

초분광 영상과 부분최소제곱 판별분석을 이용한 5령 3일 누에 판별

이아영, 강정숙, 임종국*, 김발금
국립농업과학원 농업공학부

Discrimination of 5th Instar 3 Day Silkworm using Hyperspectral Image and Partial Least Squares Discriminant Analysis

Ah-Yeong Lee, Jung-Sook Kang, Jong-Guk Lim*, Bal-Geum Kim
National Institute of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering

요 약 최근 양잠농가에서는 기능성 양잠산업을 개척하기 위한 노력이 이루어지고 있으며 그 중에서도 5령 3일 건조 누에는 혈당 강하에 도움을 주어 당뇨병에 탁월한 효과가 있는 것으로 밝혀졌다. 노동력 부족이 심화됨에 따라, 잠작 관리를 자동화하는 기반기술 개발에 대한 요구가 증가하고 있다. 본 연구에서는 초분광 영상 분석 기술을 이용하여 5령 3일 누에를 비파괴적으로 판별 가능한지 조사하기 위하여 수행되었다. 누에 72마리에 대해 365 nm 파장 대역의 자외선 광원에 대한 420 nm ~ 730 nm 영역의 초분광 형광 영상을 5령 1일부터 5령 5일까지 5일간 측정하였으며, 설정한 관심영역으로부터 평균 스펙트럼을 획득하였다. 추출된 평균 스펙트럼에 대해서는 9가지 전처리(MSC, SNV, Smoothing, Baseline offset, Mean/Max/Range normalization, 1st/2nd derivatives)를 수행하였다. 5령 3일 누에를 판별하기 위하여 스펙트럼을 두 그룹으로 나누었다(그룹 1: 5령 1일, 2일 누에, 그룹 2: 5령 3일, 4일, 5일 누에). 주성분분석(PCA)을 통해 그룹별 분포도와 5령 3일 누에 판별 가능성을 확인하였고 판별 모델 개발을 위해 부분최소제곱 판별분석(PLS-DA) 및 5중 교차검증을 수행하였다. 그 결과, 1차 미분 전처리를 수행한 스펙트럼을 이용하여 만든 판별 모델의 검증 성능이 93.80 %로 가장 우수하게 나타났다.

Abstract Recently, sericulture farms have been trying to pioneer the functional sericulture industry. Moreover, it has been proved that the 5th instar 3 day silkworm is effective in diabetes. Along these lines, there is a growing demand for the development of basic technologies that can automate the management of silkworm breeding in light of the deepening labor shortage. This study investigated whether the 5th instar 3 day silkworm can be non-destructively determined using hyperspectral fluorescence imaging techniques. As part of the study, hyperspectral fluorescence images of 72 silkworms were captured with a wavelength range of 420 nm to 730 nm for the 365 nm UV light. In particular, the images were captured during the five days of the 5th instar. The average spectra from the region of interest were obtained, and nine pretreatment methods were followed. To discriminate the 5th instar 3 day silkworm, we divided the spectra into two groups (group 1: 5th instar 1/2 day and group 2: 3/4/5 day). Further, the distribution of silkworms' spectra was confirmed through principal component analysis (PCA), and we checked the possibility of discriminating 5th instar 3 day silkworms. Subsequently, partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) and five-fold cross-validation were performed to develop a discriminant model. The result of the analysis showed that the 1D derivatives spectrum model showed the highest performance (the prediction accuracy: 93.80%).

Keywords : Discrimination, Hyperspectral Fluorescence Imaging Techniques, Partial Least Squares Discriminant Analysis, Principal Component Analysis, Silkworm

본 논문은 농촌진흥청 어젠다사업(과제번호: PJ01496403)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jong-Guk Lim(National Institute of Agricultural Sciences)
email: limjg@Korea.kr

Received October 25, 2021

Revised December 1, 2021

Accepted December 6, 2021

Published December 31, 2021

1. 서론

누에(Silkworm, *Bombyx mori* L.)는 나비목 누에나방과(Lepidoptera, Bombycidae)에 속하는 누에나방(Bombycidae)의 유충이다[1]. 1970년대까지는 세계 3대 잠사 생산국 중 하나가 우리나라였을 정도로 양잠산업이 경제발전엔 큰 기여를 하였다. 하지만 경제 성장에 따른 임금 상승과 중국산 수입 증가, 농업인 고령화 등의 문제로 산업 비중이 계속해서 축소되었다. 우리나라 누에 사육 농가는 2015년 870호, 2017년 735호, 2019년 586호로 계속해서 감소하는 추세이다[2].

