

韓國產 *Rhodopseudomonas palustris*에 관한 研究

김 경 식 · 이 현 순
(성균관대학교 이공대학 생물학과)

Studies on *Rhodopseudomonas palustris* in Korea

Kim, Kyung Sik and Hyun Soon Lee
(Department of Biology, Sung Kyun Kwan University)

Abstract

Twenty one strains of *Rhodopseudomonas palustris* from 7 different regions in Korea have been isolated and identified on the basis of Bergey's Manual in order to study their regional variation. They can use fructose as carbon source (or hydrogen donor). Capacity to produce molecular hydrogen during photosynthesis was tested using liquid medium, modified by omission of NH₄Cl and addition of L-glutamic acid. As nitrogen source nitrate can be used, and isopropanol can be used as hydrogen donor. Their pH ranges are 5.9~9.1. Their growth are inhibited in the medium that contains 100 units of penicillin G/ml. as for the growing test in dark aerobic condition, the period needed for adaptation is longer than that of Korea strain of *Rhodopseudomonas gelatinosa*.

緒 論

Rhodospirillaceae에 屬하는 non-sulfur purple bacteria는 細菌性 光合成作用과 (James *et al.*, 1967; Slater *et al.*, 1973; Pfenig, N., 1975; Oelze *et al.*, 1976) 一般代謝作用의 研究材料로서 (Pasehinger, H., 1974) 또한 廢水淨化에 對한 利用可能性 (木材 등, 1970) 및 窒素固定에 關한 研究에 많이 使用되어 왔다. 그리고 最近에 이르러까지 新種들이 發表되고 있어 (Pfennig, N., 1969; Pfennig, N., 1969; Pfennig, N., 1975; Hansen *et al.*, 1973; Toshio *et al.*, 1976) 앞으로 新種이 發見될 可能性이 매우 크다고 본다. 그러나 韓國產 Rhodospirillaceae에 關한 研究은 *Rhodopseudomonas palustris*와 *Rhodopseudomonas gelatinosa*

가 分離 同定되고 (吳·李, 1975) 이들이 窒素固定能에 있다는 것이 報告된 後로는 이루어진 바가 없다. 따라서 本人들은 *Rhodopseudomonas*屬의 代表種인 *Rhodopseudomonas palustris*를 國內 7個 地域에서 分離, 同定하여 純粹培養하고, 이들의 特性들을 Bergey's Manual과 比較하여 調査해 보았다.

材料 및 方法

1. 材 料

1975년 3월부터 1976년 8월까지 창경원 내 수정궁연못, 한강, 태능의 연못, 아산만 갯벌, 청주시내 연못, 백록담 등의 淡水, 갯벌, 흙물등을 採取하여 各 地域마다 3개 석의 菌株를 分離한 後에 地域에 따라 表 1과 같이 KS-010~KS-079까지의 菌株番號를

미생물학회지 9:1-26(1977).

붙었다.

2. 方 法

1) 培地: 基本 無機培地는 吳·李(1975)의 方法에 따랐고, 炭素源檢査를 除外한 大部分의 實驗에서는 0.2% (w/v)의 malate를 炭素源(또는 水素供與體)으로 넣고 여기에 0.01(w/v)의 yeast extract를 첨가하여 使用하였으며, 複合培地는 Sweager *et al.*, (1971)의 方法에 따랐다. 그리고 모든 培地の pH는 6.8로 調節하였다.

2) 培養條件: 嫌氣性培養(光合成에 依한 生長)은 50ml 용량의 회전마개 병에 接種한 後 液體培地를 가득 채워 마개를 막고, 白熱電球를 一列로 켜놓은 水槽에서 培養하였다(照度; 2000lux, 溫度; 30~35°C). 平板培養은 anaerobic jar를 使用하였는데, jar안에 pyrogarrol과 KOH를 1:1(w/w)로 혼합한

水溶液을 넣어주었고, 眞空펌프로 공기를 빼낸 후, 水槽에 jar를 넣어 培養하였다. 暗處 好氣性培養은 平板培地에 接種한 후 incubator에 넣어 培養하였다(溫度; 30~35°C).

