

섬유소를 이용한 단세포단백질의 생산 및 그 이용

권오진^{1*} · 정영건²

¹한국원자력연구소, ²영남대학교 식품가공학과

초록 : *Cellulomonas* sp. KL-6 균주의 균체내·외 단백질은 배양 5일째에 266 µg/ml, 37 µg/ml로 가장 많이 생산하였다. 본 실험에서 사용한 KL-6 균주는 볏짚을 분쇄 후 1.0% NaOH와 10% NH₄OH로 80°C에서 30분간 처리한 후 H₃PO₄로 중화하여 탄소원으로 이용하였을 때 각각 1.63 g/l 및 1.47 g/l의 SCP가 생산되어 처리하지 않은 볏짚의 0.5 g/l 보다 균체수율이 증가되었다. KL-6 균주가 생산한 SCP의 필수아미노산의 함량이 FAO 표준단백질에 비해 많아 영양적 가치가 매우 우수하였다. 그러나 실제 동물사육에 이 균체를 이용코저 할 때는 균체의 세포벽을 파쇄후 사용해야 되리라 사료된다(1995년 7월 15일 접수, 1995년 11월 6일 수리).

서 론

단백질 자원의 고갈에 대비하기 위하여 각종 발효기질을 이용한 미생물의 단세포단백질(single cell protein, SCP) 생산에 주목을 끌게 되었다.^{1,2)} 그러나 최근 에너지 자원의 부족으로 기질로서의 사용에 크게 제한을 받고 있어 그 양이 매우 풍부한 섬유소 자원을 이용한 SCP 생산이 절실하다 하겠다. SCP에 관한 연구로는 1967년과 1974년 두차례에 걸쳐 미국 MIT 공과대학에서 개최된 SCP conference를 계기로 이때까지 연구되어 온 유용 미생물의 증식, 발효기술과 영양학적인 연구결과가 집대성된 이래로 이의 산업적 생산을 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다.³⁻⁶⁾ 그러나 섬유소 기질을 이용한 단세포단백질의 식품에의 이용성은 아직 초보단계를 벗어나지 못하고 있으며 그 중요한 이유로는 안정성 및 경제성을 들수 있다. 그러나 이러한 문제는 SCP 생산을 높이기 위한 기술혁신이나 단백질원으로서의 특수한 가능성을 살린다면 해결될 수 있을 것으로 생각된다.⁷⁾ 이에 본 연구는 효율적으로 이용되지 못하는 농산폐 섬유소 자원의 소화율을 높이고 또한 이를 기질로 하여 SCP를 생산함으로써 차후 단백질사료나 식품으로 개발하여 국내·외의 단백질사료 및 식량부족에 크게 기여할 목적으로 일련의 연구^{8,9)}에서 저자들이 분리한 *Cellulomonas* sp. KL-6를 SCP 생산균주로 하여 볏짚을 섬유소 기질로 기질 소화율과 전처리 최적조건을 조사하고 그 조건에서 SCP를 생산하여 단백질원으로서의 이용가능성을 살펴 보고자 한다.

재료 및 방법

SCP 생산균주

전보⁸⁾에서 분리한 섬유소 분해세균인 *Cellulomonas* sp. KL-6 균주를 사용하였다.

찾는말 : *Cellulomonas* sp. KL-6, SCP, NaOH, NH₄OH, amino acid
*연락처자

균체내·외 단백질의 분포

차와 김¹⁰⁾의 방법에 준해 KL-6 균주를 단백질 생산 배지에 접종하여 30°C에서 7일간 배양한 후, 균체의 단백질은 배양액을 10,000×g에서 10분간 원심분리하여 얻은 상등액을 Folin-Lowry법¹¹⁾에 따라 정량하였고, 균체내 단백질은 균체를 0.1 N phosphate buffer (pH 7.0)로 2회 세척한 후 0.2 N NaOH 용액 2 ml에 현탁하여 10분간 가열한 다음 세포내 단백질을 용출시켜 균체의 단백질과 같은 방법으로 정량하였다. 단백질 생산배지는 균체증식 최적배지의 yeast extract 대신 0.001% thiamin을 첨가하여 사용하였다. 균체증식 최적배지는 sucrose 5g, yeast extract 1.0g, (NH₄)₂HPO₄ 1.0g, K₂HPO₄ 1.0g, MgSO₄·7H₂O 0.1g, CaCl₂ 0.1g, NaCl 8.0g을 1l의 증류수에 녹여 pH 7.0로 조정하여 사용하였다.

