

저장 조건이 동결건조 누에의 보관 안정성에 미치는 효과

예상진[†] · 정동진[†] · 김민석 · 백무열*

경희대학교 식품생명공학과 생명자원과학연구원

Effects of Storage Conditions on Shelf Stability of Freeze-dried Silkworm

Sang-Jin Ye[†], Dong-Jin Jung[†], Min-Seok Kim, and Moo-Yeol Baik*

Department of Food Science and Biotechnology, Institute of Life Science and Resources, Kyung Hee University

Abstract

Silkworms have been developed for food and medicinal purposes, and several silkworm products are commercially available. However, there has been no research on their shelf stability. This study investigated the shelf stability of freeze-dried silkworms during storage at various temperature and humidity conditions, using three lipid oxidation indicators: peroxide, acid, and TBA value. The higher the temperature and relative humidity are, the more significant the three lipid oxidation indicators increase. Among these indicators, the TBA and peroxide values show the highest temperature dependence and humidity dependence, respectively. This study could contribute to the standardization of the shelf life of products made from freeze-dried silkworms.

Keywords: Silkworm, storage condition, shelf life, fatty acid oxidation indicators

서 론

누에(*Bombyx Mori L.*)는 누에치기와 뽕치기 가공 과정을 통해 고치실을 생산하며 이는 견직물의 원료가 된다. 누에가 비단의 원료로 사용된 최초의 역사는 기원전 2600년에서 2700년 사이에 중국에서 기록되었다(Rahmathulla, 2012). 국내에서는 기원전 1000년경 중국에서 잠종을 들여와 양잠과 방직을 시작했다는 기록이 있다(Kim & Koh, 2022). 이후 우리나라의 잠업은 정국 혼란 및 한국전쟁으로 인하여 쇠퇴하다가 1953년부터 강력한 장려정책으로 산업을 확장하고, 1980년대까지는 국가 주요산업으로 발전해왔다. 누에가 고치를 짓기 위해서는 온화한 기온이 요구되는데, 연중 온화한 기후인 동남아시아에는 1년 내내 채취가 가능한 반면 우리나라에서는 봄과 가을에 2번 한정된 시기에만 채취를 할 수 있다. 이러한 상황으로 인해 국내에서 생산되는 양잠 산물의 가격 및 시장 경쟁력이 매우 떨어지게 되었다. 이렇게 누에고치와 견사의 수출 감소로 인한 양잠산업이 위축되었고, 이를 해결하기 위해 식용 및 약리용을 목적으로 하는 기능성 양잠산업으로 변화하게 되었다(Kim & Koh, 2022).

었다(Kim & Koh, 2022).

아시아 지역에서는 오래전부터 누에나 번데기를 식용으로 이용해왔고 이들의 영양적 가치에 대해서도 다양한 연구가 진행되어왔다(Mishra et al., 2003; Tomotake et al., 2010). 또한, 우리나라에서도 약리적인 특성으로 실크 단백질은 간 손상 및 파킨슨병을 예방하고 혈압 및 당뇨병성 고혈당증을 감소시키는 효능에 관한 연구를 비롯하여(Hyun et al., 2004; Igarashi et al., 2006; Tabunoki et al., 2013), 누에의 성장 단계별 다양한 건강 증진 효과에 대한 연구(Kim & Koh, 2022) 등 다양한 누에의 기능성을 목적으로 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 약리 목적의 누에는 살아있는 상태의 5령 7-8일 누에를 사용하는데, 이를 100°C 수증기로 2시간 동안 찐 후 동결 건조하여 만든 것을 홍잠이라고 칭한다. 홍잠 제조에 사용되는 누에는 숙잠(mature silkworms)으로 누에가 다 자라 고치를 짓기 직전의 누에, 즉 몸 속에 단백질 성분의 견사선이 가득 찬 누에를 말한다(Kang et al., 2001). 이때 누에의 영양성분 유지와 저장성을 위해 건조상태로 만들게 되는데 이때 열풍 건조 처리를 하면 누에 몸속의 견사단백질이 섭취가 불가능 할 정도로 물성이 경화되는 특성이 있다(Ryu, 1997). 이러한 단점을 해결하기 위해, 냉동누에, 동결건조누에 및 생누에 상태로 분류하여 찌고 건조하여 견사단백질의 연화를 확인하는 연구가 진행되었다(Ji et al., 2015). 또한 다양한 전처리를 통해 누에의 일반성분 변화와 기능성 변화에 대한 연구도 진행되었다(Hwang & Kim, 2020). 최근에는

*Corresponding author: Moo-Yeol Baik, Department of Food Science and Biotechnology Kyung Hee University, Yongin 17104, South Korea
Tel: +82-31-201-2625; Fax: +82-31-204-8116
E-mail: mooyeol@khu.ac.kr

[†]Authors equally contributed to the current work.

