

Aspergillus fumigatus균체의 화학적 성분과 영양학적 평가

최종덕¹ · 조성환*

통영수산전문대학 수산가공과

*경상대학교 식품공학과

The Chemical Components and Nutritional Evaluation of *Aspergillus fumigatus* Cells

Jong-Duck Choi¹ and Sung-Hwan Cho*

Dept. of Marine Food Science and Technology, Tongyeong National Fisheries College, Tongyeong 650-160, Korea

*Dept. of Food Science and Technology, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

Abstract

This experiments was designed to evaluated the chemical components and nutrition of *Aspergillus fumigatus* cells. This dried fungal mycellia was consist of crude protein 48.5%, crude lipid 2.9%, carbohydrate 44.7% and total ash 3.4%, respectively. The major fatty acid of total lipid were 27.9% of linoleic acid, 24.6% of oleic acid, 15.4% of palmitic acid and 10.6% of linolenic acid. Amino acid analysis indicated that the protein was rich in aspartic acid, glutamic acid, leucine, lysine but poor in cystein, methionine, histidine. The fungal cake of *Aspergillus fumigatus*, when dried and specially processed, has been found to serve as a source of protein in place of soybean meal in the diet of experimental mice. Animal were fed a control diet first, and an increase in weight proved the formulation to be satisfactory. At the end of a 30-day period, the experimental mice showed increases in weight comparable to those of the control animals. The net protein efficiency ratio for the control diet was 3.42 ± 0.15 and the fungal protein and succinylated fungal protein with DL-methionine they were 3.12 ± 0.39 and 2.98 ± 0.06 respectively. This supports the view that dried and succinylated fungal protein can be substituted as a protein source.

Key words : *Aspergillus fumigatus*, fungal protein, protein efficiency ratio

서 론

미생물 균체의 이용은 1차 세계대전 중 독일에서 효모가 이용되었으며, 2차 대전 중에는 *Candida utilis*를 이용하여 그 생산량이 연간 15,000톤에 이르렀다고 한다. 그러나 그 당시는 여러가지 사정으로 인하여 실용화 되지 못하다가 1968년과 1973년 두차례에 걸쳐 미국 MIT 공과대학에서 개최된 Single-cell Protein Conference를 계기로 이때 까지 연구되어온 유용미생물 증식, 발효기술과 영양학적인 연구가 집대성되어 현재 단세포단백질 (Single-cell Protein, SCP)의 대량생산은 실용화 단계에 들어가 있다¹⁾.

곰팡이를 이용한 단세포단백질의 생산에 관한 연구는 Falanghe 등²⁾이 *Trichoderma viride*를, Church 등³⁾은 *Gliocladium deliquescens*를, Bahar와 Azuaje⁴⁾는 *Fusarium moniliforme*를, Smith 등⁵⁾, Miller와 Srinivasan⁶⁾은 *Aspergillus*속을, 그리고 Pathak와 Seshadri⁷⁾는 *Penicillium chrysogenum*을, 그 밖에 많은 연구자들이 불안전균류 등에서 균체단백질의 생산을 보고하였다.

생산된 균체의 성분분석과 이용면에서, Gray 등⁸⁾은 단백질원으로서의 이용가능성을, Heathcote 등⁹⁾은 균주별 아미노산 함량을, Shannon과 Stevenson¹⁰⁾은 유용한 산물로의 전환을 보고하였다.

국내에서도 SCP생산을 위한 연구가 1960대 후반 부터 활발하게 진행되어 그 경제성 및 사료적 가치를 평가한 바 있다¹¹⁾. 그 밖에 Ju¹²⁾는 펄프폐액, Kim과 Chung¹³⁾은

¹To whom all correspondence should be addressed

두부페수로 부터 단세포단백질 생산을, Chung 등¹⁴은 세포융합 균주에 의한 단세포단백질 생산연구를, Lee¹⁵와 Choi 등¹⁶은 단세포단백질의 식품기능성을 보고한 바 있다.