양잠산업의 지속적인 성장과 농가의 안정적인 정착을 위해 최근 기능성 양잠산업을 개척하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 누에는 견사선이라는 특수 기관을 통해 체중의 20 %에 해당하는 실크를 생산한다[3]. 이러한 실크 단백질을 활용해 건강 기능성 소재가 개발되었으며 효능은 많은 연구를 통해 증명되었다[4-7]. 누에는 인간이나 가축과 공통 병원균을 가지고 있지 않아 다른 유전자 변형 생물체에 비해 단백질 의약품의 안전성이 높고 간암, 간염, 간경화 예방 및 파킨슨병 증상억제 등 여러 효과가 있는 것으로 밝혀졌다[3,8-10].

그 중에서도 5령 3일 건조 누에는 혈당 강하에 효과를 주어 식품으로 이용할 경우 당뇨병에 탁월한 효과가 있다[11,12]. 5령 3일 이후, 누에는 체내 견사 단백질 형성으로 외형이 급격하게 커지며, 혈당 상승 억제 효과가 크게 감소해 5령 3일 누에는 경제성 측면에서도 유리하다[13,14]. 현재 누에 양잠산물 수확 및 관리는 농업인에 의해 수작업으로 이루어지고 있으며 노동력 부족으로 인해 잠작 관리가 어려운 실정이다.

자동화 기반 기술 개발에 대한 요구가 커짐에 따라 최근 비파괴분석과 관련된 연구들이 주목받고 있다. 다양한 비파괴 분석방법 중에서도 분광분석법은 농업 및 식품의 내부 품질과 특성을 빠르고 비파괴적으로 검사하는 특징을 갖는다. 물질의 물리화학적 특성을 파악할 수 있어 농산물의 수분, 단백질, 가용성 고체, 유기산 및 지방 함량 등의 신속한 분석에 적합하다[15-19]. 누에고치의 경우, MRI[20]나 X-선 영상[21], LED 광원[22] 등 다양한 분석방법을 통해 90 % 이상의 정확도로 성별을 판별할 수 있음이 확인되었다. Tao[23]와 Che[24]는 근적외선을 이용해 누에 번데기의 성별과 품종을 판별하였다. 또한, Santosh [25]는 바구미 해충에 대해 가시광선-근적외선 대역의 다분광 영상장치를 이용해 생사여부를 91 %의 정확도로 판별하였다.

본 연구는 초분광 형광 영상을 이용하여 5령 3일 누에를 다른 일자 누에와 판별할 수 있는 가능성을 검토하고자 하였다. 365 nm 파장 대역의 자외선 광원을 이용하여 420 ~ 730 nm 대역의 초분광 형광 영상을 5령 일자별로 5일간 획득하였고 누에 72마리를 대상으로 하였다. 획득한 영상에서 누에 개체별로 평균 스펙트럼을 획득하였고, 주성분분석과 부분최소제곱 판별분석을 이용하여 판별 성능을 확인하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

농촌진흥청 곤충양잠산업과에서 4령 누에를 제공받았으며 품종은 한생잠이다. 한생잠은 일본산 Jam 153과 중국산 Jam 154에서 교배된 품종이며 컨테이너형 누에 사육실에서 5령 5일까지 사육하였다. 누에 사육실은 사육기간 동안 온도 24 ~ 25 ℃, 습도 50 ~ 60 %로 유지되었으며, 5령 1일에서 5령 5일까지 5일간 한생잠 72마리의 생육 데이터를 획득하였다. 5령 1일 한생잠 72마리의 평균 길이는 37.24 mm, 표준편차는 2.64 mm이며 평균 무게는 0.98 g, 표준편차는 0.13 g였다. 5령 5일 한생잠의 경우, 평균 길이는 59.53 mm, 표준편차는 5.94 mm이며 평균 무게는 2.94 g, 표준편차는 0.63 g였다. 누에 개체별 구분을 위해서 머리 부분에 색칠을 하

