

홍잠의 다양한 건강 증진 기능성에 대한 연구 현황

이현태*

동의대학교 공과대학 바이오응용공학부 바이오의약공학전공

A promising health promoting natural product, steamed and lyophilized mature silkworm powder: its various functionalities for humans

Hyun-Tai Lee*

Biopharmaceutical Engineering Major, Division of Applied Bioengineering, College of Engineering, Dong-eui University, Busan 47340, Korea

ABSTRACT

Mature silkworms (MS) of *Bombyx mori* have enlarged silk glands, which are known to be enriched with various functional materials. A special steaming method has been developed for processing MS with enlarged silk glands edible, by which the MS have become a potential health supplement for improving the quality of life. Steamed and lyophilized MS powder (SMSP) has been strongly believed to have various unidentified beneficial effects for humans. Therefore, the purpose of this mini-review is to summarize the various health promoting functionalities of SMSP, which have been published in the paper so far. Firstly, SMSP increased healthspan as well as lifespan, locomotor ability, and resistance to Parkinson's disease by enhancing olfaction and mitochondrial activity in neurons. Secondly, SMSP increased resistance to carcinogens causing liver cancers, improved both acute and chronic liver function with alcohol metabolism, and prevented alcohol induced stomach ulcers. Thirdly, SMSP reduced UVB-induced skin pigmentations and melanogenesis. Taken together, SMSP can be regarded as a promising natural health product to increase incomes for sericultural farm households in Korea as well as global human health and welfare.

Key words : Healthspan, Liver function, Mature silkworm, Parkinson's disease, skin pigmentation

서 론

누에가 뽕잎을 먹어 체내에 축적하는 견사선(silk gland)은 대부분의 단백질과 소량의 뽕잎 유래 화합물들로 구성된 복합체로서, 인체에 유익한 다양한 아미노산과 펩타이드, 그리고 각종 식물 유래 항산화 화합물 등이 집약된 고품질의 영양 물질로 알려져 있다(Kim et al., 2017). 또한, 견사선을 제외한 몸체에도 50% 이상의 단백질과 오메가3지방산을 포함한 불포화 지방산(전체 지방산의 2/3 이상 함유)과, 각종 비타민 및 무기질, 그리고 폴리페놀 및 플라보노이드 등의 기능 성분이 다량 함유되어 있다(Ji et al., 2019; Ji et al., 2017; Ji et al., 2016a; Ji et al., 2016b). 누에는 5령3일을 지나면서 견사선이 급속히 발달하기 시작하며, '숙잠(mature silkworm; MS)'이 되면 체중 대비 견사선의 함량이 40% 내외에 달할 정도로 체내 견사선으로 가득 차게 된다. 이 견사선은 누에 체내에서

액상으로 존재하다가 완숙잠이 되면 자연적으로 토사가 이루어지는데, 이를 익히거나 냉동 또는 건조할 경우 강력한 강도로 인해 섭취 및 소화-흡수가 불가능한 바, 5령4일부터 숙잠기의 누에는 식품 또는 건강 기능 식품으로 이용할 수 없는 문제점이 있었다(Ji et al. 2015).

이러한 문제점을 해결하고 궁극적으로 양잠 산업의 부흥을 도모하기 위한 방편으로, 국립농업과학원에서는 이전까지 이용이 어려웠던 5령4일부터 숙잠기의 누에를 식용 섭취가 가능하도록 수증기로 익히는 가공 기술을 개발한 바 있다(Ji et al. 2015). 이렇게 개발된 '익힌 숙잠 동결 건조 분말(steamed and lyophilized MS powder; SMSP)'은 2017년 애칭 공모 결과 '홍잠(弘蠶)'으로 불리게 되었으며, 국내 연구진의 주도로 홍잠의 기능성을 탐색하는 연구들이 2015년부터 세계 최초로 수행되기 시작하였다. 약 5년의 시간이 흐른 2019년 현재, 짧은 기간이었음에도 불구하고 홍잠의 다양하면서도 강력한 생리 활

