

628,746  
L29317

최 종  
연구보고서

# 미세조류를 이용한 돈분폐기물의 처리 및 고단백 biomass의 생산 및 가공기술 개발

Process Development of Treating Swine  
Wastes and Producing High Protein Biomass

양돈 폐수 처리 공정 개발  
Process development for treating swine wastes

돈분 고품분 및 Spirulina 포함  
고단백 사료 가공 특성 평가  
Assesment of feeds of Spirulina biomass and pig manures

연구기관  
강 원 대 학 교

농 립 부

## 최 종 보 고 서

1996년도 농림특정연구사업에 의하여 완료한 미세조류를 이용한 돈분폐기물의 처리 및 고단백 biomass 의 생산 및 가공기술 개발에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 8부  
2. 최종보고서 디스켓 1매

1998. 12. .

주관연구기관 : 강 원 대 학 교  
총괄연구책임자 : 이 현 용 (인)  
주관연구기관장 : 총 장 직 인

농림부장관 귀하

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “미세조류를 이용한 돈분 폐기물 처리 및 고단백 biomass의 생산 및 가공 기술 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 12. .

주관연구기관명 : 강원대학교

총괄연구책임자 : 이 현 용

연 구 원 : 채 병 조

# 요 약 문

## I. 제 목

미세 조류를 이용한 축산 폐기물의 처리 및 고단백 Biomass 의 생산 및 가공 기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

국내 양돈업에 매년 소요되는 사료는 연간 600 만톤 (1996년 기준) 정도로서 우리 나라 양돈가는 연간 3900억원의 사료 비용을 지급하고 있다. 이같은 사료 비용을 절감하는 방안은 여러 가지가 있겠으나 우리 나라와 같이 원료 사료의 대부분을 외국으로 부터 수입에 의존하는 경우 대체 원료 사료의 개발과 폐기물 자원의 사료화가 가장 가시적인 시도라고 할 수 있다.

또한 양돈 과정에서 수반되는 환경오염을 최소화하는 것은 배출된 환경 오염원을 경제적인 방법으로 처리하는 것인데 이는 또한 현시점에서 폐기물을 사료로 전환하는 처리 기술을 개발하는 것이 가장 경제적인 것이다.

이같은 기술개발을 위해 여러 가지 방법이 논의될 수 있으나 광합성 미세조류인 *Spirulina* 를 이용하여 돈분 폐기물의 처리와 아울러 고단백 사료원의 생산이 가장 가능성이 클 것으로 평가되고 있다. 이는 미세 조

류인 *Spirulina* 가 돈분 폐수에서도 성장할 뿐아니라 성장 후 그 자체가 단백질 사료로서의 가치가 우수한 것이 입증되고 있기 때문이다. 따라서 이를 불가식 사료와 돈분내 고형분을 가공 처리하여 양돈 사료로 재 환원 하는 방법을 접목시켜 우리 나라 양돈가 들의 어려움인 사료비 문제와 양돈장 분뇨 처리 문제를 동시에 해결할 수 있는 방안을 모색하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 양돈장에서 방출되는 폐수의 효율적 처리를 위해 미세 조류의 하나인 *Spirulina*의 최적 배양 조건을 확립해 이 공정을 실제 돈사에 적용해 field에서 처리 가능한 공정을 개발하는 것이 한 분야이며, 이 공정에서 나오는 부산물인 *Spirulina*를 이용한 고단백 사료원을 개발함과 동시에 양돈장에서 나오는 고형분을 사료원으로 활용하는 기술을 개발해 폐기물 처리와 함께 새로운 사료원을 개발하는 것이 다른 한 분야로 구성되 있다. 이를 위해 다음과 같은 연차별 연구 내용으로 추진했다.

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (1996)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Spirulina 최적 배양 조건 확립</li> <li>○ 돈분고형물의 물리 화학적 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 배양 주요조건의 규명</li> <li>◦ 돈분처리능력(오염감소능력) 평가</li> <li>◦ Spirulina의 돈분적응력 향상</li> <li>◦ 돈분 고형분의 물리적 및 화학적 성질 평가</li> </ul>
2차 년도 (1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Spirulina 대량배양 기술확립</li> <li>○ 돈분고형분의 처리 기술 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 1차년도에서 결정된 배양조건의 scale-up을 위한 조건별 합리적 model 개발</li> <li>◦ 옥외 배양 장치의 설계 및 제작을 위한 hardware 기술 개발</li> <li>◦ Spirulina의 고부가 산물 검색 및 평가</li> <li>◦ 고형분의 extrusion가공기술 개발</li> <li>◦ 고형분 가공사료의 사료적 가치 평가</li> </ul>
3차 년도 (1998)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Spirulina 대량 산업화 기술 확립</li> <li>○ 폐기물 생산사료의 생물학적 가치 평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 양돈장에서의 Spirulina 배양기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 옥외대량배양장치설치및운용</li> <li>- 대량배양 및 효율적 운용체계 확립</li> </ul> </li> <li>◦ 폐기물 사료의 사료가치 평가 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고형분 extrusion 기술 개발</li> </ul> </li> <li>◦ 분뇨악취의 제어기술 개발</li> <li>◦ Spirulina를 이용한 공정 부산물 활용기술확립</li> </ul>

#### IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 본 연구 결과의 활용을 위해서는 정부에서 축산 농가에 일정 비율로 설치비를 지원해 각 농가마다 보급 형태의 처리 시설이 있도록 해야 함.
2. 또한 본 결과의 완성도를 높이기 위해 축산 폐수 처리 설비 업체들과의 공동 연구를 통해 compact 한 형태의 in-situ system 개발에 관한 지속적인 연구가 필요할 것임.

## SUMMARY

The kinetics of growing microalga, *Spirulina platensis* was investigated to treat swine wastes by optimizing growth conditions. Temperature was varied from 15 to 40°C at three different light intensities, 6 W/m<sup>2</sup>, 12W/m<sup>2</sup>, and 24W/m<sup>2</sup>. Specific growth rate was increased as temperature increased up to 30°C. Maximum specific growth rate was estimated as 0.40(1/day). The activation energy was estimated as 13.5(kcal/mol) by employing Arrhenius relationship. Zero point two-four (1/day) of specific growth rate was obtained from batch cultivation in the 30% swine wastes, compared to 0.31 (1/day) from clean culture.

Removal of total phosphorus, total nitrogen, and ammonium was used as indicator of the depurative efficiency of the biological system. It was observed that *Spirulina platensis* reduced 70-93 % of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, 67-93 % of inorganic nitrogen, 80-90 % of COD, and 37-56 % organic nitrogen in the various concentrations of swine wastes for 12 days in batch cultivation. Rate constants for removing nitrates and phosphates in treating swine wastes were calculated as 0.17 (1/day) and 0.14 (1/day) in the first order reaction, respectively. One point five-two (g/L) of maximum cell density was maintained at 0.20 (1/day) of dilution rate in the 20% swine wastes for 30 days in continuous cultivation.



An open pond type photobioreactor was employed for mass cultivation of *Spirulina platensis* in the treatment of swine wastes the growth parameters from different cultivation conditions were compared. One point five-two (dry-g/L) of maximum cell density was obtained from continuous cultivation in a 14 L photobioreactor. In an outdoor cultivation (working volume was 1,500 L), dilution rate and maximum specific growth rate were estimated as 0.20(1/day) and 1.44 (g/L), respectively. It proves that the outdoor mass cultivation of *Spirulina platensis* may be based on optimal environmental condition.

The chemical composition of the biomass obtained from the process showed 58.7% of protein, 13.5% of lipid, and 17.6% of ash, respectively. It also shows that amino acid profile of the biomass produced by treating swine wastes in a 125 L outdoor pond were similar to that of commercially available health food. The inhibitory effects of various extracts from *Spirulina platensis* on human carcinoma cells and normal cells were also studied. Acetone extract exhibited the greatest antitumor activity against human lung carcinoma (A549) and human liver carcinoma(Hep3B) cells, while ethanol extract showed the least cytotoxicity against normal human liver cells.

A series of experiment was conducted to investigate the nutritive value of both swine manure and *Spirulina platensis* as a feed

ingredient. In view of the effective recycling of animal manure, the physico-chemical characteristic of swine manure including the thermal reaction curve of the simulated swine manure by DSC were investigated. After extrusion processing of swine manure, the durability of pellet, the degree of odor reduction by olfactory detection and the nutrients digestibility of the manure were evaluated by employing growing pigs. Also, the blue-green algae, *Spirulina platensis* is known as one of the richest protein feed resources and can be considered as a dietary protein supplement in animal diet. So, Nutrients digestibility of *Spirulina platensis* for growing pigs was evaluated.

Finally, the nutritional value of the swine diets with different incorporation of both *Spirulina* and swine manure were prepared and tested by digestion study and growth study. To use of both *S. platensis* and swine manure as a feed resources for growing pigs, addition level, addition method and processing method should be considered to get the best possible result.

# CONTENTS

1. Introduction	
1.2 The purpose and scope of the research -----	11
2. Process development for treating swine wastes	
2.1 Introduction -----	14
2.2 Materials and methods -----	17
2.3. Results and discussion -----	26
2.4 Conclusions -----	33
2.5 References -----	35
2.6 Tables and figures -----	37
3. Assement of feeds of Spirulina biomass and pig manures	
3.1 Introduction -----	54
3.2 Materials and methods -----	57
3.3. Results and discussion -----	65
3.4 Conclusions -----	80
3.5 References -----	83
3.6 Tables and figures -----	87
4. Conclusions -----	106

# 목 차

1. 서론	
1.1 연구 개발의 목적과 범위 -----	11
2. 양돈 폐수 처리 공정 개발	
2.1 서설 -----	14
2.2 실험 방법 -----	17
2.3 결과 및 고찰 -----	26
2.4. 결론 -----	33
2.5 참고 문헌 -----	35
2.6. 도표 및 그림 -----	37
3. 돈분 고형분 및 Spirulina 포함 고단백 사료 가공 특성 평가	
3.1. 서설 -----	54
3.2 실험 방법 -----	57
3.3 결과 및 고찰 -----	65
3.4 결론 -----	80
3.5 참고문헌 -----	83
3.6. 도표 및 그림 -----	87
4. 요약 -----	106

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구 개발의 목적과 범위

우리 나라 양돈의 국제경쟁력을 획득하고 저 투입 지속 농업(Low Input Sustainable Agriculture) 화 하기 위해서는 가장 필요한 과제가 두 가지로 요약된다.

첫째로는 생산 비중 가장 많은 비중을 차지하는 사료비용을 절감하는 것이고 둘째로는 양돈 과정에서 수반되는 환경오염을 최소화 하는 길일 것이다. 사료 비용을 절감하는 방안은 여러 가지가 있겠으나 우리 나라와 같이 원료 사료의 대부분을 외국으로 부터의 수입에 의존하는 경우 대체 원료 사료의 개발과 폐기물 자원의 사료화가 가장 가시적인 시도라고 할 수 있다. 또한 양돈 과정에서 수반되는 환경오염을 최소화 하는 것은 배출된 환경 오염원을 경제적인 방법으로 처리하는 것인데 이는 또한 현시점에서 폐기물을 사료로 전환하는 처리 기술을 개발하는 것이 가장 경제적인 것이다.

광합성 미세 조류인 *Spirulina* 는 단백질을 60-70% 이상 함유하고 있으면서도 단세포 식물로서 고단백 식품원으로 사용이 가능한 생물체다. 이외에도 이 조류는 일반 생활 폐수, 축산 폐수에서도 생육이 가능한 것으로 보고되고 있다. 또한 본 실험실에서 이같은 조류의 대량 배양에 관한 연구를 하고 있는 시점에서 이 미세조류가 돈분 폐수에서도 성장하여 폐수내 유기물들을 분해하며 공정 부산물은 조류 그 자체가 단백질 사료 로서의 가치가 우수한 것으로 나타났다. 따라서 이를 불가식 사료와 돈분내 고형분을 가공

처리하여 양돈 사료로 재 환원하는 방법을 접목시켜 우리나라 양돈가들의 어려운 사료비 문제와 중, 소 규모 양돈장의 분뇨처리 문제를 동시에 해결할 수 있는 방안을 모색하고자 하는 것이 본 연구의 주된 목적이다.

이를 위해 1 차 연도에서는 미세조류인 *Spirulina platensis* 의 최적 배양 조건과 돈분내 생육 조건을 확립하며 축사에서 유출되는 돈분 고형물의 물리 화학적 평가에 주안점을 둔다. 이로서 미세 조류를 이용한 폐수의 처리 능력과 돈분 분해능 향상에 관한 연구가 진행되며 돈분 고형물들의 물리적 및 화학적 성질에 대한 정확한 규명이 이루어지고자 했다.

2차 연도에는 기 밝혀진 배양 조건을 이용해 공정 대형화에 중점을 뒤 각 배양 조건에 맞는 생육 model을 개발했다. 이와 함께 배양 공정을 옥외로 이동시 고액의 분리 장치, 배양조의 구조, 빛의 조절, 교반 장치 및 속도 조절, 폐수의 유, 출입 장치 등과 같은 hardware 적인 기술 개발에 초점을 맞춰 진행됐다. 또한 돈분과 폐수처리 공정 부산물로 나오는 조류를 이용한 고형분들의 extrusion 가공 기술 과 이에 따른 악취 제어 기술 개발이 중점적으로 시행됐다.

3 차 연도에서는 실제 field 실험으로 양돈장에 1500 L 규모의 폐수 처리 장치의 도안, 설계 및 장치를 실시했으며 이 배양조의 효율적 운용 체계를 구축하는데 연구의 중심을 뒀다. 6개월 이상 장기간 배양에 따른 온도, 광도의 조절 및 오염원의 효율적 제거 및 폐수 처리 능력의 유지 등과 같은 공정 변수들의 최적화를 위한 연구가 수행됐으며 실제 이 결과들을 바탕으로 다른 영세 축산 농가들에게 보급이 가능한 형태로의 제안이 이루어 졌다. 또한 폐기물의 사료 가치 평가와 새로운 사료원으로서의 개발을 위해 고형분 사출

공정을 개발하고자 했으며 미세 조류를 이용한 고부가 사료원에 대한 가치 평가와 함께 공정 부산물들의 이용 기술을 확립하고자 하는 것이 본 연구의 범위다.

## 제 2 장 폐수 처리 공정 개발 분야

### 제 1 절 서 설

경제적이고 효율적인 자원재 생산 기술의 개발 및 실용화는 우리 나라와 같은 저 자원 국가의 산업 경쟁력 및 농업 생산성 향상에 지대한 공헌을 할 수 있을 것이다. 양돈 산업 경우 국내 양돈 사료 비중 중 큰 비중을 차지하는 것이 단백질 원료비용으로서 이는 수입 가격으로 환산하더라도 연간 2700 억원에 이르게 된다. 따라서 이를 대체할 수 있는 단백질 급원을 개발할 경우 그 경제적 이득의 잠재력은 막대하다고 할 것이다. 표 1 에 나타난 바와 같이 국내 양돈 사료의 95 % 이상이 수입되서 사용되고 있는데 특히 주 사료 원의 대부분은 국내에서 생산시 경제성이 떨어져 양돈 농가의 경쟁력이 없는 상태이다.

표1. 국내 양돈 사료 생산량과 비용과 대체 효과 추정

항 목	내 용	참 고
국내 평균 돼지사육두수(만두)	570	사료협회(1994)
국내 연간 양돈사료 생산량(만톤)	450	사료협회(1994)
연간 양돈사료 비용(억원)	9,000	Kg당 200원기준
단백질 원료비용(억원)	2,700	배합비중 30%차지 기준
사료비중 5%대체비용(억원)	450	폐기물사료 대체예상비율



이같은 상황에 UR 개방에 따른 수입 축산물의 유입 및 IMF 에 기인한 수입 사료원의 급격한 상승과 같은 극한 환경 변화에 따른 축산 농가의 도산에 직면하고 있다. 또한 설상 가상으로 표 2 에도 나와 있는 바와 같이 영세 규모의 축산 농가에서 방출되는 폐수들은 여과없이 그대로 상하수원으로 유입 되 식수원의 근본적 오염에 의한 환경 오염의 주 원인으로 지목되고 있다. 양돈 과정에서의 분뇨 생산량 및 기타 오염원 배출량은 총 고형물로 환산하더라도 연간 약 72만 톤이 여과없이 그대로 배출되는 현실이다.

표 2. 양돈과정에서의 분뇨폐기물의 생산추정량<sup>1</sup>

구 분	구 분				
	생분뇨	총고형분	총질소	총인	총칼륨
년간 두당 생산량(T) <sup>2</sup>	0.931	0.126	0.0071	0.0031	0.0062
총 국내 추정량(T)	5,306,700	718,200	40,470	17,670	35,340

<sup>1</sup>. Taiganides(1987)의 산출기준참고

<sup>2</sup>. 체중 45Kg의 돼지를 기준체중으로 하여 산출하였음.

<sup>3</sup>. 국내 평균사육두수 570만두(월간사료 11(5), 1994)를 근거로 산출하였음.

하지만 폐수 처리 장치의 설치는 추가적 부담에 따른 양돈 농가의 도산에 불을 지피는 격으로 상당히 심각한 국면에 도달해 있는 실정이다. 이에 미세 조류를 이용하여 새로운 고부가 가치를 지닌 biomass 를 효율적으로 생산

하는 기술 개발이 절실한 실정이다. 특히 이같은 기술은 차세대 자원 개발 및 자원 재활용 측면에서 선도 기술로 인정되고 있으나 현재 양돈 폐기물의 경제적인 처리 방법이 실용화되어 있지 못한 상태이므로 양돈 산업의 지속을 위해서는 효과적인 분뇨 처리 방법이 요구되고 있다. 이에 본 연구진 들이 미세조류를 이용해 폐수 배양 기초 실험한 결과 돈분 폐수의 30%가 혼합된 배지 내에서 효과적인 성장을 할 수 있는 것으로 조사되었으며 수질 부영양화의 주요 원인 물질인 질소와 인의 감소가 확인되었다. 따라서 이들을 이용해 폐수와 조류의 동시 배양시 소기 목적과 함께 고단백 사료원의 생산이 가능할 것이라는 착안이 가능하다. 하지만 이들 공정의 개발 및 실용화를 위해서는 배양조의 scale-up을 위한 공정 대형화에 대한 연구가 필요하나 이들 고영 최적화에 대한 연구가 전무하며 배양 조건에 적합한 온도유지를 위한 저렴한 방법의 부재와 폐기물을 이용한 Mixotrophic culture에서의 대량 배양에 대한 연구가 극히 미미한 실정이다. 또한 공정의 경제성 확보를 위한 연속 배양시 harvesting 기술 개발의 부진과 배양 과정에서 제한이 되는 유입된 분뇨 및 불가식 사료로부터 유래하는 고형물 처리 문제가 선결 과제로 대두되고 있다. 이에 본 세부 과제는 이같은 문제점들을 해결하며 실제 축산 농가에서 직접 설치 운용이 가능한 형태의 배양조를 설치해 시범 운용을 통한 경제성 확보가 가능한 공정으로 개발하여 축산 농가 개량형으로 보급하고자 한다.

## 제 2 절 실험 방법

### 1. 균주 및 배양방법

본 실험을 위하여 사용된 균주는 *Spirulina plantensis* (LB 1926, UTEX, USA)를 사용하였다. 배지 조성은 A solution( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 0.041;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 24.4;  $\text{KCl}$ , 6.0;  $\text{NaNO}_3$ , 10.0;  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 3.0;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 5.0; Tris buffer, 10.0 in g/100mL ) 10mL; Vitamin  $\text{B}_{12}$ , 10 $\mu\text{g}$ /L; PI solution( $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 3.4g/L;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 1.21mg/L;  $\text{MnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 0.43mg/L;  $\text{ZnCl}_2$ , 31.5mg/L;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 1mg/L;  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 31.2mg/L)10mL ;chelate iron solution(중류수500mL에  $\text{Na}_2 \cdot \text{EDTA}$ , 10.0g;  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 500mL 0.1N HCl에 0.81g)3mL :  $\text{NaCl}$ , 36.0g/L; 중류수 926mL로 구성되었으며(2), pH는 10% HCl로 8.08로 조정하였다. 조제된 배지는 고압멸균기(Kuk Je Co.Korea)에서 121℃, 15분 동안 가압살균하여 접종하였다. *Spirulina plantensis*의 최적 생육조건을 결정하기 위한 회분식배양은 500mL Erlenmyer flask에 배지 200mL를 넣고 균주를 10%(v/v)되게 접종하였다. 빛은 20W White cool fluorescence lamp를 이용하여 조사하였다. 조도는 Quantum sensor(LICOR, Co. USA)를 이용하여 6, 12, 24W/m<sup>2</sup> 그리고 온도는 15, 25, 30, 40℃로 각각 조건을 달리하여 배양하였다. 돈분첨가 배양은 순수 인공배지에 5%, 10%, 20%, 30% 그리고 60%(v/v)로 첨가하여 균주를 배양하였다.

## 2. 배양 장치 및 배양 방법

14 L 배양조 배양과 1,500 L 옥외 배양조에서 각 회분, 유기식, 연속 배양을 실시했다. 14l 배양조는 배양 공정을 scale-up 하기 위한 pilot 규모의 배양 장치 (한국 발효기 제품, 인천)로서 균체 액과 돈분이 최대 70:30 (v/v)의 비로 혼합된 배양액을 유입 후 회분식으로 배양을 통해 일정 농도의 균체 수에 도달 한 후 working volume 12L 로 하고 dilution rate를 0.10(1/day)에서 0.25(1/day)의 범위에서 배양하였다. 이 배양조는 자동으로 pH, 온도, 용존 산소의 측정 및 조절이 가능하며 광원으로는 20 W 짜리 형광등을 배양조 양측에 설치해 거리를 옮기며 필요한 만큼의 광 에너지를 조사했다. 조사되는 광도는 Quantum sensor (Yellow Springs, USA) 를 이용해 측정했다.

이 같은 실험으로 얻어진 자료를 바탕으로 그림 1 과 같은 형태로 농가에 서 저가로 설치가 가능한 형태의 보급형 옥외 배양조를 만들어 배양을 실시했다. 교반은 propeller type 의 이중 교반기를 사용했으며 온도는 옥외 온도를 매일 측정했으며 field 에서 생육이 가능토록 이중 비닐 막을 씌워 온도 보존과 벌레등의 유입을 막았다. pH 와 용존 산소는 자동으로 측정 및 조절이 되도록 조절 장치를 부착했으며 비오는 날이나 야간에도 생육이 가능하도록 형광등을 부착해 광도를 조절했다. 연속 배양을 위해서는 배양조와 같은 자동 수위 조절 장치를 사용하면 옥외 배양시는 설치 및 유지 비용이 높아지므로 일정 기간에 일정 양을 유입하고 빼내는 pulse feeding 방식을 택해 배양했다. 이같이 배양조로부터 나오는 조류는 filter를 통해 증력에 의해 분리되는 방식으로 모아 태양 건조를 실시했다. 우기에는 열풍 건조기를 이용해 최종 수분이 11 % 이하가 되도록 했다.

### 3. 균체량, 배지내 유기물 및 COD의 측정

배양액은 Spectrophotometer를 이용하여 wavelenhgth, 560nm에서 cell density를 측정하였다. 건조균체량은 Whatman filterpaper(No.2)로 여과하여 105℃로 고정된 Drying Oven에서 3시간 건조하여 정량하였다. Chlorophyll a는 80% acetone으로 추출하여 663nm에서 흡광도를 측정하였다(1). TKN(total kjeldahl nitrogen)은 Tecator kjeltic Auto 1030 Analyzer로 측정(Kjeldahl Nitro Method)하였고 Ammonium 농도는 indophenol-blue method(5)를 이용하였다. T-P(total phosphorus)(7)와 COD(chemical oxygen demand)(6)는 colorimetric method에의해 측정하였다. 그리고 얻어진 균체에 대한 성분검사로써는 단백질(Lowry method)(11), 탄수화물(phenol-sulphur-ic acid method)(5), 지방(soxhlet) 그리고 수분함량을 측정하였다.

또한 *Spirulina plantensis*의 폐수내 유기물의 제거속도를 평가하기 위해서 아래와 같은 1차 반응 속도식을 이용하였다.

$$\ln(C_1/C_0) = -kt$$

여기서,  $C_1$ 는 t 시간 배양후의 농도

$C_0$ 는 초기농도

k는 반응속도상수(1/day)

t는 배양시간(day)

아래 식과 같은 Arrhenius식을 적용해 균체생육과 온도와의 관계를 규명하였다.

$$\ln \mu = A - (E_a/R) \times (1/T)$$

여기서, A는 Arrhenius 상수

t는 절대온도 K

R은 기체상수

$E_a$ 는 활성화 에너지

$\mu$ 는 비생육속도이다.

