

교배육종에 의한 밀리타리스 동충하초 ‘도원홍초’의 품종특성

이병주* · 이미애 · 김용균 · 이광원 · 최영상¹ · 이병의²

충청남도농업기술원 작물연구과

¹예당버섯²순천향대학교 화학과Varietal characteristics of cross-bred *Cordyceps militaris* ‘Dowonhongcho’Byung-joo Lee*, Mi-Ae Lee, Yong-Gyun Kim, Kwang-won Lee, Young-sang Choi¹ and Byung-eui Lee²

Crop Research Division, Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Services, Yesan 340-861, Korea

¹Yedang Mushroom Institute, Yesan 340-861, Korea²Department of Chemistry, College of Natural Science, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

ABSTRACT: *Cordyceps militaris* is being studied and cultivated as a medicinal mushroom having many valuable biological and pharmaceutical activities. In the breeding of new *C. militaris* mushroom, single ascospores were isolated and examined their mycelial growth, mycelial density, and production of stroma and perithecia. Among them selected isolates were crossed and hybrids were produced showing high quality fruiting bodies on artificial media. Mycelial growth rate of new strain ‘Dowonhongcho’ was higher than that of better on ‘Yedang 3’ on SDAY at 10-25°C. The stromata of new strain were club-shaped and bright orange-red. Its height was 6.1 cm and the cordycepin content was 0.34% on average. The new strain showed 9% higher yield than ‘Yedang 3’ with producing firmer fruit bodies. The optimum temperature for mycelial growth was 22~25°C and the optimum temperature for stroma development was 18~22°C. Fruiting bodies were began to produce 45 days later after inoculation. This new cultivar may serve as a valuable one for artificial cultivation and industrial-scale production of *C. militaris*.

KEYWORDS: *Cordyceps militaris*, Fruiting body, Single ascospore, Stroma development

서론

밀리타리스 동충하초 [*C. militaris* (L.) Link]는 자낭균문 (*Ascomycota*), 자낭균강 (*Ascomycetes*), 육좌균목 (*Hypocreales*) 맥각균과 (*Clavicipitaceae*), 동충하초속 (*Cordyceps*)에 속

하는 곤충기생균 (Entomopathogenic Fungi)으로 곤충의 유충, 번데기, 성충 등에 침입하여 이를 기주로 자실체를 형성하며 (Holliday and Cleaver, 2008), 한국을 비롯한 중국, 일본, 영국, 노르웨이, 네팔 등 전 세계적으로 400여종, 국내에 80여종이 자생하고 있는 것으로 알려져 있다 (Mains, 1958; Hawksworth and Rossman, 1997; Liang, 2001; Isaka *et al*, 2005; Stensrud *et al*, 2005; Ma *et al*, 2007; Sung *et al*, 2007; Wang *et al*, 2008).

전통적으로 동충하초 중에서도 약용으로 가장 높이 평가되는 것은 해발 3,600~5,000 m의 히말라야와 티베트 고원지대에서 박쥐나방 (*Hepialus armoricanus* Oberthur)의 유충에서 자라는 박쥐나방 동충하초 (*C. sinensis* syn. *Ophiocordyceps sinensis*)이다 (Zhou *et al*, 2009). 지금까지 자실체 인공재배에 관한 연구가 지속적으로 이루어졌으나 아직까지 성공하지 못했다 (Guo and Yang, 1999; Liu *et al*, 1999; Jiang and Yao, 2003). 이와 같은 제한적인 분포, 높은 가격에 의한 무분별한 채취, 인공재배의 곤

J. Mushrooms 2015 September, 13(3):151-156
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2015.13.3.151>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author

E-mail : byungjoo@korea.kr

Tel : +82-41-635-6061, Fax : +82-41-635-7921

Received July 27, 2015

Revised August 3, 2015

Accepted August 7, 2015

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

란 등으로 25년 전과 비교해서 생산량이 약 5% 이하로 감소하면서 자원이 고갈되고 있다(Huang *et al*, 2009).

