

식품과학과 산업 Vol. 55, No. 2, pp. 154~165 (2022)

<https://doi.org/10.23093/FSI.2022.55.2.154>

천연 건강식품인 누에의 과거, 현재 그리고 미래

The past, present and future of silkworm as a natural health food

김기영¹ · 고영호^{2,3*}

Kee-Young Kim¹ and Young Ho Koh^{2,3*}

¹국립농업과학원 곤충양잠산업과, ²한림대학교 일송생명과학연구소, ³한림대학교 대학원 노화생명과학과
¹Department of Industrial Insect and Sericulture, National Institute of Agricultural Sciences, ²Ilsong Institute of Life Science, Hallym University, ³Department of Biomedical Gerontology, Hallym University Graduate School

Abstract

Humans have been breeding the mulberry silkworm for the long period of time to obtain silk fabric and nutrient-rich pupae. Currently, silkworm larvae, pupae, and silk-Fibroin hydrolysates are registered as food raw materials, while silkworm feces and *Bombyx batryticatus* are registered as Korean traditional medicines. Among sericulture products, individually recognized health functional food ingredients include silk-protein acid-hydrolysates for immunity enhancement, Fibroin-hydrolysates for memory improvement, and freeze-dried 5th instar and 3rd-day-silkworm powder for lowering-blood sugar. Recently,

HongJam produced by steaming and freeze-drying mature silkworms were reported to have various health-promoting effects such as preventing the onset of Alzheimer's disease and Parkinson's disease, enhancing gastro-intestinal functions, improving skin-whitening and hair growth, and extending healthspan. By consuming silkworm products with various health-promoting effects, it is possible to increase the healthspan of human beings, thereby reducing personal and national medical expenses, resulting in increasing the individual's happiness.

Keywords: silkworm, bio-sericulture, Fibroin, 5th-instar and 3rd-day freeze-dried silkworm powder, HongJam

*Corresponding author: Young Ho Koh,
Ilsong Institute of Life Science, Hallym University, Doheon Research Center 1005C, Soul, 07247, Korea
Fax: 82-2-6923-8203
E-mail: kohyh@hallym.ac.kr
Received April 11, 2022; revised May 26, 2022; accepted June 7, 2022



서론

곤충이 최초로 지구상에 나타난 시기는 고생대(Paleozoic era)의 오르도비스기(Ordovician era) 중 초반부인 Tremadocian 기이다. 시간으로 보면 대략 4억8천만년 전 육상식물이 나타날 때로, 갑각류(crustaceans)에서 분화되어 지구 상에 나타났다(Misof 등, 2014). 곤충들은 성충이 6개의 다리를 가지고 있어서 육각류(hexapod)로도 불린다. 현재 발견된 최초의 곤충 화석은 *Rhyniognatha hirsti*라는 것으로 대략 4억7백만년에서 3억9천6백만년에 살았던 곤충이다(Engle과 Grimaldi, 2004; Haug 와 Haug, 2017). 나비 목(Order Lepidoptera) 곤충은 속씨식물이 나타나는 1억4천5백만년전부터 6천6백만년 사이의 백악기(Cretaceous)에 처음 나타났다(Renne 등, 2013). 현재 나비 목은 기록된 종만 16만 종에 달하는 곤충 강(Class Insecta)에 속하는 목 중에서 세번째로 큰 목으로 다양한 크기와 형태의 나비와 나방들로 구성이 되어 있다. 대부분의 나비 목 곤충들의 경우는 성충은 주로 꽃의 꿀을 먹으면서 식물의 수정을 돕고, 유충은 먹이식물의 입을 섭식하면서 성장을 한다. 누에도 다른 나방들과 비슷하게 유충기에는 먹이 식물을 섭취하여 번데기가 되고, 성충으로 우화한 후에는 꽃의 꿀을 섭취한다(Mitter 등, 2017; Johnson 과 Anderson, 2010).

현재 일반적으로 누에로 알려진 곤충은 5,000년 이전부터 가축화된 집누에로 가잠(家蠶)으로도 불리며 학명은 *Bombyx mori*, L. 이다(Xiang 등, 2018). 누에는 한자로는 잠(蠶)으로 표시되는데 의미는 “하늘이 인간을 위해서 내려준 곤충”으로, 천충(天蟲)이라고도 불리운다. 가잠에 대한 기원은 명주실(견사, 絹絲, silk fiber)로 만드는 비단(緋緞, silk)의 기원으로 유추가 가능한데, 가장 오래된 기록은 기원전 2,640년경 중국 황후인 서능씨(西陵氏, Hsi-Ling-Shi)가 뽕나무 입을 가해하는 해충이 만드는 고치를 실수로 자신의 뜨거운 찻잔에 떨어뜨리니, 그 고치에서 긴 실을 뽑을 수 있어서 비단을 만들 수 있었다는 것이다. 우리나라의 양잠의 역사는 중국과 크게 차이

가 나지 않아서 단군세기(檀君世記)에는 경자 93년(기원전 2241년)에 단군이 백성들에게 누에치기를 장려했다는 기록이 있고, 사기(史記)에는 기원전 1170년 무렵 중국에서 잠종을 가져와 양잠과 방직을 시작했다는 기록이 있어서, 최소 3,000년의 역사가 있다(Koh, 2020; 대한잠사회, 2020).

하지만, 실제로 양잠의 역사는 기록보다 더 오래됨이 최근의 연구에서 밝혀졌다. 중국의 허난 성의 중부 지방에 8,500년 전에 매장된 묘지에서 명주실의 주요성분인 Fibroin 단백질의 일부분이 발견되었다(Gong 등, 2016). 이 연구결과는 누에를 이용하여 명주실을 제사하고 옷을 방직한 시기가 현재 기록에 남아 있는 것보다 더 오래되었을 것으로 추측되게 한다. 그러므로, 당연히 누에의 유충이나 번데기를 섭취한 것도 현재의 기록보다 오래되었을 것으로 추측하는 것이 무리는 아닐 것이다.

가잠 이외에 야생에 분포하는 누에들을 야잠(野蠶)이라고 하는데, 가잠과 가장 유전적으로 가까워서 가잠의 야생형으로 생각되는 멧 누에나방(*B. madarina*)과 울충(栗蟲, *Caligula Japonica*)과 작잠(柞蠶, *Antheraea pernyi*)과 천잠(天蠶, *Antheraea Yamamai*)과 피마잠(蓖麻蠶, *Philosamia cynthia ricini*) 등이 있다. 멧 누에나방은 애벌레가 뽕나무나 산뽕나무 잎을 주로 먹고, 5월 중순에서 11월까지 2회 발생한다(국가생물다양성정보공유체계a, 2022). 대한민국 전역과 일본의 북해도 지역, 중국의 중부와 북부지방, 러시아의 극동지역과 타이완에 분포한다. 울충(栗蟲)은 밤나무 잎을 섭식하여 밤나무산누에나방 또는 어스레이나방이라고도 불리고, 성충 나방의 날개를 편 길이는 100 ~ 120 mm에 달하는 대형 나방으로 성충은 1년에 1회 7 ~ 9월 사이에 발생한다(국가생물다양성정보공유체계b, 2022). 작잠(柞蠶)은 산누에나방으로 불리고 도토리 나무나 가락 나무의 잎을 주로 섭식하고 이들의 고치를 이용하여 방직되는 실크는 tussar 실크로 불리운다(Gu 등, 2019; 국립생물자원관, 2022). 천잠(天蠶)은 참나무 잎만을 섭식해서 참나무 산누에나방이라고 불리며 날개를 편 길이가 115 ~ 140 mm에 달하는 대형 나방으

로 년 1회 8월에 성충이 발생을 한다 (국가생물다양성정보공유체계, 2022). 피마잠(蓖麻蠶)은 피마자의 잎을 주식으로 하고 Eri silk를 만드는데 사용해서 Eri silkworm으로도 불리운다(Vijayna 등, 2006). 전 세계에서 생산되는 실크산물의 90%는 가잠에서 만들어지는 실크이고 나머지 10%가 tussar 실크 또는 eri 실크이다. 2020년도에 전 세계에서 생산된 실크의 양은 91,765 미터 톤으로 2019년도의 109,111 미터 톤에 비하여 감소를 하였다(International Sericultural Commission, 2022). 하지만, 고급 천연 섬유제품에 대한 수요가 증가하고 있어서 전세계 실크산업생산량은 2016년 116억 US달러에서 2021년 169억 US달러로 연평균 성장률이 7.8%에 달한다 (Markets and Markets, 2022).

