

장수상황버섯 베타글루칸 추출물이 개미 집단생활에 미치는 영향

김하원 · 이동희*

서울시립대학교 자연과학대학 생명과학과

Effects of beta glucan extract from *Phellinus baumii* on the eusociality of ants

Ha Won Kim and Dong-Hee Lee*

Department of Life Science, University of Seoul, 163 Seoulsiripdae-Ro, Dongdaemun-Gu, Seoul 02504, Korea

ABSTRACT: Beta glucan was purified from *Phellinus baumii* and tested for its effect on the group performance of ants, a principal model of eusociality and of superorganisms. Japanese carpenter ants (*Camponotus japonicus*) were reared on diets containing beta glucans to characterize their effects on eusociality. Culturing structures for ants were assembled by implanting autoclaved soil into polyethylene terephthalate bottles. Three different eusocial strength indices were used to study the effect of beta glucan extract (BGE) on eusocial activities—the number of residence chambers, cooperative defense index (CDI), and group size and composition. Control, low- BGE, and high-BGE diets were prepared with the following three levels of BGE supplements in sucrose powder: 0, 20, and 50% (g/g). More residence chambers were observed in the BGE-fed groups than in the control. The CDI against a foreign queen ant was calculated according to the time taken to subdue the foreign queen. The high-BGE group took less time to complete their defense formation than the other groups. Differences were evident between control and BGE-fed groups in the total numbers of ants and eggs. The BGE-fed groups showed a significant increase in both the number of workers and the number of eggs. When fed with BGE, ants responded positively for all three eusocial strength indices. These results show that BGE exerts beneficial effects on the eusociality of ants as a superorganism.

KEYWORDS: Ants, Beta glucan extract (BGE), Eusociality, Eusocial strength index, *Phellinus baumii*

서론

상황버섯은 면역 기능의 조절 및 강화를 통한 항염증, 항산화, 항암 등의 효능이 있는 것으로 많은 연구를 통해

잘 알려져 있다 (Chen *et al.*, 2016; Dai *et al.*, 2010). 상황버섯에 관한 국제적인 관심은 면역조절기능이 강한 것으로 알려진 목질진흠버섯 (*Phellinus linteus*)에 집중되어 있으며 재배와 연구도 해당 버섯을 중심으로 이루어지고 있다 (Yoon *et al.*, 2017). 이러한 세계적인 추세와 달리 한국에서는 주로 장수상황버섯 (*Phellinus baumii*)이 재배되고 있다 (Wu *et al.*, 2012). 장수상황버섯은 다양한 다당체를 함유하고 있는 데, 다른 품종의 상황버섯과 비교할 때 다당체의 성분에 있어 큰 차이가 없다. 상황버섯류의 기능성 성분은 열수 추출물에 포함된 다당체에 있는 것으로 알려져 있다 (Lee and Kim, 2012) 이러한 다당체의 구성요소는 다른 화학물질에 비해 생체 독성이 거의 없어 이를 이용한 기능성 성분 및 치료제의 개발에 많은 연구가 이루어지고 있다 (Chang *et al.*, 2008; Jeong *et al.*, 2009).

장수상황버섯은 인체에 무해하지만 실제로 식용으로 허용되는 국가는 한국이 유일하다. 장수상황버섯에 관한 연

J. Mushrooms 2018 December, 16(4):304-310
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2018.16.4.304>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : leedh@uos.ac.kr
 Tel : +82-2-6490-2668

Received October 29, 2018
 Revised December 6, 2018
 Accepted December 10, 2018

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.

구로는 경구 투여 후 생쥐의 간에서 발견되는 유전자의 분석을 통한 생리활성 분석의 보고도 있지만 전반적으로 매우 부족한 실정이며 세계인의 관심 또한 미미한 편이다 (Sainkhuu *et al.*, 2016). 이러한 사실을 감안할 때 한국의 상황버섯에 대한 체계적이고 심도 있는 연구가 매우 필요한 실정이다. 상황버섯에 함유된 기능성 다당체 중에서 대표적인 물질은 베타글루칸이며 항암작용의 새로운 기전으로 NADPH oxidase 활성화에 대한 작용기전도 알려진 바가 있다 (Sung *et al.*, 2017). 상황버섯의 베타글루칸의 함량은 종류에 따라 많은 차이가 있다 (Volman *et al.*, 2010; Zielke *et al.*, 2017). 베타글루칸은 포도당 분자들이 베타결합을 통해 삼중의 나선형을 형성하는 고분자의 다당체이다 (Okobira *et al.*, 2008). 베타-(1,3)-글루칸이 기본골격이며 베타-(1,6)-글리코실의 분지를 가지는 데, 분자량은 250,000에 달한다 (Qing *et al.*, 2010).