*Corresponding author. E-mail: htlee@deu.ac.kr

성들을 밝혀낸 연구 성과들이 다수 발표되면서, 홍잠은 누에의 견사선 및 견사선 이외의 몸체 함유 성분들을 동시에 이용할 수 있는 전도유망한 건강 기능 식품 원료로 주목을 받기에 이르렀다. 본 소고(小考, mini-review)에서는, 현재까지 국내외 학술지에 발표된 홍잠의 건강 증진 기능성 연구 성과들을 요약·정리함으로써, 향후 국내 양잠 산업에 미칠 홍잠의 경제·산업적 잠재력 및 그 파급 효과를 가늠해 보고자 한다.

본 론

1. 홍잠의 건강 수명 연장 및 파킨슨병 예방/억제 효과

홍잠의 다양한 생리 활성을 과학적으로 탐색하고자 하는 연구들이 시작된 2015년 이래, 그 최초의 연구 성과로서 ‘홍잠이 실험 동물의 평균 수명(lifespan)은 물론 건강 수명(healthspan)까지 증대시킨다’는 연구 결과가 발표된 바 있다(Nguyen et al., 2016). 이 연구에서는, 홍잠 사료(SMSP containing food; SMSPF)를 지속적으로 먹여 사육한 초파리의 평균 수명(28.7일), 그리고 운동 능력(locomotor ability)으로 대변되는 건강 수명(21일)은, 홍잠이 들어있지 않은 일반 사료(normal food; NF) 또는 NF에 효모 함량을 높인 고영양 사료(yeast food; YF)를 먹인 초파리에 비해 유의적으로 늘어났음을 밝혔다(그림 1). 흥미로운 사실은, YF군의 건강 수명은 대조군(NF 투여군)과 동일(두 군 모두 12일)이지만, 평균 수명은 YF군(22.4일)이 대조군(25.3일)보다 오히려 짧았다는 점이다. 이는, 홍잠 사료를 지속적으로 먹은 초파리가 일반 사료를 먹고 자란 초파리보다 평균 수명이 약 13.4% 높았으며, 고영양 사료를

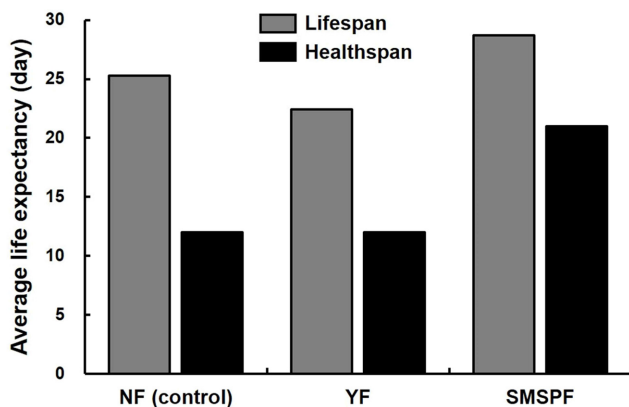


Fig. 1. Effects of SMSPF on the lifespan and healthspan in *Drosophila* (modified from Nguyen et al., 2016). Gray bars and black bars represent the average lifespan and healthspan for each group, respectively. The healthspan was determined by the day showing 50% of flies having locomotor ability.

먹은 초파리보다는 무려 28.1% 높았음을 보여주는 결과이다. 또한, 기대 수명 대비 건강 수명의 비율 역시 SMSPF군(73.1%)이 대조군(47.4%) 및 YF군(53.6%)에 비해 유의적으로 높았다. 이는, 홍잠을 지속적으로 먹게 되면, 전체 수명 중 건강하게 살아가는 기간이 유의미하게 늘어날 가능성이 있음을 시사한다.