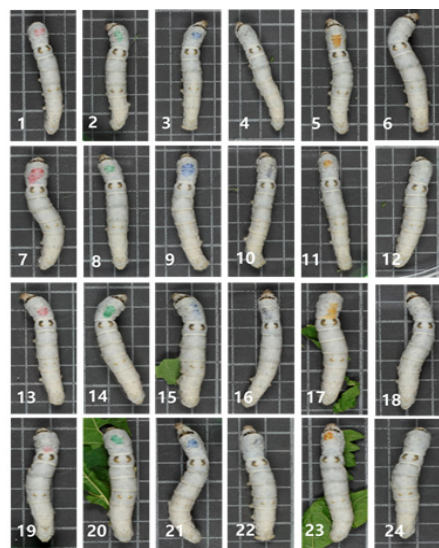


Fig. 1. Picture of 24 silkworms used in the experiment

였으며, Fig. 1은 초분광 형광 영상 획득에 사용된 한쌍 잡 72마리 중 24마리를 예시로 보여준다. 초분광 형광 영상은 5일간 누에 개체별로 획득하였다.

2.2 초분광 영상 시스템

Fig. 2는 365 nm 자외선 광원을 이용한 초분광 형광 영상 측정 장치로 고감도의 EMCCD 카메라(MegaLuca R, ANDOR Technology, South Windsor, CT, USA)와 영상 분광 장치(VNIR Hyperspec, Headwall Photonics, Fitchburg, MA, USA), C-mount 렌즈, 자외선 광원, 시료대로 구성되어 있다. 초분광 영상의 FOV(Field of View)는 슬릿의 크기에 의해 결정되며, 여기서는 25 μm 의 슬릿을 사용하였다. 이 시스템은 라인스캔 방식으로 각각의 라인스캔 영상은 수평으로는 공간 정보를 갖고 수직으로는 스펙트럼 정보를 갖는다. 선형모터로 시료대가 움직이면서 라인스캔 영상이 획득되며 최종적으로 420 ~ 730 nm 사이의 65개 균등분할파장에 대한 310×520 화소의 공간해상도를 가진 초분광 영상을 얻을 수 있다. 모든 초분광 영상은 광원의 불균일성과 초분광 영상 장비의 전기적 잡음 신호 영향을 제거하기 위하여 테프론 재질의 백색판(SRT-151, Labsphere, New Hampshire, USA)으로부터 획득한 영상과 카메라 렌즈 덮개를 씌우고 획득한 암흑 영상을 이용하여 교정되었다.

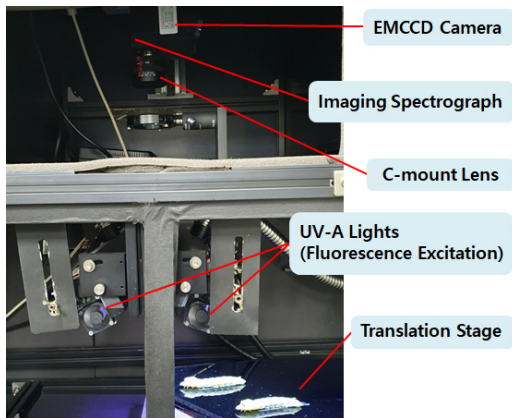


Fig. 2. The Ultra-Violet fluorescence hyperspectral imaging system

2.3 스펙트럼 추출 및 전처리

교정된 초분광 영상에서 누에의 전사 단백질이 분비되는 부분인 후사견사샘을 Fig. 3과 같이 관심영역으로 선택

정하여 개체별 스펙트럼을 추출하고 평균 스펙트럼을 계산하였다. 다음단계로 시료의 물리화학적 성분 정보 외에 노이즈를 제거하기 위해서 9가지 종류의 스펙트럼 전처리(MSC, SNV, Smoothing, Baseline offset, $1^{\text{st}}/2^{\text{nd}}$ derivatives, Mean/Max/Range Normalization)를 진행하였다. 각 전처리는 분석소프트웨어 Unscrambler (Camo Software AS, v9.7, Norway)를 이용하여 수행되었다.

