

돈분폐액 배양 *Spirulina platensis*의 화학적 조성 및 생물학적 사료가치

오상집 · 정연종 · 이준엽 · 이현용¹

강원대학교 사료생산공학과

Chemical Compositions and Biological Feeding Values of *Spirulina platensis* Grown at Swine-Waste Effluent

S.J. Ohh, Y.J. Jeong, J.Y. Lee and H.Y. Lee¹

Department of Feed Science & Technology, Kangwon National University

Chuncheon, Korea 200-701

ABSTRACT

To evaluate the nutritive values of outdoor mass cultivated *Spirulina platensis*, both chemical analysis and bio-assay were carried out using adult cockerels.

Blue-green algae, *Spirulina platensis* contained about 71g/100g DM of crude protein with balanced amino acid profiles although methionine is liable to be limiting to animals.

Compared to fish meal, calcium content and calcium : phosphorus ratio of the *Spirulina* were not suitable in terms of animal requirements.

Reasonable amount of γ -linolenic acid(C_{18:3} ω6) in *Spirulina platensis* draws a clinical attention due to its historically recognized pharmacotherapeutic functions.

Metabolizable energy contents of *Spirulina* were 3.67 and 3.11 mcal/kg DM for TME_n and AME_n, respectively, which therefore, can be a reliable energy source for poultry.

True amino acid availabilities of essential amino acids of *Spirulina platensis* were higher than 90% for poultry, which is better than comparative ingredient like fish meal.

Overall data from both chemical analysis and bio-assay demonstrated that the *Spirulina platensis* could be a favorable protein feedstuffs for poultry.

(Key words : *Spirulina platensis*, nutrients composition, TME, amino acid availability)

서 론

사료 또는 식량자원으로서 새로운 단백질자원을 개발하고자 하는 것은 매우 중요한 과제인 동시에 관심의 초점이 되어왔다. 특히 단백질 자원으로서 미생

물이나 미세조류를 포함하는 단세포단백질(single cell protein, SCP)은 대부분 단백질 함량이 높고 그 아미노산 조성도 우수하여 (Kharatyan, 1978) 인류의 미래식량자원으로 거론되기도 하였다.

한편 bacterial protein의 경우 핵산의 함량이 높고 산업폐기물로 부터 유래하는 독성 물질의 오염 가능성

¹ 강원대학교 식품공학과(Department of Food Engineering, Kangwon National University)

본 연구는 과거처 특정연구개발비(1994)에 의하여 수행되었음.

이 가능성이 제기되어 왔다(Hintz 등, 1966). 그러나 *Spirulina algae*의 경우 bacterial SCP에 비하여 핵산의 함량이 적고 식량으로 이용되었던 전례(Olson과 Allermann, 1987; Durand-Chastel과 Clement, 1975)가 있어 사료자원 또는 식량으로서의 잠재성이 높은 것으로 평가되어 왔다.

그러나 아직까지도 가축의 분뇨폐기물에서 배양된 *Spirulina*의 화학적 조성이나 실험동물 및 가축을 이용한 생물학적 사료가치는 체계적으로 평가된 바 없다. 물론 fungi biomass의 경우 쥐를 이용한 생물학적 평가에서 소화율이 76%, 생물가 53%, 정미단백질이 용율(NPU) 40%수준으로서 대두박의 87%, 59% 및 53%에 비하여 낮은 것으로 평가되었으며 (Barker 등, 1982), petroleum hydrocarbon yeast의 경우 산란계에서의 조단백질 이용율이 83% 수준이었고 ME가는 3,045 kcal/kg인 것으로 평가되었다(김춘수와 이남형, 1975). *Spirulina*의 경우 정확한 학명은 밝혀지지 않았으나 폐지에서의 단백질 소화율이 76%, DE 3,264 kcal/kg, 어린 병아리에서 AME 3,000 kcal/kg등이 보고된 바 있다(Protector, 1980).

따라서 본 시험에서는 *Spirulina*의 화학적 조성을 체계적으로 분석하여 그 잠재적 사료가치를 평가하고 또한 수탉성계를 이용한 TME측정법(Sibbald, 1976)을 통하여 배양된 *Spirulina*의 생물학적 이용성을 평가하고자 본 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시험설계

*Spirulina platensis*의 TME, AME와 total amino acid availability(TAAA), appaient amino acid availability(AAAA)를 측정하기 위하여 일반 배합 사료를 기초사료(Basal)로 하고 기초사료 50%에 50%의 *Spirulina platensis*(Basal 50 + SP 50)를 첨가시킨 사료와 100% *Spirulina platensis* 급여구 등 3가지 사료를 준비하였다.

