

양돈 폐수 처리를 위한 *Rhodospirillum rubrum* N-1의 분리 및 특성 연구

최경민* · 양재경 · 박응로 · 방극수¹ · 이성택

한국과학기술원, 이리농공전문대학¹

Isolation of *Rhodospirillum rubrum* N-1 and Its Characteristics for Treatment of Swine Wastewater. Kyung-Min Choi*, Jae-Kyung Yang, Eung-Roh Park, Keuk-Soo Bang¹ and Sung-Taik Lee. Department of Biological Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejeon 305-701, Korea, ¹Department of Horticulture, Iri National College of Agriculture & Technology, Iksan City 570-752, Korea - Photosynthetic bacterium strain N-1 was isolated from the eutrophic wet soil and identified as *Rhodospirillum rubrum*. The optimum conditions for the cultivation of *R. rubrum* N-1 were estimated as 0.2% (w/v) of sodium acetate, 0.2% (w/v) of sodium propionate, 0.2% (w/v) of sodium butyrate in the Lasscelles basal medium at 30°C, pH 7.0 under 4000 lux of the illumination. The removal efficiencies of total organic acid and chemical oxygen demand (COD_{Cr}) in swine wastewater were 80% and 87%, respectively, when 10% (v/v) of *R. rubrum* N-1 was inoculated.

산업의 발전과 국민생활의 향상은 식생활에도 급속한 변화를 유발하여 육류의 소비가 급증하게 되었다. 따라서 우리 나라의 축산 농가는 급격히 증가하고 있으며 동시에 발생하는 축산폐기물은 연간 45만톤(1994년)으로 증가하는 추세에 있다. 그 중에서도 양돈업에서 배출되는 폐기물이 전체의 33%로써 대단히 높은 비율을 차지하고 있으며 여기에서 발생하는 고농도 유기성 폐수 및 폐기물만 해도 연간 12만톤에 이른다(1). 그러나 우리나라의 경우, 양돈농가는 대부분 소규모이어서 방류되는 폐수 및 폐기물의 경제적인 처리가 곤란하여 수자원을 오염시키고 악취가 발생하여 지역 주민의 보건을 위협하고 있는 실정이다. 따라서, 이러한 양돈 폐수 처리를 위한 합리적인 시스템의 개발은 매우 중요한 범국가적 과제라고 할 수 있다. 지금까지 양돈 폐수는 분과 뇨를 분리하여 별도로 처리하고 있다. 분의 경우는 호기성 소화, 혐기성 소화, 퇴비화 등의 방법으로 처리되고 있으며 뇨의 경우는 유기물과 질소, 인의 함유량이 높아 호기적으로 처리하기 위해서는 다량의 희석수가 필요하기 때문에 혐기성 소화 또는 연속회분식반응조(Sequencing Batch Reactor)를 이용하여 처리되고 있다(2-5). 그러나 이러한 방법들은 처리시간이 길고 운전이 경제적, 기술적 부담을 고려하지 않을 수 없다.

한편, 광합성 세균은 다른 미생물과는 달리 여러 조건에서 고농도의 유기물을 이용할 수 있어 고농도 유기성

폐수 처리에 이용이 가능할 뿐만 아니라, 생성된 슬러지는 사료 및 비료로서의 가치가 높아 사료, 토양개량제, 유기질 비료 등으로 재활용이 가능한 장점을 가지고 있어(6-8) 최근 새로운 생물학적 폐수처리 공법으로 주목을 받고 있다.

小林達治(9)는 광합성 세균을 이용하여 BOD 10,000 ppm 이상의 고농도 유기성 폐수를 희석하지 않고 단시간 내에 처리함으로써 활성오니법에 비해 처리장치가 소형화 될 수 있고 부지, 건설비, 운전 경비 등이 크게 절감되었다고 보고하였으며, BOD 부하량의 변동에 따른 영향이 적고, 이용되는 미생물군의 생리적 특성이 비교적 단순하므로 운전관리가 용이하며 악취가 발생하지 않는 장점이 있다고 보고하였다(10-12). 또한 광합성 세균은 영양 요구성이 다른 미생물보다 단순하고 혐기, 호기 및 명, 암조건의 어떠한 환경에서도 산소의 확산 속도에 관계없이 활발히 생육할 수 있으며(13) 활발한 운동성을 가지고 있고 유기물질의 섭취 속도가 높은 특성을 가지고 있다(14).

따라서, 본 연구에서는 지금까지 연구한 광합성 세균을 이용하여 양돈 폐수의 처리공정을 개발하기 위한 기초적 연구로서 고농도 유기물질의 이용 능력이 우수한 광합성 세균을 분리, 동정하고 실험실 규모의 반응조에서의 양돈 폐수 중의 유기산 자화율 및 화학적 산소요구량(COD_{Cr})의 감소 효과를 검토하였다.

재료 및 방법

균의 분리원 및 배지

양돈 폐수 처리에 이용할 균주 분리를 위한 균의 원시

*Corresponding author

Tel. 82-42-869-5617, Fax. 82-42-869-5617

E-mail: ckm1577@chollian.dacom.co.kr

Key words: *Rhodospirillum rubrum* N-1, Swine wastewater, organic acid, Chemical oxygen demand

료는 부영양화된 하천, 호수, 논, 도랑 등의 습한 토양으로부터 채취하였다. 분리배지는 Lascelles(15)의 기본 배지를 변형(sodium acetate 1 g, sodium propionate 1 g, sodium butyrate 1 g, D, L-malic acid 2.7 g, KH_2PO_4 0.5 g, K_2HPO_4 0.5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.1 g, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 0.8 g, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 27 mg, nicotinic acid 1 mg, vitamin B-1 · HCl 1 mg, $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1.2 mg, biotin 0.01 mg in 1 l of distilled water, pH 6.8)하여 사용하였다.