기질의 물리적 처리효과¹²⁾

기질을 cutting mill로 분쇄하여 1 mm screen을 통과시킨 기질과 무처리한 기질을 균체증식 최적배지에 탄소원 대신 4.0%(w/v) 첨가하여 KL-6 균주를 접종하고 30°C에서 5일간 진탕배양한 후 균체량과 기질 소비량으로 물리적 처리효과를 살펴 보았다. 사용한 기질은 본 대학 부속농장 및 목장에서 구한 볏짚을 사용하였다.

기질의 알칼리 처리 및 산 중화효과¹²⁻¹⁴⁾

Lignino-cellulose 기질의 분해를 촉진하거나 lignin을 용해, 제거하여 기질로의 이용을 높이기 위해 물리적으로 처리한 기질에 1 N의 NaOH, NH₄Cl, Ca(OH)₂, NaHCO₃, Na₂CO₃ 등의 알칼리를 기질 대비 10배량(v/w)을 가하여 상온에서 24시간 침지시킨 후 세척액이 중성이 될 때까지 세척하여 건조시킨 다음, SCP 생산배지에 탄소원 대신 3.0% (w/v) 첨가하여 균체량과 기질 소비량으로 알칼리 처리효과를 살펴보았다. 알칼리 처리효율을 높이기 위해 중화시에는 증류수로 pH 10 정도로 세척한

다음 H₂SO₄, HCl, H₃PO₄, CH₃COOH로 중화하여 산 중화효과를 조사하였다. 균체량은 기질로 사용한 볏짚 등의 폐섬유소 기질이 불용성이므로 균체량 측정의 일반적인 방법인 탁도법, 중량법 등으로 측정할 수 없으므로 Huang 등¹⁵⁾의 방법으로 정량하였다. 즉 배양액을 5~10분 동안 정치시킨 다음 상등액을 2 ml 채취하여 15,000×g에서 20분간 원심분리하여 균체만을 모아 0.2 N NaOH 2 ml에 현탁 후 80°C에서 10분간 가열하여 Folin-Lowry법¹¹⁾으로 550 nm에서 흡광도를 측정하여 균체량으로 환산한 표준곡선과 비교하여 측정하였다. 또한 배양액을 1,000×g에서 5분간 원심분리한 잔사는 수세, 105°C에서 24시간 건조하여 발효 후의 기질량으로 하여 이를 초기에 사용한 기질량과의 차에서 기질소비량을 계산하였고 상등액은 7,000×g에서 20분간 재원심분리하여 균체만을 0.85% saline 용액으로 수세, 70°C의 vacuum으로 건조한 것을 균체량으로 하여 소비된 기질량에 대한 생산된 균체량과의 백분율로 균체수율을 계산하였다.

SCP 생산

재재소에서 수집한 톱밥 및 주변 야산에서 채취한 나무잎 등을 기질로 하여 SCP를 생산하였다. 기질은 볏짚 전처리기의 최적조건에서 처리하여 SCP 생산배지의 탄소원 대신 3.0%(w/v) 첨가하여 사용하였다.

SCP의 아미노산 분석

아미노산 분석은 5 ml의 유리관에 20 mg의 건조균체를 넣어 6 N 염산으로 24시간 동안 가수분해 시킨 후 분해액을 여과하여 40°C 이하에서 rotary evaporator를 사용하여 염산을 완전히 증발시킨 다음 10 ml의 sodium citrate buffer에 용해하여 이의 40 μl를 아미노산자동분석기(LKB 4150 Alpha plus amino acid analyzer, England)에 주입하여 분석하였다.

