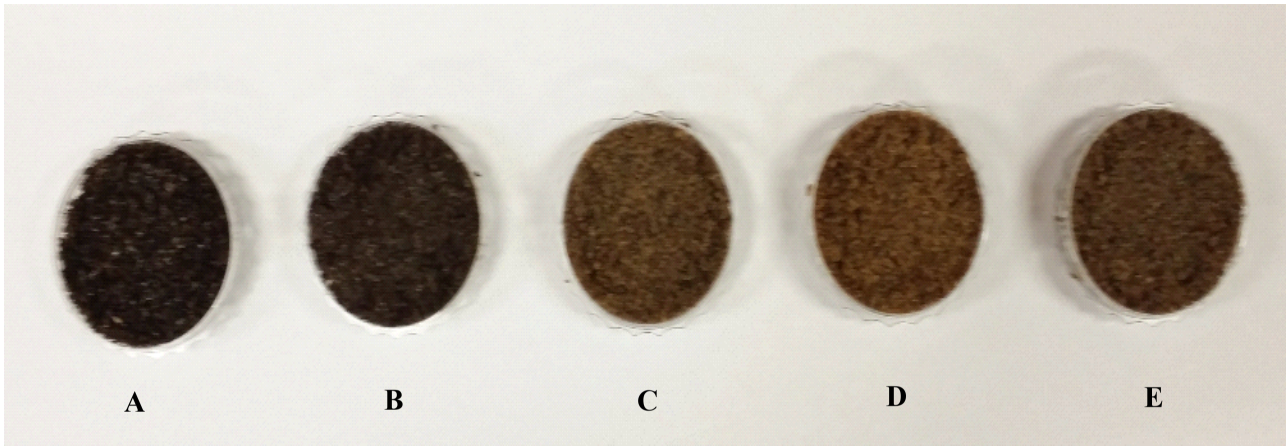


Fig. 6. Images of mealworm powders with different sacrifice conditions

A: freezing, B: sonication, C: blanching, D: blanching and treated with medium wave infrared, E: pan-frying

2.1.2. 구성 성분

2.1.2.1. 일반성분

시료의 수분, 조단백, 조지방, 회분 등 일반성분 측정은 각각 상압가열 건조법, 킬달분석법, soxhlet 추출법, 직접회화법으로 측정하였으며, AOAC (1995)의 방법 932.06, 925.09, 923.03 등에 따라 실험하였다. 탄수화물의 함량은 전체 중 수분, 조단백, 조지방, 회분의 함량을 뺀 비율로 구하였다.

2.1.2.2. 유리아미노산

시료의 유리아미노산 함량은 Godel H 등(1984)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 갈색거저리 유충 분말에 증류수를 가하여 추출한 다음(1:10, w/v), 2,000×g에서 20 min 동안 원심분리 하였다(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Incheon, Korea). 이후 상층액을 취하여 0.2 μm의 PTFE filter로 여과한 것을 분석 시료로 이용하였다. 준비된 분석 시료 및 아미노산 표준품은 borate buffer와 Fluorenylmethyloxycarbonyl chloride (FMOC), o-phthaldialdehyde/2-mercaptopropionic acid (OPA)와 혼합한 뒤에 HPLC에 주입하여 분석하였다. 분석 조건은 Table 4와 같았다.

Table 4. Operating conditions for analyzing free amino acid contents

Instrument parameter	Condition	
Model	Ultimate 3000 (Thermo Scientific Dionex, Waltham, MA, USA)	
Detector	1. UV detector: 338 nm 2. FL detector Excitation: 340 nm, Emission: 450 nm (OPA) Excitation: 266 nm, Emission: 305 nm (FMOC)	
Column	VDSpher 100 C 18-E (4.6×150 mm, 5 μm) (VDS optilab, Berlin, Germany)	
Mobile phase	A: 20 mM sodium phosphate monobasic (pH 7.8) B: water/acetonitrile/methanol (10:45:45, v/v)	
Gradient condition	Time (min)	%B
	0	0
	24.0	57
	24.5	100
	26.0	100
	26.5	0
	30.0	0
Flow rate	1.5 mL/min	
Injection volume	0.5 μL	
Temperature	Column: 40℃ Sample: 20℃	

2.1.2.3. 양이온 및 음이온

양이온 및 음이온의 함량 분석은 이온크로마토그래피(ICS)를 이용하여 측정하였으며, 양이온 4종과 음이온 2종을 측정하였다. 분석 조건은 Table 5-1(양이온), 5-2(음이온)와 같았다.

Table 5-1. Operation conditions of ICS (cations)

Instrument parameter	Condition
Model	Dionex ICS3000 (Thermo Scientific Dionex, USA)
Detection mode	Suppressed conductivity, CSRS URTRA (4 mm), recycle mode
Column	IonPac CS12A (4×250 mm) (Thermo Scientific Dionex, USA)
Mobile phase	20 mM methanesulfonic acid (MSA)
Flow rate	1 mL/min
Injection volume	25 μL

Table 5-2. Operation conditions of ICS (anions)

Instrument parameter	Condition	
Model	Dionex ICS3000 (Thermo Scientific Dionex, USA)	
Detection mode	Suppressed conductivity, ASRS URTRA Ⅱ (4 mm), recycle mode	
Column	IonPac AS20 (4×250 mm) (Thermo Scientific Dionex, USA)	
Mobile phase	Time (min)	Eluent
	0 - 8	15 mM KOH
	8 – 17	40 mM KOH
	17 - 20	15 mM KOH
Flow rate	1 mL/min	
Injection volume	25 μL	

2.1.3. 물리화학적 특성

2.1.3.1. 색도

시료의 색도는 분말 형태의 시료를 4 g씩 35Φ petri dish (SPL Life Sciences, Pocheon, Seoul)에 담아 색차계(CM-3500d; Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 광원 조건은 D65-10°로 하였으며, 각 시료별로 5회 반복 측정하였고, Hunter Lab 색체계를 이용하여 값을 나타내었다.

2.1.3.2. 수분흡착력 및 유분흡착력

수분흡착력(water adhesion capacity, WAC)과 유지흡착력(oil adhesion capacity, OAC)의 측정은 Cho SA 등(2013)의 방법에 따라 시행하였다. 10 mL의 증류수 또는 콩기름(Sajo, Seoul, Korea)을 15 mL 튜브에 담은 뒤, 0.5 g의 갈색거저리 유충 분말을 가하였다. 이후 상온에서 1 h 동안 보관하면서, 매 15 min 마다 강하게 섞어주었다. 최종적으로 1 h이 되었을 때, 원심분리기(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Incheon, Korea)를 이용하여 1,600×g에서 25 min 동안 원심분리 하였으며, 이후 상층액을 제거하고 남은 잔사의 무게를 측정하였다. 건조 분말과 최종 잔사의 무게를 비교하여 분말 1 g 당 수분과 유지의 흡착력을 계산하였다.

2.1.4. 기호도

시료의 기호도는 30명의 비훈련된 서울대학교 학생을 대상으로 검사하였다. 난수표를 각각의 샘플에 부여하고 무작위로 배열된 시료를 제공하였으며, 샘플을 맛보는 중간에 물로 입을 씻어내도록 하였다. 기호도 평가는 7점 척도로 시행하였으며, 1점-극도로 싫다, 4점-싫지도 좋지도 않다, 7점-극도로 좋다와 같이 7점으로 갈수록 기호도가 좋은 것으로 표시하도록 하였다. 분말의 기호도는 외관, 향미, 텍스처, 전체적 기호도 등 4가지 세부 항목으로 나누어 평가하였다.

2.2. 블랜칭 법으로 희생한 갈색거저리 유충의 냉장저장성

2.2.1. 실험재료

살아있는 갈색거저리 유충은 경기도 인근의 농가에서 식용으로 사육된 것을 구입하였다. 갈색거저리 유충을 3일간 절식시켜 장 속의 노폐물을 제거하고, 살아있는 상태에서 흐르는 물로 세척하였다. 갈색거저리 유충의 희생은 10배의 끓는 물(w/v)에 3 min 동안 담가 진행한 후, 물기를 제거하고 250 mL 용량의 플라스틱 밀폐용기(Lock&Lock, Seoul, Korea)에 200 g씩 담아 밀폐하였다. 갈색거저리 유충을 용기에 넣어 밀폐한 채로 4℃의 항온기(BI-1000M; Jeiotech, Daejeon, Korea)에 저장하면서 0, 2, 4, 7, 10, 14, 21, 28, 35, 42일에 각각 시료를 채취하여 믹서기(HR-2860; Philips, Amsterdam, Netherlands)를 이용하여 슬러리 상태로 만든 뒤, 분석에 이용하였다. 실험에 이용된 시약들은 시그마알드리치(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다.

2.2.2. 색도

시료의 색도는 슬러리 형태의 시료를 4 g씩 35Ø petri dish (SPL Life Sciences, Korea)에 담은 뒤, 2.1.3.1.에 제시한 방법에 따라 색차계(CM-3500d; Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였다.

2.2.3. 산화 지표의 측정

2.2.3.1. 적정 산도

적정 산도의 측정은 Kim SY 등(2015)의 방법을 참고하여 분석하였다. 시료 10 g을 증류수를 이용하여 희석한 뒤(1:10, w/v), Whatman No.1 여과지(Whatman, Buckinghamshire, UK)로 여과한 여액에 pH 8.30이 될 때까지 0.1 N NaOH 용액으로 적정하였다. 적정 산도는 적정에 사용된 0.1 N NaOH의 총량에 0.009008을 곱하여 시료 중 젖산 함량(%, w/v)으로 환산하였으며, pH 측정에는 pH meter (S20 SevenEasy pH meter; Mettler-Toledo Inc., Columbus, OH, USA)를 이용하였다.

2.2.3.2. 과산화물가

과산화물가 측정은 Lee MH 등(2014)의 방법을 참고하여 식품공전(Ministry of Food and Drug Safety 2015)에 따라 실시하였다. 시료 5 g에 아세트산과 클로로포름 혼합용액(3:2, v/v) 25 mL를 가하고, KI 포화용액 1 mL를 가하여 강하게 교반한 뒤, 암실에 10 min 동안 방치하여 반응시켰다. 여기에 증류수 75 mL를 가한 뒤에 지시약으로 1% 전분 용액 1 mL를 넣어준 뒤, 0.01 N $Na_2S_2O_3$ 용액으로 청남색이 소실되는 시점까지 적정하는데 소요된 양을 이용하여 값을 계산하였다.

2.2.3.3. 산가

산가의 측정은 식품공전(Ministry of Food and Drug Safety 2015)에 따라 실시하였다. 시료 5 g에 에틸에테르와 에탄올 혼합 용액(2:1, v/v) 100 mL를 넣고 진탕시킨 후, 지시약으로 1% 페놀프탈레인 용액을 100 μL 넣어준 뒤, 0.1 N KOH in ethanol 용액을 이용하여 미홍색이 30 sec 이상

유지되는 때까지 적정하는데 소요된 양을 이용하여 그 값을 계산하였다.

2.2.3.4. TBARS

TBARS 함량은 Buege JA & Aust SD (1978)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 5 g을 취한 뒤, 증류수를 이용하여 2배로 희석하고(1:2, w/v) 균질기(T18 basic Ultra Turrax; IKA Works, Freiburg, German)로 18,000 rpm에서 30 sec 동안 균질화 하였다. 15% trichloroacetic acid-0.375% thiobarbituric acid-0.25 N hydrochloric acid 용액 2 mL와 균질화된 시료 용액 1 mL를 잘 섞은 뒤, 95℃의 항온수조(BS-21; Jeiotech, Korea)에서 15 min 동안 반응시키고, 원심분리기(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea)를 이용하여 1,000×g에서 10 min 동안 원심분리한 뒤, 상층액을 취하여 큐벳에 담아 분광광도계(Optizen 2010 UV; Mecasys, Daejeon, Korea)로 535 nm에서 흡광도를 측정하였다. 공시험은 증류수를 이용하여 같은 방법으로 실행하였으며, TBARS 함량은 malonaldehyde를 이용하여 같은 방법으로 측정한 뒤 표준 곡선을 그리고, 이를 이용하여 시료 중의 malonaldehyde 함량을 환산하였다.

2.2.3.5. 휘발성 염기질소

휘발성 염기질소(volatile basic nitrogen, VBN)의 함량은 Oh SC 등(2000)의 방법을 변형하여 conway dish를 이용한 미량확산법으로 측정하였다. 시료 5 g을 취한 뒤, 10% trichloroacetic acid 용액 5 mL와 증류수 15 mL를 가하여 200 rpm에서 30 min 동안 교반하였다(SI600R; Lab Companion, Daejeon, Korea). 이를 Whatman No.1 filter paper (Whatman, UK)를 이용하여 여과한 뒤, 50 mL로 정용하였다. 이 중 1 mL를 취하여 conway dish의 외실 한 쪽에 넣고, 내실에 0.01 N H_2SO_4 용액을 1 mL 취한 뒤, K_2CO_3 포화 용액을 외실의 다른 한 쪽에 넣고 덮개를 덮어 밀봉하였다.

외실의 용액끼리 서로 혼합될 수 있도록 용기를 가볍게 흔들어 섞어준 뒤, 40℃의 항온기(BI-1000M; Jeiotech, Korea)에서 90 min 동안 방치하였다. 그 뒤에 덮개를 열고 내실에 brunswik 용액 50 μL를 첨가한 뒤, 0.01 N NaOH 용액으로 붉은색의 용액이 청록색으로 변하는 시점까지 적정하여 휘발성 염기질소 함량을 구하였다.

2.2.4. 일반세균수 및 대장균

일반세균수는 시료를 0.9% 생리식염수로 연속 희석법을 이용하여 희석한 뒤, 희석액 1 mL를 3M 필름 배지(Petri film aerobic count plate; 3M Science, St. Paul, MN, USA)에 접종하여 37±1℃의 항온기(BI-1000M; Jeiotech, Korea)를 이용하여 48 h 배양한 후에 생성된 붉은색의 집락수를 이용하여 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 구하였다. 대장균 검출 시험은 10배(w/v) 희석한 시료를 3M 대장균용 필름 배지(Petri film EC count plate; 3M Science, USA)에 접종한 후, 혐기조건으로 37±1℃에서 48 h 배양하여 대장균 검출을 확인하였다.

2.3. 블랜칭 희생 후 열풍건조한 갈색거저리 유충의 구성 성분 특성

2.3.1. 블랜칭 희생 후 열풍건조한 갈색거저리 유충 시료 제조

살아있는 갈색거저리 유충을 준비하여 3일간 절식 기간을 거친 뒤, 흐르는 물에 3회 씻은 후 5배의 끓는 물에 3 min 동안 담가 희생하였다. 희생한 갈색거저리 유충은 체에 올려 30 min 동안 방치하여 물기를 1차로 제거한 뒤, 페이퍼 타올을 이용하여 겉면의 물기를 최대한 제거하였다. 블랜칭한 갈색거저리 유충은 산업용 열풍건조기(LH.FC-PO-150; Lab house, Korea)로 60℃에서 12 h 동안 열풍건조 하여 준비하였다. 이후 분석을 위하여 분쇄기(HR-2860; Philips, Netherlands)를 이용하여 30 mesh (535 μm) 이하로 시료를 분쇄하였다.

2.3.2. 일반성분

시료의 수분, 조단백, 조지방, 회분 등 일반성분 측정은 2.1.2.1.에 제시한 방법대로 시행하였다.

2.3.3. 단백질 특성

2.3.3.1. 실험 재료

갈색거저리 유충의 단백질 특성을 조사하기 위하여 2.3.1.에 제시한 블랜칭 희생 후 열풍건조한 갈색거저리 유충 전지분(whole-fat mealworm powder; WF)을 활용하여 4가지 물질을 제조하였다.

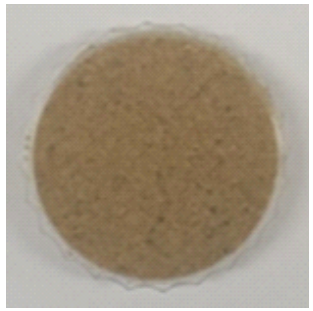
먼저, 단백질 추출 효율을 높이기 위하여 WF에 고온가압을 가하여 추출물을 제조하였다(mealworm extracts without enzyme treat; EX). 이를 위하여 WF 시료를 준비한 뒤 10배의 증류수(1:10, w/v)를 가하고, 8 h 동안 121℃에서 1.3 kgf/cm^{2}의 압력 하에 추출하였다. 추출된 액은 원심분리기(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea)를 이용하여 2,000×g에서 10 min 동안 원심분리한 뒤, Whatman No.1 여과지(Whatman, UK)를 이용하여 여과하여 이를 최종 EX 추출물로 하였다. EX 시료를 제조한 뒤에는 추출된 단백질을 일부 분해한 시료를 제조하여 특성의 변화를 함께 확인하고자 하였다. 고온가압추출액의 효소 처리 시료(mealworm extracts with enzyme treat; EO)의 제조를 위하여 EX 시료를 40℃까지 식힌 뒤, Protamex와 Alcalase (Novozymes, Bagsværd, Denmark)를 각 0.2%씩 추출액에 동시에 투입하고 5 h 동안 교반처리 하였다. 이후 다시 90℃까지 추출액의 온도를 높인 뒤, 30 min 동안 유지하여 효소를 불활성화하였다. 이후 원심분리기(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea)를 이용하여 2,000×g에서 10 min 동안 원심분리한 뒤, Whatman No.1 여과지(Whatman, UK)로 여과하여 이를 최종 EO 추출물로 하였다. 추출된 EX와 EO는 동결건조 한 뒤, 실험에 이용하였다.

갈색거저리 유충 용매 탈지분(mealworm powder defatted with solvent; SDF)의 제조는 Jeon YH 등(2016)의 방법을 참고하여 실시하였다. 기름의 추출은 n-hexane을 이용한 용매 추출법으로 하였으며, 120 g의 WF에 600 mL의 n-hexane을 첨가한 뒤(1:5, w/v), 교반기를 이용하여 170 rpm에서 6

h 동안 교반하였다(SI600R; Lab Companion, Korea). 추출된 용액은 No. 1 filter paper (Whatman, UK)를 이용하여 걸러준 뒤, 남은 잔사는 같은 방법으로 2회 더 반복 추출하였다. 이후 기름이 제거된 잔사는 넓은 플레이트에 펼친 뒤, 상온의 후드 내에서 24 h 동안 1차로 건조하고 speed vacuum evaporator (Maxivac alpha; Labogene ApS, Lynge, Denmark)를 이용하여 7 mmHg 이하의 압력에서 2,000 rpm으로 조건을 맞추고, 챔버의 온도를 40℃로 조절하여 24 h 동안 2차로 건조하여 n-hexane을 제거하였다. 건조된 잔사는 다시 분쇄기(HR-2172; Philips, Netherland)로 42 mesh (355 μm)의 체를 통과할 때까지 분쇄하여 최종 용매 탈지 분말 시료로 이용하였다.

Mealworm protein isolate (MPI)의 제조는 SDF를 재료로 하여 Sharma L & Singh C (2016)의 방법을 토대로 시행하였다. SDF 시료를 20 g 취하여 삼각플라스크에 넣은 뒤 증류수를 가하고(1:10, w/v), 1.0 N NaOH를 이용하여 SDF 시료 내 단백질의 수용도가 가장 높았던 pH인 pH 12로 pH를 조절하였다. 이후 교반기(SI600R; Lab Companion, Korea)를 이용하여 220 rpm에서 1 h 동안 교반하였다. 수용액을 2,000×g에서 20 min 동안 원심분리(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea)하여 상층액만 취하고 잔사는 버린 뒤, 수용액을 계속하여 교반하면서 1.0 N HCl을 이용하여 수용액의 pH를 4.5로 조정하였다. 이후 다시 2,000×g에서 20 min 동안 원심분리(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea)하고, 상층액을 모두 제거한 뒤, 잔사를 모아 동결건조한 것을 최종 MPI로 하였다.

제조된 4가지 물질의 사진 및 색도는 갈색거저리 유충 전지분(WF)의 결과와 함께 Fig. 7에 나타내었으며, EX와 EO, MPI의 수율 및 단백질 함량을 Table 6에 나타내었다.



L : 36.95±0.16
a : 0.67±0.06
b : 0.54±0.03

WF

L : 71.59±0.62
a : 4.28±0.11
b : 12.28±0.32

SDF

L : 63.69±3.29
a : 4.16±0.04
b : 11.53±0.59

MPI

L : 30.61±1.87
a : 1.88±0.52
b : 3.67±0.48

EX

L : 34.72±0.18
a : 3.61±0.08
b : 5.69±0.15

EO

Fig. 7. Pictures of whole- or non-fat mealworm powders, MPI, and mealworm extracts with- or without-enzyme treat

WF: whole-fat mealworm powder, SDF: mealworm powders defatted with solvent (n-hexane), MPI: mealworm protein isolate, EX: mealworm extracts without enzyme treatment, EO: mealworm extracts with enzyme treatment

Table 6. Yields and protein contents of mealworm extracts and mealworm protein isolate

(unit: %, Blanched and hot-air dried mealworm basis)

	EX[1)]	EO	MPI
Yield (%)	20.33±0.18[b2)]	57.39±0.22[a]	13.02±0.30[c]
Crude protein (%)	66.99±0.24[b]	61.83±0.46[c]	91.07±1.05[a]

Data are expressed as mean±SD

[1)]EX: Mealworm extracts without enzyme treatment, EO: Mealworm extracts with enzyme treatment (0.2% Protamex, 0.2% Alcalase), MPI: Mealworm protein isolate

[2)]Different superscripts within rows (a-c) represent significant differences at $p<0.05$

2.3.3.2. 아미노산 분석

2.3.3.2.1. 구성아미노산

갈색거저리 유충 용매 탈지분의 구성아미노산 분석은 Jang MS 등(2009)의 방법을 참고하여 시료를 산분해 한 뒤, Godel H 등(1984)의 방법을 일부 변형한 HPLC 분석법을 이용하여 분석하였다. 시료의 산 분해를 위하여 SDF 시료 0.5 g을 취한 뒤, 6 N HCl 용액을 20 mL 가하고 110℃에서 24 h 동안 가열하여 산가수분해 과정을 진행하였다. 분해액을 여과한 뒤, 여액을 감압 농축하여 건조한 뒤에 다시 25 mL로 정용한 것을 HPLC로 분석하였다. 준비된 분석 시료 및 아미노산 표준품은 borate buffer와 Fluorenylmethyloxycarbonyl chloride (FMOC), o-phthaldialdehyde/ 2-mercapto-propionic acid (OPA)와 혼합한 뒤에 HPLC에 주입하여 분석하였으며, 그 조건은 2.1.2.2.에 제시한 바와 동일하게 측정하였다.

2.3.3.2.2. BCAA 함량

Branched chain amino acid (BCAA) 함량은 구성아미노산 중 BCAA에 속하는 luecine, isoluecine과 valine의 함량을 합하여 구하였다.

2.3.3.2.3. 아미노산가

아미노산가는 Iqbal A 등(2006)에 따라 구성아미노산 함량을 이용하여 계산하였다. 아래의 식으로 각각의 필수아미노산에 대한 아미노산가를 구하고, 가장 낮은 값을 제한 아미노산으로 하여 그 값을 제시하였다. 필수 아미노산 필요량 참고치는 FAO/WHO (1985)의 자료를 참고하였다.

$$Amino\,acid\,score = \frac{Test\,amino\,acid \times 100}{Reference\,amino\,acid}$$

2.3.3.2.4. 유리아미노산

유리아미노산의 분석은 시료를 증류수로 1:10(w/v)으로 희석하고 잘 섞어준 뒤, 2,000×g에서 20 min 동안 원심분리(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea) 하였다. 이후 상층액을 취하여 0.2 μm의 PTFE filter로 여과한 것을 분석 시료로 이용하였다. 준비된 시료의 분석은 2.1.2.2.에 제시된 HPLC 기기 조건에서 동일하게 시행하였다.

2.3.3.3. 단백질의 물리화학적 특성

2.3.3.3.1. pH에 따른 단백질 용해도

pH에 따른 단백질의 용해도 분석은 Morr CV 등(1985)의 방법과 Lawhon JT 등(1972)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. SDF 시료에 증류수를 가한 뒤(1:10, w/v), 계속해서 저어주면서 1 N NaOH, 1 N HCl 용액을 이용하여 pH 2, 3, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12로 수용액의 pH를 각각 조절하였다. pH의 측정은 pH meter (S20 SevenEasy pH meter; Mettler-Toledo Inc., USA)를 이용하였으며, pH가 조절된 수용액은 2,000×g에서 20 min 동안 원심분리(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea)하였다. 이후 상층액 만을 취하여 브래드포드법으로 단백질량을 분석하였으며, pH 12에서 용해된 단백질량을 100%로 하여 각각의 pH에 대하여 단백질 수용도를 비율로 환산하여 나타내었다.

EX, EO, MPI 시료는 SDF와 같은 방법으로 pH를 2, 4, 6, 8, 10, 12로 각각 조정한 뒤, 브래드포드법으로 단백질량을 분석하여 pH 12에서의 용해도를 100%로 하여 각 pH에서의 용해도를 비율로 나타내었다.

2.3.3.3.2. GPC를 이용한 단백질 크기 분포

갈색거저리 유충 시료의 단백질 크기 분포에 대해 분석하기 위하여 gel permeation chromatograph (GPC) 분석법을 활용하였다. GPC는 수용성과 지용성 조건 2가지로 나누어 시행하였다. 수용성 분석은 시료를 0.02 N $NaNO_3$에 1:10(w/v)으로 녹인 후, 2,000×g에서 20 min 동안 원심분리(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea)하여 상층액만 취하여 분석에 이용하였으며, 지용성 분석은 시료를 $CHCl_3$에 1:10(w/v)으로 녹인 후, 2,000×g에서 20 min 동안 원심분리(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea)하여 상층액만 취하여 분석에 이용하였다. 수용성 GPC는 SDF,

MPI, EX, EO 등 4가지 시료 모두를 활용하였으며, 지용성 GPC의 경우 EX와 EO의 경우에는 증류수로 추출하여 제조한 시료이기 때문에 이들은 분석 시료에서 제외하고, SDF와 MPI만 지용성 GPC 분석에 활용하였다. 수용성과 지용성 GPC의 분석조건은 Table 7-1, 7-2와 같았으며, 분자량 확인을 위한 표준품은 polystyrene을 이용하였다. 수용성 GPC는 각각 분자량 106, 430, 1,030, 1,400, 4,290, 6,690, 12,600, 20,600의 polystyrene을 이용하였고, 지용성 GPC는 각각 분자량 1,060, 1,320, 2,780, 6,670, 19,500, 51,200, 126,000, 282,000, 791,000, 1,640,000, 2,580,000, 3,580,000의 polystyrene을 표준품으로 이용하였다. polystyrene 표준품을 이용하여 retention time에 따른 log(molecular weight) 그래프를 그린 뒤, 이를 표준곡선으로 활용하였다.

Table 7-1. Operating conditions for GPC analysis (hydrophillic)

Instrument parameter	Condition
Model	Breeze 2 HPLC system (Waters, Milford, MA, USA)
Detector	RI detector
Column	Waters Ultrahydrogel linear Waters Ultrahydrogel 500 Waters Ultrahydrogel 250 Waters Ultrahydrogel 120 (Waters, USA)
Mobile phase	0.02 N $NaNO_3$
Flow rate	0.8 mL/min
Temperature	Column: 30℃ Sample: 20℃

Table 7-2. Operating conditions for GPC analysis (hydrophobic)

Instrument parameter	Condition
Model	Alliance e2695 HPLC system (Waters, USA)
Detector	RI detector
Column	Waters Styragel HR3 Waters Styragel HR4 Waters Styragel HR5E (Waters, USA)
Mobile phase	$CHCl_3$
Flow rate	1.0 mL/min
Temperature	Column: 35℃ Sample: 20℃

2.3.4. 지질 특성

2.3.4.1. 기름의 추출과 기름 중 비 비누화 물질 제조

갈색거저리 유충 기름의 추출은 Jeon YH 등(2016)의 방법을 참고하여 실시하였다. 기름의 추출은 n-hexane을 이용한 용매 추출법으로 하였으며, 2.3.1.에 제시한 WF 시료로부터 기름을 추출하였다. 120 g의 WF 시료에 600 mL의 n-hexane을 첨가한 뒤(1:5, w/v), 교반기를 이용하여 170 rpm에서 6 h 동안 교반하였다(SI600R; Lab Companion, Korea). 추출된 용액은 No.1 filter paper (Whatman, UK)를 이용하여 걸러준 뒤, 남은 잔사는 같은 방법으로 2회 더 반복 추출하였다. 모아진 용액은 감압농축기(RE111; Bűchi, Flawil, Switzerland)를 이용하여 34℃에서 농축하였다. 농축된 용액에 남은 n-hexane은 질소를 이용하여 휘발시킨 뒤, 1,350×g에서 10 min 동안 원심분리하여(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea) 상층액을 취하여 기름 시료로 이용하였다. 추출은 독립적으로 3번 시행하였으며, 이후 수율을 계산하였다. 추출된 기름의 사진은 Fig. 8에 나타내었다.

기름의 비 비누화 물질 제조는 Cardeno A 등(2014)의 방법을 일부 변형하여 수행하였다. 추출된 갈색거저리 기름 10 g을 취하여 2 N potassium hydroxide in ethanol 100 mL를 첨가하고 80℃에서 2 h 동안 가열하여 비누화하였다. 이에 100 mL의 증류수를 추가하고 잘 섞어준 뒤, 실온에서 30℃까지 냉각하였다. 냉각된 용액은 분별깔때기에 넣어준 뒤, diethyl ether 50 mL를 넣어 4회 반복 추출하였다. 추출된 diethyl ether 층을 모아 다시 분별깔때기에 넣고 100 mL의 물을 투입하여 씻어주면서 중화하였으며, 같은 과정을 씻어낸 용액이 중성이 될 때까지 5-10회 반복하였다. 수층을 완전히 분리해 낸 뒤, 최종적으로 sodium sulphate를 가하여 남은 물을 완전히 제거하였다. 남은 diethyl ether는 진공농축기(RE111; Büchi, Switzerland)를 이용하여 35℃에서 농축하였으며, 질소를 이용하여 모든

용매를 제거한 뒤, 잔사를 다시 105℃의 dry oven에서 15 min 동안 건조하여 남은 ether를 제거하여 최종적으로 남은 잔사를 갈색거저리 유충 기름의 비 비누화 물질로 하였다. 비 비누화 물질의 수율은 동일한 조작을 3번 반복하여 계산하였다.

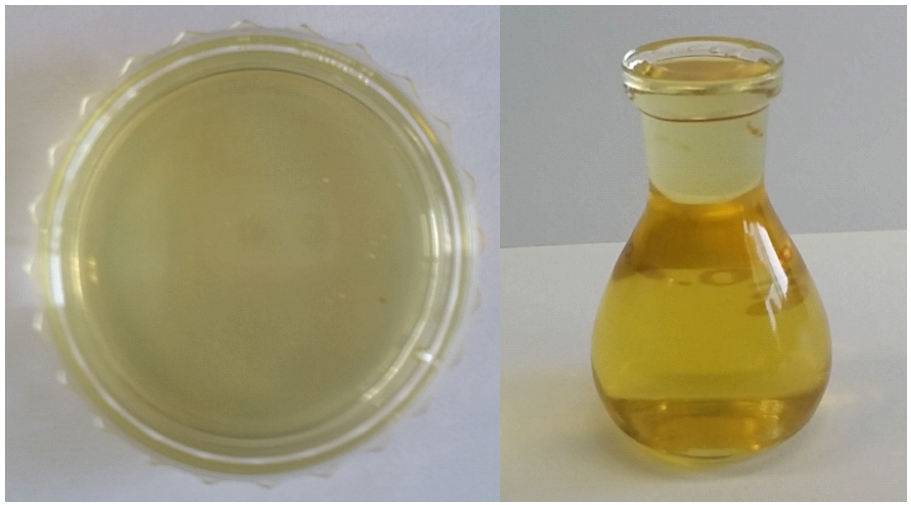


Fig. 8. Pictures of mealworm oil extracted with n-hexane

2.3.4.2. 기름의 구성 성분

2.3.4.2.1. 지방산

갈색거저리 유충 n-hexane 추출 기름의 지방산 분석은 Jeon YH 등 (2016)의 방법에 따라 분석하였다. 추출된 기름 0.25 g을 6 mL의 0.5 N methanol sodium hydroxide와 섞은 뒤, 80℃의 water bath (BS-21; Jeiotech, Korea)에서 10 min 동안 가열하여 메틸화하였다. 이후 기름을 얼음 위에서 식힌 뒤, 7 mL의 14% boron trifluoride methanol을 가하고 다시 80℃의 water bath (BS-21; Jeiotech, Korea)에서 2 min 동안 가열하였다. 용액을 다시 얼음 위에서 상온까지 식힌 뒤 5 mL의 n-hexane을 가하고 1 min 동안 다시 80℃로 가열하였다. 이후 최상층을 취하여 지방산 분석에 이용하였다. 분석은 GC를 이용하여 시행하였으며, 그 조건은 Table 8과 같았다.

Table 8. Operating conditions of fatty acid composition by GC analysis

Instrument parameter	Condition
Model	Agilent 6890 (Agilent Technologies, SantaClara, CA, USA)
Detector	260 flame ionization detector
Column	DB-23 capillary column (30 m×0.25 mm×0.25 μm) (J&W Scientific, Folsom, CA, USA)
Carrier gas	Helium gas
Flow rate	1.3 mL/min
Injection volume	1 μL
Injection mode	Split mode (Split ratio 50:1)

2.3.4.2.2. 토코페롤 함량

갈색거저리 유충 기름의 토코페롤 함량 분석은 Gliszczyńska-Świgło A & Skiorska E (2004)의 방법을 이용하여 시행하였다. 추출된 기름을 1 g 취하여 n-hexane에 녹인 뒤(1:5, w/v), 0.2 μm syringe filter (Advantec MFS; Advantec, Tokyo, Japan)에 거른 것을 시료로 하여 역상 HPLC로 분석하였다. 분석 조건은 Table 9와 같았다. 토코페롤의 정량은 토코페롤 α, β, γ, δ 표준품을 각각 농도별로 녹여 같은 방법으로 분석한 뒤, 면적에 따른 표준곡선을 그려 면적비를 이용하여 계산하였다.

Table 9. Operating conditions for analyzing tocopherol contents by HPLC analysis

Instrument parameter	Condition
Model	Ultimate 3000 (Thermo dionex, USA)
Detector	UV detector (295 nm)
Column	C_{18} Inno Column (4.6×250 mm, 5 μm) (Innopia, Seongnam, Korea)
Mobile phase	100% MeOH
Gradient condition	isocratic flow
Flow rate	1.0 mL/min
Injection volume	10 μL
Temperature	Column: 20℃ Sample: 20℃

2.3.4.2.3. 폴리페놀 함량

추출된 기름의 폴리페놀 함량 분석을 위하여 Gutfinger T (1981)의 방법에 따라 기름에서 폴리페놀을 추출한 뒤, Choi SY 등(2016)과 Singleton VL (1965)의 방법을 일부 변형하여 Folin-Ciocalteu 방법에 따라 폴리페놀 함량을 측정하였다. 먼저 기름의 폴리페놀 층 분획을 위하여 10 g의 기름을 50 mL의 n-hexane에 녹인 뒤, 20 mL의 60% MeOH 용액을 첨가하였다. 용액을 잘 섞어 준 뒤, 분리된 MeOH 층을 받아 40℃에서 감압 농축하였다. 남은 잔사를 모아 다시 1 mL의 100% methanol에 녹인 것을 분석용 추출 용액으로 하였다. 추출물의 폴리페놀 함량 측정을 위하여 시료 60 μL를 취한 뒤, 증류수 300 μL를 가하였다. 이 용액에 Folin-Ciocalteu reagent를 300 μL 가하여 잘 섞은 뒤, 다시 30% Na_2CO_3 용액 240 μL를 가하여 잘 섞고 암실에서 2 h 동안 상온하에 방치하였다. 이후 상층액만을 취하여 765 nm에서 분광광도계(Optizen 2120 UV, Mecasys. Korea)로 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid를 이용하였으며, 기름의 폴리페놀 함량을 기름 1 g 당 mg gallic acid equivalent (GAE)로 환산하였다.

2.3.4.2.4. 스쿠알렌 및 스테롤 계열 물질의 함량

추출된 기름 중 스쿠알렌의 함량과 스테롤 계열 물질의 함량은 Augusta C 등(2010)의 방법을 참고하여 GC-MS를 이용하여 분석하였다. 스쿠알렌은 추출된 갈색거저리 유충 기름을, 스테롤 계열 물질은 2.3.4.1.의 방법에 따라 제조된 갈색거저리 유충 기름 비 비누화물을 이용하여 측정하였으며, 스테롤 계열 물질의 분석을 위해 제조된 비 비누화물을 2.3.4.2.1.에 제시된 방법대로 메틸화하였다. 갈색거저리 유충 기름 또는 메틸화된 비 비누화물 용액은 500 ppm의 5-α-cholestanol (internal standard)이 포함된 chloroform 용액과 혼합한 뒤, 0.2 μm syringe filter (Advantec MFS;

Advantec, Japan)에 거른 것을 시료로 이용하였다. 분석은 GC-MS를 이용하여 시행하였으며, 물질의 정성 및 정량을 위하여 internal 표준품과 함께 콜레스테롤, 스쿠알렌 등 검출하고자 하는 물질을 동일한 조건에서 분석을 함께 시행하여 retention time을 비교하였으며, GC-MS 분석 조건은 Table 10과 같았다.

Table 10. Operating conditions of squalene and sterols by GC-MS analysis

Instrument	Parameter	Condition
GC	Model	ISQ LT (ThermoScientific, USA)
	Detector	260 flame ionization detector (FID) & MS
	Column	VF-5MS (30 m×0.25 mm×0.25 μm) (Agilent, USA)
	Oven condition	120℃ for 5 min 15℃/min to 320℃ 320℃ for 15 min
	Carrier gas	Helium gas
	Flow rate	1.5 mL/min
	Injection volume	1 μL
	Injector temperature	200℃
	Injection mode	Splitless mode

(Continued) Table 10. Operating conditions of squalene and sterols by GC-MS analysis

Instrument	Parameter	Condition
MS	Mass range	35-550 Da
	Transfer line temperature	250℃
	Ion source temperature	250℃
	Analyzer	Quadrupole Single MS-PMT (Photomultiplier detector)
	Aquisition mode	MS scan and SIM
	Ion source	Electron Ionization (EI)

2.3.4.3. 기름의 물리화학적 특성

2.3.4.3.1. 비중

기름의 비중은 Al-Widyan MI & Al-Shyoukh AO (2002)의 연구에 따라 ASTM D1298 방법을 참고하여 분석하였다. 비중병을 이용하여 15℃에서의 기름의 밀도를 측정한 뒤, 15℃에서의 물의 밀도 값을 나누어 기름의 비중을 계산하였다.

2.3.4.3.2. 점도

기름의 점도는 Brookfield DV-IP 점도계(Brookfield, Middleboro, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 기름을 250 mL 비커에 담은 뒤, 20℃의 인큐베이터(BI-1000M; Jeiotech, Korea)에서 2 h 동안 보관하여 기름의 온도를 조정하고, spindle 62를 이용하여 60 rpm의 조건에서 기름의 점도를 측정하였다.

2.3.4.3.3. 색도

기름의 색도는 시료를 4 g씩 35Φ petri dish (SPL Life Sciences, Korea)에 담아 색차계(CM-3500d; Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였다. 광원 조건은 D65-10°로 하였으며, Hunter Lab 색체계를 이용하여 그 값을 나타내었다.

2.3.4.3.4. 과산화물가

과산화물가의 측정은 기름을 2 g씩 취한 뒤, 2.2.3.2.에 제시한 방법과 동일하게 실시하였다.

2.3.4.3.5. 산가

산가의 측정은 기름을 5 g씩 취한 뒤, 2.2.3.3.에 제시한 방법과 동일하게 측정하였다.

2.3.4.3.6. TBARS 함량

TBARS 함량은 기름 2 g을 취한 뒤, 2.2.3.4.에 제시한 방법대로 동일하게 실시하였다.

2.3.4.4. 산화유도기간

산화유도기간의 측정은 rancimat 734(Metrohm, Herisau, Switzerland) 기기를 이용하여 측정하였으며, Caponio F 등(1999)의 연구와 Crane S 등(2005)의 연구를 토대로 실험 조건을 탐구하여 AFNOR NF EN ISO 6886에 부합하게 조건을 확립하였다. 3 g의 기름을 반응 용기에 담은 뒤, 98℃, air flow 20 L/h 의 조건으로 기기의 조건을 맞추어 실험하였다. 참고 시료로써, 비 정제된 밀배아 압착유(Nowfoods, Bloomingdale, IL, USA)와 extra-virgin olive oil (Olivital, Baldissero d'Alba, Italy) 등 2종의 비 정제 압착 식물성 유지를 함께 실험하여 산화유도기간을 비교하였다.

2.3.5. 탄수화물 특성

2.3.5.1. 당 성분 분석

2.3.5.1.1. 총 수용성 당

총 수용성 당의 함량은 Phenol-sulfuric acid 법(Dubois M 등 1956)을 이용하여 측정하였다. SDF 시료 10 g에 증류수를 가하고(1:10, w/v), 70℃의 water bath (BS-21; Jeiotech, Korea)에서 150 rpm 조건 하에 교반하면서 2 h 동안 추출한 뒤, 추출한 용액을 1,000×g에서 10 min 동안 원심분리(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea)하고, 상층액을 Whatman No.1 filter (Whatman, UK)로 여과한 뒤, 100 mL로 다시 정용한 것을 분석 시료로 이용하였다. 분석시료 1 mL에 5% phenol 용액 1 mL를 가하고, 황산 5 mL를 가하여 잘 섞어준 뒤, 30 min 동안 상온 하에서 충분히 발열시켰다. 이후 분광광도계(Optizen 2120UV; Mecasys, Korea)를 이용하여 470 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질은 D-(+)-glucose를 이용하여 동일하게 조작한 뒤 분석하였다.

2.3.5.1.2. 환원당

환원당 함량의 측정은 DNS 법(Miller GL, 1959)을 이용하였다. 2.3.5.1.1.에 제시된 방법과 동일하게 수용성 당을 추출한 시료 1 mL를 취하여 DNS 시약 1 mL를 가하고, 90℃의 water bath (BS-21; Jeiotech, Korea)에서 15 min 동안 반응시켰다. 이후 얼음 위에서 상온이 될 때까지 식힌 후, 분광광도계(Optizen 2120UV; Mecasys, Korea)를 이용하여 570 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 D-(+)-glucose를 동일하게 조작하여 분석한 뒤, 표준곡선을 이용하여 시료 중 환원당 함량을 구하였다.

2.3.5.1.3. 유리당

갈색거저리 유충의 유리당 함량은 Kim KS 등(2007)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. SDF 시료 1 g에 80% 에탄올을 가하여 10 mL로 정용하고 잘 섞어 추출한 후, 상층액을 0.2 μm syringe filter (Advantec MFS; Advantec, Japan)로 여과한 것을 HPLC를 이용하여 분석하였다. 분석조건은 Table 11과 같았으며, 표준물질로써 glucose와 fructose, sucrose, galactose를 동일한 방법으로 준비한 뒤 함께 분석하고 면적비를 이용한 표준 검량선을 작성하여 시료 중 유리당 함량을 환산하였다.

Table 11. Operating condition for free sugar

Instrument parameter	Condition
Model	PU-2089 plus (Jasco, Tokyo, Japan)
Detector	RI detector
Column	C_{18} column (3.9×300 mm, 10 μm, Waters, USA)
Mobile phase	A: Acetonitrile B: Water (A:B = 87:13, v/v)
Flow rate	1.2 mL/min
Injection volume	20 μL

2.3.5.1.4. 고분자 당의 정량

고분자 당의 정량은 식품공전(Ministry of Food and Drug Safety 2015)의 염산을 이용한 산가수분해법을 차용하여 분석하였다. 2.3.5.1.1.에 제시된 대로 수용성 당을 추출한 뒤, 250 mL의 환저플라스크에 추출한 용액 100 mL를 담고 25% HCl 10 mL를 가하여 환류냉각기를 부착하고 98℃의 water bath (BS-21; Jeiotech, Korea)에서 3 h 동안 가열하여 고분자 당을 산분해하였다. 방냉한 분해액은 Whatman No.5 filter (Whatman, UK)로 여과하면서 증류수를 이용하여 염소이온이 여과지에 남아있지 않도록 세척하였다. 여과된 용액은 1 N NaOH 용액을 이용하여 pH 6-7 범위 내로 중화한 뒤, 500 mL로 정용하였다. 정용한 용액을 취하여 2.3.5.1.2.에 제시한 환원당 분석법을 이용하여 환원당 함량을 측정한 뒤, 산 가수분해 과정을 거치지 않은 수용성 당 용액의 환원당 함량과 비교하여 아래의 계산식에 따라 고분자 당의 함량을 정량하였다.

Contents of high-molecular sugar (%)

= (reducing sugar contents of hydrolyzed solution − reducing sugar contents of non-hydrolyzed solution) × 0.9

※ 0.9: factor about molecular weight ratio of glucose and high-molecular sugar

2.3.5.2. 키틴의 함량 및 물리화학적 특성

2.3.5.2.1. 키틴의 정제와 키토산의 제조

키틴의 정제는 Manni L 등(2010)과 Sagheer FAA 등(2009)의 방법을 변형하여 시행하였다.

(1) Deproteinization

SDF 시료 20 g에 400 mL의 1.25 M NaOH solution을 가하고, 24 h 동안 80℃에서 분해하였다. 이를 ashless Whatman No.5 filter (Whatman, UK)로 걸러준 뒤, 충분히 중화될 때까지 잔사를 증류수로 씻어내고, 동결건조 하였다.

(2) Demineralllization

Deproteinization 과정을 거치고 건조된 잔사에 1.5 M HCl을 가하고(1:10, w/v), 6 h 동안 shaker (SI600R; Lab Companion, Korea)에서 상온 하에 shaking하였다. 이를 ashless Whatman No.5 filter (Whatman, UK)로 거르고, 충분히 중화될 때까지 증류수로 잔사를 씻어주었으며, 동결건조 하였다.

최종적으로 deproteinization과 demineralllization과정을 모두 거친 건조물을 키틴 정제물로써 활용하였다.

키토산 제조를 위하여 정제된 키틴 5 g에 50 mL의 50% NaOH 용액을 가하여 80℃에서 4 h 반응시켜 deacetylation하였다. 잔사는 Whatman No.5 filter (Whatman, UK)로 걸러준 후, 증류수로 중화될 때까지 씻어 준비하

였으며, 동결 건조하였다. 최종적으로 얻어진 동결 건조물을 키토산으로 하여 실험을 진행하였다.

2.3.5.2.2. 키틴의 수율

키틴의 수율은 2.3.5.2.1.의 키틴 정제를 3반복 시행한 뒤, 얻어진 키틴의 양을 블랜칭 법으로 희생한 갈색거저리 유충의 건조 중량으로 환산하여 나타내었다.

2.3.5.2.3. 수분 및 단백질량

정제된 키틴에 대해 수분과 단백질량을 측정하였으며, 2.1.2.1.에서 제시한 상압가열건조법과 킬달분석법에 따라 분석하였다.

2.3.5.2.4. 색도 및 백색도

정제된 키틴의 색도는 정제된 키틴 분말을 4 g 취하여 2.1.3.1.에 제시한 방법대로 분석하였다. 백색도(Whiteness Index, WI)는 Hsu CL 등(2003)의 방법에 따라 아래와 같은 계산식으로 계산하여 나타내었다.

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

2.3.5.2.5. FESEM imaging과 EDS를 이용한 원소량 분석

키틴과 키토산의 field-emission scanning electron microscope (FESEM) imaging과 energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS)를 이용한 원소량의 분석은 SUPRA 55VP (Carl-Zeiss-Strasse, Oberkochen, Germany)를 이용하여 측정하였다. 2.3.5.2.1.의 갈색거저리 유충 유래 키틴과 키토산을 준비

하였으며, 이와 함께 shrimp 유래의 α-chitin (Sigma-Aldrich, USA)을 대조군으로 함께 측정하여 그 특성을 비교하였다. 분말 형태의 시료를 stub에 고정한 뒤, 백금 코팅(Sputter coater BAL-TEC/SCD 005; BAL-TEC AG, Pfäffikon, Switzerland)을 150 sec 동안 실시하였으며, 2kV의 가속전압하에 ×300, ×10k 의 두가지 배율에서 사진을 획득하였다. 키틴에 대해서는 Energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS)를 이용하여 C와 N의 원소량을 분석한 뒤, Xu J 등(1996)의 방법에 따라 C/N 비로 키틴의 degree of acetylation (DA) 비율을, Kassai MR 등(2000)의 방법에 따라 키토산의 degree of deacetylation (DDA) 비율을 각각 아래의 계산식에 따라 계산하였다.

$$DA\,(\%) = \frac{(C/N) - 5.14}{1.72} \times 100$$

$$DDA\,(\%) = \frac{6.857 - (C/N)}{1.7143} \times 100$$

2.3.5.2.6. ^{1}H, ^{13}C NMR

키틴과 키토산의 ^{1}H NMR은 Sagheer FAA 등(2009)의 연구를 참고하여 고해상도 핵자기공명분광기 600 MHz (AVANCE 600, Bruker, Billerica, MA, USA)를 이용하여 분석하였다. 키틴 및 키토산은 2% deuterated acetic acid in D_2O 용액에 0.02 M 농도로 녹인 뒤, 용매 peak가 간섭을 일으키지 않는 온도인 70℃에서 ^{1}H NMR을 측정하였다. ^{13}C NMR의 분석은 van de Velde K & Kiekens P (2004)의 연구에 따라 500 MHz solid-state NMR (AVANCE Ⅱ, Bruker, USA)을 이용하여 측정하였다. 예상된 ^{13}C signal은 C1(δ 104.5-104.6 ppm), C2(δ 55.6-55.7 ppm), C3(δ 74.0 ppm), C4(δ 83.6-83.8 ppm), C5(δ 76.1 ppm), C6(δ 60.9-61.5 ppm), CH_3(δ

23.2-23.3 ppm)이었다. 정제된 갈색거저리 유충 키틴의 대조군으로는 shrimp 유래의 α-chitin (Sigma-Aldrich, USA)을 설정하여 동일한 조건에서 실험하여 그 특성을 비교하였다. NMR signal을 이용하여 키틴(Ottøy MH 등 1996)의 DA 수치와 키토산(Lavertu M 등 2003)의 DDA 수치를 계산하였다.

$$DA\,(\%) = \frac{100 \times I[CH3]}{(I[C1] + I[C2] + I[C3] + I[C4] + I[C5] + I[C6])/6} \times 100$$

$$DDA\,(\%) = \frac{H1D}{H1D + HAc/3} \times 100$$

2.3.5.2.7. FT-IR

키틴과 키토산의 fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) 분석은 Sagheer FAA 등(2009)의 연구를 참고하여 분석하였다. 측정을 위하여 Nicolet 6700 spectrometer (Thermo Scientific, USA)가 이용되었으며, 시료는 KBr과 함께 섞은 뒤, ZnSe/diamond disc 하에 측정하였다. Frequency range는 4,000-650 cm^{-1} 이었고, resolution은 8 cm^{-1} 조건 하에 측정하였다다. 키토산의 degree of N-deacetylation (DDA)은 Baxter A 등(1992)에 따라 아래와 같은 계산식으로 계산하였다.

$$DDA\ (\%) = 100 - (A_{1655}/A_{3450}) \times 115$$

정제된 갈색거저리 유충 키틴의 대조군으로는 shrimp 유래의 α-chitin (Sigma-Aldrich, USA) 을 설정하여 동일한 조건에서 실험하여 그 특성을 비교하였다.