3) 形態의 觀察: 主로 位相差顯微鏡(Olympus)을 使用하였으며 鞭毛의 觀察 및 出芽現象은 電子顯微鏡(Hitachi HS-6)을 使用하였다.

4) 生長度の 測定: Colorimeter(Spectronic 20)를 使用하여 650mm에서 optical density를 測定하였다.

5) 吸光帶의 測定은 吳·李(1975)의 方法에 따랐으며 光合成에 依한 生長中에 H₂-gas 發生如否는 Weaver *et al.*(1975)의 方法에 따랐다.

6) Penicillin에 對한 感受性: Sodium penicillin G(市販)를 複合培地에 1000 units/ml부터 1unit/ml까지 100 units 간격으로 차례로 희석하여 첨가하고 어디까지 生長이 이루어지는 가를 관찰하였다.

Table 1. Sources of *Rps. palustris* strains.

Strain No. Site of original sample collection.

KS-011	Change Kyung Won (pond)
KS-012	"
KS-013	"
KS-021	Han River (river)
KS-022	"
KS-023	"
KS-031	Tae Neung (pond)
KS-032	"
KS-033	"
KS-040	Chung Ju (pond)
KS-041	"
KS-042	"
KS-052	Mt. Han Ra (volcanic pond)
KS-053	"
KS-059	"
KS-060	Song Kwang Temple (pond)
KS-061	"
KS-062	"
KS-070	Ah San Bay (sea water & mud)
KS-071	"
KS-072	"

結 果

1. 菌株의 分離

各 地域에서 採取해온 淡水, 갯벌, 흙물들을 5ml씩 따로 마개병에 接種한 후에 複合培地를 가득 채우고 마개를 막은 후 이를 水槽에 넣고 集積培養하면 24~48시간 후에는 赤紫色을 나타내어 충분히 增殖되었음을 알 수 있었다. 이를 檢鏡하여보면 여러종류의 non-sulfur purple bacteria들이 나타나는데 이들 中 *Rhodospirilla*는 약 3일이 경과하면 거의 없어진다. 이는 *Rhodopseudomonas*屬의 菌들이 매우 빠르게 增殖하기 때문에 *Rhodospirilla*는 生長이 억압되기 때문인 것으로 알려져 있다(Sweagar *et al.*, 1971). 이들 中 가장 먼저 나타나며 個體數도 많은 것이 *Rps. palustris*와 *Rps. gelatinosa*이었다. 5日間 培養 후 thiosulfate (0.2%)를 水素供與體로 NaHCO₃(0.1%)를 炭素源으로 yeast extract(0.01%)를 growth factor로 넣은 培地에 옮겨 培養하면 *Rps. palustris*가 우선적으로 증식하며 他種들은



Plate 1. Clusterform of *Rps. palustris* strain KS-059 grows in malate media. Electron micrograph. X 6,000.

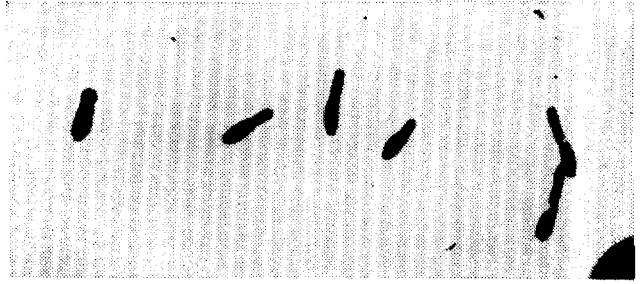


Plate 2. Budding tube and division form *Rps. palustris* strain KS-059 grows in malate media. Electron micrograph, X 6,000.

거의 자라지 못한다. 이처럼 thiosulfate培地에 3~5회 옮겨주면 *Rps. palustris*만이 미약하나 거의 유일하게 자라게 된다. 이러한 一連의 subculture를 실시한 후에 agar shake culture를 2회 반복하여 순수한 colony를 얻을 수 있었다. 이 colony를 다시 液體培地에 옮겨심어 菌株를 얻었다.