예비동물 사육실험¹⁶⁾

실험동물은 무게가 15±2 g 정도되는 Mouse(♂)를 구입하여 2주간 기초식으로 예비사육하여 적응시킨 후, 난괴법(randomized complete block design)에 의해서 한군을 6마리씩 5군으로 나누어 사육상자에 넣어 4주간 사육하였다. 증체량은 매주 1회 측정하여 실험개시시 체중을 감하여 증체량으로 하였으며 사료섭취율은 매일 1회 일정시각에 잔류사료량을 측정하여 구하였고 사료효율은 전 시험기간중의 사료 섭취량을 증체량으로 나누어 구하였다. 사육실의 온도(20±1°C) 및 습도(50±10%)는 최적조건으로 유지시켰고 명암은 12시간(07:00~19:00) 주기로 조절하였다. 기초식은 삼양사(株)製 mouse용 Lab. diets I(E.P)사료를 사용하였으며 실험식은 기초식에 기질인 볏짚과 SCP를 각각 1%와 3%로 혼합하여 조제하였다.

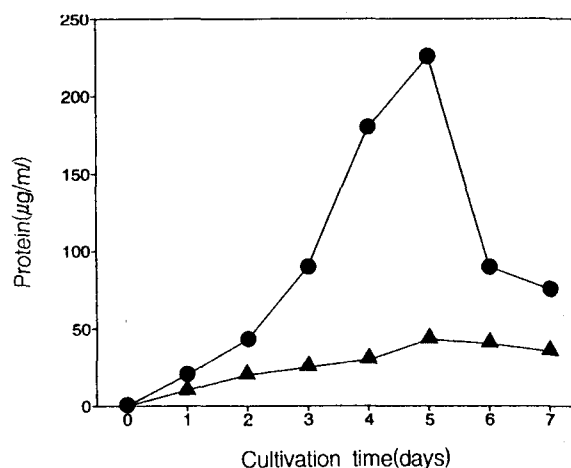


Fig. 1. Time course of the protein production by *Cellulomonas* sp. KL-6. ●—●, intracellular protein; ▲—▲, extracellular protein. Medium: sucrose 0.5%, thiamin·HCl 0.001%, (NH₄)₂HPO₄ 0.1%, K₂HPO₄ 0.1%, MgSO₄·7H₂O 0.01%, CaCl₂ 0.01%, NaCl 0.8%, pH 7.0 and cultivation temperature 30°C.

Table 1. Cell mass and digestion from rice straw with physical treatment

	Initial pH	Final pH	Cell mass (g/l)	Digestibility (%)	Yield (%)
Control	6.68	5.80	0.18	—	—
Untreated	6.31	5.17	0.50	19.8	5.0
Treated	6.34	4.94	0.82	28.2	7.3

Medium: Rice straw 4.0%, NH₄Cl 0.1%, yeast extract 0.1%, (NH₄)₂HPO₄ 0.1%, K₂HPO₄ 0.1%, MgSO₄·7H₂O 0.01%, CaCl₂ 0.01%, NaCl 0.6%, CaCO₃ 0.1%, pH 7.0. Treatment: Crushed by cutting mill. Ball milled after crushing. Culture: Cultured for 5 days.

결과 및 고찰

균체내·외 단백질의 분포

단백질 생산배지에 KL-6 균주를 접종한 다음 균체내·외 단백질을 정량한 결과는 Fig. 1과 같다. 균체내·외 단백질은 배양 5일째 각각 266 µg/ml와 37 µg/ml로 가장 많은 단백질을 생산하였으며 이는 균체증식이 가장 좋은 3일째와는 차이가 있었다.⁸⁾ Tsuchida 등¹⁷⁾이 nutrient rich medium에서는 함유되어 있는 아미노산에서 직접 단백질을 생산하나, 단백질합성 이전에 구성 물질의 합성이 필요한 배지에서는 그 생산이 늦어 균체증식과 비례하지 않는다고 보고한 것과 본 실험의 결과는 유사하였다. 앞으로의 SCP 생산시 배양시간은 생산 단백질이 가장 많은 5일로 하였다.