#### 4. 배양된 Spirulina 의 화학적 조성 및 활성 성분 검색

##### 가. 화학적 조성 측정

###### 1) 수분 : 105℃ 건조법

가) 장치 : 전기 정온 건조기, 칭량접시, 데시케이터

나) 조작 : a) 정온 건조기의 온도를 105℃

b) 칭량접시의 뚜껑을 열고 1-2시간 정온건조기에서 가열

c) 위의 조작을 반복해서 항량여부를 판단( $W_0g$ )

d) 시료를 칭량접시에 취하고 밑면을 넓게 펴서 뚜껑을 닫고 정확히 칭량

e) 정온건조기에 안에 넣은 후 뚜껑을 연후 3-5시간 방치

f) 정온기에서 칭량접시를 꺼낸후 데시케이터에서 방냉

g) 실온에 달하면 칭량

h) 항량을 ( $W_2g$ )을 얻을때 까지 반복

###### 다) 계산

$$\text{수분(\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100$$

$W_0$  : 칭량병의 중량(g)

$W_1$  : 칭량병 + 시료의 중량(g)

$W_2$  :  $W_1$ 을 건조해서 항량으로 된 때의 중량(g)

## 2) 회분의 정량

가) 장치 : 회화용기, 전기로, 집게, 데시케이터

나) 조작 : a) 도가니 항량을 구한다. (전기로 600℃ 이상)

b) 항량에 달한 도가니에 시료를 취한다.

c) 도가니를 전기로에서 회화시킴.

600℃에서 수시간 이상 태우고 백색 또는 회백색 재가 남을 때까지 회화

d) 방냉후 항량을 구함.

회화가 끝나면 가열을 멈추고 그대로 방냉하여 온도가 약 20 0℃ 정도로 강하되면 데시케이터 속에 옮기어 방냉하여 실온이 되면 칭량.

다) 계산

$$\text{회분(\%)} = \frac{W_1 - W_0}{S} \times 100$$

$W_0$  : 용기의 항량(g)

$W_1$  : 회화 후의 용기(g)

S : 시료의 중량(g)

## 3) 조지방의 정량 - Soxhlet 추출법

가) 실험방법

(1) 지방병을 항량 시킨다.

(2) 시료를 항량 시킨후 칭량한 후 원통여지에 넣는다.

(3) 지방병에 Ether를 반정도 채운다.

- (4) Soxhlet추출기에 원통여지를 끼우고 그 위를 솜으로 막는다.
- (5) Soxhlet추출기 위에 냉각기를 설치한다.
- (6) 지방병을 50-70℃의 온도로 물중탕한다.
- (7) 원통여지 제거후 Ether재회수
- (8) 지방병을 건조기에서 항량이 될 때까지 건조한다.

나) 계산

$$\text{지질(\%)} = \frac{W_1 - W_0}{S} \times 100$$

$W_0$  : 지방병의 항량

$W_1$  : 지질 추출후의 지방병의 항량

S : 시료의 무게

#### 4) 조단백질의 정량 - Kjeldahl 법

가) 실험방법

- (1) 시료를 Kjeldahl flask에 넣는다.
- (2)  $H_2SO_4$  10ml,  $H_2O_2$  1ml, 분해 촉매제( $CuSO_4$  0.1g +  $K_2SO_4$  0.9g)을 Kjeldahl flask에 넣는다.
- (3) Draught 내에서 5-10시간 가열한다.
- (4) 색깔이 청색 투명한 색이 될 때 까지 가열
- (5) 방냉후  $H_2O$  45ml첨가
- (6) 2-3번 정도 여과(여과기도 물로 씻는다.)
- (7) 용액이 100ml가 되도록한다.
- (8) 질소증류장치에 Beaker에 0.1N  $H_2SO_4$  20ml와 methyl red(0.02%)



를 섞은 용액을 냉각기 끝이 잠기도록 설치한다.

(9) 시료 10ml를 취하여 분해병에 넣고 30%NaOH 5ml 정도를 넣는다.

(시료가 갈변이 될 때까지 NaOH를 넣는다.)

(10) 냉각기에 150ml정도가 채워지면 0.1N NaOH로 적정한다.

나) 계산

$$N(\%) = 0.0014 \times (V_2 - V_1) \times F \times \frac{100}{S} \times \frac{100}{10}$$

$V_1$  : 본 시험중 중화에 필요한 0.1N NaOH

$V_2$  : 바탕시험중 중화에 필요한 0.1N NaOH

F : 0.1N NaOH의 역가

S : 시료량

$$\text{조단백질} = N(\%) \times 6.25$$

5) 탄수화물(총환원당)의 정량

가) 실험 방법

(1) 시료를 취한후 110ml의 염산을 가한다.

(2) 물중탕에서 1-2시간 정도 가열한다.(환류냉각장치)

(3) 시료용액을 2-3회 정도 여과한다.(여과지도 물로 씻어낸다.)

(4) 표준용액(glucose 1g/100ml H<sub>2</sub>O)을 만든다.

(5) Benedict용액 25ml을 가열하며 적정하여 소비된 표준용액의 양으로 25ml의 Benedict용액이 환원되는 당의 양을 가리킨다.

(6) 시료를 3배정도 희석하여 25ml Benedict용액(가열)을 적정한다.

## 나. 활성 성분 검색

### 1) 세포농도 측정

각 세포주들은 T-flask를 이용하여 배양되어졌으며 A549, MCF7, Hep3B, HeLa, WRL68, HEL299 등과 같은 접착성 세포주는 0.25% Trypsin - EDTA(GIBCO Inc.) 용액으로 처리하여 flask 바닥으로부터 분리한 후 1000rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액은 버리고 일정양의 배지를 이용하여 세포를 부유시켜 hemocytometer로 총세포수를 측정하였고, H9은 배양 현탁액을 원심분리하여 세포들을 세척한 후에 측정하였다. KATOIII와 J774A.1 세포주는 접착성세포와 부유세포가 공존하기 때문에 배양액과 trypsin-EDTA 처리물을 함께 원심분리하여 세포들을 세척한 후에 측정하였다. 이어서 세포 현탁액과 0.4% trypan blue(Sigma, U.S.A.)를 1:1로 혼합하여 dye exclusion 방법으로 hemocytometer에서 생존도(viability)를 측정하였다<sup>(1)</sup>.

### 2) SRB assay

SRB(Sulforhodamine B)분석은 세포 단백질 염색을 이용하여 세포 생육정도를 측정하는 방법이다. 10%FBS 및 각각의 세포(A549, MCF7, Hep3B, WRL68, HeLa, HEL299, J774A.1)를 함유하는 RPMI1640과 DMEM배지를  $5 \times 10^4$  cells/mL 농도로 100  $\mu$ L씩 첨가하여 24시간동안 배양(37°C, 5% CO<sub>2</sub>) 시킨 후 시료를 DMSO에 녹여 최종농도 0.1, 0.25, 0.5, 1.0mg/mL로 100  $\mu$ L씩 첨가하여 48시간 동안 다시 배양 시켰다. 시료 투여시 DMSO는 0.1%로 희석된 상태이다. 그 후 상등액을 aspirator로 조심스럽게 제거하고 냉장보관한 10%(w/v) TCA를 100  $\mu$ L씩 첨가한 후 1시간 동안 4°C에서 방치한 후 증류수로 5회 세척하였다. 실온에서 건조시킨 후 1%(v/v) acetic acid에 녹인 0.4%(w/v) SRB용액 100  $\mu$ L를 첨가하여 30분 동안 염색시켰다. 결합되지 않은 SRB 염색액은 1%(v/v) acetic acid용액으로 5회 세척하여 건조시킨 후

10mM Tris buffer 100  $\mu$ L로 염색제를 충분히 녹인 후 540nm에서 microplate reader를 이용하여 흡광도를 측정하였다<sup>(2)(3)</sup>.

### 3) MTT assay

MTT assay는 cell의 생육 및 분화를 측정하는 colorimetric assay이다. 이 assay는 살아있는 cell의 미토콘드리아 내 dehydrogenase enzyme이 노란 수용성 물질인 3-(4,5-dimethylthiazol-2yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide(MTT)에 의해 dark blue formazan 생성을 기초로 하였다. KATOIII, Jurkat, H9 등은 10% fetal bovine serum을 함유한 RPMI 1640배지를  $1.0 \times 10^5$  cells/mL 농도로 24well plate에 900  $\mu$ L씩 첨가하여 24시간 동안 배양(37°C, 5%CO<sub>2</sub>)시킨 후 각각의 시료를 최종농도 0.1, 0.25, 0.5, 1.0mg/mL의 농도로 100  $\mu$ L씩 첨가하여 48시간 동안 다시 배양시켰다. 여기에 MTT(50mg/mL) 용액을 100  $\mu$ L씩 첨가하여 4시간 동안 배양시켜 formazan을 형성시킨 후 DMSO 900  $\mu$ L를 첨가하여 formazan을 녹인 후, 각 well로부터 100  $\mu$ L씩 취하여 96well plate에서 540nm에서 microplate reader를 이용하여 흡광도를 측정하였다<sup>(4)</sup>.

### 제 3 절 결과 및 고찰

*Spirulina plantensis* 균체의 생육 최적 조건을 결정하기 위해 우선 14 L 배양조에서 온도와 조도를 변화시켜며 배양 실험을 하였다. 그림에서 보여지는 않지만 15℃와 40℃에서 실험한 결과에서는 거의 생육하지 않음을 볼 수 있었고 30℃의 온도와 12W/m<sup>2</sup>의 조도에서 0.40(1/day)의 최대 비 생육 속도를 갖는다. (Fig.2). Fig. 3 은 30℃일 때 17W/m<sup>2</sup>의 조도에서 최대값을 보인다. Fig.3은 각각의 조도에서 온도의 변화에 따른 비 생육 속도의 변화를 나타내고 있다. 12W/m<sup>2</sup>와 24W/m<sup>2</sup>의 조도에서는 30℃가 최적이고 6W/m<sup>2</sup>에서는 33℃가 최적임을 보인다. 그리고 균체 생육에 있어서는 온도의 영향을 알아보기 위해서 Arrhenius식에 의해 온도에 따른 비 생육 속도의 변화를 보았다. 이 식으로 얻은 활성화 에너지 값은 13.5kcal/mol이다 Fig.3 과 4 에서 보는 바와 같이 *Spirulina plantensis* 의 최적 생육 조건은 30℃, 17W/m<sup>2</sup>임을 알 수 있다. 배지의 온도는 *Spirulina plantensis*의 생육에 큰 영향을 미치며 적정 온도보다 낮거나 높을 경우에는 생육 지연 현상이 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있다. 그리고 빛의 세기 또한 *Spirulina plantensis*의 생육에 중요한 요소임을 알 수 있다. 따라서 온도와 조도의 적절한 조절은 생육 저해나 균체 손상의 문제점을 해결할 수 있을 것이다.

돈분 첨가 정도에 따른 *Spirulina plantensis*의 생육은 Fig. 5 와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 돈분의 첨가 농도가 증가함에 따라 생육 속도가 저하됨을 알 수 있다. 그러나 5% 돈분 첨가 시에는 최종적으로 1.2g/L의 cell density로 순수 배지에서 보다 더 잘 생육함을 볼 수 있다. 이것을 정리한 것이 Table 1 로서 0.20(1/day) 의 최대 비 생육 속도와 0.53(g/L)의 균체

농도를 나타내는 것으로 60%의 돈분 첨가 시에는 두드러진 생육 저하를 볼 수 있다. 이것은 돈분 내 존재하는 독성 물질과 pH 저하가 생육 저해의 주원인으로 작용한 것으로 판단된다. 돈분 첨가의 수준이 30%까지는 어느 정도 생육함을 볼 수 있으나 첨가되는 돈분의 상태에 따라서도 많은 변이를 보일 것이다. 본 실험에서 사용된 돈분의 초기 조성은 Table 2에 나타난 것처럼 고농도의 nitrate와 phosphorus를 함유하고 있음을 알 수 있다.

배양액 내의 수질 오염의 주원인 물질인 nitrate와 phosphate가 *Spirulina plantensis*를 배양하는 과정에서 얼마만큼 감소되는가를 실험한 결과가 Fig. 6 이다. 여기서 TKN의 변화를 나타내고 있으며 5% 돈분 첨가에서는 86.2%의 제거율을 보여준다. 5%, 10% 그리고 20%의 돈분 첨가 배양시 COD의 제거율은 80%이상을 보여주는 효율적인 공정임을 알 수 있다 (Fig. 7 참조). Table 3은 *Spirulina plantensis* 배양시 배지 내 유기물의 감소 속도를 1차 반응 속도 식에 의해 얻은 결과로서  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 과  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 가 TKN과 T-P보다 각각 더 빠른 감소 속도를 보임을 알 수 있다. TKN은 암모니아성 질소와 유기성 질소를 포함하는 양이다. 위의 결과로 *Spirulina plantensis*의 생육시 우선적으로 암모니아성 질소를 이용하고 이의 고갈 후 nitrate나 요소와 같은 질소 화합물을 이용함을 알 수 있다. Fig. 8 은 20% 돈분을 첨가하는 연속 배양에서 배양 시간에 따른 cell density, chlorophyll a 그리고 용존산소량(DO)의 변화를 나타내고 있다. *Spirulina plantensis*의 생육에 따른 건조균체와 chlorophyll a가 비슷한 곡선의 형태로 증가하고 있는데 이는 *Spirulina plantensis*가 계속하여 생육하고 있음을 알 수 있는 것이다. 그리고 *Spirulina plantensis*의 지속적인 생육으로 배지 내 용존 산소량의 농도는 계속하여 증가하게 된다. Fig. 9 는 연속 배양시 *Spirulina plantensis*의 TKN과 T-P의 흡수 능력을 나타내고 있다. 연속 배양시 희석율

이 0.20(1/day)일 때 최대 균체 농도인 1.52(g/L)를 유지하였다. 생육함에 따라 TKN과 T-P의 농도가 급격히 증가함을 볼 수 있다. 이는 연속적인 돈분 첨가에 따른 pH의 저하와 독성물질의 축적으로 균체의 사멸이 일어났기 때문으로 판단된다.

Fig. 10 은 상기 실험 결과들을 바탕으로 실제 돈사에서 축산 폐수의 연속 처리와 함께 고단백 사료원을 생산하기 위한 옥외 배양로서 축사 옆 옥외에 설치된 배양조이다. 배양액 부피는 1,500L 이며 교반을 위해 이중 propeller type 형태의 impeller 를 설치했다. 또한 온도, 광도 및 pH의 측정 및 조절을 위해 배양조 가운데 control box를 설치해 remote 로 조절이 가능토록 했다. 야간 배양 시 보온과 광도를 조절하기 위해 광원과 보호막을 씌웠으며 광원의 높이를 조절해 적정 광도를 유지하도록 했다. 이 같은 장치를 이용해 120 일간 옥외 배양한 실험 결과가 Fig. 11 이다. 이는 대량 배양시 배지의 pH에 따른 균체의 생육도를 비교한 실험으로 pH 가 3 과 9 의 극한 경우에는 생육이 심하게 저해 되었으며 실내 배양조에서 배양과는 달리 최적 생육 pH는 5.5 로서 다소 낮았다. 또한 배양후 약 66일 쯤 부터 생육이 정지되는 정지기에 들어감을 알 수 있다. 따라서 이 배양조를 이용해 약 4 달 이상의 장기 배양이 가능함을 확인했으며 이에 따른 배양 공정 변화에 의한 장기 연속 배양 실험의 중요성을 알 수 있다. 또한 높은 pH 보다는 낮은 pH 에서의 생육이 보다 유리할 것으로 판단되며 이에 따른 1 차 오염 감소와 균체의 대수 증식기도 연장되는 효과를 얻을수 있었다.

Fig. 12 는 이 같은 배양조에서 장기 연속 배양을 위한 전 단계 실험으로 유가식 배양을 실시한 결과다. 즉 회분 배양시 배양 말기의 사멸기에 들어가는 늦추기 위해 일정 속도로 신선한 배지를 유입시키는 공정이다. 이같은

결과로 Fig. 12 에서 보듯이 배양 종반까지 균체가 지속적으로 증가해 약 2.0 g-dry wt/L 의 농도로 생산 가능한 반면 회분 배양시는 최대 농도가 0.92 g-dru wt./L 로 유기식 배양시 생산성이 매우 향상됨을 알 수 있다. 배지는 150 L부터 1,500L 까지 균체 농도에 따라 약 110 일간 단계적으로 유입해 균체 성장이 지속적으로 이루어 지도록 했다. Fig. 13 은 는 이같은 유기식 배양시 균체 농도의 증가 뿐만 아니라 돈분 내 존재하는 수질 오염원의 감소를 배양 시간에 따라 측정된 결과다. 돈분을 25- 30 % 함유한 배지를 유입시키며 옥외 대량 배양한 결과 배양 초기에는 총 질소 양이 급속히 감소한 반면 배양 후반기에는 감소 속도가 매우 느렸다. 이에 반해 COD는 지속적으로 증가해 이같은 배양 공정은 COD 감소에 매우 효과적임을 알 수 있다. 총 인의 양은 상대적으로 감소 속도가 느리게 나타났으나 전체적으로는 지속적으로 감소해 배양 전 기간에 따른 감소 양은 제일 높은 것으로 나타났다.

Fig. 14 는 배양 공정의 생산성 및 효율성을 증진 시키기 위해 약 130 일간 연속 배양을 실시한 결과다. 예상되는 바와 같이 연속 배양 시 균체 양이 2.65 (g-dry wt./L) 로 가장 높았다. 이는 회분 배양의 2.8 배에 해당되는 건조 균체 양으로 매우 효율적인 배양 공정임을 알 수 있다. 또한 배지의 희석율도 0.1-1.2 (1/day) 의 비교적 빠른 속도를 유지할 수있 어 옥외 배양임에도 불구하고 연속적으로 배지를 유입하고 빼는 경우에는 매우 효율적으로 균체 성장이 가능함을 보여주고 있다. 또한 이 같은 공정을 통해 배지 내 오염원의 감소를 관찰한 결과가 Fig. 15 로 유기식 배양의 경우와는 달리 총 질소 양과 COD, 총 인의 양의 지속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 특히 총 인의 감소는 배양 중간부터 급속히 감소해 유기식 배양의 경우 보다 훨씬 빠르게 감소하는 현상을 보이고 있다. 또한 배양 말기의 잔존

인과 질소의 양도 연속 배양시 2/3 로 줄어 연속 배양시 희석율의 적정 조절 시 균체 생육과 유기질의 분해에 가장 효율적인 공정임을 다시 한번 확인했다. 따라서 옥외 배양을 통한 돈분 처리를 위한 공정은 연속 배양이 가장 우수한 것으로 입증되었으며 이들 배양 조건의 최적화 공정을 거쳐 변수들의 운용이 적절히 이루어 진다면 축사에서 유출되는 폐수의 처리는 가능할 것으로 예상된다.

본 실험에서 배양된 *Spirulina plantensis*의 사료 가치를 평가하기 위해 우선 일반 성분 분석을 한 결과가 Table 4에 나타낸 바와 같다. 단백질 함량은 58.7%로 높은 것으로 나타났다. 이는 본 실험과 같이 폐기물에서 배양된 *Spirulina plantensis* 가 사료의 단백질 공급원으로 이용 가치가 높음을 보여 주는 것이다. Table 5 는 이 같은 조류의 부가 가치를 높이기 위해 식품 또는 생물 의약품으로의 활용을 위한 생리활성 분석 결과이다.

본 공정의 경제성을 분석을 위해 다음과 같은 상황을 설정해 계산했다. 본 실험 결과 연속 배양시 유지될 수 있는 안정적 최대 건조 균체양이 2.0 (g/L) 로 측정되었으며 이때의 적정 희석율은 0.458 (1/day) 로 나타났다. 이 같은 결과를 바탕으로 1,500 L 규모의 옥외 배양조에서 적정 폐수 처리 양이 1,000 L 인 경우 120일간 연속 배양 시 1달간 약 20 Kg 의 건조 조류를 생산할 수 있는 것으로 평가 됐다. 이 양은 현재 축산 농가에서 요구되는 사료 양의 극히 미미한 양이지만 65 % 이상의 고 단백원을 기존 조사료와 대체 시 (조사료의 단백질 양을 30% 로 계산 한 경우) 은 약 50 Kg 의 대체 효과가 있을 것으로 예측 됐다. 이 대체 양은 전체 농가의 수요 양에 절대적으로 미약하나 아무 공급원 없이 폐수를 이용해 사료를 생산하는 관점에서 폐수 처리와 동시에 이루어진다는 점에서 어느 정도 경쟁력은 있을 것으로 예상된다



다.

이와 함께 개발된 장치의 폐수 처리 능력을 축산 사육 돼지의 배출 양으로 계산하면, 현재의 장치로는 0.45 (1/day) 의 배지 이동 속도로 120일간 처리가 가능하므로 1,000L 규모의 배양조에서는 120일간 약 54,000 L의 돈분 폐액의 처리가 가능하다. 즉, 1일 약 500 L의 돈분 고형분 분리액의 완전한 처리가 가능한 system 이다. 이 폐액은 축사에서 직접 나오는 것이 아니라 고형분을 분리한 1차 정화액으로 축산 농가의 정화조의 holding capacity 에 따라 배출되는 양이 조절되므로 그 양이 직접적인 돼지 마리 수와 비교는 적절치 못하다. 하지만 처리 능력 대비 돼지 마리 수의 산술적 비교를 위해 고형분 분리 방법으로 처리하는 일반적인 돈사의 경우 1일 L의 폐액이 유출되는 것으로 계산하면, 1,500 L 규모의 배양조에서 1,000L 로 배양시 매일 마리분의 돼지 분뇨를 처리할 수 있을 것으로 예측된다. 또한 이 장치의 운영비를 비교해 보면 장치 설치 시 Fig. 1 과 같은 1,500 L 의 모든 기계 장치 및 설치비는 약 5,500,000 원이 계상된다. 이와 함께 운영비로 주소비원인 배지는 실험 및 방법의 조성대로 전체 부피의 70%를 첨가는 경우 약 0.3원/L 의 비용이 소요된다. 따라서 0.45 (1/day) 의 속도로 유출시 매일 135원 정도가 소비되므로 1 달에 약 4,000원 정도의 배지 비용이 소모되고 기타 전기 및 수도 사용료 등을 고려하면 월 약 10,000 원 정도의 유지비면 충분하므로 초기 설비 투자만 이루어 지면 유지에는 전혀 문제가 없을 것이다.

이 같은 장치의 대형 처리와 기존 사료와의 사료 생산의 경제성을 갖추기 위해서는 두가지 방안이 가능하다. 첫째는 배양조를 대형화는 것인데 이 경우 지금 pilot 규모의 10 배 정도 약 15,000 L 규모의 대형 pond 형태로 유

지 되어 할 것이다. 하지만 이 경우 장치에 맞는 장소 확보와 개발 장치 설치비의 3-4 배수 증가에 따른 비용 증가 및 유지의 어려움이 있다. 이에 반해 배양 장치를 compact 하데 기존의 규모를 약간 늘려 3,000 L 정도의 배양 장치를 만들 수 있으나 이 경우 모든 장치들이 실내 배양 조건과 유사한 장치가 요구되므로 일반 배양조와 같은 비용이 들어 영세한 축산 농가에서는 간단히 투자가 어려운 정도의 비용이 소요될 것이다. 이와 함께 균주의 개량도 동시에 진행 되어 할 것이다. 즉 고농도의 축산 폐수 (약 50% 정도)에서 장기간 생육이 잘되 지금의 최대 균체 농도보다 증가하며 연속 배양이 가능한 균주가 개량된다면 보다 효과적인 배양 장치의 scale-up 이 가능해 본 개발 장치를 축산 농가에 직접 장착 시 경제성이 있을 것이다.

## 제 4 절 결 론

축산 폐수의 처리가 가능한 공정을 개발한 결과 다음과 같은 결론을 도출했다.