2. 공시동물 및 시험사료

춘천부화장에서 부화된 백색 육용종계 중에서 체중이 동일한 수탉 12수를 선발하여 사용하였으며, 철제 대사

cage에 1수씩 완전임의 배치하였다. 3회 반복하여 시험하는 동안 1회 반복때마다 일정한 순서로 윤환하면서 시험하였고 기초시험사료(Basal)는 일반 시중에 시판되고 있는 배합사료(Table 1)를 사용하였다.

Table 1. Formula and chemical compositions of basal diet

Ingredients	%
Yellow carn	48.90
Wheat	23.00
Wheat bran	10.91
Soybean meal	7.12
Rapaseed meal	12.52
Gluten feed	2.00
Corn gluten meal	1.00
Fish meal	1.50
Animal fat	0.60
Limestone	0.86
Tricalcium phosphate	1.05
Salt	0.13
Vitamin premix	0.13
Mineral premix	0.08
Antibiotics	0.05
Choline chloride	0.05
Methionine(50%)	0.10
Total	100.00
Calculated composition:	
ME(kcal /g)	2.91
CP(%)	16.65
Ca(%)	0.77
P(%)	0.45
Methionine(%)	0.25
Lysine(%)	0.49

3. 시험방법

TME 측정전 7일간을 예비 사양기간으로 하였으며 24시간 절식시킨 후 Sibbald(1976)의 방법에 따라 강제급여하였다. 강제급여는 1수 30 g씩 mash상태의 공시사료를 강제 급여하였으며 채분시간은 48시간으로 하였다. 분판에 떨어진 우모와 비듬을 깨끗이 제거하였으며 채분한 것은 5% HCl을 처리한 상태로 dry oven에서 60℃로 48시간 건조시켰으며 건조 직후 칭

량하여 건물배설량을 구하여 풍건상태로 환원시킨 후 수분, 조단백질, 에너지가, 그리고 아미노산 함량을 구하였다. 물은 전 시험기간 동안 자유섭취시켰다. 각 시험사료당 3반복, 반복당 1수씩 공시하였으며 3회 반복 시험하였고, 매회 시험마다 3마리를 절식시켰다. 매시험 후에는 7일간의 회복기간을 두었으며 강제급여는 철재 funnel을 이용하였다.

4. 화학분석 및 통계분석

사료는 가는 mash형태로 분쇄하였으며 유리 시료병에 밀봉하여 보관하였다. N정량은 macro-Kjeldahl

법으로 분석했으며 GE는 adiabatic oxygen bomb calorimeter(Parr 1241)로 측정하였다. 아미노산은 HPLC(Waters 486)로 분석하였으며 일반분석은 AOAC(1980)에 준하여 분석하였다.

지방산은 FFAP column을 이용하여 GC(Varian 3600)을 통하여 분석하였고 미량광물질은 atomic absorption spectrophotometer(SpectrAA-20Plus)를 이용하여 분석하였다. 모든 자료는 분산분석을 실시하였고 처리간 비교는 Duncan의 다중검정방법(Steel and Torrie, 1980)을 이용하였다.

Table 2. Chemical composition of the waste-cultured *Spirulina platensis*

Nutrients	<i>Spirulina</i>	Menhaden fish meal ¹
Proximate analysis(g /100g DM) :		
CP	71.2	66.7
Crude fat	9.1	10.5
Carbohydrate	10.9	2.0
Crude ash	8.8	20.8
Minerals(mg /kg DM) :		
Ca	1,180	56,500
P	8,280	31,600
Cu	67	12
Cd	19	—
Ni	30	—
Fe	9,831	524
Zn	202	162
Mn	467	37
Fatty acids(mg /kg DM) :		
C _{14:0}	2,376	2,080
C _{16:0}	17,975	4,222
C _{16:1}	3,863	2,496
C _{18:0}	1,569	624
C _{18:1}	12,086	2,329
C _{18:2} (ω 6)	2,791	249
C _{18:3} (ω 6)	463,	—
C _{18:3} (ω 3)	665	540
C _{20:4} (ω 6)	6,074	—
C _{20:5}	—	2,704
C _{22:6}	—	1,457

¹ Source : NRC(1982)

결과 및 고찰

1. *Spirulina platensis*의 화학적 조성

본 시험에서 배양된 *Spirulina platensis*의 주요 영양소 함량을 살펴보면 Table 2와 같다.