그러나 국내에서는 곰팡이에 의한 균체단백질 생산을 위한 연구가 적고, 생산된 균체단백질이 가지는 특수한 물리, 화학적 및 기능적 특성을 개발하여 사료나 식품으로 이용 확대할 수 있는 기초적 연구가 적은 실정이다. 따라서 본 연구는 연속배양장치에서 회수된 균체시료를 동결건조하여 일반성분, 지질 및 지방산 조성, 추출용매별 단백질을 확인하였고, 균체단백질 및 숙시닐화시킨 균체단백질을 공시시료에 첨가하여 단백질 효율비를 계산한 후 가축사료로 이용 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

사용배지, 균주 및 배양방법

본 실험에 사용한 균주는 Cho 등¹⁷이 분리 동정한 *Aspergillus fumigatus* 균주를 사용하였으며, 사용된 배지의 조성은 Table 1과 같다.

균주의 연속배양은 total volume 및 working volume 이 각각 6.6L 및 5.0L의 발효조 BF500 (New Brunswick Scientific Co., Inc.)을 사용하였으며, 교반속도는 120 rpm, 배양온도 30°C에서 배양하였다.

균체의 일반성분

배양된 균체 배양액은 cheese cloth로 거른 다음 배지의 성분을 제거하기 위하여 증류수로 3회 세척하고 filter paper (Whatman No. 1)로 여과하여 균체를 회수하였고, 회수된 균체는 동결건조한 후, 5°C 냉장고에

Table 1. Composition of Raddy's chemically defined growth medium

Sucrose	85g
Asparagine	10g
(NH ₄) ₂ SO ₄	3.5g
KH ₂ PO ₄	1.0g
MgSO ₄ · 7H ₂ O	500mg
CaCl ₂ · 2H ₂ O	200mg
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	10mg
MnCl ₂ · 4H ₂ O	5mg
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O	2mg
Na ₂ B ₄ O ₇	2mg
FeSO ₄ · 7H ₂ O	2mg
pH	4.6

Made up to 1.0L with double distilled water

보관하여 두고 일반성분, 지질 및 지방산, 단백질 등을 분석하였다. 시료 중의 수분 함량은 105°C 건조법으로, 총질소는 Ma와 Zuaga¹⁸의 micro-Kjeldahl방법으로, 조지질은 soxhlet 추출법으로, 회분은 회화정량법으로 실시하였고, 그 밖의 성분은 A.O.A.C. 공정법¹⁹에 따라 분석하였다.

지질 및 지방산 조성의 분석

시료유의 분석은 Bligh와 Dyer법²⁰에 준하여 시료유를 추출한 다음 Rouser 등²¹의 방법에 따라 silicic acid column chromatography법으로 중성지질, 당지질 및 인지질로 분획하였다. 이들 각 화분을 감압 농축하여 용매를 제거한 후, 증량법에 의하여 중성지질, 당지질 및 인지질 함량을 구하였다.

분획된 중성지질, 당지질 및 인지질의 조성은 TLC에 의하여 분리·동정하였다. 동정은 표준품의 R_f값과 비교하여 행하였고, TLC scanner에 의하여 각각의 지질 성분의 상대 함량(%)을 계산하였다.

지방산의 조성은 총지질과 분획된 중성지질, 당지질 및 인지질을 지방산 methyl ester로 만든 다음 GC로써 분석하였다.

단백질의 분석

균체단백질의 조제는 동결건조시킨 균체를 soxhlet 법으로 지방을 제거하고 Reitz Mill (Reeves Pulley Company, Columbus, IN, U.S.A. 제품)로 분말화하였다.