2. 形態觀察

分離된 菌株들은 모두 뚜렷한 桿菌形態를 나타내었으며 pH 7 以下の 培地에서도 *Rps. capsulata*나 *Rps. spheroides*처럼 球形으로 바뀌지 않았다(van Niel., 1944).

이들은 모두 Gram 陰性 反應을 나타내었으며 活潑한 鞭毛運動을 하였다. 크기는 폭이 $0.6\mu\text{m}$ ~ $1.0\mu\text{m}$, 길이가 $1.0\mu\text{m}$ ~ $2.0\mu\text{m}$ 의 것들이 가장 많아서 이것이 代表的인 크기라 생각되었다. van Niel (1944)에 依하던 이들은 培地의 種類, 培養時間, pH의 差異 등에 따라 形態의 變化가 심하다고 하였으나 本實驗에서는 이러한 環境에 따르는 形態의 變化는 심하지 않았고 단지 同一한 培地內에서도 卵形의 것들과 $5\mu\text{m}$ 以上の 길이를 가진 것들이 관찰되었으며 오래된 培養液(12日)과 알카리성 培養液에서 약간 길어지는 경향을 볼 수 있었다.

分裂은 出芽에 依한 分裂을 하였고 母細胞鞭毛의 反對端에 3~ $5\mu\text{m}$ 길이의 가는 出芽管이 形成된 後 그 管端에 新細胞가 形成되어 아령 모양으로 되었다가 이 新細胞가

떨어져 나와 分裂이 完了되었다(Plate 2).

*Rps. palustris*의 특징적인 形態인 rosette like cluster는 거의 모든培地에서 나타났으며 (Plate 1) 특히 오래된 培養液(12日)에서 많이 나타났고 4~5個의 細胞가 集合(Biebl *et al.*, 1969)한 것보다 더 많은 細胞들이 集合하여 별모양을 形成하였다. 이 cluster가 形成되면 各細胞들의 運動性은 없어졌으나 cluster 自體가 서서히 回轉運動을 하는 경우도 있었다.

anaerobic jar에서 平板培養하여 얻어진 colony는 비교적 작고, 매끈하고, 둥근 形態를 하고 있었으며 선명한 赤紫色을 나타내고, 表面에는 투명한 膠액성 물질로 덮여 있어 capsule 形式에 依한 것이라 생각된다.

3. 生化學的 特性

炭素源利用에 關하여는 表 2에서 보는 如와 같다. van Niel(1944), Pfeinng. N., (1974) 그리고 Bergey's Manual에도 *Rps. palustris*가 一炭素有機物인 formate를 利用할 수 있다고 하였다. 그러나 本實驗에서 使用된 菌株들은 formate 利用에 對하여는, KS-033 KS-041, KS-052의 3 菌주가 少量의 yeast extract (0.01%) 存在下에서 미약한 生長을 나타내었고 다른 菌株들은 모두 否定的 反應을 나타내었다. 또한 methanol을 炭素源으로 넣은 培地에서도 위의 3 菌株만이 약간의 生長을 보였을 뿐이다. 本菌株들은 모두 低脂肪酸系化合物, T.C.A.

electron donors by *R. palustris* strains.

040	041	042	052	053	059	060	061	062	070	071	072
-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+	+	+++	+++	+++	+++	+	++	+++	+++	+++	+++
+++	+	+++	+++	+	+++	+	++	+++	+	+	+++
+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+++	+++	+++	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	++
++	-	(+)	-	-	-	-	-	-	(+)	-	+++
-	+	+++	-	+	+	+	-	+	++	+	+
-	(+)	-	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-
+	+	++	+	+	+	+	+++	++	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
+++	++	+++	+	++	++	++	+	++	+	+	+
-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
+++	+	++	+++	++	++	++	++	++	++	++	+++
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+	+	+	++	+	+	+	++	+	+	+	+
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

good growth, ++; moderate growth, +; poor growth, (+); slightly growth, -; not growth

ranges of *R. palustris* strains.