1970년대와 90년대 초까지 양잠 산업은 한국 경제 발전을 이끌어오는 중요한 산업으로, 1990년대의 양잠 산물 수출액이 5억9천만 불까지 확대되었지만, 화학섬유 산업이 발달하고, 경제 발전으로 농촌 인구가 감소하고 동시에 인건비가 상승하여 실크를 생산하는 양잠 산업은 중국이나 인도에서 생산되는 양잠 산물과의 가격경쟁이 불가능하여 쇠퇴의 길로 들어서게 되었다(대한잠사회, 2020). 양잠의 또 다른 기여는 1970년 ~ 80년대의 중요한 영양간식 중의 하나가 고치를 추출하는 과정에서 나오는 찌 번데기로 현재도 우리에게 고품질의 단백질과 지방을 공급해주고 있다(Lee 등, 2021; Sadat 등, 2022).

본론

1. 예전부터 알려져 온 누에의 효능

아주 오래 전부터 우리는 누에의 다양한 산물들이 건강증진효과가 있음을 알고 있었다. 누에의 산물들이 인간의 건강을 증진시켜 준다는 사실은 신농본초경(神農本草經)(의성당편집부, 2012), 동의보감(東醫寶鑑)(허준, 1613), 본초강목(本草綱目)(이시진, 1596), 명의별록(名醫別錄)(도홍경, 514) 등의 고한 의학서들과 1977년도에 고한의학서를 총망라하여

정리한 중약대사전(中藥大辭典)(정담편집부, 2006) 등에도 언급이 되어있다(표1).

중약대사전에는 누에 고치와 수나방과 번데기와 알과 허물과蛹의 성분과 효능에 대해서 자세한 설명이 있다(정담편집부, 2006) (표1).

신농본초경에는 병에 걸려 죽은 백강잠(白僵蠶)은 어린아이의 경련, 편도선염, 중풍 등에 의한 언어장애 및 반신불수의 치료에 사용하고 누에 유충의蛹인 잠사(蠶砂)는 경련을 가라앉히는 진경(鎮痙)효과가 있어서, 진정약(鎮靜藥)으로서 신경통, 류마티스, 중풍(中風)에 의한 반신불수(半身不隨) 등에 사용한다고 기록되어 있다(의성당편집부, 2012).

본초강목에는 누에고치를 잠견(蠶繭)이라 하여 태워서 재를 술로 복용하면 옹종(癰腫)을 치료하고 다음날에는 파열되고 고름이 나오게 한다고 언급되어 있다(이시진, 1596; 한국한의학연구원, 2022) (표1).

동의보감의 탕액편권2(湯液篇卷之二)의 중부에는 총 95종의 곤충과 갑각류 또는 양서류에서 유래한 약물들이 언급이 되어있다. 그 중에서 곤충과 관련된 것은 25개이고 누에의 산물은 원잠아, 잠용, 잠포지, 잠사 등 4개가 있다. 그리고 백강잠은 외형편권1(外形篇卷之一)과 외형편권2(外形篇卷之二)에 사용법과 효능이 자세히 언급이 되어 있다(한국한의학연구원, 2022; 허준, 1613) (표1).

2. 입는 양잠에서 먹는 양잠으로: 1990년대부터 기능성 바이오 양잠으로의 전환

국내에서 생산되는 양잠 산물의 가격 경쟁력 상실로 인하여 누에 고치와 견사의 수출이 급격히 감소하면서, 고치 생산량과 제사 생산량이 급격하게 감소하였다. 이러한 양잠 산업의 위축을 해결하기 위한 방법으로 1990년대 초반부터 “입는 양잠에서 먹는 양잠으로”라는 목표를 설정하고 기능성 바이오 양잠으로의 전환을 국립농업과학원 농업생물부의 주도로 진행하여 왔다(대한잠사회, 2020). 앞서 언급되었듯이, 과거부터 누에의 다양한 건강증진효과는 구전이나 고 한의약 서에 언급이 되어왔다(표 1). 과거에