균주의 분리

분리 배지 20 ml를 50 ml의 vial에 주입한 후, 시료 상등액 1 ml를 첨가하고 배양기의 head space를 질소 가스로 치환하여 30°C, 조도 4,000 lux의 명조건에서 3회 집적 배양한 다음 sodium acetate 1 g, sodium propionate 1 g, sodium butyrate 1 g이 첨가된 Lascelles의 기본 평판 배지에 접종, 동일 배양 조건에서 배양하여 적자색을 나타내는 colony를 분리하였다. 분리된 균주들을 동일한 배양조건에서 액체 배양을 실시한 후 성장률과 유기산의 자화율을 측정하여 가장 활성이 높은 균주를 최종 선별하였다.

분리 균주의 균학적 성질

분리된 균주 중 유기산 자화도가 가장 우수한 N-1 균주를 혐기적 광조건(30°C, 4,000 lux)에서 3일간 배양하여 얻은 균체를 2.5 % glutaraldehyde 용액에 넣어 하루 동안 일차 고정을 한 후, 4°C의 0.1 M 인산 완충 용액(pH 7.2)에 30분간 담그어 세척을 한다. 에탄올 농도를 높여 가며 탈수하고 아세톤으로 처리한 뒤, amylocetate를 30분 간격으로 2번 처리하여 CO_2 감압하의 31°C에서 임계점건조를 하고 금으로 코팅하여 주사전자현미경(JSM-T330A, JEOL)으로 세포의 형태를 관찰하였다. 그람 염색 및 포자 염색은 배양액을 10,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 얻은 균체를 생리 식염수로 현탁한 후 Hucker변법과 Dorner법을 이용하였다(16). 균체내 bacteriochlorophyll의 함량은 배양액 1 ml를 원심분리하여 얻은 균체를 acetone과 methanol을 7:2로 혼합한 용매 1 ml로 추출하고 시료의 흡광도를 흡광광도계(Beckman DU-68)로 측정하여 조사하였다. 한편 0.4% 젤라틴과 1% 전분을 각각 함유한 평판 기본배지에 분리 균주를 접종하여 3일간 배양한 후, HgCl_2 -HCl 용액과 요오드 용액으로 처리하여 분해능력을 검토하였다. 그 외의 동정법은 "Bergey's Manual of Systematic Bacteriology(17)"에 준하여 실시하였다.

배양 조건

30°C, 4,000 lux 명조건에서 3일간 혐기 배양한 배양액

1 ml를 sodium acetate 1 g, sodium propionate 1 g, sodium butyrate 1 g이 첨가된 Lascelles의 기본배지 70 ml(100 ml vial)에 접종하여 동일한 조건에서 정지 배양하였다. 혐기명 조건에서 배양시 광원은 100W 텅스텐 백열전구를 이용하여 조도를 조절하였다. 균체의 증식 속도는 660 nm(Beckman DU-68)에서 배양액의 흡광도를 측정하여 나타내었다.

대상 폐수 및 폐수 분석

대상 폐수는 부여군 석정면의 돈사에서 배출되는 폐수를 채취하여 사용하였으며 4°C에 냉장 보관하면서 실험하였다. 폐수의 일반 성분은 "Standard Methods for the Examination of water and Wastewater(18)"에 따라 분석하였으며 그 성상을 Table 1에 나타내었다.

유기산 분석

유기산의 분석은 Gas chromatography(Shimadzu GC-14A)를 사용하였다. 채취한 시료를 10,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상등액에 0.6 M의 oxalic acid를 첨가하여 최종농도를 0.3 M로 조절하여 분석하였다. 검출기는 Flame ionization detector(FID)를 사용하였고 Carbowax 20 M을 충전한 지름 2.2 mm, 길이 2 m의 유리컬럼을 사용하였다. 주입 시료량은 1 μ l이었으며 컬럼온도는 175°C, 검출기온도는 200°C이었고 고순도 질소 가스를 25 ml/min의 속도로 주입하였다.

유기물 농도의 측정

배양액의 화학적산소요구량은 균체에 의한 영향을 배제하기 위하여 10,000 rpm에서 10분간 원심분리를 행하

Table 1. Characteristics of swine wastewater used in this study

Factors	Concentration (mg · l ⁻¹)
Total solid (TS)	9,120
Volatile solid (VS)	6,900
Suspended solid (SS)	7,920
COD _{Cr}	18,700
BOD ₅	22,000
Total organic acid	169.4
Acetic acid	84.0
Propionic acid	20.3
Butyric acid	14.1
Lactic acid	5.1
Total nitrogen	810.0
Ammonia nitrogen	530.0
Total phosphate	290.0
Total sulfate	563.1
pH	7.2-8.5

여 고형물을 제거한 후 상등액을 취하여 "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (18)"에 따라 COD_{Cr}으로서 평가하였다.

결과 및 고찰

균주의 선별

유기산 자화능력이 우수한 균주를 선별하기 위하여 Lasscelles 최소배지에 acetate, propionate, butyrate를 첨가한 배지에서 1차로 150 균주를 분리한 후 동일한 조건에서 생육활성이 좋은 15종의 균을 2차 선별하였다. 이들을 대상으로 혐기적 광조건(30°C, 4000 lux)에서 액체 배양에 의한 유기산 자화율 및 성장율을 측정하였으며 가장 우수한 특성을 나타낸 1종의 미생물을 최종 선별하고 N-1으로 명명하였다. Table 2에서는 선별된 균주들의 유기산 제거율 및 성장율을 나타내었다.

균주의 동정

최종 분리주 N-1을 혐기적 광조건하에서 정치 배양한 후 원심 분리하여 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 폭 0.6~0.8 μm, 길이 1.7~2.0 μm인 나선형으로서 polar형의 편모에 의한 운동성이 있으며 생육이 정상상태에 도달했을 때 점성물질에 의한 cluster를 형성하였다. 또한 N-1은 그람 음성균으로 포자를 형성하지 않았으며 혐기적, 호기적 조건과 명암에 관계없이 모두 성장하였고, 명조건에서 붉은색, 암조건에서 분홍색을 나타내었다. 전분과 casein을 분해하였고 catalase 양성이었으며 nitrate 환원력을 가지고 있었다. 균체를 원심분리한 후 60% sucrose 용액에 현탁시키고 *in vivo* 상태에서 흡광광도계를 이용하여 scanning한 결과 375 nm, 493 nm, 545 nm, 802 nm, 875 nm에서 최대 흡광도를 나타내었으며 acetone, methanol의 혼합용매(7:2)를 이용하여 색소를 추출하여 실험한 결과 360 nm, 465 nm, 490 nm, 600 nm, 780 nm에서 최대 흡광도를 나타내었다. 이러한 결과는 홍색비유향세균의 carotenoides 및 bacteriochloro-

phyll a의 최대 흡광도와 일치하는 것이었다(Table 3).