단백질의 분석은 El-Negoumy 등²²의 방법에 따라 수용성, 염용성, 알콜 용해성 및 알칼리 용해성 단백질을 추출·정량하였다. 단백질의 아미노산 조성분석은 탈지한 균체단백질과 각각의 용매에서 일련으로 추출한 단백질 분말시료 각각 10mg을 취하여 분해용 시험관에 넣고 6N-HCl 10ml를 가한 후, 진공밀봉하여 100°C oven에서 24시간 가수분해시키고, rotary evaporator로 염산을 증발 제거시킨 후, sodium citrate buffer (pH 2.2) 10ml에 희석하여, membrane filter (pore size 0.45µm)로써 여과하여 얻은 용액을 아미노산 자동분석기 (LKB-4150, England)로서 아미노산 조성을 분석하였다.

곰팡이 균체단백질의 숙시닐화 (succinylation)

곰팡이 단백질은 Franzen과 Kinsella²³의 방법에 따라 숙시닐화하였고, 숙시닐화의 정도는 Hall 등²⁴의 방법에 따라 trinitrobenzenesulfonic acid (TNBS)방법으로 측정하였다.

사양실험

곰팡이 균체를 첨가한 사료와 첨가하지 않는 대조사료를 사용하여 Pathak와 Seshadri²⁶⁾의 사양실험 방법에 따라서 사양실험을 실시하였다.

건조균체의 조제는 발효조내에서 배양된 균체를 회수하여 약 6시간 동안 물속에 침지한 후에 2~3층의 거어로 여과한 후, 50°C 온도로 고정되어 있는 oven내의 stainless-steel tray에 퍼서 72시간 동안 완전 건조하였다. 건조된 곰팡이는 80~100mesh체로 분말화하여 사용 전 까지 밀폐된 공간 중에 보관하였다.

식이조제방법은 Table 2의 대조사료구와 soybean flour 대용으로 균체단백질을 첨가한 사료구로 하였다.

실험동물은 대략 일정한 크기, 체중(20g) 및 연령(생후 2개월)을 가진 건강한 백쥐 30마리를 선발하여 3마리씩 10개군으로 나누어 10개의 다른 cage속에 넣어 사양실험을 실시하였다. 사료공급은 30일 동안 계속하였으며 실험쥐의 체중은 5일 간격으로 사료 공급 직전에 정기적으로 측정하고 실험쥐의 성장 및 사육상태를 기록하였다.

Protein efficiency ratio(PER)의 측정

PER은 대조사료구, 곰팡이 균체 단백질사료 첨가구, 숙시닐화한 균체 단백질사료 첨가구로 나누어 각 cage의 3마리 중 한 마리씩의 쥐를 각 사료 식이동물로 선정하여 10 cage에서 30일 동안 사양한 10마리의 쥐의 총 단백질 흡수량에 대한 체중 증가량을 측정하여 그 평균값을 각 사료구에 대한 PER값으로 하였다. 이때 섭취된 사료는 매일 분석하고, 체중 변화량은 각 사료 공급직전과 사양말기에 측정하였다. 즉, 각 단백질사료의 PER값은 다음과 같은 실험 data를 이용한 계산식으로부터 산출하였다.

$$PER = \frac{\text{Weight gain (g) of mice}}{\text{Protein (g) intake by mice}}$$

결과 및 고찰

일반성분

연속배양이 끝난 Aspergillus fumigatus의 배양액을 여과하여 동결건조시킨 건조균체의 일반성분 분석 결과는 Table 3과 같다. Lee 등²⁹⁾이 Saccharomyces cerevisiae 균체에서 46.5%를, Iverson과 Morita²⁶⁾는 폐지의 산가수 분해물로부터 Scytalidium acidophilum³⁰⁾이 45%, Gibriel 등²⁶⁾이 곡류 부산물로부터 배양한 Asp. niger, Asp. terreus 균체의 단백질 함량이 각각 38%와 36%, Hang 등²⁷⁾이 Asp. niger 균체로부터 29%를, Drouliscos 등²⁶⁾이 Fusarium moniliforme에서 38.1%, Actinomucor속 28.5%, Aspergillus rugulosus 21.1%, Sporotichum 속의 28.5%로 각각 보고한 것 보다는 조단백질 함량이 높게 나타났다. 그밖에 조지방 2.9%, 탄수화물 44.5%, 조회분 3.4%로 전체적으로 다른 곰팡이들의 일반성분의 조성과 큰 차이는 없었다.