Received August 7, 2023; revised November 13, 2023; accepted November 13, 2023

높은 온도에서 찢 후 동결건조와 분쇄 공정을 거쳐 파우더 형태로 만들어진 제품들이 시판 중에 있다. 이렇게 식용 및 약리용으로 변화된 양잠산업에서, 동결건조 누에 제품은 지속적으로 소비되고 있지만 이들의 저장 조건에 따른 특성변화와 관련된 보고는 전무하다.

특히, 동결건조 누에는 지방 함량이 약 26%로 다른 건조 곤충 거저리(*Tenebrio molitor*) 13%나 귀뚜라미(*Gryllus bimaculatus*) 18%에 비해 비교적 지방함량이 높다(Kim et al., 2015; Kim et al., 2020b). 이와 같이 높은 지방함량으로 인해, 불포화지방산의 산화로부터 발생하는 이미 및 이취에 취약함에도 불구하고 누에의 저장조건에 따른 특성변화에 대한 연구는 전혀 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 동결 건조 누에의 기능성 식품산업에서 저장 조건 설정에 기여하고자 하였으며, 분말 형태의 식용 곤충 제품의 저장성 연구 범위를 확장시키는 데에도 도움을 주기 위하여 진행하였다. 또한 다양한 조건의 온도와 습도에 따른 저장 중 품질의 변화를 연구하여 홍잠의 저장 조건에 따른 특성변화 정보를 제공한다.

재료 및 방법

재료

본 실험에서 사용된 누에는 2020년 5월 5일 7-8일 시기의 누에(대황잠)를 수확하였다. 이를 2시간 동안 증숙 후, 동결건조 한 시료를 경상북도 양덕군 태양농장에서 구입해 실험에 사용하였다. 동결건조 누에의 외관은 Fig. 1에 제시하였으며, 농촌진흥청이 제공한 동결건조 누에(대황잠)의 일반성분은 Table 1에 나타내었다. 실험에 사용된 모든 시약은 분석용 등급이었다.



Fig. 1. Appearance of freeze-dried silkworm (Dae-hwang silkworm).

Table 1. Proximate composition of the freeze-dried silkworm

Composition (g/100 g freeze dried silkworm)	
Energy (kcal)	482
Moisture	9.8
Protein	50.85
Fat	26.53
Ash	2.81
Carbohydrate	10.06

시료의 저장

동결 건조된 누에는 빛의 투과를 막기 위하여 알루미늄이 포함된 불투명 플라스틱 파우치로 포장하였다. 온도에 따른 저장안정성의 경우, 시료를 각각 5°C 냉장실과 25°C, 35°C, 45°C로 온도가 고정된 항온기(HB-501M, Hanbaek Scientific Co., Bucheon, Korea)에 넣고 5°C, 25°C 조건에서는 16주, 35°C, 45°C 조건에서는 8주간 저장하였다. 45°C에 보관한 시료는 1주 간격, 35°C 시료는 2주 간격, 5°C, 25°C에 보관한 시료는 4주 간격으로 지방 산화와 관련된 지표들의 변화를 측정하였다. 습도에 따른 저장안정성의 경우, 문헌(Federici et al., 2021)을 참고하여 일부 변형하였다. 동결건조된 누에를 칭량 접시 안에 넣고 상대습도 11.3, 57.6, 81.0%로 조절된 포화 염 용액 데시케이터 안에서 4주간 저장하였다. 이 때 데시케이터를 25°C로 온도를 고정하였고, 각각의 시료들은 모두 1주 간격으로 지방 산화와 지표들의 변화를 측정하였다.

과산화물가

과산화물가 측정은 식품의약품안전처 식품공전의 식품성분 시험법에 따라 수행하였다(Food Code, 2021). 시료 5g에 초산:클로로포름(3:2, v/v) 25 mL를 가하여 혼합 후 포화요오드화칼륨용액 1 mL을 섞은 다음 암소에서 10분간 반응시키고 증류수 30 mL를 넣고 교반하였다. 전분용액 1 mL을 지시약으로 하여 0.01 N 티오황산나트륨 용액으로 적정하고 아래의 식으로 과산화물가를 계산하였다.

$$\text{과산화물가(meq/kg)} = (a - b) \times f \times 10 \times (1/s)$$

a: 0.01 N 티오황산나트륨 용액의 소비량(mL)

b: 공시험의 0.01 N 티오황산나트륨 용액의 소비량(mL)

f: 0.01 N 티오황산나트륨 용액의 역가(= 1.0)

s: 시료의 채취량(g)

산가

산가 측정은 식품의약품안전처 식품공전의 식품성분시험법에 따라 수행하였다(Food Code, 2021). 분석시료 10g을 마개 달린 삼각 플라스크에 취한 후, 에탄올:에테르혼합액(1:2, v/v) 100 mL를 넣고 용해시킨다. 이를 페놀프탈레인 용액을 지시약으로 하고 엷은 홍색이 30초간 지속할 때까지 0.1 N 에탄올성수산화칼륨 용액으로 적정하고 아래의

식으로 산가를 계산하였다.

