

영지 열수추출물이 *Rhodotorula glutinis*의 지방산 생성에 미치는 영향

주현규 · 박우철 · 사동민* · 이영택* · 윤충효**
건국대학교 농화학과, *선문대학교 식량자원학부
**농업과학기술원 세포유전과

Effects of *Ganoderma lucidum* Extract on Production of Fatty Acids by *Rhodotorula glutinis*

Hyun-Kyu Joo, Woo-Chul Park, Tong-Min Sa*, Young-Tack Lee* and Choong-Hyo Yun**

Department of Agricultural Chemistry, Kon Kuk University

*Division of Food Resources, Sun Moon University

**Genetics Division, National Agricultural Science and Technology Institute, RDA

Abstract

Rhodotorula glutinis was inoculated in the medium containing 0 (S₀), 0.01 (S₁), 0.1 (S₂) and 1.0% (S₃) *Ganoderma lucidum* extract and incubated in a shaking incubator at 30°C for 8 days and the cell growth, sugarity, lipid content, and fatty acid composition were measured to investigate the effects of *G. lucidum* extract on the growth and biosynthesis of fatty acids by oleaginous yeast, *Rhodotorula glutinis*. After the 8 day incubation, the cell growth of S₁, S₂ and S₃ increased 1.6, 1.7 and 2.1 times, respectively, than that of S₀. Sugar consumption of incubating medium was decreased but the crude lipid content in *R. glutinis* was increased with increase of the amount of *G. Lucidum* extract. Myristic, palmitic, stearic, oleic and linoleic acids were identified by GC as the major fatty acids in the crude lipid produced by *R. glutinis* and the content of unsaturated fatty acids (38.6 mg/g) was greater than that of saturated fatty acids (22.3 mg/g). As the *G. lucidum* extract concentration increased, fatty acids contents were increased except myristic acid, and the most increase occurred at the addition of 0.1% while they were considerably decreased in the case of the addition of 1.0% *G. lucidum* extract.

Key words: *Ganoderma lucidum*, fatty acid, *Rhodotorula glutinis*

서 론

불노초, 만년버섯, 단초 등으로 불리는 영지 (*Ganoderma lucidum* (Fr.) Karsten)는 민주름버섯목 (*Aphyllophorales*), 구멍장이버섯과 (*Polyporaceae*), 불노초속 (*Ganoderma*)에 속하는 담자균으로서 그 자실체를 이용한다⁽¹⁾. 중국 최고의 약물서인 도홍경의 「신농본초경」과 이시진의 「본초강목」에서 영지는 상약으로 청지, 적지, 자지, 흑지, 백지, 황지의 6종⁽²⁾이 기재되었고, 옛부터 신약으로서 만병에 사용되어 온 생약이다. 영지에 대한 연구는 1970년대에 인공재배가 성공되면서 시작되어, Sone 등⁽³⁾은 영지의 자실체와 배양 균사에서 항암성 다당류를 분리하여 항암분획이

(1→3)-β-D-glucan임을 보고하였으며, 강 등⁽⁴⁾은 액내 진탕배양한 균사도 동일한 항암효과가 있으며 그 작용은 암세포에 대한 숙주의 면역능력증가라고 하였고, 이 등⁽⁵⁾은 종양세포를 이식한 쥐의 생명연장과 지연성 과민반응에 대해서 보고하였다.

한편, 김 등⁽⁶⁾은 자실체의 형성 초기에 RNA를 추출하여 GMP와 XMP의 존재를 확인하였으며, 신 등⁽⁷⁾은 한국산 영지의 게르마늄(Ge)과 일반무기성분을 정량하였다. 또한 박 등⁽⁸⁾은 균사체를 이용하여 원형질체형성과 재생에 대해서 보고하였으며, 도 등⁽⁹⁾은 균사체 배양에서 균체의 amylase를 정제하여 각종 성질을 규명하였고, 박 등⁽¹⁰⁾은 전기영동법을 이용하여 영지버섯의 16개 균주간 특성 중 단백질과 동위효소 pattern을 비교, 분류하였다. Kubota 등⁽¹¹⁾은 영지의 약리성분으로 ganoderic acid A 및 B를 분리했고, Komoda 등⁽¹²⁾은 영지 자실체를 ethanol로 추출하여 ganoderic acid A,

Corresponding author: Hyun-Kyu Joo, Department of Agricultural Chemistry, Kon-Kook University 93-1 Mojin-dong, Kwangjin-gu, Seoul 133-701, Korea

B, C, D, E, F 및 lucidenic acid D를 분리하여 그 구조를 보고하였다.