1. 14L 에서 배양 최적 조건으로 배양 실험한 결과 30 % 의 돈분 폐액을 첨가한 경우가 가장 경제적인 생육이 되었으며, 이때 최대 비 생육 속도는 0.40 (1/day) 로 계산 됐다. 또한 30 'C 에서 적정한 생육이 이루어졌으며 열 안정성의 경우 약 13.5 (Kcal/mole) 로 측정 됐다. 최적 광도는 12.5 (W/m<sup>2</sup>)였으며 이때 70 % 의 ortho phosphate, 75% 의 무기질소, 55%의 유기 질소, 80% 의 C.O.D. 의 감소 효과를 보였다. 이에 대한 1 차 반응 감소 속도 상수는 각각 0.17 (1/day) 와 0.14 (1/day) 로 계산되 배양 공정 scale-up 의 중요한 자료를 산출했다.
2. 14 L 의 실내 최적 배양조에서 배양한 결과를 1,500 L 의 옥외 배양조로 scale-up 시킨 경우 유지 될 수 있는 미세 조류의 농도는 공히 약 1.6-2.0 (g/L) 로 별 차이가 없이 잘 유지되는 것으로 나타났다.
3. 또한 축산 폐수 내 존재하는 주 오염원인 총질소와 인의 감소도 투여 농도 대비 약 35-55% 까지 감소 되 두 공정 모두 효율적인 것인 입증되었으며 배양 공정 scale-up시 야기되는 문제는 없는 것으로 나타났다. 하지만 C.O.D. 는 14L 의 경우가 40~% 정도로 감소가 되었으나 1,500 L 경우 30% 로 다소 떨어지는 것으로 관측됐다.
4. 이 같은 공정을 거쳐 생산되는 조류의 부가 가치를 높이기 위해 미세 조

류의 생리 활성을 분석한 결과 에탄올로 추출한 경우 위암과 간암에 75 % 이상의 강한 항암 효과를 보였으며 높은 항 돌연변이원성을 나타냈다. 이에 반해 세포 독성은 15 % 이하로 낮고 면역 활성 증진 효과도 높아 고 단백질 사료원과 함께 새로운 기능성 식품 소재로서도 활용 가치가 매우 높을 것으로 평가 됐다.

5. 이같이 미세 조류를 이용해 폐수 처리를 위해 1,500 L 옥외 배양을 성공한 경우가 없었으며 단지 순수 배양을 통해 옥외에서 대량으로 (10,000-50,000L 규모) 배양 가능한 경우는 있으나 그 경우도 입지 조건이 양호하며 (최대 광도, 일조 기간, 옥외 온도 등) 최대 균체 농도도 1.8 (g/L) 의 수준으로 본 실험 결과는 미세 조류 배양의 관점에서 매우 긍정적인 결과로 평가 된다.
6. 1,500L 규모의 옥외 배양조를 축산 농가에 설치해 field 배양 실험한 결과 약 120 일간 연속 배양이 가능했으며 안정적 최적으로 배양 시 1달에 약 20 Kg 의 65% 단백질을 함유한 건조 조류를 생산했으며 이는 약 100-150 마리 분의 돈분폐액을 처리 할 수 있는 능력으로 계산됐다.
7. 또한 이 장치의 운영비를 분석한 결과 초기 설치 비용이 5,500,000원이며 1달에 약 10,000원 정도면 충분히 운영이 가능할 것으로 평가 되 소규모 축산 농가에 설치 시 운영상 문제는 없는 것으로 판단된다.

## 제 5 절 참고 문헌

1. Becker, E.W. 1989. Microalgae: Biotechnology and Microbiology. Cambridge. London.
2. Chow, V.T., R. Eliassen and R.K Linsley. 1979. Wastewater Engineering. McGraw-Hill, N.Y.
3. Coulter, J.B., S. Soneda and M.B. Ettinger. 1990. Swage Ind. Was., 46(3): 468-477.
4. Hawkes, F.R. and B.V. Young. 1981. Agr. Wast., 2(1): 119-133.
5. Henze, M. 1992. Wat. Sci.. Tech. 25(6):1-15.
6. Fry. L.E. 1979. Practical building of methane power plants for rural energy independence. Standard Printing. CA.
7. Lavoie, A. and J. de la Noue. 1985. Wat. Res., 19(11): 1437-1442.
8. McCarty, P.L. 1980. Anaerobic wastewater treatment fundametal. Public works, N.Y.

9. Namsu, K. and P. Moo-Young. 1993. *J. Microbiolo. Biotechnol.*, 3(2): 214-216.
10. Contreas, S.A. and J.C. Toha. 1980. *Biotechnol. Bioeng.*, 10(1): 91-95.
11. Sigmund, J. and K. Gjert. 1993. *J. Appl. Phycol.*, 5(3): 495-504.
12. van Valsen, G. Lettigna and D. Otterlander. 1979. *J. Agr. Sci.*, 27 (3): 255-269.

## 제 6 절 도표 및 그림

Table. 1. The estimated growth parameters from the batch cultivation of *Spirulina platensis* in adding various concentration of swine waster

Dilution ratio (%)	비생육 속도 (1/day)	Max. cell density, X (g-dry wt./L)	Max. biomass productivity, P (g-dry wt./L/day)
0*	0.31	1.18	0.37
5	0.30	1.20	0.36
10	0.27	0.91	0.25
20	0.24	0.68	0.16
30	0.22	0.58	0.13
60	0.20	0.53	0.11

\*Clean culture no adding swine wasters.

Table. 2. The chemical composition of the swine wasters.

Component	Concentration (mg/L)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	1200~4100
NO <sub>3</sub> -N	50~150
Kjeldahl-N	1500~4400
Orthophosphate	80~270
Total phosphate	220~340
COD	15200~29900

Table. 3. The estimated first order rate constants\* for removing TKN,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , T-P and  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$  by cultivating *Spirulina platensis*.

Component (wt.%)	<i>Spirulina platensis</i> grown in swine wastes	SPIRULINA for commercial fealth food
protein	58.7	68.5
lipid	13.5	15.2
carbohydrate	10.2	4.9
ash	17.6	11.4

\*First order removal rate constant, (1/day)

Table. 4. The comparison of chemical compositions of *Spirulina platensis* grown in swine wastes and a commercial health food.

Dilution ratio (%)	TKN (1/day)	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (1/day)	T-P (1/day)	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (1/day)
5	0.17	0.23	0.14	0.22
10	0.1	0.12	0.11	0.14
20	0.09	0.11	0.06	0.09



Table. 5. Comparison of biological activities of the water and ethanol extracts and the fractions of ethanol extracts from the *Spirulina platensis*.

		Water extracts (g/l)		Ethanol extracts (g/l)		Hexane fractions (g/l)		Chloroform fractions (g/l)		Aqueous fractions (g/l)	
		0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Anticancer activity(%)	MCF7	30.1	35.8	54.2	57.9	42.7	47.3	51.5	68.5	33.1	39.9
	KATOIII	29.7	32.3	41.2	49.5	32.1	38.3	45.4	53.0	32.4	49.2
	Hep3B	37.7	42.9	55.7	65.2	46.3	51.8	61.1	73.3	49.7	68.7
	Hela	32.3	48.1	40.3	50.8	48.3	57.3	54.4	65.2	52.1	62.9
	A549	32.4	38.7	50.7	63.5	41.9	48.0	63.3	76.2	43.2	52.8
Cytotoxicity (%)	WRL68	15.2	18.2	24.8	27.3	19.3	22.5	27.8	32.1	15.4	20.4
	HELL299	17.9	20.5	17.6	20.6	21.2	26.9	25.9	29.7	13.2	17.5
Immune activity(%)	H9	19.8	23.5	-17.7	-20.1	33.7	48.2	-18	-21.5	-9.5	-5.7
	J774	21.4	12.2	-15.3	-7.1	-7.2	-13.6	-22.8	-25.9	-20.1	-23.5
	Jurket	15.7	18.9	-20.9	-25.7	-12.3	-15.6	-22.5	-27.7	-11.2	-13.7



Fig.1. A photograph of an outdoor culture system (1,500L working volume) to continuously treat swine wastes.

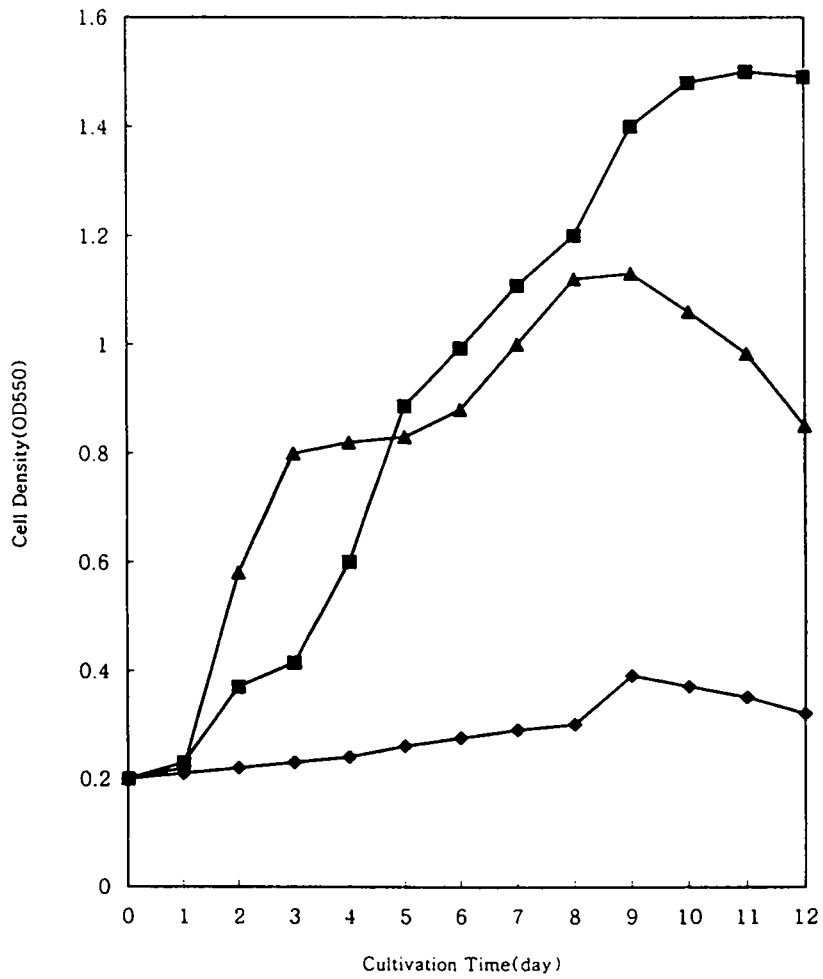


Fig. 2. The cell growth kinetics with light intensity of 6, 12 and 24 W/m<sup>2</sup> in batch cultivation at 30°C.

◆ 6 (W/m<sup>2</sup>)      ■ 12 (W/m<sup>2</sup>)      ▲ 24 (W/m<sup>2</sup>)

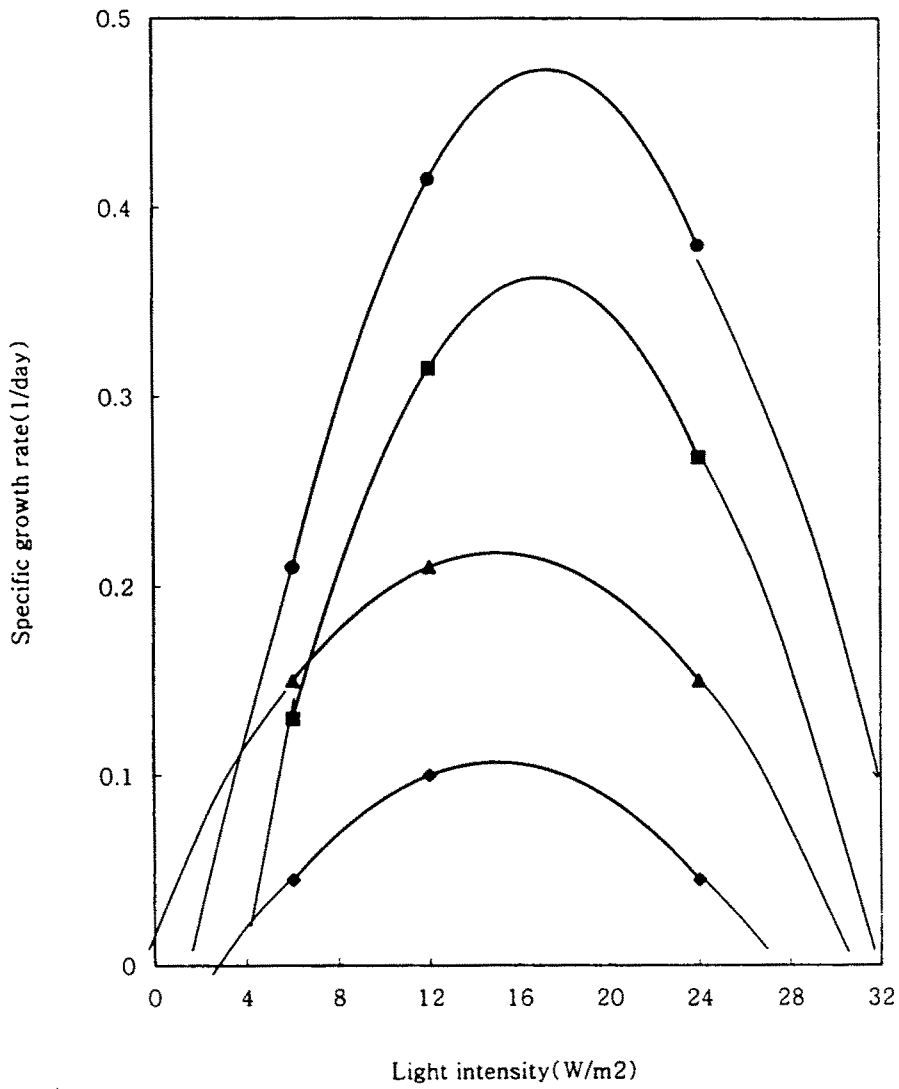


Fig. 3. The effect of light intensity on the growth of *Spirulina platensis* in batch cultivation.

◆ 15°C    ■ 25°C    ● 30°C    ▲ 40°C

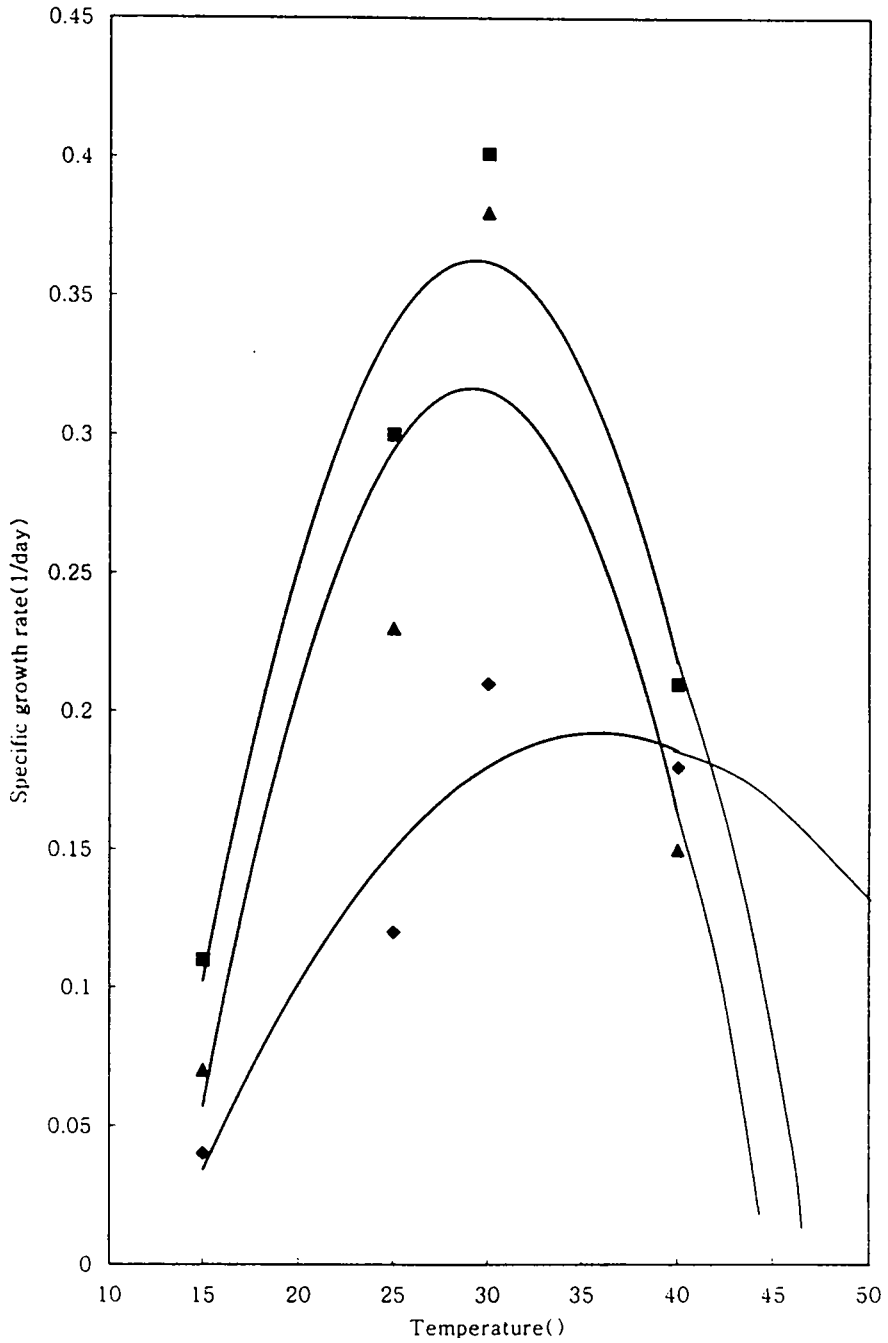
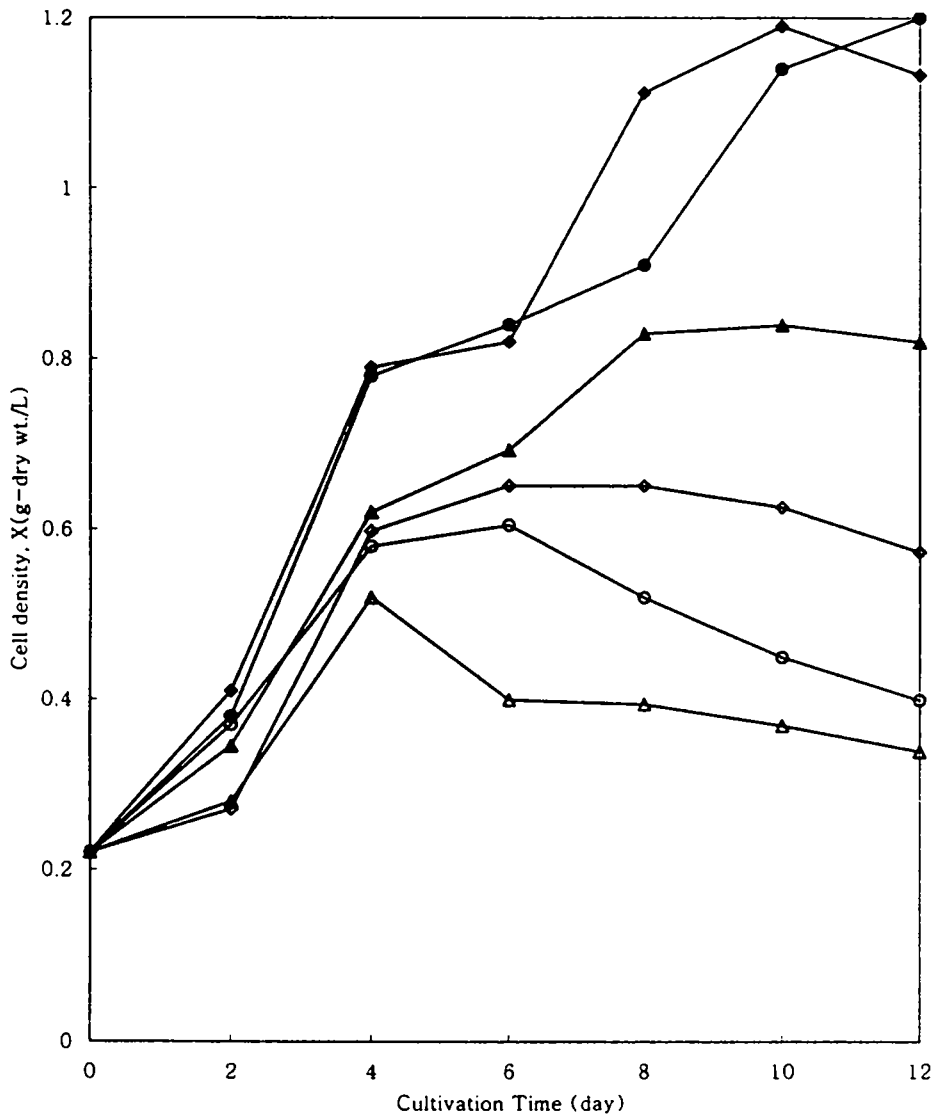


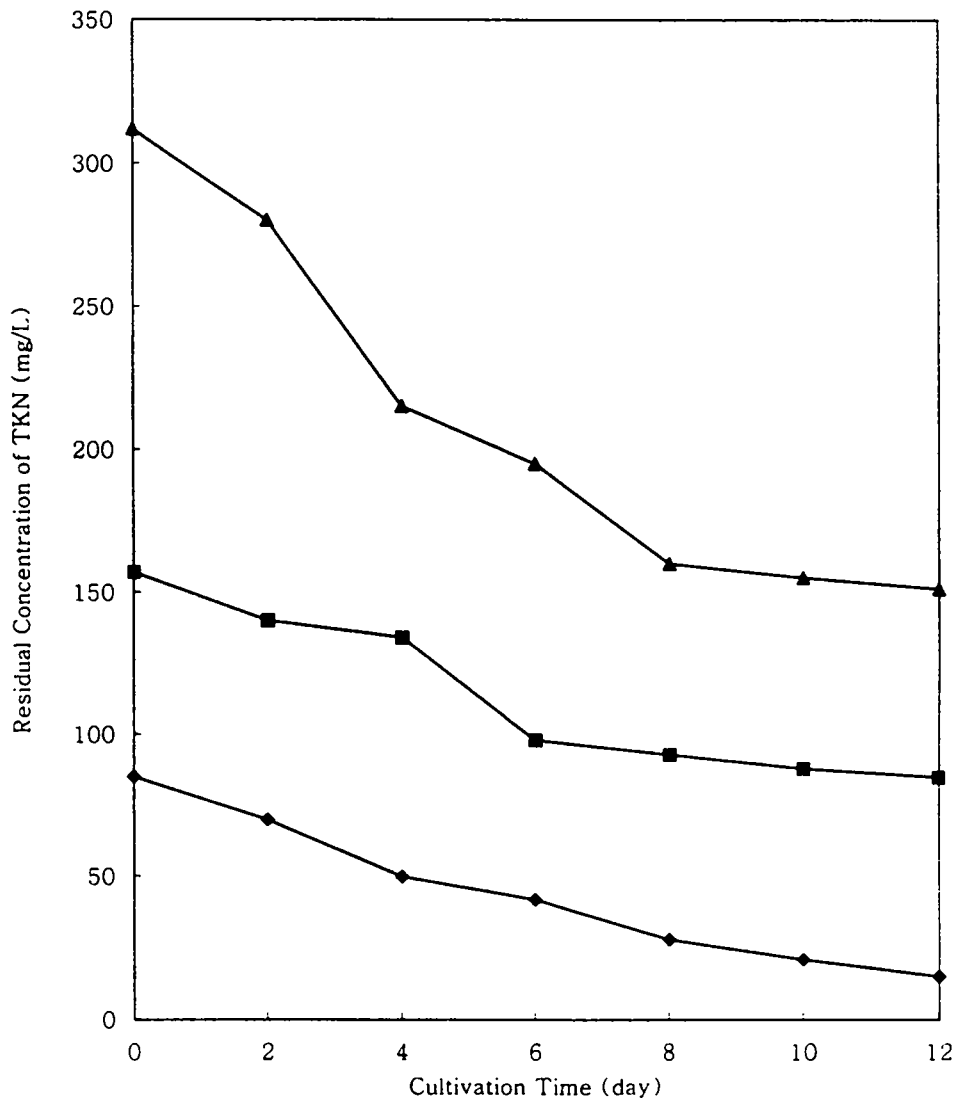
Fig. 4. The effect of temperature on the growth of *Spirulina platensis*.

