

생산비용 절감을 위한 익힌숙잠(홍잠, 弘蠶) 신 가공기술: 초고속 균질화와 분무건조 활용법

김기영 · 푸엥 뉴엔¹ · 김남숙 · 강상국 · 김유희¹ · 고영호^{1,2*}

국립농업과학원 농업생물부 산업곤충조사과, ¹한림대학교 일송생명과학 연구소, ²한림대학교 대학원 노화생명과학과

New Processing Technology For Steamed-mature Silkworms (HongJam) to Reduce Production Costs: Employing a High-Speed Homogenization and Spray Drying Protocol

Kee-Young Kim, Phoung Nguyen¹, Nam-Suk Kim, Sang-Kug Kang, Yoo Hee Kim¹ and Young Ho Koh^{1,2*}

Department of Sericulture, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

¹Ilsong Institute of Life Science, Hallym University, Seoul 07247, Korea

²Department of Biomedical Gerontology, Hallym University Graduate School, Chooncheon 24252, Korea

ABSTRACT: Produced by steaming mature silkworms, HongJam is a natural functional food with various health-promoting effects. The current standard HongJam production protocol involves freezing and freeze-drying steamed mature silkworms for convenient long-term storage and/or selling it to customers. However, freeze-drying HongJam requires a range of processes and costs, which have contributed to its high resale value. In this study, we found that the cost of manufacturing HongJam powder could be reduced by homogenizing steamed mature silkworms using a high-speed blender and digital homogenizer, followed by spray drying. After the homogenized HongJam solution was digested by directly adding food-graded proteases, food-graded protease-digested homogenized HongJam solution was spray-dried. Food-graded digested protease or non-digested homogenized HongJam solutions could be used to produce food for special medical use for patients with general or specific diseases. This more efficient HongJam processing protocol proposed in this study can facilitate the development of sericulture farms and related industries by reducing the production costs of HongJam and its associated products.

Key words: HongJam, Homogenization, Spray-drying, Functional food, Medicinal food

초록: 홍잠은 숙잠(熟蠶)을 수증기로 익혀서 인간이 섭취할 수 있도록 제조한 다양한 건강 증진 효과가 있는 천연 건강 식품이다. 현재 표준 제조 방법은 수증기로 찐 홍잠을 보관과 판매의 편의를 위하여 급속 냉동하여 동결 건조를 진행하는 것이다. 그런데, 홍잠을 동결 건조하는 과정은 많은 시간과 비용을 필요로 하여 홍잠 제품 가격의 인상 요인으로 작용하고 있다. 본 연구에서는 홍잠을 수증기로 찐 후 바로 균질 액으로 제조하여 분무 건조하면 분말 제조 비용을 절감할 수 있음을 발견하였다. 그리고 홍잠 균질 액에 식용 단백질 분해 효소를 첨가하여 분해시킨 후, 단 1회의 분무 건조로 제품을 제조할 수 있는 방법을 개발하였다. 특히 홍잠 균질 액이나 효소 분해 홍잠 균질 액은 바로 액상이나 젤리 형태로 일반 또는 환자용 특수 의료 용도 식품에 활용이 가능함을 보여주었다. 본 연구에서는 생산비용이 감소된 홍잠의 가공 방법을 제안하며 이는 제품 생성의 단가를 낮추어 제품의 대중화와 양잠 농가의 연관산업 육성을 불려울 것으로 기대된다.

검색어: 홍잠, 균질 액, 분무 건조, 건강 기능 식품, 특수 의료 용도 식품

*Corresponding author: kohyh@hallym.ac.kr

Received October 13 2022; Revised November 23 2022

Accepted November 28 2022

국립농업과학원은 2015년도에 이전에는 섭취가 불가능했던 익은 누에(숙잠; 熟蠶)를 인간이 섭취할 수 있게 가공하는 새로운 기술을 발명하여 논문으로 발표하고 특허로 등록 하였다(Ji et al., 2015). 숙잠은 실크단백질을 대량으로 함유하고 있는 비대해진 견사 싹을 가지고 있어서, 가공 중 죽게 되면 견사 싹이 바로 경화되어 인간이 섭취할 수 없게 된다. 그런데, 살아있는 숙잠을 100°C 수증기로 2시간 동안 찌면, 견사 싹 안의 실크단백질들에 1차 변성이 일어나, 경화가 일어나지 않는다. 이 방법으로 제조된 익힌숙잠은 바로 섭취가 가능하지만, 유통과 보관의 편의를 위하여 급속 냉동한 후, 동결건조하여 수분 함량을 5% 미만으로 만든 후, 원물 형태 또는 분말로 제조하여 냉동 또는 냉장 보관하는 것이 표준 제조 공정이다(Ji et al., 2019; Kim and Koh, 2022; Kim et al., 2019a; Park et al., 2022).

익힌숙잠의 건강 증진 효과를 알아내기 위하여 다양한 동물 질환 모델을 이용한 연구가 진행되었다(Ji et al., 2019; Kim and Koh, 2022; Kim et al., 2019a; Park et al., 2022). 익힌숙잠의 건강 증진 효과는 제조에 사용된 누에 품종에 따라서 최적의 적응증이 다름이 밝혀졌다. 예를 들면, 백옥잠을 포함한 하얀색 고치를 만드는 품종으로 만든 익힌숙잠은 간과 위장관 기능 개선 효과가 다른 품종의 누에에 비하여 뛰어났다(Cho et al., 2016; Lee et al., 2017). 골든실크 품종을 포함한 노란색 고치를 만드는 품종으로 제조된 익힌숙잠은 파킨슨병 발병 예방 효과와 기억력 개선 효과와 치매 예방 효과가 뛰어남이 밝혀졌다(Mai et al., 2022; Nguyen et al., 2020; Nguyen et al., 2021). 그리고 연녹색 고치를 만든 연녹잠으로 제조된 익힌숙잠은 피부 미백 효과와 발모 촉진 효과가 뛰어났다(Ji et al., 2019; Kim et al., 2017). 이와 같이 익힌숙잠은 다양한 건강기능성을 가지고 있어서 2017년에 대국민 공모를 통하여 ‘익힌숙잠의 다양하고 우수한 기능성을 기반으로 우리나라의 양잠 산업이 크게 부흥한다’는 의미를 가지는 “홍잠(弘蠶)”으로 명명되었다(Kim, 2017).

현재 홍잠의 제조공정은 수증기로 찌서 섭취가 가능하게 한 후, 동결 건조를 진행하여 장기간 보관이 가능하게 한 후, 분말을 만드는 공정을 포함하고 있다(Ji et al., 2019; Ji et al., 2015; Ji et al., 2017). 수분의 함량을 5% 이내로 만들기 위해서는 최소 -50°C 이하에서 48시간 이상 동결 건조를 진행해야 하므로, 생산과정에서 대량의 전기에너지가 소비된다(Ji et al., 2015). 또한 대용량의 동결건조기는 고가의 장비로써, 운용과 유지에 적지 않은 비용이 필요한 단점을 가지고 있었다. 이에, 홍잠의 표준 제조 공정 중 수증기로 찌 후의 동결 건조하고 분말화 하는 제조 공정에 대하여 시간과 비용이 적게 들어가는 대신 동일한 효과를 보이는 홍잠의 제조법을 연구하였다.

재료 및 방법

골든실크 품종 누에 사육

본 연구에 사용된 누에는 골든실크 품종으로 원종 잠123과 원종 잠124의 교배에서 태어난 F1이다(Kang et al., 2007). 골든실크 품종의 누에를 국립농업과학원 잠실에서 뽕나무 잎을 이용하여 사육하였다. 5령7일에서 8일까지 숙잠으로 성장한 누에를 선별하였다(Ji et al., 2015).

홍잠 생산 방법

선별된 숙잠은 표준 홍잠 제조 공정에 따라서 수돗물을 이용하여 세척한 후, 압력이 걸리지 않는 스팀 찌기(금성, 부천, 대한민국)로 120분 동안 증자를 진행하였다(Ji et al., 2015). 제조된 홍잠은 장기간 보관을 위하여 급속 동결하여 -20°C 이하에 보관하거나, 바로 일정량의 식수를 첨가한 후 균질화했다. 골든실크 홍잠 분말은 동결 건조된 홍잠을 천연 암석 물러 밀로 제조했다(Ji et al., 2015; Kang et al., 2007). 동결건조 전의 홍잠의 수분 함량을 측정하기 위하여 홍잠을 100°C에 완전 건조 후, 수분함량을 측정한 결과 $79.2 \pm 1.34\%$ 였다. 이 수분 함량의 비율을 바탕으로 홍잠 분말과 홍잠 균질 액의 동등성 실험을 수행하였다.