표에서 보는 바와 같이 단백질의 함량이 71.2%로서 주요 비교대상 원료사료인 어분의 66.7%보다 높은 것으로 나타났으며, 지방의 함량도 9.1%에 이르러 에너지원으로서의 가능성도 높은 것으로 평가되었다. *Spirulina*는 어분에 비하여 회분의 함량이 낮은 것으로 평가되며 특히 주요 광물질인 Ca과 P의 부족이 염려될 뿐 아니라 Ca:P의 비율도 어분의 1.78:1에 비하여 1:7로서 가축의 평균 요구수준을 1~2:1이라고 할 때 오히려 P의 공급량이 상대적으로 높은 것으로 평가된다.

미량광물질의 함량은 미생물 체단백질의 경우 주로 배지의 광물질 함량에 따라 큰 영향을 받게 된다. 본 시험에서 분석된 *Spirulina*의 경우 특히 철분의 함량이 높은 것으로 나타났는데 이는 미량광물질중 특히 철분 함유량이 81~243 mg/L(Taiganides, 1986)로서 상대적으로 높은 돈분배지에서 생산되었기 때문인 것으로 판단된다.

지방산의 조성을 살펴보면 어분의 경우 eicosapentanoic acid(C_{20:5}) 및 docosahexanoic acid(C_{22:6})의 함량이 높은 반면에 waste에서 배양된 *Spirulina*의 경우 palmitic acid(C_{16:0}) 및 oleic acid (C_{18:1}, ω9)의 함량이 가장 높은 것으로 분석되었다. 이는 Switzer(1980)가 보고한 *Spirulina*의 경우 linoleic acid (C_{18:2}) 및 linolenic acid (C_{18:3})의 함량이 가장 높았던 것과는 상이하였다. 이는 배양상태에 따라서 동일한 yeast biomass의 경우에도 지방산의 조성이 상당히 다른 경향을 보였던 Barker 등(1982)의 경우로 보아 본 *Spirulina*가 waste배지에서 배양되었기 때문인 것으로 판단되었다. *Spirulina*의 경우 어분과는 달리 γ-linolenic acid(C_{18:3}, ω6)의 함량이 높았는데, 이는 γ-linolenic acid의 여러가지 항병적 기능(Horrobin, 1990)의 측면에서 관심의 대상이 되고 있다.

TME측정에 사용된 *Spirulina platensis*의 필수아미노산 함량은 Table 3에서 나타난 바와 같으며 *Sp-*

*irulina platensis*의 아미노산 함량을 대부분의 배합에서 단백질 공급원으로 사용하고 있는 대두박이나 어분과 비교할 때 가끔사료에서 제1제한 아미노산인 methionine의 함량이 어분의 86%수준이지만 대두박의 2배에 가까운 172%나 되며, lysine의 함량이 있어서는 어분의 53%에 불과하지만 대두박의 68%수준에 해당된다. 그 밖의 아미노산 조성에서도 대두박보다는 아미노산 함량이 높지만 어분보다는 다소 낮은 경향이 있다.

Table 3. Essential amino acid compositions of *Spirulina platensis*

Amino acids	g / 100g DM
Cysteine	0.47
Methionine	1.03
Phenylalanine	2.00
Tyrosine	1.96
Threonine	2.31
Valine	2.77
Iso-leucine	2.55
Leucine	3.90
Lysine	1.97
Histidine	0.74
Arginine	1.93
Total EAA	21.63

2. *Spirulina platensis*의 대사에너지

분석대상 단백질원인 *Spirulina platensis*의 대사에너지(ME)는 Table 4와 같다.