지질 및 지방산 조성

중성지질, 당지질 및 인지질의 함량

균체에서 추출한 전지질을 중성, 당 및 인지질로 분리, 정량한 결과는 Table 4와 같다. 중성지질이 95.7%로 대부분을 차지하고 있으며 당 및 인지질은 각각 2.1% 및 2.2%였다. Lee²⁹⁾는 Candida guilliermondii의 균체조성에서 지질의 함량이 3.9%, Brewer³⁰⁾는 Morel속 버섯 균체의 지질의 함량이 3.3~7.6%였으며, Iverson과 Mor-

Table 2. Composition of control diet

Components	Composition
Wheat flour (30~40mesh)	15.0g
Soybean flour (100mesh)	25.0g
Dextrose	15.0g
DL-Methionine	0.5g
Cow's milk	25.0ml
Vitamin mixture*	7.0ml
Paddy	50.0g

* 7.0ml amount of vitamin mixture contained : nicotinic acid 16.5mg ; nicotinamide 16.5mg ; D-panthenol 3.75mg ; pyridoxin hydrochloride 0.5mg ; riboflavine 2.5mg ; sodium glycerophosphate 0.15mg

Table 3. Proximate analysis of fungal mycelia, Aspergillus fumigatus

Component	Composition (g/100g)
Crude protein	48.5
Crude lipid	2.9
Carbohydrate	44.7
Crude fiber	0.5
Total ash	3.4

Table 4. Neutral lipid, glycolipid and phospholipid contents separated from fungal lipid by silicic acid column chromatography (Wt %)

Percentage in total lipid		
Neutral lipid	Glycolipid	Phospholipid
95.7	2.1	2.2

ita²⁶⁾는 fungal mycelia의 지질의 함량이 $2.6 \pm 0.4\%$ 로 보고한 바 있다. *Aspergillus fumigatus*의 지질조성은 일반 곰팡이의 구성지질과 유사한 경향을 보였다.

지방산 조성

전지질을 정제하여 BF-methanol로 methyl ester화한 후, GLC에 의하여 구성 지방산을 정량한 결과는 Table

Table 5. Fatty acid composition of TL (total lipid), NL (neutral lipid), GL (glycolipid) and PL (phospholipid) isolated from Gungal mycelial lipids, *Aspergillus fumigatus* (area %)

Fatty acids	TL	NL	GL	PL
14 : 0	0.3	0.4	3.2	2.8
15 : 0	0.4	0.7	1.5	3.1
16 : 0	15.4	13.7	28.5	30.7
17 : 0	0.5	0.7	1.3	1.5
18 : 0	8.2	4.9	8.4	5.2
20 : 0	0.6	0.3	0.8	0.7
Saturates	25.4	20.7	43.7	44.0
16 : 1	0.8	1.1	4.2	2.0
18 : 1	24.6	29.0	23.1	21.2
20 : 1	6.4	5.4	4.0	1.7
Monoenes	31.8	35.5	31.3	24.9
18 : 2	27.9	37.7	9.2	5.9
18 : 3	10.6	2.1	7.0	14.0
18 : 4	0.5	0.1	2.2	1.8
20 : 2	0.5	2.4	2.4	3.5
20 : 4	3.3	1.4	4.3	5.8
Polyenes	42.8	43.7	25.1	31.1

5와 같다. *Aspergillus fumigatus*의 구성 지방산은 palmitic acid 15.4%, oleic acid 24.6%, linoleic acid 27.9%, linolenic acid 10.6%였다. *Aspergillus fumigatus* 구성 지방산은 palmitic, oleic, linolenic acid가 78.5%로 대부분을 차지하는 중요한 지방산임을 알 수 있었다. 포화지방산과 불포화지방산의 함량비는 불포화지방산이 74.6%로 포화지방산 24.5% 보다 우세하여 곰팡이 지질은 대부분이 불포화지방산임을 알 수 있었다.