베타글루칸에 관한 연구는 인간의 건강증진에 미치는 효능이 주를 이루며, 생명체에 있어 에너지 공급원 및 생리활성적 차원의 기능성에 관한 연구는 많지 않다. 개미는 집단 생활을 영위하며 에너지와 정보를 효율적으로 공유하는 대표적인 생물군체이다 (Pinto-Tomas *et al.*, 2009). 버섯을 먹이로 사용하는 개미류에는 중남미 열대 지역에 서식하는 잎꾼개미 (또는 가위개미, leafcutter ants)가 있다 (Anderson and McShea, 2001). 이들은 나뭇잎을 잘게 씹어 입에 있는 침과 섞어 배지를 만든 후 버섯종균을 주입한 다음 생산된 버섯을 먹이로 사용한다. 잎꾼개미는 베타글루칸이 주성분인 자실체와 균사체를 동시에 먹이로 사용하는 것으로 보아, 이를 분해하는 효소 및 대사 시스템을 진화적으로 발달시킨 것으로 보인다 (Grell *et al.*, 2013). 잎꾼개미 외에 베타글루칸을 주요 먹이원으로 사용하는 개미종은 알려진 바 없으나, 다른 개미의 품종에서 이를 먹이 또는 병원균에 저항하는 면역물질로 활용할 수 있는 잠재성은 충분하다.

본 연구는 장수상황버섯에서 유래하는 베타글루칸 성분이 개미의 진정사회성(eusociality)에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 베타글루칸이 생명 및 집단생활에 미치는 영향을 진정사회성 강화 지수 (Eusocial Strength Index, ESI)를 이용하여 장수상황버섯에서 유래한 베타글루칸 추출물을 기능성 관점에서 평가하고자 한다. 본 연구에 사용된 ESI 는 개미서식지 형성 지수, 협동 방어 지수, 및 개체군 규모 및 밀도를 사용할 것이다. 이들 지표를 바탕으로 종합활성지표를 산출하여 장수상황버섯에서 추출한 베타글루칸이 개미의 진정사회성에 미치는 효과를 다면적으로 이해하고자 한다.

재료 및 방법

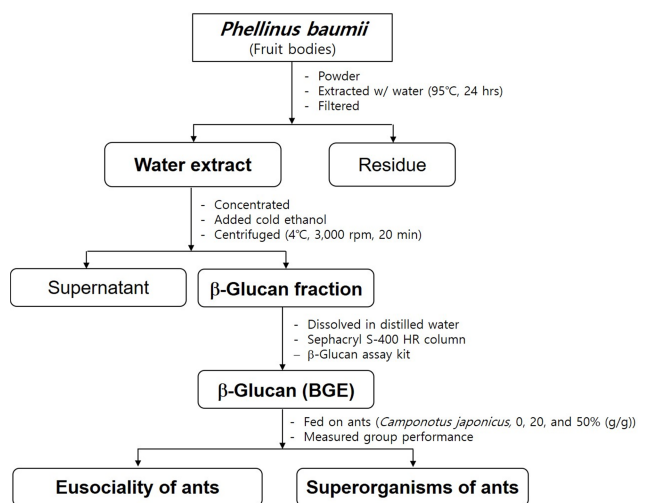
장수상황버섯 자실체의 열수 추출

장수상황버섯의 자실체를 건조한 후, 분쇄하여 열수 조

건에서 베타글루칸을 추출하였다 (Kim and Lee, 2012). 건조된 자실체의 분쇄물 100 g을 정제수 200 ml에 넣어 현탁액을 만든 후 섭씨 95도에서 24시간 동안 추출한 후 filter로 여과하였다. 추출된 여과액을 에탄올로 침전시킨 후 건조하여 초벌 베타글루칸을 얻었다. 초벌 베타글루칸 500 mg을 증류수에 용해하여 Sephacryl S-400 HR column (Sigma-Aldrich)을 증류수를 통과시켜 베타글루칸을 정제하였다. 정제된 베타글루칸의 함량은 Mushroom and Yeast Assay Kit (Megazyme, Bray, Wicklow, Ireland)를 사용하여 측정하였다 (Scheme 1). 본 측정은 효소분해법을 이용하는 것으로 총글루칸의 정량 값에서 알파글루칸의 함량을 차감하여 총베타글루칸을 산출하는 방식을 사용하였다. 베타글루칸이 함유된 열수 추출물은 자연 증발로 건조시킨 후 분말 상태로 포집하여 실험에 사용하였다.