홍잠 균질 액 제조 방법

홍잠은 표피 조직이 연하여 일정량의 식수를 첨가한 후, 가정용 고속 진공 주서 믹서기(모델명: HR3752, 35,000 rpm, 1400 W, 필립스코리아, 서울, 대한민국)나 실험실용 블렌더(모델명: LB10S, Waring, Stamford, CT, USA)로 9분간 갈아서 1차 균질화했다. 첨가된 식수의 양은 홍잠 100 g당 200 ml, 300 ml, 또는 400 ml의 비율이다. 1차 균질 액은 디지털 균질기(모델명: HG-15D, 대한과학, 서울, 대한민국)를 이용하여 15,000 rpm에서 10분간 2차 균질화 했다. 홍잠 균질 액(Homogenized Golden-Silk HongJam solution: HGS)은 바로 냉장보관을 하거나 장기간 보관을 위해서는 -20°C에 동결 보관하였다. 본 연구의 실험은 3반복 실험을 진행을 하였다.

홍잠 균질 액의 분무 건조 방법

홍잠 균질 액은 분무 건조기(MH-60, 미현엔지니어링, 안양, 대한민국)를 이용하여 분무 건조를 진행하였다. 분무 건조 조

건은 입구 온도 170°C, 배출구 온도 85°C, 공기압은 50 mm of H₂O였고, 건조속도는 500 ml/h 였다.

홍잠 균질 액의 기억력 개선효과 연구

홍잠의 다양한 건강 증진 효과 중의 기억력 개선에 대한 효과를 동물 실험으로 확인 하였다. 동결건조 과정 대신에 고속 진공 주서 믹서기(모델명: HR3752)와 디지털 균질기(모델명: HG-15D)를 이용하여 제조된 홍잠 균질 액의 기억력 개선 효과를 확인하는 연구를 한림대학교 동물 윤리 위원회의 허가를 받아 진행하였다(HMC2020-0-1202-52). 이전에 발표된 방법에 따라서 연구를 진행했다(Nguyen et al., 2020; Nguyen et al., 2021). 생 후 4주된 수컷 C57BL/6J 마우스(*Mus musculus*)에 대조군(Control, Con, 16마리)과 Donepezil(Dp)군(1.0 mg/Kg 체중, 16마리)과 골든실크 홍잠 분말 [Golden silk HongJam powder; GS]군(0.5 g/Kg 체중, 16 마리)와 골든실크 홍잠 균질 액(HGS)군(7.5 ml/Kg 체중, 16마리)을 23일간 경구 투여한 후, 각각의 실험 군을 8마리씩 나누어서 식염수(Saline; Sal) 또는 Scopolamine (0.75 mg/Kg 체중)을 복강에 주사하는 군으로 나누었다. 첫째 날은 실험 시작 30분 전에 실험실로 마우스를 옮긴 후에 수동회피실험 기구(JD-SI-02, 정도비엔피, 서울, 대한민국)의 밝은 방에서 2분 동안 자유롭게 움직일 수 있도록 하였다. 둘째 날에는 식염수나 Scopolamine을 마우스의 복강에 주사한 후, 훈련 기간을 시작하였다. 즉, 밝은 방에 마우스를 넣은 후에 어두운 방으로 들어가는 통로의 문을 열어준 후, 마우스의 꼬리까지 완전히 어두운 방으로 들어가는 시간을 측정하였다. 마우스가 들어가면 통로를 닫은 후에 0.4 mA의 전기 충격을 3 초간 주었다. 셋째 날에는 전기충격을 받은 마우스를 밝은 방에 넣고, 어두운 방으로 갈 수 있는 연결 통로를 열어 준 후, 밝은 방에 남아 있는 시간을 측정하였다. 실험 동물의 이동 여부를 최대 30초까지 지켜본 후 실험을 종료하였다. 통계 분석은 Excel 프로그램을 이용하여 One-way analysis of variance (ANOVA)를 실시한 후, Tukey honestly significant difference analysis로 $P < 0.05$ 유의수준에서 검증하였다.

식품용 유화제의 첨가에 따른 홍잠 균질 액의 건조 수율 변화 연구

홍잠 균질 액에 두 종류의 유화제를 첨가한 후, 분무 건조를 진행하였다. 사용된 유화제는 대두에서 추출한 Lecithin(이든 타운에프앤비, 인천, 대한민국)과 Glycerin esters of fatty acids (GEFA; 남영상사, 군포, 대한민국)를 전체 중량의 0.3%의 비

율로 첨가한 후, 분무 건조를 했다. 분무 건조 조건은 시료 입구 온도 170°C, 배출구 온도 85°C, 공기압은 50 mm of H₂O였고, 건조속도는 500 ml/hr 였다.

식품용 부형제의 첨가에 따른 홍잠 균질 액의 건조 수율 변화 연구

홍잠 균질 액에 부형제인 dextrin(퓨어텍스 DE 10~12, 대상 주식회사, 서울, 대한민국) 또는 cyclodextrin(싸이텍스-S, 대상 주식회사)을 홍잠 무게의 10% 또는 20% 첨가한 후 분무 건조를 했다. 분무 건조 조건은 시료 입구 온도 170°C, 배출구 온도 85°C, 공기압은 50 mm of H₂O였고, 건조속도는 500 ml/hr 였다.

식용 단백질 분해 효소로 분해된 홍잠 균질 액의 건조 수율 변화 연구

100 g의 홍잠에 식수 200 ml을 첨가하여 진공 주서 믹서기(모델명: HR3752, 35,000 rpm, 1400 W, 필립스코리아) 또는 실험실용 블렌더(모델명: LB10S, Waring)와 디지털 균질 기(모델명: HG-15D)를 이용하여 위에 언급된 방법으로 균질화 용액을 제조한다. 홍잠 균질 액 300 ml에 30 ml의 FoodPro® Alkaline protease(FPAP, Dupont)(Mai et al., 2022)를 첨가한 후, 55°C에 24 h 동안 100 rpm으로 교반하면서 효소 분해를 진행하였다. 시료 안의 효소 활성을 없애기 위하여 90°C 의 물에 10분간 방치한 후, 분무건조기로 건조했다. 분무 건조 조건은 입구 온도 170°C, 배출구 온도 85°C, 공기압은 50 mm of H₂O 였고, 건조속도는 500 ml/hr 였다.

홍잠 균질 액 이용 특수의료용도 식품 개발 연구

우리는 이전의 연구에서 식용 단백질 분해 효소로 분해한 홍잠은 홍잠 분말보다 더 뛰어난 기능성이 있음을 보고하였다(Mai et al., 2022). 본 연구에서 언급된 방법으로 제조된 홍잠 균질 액 또는 식용 단백질 분해 효소로 분해된 홍잠 균질 액을 동결 건조 과정 없이 바로 이용하여 다양한 종류의 특수 의료용도 식품의 제조에 사용할 수 있는 영양 조성에 대한 연구를 진행하였다. 일반 환자 용 균형 영양 제조 식품과 질환 별 영양 제조 식품으로써 홍잠 균질 액 또는 식용 단백질 분해 효소 분해 홍잠 균질 액을 첨가하여 액상 형태 또는 젤라틴을 전체 무게의 1:25의 비율로 추가하여 젤리 형태로 제조하는 특수 의료용도 식품의 영양 성분 조성 연구를 실시하였다.

연구결과

고속 진공 주서 믹서기 또는 실험실 블랜더로 균질화 후, 디지털 균질기로 추가 균질화한 홍잠 균질 액 제조 방법

수증기로 찢은 홍잠을 고속 진공 주서 믹서기 또는 실험실 블랜더와 디지털 균질기로 균질화하는 제조 공정 또는 1~3개월 동안 -20°C에서 냉동 보관 후 균질화하는 제조 공정에서 홍잠의 균질화 과정에서의 차이점이 발견되지 않았다. 분무 건조기에 시료가 공급되기 위해서는 시료 공급관을 통과해야 하는데, 홍잠 균질액은 지방성분을 다량 포함하고 있어서, 상온보다는 40~60°C 내외에서 유동성이 더 좋았다. 그러므로, 모든 실험은 40~60°C에서 진행하였다. 디지털 균질기로 추가 균질화한 이유는 고속 진공 주서 믹서기 또는 실험실 블랜더로만 균질화된 홍잠 용액은 분무 건조기에 공급될 때 시료 공급관이 자주 막혔기 때문이다.