단백질의 분석

추출용매별로 분획하여 얻어진 균체 단백질의 아미노산 조성은 Table 6과 같다. 수용성, 염용성, 알콜 용해성, 알카리 용해성 단백질의 아미노산 조성에 일반적으로 의미있는 차이를 보이고 있지 않으나, cysteine 경우 단백질 100g 중 0.7, 5.4, 7.4, 0.7g으로 많은 차이를 나타내고 있었다. 한편 곡류에 제한 인자인 lysine의 경우 단백질 100g 중 각각 8.2, 8.3, 7.8, 7.9g으로 높았으며 함황amino산인 cystine과 methionine은 다소 낮았다. Nelson³¹⁾은 효모 271 균주의 lysine, methionine과 tryptophan 함량에 대하여 보고한 결과 16gN 중 lysine은 7.2g, methionine은 1.2g, tryptophane은 0.8g으로 보고한 바 있고, Asano 등³²⁾은 *S. cerevisiae* 균체로부터 추출한 단백질의 아미노산 조성에서 asparagine, glutamic acid, alanine, leucine, glycine과 lysine이 풍부하였고 cystine, methionine과 histidine이 낮았다고 보고하였다. 본 실험에서도 이들의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 쥐와 돼지의 사육에서 필수아미노산 요구

Table 6. Amino acid composition of serial protein fraction extracted from *Aspergillus fumigatus*

(g/16g-N)

Amino acid	Fungal mycellium	Water soluble	Salt soluble	Alcohol soluble	Alkali soluble	Residue
Aspartic acid	9.3	10.1	9.6	9.8	9.8	8.6
Threonine	6.6	6.0	5.6	5.6	5.4	4.3
Serine	5.2	5.7	5.4	5.7	5.2	4.5
Glutamic acid	11.5	11.1	12.5	12.8	11.2	10.7
Proline	4.1	4.8	5.7	4.9	4.6	4.2
Glycine	4.2	5.3	5.3	5.4	6.0	0.3
Alanine	4.6	6.5	6.3	6.3	6.3	5.9
Cystein	1.3	0.7	1.4	1.4	0.9	9.2
Valine	5.5	6.3	6.3	5.6	6.6	5.9
Methionine	1.9	2.0	1.4	1.7	1.8	1.6
Isoleucine	6.7	5.6	5.3	4.6	5.0	4.5
Leucine	8.7	8.4	7.9	8.0	8.1	7.4
Tyrosine	5.5	4.6	3.6	3.7	3.9	3.5
Phenylalanine	4.1	5.3	4.6	4.3	4.4	4.1
Histidine	2.8	5.0	4.8	4.9	5.6	14.3
Lysine	8.0	8.2	8.3	7.8	7.9	7.5
Arginine	5.6	4.0	3.6	2.7	2.6	1.4
Total	95.6	99.6	97.6	95.2	95.3	97.9

량이 16gN 중 lysine 5.3g, 4.8g, methionine 4.3g, 2.9g, isoleucine 5.3g, 3.9g, leucine 6.4g, valine 5.3g, phenylalanine 6.9g, histidine 3.5g, arginine 1.8g, tryptophan 1.0g, 0.9g으로 보고하였는데, 본 실험의 결과에서도 methionine을 제외한 다른 아미노산이 높은 함량을 나타내어 가축사료로서 가능하다고 생각되었다.

사양실험

사양실험은 대조구사료로 5일간 사양한 후, 각 cage에 1마리씩 10 cage에 나누어 첫 10마리는 계속해서 대조구 사료를, 다른 10마리는 곰팡이 균체단백질을, 나머지 10마리는 숙시닐화시킨 단백질을 식이사료로 하여 30일 동안 사양하였다. 증가하는 체중의 변화는 Fig. 1에, PER (Protein Efficiency Ratio)은 Table 7에 각각 나타내었다.

균체단백질 첨가사료를 공급하기 전, 5일 동안 대조구 사료를 식이한 모든 쥐들은 평균 체중 1.64g의 증가를 보여, 본 실험에서 규격을 갖추어 조제한 식이사료는 만족스러운 것으로 입증되었다.