2.3.5.2.8. XRD

키틴과 키토산의 X-ray powder diffraction spectroscopy (XRD)는 Yen MT 등(2009)의 방법을 참고하여 분석하였다. XRD의 측정은 D8 ADVANCE with DAVINCI (Bruker, USA)를 이용하여 측정하였으며, detector는 LYNXEYE XE를 이용하였다. Cu radiation (40 kV, 40 mA)을 측정에 이용하였으며, 2θ range는 5-50º 까지로 설정하여 분석하였다.

2.3.6. 양이온 및 음이온 함량

전처리한 갈색거저리 유충의 일부 양이온 및 음이온 함량은 2.1.2.3.에 제시한 바와 동일하게 이온크로마토그래피(ICS)를 이용하여 측정하였다.

2.3.7. 기능성 성분 함량 분석 및 항산화능

2.3.7.1. GABA 및 taurine 함량

아미노산의 일종인 GABA와 taurine의 함량은 2.3.3.1.에 제시한 WF, SDF, EX, EO 등 4가지 추출 물질에 대하여 2.1.2.2.에 제시된 유리아미노산 분석 방법과 동일하게 실험하여 정량하였다.

2.3.7.2. 총 글루코사민 함량

총 글루코사민 함량은 Belcher R 등(1954)과 Elson LA & Morgan WTJ (1933)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. SDF 시료 5 g을 취하여 2 N HCl 30 mL를 가한 뒤, 환류냉각기를 부착하고 끓는 수욕상에서 24 h 반응시켰다. 반응시킨 용액은 1 N NaOH 용액을 이용하여 중화한 뒤, 100 mL로 정용하였다. 이 중 1 mL를 취하여 acetylacetone solution (acetylacetone in 0.5 N sodium carbonate solution, 1:50, w/w) 1 mL를 가하고 끓는 수욕상에서 10 min 동안 반응시켰다. 이후 0.8 g의 *p*-dimethylaminobenzaldehyde에 30 mL의 ethanol과 30 mL의 염산을 가한 *p*-dimethylaminobenzaldehyde solution을 1 mL 첨가하여 잘 섞어주었다. 이를 75℃의 수욕상에서 30 min 동안 다시 가열한 뒤, 얼음 위에서 상온까지 식혀주었으며, ethanol을 이용하여 10 mL로 정용한 것을 최종 용액으로 하였다. 최종 용액은 530 nm에서 흡광도를 측정하였으며,

D-glucosamine을 동일한 방법으로 조작하여 표준 곡선을 구한 뒤, 시료 중의 총 글루코사민 함량을 환산하였다.

2.3.7.3. 갈색거저리 유충 용매 탈지분의 80% MeOH 추출물 제조

80% MeOH 추출물 제조를 위하여 SDF 시료 40 g을 담고, 10배의 80% MeOH (1:10, w/v) 용액을 넣어준 뒤, 교반기에서 200 rpm 하에 12 h 동안 교반하였다(SI600R; Lab Companion, Korea). 추출된 용액은 No. 1 filter paper (Whatman, UK)를 이용하여 걸러준 뒤, 남은 잔사는 같은 방법으로 2회 더 반복 추출하였다. 모아진 용액은 감압농축기(RE111; Bűchi, Switzerland)를 이용하여 40℃에서 농축한 뒤, 동결건조한 것을 최종 추출물로 하였다. 추출 수율은 용매 탈지분 대비 15.51±0.60%였다.

2.3.7.4. 폴리페놀 함량 분석

폴리페놀 함량 분석을 위하여 갈색거저리 유충 용매 탈지분 80% 메탄올 추출물을 활용하여 2.3.4.2.3.에 제시한 방법에 따라 분석하였다.

2.3.7.5. 플라보노이드 함량 분석

플라보노이드 함량은 Meda A 등(2005)의 방법과 Menichini F 등(2009)을 일부 변형하여 측정하였다. 동결건조한 갈색거저리 유충 용매 탈지분 80% 메탄올 추출물을 80% 메탄올을 이용하여 10배로 녹인 뒤(w/v), 200 μL를 취하여 증류수 800 μL를 가하였다. 여기에 다시 5% $NaNO_2$ 60 μL를 가하고 잘 섞어준 뒤, 5 min 동안 상온에서 방치하였다. 이후에 10% $AlCl_3$ 60 μL를 가하여 교반하고 실온에 6 min 동안 방치한 다음, 1 N NaOH를 400 μL와 증류수 480 μL를 가하여 희석한 뒤에 분광광도계(Optizen 2120 UV; Mecasys, Korea)를 이용하여 510 nm에서 흡광도

를 측정하였다. 표준물질로는 (+)-catechin을 이용하여 같은 방법으로 조작을 수행하여 표준곡선을 그린 뒤, 갈색거저리 유충의 플라보노이드 함량을 1 g 당 mg catechin equivalents (CE)로 환산하였다.

2.3.7.6. DPPH 자유기 소거 활성능

DPPH 자유기 소거 활성능의 측정은 Brand-Williams W 등(1995)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 메탄올 추출 건조물을 다시 100배로 80% MeOH에 녹인(w/v) 시료 용액 300 μL를 취하고, 0.2 mM DPPH (α,α-diphenyl-picrylhydrazyl) 1,200 μL을 가하였다. 잘 섞어준 뒤에 실온의 암소에서 30 min 동안 방치하고, 분광광도계(Optizen 2010 UV; Mecasys, Korea)를 이용하여 517 nm 조건에서 흡광도를 측정하였다. 양성 대조군으로 trolox를 이용하였으며, trolox를 농도별로 녹여 동일한 조건으로 실험한 뒤, 표준 곡선을 작성하였다. 시료의 DPPH 자유기 소거 활성능은 trolox를 양성 대조군으로 하여 환산하였으며, mg trolox equivalent antioxidant activity (mg TEAC/g)로 나타내었다.

2.3.7.7 ABTS 자유기 소거 활성능

ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt) 자유기 소거 활성능의 측정은 Re R 등(1999)의 방법을 활용하였으며, Choi SY 등(2016)의 연구를 참고하여 일부 조건을 변형하여 시행하였다. 먼저 100 mM PBS buffer (pH 7.4)를 준비한 뒤, 1.0 mM AAPH (2,2’-azobis-(2-amidinopropane) dihydrochloride) in PBS 용액과 2.5 mM ABTS in PBS 용액을 제조하였다. 제조된 AAPH 용액과 ABTS 용액은 1:1 비율로 섞어(v/v), 수욕상에서 70℃까지 가열하여 1 h 동안 반응시켰다가 37℃로 다시 온도를 낮춰주었다. 시료의 분석은 ABTS 용액 980 μL와 준비한 시료 용액 20 μL를 혼합하여 37℃에서 10 min 동안 반응시

킨 후, 곧바로 분광광도계(Optizen 2120 UV; Mecasys, Korea)를 이용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 양성 대조군으로 trolox를 이용하였으며, trolox를 농도별로 녹여 동일한 조건으로 실험한 뒤, 표준 곡선을 작성하였다. 시료의 ABTS 자유기 소거 활성능은 trolox를 양성 대조군으로 하여 환산하였으며, mg trolox equivalent antioxidant activity (mg TEAC/g)로 나타내었다.

2.4. 통계 처리

본 연구 결과의 통계 처리는 IBM SPSS Statistics ver. 23.0 (IBM Inc., Armonk, NY, USA)을 이용하여 평균과 표준편차를 나타내었다. 평균값의 통계적 유의성은 student's independent t-test와 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 시행하여 검정하였다. ANOVA 분석의 사후 검정으로는 Duncan's multiple range test를 이용하여 $p<0.05$ 수준에서 시료 간에 유의적인 차이가 있는지 검증하였다.

3. 실험결과

3.1. 갈색거저리 유충의 적절한 희생법 확립

3.1.1. 구성 성분

갈색거저리 유충의 희생법을 동결 희생(sacrificed with freezing; F), 소니케이션 희생(sacrificed with sonication; S), 블랜칭 희생(sacrificed with blanching; B), 블랜칭 희생 후 중적외선 조사(sacrificed with blanching and treated with medium wave infrared; BI), 볶음 희생(sacrificed with pan frying; P) 등 5가지 방법으로 제조한 전지 분말의 구성 성분을 확인하기 위하여 일반성분, 유리아미노산, 양이온 및 음이온 함량을 측정하였다.

일반 성분을 측정한 결과(Table 12), 동결 희생한 F 시료는 10.49±0.69%의 수분 함량을 나타내어 다른 희생법으로 제조한 분말에 비해 매우 높은 수분 함량을 보였다. 이는 F 시료를 동결된 상태 그대로 건조기에 투입하여 얼음에 의한 영향이 발생하였으며, 또한 낮은 시료 온도가 건조기의 내부 온도를 낮춤으로써 건조 효율이 떨어지면서 발생한 문제로 생각된다. 소니케이션을 이용하여 희생한 S 시료의 경우에도 열처리를 가한 B, BI, P에 비해서 유의적으로 높은 수분량을 보였다($p<0.05$). 열처리에 의한 건조 효율의 증가는 시료 중 단백질 등 구성 물질의 구조적 변화에 따른 것으로, 열에 의해 분해 및 변형이 일어나 수분 보유력이 낮아지고 건조 효율도 증가하게 된다(Hegarty PVJ & Allen CE 1975; Bowers JA 등 1987). 최종 수분 함량은 블랜칭 법으로 희생한 B 시료에서 가장 낮았으나, 열풍건조기에 투입하기 전에는 건열 처리한 P 시료의 수분 함량이 더 낮았다. 또한 B 시료에서 중적외선 조사 처리 과정이 추가된 BI 시료도 B 시료에 비해 열풍건조기 투입 전에는 수분 함량이 더 낮았으나, 최종 분말에서는 B 시료에 비하여 더 높은 수분 함량을 나타

내었다. Koç B 등(2008)은 건조 공정의 효율은 표면 경화 및 구조의 뒤틀림에 의해 감소할 수 있다고 하였으며, 따라서 건열 공정 시에는 습열 공정 적용에 비해 표면의 경화가 빠르게 일어나면서 건조 효율을 일부 감소시키는 것으로 판단된다. 또한 B, S 시료에 비하여 BI, P 시료의 조지방량 함량이 낮아 건열 가열 공정을 거치게 되면 조지방량 함량의 감소가 일어나는 것을 확인하였다. 이는 건열 처리 도중 지질이 외부로 손실되기 때문으로 생각된다. 조단백량은 B와 BI 시료가 낮게 나타나 조지방량과는 반대로 습열 가열 공정인 블랜칭 공정이 있었던 경우 그 함량이 낮아졌으며, 이는 다른 단백질 식품에서도 발견되는 현상으로써 끓는 물로 식품 내 단백질이 용출되기 때문이다(Lee BY 등 1990). 회분의 함량 또한 건열 조리한 시료에서 더 높게 나타나기는 하였으나 큰 차이는 없었고, 탄수화물의 함량은 습열, 건열 가열 공정이 모두 이용된 BI가 가장 많았는데, 위에서 언급한 바와 같이 가열 공정 중 지질, 단백질이 일부 손실되면서 탄수화물의 비율이 높아진 것으로 사료된다.

Table 12. Proximate compositions of mealworm powders with different sacrifice methods

(unit: %)

	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash	Carbohydrate
F[1)]	10.49±0.69[a2)]	49.05±0.29[e]	32.49±0.76[bc]	2.91±0.02[d]	5.06
S	3.48±0.11[b]	53.04±0.01[b]	34.78±0.56[a]	3.12±0.01[b]	5.58
B	0.85±0.16[e]	52.56±0.30[c]	33.43±0.77[ab]	3.06±0.02[c]	10.11
BI	1.31±0.07[c]	50.85±0.42[d]	31.54±1.97[bc]	3.11±0.01[b]	13.19
P	1.05±0.01[d]	54.36±0.68[a]	30.56±1.31[c]	3.31±0.00[a]	10.72

Data are expressed as mean±SD

[1)]F: Freezing, S: Sonication, B: Blanching, BI: Blanching and treated with mid wave infrared, P: Pan-frying

[2)]Different superscripts within columns (a-e) represent significant differences at $p<0.05$

유리아미노산의 함량은 특히 단백질 식품의 맛에 직접적으로 영향을 끼치는 지표로, 유리아미노산은 종류에 따라 단맛, 쓴맛, 우마미맛, 짠맛, 신맛 등 여러 가지 맛을 지니고 있다(Kirimura J 등 1969). 또한 유리아미노산의 함량은 가공 중 단백질의 용출, 분해 등 다양한 정보를 알 수 있는 지표이다. 유리아미노산의 함량을 측정한 결과(Table 13), 5가지 시료 중 가장 유리아미노산 함량이 높았던 시료는 F 시료로, 9734.47±41.08 mg/100 g을 나타내었다($p<0.05$). 이는 시료 전체 중량 중 약 9.7%에 해당하는 함량으로써, F 시료의 조단백량이 49.05%였던 것을 고려하면 전체 단백질량 중 약 20%에 가까운 양이 단일 유리아미노산으로 함유되어있음을 알 수 있었다. 총 단백질량 중 유리아미노산의 비율은 익히지 않은 돼지고기, 쇠고기, 닭고기 등 몸집이 큰 육류는 0.5-1.0% 가량(Han GP 등 2003; Franco D 등 2010; Nishimura T 등 1988), 우유는 약 0.3%(Rassin DK 등 1978)를 나타내어 단백질 급원 중 육류 및 부산물에서는 그 함량이 매우 낮았다. 이외에 어류의 경우 histidine 함량이 높아 비교적 유리아미노산의 함량이 높았으며 생고등어의 경우 3.5%의 총 단백질량 중 유리아미노산 비율을 나타내었다(Jiang ST & Lee TC 1985). 식물성 단백질 급원 중 주요 단백질 급원인 콩의 경우에는 약 0.5%의 비율을 보였다(Kim MJ & Rhee HS 1990). 따라서 다른 단백질 급원 식품에 비해 가공하지 않고 동결로 희생만 진행한 생 갈색거저리 유충은 총 단백질량 중 유리아미노산의 비율이 5-70배로 매우 높았다. 이에 갈색거저리 유충을 식품 재료로 이용하게 되면 풍부한 유리아미노산 함량으로 인하여 소량의 투입으로도 음식의 맛을 크게 변화시킬 수 있을 것으로 예상된다. 갈색거저리 유충을 소니케이션 희생한 경우에는 5% 이하의 유리아미노산 손실만 발생하였으나, 블랜칭 희생한 경우에는 약 90%, 볶음 희생한 경우에는 약 80%의 유리아미노산이 손실되었다. 이는 희생 공정 도중에 외부로 유리아미노산이 유출되거나, 반응하여 다른 물질로 전환되기 때문으로 보인다. 블랜칭 법으로 희생한 뒤에 중적외선 조사 공정을 거침으로써 유리아미노산 함량이 2배 이상 증가하였는데, 따라서 중적외선

조사 공정을 추가하면 유리아미노산 함량의 증가로 인하여 맛에 대한 기호성이 높아질 수 있을 것으로 기대된다.

Table 13. Free amino acids contents of mealworm powders with different sacrifice methods

(unit: mg/100 g dry basis)

	F[1)]	S	B	BI	P
Aspartic acid	4168.52±36.66[a2)]	4103.97±12.93[b]	100.38±3.07[e]	234.29±5.37[c]	175.76±1.61[d]
Glutamic acid	17952.06±144.71[a]	14452.21±97.92[b]	631.06±0.68[e]	1321.96±5.08[c]	920.44±15.94[d]
Asparagine	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Serine	4861.48±30.74[a]	4301.97±27.98[b]	162.79±2.28[e]	333.86±5.38[c]	245.22±2.22[d]
Glutamine	n.a.	n.a.	1068.64±26.17[b]	1863.66±233.66[a]	401.40±3.55[c]
Histidine	3044.72±1.61[b]	3050.82±0.51[a]	643.38±13.22[e]	1422.23±0.49[c]	1102.72±4.54[d]
Glycine	2828.23±21.78[b]	2970.14±5.15[a]	139.07±1.18[e]	295.68±1.89[c]	197.84±7.81[d]
Threonine	4467.99±30.22[a]	4011.49±13.87[b]	344.96±5.88[e]	815.59±16.38[c]	485.84±5.79[d]
Arginine	554.27±73.16[e]	4211.67±6.81[a]	1015.86±21.10[d]	1783.23±9.46[c]	1828.43±13.69[b]
Alanine	13049.94±27.58[a]	11460.45±33.47[b]	248.80±8.99[e]	1052.33±6.19[c]	590.27±4.27[d]

(Continued) Table 13. Free amino acids contents of mealworm powders with different sacrifice methods

(unit: mg/100 g dry basis)

	F	S	B	BI	P
Tyrosine	3266.94±15.66^{b}	3744.94±13.79^{a}	854.36±34.73^{e}	1467.97±1.42^{c}	1431.70±2.24^{d}
Valine	7107.84±24.84^{a}	6446.39±5.23^{b}	821.66±22.30^{e}	1468.84±0.59^{c}	1259.54±15.59^{d}
Methionine	1332.33±54.93^{a}	1122.93±42.06^{b}	26.05±1.13^{d}	33.10±2.45^{c}	26.58±1.02^{d}
Tryptophane	1762.58±12.34^{a}	1025.70±7.33^{b}	506.24±4.83^{c}	496.24±8.23^{c}	426.16±4.38^{d}
Phenylalanine	3434.17±34.82^{a}	3217.52±1.60^{b}	189.37±4.80^{e}	394.50±4.78^{c}	289.46±6.62^{d}
Isoleucine	4897.19±19.90^{a}	4396.69±51.51^{b}	326.00±10.52^{e}	619.32±3.29^{c}	449.75±8.46^{d}
Leucine	7754.12±36.43^{a}	6841.97±11.96^{b}	322.80±15.30^{e}	632.40±12.91^{c}	392.04±3.79^{d}
Lysine	7262.11±5.74^{a}	6336.11±55.12^{b}	262.09±0.92^{e}	621.09±0.40^{c}	485.00±1.03^{d}
Proline	9257.91±154.34^{b}	12035.52±247.18^{a}	3573.95±60.56^{e}	8357.32±105.63^{c}	6202.32±65.85^{d}
Total A.A.	9734.47±41.08^{a}	9414.96±3.35^{b}	1123.75±22.61^{e}	2338.11±40.77^{c}	1705.25±4.08^{d}

Data are expressed as mean±SD

[1)]F: Freezing, S: Sonication, B: Blanching, BI: Blanching and treated with mid wave infrared, P: Pan-frying

[2)]Different superscripts within rows (a-e) represent significant differences at $p<0.05$

희생법을 달리한 갈색거저리 유충 분말에 대하여 4종의 양이온과 2종의 음이온에 대한 함량을 측정한 결과(Table 14), 비가열 희생한 F, S 시료의 경우 가열 희생한 시료에 비하여 인산의 함량이 2배 정도로 나타나 여러 이온 중에서 가장 큰 함량 차이를 나타내었다. 이외의 이온들은 인산보다는 그 변화량이 작았으나, 대체로 가열 희생하는 경우에 그 함량이 감소하였다. 건열 가열과 습열 가열한 시료에서는 대체로 습열 가열 시 용출이 많이 일어나 무기질 함량의 감소가 더 많아지는 것을 확인하였으며, 이는 뜨거운 물의 침투에 의한 갈색거저리 유충 내부와 외부 사이의 물질 교환이 작용한 것으로 판단된다.

Table 14. The contents of cations and anions of mealworm powders with different sacrifice methods

(unit: mg/100 g dry basis)

	F[1)]	S	B	BI	P
Na^+	67.95	70.17	59.73	47.96	64.14
K^+	704.07	737.42	642.76	550.85	688.62
Mg^{2+}	167.38	156.70	52.04	100.44	84.54
Ca^{2+}	18.31	15.70	18.82	10.36	13.67
Cl^-	423.31	435.19	392.99	347.68	421.65
PO_4^{2-}	1321.64	1498.09	620.55	672.09	794.07

[1)]F: Freezing, S: Sonication, B: Blanching, BI: Blanching and treated with mid wave infrared, P: Pan-frying

3.1.2. 물리화학적 특성

서로 다른 희생법으로 희생한 갈색거저리 유충 분말의 물리화학적 특성을 확인하기 위하여 색도와 수분흡착력 및 유지흡착력을 측정하였다.

분말의 색도를 측정한 결과(Table 15), 영양 성분을 분석한 결과와 비슷하게 비가열 희생한 F와 S 시료와 가열 희생한 B, BI, P 시료 그룹 간에 L, a, b 값 모두에서 뚜렷한 차이가 나타났다. F와 S시료는 다른 시료에 비해 L, a, b 값 모두 유의하게 낮았으며, 둘 중에서도 F 시료가 S보다 그 값이 더 작았다($p<0.05$). 따라서 F와 S 시료는 다른 시료에 비해 무채색 계열의 어두운 색을 띄는 분말임을 알 수 있었으며, 이에 검정색에 가까운 분말인 것을 확인할 수 있었다. 습열 가열 희생을 거친 B와 건열 가열 희생을 거친 P 시료의 경우 비슷한 L, a, b 값을 나타내어 습열 가열과 건열 가열 간에는 공정에 따른 색의 변화가 크지 않았다. 그러나 두 공정을 모두 거친 BI 시료는 37.84±0.39의 5종의 시료 중 가장 높은 L 값을 나타내었으며, a 값과 b 값도 가장 높아($p<0.05$) 최종적으로 밝은 갈색을 나타내었다.

Table 15. Color values of mealworm powders with different sacrifice methods

	L	a	b
F[1)]	33.33±0.28[c2)]	0.67±0.06[e]	0.54±0.03[e]
S	32.69±0.15[d]	1.02±0.04[d]	1.15±0.07[d]
B	36.95±0.16[b]	2.53±0.10[c]	4.02±0.17[c]
BI	37.84±0.39[a]	3.52±0.08[a]	5.29±0.11[a]
P	36.89±0.11[b]	2.73±0.08[b]	4.31±0.13[b]

Data are expressed as mean±SD

[1)]F: Freezing, S: Sonication, B: Blanching, BI: Blanching and treated with mid wave infrared, P: Pan-frying

[2)]Different superscripts within columns (a-e) represent significant differences at $p<0.05$

분말의 수분흡착력(water adhesion capacity, WAC)과 유지흡착력(oil adhesion capacity, OAC)이 높으면, 분말을 식품에 적용할 때 용매에 친화적이기 때문에 더 좋은 가공성을 지닐 수 있다. 분말의 WAC와 OAC 측정 결과는 Table 16에 나타내었다. 측정 결과, F와 S는 다른 시료에 비해 유의적으로 매우 낮은 WAC를 나타내어($p<0.05$), 분말을 물에 넣었을 때 수화력이 많이 떨어질 것으로 예상되었다. 분말 중 가장 WAC 수치가 높았던 시료는 습열 가열 희생법을 이용한 B 시료였으며, 따라서 비가열 희생 시 보다 가열 희생한 경우에 갈색거저리 유충의 수분 친화도가 증가하며, 특히 습열 가열 희생을 하면 수분 친화도가 더 증가함을 확인하였다. OAC의 경우에는 S 시료만이 다른 시료들에 비해 눈에 띄게 낮은 값을 나타내었으며, 습열 희생법과 건열 희생법 간에는 그 차이가 유의적이지 않았다.

Table 16. WAC and OAC of mealworm powders with different sacrifice methods

	WAC (g/g sample)	OAC (g/g sample)
F[1)]	1.21±0.01[c]	1.30±0.04[a]
S	1.13±0.01[d]	1.12±0.03[b]
B	1.84±0.01[a]	1.29±0.02[a]
BI	1.50±0.02[b]	1.33±0.07[a]
P	1.53±0.07[b]	1.21±0.14[ab]

Data are expressed as mean±SD

[1)]F: Freezing, S: Sonication, B: Blanching, BI: Blanching and treated with mid wave infrared, P: Pan-frying

[2)]Different superscripts within columns (a-d) represent significant differences at $p<0.05$

3.1.3. 기호도

시료의 기호도는 7점 척도로 외관, 향미, 텍스처, 전체적 기호도로 나누어 시행하였으며, 그 결과는 Fig. 9에 나타내었다. 비가열 희생한 F와 S는 모든 항목에서 가열 희생한 시료에 비해 낮은 기호도를 나타내었으며, 특히 F가 S에 비해 더 낮은 기호도를 나타내었다. 가열 희생한 시료를 살펴보면, 블랜칭 희생한 B 시료와 볶음 희생한 P 시료가 모든 항목에서 거의 동일한 기호도를 나타내었으며, 항목 중에서는 텍스처 항목의 점수 차이가 가장 컸다. 텍스처 항목에서 BI와 P가 B에 비해 높은 기호도를 나타낸 것을 보았을 때, 건열 가열 공정이 습열 가열 공정에 비해 텍스처에 더 좋은 영향을 주는 것으로 판단된다. 외관과 향미, 전체적 기호도에 있어서 BI 시료는 다른 시료들에 비해 눈에 띄게 높은 기호도를 나타내었으며, 외관과 향미의 차이는 각각 BI 시료의 높은 L 값 및 높은 유리아미노산의 함량과 관련이 있는 것으로 판단된다. 그러나 향미 특성 텍스처 특성의 기호도 평가 시 외관에 대한 기호도가 일부 영향을 끼쳤을 수 있어 이에 대한 한계점이 있었다.

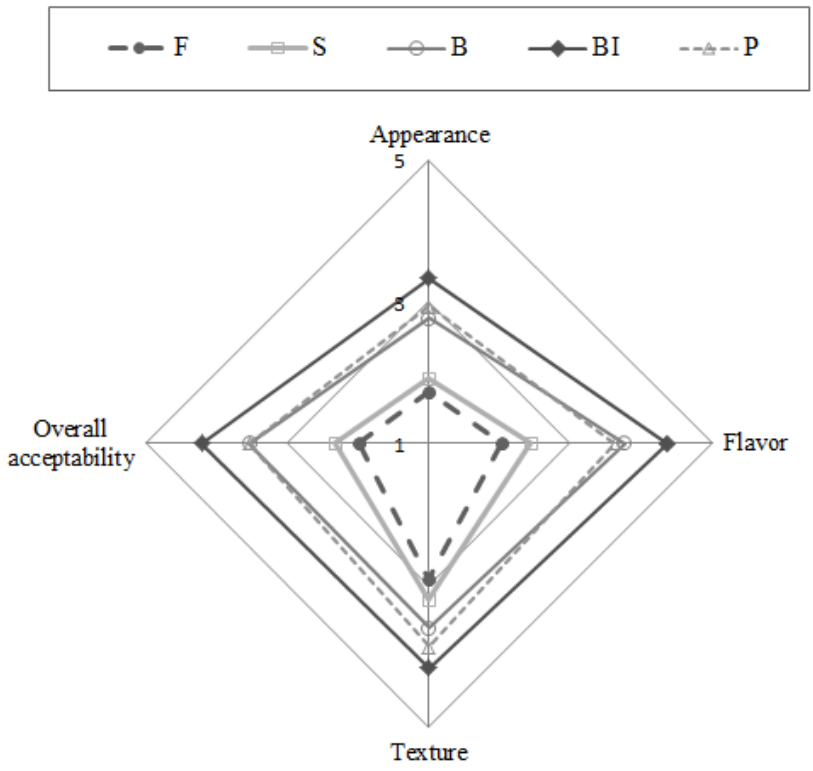


Fig. 9. Acceptability evaluation scores of mealworm powders with different sacrifice methods (7-point scale)

F: Freezing, S: Sonication, B: Blanching, BI: Blanching and treated with mid wave infrared, P: Pan-frying

3.2. 블랜칭 법으로 희생한 갈색거저리 유충의 냉장저장성

3.2.1. 색도

갈색거저리 유충을 블랜칭 희생한 후에 저장하면서 색도의 변화를 측정한 결과는 Table 17에 나타내었다. 저장 전의 갈색거저리 유충은 L (lightness), a (redness), b (yellowness) 값에 대해 각 45.21±0.11, 3.74±0.07, 7.73±0.07의 가장 높은 값을 나타내어 붉은색이 섞인 노란색을 띄는 것을 확인하였다. 갈색거저리 유충은 저장기간에 따라 L값의 변화는 뚜렷한 경향성을 보이지 않았으나, a값과 b값의 경우 감소하는 경향을 나타내어 색이 연해지는 경향을 나타내었으며, 이러한 경향은 Kim SY 등 (2015)의 연구에서도 비슷하였다. 식품의 저장 중 색 변화는 주로 색소의 파괴와 갈변 반응이 관련되어 있으며, 따라서 갈색거저리 유충의 저장 동안에도 색소의 파괴로 인한 L값의 증가와 함께 주로 갈변 반응물 생성으로 인한 a값과 b값의 증가가 일어난 것으로 판단된다(Son YJ 등 2014).

Table 17. Changes in color values of sacrificed mealworm during storage at 4℃

Storage period (day)	L (Lightness)	a (redness)	b (yellowness)
0	45.21±0.11$^{d1)}$	3.74±0.07^{a}	7.73±0.07^{a}
2	44.89±0.24^{de}	3.67±0.06^{ab}	7.24±0.06^{b}
4	47.16±0.11^{a}	3.48±0.03^{cd}	7.04±0.09^{c}
7	46.78±0.51^{ab}	3.57±0.03^{bc}	7.35±0.07^{b}
10	46.49±0.75^{bc}	3.33±0.15^{ef}	6.75±0.18^{de}
14	43.47±0.13^{f}	3.72±0.09^{a}	6.68±0.19^{ef}
21	46.20±0.49^{bc}	3.31±0.09^{ef}	6.91±0.17^{cd}
28	45.96±0.20^{c}	3.37±0.03^{de}	6.69±0.07^{ef}
35	44.44±0.26^{e}	3.22±0.07^{fg}	6.24±0.10^{g}
42	46.36±0.25^{bc}	3.10±0.06^{g}	6.48±0.05^{f}

Results are shown as mean±SD with five replicates

[1)]Different superscripts within columns (a-g) represent significantly differences at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test

3.2.2. 저장 중 산화 지표의 변화

갈색거저리 유충의 저장 중 산화의 진행을 판단하기위한 지표로써, 적정산도, 과산화물가, 산가, TBARS, VBN 함량 등을 측정하였으며, 이를 Table 18에 나타내었다.

단백질 식품의 저장 중 특히 육류의 초기 적정 산도 변화는 일반적으로 사후 경직과 관련되어 있으며, 소는 1일에서 수일, 닭의 경우에는 몇 시간 내로 사후경직 현상이 풀리는 것으로 알려져 있다(Jin SK 등 2002). 따라서 곤충의 경우, 닭보다도 훨씬 작으므로 사후 경직 시간이 매우 짧은 시간일 것으로 예상되며, 본 연구에서 희생 직후에서 2일 까지의 적정 산도 변화에는 영향을 줄 수 있으나 그 이후로 저장 동안에는 사후경직과 관련된 적정 산도의 변화는 없는 것으로 생각된다. 사후경직과 관련된 젖산의 함량 변화 이외에 단백질 식품 내에서의 적정 산도 변화는 단백질의 분해와 밀접한 관련이 있으며, 단백질 분해로 인해 유리된 자유 아미노기와 자유 카르보닐기의 증가가 적정 산도를 높이는데 기여한다(Madovi PB 1980). 특히 효소가 불활성화된 단백질 식품에서의 적정 산도의 변화는 주로 미생물의 분해 활동에 따른 것으로써, 저장 중 중요한 품질 지표로 이용될 수 있다(Rosa C 등 2006). 본 연구에서 측정된 희생 직후 갈색거저리 유충의 적정 산도 값은 Kim SY 등(2015)의 연구 결과와 비교하였을 때, 가열 공정을 거치지 않은 갈색거저리 유충에 비해서는 낮고, 완벽히 익힌 갈색거저리 유충보다는 약간 높은 적정 산도를 나타내었다. 따라서 희생 직후의 적정 산도는 가열 공정에 의해 그 값이 감소하는 것을 확인하였다. 갈색거저리 유충의 저장 중 적정 산도는 2일째에 급격히 감소하였다가 42일째까지 대체로 꾸준히 증가하였으나 그 변화폭은 크지 않았다. Reddy NR 등(1994)은 단백질 식품에서 급격한 적정 산도의 감소가 일어나는 경우 미생물에 의한 단백질의 부패 산물인 암모니아 등 알칼리 화합물의 생성에 의한 것이라 하였으나, 갈색거저리 유충의 경우 급격한 적정 산도의 감소는 저장 기간 내에 나타나지 않았다.

과산화물가는 지질의 자동산화에 영향을 주는 초기 지질 산화 생성물인

과산화물을 측정한 수치로, 초기 지질 산화지표로써 널리 이용되고 있다(Barthel G & Grosch W 1974). 갈색거저리 유충은 4일에 1차적으로 급격한 과산화물가의 변화를 보인 뒤, 21일까지 변화가 없다가 28일째에 다시 급격한 증가를 보이고 이후로 감소하였다. 갈색거저리 유충의 과산화물가 수치 허용 범위에 대하여 Chung MY 등(2014)은 동결 건조 파우더에 대해서 허용 지표로 50 meq/kg을 설정하였으나, 본 연구에 이용된 갈색거저리 유충은 42일까지의 저장기간 동안 10 meq/kg이 넘지 않는 값을 나타내어 이를 초과하지 않았다. Kim SY 등(2015)이 갈색거저리 유충을 냉동 희생, 가열하여 볶음 처리한 뒤 저장성을 본 연구 결과에서 비교하였을 때에도 본 연구의 블랜칭 법으로 희생한 갈색거저리 유충은 볶음 처리한 갈색거저리 유충의 과산화물가 값과 비슷한 값을 나타내어 블랜칭 전처리로 인하여 산화효소 등이 대부분 불활성화 된 것으로 보인다. 과산화물가는 지질의 초기 산화물을 측정하는 지표이기 때문에, 과산화물가가 감소하는 시기는 1차 산화에서 생성된 과산화물이 이미 2차 산화되어 지질의 산화가 더욱 심화된 것으로 볼 수 있다. 이러한 관점에서 과산화물가의 증감으로 판단하였을 때에는 과산화물가의 감소가 나타나는 시기는 지질의 2차 산화가 1차 산화 생성물의 양을 넘을 정도로 급격히 심화되는 시점으로 고려되었다. 따라서 과산화물가의 감소시기를 고려하면 갈색거저리 유충은 28-35일 이후로는 지질의 2차 산화생성물이 더욱 급격하게 생성되어 지질의 산패에 따른 급격한 품질의 변화가 있을 것으로 예상되었다.

산가는 시료 중 유리지방산의 함량을 측정한 값으로, 지질의 직접적인 산패를 확인하는 지표는 아니나 지질의 산화 중 유리지방산이 생성될 수 있으며, 이후 생성된 유리지방산이 더욱 쉽게 다른 산화물로 변화될 수 있기 때문에 유지의 산화 관련 품질 지표로 많이 이용되고 있다(Kardash E & Tur'yan YI 2005). 갈색거저리 유충의 저장 중 산가 수치는 4일째에 2일에 비해 급격히 증가하였고, 10일에서 14일로 넘어가는 시기에 급격히 감소한 뒤, 다시 28일까지 점진적으로 증가하다가 35일째에 다시 급격한 감소를 나타내는 등 2번의 급격한 감소가 있었다. 저장 기간 중 산가의 감소는

유리지방산이 심화적인 산화물질의 생성에 이용되어 그 값이 감소한 것으로 볼 수 있으며, 따라서 산가의 급격한 감소가 일어나는 시기가 2차 지질 산화물이 급격히 생성되는 구간인 것으로 판단된다. 이에 갈색거저리 유충은 그 시기가 10-14일 사이와 28-35일 사이로 2번 나타났으므로 이 시기에 급격히 지질 산화물이 증가되었을 것으로 생각된다.

TBARS는 지질의 산화 시 지질이 분해되어 나타나는 산물인 malon-aldehyde 함량을 측정하는 실험으로써, 과산화물가가 지질의 초기 산화 지표인데 비하여 지질의 후기 산화지표로 많이 이용되고 있다(Lee SK 등 2005). TBARS의 증가는 초기 산화에 의해 생성된 지질 과산화물이 다시 2차 산화 생성물로 분해되는 경우 발생하며, 지방분해 효소나 미생물이 그 증가에 관여하기도 한다(Brewer MS 등 1992). 갈색거저리 유충의 TBARS는 희생 직후에 비해 4일째까지 감소하는 경향이 나타난 뒤, 42일까지 점진적으로 증가하였으나 그 증가율은 매우 낮아 42일째에 희생 직후와 비슷한 TBARS 값을 나타내었다. Turner EW 등(1954)은 식육의 TBARS 함량에 대하여 0.46 mg MDA/kg 이하 시에 가식권에 속하는 것으로 볼 수 있다고 하였으며, 식육의 기준을 곤충에 그대로 적용하기에는 어려움이 있으나, 갈색거저리 유충은 42일간의 저장 기간 동안 계속해서 0.46 mg MDA/kg 미만의 TBARS 수치를 유지하였다.

휘발성 염기질소(volatile basic nitrogen, VBN) 함량은 단백질의 분해 및 변패를 확인할 수 있는 지표로써, 특히 암모니아로 대표되는 식품의 향미에도 영향을 줄 수 있는 휘발 가능한 염기질소량을 측정하는 실험이다(Asli C 등 2008). 단백질 함량이 높은 곤충의 경우, 지질의 산화안정성 뿐 아니라 단백질의 변패에 의해서도 저장성이 크게 좌우될 수 있다. 갈색거저리 유충은 희생 직후부터 10일까지는 VBN 함량에 눈에 띄는 변화를 나타내지 않았으며, 10일부터 21일까지 1차로 뚜렷한 증가를 나타낸 뒤, 35일째에 다시 큰 폭으로 증가하였다. 식육의 VBN 함량에 대하여 Jin SK 등(2005)은 VBN 함량이 5-10 mg% 수준일 경우 신선한 상태이며, 30 mg% 이상 함량이 높아진 경우에는 부패한 상태라고 하였다.

곤충의 경우 식육과 그 형태가 달라 그대로 기준을 적용하기에 어려움은 있으나, 이 기준에 의하면 갈색거저리유충의 경우에는 28일까지는 비교적 신선한 상태를 유지하였고, 42일까지도 단백질이 완전히 부패한 상태는 아닌 것으로 판단되었다.

Table 18. Changes in indicators of oxidation for sacrificed mealworm during storage at 4℃

<wet basis>

Storage period (day)	Titratable acidity (%)	Peroxide value (meq/kg)	Acid value	TBARS (mg MDA/kg)	VBN contents (mg/100 g)
0	1.27±0.07$^{cd1)}$	3.41±0.11^{d}	4.80±0.05^{f}	0.29±0.00^{bc}	5.58±0.56^{cd}
2	0.97±0.07^{f}	3.04±0.63^{d}	4.98±0.15^{f}	0.28±0.02^{bc}	3.54±0.85^{d}
4	1.06±0.10^{ef}	5.59±0.81^{b}	6.52±0.41^{d}	0.23±0.01^{d}	4.47±0.56^{d}
7	1.26±0.10^{cd}	5.37±0.47^{bc}	7.67±0.44^{c}	0.24±0.01^{d}	5.04±1.48^{cd}
10	1.18±0.01^{de}	5.86±0.83^{b}	7.77±0.49^{c}	0.24±0.02^{d}	3.92±0.55^{d}
14	1.36±0.09^{c}	5.81±0.63^{b}	5.68±0.02^{e}	0.27±0.00^{c}	6.96±1.40^{c}
21	1.54±0.07^{b}	5.35±0.54^{bc}	8.22±0.24^{c}	0.27±0.00^{c}	9.78±1.47^{b}
28	1.57±0.02^{ab}	8.21±0.96^{a}	9.91±0.43^{b}	0.28±0.01^{bc}	9.37±2.11^{b}
35	1.35±0.02^{c}	6.20±0.84^{b}	7.90±0.29^{c}	0.30±0.01^{b}	15.28±1.33^{a}
42	1.67±0.10^{a}	3.99±0.76^{cd}	10.56±0.20^{a}	0.33±0.00^{a}	13.98±1.27^{a}

Results are shown as mean±SD with three replicates

[1)]Different superscripts within columns (a-f) represent significantly differences at $p<0.05$

3.2.3. 일반세균수 및 대장균 검출

갈색거저리 유충을 블랜칭 법으로 희생한 뒤에 4℃에 냉장저장하면서 일반세균수를 측정한 결과는 Table 19에 나타내었다. 일반세균수의 측정 결과는 logCFU로 환산하여 나타내었으며, 대장균의 경우에는 기간 내 모든 시료에서 검출되지 않았다. 따라서 유해균에 대해서는 비교적 안정성이 있음을 확인하였다. 일반세균수를 측정한 결과, 3 min 동안의 블랜칭 전처리만으로는 균을 완전히 살균하는 데에는 뚜렷한 한계를 나타내었다. 희생 직후 갈색거저리 유충의 일반세균수는 3.12±0.17 logCFU로 나타나 비교적 많은 세균을 여전히 내재하는 것을 확인하였다. 따라서 비록 블랜칭 전처리 상태는 바로 섭취하는 형태가 아니며, 실제 섭취 할 때에는 다시 적절한 가열 조리를 거치게 되기는 하나, 저장 동안 미생물에 의한 오염이 문제가 될 수 있을 것으로 예상되었다. 그러나 곤충을 비가열 희생한 경우 동결 희생한 유충의 logCFU 수치로 Kim SY 등(2015)은 6.7, Klunder HC 등(2012)은 7.7을 제시하여 갈색거저리 유충의 경우 블랜칭 전처리를 거치면 1/1,000-1/10,000 이하로 미생물 함량을 감소시킬 수 있는 것을 확인하였다. 저장 중 일반세균수의 변화를 살펴보면, 희생 직후부터 7일까지는 큰 변화를 나타내지 않다가 10일째부터 뚜렷한 증가를 나타내기 시작하였으며, 35일째까지 꾸준히 증가하다가 42일째에 일반세균수가 다시 감소하였다. 갈색거저리 유충의 총균수가 7 logCFU가 초과된 수치가 나타난 저장일인 28일 이후 균에 의한 단백질 부패를 보여주는 VBN 함량에 있어 매우 급격한 증가를 나타내었으며, 이를 토대로 냉장저장 시에 7 logCFU의 총균수를 나타낸 시점이 위생 안정성을 판단하는데 매우 중요한 시점인 것으로 사료된다.

Table 19. Changes in microbial counts of mealworm sacrificed with blanching during storage at 4℃

(unit: logCFU)

Storage period (day)	Microbial counts
0	3.12±0.17$^{g1)}$
2	3.38±0.08^{f}
4	3.16±0.09^{g}
7	3.31±0.12^{fg}
10	4.30±0.07^{e}
14	5.36±0.09^{d}
21	6.85±0.08^{c}
28	7.02±0.07^{b}
35	7.87±0.14^{a}
42	6.90±0.06^{bc}

Results are shown as mean±D with three replicates

[1)]Different superscripts within columns (a-g) represent significantly differences at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test

3.3. 블랜칭 희생 후 열풍건조한 갈색거저리 유충의 구성 성분 특성

3.3.1. 일반성분

갈색거저리 유충을 블랜칭 희생 후 열풍 건조한 시료(WF)와 건조품을 다시 n-hexane을 이용하여 용매 탈지한 시료(SDF)의 일반성분 실험 결과를 갈색거저리 유충을 동결 희생한 시료(Raw)와 비교하여 Table 20에 나타내었다. WF는 32.31±1.04%의 지질 함량을 보여 갈색거저리 유충이 높은 지질을 함유한 식품임을 알 수 있었으며, 동시에 52.17±0.57%의 단백질을 함유하여 건조 중량 중 40%가 단백질 함량인 콩보다 단백질 함량이 높았고, 일반적인 육류보다도 단백질 함량이 높았다. 높은 지질 함량과 함께 높은 단백질 함량을 동시에 나타낼 수 있는 이유는 상대적으로 낮은 탄수화물 함량 때문으로, WF 시료는 11.45%의 탄수화물 함량을 나타내었다. 따라서 저탄수화물 고단백 식품재료가 필요한 경우, 갈색거저리 유충은 특별한 추출, 정제 조작이 없이도 적용이 가능한 것으로 나타나 식품 재료로써 활용성이 높을 것으로 판단된다. 또한 일반적인 식품은 단백질 함량이 높은 식품의 경우에도 단백질 isolate 형태로 정제를 할 때, 한외여과 등의 정제를 추가로 진행하지 않으면 단백질 비율이 70% 정도 함유된 isolate를 얻게 된다. 그러나 갈색거저리 유충의 경우 용매 탈지를 이용하여 지질만 제거하여도 SDF의 조단백량이 70.76±5.76%로 나타나 다른 식품으로 protein isolate를 정제한 경우와 비슷한 단백질량을 나타내었다. 따라서 고단백질의 단백질 보충용 식품 재료로써 그 장점이 매우 크다고 할 수 있다. 또한 n-hexane을 이용하는 경우 총 지질 중 약 95%의 지질이 추출되었으며, 이는 건조 중량 100 g 중 30 g에 해당하는 양으로써, 분리된 유지를 또한 다양한 식품 재료로써 활용이 가능할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 20. Proximate compositions of blanched and hot-air dried mealworms with- or without-fat

(unit: %)

	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash	Carbohydrate
Raw	61.46±0.48[a2)]	20.51±1.33[c]	13.48±0.82[b]	1.15±0.04[c]	3.40
WF[1)]	0.50±0.05[c]	52.17±0.57[b]	32.31±1.04[a]	3.57±0.01[b]	11.45
SDF	3.97±0.90[b]	70.76±5.76[a]	1.98±0.24[c]	5.08±0.05[a]	18.21

Data are expressed as mean±SD

[1)]WF: Blanched and hot-air dried mealworm, SDF: Defatted WF with solvent (n-hexane)

[2)]Different superscripts within columns (a-c) represent significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test

3.3.2. 단백질 특성

3.3.2.1. 아미노산 분석

갈색거저리 유충 단백질을 구성하고 있는 아미노산의 특성을 분석하기 위하여, 구성아미노산과 BCAA 함량 분석을 WF와 SDF 시료 2종에 대하여 분석을 진행하였으며, 또한 갈색거저리 유충 내 유리아미노산 함량과 유리아미노산 구성에 의한 맛을 예측해보고자 하였다.

각 구성아미노산의 비율은 단백질량 대비 비율로 환산하여 표시하였으며, 구성아미노산의 측정 결과는 Table 21에 나타내었다. 전체 구성아미노산 함량의 합은 단백질량 대비 WF는 93.46±0.01%, SDF는 94.06±0.39%로 나타났다. 따라서 20종의 구성아미노산 함량을 빼면 약 6%는 구성아미노산 이외의 물질이 관여하는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 전체 단백질량을 측정시에 킬달분해법을 이용하여 총 질소량을 고려하여 단백질량을 환산한 것이기에, 총 단백질량 분석 시에는 20종 이외의 아미노산, 키틴 등 N을 함유한 다른 물질이 함께 단백질량으로 환산되어 차이가 발생한 것으로 생각된다. WF와 SDF의 필수아미노산 함량은 각각 35.78±0.01%, 35.61±0.27%로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 비필수아미노산 함량에서는 SDF가 1% 가량 그 함량이 높았다. 필수아미노산과 비필수아미노산간의 비율을 나타내는 E/NE 값은 WF가 62.03, SDF가 60.92로 WF가 조금 더 높았다. 갈색거저리 유충의 E/NE 비율은 닭고기 0.75(Lee KC 등 2016), 두류 0.8-1.0(Iqbal A 등 2006), 쇠고기 0.7-0.8(Franco D 등 2009)에 비해 낮은 것으로 나타나 필수아미노산의 비율이 다른 단백질 식품에 비해 낮았다. BCAA의 함량은 쇠고기, 달걀, 닭고기 등이 20-22% 정도를 차지하는 것과 비교해 약 2%정도 적었으며, 두류의 16% 수준보다는 BCAA 함량이 높았다(Lee KC 등 2016; Iqbal A 등 2006; Franco D 등 2009).