기질의 물리적 처리효과

기질 이용성을 높이기 위한 전처리 방법으로 볏짚을 물리적 처리한 후 균체증식 최적배지에 탄소원 대신

Table 2. Effect of various optimum medium and substrate concentration on the cellulosic SCP production

	Cell mass (g/l)	Digestibility (%)
Optimum medium		
KCM ^{a)}	0.85	33.4
C M ^{b)}	0.72	29.6
FPM ^{c)}	0.78	30.4
GLM ^{d)}	0.82	24.9
Substrate conc. (%)		
0.0	0.26	—
1.0	0.55	28.2
2.0	0.76	30.2
3.0	0.78	31.0
4.0	0.69	28.0
5.0	0.71	29.7

^{a)} Optimum medium of the cell growth. ^{b,c,d)} Optimum medium of the CMCase (b), FPase (c) and β -glucosidase activity (d).

첨가하여 처리하지 않은 볏짚과 비교하여 본 결과는 Table 1과 같다. 처리한 볏짚의 균체량은 0.82 g/l로 처리하지 않은 볏짚의 0.50 g/l 보다 64%의 증가효과가 있었으며 기질 소비량도 42%나 증가하여 물리적 처리를 함으로 어느정도 상승효과를 인정할 수 있었다. 그러나 이러한 상승효과가 한정되어 있고 물리적 처리에 소요되는 에너지, 노동력 및 경비를 생각할 때 결코 경제성에 있어서 유리하지 않다고 알려져 있다.^{18,19)} 균체증식 및 효소생산 최적배지에 물리적 처리한 볏짚을 탄소원으로 4.0%(w/v)를 첨가하여 균체량 및 기질 소비량을 조사한 결과 배지별 차이는 별로 없었으나 균체증식 최적배지에서 균체량이 다소 많아 앞으로의 SCP 생산배지로 사용하였으며 본 배지에서 이용할 수 있는 최적기질량은 3.0%이었다(Table 2).

기질의 알칼리 처리 및 산 중화효과

1) 알칼리 처리효과

볏짚에 알칼리를 처리함으로써 분자 상호간의 팽윤을 촉진시켜 세포벽 구조내로 효소 및 미생물의 침투를 용이하게 하여 균체량 및 기질소비량이 향상되고 이는 물리적 처리의 한계성을 어느정도 개선하리라 생각되어 알칼리 처리 및 처리조건을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 물리적으로 처리한 볏짚을 알칼리에 상온에서 24시간 침지한 것과 대조군으로 증류수에 침지한 것을 SCP 생산배지에 3.0%로 첨가 후 KL-6 균주를 배양하여 균체량 및 기질소비량을 조사한 결과, 알칼리 처리시 증류수에 침지한 볏짚보다 1N NaOH에 침지한 볏짚이 균체량은 56%, 기질소비량은 80% 증가하여 가장 효과가 있었고 1N Na₂CO₃의 경우는 증류수에 침지한 볏짚보다 오히려 기질소비량이 감소하였다. 이러한 결과는 Burt¹⁹⁾와 신과 박²⁰⁾이 보고한 알칼리 처리에서도 나타났다. 폐섬유소 기질로 SCP를 생산할 때 NaOH가 다른 알칼리에 비해 약 10배 정도 가격이 비싸 비경제적이다. 그러나 NaOH보다 효과적이지는 못하지만 NH₄OH는

Table 3. Effect of alkaline treatments of rice straw on the cellulosic SCP production

Treatment	Cell mass (g/l)	Digestibility (%)
Alkaline		
Distilled water	0.50	16.5
NaOH (1 N)	0.78	29.7
NH ₄ OH (1 N)	0.67	19.2
Ca(OH) ₂ (1 N)	0.71	23.3
NaHCO ₃ (1 N)	0.58	18.0
Na ₂ CO ₃ (1 N)	0.57	16.2
Water/Substrate (v/w)		
NaOH (1 N) 5	0.60	31.1
10	0.77	32.2
20	0.73	29.3
NH ₄ OH (1 N) 5	0.50	24.2
10	0.59	22.1
20	0.62	26.3
Room temperature time (hrs)		
NaOH 6	0.53	30.3
12	0.65	32.1
24	0.81	39.3
48	0.56	35.0
NH ₄ OH 6	0.48	27.3
12	0.51	29.2
24	0.57	34.1
48	0.54	32.3
Steaming (°C), 30 min.		
NaOH 80	0.71	34.1
100	0.65	33.0
121	0.52	30.3
NH ₄ OH 80	0.52	33.1
100	0.50	31.9
121	0.40	29.3
Concentration (%)		
Control	0.69	25.1
NaOH 0.1	1.14	50.7
0.5	1.42	53.4
1.0	1.46	51.0
2.0	1.06	40.6
3.0	0.82	42.1
4.0	0.73	38.7
NH ₄ OH 1.0	0.83	29.3
5.0	0.87	31.0
10.0	1.06	39.8
15.0	0.83	35.4