박쥐나방 동충하초의 주요 생리활성물질은 코디세핀(Cordycepin)으로 알려져 있는데, 사실상 코디세핀이 처음으로 추출된 것은 밀리타리스 동충하초였고(Cunningham *et al*, 1950, 1951) 그 이후 박쥐나방 동충하초(Huang *et al*, 2003)와 *C. kyushuensis*(Ling *et al*, 2002)에서도 발견되었다. 코디세핀의 약리적인 기능은 매우 다양하여 항종양, 면역조절, 항염증, 항바이러스, 항백혈병, 항암, 항당뇨, 비만억제 등에 대한 많은 연구가 있어왔다(De Julian-Ortiz *et al*, 1999; Yoo *et al*, 2004; Masuda *et al*, 2007; Wong *et al*, 2010; Wu *et al*, 2011; Patel and Ingallhalli, 2013). 특히 밀리타리스 동충하초는 박쥐나방 동충하초와 비교해서 다양한 생리활성물질이 존재할 뿐만 아니라 코디세핀 함량이 훨씬 많은 양으로 검출되었다(Wu *et al*, 1996; Oh *et al*, 2003; Wei *et al*, 2004; Gu *et al*, 2006; Yu *et al*, 2006; Das *et al*, 2010). 또한 밀리타리스 동충하초는 인공적인 재배가 가능하여 다양한 목적으로 박쥐나방 동충하초를 대체할 수 있는 것으로 주목을 받아 왔다(Sung *et al*, 2002; Gui and Zhu, 2008; Paterson, 2008; Li *et al*, 2010; Dong *et al*, 2012).

밀리타리스 동충하초는 액체접종원과 현미 또는 번데기 등을 이용한 다양한 배지에서 생산되고 있으며(Harada *et al*, 1995; Choi *et al*, 1999; Sato and Shimazu, 2002; Sung *et al*, 1999, 2002; Gao, 2008), UV에 의한 돌연변이와 단포자 교배 및 이를 통한 새로운 품종이 육성되고 있다(Che *et al*, 2004; Sung *et al*, 2006; Choi *et al*, 2009; Jeong *et al*, 2009; Du *et al*, 2010).

이와 같은 상황에서 밀리타리스 동충하초 단포자로부터 분리된 단핵균주간 교배육종으로 특성이 우수한 새로운 신품종 동충하초 ‘도원홍초’를 육성하였으며 산업적 생산 및 보급을 위해 균사생장 및 재배적 특성 등 중요한 품종 특성을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

본 시험에 이용된 균주는 2009년 충남 예산 및 당진지역 야산에서 채집된 밀리타리스 동충하초에서 분리된 단포자를 사용하여 교배 및 선발과 특성검정을 수행하였으며 그 중 수량 및 품질이 우수한 계통을 최종 선발하여 농가실증시험을 거쳐 2013년 농촌진흥청 품종심의위원회에서 신품종으로 선정되었고 국립종자원에 ‘도원홍초’로 품종 출원하였다. 단포자 분리는 WA(Water Agar)배지가 분주된 페트리디쉬에 자낭포자를 낙하하여 24°C 항온기에 2일간 발아시킨 후 단핵균주로 추정되는 균사체를 각각 분리하여 YMA(Yeast malt agar)배지에 접종하여 24°C에 10일간 배양한 후 특성을 검정하였다. 서로 다른 온도에서의 균사생장을 측정하기 위해 항온기 10, 15, 20, 25, 30°C에

서 20일 경과 후 3반복으로, 한 반복당 3방향에서 측정하는 평균값을 사용하였다. 각각의 배지별 균사생장은 PDA(Potato dextrose agar) 배지상에서 자라고 있는 균사의 가장자리 끝 부분에서 직경 5 mm를 균총을 떼어내 PDA를 비롯해서 동충하초 균사생장이 양호하였던 MCM(Mushroom complete media), SDAY(Sabouraud's dextrose agar yeast extract), YMA(Malt extract yeast agar) 등의 배지를 사용하였다(Lee *et al*, 2013). 이와 같은 배지실험은 완전임의배치 3반복으로 2회 실시하였다.