미생물을 이용한 지질생성은 *Endomyces venalis*를 이용한 이후⁽¹³⁾, 각종 균체지질생성 미생물들이 분리되었는데 이들은 균종, 배양기질의 조성, 배양조건 등에 따라서 유지생산량 및 조성은 큰 차이가 난다고 하였다^(14,15). *Rhodotorula*속의 지질생성과 지방산 조성에 영향을 미치는 요인에 관한 연구로는 박⁽¹³⁾이 pH, 온도, 당 농도에 따른 지방생성량의 변화를 보고하였고, 질소원에 따른 변화는 Evans 등⁽¹⁶⁾이 보고하였다. 김 등⁽¹⁷⁾은 C/N비가 지질생성에 미치는 영향과 그 조성을 분석하였고, 산소 농도에 따른 변화는 최 등⁽¹⁸⁾이 보고하였으며, Pan 등⁽¹⁹⁾은 균체지질축적의 kinetics와 energetics분석에 대해서 연구하였다.

이와 같이 배양기질의 조성에 따라서 균체지방생성 및 지방산의 조성은 차이가 있으므로 영지 열수추출물의 첨가에도 많은 변화가 기대되나 영지가 미생물의 지질생성 및 지방산 조성에 미치는 영향에 관한 보고는 거의 없다. 이에 본 연구에서는 영지 열수추출물이 균체지방 생합성 및 지방산 조성에 미치는 영향을 구명하고자 균체내에 유지함량이 비교적 많고 독성이 없는 *R. glutinis*를 영지 열수추출물의 첨가량을 달리 한 배지에서 배양한 후 그 생리적 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

재료

공시균주는 한국과학기술원에서 분양받은 *Rhodotorula glutinis* (Fresenius) Harrison K.C.T.C. 1736을 YM-배지에서 3차 계대배양한 것을 사용하여 YM-배지에서 배양하였다. 영지는 강원도 원주에서 수확한 것으로, 상법에 따라 분석한 일반성분은 Table 1과 같다.

영지추출물의 조제

영지 100 g을 분쇄기를 사용하여 10 mesh의 크기로 분쇄한 후 500 mL 증류수를 가하여 80°C 수욕상에서

Table 1. Proximate composition of *G. lucidum*

Component	Content (%)
Moisture	14.27±0.05
Ash	1.48±0.01
Crude protein	9.16±0.25
Crude lipid	1.38±0.30
Crude fiber	55.34±0.40
Nitrogen free extract	18.37±0.22

환류 냉각시키면서 5시간씩 3회 반복 추출하고, 여지 (Toyo No. 2, Japan)로 흡입 여과하여, 그 여액을 수분함량이 5% 되도록 Rotary vacuum evaporator (65°C, 100 rpm)로 농축한 다음 감압건조기에서 30±1°C로 건조 조제하였으며 수율은 약 9%였다.

배지조제 및 배양

Glucose 40 g, malt extract (Difco.) 10 g, KH₂PO₄ 2 g, MgSO₄·7H₂O 0.2 g에 증류수를 넣어 1 L로 한 기본 배지의 조성에 영지추출물을 각각 0% (S₀), 0.01% (S₁), 0.1% (S₂) 및 1.0% (S₃)되게 첨가하여 처리구로 하고, pH 5.5±0.1로 조절한 후 250 mL용 삼각플라스크에 배지 50 mL씩을 넣고 가압멸균기에서 120°C, 15분간 살균 후 균주를 접종하여 30±0.5°C, 8일간 진탕배양(oscillation 120/min, stroke 5 cm)하였다.

pH 및 당 소비량 측정

각 시험구를 pH 5.5±0.1로 조절하여 멸균 후 진탕 배양하면서 24시간마다 배양액 25 mL씩을 취하여 여지(Toyo No. 2, Japan)로 여과한 후 상온에서 pH를 측정하였고, 당은 pH측정시 얻은 여액(20 mL)을 25% HCl로 분해시킨 후 Somogyi변법⁽²⁰⁾으로 측정하였으며, 당 소비율은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{당 소비율} = \frac{\text{발효 전의 당분} - \text{잔당분}}{\text{발효 전의 당분}} \times 100$$

*Rhodotorula glutinis*의 생장도 측정

*R. glutinis*의 생육도는 진탕배양하면서 24시간마다 각 처리구의 배양액 10 mL씩을 원심분리(3,000 rpm, 20 min)하여 상징액을 제거하고, 증류수로 3회, 세척한 후 증류수 60 mL로 현탁시켜 660 nm에서 측정된 흡광도로 나타내었다.