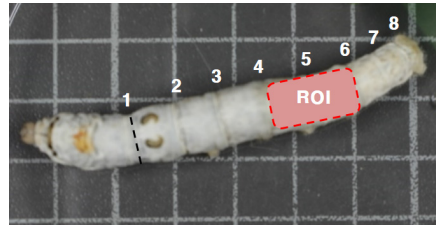


Fig. 3. Silkworm's region of interest

2.4 주성분분석 및 부분최소제곱 판별분석

5령 3일 누에 판별 가능성을 확인하기 위해 주성분분석(PCA)과 부분최소제곱 판별분석(PLS-DA)을 실시하였다. 주성분분석은 변량을 독립적으로 파악하지 않고 거시적으로 파악해 정보의 손실 없이 소수의 주성분으로 축소하여 해석하는 통계적인 방법으로 그룹별 분포 및 판별 가능성을 확인하는데 적합하다. 부분최소제곱 판별분석은 다중회귀분석(Partial Least Square Regression, PLSR)을 기반으로 한 분석 기법으로 회귀식으로 예측된 모델을 문턱값을 이용하여 그룹으로 분류한다. 부분최소제곱 판별분석의 경우, 최적의 판별 조건을 구명하기 위하여 9가지 전처리를 한 스펙트럼과 원본 스펙트럼을 모두 이용하여 모델을 개발하였다. 판별 모델 검증은 5중 교차 검증을 통해 수행되었다. 360개의 초분광 형광 스펙트럼에 대해 72개씩 5그룹으로 무작위 배분하였으며, 그 중 4개의 그룹을 트레인 데이터 셋(train data set) 기반으로 학습 모델에 사용하고, 나머지 1개의 그룹을 테스트 데이터 셋(test data set) 기반으로 모델에 대한 검증에 이용하였다. 총 5번의 학습과 검증을 반복 수행하여 나온 판별 정확도의 평균을 판별 모델의 최종 성능으로 계산하였다. 주성분분석은 분석소프트웨어 Unscrambler (Camo Software AS, v9.7, Norway)를 이용하였고, 부분최소제곱 판별분석은 공개 통계 소프트웨어인 R (ver. 2019, R Foundation, R foundation, Vienna, Austria)을 이용하여 수행되었다.

3. 결과 및 토의

3.1 5령 누에 스펙트럼 분석 결과

5령 1일부터 5일까지 5일간 획득한 초분광 형광 영상에 대하여 관심영역을 설정하여 누에별 평균스펙트럼을 획득하였다. Fig. 4 (a)는 72마리 누에의 평균 스펙트럼을 각 일자별로 나타낸 결과이며 Fig. 4 (b)는 일자별로 스펙트럼을 평균한 결과이다. 550 nm 이후 파장 대역에서는 큰 차이가 없었으며 450 ~ 500 nm 파장 대역에서 일자가 경과함에 따라 형광 세기가 약해지는 경향을 보였다. 그러나 일자별로 교차되는 경향이 있어 일자별로 구분하는 것보다 5령 3일 이전 누에와 5령 3일 이후 누에를 구분하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