040	041	042	052	053	059	060	061	062	070	071	072
+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+
-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-
-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+
6.1	6.1	6.1	6.0	5.7	6.1	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1

growth response: ++; moderate growth, +; poor growth, -; not growth

R. palustris strains.

040	041	042	052	053	059	060	061	062	070	071	072
+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

growth response: +++; good growth, ++; moderate growth, +; poor growth

cycle의 中間產物들, 그리고 ethanol, glycerol들을 잘 利用하였다. 그러나 isopropanol은 利用하지 않았으며, 單糖類로서는 glucose에서는 거의 자라지 않았으나 fructose에서는 모든 菌株가 풍부히 자라는 것을 볼 수 있었다.

*Rps. palustris*는 non-sulfur, purple bacteria 中에서 thiosulfate를 少量의 yeast extract 存在下에서, 水素供與體로 利用할 수 있다는 것이 特徵이다(van Niel 1944, James *et al.* 1967). 本實驗에서는 thiosulfate의 利用이 매우 약하나 *Rps. gelatinosa*나 *Rps. capulata*와 비교하여 보면 그 차이

잘 자라며 nitrate에서도 ammomium鹽보다는 약하나 역시 잘 자랐다.

無機窒素源 代身 amino acids 中 L-glutamic acid와 L-alanin을 각각 넣어주고 0.2% malate를 加해준 것과 加해주지 않은 것의 生長結果는 表 4와 같이 다 生長을 하며 malate를 加해준 것이 더 풍부한 生長을 하였다.

暗處 好氣性培養에 있어서도 모두 좋은 生長을 나타내었다. 本菌株들은 glutamic acid나 alanine에 있어서 malate의 不在上에서도 잘 자란다. 따라서 이 두 amino acids는 窒素源으로서 뿐만이 아니라 炭素源, 즉

Table 4. Anaerobic, aerobic culture with amino acids (\pm malate)

	013	023	032	040	053	061	071
L-glutamic acid+M.M. (anaerobic)	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++
" (aerobic)	++	++	+	++	++	++	-
L-glutamic acid+M.M.+malate(anaerobic)	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
" (aerobic)	++	++	++	++	++	++	++
L-alanin+M.M. (anaerobic)	++	++	+	+	+	++	++
L-alanin+M.M.+malate (anaerobic)	++	++	+	++	+	++	++
" (aerobic)	+++	+++	+	+++	+	+++	+++

growth response: +++; good growth, ++; moderate growth, +; poor growth.

를 확실히 알 수 있었다.

本菌株들의 pH range test는 基本 無機培地에 malate (0.2%)와 yeast extract (0.01%)를 넣은 培地로 pH 5.0~pH 9.1까지 實驗하였으나 pH 6 以上에서 生長을 나타내어 表 3에서 보는 바와 같은 結果로 Bergey's Manual에 記載(pH 5.5~8.5)되어 있는 것보다 비교적 더 알칼리쪽으로 기울어진 것을 볼 수 있었다.

*Rps. palustris*는 growth factor로 p-amino benzoic acid가 要求되는 것으로 알려져 있다. 本實驗에서는 基本 無機培地에 malate (0.2%)를 넣고 yeast extract 代身에 biotin (1 μ g/l), nicotinic acid (1mg/l), thiamine (1mg/l)를 각각 넣어 生長을 관찰한 結果, 表 3과 같은 結果를 얻었다.

窒素源에 對한 實驗結果는, Bergey's Manual에 記載된 바와 같이 ammonium鹽에서

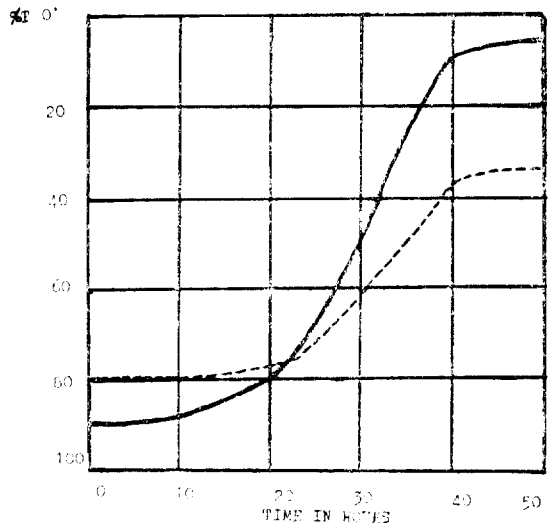


Fig. 1. Growth of *Rps. palustris* strain KS-059 in complex(-) and mineral(---) medium. (wavelength 650nm)