대조군에 비해 SMSPF군에서 운동 능력이 높아지는 것은 물론, 미토콘드리아 활성, 그리고 후각 유전자 2종(Obp83a, Os-C)의 발현 및 후각 반응(olfactory response) 역시 유의적으로 증가하였다 (Nguyen et al., 2016). 또한, 만성적으로 노출될 경우 파킨슨병(Parkinson's disease)을 유발하는 것으로 알려진 로테논(Coulom and Birman, 2004; Tanner et al., 2011)에 대해서도 SMSPF군은 저항성을 보이는 것으로 보고되었다(Choi et al., 2017; Nguyen et al., 2016). 미토콘드리아 기능 장애(mitochondrial dysfunction)는 분자 및 세포 수준에서 파킨슨병의 도파민성 신경 퇴행(dopaminergic neurodegeneration)의 주요한 병인 중 하나인 것으로 알려졌으며(Ferretta et al., 2014; Jin et al., 2014), 후각 기능 장애(olfactory dysfunction)는 파킨슨병의 일반적인 초기 증상 중 하나로 잘 알려져 있다(Attems et al., 2014). 이러한 결과들을 종합해볼 때, 홍잠을 지속적으로 섭취할 경우 체내에서 후각 및 운동 능력을 관장하는 신경 세포의 미토콘드리아 활성을 증진시킬 것으로 예상되며, 노화 또는 로테논의 만성적 노출에 의해 발생하는 운동 능력 저하 및 파킨슨병을 예방하거나 그 진행 속도를 늦추는 데에 홍잠이 기여할 가능성이 있을 것으로 사료된다.

2. 홍잠의 간 기능 개선 및 위 보호 효과

내부 장기(臟器)들 중 위(胃) 및 간(肝)을 보호하고 그 기능을 개선하는 홍잠의 활성에 대한 연구 성과들 중 가장 먼저 보고된 성과는, diethylnitrosamine (DEM)과 같은 발암 물질에 의해 간세포가 손상되고 나아가 간암으로 발전하는 것을 홍잠이 보호하고 억제한다는 사실을 보여준 것이다(Cho et al., 2016a; Cho et al., 2016b). 이 연구에서는, 홍잠이 포함된 사료를 2주 동안 먹은 마우스 간세포의 DEM에 의한 급성 세포 괴사(necrosis)가 홍잠을 먹지 않은 마우스에 비해 유의적으로 덜 발생하였으며, 염증 반응(inflammatory response) 및 간수치(ALP, AST, ALT) 역시 홍잠 사료를 먹은 마우스에서 유의적으로 낮았다. 이는, 염증 반응과의 밀접한 연관성이 확인된 대표적인 간암(Okuda, 1992; Tsukuma et al., 1993)인 ‘간세포암종(hepatocellular carcinoma)’을 예방하는 데에 홍잠이 유용하게 활용될 가능성을 보여주는 결과이다.

또한, 홍잠은 알코올에 의한 급성 간 손상, 즉 음주에 따른 숙취를 예방하는 효과를 나타낸다(Lee et al., 2017b).

Table 1. Effects of SMSPF on the activity of alcohol metabolizing enzymes (modified from Lee et al., 2017b)

Enzyme	Group	
	Control	SMSPF
ADH (mU/mL)	10.87 ± 2.77	5.05 ± 1.78 [#]
ALDH (mU/mL)	3.55 ± 0.85	2.07 ± 0.27*

Values represent the mean ± SD (n=7). Significant difference (**p* < 0.05 and [#]*p* < 0.01) compared with each control value.