다른 알칼리와는 달리 처리 후 중화하여 질소원으로 사용할 수 있어 세척시 유실되는 가용성 성분을 이용한다는 차원에서 NH₄OH를 SCP 생산에 사용하는 것이 경제적이라 생각된다. NaOH와 NH₄OH의 사용량을 줄이기 위해 그 처리량을 볏짚량의 5, 10배 및 20배(v/w)로 조절하여 상온에서 24시간 침지 후 균체량 및 기질 소비량을 조사한 결과, NaOH는 10배량, NH₄OH는 20배량에서 처리효과가 가장 좋았으나 별다른 차이가 없어 사용량을 줄이는 것이 바람직하여 처리량을 10배량으로 하여 처리조건을 달리하여 조사하였다. NaOH와

Table 4. Effects of various acids neutralization after alkaline treatment on the cellulosic SCP production

Alkaline	After alkaline	Cell mass (g/l)	Digestibility (%)
NaOH	H ₂ O washed	1.30	49.4
	H ₂ SO ₄ neutralized	1.21	53.4
	HCl neutralized	1.15	51.1
	H ₃ PO ₄ neutralized	1.63	60.7
	CH ₃ COOH neutralized	1.14	50.3
NH ₄ OH	H ₂ O washed	1.14	40.1
	H ₂ SO ₄ neutralized	0.78	51.3
	HCl neutralized	1.03	48.1
	H ₃ PO ₄ neutralized	1.47	53.2
	CH ₃ COOH neutralized	1.09	39.7

Alkali treatment: For 30 min at 80°C in 10 times volume of 1.0% NaOH and 10.0% NH₄OH solution.

NH₄OH로 볏짚을 처리시 상온에서 6, 12, 24시간 및 48시간 처리한 것과 80, 100°C 및 121°C의 가압하에서 30분 처리한 것과의 균체량 및 기질 소비량을 조사한 결과는 NaOH와 NH₄OH는 상온에서 24시간 침지시에 균체량이 0.81 g/l, 0.57 g/l로, 기질 소비량이 39.3%, 34.1%로 각각 나타나 효과가 가장 좋았다. 80°C, 100°C 및 121°C에서의 처리효과는 80°C에서 균체량 및 기질소비량이 가장 좋았으나 상온에서 24시간 침지한 것에 비해 균체량이 NaOH가 14%, NH₄OH가 9.6% 정도가 감소되었으며 12시간 침지한 것 보다는 균체량이 많았다. 이는 상온에서 12시간 이상 처리하는 대신 80°C에서 30분 처리함으로써 경제적으로나 처리시 어느정도 멸균도 할 수 있어 알칼리 처리의 최대효과를 가져올 수 있고 이것은 이 등¹³⁾이 보고한 121°C에서 30분 처리보다 더욱 경제적이라 하겠다. NaOH와 NH₄OH 사용량을 줄이기 위해 그 농도를 NaOH는 0.1~4.0%(w/v), NH₄OH는 1~15%(v/v)로 하여 80°C에서 30분간 처리하여 조사한 결과, NaOH는 1.0%의 농도에서, NH₄OH는 10%의 농도에서 각각 균체량과 기질 소비량이 좋았으며 이는 1N 농도의 양과 비교할 때 NaOH는 50%, NH₄OH는 60% 정도가 줄어든 양으로 바람직하다 하겠다.