표 1. 고 한의학 서적에 언급된 다양한 양잠 산물의 인간을 병에서 회복시키는 효과와 건강을 증진시키는 효과

고 한의학 서적	복용방법 및 적응증
<p>중약대사전 (정담편집부, 2006)</p>	<p>누에 고치(잠견, 蠶繭)에는 콜린과 비슷한 작용이 있다. 고치를 절개하여 불순물을 제거하고 병에 넣어 약성이 남을 정도로 강한 불에 구워 쓴다. 혈변, 혈노, 혈붕, 소갈, 반위, 감창, 부스럼을 치료한다.</p> <p>누에 솟나방(가잠아, 家蠶蛾): 여름에 솟누에 나방을 취하여 끓는 물로 죽여서 벌에 말린다. 맛은 달고 성질은 따뜻하다. 간과 신경을 보익하고 양기를 세계하며 정을 수렴하는 효능이 있다. 양담, 유정, 백탁, 요혈, 창상, 궤양과 화상을 치료한다.</p> <p>누에 번데기(잠용, 蠶蛹): 소아 감열(疳熱), 소수(消瘦), 소갈(消渴)을 치료한다.</p> <p>누에 알은 원잠자(原蠶子)이고 누에 알 껍질(잠퇴지, 蠶退紙)의 외층에는 폴리페놀류가 들어 있고, 중간층, 내층에는 지질이 들어있으면, 내층에는 지질과 단백질이 들어 있다. 토혈, 비출혈, 혈변, 붕루, 백대하, 후풍, 후비, 아감, 치통, 정중, 창양을 치료한다.</p> <p>누에 똥은 풍사를 몰아내고 습사를 없애고 혈액순환을 촉진시키며 진통하는 효능이 있다. 풍습으로 인한 비통, 풍진으로 인한 소양증, 두풍, 두통, 피부가 무감각해지는 증상, 관절 불수, 급성 구조실사 및 근육 경련, 요각냉통, 나현풍안을 치료한다.</p> <p>누에 허물은 누에 유층의 탈피를 채집하여 햇볕에 말린다.</p>
<p>본초강목 (이시진, 1596; 한국한의학연구원, 2022)</p>	<p>잠견: 맛은 달고 성질은 따뜻하며 독이 없다. 태워낸 재를 술로 복용하면 대가리가 없는 용종을 치료하고 다음날에는 파열되고 고름이 나오고 치유된다. 여러가지 감창 및 하혈, 혈미, 혈붕을 치료한다. 삶아 낸 즙을 마시면 소갈과 반위를 멎게하고 회충을 제거한다.</p> <p>잠용: 하루내어 복용하면 소아 감수를 치료하고 장기복용하면, 열을 내리고 회충을 제거한다. 달여서 복용하면 소갈증을 멎게한다.</p> <p>누에 알 껍질 잠퇴지(蠶退紙)는 아선, 치통, 아옹, 아감, 두창, 후비, 전과, 약물중독, 사증복통, 소변임비, 부인의 난산 및 취유, 동통을 치료한다.</p> <p>누에 똥은 간과 비경에 작용하고 소갈, 징결, 부인혈붕, 두풍, 급성 결막염을 치료하고 풍사를 몰아내고 습사를 없앤다.</p> <p>누에허물(잠태, 蠶蛻) 태운재를 쓰면 혈병과 풍병을 치료하고 부인에게 유익한다. 눈속의 예장 및 감창을 치료한다.</p> <p>누에가 죽어 굳은 것(백강잠, 白僵蚕)은 맛은 짜고 매우며 성질은 평하고 독이 없다. 목구멍이 붓고 아픈 증상이나 후비에 효과가 있고 협병, 할질, 감병을 치료한다. 술마신 후의 기침나는 증상과 활구와 금풍의 증상을 고쳐준다.</p>
<p>명의별록 (도홍경, 514)</p>	<p>원잠아(原蠶蛾); 정기를 자양하고 성교능력을 세계하며 지정한다.</p> <p>누에 똥(원잠시, 原蠶屎): 장에서 소리가 나는 증상, 열중, 소갈증, 풍비, 은진을 치료한다.</p>
<p>동의보감 (한국한의학연구원, 2022; 허준, 1613)</p>	<p>원잠아(原蠶蛾, 도나기 누에나비) 성질이 따뜻하고, 맛은 짜며 독이 조금 있다. 양기를 돋우고, 정이 절로 새나가거나 소변으로 피가 나오는 것을 멎게 하며, 수장(水藏)을 따뜻하게 하고, 정기(精氣)를 더하며, 음경을 튼튼하게 하여 성교할 때 지치지 않게 한다.</p> <p>누에 번데기(잠용, 蠶蛹): 맛은 달며 성질은 평하고 독이 없다. 풍증과 허로, 여위는 것을 치료한다.</p> <p>누에 알 종이(잠포지, 蠶布紙)는 성질이 평(平)하다. 혈풍(血風)을 치료하고, 부인에게 좋다. 마명퇴(馬鳴退)라고도 하고, 잠련(蠶連)이라고도 한다. 부인의 혈로(血露)를 치료하는데, 부인 약에 많이 쓴다.</p> <p>누에 똥(잠사, 蠶沙): 풍비로 인한 반신불수가 오거나 감각이 없는 경우를 치료한다. 잠사를 뜨겁게 볶아 자루에 넣고 찹질을 한다. 식으면 바뀌준다. 술과 볶으면 더욱 좋다.</p> <p>신면(新綿, 햇 명주솜): 태워서 낸 재는 오치(五痔)와 하혈에 주로 쓴다. 활시위는 난산이나 포의불하에 주로 쓴다. 태워서 재를 내어 미음에 타서 복용한다.</p> <p>누에가 죽어 굳은 것(백강잠, 白僵蚕)은 가루로 만들어 항상 바르면 기미와 흠집을 없애고 얼굴빛을 좋게 한다. 고은 가루를 생강즙에 타서 부어주면 바로 목구멍이 막힌 석을 치료한다.</p>

는 다양한 종류의 누에산물들이 질병을 치료하기 위한 약으로 사용이 되어왔지만, 대부분의 경우 알 껍질, 유충의 탈피 각, 번데기 껍질, 유충의 분변, 병에 걸린 누에 유충이나 번데기, 고치를 만든 후 남은 찌 번데기, 알을 산란한 후 남은 암컷과 수컷 성충 등으로 견사 생산에 영향을 미치지 않는 산물들이다(표 1). 현대 양잠이 도입되기 전에는 양잠은 국가가 중국으로부터 비단의 수입을 막아서 농가의 양잠을 장려하여 고치를 만들고, 매년 명주실과 비단을 만드는 것이 주 목적이거나 건강한 유충이나 성충을 섭취하지는 않았다. 단지, 사육 과정에 나오는 누에의 배설물인 잠분 또는 백강균에 감염된 누에 유충이나 번데기를 약으로 사용하여 왔다(대한잠사회, 2020). 그리고 명주실을 얻어낸 후에 남은 찌 번데기는 중요한 식품으로 사용되어왔다. 당연히, 가잠과 더불어 야생에서 채집된 야잠들의 누에와 번데기도 식용으로 사용되었다.

3. 5령3일 동결건조 누에 분말의 건강기능증진효과

1990년대 중반부터 기능성 바이오 양잠으로 변화를 하기 위하여 국립농업과학원 잠사곤충부에서는 구전이나 고한의학서에 전해져 내려오는 양잠 산물들의 건강증진효과에 대한 과학적인 구명 연구를 전 세계에서 주도하여 왔다. 현재 가장 생산량이 많은 기능성 양잠 산물은 혈당강화 효과가 알려진 동결건조 5령3일 누에 분말(건조누에)이다(대한잠사회, 2020). 누에가 알에서 부화하면 1령 유충이 되고, 성장 하면서 탈피할 때 마다 1령씩 증가를 하여 4번의 탈피를 하면 5령유충이 된다. 5령3일 누에 유충은 4번의 탈피를 하고 나서 3일이 경과한 유충이라는 의미이다(Ryu 등, 1997). 견사를 분비하는 견사샘이 발달하기 전의 5령3일 누에는 소화기관에 먹이인 뽕잎의 소화물 등을 대량으로 함유하고 있어서 생 누에를 바로 급속 동결을 한 후, 저온에 동결 건조를 하면 분말화가 가능하다. 동결건조 누에 분말은 동물실험결과 뛰어난 데옥시노지리마이신(1-Deoxynojirimycin, DNJ)의 글루코시다아제의

활성 저하에 따른 혈당강화 효과가 있음이 밝혀졌다(Ryu 등, 1997, 2002b; 류강선, 2002). 동결건조 누에분말의 혈당 강화 효과는 DNJ외에도 다른 4종의 혈당강화효과 물질에 기인함이 밝혀졌다(류강선, 2002b). 성인을 대상으로 하는 동결건조누에분말의 혈당강화 효과에 대한 인체적용시험결과 2009년도 8월에 혈당조절에 도움을 줄 수 있는 개별인정형 건강기능식품으로 허가를 받아 현재 판매 중에 있다(식품의약품안전처, 2016). 동결건조 누에 분말을 섭취한 당뇨환자들은 혈당강화, 공복 시 허기짐 해소, 식후 혈당 급상승 억제 등의 효과를 보면서, 고정적인 수요가 확보되었지만, 최근에 들어서 의료기술의 발달과 경기의 침체 등에 따른 국내외 수요 감소가 나타나고 있다.

4. 약용 버섯 누에 동충하초

누에 동충하초는 잠업 부흥에 도움이 되는 기능성을 가지는 양잠 산물을 개발하기 위하여 국립농업과학원에서 1995부터 개발을 시작하여 1999년에 생산되기 시작하였다(대한잠사회, 2020). 누에 동충하초는 세계 최초로 누에 유충에 *Paecilomyces japonica (tenuipes)* 또는 *Cordyceps militaris*를 접종을 하여 누에 번데기 동충하초를 생산하는 기술로 개발이 되었다. 세계 최초로 개발된 누에 동충하초를 식품으로 유통시키기 위하여 안전성 검사결과와 외국 유사 식품의 사례 등의 자료를 바탕으로 1998년 7월에 안전성이 입증된 *P. japonica*가 식품원료로 인증을 받아서 농산물의 품종 명칭은 누에 동충하초로, 그리고 작물명은 눈꽃 동충하초로 등록되었다(농림부고시 제1999-88호)(Lee 등, 2017b). 누에 동충하초의 열수 또는 주정 추출물들은 다양한 암에 대하여 강력한 항암효과를 보여주었다(Shin 등, 2003; Wasser, 2002). 그리고 면역증강효과(Shin 등, 2003)와 피로와 스트레스와 노화(Qi 등, 2013)와 당뇨(Shim 등, 2000)에 대한 저항성을 증진시켜 굶이 동물실험에서 확인이 되었다. 하지만, 누에 동충하초는 배양이 어렵고 다른 비 곤충 동충하초들과의 가격 경쟁에서 뒤처짐으로서 현재는 생산이 대폭



감소한 실정이다(대한잠사회, 2020; Lee 등, 2017b). 향후 누에 동충하초의 상품성을 높이기 위해서는 다른 동충하초들과 차별화된 기능성과 안전성 등을 밝혀내는 추가 연구가 필요하다.