음주 후 알코올이 제대로 분해되지 않아 발생하는 아세트알데히드(acetaldehyde)는 숙취를 유발하는 가장 주요한 원인으로 알려져 있다(Agarwal and Goedde, 1989; Swift and Davidson, 1998). 홍삼이 포함된 사료를 2주 동안 섭취한 실험 동물(rat)에 알코올을 강제로 먹인 후 알코올 분해 효소인 alcohol dehydrogenase (ADH) 및 aldehyde dehydrogenase (ALDH)를 측정된 결과, 알코올 강제 투여에 의해 높아진 두 효소의 활성이 홍삼 섭취(전처리)에 의해 모두 유의적으로 감소되었으며(표 1), 간수치(AST, ALT) 역시 유의적으로 감소하였다(Lee et al., 2017b). 이는, 홍삼을 일상적으로 꾸준히 섭취할 경우, 음주 시 알코올의 원활한 분해를 도와 아세트알데히드 생성을 줄이는 동시에 급성 간 손상을 억제함으로써, 강력한 숙취 예방 효과를 발휘할 가능성 있음을 시사한다. 아울러, 알코올의 장기간 반복 투여에 의한 만성적인 알코올성 지방간(hepatic steatosis) 및 간 손상 역시, 홍삼의 지속적인 섭취에 의해 유의적으로 억제될 수 있다는 실험 결과가 최근 보고되었다(Hong et al., 2018). 한편, 홍삼의 반복적인 섭취는 음주 시 간세포 뿐만 아니라 위 점막 세포 역시 보호하여, 결과적으로 알코올 투여에 의한 위 점막 출혈 및 위 궤양(gastric ulcer)을 예방하는 효과를 나타내는 것으로 알려졌다(Lee et al., 2017a; Yun et al., 2017).

3. 홍삼의 피부 흑화 억제 효과

웰빙 시대를 맞아 외모에 대한 관심이 끊임 없이 높아지고 있는 현실을 차치하더라도, 피부는 유해한 외부 물질 및 미생물의 침입을 물리적 및 생화학적으로 방어하는 일차적이자 가장 중요한 면역 기관이기 때문에, 피부 건강을 유지하는 것은 건강 수명 증대에 있어 결코 그 중요성이 간과되어서는 안될 것이다(Di Meglio et al., 2011). 홍삼이 가진 다양한 생리 활성들 중, 피부 미용 관련 분야의 연구 성과로는 미백 활성이 보고된 바 있다(Kim et al., 2017). 이 연구에서는, 홍삼을 매일 일정 용량으로 3-4주 동안 반복 투여할 경우, 자외선 B (UVB)의 반복 조사(照射)에 의한 마우스 피부의 흑화(黑化) 정도가 대조군

Table 2. Effects of SMSP on the lightness and melanin pigmentation of the UVB-irradiated murine dorsal skin (modified from Kim et al., 2017).

Dose of SMSP (g/kg/day)	ΔL* value	Score of melanin pigmentation
0 (control)	-8.34 ± 1.47	3.40 ± 0.22
0.1	-8.01 ± 1.58	3.20 ± 0.33
0.3	-5.58 ± 1.55	2.40 ± 0.36
1	-4.37 ± 1.13*	1.60 ± 0.46*
3	-4.56 ± 1.22*	1.80 ± 0.52*

Blind scoring of melanin pigmentation: 0, <5% positively stained (*i.e.*, dark brown) area on the basal layer of epidermis; 1, 5-15%; 2, 15-30%; 3, 30-50%; 4, >50%. Values represent the mean ± SEM (n=5). Significant difference (**p* < 0.05) compared with each control value (*i.e.*, 0 g/kg/day).

(홍삼 투여 없이 UVB만 조사한 군)에 비해 유의적으로 감소함을 보여주었다(표 2). 피부의 밝기는 L값(0-100 사이의 값, 0은 검정색, 100은 흰색)으로 표현되는데, 홍삼 경구 투여 시 피부가 대조군 대비 유의적이고 용량 의존적으로 밝아지는 양상을 나타내었다. 또한, UVB에 의한 피부 흑화는 피부 조직에서의 멜라닌 색소 생성에 기인하는데, 홍삼 경구 투여 시 멜라닌 색소의 생성 역시 대조군에 비해 유의적이고 용량 의존적으로 감소하였다(표 2). 이는, 홍삼이 천연 소재 미백 기능성 식품 또는 먹는 화장품(inner beauty)으로의 개발의 가능한 원료임을 시사한다.