$$\text{산가(mg/g)} = 5.611 \times (a - b) \times f \times (1/s)$$

- a: 검체에 대한 0.1 N 에탄올성수산화칼륨 용액의 소비량 (mL)
- b: 공시험[에탄올: 에테르혼액(1:2) 100 mL]에 대한 0.1 N 에탄올성수산화칼륨 용액의 소비량(mL)
- f: 0.1 N 에탄올성수산화칼륨 용액의 역가(= 1.0)
- s: 시료의 채취량(g)

TBA (2-Thiobarbituric acid) value

TBA value 측정은 AOCS 측정법에 따라 수행하였다 (AOCS Official Method cd 19-90, 1997). TBA (2-thiobarbituric acid reactive substances) 시액은 티오바르비탈산(2-Thiobarbituric acid) 200 mg을 95% 부탄올 100 mL에 용해시킨 다음 3200 rpm에서 10분간 원심분리 후 상등액만을 꺼내 사용하였고, 검액은 검체 20 g을 균질하게 마쇄하여 4°C로 냉각된 물 50 mL를 가해 30분간 교반 추출 후 Whatman No. 1 여과지(Appleton Woods Ltd., Birmingham, UK)로 여과한 후 여과하고, 여지의 가벽을 씻어 내리면서 물을 가하여 100 mL로 한 것으로 사용하였다. 검액 중 5.0 mL를 취하여 TBA 시액 5.0 mL와 섞은 후 syringe filter로 여과하고 시험관으로 옮겨 95°C 암소에서 2시간 방치하였고, 분광광도계(Thermo scientific, Fiji, Finland)로 530 nm에서 흡광도를 측정하였다. 그 후 시료의 흡광도 값에 따라 TBA 값으로 환산하여 나타내었다.

$$\text{TBA가} = 50 \times (A - B)/M$$

- A: 검액의 흡광도
- B: 공시험의 흡광도
- M: 검체채취량(g)

지방산화 지표들의 온도 및 습도 의존성 분석

지방산화 지표들의 온도 및 습도 의존성 분석은 Baik et al. (2005)와 Sasongko et al. (2020)의 연구에서 사용한 분석법을 변형하여 진행하였다. 온도 및 습도조건에 따른 저장 중 품질 변화를 Arrhenius 식을 사용하여 분석하였다. 측정된 과산화물가, 산가 및 TBA 값 모두 1차 반응으로 가정하여 아래의 식으로부터 직선의 기울기를 구하고, 그 값들로 반응속도 상수(k)를 구하였다.

$$\ln C = \ln C_0 + kt$$

- C = measurements at time at t
- C₀ = measurements at time at t₀
- k = rate constant
- t = storage time (week)

온도 및 습도의 영향을 알아보기 위하여 Arrhenius 식을

사용하여 1차 선형회귀분석법으로 분석하였다.

온도의 영향에서는 1/T(절대온도)를 x 축으로 하고 ln k (반응속도상수)를 y 축으로 하였고, 습도의 영향에서는 1/A_w (상대습도)를 x 축으로 하고 ln k(반응속도상수)를 y 축으로 하였다. 각각의 조건에서 얻어지는 직선의 기울기로부터 아래의 식을 이용하여 활성화 에너지를 구하였으며, 지방산화 지표 성분들의 온도 및 습도 의존성을 분석하였다.

$$E_a = \text{Slope} \times R$$

E_a = activation energy (온도 및 습도의 함수)

R = gas constant (1.986 cal/mol K)

온도 의존성을 알아보기 위한 Q₁₀ 값은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\ln Q_{10} = 10 \times E_a/R \times T (T + 10)$$

Q₁₀ = Q₁₀-value

E_a = activation energy

R = gas constant

통계분석

모든 실험결과는 3회 반복 측정하여 평균치±표준편차로 나타냈으며, SAS software (version 3.2, SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 평균과 표준편차를 구하였다. 평균들 간 차이의 유의성 분석(p<0.05)은 Duncan의 다중검정법(Duncan's multiple range test)을 이용하였다.

결 과

과산화물가

동결건조 누에를 4가지 온도조건에서 16주간 저장하였을 때 과산화물가의 변화량을 Fig. 2에 나타내었다. 과산화물가는 시료에 요오드화칼륨을 가하여 유리되는 요오드를 티

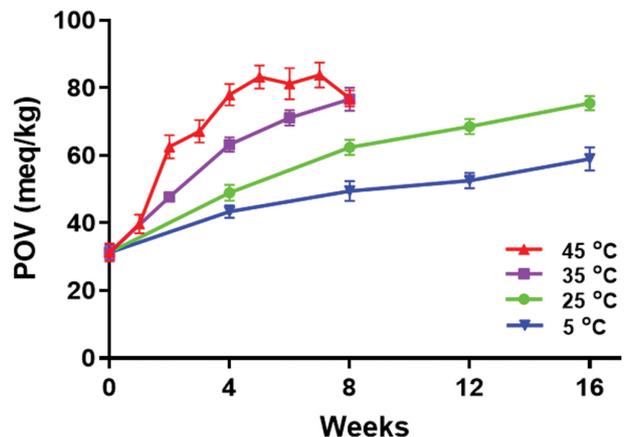


Fig. 2. Changes in peroxide value of freeze dried silkworm at various temperatures.