Table 21. Amino acids composition of mealworms with- or without-fat

	WF	SDF
Protein (%)	52.17±0.57	70.76±5.76
Essential amino acids (g/100 g protein)		
Histidine	3.07±0.00	2.89±0.22
Lysine	5.11±0.05	5.08±0.35
Methionine	0.51±0.01	1.15±0.13
Phenylalanine	3.90±0.00	3.86±0.17
Threonine	4.79±0.00	4.33±0.15
Isoleucine	4.46±0.00	4.45±0.24
Leucine	7.54±0.01	7.45±0.39
Valine	6.39±0.01	6.40±0.41
Sub total	35.78±0.01	35.61±0.27
Non essential amino acids (g/100 g protein)		
Alanine	8.10±0.01	8.12±0.61
Aspartic acid	8.38±0.01	8.39±0.40
Arginine	5.69±0.01	5.74±0.26
Cysteine	N.D.	N.D.
Glutamic acid	13.02±0.02	13.20±0.46
Glycine	5.25±0.02	5.26±0.38
proline	5.17±0.00	5.38±0.40
Serine	4.81±0.01	4.77±0.30
Tyrosine	7.26±0.00	7.59±0.45
Sub total	57.68±0.02	58.45±0.43
Total (E+NE)	93.46±0.01	94.06±0.39
E/NE	62.03	60.92
BCAA contents (%)	19.39±0.01	18.31±0.35

Data are expressed as mean±SD

[1)]WF: Blanched and hot-air dried mealworm, SDF: Defatted WF with solvent (n-hexane)

아미노산가는 구성아미노산의 함량 중 각 필수아미노산의 비율을 이용하여 FAO/WHO (1985)의 기준과 대비하여 계산하였다(Table 22). WF와 SDF의 lysine 비율은 각각 0.93, 0.92로 부족한 필수아미노산이었으며, methionine + cysteine의 함량이 가장 낮아 methionine이 제한아미노산인 것으로 나타났다. WF의 경우에는 기준에 비하여 methionine의 함량이 14.57% 수준 밖에 되지않아 아미노산가가 14.57로 나타났으며, SDF의 경우에는 비교적 WF에 비해 methionine의 비율이 높아 아미노산가가 0.33으로 나타났다. 일반적으로 동물성 단백질 급원에는 제한 아미노산이 없는 것으로 알려져 있으나, 곤충의 경우 가장 하위단계의 소비자로써 먹이가 되는 곡물 자체의 아미노산 구성에 영향을 크게 받는 것으로 판단된다. 갈색거저리 유충의 구성아미노산 함량을 측정한 Jones LD 등(1972)의 연구에서도 아미노산가가 1보다 낮았던 필수아미노산이 2종이었으며, lysine과 methionine으로 그 종류 또한 본 연구와 같았다. 그러나 lysine의 아미노산가가 82.91, methionine의 아미노산가가 55.71로 나타나 본 연구에 비해 lysine의 함량이 낮고 methionine의 함량이 높은 것으로 확인되었다. 이러한 결과에 대하여 Jones LD 등(1972)은 갈색거저리 유충의 먹이에 따라 그 구성이 크게 변할 수 있다고 하였으며, 밀이나 쌀 등의 곡물에서는 lysine, 두류에서는 methionine이 제한 아미노산으로 알려져 있어 갈색거저리 유충의 제한 아미노산과 그 종류가 일치하였기 때문에 급원식품에서부터 갈색거저리 유충의 제한 아미노산이 결정되는 것으로 판단된다. 따라서 특히 아미노산 중 methionine의 비율이 낮으므로 아미노산가가 좋은 갈색거저리 유충을 생산하기 위해서는 먹이 중 methionine의 함량을 높일 필요성이 있을 것으로 판단된다.

Table 22. Amino acids scores of mealworms with- or without-fat

	FAO/WHO ref. (1985)	WF[1)]	SDF
Histidine	2.0	1.54	1.45
Lysine	5.5	0.93	0.92
Methionine + Cysteine	3.5	0.15	0.33
Phenylalanine + Tyrosine	6.0	1.86	1.91
Threonine	4.0	1.20	1.08
Isoleucine	4.0	1.12	1.11
Leucine	7.0	1.08	1.06
Valine	5.0	1.28	1.28
Limiting amino acids		Met	Met
Amino Acids Score (AAS)		14.57	32.86

[1)]WF: Blanched and hot-air dried mealworm, SDF: Defatted WF with solvent (n-hexane)

단백질 식품에서 유리아미노산의 함량은 식품의 맛과 특히 연관된어 있으며, 아미노산의 종류별로 그 맛이 다른 것으로 알려져 있다(Son YJ 등 2016). 또한 유리아미노산의 함량은 가공 중 단백질의 용출, 분해 등 다양한 정보를 알 수 있는 지표로, 이를 측정한 결과를 Table 23에 나타내었다. WF의 유리아미노산 함량은 11.24±0.02 mg/g이었으며, 이에 비해 탈지 공정을 거친 SDF의 경우 유리아미노산 함량이 37.84±0.05 mg/g으로 나타났다. 이들의 유리아미노산 함량은 조단백량이 각각 52.17%, 70.76% 였던 것을 고려하면 전체 단백질량 중 각각 2.15%, 5.35% 비율로 유리아미노산 비율이 나타났다. 따라서 탈지 공정을 거치면서 전체 단백질량 중 유리아미노산의 비율이 증가하는 것이 확인되었다. EX와 EO의 경우에는 각각 전체 중량 중 유리아미노산의 함량이 4.20%, 13.08%로써 EX는 추출 전 시료인 WF에 비해 그 비율이 2배 가량 증가하여 고온가압을 가하여 추출하는 도중에 일부 단백질의 분해가 일어나는 것으로 추측되었다. 유리아미노산 비율의 증가는 효소처리를 통해 단백질을 분해함으로써, EX에 비해 EO에서 다시 3배 정도 증가하였으며, EX와 EO의 총단백질량 중 유리아미노산 비율로 환산하면 6.27%와 21.15% 로 3.4배 정도 유리아미노산이 비율이 증가하였다. 따라서 이에 의한 맛의 변화 등이 관측될 것으로 기대되었다.

Table 23. Free amino acids contents of mealworm powders and extracts

(unit: mg/g dry basis)

	WF[1)]	SDF	EX	EO
Aspartic acid	0.10±0.00[d2)]	0.36±0.01[c]	0.61±0.01[b]	4.47±0.06[a]
Glutamic acid	0.63±0.00[d]	2.01±0.19[b]	1.11±0.02[c]	6.76±0.09[a]
Asparagine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Serine	0.16±0.00[d]	0.52±0.04[c]	0.89±0.01[b]	12.21±0.18[a]
Glutamine	1.07±0.03[b]	3.21±0.37[a]	n.d.	n.d.
Histidine	0.64±0.01[d]	2.72±0.16[b]	2.11±0.02[c]	4.72±0.13[a]
Glycine	0.14±0.00[d]	0.53±0.02[c]	0.83±0.00[b]	5.35±0.04[a]
Threonine	0.34±0.01[d]	0.99±0.00[c]	1.16±0.01[b]	6.72±0.13[a]
Arginine	1.02±0.02[d]	3.96±0.29[b]	2.97±0.08[c]	8.76±0.14[a]
Alanine	0.25±0.01[d]	2.03±0.09[c]	2.91±0.04[b]	10.20±0.18[a]
Tyrosine	0.85±0.03[d]	2.96±0.22[c]	3.78±0.11[b]	11.69±0.19[a]

(Continued) Table 23. Free amino acids contents of mealworm powders and extracts

(unit: mg/g dry basis)

	WF[1)]	SDF	EX	EO
Valine	0.82±0.02[d]	2.21±0.05[c]	2.88±0.01[b]	6.73±0.00[a]
Methionine	0.03±0.00[d]	0.05±0.00[c]	0.15±0.01[b]	1.53±0.01[a]
Tryptophane	0.51±0.00[d]	1.53±0.09[b]	1.20±0.11[c]	3.43±0.08[a]
Phenylalanine	0.19±0.00[d]	0.50±0.04[c]	0.77±0.04[b]	2.77±0.05[a]
Isoleucine	0.33±0.01[d]	0.90±0.01[c]	1.28±0.04[b]	2.78±0.05[a]
Leucine	0.32±0.02[d]	0.86±0.03[c]	1.47±0.00[b]	11.19±0.07[a]
Lysine	0.26±0.00[d]	1.17±0.02[b]	0.93±0.07[c]	4.82±0.07[a]
Proline	3.57±0.06[d]	13.75±0.20[c]	16.66±0.24[b]	26.15±0.22[a]
Total A.A.	11.24±0.02[d]	37.84±0.05[c]	42.04±0.07[b]	130.78±0.11[a]

Data are expressed as mean±SD

[1)]WF: Blanched and hot-air dried mealworm, SDF: Defatted WF with solvent (n-hexane), EX: Mealwrom extracts without enzyme treat, EO: Mealworm extracts with enzyme treat

[2)]Different superscripts within rows (a-d) represent significant differences at $p<0.05$

유리아미노산의 함량 증가는 음식의 맛과 큰 관련이 있으나, 아미노산마다 영향을 주는 맛이 조금씩 다르고, 쓴 맛을 내는 아미노산이 있기 때문에 전체 유리아미노산 함량의 증가가 그대로 맛의 상승작용과 비례하지는 않는다. Nishimura T & Kato H (2009)는 유리아미노산과 맛 간의 상관관계에 대하여 단 맛, 쓴 맛, 신 맛, 우마미 맛, 짠 맛 등을 나타내는 유리아미노산과 펩타이드들을 정리하였다. 여러 연구들을 토대로 유리아미노산 중 serine, glycine, alanine, lysine이 단 맛에, glutamic acid, aspartic acid가 우마미 맛에, valine, methionine, isoleucine, leucine, phenylalanine, histidine, arginine, proline이 쓴 맛에 영향을 주는 것을 확인하였으며, 이를 토대로 단 맛과 우마미 맛 등 좋은 맛을 내는 유리아미노산과 쓴 맛을 내는 유리아미노산의 함량비를 구하여 유리아미노산에 의한 맛의 증진 정도를 확인하였다(Table 24). 좋은 맛을 나타내는 유리아미노산에 비해 쓴 맛을 나타내는 유리아미노산의 함량이 가장 높았던 시료는 WF였으며($p<0.05$), 0.22의 수치는 Lee KC 등(2016)이 닭고기에 대해 그 비율이 0.20 정도였다고 한 것에 비해 약간 높았다. 우마미 맛과 단 맛을 나타내는 유리아미노산 함량을 쓴 맛을 나타내는 유리아미노산 함량으로 나눈 값은 탈지 공정을 거치거나 고온가압 추출 시 일부 단백질의 분해가 일어나면서 그 값이 높아졌으며, 효소 처리를 가한 EO의 경우에는 WF에 비하여 3배 정도 그 비율이 증가하였다. 따라서 효소 처리를 통하여 맛의 증진 효과가 나타날 수 있음을 확인하였으며, 적절한 효소 처리를 통하여 갈색거저리 유충을 조미소재로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 24. Free amino acids contents of mealworm powders and extracts which affect tastes

(unit: mg/g dry basis)

	WF[1)]	SDF	EX	EO
Umami[3)]	0.73±0.00[d2)]	2.37±0.26[b]	1.72±0.01[c]	11.23±0.16[a]
Sweet	0.81±0.01[d]	4.24±0.12[c]	5.56±0.10[b]	32.58±0.33[a]
Bitter	6.92±0.15[d]	24.96±0.19[c]	28.29±0.40[b]	64.63±0.41[a]
(Umami+Sweet)/ Bitter	0.22±0.00[c]	0.27±0.03[b]	0.26±0.00[b]	0.68±0.00[a]

Data are expressed as mean±SD

[1)]WF: Blanched and hot-air dried mealworm, SDF: Defatted WF with solvent (n-hexane), EX: Mealwrom extracts without enzyme treat, EO: Mealworm extracts with enzyme treat

[2)]Different superscripts within rows (a-d) represent significant differences at $p<0.05$

[3)]Umami taste amino acids : aspartic acid + glutamic acid

Sweet taste amino acids : serine + glycine + alanine + lysine

Bitter taste amino acids : valine + methionine + isoleucine + leucine + phenylalanine + histidine + arginine + proline

3.3.2.2. 단백질의 물리화학적 특성

3.3.2.2.1. pH에 따른 단백질 용해도

단백질의 용해도는 소수성 단백질과 친수성 단백질의 비율이 크게 영향을 주며, 용액의 pH가 단백질의 등전점보다 크게 높거나 낮을 때 용해도가 크게 증가한다고 알려져있다(Moure A 등 2006). 따라서 단백질의 pH 변화에 따른 용해도는 식품 내 소수성 및 친수성 단백질의 비율을 알려주는 지표가 될 수 있다. 또한 식품 재료를 수용액 상태에 분산시킬 때 용액의 탁도를 결정하는 중요한 요소이며, 용해도에 따라 음식의 질이 변할 수 있다. 갈색거저리 유충을 이용하여 제조한 WF, EX, EO, MPI의 pH에 따른 용해도는 Fig. 10, 11과 같았다. 모든 시료에서 pH 12에서 가장 용해도가 높았으며, 일반적으로 단백질의 등전점으로 알려진 pH 4-5 사이에서 가장 용해도가 낮았다. WF의 경우 pH가 10 이하 일 때에는 pH 12 대비 50% 이하의 용해도를 나타내었으며, 중성의 pH에서는 pH 12일 때 대비 30% 대의 단백질 용해도를 보였다. 따라서 갈색거저리 유충 단백질은 친수성 보다는 소수성 단백질이 주를 이루고 있는 것으로 판단되었으며, 낮은 용해도로 인하여 식품에 적용 시 탁도를 증가시키는 등의 문제를 일으킬 수 있음을 확인하였다. 따라서 식품 재료로의 이용성을 고려하면 추출 등의 가공 공정이 필요할 수 있는 것으로 판단되었으며, 이에 갈색거저리 유충에서 추출한 EX와 EO, MPI에 대하여 다시 단백질의 pH에 따른 용해도를 분석하였다. EX의 경우, pH 7의 증류수를 가한채로 고온가압 조건하에 추출하였기에 pH 7에서 용해도가 높은 단백질이 많이 추출되어 pH 6-8 사이에서 단백질의 용해도가 50-60%로 나타나 원시료인 WF에 비해 2배 정도 높았다. 따라서 고온가압 추출법을 적용하면 친수성의 단백질을 더 많이 추출하여 최종 제품의 특성을 변화시킬 수 있음을 확인하였다. EO는 EX 방식으로 추출이 끝난 후에 미생물 유래 단백질 분해 효소를 처리한 것으로, 단백질의 용해도가 pH 12

일 때에 비하여 pH 10 이하에서는 20-30% 수준의 용해도를 나타내었다. 따라서 EX에서 추출된 친수성의 단백질이 단백질 분해효소에 의해 분해되면서 소수성의 잔기가 많이 생성된 것으로 판단되며, 유리아미노산의 증가로 인한 맛의 증가로 인한 이점은 있지만 수용액 하에서 탁도의 증가와 같은 문제가 발생할 수 있을 것으로 판단되었다. 이에 EO를 조미소재로써 이용하기 위해서는 용해도를 높이는 방안을 고려할 필요성이 있었다. MPI 시료는 pH 4-6의 일반적인 단백질 등전점 부근에서만 급격하게 용해도가 감소하였으며, pH 2이하 또는 pH 8 이상의 경우 그 용해도가 80% 이상 이었다. 따라서 MPI는 중성 및 약염기성의 액체 식품에 이용하기에 가장 적합한 단백질 추출 형태로 판단되었으며, 약산성 식품에서는 그 수용도가 크게 낮아 이를 이용한 응고제, 결착제 등의 역할이 일부 가능할 것으로 판단된다.

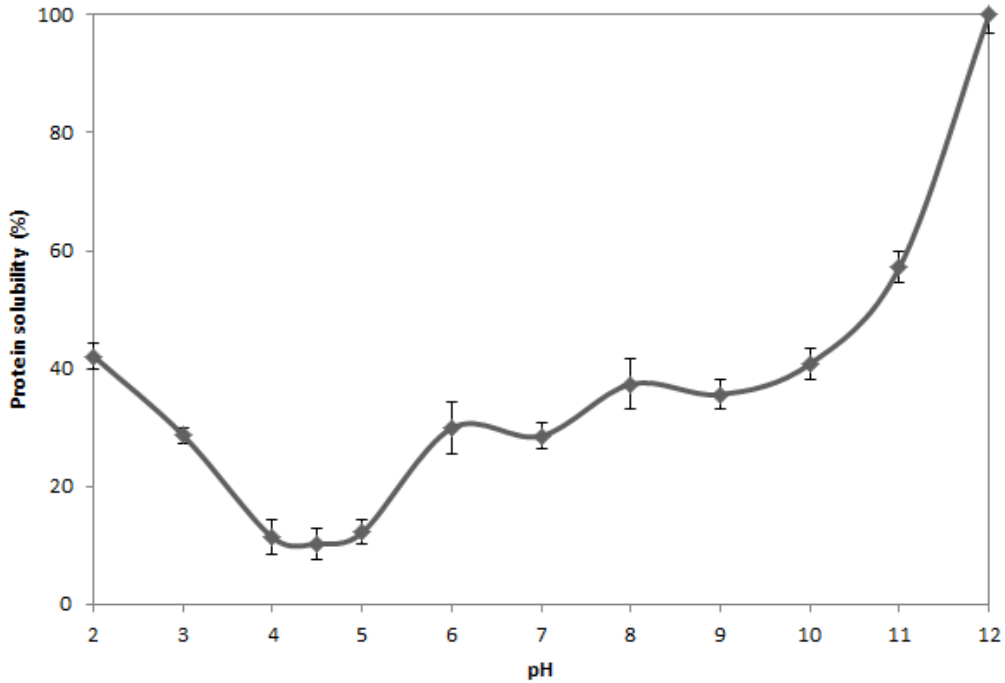


Fig. 10. Protein solubility of blanched and hot-air dried mealworms (SDF)

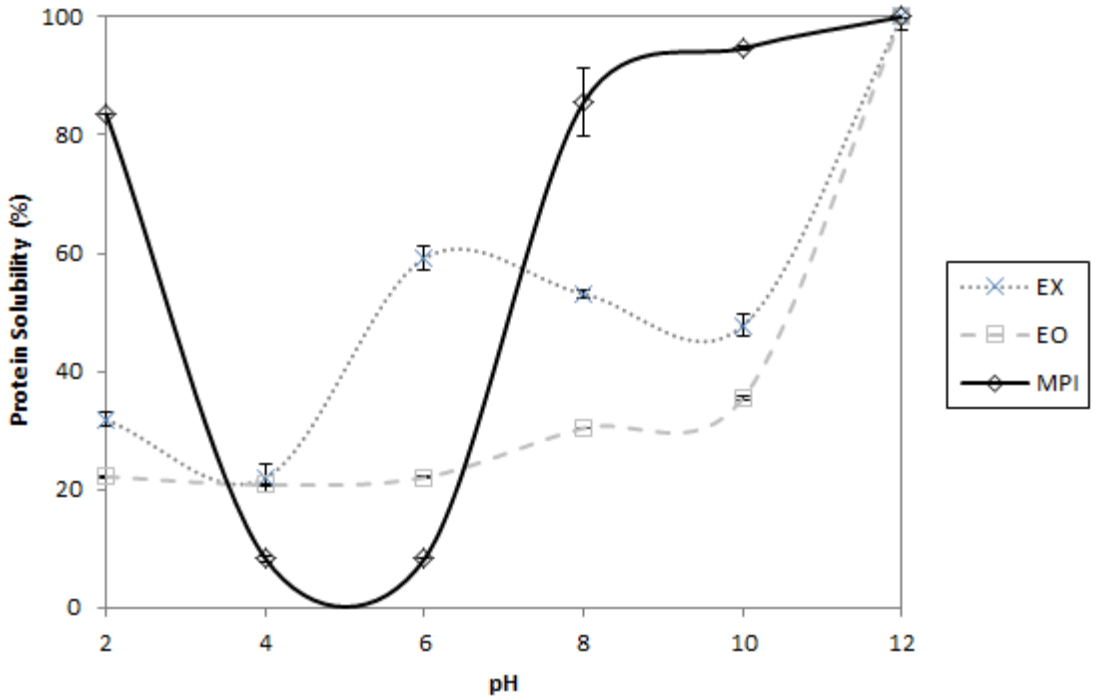


Fig. 11. Protein solubility of mealworm extracts and mealworm protein isolate

EX: Mealwrom extracts without enzyme treat, EO: Mealworm extracts with enzyme treat, MPI : Mealworm protein isolate

3.3.2.2.2. GPC를 이용한 추출물의 단백질 크기 분포 분석

GPC를 이용하여 갈색거저리 유충 시료의 수용성 단백질 fraction 및 지용성 단백질 fraction의 particle size distribution을 확인하고 평균 분자량을 확인하였다(Table 25-26, Fig. 12-15). 일반적으로 GPC 분석에서는 number averaged molecular weight (Mn), weight averaged molecular weight (Mw), molecular weight of polystyrene (MP), polydispersity (PDI) 등을 결과치로 활용하고 있으나, 본 연구에서는 순도가 높은 물질로 분석을 진행하지 않았기 때문에 peak가 서로 겹쳐있어 Mn, Mw, PDI는 거의 분석할 수 없었다. 이 중 PDI는 Mw/Mn 값으로써, peak의 분리도를 주로 나타내는 분석치이며 이를 이용하여 물질의 순도(purity)를 확인할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 추출 물질의 순도는 크게 의미가 없기 때문에 PDI 값은 큰 의미를 가지지 않을 것으로 생각된다. 시료의 molecular weight은 일반적으로는 Mn, Mw 값으로 확인할 수 있으나 본 연구에서는 Mn, Mw 값을 분석할 수 없었기 때문에 MP 값과 각 MP 값에 해당하는 peak area (%) 값을 이용하여 estimated average molecular weight을 계산하여 시료간의 단백질 크기 차이를 확인하였다.

수용성 GPC 분석 결과, MP 값이 117-118, 308-366, 958, 1,450-1,475, 55,728, 64,125, 156,797 Da에 해당하는 peak가 나타났다. 아미노산의 평균분자량은 142 Da정도이기 때문에, 117-118 Da에 해당하는 peak는 단일 유리아미노산이 관여하는 것으로 보이며, 308-366 Da에 해당하는 peak는 2-3개가 결합한 펩타이드인 것으로 추측되었다. MPI에서만 관찰된 958 Da에 해당하는 peak는 아미노산이 약 7개 연결된 펩타이드인 것으로 추측되었으며, 1,450-1,475 Da에 해당하는 peak는 10개 정도의 아미노산이 연결된 펩타이드인 것으로 추측되었다. 따라서 가열 및 압력을 가하지 않은 SDF와 MPI는 일반적인 수용액에 분산시켰을 때, 10개 이하의 아미노산이 결합한 저분자 펩타이드만이 주로 용출되는 것으로 확인되었다. SDF와 MPI에서 두드러지게 나타난 peak의 차이는 308-311 Da에 해당하

는 peak였는데, SDF에서는 polystyrene의 표준곡선에 따른 분자량이 311 Da이 되는 단백질 fraction의 peak area가 42.56%였으나, MPI 정제 시에는 분자량 311의 peak area가 18.06%로 감소하였다. 따라서 2개의 아미노산이 결합한 펩타이드로 예상되는 물질에 대하여 MPI 정제시에 많은 양이 소실되는 것을 확인하였다. 고온고압 추출 공정을 거친 EX의 경우, SDF에 비하여 64 kDa, 157 kDa에 해당하는 fraction이 추출되는 등 분자량이 큰 단백질도 많이 추출되었다. 이는 고온고압을 가하는 도중에 분자량이 큰 단백질의 구조 변화가 일어나 추출 효율이 증가하였기 때문으로 생각된다. 따라서 고온가압 조건이 없이 추출하는 경우에는 저분자 펩타이드 이외 단백질의 추출이 어려우나 고온고압 추출공정을 통해 단백질의 추출 효율을 크게 증가시킬 수 있음을 확인하였다. EX 시료를 다시 효소처리한 EO 시료의 경우, EX에 비해 분자량이 큰 단백질 fraction 관련 peak area가 확연히 줄어드는 것을 확인하였다. 따라서 효소 처리는 추출된 단백질의 평균 크기를 작게 만드는 것을 확인하였으며, 추출물의 맛과 이화학적 특성의 변화가 나타날 것으로 생각되었다.

SDF와 MPI 시료에 대하여 지용성 fraction에 대해 GPC 분석한 결과, SDF 시료에서는 하나의 넓은 peak가 관찰되었고 MPI에서는 peak가 관찰되지 않았다. 큰 분자의 단백질인 경우에는 친수성보다는 소수성을 띠는 단백질이 많은데, 이를 고려하였을 때 MPI를 정제할 때 큰 분자의 단백질은 대체로 추출되지 않은 것으로 판단된다. SDF 중 지용성 단백질 fraction은 평균 분자량이 Mn 방식으로 계산하면 66,672, Mw 방식으로 측정 시에는 95,743으로 측정되었다. PDI 값은 1.436 정도로 나타나 분자의 분포가 흩어져 있어 평균 분자량 값에 대한 오차가 큰 편이었다. 그러나 오차를 감안하더라도, SDF에서 분자량이 60,000-100,000 Da 정도 되는 큰 단백질의 경우에는 대체로 극성 용매보다는 비극성 용매에 대한 친화도가 높은 것을 확인하였다. 이러한 크기의 분자들이 SDF의 수용성 GPC 분석 시에는 추출이 되지 않은 것에 비하여 고온고압 방식으로 추출한 EX의 경우에는 MP로 추정한 분자량이 64,125 Da 부근인 단백질이

많이 추출된 것을 확인하였으며, 따라서 고온가압 추출 시 수용성 단백질 추출 효율의 증가는 갈색거저리 유충 원시료 내 단백질 중 비극성 용매 친화가 강한 단백질 fraction이 변성되면서 그 영향을 받는 것으로 사료된다.

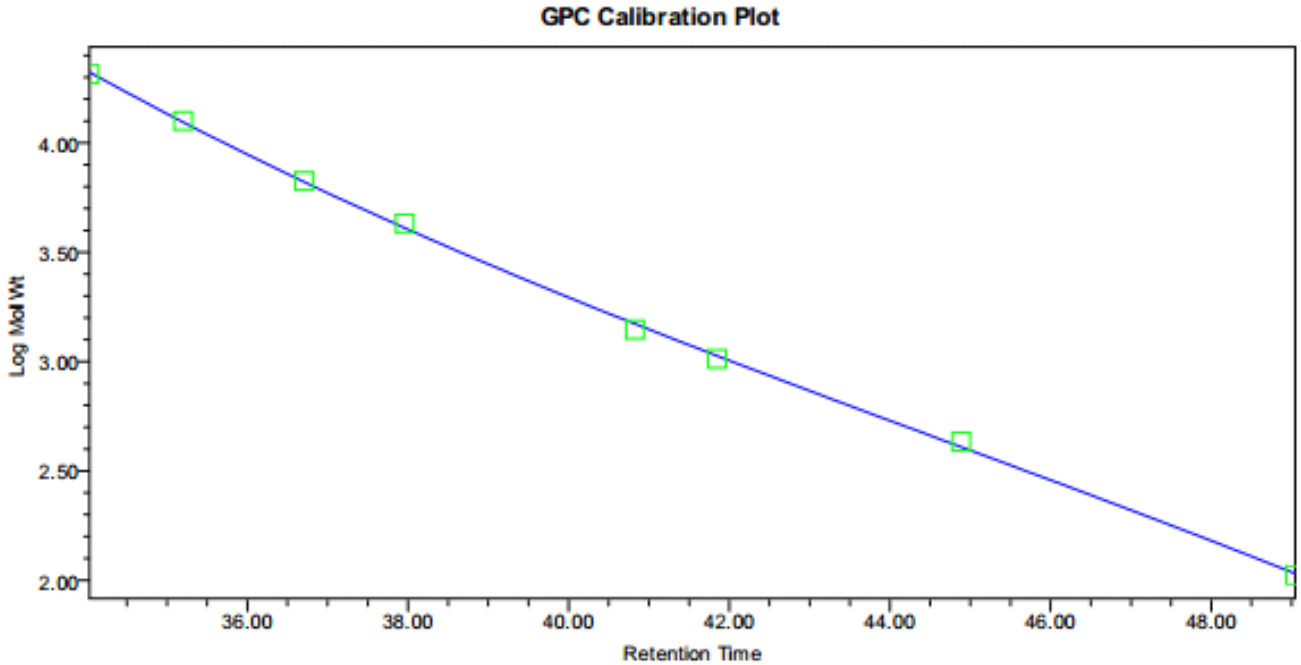


Fig. 12. GPC calibration plot with polystyrene (hydrophillic)

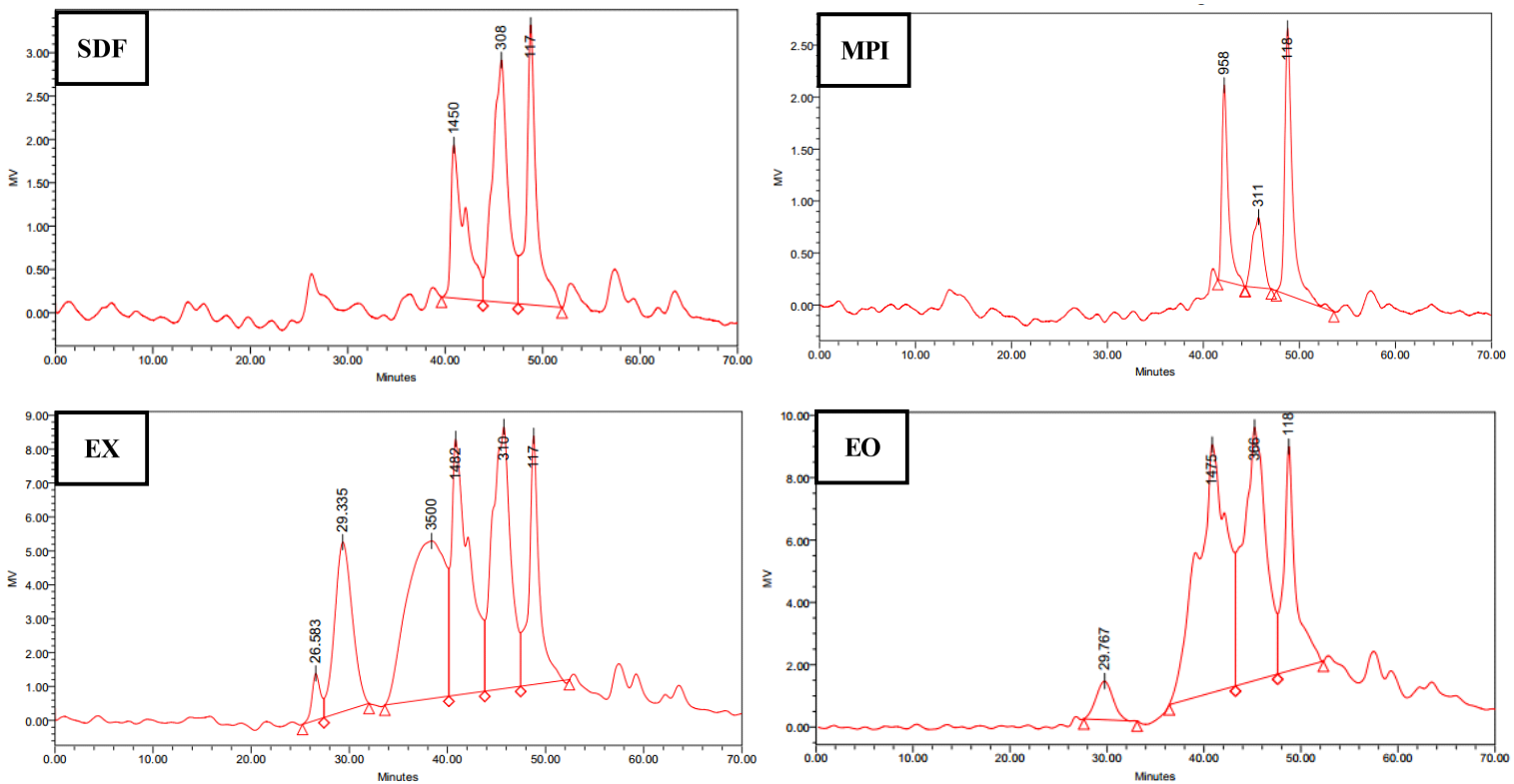


Fig. 13. Particle size distribution of mealworm extracts by GPC analysis (hydrophillic)

SDF: Mealworm defatted with solvent, MPI : Mealworm protein isolate, EX: Mealwrom extracts without enzyme treat, EO: Mealworm extracts with enzyme treat

Table 25. Results of GPC analysis for mealworm extracts (hydrophillic)

Sample	Retention time (min)	Area (%)	Mn[1)]	Mw	MP
SDF[2)]	40.900	24.99	-	-	1,450
	45.775	42.56	-	-	308
	48.783	32.44	126	128	117
MPI	42.170	30.82	-	-	958
	45.748	18.06	-	-	311
	48.763	51.11	120	121	118
EX	26.583	1.85	-	-	156,797
	29.335	14.06	-	-	64,125
	38.375	28.07	4018	5530	3,500
	40.836	21.21	-	-	1,482
	45.750	22.61	-	-	310
	48.785	12.19	-	-	117
EO	29.767	4.01			55,728
	40.850	44.69	1413	1827	1,475
	45.220	34.93	-	-	366
	48.750	16.37	-	-	118

[1)]Mn: Number averaged molecular weight, Mw: weight averaged molecular weight, MP: molecular weight of polystyrene

[2)]SDF: Solvent-defatted mealworm, MPI : Mealworm protein isolate, EX: Mealwrom extracts without enzyme treat, EO: Mealworm extracts with enzyme treat

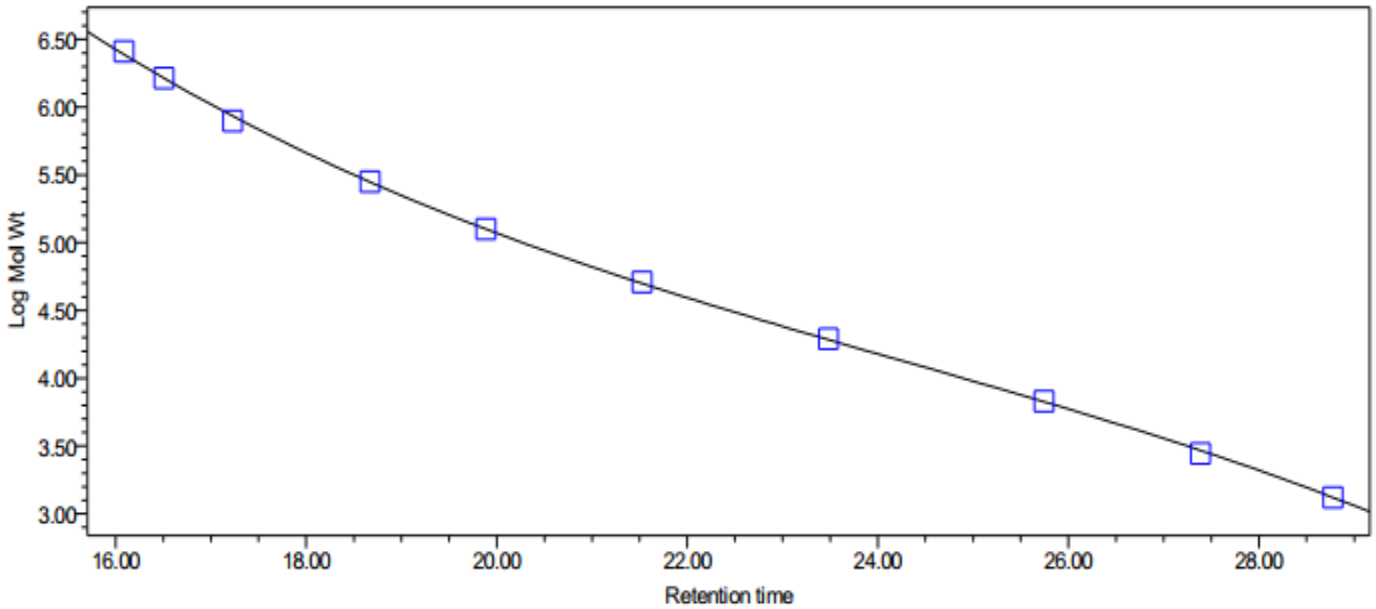


Fig. 14. GPC calibration plot with polystyrene (hydrophobic)

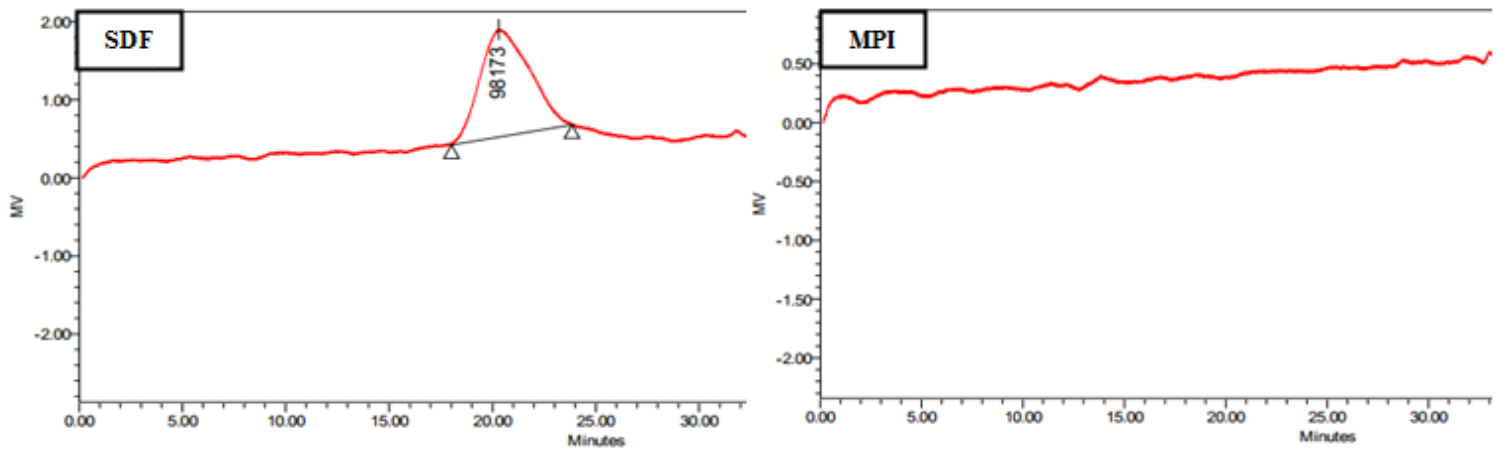


Fig. 15. Particle size distribution of mealworm extracts by GPC analysis (hydrophobic)

SDF: mealworm defatted with solvent, MPI : Mealworm protein isolate

Table 26. Results of GPC analysis for mealworm extracts (hydrophobic)

Sample	Retention time (min)	Area (%)	Mn[1)]	Mw	MP	Polydispersity
SDF[2)]	20.301	100.00	66672	95743	98173	1.436

[1)]Mn: Number averaged molecular weight, Mw: weight averaged molecular weight, MP: molecular weight of polystyrene
[2)]SDF: mealworm defatted with solvent

3.3.3. 지질 특성

3.3.3.1. 기름의 구성 성분

3.3.3.1.1. 지방산 분석

갈색거저리 유충 건조품에는 30-35% 정도의 지질이 함유되어 있기 때문에 지질의 영양성이 중요한 요소 중 하나라 할 수 있다. 이에 갈색거저리 유충에서 n-hexane 용매를 이용하여 추출한 기름의 지방산 조성을 분석하였으며 그 결과를 Table 27에 나타내었다. 일반적으로 식물성 유지에 비해 동물성 지질에는 포화지방의 함량이 높은 것으로 알려져 있다. 육류 중 불포화지방산의 함량이 가장 높은 편으로 알려진 돼지고기의 경우에는 지질 중 약 60%가 불포화지방산으로 이루어져 있으며, 양고기에는 약 40%, 쇠고기에는 약 50%의 불포화지방산이 함유되어있다(Enser M 등 1996). 갈색거저리 유충의 경우에는 불포화지방산의 함량이 65.99±0.72%로 나타나 동물성 급원에 비하면 불포화지방산의 함량이 높았으며, 따라서 갈색거저리 유충 기름은 물성에 있어 동물성 지질과 식물성 지질 사이의 특성을 나타낼 것으로 생각되었다. De Smet S 등(2004)은 동물성 급원에서의 지질은 PUFA의 함량도 중요하지만, PUFA와 SFA의 함량 차이로 인하여 동물성 식품의 물리화학적, 관능적인 특성에 큰 차이가 나타나므로 P:S ratio가 또 하나의 중요한 지표라고 하였다. 갈색거저리 유충의 PUFA의 함량은 19.82±0.88%였고, 이는 돼지고기(15.7%), 양고기(2.3%), 쇠고기(1.6%)에 비하여 높았으며, 또한 P:S ratio도 갈색거저리 유충이 0.88±0.03을 나타낸 것에 비하여 돼지고기는 0.61, 양고기는 0.09, 쇠고기는 0.05를 나타내어 갈색거저리 유충이 더 높았다(Wood JD 등 2008). 따라서 동물성 식품을 갈색거저리 유충으로 대체하는 경우, 불포화지방산의 함량이 매우 높고, 특히 PUFA의 함량이 높아 그 이점이 있을 것으로 생각된다. 동물성 지질에 비해 갈색거저리 유충

기름의 비율이 좋지 않았던 것은 n-6 지방산과 n-3 지방산의 비율이었는데, 갈색거저리 유충은 n-6 지방산인 linoleic acid의 함량이 19.48±0.79%로 높았으며, n-3 지방산은 다른 육류에 비해 그 함량이 높지 않았다. Scollan ND 등(2006)에 따르면 n-6:n-3 ratio의 적절한 섭취 비율은 4.0 미만이 좋다고 하였으며, 이에 비하면 갈색거저리 유충 기름을 위주로 섭취하는 경우에 n-6 지방산과 n-3 지방산의 균형은 좋지 않은 것으로 판단된다. 이러한 높은 n-6:n-3 ratio는 주로 식물성 유지에서 발견되는 특징으로써, n-3 지방산이 많은 것으로 알려진 유채씨(1.9), 들깨(0.2)를 제외하면 대두유(6.6), 옥수수유(31.9) 등 많이 이용되는 유지에서 모두 n-6 지방산의 비율이 높았으며, 해바라기씨유, 땅콩유의 경우 n-6 지방산과 n-3 지방산 비율이 350을 초과하였다(Kamal-Eldin A & Andersson R 1997; van Niekerk PJ & Burger AEC 1985; Yoshida H 등 1990; Shin HS & Kim SW 1994). 따라서 갈색거저리 유충 기름의 지방산 조성을 보았을 때, 대표적인 동물성 유지보다는 식용유로 많이 이용되는 식물성 유지와 그 영양성과 특성이 가까운 것으로 사료된다.

Table 27. Fatty acid compositions of mealworm oil

Fatty acids	Composition (g/100 g oil)
C4:0	n.a.
C6:0	n.a.
C8:0	n.a.
C10:0	0.03±0.00
C11:0	0.01±0.00
C12:0	0.32±0.01
C13:0	0.07±0.00
C14:0	3.96±0.21
$C14:1_{cis}$	0.03±0.00
C16:0	15.78±0.12
$C16:1_{cis}$	1.81±0.09
C17:0	0.12±0.01
C18:0	2.28±0.23
$C18:1_{cis}$	44.48±1.07
C18:2 (n-6)	19.48±0.79
C18:3 (n-3)	0.42±0.05
C20:0	0.11±0.01
$C20:1_{cis}$	0.10±0.02
C20:2 (n-6)	0.05±0.00
Total	88.62±0.59
SFA[1)]	22.63±0.13
MUFA	46.17±1.60
PUFA	19.82±0.88
USFA	65.99±0.72
n-6:n-3 ratio	47.03±4.58
P:S ratio	0.88±0.03

Data are expressed as mean±SD

[1)]SFA: Saturated fatty acid, MUFA: Monounsaturated fatty acid, PUFA: Polyunsaturated fatty acid, USFA: Unsaturated fatty acid

3.3.3.1.2. 기름 중 생리활성 물질의 함량

토코페롤(vitamin E)은 생리적으로 중요한 영양소 중 하나로써, 특히 지용성 식품에서 free radical이나 hydroperoxy radical에 의한 지질 산화를 방지하는 천연 항산화제 중 하나이며(Bramley PM 등 2000), 고등 식물체와 남조류에서만 주로 합성되므로, 동물성 유지에는 식물성 유지에 비해 그 함량이 매우 낮은 것으로 알려져 있다(Kamal-Eldin A & Appelqvist LA 1996). 폴리페놀 또한 주로 식물성 식품에 널리 분포하며, 항산화성 등 다양한 기능성을 가지고 있고 기름에서는 지질 산화 억제의 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Scalbert A 등 2005). 따라서 기름 내 대표적인 생리활성 물질로써, 갈색거저리 유충 기름의 토코페롤 및 폴리페놀 함량을 측정하였으며, 또한 기름 내 주요 생리활성 물질인 스쿠알렌과 함께 스테롤 계열 물질의 함량을 측정하여 그 결과를 Table 28에 나타내었다.

갈색거저리 유충 기름의 토코페롤 함량을 측정한 결과, 전체 함량은 144.3±3.0 mg/kg oil로 나타났으며, γ-tocopherol이 123.5±2.7 mg/kg oil의 함량을 보여 전체 토코페롤 중 85.6%의 함량을 차지하였다. Jeon YH 등(2016)이 갈색거저리 유충 기름에 대해 토코페롤 함량을 측정한 결과 α-, γ-, δ-tocopherol의 함량이 각각 4.42-5.74, 165.75-186.02, 3.91-6.66 mg/kg oil을 나타내었다고 하여 본 연구와 그 수치가 비슷하였으며, 특히 γ-tocopherol 함량이 높은 경향이 같았다. 이외에 Han SR 등(2016)은 갈색거저리 유충의 토코페롤 함량에 대하여 매우 극미하여 정량할 수 없었다고 하였으며, Jones LD 등(1972)은 건조된 갈색거저리 유충의 tocopherol 함량이 29.8-33.4 mg/kg이었다고 하여 지질 함량에 따라 환산하였을 경우에 약 100 mg/kg oil로써 본 연구의 total tocopherol 함량의 2/3 수준으로 보고하였다. 동물성 식품의 토코페롤 함량을 살펴보면, 닭고기에는 2.73-4.17 mg/kg (Maraschiello C 등 1999)이 함유되어 있었다고 하여 갈색거저리 유충의 원시료 기준으로 환산한 토코페롤 함량인 42.57 mg/kg에 비해 10분의 1 수준이었으며, Surai PF & Sparks NHC (2000)은

돼지고기의 근육층에는 9.5 mg/kg, 비계에는 138.8 mg/kg 수준의 토코페롤 함량이 축적되어 있었다고 하였고, 이 수치 또한 갈색거저리 유충의 토코페롤 함량에 비해 낮았다. 따라서 갈색거저리 유충의 토코페롤 함량은 돼지고기, 닭고기 등에 비해서는 높은 것을 확인하였다. 식물체 내의 토코페롤은 일반적으로 α-tocopherol이 주로 관여한다고 알려져 있으며 대표적인 식물성 유지 중 하나인 올리브유에는 82.6-235.2 mg/kg oil 수준의 α-tocopherol이 함유되어 있고 γ-tocopherol은 거의 발견되지 않는다고 하였다(Okogeri O & Tasioula- Margari M 2002). Nolasco SM 등(2004)은 해바라기유에 대하여 전체 토코페롤 함량이 389-1,873 mg/kg oil이었고, 주로 α-tocopherol으로 이루어져 있었다고 하였으며, Carpenter AP (1979) 또한 콩기름과 옥수수유 내 토코페롤은 주로 α-tocopherol 위주로 구성되어 있었으며, 그 전체 함량은 각각 870-1,360 mg/kg oil과 610-950 mg/kg oil이었다고 하였다. 따라서 올리브유, 콩기름, 옥수수유 등의 유지보다 적은 양의 토코페롤이 갈색거저리 유충에 함유되어 있었으나, 많은 식물성 유지에서 α-tocopherol이 주된 토코페롤인데 비해 갈색거저리 유충은 γ-tocopherol의 함량이 높았다. γ-tocopherol은 α-tocopherol에 비하여 분해되는 속도가 느려 유지 내에서 더 오래 항산화 작용을 할 수 있으며, 서로 다른 생리활성 특성을 지니고 있고, 특히 인체 내에서는 α-tocopherol에 비해 biological activity가 높아 더 효율적인 것으로 알려져 있으므로 이에 대한 특수성이 있을 것으로 예상되었다(Wagner KH 등 2004; Bieri JG & Evarts RP 1974).

이에 비해 갈색거저리 유충 기름의 폴리페놀 함량은 18.0±1.3 mg/kg oil로 측정되었다. 이 수치는 올리브유의 폴리페놀 함량인 62-172 mg/kg oil (Gómez-Rico A 등 2007; Nam HY & Lee KT 2007)에 비하여 1/10-1/5 수준이었으며, 포도씨유의 경우에도 올리브유와 비슷한 59-116 mg/kg oil 수준의 함량을 나타내었다(Bail S 등 2008). 따라서 갈색거저리 유충 기름 중 폴리페놀 함량은 올리브유, 포도씨유 등의 유지보다는 적은 수준인 것으로 나타났으나 토코페롤의 경우와 마찬가지로 고등 동물에 비해

서는 그 함량이 높을 것으로 예상되었다.

일부 식물성 기름에서는 스쿠알렌과 함께 stigmasterol, ergosterol 등의 phytosterol 계열 물질이 함유되어 있어 섭취 시 생리활성을 가진다고 하였으나, 갈색거저리 유충 기름에서는 phytosterol 계열 물질은 검출되지 않았다(data not shown).

스쿠알렌(2, 6, 10, 15, 19, 23-hexamethyl tetracosahexaene)은 식물과 동물 내 모든 스테로이드 계열 물질의 전구체로써 기름의 산화안정성에 긍정적인 영향을 주며, 다양한 생리활성을 가지는데 특히 항암 효과가 뛰어난 것으로 알려져 있다(Vázquez L 등 2007). 스쿠알렌은 β-hydroxy-β methylglutaryl-CoA (HMG-CoA) reductase 활성도를 낮추어 혈중 콜레스테롤 농도를 낮추고, 또한 farnesyl pyrophosphate 활성을 낮추어 종양 단백질의 prenylation을 방해함으로써 암세포의 전이를 낮추는 작용을 한다(Newmark HL 1997). 특히 상어 간유에 그 성분이 풍부하여 기름 중량의 40% 정도를 차지하는 것으로 알려져 있으며(Liu CK 등 1976), 식물성 유지 중에는 아마란스유에 풍부하여 기름 중량 중 1-6% 정도를 차지한다고 하였다(He HP & Corke H 2003). 또한 올리브유에는 5-400 mg/kg oil (Murkovic M 등 2004; Owen RW 등 2000), 팜유에는 200-600 mg/kg oil (Goh SH 등 1985), 견과류에는 9.4-186.4 mg/kg oil (Maguire LS 등 2004)이 함유되어 있다고 하였다. 동물성 식품인 닭고기에는 3-9 mg/kg (Kalogeropoulos N 등 2010), 돼지고기에는 17.8-25.4 mg/kg (Slover HT 등 1987)으로 보고되었으며, 건조 중량으로 환산한 갈색거저리 유충의 스쿠알렌 함량은 약 7.5 mg/kg으로써, 돼지고기보다는 그 함량이 낮았으며 닭고기와 함량이 비슷하였다.