개미의 배양 및 베타글루칸 추출물의 처리 조건

일본왕개미 (*Camponotus japonicas*)를 Biobiba Ants (대구, 한국)에서 구입하여 실험에 이용하였다. 고압증기로 멸균한 토양을 개미집단의 서식지 토양으로 사용하였다. 투명한 페트 재질의 병 (2000 ml)을 가위로 횡단하여 자른 후 작은 페트병 (500 ml)을 넣은 후, 두 페트병 사이의 공간을 멸균된 토양을 채웠다. 황으로 자른 큰 페트병을 투명한 테이프로 다시 집착하여 복원한 후, 멸균 토양을 큰 용기의 3/4의 높이까지 채웠다. 환기를 위해 바깥 병에 직경 2 mm미만의 기공을 주사기 바늘로 만들었다. 수분의 공급은 기공을 통해 10 ml 주사기로 주 2 회 실시하였다. 본격적인 개미의 배양에 앞서 일주일 동안 먹이



Scheme 1. Procedures for the preparation of beta glucan extract (BGE) and measuring group performances of eusociality as superorganisms of Japanese carpenter ants (*Camponotus japonicus*). BGE was fed at the concentrations of 0, 20 and 50% (g/g) in diet.

의 공급을 중단하였다. 이후, 설탕 또는 설탕/베타글루칸을 약자 사발에서 곱게 분쇄한 후 혼합물을 1 주에 1 회 규칙적으로 공급하였다. 베타글루칸 추출물 (Beta Glucan Extract, BGE)은 대조군, 저성분, 및 고성분의 세 가지 농도로 준비하였는데, 중량 비율 (g/g)로 각각 0, 20, 50 % 이다. 완성된 배양 단위 구조는 알루미늄 호일로 감싼 후, 섭씨 15°C의 항온 배양기에 방치하였다.

새로 형성된 개미집의 관찰

개미의 배양은 서식 단위별로 한 마리의 여왕개미와 20 마리의 일개미를 이식하여 개시하였다. 배양은 30 일 동안 설탕 또는 설탕/BGE 의 혼합물을 공급하여 실시하였다. 새로 형성된 개미집 수는 3 일에 한번씩 기록하였고 새로 형성된 집은 각기 다른 색의 유성 펜으로 표시하였다. 새로이 관측된 개미집의 수는 3 일에 한번씩 총 개미집의 수에 합산하였다.

개체군 규모 비교

개미 배양구조를 만든 후 30일이 경과한 시점에서 개체군의 총 개미 수를 관측하였다. 최종적인 개미의 수를 세기 위해서 배양 페트병을 접합한 투명 테이프를 제거한 다음 흠을 트레이에 부은 후 조심스럽게 제거하여 개미와 알의 수를 집계하였다.

협력 방위 노력 지수 (CDI)의 산출

위의 두 실험과는 다른 별도의 실험을 통하여 집단 방어 지수를 산출하였다. 세 가지 농도의 BGE를 공급하여 배양중인 개체군에 외부의 여왕개미를 투입한 후, 집단적 방어시스템 완료까지 소요된 시간에 의거하여 협동적 방위 노력의 수준을 평가했다. 외부의 여왕개미를 투입한 후, 적어도 세 마리의 개미에 의해 외부의 여왕개미가 완전히 제압되는 방어 체계에 걸리는 시간과 참여 개미의 숫자를 관측하였다. CDI는방어시스템의 완성에 소요되는 시간을 측정하여 이를 시간 단위로 환산한 후 역수를 구하여 산출하였다.

복합 강도 지수

개미집의 수, 개체군 규모, 및 협동방어지수의 데이터를 결합하여 삼각의 복합 도표를 그려 BGE가 개미의 진정사회성에 미치는 효과를 종합적으로 분석하였다. 대조군에서의 데이터를 100으로하여 나머지 데이터를 표준화 한 후, 삼각도표에 대입 한 후 그래프로 나타내었다.

결 과

장수상황버섯 자실체를 열수 추출하여 에탄올로 침전시킨 후에 Sephacryl S-400 HR column을 통과시켜 정제한 후에 Mushroom & Yeast Assay Kit를 사용하여 베타글

Table 1. Quantification of β -glucan of BGE purified from the carpophores of *Phellinus baumii* by using β -glucan assay kit.

Sample	Total Glucan	α -Glucan	β -Glucan (% w/w)*
BGE	429.3±7.1	345.5±14.7	83.8±18.9

*Analysis of glucans was performed in 96-well plates (Black plate clear bottom, Costar, USA) by using Mushroom and Yeast Beta-Glucan Assay Kit (Megazyme, Ireland), which employs enzymatic analysis by using exo-1,3- β -glucanase, β -glucosidase, amyloglucosidase, invertase, glucose oxidase, and peroxidase. Calculation formulas are as follows:

β -Glucan (% w/w) = Total glucan - α -Glucan; Total glucan (% w/w) = $\Delta E \times F/W \times 90$ and α -Glucan (% w/w) = $\Delta E \times F/W \times 9.27$ (final volume 10.3 ml). Where, ΔE = reaction absorbance - blank absorbance; F = a factor to convert absorbance to μ g of D-glucose; W = weight of sample analyzed.