자실체 발생을 위해서는 Polypropylene 배양병(850ml)에 현미 80 g과 증류수 100ml를 넣어 30분간 고압 멸균하여 각각의 단포자 분리균주에 대한 자실체 및 자낭각을 검정하는 방법으로 단핵균주를 확인하였고, 이렇게 확인된 단핵균주는 24°C, 조도 500lux 조건의 YMB(Yeast Malt Broth) 액체배지에서 23일간 혼합접종하여 교배를 실시한 후 버섯발이를 위해 생육실에서 20~22°C, 조도 500lux, 습도 80~90% 조건을 유지하면서 50~60일후 인공자실체를 형성하였다.

코디세핀에 대한 정량분석은 Nano Space SI-1(Shiseido, Japan), Column은 Water PLC C-18을 사용하였으며 25°C로 유지하면서 20 nM-KH₂PO₄ 유출용매를 1.0 µl/min로 흘려보냈으며 UV 검출기로 254nm에서 흡광도를 측정하였다. 일반성분 분석은 AOAC법에 준하여 분석하였고 농촌진흥청 토양 및 식물체 표준분석법에 따라 전탄수 화물은 Tyurin법으로 전질소는 Kjeldahl법, 무기성분 분석은 건식분해법에 준하여 처리한 시료를 ICP(Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer)로 분석하였고, 색도측정은 색차계(Chromameter, CR-200, Minolta, Japan)를 이용하여 L(명도)값, a(적색도)값 및 b(황색도)값을 측정하였고 색차(E) = $\sqrt{(L-L')^2 + (a-a')^2 + (b-b')^2}$ 으로 계산하였다.

결과 및 고찰

자낭포자를 분리한 후 균사생장, 균사밀도, 자실체 및 자낭각 형성 여부 등에 대한 검토를 거쳐, 그 중에서 단핵이면서 특성이 우수한 균주를 이용하여 교배와 선발과정을 거쳐 육성한 신품종 동충하초 ‘도원홍초’는 Fig 1에서 보듯 자실체의 색깔과 모양이 주황색 곤봉형이고 균사체는 YMA 배지에서 주황색을 띤다. 자실체 발생을 위해서는 현미배지에서 액체종균을 접종후 생육실에서 버섯발생을 위해 18~22°C, 조도 500lux, 습도 80~90% 조건을 유지하면서 45일후 인공자실체를 형성하였다.

신품종 도원홍초 및 대조품종 예당3호는 10°C에서 25°C 범위에서 성장을 계속하다가 30°C로 온도가 올라가면서 균사생장이 급격하게 저하되었다. 품종별로 보면 도원홍초가 대조품종인 예당3호에 비해 10°C에서 25°C 범위에서 균사생장이 양호하였으나 30°C 고온에서는 예당3



Fig. 1. Fruiting body(left) and mycelium(right) of ‘Dowonhongcho’.

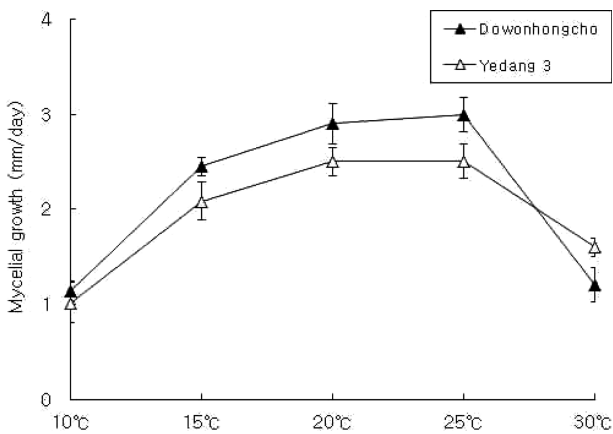


Fig. 2. Mycelial growth of ‘Dowonhongcho’ at different temperatures on SDAY medium.