에너지源으로도 사용되며 따라서 이들은他家營養으로 生長할 수 있음을 보여 주었다.

non-sulfur purple bacteria는 窒素源으로 L-glutamic acid같은 amino acids를 사용했을 때 photoheterotrophic 生長동안 光線依存性에 의한 H_2 gas 發生이 일어나며, *Rps. capsulata*의 경우 malate 培地에 glutamic acid를 주었을 때 33 菌株中 5 菌株를 除外하고 모두 H_2 gas 生成이 이루어졌다고 報告되었다(Weaver *et al.*, 1975). 本實驗에서는 0.2%의 malate와 glutamic acid를 同時에 넣은 培地와 glutamic acid만을 넣은 培地를 사용하여 實驗한 結果, malate를 含有한 培地에서 더 많은 H_2 gas가 生成되었다.

本菌株들의 生細胞 光合成色素 吸光帶는 bacteriochlorophyll a의 吸光帶인 375nm, 590nm, 805nm, 850nm에서 頂點을 나타냈고, normal spirilloxantin series carotenoid의 吸光帶인 460nm, 490nm, 525nm에서 頂點을 나타내었다. 吸光帶는 菌株나 培養條件에 따라 다르며 特別히 菌株獨特한 偏差를 나타내는 것으로 알려져 있다(Biebl *et al.*, 1969).

Rps. palustris KS-059에 對한 複合培地와 基本 無機培地(malate (0.2%) + yeast extract(0.01%)] 사이의 生長度를 비교해 보면 그림 1과 같이 複合培地에서가 基本 無機培地에서 보다 더 빠르고 풍부한 生長을 나타내었다. 그리고 이들의 適應時間은 複合培地에서 약 5~6시간, 無機培地에서 약 10~12시간 걸렸으며, 약 40시간 경과 후 最大生長이 이루어졌다.

Pencillin G에 對한 本菌株들의 感受性은 1000 units/ml 이상에서 生長이 抑制된다고 알려진 바와는 다르게(Weaver *et al.*, 1975). 100units/ml에서 부터 生長이 약해지기 시작하여, KS-013을 除外하고는 모두 500 units/ml에서 거의 生長이 抑制당하였다. KS-013만이 1000units/ml에서 生長이 이루어졌다.

酸素下 暗處培養에 있어서는 모든 菌株들

이 比較的 잘 자랐고 colony는 거의 모두가 無色을 나타내었으나 어떤 경우에는 약간 분홍색을 나타내기도 하였다. 그러나 嫌氣性培養에 있어서보다 生長度가 느린 것으로 보아 generation time이 길어진 것으로 본다. *Rhodospirillum*은 嫌氣性時代부터 呼吸作用을 배움으로서 好氣性으로 進化되었다고(Gaffron *et al.*, 1970)보는데 韓國產 *Rps. palustris*도 역시 이와 같은 것으로 본다.

考 察

이번 調查의 結果로 韓國產 *Rhodopseudomonas palustris*는 炭素源으로 malate는 물론 acetate나 butyrate를 잘 利用하며 ethanol, glycerol에서도 比較的 잘 자라는 것은 一般적으로 微生物代謝에서 잘 알려진 glyoxylic acid cycle이 이루어지는 것으로 본다.

그러나 *Rhodopseudomonas*屬이 일반적으로 잘 이용하는 isopropanol을 本實驗에서는 $NaHCO_3$ 의 不在下에서나 存在下에서 利用 못하는 것으로 보아 韓國產 *Rhodopseudomonas alustris*는 isopropanol을 H-供與體로 作用할 수 없음을 알 수 있었고 acetone 生成 또한 일어나지 않았다.