2) 산 중화효과

볏짚을 알칼리 처리한 결과, NaOH와 NH₄OH가 효과가 좋았으며 그 농도는 NaOH의 경우는 1.0%, NH₄OH는 10%가 적당한 것으로 밝혀 졌다. 그러나 알칼리 처리 후 중화시에 물로서 세척할 때 여러가지 어려움이 있어 처리 후 물로 세척하여 pH를 10 정도로 한다음 H₂SO₄, HCl, H₃PO₄, CH₃COOH 등의 산으로 중화하여 균체량 및 기질 소비량을 측정된 결과는 Table 4와 같다. 산 중화 결과, 균체량과 기질소비량에 있어 현저한 차이가 있었고 H₃PO₄로 중화 시켰을 때가 균체량이 NaOH가 1.63 g/l, NH₄OH가 1.47 g/l를 얻어 물로 세척할 때보다 NaOH는 25%, NH₄OH는 29%의 균체량이 증가되어 H₃PO₄가 본 균이 생육하는데 필요한 인산원 혹은 배지의 pH 완충작용이 있는 것으로 생각된다. 이와

Table 5. Effect of various substrates leaves as cellulosic material on SCP production

Substrate	Cell mass (g/l)	
	NaOH	NH ₄ OH
Rice straw	1.63	1.47
Sawdust		
Pine	0.28	0.09
Oak	0.54	0.34
Larch	0.24	0.18
Leaf		
Pine	0.93	0.70
Willow	0.76	0.72
Redbud	0.20	0.14
Birch	0.11	0.12

Alkali treatment: For 30 min at 80°C in 10 times volume of 1.0% NaOH and 10.0% NH₄OH solution. Neutralization: To pH 7.2 with H₃PO₄. Cultivation: *Cellulomonas* sp. KL-6 was grown for 5 days at 30°C, 120 rpm.

같은 결과는 이 등¹³⁾과 성 등²¹⁾의 보고와 유사한 경향을 나타내었다. H₂SO₄, HCl 및 CH₃COOH로 중화시켰을 때는 물로 세척한 것보다 균체량이 감소하였으며 이는 중화시 생성된 NaCl, NaHSO₄, Na₂SO₄ 등의 염이 필요 이상으로 존재함으로써 균체 생육이 저해되는 것으로 추측된다.

이상의 결과로 볏짚을 cutting mill로 분쇄하여 1 mm screen을 통과시켜 1.0% NaOH와 10% NH₄OH를 각각 볏짚량의 10배량으로 하여 80°C에서 30분간 처리한 후 H₃PO₄로 중화하여 균체증식 최적배지에 탄소원으로 3.0%를 첨가하여 5일간 배양시가 균체량이 가장 많이 생산하였으며 이는 미처리시의 0.5 g/l 보다 약 200% 내외 증가한 결과로 일련의 처리효과가 인정되었다.

SCP 생산

여러종류의 농·임산 폐섬유소원을 기질 전처리 최적 조건에서 처리 후 *Cellulomonas* sp. KL-6 균주를 접종, 5일간 배양하여 SCP를 생산하여 공시균주의 기질 이용성을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 재재소에서 많이 나오는 톱밥은 나무 종류별로 임의로 수집하였으며 나무잎은 주변 산야에서 채취하여 송풍건조기에서 건조시킨 다음 ball mill 하여 기질로 사용하였다. 볏짚을 기질로 하였을 때 균체량은 1.63 g/l로 가장 많이 생산하였다. 그러나 이 양은 산업적으로 이용될 수준은 되지 않았으며 SCP 생산을 증가시키기 위해서는 전처리 방법의 개선, 균자체의 육종 및 타 균주와의 혼합배양 등을 모색해야 될 것이고 또한 생산단가가 높더라도 이 단백질이 가지고 있는 특수한 물리·화학적 기능성을 개발한다면 이를 보완할 수 있을 것으로 생각되어 진다. 톱밥을 기질로 하였을 때 소나무잎이나 버드나무잎에서는 보다 균체수율이 적었는데, 이러한 결과는 목질부 자체의 섬유조직이 매우 단단할 뿐 아니라 ligno-cellul-

Table 6. Essential amino acid content of the SCP

(g/100 g)