콜레스테롤은 동물성 식품에 주로 들어있으며, 혈중 지질 농도를 높여 동맥경화 등과 관련되어 있는 것으로 알려져 있다. 갈색거저리 유충의 콜레스테롤 함량을 GC-MS로 측정한 결과, 같은 조건에서 측정한 밀배아유에서 1.81±0.10 mg/kg oil 정도의 양이 검출된 것에 비해 갈색거저리 유충은 극히 미량이 검출되어 정량이 불가하였다(data not shown). 콜레스

테롤은 닭고기에는 413-638 mg/kg (Kalogeropoulos N 등 2010), 돼지고기에는 600-700 mg/kg (Slover HT 등 1987) 정도 함유되어 있다고 보고된 것에 비해 갈색거저리 유충은 검출한계 미만의 콜레스테롤을 함유하여 긍정적인 면이 있었으며, 식물성 유지에도 일부 콜레스테롤 함량이 있어 Rastrelli L 등(2002)은 올리브유에 0.1 mg/kg oil 정도의 콜레스테롤이 함유되어 있고, 팜유에는 60 mg/kg oil (Choo YM 등 2005)만큼 함유되어 있다고 하여 갈색거저리 기름을 식용 유지로 이용할 경우, 혈중 콜레스테롤 조절에 일부 장점이 있을 것으로 기대되었다.

Table 28. Tocopherol contents, polyphenol contents, and contents of squalene for mealworm oil extracted with n-hexane

	Mealworm oil
The contents of tocopherols (mg/kg oil)	
α-Tocopherol	6.3±0.1
β-Tocopherol	8.5±0.6
γ-Tocopherol	123.5±2.7
δ-Tocopherol	6.1±0.3
Total tocopherol	144.3±3.0
Total polyphenol (mg gallic acid equivalent/kg oil)	18.0±1.3
Squalene (mg/kg oil)	21.1±5.0

Data are expressed as mean±SD

3.3.3.2. 기름의 물리화학적 특성

갈색거저리 유충을 블랜칭 희생하고 열풍건조한 뒤 n-hexane으로 추출한 갈색거저리 유충 기름의 물리화학적인 특성을 측정하여 Table 29에 정리하였다. 갈색거저리 유충의 기름은 연한 노란빛의 액체로 나타나 일반적인 대두유, 옥수수유, 해바라기유 등 많이 사용되는 식용유와 유사한 외관을 지니고 있었으며 추출 수율은 29.47±0.95%였다. 추출된 기름의 비중은 15℃에서 0.8528±0.0032로 나타났으며, 이는 Jeon YH 등(2016)이 갈색거저리 유충의 로스팅 정도를 달리하여 추출한 기름의 0.8567-0.8930 범위보다 약간 낮았다. 추출된 기름의 점도는 20℃ 조건에서 324.17±6.29 cP로 측정되었는데, 이는 Jeon YH 등(2016)이 25℃에서 갈색거저리 유충 기름을 측정한 246.67-326.67 cP의 범위에 속하였으나 본 연구에서 추출된 기름의 점도가 높은 편이라고 볼 수 있었다. 이러한 차이는 본 연구에서 점도를 측정한 온도 조건이 5℃ 더 낮아 점도가 더 높게 측정된 것으로 판단되며, 온도 조건을 고려하면 Jeon YH 등(2016)이 밝힌 갈색거저리 유충 기름과 그 값이 유사한 것으로 판단된다. 색도는 Jeon YH 등(2016)의 연구에서 로스팅 정도에 따라 L값이 8.49-29.09, a값이 -3.72-8.41, b값이 10.71-23.29 범위를 나타내었으며, 본연구에서는 L, a, b 값이 각각 38.93±0.28, -1.94±0.08, 7.51±0.57로 나타나 L 값은 더 높아 밝은 색을 띠었으며, b 값은 더 낮았다. 이러한 차이는 본 연구에서 사용된 갈색거저리 유충에서 갈색화 반응이 적게 일어났기 때문에 발생한 것으로 생각된다. 추출 직후 기름에 대하여 과산화물가와 산가, TBARS를 품질지표로써 측정한 결과, 그 값이 각각 3.45±0.18 meq/kg oil, 2.64±0.04 mg KOH/g oil, 1.80±0.09 mg MDA/kg oil으로 나타났다. Jeon YH 등(2016)의 연구에서는 갈색거저리 기름의 추출 직후 과산화물가의 함량이 로스팅 공정을 거친 경우 4.98-9.94 meq/kg oil을 나타내어 본 연구에서 추출된 기름의 과산화물가 함량이 더 낮았으며, 산가의 경우에는 Jeon YH 등(2016)은 추출 직후에 1.12-1.22 mg KOH/g oil을 나타낸 것에 비해

본 연구에서 추출한 기름의 산가가 더 높았다. 추출 직후의 과산화물가 값에 대하여 홍화유(Lee YC 등 2004)와 참기름(Abou-Gharbia HA 등 2000)은 정제하지 않은 경우에도 3 meq/kg 이하의 낮은 값을 나타내었으며, 해바라기유와 대두유 등 정제 공정을 거친 경우의 식용 유지는 그 값이 더 낮았다(Kamal-Eldin A 2006). 따라서 본 연구에서 추출한 갈색거저리 기름은 일반적인 기름에 비해 산화 지표의 초기 값이 높았으며, 이에 정제 공정 등을 거치면 그 품질을 조금 더 향상시킬 수 있을 것으로 기대되었다.

Table 29. Physicochemical properties of mealworm oil extracted with n-hexane

	Mealworm oil
Extraction Yield (%)	29.47±0.95
Specific gravity (15℃)	0.8528±0.0032
Viscosity (cP)	324.17±6.29
Color	
L	38.93±0.28
a	-1.94±0.08
b	7.51±0.57
Peroxide value (meq/kg oil)	3.45±0.18
Acid value (mg KOH/g oil)	2.64±0.04
TBARS (mg MDA/kg oil)	1.80±0.09

Data are expressed as mean±SD

3.3.3.3. 기름의 산화안정성 예측

유지의 산화안정성은 rancimat 기기를 이용하여 가속 산화하면서 induction time을 측정하였으며, 대조군으로써 올리브유와 함께 갈색거저리 유충의 주 먹이가 밀기울이기 때문에 밀배아유를 함께 선택하여 실험하였다(Table 30). 측정 결과, 밀배아유는 7.89±0.29 h로 가장 낮은 induction time을 나타내었고, 올리브유가 47.62±0.81 h로 가장 높은 induction time을 보였다($p<0.05$). 이에 비하여 갈색거저리 기름은 두 기름의 중간치를 나타내어 induction time이 35.97±0.71 h였다. 연구에 따라 그 측정 조건이 상이하여 절대적인 비교는 어려우나 Farhoosh R (2007)은 rancimat을 이용한 유도산화 시 온도 조건, flow rate, 기름의 양 등에 대한 조건을 달리하여 분석하면서 그 분석 조건이 상이하여도 Q_{10} value가 1.99-2.08사이로 나타났다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 Q_{10} value를 Farhoosh R (2007)이 측정한 값들의 전체 평균인 2.05로 설정하여 다른 연구 결과와 induction time을 비교하였다. 일반적으로 virgin grade의 기름이 extra virgin grade의 기름에 비해서는 산화가 더 잘 일어나는 것으로 알려져 있으며, 따라서 밀배아유의 경우 virgin grade가 실험 재료로 이용되었기 때문에 특히 더 산화안정성이 좋지 않았던 것으로 판단된다. 올리브유의 경우 Q_{10} value를 이용하여 환산한 induction time이 virgin grade가 20-40 h, extra virgin grade가 30-60 h라 보고되었으며(Gómez-Rico A 등 2007; Morelló JR 등 2004), 본 연구에서 사용된 extra virgin 올리브유의 산화유도기간은 30-60 h 구간에 속하였다. 다른 식용유지의 경우에도 동일한 Q_{10} value를 적용하면, 비정제된 아마씨, 호박씨, 아마란스, 보리지 등에서 추출한 식물성 유지는 6-14 h의 induction time을 나타내어 그 값이 밀배아유와 비슷하였으며(Szterk A 등 2010), 시중에 판매되고 있는 정제 공정을 거친 대두유나 옥수수유의 경우에는 100 h가 넘는 induction time을 나타내었다(Parker TD 등 2003). Farhoosh R (2007) 등은 Q_{10} value를 이용하여 상온 유통기한 추정을 위하여 20℃에서의 oil

stability index (OSI_{20})을 환산하였으며, 이 공식에 따라 본 연구의 밀배아 유와 갈색거저리 유충 기름, 올리브유에 대하여 OSI_{20}을 구하고, 상온에서의 유통기한을 예측하였다. 올리브유는 404 d로 유통기한이 예측되었으며, 상용 extra virgin 올리브유의 유통기한이 1년 정도로 설정되어 유통되고 있기 때문에 유통기한 예측 모델의 실제적인 적용이 가능할 것으로 판단되었다. 이를 토대로 예측한 갈색거저리 유충 기름의 상온에서의 유통기한은 305 d로 약 10개월 정도였으며, 비정제된 상태이므로 정제 공정을 거치면 1년 이상의 유통기한을 나타낼 수 있을 것으로 예상되었다. 따라서 갈색거저리 유충 기름은 식용유지로 이용하기에 충분히 지질 산화에 대하여 안정한 것으로 사료된다.

Table 30. The induction times of three oils and their shelf-life prediction for 20℃

	Induction time (h)	Predicted shelf-life (day)
Mealworm oil (Extracted with n-hexane)	35.97±0.71[b1)]	305
Wheat germ oil (Pressed - Virgin grade)	7.89±0.29[c]	67
Olive oil (Pressed - Extra virgin grade)	47.62±0.81[a]	404

Data are expressed as mean±SD

[1)]Different superscripts within columns (a-c) represent significant differences at $p<0.05$

Shelf-life prediction at 20℃ was calculated by OSI_{20} × (factor of safety)

OSI_{20} : induction time at 20℃ (calculated by Q_{10} factor : 2.05)

factor of safety : 0.7

3.3.4. 탄수화물 특성

3.3.4.1. 갈색거저리 유충의 당 함량

갈색거저리 유충의 탄수화물 중 당 성분을 추출하여 총당과 함께 환원당, 유리당, 고분자 당의 함량 등 세부 성분 함량을 측정한 결과를 Table 31에 나타내었다. 갈색거저리 유충의 일반성분 측정 결과, 11.45%의 탄수화물이 함유되어 있는 것으로 나타났으나, 총 수용성 당의 함량을 측정한 결과 3.22±0.10%로 나타나 실제 당의 함량이 탄수화물의 함량에 비해 낮은 것을 확인하였으며, 총 글루코사민 함량을 측정한 결과 4.84% 정도로 나타나 탄수화물 함량 중 키틴질이 많은 비율을 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 총 수용성 당 중에서도 단당류 또는 이당류 함량을 분석하기 위해 유리당의 함량을 측정한 결과, glucose와 fructose, sucrose의 함량이 각각 31.02±1.95, 77.36±0.35, 12.46±0.94 mg/100 g dry basis로 나타났으며 galactose는 검출되지 않았다. 관찰된 glucose 함량은 생선의 경우 18-72 mg/100 g의 glucose 함량을 나타내었다고 하여 그 함량이 유사한 것을 확인하였다(Tarr HLA 1966). 총 유리당의 합은 120.84±1.07 mg/100 g dry basis으로써, 전체 중량 중 0.1%를 차지하였다. Jakinovich W & Sugarman D (1988)는 인간의 설탕에 대한 단맛 역치가 수용액 중 설탕 함량이 0.125% 가량 될 때라고 하였으며, 따라서 갈색거저리 유충은 유리당의 함량이 매우 낮아 유리당 보다는 주로 유리아미노산이 맛에 관여하는 것으로 판단되었다. 갈색거저리 유충의 환원당 함량은 전체 중량 대비 0.19%로 나타나, 돼지고기 0.2-1.3%에 비해 그 양이 적었으며, 이에 비해 글리코겐이 주성분일 것으로 추정되는 다당류의 함량은 1.76±0.01%로 나타나 돼지고기의 글리코겐 함량이 0.7%이었다고 한 것에 비해 그 함량이 2배 이상 높았다(Pearson AM 등 1962).

Table 31. Contents of sugar, reducing sugar, oligo- and poly-sacharides, free sugar for mealworm

	WF[1)]
Total sugar (g/100 g dry basis)	3.22±0.10
Reducing sugar (g/100 g dry basis)	0.19±0.01
Oligo- and poly-sacharides (g/100 g dry basis)	1.76±0.01
Free sugar (mg/100 g dry basis)	
Glucose	31.02±1.95
Fructose	77.36±0.35
Sucrose	12.46±0.94
Galactose	trace
Total	120.84±1.07

Data are expressed as mean±SD

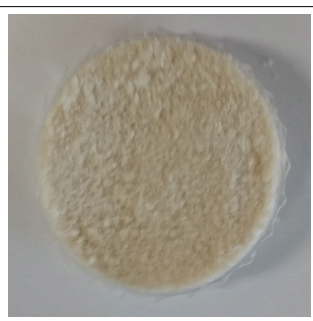
[1)]WF : whole-fat mealworm sacrificed with blanching and hot-air dried

3.3.4.2. 키틴의 함량 및 물리화학적 특성

3.3.4.2.1. 키틴의 수율 및 기초 특성

갈색거저리 유충에서 키틴을 정제하여 그 수율과 단백질량, 수분량, 색도, 백색도, 외관 등의 기초 특성을 측정한 결과를 Table 32에 나타내었다. 일반적으로 상업적인 키틴은 새우, 게 등 갑각류의 비가식부인 껍데기에서 주로 추출하고 있으며 새우 껍데기의 경우 그 수율이 약 20%, 게의 껍데기의 경우 그 수율이 약 30-40% 정도였다고 하였다(Manni L 등 2010; Jung WJ 등 2007). 이에 비해 갈색거저리 유충에서 키틴을 정제한 결과, 그 수율이 4.72±0.21%로 산업적인 생산에서는 기존의 갑각류 비가식부를 이용하는 것이 좋은 것으로 확인되었으나, 갈색거저리 유충의 경우 섭취 시 키틴질을 함께 섭취하는 식품이기 때문에 그 영양성을 확인할 필요성이 있으므로, 키틴을 따로 추출하여 그 특성에 대해 확인하였다. 누에번데기의 경우에는 실크를 생산하고 그 번데기가 폐기되는 경우가 많아 Paulino AT 등(2006), Yanyang NHCHY 등(1998)의 연구에서 키틴을 추출하는 연구가 진행된 바 있으며, 그 수율은 2.5-4.2% 정도로 나타나 갈색거저리 유충에 비해 수율이 낮았다. 제조된 키틴의 색은 Yen MT 등(2009)이 게의 껍데기를 이용하여 추출한 키틴이 L, a, b, WI 값이 각각 55.4-62.4, 0.3-1.1, 14.7-16.8, 43.9-59.6이었던 것에 비하여 본 연구에서 제조된 갈색거저리 유충의 키틴은 L 값과 WI 값이 82.21±0.72, 80.13±0.81을 나타내는 등 특히 높았으며, b 값은 8.68±0.37으로 더 낮았다. Manni L 등(2010)이 새우 껍데기에서 추출한 키틴에 대해서 외관을 “yellowish flake” 또는 “white flake”로 표시하였는데, 본 연구에서 추출된 키틴은 백색도가 높고, 색이 옅은 white flake의 외관을 지니는 것으로 생각되었다.

Table 32. Specific gravity, viscosity, and color values of chitin from mealworm

	Chitin from mealworm
Yield (%, dry basis)	4.72±0.21
Moisture (%)	2.38±0.05
Protein (%)	9.96±0.36
Color	
L	82.21±0.72
a	1.81±0.08
b	8.68±0.37
Whiteness index (WI)	80.13±0.81
Appearance	White flakes
Picture of chitin	

Data are expressed as mean±SD

3.3.4.2.2. 키틴 및 키토산의 물리화학적 특성

갈색거저리 유충 유래 키틴 및 키토산의 물리화학적인 특성을 살펴보기 위하여, FESEM micrographs, NMR, FT-IR, XRD 등의 분석을 진행하였다. 갈색거저리 유충에서 정제한 키틴 및 키토산과 함께 대조군으로 새우 껍데기 유래 α-chitin의 field-emission scanning electron microscope (FESEM) 사진을 Fig. 16-18에 나타내었다. Sagheer FAA 등(2009)은 α-chitin의 경우, 표면에 lamella structure가 관찰되었다고 하였으며, 본 연구에서도 α-chitin과 갈색거저리 유충 유래 키틴의 배율 ×300의 사진에서 일부 lamella structure를 찾아 볼 수 있었다. 배율 ×10,000로 확대한 사진에서는 키틴의 표면이 비교적 울퉁불퉁하였으며, 키토산의 경우에는 그 표면이 매끄러워지면서 큰 pore가 비교적 규칙적으로 생성되는 것을 관찰하였으며, 이러한 pore의 생성은 Paulino AT 등(2006)도 키틴에서 키토산을 제조할 때 발견하였다고 하였다. 키틴의 degree of acetylation (DA)과 키토산의 degree of deacetylation (DDA)은 키틴 또는 키토산 자체 특성을 연구할 때 시료 내 키틴과 키토산 비율에 대한 순도로 주로 확인하는 비율로써, 본 연구에서는 energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) 분석을 통해 질소와 탄소 원소 비율을 확인하고, 이를 이용하여 각 비율을 환산하여 결과를 Table 33에 나타내었다. 갈색거저리 유충을 이용하여 제조된 키틴의 DA는 95.02±0.22%로, 구입한 α-chitin from shrimp의 DA 수치인 94.81±0.05%와 유의한 차이를 보이지 않았으며, 이는 Manni L 등(2010)이 제조한 키틴의 DA 77-90%보다 높았고, Sagheer FAA 등(2009)이 제조한 키틴의 DA 비율인 90-98%과 비슷하였으며, 이에 충분한 키틴 순도를 가지는 것으로 판단되었다. 제조된 키토산 또한 DDA 비율이 94.69±0.06%로, Yen MT 등(2009)이 직접 키토산을 제조했을 때 나타난 DDA 비율이 83.3-93.3%였음을 고려하면 키토산으로 전환된 순도가 매우 높은 것으로 생각된다.

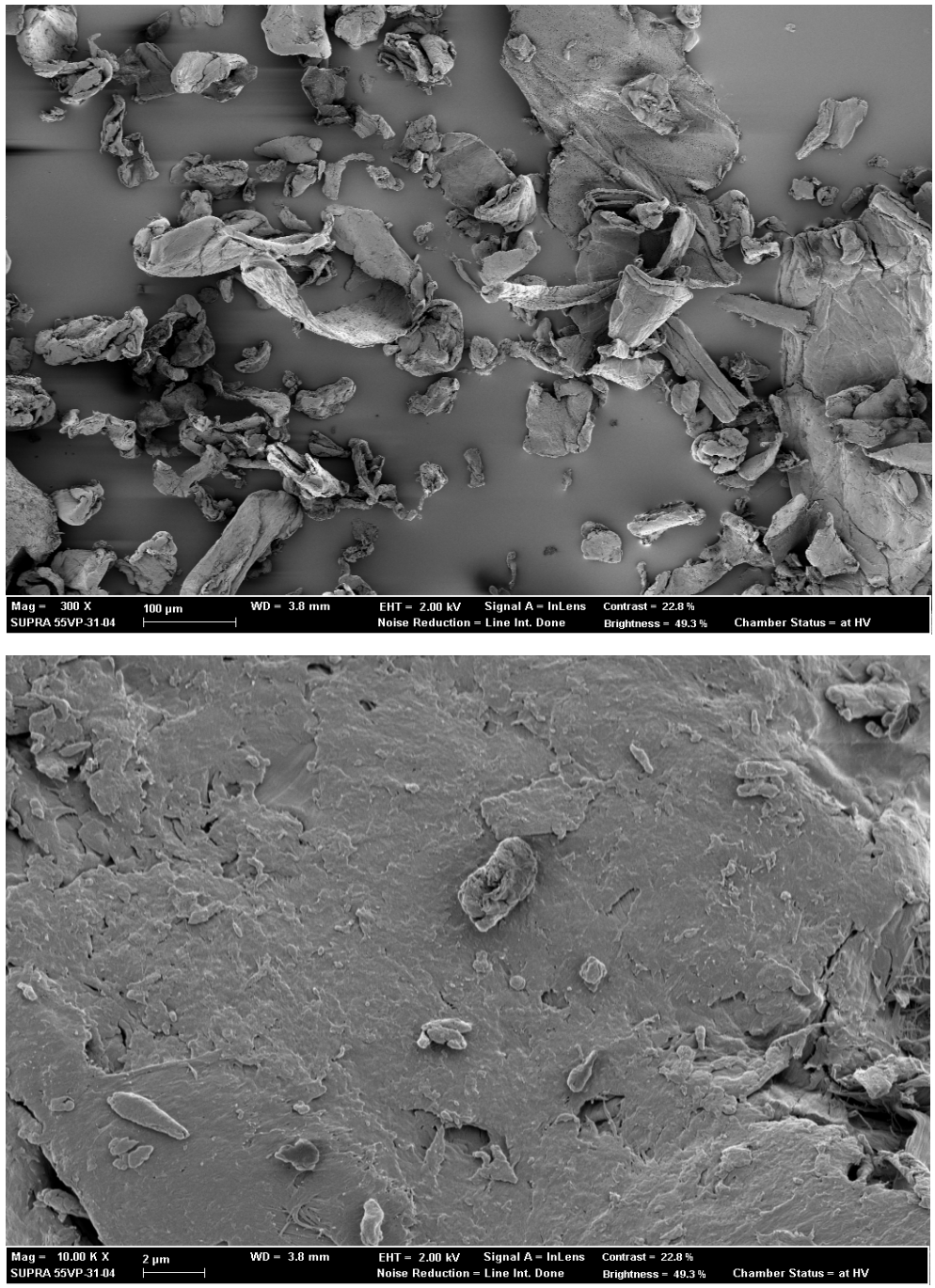


Fig. 16. SEM micrographs of α-chitin from shrimp shell
(Top : ×300, Bottom : ×10k)

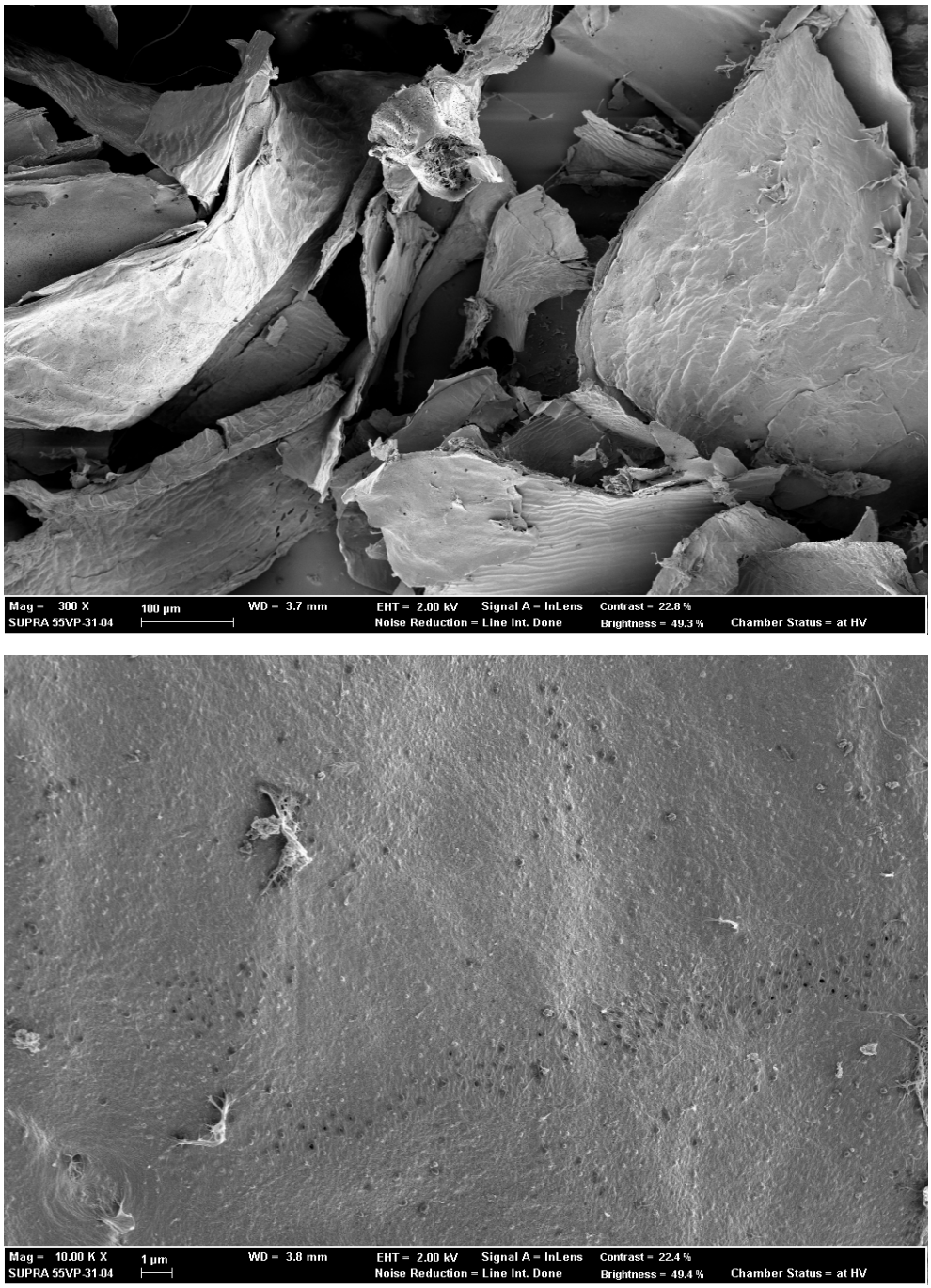


Fig. 17. SEM micrographs of chitin from mealworm

(Top : ×300, Bottom : ×10k)

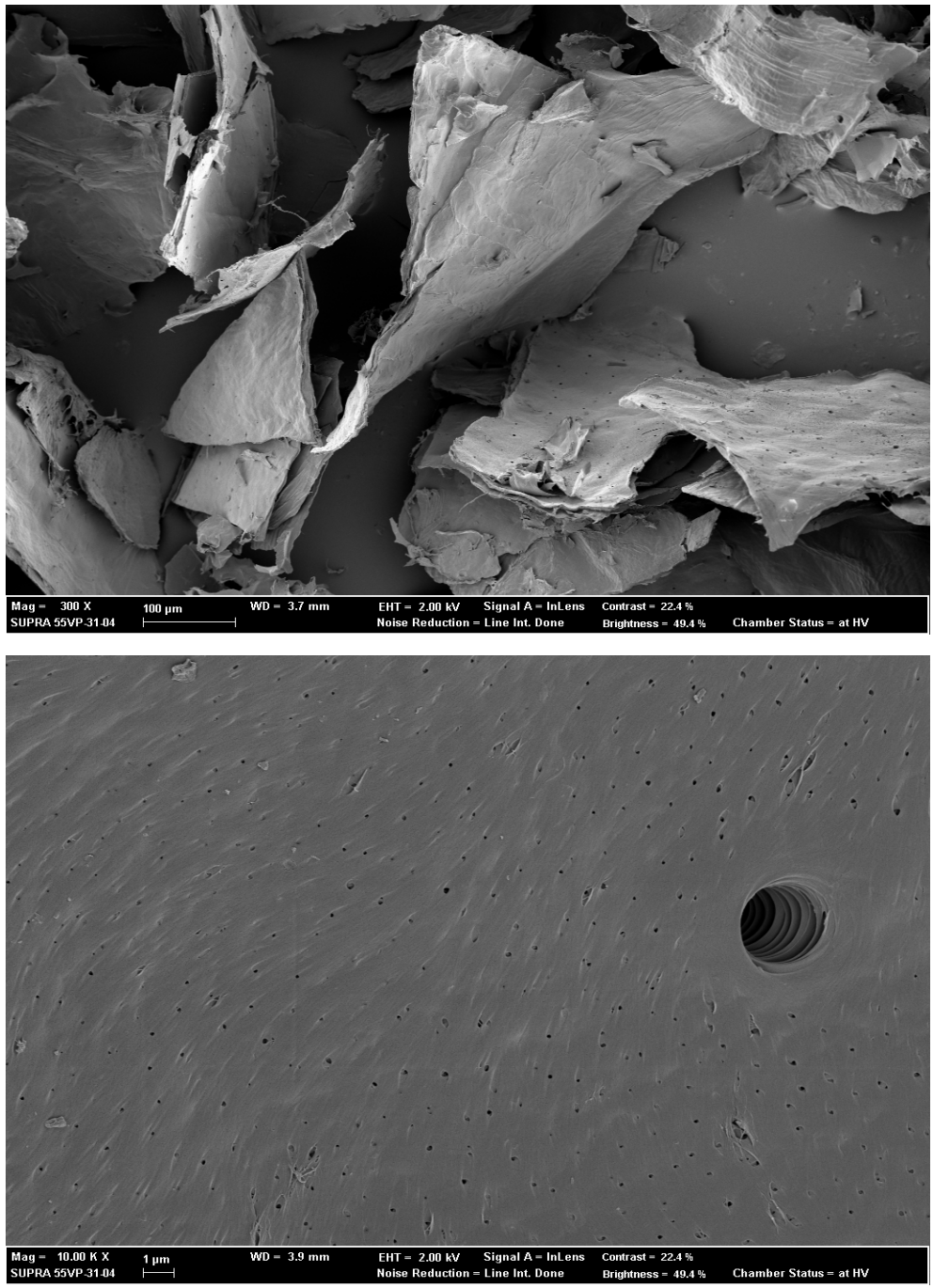


Fig. 18. SEM micrographs of chitosan from mealworm

(Top : ×300, Bottom : ×10k)

Table 33. Ratio of nitrogen and carbon element, degree of acetylation for chitin, and degree of deacetylation for chitosan

	α-Chitin from shrimp	Chitin from mealworm	Chitosan from mealworm
C/N	6.7707±0.0010[a1)]	6.7743±0.0038[a]	5.2237±0.0010[b]
Degree of acetylation (%)	94.81±0.05	95.02±0.22	-
Degree of deacetylation (%)	-	-	94.69±0.06

Data are expressed as mean±SD

[1)]Different superscripts within row (a-b) represent significant differences at $p<0.05$

키틴과 키토산의 nuclear magnetic resonance를 분석한 결과는 Fig. 19-21에 나타내었다. 주로 키틴과 키토산의 NMR 정보는 다른 분석법보다 더 정확한 키틴과 키토산의 DA, DDA 비율을 나타내는 것으로 알려져 많이 활용되고 있다(van de Velde K & Kiekens P 2004). 따라서 본 연구에서도 키토산의 보다 정확한 DDA 비율을 확인하기 위하여 ^{1}H NMR을, 키틴의 보다 정확한 DA 비율을 확인하기 위하여 ^{13}C NMR을 측정하였다. 측정한 NMR의 분석은 Zhang M 등(2000)이 제시한 signal 정보와 비교하여 시행하였다. 갈색거저리 유충 유래 ^{1}H NMR의 수행 결과, Sagheer FAA 등(2009)이 제시한 α-chitin의 spectrum 결과와 그 signal ppm이 거의 동일하였으며, 이에 제시된 정보를 이용하여 DDA 비율을 계산한 결과 89.35%로 나타나 C/N률을 이용하여 계산한 DDA 비율인 94.69±0.06%에 비해 DDA 비율이 차이가 나는 것을 확인하였다. 이러한 비율의 차이는 주로 키틴과 다른 물질이 결합되거나 정제 시 혼입된 단백질 등이 영향을 주는 것으로 알려져 있다. ^{13}C NMR에서는 시그마 사의 α-chitin에 비해 갈색거저리 유충 유래 키틴의 경우 30 ppm 위치에 signal이 등장하였으며, 이는 catechol signal로 밝혀져 있다(Zhang M 등 2000). 따라서 갈색거저리 유충에서 정제한 키틴의 경우, 미량이지만 catechol 등이 일부 섞여있는 것을 확인하였다.

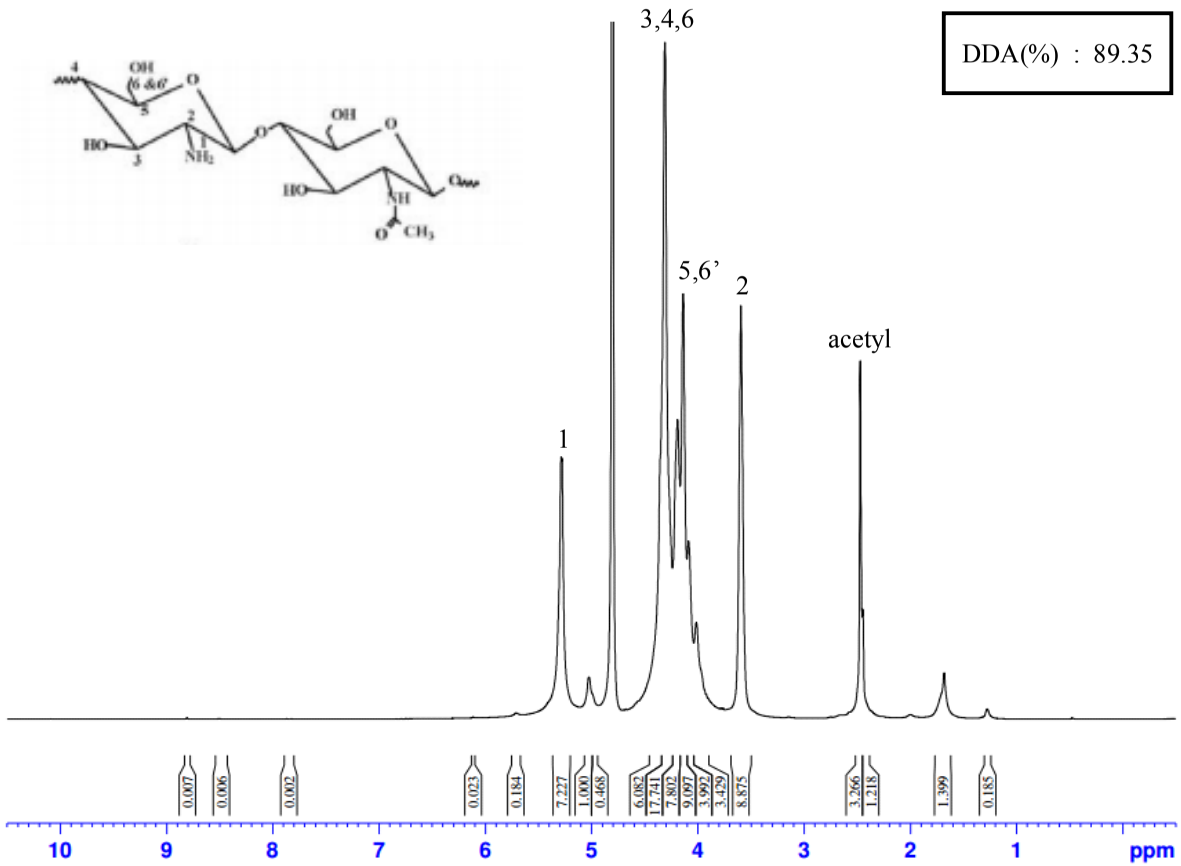


Fig. 19. Results of ^{1}H NMR for chitosan from mealworm

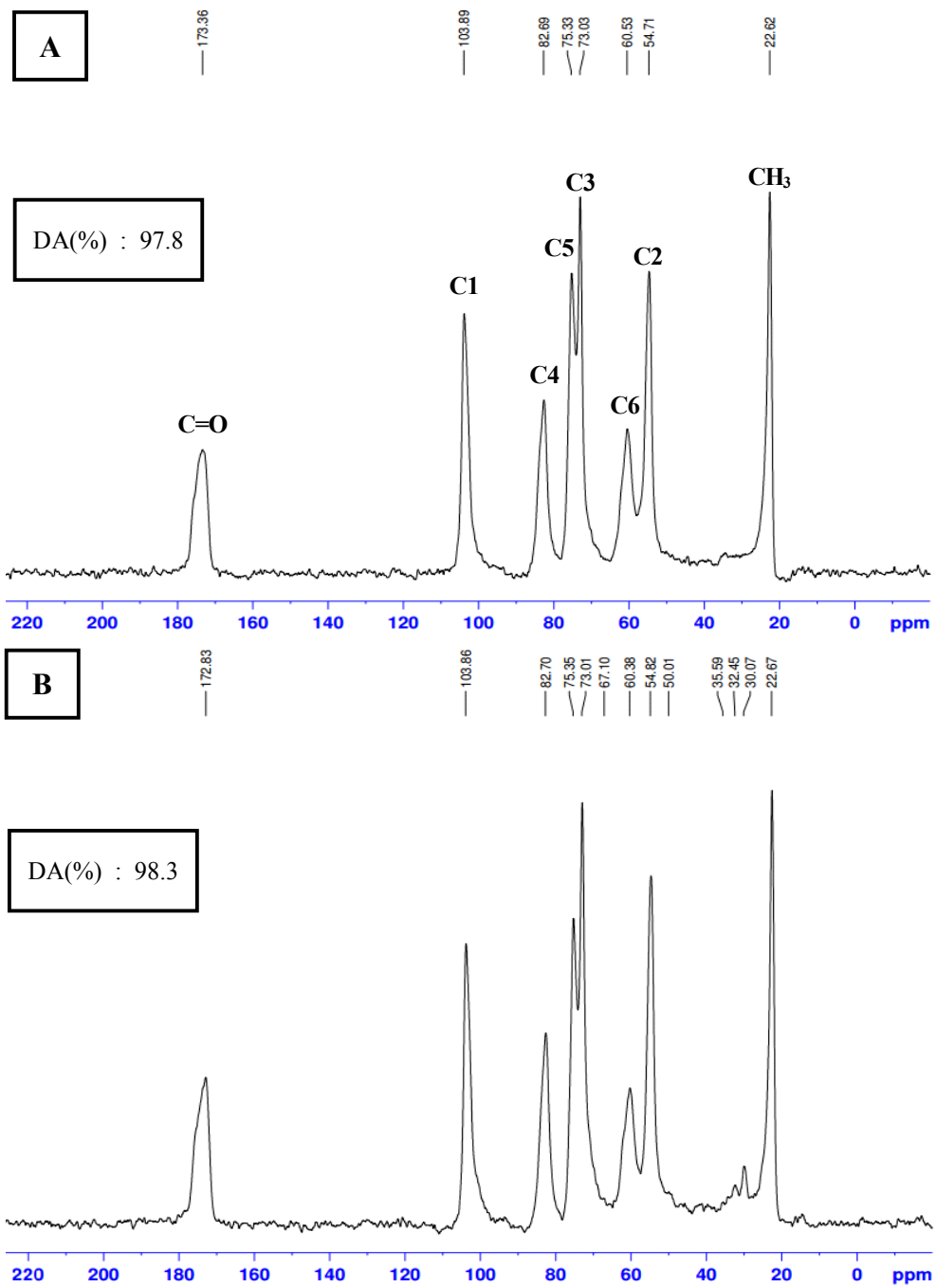


Fig. 20. Results of ^{13}C NMR for (A) α-chitin from shrimp shell and (B) chitin from mealworm

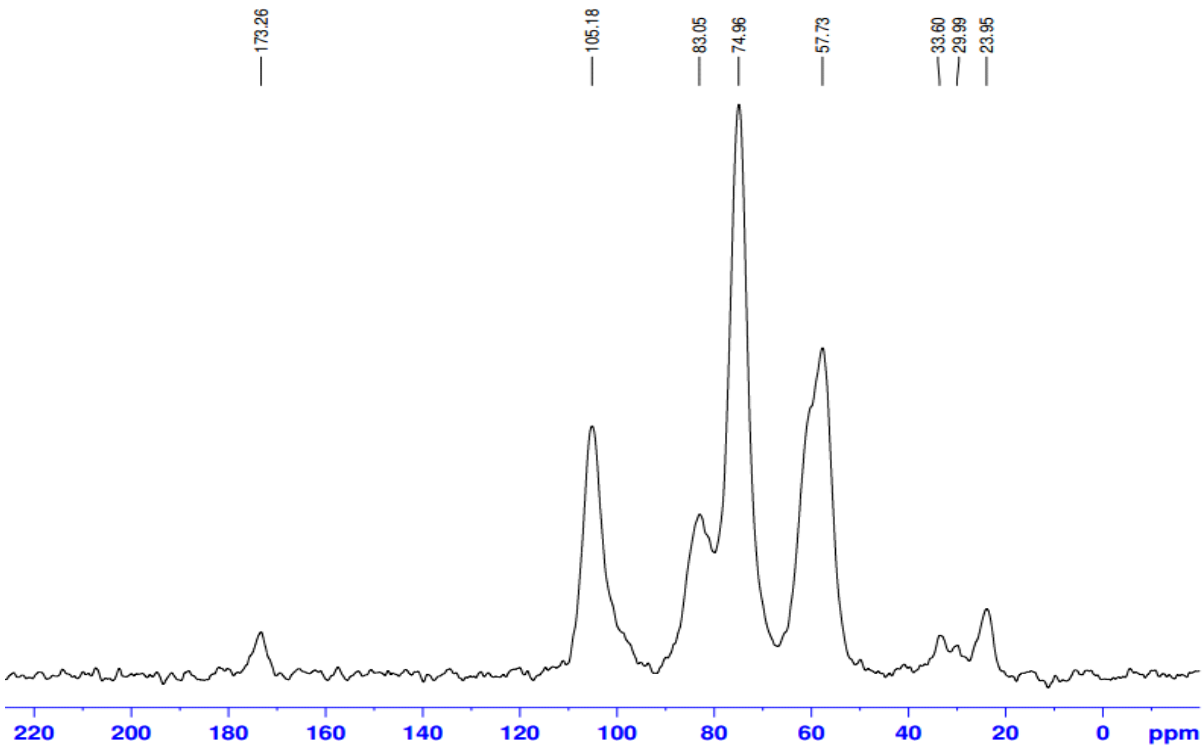


Fig. 21. Results of ^{13}C NMR for chitosan from mealworm

키틴과 키토산에 대하여 fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)를 측정한 결과는 Fig. 22에 나타내었다. 키틴의 FT-IR absorbance signal 중 중요한 peak는 van de Velde K & Kiekens P (2004)의 연구에서 밝힌 reference peak를 참고하여 분석하였다(Table 34). 분석 결과, 갈색거저리 유충에서 정제한 키틴은 새우 껍데기 유래 α-chitin과 그 signal이 매우 유사하였다. β-chitin의 FT-IR 특성은 분자 간 CO와 NH 작용기의 수소결합에 의해 나타나는 1660 cm^{-1} peak와 분자 내 CO 작용기와 $HOCH_2$ 작용기 간의 수소결합에 의한 1625 cm^{-1} peak가 분리되지 않고 하나의 peak로 나타나며, 1416 cm^{-1} peak 대신 1430 cm^{-1} peak가 뚜렷하게 나타나는 것도 그 특징이라고 하였다(Focher B 등 1992; Lavall RL 등 2007; Rinaudo M 2006). 이러한 특징은 갈색거저리 유충 키틴의 FT-IR signal에서는 나타나지 않았으며, 따라서 갈색거저리 유충은 α-chitin을 함유하고 있는 것으로 판단되었다. 그러나 새우 껍데기 유래 α-chitin과 뚜렷한 차이를 나타낸 peak가 C-H stretch를 나타내는 2878 cm^{-1}에서 높았고, hydroxyl stretching을 나타내는 3444 cm^{-1}에서의 absorbance는 더 낮았다. 따라서 두 키틴 간의 구조적인 차이가 있는 것으로 추정되었으며, van de Velde K & Kiekens P (2004)의 연구를 참고하여 갈색거저리 유충 유래 키틴의 이러한 특징은 dibutyrylchitin (DBC)가 그 단량체인 경우 나타나게 되는 것을 확인하였다(Fig. 23). DBC는 일반적인 키틴에 비하여 용매에 대한 수용성이 높으며, 필름 등을 가공하는 데에도 더 좋은 물리적 특성을 지니고, 생체 내 분해가 잘되어 생체적합성도 더 좋은 것으로 알려져 있다(Szosland L 등 2001). 갈색거저리 유충 유래 키틴의 DBC 단량체 함유는 Paulino AT 등(2006)의 번데기에서 추출한 키틴의 경우에도 추출 조건에 따라 적은 signal이 관찰되기도 하였으나, 갈색거저리 유충만큼 뚜렷한 signal을 보이지 않아 갈색거저리 유충의 고유한 특징인 것으로 생각된다.

Table 34. Useful absorbance peaks of FT-IR for chitins

Wave number (cm^{-1})	Type	Explanation of band	Used baseline
3450	R	Hydroxyl stretching	1a
2878	R	C–H stretching	1b
1420	R	C–H deformations	1c
1550	M	C=O stretching in secondary amide (amide II)	2a
1661	M	C=O stretching in secondary amide (amide I)	2b
1655	M	C=O stretching in secondary amide (amide I)	2a or 2b
1625	M	C=O stretching in secondary amide (amide I)	2b
1320	M	C–N stretching in secondary amide (amide III)	2c
Used intervals (cm^{-1}) for baselines	1a: 1950–3840, 2a: 1242–1850	1b: 2670–3010, 2b: 1602–1750	1c: 1402–1478, 2c: 1276–1348

<Ref. van de Velde K & Kiekens P 2004>

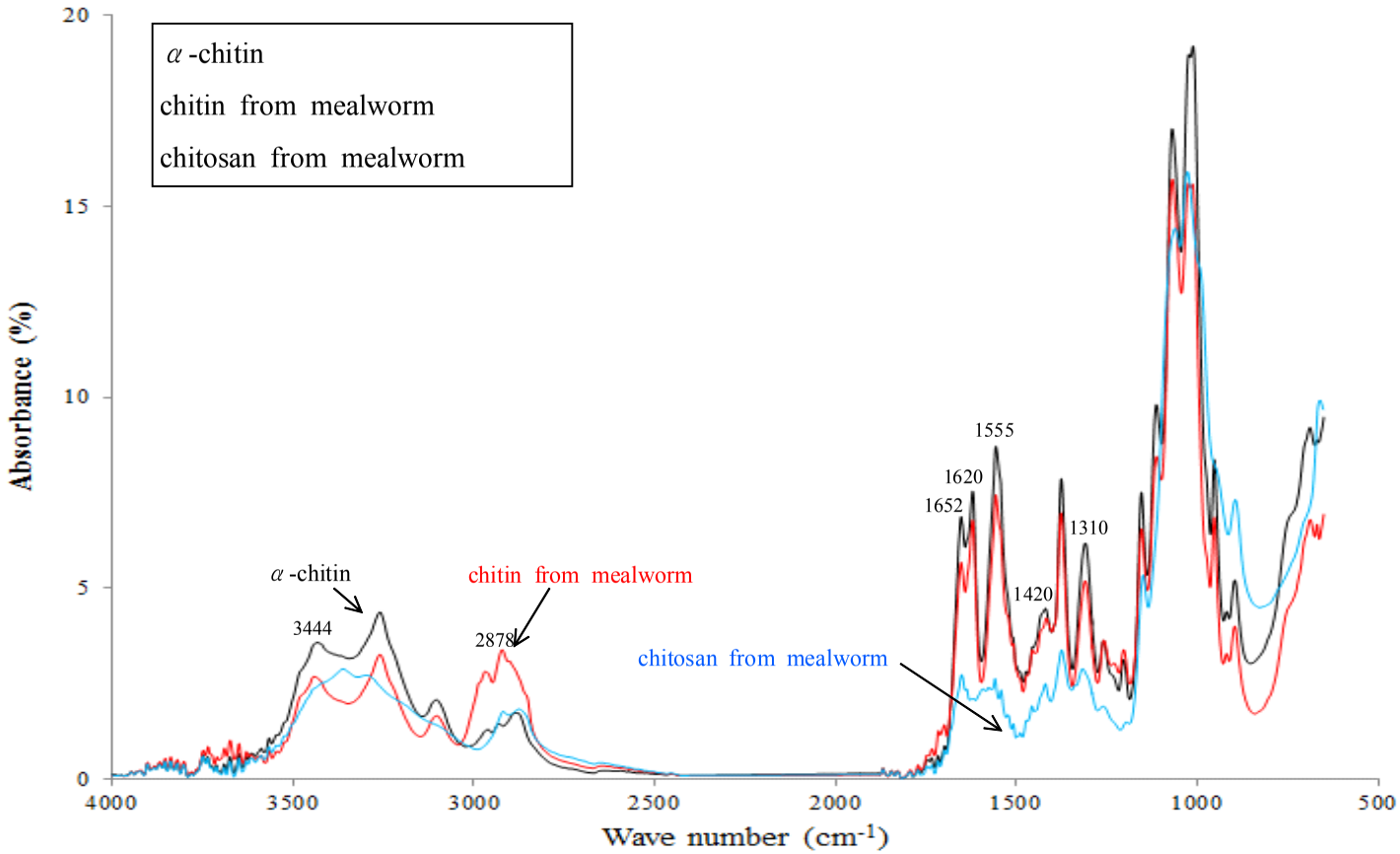


Fig. 22. Results of FT-IR for α-chitin, chitin from mealworm, and chitosan from mealworm

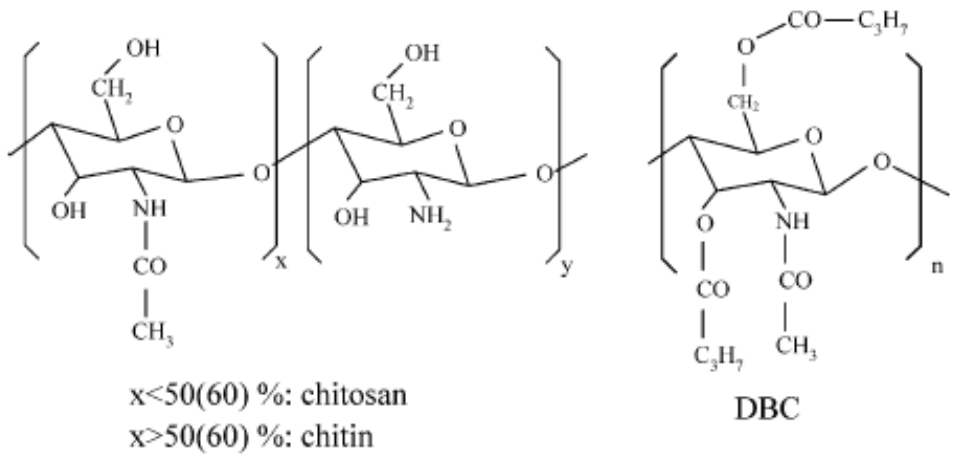


Fig. 23. Structures of chitin, chitosan, and dibutyrylchitin (DBC)
<Ref. van de Velde K & Kiekens P 2004>

갈색거저리 유충에서 정제한 키틴과 키토산, 새우 껍데기 유래 α-chitin에 대하여 결정화도를 확인하기 위하여 X-ray powder diffraction spectroscopy (XRD)를 측정하였으며, 이에 대한 결과는 Fig. 24에 나타내었다. XRD pattern 중 α-chitin의 특징적인 peak는 9.6º, 19.6º, 21.1º, 23.7º, 36º에서 나타난다고 하였으며(Sagheer FAA 등 2009), 이러한 pattern은 갈색거저리 유충 유래 키틴에서도 뚜렷하게 나타났다. 또한 Sagheer FAA 등(2009)은 sharp한 intensity가 나타나는 이유가 α-chitin이 antiparallel structure를 형성하기 때문이라고 하였으며, 이러한 구조에 의한 lamella structure는 SEM micrographs에서도 일부 확인할 수 있었다. 갈색거저리 유충 유래 키틴은 새우껍데기 유래 α-chitin보다 대체적으로 낮은 intensity를 나타내었으며, 특히 26.3º와 12.7º에서 특징적으로 α-chitin보다 값이 낮았는데, 이러한 경향은 Zhang M 등(2000)이 누에 번데기에서 추출한 키틴을 이용하여 XRD 분석을 시행하였을 때에도 발견된 현상으로, 일부 곤충 유래 키틴에서 발견되는 특성으로 생각되며, FT-IR 결과에서 언급한 바와 같이 DBC의 영향도 있었을 것으로 생각되나, 정확한 이유는 심층적인 연구의 필요성이 있다. Focher B 등(1990)의 방법에 따라 정제된 키틴의 결정화도를 계산한 결과(Table 35), α-chitin의 결정화도는 57.85±0.17%, 갈색거저리 유충 유래 키틴의 결정화도는 62.04 ±0.10%로 나타나 갈색거저리 유충 유래 키틴의 결정화도가 유의적으로 더 높았다 ($p<0.05$). Zhang M 등(2000)은 α-chitin from shrimp shell과 누에번데기, 풍뎅이 유충 유래 키틴의 결정화도가 각각 56%, 54%, 58%였다고 하여 본 연구의 결과와 유사한 값을 나타내었으며, 이에 비해 Sagheer FAA 등(2009)이 타이거 새우에서 추출한 키틴은 결정화도가 96%로 나타나 매우 높았다. 결정화도가 높으면 물리적으로 단단한 중합체를 형성하게 되므로 유연성이 떨어지는 단점이 있다. 갈색거저리 유충, 누에번데기 등은 외피가 단단한 성충이 아니기 때문에 결정화도가 60% 수준으로 나타난 것으로 판단되며, 비교적 유연성을 가지고 있어 산업적으로 이용할 때 이러한 특성을 활용할 수 있을 것으로 기대되었다.