이상과 같이 세포의 크기 및 모양, polar flagellum에 의한 운동성, 특히 산소유무와 명암에 상관없이 모두 성장하고, 광합성 세균의 생리학적 특징인 bacteriochlorophyll a를 보유한다는 점과 혐기적 광조건에서 배양액이 적색을 나타낸다는 점 등으로부터 분리주 N-1은 홍색비유향세균으로서 *Rhodospirillaceae*과에 속함을 알 수 있었다. 또한 N-1은 젤라틴 분해능이 없고, 생육인자로서 biotin을 요구하며, 방향족 화합물인 benzoic acid와 sulfide, formate 등을 탄소원으로 이용할 수 없다는 결과를 나타내었고(Table 4), 기타 생리학적 성질을 검토한 결과 Bergey's Manual of Systematic Bacteriology(17)상의 *Rhodospirillum rubrum*과 유사한 성질을 나타내었다.

유기산 분해를 위한 최적조건 검토

통성혐기성 홍색비유향세균은 여러 환경 조건에 따라 성장에 있어서 크게 영향을 받는다고 알려져 있으나(19) 자세한 검토가 행해지지 않았으므로 본 연구에서는 광합성 세균인 *R. rubrum* N-1을 이용하여 유기물 분해에 대한 영향 및 유기물 분해에 미치는 온도, pH, 조도의 영향을 검토하였다. N-1 균주가 유기산(acetate, propionate, butyrate)의 분해에 미치는 온도, pH, 조도의 영향

Table 3. Morphological and physiological properties of the isolated strain N-1

Characteristics	Strain N-1	<i>Rhodospirillum rubrum</i>
1. Morphology		
Shape	Spiral	Spiral
Motility	Motile	Motile
Cell size (μm)		
Width	0.6~0.8	0.8~1.0
Length	1.7~2.0	1.5~2.5
Gram staining	Negative	Negative
Spore formation	Negative	Negative
Color of culture	red	Pink to red
2. Physiology Growth		
Anaerobic, light	Positive	Positive
Anaerobic, dark	Positive	Positive
Aerobic, light	Positive	Positive
Aerobic, dark	Positive	Positive
Bacteriochlorophyll	a	a
λ _{max} of living cell	375, 493, 545, 802, 875 nm	377, 550, 807 nm
λ _{max} of cell free extract	360, 465, 490, 600, 780 nm	493, 600, 768 nm
Gelatine liquefaction	Negative	Negative
Starch hydrolysis	Positive	Positive
Casein utilization	Positive	Positive
Catalase activity	Positive	Positive
Nitrate reduction	Positive	Positive
Vitamins required	Biotin	Biotin

Table 2. Removal efficiencies of organic acids and cell growth of isolated strains

Isolated strains	Cell growth (g · l ⁻¹)		*Removal efficiencies of total organic acid (%)	
	3 days	6 days	3 days	6days
N 1	2.42	3.19	62.9	82.5
N 11	1.89	3.07	51.3	76.3
N 201	1.94	3.11	55.8	79.2

*The cultivation was carried out at 30°C for 6 days under 4,000 lux of the illumination in the Lasscelles basal medium(I) containing sodium acetate 1 g, sodium propionate 1 g, sodium butyrate 1 g with initial pH 6.8.

Table 4. Utilization of electron donors and organic compounds by the selected strain N-1 for the comparison with *Rhodospirillum rubrum*

Carbon source of electron donors	Strain N-1	<i>Rhodospirillum rubrum</i>
Formate	-	-
Acetate	+	+
Propionate	+	+
Butyrate	+	+
Valerate	+	+
Glycolate	+	+
Pyruvate	+	+
Lactate	+	+
Malonate	+	+
Malate	+	+
Succinate	+	+
Fumarate	+	+
Citrate	-	-
Aspartate	+	+
Glutamate	+	+
Benzoate	-	-
Glucose	-	-
Fructose	+	+
Mannitol	+	+
Arginine	-	+
Tartrate	-	-
Sorbitol	+	ND
Glycerol	+	-
Ethanol	+	+
Sulfide	-	-
Thiosulfate	-	-

*Substrates were added to a concentration of 0.1% (W/V). +: positive, -: negative, ND: Not detected.

Table 5. Effects of culture conditions on growth of *Rhodospirillum rubrum* N-1 in synthetic medium

Culture condition	Cell growth (g · l ⁻¹)	*Removal efficiencies for total organic acid (%)
Temperature (°C)	20	1.98
	30	3.10
	40	1.76
	50	0.56
Initial pH	5	0.3
	6	2.51
	7	3.23
	8	1.90
	9	0.92
Illumination intensity (lux)	500	0.78
	1000	1.87
	2000	2.10
	3000	2.67
	4000	3.30
	5000	2.91

*The cultivation was carried out in optimal culture medium for 6 days at various environmental conditions in Lasscelles basal medium containing 0.2 % sodium acetate, 0.2 % sodium propionate, 0.2 % sodium butyrate.

을 검토한 결과를 Table 5에 나타내었다.