건조 균체량 측정

8일간 진탕배양한 각 처리구로부터 동량의 배양액을 원심분리(3,000 rpm, 20 min)하여 상징액을 제거하고 증류수 10 mL로 3회 세척한 후 여지(Toyo No. 5C, Japan)로 여과하여 감압건조기에서 80±1°C로 항량이 될 때까지 건조, 평량하여 건조 균체량을 측정하였다.

균체의 분리 및 정제

8일간 진탕배양한 배양액을 원심분리(3,000 rpm, 20 min)한 후 상징액을 제거 한 다음 증류수, 생리식염수로 각각 3회, petroleum ether로 2회 세척하여 감압건

조기에서 80±1℃로 향량이 될 때까지 건조시켜 칭량 하였다.

균체 조지방의 추출 및 정량

건조균체 1 g을 mortar에서 40 mesh로 마쇄한 후 Soxhlet장치를 이용하여 ether로 15시간 추출하였다. 1차 추출한 균체시료에 6 N HCl용액 50 mL를 가하고 가열(100℃, 2 hr)하여 가수분해시킨 다음, 여과·수세한 후 50℃에서 감압건조시켜 동일한 방법으로 2차 추출해서 조지방을 정량하였다.

균체 조지방의 정제

조지방 200 mg을 methanol용액 2 mL에 용해한 후 chloroform용액 4 mL를 넣고 5분간 혼합한 다음 증류

수 20 mL를 넣어 진탕정치후 chloroform층을 분리 하였다. 분리된 chloroform용액을 N₂ gas 통과하여 증발 농축시켜 정제한 후 지방산 분석시료로 사용하였다.

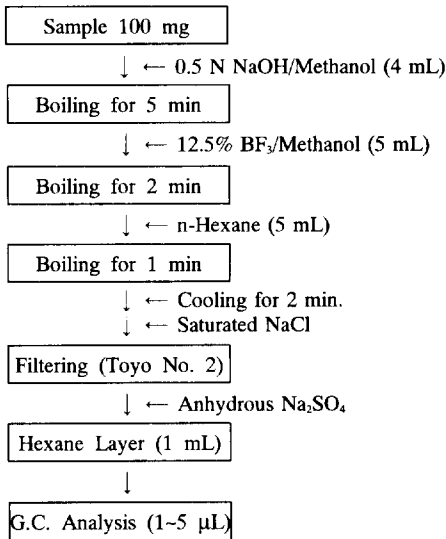
Gas chromatography에 의한 균체 지질의 지방산 분석

정제된 유지 100 mg을 Scheme 1과 같은 방법으로 전처리하였으며 분석조건은 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

기본배지에 영지추출물을 첨가한 각 시험구의 배양 과정에서 pH의 변화는 Fig. 1과 같다. 모든 시험구에서 pH는 배양이 진행됨에 따라 배양초기에 낮아지다가 배양 8일에는 pH 8.0이상으로 높아졌다. 대조구(S₀)와 0.01% (S₁)구는 배양 2일에서 각각 pH 4.42, pH 4.40으로 낮아졌다가 배양 3일에는 pH가 급격히 높아져서 배양 8일에서의 pH는 각각 8.96, 8.81이었다. 0.1% (S₂)구와 1.0% (S₃)구는 각각 배양 1일에서 pH 5.29, pH 5.49로 낮아졌다가 배양 2일부터 높아져 8일에서의 pH는 각각 8.99, 8.90이었으며, 배양 8일의 pH는 S₃>S₀>S₂>S₁구의 순위로 높았다. 배양이 진행됨에 따라 pH가 증가하는 경향을 나타내었다.