루칸을 정량한 결과 함량은 83.8±18.9%이었다 (Table 1). 해당 추출물을 이용하여 BGE가 집단 활동에 미치는 영향을 연구하기 위해 세 가지 범주의 사회적 강도 지수를 측정 비교하였다. 이에 사용된 지수는 개미집의 형성지수, 협동 방어 지수, 개체군의 규모 (개미와 알의 수)이다.

개미집 형성 지수

개미 배양 단위를 개설한 이후 하루가 경과한 시점부터 개미집이 형성되기 시작하였다. 형성된 개미집의 수를 BGE 의 세 가지 농도 별로 구분하여 각각 관찰하였다. Fig. 1은 개미 배양 단위가 개설된 후 최대 30 일 동안 형성된 개미집의 수를 나타낸다. BGE 의 첨가량에 따라 형성된 개미집의 수가 대조군 (BGE-free)과 비교하여 증가함을 알 수 있다. BGE 의 첨가량이 30 또는 50% 이상일 때, 형성된 총 개미집의 수는 설탕만을 먹이로 공급한 개미 집단에 비해 적어도 40% 이상의 증가를 나타내고 있다. 이는 BGE 가 함유된 먹이를 공급한 경우 형성된 개미집의 수는 농도 의존적으로 증가함을 알 수 있다. 개미 집이란 구성원의 적극적인 협동과 기여를 기반으로 하여 형성된다는 사실을 감안할 때, 증가한 개미집의 수는 해당 개미집단의 협력의 증가를 의미하고 구성원의 협력 및 진정사회성 증가의 척도가 될 수 있다. 이러한 사실을 고려하면, BGE 의 첨가는 개미의 집단 또는 개체의 차원에서 진정사회성 강화에 긍정적인 영향을 주는 것으로 볼 수 있다.

개체군의 규모

배양 시작 30 일 경과한 실험 종료시점에 개체군의 구성 (개미 또는 알)과 규모를 세 가지 BGE 농도별로 각각 비교하였으며 알과 개미를 구분하여 개체 수를 관측하였다. 알 또는 개미의 두 가지 영역에서 각각의 개체수는 BGE의 농도별로 상당한 차이가 있음을 알 수 있다 (Fig. 2). 대조군은 가장 적은 숫자의 개미와 알을 나타냈다. 반

면 저 (30%) 또는 고농도 (50%)의 BGE 의 농도에서 해당 개미의 집단은 대조군과 비교하여 일관되게 알과 개미의 개체수 증가를 보이고 있다. 특히 BGE 의 함량이

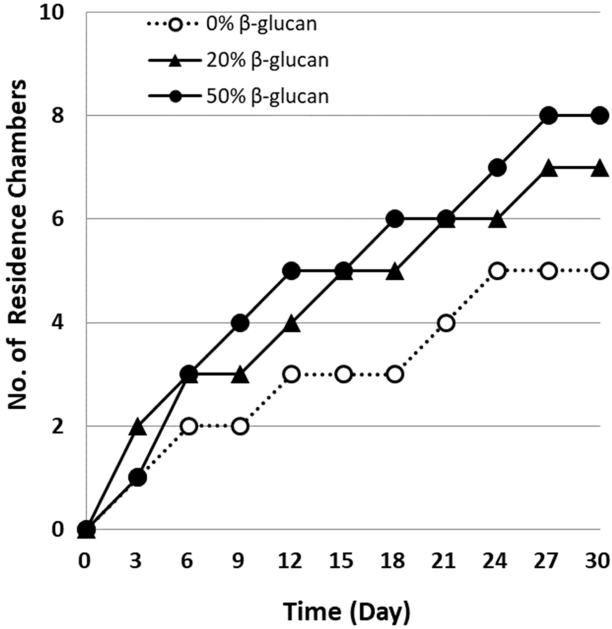


Fig. 1. Number of residence chambers. Ants were grown three days on the three different BGE diets: control, low and high [0, 20, and 50% (g/g)], respectively. The creation of residence chambers was observed. The graph shows the number of residence chamber which was monitored every 3 days until 30 days since the introduction of ants. The figures refer to the number of residence chambers on the day of counting. The x-axis refers to days after introduction. Error bars are omitted for the clear presentation of data (N=3).