오황산나트륨으로 표정하여 시료 1 kg에 대한 밀리당량수로 나타낸 것을 말하며, 지방산화 초기단계의 산패의 척도가 된다(Food Code, 2021). 온도조건이 다른 가속 저장조건에서는 저장기간에 따라 과산화물가가 비례하여 급격하게 변한다(Yang et al., 2019). 마찬가지로 5°C, 25°C, 35°C 조건에서는 저장기간이 증가할수록 과산화물가의 값이 증가하는 경향을 보였으며, 온도가 높은 저장조건일수록 값이 더 빠르게 증가하였다. 한편 45°C에서 저장한 경우 39.67±0.14 meq/kg(1주차)에서 62.52±0.62 meq/kg(2주차)으로 가파른 변화를 볼 수 있었으며, 5주차 이후부터는 감소하는 경향을 나타내었다. 산화의 초기 단계에서 과산화물은 생성속도가 감소속도보다 크므로 과산화물가는 산화가 진행됨에 따라 같이 증가한다(Park et al., 2019). 하지만 본 연구에서는 시간이 지나 과산화물이 축적되면 과산화물의 생성속도보다 분해속도가 더 커지는 특성 때문에 측정하였을 때 값이 감소하여 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.

동결건조 누에를 3가지 상대습도조건에서 4주간 저장하였을 때 과산화물가의 변화량을 Fig. 3에 나타냈다. 낮은 상대습도(11.3% RH) 조건에서 저장한 시료의 과산화물가의 증가가 가장 낮았으며, 상대습도가 높아질수록 과산화물가의 증가가 더 높았다.

Kim et al. (2020a)는 상대습도가 높을수록 peroxidase (POD) 활성이 증가한다고 보고하였다. 수분활성도의 감소는 효소활성을 감소시키며, 일정수준 이하의 수분활성도는 수분이 효소 및 화학반응을 일으키는 용매로써 작용할 수 없게 한다(Lavelli & Vantaggi, 2009). 더 높은 상대습도에서 과산화물가가 더 많이 생성되고 동시에 높은 상대습도로 인해 peroxidase (POD) 활성이 증가하면서 과산화물의 분해가 활발히 일어났다고 가정한다면, 결과에서 나타난 POV 값보다 더 높은 과산화물의 생성이 일어났다고 볼 수 있다.

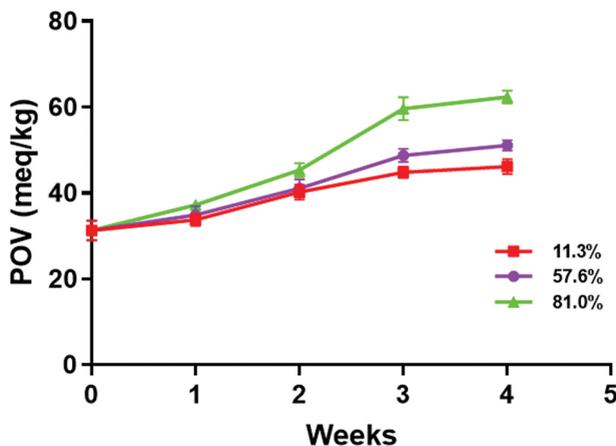


Fig. 3. Changes in peroxide value of freeze dried silkworm at various relative humidities.

25°C 온도조건에서 4주간 저장하였을 때의 POV 값은 48.92±1.62 meq/kg이었고, 이때 상대습도는 28.0% RH로 측정되었다. 57.6% RH 습도조건(25°C)에서 4주간 저장하였을 때의 값은 51.12±1.2 meq/kg이었다. 두 값의 차이는 거의 없었으므로 동결건조 누에의 저장 중 과산화물가의 변화는 습도의 변화보다 비교적 온도의 변화에 더 민감하다는 결과를 확인할 수 있었다.

산가

산가는 유지 및 유지를 함유한 식품의 품질 판정에 필요한 함수이며, 특히 유지의 산패 정도를 나타내는 기준이 된다(Choi et al., 2019). 동결건조 누에를 4가지 온도조건에서 16주간 저장하였을 때 산가의 변화량을 Fig. 4에 나타냈다. 저장 중 산가의 변화는 pH 변화와 마찬가지로 부패 현상을 측정하는 지표로서 유용한 수단이며 미생물의 발육에 의해 생성되는 산을 측정함으로써 더욱 정확하게 부패 여부를 판정할 수 있다(Food Code, 2021). 본 연구에서는 조건에 따른 산화안정성을 평가하고자 유지에 함유된 유리지방산을 측정하여 산패 정도를 파악하는 산가를 측정하였다(Yen & Shyu, 1989). 전반적으로 저장기간이 길어질수록 산가가 증가하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4). 모든 온도 조건에서 저장기간이 증가할수록 산가가 증가하는 경향을 보였으며, 온도가 높은 조건일수록 산가가 더 가파르게 증가하였다. 이는 갈색거지리 유충 분말 저장 중 온도가 높을수록 산가가 높아진다는 연구결과와 일치했고 저장 온도가 높아짐에 따라 지질에 대한 화학적인 변화가 촉진된다고 설명하였다(Son & Hwang, 2017).