5. 백강균 감염 누에 백강잠

전 세계 토양에서 발견되는 곰팡이인 백강균(*Beauveria bassiana*)은 다양한 절지동물에 기생을 하여 백강병(white muscardine disease)를 유발한다. 특히 4 ~ 5령 누에 유충이 백강균에 감염되어 하얀색으로 말라죽은 개체를 백강잠(*Bombyx batryticatus*)이라 한다. 앞서 언급하였듯이 백강잠은 오랜 기간 동안 대한민국과 중국과 일본에서 중요한 약재로 사용되어왔다(Hu 등, 2017; Kikuchi 등, 2004; Pemberton, 1999; 최고야, 2018). 백강잠의 건강 증진 기능성에 대한 과학적인 증명 연구가 동아시아를 중심으로 이루어졌다. 백강잠의 동물실험에서 나타나는 주요 효능을 보면 신경계의 영양분으로 작용을 하면서 경련과 간질을 억제해 주는 효과가 있고, 면역력을 증진시켜서 항암효과와 항세균 효과가 있으며, 항산화 효과와 혈당강하 효과가 있음이 알려져 있다(Hu 등, 2017; Kikuchi 등, 2004; Wang 등, 1999). 그리고 최근에 백강잠의 열수추출물이 파킨슨병 발병억제 효과가 있음이 보고된 바 있다(Lim 등, 2019). 백강잠은 중국에서 대량으로 사육하여 저가로 공급을 하므로, 국내생산은 거의 없는 실정이고, 대부분 수입되는 백강잠의 경우도 백강균에 감염되지 않은 일반 누에 유충의 건조물을 백강잠으로 속여서 수입된 제품도 있어서(대한잠사회, 2020), 이를 이용한 제품의 개발에는 신중할 필요성이 있다.

6. 5령3일 수누에와 수번데기 추출물의 성기능 증진효과

예전부터 전해져 내려오는 누에의 기능성 중의 하나는 수누에나방(원잠아)의 성기능 증진효과이다(표 1). 하지만, 누에나방은 식품공전에 등록되어있지 않아서, 수누에나방으로 제조된 제품들은 식품으로 판

매를 할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국립농업과학원에서는 식품공전에 등록이 되어 있는 수누에번데기가 수누에나방과 비슷하게 남성 성호르몬을 증가시켜서 성기능 향상을 가져오는지에 대한 과학적인 증명 연구를 진행하였다. 그 결과 수누에번데기도 수누에나방과 비슷한 남성 성기능 개선효과가 과학적으로 확인이 되었다(Oh 등, 2012; Ryu 등, 2002a). 일반누에품종은 일반인이 번데기의 성별을 판명하기가 어려워서, 수누에번데기만을 확보하는데 어려움이 있다. 이를 극복하기 위하여 수누에번데기를 신속하게 판별할 수 있는 한성황견 누에 품종인 황보잠 등 여러 계통을 국립농업과학원에서 육종 완료하였다(Kim 등, 2013). 황보잠 등은 암 누에는 노란색고치를 만들고, 수 누에는 흰색고치를 짓기 때문에 흰색고치만을 선별하면 수누에번데기를 빠르게 선별을 할 수 있게 되었다. 그리고, 수누에번데기의 경우는 여성호르몬 증진 효과가 있음이 밝혀졌는데(Ryu 등, 2008; Yang 등, 2010), 5령3일 수 누에를 이용하여 동물실험을 진행한 결과 수 번데기 보다 5령3일 수 누에에서 약간 낮은 여성호르몬 증진 효과가 관찰되었다(대한잠사회, 2020; 류강선 등, 2013). 하지만, 수 번데기를 만들려면 4일에서 5일 뿔 입을 더 공급을 해야하고 번데기가 된 후에도 10일 이상 관리해야하는 등 더 많은 노동력이 투입되어야 하므로, 여성 호르몬 증강제 용으로는 5령3일 수 누에가 최선의 선택으로 사료된다(대한잠사회, 2020). 현재 대한민국에서는 건강기능성 식품이나 일반식품 모두가 성기능개선효과에 대한 표기가 불가능하므로, 5령3일 수누에유충을 이용한 갱년기 여성건강에 도움을 줄 수 있는 건강기능식품으로의 개발이 가능할 것으로 생각된다.

7. 누에 고치 실크 단백질 가수분해물의 기능성

누에 유충은 번데기가 되면서 번데기를 보호하기 위한 고치를 만드는데, 고치를 만들 때 사용한 섬유는 경도가 매우 강한 두 가닥의 Fibroin 단백질 중합체를 물에 잘 녹는 Sericin 단백질이 감싸는 구조

로 되었다(Qi 등, 2017). 뜨거운 물에서 뽑아낸 silk fiber의 주성분인 실크 Fibroin 단백질을 산이나 효소로 분해 시킨 후 분리한 저 분자량의 Fibroin 유래 펩타이드는 동물실험에서 기억력개선효과(Kang 등, 2013; Yeo 등, 2004)와 혈중 혈당과 지질 감소효과(Do 등, 2012) 있음이 보고되었다. 동일한 저 분자량의 Fibroin 유래 펩타이드를 이용한 인체적용시험에서도 기억력 개선효과가 규명이 되어서(Kang 등, 2018) 현재 개별인정형 건강기능식품 소재로 등록이 되어 있다(식품의약품안전처, 2016). 하지만, 기능성 식품의 원료인 Fibroin 유래 펩타이드를 제조하기 위해 사용되는 원료인 누에 고치는 중국산이 시장을 점령한 상태로(대한잠사회, 2020), 국내 잠업발전에는 기여도가 없다는 문제점을 가지고 있다.

8. 천연건강증진식품 홍잠(弘蠶): 5령 7일 ~ 8일 익은 누에(숙잠)로 제조한 홍잠

누에는 발달 단계별로 다양한 건강 증진 효과가 있음이 밝혀졌다(Kim 등, 2019; Koh, 2020; 대한잠사회, 2020). 이러한 다양한 기능성을 가지는 이유는 발달 단계별로 누에가 가지고 있는 영양성분이 다르기 때문이다. 예를 들면, 5령3일 누에유충의 경우는 섭취한 빵입의 소화물들이 내장에 대량으로 존재하고, 혈당강하 효과가 있는 DNJ와 식물유래화합물 등의 물질을 대량으로 함유하고 있고(Ryu 등, 1997, 2002b), 누에고치는 견사선으로 만들어지는데, 견사선의 구조를 보면, 고분자 Fibroin 단백질 중합체가 2중선을 만들면, 이를 Sericin이 감싸는 형태이다(Qi 등, 2017). 그러므로, 고치를 만들어서 번데기가 되기 바로 전 단계인 숙잠은 누에의 발달단계 중에서 가장 많은 다양한 기능성 물질을 함유하고 있을 가능성이 매우 높다. 하지만, 앞서 언급되었듯이, 누에가 고치를 만들기 위하여 방사한 견사는 경도가 너무 강해서 인간이나 동물이 섭취를 할 수 없고, 견사단백질이 액체 상태로 존재하는 견사샘은 숙잠을 냉동 또는 건조 처리하여 죽게 되면 바로 경화가 일어나서 인간이 섭취를 못하게 되는 문제점을 가지고 있다(Ji