Fig. 1에서 대조사료구는 사양초기 부터 체중이 점차적으로 증가해 온 데 반하여 실험사료를 식이한 쥐들은 처음에는 체중의 감소를 보이다가 점차적으로 증가를 보여 실험말기에는 대부분의 실험쥐들이 대조구

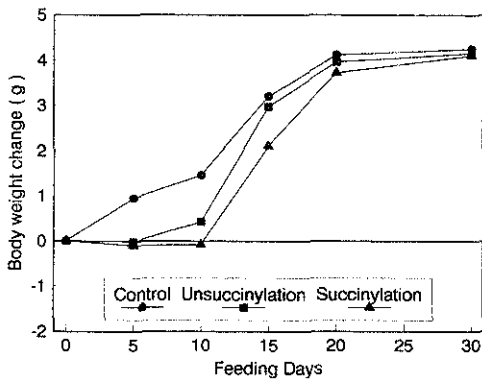


Fig. 1. Body weight change of mice fed with control and experimental diet for 30days (all weight changes are expressed in grams as the average increase of 10mice).

Table 7. Protein efficiency ratio of mice fed with control and experimental diet for 30days

Diet	PER
Control	3.42 ± 0.15
Unsuccinylated fungal protein	3.40 ± 0.43
Succinylated fungal protein	3.38 ± 0.11

에 상당한 체중을 소유하게 되었다. 이러한 경향은 대조사료와 실험사료에 대한 실험동물의 태도에서 기인한다고 볼 수 있다. 즉, 실험사료구 쥐들이 처음 5일 동안 대조사료를 식이하고 실험사료를 공급받게 되어, 균체단백질이 가진 특유한 냄새에 접하게 되기 때문에 새로운 향미에 적응하는데 일정기간이 소요되기 때문으로 판단되었다.

사료 소비율은 식이 후 2, 3일 동안 공급된 사료의 20% 이하에 지나지 않았으나 시간이 경과할수록 소비량이 증가하여 5일째 되는 날에는 80%에 달하였고, 30일의 사양말기에 실험사료를 공급받는 쥐들은 대조구 사료를 식이한 쥐들의 체중증가와 비교할만한 정도로 체중증가를 보여, 새로운 사료와 숙시닐화시킨 단백질에도 쉽게 적응하여 좋은 단백질 공급원으로 이용되었음을 보여주었다. 그러나 초기 사양단계에서 대조사료를 식이한 동물의 형상은 실험사료를 식이한 것보다 다소 다른 양상을 보였다. 이것은 균체단백질 및 숙시닐화한 균체단백질 사료가 가지는 특유한 향취성분 때문에 실험쥐들이 사료식에 쉽게 적응하지 못한 것으로 생각되며 이 향취성분을 제거하는 일은 균체를 가금류의 사료로 이용하는데 있어서 식이조건의 개선과 영양소의 이용율을 증가시킬 수 있으므로 필요한 전처리 과정으로 고려되어야 할 것으로 생각되었다.

Pathak과 Seshadri⁷⁾는 *Penicillium chrysogenum*의 균사체를 대두사료에 단백질원으로 하여 쥐에 실험한 결과 높은 효과가 있음을 지적하였고, Smith 등⁸⁾은 *Aspergillus oryzae*와 다른 균류들의 균체단백질이 쥐와 돼지의 사료에 적용이 가능하다고 보고한 바 있다. 본 실험에서도 균체단백질 사료를 식이한 쥐들의 단백질효율은 대조구에 비하여 큰 차이가 없었으며, 고단백질 공급원으로서 대체효과가 큰 것으로 나타났다.