◆ 6 (W/m<sup>2</sup>)    ■ 12 (W/m<sup>2</sup>)    ▲ 24 (W/m<sup>2</sup>)



**Fig. 5. Comparison of cell growth with different concentration of swine wastes in batch cultivations of *Spirulina platensis*.**

—◆— 0% —●— 5% —▲— 10% —◇— 20% —○— 30% —△— 60%



**Fig. 6. Kinetics of removing total nitrogen with different concentration of the swine in batch growth of *Spirulina platensis*.**

◆—5%    ■—10%    ▲—20%

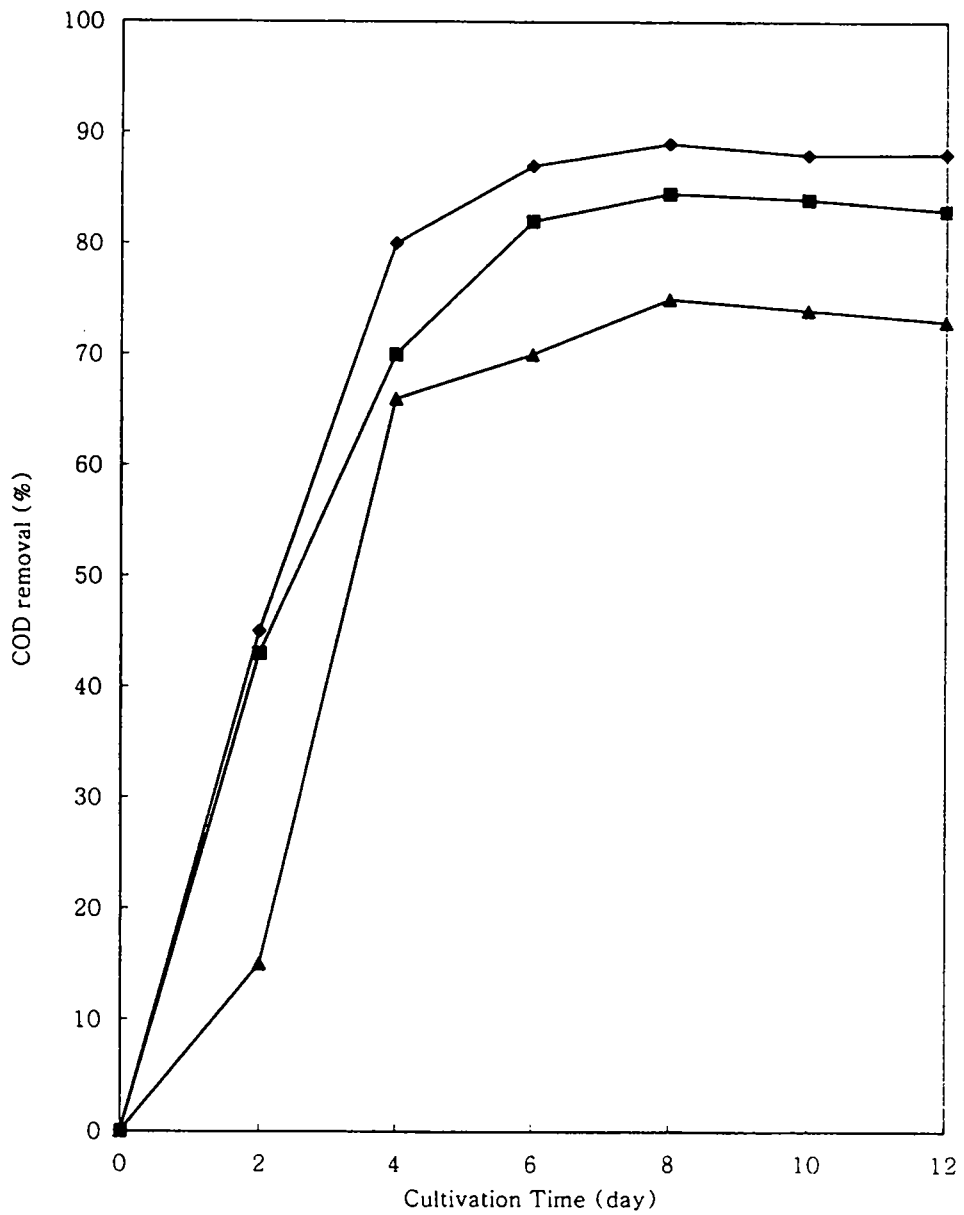
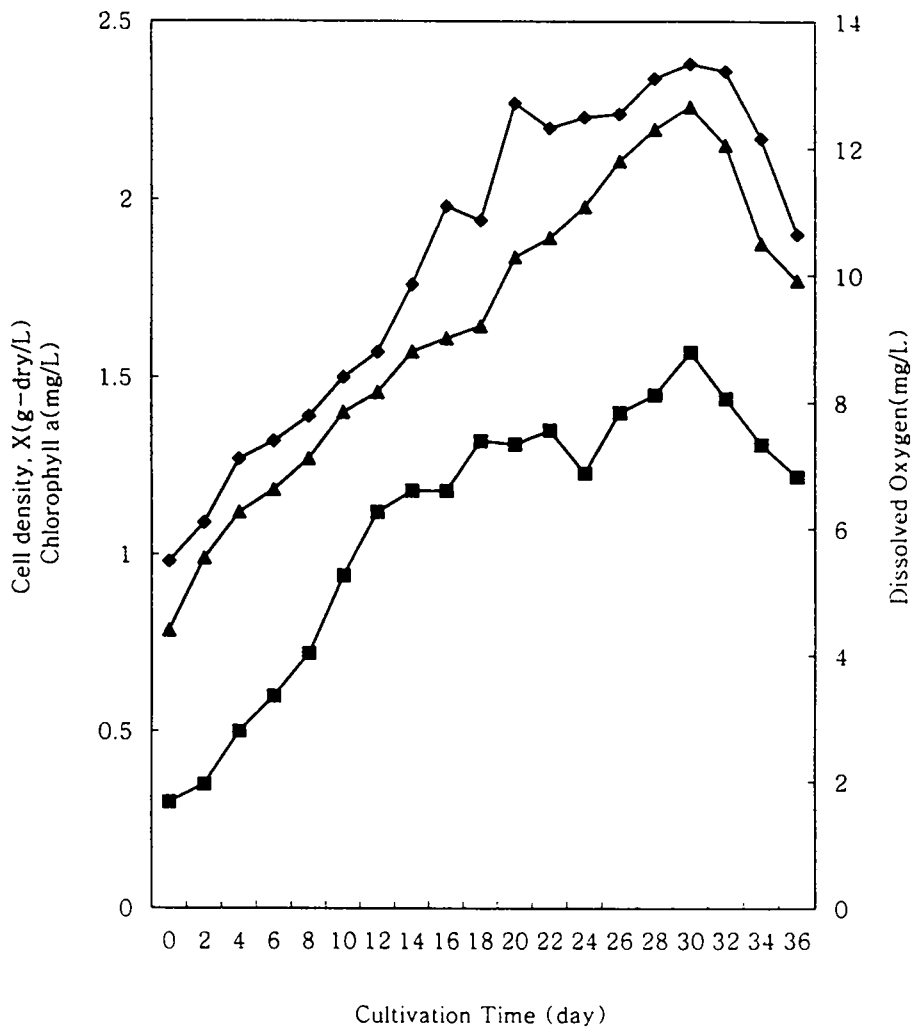


Fig. 7. The reduction of chemical oxygen demand(COD) by *S. platensis*.

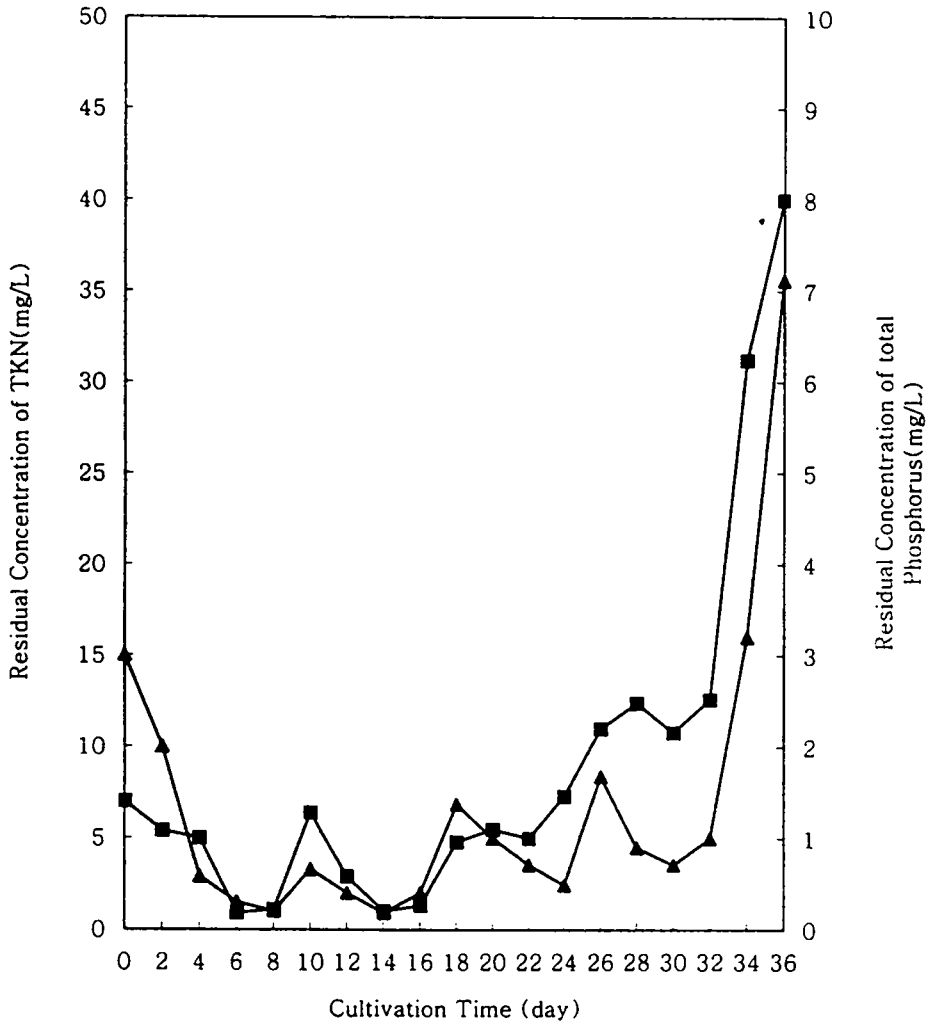
◆ 5% ■ 10% ▲ 20%





**Fig. 8. The change of cell density, chlorophyll a and dissolved oxygen with 20% swine waste in continuous cultivation of *S. platensis*.**

■ Dry Weight    ◆ Chlorophyll a    ▲ DO



**Fig. 9. Kinetics of removing TKN and T-P in continuous cultivation of *S. platensis*.**

—■— TKN      —▲— T-P

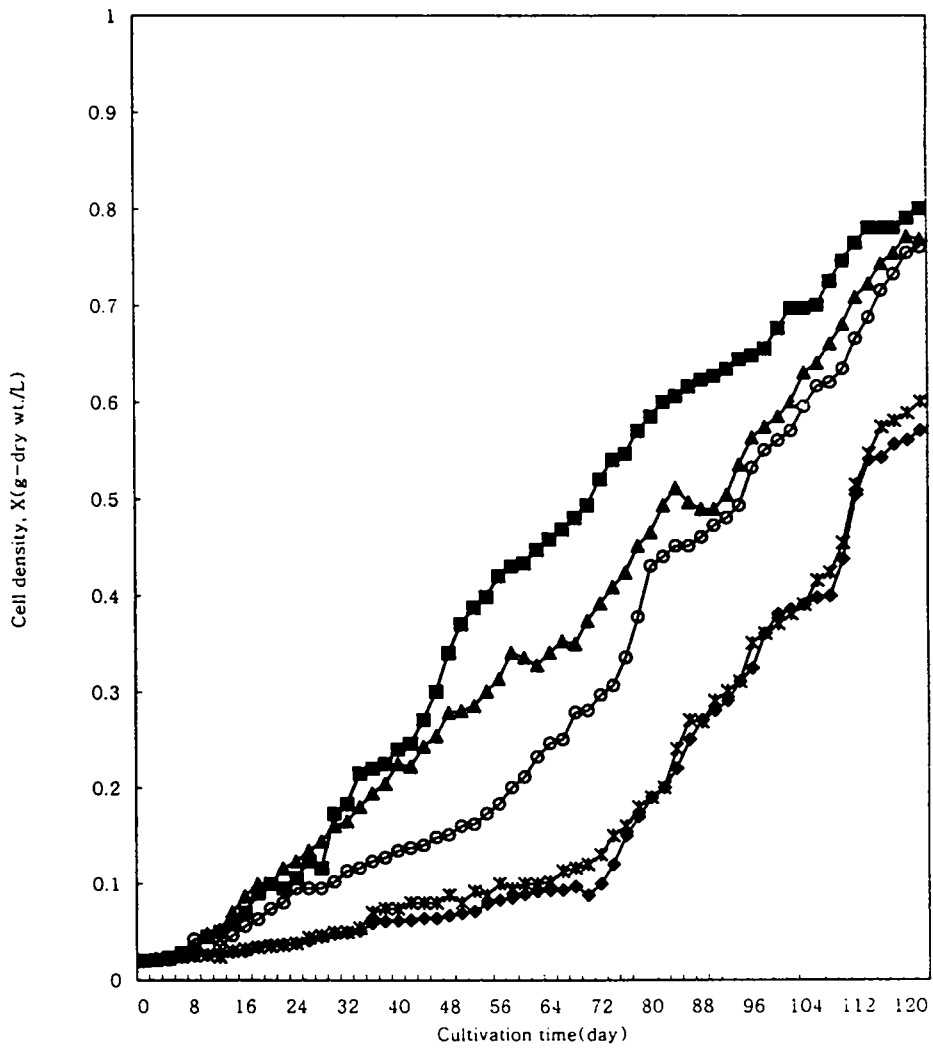
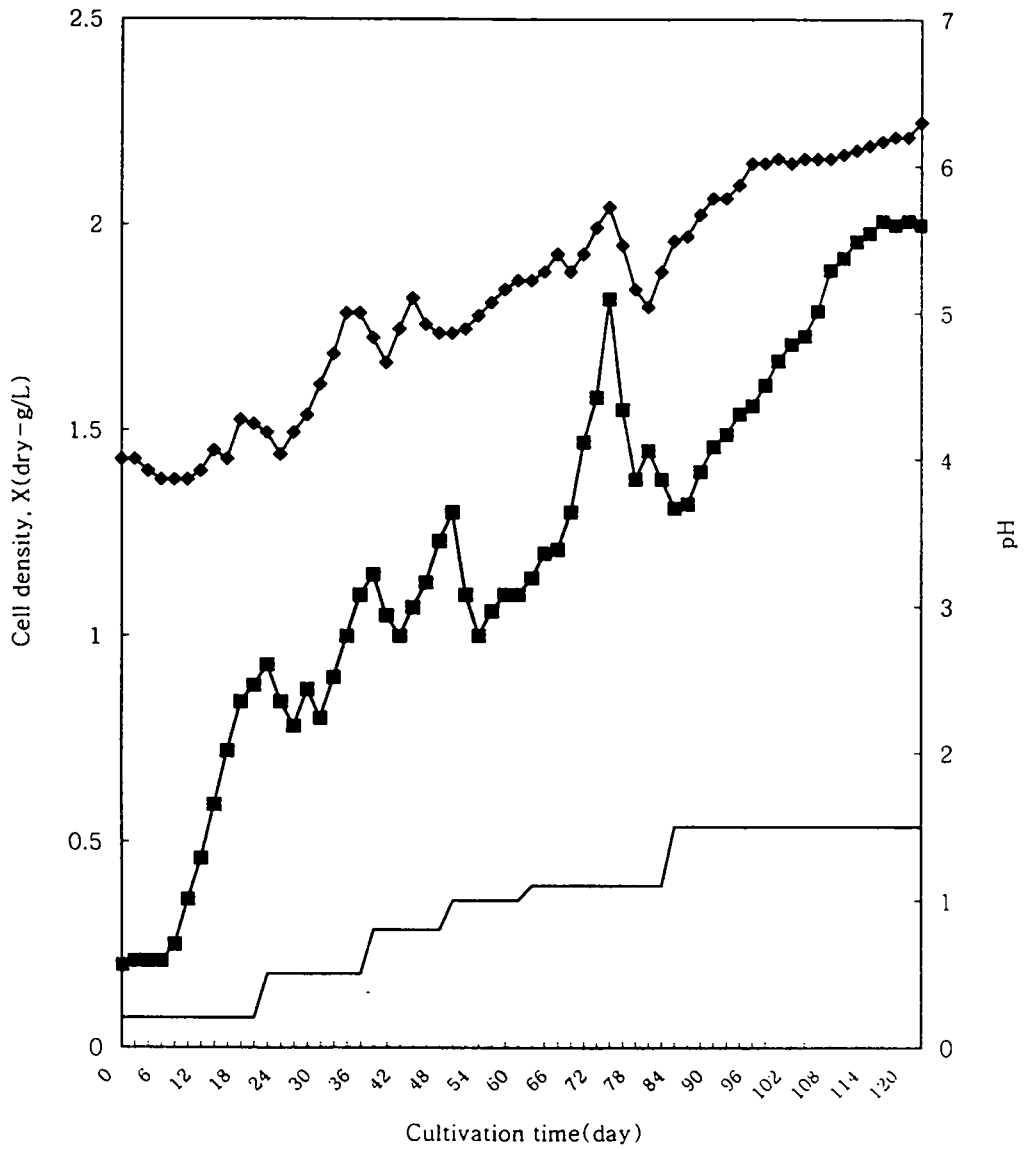


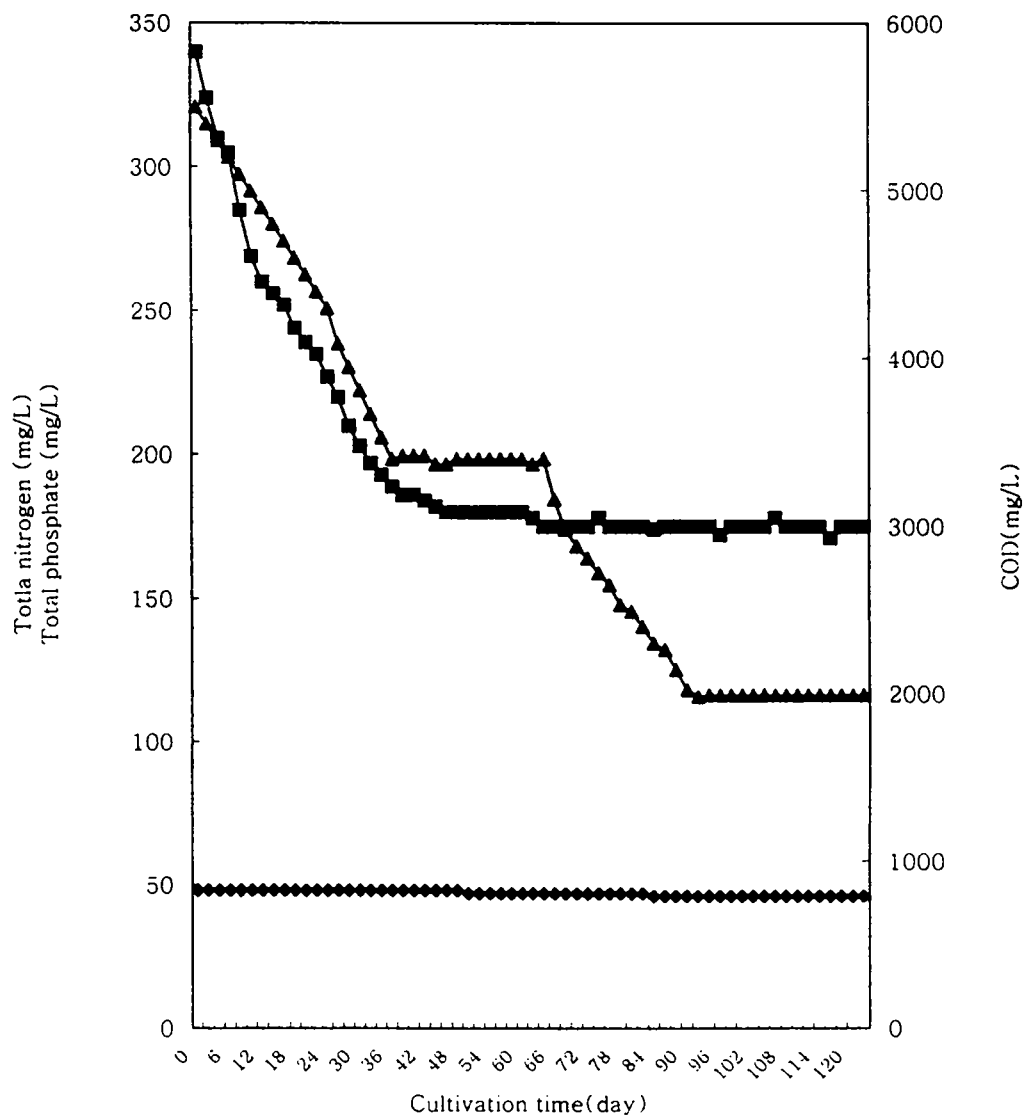
Fig. 10. The growth of *Spirulina platensis* growth in different pH by adding 20% of swine wastes in an out door cultivation system for batch cultivation(1.500L working volumn)

◆ pH 3    ■ pH 4.5    ▲ pH 5    ○ pH 5.5    ✱ pH 6



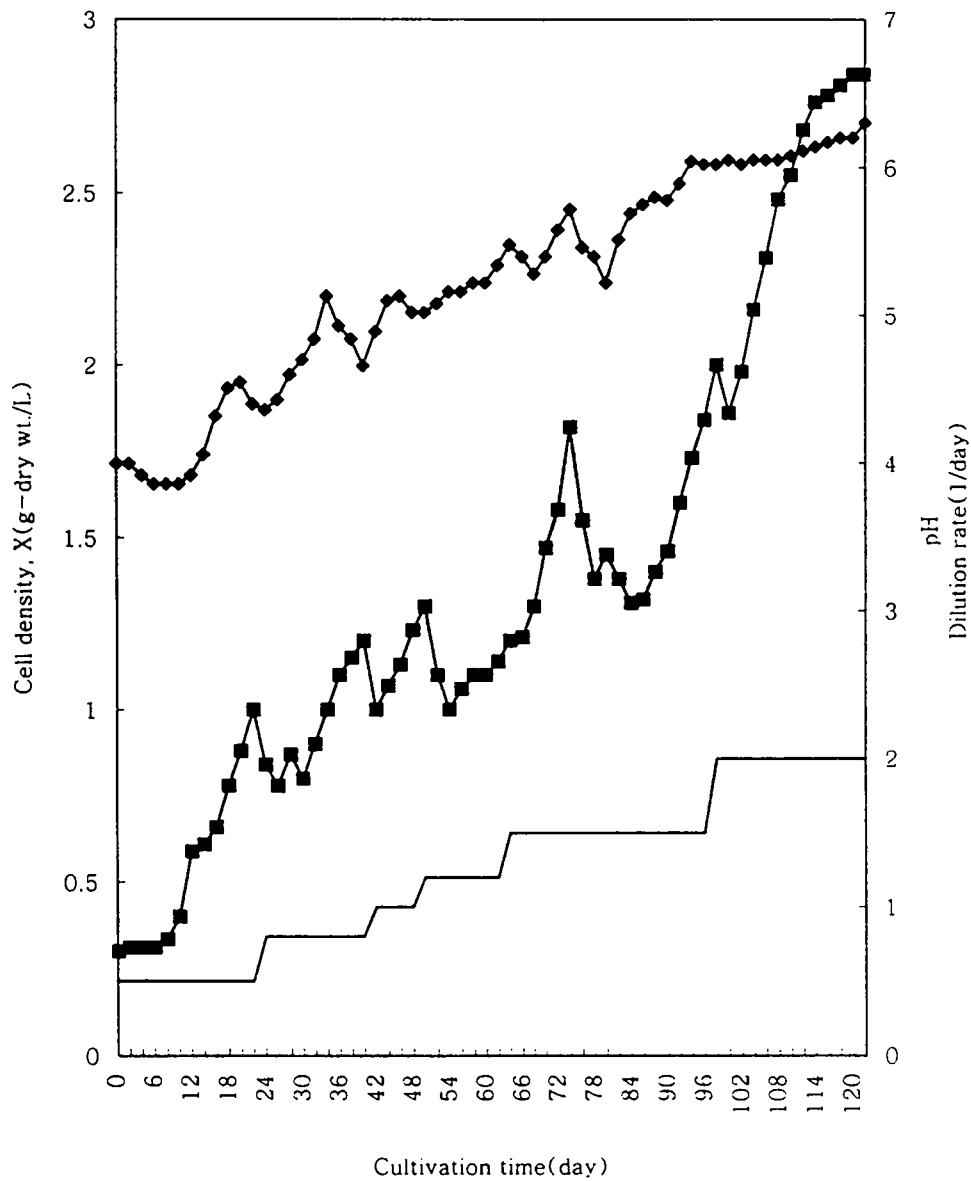
**Fig. 11. The results of fed-batch cultivation of *S. platensis* simultaneously to treat swine wastes produce high-protein biomass in an outdoor system(1.500L)**