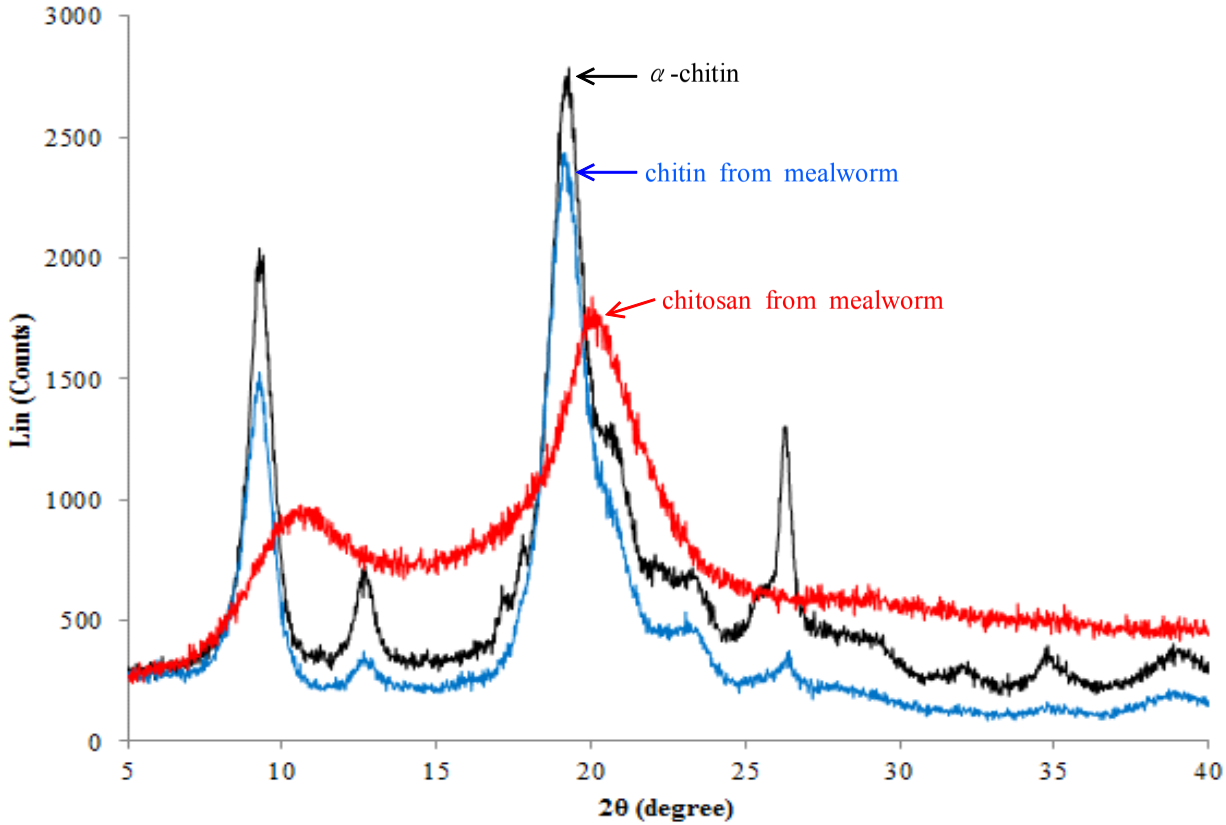


Fig. 24. XRD patterns of α-chitin, chitin from mealworm, and chitosan from mealworm

Table 35. The degree of crystallinity for α-chitin from shrimp shell and chitin from mealworm

	α-Chitin from shrimp	Chitin from mealworm	t-value
Degree of crystallinity (%)	57.85±0.17	62.04±0.17	-37.053***

Data are expressed as mean±SD
***Significant difference at $p<0.001$

3.3.5. 양이온 및 음이온

블랜칭 법으로 희생하고 열풍건조한 갈색거저리 유충 분말에 대하여 6종의 양이온 및 음이온 함량을 측정하였으며, 그 결과를 Table 36에 나타내었다. 측정 결과, 모든 이온에 대하여 WF에 비하여 SDF의 함량이 더 높았다. 따라서 탈지 공정을 거치는 경우 시료 내 양이온 및 음이온의 함량이 높아지는 것을 확인하였으며, 이는 탈지 공정에 이용된 n-hexane 용매에 이온이 잘 녹아나오지 않기 때문에 탈지 분말 내 이온 농도가 더욱 높아지기 때문으로 판단된다. 갈색거저리 유충의 나트륨과 칼륨 함량을 보면, 나트륨의 함량보다 칼륨의 함량이 10배 정도 높게 나타났다. 이에 비해 쇠고기의 경우에는 그 비율을 보면 칼륨의 함량이 나트륨의 5배 정도로 나타나 갈색거저리 유충이 매우 풍부한 칼륨 함량을 가지고 있는 것을 알 수 있었다(Duckett SK 등 1993). Cho KH 등(1996)은 영양적으로 나트륨과 칼륨의 비율이 식품에서 매우 중요하여 그 섭취 비율이 1:1 정도로 되는 것이 좋다고 하였으며, 우리나라의 경우 나트륨의 섭취 비율이 높아 그 문제성이 있다고 하였다. 따라서 갈색거저리 유충의 높은 칼륨 함량은 단백질 공급원을 육류에서 대체할 때 그 이점이 있을 것으로 판단된다. 또한 Duckett SK 등(1993)은 익히지 않은 쇠고기의 마그네슘 함량이 20 mg/100 g 정도였다고 하였는데, 갈색거저리 유충은 비가열 시 156.70-167.38 mg/100 g 함량을 보였으며, 가열 후에도 WF가 52.04 mg/100 g, SDF는 262.01 mg/100 g의 함량을 나타내어 그 함량이 높았다. 또한 마그네슘 함량이 높은 식품인 두부 (55.2 mg/100 g), 시금치 (87.4 mg/100 g)와 비교하여도 마그네슘 함량이 크게 떨어지지 않았다. 따라서 갈색거저리 유충으로 육류 단백질을 대체할 경우에 칼륨과 마그네슘 섭취에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단되었다. 그러나 한국인에게 칼슘과 인의 비율이 2:1 정도가 되도록 섭취하는 것을 권장하고 있는 것에 비하여(Lee YS 등 2004), 갈색거저리 유충은 인의 함량이 WF 시료에서 칼슘의 30배 이상으로 매우 높았으며, 따라서 인의 높은 함량

으로 인한 영양적인 단점은 존재하였다.

Table 36. Mineral contents of whole fat- or defatted-mealworms

(unit: mg/100 g dry basis)

	WF[1)]	SDF
Na^+	59.73	121.50
K^+	642.76	1051.20
Mg^{2+}	52.04	262.01
Ca^{2+}	18.82	19.44
Cl^-	392.99	613.79
PO_4^{2-}	620.55	1358.70

[1)]WF: Blanched and hot-air dried mealworm, SDF: Defatted WF with solvent (n-hexane)

3.3.6. 기능성 성분 함량 분석 및 항산화능

3.3.6.1. GABA 및 taurine 함량

블랜칭 희생 후 열풍건조 한 갈색거저리 유충과 용매 탈지분, 고온고압 추출물의 γ-aminobutyric acid (GABA) 및 taurine 함량을 측정한 결과를 Table 37에 나타내었다. GABA는 아미노산 계열의 물질로써, 특히 뇌기능 촉진, 혈중 중성 지질 및 혈당 강하 등에 도움을 주는 것으로 알려져 있어 GABA 함량이 높다고 알려진 음식이 각광을 받고 있다(Lim SD & Kim KS 2009; Bown AW & Shelp BJ 1997). 익히지 않은 식물성 식품의 GABA 함량은 현미에 약 7 mg%, 발아현미는 약 10 mg%, 콩은 약 25.0 mg%, 시금치에 약 40 mg%, 감자와 고구마에는 10-15 mg% 정도 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(Oh SH 등 2003; Komatsuzaki N 등 2007). Diana M 등(2014)은 GABA는 식물체, 미생물 등이 주로 생산하는 물질이며, 동물은 주로 소비한다고 하여 식물에 비해 동물에서 그 함량이 낮다고 볼 수 있으나, 쇠고기의 경우에도 익히지 않은 경우에 GABA 3-10 mg%(Gardner GA & Stewart DJ 1966; Oh M 등 2016)를 나타내었다. 본 연구에서 이용된 갈색거저리 유충을 동결로 희생하여 열을 가하지 않은 경우에는 약 10 mg%의 GABA 함량을 나타내었으며(data not shown), 따라서 갈색거저리 유충의 GABA 함량이 높지는 않으나 육류 단백질을 대체하는 경우에는 그 함량이 육류에 비해 낮지 않은 것으로 생각된다. GABA의 함량은 블랜칭 희생과 열풍건조 공정에 의해 80% 이상 감소하였으며, 탈지 공정을 다시 거친 SDF는 WF에 비해 2배 이상의 GABA 함량을 나타내었다. 고온가압을 거치는 경우에는 10 mg%에 가까운 많은 양의 GABA가 추출되는 것으로 나타났으며, 추출된 수용액에 효소를 처리하는 경우에는 GABA의 함량이 일부 감소하였다($p<0.05$).

Taurine은 neutral β-amino acid로써, 인간의 체내에 고농도로 존재하고 있는 유리아미노산이다(Jacobsen JG & Smith LH 1968). 체내 담즙의 대

사에 크게 연관되어 있어 혈중 지질 농도 감소 및 심혈관계 질환 완화에 대한 연구들이 활발하게 진행되었으며, 중추신경계에서 신경 분화의 촉진, 간보호 등 각종 항산화에도 관련되어 있는 것으로 알려져 있다(Sole MJ & Jeejeebhoy KN 2000; Choi MJ & Seo JN 2006; Wang GH 등 2007; Yoon JA 등 2015). 특히 taurine은 식물성 식품에는 거의 들어있지 않고, 동물성 식품에만 풍부하게 들어있는 것으로 알려져 있으므로(Stapleton PP 등 1997), 갈색거저리 유충 또한 동물에 속하기 때문에 그 함량이 식물에 비해 높을 것으로 기대되었다. 일반적으로 taurine 함량이 높다고 알려진 조개류의 경우, 종에 따라 적게는 건조 중량 대비 50 mg%부터 많게는 700 mg%의 함량을 보이는 것으로 알려져 있으며, 우유의 경우에는 건조 중량 대비 약 40 mg%, 육류의 경우에는 쇠고기가 40-60 mg%, 돼지고기가 60 mg% 정도의 taurine 함량을 나타내는 것으로 알려져 있다(Lourenço R & Camilo ME 2002; Rassin DK 등 1978; Oh M 등 2016). 갈색거저리 유충을 열처리하지 않고 동결 희생한 경우 약 30 mg%의 taurine 함량을 나타내었으며(data not shown), 이는 보통의 육류에 비해 절반 정도의 양이기는 하였으나, 갈색거저리 유충에는 식물성 급원에 비해서 높은 타우린이 존재함을 확인하였다. Taurine의 함량은 WF의 경우 7.66±0.41 mg%의 함량을 보여 블랜칭 희생 및 열풍건조에 공정 중 그 함량이 익히기 전의 4분의 1로 감소하였다(data not shown). 탈지 공정을 거친 SDF는 17.83±0.32 mg%의 taurine 함량을 나타내어 WF보다 2배 이상 그 함량이 증가하였다. 고온가압 추출 공정을 거친 EX는 23.69±1.52 mg/100 g dry basis의 taurine 함량을 나타내었으며, EX에 효소 처리한 EO는 그 함량이 2배 가까이 증가한 42.51±0.17 mg/100 g dry basis를 나타내어 taurine의 함량이 비교적 높았다. 따라서 갈색거저리 유충의 taurine 함량이 일반 육류보다 적기는 하나 식이 중 육류를 대체하여도 타우린 섭취에 문제가 있을 정도로 미량은 아닌 것으로 판단되며, 고온가압 추출을 통해 그 함량을 높일 수 있었다.

Table 37. GABA and taurine contents of whole fat- or defatted-mealworms and mealworm extracts

(unit: mg/100 g dry basis)

	WF[1)]	SDF	EX	EO
GABA	1.54±0.17[d2)]	3.54±0.13[c]	9.24±0.35[a]	8.20±0.67[b]
Taurine	7.66±0.41[d]	17.83±0.32[c]	23.69±1.52[b]	42.51±0.17[a]

Data are expressed as mean±SD

[1)]WF: Blanched and hot-air dried mealworm, SDF: Defatted WF with solvent (n-hexane), EX: Mealworm extracts without enzyme treat, EO: Mealworm extracts with enzyme treat

[2)]Different superscripts within rows (a-d) represent significant differences at $p<0.05$

3.3.6.2. 총 글루코사민, 폴리페놀, 플라보노이드 함량 및 항산화능 탐색

갈색거저리 유충에는 키틴 및 키토산 등 글루코사민 계열 물질이 함유되어 있는 것으로 보고되었으며, 이러한 물질은 좋은 생리활성을 지니는 것으로 알려져 있다. 또한 일반적으로 식물체에 많이 함유되어 기능성을 나타내는 것으로 알려진 폴리페놀과 플라보노이드의 갈색거저리 유충 내 함량을 함께 측정하여 그 함량을 Table 38에 나타내었으며, 또한 추출물의 DPPH, ABTS radical scavenging activity를 측정하여 항산화성을 살펴본 결과를 Fig. 25에 나타내었다.

글루코사민은 헥소아민계열의 천연 아미노당 중 하나이며, 키틴(N-acetyl-D-glucosamine)과 키토산의 기본 단량체 물질로 특히 관절 부위의 염증 반응을 저해하여 퇴행성관절염을 완화하는데 그 효능이 있는 것으로 알려진 물질이다(Reginster JY 등 2001; Largo R 등 2003). 곤충의 외피에는 키틴층이 존재하고 있으며, 키틴의 deacetylation된 물질인 키토산은 항균 작용을 비롯한 다양한 생리활성을 지녀 기능성 물질로 이용될 뿐 아니라 산업적으로 과일, 채소 등 일부 식품의 유통기한을 늘리기 위한 코팅재료로 각광받고 있다(Devlieghere F 등 2004; Zheng LY & Zhu JF 2003). 갈색거저리 유충의 총 글루코사민 함량은 건조 중량 대비 4.84%로 측정되었으며, Kaya M 등(2015)의 연구에서 메뚜기의 키틴질 함량이 4.71-11.84%라 하였고, Wang D 등(2004)의 연구에서 귀뚜라미의 키틴질 함량이 약 8.7%라 한 것과 비교하면 그 함량이 낮았다. 이러한 차이는 귀뚜라미와 메뚜기의 경우 성충이기 때문에 외피가 더 발달한 데에 그 이유가 있다. Hotnida C 등(2014)은 갈색거저리 유충에서 키틴을 추출하였는데 그 수율이 10-13%였다고 하여 본 연구의 갈색거저리 유충보다 2배 정도 높은 키틴 함량을 나타내었으나, 정제되었던 키틴의 색이 어두웠고 N의 함량이 높고, DA 비율이 70-80%로 낮아, 단백질이 일부 분해가 덜 되어 수율이 높았을 가능성이 있는 것으로 생각된다.

폴리페놀과 플라보노이드는 특히 식물성 식품에 주로 많이 함유된 생리

활성 물질로, 특히 항산화성에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Chu YH 등 2000). 폴리페놀과 플라보노이드의 함량은 용매 탈지분과 용매 추출한 기름에서 각각 그 함량을 분석하여 그 수율을 고려하여 다시 갈색거저리 유충 건조 중량으로 환산하였으며, 환산된 함량은 각각 5.73 mg gallic acid equivalent/100 g dry basis, 1.41 mg catechin equivalent/100 g dry basis이었다. 폴리페놀의 함량은 양파, 토마토, 양배추 등의 채소와 체리, 자두 등의 과일이 13-100 mg GAE/100 g의 함량을 나타낸 것에 비해 그 함량이 낮았다(Bahorun T 등 2004; Kim JY 등 2009). 그러나 우엉이 1,100 mg GAE/100 g의 폴리페놀의 함량을 나타내어 갈색거저리 유충에 비해 약 200배의 폴리페놀 함량을 나타내었음에도, DPPH 및 ABTS 자유기소거활성능은 우엉이 각각 22.46 mg trolox equivalent/g, 10.68 mg TE/g으로 갈색거저리 유충의 21.48±0.50 mg TE/g, 12.28±0.47 mg TE/g과 비슷하였다(Lee GY 등 2015). 따라서 갈색거저리 유충에서는 폴리페놀과 플라보노이드와 같은 물질보다 항산화성에 크게 관여하는 물질이 있는 것으로 확인되었으며, 이는 갈색거저리 유충에 풍부하게 함유된 펩타이드계 물질에 의한 것으로 추정되었다. 펩타이드 계열 물질의 뛰어난 항산화성에 대해 이미 많은 연구가 되어 있으며, 일부 연구에서는 생선 등의 식품에서 단백질을 추출하여 가수분해함으로써 높은 항산화성을 지닌 기능성 분획을 얻기도 하였다(Je JY 등 2005; Chen HM 등 1996). 따라서 갈색거저리 유충의 경우에도 풍부한 단백질을 바탕으로 이러한 펩타이드 계열 물질에 대한 심층적인 연구를 통해 다양한 기능성 펩타이드를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

Table 38. The contents of glucosamine, polyphenols, and flavonoids of mealworm

	SDF	Mealworm oil	Whole-fat dried mealworm (SDF + mealworm oil)
Glucosamine (%)	6.99±0.65	-	4.84
Polyphenol (mg gallic acid equivalent/100 g dry basis)	8.21±0.15	1.80±0.13	5.73
Flavonoid (mg catechin equivalent/100 g dry basis)	2.02±0.20	0.60±0.02	1.41

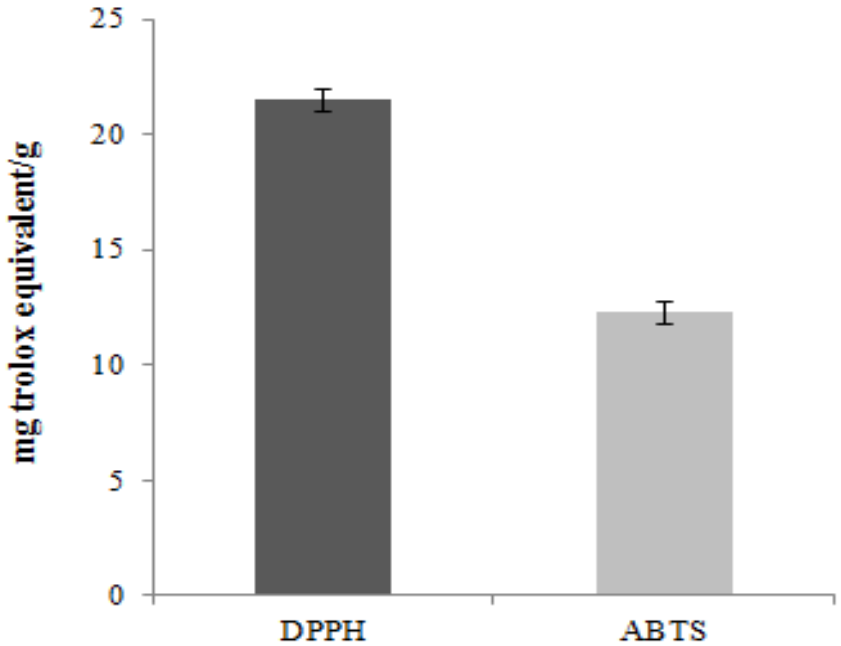


Fig. 25. DPPH and ABTS radical scavenging activities of defatted mealworm powder

4. 요약 및 결론

갈색거저리 유충의 산업적 전처리 법을 확립하고 전처리된 갈색거저리 유충의 구성 성분 특성을 확인하기 위하여, 먼저 살아있는 갈색거저리 유충을 취급할 때 적절하게 희생하는 방법을 확립하고자 하였다. 이를 위하여 동결 희생, 소니케이션 희생, 블랜칭 희생, 볶음 희생 등 4가지 희생법을 적용하고, 블랜칭 희생의 경우에는 중적외선 조사 공정을 추가한 복합처리 시료를 함께 제조하였으며, 희생된 유충을 60℃에서 12 h 동안 열풍건조한 뒤, 구성 성분, 물리화학적 특성, 기호도 등을 분석하였다. 비가열 희생한 경우 유리아미노산 함량 및 일부 양이온, 음이온의 함량이 높아 가열 희생한 경우보다 영양소의 손실이 적었다. 그러나 비가열 희생하면 효소나 미생물이 불활성화되지 않아 생산된 분말의 색이 눈에 띄게 어두웠고, WAC와 같은 물리화학적 특성도 좋지 않았다. 또한 특히 기호도를 측정한 결과, 가열 희생한 경우보다 크게 기호성이 떨어지는 등 전체적인 평가에서 좋지 않았다. 따라서 갈색거저리 유충을 열풍건조 공정에 투입하기 전에 가열 전처리가 필요할 것으로 판단되었으며, 가열 희생한 경우에는 습열 희생 했을 때보다 건열 희생 하였을 때 유리아미노산과 일부 양이온 및 음이온의 함량이 높았다. 블랜칭 희생 또는 볶음 희생 공정을 단일로 처리한 경우에 기호도에는 차이가 나타나지 않았으나, 블랜칭 희생 후에 110℃에서 6 min 동안의 중적외선 조사 공정을 거침으로써 기호도가 유의적으로 향상되었다. 또한 이렇게 제조된 시료는 습열 가열과 건열 가열의 이점을 동시에 나타내는 것을 확인하였다. 따라서 중적외선 조사 공정은 가정에서 적용하기는 어려우나, 산업적인 분말 제조 시에는 블랜칭 희생 후 열풍건조하기 전에 중적외선 조사 공정을 추가하여 최종 제품의 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

블랜칭 희생된 갈색거저리 유충을 식품 재료로 저장하는 경우, 그 저장

성을 확인하기 위하여 4℃에서 총 6주간 저장 하면서 다양한 산화 지표의 변화를 확인하고, 외관 및 미생물의 변화도 함께 관찰하였다. 저장하는 동안 색도는 a 값과 b 값이 감소하는 추세를 나타내기는 하였으나, 그 변화 폭이 작아 외관에 큰 변화를 나타내지는 않았다. 적정 산도, 과산화물가, 산가, TBARS, VBN 등의 산화 지표를 측정한 결과, 적정 산도와 TBARS는 저장 초기에 감소한 뒤, 6주까지 천천히 증가하여 최종적으로는 희생 직후와 비슷한 수치를 나타내는 등 그 변화가 크지 않았다. 과산화물가는 4일과 28일에 급격한 증가를 나타내었으며, 28일 이후에 점진적으로 감소하였다. 산가는 4일에 급격한 증가를 나타낸 뒤, 14일과 35일에 2번의 급격한 감소를 나타내었다. 이에 지질의 산화는 4일, 14일, 28일, 35일에 비교적 급격한 변화가 있었으며, 28-35일 사이에 그 산패가 크게 심화되는 것으로 판단되었다. VBN 함량은 10일에서 14일 및 14일에서 21일 사이에 크게 증가하였다. 총균수는 직후부터 7일까지는 3과 4 사이의 log CFU 값을 나타내다가 이후 7-10일, 10-14일, 14-21일의 기간 동안 각각 총균수가 10배 정도씩 증가하였다. 따라서 지질, 단백질, 총균수 등이 공통적으로 급격하게 변화한 14일까지가 최적의 냉장저장 기간인 것으로 판단되었다.

갈색거저리 유충을 이용하여 실제 산업적 제품을 생산할 때에는 블랜칭 희생하고 열풍건조 공정까지 거친 제품이 가장 기본적인 형태가 된다. 따라서 실제 소비자가 섭취하게 되는 기본적인 형태의 제품에 대하여 구성 성분을 각각 분획 및 정량하고, 특성을 분석하였다. 블랜칭 희생 후 열풍건조된 갈색거저리 유충에는 단백질이 52%, 지질이 32% 함유되어 단백질과 지질이 풍부하였으며, 탄수화물은 약 11% 정도 함유되어 있었다. 단백질의 구성아미노산을 확인한 결과 methionine이 제한아미노산인 것으로 분석되었으며, 단백질 중 유리아미노산이 매우 풍부하였다. 갈색거저리 유충의 단백질은 친수성보다는 소수성 단백질의 비율이 높아 물에 대한 용해도가 높지 않았으며, 이는 고온가압 공정을 거치면 일부 개선되었다. 갈색거저리 유충 기름에는 불포화지방산이 매우 풍부하였으며,

토코페롤 등 항산화 물질이 일반적인 동물성 급원 식품에 비해 풍부하고, 콜레스테롤이 함유되지 않아 지질의 영양성이 우수하였다. 또한 외관적인 특성 및 물리화학적 특성이 일반적인 식용유와 비슷하고, 상온에서의 유통기한도 약 1년 정도로 예측되어 기름만을 따로 추출하여도 그 이용성이 높을 것으로 기대되었다. 탄수화물 중에는 유리당의 함량이 매우 미미하였으며, 총당의 함량도 약 3%로써 당의 함량이 탄수화물 함량 중 50%가 되지 않았다. 이에 갈색거저리 유충의 탄수화물 중 가장 중요한 물질은 키틴으로써, 그 함량이 전체 탄수화물 중 절반 정도인 것을 확인하였다. 갈색거저리 유충의 키틴은 α-chitin 구조를 가지는 것으로 분석되었으며, dibutyryl chitin이 일부 함유되어 있는 것으로 추측되었다. 갈색거저리 유충은 전체 건조 중량 중 글루코사민 함량이 5% 정도 되어 이에 의한 생리활성이 기대되었으며, 또한 비교적 높은 항산화능을 나타내었는데 이는 펩타이드 계열의 물질이 큰 영향을 준 것으로 생각된다.

Ⅳ. 갈색거저리 유충의 식품소재화를 위한 미세 분말화 공정 적용

1. 서론

갈색거저리 유충을 음식의 재료로 이용하고자 할 때 가장 문제가 되는 점 중 하나는 부패가 빠르다는 것을 들 수 있다. 전처리를 거치지 않은 갈색거저리 유충은 60% 정도의 수분을 함유하고 있고, 또한 20-30% 정도의 단백질을 함유하여 부패의 위험성이 높으며, 특히 갈색거저리 유충에는 내재된 미생물이나 자가 효소 또한 풍부하여 더욱 부패가 빠른 특징이 있다(Rumpold BA 등 2014). 따라서 식품의 재료로 이용하기 위해서는 부패를 막기 위한 전처리 및 산업적 공정이 적용되어야 하는 상황이다. 이에 갈색거저리 유충의 식품 재료화 연구를 시행하고자 하였으며, 그 기본 형태로써 분말을 제조하였다. 분말 형태는 식품 산업 뿐 아니라 많은 산업에서 중요하게 이용되는 재료의 형태이다. 분말을 만들기 위해서는 건조 공정을 먼저 적용하게 되는데, 이를 통하여 수분활성도를 낮추어 부패를 방지할 수 있다(Krokida MK & Marions-Kouris D 2003). 분말화 공정을 적용하면 원재료의 크기를 줄임으로써 운반하기 쉽게 하며, 향미 또한 넓어진 표면적에 의해 더욱 증진될 수 있다(Ghodki BM & Goswami TK 2016). 단순히 분말 형태가 가지는 재료의 물리화학적인 이점 이외에도 갈색거저리 유충에 분말화 공정을 적용하게 되면 소비자의 기호도 또한 증가시킬 수 있는 장점이 있을 수 있다. 많은 소비자들이 심리적으로 곤충에 대한 거부감을 느끼며, 여기에는 특히 외관이 큰 영향을 미친다. 따라서 분말화를 통해 곤충의 외관을 없애게 되면 소비자의 거부감을 낮춘 식품 재료로써 활용이 가능한 것으로 기대되었다.

갈색거저리 유충은 지질의 함량이 높아 미세한 분말을 생산하기 위해서

는 탈지 공정 적용의 필요성이 있다. 탈지 공정을 거치지 않으면 분쇄 효율이 떨어지고, 분말의 응집성이 강해져 분말화하는데 그 한계점이 뚜렷하였으며, 따라서 분말화 공정 적용을 위하여 먼저 갈색거저리 유충의 탈지 조건에 대하여 탐색하였다. 탈지 분말을 식품의 원료로 이용할 때 용매 탈지법을 이용하게 되면 용매의 잔존이 문제가 될 수 있으므로, 기본적인 탈지 방식은 압착 탈지 방식을 적용하는 것으로 하였으며 이에 압착 탈지 조건에 따라 탈지분을 제조하여 그 특성을 비교함으로써, 압착 탈지 조건을 먼저 확립하고자 하였다. 또한 탈지 조건 뿐 아니라, 미세한 분말을 제조하는 경우에는 분쇄 방식이 또한 큰 영향을 미치게 되므로, 분쇄 방식에 따라 6가지의 서로 다른 분말을 제조하여 그 특성을 조사하였다. 마지막으로는 최종적으로 제조된 갈색거저리 유충 분말의 산화안정성, 위생안정성 등을 파악하고 또한 그 안정성을 높이기 위한 조건을 탐색하여 갈색거저리 유충 분말을 제조 및 저장 할 때의 특성을 확인하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 갈색거저리 유충의 압착 탈지 조건 확립

2.1.1. 실험 재료

살아있는 갈색거저리 유충은 경기도 인근의 농가에서 구입하였으며, 3일간 절식한 뒤, 흐르는 물에 2-3회 수세하여 준비하였다. 갈색거저리 유충은 5배 무게의 끓는 물에 3 min 동안 담가 희생한 뒤, 체를 이용하여 1차로 물기를 제거하고 다시 페이퍼 타올 등으로 겉면의 물기를 최대한 제거하였다. 희생한 갈색거저리 유충은 중적외선 처리를 110℃에서 6 min 동안 시행한 후(13092-LZ-micro-MR; Lichtzen, Korea), 산업용 열풍건조기(LH.FC-PO-150; Lab house, Korea)로 60℃에서 12 h 동안 열풍건조하였다. 건조한 갈색거저리 유충은 산업용 참기름 제조기(yj-395; Youngjinfoodmachine, Seoul, Korea)를 이용하여 Table 39와 같이 5가지의 조건으로 착유하였다. 이후 착유된 기름은 제거하고 남은 잔사를 분말 제조에 이용하였으며, 압착 탈지 잔사는 해머밀(DSMP-370; DukSan, Siheung, Korea)로 30 mesh (535 μm)의 체를 장착하여 분쇄하였다.

Table 39. Extraction conditions of pressed mealworm powders

	First extraction		Second extraction		Total extraction time (min)
	Pressure (kgf/cm^2)	Time (min)	Pressure (kgf/cm^2)	Time (min)	
M-2-20	250	7	200	13	20
M-3-25	300	10	220	15	25
M-5-30	500	15	500	15	30
M-6-20	600	5	600	15	20
M-6-25	600	10	600	15	25

2.1.2. 분말의 물리화학적 특성

2.1.2.1. 지질 함량

제조된 탈지분의 지질 함량 측정은 에테르를 이용한 soxhlet 추출법으로 분석하였다(AOAC 1995).

2.1.2.2. 평균 입도

분말의 평균 입도는 분체 측정법을 이용하였다. 눈의 크기가 큰 순서대로 위에서부터 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 mesh의 체를 차례로 연결한 뒤, 100 g의 분말을 가장 윗면의 30 mesh 체에 부어주고 충분히 교반하였다. 교반 이후 체를 다시 분리한 뒤, 각각의 체 위에 남은 분말량을 이용하여 분말의 평균 입도를 계산하였다.

2.1.2.3. 색도

시료의 색도는 분말을 4 g씩 35Ø petri dish (SPL Life Sciences, Korea)에 담아 색차계(CM-3500d; Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였다. 광원 조건은 D65-10°로 하였으며, 각 시료별로 5회 반복 측정하였고, Hunter Lab 색체계를 이용하여 값을 나타내었다.

2.1.2.4. 수분흡착력과 유지흡착력

수분흡착력(water adhesion capacity, WAC)과 유지흡착력(oil adhesion capacity, OAC)의 측정은 Cho SA 등(2013)의 방법에 따라 시행하였다. 10 mL의 증류수 또는 콩기름(Sajo, Seoul, Korea)을 15 mL 튜브에 담은 뒤, 0.5 g의 갈색거저리 유충 분말을 가하였다. 이후 상온에서 1 h 동안 보관

하면서, 매 15 min 마다 강하게 섞어주었다. 최종적으로 1 h가 되었을 때, 원심분리기(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Korea)를 이용하여 1,600×g에서 25 min 동안 원심분리 하였으며, 이후 상층액을 제거하고 남은 잔사의 무게를 측정하였다. 건조 분말과 최종 잔사의 무게를 비교하여 분말 1 g 당 수분과 유지의 흡착력을 계산하였다.

2.1.2.5. 유화력

갈색거저리 유충 분말의 유화력은 Pearce NK & Kinsella EJ (1978)의 방법을 일부 변형하여 분석하였다. 0.1 g의 분말을 25 mL의 증류수에 분산시킨 뒤, 1 mL의 콩기름(Sajo, Seoul, Korea)을 넣어주었다. 이후 homogenizer (Ultra-turrax T18; IKA Lab Technology, Ireland)를 이용하여 24,000 rpm에서 1 min 동안 유화액을 형성하였다. 형성된 유화액은 0.1% SDS와 섞은 뒤(1:150, v/v), 분광광도계(Optizen 2120UV; Mecasys, Korea)를 이용하여 500 nm에서 흡광도를 측정하였다. 유화력은 유화액의 흡광도에 2.303을 곱하여 계산하였다.

2.1.3. 관능적 특성

분말의 관능적 특성은 focus group interview (FGI) 방법을 활용하여 실험을 진행하였다. 6명의 패널을 한 자리에 모은 뒤, 각각의 분말을 맛보게 하고 분말의 특성에 대하여 토론하였다. 토론이 진행된 뒤 그 결과로써, 각 분말에 대해 패널 간에 공통적인 의견이 모아진 관능 용어(sensory term)를 정리하였다.

2.2. 서로 다른 산업용 분쇄기를 적용한 갈색거저리 유충 미세 분말의 물리화학적 특성

2.2.1. 시료의 제조

시료의 제조에 대한 모식도는 Fig. 26에 나타내었다. 살아있는 갈색거저리 유충은 3일간 절식한 뒤 깨끗한 물에 3번 세척하고, 5배의 끓는 물에 3 min 동안 담가 희생하였다. 희생한 갈색거저리 유충은 체에 올려 30 min 동안 방치하여 물기를 1차로 제거한 뒤, 페이퍼 타올을 이용하여 겉면의 물기를 최대한 제거하였다. 분무건조 갈색거저리 유충 전지분(whole-fat spray dried mealworm powder, WF-SD)은 겉면의 물기를 제거한 후, 열풍건조 공정을 거치지 않은 갈색거저리 유충을 재료로 이용하였다. 블랜칭 희생한 갈색거저리 유충에 2배의 물을 가하고 콜로이드밀(PUC colloid mill; Probst & Class GmbH & Co. KG, Rastatt, Germany)로 분쇄한 뒤, 25 brix에 도달할 때까지 농축기로 60℃에서 농축하였다. 농축액에 fatty acid ester of glycerin을 농축액 대비 0.2% 양이 되도록 첨가하여 유화가 잘 되도록 한 뒤, 지질 산화를 억제하기 위해 토코페롤 혼합액 또한 0.2% 가하여 섞어 주었다. 유화가 일어난 갈색거저리 유충 농축액을 산업용 분무건조기(L-12; Ohkawara Kahohki Laboratory, Fujinomiya, Japan)를 이용하여 분무건조 하였으며, 투입구의 온도는 170-190℃, 배출구의 온도는 80-90℃로 조절하였다.

WF-SD를 제외하고는 모두 블랜칭한 갈색거저리 유충을 먼저 열풍건조하였으며, 탈지 공정을 거치지 않는 경우 미세분말화가 어려워 탈지 공정을 다시 먼저 적용한 뒤에 미세 분말을 제조하였다. 블랜칭한 갈색거저리 유충은 110℃에서 중적외선을 6 min 동안 조사 처리한 뒤(MS 3-6; Lichtzen, Korea), 산업용 열풍건조기(LH.FC-PO-150; Lab house, Korea)로 60℃에서 12 h 동안 열풍건조하였다. 건조한 갈색거저리 유충은 압착 방

식 또는 용매를 이용하여 탈지하였다. 2.1.의 연구에 의해 결정된 압착 조건을 적용하였으며, 산업용 참기름 제조기(yj-395; Youngjinfoodmachine, Korea)를 이용하여 15 min 동안 600 kgf/cm^{2}의 압력을 가하는 공정을 2번 시행하였다. 착유된 기름은 제거하고 남은 잔사를 미세 분말 제조에 이용하였으며, 압착 탈지 잔사는 핀밀(GRC-10; Garyeo, Korea), 해머밀(DSMP-370; DukSan, Korea), high-performance 제트밀(DSCH-550-S; DukSan, Korea), 커터밀(HR-2172; Philips, the Netherlands)의 4가지 서로 다른 분쇄기를 이용하여 마쇄하였다. 핀밀 분쇄 압착 탈지분(PDF-P), 해머밀 분쇄 압착 탈지분(PDF-H), 제트밀 분쇄 압착 탈지분(PDF-J), 커터밀 분쇄 압착 탈지분(PDF-C)은 모두 동일한 42 mesh 체(355 μm)를 장착하여 체를 통과할 때까지 분쇄하였다. 이외에 커터밀 분쇄 용매 탈지분(SDF-C)을 만들기 위해서 블랜칭 희생 후 열풍 건조한 갈색거저리 유충을 먼저 커터밀(HR-2172; Philips, the Netherlands)을 이용하여 35 mesh 체(500 μm)를 통과할 때까지 굵게 마쇄하였다. 100 g의 마쇄한 분말을 1 L 삼각플라스크에 담고 500 mL의 n-hexane 용액을 가하였으며(1:5, w/v), 교반기(SI600R; Lab Companion, Korea)를 이용하여 180 rpm에서 6 h 동안 추출한 뒤, Whatman No.1 filter (Whatman, UK)를 이용하여 잔사만을 모은 뒤, 잔사를 이용하여 2회 더 같은 조작을 반복하였다. 최종적으로 남은 잔사는 넓은 플레이트에 펼쳐 상온에서 24 h 건조한 뒤, speed vacuum evaporator (Maxivac alpha; Labogene ApS, Lynge, Denmark)를 이용하여 7 mmHg 이하의 진공조건에서 챔버의 온도를 40℃로 하여 2,000 rpm하에 24 h 동안 다시 건조하였다. 남은 잔사를 모아 다시 커터밀(HR-2172; Philips, the Netherlands)로 42 mesh 체(355 μm)를 통과할 때까지 마쇄하여 최종적으로 SDF-C 시료를 제조하였다.

42 mesh 체(355 μm)는 마쇄하는 동안 분말의 뭉침 현상에 따른 수율의 하락이 발생함에 따라, 수율이 95% 이상 확보되는 조건에서 최고 미세한 분말을 제조할 수 있는 눈 크기의 체로써 선택하였다. 제조된 분말의 사진은 Fig. 27에 나타내었다.

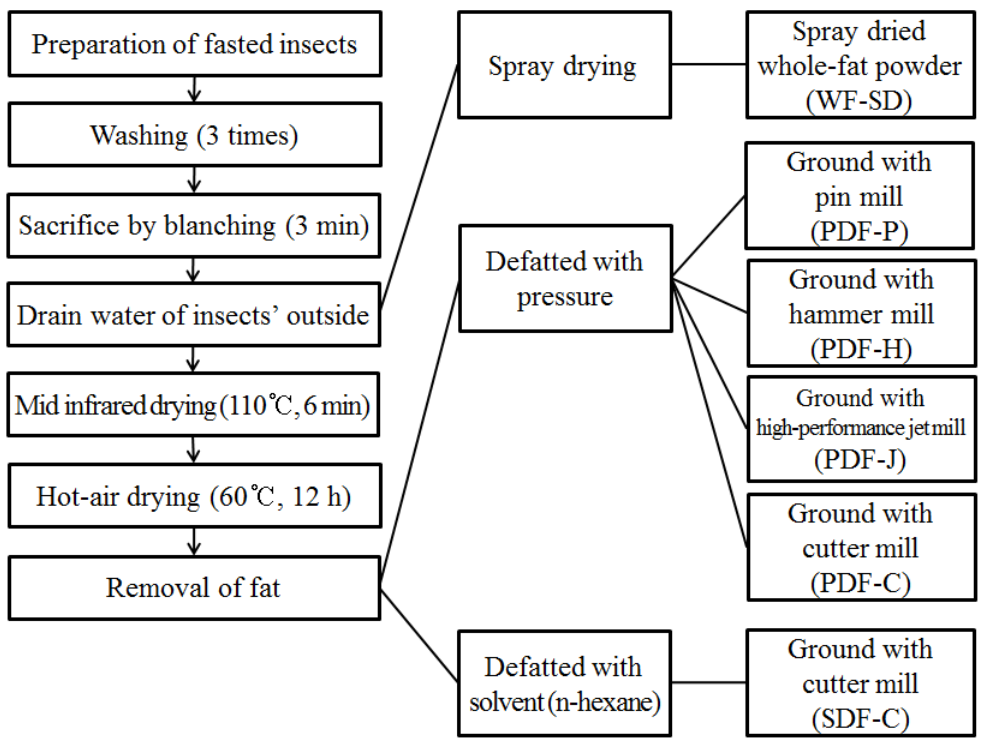


Fig. 26. Preparation of mealworm and a process flow diagram of mealworm powders

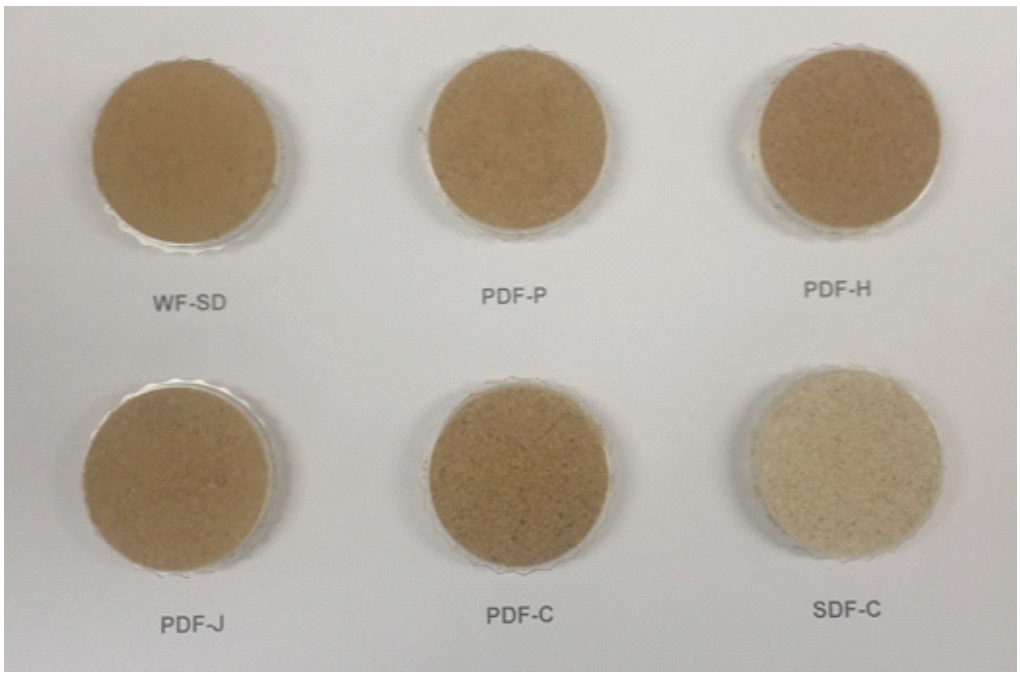


Fig. 27. Pictures of mealworm powders with different manufacturing conditions

WF-SD: spray dried whole-fat mealworm powder
PDF-P: mealworm powder defatted with pressure and ground with pin mill
PDF-H: mealworm powder defatted with pressure and ground with hammer mill
PDF-J: mealworm powder defatted with pressure and ground with high-performance jet mill
PDF-C: mealworm powder defatted with pressure and ground with cutter mill
SDF-C: mealworm powder defatted with solvent (n-hexane) and ground with cutter mill

2.2.2. 분말의 구성 성분

2.2.2.1. 일반성분

시료의 수분, 조단백, 조지방, 회분 등 일반성분 측정은 각각 상압가열건조법, 킬달분석법, soxhlet 추출법, 직접회화법으로 측정하였으며, AOAC (1995)의 방법 932.06, 925.09, 923.03 등에 따라 실험하였다. 탄수화물의 함량은 전체 중 수분, 조단백, 조지방, 회분의 함량을 뺀 비율로 구하였다.

2.2.2.2. 유리아미노산

시료의 유리아미노산 함량은 Godel H 등(1984)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 갈색거저리 유충 분말에 증류수를 가하여 추출한 다음(1:10, w/v), 2,000×g에서 20 min 동안 원심분리하였다(Combi-514R; Hanil Science Industrial, Incheon, Korea). 이후 상층액을 취하여 0.2 μm의 PTFE filter로 여과한 것을 분석 시료로 이용하였다. 준비된 분석 시료 및 아미노산 표준품은 borate buffer와 Fluorenylmethyloxycarbonyl chloride (FMOC), o-phthaldialdehyde/2-mercaptopropionic acid (OPA)와 혼합한 뒤에 HPLC에 주입하여 분석하였다. 분석 조건은 Ⅲ.2.1.2.2.와 같았다.

2.2.2.3. 양이온 및 음이온

양이온 및 음이온의 함량 분석은 이온크로마토그래피(ICS)를 이용하여 측정하였으며, 양이온 4종과 음이온 2종을 측정하였다. 분석 조건은 Ⅲ.2.1.2.3.과 같았다.

2.2.3. 분말의 물리화학적 특성

2.2.3.1. 색도

시료의 색도는 2.1.2.3.에 제시한 방법과 동일한 조건에서 측정하였다.

2.2.3.2. 입자 크기 분포 및 입자의 모양

제조된 분말의 크기와 분말 입자의 모양은 BT-1800 dynamic image particle size analysis system (Bettesize, Dandong, China)을 이용하여 측정하였다. 해당 기기를 이용하여 분말의 입자 크기 분포, 평균 입자 크기, 구형도, 단위 중량 당 표면적을 분석하였으며, 분말 입자의 이미지를 획득하였다.

2.2.3.3. 물리적 특성 및 흐름성

제조된 분말의 물리적 특성과 흐름성을 분석하기 위하여 BT-1001 powder integrative characteristic tester (Bettersize, China)을 이용하였다. 물리적 특성으로써 bulk density, tap density, angle of repose, angle of collapse, flat plate angle과 cohesion 등의 항목을 분석하였다.

2.2.3.4. 수분흡착력 및 유지흡착력

분말의 수분흡착력과 유지흡착력은 2.1.2.4.에 제시한 방법과 동일하게 측정하였다.