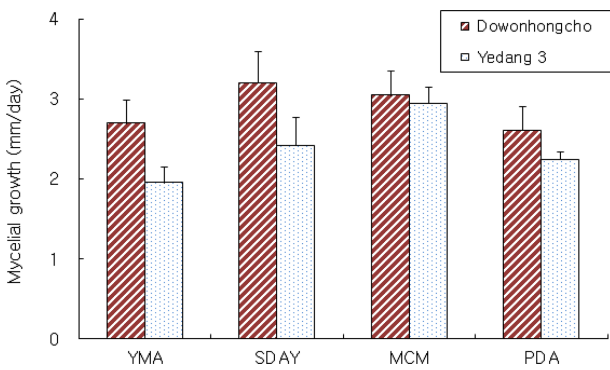


Fig. 3. Mycelial growth of ‘Dowonhongcho’ on different media.

호에 비해 균사생장이 급격하게 저하되었다(Fig. 2).

동충하초 ‘예당3호’의 균사생장은 MCM(Mushroom complete media), SDAY(Sabouraud’s dextrose agar yeast extract), YMA(Malt extract yeast agar) 등의 배지에서 양호(Lee *et al*, 2013)하였는데 이러한 결과를 바탕으로 25°C조건에서 배지의 종류에 따른 동충하초 신품종 및 대조품종에 대한 균사생장을 조사한 결과는 Fig. 3과 같았다. 배지의 종류는 YMA, SDAY, MCM, 및 PDA를 사용하였으며 도원홍초의 생장은 4종의 배지에서 예당3호에 비해 전체적으로 양호한 결과를 보였다. 도원홍초 및 예당3호 균주는 SDAY와 MCM에서 보다 양호하였는데 도

Table 1. Cultural characteristics of ‘Dowonhongcho’

Strain	Period(days)		
	Primordial formation	Development of fruit body	Total
Dowonhongcho	15.2	30.1	45.3
Yedang 3	15.4	30.3	45.7

Table 2. Characteristics of fruiting body of ‘Dowonhongcho’

Strain	No of stroma (No/bottle)	Thickness of stroma (mm)	Length of stroma (cm)
Dowonhongcho	141	3.1	6.1
Yedang 3	127	2.7	6.5

Table 3. Color value comparison of the fruiting body between ‘Dowonhongcho’ and ‘Yedang 3’

Strain	L	a	b	ΔE
Dowonhongcho	61.77	23.15	49.81	3.58
Yedang 3	61.62	21.32	46.74	0

^aL : lightness, a : redness, b : yellowness; ΔE(color difference) = $\sqrt{(L-L')^2+(a-a')^2+(b-b')^2}$

원홍초는 SDAY배지에서 가장 균사생장이 빨랐으며 예당3호는 MCM배지에서 균사생장이 양호하였다.

재배적 특성을 보면 동충하초 신품종인 도원홍초는 균 배양 소요일수가 15.2일이 소요되었고, 자실체 발생까지의 소요일수는 30.1일이 소요되어 접종부터 자실체 수확까지 소요되는 전체 생육일수는 45.3일이었다(Table 1). 예당 3호의 45.7일과 비교할 때 전체 생육일수는 거의 비슷하거나 혹은 1일 정도 조기에 수확이 가능하였다.

동충하초 신품종인 도원홍초의 자실체의 형태적인 특성은 Table 2와 같았다. 도원홍초의 발이수는 병당 141개의 발이개체수를 보였고 자좌의 굵기는 3.1 mm, 자좌의 길이는 6.1 cm 였다. 대조품종인 예당3호와 비교하면 예당3호의 127개/병의 발이개체수보다 많이 발생하였고 자좌의 길이는 가늘었지만 자좌의 굵기가 큰 특징을 보였다.