균질액을 만들기 위한 최적의 홍잠과 식수의 비율을 알아내기 위하여 홍잠과 식수의 비율을 변경하면서 균질화 후 분무 건조를 진행했다. 그 결과를 보면 100 g의 홍잠에 식수 200 ml 또는 300 ml를 추가하여 제조한 홍잠 균질액은 분무 건조 효율이 400 ml를 추가한 시료에 비하여 통계적으로 유의하게 높았다($P < 0.05$, Table 1). 손실을 보정한 후 분무 건조 비율도 200 ml 또는 300 ml의 식수를 추가한 후 제조된 홍잠 균질액이 400 ml 추가한 후 제조한 홍잠 균질액보다 더 높았다. 하지만, 200 ml 또는 300 ml의 식수를 추가한 경우에는 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 이 결과는 200 ml의 식수를 추가하는 경우가 홍잠 균질액 제조에 최적의 조건임을 보여주었다. 이에 따라 본 연구는 200 ml의 식수를 추가하여 제조한 홍잠 균질액으로 실험을 진행하였다.

홍잠 균질액은 홍잠 분말보다 뛰어난 기억력 개선 효과가 있음

홍잠은 다양한 건강 증진 효과가 알려져 있다(Kim et al., 2019a; Park et al., 2022). 그 중에 본 연구에서 사용된 골든실크

품종으로 제조된 홍잠은 다른 품종에 비하여 기억력 개선 효과가 뛰어남을 보고한 바 있다(Nguyen et al., 2020; Nguyen et al., 2021).. 그러므로, 우리는 홍잠 균질액이 기존의 동결건조 과정을 거쳐 제조한 홍잠 분말에 비하여 기억력 개선 효과에 차이가 있는지를 확인하는 연구를 단기 기억력을 확인하는 수동회피실험으로 진행하였다(Fig. 1). 식염수 복강 주사군(Saline-intra-peritoneal injection group: Saline-IP)의 경우는 전기 충격을 주기 전인 연습기간에서는 밝은 방에 머무는 시간이 대조군과 다양한 물질 투여 실험군 간에 유의한 차이가 없었다(Fig. 1A, $F(3, 31) = 0.66, P > 0.5$). 하지만, 전기충격을 준 후에는 대조군과 비교하여 골든실크 홍잠 균질액(HGS; 7.5 ml/Kg 체중) 투여군은 통계적으로 유의하게 밝은 방에 머무는 시간이 증가하였다(Fig. 1A, $F(3, 31) = 3.323603, P < 0.05$). 대조군과 비교하여 밝은 방에 머무는 시간이 양성 대조 약제로 사용된 치매 치료제인 Dp의 투여군은 22.7%, 골든실크 홍잠 분말(GS) 0.5g/Kg 체중 투여군은 17.7%, 그리고 골든실크 홍잠 균질액 7.5 ml/Kg 체중 투여군은 31.0% 증가하였다.

단기 기억력 증진 효과는 Scopolamine으로 단기 기억 상실이 유도된 실험군(Scopolamine-IP)에서 더 유의한 차이가 나타났다. 전기충격을 받기 전인 연습기간에서는 대조군과 실험군 간의 밝은 방에 머무는 시간에서 차이가 나타나지 않았지만(Fig. 1B, $F(3, 31) = 2.121948, P > 0.1$), 전기충격을 받은 후에는 밝은 방에 머무는 시간이 실험군들이 대조군과 비교하여 증가함을 확인하였다(Fig. 1B, $F(3, 31) = 10.10614, P < 0.001$). 대조군에 비교하여 밝은 방에 머무는 시간이 Dp군은 75.6%, 골든실크 홍잠 분말(GS) 0.5 g/Kg 체중 투여군은 116.0%, 그리고 골든실크 홍잠 균질액(HGS) 7.5 ml/Kg 체중 투여군은 156.5% 증가하였다. 이 결과는 골든실크 홍잠 균질액 7.5 ml/Kg 체중 투여군의 단기 기억력 증진 효과가 동결 건조를 하였을 경우의 동일한 양의 골든실크 분말 0.5 g/Kg 체중 투여군에 비하여 뛰어남을 보여주고 있다. 이 결과는 숙잠을 수증기로 찢 후, 동결 건조를 진행하지 않고 바로 균질액을 만들면, 동결건조 비용의 절약 효과와 더불어 기억력 개선 효과가 더 뛰어난 제품을 만들 수 있음을 보여준다.

Table 1. Comparison of spray drying yields according to the amount of drinking water used for generating homogenized HongJam solution

HongJam 100 g	Amounts of drinking water		
	200 ml	300 ml	400 ml
Dry-yield	21.7 ± 0.75% ^a	20.0 ± 0.89% ^a	15.5 ± 1.89% ^b
Loss rate during sample preparation	4.27 ± 0.554%	4.9 ± 0.748%	9.48 ± 1.094%
Dry-yield after loss compensation	22.7 ± 0.78% ^a	21.0 ± 0.65% ^a	17.1 ± 0.54% ^b

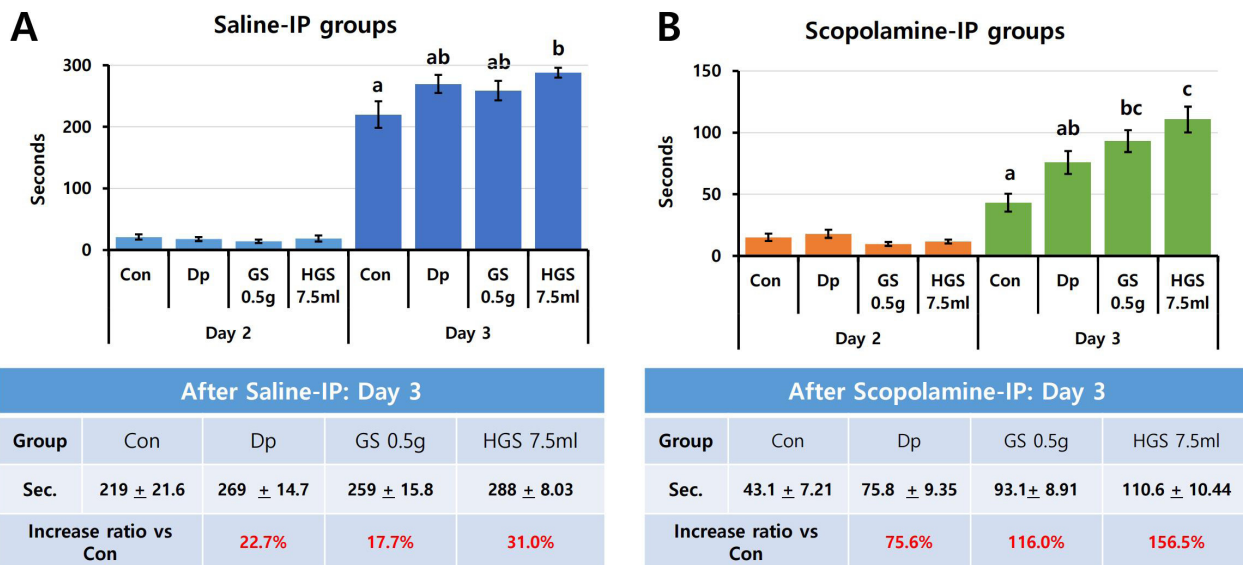


Fig. 1. Compared to the same amount of freeze-dried Golden-Silk HongJam powder (GS), the homogenized Golden-Silk HongJam solution (HGS) has a better memory improvement effect. A. There was no difference in the time spent in a bright room before the electric shock between the Saline intraperitoneal injection groups (Saline-IP). However, after the electric shock, only the HGS 7.5 ml/Kg body weight (BW) administration group significantly increased the time to stay in a bright room compared to the control group. B. There was no difference in the time spent in a bright room before the electric shock between short-term memory loss models induced by scopolamine intraperitoneal injection (Scopolamine-IP). However, GS 0.5 g/Kg and HGS 7.5 ml/Kg BW administration groups showed significantly increased retention times at the bright room compared to that of Con after electrical shock.