■ Dry Wt.    ◆ pH    — Working volumn ( x 1000L)



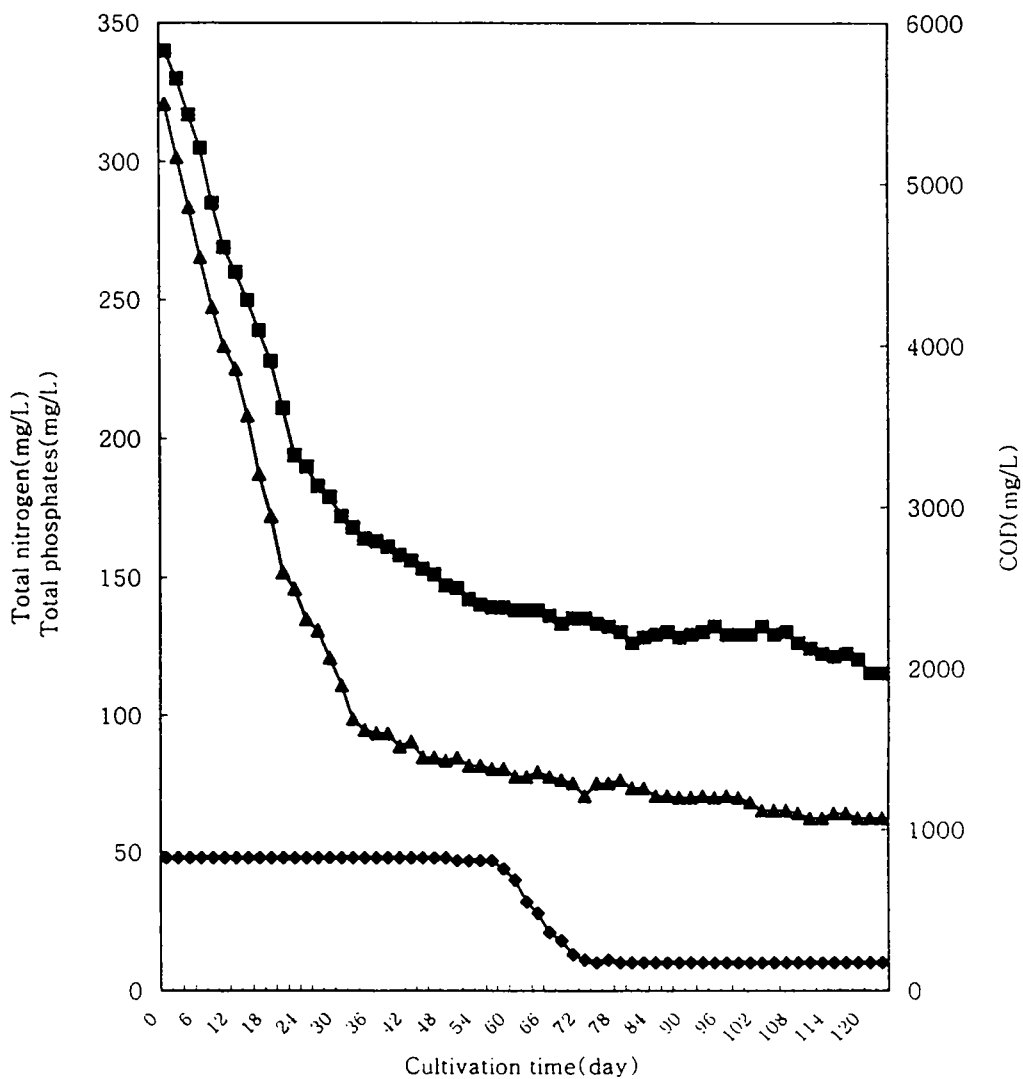
**Fig. 12. The results of removing total nitrogen and phosphates and COD to treat swine waste for fed-batch cultivation feeding 20% of wastes in an out door system.**

■ Total nitrogen    ◆ Total phosphate    ▲ Total COD



**Fig. 13. The results of continuous cultivation of *S. platensis* simultaneously to treat swine wastes produce high-protein biomass in an outdoor system(1.500L)**

■ Dry Wt.    ◆ pH    — Dilution rate(1/day)



**Fig. 14. The results of removing total nitrogen and phosphates and COD to treat swine wastes for fed-batch cultivation feeding 20% of wastes in an out-door system.**

■ Total nitrogen    ◆ Total phosphate    ▲ Total COD

# 제 3 장 돈분 고형분 및 Spirulina 포함 고 단백 사료 가공 특성 평가

## 제 1 절 서 설

가축분뇨폐기물이 환경오염 물질로서 주로 대두 되기 시작한 것은 지난 20년전부터 라고 할 수 있다. 돈분은 타가축의 폐기물 즉, 계분, 우분에 비해 그 활용가치가 다소 낮은 것으로 알려져 왔고 작물의 비료용으로서 널리 활용되어 왔으나 축산의 집약화로 인하여 점차 환경오염의 주 요인으로 작용하게 되었다. 돈분뇨가 환경오염의 주요인으로 대두되고 있는 원인은 유기물의 다량 잔류로 인한 BOD의 증가로 하수오염을 유발시키고 또한 우리에게 직접적으로 영향을 끼치는 돈분특유의 악취가 커다란 장애요인이다. 이러한 측면에서 볼 때 돈분뇨는 처리대상 및 재활용 대상으로서 상당히 중요한 의미를 지닌다고 할수 있다.

돈분뇨 폐기물을 종합적으로 처리하기 위해서는 분뇨폐기물의 액상성분과 고형분성분을 분리하여 처리하는 것이 바람직하다. 그중 액상성분의 경우는 유기질소 성분이 70-80%를 함유하고 있으므로 이를 이용할수 있는 미생물을 활용하여 폐수를 처리하는 것이 바람직하고 고형분의 경우 주로 회분과 섬유소 등으로 구성되어 있으므로 물리적 처리나 가공을 통하여 재활용하는 것이 바람직할것이다. 이러한 돈분뇨 폐기물의 고액분리과정에서 주로 저렴한 방법으로 여과나 침전방법을 사용하는데 이때 가장 문제시 되는 것은 미세크기의 점착성 높은 입자들이 문제가 된다. 이와 같은 문제점들의 해결을 위해서



는 돈분고형분의 입자도, 점도, 비중 등을 정확히 확인하는 것이 중요하다.

또한 돈분 고형분은 특유의 악취가 타 가축에 비해 4배나 높고 병원성 미생물 등이 잔재할 가능성이 높으므로 이러한 문제점을 해결하는 것은 돈분의 사료자원화에 필수적 과정이라 할 것이다. 이러한 측면에서 고열가압의 물리적 열처리를 동반하는 extrusion 공정은 원료의 휘발성 악취감소 및 유해성 미생물의 사멸을 가져와 영양적 가치를 증진시키는 장점이 있으며, 조악한 원료사료를 가공할 경우 사료적 가치가 개선되는 것으로 보고 되고 있다.

열처리 가공한 돈분고형분을 사료로 활용하기 위해서는 일정수준을 사료와 혼합하여 가공하는 것이 바람직한데 이때 배합사료와의 혼합성, 수분분산능력 등이 열처리의 균일성과 가공성을 높여주는데 중요한 역할을 한다. 특히 분뇨 중 NPN의 함량이 높아 단위가축 보다는 반추가축의 사료자원으로서 비교적 활발히 연구되어 왔다. 그러나 가축분뇨폐기물의 처리가공 기술이 발전함에 따라 사료자원화에 관한 연구는 더욱 다양해지게 되었다. 돈분에는 조단백질이 15-25%, 기타 유기물이 60-70% 포함되어 있어 조단백질 함량이 20-30%, 유기물 함량이 60-70%인 계분에 비해 단백질 함량이 다소 낮으나 조단백질 15-20%, 조섬유 20%이상인 우분보다는 사료로서의 잠재가치가 우수한 것으로 알려져 있다.

한편 가축사료로서 공급할 단백질 자원이 전 세계적으로 부족해 지면서 새로운 고단백질의 사료원 개발이 필요하게 되었다. 광합성 미세조류의 일종인 *Spirulina platensis*는 가축 폐수의 주성분인 N과 P를 이용하여 성장하는 미세조류이며 고단백질 사료원으로서 인정받고 있어 사료자원이 부족하고 축산환경의 보존이 시급한 우리나라의 입장에서는 상당히 적용해볼만한 가치가 있다. 유기물 함량이 70-80%로 농축되어 있는 돈분폐수의 액상성분은 N과 P

의 함량이 풍부하여 *Spirulina*가 성장하는데 필요한 영양원을 공급할수 있고 실제 돈분폐액을 이용한 *Spirulina*의 배양이 보고 된 바 있다. 또한 배양된 *Spirulina*를 산란계 및 이스라엘 잉어에게 급여하여 일정수준 첨가시 가축의 생산성을 개선할 수 있는 것으로 보고 된 바 있다. 그러나 이제까지 *Spirulina* 및 돈분의 돼지사료로서의 활용방안과 그 사료적 가치에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 돈분 고형분의 사료적 가치를 증진시키기 위하여 돈분의 물리화학적 특성을 평가하고자 하였고 고온 가압 하의 열처리 공정에서 돈분의 최적 가공수준을 선택 실험을 수행했다. 이와 함께 돈분과 *Spirulina*를 돼지 사료자원으로 개발하고 그 사료적 가치를 평가하기 위하여 우선 *Spirulina*의 영양소 소화율을 평가하였고, extrusion 가공을 통하여 제조된 돈분과 *Spirulina* 함유사료의 소화율 및 성장에 미치는 영향을 육성돈을 이용하여 평가를 실시했다.

## 제 2 절 실험 방법

돈분고형분을 사료화 하는데 필요한 사료로서의 물리·화학적 특성을 평가하고자 아래와 같은 항목을 조사하였다.

### 1. 돈분고형분의 입자도 분포

육성-비육-모든의 혼합돈분을 시험돈분으로 채취하여 건조기에서 60℃로 48시간 건조후 시료로 사용하였다. 돈분 고형분의 입자도는 sieve pore size 600 $\mu$ m, 350 $\mu$ m, 177 $\mu$ m, 106 $\mu$ m인 wire sieve를 장치한 후 건조된 돈분고형분을 증류수와 1:7로 희석시켜 일정속도로 sieve를 통과시킨후 건조시켜 sieve에 남은 잔량의 무게를 측정하여 입자도의 분포를 조사하였다.

### 2. 점도 및 비중 측정

Sieve를 통과한 입자를 dry oven에서 건조시켜 각 입자별 돈분고형분을 증류수와 1:7로 희석후 Brookfield Viscometer(Model DV=II, Brookfield Eng, Inc, USA)를 이용하여 실온(20-22℃)에서 측정하였다. 각 입자별 돈분 고형분을 증류수로 1:7로 희석후 비중계 (대광계기제작소, Korea)를 이용하여 측정하였다.

### 3. 돈분의 물리적 특성 평가

돈분고형분의 물리적 특성을 확인하기 위하여 총고형물(Total Solids: TS), 용존고형물(Dissolved Solids: DS), 현탁고형물(Suspended Solids: SS)을 측정하였다. 돈분의 물성은 돈분의 수분함량에 따른 돈분의 혼합능력을 평가하기 위하여 돈분의 수분함량을 40% 이상, 20-40%, 0-20%, 그리고 10% 이하로 설정한 후 배합사료와 혼합하여 배합기에서 5분간 배합해 1, 6, 12, 24시간 경과 후 수분의 분산능력을 평가하였다.

주요 원료사료와의 혼합능력을 평가하기 위하여 ground corn, soybean, rice bran, mixed feeds를 각각 설정하여 배합기에 넣은후 5분간 배합하여 혼합정도를 평가하였다.

또한 생돈분을 각각의 원료사료와 혼합후 각 원료의 수분분산능력을 평가하였다. 돈분중 암노니아테 질소는 신선한 돈분을 채취하여 비색계를 이용하여 측정하였다. 휘발성 지방산은 채취한 시료를 희석, 균질 후 Gas chromatography(Varian 6000)를 이용하여 분석하였다.

### 4. 열처리 가공 하에서의 돈분 구성 요소의 열적 변화

Extrusion이나 pelleting과 같은 열처리 가공시 돈분고형분의 효율적인 열처리 조건을 찾기위한 기초연구로서 재료가 열온도에 따라 어떻게 변화하는가를 DSC를 이용하여 조사하였다. Table 1에서와 같이 돈분구성분을 인위적으로 조절하여 이들 표준혼합물질이 열적가공상황하에서 어떻게 변화하는지를 DSC(differential scanning calorimetry, Perkin-Elmer Thermal Analysis, USA)를 이용하여 조사 하였다.

## 5. 돈분의 extrusion 가공효과 평가

본 실험에 이용된 extruder는 강원대학교 사료생산공학과 부속 pilot feed mill에 single screw extruder(Extruder, NSE-25, Namsung, Korea, figure 1)를 이용하였다. 실험사료는 table 2와 같이 배합된 양돈용 배합사료에 열풍건조기로 48시간 건조한 신선 돈분(12시간 이내)을 5%, 10%, 20% 혼합하였다. Extrusion 처리조건은 사출 직전 barrel 온도 110℃와 130℃ 등 2조건을 설정하였으며 수분은 15% 및 30%로 설정하였다. Die직경은 10mm, Main feeder의 RPM은 1150으로 동일하게 가공하였다. 수분조절은 분당 50-70cc/min 수준으로 첨가하면서 최종수분을 조절하였다. 수분함량과 내구도 평가는 extrusion 성형 후 실온에서 30분 냉각 후 실시 하였다.

또한 첨가사료 및 물질에 의한 내구도의 변화를 조사하기 위하여 *Spirulina platensis* 2% 및 yucca extract 1000ppm을 위에서 언급한 돈분 시험 사료에 첨가한 후 수분함량을 25%로 고정한 후 extrusion을 실시하였다. 기타 가공처리는 전과 같이 실시하였다.

총괄적으로 본 실험은 첫째로 수분 2수준, 돈분 3수준, 온도 2수준으로 하는 2×3×2의 요인설계와 둘째로 첨가제 2수준, 돈분 3수준, 온도 2 수준으로 하는 2×3×2의 요인설계에 의하여 실시되었다.

실험 조사 항목은 다음과 같다.

- (1) Extrusion 가공조건 변화에 따른 수분 및 내구도 변화
- (2) 돈분함유 사료의 후각 악취강도 및 주요 가스함량

## 6. Yucca extract를 통한 돈분의 악취강도 평가

공시동물은 평균체중 20kg(D×H×Y)인 돼지 30두를 선발하여 각 처리당 10두씩 공시하였다. 시험사료는 table 2와 동일하며 yucca extract(yucca shidigera 분말; Bio-Feed Products Company, Inc. USA) 수준을 0, 500ppm, 1000ppm 수준으로 두어 각 시험사료에 첨가하였다. 시험사료를 yucca extract와 배합한후 4.7mm die를 장착한 pellet mill(Model CPP-020, 20HP)를 이용하여 pellet을 제조하였다.

시험개시 5일, 7일, 10일후 각 처리구의 돈분을 500ml 시료병에 생돈분 200g을 채취하여 넣은후 혐기적 상태에서 2시간 방치후 Gas detection kit(100ML, KOMYO-400S, Komyo Co, Japan)를 이용하여 NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>를 측정하였다. 후각강도는 table 3에서 나타난 바와 같이 후각강도 기준을 설정하여 혐기적 상태에서 2시간 방치후 5명이 3반복으로 후각을 이용하여 측정하였다.

## 7. 육성돈에 있어서 *Spirulina platensis*의 영양소 소화율 평가

공시동물은 동물사육장내 30kg 전후 숫돼지 3두(D×L×Y)를 선발하여 공시하였으며 대사 cage당 1두씩 배치 하였다. 기초시험사료(basal)는 table 1에 나타난 바와 같다.

## 8. 시험설계

돈분 고형분에서 배양된 *Spirulina platensis*의 영양소 이용율을 측정하기 위하여 기초사료(basal)를 대조구로 하고, 기초사료 90%에 *spirulina* 10%를 첨가시킨 사료와 기초사료 95%에 *spirulina* 5%를 첨가시킨 사료등 3가지 사료를 준비하여 3처리를 두었으며 처리당 3반복으로 라틴방각식 시험배치를 하였다.

시험사료는 *Spirulina platensis*를 첨가하여 7일간의 적응기간을 거쳐 4일마다 1번씩 분을 채취하였다. 채분한 것은 dry oven을 이용하여 60℃에서 48시간 건조시켜 분쇄 후 분석에 사용하였다. 시험사료는 1일 정상 섭취량의 85%를 제한급여 하였으며 물은 자유섭취도록 하였다. 시료중의 유기물을 Kjeldahl tube에서 nitric acid로 건조될 때까지 170℃로 가열 후, 15ml의 digestion mixture(10mg sodium molybdate)를 서서히 첨가한 후 다시 가열하여 반응시킨다. 반응이 끝난 tube를 hood내에서 냉각시킨후, 약간의 증류수를 붓고 conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20ml를 서서히 첨가시킨 후, 100ml vol. flask에 넣고 증류수로 100ml를 맞춘다. 이 용액을 8시간 이상 정치시켜 무기물을 침전시키고 상등액을 pipetting하여 spectrophotometer(UVIKON942, KONTRON Co.)를 이용하여 430nm에서 흡광도를 측정하였다. 그후 아래와 같이 chromic oxide 함량을 계산하였다.

대사시험용 사료에 indicator로서 0.2%의 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가하여 급여하였으며 영양소 이용율은 사료와 분중의 영양소 함량 및 Cr 농도를 측정하여 다음공식에 의해 산출하였다.

$$\text{건물소화율} = 100 - \left( 100 * \frac{\text{사료중의 Cr}_2\text{O}_3(\%)}{\text{분중의 사료중의 Cr}_2\text{O}_3(\%)} \right)$$

$$\text{영양소 소화율}(\%) = \left( 100 - \left( 100 * \frac{\text{사료중의 Cr}_2\text{O}_3(\%)}{\text{분중의 사료중의 Cr}_2\text{O}_3(\%)} * \frac{\text{분중의 영양소}}{\text{사료중의 영양소}} \right) \right)$$

모든 처리구의 성적에 대한 통계분석은 SAS program 을 이용하여 분산 분석을 하였고, 처리평균간 유의성 검정은 Duncan의 다중 검정을 이용하였다.

### 9. 육성 돈을 이용한 소화율 평가

소화시험을 위한 공시동물은 평균체중 50kg인 수돼지 7두를 선발하여 철제 cage당 1두씩 배치하였고 기초사료는 table 3에 나타난 바와 같으며 아래와 같이 총 6가지의 시험사료를 제조하여 extruded pelleting을 실시하였다. 즉 돈분무첨가, 5% 첨가 및 10% 첨가(3수준), *Spirulina* 무첨가 및 2%첨가(2수준)로 3×2 요인법에 의해 총 6처리를 두었다. 시험에 사용된 돈분은 육성, 비육, 모돈의 혼합돈분이었다.

E 0-0 : 기초사료

E 0-2 : 기초사료 + *Spirulina* 2%첨가

E 5-0 : 기초사료 + 돈분 5%첨가



E 5-2 : 기초사료+돈분 5%첨가+Spirulina 2%첨가

E 10-0 : 기초사료+돈분 10%첨가

E 10-2 : 기초사료+돈분 10%첨가+Spirulina 2%첨가

돈분을 3수준, *Spirulina*를 2수준으로하는 3×2의 요인실험으로 총 6처리를 설정하였다. E0-0, E0-2, E5-0, E5-2, E10-0, E10-2의 시험사료를 extrusion(Extruder, NSE-25, sing screw type, Namsung, Korea) 한후 4.7mm die를 장착한 pellet mill(Model CPP-020, 20HP)를 이용하여 pellet을 제조하였다. Extrusion의 conditioning 온도는 130±3℃를 유지하였고 수분은 110cc/min 수준으로 공급하여 extrusion후 원료의 수분함량을 25%수준으로 유지하였다. 원료의 barrel내 잔류시간은 20초내외이고 pellet제조 후 실온에서 30분 냉각 시켰다. 시험구는 5일간의 적응기간을 거쳐 4일마다 1번씩 4반복으로 분을 채취하였다. 채분된 돈분은 dry oven에서 60℃로 48시간 건조되어 분쇄후 분석에 이용하였다. 시험사료와 물은 전 시험기간동안 자유섭취시켰으며 기타 사양관리는 양돈장의 관행에 준하였다.

## 10. 육성돈의 육성성적 평가 I

공시 동물은 평균체중이 20kg(D×H×Y)인 돼지 28두를 선발하여 각처리당 암돼지 2두와 수돼지 5두를 공시하였다. 시험사료는 table 4와 같으며 설계에 따라 배합한 후 모두 extruded pelleting 가공을 실시하였다. 0-0, 0-2, 5-0, 5-2의 시험사료를 extrusion (Extruder, NSE-25, sing screw type, Namsung, Korea) 한후 4.7mm die를 장착한 pellet mill(Model CPP-020, 20HP)를 이용하여 pellet을 제조하였다. Extrusion의 conditioning 온도는

130±3℃를 유지하였고 수분은 110cc/min 수준으로 공급하여 extrusion후 원료의 수분함량을 25%수준으로 유지하였다.

돈분 첨가 2수준(0%, 5%첨가), *spiulina* 첨가 2수준(0%, 2%)으로 시험사료를 2×2 요인 설계로 총 4처리를 아래와 같이 두었다.

E 0-0 : 기초사료

E 0-2 : 기초사료+Spirulina 2%첨가

E 5-0 : 기초사료+돈분 5%첨가

E 5-2 : 기초사료+돈분 5%첨가+Spirulina 2%첨가

육성시험은 7일간의 적응기간을 거쳐 총 28일간 실시하였으며 시험기간중 물과 사료는 분리하여 자유급여하였다. 기타 사양관리는 양돈장의 관행에 준하였다.

○ 일당증체량(Average Daily Gain, ADG):

시험 개시시 체중을 측정한후 14일 마다 개별 체중을 측정하였다.

일당증체량=(종료시 체중 - 개시시 체중)/사양일수

○ 일당섭취량(Average Daily Feed Intake, ADFI):

시험 개시후 매 3일마다 측정하였으며 사료급여전에 사료잔여량과 허실량을 측정하여 산출하였다.

일당섭취량=총 사료급여량/사육 두수

○ 사료요구율(F/G) = 일당 사료섭취량/일당 증체량

### 제 3 절 결과 및 고찰

#### 1. 돈분고형분의 물리·화학적 특성평가

##### 가. 돈분고형분의 입자도, 점도 및 비중측정

돈분고형분의 입자도 분포를 살펴보면 table 4와 같은데 106 $\mu$ m이하의 입자가 53.1%로서 가장 많이 차지하는 것으로 나타났다. 이것은 사료의 종류에 따라 달라질수 있으나 일반적으로 소화기관을 거치고 나온것이기 때문에 비교적 작은 성상을 나타내 주고 있다. 이들 입자는 점도에 있어서도 106 $\mu$ m 이상의 입자에 비해 점도가 높으며 비중은 물에 가까워서 주로 현탁고형분이 주종을 이루는 것으로 평가되었으며 이로 인해 침전에 의한 분리가 다소 어려울 것으로 판단되었다. 한국과학기술원(1990)은 축산분뇨중 수질혼탁물질 발생정도가 돼지분뇨에서 가장높다고 하였는데 이것은 106 $\mu$ m이하의 입자가 주 원인 일것으로 판단된다. 이러한 입자들을 효과적으로 선별하여 재활용하기 위해서는 돈사의 시설 구조와 기계적 선별 장치가 제대로 이루어져야 할것이며 이에따른 연구가 추가적으로 이루어져야 할것이다.

##### 나. 돈분고형분의 물리적 특성

Table 5은 돈분고형분을 물리적 성질에 따라 분류한 것인데 전체 고형분중 현탁고형물은 81.47%이고, 용존고형물은 18.53%에 이르렀다. 이것은 돈분의 현탁고형분이 86%라고 보고한 이 등(1990)의 결과와 비슷하였으며 타가축 보다는 높은(ARC, 1976) 것으로 나타났다. 휘발성 고형분은 전체 80.34%에 이르렀는데 이는 돈분의 악취발현과 관계가 깊을 것으로 판단되었다.

## 다. 돈분의 물성평가

Table 6은 돈분고형분의 수분함량에 따른 배합사료화의 혼합정도를 나타낸 것인데 수분함량이 20% 이상일 때 혼합정도는 급격히 저하되는 현상을 나타내 주고 있다. 수분함량이 20% 이하일 때는 혼합정도가 수분에 의해 별 영향을 받지 않음을 보여주고 있다.