Amino acid	<i>Cellulomonas</i> sp. KL-6	FAO Reference protein		Soybean meal	Wheat flour	<i>Cellulomonas flavigena</i>	<i>C. fimi</i> KIST 124
		1965	1973				
Threonine	6.69	2.8	4.0	4.2	2.7	6.3	3.12
Valine	5.97	4.2	5.0	5.0	4.1	8.7	9.01
Methionine	3.71	2.2				1.7	1.66
Isoleucine	4.90	4.2	4.0	4.9	4.2	3.6	4.98
Leucine	7.75	4.8	7.0	7.6	7.0	8.5	10.53
Phenylalanine	8.35	2.8	6.0	8.4	5.5	4.5	6.87
Lysine	5.10	4.2	5.5	6.2	1.9	5.0	5.33
Arginine	5.70					8.1	
Histidine	5.48					2.3	

Table 7. Mouse responses to the dietary inclusion of SCP

Items	Control	SCP		Rice straw	
		1%	3%	1%	3%
Initial body weight (g)	16.7	18.7	16.5	16.6	18.9
Weight gain (g/4 weeks)	29.1	30.9	27.4	28.3	30.4
Feed intake (g/day)	4.05	5.06	4.10	3.98	4.51
Feed efficiency	0.32	0.41	0.38	0.34	0.39
Mortality (%)	0	0	0	0	0

ose 복합체의 결합이 매우 강하기 때문에 생각된다. 그러나 SCP 생산은 적었지만 재재소에서 막대하게 쏟아지는 톱밥을 기질로서 사용할 수 있다면 기질 처리 시의 분쇄과정이 생략되어 경제적으로 많은 잇점이 있어 이들의 기질 이용을 위해서는 기질 전처리 방법이 재검토되어야 한다고 사료된다.

SCP의 아미노산 분석

SCP의 필수아미노산을 조사한 결과는 Table 6과 같다. Phenylalanine이 8.35 g/100 g으로 가장 많았으며 분석상 tryptophan은 측정할 수 없어 비교할 수 없었지만 비교적 필수아미노산의 함량이 FAO 표준단백질이나 다른 식물성 단백질에 비해 많았으며 특히, 함황 아미노산인 methionine의 함량이 월등하여 단백질원으로서의 영양적 가치는 우수하다 할 수 있겠다.

예비동물 사육실험

SCP 사료의 예비동물 사육실험 결과는 Table 7과 같다. 사료섭취량 및 사료효율은 1%의 SCP 섭취군이 가장 좋았으나 체중증가량은 전 시험군이 11~12 g/mouse로서 각군간의 유의한 차이는 없었다. 폐사수에 있어서는 전 시험군에서 한마리도 나오지 않아 이 군체가 독성이 없음을 추측할 수 있다. KL-6 균주가 생산한 SCP의 영양가는 FAO 표준 아미노산 패턴과 비교할때 우수하였으나 체중증가량이 각군간의 유의한 차이가 없는 것은 본 균의 세포벽이 실험동물의 장내에서 제거되지 않은 것으로 생각되며 이는 직접 또는

간접적인 방법으로 본 균의 세포벽을 제거시킨다면 각군간의 유의성이 크게 나타날것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청의 93년도 농업산학협동 용역 연구과제 연구비 지원에 의해 일부 수행된 것으로 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- Han, Y. W., C. E. Dunlap, and C. D. Callihan (1971) Single cell protein from cellulosic wastes. *Food Technol.* **25**(130), 32-35.
- 산업연구원 (1984) 바이오매스의 에너지 전환기술. 산업정보시리즈 제18호, 1-34.
- 강신권, 성낙계 (1989) 감귤과피 압착액을 기질로 한 SCP 생산. *산업미생물학회지* **17**(6), 556-562.
- 이남석, 경규향 (1991) 배추를 이용한 단세포단백질의 생산. *산업미생물학회지* **23**(5), 646-648.
- 김병홍, 배 무 (1977) 농산폐자원의 이용에 관한 연구(제9보). 섬유소 단세포단백질의 아미노산 조성 및 그의 영양학적 가치. *산업미생물학회지* **5**(4), 167-169.
- 고영희, 이계조, 배 무 (1977) 농산폐자원의 미생물학적 이용에 관한 연구(제7보). 섬유소 단세포단백질 생산의 Scale up 방법의 검토. *산업미생물학회지* **5**(2), 47-52.
- 배 무 (1992) *산업미생물학*. 대우학술총서 자연과학, 민음사, pp.76.
- 권오진, 정영건 (1994) 섬유소 분해세균의 분리 및 생리적인 특성. *한국농화학학회지* **37**(4), 226-233.
- 권오진, 정영건 (1994) *Cellulomonas* sp. KL-6의 증식에 미치는 열처리 및 항생물질의 효과. *한국농화학학회지* **37**(4), 221-225.
- 차현정, 김찬조 (1985) *Bacillus* 속균에 의한 균체의 단백질의 생산에 대하여. *한국농화학학회지* **28**(3), 209-217.
- Lowry, O. H., N. J. Rosebrough, A. L. Farr, and R. J. Randall (1951) Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* **193**, 265-275.
- Han, Y. W., and C. D. Callihan (1974) Cellulose fermentation; Effect of substrate pretreatment on microbial growth.