등, 2015; 지상덕 등, 2014). 이러한 다양한 종류의 영양분을 포함하는 숙잠을 인간이 섭취를 가능하게 하기 위해서 국립농업과학원은 살아있는 숙잠을 130 분간 수증기로 찌면 숙잠 안의 견사선이 부드러운 상태를 유지하여 인간이 섭취할 수 있음을 발견하였다. 수증기로 찐 숙잠은 -20°C 에서 냉동 보관이 가능하거나 또는 냉동된 익힌숙잠은 -50°C 에서 48시간 동결건조하면 원물의 형태를 유지하고 견사샘을 가지고 있는 홍잠을 제조를 할 수 있다(Ji 등, 2015; 지상덕 등, 2014). 홍잠의 영양성분에 대한 연구결과를 보면, 누에 품종마다 약간의 차이는 있지만, 대부분의 경우 조단백질이 70% 내외, 조지방이 14% 내외, 조섬유가 3% 내외, 조회분이 4% 내외, 식물유래 화합물이 1.5% 내외, 그리고 수분이 3% 내외로 포함되어 있다(Ji 등, 2016a, 2016b, 2017, 2019).

현재까지 보고된 홍잠의 기능성을 정리하면 다음과 같다. 우선 홍잠은 신경세포의 활성을 증진시켜 뇌 기능을 향상시켜 줌으로써, 정상 동물에서는 뛰어난 기억력 개선 효과가 있고(Nguyen 등, 2020; Nguyen 등 2021; Park 등, 2022), 신경계 질환 모델에서는 파킨슨병(Nguyen 등, 2016; 지상덕 등, 2017)과 알츠하이머 치매를 예방하는 효과(지상덕 등, 2020)가 있음이 보고되었다. 그리고 홍잠은 위장관과 간의 기능을 증진시켜서 알코올성 위염과 알코올성/비 알콜성 지방간을 예방해 주고 (Hong 등, 2018; Lee 등, 2017a; Yun 등, 2017), 또한 간암의 진전과 전이를 억제해 준다는 연구결과가 있다(Cho 등, 2016). 그리고 홍잠은 피부미용(Kim 등, 2017)과 발모촉진효과(Kim 등, 2018)도 있다. 홍잠을 섭취한 동물 모델의 경우 자외선 노출에 의한 피부 흑화 현상이 억제되었고, 홍잠을 피부에 도포한 동물 모델의 경우 발모촉진효과가 관찰이 되었다. 흥미롭게도, 이러한 다양한 홍잠을 제조한 품종에 따라서 달라짐이 연구결과 밝혀졌다(Ji 등, 2016a; Ji 등, 2016b; Lee 등, 2017a). 뇌신경계 기능증진효과는 노란색 고치를 만드는 품종인 골든실크와 대황잠 등이 다른 품종에 비하여 뛰어났고(Nguyen 등, 2020, 2021), 위장관 및 간기능 개선효과는 하얀 고치를 만드는 백



표 2. 바이오 양잠 산물의 건강 기능성 정리

발육 단계	5령3일 누에 유충	4령 ~ 5령 누에 유충	숙잠: 5령 7일 ~ 8일누에유충	번데기	고치: 견사	누에 유충과 번데기
제조방법	동결건조 분말 제조 후 멸균	백강균 감염 누에 유충 건조물 또는 주정/열수 추출물	수증기에 찌 후, 동결건조	동결건조 분말 또는 주정 추출물	효소 분해 정제 펩타이드	5령 유충에 <i>P. japonica</i> (<i>tenuipes</i>) 또는 <i>C. militaris</i> 를 접종 후, 번데기 시기에 동충하초 수확
일반 명	건조누에	백강잠	홍잠	누에번데기 분말 누에번데기추출물	효소 분해 피브로인 펩타이드	누에 동충하초
기능성	1. 혈당강하 효과 2. 여성호르몬 증진 효과	1. 면역력 증진 2. 경련과 간질 억제 효과 3. 혈당강하효과 4. 파킨슨병발병 억제	1. 기억력 개선 2. 파킨슨병발병억제 3. 알츠하이머질환 발병 억제 4. 위장관 보호 5. 간기능 개선 6. 간암 전이 억제 7. 피부미백 8. 발모 촉진 9. 건강수명 증대 효과	1. 수 번데기: 성 기능 및 근력 개선	1. 기억력 개선 2. 면역력 증진	1. 면역증강효과 2. 항스트레스와 피로 회복 3. 노화방지 4. 혈당강하
판매 형태	개별인정형 건강 기능식품 일반식품	한약재	일반식품	일반식품	개별인정형 건강 기능식품 일반식품	일반식품
인용 문헌	Ryu 등, 1997, 2002b, 2008; Yang 등, 2010; 대한잠사회, 2020; 류강선 2002, 2013; 식품의약품안전처, 2016	Hu 등, 2017; Kikuchi 등, 2004; Lim 등, 2019; Pemberton, 1999; 최고야, 2018; Wang 등, 1999	Cho 등, 2016; Choi 등, 2017a, 2017b; Ji 등, 2015, 2016a, 2016b, 2017, 2019; Kim 등, 2017, 2018, 2019; Koh, 2020; Lee 등, 2017a; Mai 등 2022; Nguyen 등, 2016, 2020, 2021; Park 등 2022; 지상덕 등, 2017, 2020	Oh 등, 2012; Ryu 등 2012a	Kang 등, 2013, 2018; Yeo 등, 2004; 식품의약품안전처, 2016	Lee 등, 2017b; Qi 등, 2013; Shim 등, 2000; Shin 등, 2003; Wasser, 2002; 농림부고시 제 1999-88호; 대한잠사회, 2020

옥잠이 뛰어났으며(Lee 등, 2017a), 피부미용 및 발모 촉진 효과는 연녹색 고치를 제조하는 연녹잠이 뛰어난 효과를 보여주었다(Kim 등, 2017, 2018). 누에 고치의 색깔은 뽕나무 잎에서 누에가 흡수한 식물 유래 화합물들을 견사샘으로 전달하거나 외부로 배설해주는 기전의 차이로 결정이 된다고 알려져 있으므로(Daimon 등, 2010; Sakudoh 등, 2007; Tsu-

chida과 Sakudoh, 2015), 다른 색깔의 고치들은 서로 다른 종류의 식물 유래 화합물을 가지고 있을 것으로 예측이 되었다. 최근의 연구결과에 따르면 하얀 고치를 만드는 품종으로 제조한 홍잠보다, 노란 고치를 만드는 품종으로 제조한 홍잠에서 더 많은 양의 플라보노이드와 폴리페놀 화합물들이 존재함이 확인되었다(Nguyen 등, 2020; Mai 등, 2022). 그러