동충하초의 품질을 결정하는 중요한 요소 중의 하나는 자실체의 색도이다. 일반적으로 소비자들이 선호하는 품종은 선명한 주황색의 것을 선호하는 경향이 있다. 도원홍초의 색도는 Table 3과 같았는데 명도를 나타내는 L값, 적색도를 나타내는 a값, 황색도를 나타내는 b값은 각각 61.77, 23.15, 49.81로 조사되었다. 대조품종인 예당3호의 L값, a값, b값인 61.62, 21.32, 46.74와 비교할 때 신품종인 도원홍초의 적색도 및 황색도가 증가한 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과를 색차인 ΔE값은 예당3호와 비교해서 3.58로 조사되었는데 이는 육안으로 자실체의 색 차이를 인지할 수 있는 정도의 값이므로 품질면에서 도원홍초의 색깔이 보다 선명하다는 것을 알 수 있다.

Table 4. Comparison of cordycepin content and hardness and yield of the fruiting body between 'Dowonhongcho' and 'Yedang 3'

Strain	Cordycepin (%)	Hardness (kg/φ5mm)	Yield (g/bottle)	Yield index
Dowonhongcho	0.34	0.32	40.6 a	109
Yedang 3	0.31	0.29	37.1 b	100

* LSD(5%)=1.0514

동충하초 버섯의 품질을 결정하는 또 다른 요소는 코디세핀 함량이다. 도원홍초의 코디세핀 함량은 0.34%였고 예당 3호는 0.31% 였다. 일반적으로 경도가 높을수록 저장성이 양호하고 유통과정에 있을 수 있는 변질이 쉽게 이루어지지 않으므로 육종에 있어서 경도는 반드시 고려해야 할 중요한 사항이다. 신품종 도원홍초의 경도는 0.32 kg/φ5 mm로 예당 3호의 0.29 kg/φ5 mm에 비해 높았고 수량은 40.6 g/병으로 예당 3호의 37.1 g/병에 비해 9% 증수되었다. 따라서 신품종은 재배에서의 수량적 측면과 함께 저장 및 유통과정에서 유리한 요인이 될 것으로 기대된다(Table 4).

현미배지를 이용한 신품종 동충하초 자실체의 일반성분 함량은 Table 5와 같았다. 병재배에서 수확된 자실체의 수분함량은 약 86%였고, 영양성분 중에서 탄수화물은 7-8%, 단백질은 약 5%로 분석되었으며 지방 및 회분의 함량은 소량으로 존재하였다. 신품종 및 대조품종의 품종별 함량은 큰 차이가 없었으나 도원홍초의 단백질 함량이 다소 높게 조사되었다.

신품종 동충하초 자실체의 주된 무기성분은 K와 P가 가장 많았고 그 다음으로 Ca, Mg, Na, 등이었다(Table 6). 그 밖에 Fe, Cu, Zn 등도 소량으로 분석되었다. 이와 함께 비타민 A와 B 등이 풍부하게 함유하여 영양적 가치도 매우 우수하였다(Pathania and Sagar, 2014). 이상에서 보듯 밀리타리스 동충하초에는 코디세핀, 단백질, 그리고 무기성분, 비타민 등이 풍부하여 건강 기능성 식품으로 충분히 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5. Comparison of nutrients proximate constituents in the fruiting body between 'Dowonhongcho' and 'Yedang 3'

Strain	Calorie (kcal/100g)	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Carbohydrate (%)	Ash (%)
Dowonhongcho	52.28	86.26	5.03	0.12	7.77	0.82
Yedang 3	51.77	86.31	4.84	0.13	7.81	0.91

Table 6. Inorganic elements contents in the fruiting body of 'Dowonhongcho'