기본배지에 영지추출물을 첨가한 각 시험구의 배양 중 당의 변화는 Fig. 2와 같다. 모든 시험구의 당 소비율은 배양이 진행됨에 따라 완만한 증가를 보이다가 배양 3일까지는 당 소비율이 S₃>S₂>S₁>S₀구의 순으로 높았고 배양 3일부터 6일까지 급격한 당 소비율을 나타내다가 6일부터는 완만한 소비가 일어났다. 배양 8일의 당소비율은 S₀구가 82.2%, S₁, S₂ 및 S₃구가 각각



Scheme 1. Preparation procedure of methyl ester of fatty acids

Table 2. Operating conditions of gas chromatography for analysis of fatty acids

Instrument	Sigma 3B chromatograph
Detector	Flame Ionization Detector
Column	5% DEG Chromosorb W-H (100~120 mesh) Length: 6 feet Outside diameter: 1/4 inch
Carrier gas & Flow rate	N ₂ , 50 mL/min
Fuel gas & Flow rate	H ₂ , 60 psi Air, 1.2 mL/min
Column temp.	165℃
Injection temp.	210℃
Detector temp.	230℃

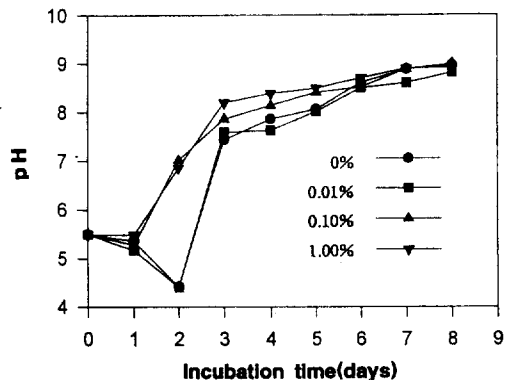


Fig. 1. pH changes of medium incubating *R. glutinis*. The medium contained 0~1.00% of *G. lucidum* extract.

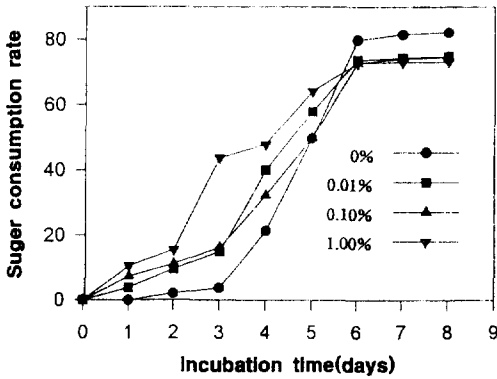


Fig. 2. Changes of sugar consumption rate of the medium containing *G. lucidum* extract (0~1.00%).

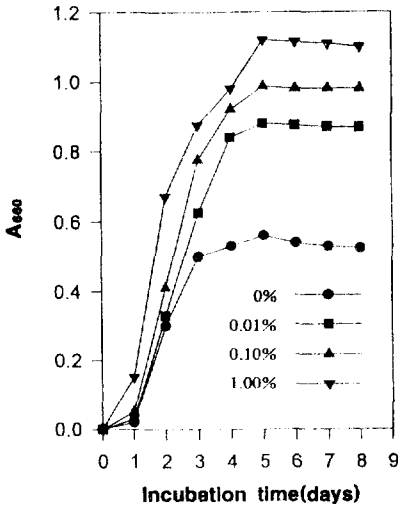


Fig. 3. Growth curve of *R. glutinis* in the medium containing 0~1.0% of *Ganoderma lucidum* extract.

74.8%, 74.6% 및 73.2%이었다.

이상의 결과로서 당은 효모생육에 있어서 가장 중요한 영양원 기질로서 이용되어지며, 균체지질 생합성은 질소원과 탄소원의 농도에 관계가 있어 질소원이 효모 증식에 거의 이용된 후부터 당을 이용하여 지질이 생성되었다는 박⁽¹³⁾의 보고에 따라 본 실험의 결과 균체 증식이 최고에 달하고 당 소비율이 일정해지기 시작하는 배양 6일에 최고의 지질축적을 이룬다고 생각되어진다. 배양 8일에는 영지 첨가량이 증가함에 따라 당 소비율은 S₀>S₁>S₂>S₃구의 순으로 나타났는데 당 소비율이 높은 S₀구보다 당 소비율이 제일 낮은 S₃구가 최고의 지질생성율을 보인 것은 영지의 열수추출물 중에서 지질의 생합성을 촉진시키는 물질이 있는 것으로 추측되었다.

