

SHORT COMMUNICATION

동애등에(*Hermetia illucens*) 유충의 건조 공정 차이가 저장 중 산화 안정성에 미치는 영향

구본우 · 박영욱¹⁾ · 박관호*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부 산업곤충과, ¹⁾충북농업기술원 곤충연구소

The Impact of Variations in Drying Processes of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae on Oxidative Stability During Storage

Bonwoo Koo, Young Uk Park¹⁾, Kwanho Park*

Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

¹⁾Insect Research Institute, Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea

Abstract

This study investigated the effects of storage temperature and duration on the oxidative stability of black soldier fly (BSF) larvae dried using four different methods: indirect thermal drying, microwave drying, freeze-drying, and hot air drying. Based on measurements taken on day 0, the results revealed that freeze-drying is a favorable method compared to the others. This is attributed to its ability to remove moisture in a low-temperature environment, thereby minimizing lipid damage caused by heat and suppressing the activity of oxidative enzymes, which enhances antioxidant capacity. However, despite its advantages, freeze-drying exhibited the highest acid value, indicating significant changes in oxidative stability. This finding underscores the need for further research to thoroughly understand and address this issue.

Key words : Black soldier fly (BSF) larvae, Freeze-drying, Hot air drying, Indirect thermal drying, Microwave drying, Oxidative stability

1. 서 론

전 세계 축산 및 양식 산업의 급속한 성장으로 인해 지속가능한 단백질 공급원에 대한 수요가 증가하고 있다. 따라서 어분과 대두박 등 기존 단백질 자원은 가격 변동성, 토지·수자원 이용 증가 환경 지속성 문제에 직면하여 새로운 사료원에 대한 수요가 증가하고 있다. 특히, 곤충산업에서 아메리카동애등에(Black soldier

fly, BSF) 유충은 유기성 폐기물, 농업 부산물 등을 친환경적으로 분해하고 고효율적으로 생물 전환하여 고품질 단백질과 지질을 생산할 수 있는 대체 사료원으로 주목받고 있다(Barragan-Fonseca et al., 2017; Wang and Shelomi, 2017). BSF 유충은 건물 기준 조단백질 37-63%, 조지방 7-39%를 함유하고 필수 아미노산 조성 및 무기물(칼슘, 인 등) 함량이 우수하여 영양적 가치가 높다(Barragan-Fonseca et al.,

Received 6 January, 2026; Revised 12 January, 2026;

Accepted 12 January, 2026

*Corresponding author : Kwanho Park, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