Formate에 對한 利用은 KS-033, KS-041, KS-052의 3균주가 약간의 生長을 보였을 뿐 모든 菌株들은 生長하지 않았다. 이것은 吳·李(1975)의 實驗과 一致한다. 그러나 methanol을 炭素源으로 했을 때, 모든 다른 菌株는 生長하지 않았으나 이 3 菌株는 生長하였다는 것은 흥미있는 事實이다. 韓國產 *Rhodopseudomonas palustris*가 formate를 利用 못한다는 것은 Bergey's Manual과 一致되지 않는 結果이다.

單糖類 中 glucose에서는 KS-012, KS-042, KS-053만이 약간의 生長을 나타내었을 뿐 다른 菌株는 자라지 않았다. 그러나 fructose에 對하여는 KS-011만을 除外한 모든 菌株가 풍부히 生長하였다는 것은 Bergey's Manual과 對照적인 結果를 나타내었

다.

Penicillin에 대한感受性도 一般的인 1000 units/ml보다 1/2인 500units/ml로서 KS-013 以外에는 모두 抑制되고 KS-013만이 1000unit/ml에서 生長하는 것은 細胞壁의 化學的 構成成分이 分類學的으로 有用하다는 것을 보여주는 것으로 본다(Framberg *et al.*, 1974).

H₂ gas의 photoproductin은 NH₄Cl을 窒素源으로 했을 때에는 放出하지 않았고, 炭素源(malate)이 存在할 때에 L-glutamic acid를 窒素源으로 주었을 때 生成하는 것은 H₂ gas의 發生이 hydrogenase-nitrogenase complex에 依하여 촉매되어짐으로 (Weaver *et al.*, 1975) 窒素 gas의 固定能을 말하여 주는 것이므로 앞으로 窒素 gas 下에서의 培養을 併行하여 볼 必要가 있다고 본다. malate가 들어있지 않은 경우에 H₂ gas의 發生이 약하여지는 것은 外部에서 炭素源이 供給되어야 N₂ gas가 吸收되고 光

線은 H₂ gas를 發生시켜 光分解作用을 일으킨다는 것(Gaffron *et al.*, 1970; Ormerod, J.G. *et al.*, 1961)과 一致한다.

Bergey's Manual에서는 Rhodospirillaceae에 對한 nitrate respiration에 對하여는 言及하지 않았으나 韓國產 *Rhodopseudomonas palustris*는 KNO₃를 窒素源으로 잘 利用한다는 것, glucose에 있어서 生長하지 않은 것은 Schneider (1930)에 依하면 glucose 自體가 *Rhodopseudomonas palustris*의 어느 菌株에 對하여 毒性으로 作用하기 때문이라고 해석했는데 van Niel (1944)은 Schneider의 實驗이 젖산菌에 依하여 汚染되어 있음으로 이 젖산菌이 糖이 含有된 培地에서 빨리 生長함으로 酸性이 높아지고 따라서 *Rhodopseudomonas palustris*의 生長을 방해했다는 것이다. 그리고 韓國產 *Rhodopseudomonas palustris*는 fructose에서 잘 자란다는 것이 또한 差異點이다.

摘 要

韓國產 *Rhodopseudomonas palustris*를 地域別로 採取分離, 同定하여 Bergey's Manual과 比較 검토하였다.

- 1) 韓國內 地域別 差異보다는 菌株間의 差異를 볼 수 있었고,
- 2) Formate, isopropanol을 利用하지 않으며 glucose는 利用 못하나 fructose는 利用한다는 것이 Bergey's Manual의 記載와 다르다.
- 3) 窒素源으로 KNO₃를 利用할 수 있으며 glutamic acid와 炭素源의 存在下에서 H₂ production이 일어난다.
- 4) Penicillin G에 對하여는 菌株差를 나타내었다.
- 5) 압력 형기성배양에서는 적응시간이 길고 生長이 느리고 혐기성培養보다 生長度도 떨어졌다.
- 6) pH range Bergey's Manual의 기재보다 알칼리쪽으로 더 기울어졌다.