Table 3. Dry weight of the yeast cells incubated in the medium containing 0~1.0% of *G. lucidum* extract

Conc. of <i>G. lucidum</i> extract (%)	Dry weight (mg/ml)	Production (%)
0	4.84	100
0.01	7.26	150
0.10	8.05	166.3
1.00	10.65	220.0

Table 4. Effects of *G. lucidum* extract addition on the crude lipid content (%) in *R. glutinis*

	0	0.01	0.10	1.00
1st extraction (15 hr)	35.9	36.2	37.5	39.8
2nd extraction (15 hr)	4.1	5.3	6.2	6.4
Total crude lipids	40.0	41.5	43.7	46.7
Fat ratio ¹⁾	0.67	0.71	0.78	0.88

$$^1) \text{Fat ratio} = \frac{\% \text{fat}}{100 - \% \text{fat}}$$

기본배지에 영지추출물을 달리 첨가한 *R. glutinis*의 배양과정 중 성장도는 Fig. 3과 같다. 각 시험구는 배양이 진행됨에 따라 대조구는 배양 1일부터 배양 3일까지 급격히 증가하다가 배양 5일까지는 완만한 증식을 하였고, S₁, S₂ 및 S₃구는 배양 1일부터 급격한 균체 증식을 하다가 배양 5일에서 최고의 증식을 나타냈다. 모든구가 배양 5일 이후에서 생장이 중지되었는데 이는 박⁽¹³⁾이 *Rhodotorula*속 균주의 건조 균체량에 의한 성장도와 유사하였다.

한편 각 시험구의 생육도는 영지 첨가량이 증가할수록 증가하는 경향이였으며, 배양 8일후의 생육은 S₁, S₂ 및 S₃구가 대조구에 비해 각각 1.6배, 1.8배 및 2.1배의 증식 효과를 보였다. 배양 8일후 각 시험구의 건조 균체량은 Table 3과 같다. S₁구의 균체량은 대조구에 비해 1.5배, S₂구는 1.7배, 특히 S₃구는 2.2배로 가장 높은 균체 증식 효과를 보였다.

각 처리구별로 8일간 배양한 *R. glutinis*의 균체 조지방 함량은 Table 4와 같다. 균체 조지방 함량은 대조구가 40.0%였으며, 영지 첨가량의 증가에 따라 S₁구가 41.5%, S₂구가 43.7%, S₃구가 46.7%로서, S₃>S₂>S₁>S₀구의 순위로 증가되어 S₃구는 대조구보다 1.2배의 증가를 보였다. 균체의 지방부분대 비지방부분의 비로서 fat ratio는 S₃구가 0.88로 가장 높았다. 주 등⁽²⁰⁾은 인삼 saponin을 기본배지에 첨가했을 때 *R. glutinis*의 균체지질 생합성은 첨가량이 증가할수록 촉진되나 0.1% 첨가구에서는 지질 생합성이 저하된다고 보고하였는데, 영지추출물에서는 1.0%까지는 지질 생합성에 저해작용을 일으키지 않는 것으로 사료되며 균체 조

Table 5. Effects of *G. lucidum* extract addition on the fatty acids composition (mg/g) of crude lipid in *R. glutinis*

Conc. of <i>G. lucidum</i> extract (%)	Myristic	Palmitic	Stearic	Oleic	Linoleic	Saturated fatty acid	Unsaturated fatty acid
0	1.5	8.9	11.9	33.3	5.3	22.3	38.6
0.01	0.9	16.1	39.8	88.3	20.0	56.8	108.3
0.10	11.7	34.9	126.5	196.4	39.0	173.1	235.4
1.00	35.8	15.4	33.7	57.6	11.9	84.9	69.5

지방 함량은 영지 첨가량의 증가에 따른 건조 균체량의 증가와 유사한 경향을 보였다.