- Appl. Microbiol.* **27**(1), 159-165.
13. 이계준, 고영희, 배 무 (1976) 농산폐자원의 미생물학적 이용에 관한 연구 (제4보)기질 처리시의 알칼리, 산중화 조건에 대하여. *산업미생물학회지* **4**(3), 99-104.
 14. Mellenberger, R. W., L. D. Satter, M. A. Millett, and A. J. Baker (1971) Digestion of aspen, alkali-treated aspen, and aspen bark by goats. *J. Animal Sci.* **32**(4), 756-763.
 15. Huang, T. L., Y. W. Han, and C. D. Callihan (1971) Application of the Lowry method for determination of cell concentration in fermentation of waste cellulose. *J. Ferment. Technol.* **49**(6), 574-576.
 16. 변유량, 권태완, 지규만, 김춘수 (1972) 석유탄화수소를 이용한 단세포 단백질의 생산에 관한 연구 V. 균체의 회수, 정제 및 예비 동물사육 시험. *한국식품과학회지* **4**(4), 252-258.
 17. Tsuchida, T., S. Miyashiro, H. Enei, and S. Udaka (1980) Protein production in chemically defined medium by *Bacillus brevis* No. 47. *Agric. Biol. Chem.* **44**(10), 2291-2295.
 18. 강태홍 (1984) 농산부산물의 사료화. *한국농화학회지* **27**, 18-27.
 19. Burt, A. W. A. (1973) Symposium on processing raw materials to improve their nutritive value as animal feeds. *J. Sci. Food Agric.* **24**, 493-497.
 20. 신형태, 박윤창 (1980) 화학적 처리에 의한 볏짚의 사료가치 증진 연구. *한국축산학회지* **22**(1), 51-68.
 21. 성낙계, 윤한대, 심기환, 이천수 (1977) 폐섬유자원의 발효 공학적 이용에 관한 연구 (제7보) 역새풀을 기질로 한 섬유소 자화세균의 배양. *산업미생물학회지* **5**(3), 127-131.

Production of Single Cell Protein on Rice Straw and Their Utilities

Oh-Jin Kwon^{1*} and Yung-Gun Chung² (¹Department of Food Irradiation, Korea Atomic Energy Research Institute, PO Box 105, Yusong, Taejon 305-353, Korea; ²Department of Food Science and Technology, Yeungnam University, Gyongsan 712-749, Korea)

Abstract: Experiments were carried out to find out the optimal condition of SCP produced by *Cellulomonas* sp. KL-6 and to evaluate nutritional value for the protein of this organism. Intracellular- and extracellular proteins produced by this strain were estimated to be nearly maximum, 266 µg/ml and 37 µg/ml, in the medium containing 0.001% of thiamin after 5 days cultivation. When used rice straw as carbon source for the cell growth of this organism after crushing them by cutting mill, and treating them with 1.0% of NaOH and 10.0% of NH₄OH at 80°C for 30 minutes and neutralizing continuously them with 85% of H₃PO₄, SCP production rates were very increased to 1.63 g/l (NaOH) and 1.47 g/l (NH₄OH), respectively than 0.5 g/l produced in untreated rice straw. We compared their amino acids patterns with that of FAO provisional patterns. Amino acids content of strain KL-6 was excellent. However, when intended these cell mass to use in practical animal feeding test it would be advisable that destruction or lysis of cell wall should be done.

*Corresponding author