Table 7은 생고형분과 사료를 혼합한후 저장 안전시간이 경과함에 따라 수분 분산능력을 평가한 결과인데 저장 안정시간이 증가할수록 수분분산능력은 개선되는 것으로 나타났다. 이는 열가공시 열전달성이 안정시간에 따라 달라질수 있음을 보여주고 있다.

Table 8은 첨가 희석제 종류에 따라 돈분 고형분과의 혼합능력을 나타낸 것이다. 혼합능력은 분쇄 옥수수과 배합사료가 가장 좋은 것으로 나타났고 수분 분산능력에서는 배합사료가 가장 우수한 것으로 나타났다(Table 9).

## 2. 고온가압하에서의 돈분의 열적변화 평가

### 가. 열처리 가공하에서의 돈분구성요소의 열적변화

배합사료에 돈분을 혼합하여 열처리 가공할 때 최적 열처리 가공조건을 평가하기 위하여 돈분의 주요 구성분을 인위적으로 조절하여 열처리 할 경우 그 열적 변화를 요약하여 보면 table 10과 같으며 이를 각 구성요소별 함량에 따라 열변성점의 온도를 알아본 결과 figure 2, 3 및 4와 같다.

본 실험결과 돈분구성요소 함유 시료는 열처리 과정에서 2회의 열변성 곡선이 관측되었다. 특히 열변성 발생시 온도는 주요 성분의 변화에 따라 다소 차이가 관측되었고 일반적으로 제 1차 변성과정에서 에너지가 제 2차에 비해 높은 것으로 나타났다.

돈분 주요 구성요소별 열변성 온도를 살펴보면 urea의 경우 첨가수준이 증가할수록 starch의 gelatinization temperature를 떨어뜨리는 것으로 나타났다(fig. 2). 그러나 이에 필요한 에너지의 양은 증가하는 것으로 나타났다(table 10). 이는 돈분의 첨가수준이 높아질수록 extrusion 과정에서 barrel의 온도 상승보다는 체류시간을 연장시키는 가공법이 효과적임을 시사한다. 또한 steam의 선택시 specific energy의 함량이 높은 수증기를 사용하는 것이 효과적인 가공을 유발시키는데 도움이 됨을 의미한다. 이는 urea가 glucose chain간 수소결합을 끊어주어 gelatinization의 온도를 낮추었으나 수분의 흡착력이 강하여 재료간 heat transfer를 저해하여 소요 에너지를 더욱 증가시킨 것으로 판단되었다.

또한 상기결과는 starch와 돈분의 악취원 중 하나인 ammonia를 함께 extrusion하는 과정에서 ammonia가 starch에 흡착되어 돈분가공사료의 악취를 감소시키는 이론적 근거를 제시하며, 또한 어떻게 하면 효과적으로 악취를 제거할수 있는가에 대한 기초자료를 제공한다. 즉 starch의 chain간 hydrogen bond가 많을수록, 또는 branched chain이 많은 starch일수록 악취 제거 잠재력이 클수 있음을 의미한다. 또한 이러한 실험결과는 재료내 수분의 함량이 낮으면(30%이하) starch gelatinization을 기대하기 어렵다는 점을 보여주었다. Figure 2,3에서는 재료내 cellulose, ash에 의한 열변화 온도를 나타낸것인데 큰 차이가 없는 것으로 나타나 돈분으로부터 유래하는 cellulose나 ash는 열처리 가공에 큰 영향요인이 되지 않음을 보여 주었다.

#### 나. 돈분의 extrusion 가공 효과 평가

##### 1) Extrusion 조건 변화에 따른 수분 및 내구도의 변화

수분함량, 가공온도, 원료변화등 extrusion 조건의 변화가 최종가

공사료의 내구도에 미치는 영향은 table 11과 같다.

Table 11에서 보는 바와 같이 각 가공조건에 따라 내구도의 변이가 다양함을 볼수 있다. 내구도는 특히 돈분함량, 온도 그리고 수분함량에 따라 현저하게 달라짐을 알수 있다( $P < 0.0001$ ). 즉 수분함량이 30%인 돈분배합사료의 extrusion시 수분 15%인 경우에 비해 가공사료의 내구도가 약 45% 정도 개선됨을 알수 있다. 그러나 수분이 30%일 경우 타요인에 의한 내구도 차이는 미미하여 수분함량이 일정수준에 달할 경우 내구도는 주로 수분함량에 따라 결정됨을 보여주었다. Heffer 등(1973)은 온도가 높아질수록 사료의 전분호화가 증가하여 내구도에 영향을 미친다고 하였는데 본 실험에서도 수분 15% 첨가시 내구도가 온도에 따라 변화함을 나타내 주고 있다( $P < 0.0001$ ). 수분 15% 처리구에서 수분30% 처리구에 비해 내구도의 변화가 큰 것으로 나타났는데 수분 함량이 낮을 경우 온도나 원료성분의 변화에 따라 내구도가 크게 달라질수 있음을 보여주었다. Hanrahan(1980)은 각각 40℃와 70℃에서 conditioning하여 pelleting한 결과 70℃에서의 내구도가 월등히 우수함을 보고하였고 본실험에서도 수분 15%처리구에서 이와 유사한 결과를 나타내었다. 이것은 온도가 고온일수록 온도에 의한 내구도 변화는 상대적으로 작아진다는 것을 나타내주고 있다. 수분 30% 처리시 20%의 돈분을 첨가한구에서 내구도가 가장 낮게 나타났는데 이는 돈분을 적정수준 이상으로 첨가했을시 내구도가 감소할 수 있음을 시사해주고 있다.

내구도에 영향을 미치는 각 요소들의 영향을 분석한 결과 돈분의 첨가비율( $P < 0.0001$ ), 수분( $P < 0.0001$ ), 온도( $P < 0.0001$ )등이 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었고 각 요인간 교호 또는 가역효과도 있는 것으로 평가되었다.

Table 12은 배합사료에 2%의 *Spirulina platensis*를 첨가하거나 yucca추출물 1000ppm을 첨가할 때 최종사료의 내구도를 평가한 표이다. 이때의 수분함량은 25%로 고정한 후 extrusion을 실시하였다.

일반적으로 *Spirulina* 첨가시 yucca첨가시에 비하여 내구도가 개선되는 것으로 나타났다( $P < 0.0001$ ). 또한 돈분 20%첨가구와 10%첨가구 사이의 내구도 차이는( $P < 0.002$ ) 돈분 10%와 5%첨가구의 내구도 차이에 비해( $P < 0.0001$ ) 작은 차이를 보였으나 돈분첨가수준에 의한 내구도의 차이가 있는 것으로 나타났다. 본 실험에서 yucca 첨가시에만 돈분의 첨가수준에 따라 내구도의 변화가 나타났는데 그 정확한 원인은 본 실험으로 측정하기 어려웠다.

Fig.5.는 extrusion 처리된 단순 돈분첨가 배합사료와 돈분과 유카 및 돈분과 *spirulina*의 혼용처리구를 extrusion한 결과로서 나타난 내구도이다. 단순 돈분처리구와 *spirulina* 처리구는 92% 이상의 내구도를 나타낸 반면 유카처리구에서는 그이하치를 나타내어 유카첨가는 extrusion 내구도의 품질을 저하시키는 것으로 나타났다.

## 2) 돈분함유사료의 후각악취강도 및 주요 가스함량

돈분함유 사료를 생상태에서 또는 extrusion 할 경우 후각 악취강도나 주요 악취가스의 함량을 살펴보면 table 13 및 14와 같다. Table 13 및 14에서 보는 바와 같이 대조구의 후각강도와 extrusion 처리구의 후각강도를 성형후 10일째에 조사하였을 때, 20%, 10%돈분배합사료 대조구의 후각악취 정도는 모두 “매우느낌(4-1, 4-2)”으로 나타났으며 5%첨가구의 경우 “느낌(3-1)”으로 나타났다. 그러나 extrusion 가공을 할 경우 돈분 20% 배합구에서 “느낌”으로 나타나 가공을 하지 않은 경우 돈분 5%혼합처리구와 유사한 수준으로 나타났고 그 이하 처리구에서는 “약간느낌(2-1)”으로 나타났다. 따라서 extrusion 가공에 의하여 악취의 후각강도는 현저하게 감소하는 것으로 나타났다.

그러나 gas 함량 측정에 있어서는  $SO_2$ 만이 extrusion 전과 후에 따라 다소 차이를 나타냈을뿐 다른 gas함량에서는 차이가 없었다(fig.6).  $H_2S$ 는 공

히 검출되지 않았다. Yucca추출물과 *Spirulina platensis*의 첨가시 후각강도는 20%돈분배합사료 처리구에서 “느낌”으로 나타났을 뿐 그외에는 모두 “약간느낌”으로 나타났다. 또한 gas함량에 있어서도 특이할 만한 차이는 없었으며 H<sub>2</sub>S는 검출되지 않았다. 사람의 후각으로 느낄수 있는 가스로서 SO<sub>2</sub>는 별 영향을 미치지 못하며 NH<sub>3</sub>는 5ppm이상에서 H<sub>2</sub>S는 1ppm 수준에서부터 감지가 가능하다는 보고가(유니화학, 1990) 있는데 본 실험에서 사람의 후각으로 감지가 안될 정도의 가스가 검출된 것으로 미루어 보아 악취를 발현시키는 성분은 NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> 외의 성분으로 이루어져 있는 것으로 추정된다. 타 연구 보고에 의하면 돈분의 악취는 VFA, phenol, p-cresol, indole, skatole로 지적하고 있으나(Mackie, 1994; O'Neill and Phillips, 1992; Morrison, 1987; Zhu 등, 1997) 각 성분의 악취 발현 비중에 대해서는 아직 규명되어 있지 않은 상태이다.

본 실험에서 악취강도는 extrusion처리구에서 대조구에 비해 전반적으로 저하되었는데 이는 돈분의 주요 악취 성분으로 알려진 휘발성 지방산, phenols, indoles 등이 extrusion 가공시 고온고압하에서 상당부분 휘발되었음을 나타내 주고 있다. 악취성분의 휘발에 있어 수분(15%-30%)과 온도(110℃-130℃)의 차이에 의한 변화는 거의 없는 것으로 보아 일정수분 및 온도에서의 악취성분휘발 효과는 비교적 일정한 것으로 판단된다.

### 3. Yucca extract를 통한 돈분의 악취강도 평가

Table 15은 yucca extract를 육성돈에게 급여시 나타난 악취강도를 나타낸 것이다.

Gas 함량은 0, 500ppm, 1000ppm 처리구에서 모두 비슷하게 나타났다. 암모



니아는 yucca extract 첨가구에서 대조구보다 다소 높은 수치를 나타내었고 황화수소는 각 처리구에서 검출되지 않았다. 후각강도에 있어서도 yucca extract 처리구는 첨가량에 관계없이 대조구의 “역한냄새(5)”와 별다른 차이를 보여주지 않았다.

Yucca extract는 악취억제제로서 효과가 있다는 보고가(Headon 등, 1991; Ma 등, 1993) 있고 돼지의 일당 증체량도 증가시킨다는 보고도(Foster 등, 1983; Headon 등, 1991) 있다. 전 등(1996)도 돼지에게 yucca를 급여하여 휘발성 지방산과 암모니아태 질소를 감소시켰다고 보고한 바 있는데, 본 실험의 주요 gas 함량에서는 차이가 없었고 악취강도에서도 차이를 발견하지 못했다. 이러한 결과는 돈분의 악취가 phenol, p-cresol, indole, skatole, VFA 등의 여러 가지 복합요소로 되어 있기 때문에(Mackie, 1994; O'Neill and Phillips, 1992; Morrison, 1987; Zhu 등, 1997) yucca extract가 비록 어떠한 특정성분을 다소 감소시킨다고 하더라도 실제적인 악취감소를 이끌어 내는데에는 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되었다.

#### 4. 육성돈에 있어서 *Spirulina platensis* 첨가사료의 영양소 소화율 평가

##### 가. 영양소 소화율

Table 16은 *Spirulina platensis* 첨가사료의 육성돈에 있어서의 영양소 소화율을 나타낸 것이다.

표에서 나타난 바와 같이 *Spirulina platensis* 무첨가구와 첨가구 사이에 DM, CP, EE, energy, ash의 소화율은 차이를 보이지 않았다( $P>0.05$ ). 이것은 *Spirulina platensis*가 돼지의 영양소 소화율에 부정적인 영향을 미치지 않는다는 것을 나타내주고 있다.

Fevrier와 Sevet(1975)는 early-weaned piglets에게 대두박 대치원으로서

*Spirulina platensis*를 12%대치하였을 때 대두박 처리구 사료의 소화율은 84%였으나 *Spirulina*첨가구는 77.9%라고 보고하여 조류를 첨가함으로써 전체 소화율의 저하를 가져왔다고 하여 본 실험에서 소화율에 차이가 없었던 것과는 다소 차이가 있음을 보고했다. 이는 시험에 사용된 돼지의 연령차이가 나는데에서도 기인할것으로 판단되나 이를 확인하기 위해서는 연령별 소화시험을 실시하여야 할 것이다. Protector(1980)은 *Spirulina platensis*의 단백질 소화율이 76%라고 보고하여 본 실험의 73.64%보다 다소 높은 것으로 보고하였다. 또한 Becker와 Verkataraman(1984)는 *Spirulina platensis*의 단백질 소화율은 건조 방식에 따라 in vitro소화율이 65-85%로 다양하게 나타난다고 보고하였는데 이러한 점에서 볼 때 *Spirulina platensis*는 가공여부에 따라 소화율 정도가 큰 차이가 나타날수 있을 것으로 판단된다. *Spirulina platensis*외에 돼지에게 시험급여된 미세조류로서 *Chlorella*와 *Scenedesmus* 등이 있는데 이들은 대두박의 이용율과 비교해 볼 때 열등하게 나타나 대두박의 대치원으로서 적절치 않은 것으로 보고 되었다(Becker, 1994).

따라서 본 실험에서 돼지사료에 10% 수준까지 *Spirulina*를 첨가하더라도 소화율의 차이가 나타나지 않는 것으로 보아 돼지의 단백질 공급원으로 가치가 있는 것으로 판단되었다.

#### 나. 아미노산 소화율

Table 17은 *Spirulina platensis*의 아미노산 소화율을 나타낸 것이다. *Spirulina* 함유사료의 전체적인 아미노산 소화율은 일반적으로 우수한 것으로 나타났으며 필수아미노산별 소화율은 각 처리구간 차이를 나타내지 않았다. 그러나 alanine 소화율은 *Spirulina*를 5-10% 첨가시 증가하였다 ( $P<0.05$ ). 또한 *Spirulina* 0%, 10% 첨가구에서 proline의 소화율은 *Spirulina* 5% 첨가구에 비해 소화율이 개선되었다( $P<0.05$ ). Alanine 및

proline의 소화율의 차이는 이들이 비필수 아미노산이어서 더욱 그 원인을 설명하기 어려웠다. 아무튼 전반적으로 대두박 대신 *Spirulina*를 10%까지 대체하여도 아미노산 소화율에는 차이가 없음을 나타내주었다. *Spirulina* 아미노산 소화율에 관한 자료는 매우 부족하여 비교하기 어려웠으나 타 가축에서의 자료를 비교하여 보면 이스라엘 잉어사료의 어분을 100%대치하여 *Spirulina* 급여시 아미노산 소화율은 감소하는 것으로 나타나(오 등, 1998) 단백질 급원으로서 *Spirulina*는 단독급여 보다는 혼용급여가 유리함을 나타내 주었다. 또한 육용계에게 급여한 실험에서 오 등(1995)은 필수아미노산 이용율이 *Spirulina* 50%급여구가 대두박, 밀, 옥수수 급여구와 같았으며, 어분(50%) 급여구 보다는 10% 이상 이용율이 개선되었다고 보고하여 기존 단백질원료의 50%까지 대체가 가능함을 보고하였다.

결론적으로 *Spirulina*를 돼지의 사료로서 사용하는데 있어 *Spirulina*를 10%까지 첨가하여도 아미노산 소화율에서 차이가 없었으며 lysine 소화율이 다소 낮아지는 경향을 보였지만 유의적인 차이를 보이지 않아 대두박의 대체 단백질원으로서 높은 가능성이 있음을 보여주었다.

## 5. 육성돈에 있어 extruded pellet 가공한 어린돼지 돈분의 영양소 소화율 평가

### 가. 시험사료의 내구도 및 일일 섭취량

소화시험 사료의 가공조건과 가공후 성형사료의 내구도는 table 18에 나타난 바와 같다.

Extrusion시 최종 conditioning 온도는 돈분의 extrusion가공 평가에서 사용했던 110℃와 130℃의 중간 온도인 120℃를 이용하여 성형하였다. 성형후

pellet 내구도는 돈분 무첨가구에서 가장 낮았으며, 돈분 6%첨가구에 비해 돈분 3%첨가구에서 높게 나타났으나 유의적인 차이는 없었다( $P>0.05$ ). 이것은 돈분수준이 증가할수록 내구도는 개선되는 경향을 보이지만 적정수준이상 이 되면 오히려 역효과를 초래할 수 있다는 것을 나타내주고 있다.

돈분의 첨가를 다양하게 하였을 때, ADFI에 미치는 영향은 table 19와 같다. 표에서 보는 바와 같이 대조구와 돈분의 첨가구 사이에서 유의적 차이는 나타나지 않았으나( $P>0.05$ ) 돈분을 첨가한 처리구에서의 섭취량이 다소 낮은 경향을 보여주었다. 이것은 어린돼지의 돈분이 사료원으로서 6%수준까지는 섭취량에 부정적 영향을 주지 않았다는 것을 보여주었다.

#### 나. 영양소 소화율

Table 20은 성돈 및 자돈 돈분의 일반성분을 나타낸 것이다.

영양소 함량에 있어서 성돈돈분은 조단백질이 15.82% 인데 비해 자돈 돈분은 22.13%에 이르고 있다. 조지방 함량도 자돈돈분이 다소 높으며 비소화부분의 주종을 이루고 있는 조회분과 조섬유는 성돈돈분에서 비교적 높은 경향을 보이고 있다. 이러한 경향으로 볼 때 돈분의 사료자원화 측면에서 자돈돈분의 활용이 유리할 것으로 판단된다.

Table 21은 어린돼지의 돈분을 함유한 사료를 extruded pellet하여 육성돈을 이용하여 영양소 소화율을 측정한 결과이다.

DM 및 energy 소화율은 대조구와 돈분 3% 처리구에서 차이가 없었으나 돈분첨가 수준이 증가할수록 낮아지는 것으로 나타났다( $P<0.05$ ). CP 소화율도 대조구에 비해 돈분첨가구에서 다소 감소하는 것으로 나타났으며 돈분수준간에 차이는 없었다. EE의 소화율은 각 처리구에서 모두 차이가 없었지만 대조구에서 가장높게 나타났다. 전체적인 소화율을 보면 돈분의 첨가가 증가함에 따라 감소하였으나 그 차이는 크지 않음을 알수있는데 이것은 대조

구와 돈분 5%첨가구에서 상당한 차이를 보여준( $P < 0.0001$ ) table 12에서 나타난 결과와는 다른 결과를 나타내주고 있다.

이는 아마도 돈분 자체의 소화율을 비교한 결과 table 21의 어린돼지 돈분은 DM 50.63%, CP 47.9%, EE 48.69%, energy 63.69% 인 반면, table 22의 육성-비육-모돈의 혼합돈분은 DM 27%, CP 26.35%, EE 38.52%, energy 21.99%로 나타나 어린돼지의 돈분이 육성-비육-모돈의 혼합돈분보다 우수한 소화율을 나타낸데 기인한 것으로 판단된다.

사료성분 중 lysine 0.1%의 첨가가 돈분 소화율을 평균 15% 높여 주었다는 보고(Orr, 1974)가 있는데 본 실험에서도 사료중 라이신의 함량은 table 22 사료에 비해 table 21의 사료가 약 0.3% 정도 높았다.

결과적으로 이러한 소화율의 차이가 라이신 함량에 의한 차이인지 또는 돈분의 종류에 의한 차이인지 확인하기 어려우므로 여기에 관한 추가적인 실험이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 6. Extruded pellet 가공한 돈분 및 *Spirulina* 첨가사료의 육성돈에서의 소화율 및 성장능력 평가

### 가. 영양소 소화율

돈분 및 *Spirulina* 첨가사료의 영양소 소화율은 table 22와 같다.

표에서 보는 바와 같이 대조구와 *Spirulina* 첨가구는 각 영양소 소화율에서 차이를 나타내지 않았다. 돈분 무첨가구와 첨가구는 DM, CP, EE, energy 소화율에서 유의적인 차이( $P < 0.0001$ )를 나타내었으나 ash에서는 다소 낮은 차이( $P < 0.01$ )를 나타내 주었다. 돈분 5%와 10%첨가구는 *Spirulina*의 첨가와는 관계없이 돈분 5%첨가구에서 10%첨가구에 비해 DM( $P < 0.002$ ), CP( $P < 0.02$ ), energy( $P < 0.0012$ )의 차이를 나타내어 돈분첨가량이 증가할수록

영양소 소화율은 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다.

Kornegay 등(1977)은 건조돈분 21.7%를 비육돈에게 급여시 DM, CP, EE, energy 소화율이 각각 48.0%, 60.1%, 54.1%, 46.7%라고 하였으며 이때 lysine함량은 0.8% 수준이었다. 이 때 건조돈분의 소화율은 본 실험에 비해 다소 높았으나 table 11에 나타난 결과와는 비슷한 수준을 나타내었다. 여기서 사용된 돈분의 종류는 언급되지 않아 돈분자체의 비교는 할수 없었으나 라이신 함량은 0.8%로서 table 12와 비슷한 수준이었다. Orr(1974)는 라이신 함량에 따라 돈분의 소화율이 달라질 수 있음을 보고 하였는데 즉, 옥수수와 건조돈분을 혼합하여 육성돈에게 급여시 돈분의 영양소 소화율이 DM 34.5%, CP 8.5%, energy 28.9%인데 비해 0.1% lysine과 0.1% methionine을 첨가시 소화율이 48.1%, 23.4%, 42.6%로 증가하여 lysine과 methionine을 돈분에 첨가시 소화율이 크게 증대되었음을 보고하였다. 또한 Harmon 등(1972)도 lysine 첨가로 인하여 성장능력이 향상되었음을 보고하여 돈분첨가시 lysine 및 methionine의 복합첨가가 돈분의 첨가효율을 증대시키는 것으로 보고 하였다.

Van Dyke(1986)은 기초사료에 세척을 실시한 screened swine waste를 0, 25%, 50% 첨가하여 비육돈에게 급여한 결과 CP소화율은 10%미만 이었고 가소화 에너지 소화율은 48-53% 수준으로서 본 실험의 table 11과 table 12에 나타난 결과에 비해 저조한 소화율을 보였는데 이는 세척으로 인해 돈분의 가소화 단백질 성분이 다량손실 된다는 것을 보여주었다. 또한 반추동물에 있어 건조 돈분의 소화율은 DM 29%, CP 31%, EE 18%, NFE 43%라는 보고 (Pearce, 1975)가 있어 이러한 돈분 소화율의 차이는 돈분자체의 질적인 차이와 급여가축의 종류 및 나이에 따라 소화율의 변동이 클수 있음을 나타내 주고 있다.

Skoch 등(1983)과 Noland 등(1976)은 corn-wheat 혼합사료 혹은 저품질의

수수를 익스트루전하여 에너지 소화율을 증가시켜다고 보고한 바 있고 Kim(1995)은 익스트루전은 원료의 휘발성 악취의 감소 및 유해성 미생물을 사멸하고 원료의 영양적 가치를 증진시킨다고 하였다. 본 실험에서 돈분의 extruded pelleting처리가 돈분의 낮은 소화율을 개선시킬 수 있을 것으로 기대하였으나 전반적으로 기존의 건조돈분을 급여했던 보고(Harmon 등, 1972; Orr, 1974; Pearce, 1975; Kornegay 등, 1977)와 미루어 볼 때 기대할 만한 차이는 없었다. 또한 돈분의 가공에 의한 소화율의 차이에 관한 기존 연구가 없기 때문에 고온고압 처리된 돈분 소화율의 영양적 가치가 증진되었는지 여부는 단언하기 어려운 것으로 나타났다. 또한 *Spirulina*의 첨가로 인한 소화율 향상은 나타나지 않았다( $P>0.05$ ).

#### 나. 육성돈의 육성성적 평가 I

Table 23은 돈분과 *Spirulina* 함유 extruded pellet 사료를 급여한 육성돈의 성장능력을 나타낸 것이다.