引 用 文 獻

1. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. 8th ed. 1974.
2. Biebl, and G. Drews, 1969. Das in-vivo-spectrum als taxonomisches Merkmal bei Untersuchungen zur Verbreitung von Athiorhodaceae. *Zentralblatt.* 123, 425-452.
3. Framberg, K., Mayer, H., Wecker, J., Drews, G., 1974. Serologische Untersuchungen an islierten Lipopolysacchariden aus *Rhodopseudomonas palustris*-Stammen. *Arch. Microbiol.* 98, 239-250.
4. Gaffron, H., and H. J. Schick, 1970. Regulation der N₂-Aufnahme bei *Rhodospirillum rubrum*. *Ber. Dtsch. Ges. Bd.* 83, 417-419.
5. Hansen, T. A., and H. Veldkamp, 1973. *Rhodopseudomonas saifidophila*, nov. spec., a new species of the purple nonsulfurbacteria. *Arch. Mikrobiol.* 92, 45-58.
6. Jemas, P., Rolls, and E.S. Lindstrom,

1967. Effect of Thiosulfate on the phototrophic growth of *Rps. palustris*. *J. Bacteriol.* **94**, 860-866.
7. Oelze, J., and W. Pahlks, 1976. The early formation of the photosynthetic apparatus in *Rhodospirillum rubrum*. *Arch. Microbiol.* **108**, 281-285.
8. Ormerod, Jhn, G., Karl, S. Ormerod, and H. Gest. 1961. Light-Dependent utilization of organic compounds and photoproduction of molecular hydrogen by photosynthetic bacteria. *Arch. Biochem. Biophys.* **94**, 449-463.
9. Paschinger, H., 1974. A changed nitrogenase activity in *Rhodospirillum rubrum* after substitution of tungsten for molybdenum. *Arch. Microbiol.* **101**, 379-389.
10. Pfennig, N., 1969. *Rhodopseudomonas acidophila*, sp. n., a new species of the budding purple nonsulfur bacteria. *J. Bacteriol.* **99**, 597-602.
11. Pfennig, N., 1969. *Rhodospirillum tenuen* sp. n., a new species of the purple nonsulfur bacteria. *J. Bacteriol.* **99**, 619-620.
12. Pfennig, N., 1974. *Rhodopseudomonas globiformis*, sp. n., a new species of the Rhospirillaceae. *Arch. Microbiol.* **100**, 197-206.
13. Quayle, J.R., and N. Pfennig, 1975. Utilization of methanol by Rhodospirillaceae. *Arch. Microbiol.* **102**, 193-198.
14. Sweager, W.C., and E.S. Lindstrom, 1971. Isolation and counting of Athiorhodaceae with membrane filters. *Appl. Microbiol.* **22**, 683-687.
15. Slater, S.H. and I. Morn's 1973. Photosynthetic carbon dioxide assimilation by *Rhodospirillum rubrum*. *Arch. Microbiol.* **88**, 213-223.
16. Schlegel, M., and N. Pfennig., 1961. Die anreicherungs kultur einiger Schwefel pus Purbacteria. *Arch. Microbiol.* **38**, 1-39.
17. Toshio Satoh, Yasuo Hoshimo, and H. Kitamura, 1976. *Rhodopseudomonas sphaeroides forma sp. denitrificans*, a denitrifying strain as a subspecies of *Rps. sphaeroides*. *Arch. Microbiol.* **108**, 63-269.
18. van Niel, C.B., 1944. Culture, general physiology, morphology and classification of the non-sulfur purple and brown bacteria. *Bacteriol. rev.* **8**, 1-118.
19. van Niel, C.B., 1971. Technique for the enrichment, isolation and maintenance of the photosynthetic bacteria. *Methods in Enzymology. Part A.* **23**, 3-28.
20. Weaver, P. F., Judt, D. Wall, and Howard Gest, 1975. Characterization of *Rhodopseudomonas capsulata*. *Arch. Microbiol.* **105**, 207-216.
21. 吳德織・李賢順, 1975. 韓國産 *Rhodopseudomonas* sp.의 分離 및 同定. *Kor. Jour. Microbiol.* **13**, 24-30.
22. 小林達治・小林正泰・中西弘・高橋英一, 1970. 光合成細菌による廢液の處理とその資源化(1). *日本土壤學雜誌* **41**, 129-131.