균체 지방산의 methyl ester를 gas chromatography로 분석한 결과는 Table 5와 같다. S₀구의 지방산 함량은 oleic>stearic>palmitic>linoleic>myristic acid의 순으로 많았으며, 특히 주지방산중 불포화지방산인 oleic acid (33.3 mg/g)가 가장 많았고, 포화지방산인 myristic acid (1.3 mg/g)가 가장 적었으며, 불포화지방산의 함량이 전체 지방산의 약 63%로 포화지방산보다 많았다. 또한 필수지방산인 linoleic acid (5.3 mg/g)는 전체 지방산의 약 8.7%를 함유하고 있었다. *R. glutinis*의 지방산 조성에서 oleic>palmitic>linoleic>stearic>myristic acid의 순으로 많았다고 보고⁽¹⁾되었으나 이는 본 실험의 결과와 약간의 차이가 있었고, 주지방산인 oleic acid는 전체지방산의 약 50%라고 하였는데 본 실험의 결과는 약 54.7%로 유사한 결과를 나타내었으며, palmitoleic과 linolenic acid가 검출되었다고 하였으나 본 실험에서는 검출되지 않았는데 이는 균종과 배지조성의 차이에 따른 것으로 생각된다.

모든 처리구에서 불포화지방산인 oleic acid의 함량이 가장 높았으며, 영지 첨가량의 농도가 증가함에 따라서 oleic acid의 함량도 증가하였으나 1.0%구에서는 0.01%구보다 감소하는 경향을 보였다. S₂구의 지방산 함량은 대조구와 같이 oleic>stearic>palmitic>linoleic>myristic acid의 순이었으나, S₁구와 S₃구는 oleic>stearic>linoleic>palmitic>myristic acid의 순으로 나타났다.

한편 영지첨가물의 농도가 증가함에 따라서 myristic acid를 제외한 모든 지방산은 증가하여 0.1%에서 지방산 함량은 최고로 증가하였으나, 1.0%에서는 myristic acid가 대조구보다 24배 증가하였으나 그외의 지방산 함량은 급감하여 oleic acid는 0.01%구 (88.3 mg/g)보다 감소하여 57.6 mg/g이었다. 이와같은 결과는 영지 첨가량이 0.1%까지는 각종 지방산 함량을 증가시키지만, 1.0%에서는 myristic acid를 제외한 모든 지방산을 급감시키는 경향을 나타낸다. 일반적으로 효모류가 생산하는 주요 지방산은 배지 및 배양조건에 따라 그 함량이 약간씩 다르나 oleic, palmitic, linoleic 및 myristic

acid 등으로 알려져 있는데 본 실험에서 사용한 *R. glutinis* K.C.T.C. 1736의 지방산도 palmitic, stearic, oleic 및 linoleic acid가 주요 지방산을 이루고 있어 이것은 대두나 땅콩의 주요 지방산과 비슷한 경향이고, 영지 첨가물 0.1%에서는 균체 지방산 중 불포화지방산과 필수지방산을 급증시키는 것으로 생각된다.

요 약

영지(*Ganoderma lucidum*) 열수추출물이 지질생성효모(*Rhodotorula glutinis*)의 증식과 지질함량 및 지방산 조성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 영지추출물을 각각 0 (S₀), 0.1 (S₁), 0.01 (S₂) 및 1.0% (S₃)되게 첨가한 기본배지에 *R. glutinis*를 접종하여 30°C에서 8일간 진탕배양하면서 그 효모의 생육도, 당 소비량의 변화, 지질함량 및 지방산 조성을 조사하였다. 영지추출물의 첨가량이 증가할수록 균체증식은 증가하였으며, 배양 8일에는 S₁, S₂ 및 S₃구가 S₀구보다 각각 1.5배, 1.6배, 및 2.1배로 증가하였으며 8일 후 당 소비율은 감소하는 경향이 있었다. 균체지질함량은 영지추출물의 농도가 증가함에 따라 40% (S₀)에서 41.5% (S₁), 43.7% (S₂) 및 46.7% (S₃)로 증가하였고 균체 지방산은 myristic, palmitic, stearic, oleic, linoleic acid 등이었으며 불포화지방산의 함량(38.6 mg/g)이 포화지방산의 함량(22.3 mg/g)보다 많았다. 영지추출물의 농도가 증가함에 따라 각 처리구의 균체 지방산함량은 myristic acid를 제외한 모든 산이 증가하였는데, 그 중 S₂구에서 가장 많았으며, S₃구에서는 S₁구보다도 감소한 반면, myristic acid는 S₃구에서 가장 높게 나타났다.