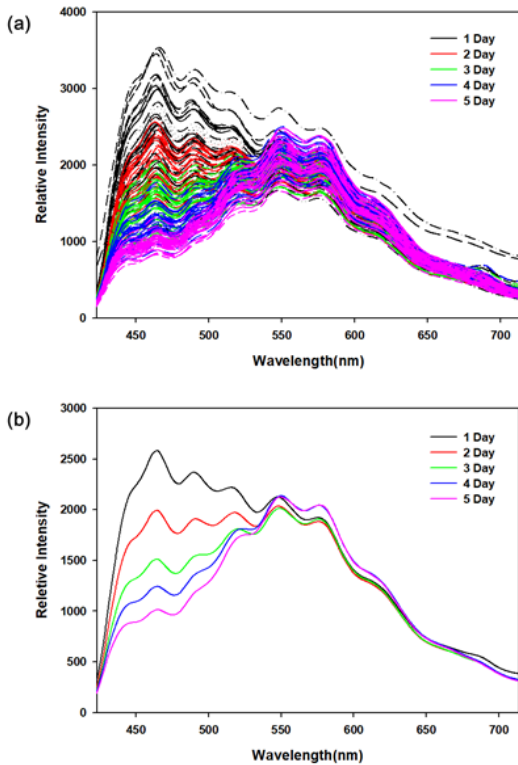


Fig. 4. (a) Total fluorescence spectra extracted from the hyperspectral images of silkworm (b) Average fluorescence spectra among the day of 5th instar silkworm

Fig. 5는 5령 3일 누에를 구분하기 위하여 5령 1일 누에와 5령 2일 누에를 한 그룹(그룹 1), 5령 3일, 4일, 5일 누에를 한 그룹(그룹 2)으로 묶어 평균 반사스펙트럼을 계산한 결과이다. 이를 통해 450 ~ 500nm 파장대역

에서 그룹 별 차이가 더 명확해짐을 확인할 수 있었다. 따라서 두 개의 그룹을 이용하여 주성분분석과 부분최소 제곱 판별분석을 실시하였다.

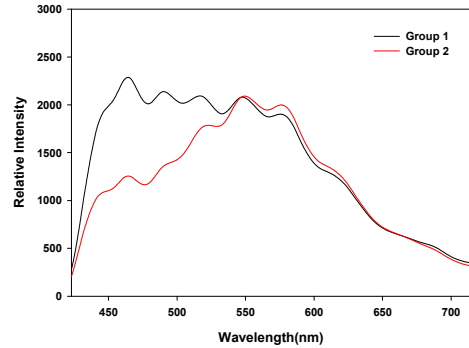


Fig. 5. Average fluorescence spectra extracted from the hyperspectral images between 2 group of silkworm (group 1: 5th instar 1/2 day, group 2: 3/4/5 day)

3.2 주성분분석(PCA) 결과

Fig. 6은 5령 3일 이전 누에와 5령 3일 이후 누에에 대한 평균 형광 반사 스펙트럼의 주성분 분석 결과를 보여주고 있다. PC 1과 PC 2를 사용하였으며 주성분 분석 결과 PC 1은 86.1 %, PC 2는 12.1 %의 설명력을 보여주고 있다. 5령 1일, 2일 누에 스펙트럼으로 이루어진 그룹 1은 PC 1의 0을 기준으로 오른쪽으로 분포를 형성하였으며, 5령 3일, 4일, 5일 누에로 구성된 그룹 2는 왼쪽으로 분포가 형성되었다. 그룹 1과 그룹 2가 교차되는 부분이 존재하기는 하지만 전체적으로 보았을 때 그룹별 분포 특성이 명확히 나타나 형광 분광 스펙트럼을 이용한 5령 3일 누에 판별이 가능할 것으로 판단된다.

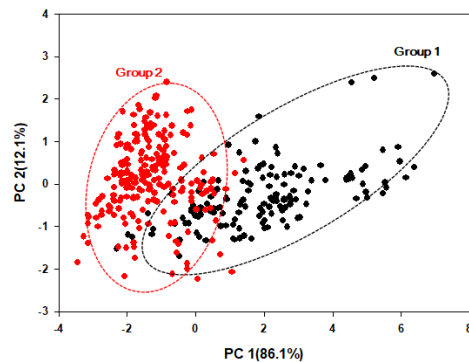


Fig. 6. The result of principal component analysis between 2 group of silkworm (group 1: 5th instar 1/2 day, group 2: 3/4/5 day)

3.3 부분최소제곱 판별분석(PLS-DA)을 이용한 5령3일 누에 판별

9가지 전처리 스펙트럼과 원본스펙트럼에 대해 5령 3일 이전 누에를 한 그룹, 5령 3일 이후 누에를 한 그룹으로 묶어 부분최소제곱 판별 분석을 실시하였다. Table 1은 판별 분석 결과로 5중 교차 검증을 통해 계산된 5개의 판별 정확도를 평균한 값이다. 판별분석 결과 원본 스펙트럼을 이용한 판별 모델은 학습 데이터 93.27 %, 검증 데이터 93.06 %의 판별 성능을 보였다. 모든 전처리에 대해 90 % 이상의 판별 성능을 보였으며 1차 미분 전처리를 수행한 스펙트럼을 이용하여 만든 판별 모델은 학습 데이터 93.82 %, 검증 데이터 93.80 %의 판별 정확도로 가장 우수한 성능을 나타냈다.