30°C에서 균체 성장율이 다른 온도에 비해 40~70% 높은 것을 알 수 있으며, 이때 유기물의 제거율도 82%로 높게 나타났다. 이에 비하여 20°C와 40°C 이상에서는 균체 성장 및 유기산 제거율이 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 N-1 균주가 전형적인 중온균임을 시사해주며 성장을 위한 최적온도는 30°C로 판단되었다. 이러한 중온균은 실제 폐수 처리시 낮은 온도에서 생육이 저하되는 현상이 나타나므로 폐수 처리장의 온도를 적정수준 이상으로 유지하는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 저온에서도 생육이 좋고 유기산 제거율이 높은 균주의 선별이 요구된다. 최적 pH를 판단하기 위하여 pH를 5.0에서 9.0까지 변화시켜 30°C, 혐기적 광조건에서 6일간 배양한 후 균체 성장과 유기물 제거율을 검토하였다. Table 5에 나타낸 바와 같이 pH 7에서 3.23 g · l⁻¹의 가장 좋은 성장을 보였으며 이때 유기물 제거율은 83.9%로 가장 높았다. pH가 증가할수록 성장률과 유기물의 제거율은 증가하는 경향이었으나 pH 7.0에서 최대를 나타내고 8.0 이상이 되면서는 오히려 감소하였다. 따라서 N-1 균주의 생육 최적 pH는 중성영역인 7.0으로 사료되며 배양 기간동안 pH의 격심한 변화는 없었으나 폐수 처리 공정에 적용시에는 pH를 7.0으로 유지할 필요가 있을 것으로 생각된다. 광합성 세균의 또 다른 환경인자인 조도에 의한 유기물 제거율의 변화를 확인하기 위하여 조도를 변화시켜 관찰하였다. 조도가 증가함에 따라 균체의 성장이 증가하는 것을 보여주고 있으나 5000 lux 이상이 되면 균체의 성장이 억제됨을 보였고, 동시에 유기물의 제거율도 4000 lux까지는 증가하다 5000 lux 이상에서는 감소하였다. 이러한 결과는 포화 이상의 광도 하에서 색소 반응 및 광합성 막의 형성이 억제되고 동시에 생성된 색소 분해가 촉진된다고 하는 平山修(20)의

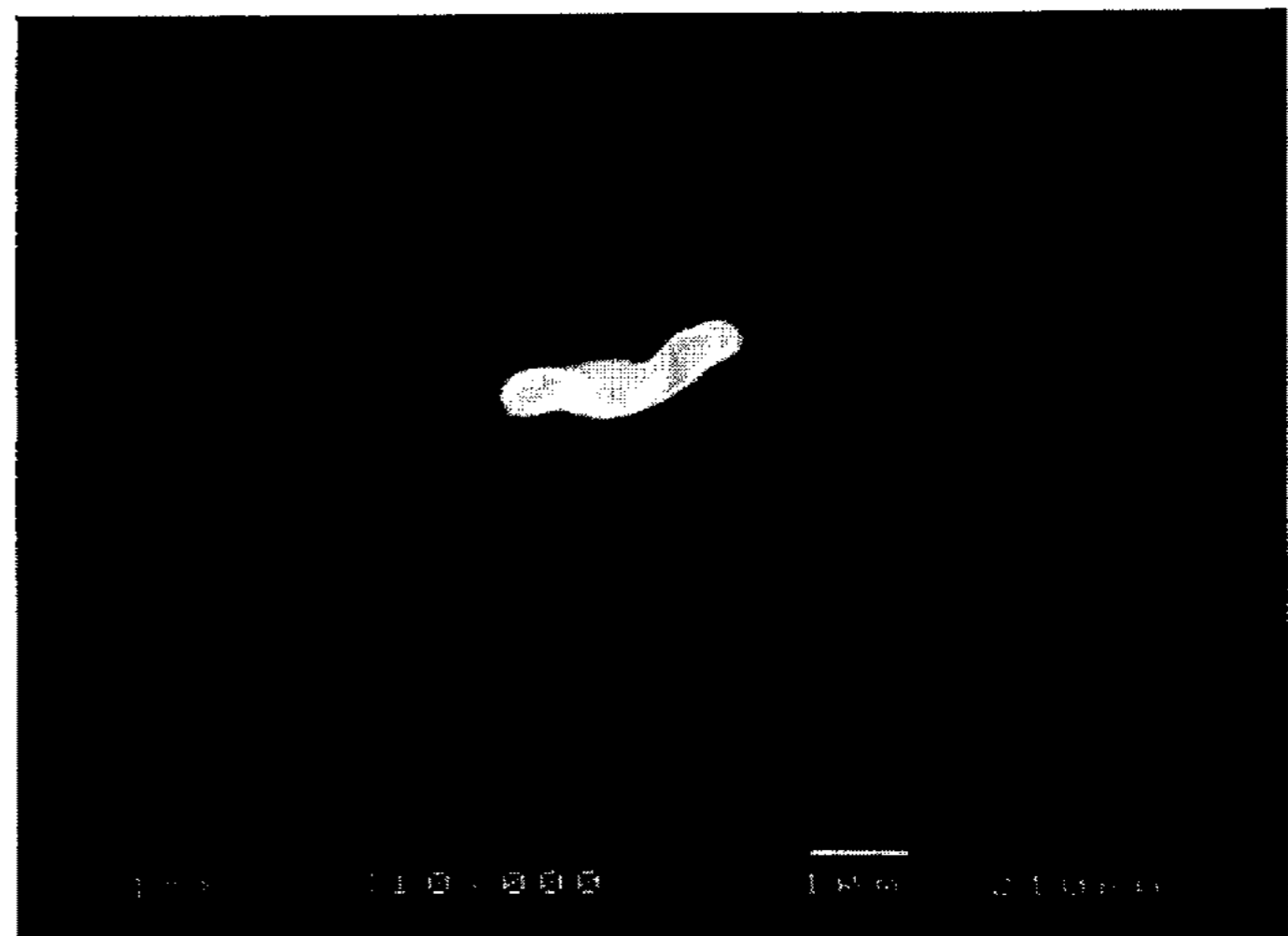


Fig. 1. Scanning electron micrographs of selected strain N-1. Cells grown for 3 days were negatively stained by amylic acid. The cell magnified 10,000.