문 헌

1. 水野草, 坂村貞雄: 영지의 약효와 식효. 化學과 生物, 23(12), 797 (1985)
2. 우명식, 박용환, 김중협, 김병각: 영지 심포지움(영지의 역사, 재배법, 화학성분 및 약효). 한국균학회지, 12, 8 (1984)
3. Sone, Y., Okuda, R., Wada, N., Kishida, E. and Misaki, Y.: Structures and antitumor activities of the po-

- lysaccharides isolated from fruiting body and the growing culture of mycelium of *Ganoderma lucidum*. *Agric. Biol. Chem.*, **49**, 2641 (1985)
4. 강창울, 심미자, 최응칠, 이영남, 김병각 : 한국산 담자균류의 항암성분에 관한 연구(만년버섯의 균사배양 및 항암성분). *한국생화학회지*, **14**, 101 (1981)
 5. 이명비, 김하원, 심미학, 최응칠 : 한국산 고등균류의 성분연구(영지의 성분 및 면역촉진 작용). *한국균학회지*, **14**, 149 (1986)
 6. 김종협, 남정숙 : 영지의 mono nucleotide 성분의 분포에 관한 연구. *한국균학회지*, **12**, 111 (1984)
 7. 신혜원, 김하원, 최응칠, 김병각 : 한국산 고등균류의 성분연구. (영지의 무기성분) *한국균학회지*, **13**, 53 (1985)
 8. 박영도, 박정숙, 이재정 : *G. lucidum*의 원형질체형성과 재생. *산업미생물학회지*, **13**, 311 (1985)
 9. 도재호, 김상달 : 약용 담자균 영지가 생산하는 amylase의 효소학적 성질. *산업미생물학회지*, **13**, 173 (1985)
 10. 박현목, 이영세, 김성우, 박용환 : 전기영동법에 의한 영지버섯 계통의 특성. *한국균학회지*, **14**, 93 (1986)
 11. Kubota, T., Asaka, Y., Miura, I. and Mori, H.: Structure of ganoderic acid A and B, two new lanostane type bitter triterpenes from *G. lucidum*. *Helv. Chim. Acta*, **65**, 611 (1982)
 12. Komoda, Y., Makamura, H., Ishihara, S., Uchida, M., Kohda, H. and Uamasaki, K.: Structure of new terpenoid constituents of *G. lucidum*. *Chem. Pharm. Bull.*, **33**, 4829 (1985)
 13. 박성오 : *Rodotolura* 속 균주에 의한 세포내의 지질생성에 의한 연구. *한국농화학회지*, **17**, 93 (1974)
 14. 유진영, 신동화, 임호, 민병용, 서기봉 : 곰팡이 유지생산에 관한 연구, 제 1 보: 곰팡이 세포내 유지에 대하여. *한국식품과학회지*, **12**, 97 (1980)
 15. 신동화, 김창식 : *Mucor plumbeus* 균주 지방질의 구성에 대하여. *산업미생물학회지*, **10**, 79 (1982)
 16. Evans, C. T. and Ratledge, C.: Effect of nitrogen source on lipid accumulation in oleaginous yeasts. *J. Gen. Microbiol.*, **130**, 1693 (1984)
 17. 김진원, 강신권, 성낙계 : *Rodotorula* sp. 균주에 의한 세포내의 지질생산에 관한 연구. *산업미생물학회지*, **12**, 271 (1984)
 18. Choi, S.Y., Dewey, D.Y. and Rhee, J.S. : Effects of growth rate and oxygen on lipid synthesis and fatty acid composition of *Rhodotorula gracilis*. *Biotechnol. Bioeng.*, **26**, 1165, (1986)
 19. Pan, J.G. and Rhee, J.S.: Kinetic and energetic analyses of lipid accumulation in batch culture of *R. Glutinis*. *J. Ferment. Technol.*, **64**, 557, (1986)
 20. 주현규, 이종근 : 영지의 수용성 추출물이 *Saccharomyces cerevisiae*의 고급 alcohol 생성에 미치는 영향. *한국식품과학회지*, **20**, 52 (1988)

(1995년 12월 20일 접수)