Phone : +82-63-238-2994

E-mail : nicegano@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

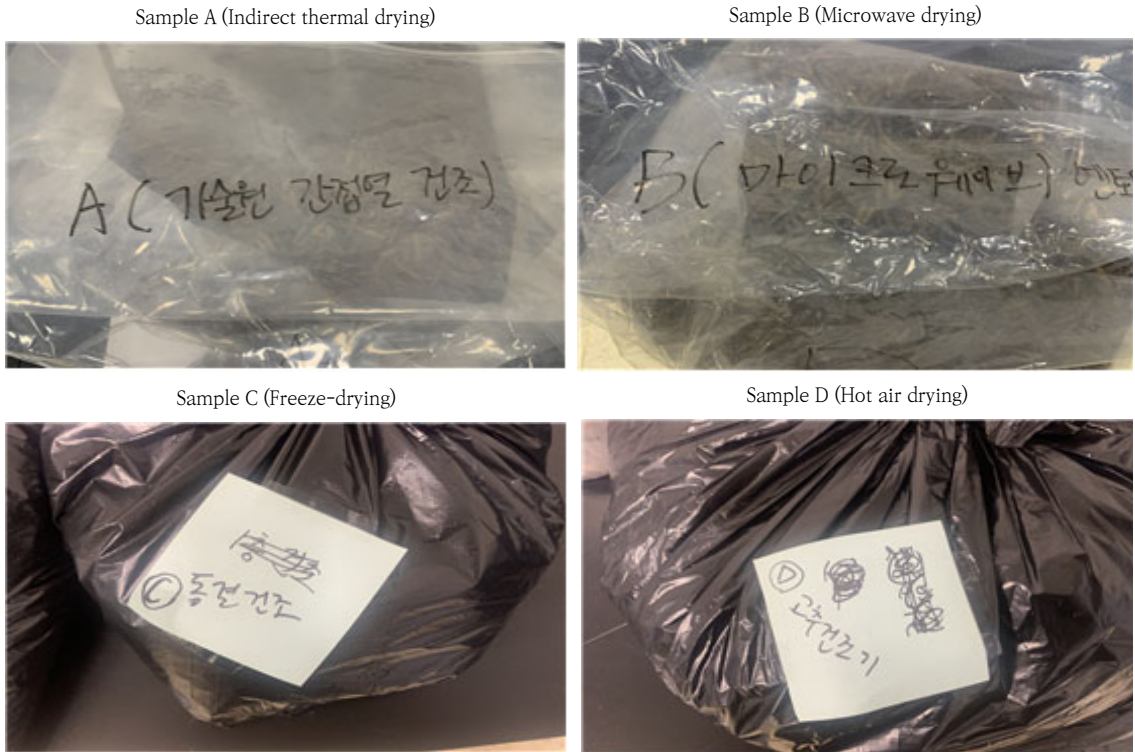


Fig. 1. Four types of dried samples of black soldier fly larvae used in this study.

2017; Wang and Shelomi, 2017; Lu et al., 2022). 또한 BSF 지질은 라우릭산(Lauric acid)을 포함한 중쇄지방산(Medium-chain fatty acid)이 풍부하여 항균성 및 면역조절 기능이 보고된 바 있다. 이러한 영양적·기능적 장점과 더불어 대량 사육의 용이성, 사료 안전성 기준 적합성 등은 BSF 유충이 가금류, 양돈, 양어, 반려동물 사료 등 다양한 분야에서 대체 단백질원으로 활용될 가능성을 보여준다(Surendra et al., 2020; Somparn et al., 2024).

그러나 BSF 유충의 사료화 과정에서 건조(Drying) 공정은 미생물 안전성 확보, 영양 성분 보존, 저장·유통의 실용성 확보를 위해 필수적인 공정이다. 기존 연구에서는 열풍건조(Hot air drying), 마이크로웨이브 건조(Microwave drying), 동결건조(Freeze-drying), 진공건조(Vacuum drying) 등 다양한 건조 기술이 적용되어 왔다(Saucier et al., 2022; Hyun et al., 2023; Oh et al., 2024; Vandeweyer et al., 2024). 최근 연구에서는 건조 방식이 BSF 유충

분말의 수분함량, 조단백질 및 지질 함량, 소화율, 그리고 저장성에 영향을 준다는 결과가 보고되었다(Hyun et al., 2023). 특히, 열풍건조, 마이크로웨이브 건조, 동결건조는 비교적 높은 영양소 소화율을 유지할 수 있는 반면, 과도한 열 또는 비최적 조건의 유도 건조는 단백질 변성이나 지질 산화를 촉진할 수 있다는 지적이 있다. 또한, 데치기, 천공 등의 유충의 전처리 방법과 건조 기법의 조합이, 산화 안정성, 색도 변화, 미생물 감소 등에 중요한 영향을 미친다는 연구 결과가 있다(Saucier et al., 2022). 이러한 대다수의 연구는 건조 직후 품질 평가 또는 소화를 평가에 집중되어 있으며, 다양한 건조방법으로 제조된 BSF 유충 분말을 대상으로 저장성(Storage stability), 저장기간과 온도 변화에 따른 품질 변화(지질 산화, 단백질 변성, 미생물 안정성 등)를 체계적으로 비교한 연구는 매우 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 간접열건조, 마이크로웨이브건조, 동결건조 그리고 열풍건조 4가지 방법으로 동애등에 유충을 건조 후에 저장 온도와 기간

에 따른 산화안정성 영향에 대한 연구로 고품질의 단백질 대체제에 관한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