므로, 이러한 식물유래 화합물의 양적인 차이가 기능성의 차이를 보여줄 가능성이 높다. 홍잠에는 뽕잎에서 유래된 Rutin, Isoquercetin, Astragalín, Quercetin, Kaempferol 등의 플라보노이드들이 포함되어 있음이 밝혀졌다(Choi 등, 2017a). 백옥잠 홍잠 보다 골든실크 홍잠이 뇌신경계의 기능을 향상시켜서 파킨슨병과 알츠하이머질환의 발병을 억제해 줄 수 있는 이유는 더 많이 존재하는 플라보노이드들이 뇌의 신경세포를 활성화시켜서 나타나는 효과일 것으로 추측된다(Choi 등, 2017b; Kim 등, 2019; Koh, 2020; Mai 등, 2022). 이러한 플라보노이드들의 잘 알려진 효과 중의 하나는 mitochondria의 기능을 향상시켜서, 세포가 산화 스트레스에 저항성을 가지도록 하는 것이다(Kicinska와 Jarmuszkiwicz, 2020). 홍잠을 섭취한 실험동물의 뇌 조직에서의 mitochondria의 활성을 연구한 결과를 보면, 대조군에 비하여 mitochondria의 내막과 외막의 전위차를 만들어주는 mitochondria complexes I ~ IV의 활성이 증가하였고, 뇌조직의 ATP의 양도 증가하였음이 확인 되었다(Nguyen 등, 2020, 2021; Mai 등, 2022). 이러한 결과는 홍잠에 존재하는 다양한 식물 유래화합물과 peptide를 포함한 저 분자량의 기능성 물질들이 뇌의 blood brain barrier를 투과하여 뇌의 신경세포로 전달되고, 신경세포의 mitochondria의 활성을 증진시켜 주고 있음을 보여준다.

요약

인간이 최소 8,500년 이상 이용하고 섭취를 해온 누에는 화학물질과 공해에 매우 민감하다. 뽕나무 밭이나 누에를 키우는 잠실 근처의 농작물 재배용 밭이나 과수원에서 병해충 방제를 위해 살포한 농약이 비산 되면, 매우 적은 양의 농약이 누에의 먹이가 되는 뽕나무 잎을 오염시키거나, 잠실로 침투해도 누에 유충은 섭식을 더 이상 하지 않아서 성장을 멈추고 죽는 특징이 있다(양잠보급과, 2022). 그리고, 누에 유충은 가축 배설물에서 나는 냄새와 차량통행에서 나오는 공해 물질과 먼지에도 매우 민감하므로(양잠보

급과, 2022), 정상적으로 성장한 누에는 천연식품으로 간주할 수 있다.

누에제품들에 대한 성분분석결과를 보면 5령3일 동결건조 누에 분말(권해용 등, 2019)과 홍잠 분말(Ji 등, 2016, 2017, 2019)에서는 중금속이 전혀 검출되지 않는다. 그러므로, 누에를 이용하여 제조된 제품들의 안전성은 다른 곤충식품이나 육류에 비하여 매우 높다. 하지만, 누에는 오로지 뽕 나뭇잎 만을 섭취하고, 5령 동안 전 생애 섭취하는 뽕 나뭇잎의 80% 이상을 섭취하기 때문에 단 기간 고강도의 노동이 필요하므로, 제품의 단가가 높은 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 누에 사육에 자동화 시스템을 도입해서, 노동력 투입을 줄이면서 품질이 일정한 제품을 생산할 수 있어야 한다.

현재 선진국들은 의생명과학의 발전과 개인 위생의 증진으로 기대수명이 빠르게 늘어나고 있다. 대한민국을 포함한 많은 여러 선진국은 2030년에 기대수명이 90세를 초과할 것이라고 예측되고 있다(Kontis 등, 2017). 하지만, 65세 이상의 노인은 하나 이상의 만성질환으로 고통을 받고 있어서 기대수명(또는 기대여명)과 질병없이 건강하게 살아가는 건강수명과는 9년 내외의 차이가 나고 있다(Garmany 등, 2021). 2021년 현재 노인인구의 비율은 16.5%이지만(통계청, 2021), 노인이 사용하는 건강보험 진료비 비율은 2020년에 이미 총 진료비에서 43.4%에 도달하였다(건강보험심사평가원, 2021). 그러므로, 향후 개인과 국가의 의료비용을 절감하기 위해서는 건강수명을 늘려야 한다. 누에의 산물들은 다양한 건강 증진 효과가 있고(표1과 2), 인류가 이미 8500년 이상 섭취를 하여온 대부분의 사람들에게는 부작용이 없는 식품이다. 그리고 누에 산물 중 홍잠의 경우는 동물 모델의 건강수명을 증진시켜 줄이 알려져 있으므로(Choi 등, 2017b; Mai 등, 2022; Nguyen 등, 2016; Park 등, 2022), 향후 홍잠을 이용한 새로운 제품을 개발하고 판매하여 대중화되면, 국민들의 건강수명이 증대됨으로서 의료비용의 감소를 가져오고 개인의 행복이 증진될 것이다.



사사

본 연구는 농촌진흥청의 공동연구사업(과제번호: PJ01702401)의 지원에 의해 이루어진 것임.

이해충돌

본 저자들은 이해 충돌이 없음을 확인 합니다.

References

- Cho JM, Kim KY, Ji SD, Kim EH. Protective effect of boiled and freeze-dried mature silkworm larval powder against diethylnitrosamine-induced hepatotoxicity in mice. *J. Cancer Prev.* 21: 173-181 (2016)
- Choi BH, Ji SD, Jeong JH, Kim KY, Koh YH. 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 (2017a)
- Choi BH, Ji SD, Son JG, Nguyen P, Kim KY, Park YH, Koh YH. 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 (2017b)
- Daimon T, Hirayama C, Kanai M, Ruike Y, Meng Y, Kosegawa E, Nakamura M, Tsujimoto G, Katsuma S, Shimada T. The silkworm Green b locus encodes a quercetin 5-O-glucosyltransferase that produces green cocoons with UV-shielding properties. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 107: 11471-6 (2010)
- Do S, Park J, Nam H, Kim J, Lee J, Oh Y, Suh J. Silk fibroin hydrolysate exerts an anti-diabetic effect by increasing pancreatic β cell mass in C57BL/KsJ-db/db mice. *J. Vet. Sci.* 13: 339-344 (2012)
- Engel MS, Grimaldi DA. New light shed on the oldest insect. *Nature* 427: 627-630 (2004)
- Garmany A, Yamada S, Terzic A. Longevity leap: mind the healthspan gap. *NPJ Regen. Med.* 6: 57 (2021)
- Gong Y, Li L, Gong D, Yin H, Zhang J. Biomolecular evidence of silk from 8,500 years ago. *PLOS ONE* 11: e0168042 (2016)
- Gu J, Li Q, Chen B, Xu C, Zheng H, Zhou Y, Peng Z, Hu Z, Wang B. Species identification of *Bombyx mori* and *Antheraea pernyi* silk via immunology and proteomics. *Sci. Rep.* 9: 9381 (2019)
- Haug C, Haug JT. The presumed oldest flying insect: more likely a myriapod? *PeerJ* 5 (2017)
- Hong KS, Yun SM, Cho JM, Lee DY, Ji SD, Son JG, Kim EH. Silkworm (*Bombyx mori*) powder supplementation alleviates alcoholic fatty liver disease in rats. *J. Funct. Foods* 43: 29-36 (2018)
- Hu M, Yu Z, Wang J, Fan W, Liu Y, Li J, Xiao H, Li Y, Peng W, Wu C. Traditional uses, origins, chemistry and pharmacology of *Bombyx batryticatus*: A review. *Molecules* 22 (2017)
- International Sericultural Commission. Global silk production. Available from: <https://inserco.org/en/statistics> Accessed April 10, 2022
- Ji SD, Kim SB, Kim KY, Kim NS, Kim SW, Jo YY, Kim JG, Kim YK, Seok YS, Lim JR, Koo HY, Lee HT. 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 (2019)
- Ji SD, Nguyen P, Yoon SM, Kim KY, Son JG, Kweon HY, Koh YH. Comparison of nutrient compositions and pharmacological effects of steamed and freeze-dried mature silkworm powders generated by four silkworm varieties. *J. Asia-Pacific Entomol.* 20: 1410-1418 (2017)
- Ji SD, Kim NS, Kweon H, Choi BH, Kim KY, Koh YH. 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. (2016a)
- Ji SD, Kim NS, Kweon H, Choi BH, Yoon SM, Kim KY, Koh YH. Nutrient compositions of *Bombyx mori* mature silkworm larval powders suggest their possible health improvement effects in humans. *J. Asia-Pacific Entomol.* 19: 1027-1033 (2016b)
- Ji SD, Kim NS, Lee JY, Kim MJ, Kweon H, Sung G, Kang PD, Kim KY. Development of processing technology for edible mature silkworm. *J. Seric. Entomol. Sci.* 53: 38-43 (2015)
- Johnson SD, Anderson B. Coevolution between food-rewarding flowers and their pollinators. *Evol.: Educ. Outreach* 3: 32-39 (2010)
- Kang YK, Lee BY, Bucci LR, Stohs SJ. Effect of a Fibroin enzymatic hydrolysate on memory improvement: a placebo-controlled, double-blind study. *Nutrients* 10: 233 (2018)
- Kang YK, Lee WJ, Kang BH, Kang HN. Memory-enhancing effects of silk Fibroin-derived peptides in scopolamine-treated mice. *J. Microbiol. Biotechnol.* 23: 1779-1784 (2013)
- Kicinska A, Jarmuszkiewicz W. Flavonoids and mitochondria: activation of cytoprotective pathways? *Molecules* 25: 3060 (2020)
- Kikuchi H, Takahashi N, Oshima Y. Novel aromatics bearing 4-O-methylglucose unit isolated from the oriental crude drug *Bombyx batryticatus*. *Tetrahedron Lett.* 45: 367-370 (2004)
- Kim HJ, Kim KY, Ji SD, Lee HT. Anti-melanogenic activity of steamed and freeze-dried mature silkworm powder. *J. Asia-Pacific Entomol.* 20: 1001-1006 (2017)
- Kim KY, Osabutey AF, Nguyen P, Kim SB, Jo YY, Kweon HY, Lee HT, Ji SD, Koh YH. The experimental evidences of steamed and freeze-dried mature silkworm powder as the calorie restriction mimetics. *Int. J. Indust. Entomol.* 39: 1-8 (2019)
- Kim KY, Sung GB, Kim MJ, Ji SD, Kweon H, Park KY, Shon BH,