Table 1. The results of PLS-DA model between 2 group of silkworm (group 1: 5th instar 1/2 day, group 2: 3/4/5 day)

Pretreatment		Calibration	Validation
None		93.27	93.06
Smoothing		93.27	93.00
Baseline		93.05	92.99
MSC		92.42	91.91
SNV		93.13	93.38
Normalization	Max	93.05	92.73
	Mean	93.54	92.75
	Range	92.98	92.73
1 st Derivative		93.82	93.80
2 nd Derivative		93.12	92.64

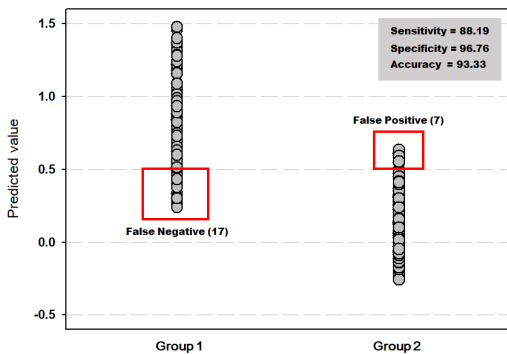


Fig. 7. The result of PLS-DA model developed by using the 1st derivative pretreatment to the reflectance spectra of silkworm (group 1: 5th instar 1/2 day, group 2: 3/4/5 day)

부분최소제곱 판별분석 결과 가장 높은 성능을 나타낸 1차 미분 전처리를 수행한 스펙트럼에 대하여 360개 전체 데이터를 이용해 부분최소제곱 판별분석을 하였다 (Fig. 7). 판별 분석 결과, 그룹 1에 해당하는 5령 3일 이전 누에 144마리 중 127마리를 그룹 1로 예측하였으며 (민감도 88.19 %), 그룹 2에 해당하는 5령 3일 이후 누에 216마리 중 209마리를 그룹 2로 예측하였다(특이도 96.76 %). 최종적으로 정확도 93.33 %의 판별 성능을 나타냈으며 이를 통해, 형광 초분광 영상을 이용하여 5령 3일 누에를 비파괴적으로 판별할 수 있을 것으로 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 5령 3일 누에와 다른 일자를 비파괴적으로 판별하기 위해 초분광 형광 영상 분석 기술을 적용하였다. 365 nm 대역의 자외선 광원을 사용하여 한생장 72마리에 대하여 5령 일자별 420 ~ 730 nm 영역의 초분광 형광 영상을 획득하고 분석하였다. 이에 대한 주요 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 견사 단백질이 분비되는 부분인 후사견사샘을 관심 영역으로 정하여 누에 개체별 평균 반사 스펙트럼을 획득하였으며, 5령 일자가 지남에 따라 450 ~ 500 nm 파장 대역에서 형광 세기가 약해지는 경향을 확인하였다.
- (2) 평균 반사스펙트럼을 이용하여 주성분분석을 실시하였으며 PC 1은 86.1 %, PC 2는 12.1 %의 설명력을 보여주었다. 그룹간 교차하는 부분은 존재는 하나 그룹별 분포 특성이 PC 1을 기준으로 명확히 나타나 분광스펙트럼을 이용한 5령 3일 누에 판별 가능성을 확인하였다.
- (3) 9가지 전처리 스펙트럼과 원본 스펙트럼에 대한 부분최소제곱판별분석을 실시하였다. 1차 미분 전처리 모델의 경우 검증 판별 정확도가 93.80 %로 가장 우수하게 나왔다. 추후 분광분석기술을 이용하여 5령 3일 누에 판별이 가능할 것으로 판단되며 이를 위해서는 모델 성능에 중요한 영향을 미치는 일부 파장대역을 선정해 모델을 개발하는 파장선택법 등 모델 단순화와 관련된 추후 연구가 필요할 것으로 보인다.