동애등에(BSF) 유충은 충청북도 청주시에 위치한 농업회사법인 (주)엔토모에서 구매한 유충을 사용하였다. 간접 열건조(Sample A, Indirect thermal drying, Fig. 1)는 충청북도농업기술원 곤충연구소에서 특허 출원된 전기(히팅) 열풍건조기(간접열건조기, Entomo Co. Ltd., Korea)를 사용하였다. 열풍건조기는 발열코일을 내열 세라믹 판에 고정한 오픈코일 방식의 전기히터로 최대출력 5 kw 전기히터가 12개 장착되어 있으며, 전기히터 주위로 원형의 통이 있어 동애등에 유충을 200℃ 간접열로 건조하였다. 건조 조건으로는 200~220℃로 가열하여 유충을 투입한 후 20분동안 건조하였다. 마이크로웨이브 건조(Sample B, Microwave drying, Fig. 1)는 산업용 마이크로웨이브(M-200, Entomo Co. Ltd., Korea)를 이용하여 동애등에 유충을 10 kg씩 소분하여 5분간 건조하였다. 동결건조(Sample C, Freeze-drying, Fig. 1)는 급속냉동기(Deep Freezer, DF 9010, Ilshin Lab Co. Ltd, Korea)를 이용하여 -70℃에서 예비 동결 후, 동결 건조기(LP10, Ilshinbiobase Co. Ltd, Korea)를 사용하여 -45℃에서 3일간 동결건조하였다. 마지막으로 열풍건조(Sample D, Hot air drying, Fig. 1)는 산업용 열풍건조기(SD-420H, Sinheunggieop Co. Ltd, Korea)를 사용하여 60℃의 온도에서 24시간 건조하였다. 열풍건조기는 전기식 열풍형으로서 농산물건조기로 사용되는 옥내용 건조기를 사용하였다.

분석을 위해 4종류의 동애등에 유충을 건조한 샘플은 저장기간의 경우 0일과 7일에서 DPPH radical scavenging, TBA가 및 산가(KOH) 측정하였다. 그리고 저장 온도는 0일에서 샘플을 분석 후 그대로 25℃와 45℃맞추어 7일 동안 두어 산화 안정성을 평가하였다. DPPH radical scavenging 분석은 Sharma and Bhat(2009)의 방법에 준하여 0.2 mM의 DPPH 용액 0.8 mL에 시료액 0.2 mL를 혼합한 뒤, 실온에서 30분 동안 반응시켰다. 반응이 끝난 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. TBA가 측정은 Witte et al.(1970)의 방법에 따라 시료 5 g에 20% trichloroacetic acid 용

액 12.5 mL를 첨가한 후, 14,000 rpm에서 1분간 균질화 후, 증류수를 첨가하여 최종 부피를 50 mL로 맞춘 뒤 혼합을 진행하였다. 혼합물을 여과지로 여과하여 얻어진 용액 5 mL를 2-thiobarbituric acid 용액 5 mL와 혼합하였다. 암실에서 실온으로 20시간 동안 방치 후 분광광도계를 이용하여 530 nm에서 측정하였다. 산가(KOH) 측정은 식품공전(Korea Food Drug Administration, 2013)에 방법에 따라 유지 5 g을 250 mL 삼각 플라스크에 넣고, Ethyl ether Ethanol 혼합액(2:1, v/v) 100 mL를 첨가하여 충분히 흔들여 용해하였다. 1% 페놀프탈레인 용액을 지시약으로 이용하여, 0.1 N 에탄올성 KOH 용액으로 적정하였다. 이때 미홍색이 30초 동안 유지되는 시점을 종말점으로 하여 산가를 측정하였다. 또한 본 연구에서는 4종류의 동애등에 유충을 건조시킨 샘플의 산화안정성 평가에 대한 기초 연구자료를 얻기 위해 통계 분석은 실시하지 않았다.

3. 결과 및 고찰

Table 1은 0일에 측정된 4종류의 동애등에 유충을 건조시킨 샘플의 산화안정성 평가에 대한 결과를 제시하였다. DPPH radical scavenging은 간접열건조법에서 가장 높았고 동결건조법이 가장 낮았다. TBA가는 열풍건조법이 가장 낮고 마이크로웨이브 건조법이 가장 높은 것으로 나타났다. 산가는 다른 건조법과 비교할 때 동결건조법이 가장 높고 마이크로웨이브 건조법이 가장 낮은 것으로 측정되었다. 이는 4종류의 동애등에 유충을 건조시키는 방법에 따라 DPPH radical scavenging, TBA가 및 산가 값이 다르며 다양한 값이 나타난다는 것을 의미한다. Bogusz et al.(2023)은 이러한 건조 방법이 잠재적으로 동애등에 유충의 화학적 조성 및 물리화학적 특성을 변화시킬 수 있다고 하였다. 다른 관점에서는 0일에 측정된 이들 값을 기준으로 저장기간과 온도에 따라 동애등에 유충의 산화안정성 평가에 영향을 줄 수 있음을 시사한다.