시험개시 첫 2주간의 증체율은 *Spirulina* 2% 첨가구가 대조구에 비해 다소 높은 경향은 나타내었으나 유의적 차이는 나타나지 않았다. 또한 돈분 5% 첨가구는 처리구중에서 가장 낮은 증체율을 보여주었으나 유의적인 차이는 아니었다. 이러한 현상은 개시후 28일까지 진행되면서 지속적으로 나타났다. E5-2처리구의 증체율은 돈분 5%첨가구에 비해 높은 경향을 보여주었으나 전 기간에 걸쳐 큰 차이는 나타나지 않았다( $P>0.05$ ). 사료섭취량은 전 기간에 걸쳐 돈분 5%처리구에서 가장 낮게 나타나 돈분첨가가 사료의 기호성을 감소 시킴을 시사하였다. 그러나 곽 등(1997)은 건조돈분과 톱밥을 혼합(50:50)한 돈분사료를 육성돈에게 10%까지 급여시 사료섭취량 및 증체량에 문제가 없었음을 보고 하였고, Diggs 등(1965)은 기초사료에 건조돈분 15%를 첨가하여 육성비육돈에게 급여시 증체율 및 사료효율에 있어 대조구와 차이가 없었다

고 보고 하여 본 실험결과와는 다소 상반된 결과를 보여주었다. 사료요구율은 시험개시후 14일 까지 돈분 5%첨가구에서 가장 열악하였으며( $P < 0.05$ ) 14일에서 28일까지는 큰 차이가 없었다.

*Spirulina*첨가구는 대조구와 돈분첨가구에 비해 일당증체량을 증가시켰으며, 특히 돈분 첨가시 *Spirulina*의 첨가가 증체율 개선에 효과가 있음을 나타내 주고 있다. Yap 등(1982)은 미세조류인 *Spirulina* 및 *Chlorella*를 어린 돼지에게 단백질 대치원으로 33%까지 급여한 결과 대조구와 증체율에 있어 차이가 없었으며 또한 설사, 식욕부진, 그리고 기타 질병등의 징후도 보이지 않았다고 보고 하였다. 본 실험에서는 증체율이 대조구에 비해 차이는 없었지만 다소 높은 경향을 나타내었고 부정적인 영향은 나타나지 않았다. 오 등(1995)은 *Spirulina*를 산란계에게 급여한 시험에서 산란율, 산란요구율이 대조구에 비해 개선되었다고 하였으며, 이스라엘 잉어에게 급여시 단백질 대치원으로서 *Spirulina*를 어분의 50%까지 대치하여도 성장률에 차이가 없었다(오 등, 1998)고 하여 *Spirulina*가 여러 축종에 따라 부정적인 영향없이 사용될 수 있음을 보여주었다.

#### 다. 육성돈의 육성성적 평가 II

Table 24는 돈분 및 *Spirulina* 첨가시 각 처리구의 영양소 수준을 균등하게 조절하여 육성돈에게 급여시 성장능력을 나타낸 것이다.

표에서 보는 바와 같이 시험개시후 14일 까지의 증체율은 *Spirulina* 2% 처리구에서 가장 높았으며 이것은 시험 종료시까지 계속 이어졌다. 돈분 5%처리구는 시험 개시후 14일령까지는 *Spirulina* 첨가시 성장률이 다소 감소하였으나 전기간에 걸쳐 성장률, 사료섭취율, 사료효율이 돈분무첨가구에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이는 돈분을 첨가시 영양소 공급수준을 동일하게 하더라도 그 소화율이 낮아 성장능력이 떨어짐을 의미한다고 하겠다.



사료섭취량에 있어서는 대조구가 타처리구에 비해 높았으며 돈분처리구의 섭취량은 table 13에서와 마찬가지로 저하되었다. 또한 *Spirulina* 첨가구에서도 섭취량이 대조구에 비해 저하 되는 경향을 보였고 특히 초기 14일간 *Spirulina*의 기호성이 다소 떨어짐을 시사하였다.

전체적인 사료효율은 table 23과 table 24 모두 *Spirulina* 2% 첨가구에서 가장 우수하였다. 본 실험에서 *Spirulina* 2% 처리구의 사료효율이 타 처리구에 비해 우수한 원인은 *Spirulina* 단백질의 소화율만으로는 설명할수 없었고 *Spirulina*가 일종의 아미노산 균형조절에 기여했기 때문인 것으로 판단되었다.

전체적으로 *Spirulina* 및 돈분을 양돈사료에 첨가시 단순첨가 보다는 영양소 함량을 동일하게 하여 배합율을 조절하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

## 제 4 절 결 론

1. 신선 돈분고형분은  $106\mu\text{m}$  이하의 입자가 53.1%이상을 이루고 있고 점도가 높아 물리적 선별을 통한 분 고형분 처리에 난점이 있음을 확인하였다. 또한 돈분고형분은 회화시 소실되는 휘발성 고형분이 전체의 80.34%에 이르러 가공적 측면에서 가축의 사료로 활용 가능성이 높은것으로 나타났다.
2. 돈분 고형분은 수분함량이 20%이하일 때 가공에 적합한 혼합능력을 가지고 있으며 혼합능력은 배합사료와의 혼합시 가장 우수한 것으로 나타났다.
3. 돈분구성요소함유 배합사료는 urea 수준이 증가할수록 starch의 gelatinization temperature는 떨어지나 필요한 에너지의 양은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 돈분의 첨가 수준이 높아질수록 extrusion과정에서 barrel의 온도 상승보다는 체류시간을 연장시키는 가공법이 효과적임을 나타내 주었다. Fiber와 ash는 열적변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.
4. 돈분첨가 사료의 extruded pelleting후 내구도는 돈분첨가수준과 가공온도에 따라 다소 변화되기는 했지만 주로 수분의 함량에 따라 결정되었다. 또한 *Spirulina*의 첨가는 내구도 변화에 큰 영향을 주지 못했으며 yucca extract는 다소 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

5. Extrusion에 의하여 돈분의 악취는 대조구에 비해 후각강도가 2등급 정도 낮아져 고온고압하에서 악취의 상당부분이 휘발되었음을 나타내 주었다. 그러나 대조구와 처리구간에  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ 의 함량은 큰 차이가 없었다. Extrusion 과정에서 악취성분의 휘발여부는 수분과 온도에 별 영향을 입지 않은것으로 나타났다.
6. Yucca extract를 육성돈에게 급여하였을 때 돈분의 악취강도는 대조구에 비해 별다른 차이가 없어 실제적인 악취의 감소에 있어 효과가 없는 것으로 나타났다.
7. *Spirulina platensis*를 육성돈 사료에 10% 수준까지 첨가한 결과 대조구와 전체적인 소화율에 있어서 차이를 나타내지 않았으며( $P>0.05$ ), 필수아미노산의 소화율에 있어서도 차이를 보이지 않아( $P>0.05$ ) 육성돈의 사료원으로서 사용이 가능한 것으로 나타났다.
8. 어린돼지 돈분의 소화율은 육성-비육-모돈의 혼합돈분에 비해 전체적으로 우수한 것으로 나타났으며, 돈분 10%이상 첨가시 전체적인 시험사료의 소화율이 크게 저하되어( $P<0.0001$ ) 돈분을 10%이상 첨가하는 것은 바람직하지 않은 것으로 나타났다.
9. 육성돈에 돈분 및 *Spirulina* 첨가사료를 extruded pelleting 하여 급여시 중체율은 *Spirulina* 처리구에서 대조구에 비해 높은 경향을 나타내었고 돈분과 *Spirulina* 혼용처리구에서는 돈분처리구에 비해 높았으나 유의적인 차이는 없었다( $P>0.05$ ). 사료섭취량 역시 각 처리구간 차이는 없었고( $P>0.05$ ), 사료효율은 돈분처리구에서 저하되었다( $P<0.05$ ).

결론적으로 돈분 그 구성성분상 사료적 가치로서의 잠재성은 우수한 것으로 나타났으며 적절한 extrusion 가공은 돈분의 악취감소에 효과적이고 영양적 가치도 증진시킬수 있는 것으로 나타났다. 또한 돼지 사료로서 돈분과 *Spirulina*는 적정수준 까지 첨가할 경우 성장능력, 소화율 측면에서 문제가 없는 것으로 나타났으며 이 과정에서 첨가방법, 가공방법에 관한 조정이 필요한 것으로 판단되었다.

## 제 5 절 참고 문헌

1. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C.
2. Armstrong, H. 1993. Nutritional implications of expanded feed. Feed Mix, Vol. 1:24-27.
3. Chaney, A. L. and Marbach, E. P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clinical Chemistry. 8:131.
4. Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F test. Biometrics 11:1-42.
5. Erwin, E. W., Marco, G. J. and Emory, E. M. 1961. Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. J. Dairy Sci. 44:1768.
6. Foster, J. R. 1983. Sarsaponin for growing-finishing swine alone and in combination with an antibiotic at different pig densities. J. Anim. Sci. 57(suppl.):245.
7. Hanrahan, T. J. 1980. Ration formulation, Quality control, and feeding methods for bacon pigs. proc. Dairy Cattle/Pig Nutr. Conf. for Feed Manuf., Cork, An Foras Taluntais, Dublin.
8. Headon, D. R., Dawson, K. and Fallon, R. 1991. Yucca shidigera. Definitive mode of action and application in animal feed. Pig News and Information. 12(2):295.
9. Heffer, L. E. and H. B. Pfoest. 1973. Gelatinization during pelleting. Feed stuffs, 45(22) : 33

10. Harmon, B. G., D. L. Day, A. H. Jensen and D. H. Baker. 1972. Nutritive value of aerobically sustained swine excrement. *J. Anim. Sci.* 34:403.
11. Ma, M. D., Wung, L. C., Huang, Y. T. and Fu, C. M. 1993. Effect of adding deodorizers to diets on the performance of pigs and the deodorization of pig wastes. 1. Preliminary observation of deodorizers in diets for pigs. *Pig News and Information*, 14(1): 64.
12. Mackie, R. I. 1994. Microbial production of odor components. In *Proceedings of International Round Table on Swine Odor Control*, 18-19. Ames, IA: Iowa State University.
13. Maga, J. A. 1989. Flavor formation and retention during extrusion. In: *Extrusion cooking*(C. Mercier, P. Linko and J.M. Harper ed.). Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, MN.
14. McCaskey, T. A. and W. B. Anthony. 1979. Human and health aspects of feeding livestock excreta. *J. Anim. Sci.* 48: 163.
15. Mercier, C. and P. Feillet. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products. *Cereal Chem.* 52:283.
16. Morrison, R. T. 1987. *Organic Chemistry*, 5th edition. Boston, MA: Allyn and Bacon.
17. NRC. 1998. *Nutrient Requirements of swine* (Tenth Ed). National Academy Press, Washington, D. C.
18. O'Neill, D. H., V. R. Phillips. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part III Properties of the

- odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. *J. Agric. Engng. Res.* 53:23-50.
19. Orr, D. E. 1974. A nutritional evaluation of recycled swine waste. Ph. D. Thesis. Michigan State Univ., East Lansing.
  20. Orr, D. E., Miller, P. K. Ku, W. G. Bergan and D. E. Ullrey. 1971. Recycling of dried waste in swine. *J. Anim. Sci.* 33:1152(Abstr).
  21. SAS. 1985. SAS User's Guide: Statistics. Statistical Analysis System Institute, Inc., Cary, NC.
  22. Schaefer, J. 1977. Sampling, characterization and analysis of malodours. *Agric. Environ.* 3:121-127.
  23. Skoch, E. R., S. F. Binder, C. W. Deyoe, G. L. Allee, and K. C. Behnke. 1983. Effects of pelleting conditions on performance of pigs fed a corn-soybean meal diet. *J. Anim. Sci.* 57:922.
  24. Spoelstra, S. F. 1980. Origin of objectionable odorous components in piggery wastes and the possibility of applying indicator components for studying odor development. *Agric. Environ.*, 5, 241-60.
  25. Tinnimit, P., Y. Yu, K. McGuffey and J. W. Thomas. 1972. Dried animal waste as a protein supplement for sheep. *J. Anim. Sci.* 35:431.
  26. Traylor, S. 1997. Expander operating conditions affect nutrient digestibility in finishing pigs. pp 74-112. MS thesis, Kansas State University., Manhattan.
  27. Williams, P. E. V. 1995. Animal production and European pollution problems. *Animal Feed Science and Technology.* (In press)

28. Yasuhara, A. and K. Fuwa. 1977. Odor and volatile compounds in liquid swine manure: Carboxylic acids and phenols. Bull. Chem. Soc. Japan, 50(3), 731-3.
29. Zhu, J., D. S. Bundy., X. Li and N. Rashid. 1997. A procedure and its application in evaluating pit additives for odor control. Canadian Agricultural Engineering. 39(3), 207-214.
30. 유니화학(주). 1990. 축산업의 환경오염에 대한 영향과 대책. 4th Annual. Biotechnology Symposium., 김정제, 홍병주, 정의호, 성경일. 1990. 환경오염방지를 위한 가축분뇨의 처리 기술 및 재활용에 관한 연구. 1990년도 지역개발 연구 학술 연구조성비 지원과제 결과보고서.
31. 이광재와 임재명. 1996. 환경공학. 동화기술.
32. 이영철
33. 전병수, 곽정훈, 유용희, 차장욱, 박홍석. 1996. 효소, 생균 및 유카제의 첨가가 돼지의 성장과 분 악취 발생 성분에 미치는 영향. 한축지:38(1)52-58
34. 한국과학기술원. 1990. 전국 분뇨 적정관리 대책연구.



## 제 6 절 도표 및 그림

Table 1. Formula and chemical composition of basal diet

	0	5	10
<i>Spirulina</i>	-	5.00	10.00
Corn, yellow	65.00	61.70	58.19
Wheat meal	1.50	1.42	1.36
Soybean meal(44%)	24.70	23.52	22.45
Rapeseed meal	2.60	2.47	2.36
Tallow	1.00	0.95	0.91
Molasses	2.00	1.90	1.82
CaCO <sub>3</sub>	0.80	0.76	0.73
TCP	1.60	1.52	1.46
Salt	0.14	0.13	0.13
Vit. mix*	0.12	0.11	0.11
Min. mix**	0.24	0.23	0.22
Lysine	0.08	0.08	0.07
Methionine	0.01	0.01	0.01
Additives***	0.21	0.2	0.19
Total	100	100	100
Chemical composition <sup>a</sup> :			
Moist	12.66	12.53	12.47
N*6.25(%)	17.10	19.30	21.49
C. Fat(%)	3.83	3.91	3.99
C. Fiber(%)	3.16	3.16	3.16
C. Ash(%)	5.53	5.65	5.80
Ca(%)	0.90	0.86	0.82
P(%)	0.65	0.66	0.67
Lysine(%)	0.98	1.06	1.14
DE(Mcal/kg)	3.394Mcal	3.387	3.381

\* Calculated value

\*The mixture contained the followings in 1kg of mixture: Vit.A, 12,000IU; D<sub>3</sub>, 2,523IU; E, 24,000IU; K<sub>3</sub>, 4.18IU; Panto, 20.33IU; Niacin, 61.76IU; B<sub>12</sub>, 26.26IU; Biotin 0.32IU

\*\*The mixture contained the followings in 1kg of mixture: K, 0.75ppm; Ma, 0.15ppm; Zn 172.26ppm; Cu, 180.00ppm; Co, 1.20ppm; I, 1.38ppm; Se, 0.35ppm

\*\*\*The mixture contained the followings in 1kg of mixture: Oraquindox, 50ppm; Tetracycline, 80ppm

Table 2. Formula and chemical composition of basal diet

	0	3	6
Dried swine manure	-	3.00	6.00
Corn, yellow	34.98	33.90	32.67
Sorghum	10.00	9.71	9.43
Wheat	10.47	11.19	9.91
Lupinkernel	5.00	4.85	4.72
Wheat meal	4.5	4.35	4.23
Coconut meal	4.00	3.85	3.73
Soybean meal(44%)	19.16	18.60	18.08
Cotton seed meal	3.00	2.91	2.83
Tallow	4.00	3.88	3.77
Molasses	1.00	0.97	0.94
Methionine(78%)	0.03	0.03	0.03
Lysine(25%)	0.98	0.95	0.93
CaCO <sub>3</sub>	0.24	0.23	0.23
TCP	1.88	1.83	1.77
Salt	0.28	0.27	0.26
Vit. mix*	0.1	0.10	0.09
Min. mix**	0.2	0.19	0.19
Choline Chloride	0.09	0.09	0.09
Olaquinox	0.05	0.05	0.05
OTC	0.05	0.05	0.05
Total	100	100	100
Chemical composition <sup>a</sup> :			
Moisture(%)	11.48	11.52	11.65
N×6.25(%)	18.26	18.54	18.82
C. Fat(%)	6.66	0.64	0.62
C. Fiber(%)	3.94	4.29	4.64
C. Ash(%)	5.16	5.33	5.50
Ca(%)	0.85	0.89	0.93
P(%)	0.70	0.71	0.72
Lysine(%)	1.10	1.07	1.04
DE(Mcal/kg)	3.475Mcal	3.403	3.337

<sup>a</sup> Calculated value

\* The mixture contained the followings in 1kg of mixture: Vit.A, 10,000IU; D<sub>3</sub>, 2,000IU  
Tocopherol, 35mg; K<sub>3</sub>, 3mg; Riboflavin 4mg; Panto, 10mg; Niacin, 20mg; B<sub>12</sub>  
0.015mg; Biotin, 0.05mg; Ethoxyguin, 0.5mg

\*\* The mixture contained the followings in 1kg of mixture: Fe, 82.50ppm; Mn, 15.0ppm  
Zn, 50.0ppm; Cu, 87.50ppm; Co, 0.17ppm; I, 0.2ppm; Se, 0.08ppm

Table 3. Formula and chemical composition of *Spirulina* and swine manure  
- incorporated diets.

	E0-0	E0-2	E5-0	E5-2	E10-0	E10-2
<i>Spirulina</i>	-	2.00	-	2.00	-	2.00
Dried swine manure	-	-	5.00	5.00	10.00	10.00
Corn, yellow	69.2	67.80	65.92	64.62	62.12	60.78
Wheat bran	5.33	5.22	4.83	4.71	4.75	4.48
Soybean meal, 44%	15.65	15.34	14.91	14.52	14.22	13.97
Rapeseed meal	3	2.99	2.90	2.85	2.77	2.72
Yellow grease	1	0.98	0.95	0.93	0.90	0.89
Molasses	2.5	2.45	2.38	2.33	2.27	2.22
Limestone	1	0.98	0.95	0.93	0.90	0.89
Tricalcium phosphate	1.4	1.37	1.33	1.30	1.27	1.25
Salt	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15
Lysine HCl, 98%	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05
*Vitamin premix	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12
**Mineral premix	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16
Choline-Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Antioxidants	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
***Antibiotics	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10
Chromium oxide	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Total(%)	100	100	100	100	100	100
Chemical composition <sup>a</sup> :						
Moisture(%)	12.05	12.03	12.30	12.28	12.70	12.65
N×6.25(%)	14.37	15.31	14.4	15.38	14.50	15.50
C. Fat(%)	3.95	3.98	3.94	3.98	3.95	3.99
C. Fiber(%)	3.06	3.00	3.66	3.61	4.29	4.24
Ca(%)	0.87	0.85	1.01	1.01	1.17	1.14
P(%)	0.6	0.59	0.61	0.60	0.62	0.61
Lysine(%)	0.75	0.78	0.71	0.75	0.68	0.72
DE(Kcal/kg)	3300	3300.5	3194.7	3201.24	3103.7	3115.40

<sup>a</sup> Calculated value

\*The mixture contained the followings in 1kg of mixture: Vit. A, 12,000IU; D<sub>3</sub>, 2,523IU; E, 24,000IU; K<sub>3</sub>, 4.18IU; Panto, 20.33IU; Niacin, 61.76IU; B<sub>12</sub>, 26.26IU; Biotin, 0.32IU

\*\*The mixture contained the followings in 1kg of mixture: K, 0.75ppm; Ma, 0.15ppm; Zn, 172.26ppm; Cu, 180.00ppm; Co, 1.20ppm; I, 1.38ppm; Se, 0.35ppm

\*\*\*The mixture contained the followings in 1kg of mixture: Olaquinox, 50ppm; Virginiamycine 10ppm

Table 4. Particle size distribution of swine manure solids

Particle size( $\mu\text{m}$ )	Proportion(%)	Viscosity(cp)	Specific gravity( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
>600	20.2	3.91	1.002
350	11.5	3.91	1.002
177	10.1	3.91	1.002
106	5.1	3.91	1.002
<106	53.10	4.59	1.006

Table 5. Physico characteristical distribution of swine manure solids

	TS (SS+FS)	SS	FS (VFS+FFS)	TVS (VSS+VFS)	TFS (FSS+FFS)
$\text{g}/\ell$	33.89	27.61	9.42	27.27	6.66
% of TS	100	81.47	18.53	80.34	19.66

Table 6. Mixability of swine waste solids upon moisture contents

Moisture(%)	CV 5min(%)
>40	60.3
20-40	40.6
10-20	13.7
<10	12.3

Table 7. Moisture dispersion between feed and waste upon stabilization time

Stabilization (hr)	CV (%)
< 1	47.0
6	32.3
12	15.6
24	6.7

Table 8. Mixability of swine waste solids upon major diluents component

Diluents	CV 5min (%)
Ground corn	13.3
Soybean	16.2
Rice bran	24.5
Mixed feeds	13.7

Table 9. Mixability of swine waste solids upon major diluents components

Diluents	CV 6hr (%)
Ground corn	37.3
Soybean	39.7
Rice bran	43.8
Mixed feeds	32.3

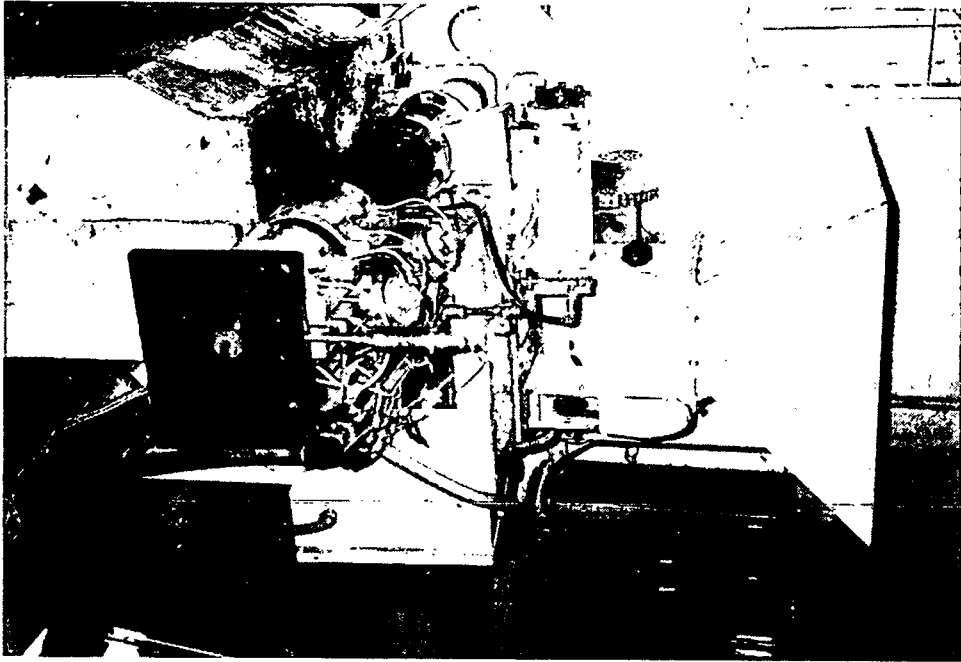


Fig.1. Single screw extruder

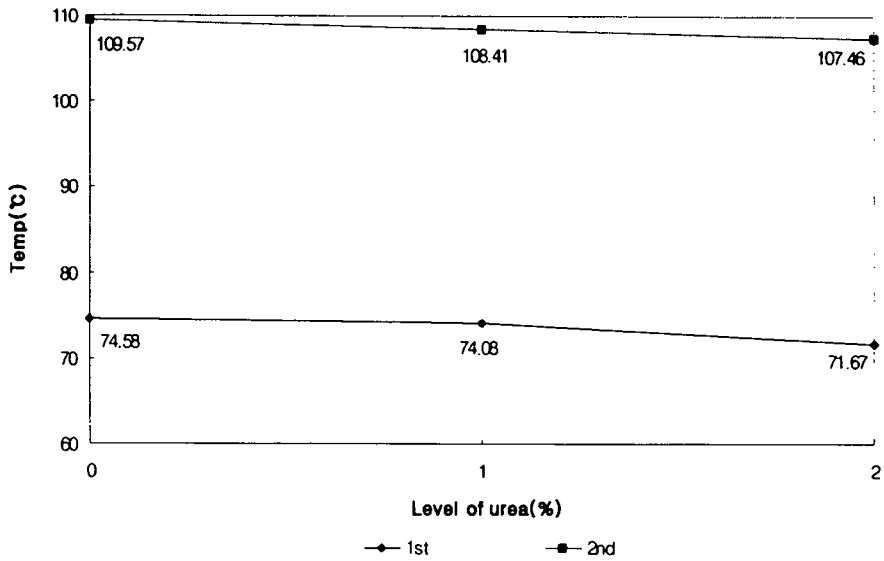


Fig.2. Heat modification peak temperature of the mixture with different level of urea