동결건조 누에를 3가지 습도조건에서 4주간 저장하였을 때 산가의 변화량을 Fig. 5에 나타냈다. 상대습도 조건 11.3% RH와 57.6% RH에서 저장하였을 때는 산가가 유의적으로 증가했지만, 두 상대습도 사이의 차이는 거의 없었으며, 81.0% RH 조건에서 저장하였을 때는 산가가 가파르

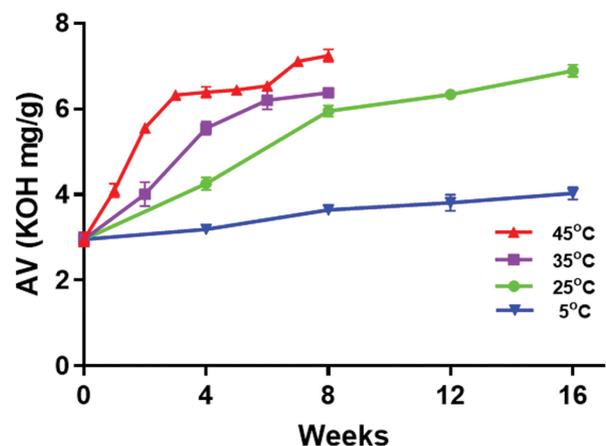


Fig. 4. Changes in acid value of freeze-dried silkworm at various temperatures.

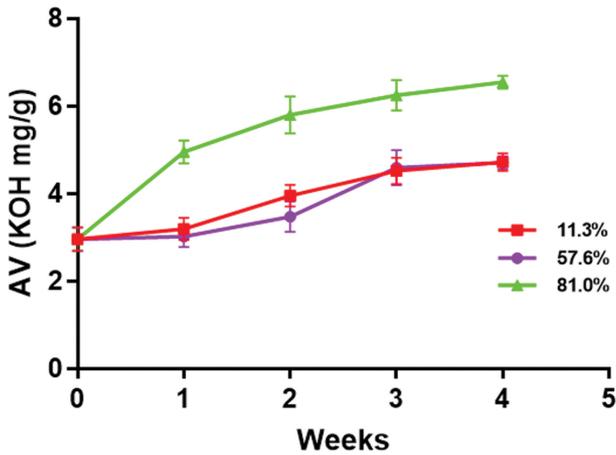


Fig. 5. Changes in acid value of freeze-dried silkworm at various relative humidities.

게 상승하는 경향을 나타내었다. 산가의 축진은 지질의 산화에 의한 2차적인 유리지방산의 생성 또는 지질분해효소에 의한 지질 분해로 유리지방산의 생성이 가능하다 (Kardash & Tur'yan, 2005). 높은 상대 습도는 지질분해 효소의 활성을 증가시켰을 수 있고 또한 높은 수분활성도 조건에서 수분은 효소 및 화학반응을 일으키는 용매로써 작용을 촉진할 수 있다(Lavelli & Vantaggi, 2009). 따라서 상대적으로 높은 상대습도에서 저장할수록 산가의 증가가 빨라지므로, 적절한 상대습도에서 저장하는 것이 지방 산패 저해에 더 기여한다는 것을 확인할 수 있었다.

TBA (2-thiobarbituric acid) value

동결건조 누에를 4가지 온도조건에서 16주간 저장하였을 때 TBA 값의 변화량을 Fig. 6에 나타내었다. TBA는 2차 산화화합물인 말론알데히드와 티오바르비투르산 용액을 가열하면 적색이 나타나는 것을 이용한 비색정량방법으로, 색이 진할수록 말론알데히드가 많아지는 것을 이야기하며,

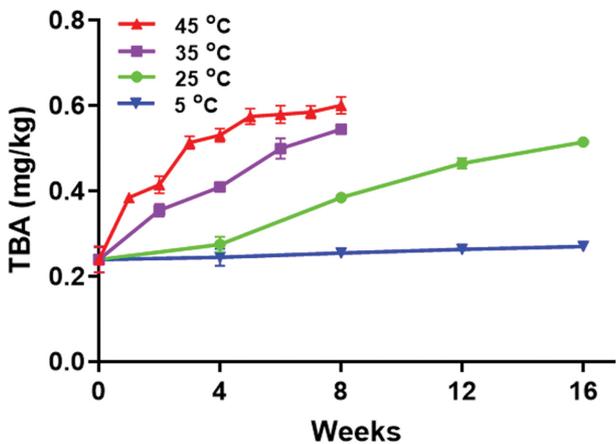


Fig. 6. Changes in TBA values of freeze-dried silkworm at various temperatures.