Table 2는 4종류의 건조방법에 따라 7일간의 저장기간과 다른 온도에 조건을 달리 했을 때 동애등에 유충의 산화안정성 평가에 대한 결과를 나타내었다. 전체적 결과는 0일차와 비교시 산화 안정성에 대한 다양한 값이 제시되었다. DPPH radical scavenging의 경우 저장기간과 온도 변화(25℃와 45℃)에 따

Table 1. Oxidative stability of four types of dried black soldier fly larvae samples on day 0 Day

0 day	Treatment			
	Sample A ¹	Sample B ²	Sample C ³	Sample D ⁴
DPPH (%)	85.93	74.52	61.65	80.41
TBA value (mg/MD/g)	292.86	347.92	316.16	122.92
KOH value (mg/KOH/g)	0.99	0.78	83.30	6.48

¹Sample A means indirect thermal drying²Sample B means microwave drying³Sample C means freeze-drying⁴Sample D means hot air drying**Table 2.** Oxidative stability of four types of dried black soldier fly larvae samples over a 7-day storage period

7 day		Treatment			
		Sample A ¹	Sample B ²	Sample C ³	Sample D ⁴
DPPH (%)	25℃	50.53	78.64	69.86	38.96
	45℃	47.88	66.10	69.82	38.67
TBA value (mg/MD/g)	25℃	74.42	84.97	59.21	58.91
	45℃	91.36	91.64	64.48	36.75
KOH value (mg/KOH/g)	25℃	1.08	1.09	91.06	8.15
	45℃	1.11	1.20	84.57	9.44

¹Sample A means indirect thermal drying²Sample B means microwave drying³Sample C means freeze-drying⁴Sample D means hot air drying

라 동결건조법이 안정적인 값을 보였다. 이는 다양한 전처리 방법을 이용하여 갈색거저리 유충의 DPPH를 측정했을 때 동결건조로 처리한 실험구에서 가장 높은 값을 나타낸 Baek et al. (2019) 연구 결과를 뒷받침한다. 그러나 열풍건조법은 저장기간과 온도 변화에 따라 DPPH radical scavenging이 가장 크게 감소되었다. 특히, 온도를 25℃에 적용했을 때 보다 간접 열건조법과 마이크로웨이브 건조법은 DPPH radical scavenging이 45℃에서 감소되는 것으로 나타나 항산화 활성이 감소되어 건조방법 중 중간 정도의 DPPH radical scavenging를 나타낸 것으로 판단된다. TBA는 온도를 달리 했을 때 45℃에서 열풍건조법을 제외하고 모든 건조법에서 증가하였다.

가장 중요한 관점은 25℃에서는 동결건조법과 열풍건조법이 TBA가 비슷한 수준으로 가장 낮았고 간접 열건조법이 중간 수준 그리고 마이크로웨이브 건조법

이 TBA가 가장 높았다. 추가적으로 Table 1과 Table 2의 결과를 종합하면 동결건조법이 낮은 온도 환경에서 수분을 제거하므로 열에 의한 지질 손상이 최소화할 뿐만 아니라 산화 효소의 활성이 억제하기 때문에 좋은 건조법으로 판단된다(Hurtado-Ribeira et al., 2023). 특히 온도를 높여 일정 기간 저장하는 것은 TBA 값이 증가되어 산화 안정성에 영향을 주는 것으로 나타나 항산화 활성이 낮아지는 것을 알 수 있다.

산가는 산화 안정도를 나타내는 지표로 이 값이 높을수록 변질된 것으로 본 연구에서는 간접 열건조법, 마이크로웨이브 건조법 및 열풍건조법은 저장기간 온도조건에 따라 산가에 아무런 변화가 없었다. 그러나 동결처리법은 가장 높은 산가를 보여 산화 안정성에 큰 변화를 주는 것으로 나타나 인과관계를 밝히는 추후 연구가 필요하다.