References

- [1] P. D. Kang, K. S. Ryu, K. M. Kim, B. H. Sohn, A. Murakami, H. D. Sohn, "General characteristics and life span of silkworm moth according to varieties *Bombyx mori*", *The Korean Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.41, No.3, pp.154-166, 1999.
- [2] Functional sericulture industry status: Number of farms by size of silkworm breeding, 2013-2020 National Statistical Portal data, Korean Statistical Information Service
- [3] W. Hwang, H. S. Lee, H. J. Kim, K. O. Kim, Y. S. Choi, "Manufacture and Characterization of Silkworm Gland Hydrolysate", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.50, No.2, pp.76-81, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.7852/jses.2012.50.2.76>
- [4] S. Sasaki, I. Nakagaki, "Secretory mechanism of fibroin, a silk protein, in the posterior silk gland cells of *Bombyx mori*", *Membrane Biochemistry*, Vol.3, pp.37-47, 1980. DOI: <https://doi.org/10.3109/09687688009063877>
- [5] K. Grzelak, "Control of expression of silk protein genes", *Biochemistry and Molecular Biology*, Vol.110, pp.671-681, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(94\)00215-G](https://doi.org/10.1016/0305-0491(94)00215-G)
- [6] Y. Takasu, H. Yamada, K. Tsubouchi, "Isolation of three main sericin components from the cocoon of the silkworm, *Bombyx mori*", *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, Vol.66, pp.2715-2718, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1271/bbb.66.2715>
- [7] S. Tokutake, "Isolation of the smallest component of silk protein", *The Biochemical Journal*, Vol.187, pp.413-417, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1042/bj1870413>
- [8] H. T. Lee, "A promising health promoting natural product, steamed and lyophilized mature silkworm powder: its various functionalities for humans", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.55, No.2, pp.40-43, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7852/jses.2019.55.2.40>
- [9] T. H. Kim, H. Y. Ahn, Y. W. Kim, S. Y. Sim, H. D. Cho, M. D. Kim, Y. J. Lee, Y. S. Cho, "Hepatoprotective Effect of *Bacillus subtilis*-fermented Silkworm (*Bombyx mori* L.) Extract on Non-alcoholic Fatty Liver in Rats", *Journal of Life Science*, Vol.27, No.9, pp.1031-1039, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5352/JLS.2017.27.9.1031>
- [10] K. Y. Kim, A. F. Osabutey, P. Nguyen, S. B. Kim, Y. Y. Jo, H. Y. Kwon, H. T. Lee, S. D. Ji, Y. H. Koh, "The experimental evidences of steamed and freeze-dried mature silkworm powder as the calorie restriction mimetics", *International Journal of Industrial Entomology*, Vol.39, No.1, pp.1-8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7852/ijie.2019.39.1.1>
- [11] J. G. Zhao, H. Y. Wang, Z. G. Wei, Y. Q. Zhang, "Therapeutic effects of ethanolic extract from the green cocoon shell of silkworm *Bombyx mori* on type 2 diabetic mice and its hypoglycaemic mechanism", *Toxicology Research*, Vol.8, No.3, pp.407-420, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1039/c8tx00294k>
- [12] M. J. Kim, H. S. Kim, A. J. Kim, "Optimization of mixing ratio of mulberry leaf, mulberry fruit, and silkworm for amelioration of metabolic syndrome", *Journal of Korean Medicine for Obesity Research*, Vol.18, No.2, pp.83-95, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15429/jkomor.2018.18.2.83>
- [13] S. D. Ji, N. S. Kim, J. Y. Lee, M. J. Kim, H. Kwon, G. Sung, P. D. Kang, K. Y. Kim, "Development of processing technology for edible mature silkworm", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.53, No.1, pp.38-43, 2015. DOI: <https://doi.org/10.7852/jses.2015.53.1.38>
- [14] J. Mitsuhashi, "Insects as traditional foods in Japan", *Ecology of Food and Nutrition*, Vol.36, No.2-4, pp.187-199, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991514>
- [15] V. Cortés, J. Blasco, N. Aleixos, S. Cubero, P. Talens, "Monitoring strategies for quality control of agricultural products using visible and near-infrared spectroscopy: A review", *Trends in Food Science and Technology*, Vol.85, pp.138-148, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.015>
- [16] S. Kawano, T. Fujiwara, M. Iwamoto, "Nondestructive determination of sugar content in satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance", *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, Vol.62, No.2, pp.465-470, 1993. DOI: <https://doi.org/10.2503/jshs.62.465>
- [17] K. H. S. Peiris, G. G. Dull, R. G. Ldfler, S. J. Kays, "Near-infrared spectrometric method for nondestructive determination of soluble solids content of peaches", *Journal of the American Society Horticultural Science*, Vol.123, No.5, pp.898-905, 1998. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.123.5.898>
- [18] K. Lee, G. Kim, S. Kang, D. Choi, K. Choi, "Measurement of sugar contents in citrus using near infrared transmittance", *Key Engineering Materials*, Vol.270-273, pp.1014-1019, 2004. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.270-273.1014>
- [19] D. Y. Kim, B. Cho, C. Mo, Y. S. Kim, "Study on prediction of internal quality of cherry tomato using vis/nir spectroscopy", *Journal of Biosystems Engineering*, Vol.35, No.6, pp.450-457, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5307/JBE.2010.35.6.450>
- [20] C. Liu, Z. H. Ren, H. Z. Wang, P. Q. Yang, X. L. Zhang, "Analysis on gender of silkworms by MRI technology", *The Journal of Korea Institute of*