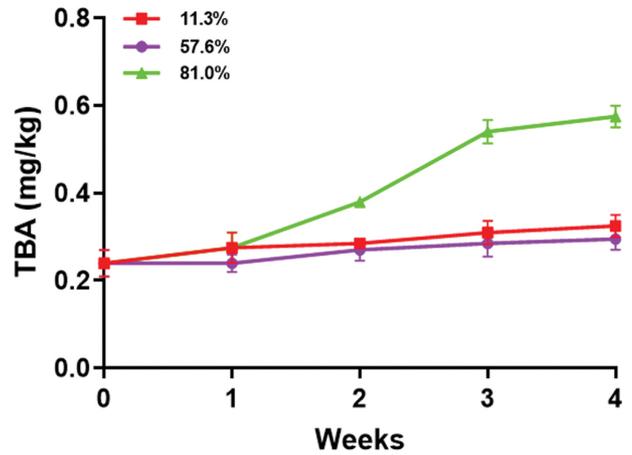


Fig. 7. Changes in TBA values of freeze-dried silkworm at various relative humidities.

단백질 급원 식품인 곤충 식품에서의 지질 산화지표로 많이 사용되고 있다(Guillen-Sans & Guzman-Chozas, 1998). 과산화물가 및 산가와 마찬가지로 저장기간이 길어질수록 TBA 값이 증가하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 6). 높은 온도에서 저장할수록 TBA 값이 보다 빠르게 증가하였으며, 5°C 냉장고에서 저장한 시료는 16주 동안 TBA 값에는 차이가 없었다.

동결건조 누에를 3가지 상대습도조건에서 4주간 저장하였을 때 TBA 값의 변화량을 Fig. 7에 나타냈다. 상대습도 조건 11.3% RH와 57.6% RH에서 저장하였을 때 습도차이에 따른 TBA 값은 차이가 거의 없었으며, 81.0% RH 조건에서 저장하였을 때는 산가와 마찬가지로 가파른 증가 경향을 나타내었다. 따라서 상대적으로 높은 상대습도에서 저장할수록 산가와 마찬가지로 TBA 값의 증가가 빨라지므로, 적절한 상대습도에서 저장하는 것이 TBA 값의 증가를 늦추는데 중요하다는 것을 확인할 수 있었다.

온도 및 습도의존성 규명 및 지방산화 지표들의 Q₁₀ value

3가지 지방산화 지표로 온도 의존성을 파악하고자 Arrhenius 식을 이용하였으며, Arrhenius plot으로부터 기울기를 구하였고 그 값을 통해 계산된 3가지의 지표들의 활성화 에너지 값과 그에 따른 Q₁₀ 값을 구하였다. 과산화물가, 산가 및 TBA 값으로 나타낸 Arrhenius plot을 Fig. 8에 제시하였다. 이때 구해진 Arrhenius plot에서 과산화물가, 산가 및 TBA 값의 slope 값은 각각 -3020, -5347, -7850으로 TBA 값의 기울기가 가장 컸으며, 그 값으로 계산된 3가지 지방산화 지표의 활성화 에너지(E_a) 값과 Q₁₀ value를 Table 2에 제시하였다. Arrhenius plot에서 모든 지표들의 반응 속도가 직선적으로 나타나며, 각각의 Q₁₀ value는 1.386, 1.784, 2.124로 계산되었다. 결과적으로 TBA 값의 Q₁₀ value가 가장 큰 것으로 나타나, TBA 값이 3가지 지방산화의 지표들 중에 온도 의존성이 가장 크다는 것을 확

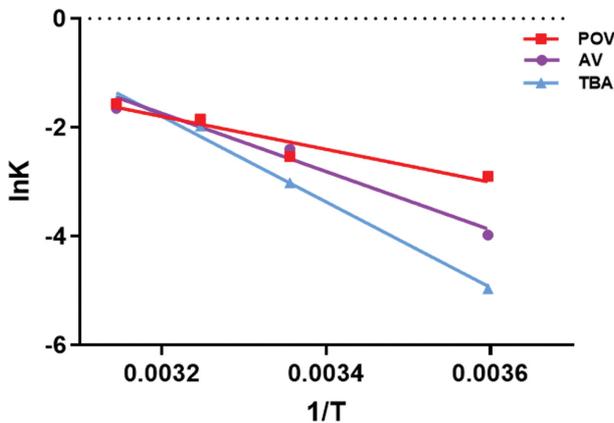


Fig. 8. Temperature dependences of the apparent reaction rate constant for peroxide value, acid value and TBA value of freeze-dried silkworm.