Strain	Concentration (mg%)								
	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Zn
Dowonhongcho	29.4	0.26	4.08	199.1	28.0	0.23	9.6	146.1	2.59
Yedang 3	28.7	0.21	3.86	180.4	25.4	0.18	9.5	130.4	1.83

적 요

밀리타리스 동충하초는 다양한 생리적 및 약리적 가치를 가지고 있는 약용버섯으로 인정받으며 많은 연구가 있어왔다. 교배를 위해 자낭포자를 분리한 후 균사생장, 균사밀도, 자실체 및 자낭각 형성 여부 등에 대한 검토를 하였고, 그 중에서 우수한 특성의 균주를 이용하여 교배와 선발과정을 거쳐 신품종 '도원홍초'를 육성하였다. 신품종 '도원홍초'는 SDAY배지 및 10~25°C 온도조건에서 균사생장이 양호하였다. 신품종의 자실체는 곤봉형이고 밝은 주황색을 띠었으며 코디세핀 함량은 0.34% 였고 자좌의 평균길이는 6.1 cm였다. '예당 3호'와 비교할 때, 새로운 품종 '도원홍초'의 수량은 9% 증수되었고 자실체의 경도가 높은 특징을 보였다. 균사생장 적온은 22~25°C였고, 버섯 발생 적온은 18~22°C였으며 접종에서부터 자실체 발생까지의 기간은 45일이 소요되었다. 신품종 '도원홍초'는 동충하초 인공재배 및 산업적 생산에 기여할 것으로 판단된다.

감사의 말씀

본 연구는 농촌진흥청 공동연구과제(과제번호 PJ0102232014) 지원사업에 의하여 수행된 연구결과입니다.

References

Che ZM, Wang Y, Zhou LL, Tang CL. 2004. Study on the breeding of a new variety of *Cordyceps militaris* by mutated with ultraviolet radiation. *Food Ferment Ind* 30:35-38.

Choi IY, Choi JS, Lee WH, Yu YJ, Jong GT, Ju IO, Choi YK. 1999. The condition of production of artificial fruiting body of *Cordyceps militaris*. *Kor J Mycol* 27:243-248

Choi YS, Kim HK, Lee BJ, Kim YG. 2009. Characteristics and breeding of a new variety *Cordyceps militaris* 'Yedang 3'. *J Mushroom Sci Pro* 7:182-186.