2.2.3.5. 유화력 및 유화안정성

갈색거저리 유충 분말의 유화력과 유화안정성은 Pearce NK & Kinsella EJ (1978)의 방법을 일부 변형하여 분석하였다. 0.1 g의 분말을 25 mL의 증류수에 분산시킨 뒤, 1 mL의 콩기름(Sajo, Korea)을 넣어주었다. 이후 homogenizer (Ultra-turrax T18; IKA Lab Technology, Ireland)를 이용하여 24,000 rpm에서 1 min 동안 유화액을 형성하였다. 형성된 유화액은 0.1% SDS와 섞은 뒤(1:150, v/v), 분광광도계(Optizen 2120UV; Mecasys, Korea)를 이용하여 500 nm에서 흡광도를 측정하였다. 유화력은 유화액의 흡광도에 2.303을 곱하여 계산하였다. 유화안정성은 제조된 유화액을 5℃에서 12 h 동안 방치한 뒤 유화력을 같은 방법으로 측정하였으며, 유화액 제조 직후의 유화력과 그 값을 비교하여 비율을 계산하였다.

2.2.3.6. 거품형성능 및 거품안정성

갈색거저리 유충 분말의 거품형성능과 거품안정성은 Lawhon JT 등 (1972)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 분말을 증류수에 분산시켜 1.5% 용액을 만든 뒤, homogenizer (Ultra-turrax T18; IKA Lab Technology, Ireland)를 이용하여 10,000 rpm에서 5 min 동안 거품을 형성하였다. 거품형성능은 거품 형성 직후 아래와 같은 계산식으로 계산하였다.

$$Foam\ expansion\ capacity(\%) = \frac{Total\ volume\ after\ foam\ development - Initial\ liquid\ volume}{Initial\ liquid\ volume} \times 100$$

거품안정성은 거품을 형성한 후, 1 h 동안 상온에 용액을 방치하였다가 동일한 방법으로 거품형성능을 측정한 뒤 거품 형성 직후의 거품형성능과 비교하여 그 비율로 나타내었다.

2.2.4. 기호도

시료의 기호도는 30명의 비훈련된 서울대학교 학생을 대상으로 검사하였다. 난수표를 각각의 샘플에 부여하고 무작위로 배열된 시료를 제공하였으며, 샘플을 맛보는 중간에 물로 입을 씻어내도록 하였다. 기호도 평가는 7점 척도로 시행하였으며, 1점-극도로 싫다, 4점-싫지도 좋지도 않다, 7점-극도로 좋다와 같이 7점으로 갈수록 기호도가 좋은 것으로 표시하도록 하였다. 분말의 기호도는 외관, 향미, 텍스처, 전체적 기호도 등 4가지 세부 항목으로 나누어 평가하였다.

2.3. 제조된 갈색거저리 유충 분말의 산화안정성

2.3.1. 실험재료

살아있는 갈색거저리 유충은 3일간 절식한 뒤 깨끗한 물에 3번 세척하고, 5배의 끓는 물에 3 min 동안 담가 희생하였다. 희생한 갈색거저리 유충은 체에 올려 30 min 동안 방치하여 물기를 1차로 제거한 뒤, 페이퍼 타올을 이용하여 겉면의 물기를 최대한 제거하였다. 블랜칭한 갈색거저리 유충은 110℃에서 중적외선을 6 min 동안 조사 처리한 뒤(MS 3-6; Lichtzen, Korea), 산업용 열풍건조기(LH.FC-PO-150; Lab house, Korea)로 60℃에서 12 h 동안 열풍건조하였다. 건조한 갈색거저리 유충은 압착 방식 또는 용매를 이용하여 탈지하였다. 2.1.의 연구에 의해 결정된 압착 조건을 적용하였으며, 산업용 참기름 제조기(yj-395; Youngjinfoodmachine, Korea)를 이용하여 15 min 동안 압력 600 kgf/cm^{2}을 가하는 공정을 2번 시행하였다. 착유된 기름은 제거하고 남은 잔사를 미세 분말 제조에 이용하였다. 압착 탈지 분말은 평균 입도 크기에 따라 산화안정성의 변화를 살펴보기 위하여 커터밀(HR-2172; Philips, the Netherlands)과 해머밀(DSMP-370; DukSan, Korea)을 각각 이용하여 압착 탈지 분말을 제조하였다. 또한 해머밀로 미세 분쇄한 경우에는 토코페롤 첨가가 산화 방지에 도움을 줄 수 있는지 여부를 확인하기 휘아여 압착 탈지 미세 분말 토코페롤 무첨가군(PDF-EX)과 0.2%의 토코페롤을 첨가하여 함께 분쇄하여 만든 압착 탈지 미세 분말 토코페롤 첨가군(PDF-EO)을 제조하였다. 또한 지질 추출 공정에 따른 산화안정성의 비교를 위하여 n-hexane을 이용하여 지질을 추출해 낸 잔사를 커터밀(HR-2172; Philips, the Netherlands)로 분쇄하여 용매 탈지 분말을 준비하였다. 제조된 4가지 분말의 기본 특성은 Table 40에 정리하여 나타내었다. 준비된 분말은 polypropylene (PP) 소재의 포장재를 이용하여 봉지 당 50 g씩 담아 진공포장하였다. 진공포장된 분말 4종은 산화안정성 확인을 위하여 가속 조건에서 저장성 실험

을 진행하였다. 이를 위하여 20, 35, 50℃의 3가지 온도 조건의 인큐베이터에 각각 분말을 저장하면서 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60일에 시료를 취하여 분석에 이용하였다.

Table 40. Manufacture conditions of defatted mealworm powders

	Milling machine	defatting method	Addition of tocopherol	Lipid contents (%)	Average particle size (μm)
PDF-C	cutter mill	pressed	-	13.2±0.1	157
PDF-H-X	hammer mill	pressed	-	13.3±0.2	103
PDF-H-O	hammer mill	pressed	0.2%	13.4±0.1	110
SDF-C	cutter mill	with n-hexane	-	2.0±0.2	162

2.3.2. 산화 지표 측정

2.3.2.1. 과산화물가

과산화물가의 측정은 Ⅲ.2.2.3.2.의 방법과 동일하게 측정하였다.

2.3.2.2. 산가

산가의 측정은 Ⅲ.2.2.3.3.의 방법과 동일하게 시행하였다.

2.3.2.3. 휘발성 염기질소

휘발성 염기질소의 측정은 Ⅲ.2.2.3.5.의 방법과 동일하게 측정하였다.

2.3.5. 일반세균수 및 대장균

일반세균수 및 대장균의 측정은 Ⅲ.2.2.4.의 방법과 동일하게 시행하였다.

3. 실험결과

3.1. 갈색거저리 유충의 압착 탈지 조건 확립

3.1.1. 압착 탈지 분말의 물리화학적 특성

압착 조건을 서로 달리하여 제조한 탈지 갈색거저리 유충 분말의 물리화학적 특성을 평가하기 위하여 분말의 지질 함량과 평균 입도, 색도를 등을 측정하였다(Table 41).

압착 시 가한 압력이 세고, 압착 시간이 길수록 최종 분말의 지질의 함량이 낮아 200-300 kgf/cm^{2}의 압력으로 20-25 min 내로 탈지를 완료한 경우, 28% 이상의 최종 지질 함량을 나타내는 등 탈지 효율이 좋지 않았다. 600 kgf/cm^2 압력에서 총 25 min을 가하여 탈지한 경우, 14.34±0.17%의 지질 함량을 나타내었으며, 30 min 동안 추출하는 경우에는 탈지 효율은 큰 차이가 없으면서 일부 탄 향미가 발생하는 등의 문제가 있어 최대 탈지 시간을 25 min으로 결정하였다. 이에 압착 탈지 방법을 이용하여 갈색거저리 유충을 탈지하는 경우 최종 지질 함량을 최대 15% 수준까지만 낮출 수 있었다. 압착 방식으로 탈지한 탈지박의 지질 함량에 대해 Keith MO & Bell JM (1991)이 카놀라 탈지박의 지질 함량을 20% 정도라 하였으며, 참깨박은 10-20%(Ha JH & Kim DH 1996), 유채씨박은 15.6%(Jensen SK 등 1995), 대두박은 10-20%(Nelson AI 등 1987)라 하는 등 본 연구에서 제조한 압착 탈지 분말과 비슷한 지질 함량을 나타내었다. 따라서 갈색거저리 유충 탈지분의 지질 함량은 일반적인 수준인 것으로 생각되며, 더 낮은 수준으로 지질 함량을 낮추기 위해서는 다른 탈지법이 함께 고려되어야 할 것으로 판단된다. 분말의 평균 입도는 분말의 지질 함량과 밀접한 관련이 있었으며, 지질 함량이 적을수록 분말의 평균 입도가 줄어들었다. 따라서 지질이 분말화 공정을 크게 저해시키는

것으로 나타났으며, Snyder HE 등(1988)은 제조된 탈지 대두 분말의 입도 크기 만으로 추출된 기름 양을 역산하는 연구를 진행하여 분말 중 기름의 함량이 낮아질수록 비례적으로 분말 입도 크기 또한 낮아진다고 하였다. 분말 형태의 식품 재료는 분말 입도 크기에 따라 그 물리적 성질이 변하며, 산업적으로는 미세한 분말의 이용성이 좋기 때문에 지질의 함량이 가장 낮았던 M-6-25가 미세한 분말을 만들기에는 가장 적합할 것으로 예상되었다. 분말의 색도는 지질의 함량과 분말의 입도, 압착 탈지 공정 중 발생한 열에 의한 갈변화 등이 모두 관련되어 나타난 결과로 볼 수 있다(Gong Y 등 2015). M-2-20과 M-3-25는 L 값이 32-34로 나타나 다른 분말에 비해 어두운 색을 나타내었으며, M-6-20, M-6-25는 51.78-51.79의 L값을 나타내어 분말의 색이 밝았다. 따라서 더 강하게 압착한 경우 분말의 색이 더 밝아졌으며, a 값은 더 압착을 많이 할수록 감소하는 것으로 나타나 분말이 밝아짐과 동시에 붉은색이 약해지는 것을 확인하였다. b 값의 경우에는 지질의 함량이 감소함에 따라 대체적으로 함께 감소하였으나, M-5-30이 13.94±0.12로 가장 높은 값을 나타내었다. M-5-30 분말은 총 30 min 동안 착유를 하여 압착 공정에 의한 열을 다른 시료보다 많이 받은 시료로써, 열에 의한 갈변이 b 값의 상승에 영향을 준 것으로 생각된다. 이와 비슷하게 M-6-20 시료에 비해 M-6-25 시료가 지질의 함량이 5% 이상 낮아졌음에도 L 값과 b 값에는 큰 차이가 없었으며, 이 또한 압착 시간이 길어지면서 갈변 물질의 생성이 일어나 발생한 결과로 사료된다.

Table 41. Lipid contents, average particle sizes, and color values of defatted mealworm powders

	Lipid contents (%)	Average particle size (μm)	Color values		
			L	a	b
M-2-20	29.00±0.29[a1)]	514.41	34.98±0.54[c]	6.06±0.05[a]	12.35±0.32[b]
M-3-25	28.47±0.82[a]	511.74	32.24±0.04[d]	5.66±0.05[c]	10.63±0.08[e]
M-5-30	21.67±1.60[b]	499.47	41.46±0.08[b]	5.83±0.05[b]	13.94±0.12[a]
M-6-20	19.63±0.16[c]	487.43	51.78±0.13[a]	4.66±0.03[d]	11.59±0.04[c]
M-6-25	14.34±0.17[d]	461.68	51.79±0.23[a]	4.52±0.05[e]	11.31±0.16[d]

Results are shown as mean±SD

[1)]Different superscripts within columns (a-e) represent significant differences at $p<0.05$

WAC는 분말의 수분 보유력을 보는 것으로 점도 등과 크게 관련이 있으며, OAC는 지질을 흡착하여 식품의 입안 촉감과 향미 보존에 긍정적인 영향을 줄 수 있는 지표라고 하였다(Cho SA 등 2013; Eom SM 등 2006). 따라서 분말의 WAC와 OAC를 측정하여 Table 42에 나타내었다. WAC와 OAC의 경우, 분말의 지질 함량과 크게 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 이에 대하여 Sun M 등(2008)은 일반적으로 분말의 지질의 함량이 낮을수록 WAC와 OAC가 커진다고 하였으며, 본 연구에서도 지질의 함량이 낮을수록 대체적으로 WAC와 OAC가 증가하였다. 이에 비해 분말의 유화력은 지질의 함량이 높을수록 함께 높아지는 경향을 나타내었다. 유화력은 시료 내의 양극성 물질의 함량에 의해 달라지는데, 단백질의 함량이 높은 식품에서는 주로 단백질이 그 역할에 참여하게 된다. 그러나 단백질의 변성이 일어나면 구조가 변화하면서 유화력이 감소할 수 있는데(Jambrak AR 등 2009), 본 연구에서도 지질 함량이 낮은 분말일수록 추출 시 압력과 시간이 증가하여 압착 중 압착열에 의한 단백질 변성이 많았을 것으로 추측된다. 또한 지질의 추출 중 유화력에 영향을 주는 단백질이 일부 지질층으로 소실된 이유도 있을 것으로 예상되나, 이에 대해서는 심층적인 연구의 필요성이 있다.

Table 42. Physicochemical properties of defatted mealworm powders

	WAC (g/g sample)	OAC (g/g sample)	Emulsion activity index
M-2-20	1.58±0.01[c1)]	1.76±0.12[b]	0.30±0.03[a]
M-3-25	1.17±0.01[e]	1.44±0.10[d]	0.28±0.01[a]
M-5-30	1.50±0.03[d]	1.68±0.01[b]	0.25±0.01[b]
M-6-20	1.73±0.06[b]	1.99±0.07[a]	0.20±0.01[c]
M-6-25	1.84±0.06[a]	1.97±0.05[a]	0.18±0.02[c]

Results are shown as mean±SD

[1)]Different superscripts within columns (a-e) represent significant differences at $p<0.05$

3.1.2. 분말의 관능적 특성

분말의 관능적 특성을 확인하기 위하여 focus group interview (FGI) 형식으로 패널들이 분말 5종을 실제로 관찰 및 섭취하면서 토의하였다. 토의 후에는 모든 패널에게서 공통적으로 기술된 관능 용어를 파악한 뒤, 이를 Table 43에 기술하였다. M-2-20과 M-3-25는 외관 항목에서 '입자가 뭉친', '어두운 색', '큰 입자'와 같이 모두 동일한 용어가 도출되었다. 또한 텍스처에서도 '거친', '기름진' 등 2개의 동일한 용어가 기술되었고, 향미에서도 '이취', '산패취', '비린' 등 같은 용어가 주로 선택되어 매우 비슷한 관능적 특성을 나타내었다. 두 분말에서 유일하게 달랐던 관능 용어는 M-2-20에서 도출된 '떫음'과 M-3-25에서 도출된 '짠맛'이었다. 이러한 용어는 주로 유리아미노산 및 단백질과 관련되어 있는 것으로 판단되며, M-5-30에서는 '감칠맛' 용어가 도출되는 등 추출 시 압착 조건이 강해짐으로써 차례로 떫음-짠맛-감칠맛으로 관련 용어가 변화하였다. 따라서 압착 분말을 제조하면 지질의 함량을 낮추어 산패를 줄이고 분말 제조 효율을 높일 수 있을 뿐 아니라 단백질의 변화를 통해 제조된 분말의 맛 또한 변화시킬 수 있는 것으로 확인되었으며, 특히 M-5-30에서 '감칠맛', '고소한 맛', '고소한 향' 등 긍정적인 용어가 많이 도출되어 적절한 처리 조건인 것으로 판단되었다. 또한 M-5-30은 외관에서 '밝은 색', 텍스처에서 '부드러운'과 같은 긍정적인 용어로 판단할 수 있는 관능 용어들이 도출되고, 부정적인 용어가 도출되지 않아 관능적으로 좋은 것으로 사료된다. 이에 비해 M-6-20, M-6-25의 경우에는 '밝은 색', '미세한', '잘 흩어지는' 외관을 가지고 있어 외관 상으로는 부정적인 용어가 크게 도출되지 않았으나, 향미에서는 주로 '향미가 약한' '향미가 밋밋한' '향미가 매우 약한' 등의 용어가 도출되어 향미가 약해지면서 도출된 용어가 일부 부정적인 것으로 나타났다. 이러한 특성은 지질의 함량이 낮아졌기 때문으로 판단되며, 따라서 갈색거저리 유충 탈지분의 지질의 함량이 20% 미만이 되면 향미가 많이 감소하는 것으로 보인다. 이러한

특성은 갈색거저리 유충의 향미 물질이 기름에 많이 녹아나기 때문에 발생하는 것으로 생각되었다. 또한 분말의 지질 함량이 낮아지면서, 텍스처에서 '매우 부드러운' '잘 녹는'과 같은 긍정적인 표현으로 판단되는 용어가 도출되기도 하였으나, M-6-25는 '입안에 들러붙는'과 같은 부정적인 표현으로 판단되는 용어가 도출되기도 하였다. 따라서 분말 자체로 섭취하기에는 향미 면에서는 M-5-30의 관능적인 면이 가장 좋은 것으로 판단되며, 외관과 텍스처에서는 지질의 함량을 더 낮춘 M-6-20, M-6-25가 일부 더 나은 특성을 지니는 것으로 사료된다.

Table 43. Selected sensory terms for defatted mealworm powders by FGI analysis

Categories	Defatted powders	Sensory terms overlapped by all panelists
Appearance	M-2-20	Agglomerated, Dark color, Large particles
	M-3-25	Agglomerated, Dark color, Large particles
	M-5-30	Light color
	M-6-20	Very light color, Fine particles
	M-6-25	Very light color, Fine particles, Easy scattered
Aroma & Flavor	M-2-20	Off-flavor, Rancid flavor, Fishy, Astringent
	M-3-25	Off-flavor, Rancid flavor, Fishy, Salty
	M-5-30	Roasting flavor, Savory taste, Savory aroma
	M-6-20	Weak roasting flavor, Light flavor, Weak aroma
	M-6-25	Flat flavor, Flat aroma
Texture	M-2-20	Tough, Greasy
	M-3-25	Tough, Greasy
	M-5-30	Soft
	M-6-20	Very soft, Freely soluble
	M-6-25	Very soft, Freely soluble, Attached to intra-oral

3.2. 서로 다른 분쇄기를 적용한 갈색거저리 유충 분말의 물리화학적 특성

3.2.1. 분말의 구성 성분

제조된 6가지 갈색거저리 유충 분말의 구성 성분 측정을 위하여 일반성분, 유리아미노산, 양이온 및 음이온의 함량을 측정하였다.

일반적으로 미생물의 활동을 억제하고 산화 반응을 감소시키기 위해서는 식품 분말 내 수분 함량을 5% 이하로 유지하여야 하는 것으로 여겨지고 있다(Escobedo-Avellaneda Z 등 2012). 제조한 분말의 일반성분을 측정한 결과(Table 44), 본 연구에서는 제조된 분말 중 가장 수분 함량이 높았던 SDF-C의 경우에도($p<0.05$), 3.97±0.90%의 수분함량을 나타내어 모든 분말이 4% 이하의 수분 함량을 보여 이러한 조건을 충족하였다. 가장 수분 함량이 낮았던 분말은 PDF-J로써, 0.94±0.07%의 수분 함량을 보였다($p<0.05$). Drakos A 등(2017)은 제조된 분말의 수분 함량은 분말 입자의 크기와 크게 관련이 있다고 하였으며, 이는 분말 입자의 크기가 작아질수록 표면적이 늘어나기 때문이라고 하였다. 분말을 제조하는 도중에 마찰열이 발생할 때 분말의 입자 표면에서 수분의 증발이 발생하게 되며, 따라서 분말의 크기가 작아 입자가 작아지면 최종 분말의 수분 함량을 낮출 수 있다. 본 연구에서도 탈지 공정을 거치지 않은 WF-SD를 제외하면, 탈지분 사이에서는 평균 입자 크기가 작을수록 낮은 수분 함량을 보여 이와 같은 원리가 적용된 것으로 판단되었다. 표면적에 의한 차이를 감안하더라도 PDF-J의 경우에는 다른 분말에 비해 눈에 띄게 낮은 수분 함량을 나타내었는데, 그 이유로는 제트밀의 기계 특성을 고려해 볼 수 있다. 제트밀의 경우, 분쇄할 때 건조한 공기가 강하게 시료를 향해 쏘아지고, 또한 건조한 공기가 기계 내부를 순환하므로 더욱 분쇄 중 수분의 증발을 가속화한다(Protonotariou S 등 2014). 시료 중 단백질의

함량은 탈지분의 경우 62.52-70.76%의 분포를 보였으나 서로 유의한 차이는 없었으며($p>0.05$), WF-SD 만이 45.00±0.21%로 유의하게 낮은 단백질 함량을 나타내었다. WF-SD의 낮은 단백질 함량은 탈지 공정을 거치지 않아 37.55±0.18%의 상대적으로 높은 지질 함량이 영향을 준 것으로 판단된다. 분말 제조 전 열풍건조까지만 마친 갈색거저리 유충의 지질 함량이 32.31%였던 것에 비하여 WF-SD는 이보다 더 높은 지질 함량을 나타내었으며, 이는 WF-SD의 제조 중 지질 성분 이외의 손실이 일부 발생한데서 기인한 것으로 보인다. WF-SD 이외의 미세 분말 제조 시에는 탈지 공정을 추가하였는데, 원재료의 30%가 넘는 높은 지질 함량으로 인하여 탈지 과정을 진행하지 않으면 미세한 분말을 만들 때 분말 입자의 응집으로 인한 수율의 하락이 크게 발생하는 것을 확인하였기 때문에 이와같은 탈지 공정을 추가하였다. 원재료의 지질 함량이 32.31%였음을 고려하였을 때 최종 제조된 탈지 분말의 지질 함량과 비교해보면, 압착 탈지의 경우 탈지 효율이 55-60%, n-hexane 용매 탈지의 경우 탈지 효율이 95% 정도인 것을 확인할 수 있었다. 높은 탈지 효율로 인해 SDF-C의 지질 함량이 낮아지면서, 다른 다량영양소의 상대적인 비율이 증가하는 현상이 관찰되었다.

Table 44. Proximate compositions of mealworm powders with different manufacturing conditions

(unit: %)

	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash	Carbohydrate
WF-SD[1)]	2.02±0.35[c2)]	45.00±0.21[b]	37.55±0.18[a]	4.20±0.00[b]	11.23
PDF-P	2.71±0.20[bc]	66.46±0.79[a]	13.22±0.10[c]	3.84±0.04[d]	13.77
PDF-H	2.22±0.08[bc]	64.88±0.54[a]	13.32±0.24[c]	3.96±0.04[cd]	15.62
PDF-J	0.94±0.07[d]	62.52±3.47[a]	14.45±0.59[b]	4.00±0.08[c]	18.09
PDF-C	2.83±0.15[b]	66.23±4.05[a]	14.34±0.17[b]	3.65±0.09[e]	12.95
SDF-C	3.97±0.90[a]	70.76±5.76[a]	1.98±0.24[d]	5.08±0.05[a]	18.21

Results are shown as mean±SD

[1)]WF-SD: spray dried whole-fat mealworm powder

PDF-P: mealworm powder defatted with pressure and ground with pin mill

PDF-H: mealworm powder defatted with pressure and ground with hammer mill

PDF-J: mealworm powder defatted with pressure and ground with high-performance jet mill

PDF-C: mealworm powder defatted with pressure and ground with cutter mill

SDF-C: mealworm powder defatted with solvent (n-hexane) and ground with cutter mill

[2)]Different superscripts within columns (a-e) represent significant differences at $p<0.05$

제조된 분말의 유리아미노산 함량은 Table 45에 나타내었다. 분말의 유리아미노산 함량은 분말 제조 중 의도하지 않은 단백질의 분해가 얼마나 발생하는지 확인하기 위하여 측정하였으며, 일반적으로 이러한 의도하지 않은 분해가 산화와 변패를 촉진하고 쓴 맛을 증가시키는 경우가 있다 (Maehashi K & Huang L 2009). 6개의 분말 중 눈에 띄게 유리아미노산 함량이 높았던 분말은 WF-SD였으며($p<0.05$), 이는 WF-SD를 제조할 때 다른 제조 방법에 비해 제조 공정이 복잡하고, 또한 고온과 고압이 가해지기 때문으로 판단되었다. 관능적인 특징에서도 WF-SD가 강한 쓴 맛을 지니고 있었으며(data not shown), 이러한 불쾌한 쓴 맛의 증가가 의도하지 않은 단백질의 분해에 따른 것으로 판단되므로, WF-SD의 단백질 분해를 방지할 수 있는 제조 공정을 고려해 볼 필요성이 있었다.

Table 45. Free amino acids contents of mealworm powders with different manufacturing conditions

(unit: g/kg dry basis)

	WF-SD[1)]	PDF-P	PDF-H	PDF-J	PDF-C	SDF-C
Aspartic acid	0.36±0.01[a2)]	0.34±0.00[b]	0.36±0.00[a]	0.33±0.00[c]	0.19±0.00[d]	0.36±0.01[a]
Glutamic acid	4.84±0.09[a]	2.88±0.03[c]	3.16±0.01[b]	2.79±0.01[d]	1.32±0.00[f]	2.01±0.19[e]
Asparagine	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Serine	1.25±0.03[a]	0.41±0.01[d]	0.47±0.00[c]	0.41±0.00[d]	0.34±0.00[e]	0.52±0.04[b]
Glutamine	n.d.	0.78±0.01[e]	0.83±0.00[d]	0.85±0.01[c]	2.00±0.02[b]	3.21±0.37[a]
Histidine	2.44±0.03[b]	2.28±0.10[c]	2.35±0.01[c]	2.10±0.00[d]	2.06±0.03[e]	2.72±0.16[a]
Glycine	0.99±0.01[a]	0.50±0.01[d]	0.56±0.00[b]	0.50±0.00[d]	0.37±0.00[e]	0.53±0.02[c]
Threonine	1.38±0.03[a]	0.86±0.01[d]	0.91±0.02[c]	0.83±0.02[e]	0.77±0.01[f]	0.99±0.00[b]
Arginine	4.69±0.10[a]	4.22±0.05[c]	4.55±0.02[b]	4.16±0.01[d]	2.83±0.01[f]	3.96±0.29[e]
Alanine	5.37±0.10[a]	1.61±0.02[d]	1.78±0.00[c]	1.62±0.01[d]	1.54±0.01[e]	2.03±0.09[b]
Tyrosine	3.07±0.06[a]	2.07±0.04[c]	2.17±0.01[b]	2.04±0.00[c]	2.01±0.02[d]	2.96±0.22[a]
Valine	2.64±0.04[a]	1.74±0.01[d]	1.87±0.01[c]	1.71±0.00[e]	1.53±0.00[f]	2.21±0.05[b]
Methionine	0.19±0.02[a]	0.11±0.00[c]	0.12±0.00[b]	0.11±0.00[c]	0.04±0.00[e]	0.05±0.00[d]

(Continued) Table 45. Free amino acids contents of mealworm powders with different manufacturing conditions

(unit: g/kg dry basis)

	WF-SD	PDF-P	PDF-H	PDF-J	PDF-C	SDF-C
Tryptophane	1.69±0.02[a]	0.71±0.00[d]	0.74±0.00[d]	0.71±0.05[d]	1.15±0.01[c]	1.53±0.09[b]
Phenylalanine	0.85±0.02[a]	0.39±0.00[d]	0.42±0.00[c]	0.39±0.00[d]	0.33±0.00[e]	0.50±0.04[b]
Isoleucine	1.38±0.00[a]	0.78±0.01[d]	0.81±0.00[c]	0.74±0.01[e]	0.66±0.00[f]	0.90±0.01[b]
Leucine	1.93±0.04[a]	0.66±0.01[d]	0.72±0.00[c]	0.65±0.00[d]	0.60±0.00[e]	0.86±0.03[b]
Lysine	1.46±0.06[a]	1.47±0.02[a]	1.31±0.07[b]	1.28±0.04[b]	0.83±0.04[d]	1.17±0.02[c]
Proline	10.16±0.02[d]	7.27±0.65[e]	12.49±0.11[b]	11.81±0.20[c]	10.39±0.38[d]	13.75±0.20[a]
Total A.A.	45.22±0.62[a]	29.05±0.32[e]	35.62±0.18[c]	33.03±0.28[d]	28.97±0.42[e]	37.84±0.54[b]

Results are shown as mean±SD

[1)]WF-SD: spray dried whole-fat mealworm powder
PDF-P: mealworm powder defatted with pressure and ground with pin mill
PDF-H: mealworm powder defatted with pressure and ground with hammer mill
PDF-J: mealworm powder defatted with pressure and ground with high-performance jet mill
PDF-C: mealworm powder defatted with pressure and ground with cutter mill
SDF-C: mealworm powder defatted with solvent (n-hexane) and ground with cutter mill

[2)]Different superscripts within columns (a-f) represent significant differences at $p<0.05$

제조된 6가지 분말의 양이온 및 음이온 함량을 측정한 결과는 Table 46에 나타내었다. WF-SD의 경우, 나트륨과 염소, 마그네슘, 칼슘, 인산 등의 이온 함량이 다른 분말에 비해 눈에 띄게 높았다. 이러한 높은 무기질 함량은 탈지 과정을 거치지 않아 이온의 손실이 적었기 때문에 발생한 결과로 사료된다. SDF-C의 경우에는 압착 탈지분에 비해 나트륨, 칼륨, 인산 등의 무기질 함량이 대체로 높게 나타났으며, 따라서 나트륨, 칼륨, 인산과 같은 무기질은 압착 탈지 시 용매 탈지에 비해 손실률이 더 높은 것으로 판단되었다.

Table 46. The contents of cations and anions of mealworm powders with different manufacturing conditions

(unit: g/kg dry basis)

	WF-SD[1)]	PDF-P	PDF-H	PDF-J	PDF-C	SDF-C
Na^+	3.90	0.71	0.77	1.23	0.73	1.34
K^+	9.64	9.51	9.83	9.95	7.77	10.66
Mg^{2+}	3.81	1.71	1.76	2.25	2.28	2.64
Ca^{2+}	0.62	0.18	0.20	0.18	0.19	0.17
Cl^-	11.51	5.01	5.21	6.26	4.31	6.06
PO_4^{2-}	13.21	9.92	10.60	11.77	10.67	14.06

Results are shown as mean±SD

[1)]WF-SD: spray dried whole-fat mealworm powder
PDF-P: mealworm powder defatted with pressure and ground with pin mill
PDF-H: mealworm powder defatted with pressure and ground with hammer mill
PDF-J: mealworm powder defatted with pressure and ground with high-performance jet mill
PDF-C: mealworm powder defatted with pressure and ground with cutter mill
SDF-C: mealworm powder defatted with solvent (n-hexane) and ground with cutter mill

3.2.2. 분말의 물리화학적 특성

3.2.2.1. 색도

제조된 6가지 갈색거저리 유충 분말에 대하여 Hunter's Lab value로 L (lightness), a (redness), b (yellowness) 값을 측정하였으며, 그 결과를 Table 47에 나타내었다. 분말의 L 값은 50.38-71.59 사이에 분포하였으며, SDF-C가 71.59±0.62로 유의하게 높은 L 값을 보였다($p<0.05$). Jeon YH 등(2016)의 연구를 보면 갈색거저리 유충에서 추출한 기름의 L값이 29.09라 하여 이번에 제조된 6가지 분말보다 낮은 L 값을 나타내었다. 따라서 SDF-C의 높은 L 값은 지질 함량이 가장 낮았던 것이 그 이유로 판단된다. 갈색거저리 유충은 원래 밝은 갈색을 띠고 있는데, 이는 phenol oxidase에 의해 tyrosine에서 유래된 멜라닌 색소의 영향으로 알려져 있다(Kan H 등 2008). 이를 토대로 보았을 때, SDF-C는 n-hexane을 이용한 탈지 도중에 멜라닌 색소의 용출이 일어나 높은 L 값을 가지게 된 것으로 판단되며, 동시에 색소의 용출로 인해 a 값과 b 값에서 눈에 띄게 낮은 값을 나타내었다. 갈색거저리 유충의 색도에 대하여 Kim SY 등(2015)은 동결건조 한 갈색거저리 유충의 색도가 L, a, b 값이 각각 23.68±0.79, 3.57±0.09, 5.32±0.26이라 하였으며, 이 값에 비하여 본 연구의 제조 분말은 SDF-C를 제외하면 모두 L, a, b 값이 더 높았다. 이에 대하여 Pierson B 등(1987)은 식품의 분말 제조 시에 입자의 크기가 작아지게 되면 빛의 투과와 반사율이 변화하면서 특히 L 값에 증가가 나타난다고 하였다. 이와 마찬가지로 4가지의 압착 탈지분 중 가장 평균 분말 입도가 작았던 PDF-J가 압착 탈지분 중에서 가장 높은 L 값과 b 값을 나타내었다. 또한 WF-SD의 경우에 지질의 함량이 높아 L 값의 감소가 있었을 것으로 생각되나, 전체 분말 중 가장 작은 분말 입자 크기가 작았기 때문에 동시에 L 값의 상승도 일어나 압착 탈지 분말과 비슷한 L 값을 나타낸 것으로 사료된다. 따라서 갈색거저리 유충 분말을 제조할 때에는

지질의 함량을 낮출수록, 그리고 분말의 입도를 작게 할수록 밝은 분말을 제조할 수 있는 것으로 판단되었다.

Table 47. Color values of mealworm powders with different manufacturing conditions

	L	a	b
WF-SD[1)]	51.58±1.09[c2)]	4.28±0.11[b]	12.28±0.32[a]
PDF-P	51.71±0.19[c]	4.76±0.14[a]	10.79±0.03[c]
PDF-H	50.38±0.80[d]	4.73±0.05[a]	10.72±0.26[c]
PDF-J	53.92±0.51[b]	4.62±0.05[a]	11.64±0.06[b]
PDF-C	52.71±0.23[c]	4.60±0.06[a]	11.55±0.23[b]
SDF-C	71.59±0.62[a]	1.92±0.16[c]	7.43±0.54[d]

Results are shown as mean±SD

[1)]WF-SD: spray dried whole-fat mealworm powder

PDF-P: mealworm powder defatted with pressure and ground with pin mill

PDF-H: mealworm powder defatted with pressure and ground with hammer mill

PDF-J: mealworm powder defatted with pressure and ground with high-performance jet mill

PDF-C: mealworm powder defatted with pressure and ground with cutter mill

SDF-C: mealworm powder defatted with solvent (n-hexane) and ground with cutter mill

[2)]Different superscripts within columns (a-d) represent significant differences at $p<0.05$

3.2.2.2. 분말의 입자 크기 및 입자의 모양

제조된 6가지 갈색거저리 유충 분말에 대하여 분말의 입자 크기 분포 그래프와 함께 평균 분말 입도를 Fig. 28에 나타내었다. 또한 charge-coupled device 카메라를 이용한 분말 입자의 사진과 구형도, 단위 무게 당 표면적을 분석한 결과는 Fig. 29에 나타내었다.

6가지 분말의 입자 크기 분포 그래프 및 평균 분말 입자 크기를 분석한 결과 모두 같은 눈 크기의 체를 이용하였음에도 서로 다른 분말의 입도 분포를 나타내는 것을 확인하였다. 또한 PDF-P와 PDF-H가 서로 비슷한 분포 그래프를 나타내었고, PDF-C와 SDF-C가 비슷한 분포 그래프를 나타내는 등 분쇄기의 특성에 따라 입자 크기 분포 그래프가 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다. WF-SD는 가장 작은 평균 입자 크기를 나타내었으며, 분말 입자 크기 분포 그래프의 모양이 6개 분말 중 정규분포곡선과 가장 비슷하였다. 따라서 다른 분말에 비하여 서로 비슷한 크기의 분말 입자들이 생성되었음을 알 수 있었으며, 또한 분말의 입자 사진을 확인하였을 때에도 다른 분말에 비해 분말의 크기와 모양이 비슷하였다. 이러한 분말 형태와 크기의 동질성은 대량 생산 및 반복적인 생산 시에 최종 산물의 동질성을 가질 수 있으므로, 산업적인 적용 시에 다른 분말에 비해 더욱 이점이 있을 것으로 생각된다. PDF-P와 PDF-H의 경우, 150-200 μm 사이에서 높은 가장 높은 peak를 나타내고, 50-100 μm 사이에서 또한 가장 높은 peak 곡선과 뚜렷하게 구분되는 작은 peak를 나타내는 등 서로 유사한 분말 입자 크기 분포 그래프 패턴을 나타내었다. 2가지 분말 제조에 이용된 핀밀과 해머밀은 둘 다 impact mill에 속하는 비슷한 분쇄 방식을 이용하는 분쇄기이다. 이들은 커터밀과 같이 날카로운 칼날 대신에 각각 pin과 hammer로 불리는 얇은 봉 형태 또는 비교적 두꺼운 망치 형태의 분쇄 날을 가지고 있다. 이들은 재료 물질을 자르는 방식으로 분쇄하는 것이 아니라, 회전력을 이용하여 때려서 입자와 날 사이 또는 입자와 입자 간의 충격을 주어 재료 물질의 입자를 더 작게

깨뜨리는 방식을 취하고 있다(Nakach M 등 2004). 2가지 분말이 매우 비슷한 입자 크기 분포 패턴을 보이기는 하였으나, PDF-H가 더 작은 입도에 대한 왼쪽 peak가 더 높고, 전체적으로 그래프의 peak 분포가 입도 크기가 작은 쪽으로 이동한 모양으로써 평균 입도 또한 PDF-P에 비해 25 μm 정도 작았다. 따라서 같은 형식의 impact mill 중에서는 핀밀에 비해 해머밀의 분쇄 효율이 더 좋음을 확인하였다. 또한 PDF-H의 경우, 압착 탈지분 중에서 가장 높은 구형성을 나타내는 등 PDF-P에 비해 해머밀을 이용한 경우 더 구형에 가까운 입자 모양을 가진 분말을 얻을 수 있었다. PDF-J의 경우에는 분말의 크기 분포 곡선이 매우 넓게 비슷한 비율로 퍼져있었으며, 이에 다른 분말에 비해 특정 구간에 분포가 밀집되지 않았다. 일반적으로 제트밀은 매우 미세한 분말을 제조할 때 주로 이용되며, 미세 분말을 제조하였을 때 분말의 입도 분포 또한 다른 분쇄 방식에 비해 고르다고 알려져 있다(Molina-Boisseau S 등 2002). 본 연구에서도 PDF-J의 평균 입자 크기가 86.95 μm로 나타나 탈지분 중에서는 눈에 띄게 작은 입자를 지닌 분말이 제조되었다. 그러나 분말의 입자 분포가 고르지 않았던 이유로는 제트밀의 분쇄 효율이 다른 분쇄 방식에 비해 너무 높기 때문으로 생각된다. 일반적으로는 재료의 분쇄가 시작되면 배출구에 장착된 체를 통과하지 못하는 입자에 대한 분쇄가 계속해서 일어나면서 전체 입자의 크기가 고르게 조율된다. 그러나 본 연구에서는 분쇄 방식 간의 차이를 보기 위하여 45 mesh의 체를 모두 동일하게 적용하였는데, 제트밀의 경우에는 입자의 크기가 고르게 조정되는 과정이 일어나기 전에 곧바로 1차 파쇄 된 분말이 배출구를 통해 빠져나온 것으로 보이며, 따라서 제트밀을 이용할 경우에 분말의 입도를 고르게 하기 위해서는 더 미세한 체를 이용하여야 할 것으로 보인다. PDF-C와 SDF-C는 동일하게 커터밀을 이용하여 분쇄하였는데, 일반성분 함량에서 지질의 함량이 크게 차이가 났음에도 불구하고, 분말의 입자 크기 분포 패턴이 매우 유사하였으며, 평균 입도 크기도 5 μm밖에 차이나지 않았다. 따라서 분쇄 시 최종 분말의 형태에는 성분의 함량이 영향을 줄 수도 있

지만 분쇄 방식이 매우 크게 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 2가지 분말의 평균 입도는 PDF-C가 156.59 μm, SDF-C가 161.84 μm를 나타내어 다른 분말에 비해 눈에 띄게 큰 입도를 보였다. 따라서 커터밀은 여러 분쇄 방식 중 분쇄 효율이 낮은 분쇄 방식으로 생각된다. 비록 PDF-C와 SDF-C가 거의 같은 평균 입도를 나타내었으나, 구형도 값에는 큰 차이가 있었다. PDF-C의 구형도는 0.818로 6개의 분말 중 가장 낮은 구형도를 나타내었으나, SDF-C는 0.848로 가장 높은 구형도를 나타내었다. 이러한 현상은 지질의 함량의 차이에서 비롯된 것으로 판단되며, 지질의 함량을 낮추면 최종 분말 입자의 모양이 구형에 가까워질 수 있음을 확인하였다.

단위 중량 당 표면적을 분석한 결과, 이는 입자의 크기와 형태에 모두 크게 연관이 있었다. 일반적으로 입자의 크기가 작을수록, 그리고 모양이 구형에 가까울수록 표면적이 넓어지는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서도 이러한 원리가 적용되어 압착 탈지분 중 가장 평균 입자 크기가 작았던 PDF-J와 압착 탈지분 중 가장 구형도가 높았던 PDF-H가 모두 0.038 m^2/g의 값으로 가장 높은 단위 무게 당 표면적 값을 나타내었다. 2가지 분말의 결과를 보았을 때, PDF-J의 경우에는 평균 입자의 크기가 가장 작았으나 입자의 구형도가 낮았고, PDF-H는 비교적 평균입자의 크기가 컸으나 입자의 구형도가 높았으며, 따라서 단위 무게 당 표면적을 고려하면 입자의 크기와 형태에 모두 신경을 써야 함을 확인하였다. PDF-P와 PDF-C는 모두 분말의 평균 입도도 비교적 크고, 구형도도 낮아 0.022 m^2/g의 6개 분말 중 가장 낮은 단위 무게 당 표면적 값을 보였다. WF-SD는 가장 작은 분말 평균 입도와 함께 6개의 분말 중 SDF-C 다음으로 2번째로 높은 0.845의 구형도를 나타내었으나, 0.032 m^2/g의 단위 무게 당 표면적 값을 나타내어 PDF-J와 PDF-H보다 그 값이 낮았다. 이는 WF-SD의 지질 함량이 높아 분말 내 지질이 단위 비중을 높임으로써 발생된 결과로 사료된다.

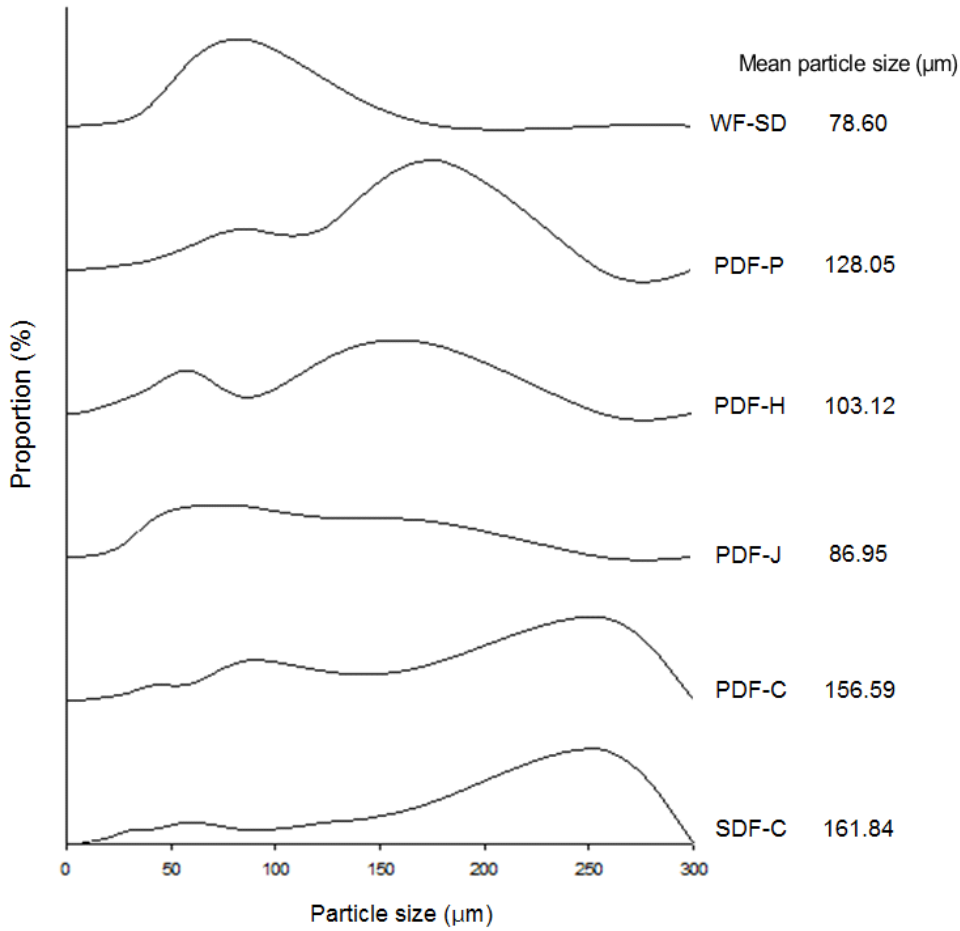


Fig. 28. Particle size distribution of mealworm powders and their average particle sizes

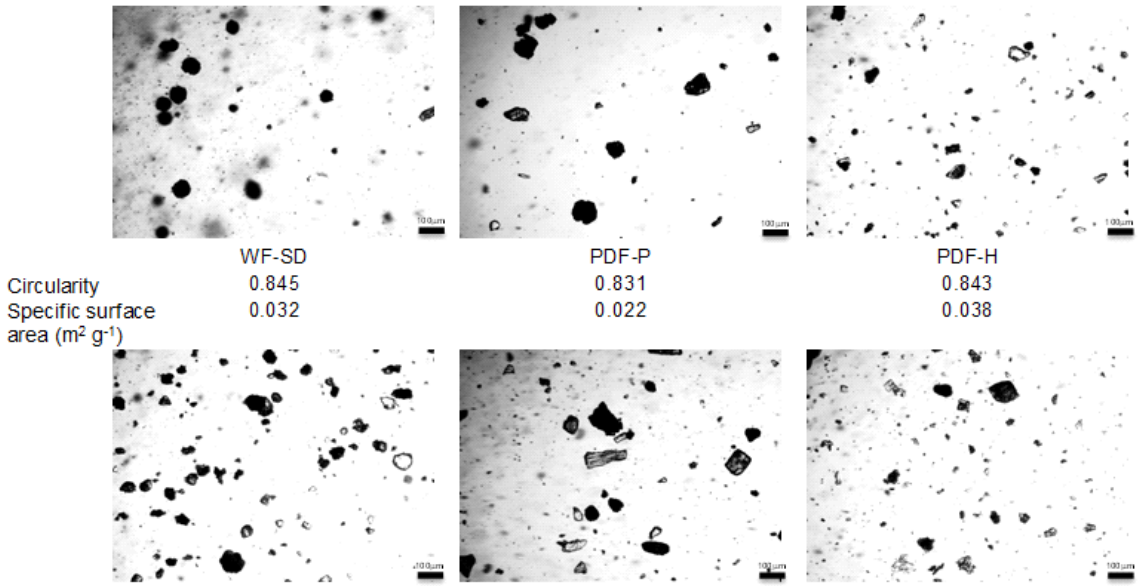


Fig. 29. Particle images of mealworm powders and their circularities and specific surface areas

3.2.2.3. 분말의 흐름성

분말의 흐름성은 분말을 제조한 후 산업적으로 포장, 수송, 조리 등의 단계를 진행할 때 큰 영향을 주는 특성으로(Knowlton TM 등 1994), 본 연구에서는 bulk density, tap density, Hausner ratio (tap density/bulk density), angle of repose, angle of collapse, flat plate angle, cohesion 등의 값을 그 지표로 측정하였다(Table 48). WF-SD는 기기를 이용하여 흐름성 지표를 전혀 측정을 할 수 없을 만큼 흐름성이 낮아 그 값을 구할 수 없었다. WF-SD는 기기에 장착된 깔때기를 통과하지 못할 정도로 서로 응집이 심하였으며, Fitzpatrick JJ 등(2004)은 이러한 상태에 대하여 분말의 응집성이 강하면 깔때기 배출구 부근에서 분말 입자가 아치 모양으로 응집하게 되면서 전혀 배출구로 나오지 못하는 흐름의 정지가 일어난 것이라고 하였다. 이러한 흐름의 정지는 분말을 산업적으로 포장할 때 문제가 발생하게 되며, 특히 소량씩 포장하는 경우에는 더욱 큰 문제가 발생할 소지가 있다. 따라서 WF-SD 분말이 흐를 수 있도록 하기 위해서는 흐름성을 분말 입자 간 응집성을 낮출 수 있는 물질을 첨가하여 주는 작업이 필요할 것으로 생각된다. Hausner ratio는 분말의 흐름성을 판단하는데 많이 이용되는 지표 중 하나로, tap density 값을 bulk density 값으로 나누어 계산한 비율이다. Domian E & Cenkier J (2013)는 Hausner ratio 값이 1-1.25 사이이면 “free flowing”, 1.25-1.4 사이일 때 “sparingly flowing”, 그리고 1.4 이상인 경우에는 “cohesive”라고 명명하였다. 이 기준에 따르면, 값을 측정할 수 없었던 WF-SD를 제외한 5개의 분말 중 SDF-C를 제외하고는 모두 “cohesive”에 속하였으며 4개 분말 간에는 Hausner ratio에 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). SDF-C는 1.37±0.00의 Hausner ratio 값을 나타내어 매우 cohesive 경향이 강한 “sparingly flowing” 영역에 속하였다. 따라서 Hausner ratio로 보았을 때, 제조된 갈색거저리 유충 분말 모두 흐름성이 매우 좋지 않은 것으로 판단되었다. Hausner ratio 이외에 분말의 흐름성 지표로써 angle of repose, angle of

collapse, flat plate angle 등의 지표도 이용되고 있으며, 이 중 가장 많이 이용되고 있는 지표는 angle of repose이다. Peleg M (1978)은 angle of repose 값이 40° 이하인 경우, 분말이 자유로이 흐르는 상태라 하였으며, 그 값이 50° 이상이 되면 분말의 흐름에 큰 문제가 발생한다고 하였다. 이러한 기준에서 보았을 때, 가장 angle of repose 값이 컸던 PDF-C ($p<0.05$)는 53.58±3.57°로 그 값이 50°를 초과하였다. 비록 PDF-C 이외의 분말은 angle of repose 값이 50°를 초과하지는 않았으나, 46.97-49.84°에 그 값이 분포하여 모든 분말이 흐름성이 좋지 않은 것을 확인할 수 있었다. Angle of collapse 값의 결과는 angle of repose 값의 경향과 거의 동일하게 관찰되었으며, 따라서 angle of collapse의 경우 angle of repose와 비슷한 지표로 이용될 수 있음을 확인하였다. 그러나 flat plate angle 값은 시료 간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 분말의 흐름은 분말 입자 간의 van de Waals force에 의해 응집성이 높아짐으로써 방해를 받을 수 있다 (Palaniandy S & Mohd Azizli KA 2009). 재료를 분쇄하여 입자의 크기를 줄이면서 표면적이 커지게 되면, 서로 끌어당기는 힘을 가할 수 있는 면적이 늘어나면서 분말 입자 간의 상호작용이 커지게 된다. 분말의 응집성은 cohesion 값으로 측정하여 나타내었으며, cohesion 값은 분말의 입자 크기와 크게 연관을 보여 탈지분에서 분말의 입자 크기가 작을수록 높은 cohesion 값을 나타내었다. 분말의 입자 크기가 작을수록 cohesion 값이 높고, 흐름성이 낮아진다는 결과는 검정콩 분말에 대해 연구한 Lee YJ & Yoon WB (2015)의 연구에서도 그 경향이 일치하였다.