보고와도 일치하였다. 따라서 고농도 유기성 폐수처리를 위해 본 균주를 이용할 경우 처리 효율을 높이기 위해서는 4000 lux 부근이 최적 조도라는 것을 알 수 있었다. 이상의 결과로부터 본 균주를 이용한 양돈 폐수의 처리를 위한 최적 조건은 30℃, pH 7.0 그리고 조도 4000 lux임이 판명되었다.

한편, 유기물로서 유기산(acetate, propionate, butyrate)을 이용하여 배양시간에 따른 유기산의 농도변화를 검토한 결과 3종류의 유기산 중 acetate는 배양 시작 후 5일째에 60%의 감소율을 보였으며, propionate는 74%, butyrate는 87%의 감소율을 보였다. 이러한 결과는 *R. rubrum* N-1 균주가 휘발성 유기산의 이용성이 뛰어난 것을 시사해 주고 있다.

양돈 폐수 중의 유기물 제거

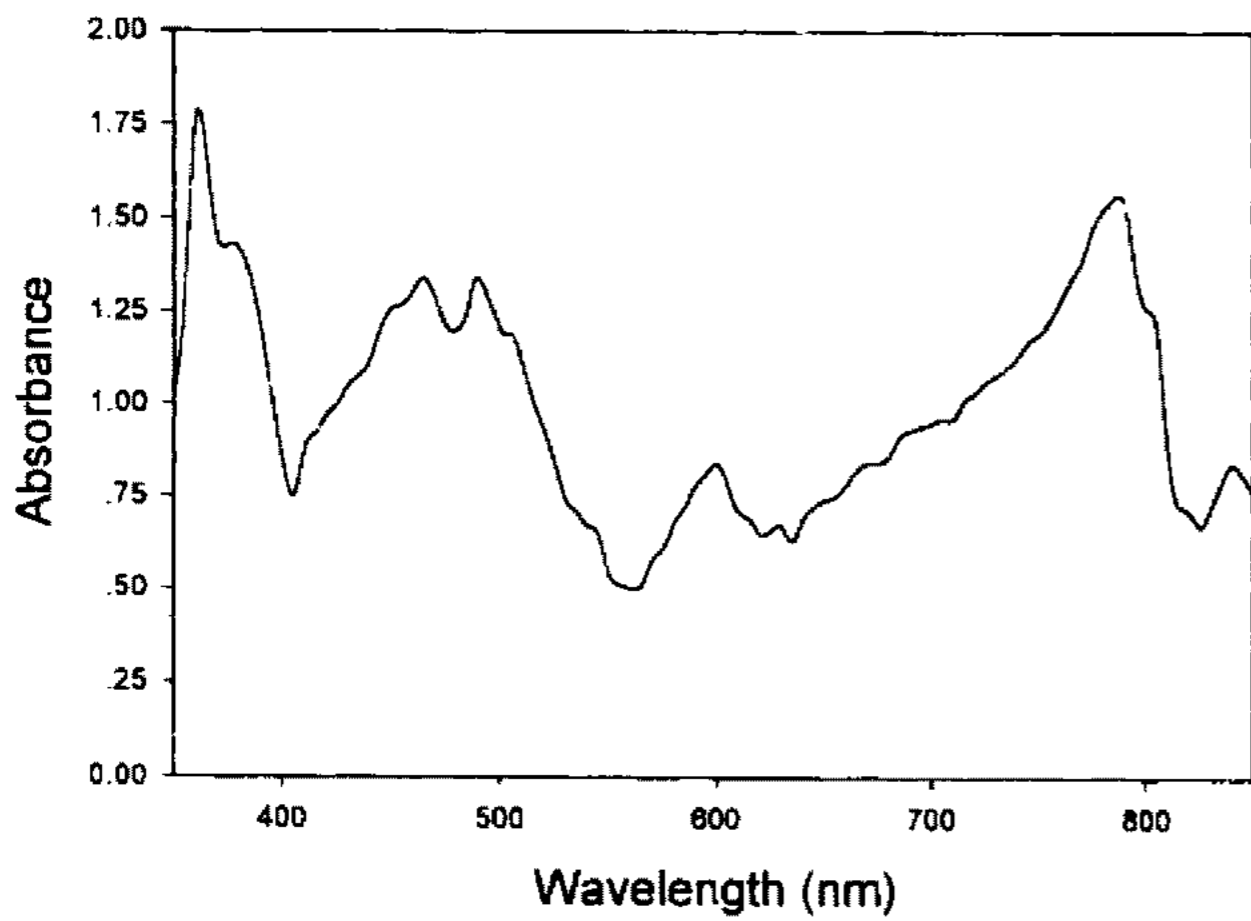


Fig. 2. Absorption spectrum of acetone-methanol extract strain N-1.

Full grown culture broth 1 ml was centrifuged (6,000 rpm × 10 min), and the cell pellet was suspended in 1 ml acetone-methanol(7:2). After centrifugation (6,000 rpm × 10 min) the supernatant was used for analysis.