- Cunningham KG, Manson W, Spring FS, Hutchison SA. 1950. Cordycepin, a metabolic product isolated from culture of *Cordyceps militaris* (Linn.) Link. *Nature* 166:949-952.
- Cunningham KG, Hutchinson SA, Nanson W, Spring FS. 1951. Cordycepin, a metabolic product from cultures of *Cordyceps militaris* (Linn.) Link. Part I. Isolation and characterization. *J Chem Soc* 1951:2299-3200.
- Das SK, Masuda M, Sakurai A, Sakakibara M. 2010. Medicinal uses of the mushroom *Cordyceps militaris*: current state and prospects. *Fitoterapia* 81:961-968.
- De Julian-Ortiz JV, Galvez J, Munoz-Collado C, Garcia-Domenech R, Gimeno-Cardona C. 1999. Virtual combinatorial syntheses and computational screening of new potential anti-herpes compounds. *J Med Chem* 42:3308-3314.
- Dong JZ, Lei C, Ai XR, Wang Y. 2012. Selenium enrichment on *Cordyceps militaris* Link and analysis on its main active components. *Appl Biochem Biotechnol* 166:1215-1224.
- Du AL, Zhang X, Zhang HZ. 2010. A new high cordycepin *Cordyceps militaris* cultivar 'Haizhou 1'. *Acta Horti Sin* 37:1373-1374.
- Gao XH. 2008. Mating system of *Cordyceps militaris*. *Acta Edulis Fungi* 15:6-10.
- Gu DX, Zhang GR, Wang JH, Liu X. 2006. A review and prospect on the studies of *Cordyceps sinensis* (Berk) Sacc. *J Chin Inst Food Sci Technol* 6:137-141.
- Gui ZZ, Zhu YH. 2008. Advance on cultivation, bioactive compound and pharmacological mechanism of *Cordyceps militaris*. *Sci Seri* 34:178-184.
- Guo, HP, Yang ZM. 1999. Progress in research of pharmacological of *Cordyceps sinensis*. *Traditional Herbal Drugs* 30:231-233.
- Harada Y, Akiyama N, Yamamoto K, Shirota Y. 1995. Production of *Cordyceps militaris* fruit body on artificially inoculated pupae of *Mamestra brassicae* in the laboratory. *Trans Mycol Soc Japan* 36:67-72.
- Hawksworth DL, Rossman AY. 1997. Where are all the undescribed fungi? *Phytopathol* 87:888-891.
- Holliday J, Cleaver M. 2008. Medicinal value of the caterpillar fungal species of the genus *Cordyceps* (Fr.) Link (*Ascomycetes*): A review. *Int J Med Mushroom* 10:219-234.
- Huang L, Li QZ, Chen YY, Wang XF, Zhou, XW, 2009. Determination and analysis of cordycepin and adenosine in the products of *Cordyceps* spp. *Afr J Microbiol Res* 3:957-961.
- Huang LF, Liang YZ, Guo FQ, Zhou ZF, Cheng BM. 2003. Simultaneous separation and determination of active components in *Cordyceps sinensis* and *Cordyceps militaris* by LC/ESI-MS. *J Pharm Biomed Anal* 33:1155-1162.
- Isaka M, Kittakoop P, Kirtikara K, Hywel-Jones, NL, Thebtaranonth Y. 2005. Bioactive substances from insect pathogenic fungi. *Acc Chem Res* 38:813-823.
- Jeong JW, Jin CY, Kim MO, Lee JY, Choi YH, Lee JD. 2009. RAPD analysis and cordycepin concentration of hybridized *Cordyceps militaris* strains by mating. *Kor J Mycol* 37:86-90.
- Jiang Y, Yao YJ. 2003. Anamorphic fungi related to *Cordyceps sinensis*. *Mycosystema* 22:161-176.
- Lee BJ, Lee MA, Kim YG, Lee KW, Choi YS, Lee BE, Song HY. 2013. Cultural characteristics of *Cordyceps militaris* strain 'Yedang 3' on various media and nutritional conditions. *J Mushroom Sci Prod* 11:124-130.
- Li J, Chen GS, Fang QM, Li HS. 2010. Comparative study on cultivated *Cordyceps militaris* and wild *Cordyceps sinensis*. *J Chengdu Univ Trad Chin Med* 33:82-84.
- Liang ZQ. 2001. Current situation and ponderation of *Cordyceps* Fr. research and exploitation in China. *Acta Edulis Fungi* 8:53-62.
- Ling JY, Sun YJ, Zhang H, Lv, P, Zhang CK. 2002. Measurement of cordycepin and adenosine in stroma of *Cordyceps* sp. by capillary zone electrophoresis (CZE). *J Biosci Bioeng* 94:371-374.
- Liu XM, Cheng YH, Tian D. 1999. Progress in the research of pharmacological *Cordyceps* in China. *Natl Product Res Development* 11:87-91.
- Ma T, Feng Y, Wu XP, Zhang YH, Ma Y, Wang ZL. 2007. Primary investigation of a host insect of *Cordyceps militaris* and analysis of its main ingredients. *For Res* 20:63-67.
- Mains EB. 1958. North American entomogenous species of *Cordyceps*. *Mycologia* 50:169-222.
- Masuda M, Urabe E, Honda H, Sakurai A, Sakakibara M. 2007. Enhanced production of cordycepin by surface culture using the medicinal mushroom *Cordyceps militaris*. *Enzyme Microbiol Technol* 40:1199-1205.
- Oh SW, Kim SH, Song HN, Han DS. 2003. Comparative chemical compositions of four kinds of Tochukaso. *Kor J Food Sci Technol* 35:15-22.
- Patel KJ, Ingalthalli RS. 2013. *Cordyceps militaris* (L.:Fr.) Link - An important medicinal mushroom. *J Pharm Phytochem* 2:315-319.
- Pathania P, Sagar A. 2014. Studies on the biology of *Cordyceps militaris*: A medicinal mushroom from North West Himalaya. *Kavaka* 43:35-40.
- Paterson RRM. 2008. *Cordyceps* - A traditional Chinese medicine and another fungal therapeutic biofactory? *Phytochem* 69:1469-1495.
- Sato H, Shimazu M. 2002. Stroma production of *Cordyceps militaris* (Clavicipitales: Clavicipitaceae) by injection of hyphal bodies to alternative host insects. *Appl Entomol Zool* 37:85-92.
- Stensrud Ø, Hywel-Jones NL, Schumacher T. 2005. Towards a phylogenetic classification of *Cordyceps*: ITS rDNA sequence data confirm divergent lineage and paraphyly. *Mycol Res* 109:41-56.
- Sung JM, Choi YS, Lee HK, Kim SH, Kim YO, Sung GH. 1999. Production of fruiting body using cultures of entomopathogenic fungal species. *Kor J Mycol* 27:15-19.
- Sung GH, Hywel-Jones NL, Sung JM, Kuangsa-Ard JJ, Shrestha B, Spatafora JW. 2007. Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi. *Stud Mycol* 57:50-59.
- Sung JM, Choi YS, Shrestha B, Park YJ. 2002.