Table 2. Activation energies, average Q_{10} for three quality factors of freeze-dried silkworm

Quality factors	E_a (cal/mol K)	Average Q_{10}
Peroxide value	5997.72	1.386
Acid value	10619.1	1.784
TBA	15590.1	2.124

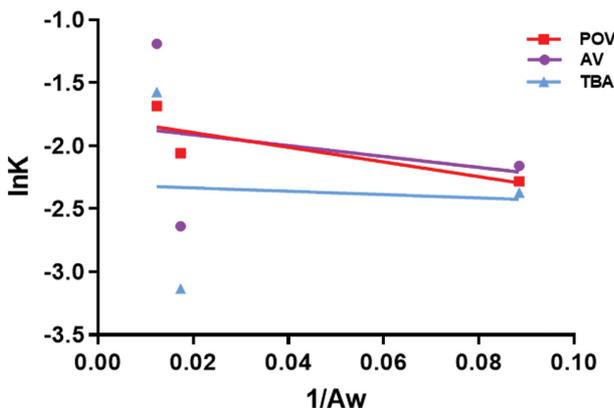


Fig. 9. Water Activity dependences of the apparent reaction rate constant for peroxide value, acid value and TBA of freeze-dried silkworm.

인할 수 있었다.

습도 의존성을 파악하고자 계산된 Arrhenius plot을 Fig. 9에 나타내었다. 각각의 slope 값을 비교했을 때, 습도의존성이 가장 큰 지표는 과산화물가로 확인되었다. 낮은 습도에서 저장할수록 그리고 균일한 수분 분포를 가질수록 지방산화가 느리게 진행된다고 예측되는데, 본 연구에서도 유사하게 지방 산화를 지연시키기 위해서는 적절한 낮은 습도가 요구된다는 결론을 도출하였다. 하지만 습도에 따른 Q_{10} 값은 적정습도 이하에서는 지표 값들의 차이가 거의 없어 예측이 어려웠다.

결론적으로 동결건조누에의 저장수명은 온도와 습도에 큰 영향을 받으며, 온도의 변화에 따른 의존성은 TBA 값이 가장 컸으며, 습도의 변화에 따른 의존성은 과산화물가가 가장 큰 것으로 나타났다. 본 연구결과는 지방함량이 높은 동결건조 누에 제품의 저장 조건에 대한 지방 산패 특성 변화에 대한 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

요 약

동결건조 처리된 누에의 온도와 습도에 따른 저장평가를 시행하여 그에 따른 Peroxide value, Acid value, 그리고 TBA 값을 측정하였다. 지방 산패 지표 값 모두에서 45°C 온도에서 저장한 시료가 가장 높은 값을 띄었으며 낮은 온도에서 저장한 시료일수록 값의 증가폭이 적었다. 모든 시료들은 저장기간이 길어질수록, 지표 값들이 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 시료의 지방 산화가 진행될수록 각 지표들의 값이 증가하는 특성으로, 예상한 결과에 부합했다. 습도 조건에서는 세 가지 지표 모두 높은 습도에서 저장한 시료의 값이 더 빨리 증가하는 경향을 띄었으며, 가장 습도의존성이 높은 지표는 Peroxide value였다. Acid value 값과 TBA에서는 57.6% 상대습도 이하일 경우 저장한 시료의 지표값 차이가 거의 없었으므로, 지방산화를 지연시키기 위해서는 적절한 낮은 습도가 요구된다는 결론을 도출하였다. 온도조건에서 3가지 지방산화지표의 값들로 Arrhenius plot을 계산해 각 지표들의 활성화 에너지(E_a)와 Q_{10} 값을 구하였다. 그때 TBA의 Q_{10} value가 2.124로 가장 높았으며, 온도의존성이 가장 높은 지표로 설정되었다. 본 연구결과는 추후에 제조되는 동결건조 누에 식품 등의 저장조건에 따른 지방 산패 관련 표준지표를 찾는 연구의 기초 데이터로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국농업기술진흥원 농업실용화기술지원과제 (과제번호: SA00016446)의 지원으로 진행되었음.

References

- AOCS Official Method cd 19-90. 1997. 2-Thiobarbituric Acid Value Direct Method, American Oil Chemists' Society.
- Baik E-K, Seo Y-K, Lee G, Lee D-U, Park S-J, Lee J-H, Lee K-P, Kim D-S, Hur N-Y, Baik M-Y. 2005. Quality factor determination and shelf-life prediction of emulsified ginseng drink. Korean J. Food Sci. Technol. 37(4): 597-602.
- Choi H, Woo S, Kim S, Bang K, Choi H, Moon H, Han S. 2019. Analysis of oxidative stability in drone pupae (*Apis mellifera* L.). J. Apic. 34: 63-66.
- Federici E, Gentilucci V, Bernini V, Vittadini E, Pellegrini N.