분말의 흐름성에는 분말의 입자 크기 뿐 아니라 분말 입자 형태의 구형도와 지질 함량의 차이도 영향을 주는 것을 볼 수 있었다. 그 예로 PDF-C가 압착 탈지분 중 가장 낮은 cohesion 값을 보여 응집성이 낮았으나, angle of repose 값은 가장 낮은 등 흐름성이 좋지 않았는데, 이는 PDF-C의 구형도가 낮았던 것에서 비롯된 것으로 판단되었다. SDF-C의 경우에는 가장 구형도가 높고 입자의 크기도 제조 분말 중 가장 커서 흐름성이 높을 것으로 판단할 수 있었으나, 그 수치의 차이를 고려하여도

특히 눈에 띄게 흐름성 지표가 다른 분말에 비해 좋게 나타났다. 이러한 결과의 이유로써, Fostar DK 등(2005)은 분말 입자의 표면에 지질층이 형성되는 경우, 끈적거림을 유발하고 또한 caking 현상을 유발 할 수 있다고 하였다. 이러한 현상은 분말 입자 표면에 위치한 지질층이 분말 간에 소수성 가교를 형성함으로써 나타나는 결과로, 분말 중 지질이 함유되어 있으면 그 흐름성을 크게 떨어뜨릴 수 있다. 따라서 본 연구에서도 지질 함량이 가장 낮은 SDF-C가 다른 분말보다 훨씬 나은 흐름성을 보이고, 지질 함량이 가장 높은 WF-SD가 눈에 띄게 좋지 않은 흐름성을 나타내었으므로, 같은 제조법으로 만든 분말이라도 지질의 함량을 줄이면 그 흐름성을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

Table 48. Values of powder flowability parameters for mealworm powders

	WF-SD[1)]	PDF-P	PDF-H	PDF-J	PDF-C	SDF-C
Bulk density (g/cm^3)	-	0.31±0.00[d2)]	0.34±0.01[b]	0.31±0.01[d]	0.32±0.00[c]	0.43±0.00[a]
Tap density (g/cm^3)	-	0.53±0.01[b]	0.57±0.04[ab]	0.52±0.00[b]	0.52±0.01[b]	0.59±0.00[a]
Hausner ratio	-	1.71±0.05[a]	1.69±0.14[a]	1.71±0.04[a]	1.63±0.04[a]	1.37±0.00[b]
Angle of repose (degree)	-	47.65±0.69[b]	49.84±0.74[ab]	48.18±1.10[b]	53.58±3.57[a]	46.97±1.82[b]
Angle of collapse (degree)	-	44.93±0.45[ab]	47.34±1.82[ab]	46.39±0.91[ab]	50.33±4.01[a]	41.11±4.25[b]
Flat plate angle (degree)	-	78.87±7.86	71.10±0.35	69.13±9.81	77.34±3.44	69.90±0.79
Cohession	-	98.30±0.00[ab]	99.15±0.92[a]	99.60±0.42[a]	97.55±1.06[b]	93.15±0.07[c]

Results are shown as mean±SD

[1)]WF-SD: spray dried whole-fat mealworm powder
PDF-P: mealworm powder defatted with pressure and ground with pin mill
PDF-H: mealworm powder defatted with pressure and ground with hammer mill
PDF-J: mealworm powder defatted with pressure and ground with high-performance jet mill
PDF-C: mealworm powder defatted with pressure and ground with cutter mill
SDF-C: mealworm powder defatted with solvent (n-hexane) and ground with cutter mill

[2)]Different superscripts within rows (a-d) represent significant differences at $p<0.05$

3.2.2.4. 분말의 수용액 내 물리화학적 특성

제조된 분말의 물리화학적 특성 중 특히 용매에 분말을 분산하였을 때 나타나는 특성은 분말을 실제로 이용할 때 중요한 요소 중 하나이다. 따라서 분말을 증류수에 분산하였을 때 나타나는 물리화학적 특성에 대하여 WAC, OAC, 유화력, 유화안정성, 거품형성능, 거품안정성 등을 측정하였으며, 그 결과를 Table 49에 나타내었다. WAC와 OAC의 경우, 분말의 기름 함량에 의해 크게 낮아질 수 있다고 하였으며(Sun M 등 2008), 본 연구에서도 이와 마찬가지의 결과로 가장 지질 함량이 낮은 SDF-C가 유의적으로 높은 WAC와 OAC 값을 나타내었다($p<0.05$). 또한 SDF-C는 유화액과 거품의 형성, 그리고 그 안정성에 대해서도 비교적 좋은 결과를 나타내었다. 유화와 거품 형성 시에는 표면장력을 낮추면 그 형성력이 크게 높아지게 되며, 단백질은 양극성 물질로써 계면활성제로 작용하여 표면장력을 낮추는 작용을 할 수 있다(Nakai S 1983). SDF-C는 비록 유의적으로 차이가 나지는 않았으나, 가장 높은 수치의 단백질 비율을 나타내었으며, 따라서 시료 내 단백질이 유화와 거품 형성에 더욱 도움을 주었을 것으로 생각된다. WF-SD의 경우, 단백질 함량이 분말 중 가장 낮았고, 지질의 함량이 높아 물리화학적 특성이 좋지 않을 것으로 예상되었으나, OAC, 유화력, 거품형성능, 거품안정성 등의 값이 다른 분말에 비해 크게 낮지 않았는데, 이러한 결과는 WF-SD 제조 공정 도중 첨가된 fatty acid ester of glycerin이 유화제로 이용되는 물질이기 때문에 그 영향을 받은 결과로 사료된다.

Table 49. Physicochemical properties of mealworm powders

	WF-SD[1)]	PDF-P	PDF-H	PDF-J	PDF-C	SDF-C
WAC (g/g sample)	0.55±0.01^{c}[2)]	1.58±0.11^{b}	1.48±0.02^{b}	1.45±0.04^{b}	1.48±0.03^{b}	2.72±0.23^{a}
OAC (g/g sample)	1.22±0.13^{bc}	1.10±0.02^{bc}	1.03±0.03^{bc}	0.92±0.06^{c}	1.26±0.05^{b}	2.05±0.38^{a}
Emulsion activity index	0.88±0.02^{a}	0.66±0.05^{b}	0.34±0.03^{d}	0.56±0.01^{c}	0.54±0.07^{c}	0.63±0.00^{b}
Emulsion stability (%)	74.49±7.94^{bc}	77.45±4.88^{b}	63.90±6.61^{bc}	95.95±5.00^{a}	60.69±5.14^{c}	99.73±0.39^{a}
Foam expansion capacity (%)	5.65±0.35^{ab}	5.80±0.28^{a}	4.01±0.27^{c}	5.00±0.28^{b}	3.65±0.35^{c}	5.80±0.28^{a}
Foaming stability (%)	94.60±2.84^{ab}	97.38±.35^{a}	92.12±4.41^{ab}	90.06±2.27^{ab}	87.52±3.15^{b}	91.31±2.86^{ab}

Results are shown as mean±SD

[1)]WF-SD: spray dried whole-fat mealworm powder
PDF-P: mealworm powder defatted with pressure and ground with pin mill
PDF-H: mealworm powder defatted with pressure and ground with hammer mill
PDF-J: mealworm powder defatted with pressure and ground with high-performance jet mill
PDF-C: mealworm powder defatted with pressure and ground with cutter mill
SDF-C: mealworm powder defatted with solvent (n-hexane) and ground with cutter mill

[2)]Different superscripts within rows (a-d) represent significant differences at $p<0.05$

3.2.3. 분말의 기호도

제조된 6가지 분말에 대하여 외관, 향미, 텍스처, 전체적 기호도 등 4개의 세부 항목으로 나누어 기호도 평가를 진행하였으며, 평가 결과는 Fig. 30에 나타내었다. WF-SD는 모든 세부 항목에서 유의적으로 가장 낮은 기호도를 나타내었다($p<0.05$). 외관 항목에 대하여 고려해 보았을 때, WF-SD는 색도 측정 결과 SDF-C 이외 압착 탈지분에 대해서는 색도에 큰 차이를 보이지 않았으며, 따라서 외관 항목에서의 낮은 기호도는 색의 차이에서 유래한 것이 아닌 것으로 판단되었다. WF-SD가 다른 제조 분말에 비해 눈에 띄게 좋지 않은 점을 드러낸 부분은 높은 지질 함량으로 인한 강한 응집성과 제조 과정에서 발생한 강한 쓴 맛이었다. WF-SD의 외관 항목에 대한 낮은 기호도는 색에 의한 것이 아니라 강한 응집으로 인해 분말이 뭉침으로써 나타난 것으로 판단되었으며, 이러한 특성은 텍스처에도 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 강한 쓴 맛은 향미와 전체적 기호도를 낮추는데 큰 영향을 준 것으로 생각되었다. WF-SD를 제외하면 외관과 텍스처에 대해서는 5개의 탈지분 사이에 유의한 기호도의 차이가 발견되지 않았다($p>0.05$). 그러나 향미 항목에서는 SDF-C가 다른 탈지분에 비해 낮은 기호도를 나타내었으며, 패널들은 추가적인 의견에서 SDF-C에 대하여 무색, 무향, 무미의 특성을 가진 분말이라 평가하였다(data not shown). 향미 물질은 주로 지용성 물질이 많이 관여하는 것을 고려하면 SDF-C의 감소된 향미는 지질의 제거에서 비롯된 것으로 보인다. 갈색거저리 유충 기름의 향미가 사라짐으로써 기호도가 낮아졌다는 것은 갈색거저리 유충의 자체 향미가 패널들에게 기호도에 긍정적인 영향을 주는 것을 확인할 수 있는 결과이며, 이는 갈색거저리 유충 분말을 적절히 이용하면 음식에 긍정적인 향미를 부여할 수 있는 재료로 이용될 수 있음을 시사한다. 전체적 기호도의 결과에서 PDF-J와 PDF-C가 PDF-P와 PDF-H보다 유의적으로 기호도가 높게 나타났는데($p<0.05$), PDF-J와 PDF-C의 공통점은 지질의 함량이 14%대로, PDF-P와 PDF-H의 13%대 지

질 함량보다 높았던 점이었다. 따라서 갈색거저리 유충 분말 내 지질 함량과 관련된 향미의 강도는 전체적 기호도에도 영향을 줄 수 있음이 확인되었으며, 탈지분의 경우 분말 내 지질 함량이 14%대로 나타날 때 더 낮은 지질 함량을 가지는 시료보다 기호도가 높아 기호도를 고려할 경우 지질의 함량을 14% 이상으로 조절하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

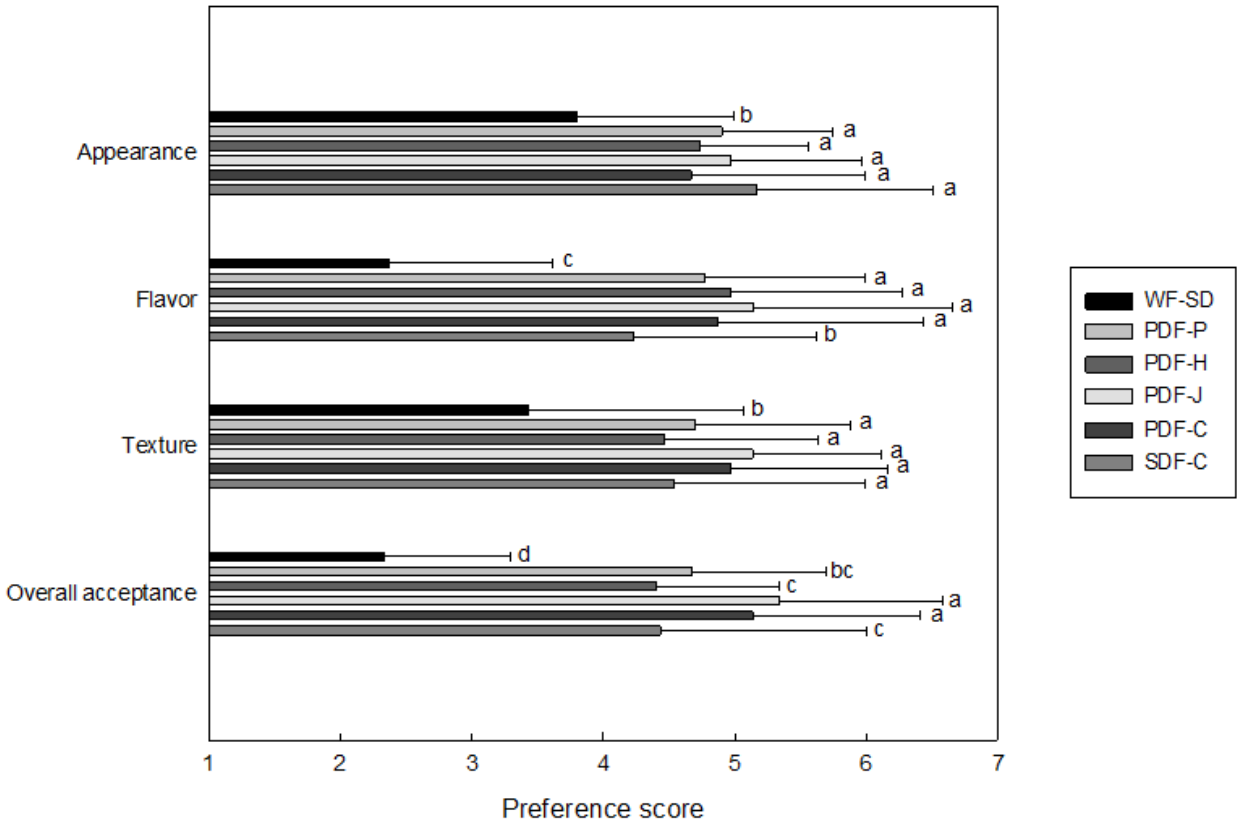


Fig. 30. Preference scores of mealworm powders with different manufacturing conditions

3.3. 갈색거저리 유충 분말의 산화안정성

3.3.1. 산화 지표의 측정

갈색거저리 유충 탈지 분말 4종의 저장 온도에 따른 저장 기간별 과산화물가의 변화는 Fig. 31과 같았다. 모든 분말에서 60일 간의 저장이 진행된 경우, 저장 온도가 높을수록 과산화물가 수치가 높게 나타나 분말의 저장 온도가 높을수록 지질의 산화가 촉진됨을 확인하였다. 제조 직후의 과산화물가는 PDF-C와 PDF-H-X가 서로 차이가 없었으며($p>0.05$), 이에 분쇄 방식에 의해서는 유의적인 과산화물가의 차이가 나타나지 않는 것으로 보인다. 저장을 지속한 경우에는 저장 기간이 50일 경이 되기 이전에는 평균 입도가 더 큰 PDF-C가 PDF-H-X보다 더 낮은 과산화물가 수치를 나타내었으나 저장이 종료된 60일경에는 모든 온도 조건에서 PDF-C의 과산화물가 값이 PDF-H-X보다 유의적으로 높았다($p<0.05$). 따라서 PDF-C 군에서는 일정 수준 이상의 산화가 진행되면 PDF-H-X보다 지질 산화가 더욱 가속화되는 것으로 판단된다. 분쇄 시 토코페롤을 첨가한 PDF-H-O 군은 PDF-H-X 군과 제조 직후 0일의 과산화물가 값을 비교하였을 때, 그 값이 각각 4.54±0.54 meq/kg, 1.36±0.25 meq/kg 으로 나타나 70%가량 값이 감소하였다. 또한 저장기간 내내 PDF-H-O 군이 PDF-H-X 군의 과산화물가 값에 비하여 50% 이하의 값을 나타내었으며, 이에 토코페롤의 첨가는 제조된 갈색거저리 유충 분말의 지질 산화에 대한 저해 효과를 가지고 있는 것으로 확인되었다. 토코페롤의 첨가가 기름의 산화안정성에 미치는 영향에 대하여 Blekas G 등(1995)은 적절한 양의 토코페롤의 첨가는 산화안정성을 높이는 긍정적인 영향을 주지만, 지나친 양의 첨가는 토코페롤이 pro-oxidant로 작용하여 지질 산화를 더욱 촉진시킬 수도 있다고 하였다. 이러한 관점에서 본 연구에서 첨가한 0.2% 수준의 토코페롤은 지질의 산화를 낮추는데 적절한 수준의 첨가로 판단되었다. 지질의 탈지법을 용매 탈지법으로 시행한 SDF-C의 경우에

는 PDF-C에 비하여 20% 이하의 과산화물가 값을 나타내었으며, 저장기간 내내 가장 낮은 과산화물가를 나타내었다.

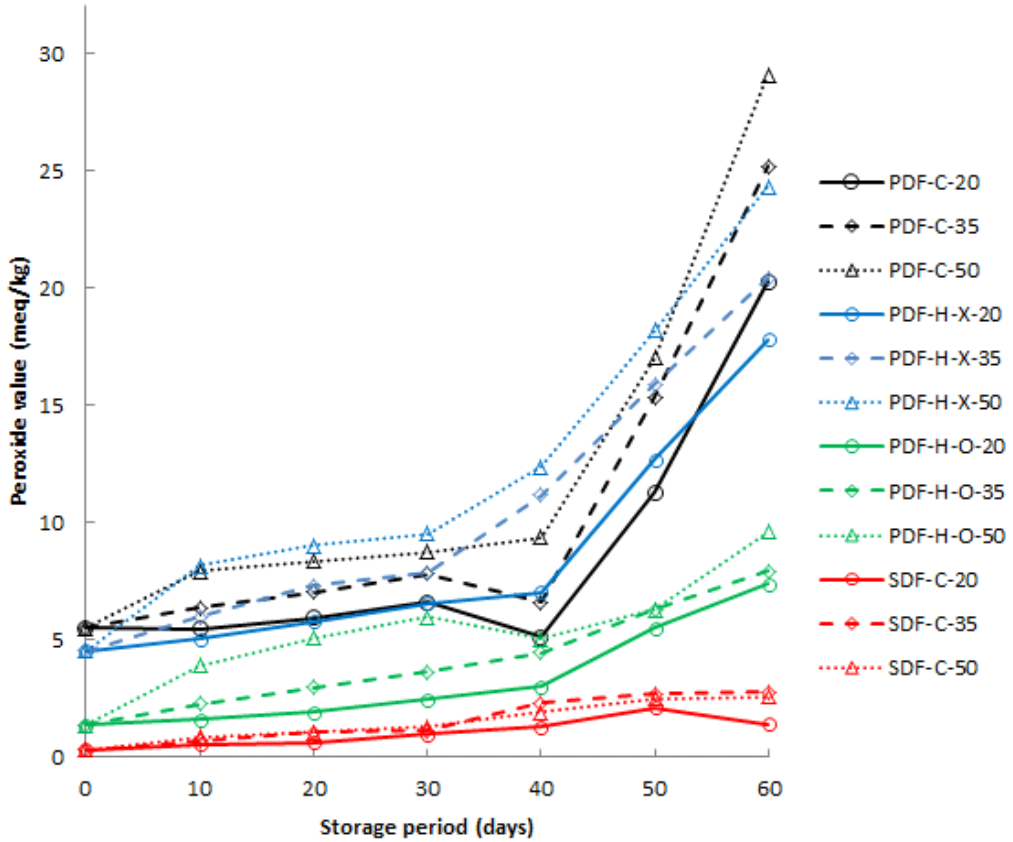


Fig. 31. Changes in peroxide values of four mealworm powders during storage

갈색거저리 유충 탈지 분말 4종의 저장 온도에 따른 저장 기간별 산가의 변화를 측정한 결과는 Fig. 32와 같았다. 과산화물가와 마찬가지로 모든 분말이 저장 온도가 높을수록 산가 값이 높아지는 추세를 나타내어, 저장 온도가 높아짐에 따라 지질에 대한 화학적인 변화가 촉진되는 것을 확인하였다. 과산화물가의 분석 결과와 마찬가지로, 제조 직후의 산가 수치는 PDF-C와 PDF-H-X가 서로 차이가 없었으며($p>0.05$), 이에 분쇄 방식에 의해서는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 저장을 지속하는 경우에는 저장 온도 조건이 20℃와 35℃일 때는 PDF-C가 PDF-H-X보다 저장 기간 내내 더 높은 산가를 나타내었으며, 50℃에서 저장하는 경우에만 PDF-H-X가 PDF-C에 비해 더 높은 산가를 나타내었다. 따라서 입자 크기가 더 큰 경우 상온 또는 실온의 조건에서 유리지방산으로 분해되는 과정이 더 많이 일어나는 것으로 확인되었으며, 고온의 조건에서는 그 반대의 결과가 나타났다. 분쇄 시 토코페롤을 첨가한 PDF-H-O 군은 토코페롤을 첨가하지 않은 PDF-H-X 군에 비하여 제조 직후에 산가 값이 유의적으로 낮았으며($p<0.05$), 저장 기간 중에도 대체로 그 값이 낮았으나, 그 효과는 과산화물가에 비해서는 뚜렷하지 않았다. 산가의 촉진은 지질의 산화에 의한 2차적인 유리지방산의 생성 또는 시료에 함유된 지질분해효소에 의한 지질 분해로 유리지방산의 생성이 가능한데(Kardash E & Tur'yan YI 2005), 토코페롤은 지질의 산화를 방지하는 역할은 할 수 있으나 지질분해효소의 역할을 저해하는 물질로 볼 수는 없다. 따라서 지질산화 지표인 과산화물가의 상승은 토코페롤 첨가로 인하여 저해되었으나, 산가의 경우에는 그 저해정도가 미미한 것으로 판단되었다. 또한 입자 크기가 큰 PDF-C가 PDF-H-X보다 유리지방산이 더 생성이 촉진되었던 것은 큰 입자 내에서 지질 분해 효소가 더 많은 지질과 접촉이 가능하여 그 작용이 일부 촉진된 것으로 사료된다. SDF-C의 경우에는 제조 직후 산가 수치는 다른 분말에 비해 높았으나, 20℃에서 저장하는 경우에는 60일까지 저장 중에 산가 수치가 유의한 변화가 없었으며($p>0.05$), 35℃에 보관한 경우에는 30일까지는 저장기간이 증가함에 따라 산가 수치가 일부 감소하다

가 40일부터 60일 동안에는 0일의 산가 값과 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 이에 비하여 50℃에서 저장한 경우에는 저장기간에 따라 증감을 보이다가 60일에 급격한 증가를 나타내었다. 따라서 SDF-C의 경우, 상온 및 실온 조건에서 저장할 시에는 유리지방산의 생성이 거의 일어나지 않으나, 50℃의 고온에서 저장할 때에는 지질의 분해가 급격히 촉진되는 것으로 확인되었다.

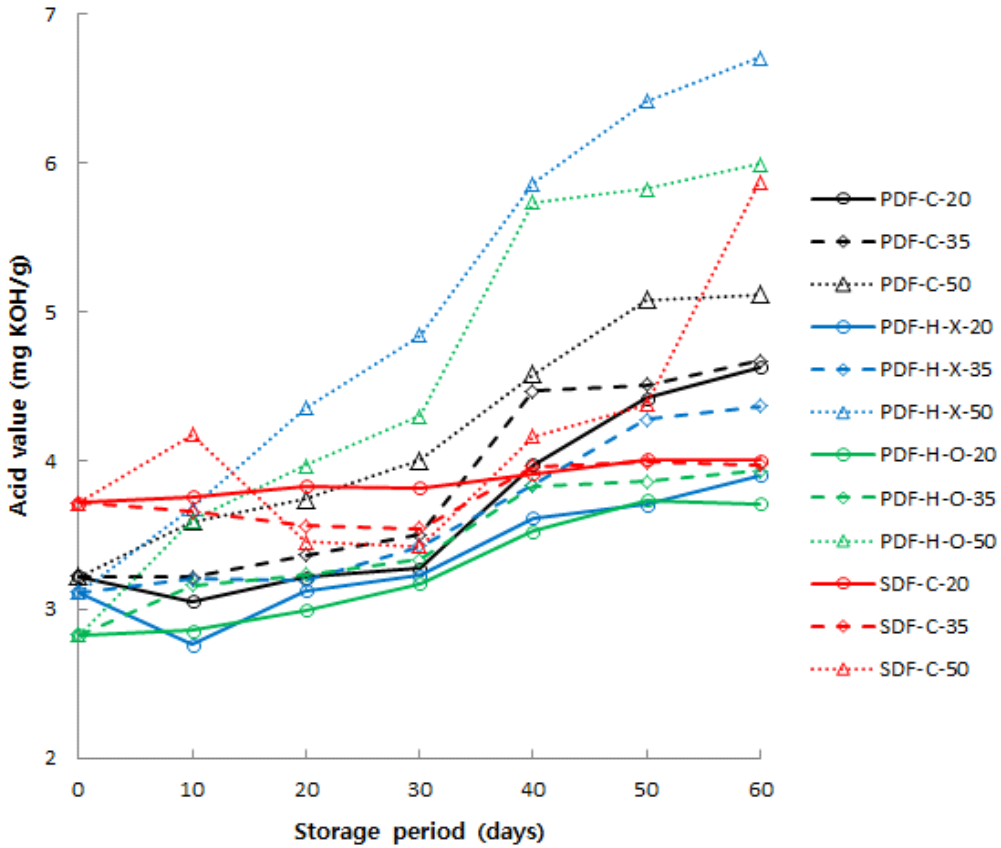


Fig. 32. Changes in acid values of four mealworm powders during storage

갈색거저리 유충 탈지 분말 4종의 저장 온도에 따른 저장 기간별 휘발성 염기질소(volatile basic nitrogen, VBN)의 변화를 측정한 결과는 Fig. 33과 같았다. 분말 제조 직후에는 PDF-H-X의 VBN 함량이 6.79±0.41 mg/100 g, PDF-H-O의 VBN 함량이 6.51±1.39 mg/100 g으로 PDF-H-O에서 함량이 약간 낮았으나 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$). 이에 비해 커터밀로 분쇄하여 분말의 평균 입도가 큰 PDF-C는 5.79±0.70 mg/100 g으로 역시 해머밀로 분쇄한 것과 유의한 차이는 없었으나 수치상으로는 약 0.7-1.0 mg/100 g 낮았다. 제조 직후 가장 VBN 함량이 낮았던 시료는 SDF-C로써, 3.27±0.40 mg/100 g을 나타내었다($p<0.05$). 블랜칭 희생 공정만 거친 갈색거저리 유충의 VBN 함량이 5.58±0.56 mg/100 g wet basis로써 이를 dry basis로 환산하면 약 10 mg/100 g이었던 것을 고려하면, 용매 탈지한 SDF-C 시료의 경우에는 공정 중 2/3 정도의 VBN이 n-hexane 용매로 유출되어 소실된 것으로 판단된다. 압착 탈지 시료에서도 압착 탈지 공정 중 50% 정도의 VBN이 소실된 것으로 보이며, 탈지 후 해머밀로 분쇄하는 경우 커터밀에 비해 더 미쇄하게 분쇄되면서 마찰열 등으로 인하여 일부 단백질의 분해가 일어난 것으로 판단된다. 저장 기간 중 VBN 함량의 변화를 살펴보면, PDF-C와 PDF-H-X, PDF-H-O의 경우 모두 20, 35℃에서는 저장 기간 내내 VBN 함량의 상승을 나타내지 않아 단백질 분해에 매우 안정하였다. 50℃에서 보관한 경우에는 PDF-H-X는 저장 20일째와 60일째에 2번 증가 추세를 나타내었으나, 0일에 비해 1 mg/100 g 이하의 함량 차이를 보여 그 증가폭이 크지 않았다. PDF-H-O를 50℃에 보관하였을 때는 60일째에 증가 추세를 나타내었으며, 그 값은 PDF-H-X보다 작아($p<0.05$), 토코페롤 첨가가 단백질 안정성에도 일부 도움을 줄 가능성이 있음을 확인하였다. PDF-C의 경우에는 50℃에서 저장하는 경우, 50일째에 증가 추세를 나타내었으며 60일째에는 해머밀로 제조한 분말보다 낮은 VBN 함량을 보였다. 저장하는 동안 가장 큰 VBN 함량의 변화를 나타낸 시료는 SDF-C였으며, SDF-C는 제조 직후 가장 낮은 VBN 함량을 나타낸 것에 비해 모든 온도에서 저장기간 내내 점진적

으로 VBN의 함량이 증가하였다. 20, 35℃에 저장한 경우에는 VBN 함량이 점진적으로 증가하여 60일째에는 같은 온도에서 저장한 PDF-C, PDF-H-X, PDF-H-O 등과 비슷한 수치를 나타내었으며, 50℃에서 저장한 경우에는 40-60일째에 모든 시료 중 가장 높은 VBN 함량을 나타내었다. 따라서 갈색거저리 유충에서 지질을 완전히 제거하는 경우에는 단백질의 부패가 더 빨라지는 것을 확인하였으며, 이는 지질 중 함유된 토코페롤 등의 항산화성 물질이 일부 관여한 것으로 판단된다.

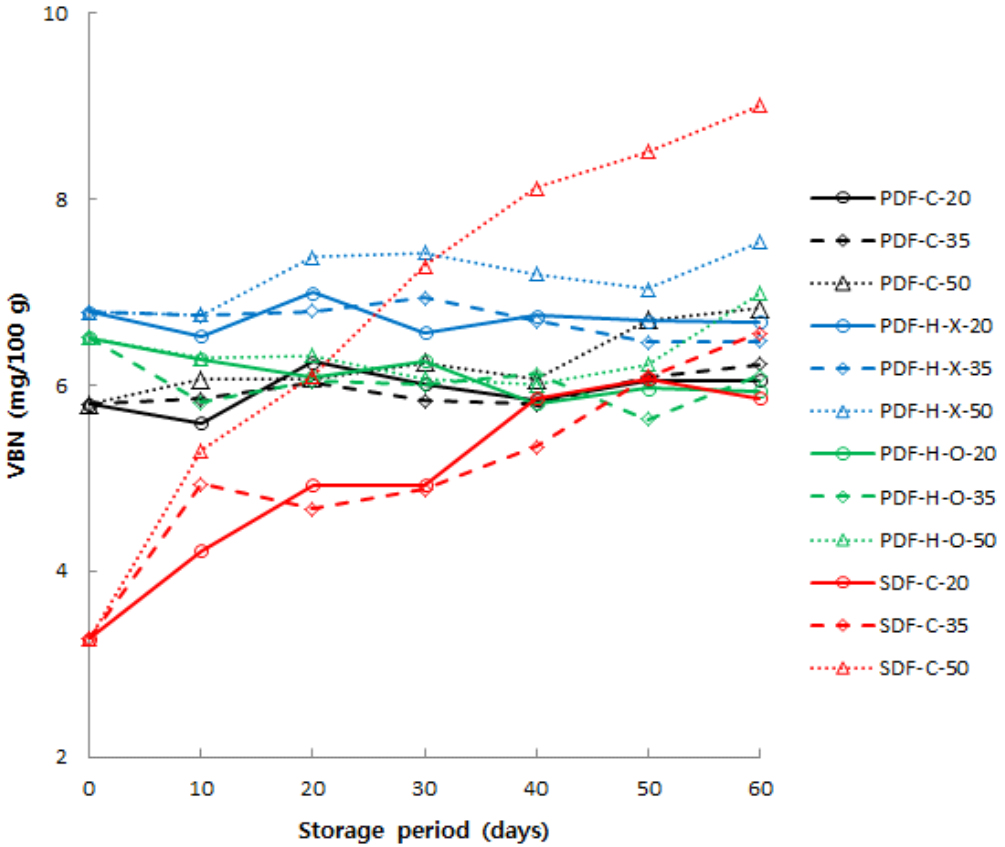


Fig. 33. Changes in VBN contents of four mealworm powders during storage

3.3.2. 일반세균수 및 대장균

4가지 분말의 저장 기간 중 위생안전성을 확인하기 위하여 총균수 및 대장균 검출시험을 진행하였으며(Table 50), 모든 실험군에서 저장기간 동안 대장균은 검출되지 않았다. 제조 직후 분말에서는 압착 탈지분의 경우 logCFU가 3.07-3.57으로 나타나 Chung MY 등(2014)이 동결건조 갈색거저리 유충에 대해 설정한 logCFU 3 미만 기준을 이미 초과하였다. 이는 Chung MY 등(2014)은 고온가압을 이용하여 미생물을 살균한 데에 비하여 본 연구에서는 제품의 맛과 향을 유지하기 위하여 고온가압 처리를 거치지 않았기 때문으로, 따라서 맛과 향은 보존되었으나 미생물에 대한 위험성이 증대된 것을 확인하였다. 그러나 50℃에서 PDF-H-X를 30일 저장한 시료를 제외하면 모든 저장 조건에서 저장 기간 내내 logCFU 4 미만의 수치를 유지하였다. 따라서 저장 동안 미생물 수치에서 큰 변화는 나타나지 않아 미생물에 의해 위생이 크게 위협되지는 않을 것으로 판단된다. 하지만 위생을 고려하면 제조 시 살균 조건을 더 강화할 필요성이 있었다. 제조 직후 총균수를 비교하였을 때, 압착 탈지 방식으로 제조한 분말의 logCFU가 3.07-3.57 수준이었던 것에 비해 용매 탈지를 거친 SDF-C는 1.87±0.03 logCFU 값을 나타내어 훨씬 낮은 미생물 오염도를 나타내었으며, 이는 용매 탈지 중 n-hexane 처리에 의해 영향을 받은 것으로 판단된다. 또한 SDF-C는 압착 탈지 분말과 다르게 20℃에서 저장한 경우에 35℃나 50℃에서 저장한 경우보다 저장기간 내내 1 logCFU 정도 높은 총균수를 나타내어 20℃ 저장 조건에서 확연히 균의 오염도가 높았다. 그러나 기간에 따른 계속된 증가는 나타나지 않았으며, 저장 기간 내내 Chung MY 등(2014)이 갈색거저리 유충 분말에 대해 설정한 기준인 logCFU 3 미만을 만족하였다. 이러한 SDF-C의 차이는 활성화된 미생물 군이 압착 탈지 분말과 달라 발생한 것으로 추측된다. 서로 다른 분쇄기를 적용한 PDF-C와 PDF-H-X의 경우에는 PDF-H-X가 제조 직후에 더 많은 총균수를 나타내었으며, 저장 중에도 대체로 PDF-H-X가 더 높

은 총균수를 보유하였다. 토코페롤을 첨가한 PDF-H-O의 경우에는 토코페롤을 첨가하지 않은 PDF-H-X에 비해 제조 직후 균수가 0.5 logCFU 적어 유의하게 더 낮았으며($p<0.05$), 저장 동안에도 대체로 더 낮은 총균수를 나타내었다. 따라서 토코페롤이 지질의 산패를 방지할 뿐 아니라 약간의 미생물 억제 효과도 가지고 있는 것으로 사료된다.

Table 50. Changes in microbial counts of four mealworm powders during storage (unit: logCFU)

Temp (℃)	Period (day)	Mealworm powders[1)]			
		PDF-C	PDF-H-X	PDF-H-O	SDF-C
20	0	3.36±0.02$^{abB2)}$	3.57±0.02^{dA}	3.07±0.02^{fC}	1.87±0.03^{fD}
	10	3.22±0.10^{cC}	3.84±0.03^{aA}	3.68±0.03^{aB}	2.90±0.05^{aD}
	20	3.25±0.05^{bcB}	3.79±0.02^{aA}	3.24±0.01^{dB}	3.00±0.01^{bC}
	30	3.33±0.05^{abcC}	3.70±0.01^{bA}	3.55±0.04^{bB}	2.80±0.04^{cD}
	40	3.34±0.11^{abcC}	3.65±0.03^{cA}	3.53±0.01^{bB}	2.70±0.02^{dD}
	50	3.43±0.03^{aB}	3.59±0.04^{dA}	3.41±0.05^{cB}	2.62±0.03^{eC}
	60	3.42±0.06^{aA}	3.45±0.03^{eA}	3.16±0.01^{eB}	2.63±0.02^{eC}
35	0	3.36±0.06^{bcB}	3.57±0.02^{dA}	3.07±0.02^{bcC}	1.87±0.03^{abD}
	10	3.20±0.05^{eC}	3.76±0.03^{bA}	3.34±0.02^{aB}	1.74±0.04^{bD}
	20	3.28±0.02^{cdeC}	3.64±0.05^{cA}	3.37±0.01^{aB}	2.30±0.10^{aD}
	30	3.32±0.06^{cdB}	3.72±0.05^{bA}	3.33±0.10^{aB}	1.59±0.11^{bC}
	40	3.45±0.05^{bB}	3.84±0.04^{aA}	3.13±0.05^{bC}	0.57±0.51^{cD}
	50	3.82±0.04^{aA}	3.11±0.03^{fB}	3.11±0.03^{bB}	0.57±0.51^{cC}
	60	3.24±0.09^{deB}	3.34±0.04^{eA}	3.02±0.02^{cC}	1.77±0.07^{bD}
50	0	3.36±0.02^{bB}	3.57±0.02^{dA}	3.07±0.02^{bC}	1.87±0.03^{aD}
	10	3.42±0.06^{bB}	3.81±0.02^{cA}	3.24±0.06^{aC}	1.87±0.03^{aD}
	20	3.13±0.05^{cC}	3.95±0.04^{bA}	3.24±0.04^{aB}	1.54±0.06^{bD}
	30	3.43±0.08^{bB}	4.02±0.01^{aA}	3.32±0.06^{aC}	1.77±0.07^{bD}
	40	3.70±0.02^{aA}	2.97±0.07^{gC}	3.09±0.05^{bB}	1.16±0.15^{cD}
	50	2.74±0.04^{dC}	3.13±0.02^{fA}	2.98±0.02^{cB}	1.16±0.15^{cD}
	60	3.10±0.02^{cC}	3.39±0.03^{eA}	3.31±0.03^{aB}	1.39±0.09^{bD}

Results are shown as mean±SD with three replicates

[1)]PDF-C: defatted with pressure and ground with a cutter mill, PDF-H-X: defatted with pressure, ground with a hammer mill, PDF-H-O: defatted with pressure, ground with a hammer mill, and tocopherol added, SDF-C: defatted with solvent and ground with a cutter mill

[2)]Different superscripts within rows (a-g) and columns (A-D) represent significantly differences at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test

4. 요약 및 결론

갈색거저리 유충을 미세 분말화하는 경우, 높은 지질 함량 때문에 분말이 서로 엉겨 수율이 매우 낮아지는 단점이 있어 지질을 일부 제거하기 위하여 적절한 압착 탈지 조건을 먼저 탐색하였다. 압착 탈지 기계를 이용하여 5가지 조건으로 탈지하여 분말을 제조한 결과, 미세 분말화를 위해서는 15% 이하로 지질의 함량을 낮추어야 최종적인 분말의 입자 크기를 줄이고, 수율을 높일 수 있는 것을 확인하였다. 15% 이하로 지질의 함량을 높이기 위해서는 비교적 극심한 탈지 조건을 설정할 필요성이 있었으며, 이에 남은 잔사에서 탄 향이 나기 직전까지 탈지하여야 지질 함량 조건을 충족하였다. 제조된 갈색거저리 유충 압착 탈지분은 지질의 함량이 낮아지면서 WAC, OAC가 증가하는 등 물리화학적 특성이 개선되었으며, 밝은 색의 분말이 생산되었고, 텍스처에서도 부드러운 관능적인 특성을 지니는 탈지 분말이 생산되었다. 그러나 향미 면에서는 약 20% 정도의 지질을 함유한 경우에 더 풍부한 향미를 지니며, 15% 이하로 지질의 함량이 낮아지면 비교적 무미건조한 향미를 지니게 되는 것을 확인하였다.

압착 탈지 조건을 확립한 뒤에는 갈색거저리 유충을 재료로 산업적으로 미세 분말을 제조하여 그 품질을 분석하였다. 전지분의 경우에는 지질 함량이 높아 일반적인 분쇄로는 미세분말화하기 어려워 spray dry (SD) 공법을 적용하였으며, 압착 탈지분은 핀밀, 해머밀, 제트밀, 커터밀 등 4가지 분쇄기로 각각 분쇄하였고, 지질의 함량이 2% 정도인 용매 탈지분을 커터밀로 분쇄한 분말을 제조하는 등 총 6종의 미세 분말을 제조하였다. 분말의 입자 크기 분포 및 모양을 확인한 결과 SD 분말이 가장 평균 입도가 작았고, 고른 크기 및 고른 모양을 보여주어 산업적인 이용성이 높은 것을 확인하였다. 그러나 SD 분말은 분말의 흐름성이 매우 좋지 않았고, 강한 쓴맛 등의 이유로 기호도가 크게 낮았기 때문에 이러한

부분에 대한 개선이 필요하였다. 4가지 분쇄기 중에서는 제트밀이 가장 미세하게 분말을 분쇄할 수 있었으나, 제조된 분말의 입자가 미세해지고 그 모양이 고르면 흐름성이 크게 감소하여 산업체에서 수송, 포장 등에 어려움이 있을 수 있었다. 따라서 미세 분말을 제조하는 경우 흐름성을 높이기 위한 조치가 필요하였으며, 분말의 기호성에는 지질의 함량 차이로 인한 향미 강도가 영향이 큰 것으로 조사되었다.

탈지 분말의 산화안정성을 확인하기 위하여 압착 탈지분을 토코페롤 첨가 유무를 달리하여 해머밀로 분쇄하여 2가지 분말을 제조하였고, 분말의 입도 크기에 따른 산화안정성의 변화를 보기 위하여 커터밀로 분쇄한 압착 탈지분을 준비하였으며, 또한 지질의 함량에 따른 산화안정성을 확인하기 위하여 커터밀로 분쇄한 용매 탈지분을 준비하는 등 총 4종의 분말을 재료로 준비하였다. 생산된 분말은 PP 재질로 포장하여 20, 35, 50℃ 등 3가지 온도 조건에서 각각 60일까지 저장하면서 산화안정성을 확인하였다. 그 결과, 4종류의 분말 모두 지질, 단백질 산패와 총균수의 변화를 고려하여도 50℃에서 60일 이상 저장이 가능한 것을 확인하였으며, T_{10}값을 2로, 안전계수를 0.6으로 설정하는 등 일반적인 식품에 적용되는 안전계수보다 매우 낮은 수준으로 적용하여도 1년 이상 저장 가능한 것으로 확인되었다. 일반적으로 식품의 분말이 상온 보관 시 1년 정도가 유통기한으로 설정되고 있는 것을 고려할 때, 갈색거저리 유충 분말도 이와 동일하게 상온에서는 1년 이상 저장하는데 문제가 없는 것으로 판단되었으며, 분말 제조 시 토코페롤을 0.2% 첨가하면 최종 제품의 산화안정성을 높일 수 있는 것을 확인하였다.

Ⅴ. 종합적 결론

본 연구는 최근 국내에서 식품원료로 인정받는 등 기존 육류 단백질 공급원의 대체재로 각광받고 있는 갈색거저리 유충에 대해 산업적인 제품을 생산하고 그 품질을 평가함으로써, 적절한 품질의 식품 소재를 산업적으로 생산하는 방법을 모색하는 것을 목표로 진행되었다. 산업적으로 대량의 재료를 취급할 때에는 적절하게 관리하지 않으면 제품의 질이 저하하고, 제품 간 품질이 불균일해지면서 문제가 발생하게 된다. 갈색거저리 유충의 경우에는 내재된 효소 및 미생물이 많아 적절히 취급하지 않으면 빠르게 변질하게 되므로, 취급에 특별히 주의가 필요하다. 이에 “갈색거저리 유충의 산업적 희생법 확립과 구성 성분의 특성”을 주제로 갈색거저리 유충의 가장 적합한 희생법을 탐구하였으며, 희생된 갈색거저리 유충의 냉장저장성을 확인하고, 블랜칭 희생 후 열풍건조한 가장 기본이 되는 제품의 구성 성분을 정량하고, 특성을 분석하였다. 또한 생산된 기본 건조품의 식품 소재로의 활용도를 높이기 위해 “갈색거저리 유충의 식품소재화를 위한 미세 분말화 공정 적용”을 주제로 하여 기본 건조품을 산업적으로 미세 분말화 한 뒤 그 품질을 분석하였고, 또한 생산된 분말 제품의 저장성을 확인하여 산업적 이용성을 높이고자 하였다.

연구의 최종적인 결과를 요약하자면 다음과 같았다.

1. 갈색거저리 유충의 적절한 희생법 확립을 위하여 동결 희생, 소니케이션 희생, 블랜칭 희생, 볶음 희생법을 이용하여 희생한 뒤, 열풍건조하여 건조품의 특성을 확인하였다. 비가열 희생한 경우 영양 성분의 손실이 거의 없었으나, 내재된 효소가 불활성화 되지 않아 공정 중 이화학적인 변화가 극심하여 건조품의 품질을 떨어트리는 것을 확인하였다. 따라서 건조품의 색의 밝기, 이화학적 특성, 기호도 등의 결과를 고려하였을 때, 블랜칭 희생 후 중적외선 조사 공정을 함께 적용하여

습열 가열 및 건열 가열 공정이 함께 진행되는 경우 더욱 좋은 품질의 건조품을 획득할 수 있었다.

2. 갈색거저리 유충을 한 번에 희생한 후 저장하면서 식품 재료로 사용하는 경우를 고려하여 블랜칭 희생된 갈색거저리 유충의 냉장저장성을 탐구하였다. 총 6주간 저장 하는 동안 곤충의 체내에 함유된 균이 지질의 산화, 단백질의 부패 등을 촉진하여 저장성에 큰 영향을 주는 것을 확인하였다. 블랜칭 희생한 갈색거저리 유충의 최적의 냉장저장 기간은 10-14일 정도인 것으로 판단된다.

3. 소비자의 실제 섭취 형태를 고려하여 산업적으로 갈색거저리 유충을 블랜칭 희생하고 열풍건조함으로써 가장 기초적인 제품을 생산한 뒤, 이의 구성 성분을 분획 및 정량하고, 그 특성을 분석하였다. 생산된 제품에는 풍부한 단백질(52%)과 지질(32%)이 함유되어 있었으며, 탄수화물은 11%로 그 함량이 적었고, 탄수화물 함량 중 약 50% 정도는 글루코사민 계열 물질이 차지하고 있는 것으로 확인되었다. 갈색거저리 유충 기름에는 불포화지방산이 매우 풍부하였으며, 토코페롤 등 항산화 물질이 일반적인 동물성 급원 식품에 비해 풍부하고, 콜레스테롤이 거의 함유되지 않아 지질의 영양성과 물리화학적 특성이 우수하였다. 또한 건조품 중량 중 4-5% 가량의 키틴질을 함유하고 있어 이에 의한 생리활성을 일부 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 갈색거저리 유충을 미세 분말화하는 경우에는 탈지 공정을 거치지 않으면 높은 지질 함량 때문에 분말이 서로 엉겨 수율이 매우 낮아지는 단점이 있었다. 따라서 미세 분말을 제조하기 위하여 적절한 압착 탈지 조건을 확인하였다. 미세분말화를 위해서는 15% 이하로 지질의 함량을 낮추어야 그 수율이 좋은 것을 확인하였으며, 또한 압착 탈지를 통해 지질의 함량을 낮추면서 일부 관능적 특성이 개선되었다.

5. 갈색거저리 유충을 서로 다른 분쇄기를 이용하여 분쇄하여 6가지 미

세 분말을 만들어 입자의 크기 분포 및 모양을 확인한 결과, spray-dried (SD) 분말이 가장 평균 입도가 작았고, 입자의 크기와 모양이 비교적 일정하여 산업적인 이용성이 높은 것을 확인하였다. 그러나 SD 분말은 분말의 흐름성이 매우 좋지 않았고, 강한 쓴 맛 등의 이유로 기호도가 크게 낮았기 때문에 이러한 부분에 대한 개선이 필요하였다. 4가지 분쇄기 중에서는 제트밀이 가장 미세하게 분말을 분쇄할 수 있었으나, 제조된 분말의 입자가 미세해지고 그 모양이 고르면 흐름성이 크게 감소하여 산업체에서 수송, 포장 등에 어려움이 있을 수 있었다. 따라서 미세 분말을 제조하는 경우 흐름성을 높이기 위한 조치가 필요하였으며, 분말의 기호성에는 분말의 물리화학적인 특성과 함께 지질의 함량 차이로 인한 향미 강도가 영향이 큰 것으로 확인되었다.

6. 4종의 탈지 분말을 산업적으로 제조하고 PP 재질로 진공 포장하여 저장성을 확인한 결과, 갈색거저리 유충 분말은 50℃에서 60일 이상 저장이 가능하여 상온에서는 1년 이상 저장하는데 문제가 없는 것으로 판단되었으며, 토코페롤을 0.2% 첨가하면 분말의 저장성을 높일 수 있었다.