*Spirulina*의 TME는 3,670 kcal/kg으로서 에너지 사료로 이용되고 있는 옥수수사료 3,500 kcal/kg보다도 에너지가 높은 결과를 보여주고 있으며, 질소 축적률을 보정해준 TME에서 TME가보다 다소 증가하였다. 전반적으로 AME가 TME가 보다 낮은 결과를 나타내고 있는데, 이러한 결과는 분으로 배설되는 대사분에너지와 내생뇨에너지가 높은 결과라 사료된다. Sibbald(1976)는 분으로 손실되는 에너지 중에서 대사과정에서 생성되는 대사분에너지(metabolic fecal energy; FEm)와 내생뇨에너지(endogenous urinary energy; UEe)가 상당량 있음을 지적한 바 있다. 본 시험에서는 AMEn에 비하여 AME

Table 4. Metabolizable energy contents of *Spirulina platensis*

Energy	kcal /kg DM
GE	4,751±225 ¹
TME	3,650±172
TME _n	3,670±165
AME	3,500±185
AME _n	3,110±237

¹ Mean±SD

가 높은 것으로 나타났는데 이는 본 시험에서 급여구의 질소 축적률은 양의 값인데 반하여 질식구의 질소 축적률은 음의 값으로 나타났기 때문인 것으로 판단된다.

한편 본 시험에서 *Spirulina*의 AME가 Protector(1980)의 3,000 kcal/kg에 비해 다소 높은 것은 아마도 본 시험의 *Spirulina*의 지방함량이 9.1%로서 Protector(1980)의 5.4%에 비하여 높았기 때문인 것으로 판단된다.

4. *Spirulina* 단백질의 아미노산 이용률

*Spirulina platensis*의 필수아미노산 이용률은 Ta-

Table 5. Amino acids availabilities of *Spirulina platensis* by precision-fed adult cockerel

Amino acids	Mean±SD, %	
	TAAA ¹	AAAA ²
Cysteine	92.70±1.41	85.82±1.41
Methionine	95.80±1.21	92.83±1.12
Phenylalanine	89.95±2.18	87.31±2.18
Tyrosine	90.50±2.04	88.10±2.04
Threonine	91.32±1.83	87.87±1.83
Alanine	87.60±2.63	85.32±2.63
Valine	86.77±2.87	83.83±2.83
Iso-leucine	89.51±2.17	87.32±2.17
Leucine	88.86±2.23	86.70±2.23
Lysine	95.00±1.62	92.01±3.72
Histidine	87.94±1.01	79.83±3.18
Arginine	91.10±1.56	88.23±2.69
Mean	90.59±2.81	87.10±1.42

¹ Total available amino acids.² Apparent available amino acids.

ble 5와 같다. *Spirulina platensis*의 진정필수아미노산 이용률은 평균 90.6%로서 다른 원료사료의 아미노산 이용률과 비교할 때 대두박, 밀, 옥수수의 아미노산 이용률과 같으며, 어분(50%)보다는 약 10% 더 이용률이 높은 결과를 보이고 있다. 또한 TAAA가 AAAA가 보다 높은 결과를 보여 주고 있으며 이러한 결과는 배설물로 손실된 대사분과 내생노의 아미노산의 함량이 높은 결과라 생각된다. 또한 대사분과 내생노의 아미노산 손실을 TAAA방법에서는 보정하였지만, AAAA방법에서는 보정하여 주지 않은 결과이며 AAAA가 보다는 TAAA가 더 정확한 측정치라 판단된다. 가금사료에서 부족되기 쉬운 methionine과 lysine의 이용률에서 옥수수, 밀의 methionine 이용률 95.8, 94.5와 같은 97.8%였으며 이것은 국내산 대두박의 methionine 이용률 70.3%과 어분(50%)의 71% 보다는 우수한 결과이다. Lysine의 이용률에서도 원료사료 중에서 lysine의 이용률이 가장 높게 나타난 옥수수 92.0%, 밀 95.3%와 대등한 이용률을 보여주고 있으며, 국산 대두박의 86.5%, 어분(50%)의 85.3%보다는 상당히 높은 결과를 나타내고 있다. 아미노산 이용률을 근거로 *Spirulina platensis*의 유효 아미노산 함량을 계산하여 보면 유효 methionine의 함량이 1.03 g/100g DM으로 나타나 유효 methionine의 함량이 대두박의 0.51 g에 비하여 상당히 높은 것으로 나타났다. 유효 lysine의 함량에 있어서는 1.97 g으로서 국산대두박의 2.60 g에 비하여 낮은 것으로 나타나 사료배합 과정에서 대두박과 겸용시 필수아미노산의 공급이 유리해질 것으로 판단된다. Sibbald(1989)는 영양소 이용성 평가시 24시간 동안만 분을 수집할 경우 불완전 배설로 이용률이 상향 평가될 가능성이 있다고 하였으나, 본 시험에서는 48시간 동안 분을 채취하여 상향 평가될 가능성은 적어졌다고 할 수 있을 것이다. 결과적으로 볼 때 *Spirulina platensis*는 가금사료의 배합을 작성시 비교적 저렴한 단백질원인 대두박과 상호 보완적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다