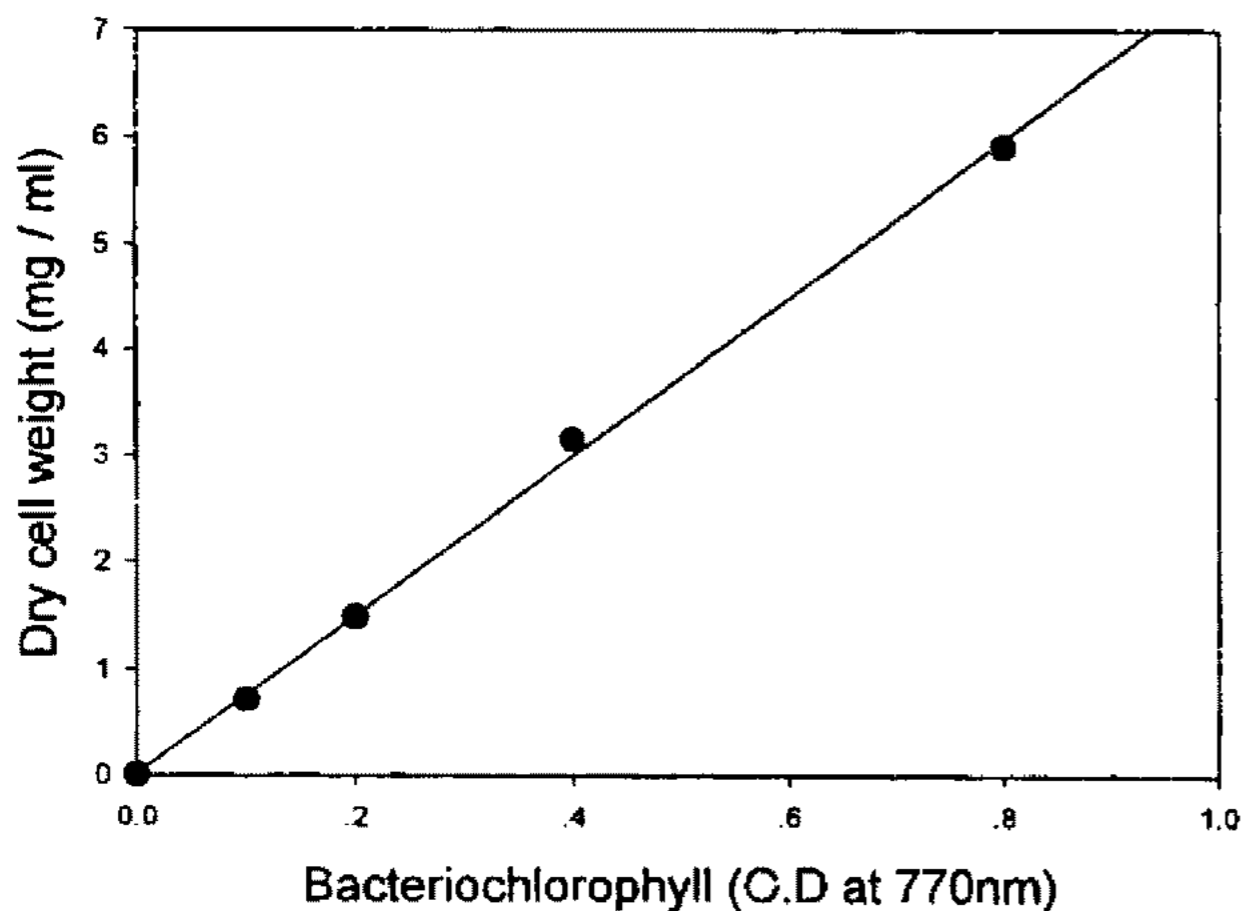


Fig. 3. Relationship between bacteriochlorophyll and dry cell weight.

분리한 광합성 세균을 이용하여 양돈 폐수에 존재하는 유기물의 제거율을 조사하였다. 먼저 양돈 폐수 내에서 광합성 세균이 성장하는지의 여부를 확인하기 위하여 bacteriochlorophyll a의 양을 측정하였다. Fig. 3은 bacteriochlorophyll a와 균체량이 직선적으로 비례함을 보여주고 있다($r^2=0.9967$). 따라서 양돈 폐수 내에서 bacteriochlorophyll a 양의 증가는 균체의 증식을 정확히 나타내어주고 있다고 사료된다. 양돈 폐수 중에 존재하는 가용성 유기물 중에는 유기산이 대부분을 점하고 있으며 그중에서 acetate(50%), propionate(12%), butyrate(0.1%), lactate 등이 대부분을 차지하고 있다. 따라서, 본 균주의 유기물 제거능을 확인하기 위하여 양돈 폐수에 광합성 세균을 접종하여 유기물 제거율을 검토하였다. 합성 배지에서 전배양한 균주를 침전시켜 미생물 농도를 $3\text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 농축시킨 다음 접종량을 0, 5, 10, 20%