Table 2. Change in spray drying yield of homogenized Golden-Silk HongJam solutions (HGS) added with emulsifiers

HongJam 100 g + drinking water 200 ml	Control	Lecithin 0.3%	GEFA 0.3%	Lecithin 0.3% + GEFA 0.3%
Dry yield	21.1 ± 0.45% ^a	22.1 ± 0.64% ^a	24.0 ± 0.75% ^b	24.1 ± 0.86% ^b
Loss rate during sample preparation	6.42 ± 0.23%	6.32 ± 0.31%	5.94 ± 0.33%	6.22 ± 0.41%
Loss Compensated Dry Yield	22.4 ± 0.51% ^a	23.8 ± 0.72% ^{ab}	25.8 ± 0.81% ^b	26.2 ± 0.83% ^b
Dry yield after excluding emulsifiers	22.4 ± 0.51% ^a	23.0 ± 0.72% ^{ab}	24.9 ± 0.81% ^b	24.6 ± 0.83% ^b

식품용 유화제의 첨가에 따른 분무 건조 수율 증진 효과 연구

식품용 유화제는 식품 시료 안에 있는 지용성 성분들이 수용성 매질과 분리되지 않고 안정적으로 혼합되어 존재할 수 있도록 도와주는 식품 첨가물로서, 다양한 종류의 식품 제조에 사용되고 있다(Choi et al., 2018). 최근에 발표된 홍잠의 성분 분석 연구 결과를 보면, 홍잠은 단백질이 주성분으로 70% 내외를 차지하고, 그 다음으로 많은 영양분이 지방성분으로 건조 중량의 14 ~ 15% 내외를 차지하고 있다(Choi et al., 2017a; Choi et al., 2017b; Ji et al., 2016a; Ji et al., 2016b). 본 연구에서 진행한 분무 건조 시에 홍잠 균질 액의 온도를 40 ~ 60°C 내외에서 유지 해주었을 경우 상온에서 진행한 경우보다 유동성이 더 좋았다. 이는 홍잠 균질 액 내에 존재하는 지방 성분이 상온에서는 점도

가 높아져서 물과 잘 섞이지 않아 유동성이 나빠졌을 가능성이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 우리는 홍잠 균질 액 내의 지용성 성분을 안정화 시켜서 분무 건조 수율에 영향을 미치는 지에 대한 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 대두에서 추출된 Lecithin과 Glycerin esters of fatty acids(GEFA) 일정량을 홍잠 균질 액에 첨가한 후, 분무 건조하였을 경우의 건조 수율 변화를 연구하였다(Table 2). 연구 결과를 보면 대조군의 경우 건조 수율은 21.1 ± 0.45% 였고, 재료 준비 중 손실을 감안한 건조 수율은 22.4 ± 0.51% 였다. 이에 반하여 Lecithin을 첨가한 시료의 경우는 건조 수율은 22.1 ± 0.64%이고 손실 감안 건조 수율은 23.8 ± 0.72%, 유화제를 제외한 건조 수율은 23.0 ± 0.72%였다. GEFA를 첨가한 시료의 경우는 건조 수율은 24.0 ± 0.75%, 손실 감안 건조 수율은 25.8 ± 0.81%, 그리고 유화제 제외 건조 수율은 24.9 ± 0.81%로 가

장 높았다. Lecithin과 GEFA를 동시에 첨가한 경우에는 건조 수율이 $24.1 \pm 0.86\%$, 손실 감안 건조 수율은 $26.2 \pm 0.83\%$ 로 가장 높았고, 유화제 제외 건조 수율은 $24.6 \pm 0.83\%$ 였다. 이 결과는 GEFA 0.3%를 첨가하였을 경우에 가장 높은 홍잠 생산 수율을 기대할 수 있음을 보여주었다.

식품용 부형제의 첨가에 따른 홍잠 균질 액의 분무 건조 수율 증대 효과

식품용 부형제는 과즙 또는 액상의 원재료를 건조하여 만드는 제품의 제조를 원활하게 하고 수율을 높여서 생산성과 저장성을 높이는 목적으로 사용되는 식품 첨가물이다(KFDA, 2020). 본 연구에서는 식품용 부형제인 dextrin과 cyclodextrin을 홍잠 균질 액에 첨가한 후, 분무 건조하였을 경우 건조 수율이 높아지는지를 확인하는 연구를 진행했다(Table 3). 대조군의 건조 수율은 $18.4 \pm 1.05\%$ 였고, 시료 준비 중 손실 보정 건조 수율은 $19.7 \pm 1.16\%$ 였다. 이에 비하여 Dextrin 10 g을 첨가한 경우 건조 수율은 $25.0 \pm 0.53\%$ 였고, 시료 준비 중 손실 보정 건조 수율은 $29.8 \pm 0.64\%$ 이며, 부형제 제외 손실 보정 건조 수율은 $21.9 \pm 0.64\%$ 였다. Dextrin 20 g을 첨가한 경우는 건조 수율은 $32.2 \pm 0.88\%$ 였고, 시료 준비 중 손실 보정 건조 수율은 $34.1 \pm 0.69\%$ 이며, 부형제 제외 손실 보정 건조 수율은 $20.8 \pm 0.69\%$ 였다. 그리고 Cyclodextrin 10 g을 첨가한 경우는 건조 수율은 $26.1 \pm 0.76\%$ 였고, 시료 준비 중 손실 보정 건조 수율은 $27.4 \pm 0.58\%$ 이며 부형제 제외 손실 보정 건조 수율은 $20.2 \pm 0.58\%$ 였다. Cyclodextrin 20 g을 첨가한 경우는 건조 수율이 $33.9 \pm 1.34\%$ 이고, 시료 준비 중 손실 보정 건조 수율은 $36.6 \pm 0.99\%$ 이며, 부형제 제외 손실 보정 건조 수율은 $23.9 \pm 0.99\%$ 였다.

이 결과에 따르면, 가장 효율적인 부형제의 양은 dextrin의 경우 사용될 홍잠 양의 10%, Cyclodextrin은 20%였다.

식용 단백질 분해 효소로 분해된 홍잠 균질 액의 건조 수율은 홍잠 균질 액과 차이가 없었음

식용 단백질 분해 효소를 이용하여 홍잠 분말을 분해하면 홍잠의 기능성이 증대됨을 최근에 보고하였다(Mai et al., 2022). 식용 단백질 분해 효소로 분해된 홍잠 산물에 대한 fast protein liquid chromatography를 이용한 size exclusion chromatography 결과를 보면, 홍잠의 주성분인 단백질들이 저 분자량의 펩타이드들로 분해가 이루어짐을 명확히 알 수 있다(Mai et al., 2022). 분자량이 큰 단백질들이 분해되면 단백질들과 강하게 결합되어 있던 다양한 기능성을 가지는 식물 유래 화합물들이 분리되어 더 빠르게 인체 내로 흡수됨으로써 기능성이 증대될 수 있다(Mai et al., 2022; Park et al., 2022). 그런데, 이미 동결 건조하여 분쇄한 홍잠 분말에 다시 식수나 완충 액 등을 첨가하여 현탁액으로 만든 후, 식용 단백질 분해 효소로 홍잠 분말 현탁액을 분해하고, 또 다시 동결 건조하는 것은(Mai et al., 2022) 1차 동결 건조 과정에 투입된 에너지가 낭비되는 것이다. 그 대신 홍잠 균질 액을 식용 단백질 분해효소인 FPAP로 분해 하고 바로 분무 건조를 진행하면 식용 단백질 효소 분해 홍잠 건조 분말의 제조에 들어가는 에너지의 양을 획기적으로 줄일 수 있음을 증명하기 위한 연구를 진행하였다.

FPAP로 홍잠 균질 액을 분해하면, 홍잠 균질 액의 색깔이 점진적으로 노란색에서 초록색으로 변화했다(data not shown). 이 현상은 동결 건조 홍잠 분말에 식수를 추가한 후, FPAP로 분해하는 과정에서 일어나는 현상과 동일 했다(Mai et al., 2022).