적 요

사료단백질원으로서 *Spirulina platensis*의 사료적 가치를 일반성분, 광물질, 지방산 및 아미노산의 화학

적 평가와 생물학적인 에너지 이용성 및 아미노산 이용성을 성계 수탉을 이용한 TME측정법으로 평가하였다. *Spirulina platensis*의 조단백질 함량은 71.2 g/100g DM이었고 우수한 아미노산 조성을 가지고 있었으나 가축의 사료원으로 단독 공급시 methionine 이 다소 부족할 것으로 예견되었다. 광물질의 경우 Ca에 비하여 P의 함량이 높아 일반적인 가축의 요구 비율과는 상이한 것으로 판단되었으며, 지방산의 경우 생물체내 건강약리적 기능을 가지는 γ -linolenic acids를 함유하고 있는 것으로 나타났다. *Spirulina*의 TME는 3.67 kcal/g으로서 상당히 우수한 에너지원으로 판단되었으며 가금에 있어서 필수아미노산의 이용율도 90%이상인 것으로 나타났다.

결론적으로 화학적인 방법과 생물학적인 방법을 통하여 평가한 미세조류 단백질인 *Spirulina platensis*는 훌륭한 사료 단백질원이 될 수 있을 것으로 판단되었다.

(색인 : 스피롤리나, 영양소함량, TME, 아미노산 이용성)

인용문헌

- AOAC 1990 Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official 24 Analytical Chemists. Washington DC.
- Barker TW, Patton AM, Marchant R 1982 Composition and nutritional evaluation of microbial biomass grown on whisky distillery spent wash. J Sci Food Agri 33:638-646.
- Durand-Chastel H, Clement G 1975 *Spirulina* algae: Food for tomorrow. In: 5 Proc 9th Int'l Congress on Nutr(Chaves A et al, ed) 3:85-90. Basel, Switzerland.
- Fisher C 1989 Energy evaluation of poultry rations. Pages 27-53 In: Recent Developments in Poultry Nutrition (Cole DJA and Haresign W ed) Butterworths, London.
- Hintz H, Heitman H, Weir W, Tortell T, Mayer J 1966 Nutritive value of single-cell protein produced by chaetomium cellulolyticum grown on sewage. J Anim Sci 25:675.
- Horrobin DF 1990 Gamma-linolenic acid. Reviews in Contemporary Pharmacotherapy 1:1-41.
- Kharatyan SG 1978 The microbe as a source of food. Ann Rev Microbiol 16 32:301-307.
- NRC 1982 United State-Canadian Tables of Feed Composition. NAS-NRC, Washinton DC.
- Olson J, Allermann K 1987 Microbial biomass as a protein source. In: Basic Biotech(Bullock J and Kristansen B ed) Academic Press, NY.
- Protector 1980 Tables de composition des matières premières destinées à l'alimentation animale Comit d'Etude International Protector, Bruxelles Belgium.
- Sibbald IR 1976 A rapid bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. Poultry Sci 55:303-308.
- Steel RGD, Torrie JH 1980 Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill, NY.
- Sibbald IR 1989 Metabolizable energy evaluation of poultry diets. Pages 12-26 In: Recent Developments in Poultry Nutrition (Cole DJA and Haresign W ed). Butterworths, London.
- Taiganides EP 1986 Animal waste management and wastewater treatment. pages 91-153 In: Animal Production and Environmental Health(Strauch D ed) Elsevier, Amsterdam.
- 김춘수, 이남형 1975 석유자화효모의 사료적 가치에 관한 연구(II), 한국축산학회지 11 17 : 275-278.