요 약

본 연구는 *Aspergillus fumigatus*균체의 화학적 성분 조성을 분석하고, 이들 균체단백질과 숙시닐화시킨 균체단백질을 공시사료에 첨가하였을 때 가축사료로서의 이용가능성을 검토하였다. 일반성분은 건조중량으로 조단백질 48.5%, 조지방 2.9%, 탄수화물 44.7% 및 조회분 3.4%로 나타나 다른 곰팡이들의 성분과 비슷하였다. 지질의 조성은 중성지질 95.7%, 당지질 2.1% 및 인지질 2.2%로 대부분 중성지질이었고, 구성지방산은 linoleic acid 27.9%, oleic acid 24.6%, palmitic acid 15.4% 및 linolenic acid 10.6%였다. 균체단백질의 아미노

산 조성은 methionine과 cystein은 다소 적었으나, aspartic acid, glutamic acid, leucine 및 lysine은 많은 편이었으며, 동물의 성장에 필요한 제반 주요 성분들은 고루 함유하고 있는 것으로 나타났다. 동물 사양실험에서 사료 소비율은 식이 후 2, 3일 동안 공급된 사료의 20% 이하에 지나지 않았으나 시간이 경과할수록 소비량이 증가하여 5일째 되는 날에는 80%에 달하였고, 30일의 사양말기에 실험사료를 공급받는 쥐들은 대조구 사료를 식이한 쥐들의 체중증가와 비교할 만한 정도로 체중증가를 보여, 새로운 사료와 숙시닐화시킨 단백질에도 쉽게 적응하여 좋은 단백질 공급원으로 이용되었음을 보여 주었다. 단백질 효율비는 대조구의 3.42 ± 0.15 에 비하여 균체 및 숙시닐화한 균체단백질이 각각 3.40 ± 0.43 및 3.38 ± 0.11 로 나타나서, 단백질효율은 균체단백질 사료를 식이한 쥐들이 대조구에 비하여 큰 차이가 없었으며, 고단백질 공급원으로서 대체효과가 큰 것으로 나타났다.