Table 3. Spray-drying yield improvement effects of food excipients added to homogenized Golden-Silk HongJam solutions (HGS)

HongJam 100 g + Drinking water 200 ml	Control	Dextrin		Cyclodextrin	
		10 g	20 g	10 g	20 g
Dry yield	$18.4 \pm 1.05\%^a$	$25.0 \pm 0.53\%^b$	$32.2 \pm 0.88\%^c$	$26.1 \pm 0.76\%^b$	$33.9 \pm 1.34\%^c$
Loss rate during sample preparation	$6.67 \pm 0.86\%$	$7.48 \pm 0.45\%$	$5.56 \pm 0.39\%$	$4.85 \pm 0.41\%$	$7.23 \pm 0.81\%$
Loss Compensated Dry Yield	$19.7 \pm 1.16\%^a$	$29.8 \pm 0.64\%^b$	$34.1 \pm 0.69\%^c$	$27.4 \pm 0.58\%^b$	$36.6 \pm 0.99\%^c$
Dry yield after excluding food excipients	$19.7 \pm 1.16\%^a$	$21.9 \pm 0.64\%^b$	$20.8 \pm 0.69\%^c$	$20.2 \pm 0.58\%^b$	$23.9 \pm 0.99\%^c$

Table 4. Spry-drying yield of FoodPro® Alkaline protease (FPAP)-digested homogenized Golden Silk HongJam solution

HongJam 100g + Drinking water 200 ml	Control	30 ml FPAP digestion
Dry yield	19.0%	19.1%
Loss rate during sample preparation	10.1%	7.2%
Loss Compensated Dry Yield	21.1%	20.3%

그리고, 효소 분해 후 홍잠 균질 액에서는 고소한 냄새가 강하게 났다. FPAP로 분해된 홍잠 균질 액을 분무 건조기로 건조하면 손실 보정 건조 수율은 20.3%로 대조군인 홍잠 균질 액 분무 건조와 차이가 없었다(Table 4).

홍잠 균질 액이나 FPAP분해 홍잠 균질 액을 이용한 일반 환자용 특수 의료 용도 식품 제조방법 개발 연구

일반 환자용 균형 영양 제조 식품과 질환별 영양 제조 식품은 식품의약품 안전처 고시 제2020-114호(KFDA, 2020)의 기준 및 규격에 따라서 제조되어야 한다. 환자의 체력 저하 방지 목적과 질병과 수술 등의 사유로 저하된 체력 회복을 위한 균형 있는 영양 공급을 목적으로 하는 액상형 또는 젤리형 일반 환자

용 균형 영양 조제 식품의 영양성분 조성 및 비타민/무기물 조성과 제조 원료는 각각 Table 5와 Table 6과 같다.

홍잠 균질 액이나 FPAP분해 홍잠 균질 액을 이용한 당뇨 환자용 특수 의료 용도 식품 제조방법 개발 연구

당뇨 환자용 영양조제식품의 조건은 1. 총 열량 대비 포화지방 유래 열량이 10% 미만, 2. 단당류 및 이당류 유래 열량은 10% 미만, 3. 콜레스테롤은 1 mg/10 kcal 미만 등이다(KFDA, 2020). 이러한 기준에 맞춘 홍잠 균질 액 또는 FPAP분해 홍잠 균질 액을 포함한 당뇨 환자용 영양조제식품 영양성분 조성 및 비타민/무기물 조성과 제조 원료는 Table 7과 같다.

Table 5. Nutrition facts, vitamin/mineral composition, and raw materials for manufacturing nutritional balanced-liquid formula for general patients including FPAP-digested or non-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution

Nutrient composition 100 ml (150 kcal)					
Key Nutrition Facts			Vitamin/Mineral composition		
Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value	Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value
Calorie	150 kcal		Vitamin A	70 µg RE	10%
Carbohydrate	17.5 g	5.4%	Vitamin B1	0.12 mg	10%
Total Sugar	2.5 g	2%	Vitamin B2	0.14 mg	10%
Dietary fiber	2.5 g	10%	Vitamin B6	0.15 mg	10%
Protein	8.8 g	16%	Vitamin C	10 mg	10%
Lipid	5.0 g	9.3%	Vitamin D	1 µg	10%
saturated	1.05 g	7%	Vitamin E	1.1 mg α-TE	10%
Trans fat	0	-	Niacin	1.5 mg NE	10%
Total cholesterol	3.00 mg	1%	Pantothenic acid	0.5 mg	10%
			Biotin	3 g	10%
			Folate	40 µg	10%
			Ca	70 mg	10%
			Fe	1.2 mg	10%
			Zn	0.85 mg	10%
			Mo	2.5 µg	10%
			P	70 mg	10%
			I	15 µg	10%
			Mg	3.2 mg	10%
			Se	5.5 µg	10%
			Cu	80 µg	10%
			Mn	0.3 mg	10%
			K	75 mg	2%
			Na	70 mg	4%

Purified water, dextrin, sodium caseinate, soy fiber, isolate soy protein, maltodextrin, acidity regulator, nutritional enhancer, emulsifier, synthetic flavors, etc. are added within the permitted range in addition to 13.0 ml of homogenized Golden-Silk HongJam solution or 14.95 ml of FPAP-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution.

Table 6. Nutrition facts, vitamin/mineral composition, and raw materials for manufacturing nutritional balanced-jelly-liked formula for general patients including FPAP-digested or non-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution

Nutrient composition 100 ml (150 kcal)					
Key Nutrition Facts			Vitamin/Mineral composition		
Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value	Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value
Calorie	150 kcal		Vitamin A	70 µg RE	10%
Carbohydrate	17.5g	5.4%	Vitamin B1	0.12 mg	10%
Total Sugar	2.5 g	2%	Vitamin B2	0.14 mg	10%
Dietary fiber	2.5 g	10%	Vitamin B6	0.15 mg	10%
Protein	8.8 g	16%	Vitamin C	10 mg	10%
Lipid	5.0 g	9.3%	Vitamin D	1 µg	10%
saturated	1.05 g	7%	Vitamin E	1.1 mg α-TE	10%
Trans fat	0	-	Niacin	1.5 mg NE	10%
Total cholesterol	3.00 mg	1%	Pantothenic acid	0.5 mg	10%
			Biotin	3 g	10%
			Folate	40 µg	10%
			Ca	70 mg	10%
			Fe	1.2 mg	10%
			Zn	0.85 mg	10%
			Mo	2.5 µg	10%
			P	70 mg	10%
			I	15 µg	10%
			Mg	3.2 mg	10%
			Se	5.5 µg	10%
			Cu	80 µg	10%
			Mn	0.3 mg	10%
			K	75 mg	2%
			Na	70 mg	4%

Purified water, dextrin, sodium caseinate, soy fiber, isolate soy protein, maltodextrin, acidity regulator, nutritional enhancer, emulsifier, synthetic flavors, etc. are added within the permitted range in addition to 4 g of gelatin with 13.0 ml of homogenized Golden-Silk HongJam solution or 14.95 ml of FPAP-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution.

홍삼 균질 액이나 FPAP분해 홍삼 균질 액을 이용한 신장 질환용 특수 의료 용도 식품 제조방법 개발 연구

단백질과 전해질의 섭취를 조절해야하는 신장 질환용 영양 조제식품의 조건은 1. 비타민 A, D는 제품 1,000 kcal당 영양성분 기준치의 20% 이상, 2. 칼륨과 인은 제한되어야하는 영양 성분이며, 3. 비투석환자용 제품은 단백질 유래 열량이 총 열량의 10% 미만(Table 8), 4. 투석환자용은 단백질 유래 용량이 총 열량의 12% 이상(Table 9), 5. 제품 1 ml(g) 당 1.5 kcal 이상의 열량이어야 하고, 6. 나트륨은 1,000 kcal당 800 mg 이하여야 한다(KFDA, 2020) 등이다.

홍삼 균질 액이나 FPAP분해 홍삼 균질 액을 이용한 장 질환용 특수 의료 용도 식품 제조방법 개발 연구

장 질환용 단백질수분해 영양조제식품의 조건은 단백질이 1,000 kcal당 영양성분 기준치의 30% 이상이 되도록 해야하고, 단백질은 단백질 가수 분해물 또는 유리 아미노산 형태로 공급해야 한다(KFDA, 2020). 그러므로, FPAP 분해 홍삼 균질 액을 이용하여 장 질환용 단백질수분해 영양조제식을 만든다(Table 10).