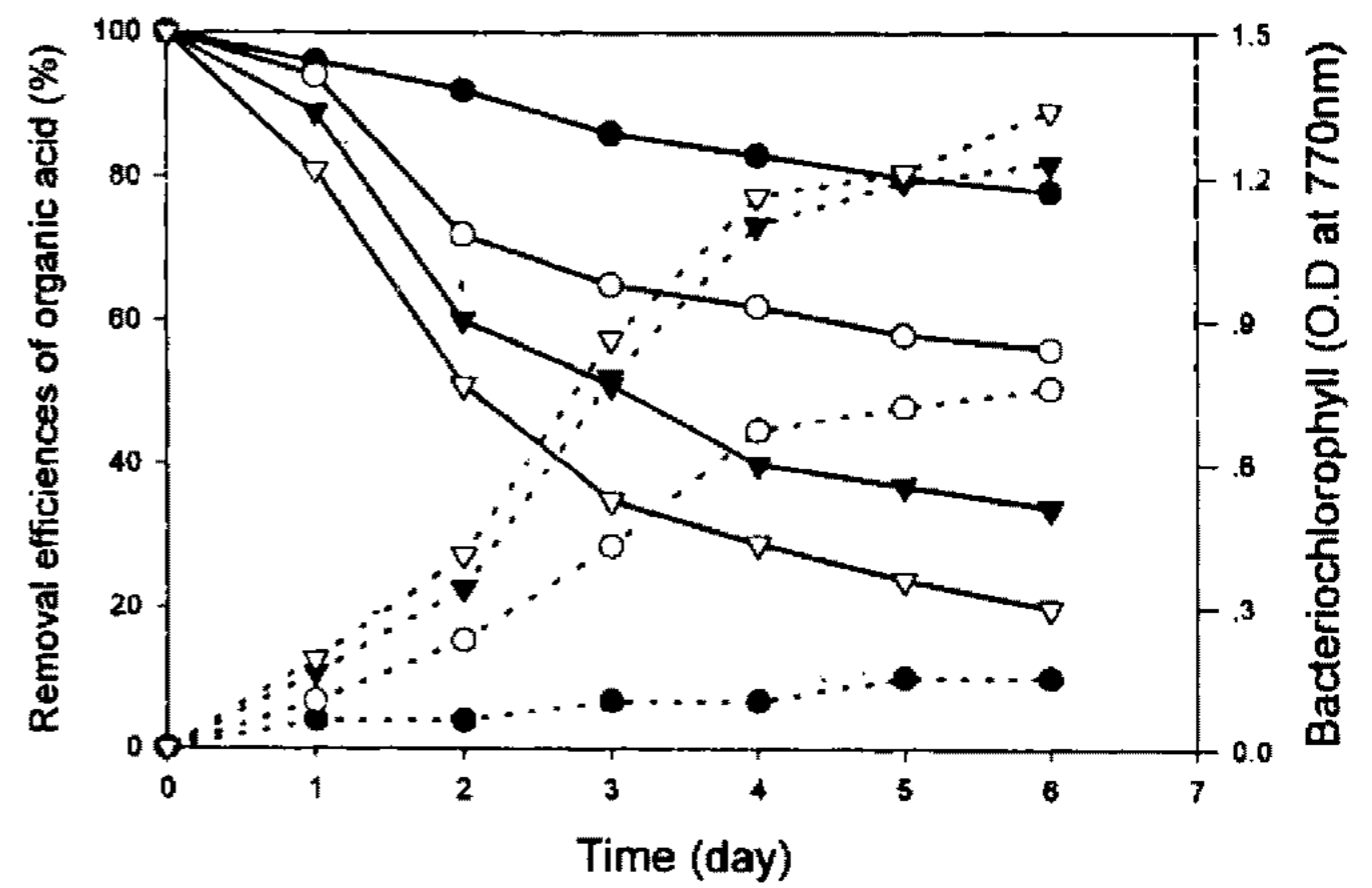


Fig. 4. Changes of bacteriochlorophyll and organic acid removal in swine wastewater by *Rhodospirillum rubrum* N-1.

Cultivation was carried out under the 30℃, pH 7.0 and 400 lux culture conditions with various inoculum size. Straight lines is organic acid removal efficiencies and dot lines is bacteriochlorophyll a. Inoculum ratio: —●—; 0%(v/v), —○—; 5%(v/v), —▼—; 10%(v/v); —▽—; 20%(v/v).

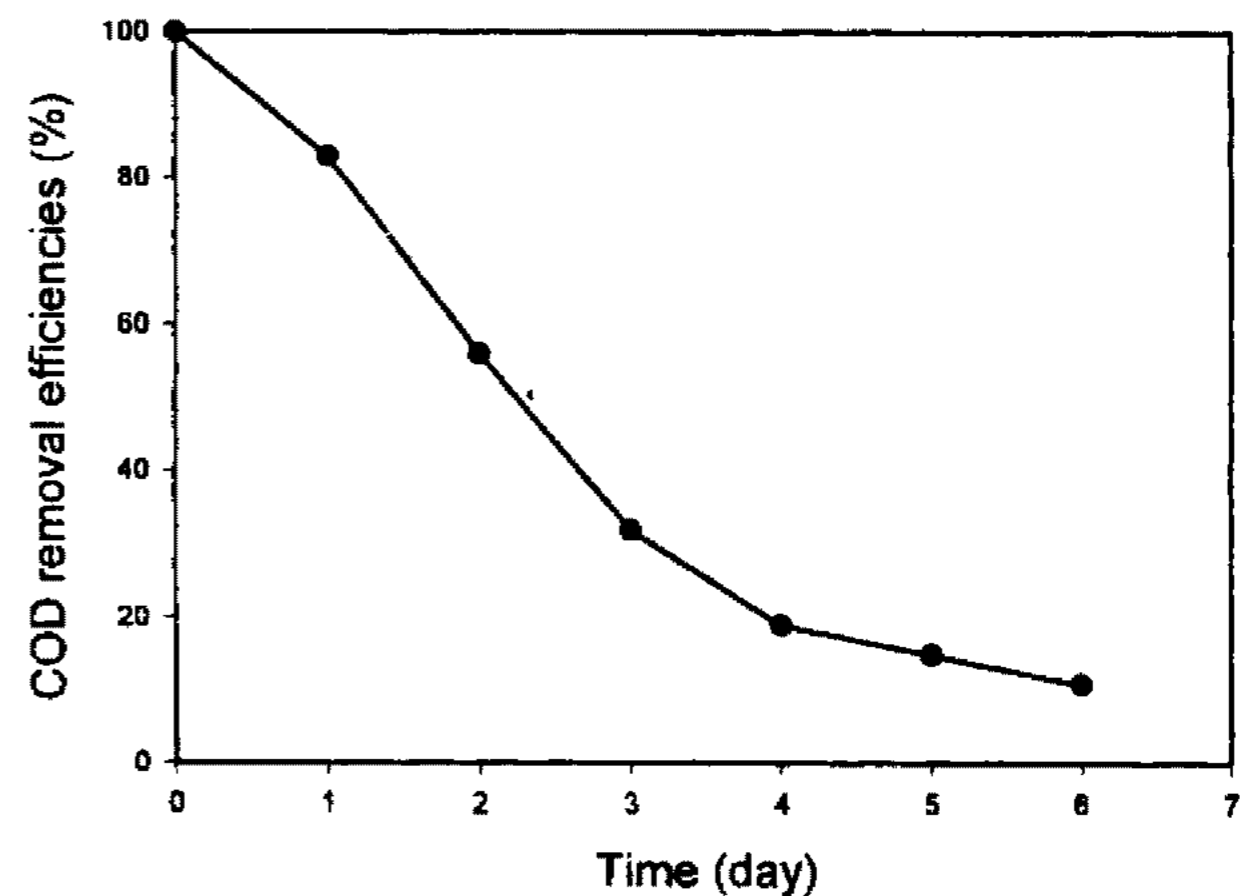


Fig. 5. Change of COD removal efficiency in swine wastewater by *Rhodospirillum rubrum* N-1(Inoculum size: 10%(v/v), Initial COD load: $10,000\text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$).