이와 같이 본 연구에서는 갈색거저리 유충에 대하여 산업적으로 적절한 전처리 과정을 확립하고, 소비자에게 실제 판매될 형태의 제품(건조품 및 분말)을 생산하였으며, 제품의 물리화학적인 품질을 평가하였다. 또한 실제 소비되는 기본 형태인 건조품에 대한 영양성을 확인하여 새로운 식품 재료로의 효용성을 제시하였고, 구성 성분의 특성을 확인함으로써 이후 심층적인 식품 소재로 활용 가능한 방향을 일부 제시하였다. 따라서 본 연구는 갈색거저리 유충을 실제로 산업적으로 제품화하고, 추후 더 심층적인 식품 소재로 활용할 수 있도록 다양한 구성 성분 특성을 제시하였다는데 그 의의가 있는 것으로 사료된다.

Appendix. IRB 심의결과 통보서

심의결과 통보서

수신

책임연구자	**이름:** 황인경	**소속:** 서울대학교 식품영양학과	**직위:** 교수
지원기관	해당없음		

과제정보

승인번호	IRB No. 1610/001-005		
연구과제명	갈색거저리 유충의 식품재료화를 위한 이화학적 특성 분석		
연구종류	학술 연구, 학위 논문 연구, 설문조사, 관능검사(식품 섭취 후 설문조사)		
심의종류	신속심의		
심의일자	2016-10-05		
심의대상	연구계획서(재심의), 연구참여자용 동의서 또는 동의서 면제 사유서		
심의결과	승인		
승인일자	2016-10-05	**승인유효기간**	2017-10-04
정기보고주기	6개월		
심의의견	1. 심의결과 제출하신 연구계획에 대해 승인합니다. 2. 연구자께서는 승인된 문서를 사용하여 연구를 진행하시기 바라며, 만일 연구진행 과정에서 계획상에 변경사항 (연구자 변경, 연구내용 변경 등)이 발생할 경우 본 위원회에 변경신청을 하여 승인 받은 후 연구를 진행하여 주십시오. 3. 유효기간 내 연구가 끝났을 경우 종료 보고서를 제출하여야 하며, 승인유효기간 이후에도 연구를 계속하고자 할 경우, 2017-09-04까지 지속심의를 받도록 하여 주십시오.		

2016년 10월 05일

서울대학교 생명윤리위원회 위원장

참고문헌

http://www.theguardian.com/global-development/graphic/2012/oct/10/food-security-risk-index-map (last access: 2016.12.30.)

Abou-Gharbia HA, Shehata AAY, Shahidi F. 2000. Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Res Int* 33:331-340

Ahn MY, Hwang JS, Yoon HJ, Park K, Kim SH, Kim EM. 2015. Fasting conditions and dietary phenamena of edible cricket (*Gryllus bimaculatus*). *J Seric Entomol Sci* 53:78-81

Ahn KS, Noh EJ, Zhqo HL, Jung SH, Kang SS, Kim YS. 2005. Inhibition of inducible nitric oxide synthase and cyclooxygenase Ⅱ by Platycodon grandiflorum saponins via suppression of nuclear factor-κB activation in RAW 264.7 cells. *Life Sci* 76:2315-2328

Al-Widyan MI, Al-Shyoukh AO. 2002. Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. *Bioresource Technol* 85:253-256

AOAC. 1995. Official method of analysis of AOAC international. 16th ed. Methods 932.06, 925.09, and 923.03. *Association of Official Analytical Communities*, Arlington, VA, USA

Asli C, Duygu K, Şükran Ç. 2008. Marination of deep-water pink shrimp with rosemary extract and the determination of its shelf-life. *Food Chem* 109:81-87

Baek M, Yoon YI, Kim MA, Hwang JS, Goo TW, Yun EY. 2015. Physical and sensory evaluation of *Tenebrio molitor* larvae cooked by various cooking methods. *Korean J Food Cook Sci* 31:534-543

Bahorun T, Luximon-Ramma A, Crozier A, Aruoma O. 2004. Total phenol, flavonoid, proanthocyanidin and vitamin C levels and antioxidant activities of Mauritian vegetables. *J Sci Food Agric* 84:1553-1561

Bail S, Stuebiger G, Krist S, Unterweger H, Buchbauer G. 2008. Characterisation of various grape seed oils by volatile compounds, triacylglycerol composition, total phenols and antioxidant capacity. *Food Chem* 108:1122-1132

Barat JM, Rodríquez-Barona S, Andrés A, Fito P. 2002. Influence of increasing brine concentration in the cod-salting process. *J Food Sci* 67:1922-1925

Barthel G, Grosch W. 1974. Peroxide value determination - Comparison of some methods. *J Am Oil Chem Soc* 51:540-544

Baxter A, Dillon M, Taylor KDA, Roberts GAF. 1992. Improved method for i.r. determination of the degree of N-acetylation of chitosan. *Int J Biol Macromol* 14:166-169

Belcher R, Nutten AJ, Sambrook CM. 1954. The determination of glucosamine. *Analyst* 79:201-208

Belluco S, Losasso C, Maggioletti M, Alonzi C, Ricci A, Paoletti MG. 2015. Edible insects: A food security solution or a food safety concern? *Animal Frontiers* 5:25-30

Benzie IFF, Strain JJ. 1999. [2] Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods Enzymol* 299:15-27

Bernstein DI, Gallagheer JS, Bernstein IL. 1983. Mealworm asthma: Clinical and immunologic studies. *J Allergy and Clin Immunol* 72:475-480

Bieri JG, Evarts RP. 1974. Gamma tocopherol: Metabolism, biological activity and significance in human vitamin E nutrition. *Am Soc Nutrition* 27:980-986

Blekas G, Tsimidou M, Boskou D. 1995. Contribution of α-tocopherol to olive oil stability. *Food Chem* 52:289-294

Bowers JA, Craig JA, Kropf DH, Tucker JT. 1987. Flavor, color, and other characteristics of beef longissimus muscle heated to seven internal temperatures between 55℃ and 85℃. *J Food Sci* 52:533-536

Bown AW, Shelp BJ. 1997. The metabolism and functions of γ-aminobutyric acid. *Plant Physiol* 115:1-5

Bramley PM, Elmadfa I, Kafatos A, Kelly FJ, Manios Y, Roxborough HE, Schuch W, Sheehy PJA, Wagner KH. 2000. Review: Vitamin E. *J Sci Food Agric* 80:913-938

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci Technol* 28:25-30

Brewer MS, Ikins WG, Harbers CAZ. 1992. TBA values, sensory characteristics and volatiles in ground pork during long-term frozen

storage. *J Food Sci* 57:558-561

Broekman H, Knulst A, den Hartog-Jager S, Monteleone F, Gaspari M, de Jong G, Houben G, Verhoeckx K. 2015. Effect of thermal processing on mealworm allergenicity. *Mol Nutr Food Res* 59:1855-1864

Broekman H, Verhoeckx KC, den Hartog Jager CF, Kruizinga AG, Pronk-Kleinjan M, Remington BC, Bruijnzeel-Koomen CA, Houben GF, Knulst AC. 2016. Majority of shrimp-allergic patients are allergic to mealworm. *J Allergy and Clin Immunol* 137:1261-1263

Buege JA, Aust SD. 1978. Microsomal lipid peroxidaton. *Methods Enzymol* 52:302-310

Bukkens SGF. 1997. The nutritional value of edible insets. *J Ecol Food Nutr* 36:287-319

Caligiani A, Bonazanini F, Palla G, Cirlini M, Bruni R. 2010. Characterization of a potential nutraceutical ingredient: Pomegranate (*Punica granatum L.*) seed oil unsaponifiable fraction. *Plant Foods Hum Nutr* 65:277-283

Caponio F, Alloggio V, Gomes T. 1999. Phenolic compounds of virgin olive oil: Influence of paste preparation techniques. *Food Chem* 64:203-209

Carpenter AP. 1979. Determination of tocopherols in vegetable oils. *J Am Oil Chem Soc* 56:668-671

Chen HM, Muramoto K, Yamauchi F, Nokihara K. 1996. Antioxidant activity of designed peptides based on the antioxidative peptide isolated from digests of a soybean protein. *J Agric Food Chem* 44:2619-2623

Cheok CY, Sobhi B, Mohd Adzahan N, Bakar J, Abdul Rahman R, Ab Karim MS, Ghazali Z. 2017. Physicochemical properties and volatile profile of chili shrimp paste as affected by irradiation and heat. *Food Chem* 216:10-18

Chin KB, Go MY, Lee HC, Chung SK, Baik KH, Choi CB. 2012. Physicochemical properties and tenderness of *Hanwoo* loin and round as affected by raising period and marbling score. *Korean J Food Sci An* 32:842-848

Chiou WF, Chen CF, Lin JJ. 2000. Mechanisms of suppression of inducible nitric oxide synthase (iNOS) expression in RAW 264.7 cells by andrographolide. *Br J Pharmacol* 129:1553-1560

Chi YS, Cheon BS, Kim HP. 2001. Effect of wogonin, a plant flavone from *Scutellaria radix*, on the suppression of cyclooxygenase-2 and the induction of inducible nitric oxide synthase in lipopolysaccharide-treated RAW 264.7 cells. *Biochem Pharmacol* 61:1195-1203

Choi MJ, Seo JN. 2006. The effect of dietary taurine supplementation on plasma and liver lipid concentrations in rats. *J East Soc Dietary Life* 16:121-127

Choi SY, Son YJ, Yoo KM, Lee KW, Hwang IK. 2016. Functional activities of cacao nibs and couvertures according to process conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45:68-75

Cho KH, Park MA, Kim ES. 1996. Differences between estimated and analyzed contents of sodium and potassium in the salt-restricted diet. *J Korean Soc Food Nutr* 25:406-414

Choo YM, Ng MH, Ma AN, Chuah CH, Hashim MA. 2005. Application of supercritical fluid chromatography in the quantitative analysis of minor components (carotenes, vitamin E, sterols, and squalene) from palm oil. *Lipids* 40:429-432

Cho SA, Yoo KM, Lee S, Kim KT, Hwang IK. 2013. Quality characteristics of nutrition bar substituted with defatted ginseng seed meal. *Korean J Food Cook Sci* 29:249-256

Chung MY, Kwon EY, Hwang JS, Goo TW, Yun EY. 2013a. Establishment of food processing methods for larvae of *Allomyrina dichotoma*, Korean horn beetle. *J Life Sci* 23:426-431

Chung MY, Kwon EY, Hwang JS, Goo TW, Yun EY. 2013b. Pretreatment conditions on the powder of *Tenebrio molitor* for using as a novel food ingredient. *J Seric Entomol Sci* 51:9-14

Chung MY, Lee JY, Lee JC, Park KS, Jeong JP, Hwang JS, Goo TW, Yun EY. 2014. Establishment of self-specification and shelf-life by standardization of manufacturing process for lyophilized *Tenebrio molitor* larvae. *J Seric Entomol Sci* 52:73-78

Chu YH, Chang CL, Hsu HF. 2000. Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. *J Aci Food Agric* 80:561-566

Crane S, Aurore G, Joseph H, Mouloungui Z, Bourgeois P. 2005. Composition of fatty acids triacylglycerols and unsaponifiable matter in *Calophyllum calaba* L. oil from guadeloupe. *Phytochemistry* 66:1825-1831

De Smet S, Raes K, Demeyer D. 2004. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: A review. *Anim Res* 53:81-98

Devlieghere F, Vermeulen A, Debevere J. 2004. Chitosan: Antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiol* 21:703-714

Diana M, Quílez J, Rafecas M. 2014. Gamma-aminobutyric acid as a bioactive compound in foods: A review. *J Funct Foods* 10:407-420

Domian E, Cenkier J. 2013. Flowability and homogeneity of food powders with plated oil ingredient. *J Food Process Eng* 36:626-633

Dracos A, Kyriakakis G, Evageliou V, Protonotariou S, Mandala I, Ritzoulis C. 2017. Influence of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flours. *Food Chem* 215:326-332

Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal chem* 28:350-356

Duckett SK, Wagner DG, Yates LD, Dolezal HG, May SG. 1993. Effects of time on feed on beef nutrient composition. *J Anim Sci* 71:2079-2088

Elson LA, Morgan WTJ. 1933. A colorimetric method for the determination of glucosamine and chondrosamine. *Biochem J* 27:1824-1828

Enser M, Hallett K, Hewitt B, Fursey GAJ, Wood JD. 1996. Fatty acid content and composition of english beef, lamb and pork at retail. *Meat Sci* 42:443-456

Eom SM, Kim YP, Chung EJ, Kim WJ, Oh HI. 2006. Functional properties of soybean curd whey concentrate by nanofiltration and effects on

rheological properties of wheat flour dough. *Korean J Food Nutr* 19:243-253

Escobedo-Avellaneda Z, Velazquez G, Toress AJ, Welti-Chanes J. 2012. Inclusion of the variability of model parameters on shelf-life estimations for low and intermediate moisture vegetables. *LWT-Food Sci Technol* 47:364-370

FAO/WHO. 1985. Energy and protein requirements. Nutrition Report Series 724. Geneva.

Farhoosh R. 2007. The effect of operational parameters of the rancimat methods on the determination of the oxidative stability measures and shelf-life prediction of soybean oil. *J Am Oil chem Soc* 84:205-209

Finke MD. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biol* 21:269-285

Fitzpatrick JJ, Barringer SA, Iqbal T. 2004. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. *J Food Eng* 61:399-405

Focher B, Beltrame PL, Naggi A, Torri G. 1990. Alkaline N-deacetylation of chitin enhanced by flash treatments. Reaction kinetics and structure modifications. *Carbohyd Polym* 12:405-418

Focher B, Naggi A, Torri G, Cosani A, Terbojevich M. 1992. Structural differences between chitin polymorphs and their precipitates from solutions - Evidence from CP-MAS ^{13}C-NMR, FT-IR and FT-Raman spectroscopy. *Carbohyd Polym* 17:97-102

Foster DK, Bronlund EJ, Paterson TAHJ. 2005. The contribution of milk fat

towards the caking of dairy powders. *Int Dairy J* 15:85-91

Fraenkel G. 1950. The nutrition of the mealworm *Tenebrio molitor L.* (*Tenebrionidae Coleoptera*) *Physiol Zool* 23:92-108

Franco D, González L, Bispo E, Rodríguez P, Garabal JI, Moreno T. 2010. Study of hydrolyzed protein composition, free amino acid, and taurine content in different muscles of galician blonde beef. *J Muscle Foods* 21:769-784

Freye HB, Esch RE, Litwin CM, Sorkin L. 1996. Anaphylaxis to the ingestion and inhalation of *Tenebrio molitor* (mealworm) and *Zophobas morio* (superworm). *Allergy Asthma Proc* 17:215-219

Gardner GA, Stewart DJ. 1966. Changes in the free amino and other nitrogen compounds in stored beef muscle. *J Sci Food Agric* 17:491-496

Ghaly AE, Alkoaik FN. 2009. The yellow mealworm as a novel source of protein. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 4:319-331

Ghodki BM, Goswami TK. 2016. Effect of grinding temperatures on particle and physicochemical characteristics of black pepper powder. *Powder Technol* 299:168-177

Gliszczyńska-Świgło A, Skiorska E. 1992. Simple reversed-phase liquid chromatography method for determination of tocopherols in edible plant oils. *J chromatogr A* 1048:1184-1188

Godel H, Graser T, Földi P, Pfaender P, Fürst P. 1984. Measurement of free amino acids in human biological fluids by high-performance liquid chromatography. *J chromatogr A* 297:49-61

Goh SH, Choo YM, Ong ASH. 1985. Minor constituents of palm oil. *J Am Oil Chem Soc* 62:237-240

Gómez-Rico A, Salvador MD, Moriana A, Pérez D, Olmedilla N, Ribas F, Fregapane G. 2007. Influence of different irrigation strategies in a traditional Cornicabra cv. olive orchard on virgin olive oil composition and quality. *Food Chem* 100:568-578

Gong Y, Deng G, Han C, Ning X. 2015. Process optimization based on carrot powder color characteristics. *Eng Agric Environ Food* 8:137-142

Gorham JR. 1979. The significance for human health of insects in food. *Annu Rev Entomol* 24:209-224

Gutfinger T. 1981. Polyphenols in olive oils. *J Am Oil Chem Soc* 58:966-968

Haine ER, Moret Y, Siva-Jothy MT, Rolff J. 2008. Antimicrobial defense and persistent infection in insects. *Science* 322:1257-1259

Ha JH, Kim DH. 1996. Changes in the physico-chemical properties of the meals from the defatted sesame seeds at various roasting temperature and time. *Korean J Food Sci Technol* 28:264-252

Han GP, Han JS, Kozukue N, Yeo JS, Lee SE, Minamide T. 2003. A comparative study on nutritional composition of native and hybrid pork in Korea. *J East Asian Soc Diet Life* 13:185-190

Hansen TN, Baust JG. 1988. Differential scanning calroimetric analysis of antifreeze protein activity in the common mealworm, *Tenebrio molitor*. *BBA-Protein Struct M* 957:217-221

Han SR, Lee BS, Jung KJ, Yu HJ, Yun EY, Hwang JS, Moon KS. 2016. Safety assessment of freeze-dried powdered *Tenebrio molitor* larvae (yellow mealworm) as novel food source: Evaluation of 90-day toxicity in Sprague-Dawley rats. *Regul Toxicol and Pharmacol* 77:206-212

Hegarty PVJ, Allen CE. 1975. Thermal effects on the length of sarcomeres in muscles held at different tension. *J Food Sci* 40:67-74

He HP, Corke H. 2003. Oil squalene in *Amaranthus* grain and leaf. *J Agric Food Chem* 51:7913-7920

Hiraide M, Miyazaki Y, Shibata Y. 2004. The smell and odorous components of dried shiitake mushroom, *Lentinula edodes* Ⅰ: Relationship between sensory evaluations and amounts of odorous components. *J Wood Sci* 50:358-364

Hosen M, Khan AR, Hossain M. 2004. Growth and development of the lesser mealworm, *Aliphitobitus diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: *Tenebrionidae*) on cereal flours. *Pak J Biol Sci* 7:1505-1508

Hotnida C, Siregar H, Suptijah P. 2014. Mealworm (*Tenebrio molitor*) as calcium, phosphor, and chitosan source. Proceedings of the 16th AAAP Animal Science Congress Vol.Ⅱ November 2014, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia. pp.10-14

Hsu CL, Chen W, Weng YM, Tseng CY. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chem* 83:85-89

Iqbal A, Khwalil IA, Ateeq N, Khan MS. 2006. Nutritional quality of important food legumes. *Food Chem* 97:331-335

Jacobsen JG, Smith LH. 1968. Biochemistry and physiology of taurine and taurine derivatives. *Physiol Rev* 48:424-511

Jakinovich W, Sugarman D. 1988. Sugar taste reception in mammals. *Chem Senses* 13:13-31

Jambrak AR, Lelas V, Mason TJ, Kres˜Ić G, Badanjak M. 2009. Physical properties of ultrasound treated soy proteins. *J Food Eng* 93:386-393

Jang MS, Kang YJ, Kim KW, Kim KD, Lee HM, Heo SB. 2009. Quality characteristics of cultured olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed with extruded pellets: Ⅰ. Comparison of fatty acid and amino acid contents. *Korean J Food Sci Technol* 41:42-49

Je JY, Park PJ, Kim SK. 2005. Antioxidant activity of a peptide isolated from Alaska pollack (*Theragra chalcogramma*) frame protein hydrolysate. *Food Res Int* 38:45-50

Jensen SK, Liu YG, Eggum BO. 1995. The effect of heat treatment on glucosinolates and nutritional value of rapeseed meal in rats. *Anim Feed Sci Technol* 53:17-28

Jeon YH, Son YJ, Kim SH, Yun EY, Kang HJ, Hwang IK. 2016. Physicochemical properties and oxidative stabilities of mealworm (*Tenebrio molitor*) oils under different roasting conditions. *Food Sci Biotechnol* 25:105-110

Jiang ST, Lee TC. 1985. Changes in free amino acids and protein denaturation of fish muscle during frozen storage. *J Agric Food Chem* 33:839-844

Jin SK, Kim IS, Hah KH. 2002. Changes of pH, drip loss and microbes for vacuum packaged exportation pork during cold storage. *Korean J Food Sci Ani Resour* 22:201-205

Jin SK, Kim IS, Hah KH, Hur SJ, Lyou HJ, Park KH, Bae DS. 2005. Changes of qualities in aerobic packed ripening pork using a Korea traditional seasoning during storage. *J Anim Sci & Technol (Kor)* 47:73-82

Jones LD, Cooper RW, Harding RS. 1972. Composition of mealworm *Tenebrio molitor* larvae. *J Zoo Anim Med* 3:34-41

Jung C. 2013. Prospects of insect food commercialization; A mini review. *Korean Journal of Soil Zoology* 17:5-8

Jung WJ, Jo GH, Kuk JH, Kim YJ, Oh KT, Park RD. 2007. Production of chitin from red crab shell waste by successive fermentation with *Lacobacillus paracasei* KCTC-3074 and *Serratia marcescens* FS-3. *Carbohyd Polym* 68:746-750

Kalogeropoulos N, Chiou A, Gavala E, Christea M, Andrikopoulos NK. 2010. Nutritional evaluation and bioactive microconstituents (carotenoids, tocopherols, sterols and squalene) of raw and roasted chicken fed on DHA-rich microalgae. *Food Res Int* 43:2006-2013

Kamal-Eldin A. 2006. Effect of fatty acids and tocopherols on the oxidative stability of vegetable oils. *Eur J Lipid Sci Technol* 58:1051-1061

Kamal-Eldin A, Andersson R. 1997. A multivariate study of the correlation between tocopherol content and fatty acid composition in vegetable oils. *J Am Oil Chem Soc* 74:375-380

Kamal-Eldin A, Appelqvist LA. 1996. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipids* 31:671-701

Kan H, Kim CH, Kwon HM, Park JW, Roh KB, Lee H, Park BJ, Zhang R, Zhang J, Söderhäll K, Ha NC, Lee BL. 2008. Molecular control of phenoloxidase-induced melanin synthesis in an insect. *J Biol Chem* 283:25316-25323

Kang IJ, Kim HK, Chung CK, Kim SJ, Oh SH. 2000. Effects of *Protaetia Orientalis* (Gory et Perchlon) larva on the lipid metabolism in ethanol administered rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29:479-484

Kardash E, Tur'yan YI. 2005. Acid value determination in vegetable oils by indirect titration in aqueous-alcohol media. *Croatica Chemica Acta* 78:99-103

Kassai MR, Arul J, Charlet G. 2000. Intrinsic viscosity-molecular weight relationship for chitosan. *J Polym Sci Pol Phys* 38:2591-2598

Kaya M, Lelešius E, Nagrockaitė R, Sargin I, Arslan G, Mol A, Baran T, Can E, Bitim B. 2015. Differentiations of chitin content and surface morphologies of chitins extracted from male and female grasshopper species. *PloS ONE* 10:e0115531

Keith MO, Bell JM. 1991. Composition and digestibility of canola press cake as a feedstuff for use in swine diets. *Can J Anim Sci* 71:879-885

Kim DH, Kim EM, Chang YJ, Ahn MY, Lee YH, Park JJ, Lim JH. 2016. Determination of the shelf life of cricket powder and effects of storage on its quality characteristics. *Korean J Food Preserv* 23:211-217

Kim HG, Kang HG. 2005. Bionomical characteristic of *Alloymyrina dichotoma. Korean J Appl Entomol* 44:207-212

Kim HG, Kang KH, Hwang CY. 2005. Effect of some enviromental factors on oviposition and developmental characteristic of *Protaetia brevitasis* and *Allomyrina dichotoma*. *Korea J Appl Entomol* 44:283-286

Kim HM, Kim JN, Kim JS, Jeong MY, Yun EY, Hwang JS, Kim AJ. 2015. Quality characteristics of patty prepared with mealworm powder. *Korean J Food Nutr* 28:813-820

Kim HS, Jung CE. 2013. Nutritional characteristics of edible insects as potential food materials. *Korean J Apiculture* 28:1-8

Kim JY, Lee CR, Cho KH, Lee JH, Lee KT. 2009. Antioxidative and Lp-PLA2 inhibitory activities in 29 fruits and vegetables. *Korea J Food Preserv* 16:512-517

Kim KS, Park JB, Kim SA. 2007. Quality characteristics of *kochujang* prepared with Korean single-harvested pepper (*Capsicum annuum L.*). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36:759-765

Kim MJ, Rhee HS. 1990. Studies on the changes of taste compounds during soy paste fermentation. *Korean J Soc Food Sci* 6:1-8

Kim SY, Son YJ, Kim SH, Lee GY, Hwang IK. 2015. Studies on oxidative stability of *Tenebrio molitor* larvae during cold storage. *Korean J Food Cook Sci* 31:62-71

Kirimura J, Shimizu A, Kimizuka A, Ninomiya T, Katsuya N. 1969. Contribution of peptides and amino acids to the taste of foods. *J Agric*

Food Chem 17:689-695

Klunder HC, Wolkers-Rooijackers J, Korpela JM, Nout MJR. 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control* 26:628-631

Knowlton TM, Carson JW, Klinzing GE, Yang WC. 1994. The importance of storage, transfer and collection. *Chemi Eng Prog* 90:44-54

Koç B, Eren İ, Ertekin KF. 2008. Modeling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying methods. *J Food Eng* 85:340-349

Komatsuzaki N, Tsukahara K, Toyoshima H, Suzuki T, Shimizu N, Kimura T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *J Food Eng* 78:556-560

Krokida MK, Marinos-Kouris D. 2003. Rehydration kinetics of dehydrated products. *J Food Eng* 57:1-7

Kwon EY, Yoo JM, Yoon YI, Hwang JS, Goo TW, Kim MA, Choi YC, Yun EY. 2013. Pre-treatment of the white-spotted flower chafer as an ingredient for novel foods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42:397-402

Largo R, Alvarez-Soria MA, Díez-Ortego I, Calvo E, Sánchez-Pernaute O, Egido J, Herrero-Beaumont G. 2003. Glucosamine inhibits IL-1β-induced NFκB activation in human osteoarthritic chondrocytes. *Osteoarthr Cartilage* 11:290-298

Lavall RL, Assis OBS, Campana-Filho SP. 2007. β-Chitin from the pens of *Loligo* sp.: Extraction and characterization. *Bioresource Technol* 98:2465-2472

Lavertu M, Xia Z, Serreqi AN, Berrada M, Rodrigues A, Wang D. 2003. A validated ^{1}H NMR method for the determination of the degree of deacetylation of chitosan. *J Pharmaceut Biomed* 32:1149-1158

Lawhon JT, Rooney LW, Cater CM, Mattil KF. 1972. Evaluation of a protein concentrate produced from glandless cottonseed flour by a wet-extraction process. *J Food Sci* 37:778-782

Lee BY, Kim DM, Kim KH. 1990. Studies on the processing aptitude of the Korean soybean cultivars for soybean curd. *Korean J Food Sci Technol* 22:363-368

Lee HC, Hwang SG, Kang YK, Sohn HO, Moon JY, Lim HB, Jeon BH, Lee DW. 2001a. Influence of *Protaetia brevitarsis* extract on liver damage induced by carbon tetrachloride and ethanol in rats. *Korean J Life Sci* 11:405-414

Lee HC, Hwang SY, Hwang SG, Jeon BH, Lee DW. 2001b. Acute oral toxicity of *Protaetia brevitarsis* homogenate in rats. *Korean J Ori Med Physiol Pathol* 15:543-547

Lee GY, Son YJ, Jeon YH, Kang HJ, Hwang IK. 2015. Changes in the physicochemical properties and sensory characteristics of burdock (*Arctium lappa*) during repeated steaming and drying procedures. *Korean J Food Sci Technol* 47:336-344

Lee MH, Kim AN, Heo HJ, Chun JY, Kang SW, Choi SG. 2014. Effect of mulberry powder on quality characteristics and oxidative stability of mayonnaise prepared with perilla oil. *Korean J Food Nutr* 27:1132-1140

Lee MW, Choi SY, Yoo KM, Lim SY, Jung WS, Hwang IK. 2015.

Development of value-added macaronè with *Perilla fructescens* powders and their physiological characteristics. *Korean J Food Nutr* 28:66-72

Lee SK, Ju MK, Kim YS, Kang SM, Choi YS. 2005. Quality comparison between Korean native black ground pork and modern genotype ground pork during refrigerated storage. *Korean J Food Sci Ani Resour* 25:71-77

Lee YC, Oh SW, Chang J, Kim IH. 2004. Chemical composition and oxidative stability of safflower oil prepared from safflower seed roasted with different temperatures. *Food Chem* 84:1-6

Lee YJ, Yoon WB. 2015. Flow behavior and hopper design for black soybean powders by particle size. *J Food Eng* 144:10-19

Lee YS, Kim SH, Cheon JG, Lee SS. 2004. New paradigm of dietary reference intake: Dietary reference intakes (DRIs) of USA/Canada - calcium, phosphor, vitamin D, magnesium, fluorine. *Korean J Nutr* 37:732-738

Li LY, Zhao ZR, Liu H. 2013. Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor L.*) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans. *Acta Astronautics* 92:103-109

Lim SD, Kim KS. 2009. Effects and utilization of GABA. *Korean J Dairy Sci Technol* 27:45-51

Liu CK, Ahrens EH, Schreibman H, Crouse R. 1976. Measurement of squalene in human tissues and plasma: Validation and application. *J Lipid Res* 17:38-45

Liya Yi, Lakemond CMM, Sagis LMC, Eisner-Schadler V, van Huis A, van Boekel MAJS. 2013. Extraction and characterisation of protein fractions

from five insect species. *Food Chem* 141:3341-3348

Long S, Ying F, Zhao HE, Zhi-Yong C, Min Z. 2012. Isolation and purification of small antimicrobial peptide from larvae of mealworm, *Tenebrio molitor*. *Chinese Journal of Applied Entomology* 49:686-692

Lourenço R, Camilo ME. 2002. Taurine: A conditionally essential amino acid in humans? An overview in health and disease. *Nutr Hosp* ⅩⅦ:262-270

MacEvilly C. 2000. Bugs in the system. *Nutr Bull* 25:267-268

Madovi PB. 1980. Changes in the free $^{-}NH_2$, free $^{-}CO_2H$ and titratable acidity of meat proteins. *Int J Food Sci Tech* 15:311-318

Maehashi K, Huang L. 2009. Bitter peptides and bitter taste receptors. *Cell Mole Life Sci* 66:1661-1671

Maguire LS, O'Sullivan SM, Galvin K, O'Connor TP, O'Bien NM. 2004. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the macadamia nut. *Int J Food Sci Nutr* 55:171-178

Makkar PSH, Tran G, Heuzé V, Ankers P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim Feed Sci Technol* 197:1-33

Manni L, Ghorbel-Bellaaj O, Jellouli K, Younes I, Nasri M. 2010. Extraction and characterization of chitin, chitosan, and protein hydrolysates prepared from shrimp waste by treatment with crude protease from *Bacillus cereus* SV1. *Appl Biochem Biotechnol* 162:345-357

Maraschiello C, Sárraga C, Regueiro JAG. 1999. Glutathione peroxidase

activity, TBARS, and α-tocopherol in meat from chickens fed different diets. *J Agric Food Chem* 47:867-872

Martin RD, Rivers JPW, Cowgill UM. 1976. Culturing mealworms as food for animals in captivity. *Int Zoo Yearb* 16:63-70

McWiliams M. 2001. Foods: Experimental perspectives. 4th ed. Prentice Hall PTR. New Jersey. USA. pp.316-318

Meda A, Lamien CE, Romito M, Millogo F, Nacoulma OG. 2005. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline content in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging acitivity. *Food Chem* 91:571-577

Megido RC, Sablon L, Geuens M, Brostaux Y, Alabi T, Blecker C, Drugmand D, Haubruge É, Francis F. 2014. Edible insects acceptance by belgian consumers: Promising attitude for entomophagy development. *J Sens Stud* 29:14-20

Menichini F, Tundis R, Bonesi M, Loizzo MR, Conforti F, Statti G, De Cindio B, Houghton PJ, Menichini F. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of capsicum Chinese Jacq. cv Habanero. *Food Chem* 114:553-560

Meyer DH, Meyer WL. 1975. Properties of polynucleotidase activities of the mealworm, *Tenebrio molitor*. *Insect Biochem* 5:747-758

Miller GL. 1959. Determination of reducing sugar by DNS method. *Anal chem* 31:426-428

Ministry of Food and Drug Safety. 2015. Korean Food Standards Codex Ⅱ. p.48

Min KT, Kang MS, Kim MJ, Lee SH, Han JS, Kim AJ. 2016. Manufacture and quality evaluation of cookies prepared with mealworm (*Tenebrio molitor*) powder. *Korean J Food Nutr* 29:12-18

Molina-Boisseau S, Le Bolay N, Pons MN. 2002. Fragmentation mechanism of poly vinyl acetate particles during reduction in vibrated bead mill. *Powder Technol* 123:282-291

Morelló JR, Motilva MJ, Tovar MJ, Romero MP. 2004. Changes in commercial virgin olive oil (cv Arbequina) during storage, with special emphasis on the phenolic fraction. *Food Chem* 85:357-364

Morr CV, German B, Kinsella JE, Regenstein JM, van Buren JP, Kilara A, Lewis BA, Mangino ME. 1985. A collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. *J Food Sci* 50:1715-1718

Mosmann T. 1983. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays. *J Immunol Methods* 65:55-63

Moure A, Sineiro F, Domínguez H, Parajó JC. 2006. Functionality of oilseed protein products: A review. *Food Res Int* 39:945-963

Murkovic M, Lechner S, Pietzka A, Bratacos M, Katzogiannos E. 2004. Analysis of minor components in olive oil. *J Biochem Biophys Methods* 61:155-160

Nakach M, Authelin JR, Chamayou A, Dodds J. 2004. Comparison of various milling technologies for grinding pharmaceutical powders. *Int J Miner Process* 74S:S173-S181

Nakai S. 1983. Structure-function relationships of food proteins: with an emphasis on the importance of protein hydrophobicity. *Journal of Agric Food Chem* 31:676-683

Nam HY, Lee KT. 2007. Analysis of characterization in commercial extra virgin oils. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36:866-873

Nelson AI, Wiljeratne WB, Yeh SW, Wei TM, Wei LS. 1987. Dry extrusion as an aid to mechanical expelling of oil from soybeans. *J Am Oil Chem Soc* 64:1341-1347

Newmark HL. 1997. Squalene, olive oil, and cancer risk: A review and hypothesis. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 6:1101-1103

Ng WK, Liew FL, Ang LP, Wong KW. 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquac Res* 32:273-280

Nishimura T, Rhue MR, Okitani A, Kato H. 1988. Components contributing to the improvement of meat taste during storage. *Agric Biol Chem* 52:2323-2330

Noh CW, Jeon SH, Son D, Cho YS, Lee BJ. 2015. Changes of nutritive component with before processing feeding type for larva of *Protaetia Brevitarsis*. *J Korean Soc Int Agric* 27:675-681

Nolasco SM, Aguirrezábal LAN, Crapiste GH. 2004. Tocopherol oil concentration in field-grown sunflower is accounted for by oil weight per seed. *J Am Oil Chem Soc* 81:1045-1051

Nowak V, Persijn D, Rittenschober D, Charrondiere UR. 2016. Review of

food composition data for edible insects. *Food Chem* 193:39-46

Oh M, Kim EK, Jeon BT, Tang Y, Kim MS, Seong HJ, Moon SH. 2016. Chemical compositions, free amino acid contents and antioxidant activities of *Hanwoo* (*Bos taurus coreanae*) beef by cut. *Meat Sci* 119:16-21

Oh SC, Cho JS, Nam HY. 2000. Changes of the volatile basic nitrogen and free amino acids according to the fermentation of low salt fermented squid. *Korean J Soc Food Sci* 16:75-83

Oh SH, Moon YJ, Oh CH. 2003. γ-Aminobutyric acid (GABA) content of selected uncooked foods. *Prev Nutr Food Sci* 8:75-78

Okogeri O, Tasioula-Margari M. 2002. Changes occurring in phenolic compounds and α-tocopherol of virgin olive oil during storage. *J Agric Food Chem* 50:1077-1080

Oonincx DGAB, de Boer IJM. 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans - A life cycle assessment. *PLoS One* 7:e51145

Oonincx DGAB, van Itterbeeck J, Heetkamp MJW, van den Brand H, van Loon JJA. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS One* 5:e14445

Ottøy MH, Vårum KM, Christensen BE, Anthonsen MW, Smidsrød O. 1996. Preparative and analytical size-exclusion chromatography of chitosans. *Carbohyd Polym* 19:17-24

Owen RW, Giacosa A, Hull WE, Haubner R, Würtele G, Bertold S, Bartsch H. 2000. Review: Olive-oil consumption and health: The possible role of

antioxidants. *Lancet Oncol* 1:107-112

Palaniandy S, Mohd Azizli KA. 2009. Mechanochemical effects on talc during fine grinding process in a jet mill. *Int J Miner Process* 92:22-33

Parker TD, Adams DA, Zhou K, Harris M, Yu L. 2003. Fatty acid composition and oxidative stability of cold-pressed edible seed oils. *J Food Sci* 68:1240-1243

Park HY, Park SS, Oh HW, Kim JI. 1994. General characteristics of the white-spotted flower chafer, *Protaetia brevitarsis* reared in the laboratory. *Korean J Entomol* 24:1-5

Paulino AT, Siminato JI, Garcia JC, Nozaki J. 2006. Characterization of chitosan and chitin produced from silkworm crysalides. *Carbohyd Polym* 64:98-103

Pearce NK, Kinsella EJ. 1978. Emulsifying properties of proteins evaluation of a turbidimetric technique. *J Agric Food Chem* 26:716-723

Pearson AM, Harrington G, West RG, Spooner ME. 1962. The browning produced by heating fresh pork. I. The relation of browning intensity to chemical constituents and pH. *J Food Sci* 27:177-181

Peleg M. 1978. Flowability of food powders and methods for its evaluation - A review. *J Food Process Eng* 1:303-328

Pierson B, Oesterle A, Murphy GL. 1987. Pigments, light penetration, and photosynthetic activity in the multi-layered microbial mats of Great Sippewissett Salt marsh, Massachusetts. *FEMS Microbiol Ecol* 45:365-376

Protonotariou S, Drakos A, Evageliou V, Ritzoulis C, Mandala I. 2014.

Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. *J Food Eng* 134:24-29

Rao Q, Rocca-Smith JR, Schoenfuss CT, Labuza PT. 2012. Accelerated shelf-life testing of quality loss for a commercial hydrolysed hen egg white powder. *Food Chem* 135:464-472

Rassin DK, Sturman JA, Gaull GE. 1978. Taurine and other amino acids in milk of man and other mammals. *Early Hum Dev* 1:1-13

Rastrelli L, Passi S, Ippolito F, Vacca G, De Simone F. 2002. Rate of degradation of α-tocopherol, squalene, phenolics, and polyunsaturated fatty acids in olive oil during different storage conditions. *J Agric Food Chem* 50:5566-5570

Ravzanaadii N, Kim SH, Choi WH, Hong SJ, Kim NJ. 2012. Nutritional value of mealworm, *Tenebrio molitor* as food source. *Int J Indus Entomol* 25:93-98

Reddy NR, Schreiber CL, Buzard KS, Skinner GE, Armstrong DJ. 1994. Shelf life of fresh tilapia fillets packaged in high barrier film with modified atmospheres. *J Food Sci* 59:260-264

Reginster JY, Deroisy R, Rovati LC, Lee RL, Lejeune E, Bruyere O, Glacovelli G, Henrotin Y, Dacre JE, Gossett C. 2001. Long-term effects of glucosamine sulphate on osteoarthritis progression: A randomised, placebo-controlled clinical trial. *Lancet* 357:251-256

Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Bio Med* 26:1231-1237

Rinaudo M. 2006. Chitin and chitosan: Properties and applications. *Prog Polym Sci* 31:603-632

Roncarati A, Gasco L, Parisi G, Terova G. 2015. Growth performance of common catfish (*Ameiurus melas* Raf.) fingerlings fed mealworm (*Tenebrio molitor*) diet. *Journal of Insects as Food and Feed* 1:233-240

Rosa C, Sandra LM, Miguel P, Carlos AC. 2006. Microbiological profiles, pH, and titratable acidity of chorizo and salchichón (two Spanish dry fermented sausages) manufactured with ostrich, deer, or pork meat. *J Food Protect* 5:1183-1189

Rumpold BA, Fröhling A, Reineke K, Knorr D, Boguslawski S, Ehlbeck J, Schlüter O. 2014. Comparison of volumetric and surface decontamination techniques for innovative processing of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Sci Emerg Technol* 26:232-241

Rumpold BA, Schlüte OK. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res* 57:802-823

Sagheer FAA, Al-Sughayer MA, Muslim S, Elsabee MZ. 2009. Extraction and characterization of chitin and chitosan from marine sources in Arabian Gulf. *Carbohyd Polym* 77:410-419

Scalbert A, Manach C, Morand C, Remesy C, Jimenez L. 2005. Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Crit Rev Food Sci* 45:287-306

Scollan ND, Hocquette JF, Nuernberg K, Dannenberger D, Richardson RI, Maloney A. 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Sci* 74:17-33

Sharma L, Singh C. 2016. Sesame protein based edible films: Development and characterization. *Food Hydrocolloid* 61:139-147

Shin HS, Kim SW. 1994. Lipid composition of perilla seed. *J Am Oil Chem Soc* 71:619-622

Siemianowska E, Kosewska A, Aljewicaz M, Skibniewska KA, Polak-Juszczak L. 2013. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor L.*) as European novel food. *Agric Sci* 4:287-291

Simon E, Baranyai E, Braun M, Fabian I, Tothmeresz B. 2013. Elemental concentration in mealworm beetle (*Tenebrio molitor L.*) during metamorphosis. *Biol Trace Elem Res* 154:81-87

Singleton VL, Rossi JA Jr. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Vitic* 16:144-158

Slover HT, Thompson RH, Davis CS, Merola GV. The lipid composition of raw and cooked fresh pork. *J Food Compost Anal* 1:38-52

Smil V. 2002. Nitrogen and food production: Proteins for human diets. *Ambio* 31:126-131

Sole MJ, Jeejeebhoy KN. 2000. Conditioned nutritional requirements and the pathogenesis and treatment of myocardial failure. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 3:417-424

Son YJ, Choi SY, Lee KY, Huang Y, Yoo KM, Hwang IK. 2014. Study on major Korean protein sources before and after freeze drying processing. *Korean J Food Cook Sci* 30:64-75

Son YJ, Kim SH, Lee JC, Kim ST, Yun EY, Hwang IK. 2016. Characteristics of mealworm (*Tenebrio molitor*) powders under different manufacturing processes. *Wulfenia* 23:79-104

Stapleton PP, Charles RP, Redmond HP, Bouchier-Hayes DF. 1997. Taurine and human nutrition. *Clin Nutr* 16:103-108

Stoops J, Crauwels S, Waud M, Claes J, Lievens B, van Campenhout L. Microbial community assessment of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and grasshoppers (*Locusta migratoria migratorioides*) sold for human consumption. *Food Microbiol* 53:122-127

Sun M, Xu L, Saldaña MDA, Temelli F. 2008. Comparison of canola meals obtained with conventional methods and supercritical CO_2 with and without ethanol. *J Am Oil Chem Soc* 85:667-675

Synder HE, Sheu G, Brown HG, Clark P, Wiese KL. 1988. Analysis of total oil in soybeans: A new equilibrium extraction method and the effect of particle size. *J Am Oil Chem Soc* 65:255-257

Szosland L, Krucinska I, Cislo R, Paluch D, Staniszewska-Kus J, Solski L, Szymonowizc M. 2001. Synthesis of dibutyrylchitin and preparation of new textiles made from dibutyrylchitin and chitin for medical applications. *Fibres Text East Eur* 9:54-57

Szterk A, Roszko M, Sosińska E, Derewiaka D, Lewicki PP. 2010. Chemical composition and oxidative stability of selected plant oils. *J Am Oil Chem Soc* 87:637-645

Tarr HLA. 1966. Post-mortem changes in glycogen, nucleotides, sugar phophates, and sugars in fish muscles-A review. *J Food Sci* 31:846-854

Turner EW, Paynter WD, Montie EJ, Basserkt MW, Struck GM, Olson FC. 1954. Use of 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity of frozen pork. *J Food Technol* 8:326-329

van Broekhoven S, Bastiaan-Net S, de Jong NW, Wichers HJ. 2016. Influence of processing and *in vitro* digestion on the allergic cross-reactivity of three mealworm species. *Food Chem* 196:1075-1083

van de Velde K, Kiekens P. 2004. Structure analysis and degree of substitution of chitin, chitosan and dibutyrylchitin by FT-IR spectroscopy and solid state ^{13}C NMR. *Carbohyd Polym* 58:409-416

Vandeweyer D, Crauwels S, Lievens B, van Campenhout L. Microbial counts of mealworm larvae (*Tenebrio molito*r) and crickets (*Acheta domesticus* and *Gryllodes sigillatus*) from different rearing companies and different production batches. *Int J Food Microbiol* 242:13-18

van Huis A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annu Rev Entomol* 58:563-583

van Huis A, Itterbeeck JV, Klunder H, Mertns E, Hallorn A, Muir G, Vantomme P. 2013. Edible insects: Future prospects for food and feed security. *FAO Forestry paper* 171:1-185

van Niekerk PJ, Burger AEC. 1985. The estimation of the composition of edible oil mixtures. *J Am Oil Chem Soc* 62:531-538

Vázquez L, Torres CF, Fornari T, Señoráns FJ, Reglero G. 2007. Recovery of squalene from vegetable oil sources using countercurrent supercritical carbon dioxide extraction. *J Supercrit Fluids* 40:59-66

Verbeke W. 2015. Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a western society. *Food Qual Prefer* 39:147-155

Verhoeckx KC, van Broekhoven S, Gaspari M, de Hartog-Jager SC, de Jong G, Wichers H, van Hoffen E, Houben G, Knulst AC. 2014. House dust mite (Derp 10) and crustacean allergic patients may be at risk when consuming food containing mealworm proteins. *Food Chem Toxicol* 65:364-373

Wagner KH, Kamal-Eldin A, Elmadfa I. 2004. Gamma-tocopherol − An underestimated vitamin? *Ann Nutr Metab* 48:169-188

Wang D, Bai Y, Li J, Zhang C. 2004. Nutritional value of the field cricket (*Gryllus testaceus* walker). *Insect Sci* 11:275-283

Wang GH, Jiang ZL, Fan XJ, Zhang L, Li X, Ke KF. 2007. Neuroprotective effect of taurine against focal cerebral ischemia in rats possibly mediated by activation of both $GABA_A$ and glycine receptors. *Neuropharmacology* 52:1199-1209

Wheeler T, Braun JV. 2013. Climate change impacts on global food security. *Science* 341:508-513

Wood JD, Enser M, Fisher AV, Nute GR, Sheard PR, Richardson RI, Hughes SI, Whittington FM. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci* 78:343-358

Xu J, McCarthy SP, Gross RA, Kaplan DL. 1996. Chitosan film acylation and effects on biodegradability. *Macromolecules* 29:3436-3440

Yanyan NHCHU, Liang T. 1998. Studies on extraction and preparation

technique of silkworm chrysalis (*Bombyx mori L.*) pupa chitin and chitosan. *Journal of Hubei University* 01

Yen MT, Yang JH, Mau JL. 2009. Physicochemical characteriation of chitin and chitosan from crab shells. *Carbohyd Polym* 75:15-21

Yoo JM, Hwang JS, Goo TW, Yun EY. 2013. Comparative analysis of nutritional and harmful components in Korean and Chinese mealworms (*Tenebrio molitor*). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42:249-254

Yoon JA, Shin KO, Choi KS. 2015. Studies on the function of taurine: Review. *Korean J Food Nutr* 28:880-893

Yoo YM, Ahn JN, Cho SH, Park BY, Lee JM, Kim YK, Park HK. 2002. Feeding effects of ginseng by product on characteristics of pork carcass and meat quality. *Korean J Food Sci Ani Resour* 22:337-342

Yoshida H, Hirooka N, Kajimoto G. 1990. Microwave energy effects on quality of some seed oils. *J Food Sci* 55:1412-1416

Zhang LS, Zhang JX, Ou XF, Zhang IJ. 2009. Separation purification of antioxidant peptides from yellow mealworm. *Food Sci* 30:180-183

Zhang M, Haga A, Sekiguchi H, Hirano S. 2000. Structure of insect chitin isolated form beetle larva cuticle and silkworm (*Bombyx mori*) pupa exuvia. *Int J Biol Macromol* 27:99-105

Zheng LY, Zhu JF. 2003. Study on antimicrobial activity of chitosan with different molecular weights. *Carbohyd Polym* 54:527-530

Zoulias EI, Oreopoulou V, Tzia C. 2002. Textural properties of low-fat cookies containing carbohydrate- or protein-based fat replacers. *J Food*

Eng 55:337-342

Abstract

Physicochemical Characterisitcs of Mealworm (*Tenebio molitor* Larvae) and Preparation of Powders for Food Material

Yang-Ju Son
Department of Food and Nutrition
The Graduate School
Seoul National University

The mealworm (*Tenebrio molitor L.*), is one of best well known edible insects and has been approved as a food item in many countries including South Korea. The mealworm has an advantage for mass production and has a savory taste. In addition, the mealworm is a superior food material suitable to industrial products. However, previous studies onto mealworm were generally focused on developing feeds for livestock. For this reason, this study aims to apply the mealworm as a new food material for human consumption. For preparing proper food ingredients from mealworm, the mealworm was processed several ways, and the products were evaluated. First, the best appropriate sacrificing methods was examined, and studies on the shelf life of sacrificed mealworms were carried out. The sacrificed mealworm was dried with a hot air drier in order to prepare the food mateirals for storage and transport. The hot air dried mealworm is an expected basic food item in the market for consumers. Thus, nutritional

values and the physicochemical properties of components of hot air dried mealworm were analyzed. Finally, the dried mealworm was processed to powder form for increasing the shelf life and desirability to consumers. In order to manufacture better quality powders, proper conditions were investigated when mealworm were defatted with pressure, and when mealworm fine powders were produced using various industrial milling machines. After preparing the mealworm powders, quality evaluations of the physicochemical characteristics were conducted. The availability for using mealworm as a novel food material was verified through the results of related studies. Some useful constituents in the mealworms were also indicated. We expect that this study could be helpful in future research and the food industry that process mealworms as a food sources.

Key words : edible insect, mealworm, chemical composition, physicochemical characteristics, fine powder

Student number : 2012-21494