고찰

현재 인류는 산업활동을 하면서 무분별하게 배출한 온실가

Table 7. Nutrition facts, vitamin/mineral composition, and raw materials for manufacturing nutritional balanced-liquid formula for diabetic patients including FPAP-digested or non-digested homogenized Golden-Silk HongJam solutioz

Nutrient composition 100 ml (100 kcal)					
Key Nutrition Facts			Vitamin/Mineral composition		
Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value	Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value
Calorie	100 kcal		Vitamin A	70 µg RE	10%
Carbohydrate	10.0 g	3.1%	Vitamin B1	0.12 mg	10%
Total Sugar	1.25 g	1%	Vitamin B2	0.14 mg	10%
Dietary fiber	2.5 g	10%	Vitamin B6	0.15 mg	10%
Protein	6.0 g	11%	Vitamin C	10 mg	10%
Lipid	4.0 g	7.4%	Vitamin D	1 µg	10%
saturated	1.05 g	7%	Vitamin E	1.1 mg α-TE	10%
Trans fat	0	-	Niacin	1.5 mg NE	10%
Total cholesterol	3.00 mg	1%	Pantothenic acid	0.5 mg	10%
			Biotin	3 g	10%
			Folate	40 µg	10%
			Ca	70 mg	10%
			Fe	1.2 mg	10%
			Zn	0.85 mg	10%
			Mo	2.5 µg	10%
			P	70 mg	10%
			I	15 µg	10%
			Mg	3.2 mg	10%
			Se	5.5 µg	10%
			Cu	80 µg	10%
			Mn	0.3 mg	10%
			K	75 mg	2%
			Na	70 mg	4%

Purified water, dextrin, sodium caseinate, soy fiber, isolate soy protein, maltodextrin, acidity regulator, nutritional enhancer, emulsifier, synthetic flavors, etc. are added within the permitted range in addition to 13.0 ml of homogenized Golden-Silk HongJam solution or 14.95 ml of FPAP-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution.

스에 의한 전 지구적인 기후 변화라는 중대한 위기에 직면하고 있다(EPA, 2021). 2022년 여름에 유럽과 중국은 500년 이래 최악의 가뭄으로 고통을 받고 있고, 아프리카와 미국에서는 2000년 이후의 가뭄으로 인간이 활용할 수 있는 강물과 지하수가 지속적으로 감소되고 있다(Ahmedzade et al., 2022). 또 다른 위협은 생명과학과 의료 기술의 발달에 의한 인간의 기대수명 증가로(Kontis et al., 2017), 노인 인구는 급속하게 증가하는 것이다. 하지만, 질병없이 생존하는 건강수명은 기대수명 만큼 증가되지 않아서, 질병으로 고통을 받는 생존 기간이 더 늘어나고 있다. 특히, 노인 인구의 증가는 현재까지 치료방법이 개발되지 않은 치매나 파킨슨병을 포함한 퇴행성 신경계 질환으로 고통받는 환자의 수를 급격히 증가시키고 있다(Koh, 2020; Kumar and Peterson, 2019). 이러한 노인인구의 증가와 퇴행성 신경계

질환자의 증가는 개인과 사회와 국가가 지불해야 할 의료 비용의 급격한 증가를 가져온다. 그러므로, 향후 인류가 지구 상에서 생존하기 위해서는 위의 두가지 문제를 최대한 빠르게 해결해야 한다(Kim and Koh, 2022; Park et al., 2022). 우선 기후변화를 해결하기 위해서는 모든 산업 활동을 저 탄소 활동으로 전환해야 한다. 전세계 온실 가스 배출의 여러 요인 중 축산업은 전 세계 온실가스 배출량의 14.5%에 달하는 온실가스를 배출하고 있다(Gerber et al., 2013). 그러므로, 축산업에서 배출되는 온실가스를 줄이기 위해서는 육류에 대한 인간의 의존도를 줄여야만 한다. 인간은 소와 돼지와 닭 등의 가축들로부터 단백질과 지방 등의 영양분을 섭취하는데, 1 Kg의 육류를 생산하는데 많은 양의 사료와 물이 사용되어 대량의 탄소 발생을 유도한다(Park et al., 2022; van Huis et al., 2013; van Huis and Oonincx,

Table 8. Nutrition facts, vitamin/mineral composition, and raw materials for manufacturing nutritional balanced-liquid formula for non-dialysis kidney patients including FPAP-digested or non-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution

Nutrient composition 100 ml (200 kcal)					
Key Nutrition Facts			Vitamin/Mineral composition		
Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value	Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value
Calorie	200 kcal		Vitamin A	140 µg RE	20%
Carbohydrate	27.0 g	8.3%	Vitamin B1	0.24 mg	20%
Total Sugar	2.5 g	2%	Vitamin B2	0.28 mg	20%
Dietary fiber	2.5 g	10%	Vitamin B6	0.30 mg	20%
Protein	5.0 g	9.1%	Vitamin C	20 mg	20%
Lipid	8.0 g	14.8%	Vitamin D	2 µg	20%
Saturated	1.05 g	7%	Vitamin E	2.2 mg α-TE	20%
Trans fat	0	-	Niacin	3 mg NE	20%
Total cholesterol	3.00 mg	1%	Pantothenic acid	1 mg	20%
			Biotin	6 µg	20%
			Folate	80 µg	20%
			Ca	70 mg	10%
			Fe	1.2 mg	10%
			Zn	0.85 mg	10%
			Mo	2.5 µg	10%
			P	> 70 mg	> 10%
			I	15 µg	10%
			Mg	3.2 mg	10%
			Se	5.5 µg	10%
			Cu	80 µg	10%
			Mn	0.3 mg	10%
			K	75 mg	2%
			Na	70 mg	4%

Purified water, dextrin, sodium caseinate, soy fiber, isolate soy protein, maltodextrin, acidity regulator, nutritional enhancer, emulsifier, synthetic flavors, etc. are added within the permitted range in addition to 13.0 ml of homogenized Golden-Silk HongJam solution or 14.95 ml of FPAP-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution. The amount of potassium, phosphorus and sodium is limited to < 10%. Vitamins are adjusted to have ≥ 20%.

2017). 이에 비하여 식용 곤충은 적은 양의 사료로 사육이 가능해서 높은 사료전환율을 가지고 있고, 적은 공간에서 단 기간 내에 적은 양의 물을 이용하여 생산이 가능하므로, 소와 돼지와 닭 등을 대체할 수 있는 단백질과 지방의 공급원이 될 수 있다 (Park et al., 2022; van Huis et al., 2013; van Huis and Oonincx, 2017). 현재도, 한국, 중국, 일본, 태국, 베트남 등을 포함한 아시아 국가와 브라질과 멕시코를 포함한 중남아메리카 대륙의 국가와 아프리카의 많은 나라에서 다양한 곤충을 식용하고 있다. 하지만, 유럽이나 북미 지역 등에서는 곤충의 식용에 대한 거부감이 크기 때문에 식용 곤충에 대한 인식 변화가 우선 되어야 한다 (van Huis et al., 2013). 현재 대량으로 사육되고 있는 식용 곤충은 갈색거저리와 흰점박이꽃무지 등이다(Kim et al., 2019b).

누에도 곤충에 속하지만, 현재 광범위하게 사육되는 식용 곤

충들과는 매우 다른 명확한 장단점을 가지고 있다. 우선 누에는 단식성(單食性) 곤충으로 뽕나무의 잎으로만 사육이 가능하고, 환경 오염에 매우 민감하여 적의 양의 작물보호제 또는 공장이나 차량에서 나오는 환경 오염 물질에 오염된 뽕잎을 섭취하게 되면 발육이 중단되고 죽게 된다(Kim and Koh, 2022). 그리고 약취와 진동에도 민감하여 대부분의 잠실은 대로 변이 아니라 차량의 통행이 적은 지역에 위치한다. 그러므로, 숙잠으로 발육된 누에는 환경 오염으로부터 안전한 천연 건강 식품으로 간주할 수 있다(Kim et al., 2019a; Park et al., 2022). 하지만, 잡식성인 다른 식용 곤충과 비교하면 뽕나무를 키울 수 있는 밭이 있어 야만 누에의 사육이 가능하고, 아직까지 누에 사육 자동화가 되지 않아서 단 기간에 대량의 노동력 투입이 필요하여, 그 결과 생산 비용이 매우 높다는 단점이 있다. 그럼에도 불구하고, 누에는

Table 9. Nutrition facts, vitamin/mineral composition, and raw materials for manufacturing nutritional balanced-liquid formula for dialysis kidney patients including FPAP-digested or non-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution