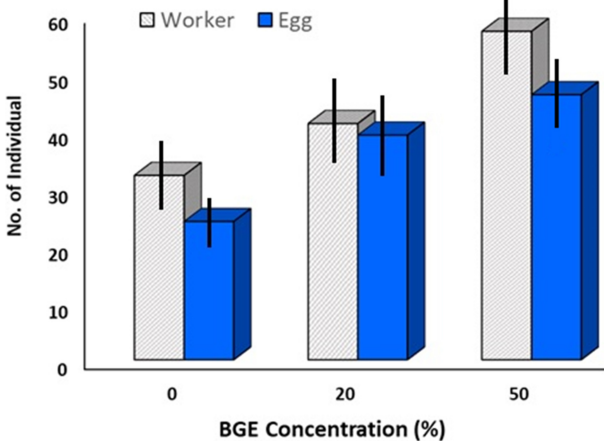


Fig. 2. Population size and composition. Ant farms were maintained for 30 days by feeding BGE-free or BGE-supplemented diet. At the termination of the experiment, the ant group was evaluated in terms of the total number and colony composition. Error bars represent the standard deviation (N=3).

50%일 때, 개미의 수는 대조군에 비하여 약 62%의 증가율을 나타내고 있다. 아울러 해당 농도에서는 개미와 알과 사이에 수적 차이가 두드러짐을 알 수 있다. 이는 BGE 가 알에서 부화된 개미 집단의 형성, 유지 및 확장에 매우 긍정적인 효과를 줄 수 있음을 나타내고 있다.

협동 방어 지수 (CDI)

외부 여왕 개미를 입식한 후 개미집단의 협동 방어 반응을 관찰하였다. 집단의 방어 반응은 여왕개미 이식 후 5 분 경과 후부터 시작되었다. 협동수비지수(CDI)는 방어 형태 완성에 소요된 시간의 역수로 계산하여 구하였다. BGE가 포함되지 않은 먹이를 공급 받은 대조군과 BGE 를 함유하는 먹이를 공급받은 집단에는 많은 차이가 있었다. 침입자로 인식되는 여왕개미를 제압함에 있어 적어도 세 마리 이상의 개미가 참여하는 데 소요되는 시간에 분명한 차이를 보였다. BGE섭취 그룹은 더 빠른 반응을 보였고 높은 CDI를 나타냈다 (Fig. 3). 아울러, 방어형태에 참여하는 개미의 숫자도 증가함을 나타냈다. BGE섭취군은 외부 여왕 개미에 대해 상대적으로 높은 협동적 수준을 보여준 것으로 판단된다. 즉각적이며 성공적인 방어노력이 공동체를 유지하는 데 중요하다는 것을 고려해 볼 때, BGE는 개미집단의 보전에 중요한 협동적 방어에 매우 긍정적인 영향을 줄 수 있는 것으로 판단된다.

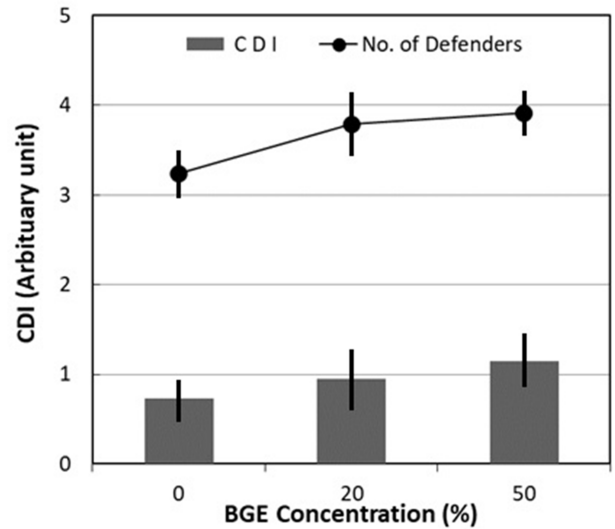


Fig. 3. Cooperative defense (CD) efforts. Defensive response was evident a few minutes after introduction of a foreign queen. The level of cooperative defense effort was quantitated as the cooperative defense index (CDI) according to the extent of readiness against the introduced foreign queen ant. $CDI = 1/[F]$ (F: duration taken for completion of the defense form against a foreign queen). Bars represents CDI while the line, number of participants in the CD at the three BGE concentrations. Error bars represent the standard deviation (N=4).