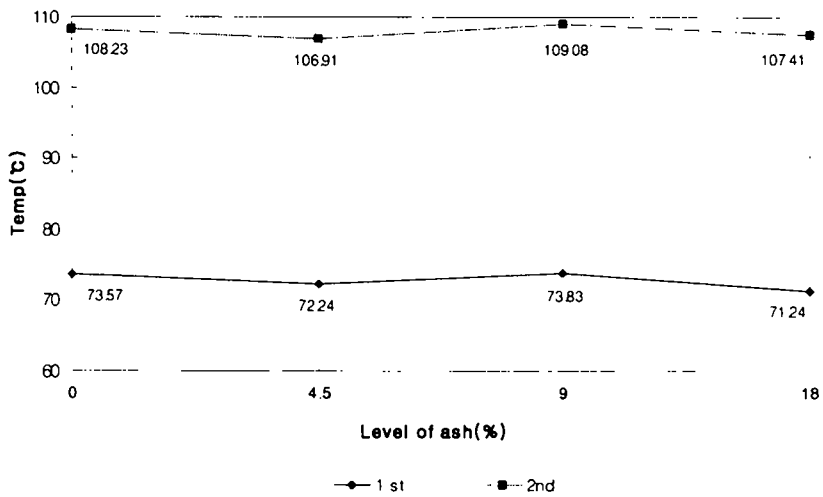


Fig.3. Heat modification peak temperature of the mixture with different level of ash

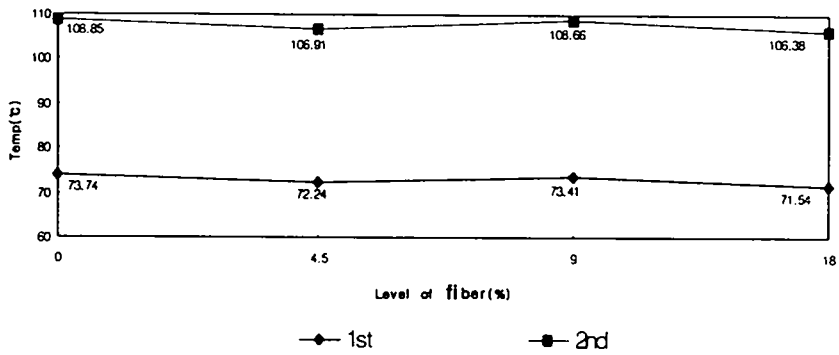


Fig.4. Heat modification peak temperature of the mixture with different level of fiber

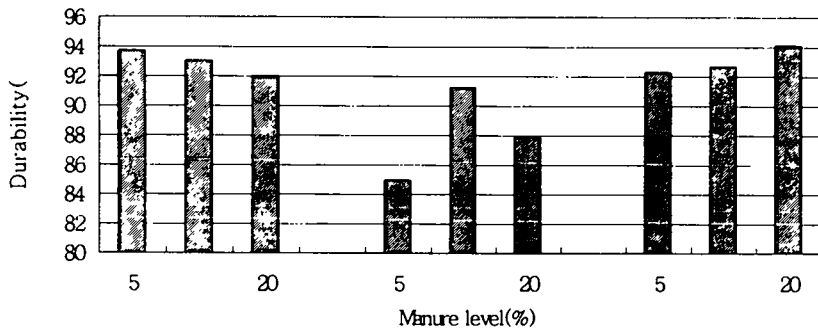


Fig.5. Effect of swine manure, spirulina, yucca on extrudate durability



Table 10. DSC thermochemical modification pattern of simulated feces mixture with different level of urea, ash, fiber

Level (%)	1st modification			2nd modification		
	Peak temp(°C)	Area(mj)	Delta H(j/g)	Peak temp(°C)	Area(mj)	Delta H(j/g)
Urea 0	74.5	17.9	2.7	109.5	4.996	0.756
Urea 1	74.0±1.6	22.5±14.9	3.2±1.0	108.4±1.3	3.6±1.4	0.5±0.1
Urea 2	71.6±0.5	31.5±1.3	3.4±0.1	107.4±1.1	8.4±2.5	0.9±0.3
Ash 0	73.5±1.7	20.9±8.2	3.0±0.4	108.2±1.6	6.4±3.8	0.9±0.3
Ash 4.5	72.2	13.3	2.5	106.9	2.2	0.4
Ash 9	73.8±1.5	36.4±3.3	3.9±0.5	109.0±0.4	5.4±0.3	0.5±0.0 1
Ash 18	71.2	30.7	3.2	107.4	8.6	0.9
Fiber 0	73.7±2.2	29.4±10.1	3.4±0.8	108.8±1.2	6.2±2.0	0.7±0.1
Fiber 4.5	72.2	13.3	2.5	106.9	2.2	0.4
Fiber 9	73.4±1.6	23.7±13.2	3.1±0.3	108.6±0.1	4.7±1.6	0.6±0.1
Fiber 18	71.5	30.6	3.5	106.3	10.8	1.2

Table 11. Effect of swine manure level, moisture, and temperature on extrudate durability

Feed level(%)	H <sub>2</sub> O(%)	Manure level(%)	Temp( °C )	H <sub>2</sub> O after extrusion(%)	Durability(%)			
80	15	20	110	13.56	38.74±0.08			
			130	12.11	47.35±0.85			
90	15	10	110	14.81	21.45±3.39			
			130	15.65	77.89±0.57			
95	15	5	110	13.53	24.22±0.17			
			130	10.52	19.71±0.68			
80	30	20	110	22.53	92.53±0.17			
			130	23.16	91.41±0.82			
90	30	10	110	24.68	93.05±0.01			
			130	22.91	93.09±0.16			
95	30	5	110	22.70	93.78±0.07			
			130	21.62	93.66±0.27			
Contrast	1	2	3	4	5	6	7	8
Significance	0.0001	0.0003	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

1. H<sub>2</sub>O 15% vs 30% 2. Manure 20% vs 10% 3. Manure 10% vs 5% 4. Temp 110 °C vs 130 °C 5. H<sub>2</sub>O×Manure 6. H<sub>2</sub>O×Temp 7. Manure×Temp 8. H<sub>2</sub>O×Manure×Temp

Table 12. Effect of additive addition on extrudate durability

Additive	Formula		H <sub>2</sub> O(%)	Temp(°C)	H <sub>2</sub> O after			
	feed level(%)	Manure level(%)			extrusion(%)	Durability(%)		
Spirulina 2%	78	20	25	110	17.78	93.51±0.76		
				130	18.21	94.63±0.93		
	88	10	25	110	19.06	93.05±0.23		
				130	18.66	92.17±0.5		
	93	5	25	110	20.29	92.13±0.28		
				130	20.55	92.51±0.37		
Yucca 1000ppm	80	20	25	110	19.37	86.07±0.71		
				130	18.97	89.81±0.26		
	90	10	25	110	20.21	91.86±0.36		
				130	19.54	90.59±0.13		
	95	5	25	110	19.39	84.34±0.18		
				130	18.60	85.47±0.65		
Contrast	1	2	3	4	5	6	7	8
Significance	0.0001	0.02	0.0001	0.02	0.0001	0.1	0.0008	0.1

1. Spirulina 2% vs Yucca 1000ppm 2. Manure 20% vs 10% 3. Manure 10% vs 5% 4. Temp 110°C vs 130°C 5. (Spirulina 2% vs Yucca 1000ppm)×Manure 6. (Spirulina 2% vs Yucca 1000ppm)×Temp 7. Manure×Temp 8. (Spirulina 2% vs Yucca 1000ppm)×Manure×Temp

Table 13. Gas content and olfactory odor intensity of manure -  
incorporated feeds

Formula feed(%)	H <sub>2</sub> O(%)	Olfactory odor intensity	Gas(ppm)		
			NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
80	20	4-2	0.7±0.0 2	1.0	-
90	20	4-1	0.5	0.8	-
95	20	3-1	0.3±0.1	0.6±0. 1	-

Table 14. Gas content and olfactory odor intensity of treated test diets

Treatment	Formula feed(%)	H <sub>2</sub> O (%)	Temp( °C)	Olfactory odor intensity	Gas(ppm)		
					NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
Extruded diets	80	15	110	3-1	0.65±0.1	0.5	-
			130	3-2	0.7	0.5	-
		30	110	3-1	0.58±0.1	0.5	-
			130	3-1	0.6	0.4	-
	90	15	110	2-1	0.4	0.5	-
			130	3-1	0.4	0.5	-
		30	110	2-1	0.4	0.4	-
			130	2-1	0.4	0.3	-
	95	15	110	2-1	0.4	0.4	-
			130	2-1	0.4	0.3	-
		30	110	2-1	0.4	0.4	-
			130	2-1	0.4	0.4	-
Yucca (1000 ppm)	80	25	110	3-1	0.8±0.1	0.4	-
			130	2-2	0.85	0.5	-
	90	25	110	2-1	0.7	0.4	-
			130	2-1	0.7	0.4	-
	95	25	110	2-1	0.55	0.4	-
			130	2-1	0.6	0.4	-
Spirulina (2%)	80	25	110	2-2	0.9±0.1	0.4	-
			130	3-1	1.3	0.4	-
	90	25	110	2-1	0.7	0.5	-
			130	2-1	0.7	0.4	-
	95	25	110	2-1	0.3	0.4	-
			130	2-1	0.4	0.4	-

Table 15. Gas content and olfactory odor intensity for raw manure of swine fed yucca extract diets

Yucca level(ppm)	Gas content(ppm)			Olfactory odor intensity
	NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	
0	0.39	0.5	-	5
500	0.35	0.5	-	5
1000	0.34	0.5	-	5

Table 16. Nutrients digestibility of *Spirulina platensis* added diet by growing pig

Nutrients	Addition level of <i>Spirulina platensis</i> (%)			
	0	5	10	100*
DM(%)	88.22±0.14	87.24±0.74	87.52±0.02	78.22
CP(%)	86.64±0.28	84.98±0.80	86.02±0.39	73.64
EE(%)	83.54±0.50	81.76±0.21	84.86±1.09	-
Ash(%)	58.80±2.50	56.72±1.24	59.61±0.68	-
Energy(%)	87.38±0.74	87.29±1.7	87.07±0.52	84.88

\* Calculated value

Table 17. Amino acid digestibilities of pig diet incorporated with *Spirulina platensis*

Amino acids	Addition level of <i>Spirulina platensis</i> (%)		
	0	5	10
Aspartate	86.77±2.84	87.45±2.42	87.26±0.41
Glutamate	87.70±0.61	87.06±1.80	88.10±0.11
Serine	86.78±0.98	87.38±1.97	87.06±0.21
Glycine	86.73±0.82	85.13±2.44	87.94±0.72
Histidine	86.85±2.93	84.84±2.57	88.96±0.70
Arginine	88.97±2.60	88.42±1.67	87.36±0.01
Threonine	87.35±0.88	88.19±2.09	88.28±0.91
Alanine	84.14 <sup>p</sup> ±1.20	90.25 <sup>a</sup> ±1.37	88.02 <sup>a</sup> ±0.83
Proline	91.12 <sup>a</sup> ±0.40	83.69 <sup>p</sup> ±2.02	87.66 <sup>a</sup> ±0.28
Tyrosine	85.98±2.10	84.94±3.06	84.37±4.05
Valine	87.93±0.10	87.24±2.96	82.53±4.50
Methionine	90.59±1.00	85.87±2.49	89.30±0.41
Cystine	91.48±1.60	86.20±6.81	91.69±0.50
Isoleucine	85.06±2.51	86.05±2.11	87.31±0.24
Leucine	86.34±3.78	85.67±0.89	84.97±0.38
Phenylalanine	87.73±1.25	84.87±1.80	83.86±0.13
Lysine	87.51±0.27	86.91±1.70	85.34±0.14

<sup>ab</sup>Means±SD with different superscripts within the same row differ (P<0.05)

Table 18. Processing conditions and physical characteristics of experimental diets

Items	Addition level of swine manure(%)		
	0	3	6
High shear conditioning			
Temp(℃)	120±2	120±2	120±2
Durability(%)	90.54	93.82	92.12

Table 19. ADFI of manure incorporated diet

Items	Addition level of swine manure(%)		
	0	3	6
ADFI(g)	1423.8±73.4	1341.7±111.02	1378.8±253.2

Table 20. Characteristics of excreta from pigs(DM basis)

	C. Protein(%)	C. Fat(%)	C. Fiber(%)	C. Ash(%)	NFE(%)
Growing-finishin g-sow manure	15.82	6.57	12.68	21.02	43.91
Nursery-growing manure	22.13	7.20	11.35	18.87	40.45



Table 21. Nutrients digestibility of swine manure-incorporated diets by pigs

Contrast	1	2	3	4	5	6
DM(%)	0.87	0.29	0.0001	0.002	0.44	0.62
CP(%)	0.70	0.41	0.0001	0.02	0.44	0.16
EE(%)	0.78	0.18	0.0001	0.08	0.98	0.64
Ash(%)	0.14	0.35	0.01	0.41	0.19	0.22
Energy(%)	0.74	0.22	0.0001	0.0012	0.25	0.55

\*Calculated value

<sup>ab</sup>Means ±SD with different superscripts within the same row differ (P<0.05)

Table 22. Nutrients digestibility of *Spirulina* and swine manure - incorporated diets.

Nutrients	Diets						SE	*100% manure
	E0-0	E0-2	E5-0	E5-2	E10-0	E10-2		
DM(%)	86.35	86.56	82.43	82.96	80.41	81.44	0.53	27
CP(%)	86.36	85.46	82.47	82.64	79.87	81.99	0.47	26.35
EE(%)	88.52	89.10	85.28	85.84	83.58	84.82	0.86	38.52
Ash(%)	45.21	49.26	41.76	39.49	40.74	44.40	1.62	-
Energy (%)	87.99	87.53	83.34	84.03	81.18	82.46	0.48	21.99

\*Calculated value

1. Swine waste × *Spirulina*
2. *Spirulina* 0% vs 2%
3. Swine waste 0% vs swine waste 5%
4. Swine waste 5% vs 10%
5. (0-0 vs 0-2) × (5-0 vs 5-2)
6. (5-0 vs 5-2) × (10-0 vs 10-2)

Table 23. Growth performance of pigs fed *Spirulina* and swine manure-incorporated diets-Simple addition over basal.

Items	Diets				SE
	E0-0	E0-2	E5-0	E5-2	
<b>0-14d</b>					
ADG(g)	489	506	370	465	66
ADFI(g)	1061	1023	973	1023	24
F/G(g/g)	2.16 <sup>b</sup>	2.01 <sup>b</sup>	2.61 <sup>a</sup>	2.22 <sup>b</sup>	0.06
<b>14-28d</b>					
ADG(g)	685	704	562	660	43
ADFI(g)	1421	1437	1193	1382	93
F/G(g/g)	2.03	2.06	2.12	2.09	0.12
<b>0-28d</b>					
ADG(g)	586	605	466	558	32
ADFI(g)	1241	1230	1083	1202	57
F/G(g/g)	2.10 <sup>ab</sup>	2.04 <sup>b</sup>	2.37 <sup>a</sup>	2.16 <sup>ab</sup>	0.12

<sup>ab</sup>Means with different superscripts within the same row differ (P<0.05)

Table 24. Growth performance of pigs fed *Spirulina* and swine manure, - incorporated diets-Iso DE and CP base formulation.

Items	Diets				SE
	E0-0	E0-2	E5-0	E5-2	
<b>0-14d</b>					
ADG(g)	801 <sup>ab</sup>	826 <sup>a</sup>	712 <sup>ab</sup>	698 <sup>b</sup>	25
ADFI(g)	1378	1282	1280	1226	13
F/G(g/g)	1.72 <sup>ab</sup>	1.55 <sup>b</sup>	1.79 <sup>a</sup>	1.75 <sup>ab</sup>	0.02
<b>14-28d</b>					
ADG(g)	770	874	752	776	61
ADFI(g)	1647 <sup>a</sup>	1577 <sup>ab</sup>	1490 <sup>b</sup>	1457 <sup>b</sup>	24
F/G(g/g)	2.13 <sup>a</sup>	1.80 <sup>b</sup>	1.98 <sup>ab</sup>	1.87 <sup>b</sup>	0.03
<b>0-28d</b>					
ADG(g)	787	848	731	734	41
ADFI(g)	1479	1393	1359	1313	20
F/G(g/g)	1.88 <sup>a</sup>	1.65 <sup>b</sup>	1.86 <sup>a</sup>	1.80 <sup>ab</sup>	0.04

## 제 4 장 요약

축산 폐수의 효율적 처리를 위해 농가에서 쉽게 저 비용으로 설치가 가능한 pilot 형태의 처리 시설을 개발 운영했다. 이 결과로부터 실제 돈사의 폐수의 처리 가능한 능력 여부를 평가했으며 이 공정에서 나오는 부산물과 돈사 고품 폐기물을 이용한 고단백 사료원의 사료 적성 평가를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Scale-up을 위한 기초 단계로서 14L 배양조를 이용해 배양 배양 실험한 결과 30 %의 돈분 폐액을 첨가한 경우가 가장 경제적인 생육이 되었으며, 이때 최대 비 생육 속도는 0.40 (1/day)로 계산 됐다. 또한 30 'C에서 적절한 생육이 이루어 졌으며 열 안정성의 경우 약 13.5 (Kcal/mole)로 측정 됐다. 최적 광도는 12.5 ( $W/m^2$ )였으며 이때 70 %의 ortho phosphate, 75%의 무기질소, 55%의 유기 질소, 80%의 C.O.D.의 감소 효과를 보였다. 이에 대한 1 차 반응 감소 속도 상수는 각각 0.17 (1/day)와 0.14 (1/day)로 계산되 배양 공정 scale-up의 중요한 자료를 산출했다.
2. 14 L의 실내 최적 배양조에서 배양한 결과를 1,500 L의 옥외 배양조로 scale-up 시킨 경우 유지 될 수 있는 미세 조류의 농도는 공히 약 1.6-2.0 (g/L)로 별 차이가 없이 잘 유지되는 것으로 나타났다.
3. 또한 축산 폐수 내 존재하는 주 오염원인 총질소와 인의 감소도 투여 농도 대비 약 35-55%까지 감소되 두 공정 모두 효율적인 것인 입증되었으며

배양 공정 scale-up시 야기되는 문제는 없는 것으로 나타났다. 하지만 C.O.D. 는 14L 의 경우가 40% 정도로 감소가 되었으나 1,500 L 경우 30% 로 다소 떨어지는 것으로 관측됐다.

4. 이 같은 공정을 거쳐 생산되는 조류의 부가 가치를 높이기 위해 미세 조류의 생리 활성을 분석한 결과 에탄올로 추출한 경우 위암과 간암에 75 % 이상의 강한 항암 효과를 보였으며 높은 항 돌연변이원성을 나타냈다. 이에 반해 세포 독성은 15 % 이하로 낮고 면역 활성 증진 효과도 높아 고 단백질 사료원과 함께 새로운 기능성 식품 소재로서도 활용 가치가 매우 높을 것으로 평가 됐다.
5. 이같이 미세 조류를 이용해 폐수 처리를 위해 1,500 L 옥외 배양을 성공한 경우가 없었으며 단지 순수 배양을 통해 옥외에서 대량으로 (10,000-50,000L 규모) 배양 가능한 경우는 있으나 그 경우도 입지 조건이 양호하며 (최대 광도, 일조 기간, 옥외 온도 등) 최대 균체 농도도 1.8 (g/L) 의 수준으로 본 실험 결과는 미세 조류 배양의 관점에서 매우 긍정적인 결과로 평가 된다.
6. 1,500L 규모의 옥외 배양조를 축산 농가에 설치해 field 배양 실험한 결과 약 120 일간 연속 배양이 가능했으며 안정적 최적으로 배양 시 1달에 약 20 Kg 의 65% 단백질을 함유한 건조 조류를 생산했으며 이는 약 100-150 마리 분의 돈분 폐액을 처리 할 수 있는 능력으로 계산 됐다.
7. 또한 이 장치의 운영비를 분석한 결과 초기 설치 비용이 5,500,000원이며 1달에 약 10,000원 정도면 충분히 운영이 가능할 것으로 평가 되 소규모

축산 농가에 설치 시 운영상 문제는 없는 것으로 판단된다.

8. 신선 돈분고형분은  $106\mu\text{m}$  이하의 입자가 53.1%이상을 이루고 있고 점도가 높아 물리적 선별을 통한 분 고형분 처리에 난점이 있음을 확인하였다. 또한 돈분고형분은 회화시 소실되는 휘발성 고형분이 전체의 80.34%에 이르러 가공적 측면에서 가축의 사료로 활용 가능성이 높은 것으로 나타났다.
9. 돈분 고형분은 수분함량이 20%이하일 때 가공에 적합한 혼합능력을 가지고 있으며 혼합능력은 배합사료와의 혼합시 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 돈분 구성 요소 함유 배합사료는 urea 수준이 증가할수록 starch의 gelatinization temperature는 떨어지나 필요한 에너지의 양은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 돈분의 첨가 수준이 높아질수록 extrusion과정에서 barrel의 온도 상승보다는 체류시간을 연장시키는 가공법이 효과적임을 나타내 주었다. Fiber 와 ash는 열적 변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.
10. 돈분첨가 사료의 extruded pelleting후 내구도는 돈분첨가수준과 가공온도에 따라 다소 변화 되기는 했지만 주로 수분의 함량에 따라 결정되었다. 또한 *Spirulina*의 첨가는 내구도 변화에 큰 영향을 주지 못했으며 yucca extract는 다소 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. Extrusion에 의하여 돈분의 악취는 대조구에 비해 후각강도가 2등급 정도 낮아져 고온고 압 하에서 악취의 상당부분이 휘발되었음을 나타내 주었다. 그러나 대조구와 처리구간에  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ 의 함량은 큰 차이가 없었

다. Extrusion 과정에서 악취성분의 휘발여부는 수분과 온도에 별 영향을 입지 않은것으로 나타났다.

11. Yucca extract를 육성돈에게 급여하였을 때 돈분의 악취강도는 대조구에 비해 별다른 차이가 없어 실제적인 악취의 감소에 있어 효과가 없는 것으로 나타났다. *Spirulina platensis*를 육성돈 사료에 10% 수준까지 첨가한 결과 대조구와 전체적인 소화율에 있어서 차이를 나타내지 않았으며 ( $P>0.05$ ), 필수아미노산의 소화율에 있어서도 차이를 보이지 않아 ( $P>0.05$ ) 육성돈의 사료원으로서 사용이 가능한 것으로 나타났다.
12. 어린돼지 돈분의 소화율은 육성-비육-모돈의 혼합돈분에 비해 전체적으로 우수한 것으로 나타났으며, 돈분 10%이상 첨가시 전체적인 시험사료의 소화율이 크게 저하되어( $P<0.0001$ ) 돈분을 10%이상 첨가하는 것은 바람직하지 않은 것으로 나타났다.
13. 육성돈에 돈분 및 *Spirulina* 첨가사료를 extruded pelleting 하여 급여시 증체율은 *Spirulina* 처리구에서 대조구에 비해 높은 경향을 나타내었고 돈분과 *Spirulina* 혼용처리구에서는 돈분처리구에 비해 높았으나 유의적인 차이는 없었다( $P>0.05$ ). 사료섭취량 역시 각 처리구간 차이는 없었고 ( $P>0.05$ ), 사료효율은 돈분처리구에서 저하되었다( $P<0.05$ ). 따라서 돈분 구성 성분상 사료적 가치로서의 잠재성은 우수한 것으로 나타났으며 적절한 extrusion 가공은 돈분의 악취감소에 효과적이고 영양적 가치도 증진시킬수 있는 것으로 나타났다. 또 한 돼지 사료로서 돈분과 *Spirulina*는 적정수준 까지 첨가할 경우 성장능력, 소화율 측면에서 문제가 없는 것으로 나타났으며 이 과정에서 첨가방법, 가공방법에 관한 조정이 필요한 것

으로 판단되었다.