Nutrient composition 100 ml (200 kcal)					
Key Nutrition Facts			Vitamin/Mineral composition		
Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value	Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value
Calorie	200 kcal		Vitamin A	140 µg RE	20%
Carbohydrate	27.0 g	8.3%	Vitamin B1	0.24 mg	20%
Total Sugar	2.5 g	2%	Vitamin B2	0.28 mg	20%
Dietary fiber	2.5 g	10%	Vitamin B6	0.30 mg	20%
Protein	7.3 g	13.3%	Vitamin C	20 mg	20%
Lipid	7.0 g	13.0%	Vitamin D	2 µg	20%
saturated	1.05 g	7%	Vitamin E	2.2 mg α-TE	20%
Trans fat	0	-	Niacin	3 mg NE	20%
Total cholesterol	3.00 mg	1%	Pantothenic acid	1 mg	20%
			Biotin	6 µg	20%
			Folate	80 µg	20%
			Ca	70 mg	10%
			Fe	1.2 mg	10%
			Zn	0.85 mg	10%
			Mo	2.5 µg	10%
			P	> 70 mg	> 10%
			I	15 µg	10%
			Mg	3.2 mg	10%
			Se	5.5 µg	10%
			Cu	80 µg	10%
			Mn	0.3 mg	10%
			K	75 mg	2%
			Na	70 mg	4%

Purified water, dextrin, sodium caseinate, soy fiber, isolate soy protein, maltodextrin, acidity regulator, nutritional enhancer, emulsifier, synthetic flavors, etc. are added within the permitted range in addition to 13.0 ml of homogenized Golden-Silk HongJam solution or 14.95 ml of FPAP-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution. The amount of potassium, phosphorus and sodium is limited to < 10%. Vitamins are adjusted to have ≥ 20%.

발육 단계별로 다양한 건강 증진 효과를 가지고 있기에 이에 대한 활용이 필요하다(Park et al., 2022). 특히 골든실크 홍잠의 경우는 파킨슨병과 치매와 같이 현재 표준 치료제나 치료방법이 없는 신경계 질환에 대한 예방 효과가 동물 실험으로 증명되었다(Nguyen et al., 2020; Nguyen et al., 2021; Nguyen et al., 2016). 또한, 골든실크 홍잠 분말을 효소 분해한 경우 파킨슨병의 발병 예방 효과가 더 높아진다는 결과는 시사하는 바가 크다(Mai et al., 2022). 그러므로, 본 연구가 가장 크게 기여한 바는 생산된 홍잠을 가공하는데 들어가는 에너지를 감소시켜서 생산비를 낮추어 홍잠 제품의 대중화에 도움을 줄 수 있다는 것이다(Tables 1 ~ 4). 동결 건조 비용과 분무 건조 비용을 비교한 연구에 따르면, 분무 건조의 동결 건조 대비 고정 비용은 12%이고 제조 비용은 20%이다(Santivarangkna et al., 2007). 그러므로, 현

재 활용되는 동결 건조 후 분말화 과정 대신에, 홍잠 균질 액으로 제조 후 분무 건조를 하면, 홍잠 분말 제조에 들어가는 에너지를 획기적으로 줄일 수 있다. 홍잠 균질 액을 이용한 비용 절감 효과는 식용 단백질 효소 분해 홍잠 분말의 제조 시 더 확실하다. 현재의 방법으로 효소 분해 홍잠을 생산하기 위해서는 2회 동결 건조 과정을 거쳐야 하는데, 본 연구에서 제안한 바와 같이 홍잠 균질 액을 활용하면, 분무 건조 과정 1회 만을 거치면 되므로, 건조에 필요한 제조 비용을 10% 이하로 줄일 수 있을 것이다.

홍잠을 동결 건조하지 않고, 바로 균질화 과정을 거쳐서 균질 액으로 제조하는 방법의 또 다른 장점은 홍잠 분말 보다 기억력 개선 효과가 뛰어난 균질 액을 이용하여 다양한 종류의 특수 의료 용도 식품을 제조할 수 있다는 것이다(Fig. 1, Tables 5 ~ 10). 특수 의료 용도 식품은 일반 환자용과 질환별 환자용으로 나뉘는

Table 10. Nutrition facts, vitamin/mineral composition, and raw materials for manufacturing nutritional balanced-liquid formula for intestinal disease patients including FPAP-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution

Nutrient composition 100 ml (200 kcal)					
Key Nutrition Facts			Vitamin/Mineral composition		
Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value	Item	Content (100 ml)	% nutrient reference value
Calorie	200 kcal		Vitamin A	70 µg RE	10%
Carbohydrate	17.0 g	5.2%	Vitamin B1	0.12 mg	10%
Total Sugar	2.5 g	2%	Vitamin B2	0.14 mg	10%
Dietary fiber	2.5 g	10%	Vitamin B6	0.15 mg	10%
Protein	17.3 g	31.5%	Vitamin C	10 mg	10%
Lipid	7.0 g	13.0%	Vitamin D	1 µg	10%
saturated	1.05 g	7%	Vitamin E	1.1 mg α-TE	10%
Trans fat	0	-	Niacin	1.5 mg NE	10%
Total cholesterol	3.00 mg	1%	Pantothenic acid	0.5 mg	10%
			Biotin	3 g	10%
			Folate	40 µg	10%
			Ca	70 mg	10%
			Fe	1.2 mg	10%
			Zn	0.85 mg	10%
			Mo	2.5 µg	10%
			P	70 mg	10%
			I	15 µg	10%
			Mg	3.2 mg	10%
			Se	5.5 µg	10%
			Cu	80 µg	10%
			Mn	0.3 mg	10%
			K	75 mg	2%
			Na	70 mg	4%

Purified water, dextrin, sodium caseinate, soy fiber, isolate soy protein, maltodextrin, acidity regulator, nutritional enhancer, emulsifier, synthetic flavors, etc. are added within the permitted range in addition to 14.95 ml of FPAP-digested homogenized Golden-Silk HongJam solution. Protein calories should be at least 30% of 1,000 kcal calories. Use hydrolyzed protein or free amino acids to meet calories.

데 다양한 기능성을 가지는 홍잠을 추가하면, 환자들의 건강을 빠르고 편리하게 회복시켜 줄 것으로 사료된다(Tables 5 ~ 10). 그리고, 본 연구에서 제안한 방법 이외에도 홍잠을 활용한 다양한 제품이 개발되면, 양잠 농가와 연관 산업도 발전하게 될 것으로 예측된다. 현재 누에 중에서 동결건조 5령 3일 누에 분말은 혈당강하 효과를 인정 받아서 건강기능식품으로 판매되고 있고 누에 고치의 실크 피브로인 단백질의 가수분해물은 기억력 개선효과가 인정되어서 건강기능식품으로 판매되고 있다(KFDA, 2016). 그리고, 백강균에 감염된 누에인 백강잠은 한약재로 등록이 되어 있어서, 다양한 한약 처방에 활용되고 있다. 최근 연구에서 백강잠 열수 추출물이 파킨슨병 발병 억제 효과가 있음이 보고되었지만(Lim et al., 2019), 백강잠은 국내 생산이 거의 없고 대부분 중국에서 수입된 제품으로 안전성과 품질에 대한 신뢰가

매우 낮다(Korean Sericulture Society, 2020). 이와 같이 홍잠 이외의 다른 누에 제품들에 대한 가공 방법을 개발하고 기능성을 밝혀낸다면, 세계 양잠 산업을 선도하는 국가가 될 수 있을 것이다.

사사

본 연구는 2022년도 농촌진흥청 공동연구사업(바이오 그린 연계 농생명혁신기술개발) 지원사업에 의해 이루어진 것임(연구비 번호: PJ015659012022).