- Investigation on artificial fruiting of *Cordyceps militaris*. *Kor J Mycol* 30:6-10.
- Sung JM, Park YJ, Lee JO, Han SK, Lee WH, Choi SK, Shrestha B. 2006. Selection of superior strains of *Cordyceps militaris* with enhanced fruiting body productivity. *Kor J Mycol* 34:131-137.
- Wang L, Zhang WM, Hu B, Chen YQ, Qu LH. 2008. Genetic variation of *Cordyceps militaris* and its allies based on phylogenetic analysis of rDNA ITS sequence data. *Fungal Diversity* 31:147-155.
- Wei HP, Xiao B, Hu KZ. 2004. Pharmaceutical values of *Cordyceps militaris*. *J Chin Med Mater* 27:215-217.
- Wong YY, Moon A, Duffin R, Barhet-Barateig A, Meijer HA, Clemens MJ, De Moor CH. 2010. Cordycepin inhibits protein synthesis and cell adhesion through effects on signal transduction. *J Biol Chem* 285:2610-2621.
- Wu YH, Zhu S, Ding YH, Lou H. 1996. Artificial cultivation conditions of *Cordyceps militaris* and the analysis of its fruitbody compositions. *Acta Edulis Fungi* 3:61-63.
- Wu FY, Yan H, Ma XA, Jia JQ, Zhang GZ, Guo XJ, Gui ZZ. 2011. Structural characterization and antioxidant activity of purified polysaccharide from cultured *Cordyceps militaris*. *Afr J Microbiol Res* 5:2743-2751.
- Yoo HS, Shin JW, Cho JH, Son CG, Lee YW, Park SY, Cho CK. 2004. Effects of *Cordyceps militaris* extract on angiogenesis and tumor growth. *Acta Pharm Sinica* 25:657-665.
- Yu HM, Wang BS, Huang SC, Duh PD. 2006. Comparison of preventive effects between cultured *Cordyceps militaris* and natural *Cordyceps sinensis* against oxidative damage. *J Agaric Food Chem* 54:3132-3138.
- Zhou XW, Gong ZH, Su Y, Lin J, Tang KX. 2009. *Cordyceps* fungi: natural products, pharmacological functions and developmental products. *J Pharm Pharmacol* 61:279-291.