- Kang PD. Breeding of WhangBoJama sex-limited yellow silk silkworm variety suitable for spring rearing season. *J. Seric. Entomol. Sci.* 51: 63-67 (2013)
- Kim SB, Kim KY, Ji SD, Kim SW, Kim NS, Jo YY, Kim JG, Kim YG, Koo HY, Moon HC, Seok YS, Lee HT. Effect of pulverizing method on the particle size of matured silkworm powder. *Int. J. Indust. Entomol.* 37: 105-108 (2018)
- Koh YH. The memory enhancement and healthspan extension effects of HongJam. *The Policy Report of National Institute for Korean Medicine Development* 5: 22-33 (2020)
- Kontis V, Bennett JE, Mathers CD, Li G, Foreman K, Ezzati M. Future life expectancy in 35 industrialised countries: projections with a Bayesian model ensemble. *Lancet* 389: 1323-1335 (2017)
- Lee DY, Cho JM, Yun SM, Hong KS, Ji SD, Son JG, Kim EH. 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 (2017a)
- Lee JH, Jo YY, Kim SW, Kweon H. Analysis of nutrient composition of silkworm pupae in Baegokjam, Goldensilk, Juhwangjam, and YeonNokjam varieties. *Int. J. Indust. Entomol.* 43: 85-93 (2021)
- Lee SM, Kim YG, Park HC, Kim KK, Son HJ, Hong CO, Park NS. Properties of the Silkworm (*Bombyx mori*) Dongchunghacho, a newly developed Korean medicinal insect-borne mushroom: Mass-production and pharmacological actions. *J. Life Sci.* 27: 247-266 (2017b)
- Lim HS, Kim JS, Moon BC, Ryu SM, Lee J, Park G. *Batryticatus Bombyx* protects dopaminergic neurons against MPTP-Induced neurotoxicity by inhibiting oxidative damage. *Antioxidants* 8: 574 (2019)
- Mai LX, Kang SK, Jo YY, Nguyen P, Kim AY, Kim KY, Kim NS, Koh YH. 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 (2022)
- Markets and Markets. Silk market by type (Mulberry Silk, Tussar Silk, and Eri Silk), application (textile, and cosmetics & medical), and region (Asia-Pacific, North America, Europe, Middle East & Africa, and South America) - Global Forecast to 2021. Available from: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/silk-market-110379892.html> Accessed April 10, 2022.
- Misof B, et al. Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. *Science* 346: 763-767 (2014)
- Mitter C, Davis DR, Cummings MP. Phylogeny and evolution of Lepidoptera. *Ann. Rev. Entomol.* 62: 265-283 (2017)
- Nguyen P, Kim KY, Kim AY, Choi BH, Osabutey AF, Park YH, Lee HT, Ji SD, Koh YH. Mature silkworm powders ameliorated scopolamine-induced amnesia by enhancing mitochondrial functions in the brains of mice. *J. Funct. Foods* 67: 103886 (2020)
- Nguyen P, Kim K-Y, Kim AY, Kang S, Osabutey AF, Jin H, Guo Y, Park H, Suh J-W, Koh YH. The additive memory and healthspan enhancement effects by the combined treatment of mature silkworm powders and Korean angelica extracts. *J. Ethnopharmacol.* 281: 114520 (2021)
- Nguyen P, Kim KY, Kim AY, Kim NS, Kweon H, Ji SD, Koh YH. Increased healthspan and resistance to Parkinson's disease in *Drosophila* by boiled and freeze-dried mature silk worm larval powder. *J. Asia-Pacific Entomol.* 19: 551-561 (2016)
- Oh HG, Lee HY, Kim JH, Kang YR, Moon DI, Seo MY, Back HI, Kim SY, Oh MR, Park SH, Kim MG, Jeon JY, Shin SJ, Ryu KS, Chae SW, Kim O, Park JK. Effects of male silkworm pupa powder on the erectile dysfunction by chronic ethanol consumption in rats. *Lab. Anim Res.* 28: 83-90 (2012)
- Pemberton RW. Insects and other arthropods used as drugs in Korean traditional medicine. *J. Ethnopharmacol.* 65: 207-216 (1999)
- Qi Y, Wang H, Wei K, Yang Y, Zheng RY, Kim IS, Zhang KQ. A Review of structure construction of Silk Fibroin biomaterials from single structures to multi-level structures. *Int. J. Mol. Sci.* 18: 237 (2017)
- Qi Y, Zhao X, Lim YL, Park KY. Antioxidant and anticancer effects of edible and medicinal mushrooms. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* 42: 655-662 (2013)
- Park SJ, Kim K-Y, Baik MY, Koh YH. 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 (2022).
- Renne PR, Deino AL, Hilgen FJ, Kuiper KF, Mark DF, Mitchell WS, Morgan LE, Mundil R, Smit J. Time scales of critical events around the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science* 339: 684-687 (2013)
- Ryu JS, Jo GJ, Jin JW, Yang HJ, Park YI, Na YS, Nam KS, Keum KS, Choo. YK. Estrogen activity of silkworm (*Bombyx mori*) pupa water extract and its fractions. *Orient. Pharm. Exp. Med.* 8: 228-235 (2008)
- Ryu KS, Ahn MY, Lee HS, Kim I, Kim JW, Kim SH, Park JH. The tonic effect of the extract from male silkworm (*Bombyx mori* L.) pupae on rats. *Int. J. Indust. Entomol.* 5: 123-126 (2002a)
- Ryu KS, Lee HS, Chung SH, Kang PD. An activity of lowering blood-glucose levels according to preparative conditions of silkworm powder. *J. Seric. Entomol. Sci.* 39: 79-85 (1997)
- Ryu KS, Lee HS, Kim IS. Effects and mechanisms of silkworm powder as a blood glucose-lowering agent. *Int. J. Indust. Entomol.* 4: 93-100 (2002b)
- Sadat A, Biswas T, Cardoso MH, Mondal R, Ghosh A, Dam P, Nesa J, Chakraborty J, Bhattacharjya D, Franco OL, Gangopadhyay D, Mandal AK. Silkworm pupae as a future food with nutritional and medicinal benefits. *Curr. Opin. Food Sci.* 44: 100818 (2022)
- Sakudoh T, Sezutsu H, Nakashima T, Kobayashi I, Fujimoto H,