Information, In Proceedings of the 2008 International Conference on BioMedical Engineering and Informatics, Sanya, China, Vol.28-30, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1109/BMEI.2008.49>

- [21] J. R. Cal, L. M. Yuan, B. Liu, L. Sun, "Nondestructive gender identification of silkworm cocoons using X-ray imaging with multivariate data analysis", *Analytical Methods*, Vol.6, No.18, pp.7224-7233, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1039/C4AY00940A>
- [22] S. Sumriddetchkajorn, C. Kamtongdee, C. SaNgiamsak, "Spectral imaging analysis for silkworm gender classification", *In Sensing Technologies for Biomaterial, Food, and Agriculture*, Vol.8881, pp.888106, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2030628>
- [23] D. Tao, Z. Wang, G. Li, G. Qiu, "Accurate Identification of the Sex and Species of Silkworm Pupae Using Near Infrared Spectroscopy", *Journal of Applied Spectroscopy*, Vol.85, No.5, pp.949-952, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10812-018-0744-z>
- [24] X. Che, S. Peng, X. Yang, Y. Zhong, Z. Li, S. Lv, "Fast and nondestructive gender detection of Bombyx mori chrysalis in the cocoon based on near infrared transmission spectroscopy", *Journal of South China Agricultural University*, Vol.39, No.2, pp.103-109, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7671/j.issn.1001-411X.2018.02.016>
- [25] S. Santosh, B. T. Henrik, K. Y. Nanna, S. Henrik, B. Birte, "Detection of live larvae in cocoons of Bathyplectes curculionis (Hymenoptera: Ichneumonidae) using visible/near-infrared multispectral imaging", *Pest Management Science*, Vol.74, pp.2168-2175, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.4915>

이 아 영(Ah-Yeong Lee)

[정회원]



- 2019년 8월 : 서울대학교 바이오 시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

<관심분야>

분광분석, 영상처리, 품질계측

강 정 숙(Jung-Sook Kang)

[정회원]



- 1997년 2월 : 경북대학교 물리학과 (이학석사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 연구원

<관심분야>

근적외선 분광, 품질계측

임 종 국(Jong-Guk Lim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2004년 7월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구관

<관심분야>

근적외선 분광, 농업기계, 품질계측

김 밝 금(Bal-Geum Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 전남대학교 지역·바이오시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

<관심분야>

농업, 기계, 품질계측