저자 직책 & 역할

김기영: 국립농업과학원 농업 생물부, 농업연구관; 연구 기

획, 시료 확보, 시료 분석, 논문 작성
 Nguyen, Phuong: 한림대학교 일송생명과학연구소, 연구원; 동물실험, 결과 분석, 논문 작성
 김남숙: 국립농업과학원 농업생물부, 농업사무관; 시료 확보, 시료 분석, 논문 작성
 강상국: 국립농업과학원 농업생물부, 농업주사; 시료 확보, 시료 분석, 논문 작성
 김유희: 한림대학교 일송생명과학연구소, 연구원; 시료 제작, 시료 분석, 논문 작성
 고영호: 한림대학교 일송생명과학연구소, 교수; 연구기획, 시료 제작, 시료 분석, 논문 작성, 논문 투고

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Ahmedzade, T., Horton, J., Mwai, P., Song, W., 2022. China, Europe, US drought: Is 2022 the driest year recorded?, BBC. BBC, London.
- Cho, J.-M., Kim, K.-Y., Ji, S.-D., Kim, E.-H., 2016. Protective effect of boiled and freeze-dried mature silkworm larval powder against diethylnitrosamine-induced hepatotoxicity in mice. *J. Cancer Prevent.* 21, 173-181.
- Choi, B.H., Ji, S.D., Jeong, J.H., Kim, K.Y., Koh, Y.H., 2017a. Quantification and comparison of functional phytochemicals in steamed and freeze-dried mature silkworm powders and freeze-dried mulberry leaves. *Int. J. Indust. Entomol.* 35, 89-96.
- Choi, B.H., Ji, S.D., Son, J.G., Nguyen, P., Kim, K.Y., Park, Y.H., Koh, Y.H., 2017b. Phytochemicals and silk proteins in mature silkworm powders responsible for extended life expectancy and enhanced resistances to Parkinson's disease. *J. Asia-Pacific Entomol.* 20, 1425-1433.
- Choi, M.-J., Kim, H., Lee, Y., Park, D.H., Lee, S., 2018. The principle of emulsifier in food application and trends in food emulsifier market. *Food Sci. Ind.* 2018, 136-147.
- EPA, 2021. Climate change indicators: greenhouse gases. United States Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., Tempio, G., 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Ji, S.D., Kim, N.S., Kweon, H., Choi, B.H., Kim, K.Y., Koh, Y.H., 2016a. Nutrition composition differences among steamed freeze-dried mature silkworm larval powders made from 3 *Bombyx mori* varieties weaving different colored cocoons. *Int. J. Indust. Entomol.* 33, 6-14.
- Ji, S.D., Kim, N.S., Kweon, H., Choi, B.H., Yoon, S.M., Kim, K.Y., Koh, Y.H., 2016b. Nutrient compositions of *Bombyx mori* mature silkworm larval powders suggest their possible health improvement effects in humans. *J. Asia-Pacific Entomol.* 19, 1027-1033.
- 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, 38-43.
- Ji, S.-D., Kim, S.-B., Kim, K.-Y., Kim, N.-S., Kim, S.-W., Jo, Y.-Y., Kim, J.-G., Kim, Y.-K., Seok, Y.-S., Lim, J.R., Koo, H.-Y., Lee, H.-T., 2019. Contents of nutrients in ultra-fine powders of steamed and lyophilized mature silkworms generated by four silkworm varieties. *J. Asia-Pacific Entomol.* 22, 969-974.
- Ji, S.D., Son, J.G., Kim, S., Kim, N.S., Kim, K.Y., Kweon, H., Sung, G.K., Koh, Y.H., 2017. Production techniques to improve the quality of steamed and freeze-dried mature silkworm larval powder. *Int. J. Indust. Entomol.* 34, 1-11.
- Kang, P.D., Lee, S.U., Jung, I.Y., Shon, B.H., Kim, Y.S., Kim, K.Y., Kim, M.J., Hong, I.P., Lee, K.G., Park, K.Y., 2007. Breeding of new silkworm variety golden silk, a yellow cocoon color for spring rearing season. *Korean J. Sericulture.Sci.* 49, 14-17.
- KFDA, 2020. Food and food additives Codex, in Ministry of Food and Drug Safety Notification No. 2020-114, Osong.
- KFDA, 2016. Current status of recognition of functional raw materials for health functional foods. KFDA, Osong Health and Medical Administration Town, p. 115.
- Kim, H.J., Kim, K.Y., Ji, S.D., Lee, H.T., 2017. Anti-melanogenic activity of steamed and freeze-dried mature silkworm powder. *J. Asia-Pacific Entomol.*, 20, 1001-1006.
- Kim, H.O., 2017. Cooked mature silkworms, now call it with 'Hongjam'. Food Icon, Korea Food Information Newspaper Ltd., Seoul.
- Kim, K.-Y., Koh, Y.H., 2022. The past, present, and future of silkworm as a natural health food. *Food Sci. Ind.* 55, 154-165.
- Kim, K.-Y., Osabutey, A.F., Nguyen, P., Kim, S.B., Jo, Y.-Y., Kweon, H.Y., Lee, H.-T., Ji, S.-D., Koh, Y.H., 2019a. The experimental evidences of steamed and freeze-dried mature silkworm powder as the calorie restriction mimetics. *Int. J. Indust. Entomol.* 39, 1-8.
- Kim, T.-K., Yong, H.I., Kim, Y.-B., Kim, H.-W., Choi, Y.-S., 2019b. Edible insects as a protein source: a review of public perception, processing technology, and research trends. *Food Sci. Anim. Resour.* 39, 521-540.
- Koh, Y.H., 2020. The memory enhancement and healthspan extension effects of HongJam. The policy report of national institute for korean medicine development 5, 22-33.
- Kontis, V., Bennett, J.E., Mathers, C.D., Li, G., Foreman, K., Ezzati, M., 2017. Future life expectancy in 35 industrialised countries: projections with a Bayesian model ensemble. *Lancet* 389,

- 1323-1335.
- Korean Sericulture Society, 2020. The 100th anniversary of the Korean Sericulture Society. Korean Sericulture Society, Seoul, Korea.
- Kumar, S., Peterson, T.R., 2019. Moonshots for aging. *Nutr. Healthy Aging* 5, 239-246.
- Lee, D.Y., Cho, J.M., Yun, S.M., Hong, K.S., Ji, S.D., Son, J.G., Kim, E.H., 2017. Comparative effect of silkworm powder from 3 *Bombyx mori* varieties on ethanol-induced gastric injury in rat model. *Int. J. Indust. Entomol.* 35, 14-21.
- Lim, H.S., Kim, J.S., Moon, B.C., Ryu, S.M., Lee, J., Park, G., 2019. *Batryticatus Bombyx* protects dopaminergic neurons against MPTP-Induced neurotoxicity by inhibiting oxidative damage. *Antioxidants* 8, 574.
- Mai, L.X., Kang, S.-K., Jo, Y.-Y., Nguyen, P., Kim, A.-Y., Kim, K.-Y., Kim, N.-S., Koh, Y.H., 2022. An alkaline protease-digestion of silkworm powder enhances its effects over healthspan, autophagy, and mitochondria function in a rotenone-induced *Drosophila* Model. *Front. Nutr.* 9, 808295.
- Nguyen, P., Kim, K.-Y., Kim, A.Y., Choi, B.-H., Osabutey, A.F., Park, Y.H., Lee, H.-T., Ji, S.D., Koh, Y.H., 2020. Mature silkworm powders ameliorated scopolamine-induced amnesia by enhancing mitochondrial functions in the brains of mice. *J. Funct. Foods* 67, 103886.
- Nguyen, P., Kim, K.-Y., Kim, A.Y., Kang, S., Osabutey, A.F., Jin, H., Guo, Y., Park, H., Suh, J.-W., Koh, Y.H., 2021. The additive memory and healthspan enhancement effects by the combined treatment of mature silkworm powders and Korean angelica extracts. *J. Ethnopharmacol.* 281, 114520.
- Nguyen, P., Kim, K.Y., Kim, A.Y., Kim, N.S., Kweon, H., Ji, S.D., Koh, Y.H., 2016. Increased healthspan and resistance to Parkinson's disease in *Drosophila* by boiled and freeze-dried mature silkworm larval powder. *J. Asia-Pacific Entomol.* 19, 551-561.
- Park, S.J., Kim, K.-Y., Baik, M.-Y., Koh, Y.H., 2022. Sericulture and the edible-insect industry can help humanity survive: insects are more than just bugs, food, or feed. *Food Sci. Biotechnol.* 31, 657-668.
- Santivarangkna, C., Kulozik, U., Foerst, P., 2007. Alternative drying processes for the industrial preservation of lactic acid starter cultures. *Biotechnol. Prog.* 23, 302-315.
- van Huis, A., Itterbeeck, J.V., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P., 2013. Edible insects Future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- van Huis, A., Oonincx, D.G.A.B., 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 43.