4. 결론

본 연구는 간접 열, 마이크로웨이브, 동결건조, 열풍건조(4가지) 방법으로 동애등에 유충을 건조 후에 저장 온도와 기간에 따른 산화 안정성 영향에 대한 연구를 수행하였다. 0일에 측정된 이들 값을 기준으로 7 일간의 저장기간과 온도 차이에 따라 동애등에 유충의 산화 안정성 평가는 다른 건조방법보다 동결건조법이 낮은 온도 환경에서 수분을 제거하므로 열에 의한 지질 손상이 최소화할 뿐만 아니라 산화 효소의 활성이 억제되기 때문에 항산화 능력이 향상되어 좋은 건조법으로 판단된다. 그러나 이 건조법은 가장 높은 산가를 보여 산화 안정성에 큰 변화를 주는 것으로 나타나 향후 연구를 통해 구명할 필요성이 있다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(연구개발과제명: 동물사료 활용을 위한 동애등에 가공기술 개발 및 사료 적용성 평가, RS-2024-00398491)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

Baek, M. H., Kim, M. A., Kwon, Y. S., Hwang, J. S., Goo, T. W., Jun, M. R., Yun, E. Y., 2019, Effects of processing methods on nutritional composition and antioxidant activity of mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae, *Entomol. Res.*, 49, 285-294.

Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., Loon, J. J. A. V., 2017, Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed - a review, *J. Insects Food Feed*, 3, 105-120.

Bogusz, R., Bryś, J., Onopiuk, A., Rybak, K., Witrowa-Rajchert, D., Nowacka, M., 2023, Effect of pulsed electric field technology on the composition and bioactive compounds of black soldier fly larvae dried with convective and infrared-convective methods, *Molecules*, 28, 8121.

Hurtado-Ribeira, R., Hernández, D. M., Villanueva-Bermejo, D., García-Risco, M. R., Hernández, M. D., Vázquez, L., Fornari, T., Martin, D., 2023, The interaction of slaughtering, drying, and defatting methods differently affects oxidative quality of the fat from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae, *Insects*, 14, 368.

Hyun, J. Y., Nam, J. H., Chun, J. Y., 2023, Quality characteristics of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) powder with various drying method, *Food Eng. Prog.*, 27, 120-128.

Korea Food Drug Administration, 2015, Food code, Korean Foods Industry Association, Seoul, Korea.

Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R. A. P., Paengkoum, P., 2022, Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: A Review, *Insects*, 13, 831.

Oh, J., Kim, H., Park, K., Kim, B. G., 2024, Drying methods for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as a feed ingredient for pigs affect in vitro nutrient disappearance, *Agri.*, 14, 1792.

Saucier, L., M'ballou, C., Ratti, C., Deschamps, M., Lebeuf, Y., Vandenberg, G. W., 2022, Comparison of black soldier fly larvae pre-treatments and drying techniques on the microbial load and physico-chemical characteristics, *J. Insects Food Feed*, 8, 45-64.

Sharma, O. P., Bhat, T. K., 2009, DPPH antioxidant assay revisited, *Food Chem.*, 113, 1202-1205.

Somparn, N., Pootthachaya, P., Puangsap, W., Pintaphrom, N., Srikha, T., Tengjaroenkul, B., Cherdthong, A., Wongtangintharn, S., 2024, Evaluation of black soldier fly larvae oil as a feed ingredient for broiler chickens: Effects on performance, carcass traits, meat characteristics, and blood parameters, *Front. Anim. Sci.*, 5, 1496763.

Surendra, K. C., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L. H. L., Khanal, S. K., 2020, Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF), *Waste Manag.*, 117, 58-80.

Vandeweyer, D., Lachi, D., Geheniau, H., Goovaerts, V., van der Zweep, P., Groffils, C., Thijs, M., Van Der Borght, M., 2024, Dielectric drying of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*): Impact on microbiological product quality, safety and stability, *J. Insects Food Feed*, 11, 21-31.

Wang, Y. S., Shelomi, M., 2017, Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food, *Foods*, 6, 91.

Witte, V. C., Krause, G. F., Bailey, M. E., 1970, A New extraction for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage, *J. Food Sci.*, 35, 582-585.

-
- Researcher. Bonwoo Koo
Department of Agricultural Biology, National Institute
of Agricultural Sciences
bonwoo9@korea.kr
 - Researcher. Young Uk Park
Insect Research Institute, Chungbuk Agricultural

-
- Research and Extension Services
papark1@korea.kr
 - Senior Researcher. Kwanho Park
Department of Agricultural Biology, National Institute
of Agricultural Sciences
nicegano@korea.kr