- Uchino K, Banno Y, Iwano H, Maekawa H, Tamura T, Kataoka H, Tsuchida K. Carotenoid silk coloration is controlled by a carotenoid-binding protein, a product of the Yellow blood gene. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 104: 8941-8946 (2007)
- Shim JY, Lee YS, Lim SS, University H, Shin KH, Hyun JE, Kim SY, Lee EB. Pharmacological activities of *Paecilomyces japonica*, a new type *Cordyceps* sp. *Kor. J. Pharmacogn.* 31: 163-167 (2000)
- Shin KH, Lim SS, Lee SH, Lee YS, Jung SH, Cho SY. Anti-tumor and immune-stimulating activities of the fruiting bodies of *Paecilomyces japonica*, a new type of *Cordyceps* spp. *Phytother. Res.* 17: 830-833. (2003)
- Tsuchida K, Sakudoh T. Recent progress in molecular genetic studies on the carotenoid transport system using cocoon-color mutants of the silkworm. *Arch. Biochem. Biophys.* 572: 151-157 (2015)
- Vijayan K, Anuradha HJ, Nair CV, Pradeep AR, Awasthi AK, Saratchandra B, Rahman SAS, Singh KC, Chakraborti R, Urs SR. Genetic diversity and differentiation among populations of the Indian eri silkworm, *Samia cynthia ricini*, revealed by ISSR markers. *J. Insect Sci.* 6 (2006)
- Wang JX, Zhu CL, Dai H. The pharmacological research and clinical applications of Jiangcan and Jiangyong. *Lishizhen Med. Mater. Med. Res.* 10: 637-638 (1999)
- Wasser SP. Medical mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 60: 258-274 (2002)
- Xiang H, Liu X, Li M, Zhu Yn, Wang L, Cui Y, Liu L, Fang G, Qian H, Xu A, Wang W, Zhan S. The evolutionary road from wild moth to domestic silkworm. *Nat. Eco. Evol.* 2: 1268-1279 (2018)
- Yang HJ, Lee JW, Lee SH, Ryu JS, Kwak DH, Nam KS, Park YI, Lee YC, Jung KY, Choo YK. Estrogenic activity produced by aqueous extracts of silkworm (*Bombyx mori*) pupae in ovariectomized rats. *Am. J. Chin. Med.* 38: 89-97 (2010)
- Yeo JH, Lee KG, Kweon H, Woo SO, Han SM, Lee YW, Kim J, Kim SS, Demura M. Cognitive ability enhancement effects in rats by *B. mori* fibroin enzymatic hydrolysate. *Korean J. Sericult. Sci.* 46: 23-27 (2004)
- Yun SM, Cho JM, Hong KS, Lee DY, Ji SD, Son JG, Kim EH. Gastroprotective effect of mature silkworm, *Bombyx mori* against ethanol-induced gastric mucosal injuries in rats. *J. Funct. Foods* 39: 279-286 (2017)
- 건강보험심사평가원. 2020년 건강보험통계 연보 주요내용 건강보험심사평가원. 원주, 대한민국, pp. 23 (2021).
- 국가생물다양성정보공유체계a. 멧 누에나방. Available from: https://www.kbr.go.kr/home/rsc/rsc01002v.do?data_gbn_cd=BIO&ktsn_no=120000031703&menuKey=448 Accessed April 10, 2022.
- 국가생물다양성정보공유체계b. 밤나무 산누에 나방. Available from: <https://www.kbr.go.kr/man/home/rsc/rsc01003v.do?cl> sGbnCd=KTSN&clsNo=120000036251&gbifnubTxnId=0&tempClsSno=0&commGroup=IN Accessed April 10, 2022.
- 국가생물다양성정보공유체계c. (2022). 참나무 산누에 나방. Available from: <https://www.kbr.go.kr/man/home/rsc/rsc01003v.do?msno=&clsGbnCd=KTSN&clsNo=120000036248&gbifnubTxnId=0&tempClsSno=0&commGroup=IN> Accessed April 10, 2022.
- 국립생물자원관. 산누에 나방. Available from: <https://species.nibr.go.kr/species/speciesDetail.do?ktsn=120000036247> Accessed April 10, 2022.
- 권해용, 조유영, 김현복, 주완택, 이지혜. 동결건조 누에분말의 일 반 성분 및 영양 성분. *J. Seric. Entomol. Sci.* 55: 33-39 (2019)
- 대한잡사회. 대한잡사회 창립100주년 기념집. 대한잡사회, 서울, 대한민국 (2020)
- 도홍경. 명의별록. (514)
- 류강선. 기능성 누에산물의 현황과 전망. 한국생명과학회 제35회 학술심포지엄. pp. 26~33 (2002)
- 류강선, 이희삼, 강필돈, 김기영, 김미자. 여성호르몬 증강제의 제조방법 및 이에 의해 제조되는 여성호르몬 증강제. 대한민국특허 10-1303770 (2013)
- 식품의약품안전처. 건강기능식품 기능성 원료 인정 현황. 오송보건의료 행정타운, pp. 115 (2016)
- 양잠보급과. 누에사육 및 누에방제. Available from: <https://www.chungbuk.go.kr/jongja/contents.do?key=2256> Accessed April 10, 2022.
- 의성당편집부. 한글 신농본초경. 의성당, 서울, 대한민국 (2012)
- 이시진. 본초강목 (1596)
- 정담편집부. 완역 중약대사전. 정담, 서울, 대한민국 (2006)
- 지상덕, 김기영, 김남숙, 권해용, 강필돈, 김미자, 김아영, 고영호. 견사단백질을 갖는 누에를 함유하는 파킨슨병의 예방 또는 치료 용 조성물. 대한민국 특허 10-1793552 (2017)
- 지상덕, 김남숙, 김기영, 권해용, 강필돈, 김영기, 김미자. 견사단백질을 갖는 누에의 가공방법 및 그 누에가공물. 대한민국 특허 10-1388455 (2014)
- 지상덕, 김수배, 손종근, 김성완, 조유영, 김종길, 김영국, 김기영, 김남숙, 김아영, 최보혜, 고영호. 견사단백질을 갖는 익힌 누에가공물을 함유하는 기억력 개선용 조성물 또는, 알츠하이머성 치매 예방 및 치료용 조성물. 대한민국 특허 10-2092586 (2020)
- 최고야. 동북아 공정서의 동물성 한약재 현황. *Korean Herb. Med. Inf.* 6: 203-230 (2018)
- 통계청. 2021년 고령자통계. 대전, 대한민국, pp. 81 (2021)
- 한국한의학연구원. 한의학교전DB. Available from: <https://mediclassics.kr/> Accessed April 10, 2022.
- 허준. 동의보감. (1613)