결론

상기한 바와 같이, 홍삼의 기능성 연구가 시작된 2015년부터 현재까지 논문으로 발표된 홍삼의 다양한 생리 활성에 대한 연구 성과들을 간략히 소개하였다. 얼핏 보면 홍삼의 기능성이 너무 광범위하여 조금 혼란스러울 수도 있지만, 홍삼의 세부 품종(즉, 하얀 고치를 짓는 백옥잠, 연녹색 고치를 짓는 연녹잠, 빨간색 고치를 짓는 주황잠, 황금색 고치를 짓는 골든실크) 별로 기능성의 분야가 다르다는 점을 감안하면, 홍삼이 얼마나 잠재력 있는 건강 기능 식품 원료인지 가늠할 수 있게 된다. 실제로, 홍삼의 건강 수명 증대 및 파킨슨병 억제 효과는 골든실크, 알코올에 의한 위 및 간 손상 예방 효과는 백옥잠, 그리고 피부 흑화 억제 효과는 연녹잠 품종에서 각각 탁월한 활성을 보인다는 사실이 밝혀졌다. 또한, 홍삼 기능성 연구의 핵심 소재인 이 네 가지 품종들이 함유하고 있는 다양한 영양 성분들에 대한 분석 역시 활발하게 진행되고 있다(Ji et al., 2019; Ji et al., 2017; Ji et al., 2016a; Ji et al., 2016b). 상기한 모든 내용들을 종합해볼 때, 홍삼은

인류의 보건 복지에 기여할 충분한 잠재력을 지닌 천연 건강 기능성 소재이며, 향후 지속적인 연구 개발을 통해 양잠 산업의 부흥 및 양잠 농가의 소득 증대에 기여하는 바 역시 클 것으로 기대된다.