문 헌

- Shacklady, C. A. : Value of SCP for animals. In "Single cell protein II" Tannenbaum, S. R. and Wang, D. I. C. (eds.), Yhe MIT Press, Cambridge, Mass, p.489 (1975)
- Falanghe, H., Smith, A. K. and Rackis, J. J. : Production of fungal mycelial protein in submerged culture of soybean whey. *Appl. Microbiol.*, **12**, 330 (1964)
- Church, B. D., Nash, H. A. and Brosz, W. : Use of fungi in treating food processing wastes. *Dev. Indus. Microbiol.*, **13**, 30 (1972)
- Bahar, S. and Ajuaje, T. J. : Studies on the growth of *Fusarium* sp. on citrus waste for the production of single cell protein. *J. Food Sci. Technol. India*, **21**, 63 (1984)
- Smith, R. H., Palmer, R. and Reade, A. E. : A chemical and biological assessment of *Aspergillus oryzae* and other filamentous fungi as production sources for simple stomached animal. *J. Sci. Food Agric.*, **26**, 785 (1975)
- Miller, T. F. and Srinivasan, V. R. : Production of single-cell protein from cellulose by *Aspergillus terreus*. *Biotech. Bioeng.*, **25**, 1509 (1983)
- Pathak, S. G. and Seshadri, R. : Use of *Penicillium chrysogenum* mycelium as animal food. *Appl. Microbiol.*, **13**, 262 (1965)
- Gray, W. D. : The use of fungi as food and in the food processing. CRC Press Cleveland, Ohio, p.9 (1970)
- Heathcote, J. G., Davies, D. M. and Haworth, C. : Analysis of free amino acid pools in fungal mycelia. *Appl. Microbiol.*, **23**, 349 (1972)
- Shanon, L. J. and Stevenson, K. E. : Growth of *Calvatia gigantea* and *Candida steatolytica* in brewery wastes for microbial protein production and BOD reduction. *J. Food Sci.*, **40**, 830 (1975)
- Bae, M., Lee, K. J. and Kho, Y. H. : Studies on microbial utilization of agriculture wastes. *Korean J. Appl. Microbiol. Bioeng.*, **5**, 119 (1977)
- Ju, D. K. : Growth and cell constituents of several yeasts on the pulp mill waste liquor. *Kor. Jour. Microbiol.*, **14**, 1 (1976)
- Kim, I. Y. and Chung, D. H. : Studies on the production of lipid by microorganism. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, **17**, 81 (1985)
- Chung, K. S., Choi, S. Y. and Koo, Y. J. : Production of single cell protein from starchy materials by the fungus. *Kor. Food Research Institute, Agriculture and Fishery Development Cooperation*, **14**, 13 (1987)
- Lee, C. H. : Functional properties of single-cell protein. *Kor. J. Appl. Microbiol. Bioeng.*, **8**, 207 (1980)
- Choi, J. D., Kim, J. G. and Cho, S. H. : Effect of Succinylation on functional properties of *Aspergillus fumigatus* cell protein. *J. Korean Soc. Food Nutr.*, **21**, 573 (1992)
- Cho, S. H., Choi, J. D. and Lee, S. Y. : Utilization and application of microorganisms in treating food processing wastes-Recovery of mycelial proteins-. *J. Korean Agric. Chem. Soc.*, **32**, 424 (1989)
- Ma, T. S. and Zuaga, G. : Micro-Kjeldahl determination of nitrogen. *Ind. Eng. Chem.*, **14**, 280 (1941)
- A.O.A.C. : *Official methods of analysis*. 13th ed., Association of official analytical chemists. Washington, D. C. (1980)
- Blight, E. G. and Dyer, W. J. : A lipid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, **37**, 911 (1959)
- El-Negoumy, A. M., Newman, C. W. and Moss, B. R. : Amino acid composition of total protein and electrophoretic behavior of protein fraction of barley. *Cereal. Chem.*, **56**, 468 (1979)
- Franzen, K. L. and Kinsella, J. E. : Functional properties of succinylated and acetylated leaf protein. *J. Agric. Food Chem.*, **24**, 914 (1976)
- Hall, R. J., Trinder, N. and Givens, D. I. : Observation on the use of 2,4,6-trinitrobenzene sulphonic acid for the determination of available lysine in animal protein concentrations. *Analyst.*, **98**, 673 (1973)
- Pathak, S. G. and Seshadri, R. : Use of *Penicillium chrysogenum* mycelium as animal food. *Appl. Microbiol.*, **13**, 262 (1965)
- Lee, K. H., Lee, K. H. and Park, S. O. : Elimination and utilization of pollutants. *J. Korean Agricultural Chemical Society*, **23**, 64 (1980)
- Ivarson, K. C. and Morita, H. : Single-cell protein production by the acid-tolerant fungus *Scytalidium acidophilum* from acid hydrolysate of waste paper. *Appl. Environ. Microbiol.*, **43**, 643 (1982)
- Hang, Y. D., Splittstoesser, D. F. and Woodmams, E. E. : Utilization of brewery spent grain liquor by *Aspergillus niger*. *Appl. Microbiol.*, **30**, 879 (1975)
- Drouliscos, N. J., Macris, B. J. and Kokke, R. : Growth of *Fusarium moniliform* on carob aqueous extract

- and nutritional evaluation of its biomass. *Appl. Environ. Microbiol.*, **31**, 691 (1976)
29. Lee, K. J. : The composition of *Candida guilliermondii* grown in soybean whey. *Korean J. Nutrition and Food*, **11**, 21 (1982)
30. Brewer, E. N. : Mass culture of a slime mold, *Physarum polycephalum*. *Appl. Microbiol.*, **12**, 161 (1964)
31. Nelson, G. E. N. : Lysine, methionine and tryptophan content of microorganisms. 2. yeast. *Appl. Microbiol.*, **8**, 179 (1960)
32. Asano, M., Satoh, W. and Shibasaki, K. : Extraction of proteins from yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) using vibrogen cell mill and alkali concentration, and some properties of protein. *J. of Japanese Society of Food Science and Technology.*, **27**, 172 (1980)

(1994년 10월 17일 접수)