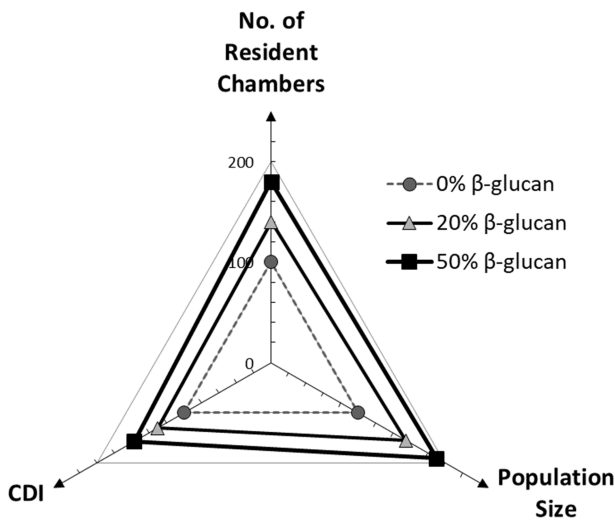


Fig. 4. Combinational analysis of the eusocial indexes. Three indexes in this study were standardized and combined to evaluate a specific effect of BGE on the eusociality. #RC: # of resident chambers; #P: population size consisting of workers and eggs; CDI: cooperative defense index.

진정사회성의 조합 패턴

BGE가 진정사회적 특성의 세 가지 영역에 미치는 효과를 입체적으로 분석하기 위해 세 가지의 지수를 조합하여 삼각 도표를 작성하였다 (Fig. 4). 대조군에 해당되는 데이터를 100으로 놓고 BGE의 농도별 효과를 각각 계산하여 표준화된 상대 값을 표시하였다. 결과적으로 가장 많은 영향을 준 영역은 개체군의 규모 즉 개미와 알의 수였다 이는 세 가지의 영역 중에서 BGE가 가장 긍정적인 효과를 준 분야는 개체군 규모의 유지 및 확장에 관한 것이라고 생각해 볼 수 있다.

고 찰

본 연구를 통해 BGE는 협동 사회의 구성원으로서 개미의 기능적 역할에 매우 긍정적인 효과를 줄 수 있음이 입증되었다. BGE는 개미가 협력적인 방어를 시작하고 정착하는 데 필요한 시간을 단축하는데 일조하였고, 개체군의 번식력과 유지, 그리고 개미집의 형성에 매우 높은 기여를 한 것으로 판단된다. 섭취량에 따라 BGE는 개미의 진정사회적 기능 수행에 긍정적인 효과를 주는 것으로 나타났다.

인간에 있어 BGE는 콜레스테롤 수치를 적정화하고 면역 및 심폐기능을 증진시키는 수용성 식이섬유로 알려져 있다 (Sainkhuu *et al*, 2012). 그러나 인간을 포함한 동물계에 있어 이들이 에너지 원으로 사용된다는 보고는 없다. 이를 분해하여 에너지원으로 활용할 수 있는 시스템이 발달되지 않았기 때문이다. 그러나, 개미목에서는 BGE가 에너지원으로 사용될 수 있다. 대표적인 예가 북미와 남미 대륙에 서식하는 잎꾼개미 (leafcutter ants)가 그것이

다. 잎꾼개미는 버섯이나 곰팡이를 작물처럼 재배한다. 이는 버섯류의 주성분인 BGE를 분해하여 쉽게 식량을 조달할 수 있다는 의미로, 잎꾼개미는 수많은 개미 종류 가운데서도 가장 크고 복잡한 군집을 형성할 수 있었다 (Norman and Hughes, 2016). 개미와 진균류는 서로에게 영향을 미치면서 진화하는 소위 공진화적 관계를 보인다. 하나의 종이 진화하게 되면 상호작용하는 다른 종에게도 영향을 주어 함께 진화하는 관계이다. 공진화가 조화를 이루게 되면 두 가지 종은 공생을 이루게 된다는 것이 생물학자들의 공통적인 견해다. 개미에 있어 공진화 관계에 있는 진균류의 주성분인 BGE의 생리활성 및 영양소로서의 잠재적인 연결 고리는 존재할 수 있다는 것을 본 연구를 통해 추론해 볼 수 있다.

진정사회성은 진화 단계에 있어 최근에 나타난 형태로 고도의 복잡성을 나타낸다. 진화 과정에 있어 진정사회성은 300만 년 전에 곤충과 육식 동물에 의한 사회적 행동을 반복적으로 수행한 후 정착되었다 (Wilson and Holldobler, 2005). 생물학적 조직과 자연 선택의 세력 사이의 상호 작용의 결과 집단의 구성원은 강제적으로 협조해야 하는 독특한 환경에 처하게 된 것이다 (Hunt, 2012; Nowak *et al*, 2010). 이에 진정사회성은 생물 조직 및 자연 선택 간의 지속적인 상호 작용 개인 간의 의무적 협업을 요구하는 독특한 시스템을 수반한다. 개미 집단의 거의 모든 구성원은 개별적인 영득과 무관하게 지속적으로 노동을 제공해야 한다 (Linksvayer and Wade, 2005). 이러한 상황에서 BGE는 진정사회적 성향을 가진 개체군의 구성원으로 하여금 개체와 집단간의 갈등 해소와 면역기능 조절에 공헌할 수 있는 가능성은 충분하다.