References

- Agarwal DP, Goedde HW (1989) Human aldehyde dehydrogenases: Their role in alcoholism. *Alcohol* **6**, 517~523.
- Attems J, Walker L, Jellinger KA (2014) Olfactory bulb involvement in neurodegenerative diseases. *Acta Neuropathol* **127**, 459~475.
- Cho JM, Hong KS, Lee DY, Kim KY, Ji SD, Kim EH (2016a) Protective effect of silkworm (*Bombyx mori*) powder against diethylnitrosamine-induced hepatotoxicity in mice. *Food Eng Prog* **20**, 342~348.
- Cho JM, Kim KY, Ji SD, Kim EH (2016b) Protective effect of boiled and freeze-dried mature silkworm larval powder against diethylnitrosamine-induced hepatotoxicity in mice. *J Cancer Prev* **21**, 173~181.
- Choi BH, Ji SD, Son JG, Nguyen P, Kim KY, Park YH, Koh YH (2017) Phytochemicals and silk proteins in mature silkworm powders responsible for extended life expectancy and enhanced resistances to Parkinson's disease. *J Asia-Pac Entomol* **20**, 1425~1433.
- Coulom H, Birman S (2004) Chronic Exposure to Rotenone Models Sporadic Parkinson's Disease in *Drosophila melanogaster*. *J Neurosci* **24**, 10993~10998.
- Ferretta A, Gaballo A, Tanzarella P, Piccoli C, Capitanio N, Nico B, Annese T, Paola MD, Dell'Aquila C, Mari MD, Ferranini E, Bonifati V, Pacelli C, Cocco T (2014) Effect of resveratrol on mitochondrial function: Implications in parkin-associated familial Parkinson's disease. *Biochim Biophys Acta* **1842**, 902~915.
- Di Meglio P, Perera GK, Nestle FO (2011) The multitasking organ: recent insights into skin immune function. *Immunity* **35**, 857~869.
- Hong, KS, Yun, SM, Cho, JM., Lee, DY., Ji, SD., Son, JG, Kim, EH (2018) Silkworm (*Bombyx mori*) powder supplementation alleviates alcoholic fatty liver disease in rats. *J Funct Foods* **43**, 29~36.
- Ji SD, Kim NS, Kweon H, Choi BH, Kim KY, Koh YH (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 SD, Kim NS, Kweon H, Choi BH, Yoon SM, Kim KY, Koh YH (2016b) Nutrient compositions of *Bombyx mori* mature silkworm larval powders suggest their possible health improvement effects in humans. *J Asia-Pac Entomol* **19**, 1027~1033.
- Ji SD, Kim NS, Lee JY, Kim MJ, Kweon H, Sung GB, Kang PD, Kim KY (2015) Development of processing technology for edible mature silkworm. *J Seric Entomol Sci* **53**, 38~43.
- Ji SD, Kim SB, Kim KY, Kim NS, Kim SW, Jo YY, Kim, JG, Kim YK, Seok YS, Lim JR, Koo HY, Lee HT (2019) Contents of nutrients in ultra-fine powders of steamed and lyophilized mature silkworms generated by four silkworm varieties. *J Asia-Pac Entomol* **22**, 969~974.
- Ji SD, Nguyen P, Yoon SM, Kim KY, Son JG, Kweon H, Koh YH (2017) Comparison of nutrient compositions and pharmacological effects of steamed and freeze-dried mature silkworm powders generated by four silkworm varieties. *J Asia-Pac Entomol* **20**, 1410~1418.
- Jin H, Kanthasamy A, Ghosh A, Anantharam V, Kalyanaraman B, Kanthasamy AG (2014) Mitochondria-targeted antioxidants for treatment of Parkinson's disease: Preclinical and clinical outcomes. *Biochim Biophys Acta* **1842**, 1282~1294.
- Kim HJ, Kim KY, Ji SD, Lee HT (2017) Anti-melanogenic activity of steamed and freeze-dried mature silkworm powder. *J Asia-Pac Entomol* **20**, 1001~1006.
- Lee DY, Cho JM, Yun SM, Hong KS, Ji SD, Son JG, Kim EH (2017a) 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.
- Lee DY, Cho JM, Yun SM, Hong KS, Ji SD, Son JG, Kim EH (2017b) Comparison of silkworm powder from 3 *Bombyx mori* varieties on alcohol metabolism in rats. *Int J Indust Entomol* **35**, 22~29.
- Nguyen P, Kim KY, Kim AY, Kim NS, Kweon H, Ji SD, Koh YH (2016) Increased healthspan and resistance to Parkinson's disease in *Drosophila* by boiled and freeze-dried mature silkworm larval powder. *J Asia-Pac Entomol* **19**, 551~561.
- Okuda K (1992) Hepatocellular carcinoma: recent progress. *Hepatology* **15**, 948~963.
- Swift R, Davidson D (1998) Alcohol hangover-mechanisms and mediators. *Alcohol Health Res World* **22**, 54~60.
- Tanner CM, Kamel F, Ross GW, Hoppin JA, Goldman SM, Korell M, Marras C, Bhudhikanok GS, Kasten M, Chade AR, Comyns K, Richards MB, Meng C, Priestley B, Fernandez HH, Cambi F, Umbach DM, Blair A, Sandler DP, Langston JW (2011) Rotenone, paraquat, and Parkinson's disease. *Environ Health Perspect* **119**, 866~872.
- Tsukuma H, Hiyama T, Tanaka S, Nakao M, Yabuuchi T, Kitamura T, Nakanishi K, Fujimoto I, Inoue A, Yamazaki H (1993) Risk factors for hepatocellular carcinoma among patients with chronic liver disease. *N Engl J Med* **328**, 1797~1801.
- Yun SM, Cho JM, Hong KS, Lee DY, Ji SD, Son JG, Kim EH (2017) Gastroprotective effect of mature silkworm, *Bombyx mori* against ethanol-induced gastric mucosal injuries in rats. *J Funct Foods* **39**, 279~286.