(v/v)로 변화시켜 양돈 폐수에 첨가하고 6일간 배양하면서 bacteriochlorophyll a의 농도와 유기산 제거율을 관찰하였다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 균체의 접종량을 증가함에 따라 bacteriochlorophyll a의 농도는 증가하였다. 특히 접종량을 10%와 20%로 한 경우는 거의 같은 수준의 유기산 분해능을 나타내었으며, 배양 6일 후에 75~80%로서 최대 분해율을 보였다. 수도물을 이용하여 양돈 폐수를 COD_{Cr} 농도로서 10,000 mg · l⁻¹로 희석한 후 본 균주를 10% 접종하여 양돈 폐수내의 COD_{Cr} 농도 변화를 관찰하였다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 양돈폐수의 COD_{Cr} 감소율은 6일 반응 동안 87%의 감소를 보여 양돈 폐수의 COD_{Cr}은 1,300 mg · l⁻¹으로 감소하였다. 현재 국내에서 시행되는 분뇨처리는 혐기소화시킨 후 물로서 10~20배 희석하여 활성오니법으로 처리하는 공법이 가장 많이 사용되고 있다(21). 그러나 본 실험에서는 2배 희석으로 높은 COD 제거율을 나타내어, 고농도 양돈 폐수 처리에 이용할 경우 높은 처리 효과를 기대할 수 있다고 사료되며, 광합성 세균의 유기물 제거 활성을 보다 증가시켜 공정에 활용함으로써 고농도 유기성 폐수의 무희석 처리도 가능할 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에서 분리 동정된 균주 N-1은 보통 붉은색을 띄고 있으므로 처리수를 방류할 경우 색상에 의해 미관을 해칠 우려가 있어 이에 대한 적절한 대책이 요구되며, 고정화 및 침전 분리 등을 이용한 효과적인 고액 분리를 통해 고형물을 사료, 퇴비 및 토양개량제 등으로 재활용하는 방안을 적극 검토할 필요가 있다.

요 약

균체 성장율과 유기산의 제거율이 우수한 광합성 세균을 부영화된 습한 토양에서 분리하여 형태학적, 생리학적 성질을 검토한 결과 *Rhodospirillum rubrum*으로 동정되었다. *R. rubrum* N-1 균주를 Lasscelles 배지에 sodium acetate, sodium propionate 그리고 sodium butyrate를 각각 0.2%(w/v)씩 첨가하여 유기물 제거율과 최적 배양 조건을 검토한 결과, 온도 30°C, pH 7.0, 조도 4000 lux임을 알 수 있었다. 또한 양돈 폐수 처리에 *R. rubrum* N-1 균주를 접종하여 유기물 제거율을 COD_{Cr} 감소로서 검토한 결과 총 유기산 제거율과 COD_{Cr} 감소율은 각각 80, 87%로 나타나 분리주 *R. rubrum* N-1의 고농도 유기성 폐수처리에서의 적용이 기대된다.

참고문헌

1. 이수환. 1996. 유기성폐기물의 퇴비화 및 자원화(1). *침단환경기술* 11: pp 53-58.
2. 이수구. 1991. 축산 폐수처리물의 물리화학적 처리에 관한 연구. 환경과학연구협의회.

3. Tacasi, O. et al. 1991. Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process. *Wat. Res.* 25: 1377-1388.
4. Marcia H. B. and A. Torabian. 1981. The effects of the COD. P ratio on laboratory activated sludge systems. *Wat. Res.* 15: 999-1004.
5. Irvine, R. L. 1979. Sequencing batch biological reactor an overview. *J. WPCF.* 51: 230-243.
6. Hayashi, H., M. Nakano and S. Morita. 1982. Comparative studies of protein properties and bacteriochlorophyll contents of bacteriochlorophyll-protein complex from spectrally different types of *Rhodospirillum rubrum*. *J. Biochem.* 92: 1805.
7. Madigan, M. T., J. C. Cox and H. Gest. 1982. Photopigments in *R. capsulata* cells grown anaerobically in darkness. *J. Bacteriol.* 150: 1422-1429.
8. Sawada, H. and P. L. Rogers. 1977. Photosynthetic bacteria in waste treatment : Pure culture studies with *Rhodospirillum rubrum*. *J. Ferment. Technol.* 55: 297-310.
9. 小林達治. 1970. 化學と生物. pp 8-6042.
10. Kobayashi, M. and Y. T. Tchan. 1973. Treatment of industrial waste solution and production of useful by-products using a photosynthetic bacteria method. *Water Res.*, 7: 1219-1224.
11. 小林正泰. 1978. 食品工業. pp. 14-19.
12. Kobayashi, M., J. L. Shimamoto and T. Maki. 1979. Treatment and re-use of industrial waste by phototrophic bacteria. *Prog. Water Technol.*, 11: 249.
13. Schlegel, H. G., J. Barneam and K. G. Erich Goltze 1976. *Microbial Energy Conversion*. Gottingen. pp. 443.
14. Sawada, H., R. Parr and P. L. Rogers. 1977 Photosynthetic bacteria in waste treatment. Role of *Rhodospirillum rubrum* with agriculture, Industrial effluents. *J. Ferment. Technol.* 55: 326-336.
15. Lasscelles, J. 1956. The synthesis of porphyrins and bacteriochlorophyll by cell suspensions of *Rhodospirillum rubrum*. *Biochem. J.*, 62: 78-93.
16. Lilli, R. D. 1969. "H. J. Conn's Biological Stains", 8th ed.
17. Johanners, F. I. and H. G. Truper. 1989. *Bergey's manual of systemic bacteriology*, J. T. Stanley, ed., 3: 1635-1709.
18. Greenberg, A. E. et al. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th Ed., American Public Health Association, Inc., New York.
19. Cho, K. D., S. O. Kang, W. J. Lim, H. Y. Cho and H. C. Yang. 1993. Starter culture production of *Rhodospirillum rubrum* P17 for use in treatment of organic wastewater. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* 36: 488-494.
20. 平山修. 1978. 醱酵と工業. pp. 36-563.
21. 최의소, 1989. 폐기물처리와 자원화. 청문각. pp. 195-235.

(Received 24 February 1997)