진정사회성의 유지는 집단적 차원의 생존을 위해서는 매우 효율적인 시스템이다. 개인의 fitness를 포기해야 하는 대부분의 구성원에게는 갈등요소로 작용할 수 있다. 때로는 구성원들이 생명도 공동체의 주요 목표를 위해 희생해야 한다 (Ratnieks and Helantero, 2009). 이러한 상황에서 BGE는 사회적 집단의 구성원으로서 경험하는 갈등 수준을 극복하여 진정사회성을 강화시킬 수 있는 가능성을 보여 주고 있다.

본 연구를 통해 얻어진 데이터는 개미가 집단 생활에서 수행능력을 제고하는 기능적 요소로 BGE가 공헌할 수 있음을 암시한다. 개미는 BGE라는 식이 첨가제에 매우 긍정적으로 반응하여 더 많은 개미집을 건설하였고, 협력적 방어력에 있어 집중력을 크게 향상시켰고 개체군의 규모는 농도 의존적인 방식으로 유의성 있게 증가했다. 이러한 결과는 BGE가 진정사회성을 유지하는 데 있어 매우 중요한 역할을 할 수 있음을 강력히 시사한다. 이 보고는 BGE의 개미의 기능성에 관한 매우 새로운 보고이다. BGE는 다른 고등동물뿐만 아니라 곤충에서의 집단생활을 유지하는 매우 중요한 생체 분자 중 하나로서의 잠재성은 매우 크다 할 것이다.