2021. Ready to eat shelf-stable brown rice in pouches: effect of moisture content on product's quality and stability. *Eur. Food Res. Technol.* 247: 2677-2685.
- Food Code No.2021-54 2021 Ministry of Food and Drug Safety, Korea, 62-63, 65, 268.
- Guillen-Sans R, Guzman-Chozas M. 1998. The thiobarbituric acid (TBA) reaction in foods: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 38(4): 315-350.
- Hwang S, Kim G. 2020. A study on quality characteristics of silkworm (*Bombyx mori* L.) by various pretreatment methods. *Culin. Sci. Hosp. Res.* 26: 149-161.
- Hyun C-K, Kim I-Y, Frost SC. 2004. Soluble fibroin enhances insulin sensitivity and glucose metabolism in 3T3-L1 adipocytes. *J. Nutr.* 134(12): 3257-3263.
- Igarashi K, Yoshioka K, Mizutani K, Miyakoshi M, Murakami T, Akizawa T. 2006. Blood pressure-depressing activity of a peptide derived from silkworm fibroin in spontaneously hypertensive rats. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 70(2): 517-520.
- Ji S-D, Kim N-S, Lee J-Y, Kim M-J, Kweon H, Sung G, Kang P-D, Kim K-Y. 2015. Development of processing technology for edible mature silkworm. *J. Seric. Entomol. Sci.* 53(1): 38-43.
- Kang P-D, Kim K-M, Sohn B-H, Lee S-U, Woo S-O, Hong S-J. 2001. Breeding ova new silkworm variety, Chunsujam, with a high silk yielding for spring rearing season. *Int. J. Ind. Entomol.* 2(1): 65-68.
- Kardash E, Tur'yan YI. 2005. Acid value determination in vegetable oils by indirect titration in aqueous-alcohol media. *Croat. Chem. Acta* 78(1): 99-103.
- Kim A-N, Lee K-Y, Kang JY, Rahman MS, Heo HJ, Choi S-G. 2020a. Effect of relative humidity on the microbial and physicochemical characteristics of 'Samnamul' (*Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus*) during storage. *Korean J. Food Preserv.* 27(2): 159-169.
- Kim K-Y, Koh YH. 2022. The past, present and future of silkworm as a natural health food. *Food Sci. Indust.* 55(2): 154-165.
- Kim S-H, Kim Y, Han J-S, Kim S-H, Kim Y, Han J-S. 2020b. Antioxidant activities and nutritional components of cricket (*Gryllus bimaculatus*) powder and protein extract. *Asian J. Beauty Cosmetol.* 18(2): 163-172.
- Kim S-Y, Son Y-J, Kim S-H, Kim A-N, Lee G-Y, Hwang I-K. 2015. Studies on oxidative stability of *Tenebrio molitor* larvae during cold storage. *Korean J. Food Cook. Sci.* 31(1): 62-71.
- Lavelli V, Vantaggi C. 2009. Rate of antioxidant degradation and color variations in dehydrated apples as related to water activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(11): 4733-4738.
- Mishra N, Hazarika N, Narain K, Mahanta J. 2003. Nutritive value of non-mulberry and mulberry silkworm pupae and consumption pattern in Assam, India. *Nutr. Res.* 23(10): 1303-1311.
- Park G-Y, Kim Y-S, Kim Y-H, Shin S-W, Cho S-H, Eum K-S, Hong S-R, Yoon M-H. 2019. Omega-3 oxidation state of fish and algae oil supplements in South Korea. *J. Food Hyg. Saf.* 34(5): 480-488.
- Rahmathulla V. 2012. Management of climatic factors for successful silkworm (*Bombyx mori* L.) crop and higher silk production: a review. *Psyche: J. Entomol.* 2012.
- Ryu KS. 1997. An activity of lowering blood-glucose levels according to preparative conditions of silkworm powder. *J. Seric. Sci.* 39: 79-85.
- Sasongko SB., Hadiyanto H, Djaeni M, Perdanianti AM, Utari FD. 2020. Effects of drying temperature and relative humidity on the quality of dried onion slice. *Heliyon* 6(7).
- Son Y-J, Hwang J-Y. 2017. Physicochemical characteristics and oxidative stabilities of defatted mealworm powders under different manufacturing conditions. *J. East Asian Soc. Diet. Life* 27(2): 194-203.
- Tabunoki H, Ono H, Ode H, Ishikawa K, Kawana N, Banno Y, Shimada T, Nakamura Y, Yamamoto K, Satoh J-i. 2013. Identification of key uric acid synthesis pathway in a unique mutant silkworm *Bombyx mori* model of Parkinson's disease. *PLoS One* 8(7): e69130.
- Tomotake H, Katagiri M, Yamato M. 2010. Silkworm pupae (*Bombyx mori*) are new sources of high quality protein and lipid. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 56(6): 446-448.
- Yang J, Lee H, Kwak J, Kim Y, Jeong HS, Lee J. 2019. Oxidative stability of japonica and tongil brown rices under accelerated storage conditions. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 48(11): 1310-1316.
- Yen G-C, Shyu S-L. 1989. Oxidative stability of sesame oil prepared from sesame seed with different roasting temperatures. *Food Chem.* 31(3): 215-224.

Author Information

- 예상진:** 경희대학교 식품생명공학과 생명자원과학연구원
정동진: 경희대학교 식품생명공학과 생명자원과학연구원
김민석: 경희대학교 식품생명공학과 생명자원과학연구원
백무열: 경희대학교 식품생명공학과 생명자원과학연구원