적 요

장수상황버섯 (*Phellinus baumi*) 자실체에서 추출한 베타글루칸을 이용하여 개미의 진정사회성에 미치는 영향을 이해하기 위한 연구를 수행하였다. 일본 왕개미 (*Camponotus japonicus*)를 베타글루칸의 추출물 (BGE)이 포함된 먹이를 공급한 후 진정사회성에 관한 실험을 실시하였다. 멸균된 토양을 PET 병에 넣은 후 세 가지 농도의 BGE 먹이를 이용하여 배양을 실시하였다. 설탕분말에 BGE를 증량비율로 각각 0, 20, 50% (g/g)를 혼합하여 대조군, 저, 고의 세 가지 농도로 BGE 먹이를 만들었다. 진정사회성에 미치는 영향을 연구하기 위해 세 가지의 진정사회성 지표를 이용하여 실험을 수행하였다. 개미집의 수, 협동 방어 노력 지수 (CDI), 개체군의 규모를 지표로 사용하였다. 고농도의 BGE를 공급한 집단에서 대조군보다 개미집의 형성도가 유의적으로 높았다. 외부 여왕 개미에 대한 반응을 나타내는 CDI에서도 차이를 보였는데, 고농도의 BGE 그룹은 다른 그룹보다 방어 체계를 완성하는 데 상대적으로 적은 시간이 걸렸고 참여하는 개미의 수도 유의적으로 많았다. 개미와 알의 수로 관측한 개체군의 규모에 있어 대조군과 BGE 그룹 간에 명백한 차이가 있었다. BGE가 공급된 그룹은 여왕을 제외하고 개미와 알의 수가 가장 많았다. 이 결과를 종합하면, 개미의 먹이에 BGE를 첨가할 때, 개미는 높은 진정 사회성 강화 지수를 보이며 이 결과는 BGE가 개미의 진정사회적 기능수행에 매우 긍정적인 영향을 준다는 것을 나타낸다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 서울시립대학교 연구년교수 연구비에 의하여 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Anderson C, McShea DW. 2001. Individual versus social complexity, with particular reference to ant colonies. *Biol Rev Camb Philos Soc.* 76(2):211-237.
- Chang ZQ, Oh BC, Lee SP, Rhee MH, Park SC. 2008. Comparative immunomodulating activities of polysaccharides isolated from *Phellinus* spp. on cell-mediated immunity. *Phytother Res.* 22: 1369-1399.
- Chen H, Tian T, Miao H, Zhao YY. 2016. Traditional uses, fermentation, phytochemistry and pharmacology of *Phellinus linteus*: A review. *Fitoterapia.* 113:6-26.
- Dai YC, Zhou LW, Cui BK, Chen YQ, Decock C. 2010. Current advances in *Phellinus* sensu lato: medicinal species, functions, metabolites and mechanisms. *Appl Microbiol Biotechnol.* 87(5):1587-93.
- Grell MN, Linde T, Nygaard S, Nielsen KL, Boomsma JJ, Lange L. 2013. The fungal symbiont of *Acromyrmex* leaf-cutting ants expresses the full spectrum of genes to degrade cellulose and other plant cell wall polysaccharides. *BMC Genomics.* 14: 928.
- Hunt JH. 2012. A conceptual model for the origin of worker behaviour and adaptation of eusociality. *J Evol Biol.* 25:1-19.
- Jeoung YJ, Choi SY, An CS, Jeon YH, Park DK, Lim BO. 2009. Comparative effect on anti-inflammatory activity of the *Phellinus linteus* and *Phellinus linteus* grown in germinated brown rice extracts in murine macrophage RAW 264.7 cells. *Kor J Medicinal Crop Sci.* 17:97-101.
- Kim HM, Lee DH. 2012. Effect of beta-glucans extracted from *Phellinus baumii* on the growth of *Caenorhabditis elegans*. *Kor J of Mycol.* 40: 54-59. 2012.
- Lee DH, Kim HW. 2012. Innate immunity induced by fungal β -glucans via dectin-1 signaling pathway. *Int J Med Mushrooms.* 16(1):1-16.
- Linksvayer T, Wade MJ. 2005. The evolutionary origin and elaboration of sociality in the aculeate Hymenoptera: maternal effects, sib-social effects, and heterochrony. *Q Rev Biol.* 80:317-336.
- Norman VC, Hughes WHO. 2016. Behavioural effects of juvenile hormone and their influence on division of labour in leaf-cutting ant societies. *J Exp Biol.* 219:8-11.
- Nowak MA, Tarnita CE, Wilson EO. 2010. The evolution of eusociality. *Nature* 466:1057-62.
- Okobira T, Miyoshi K, Uezu K, Sakurai K, Shinkai S. 2008. Molecular dynamics studies of side chain effect on the beta-1,3-D-glucan triple helix in aqueous solution. *Biomacromol* 9:783-8.
- Pinto-Tomás AA, Anderson MA, Suen G, Stevenson DM, Chu FS, Cleland WW, Weimer PJ, Currie CR. 2009. Symbiotic nitrogen fixation in the fungus gardens of leaf-cutter ants. *Science* 326:1120-3.
- Qing GE, Zhang AQ, Sun PL. 2010. Isolation, purification and structural characterization of a novel water soluble glucan from the fruiting bodies of *Phellinus baumii*. *J Food Biochem.* 34(6): 1205-1215.
- Ratnieks FLW, Helanterä H. 2009. The evolution of extreme altruism and inequality in insect societies. *Phil Trans Royal Soc Biol Sci* 364:3169-3179.
- Sainkhuu B, Lee DH, Kim HW. 2012. Immunomodulation of fungal beta glucan in host defense signaling by dectin-1. *Biomol Therapeutics.* 20:433-445.
- Sainkhuu B, Park BS, Kim HW. 2016. Induction of flavin-containing monooxygenase in mice by oral administration of *Phellinus baumii* (Agaricomycetes) extract. *Int J Med Mushrooms* 18:793-806.
- Sung SK, Batbayar S, Lee DH, Kim HW. 2017. Activation of NADPH oxidase by β -glucan from *Phellinus baumii* (Agaricomycetes) in RAW 264.7 cells. *Int J Med Mushrooms* 19:957-965.
- Volman JJ, Helsper JP, Wei S, Baars JJ, van Griensven, LJ, Sonnenberg AS, Mensink RP, Plat J. 2010. Effects of mushroom-derived β -glucan-rich polysaccharide extracts on nitric oxide production by bone marrow-derived macrophages and nuclear factor- κ B transactivation in Caco-2 reporter cells: Can effects be explained by structure? *Mol Nutr Food Res* 54:268-76.

- Wilson EO, Holldobler B. 2005. Eusociality: origin and consequences. *PNAS USA*. 102:13367-71.
- Wilson EO, Nowak MA. 2014. Natural selection drives the evolution of ant life cycles. *Proc Natl Acad Sci U S A* 111:12585-12590.
- Wu, SH, Dai YC, Hattori T, Yu TW, Wang DM, Parmasto E, Chang HY, Shih SY. 2012. Species clarification for the medicinally valuable ‘sanghuang’ mushroom. *Bot Stud* 53: 135-149.
- Yoon SK, Sung SK, Lee DH, Kim HW. 2017. Tissue inhibitor of metalloproteinase-1 (TIMP-1) and IL-23 induced by polysaccharide of the black hoof medicinal mushroom, *Phellinus linteus* (Agaricomycetes). *Int J Med Mushrooms* 19:213-223.
- Zielke C, Kosik O, Ainalem ML, Lovegrove A, Stradner A, Nilsson L. 2017. Characterization of cereal beta-glucan extracts from oat and barley and quantification of proteinaceous matter. *PLoS ONE* 12: e0172034.