

## 해양환경에서 분리한 *Pseudoalteromonas* 속 균주들의 특징 및 색소 생성 최적 조건

정동우 · 박진숙\*

한남대학교 생명공학과

Received November 29, 2008 / Accepted September 22, 2008

**Characterization of Pigment-Producing *Pseudoalteromonas* spp. from Marine Habitats and Their Optimal Conditions for Pigment Production.** Dong-Woo Jeong and Jin-Sook Park\*. Department of Biotechnology, Hannam University, Daejeon 305-811, Korea - Three marine bacteria producing pigments were isolated from seawater of Jeju-Do and local solar saltern in Korea. Based on phenotypic characteristics and 16S rRNA sequence analysis, the strains were identified as *Pseudoalteromonas* spp., which produced red (Ju11-1), yellow (Ju14), and orange (TA20) pigments. The pigments showed UV absorption maxima at 537, 378 and 387 nm, respectively. The strains were growing well on Marine broth 2216 culture medium. The productivity of pigments reached the maximum value after 28 hours (Ju11-1, Ju14) and 24 hours (TA20) at 30°C, 2% NaCl and pH 6-7. The best pigment production of strains were supported by 1% of lactose (Ju11-1) and maltose (Ju14, TA20) as a carbon source and 1% of beef extract as a nitrogen source.

**Key words :** *Pseudoalteromonas*, bacterial pigment, marine bacteria

### 서 론

색소는 크게 천연색소와 합성색소로 나누어지며 식품공업, 화장품, 의약품, 가축사료 첨가제 등으로 다양하게 사용되어 지고 있다. 19세기 이후 화학공업의 발달과 함께 합성 색소가 개발되어 광범위하게 사용되어져 왔지만 안정성 등이 문제가 되면서 이의 대안으로 천연색소에 대한 관심이 증가되고 있으며 식품, 의약품 및 화장품 등에서 점차 천연색소의 사용이 증가하고 있다[4,11]. 현재 사용되고 있는 천연색소는 주로 식물성 색소로 chlorophyll, carotenoid, phycopyrine, anthoxanthin, anthocyanin, 천연 carotene, xanthophyll 등이 알려져 있으며 천연 색소는 착색료 용도[14] 외에도 비타민 A 전구체, 면역기능의 활성화, 산소라디칼의 제거 등, 영양성과 약리성을 가지고 있다는 점에서도 주목받고 있다[15]. 그러나 지금까지 천연색소는 대부분 동물이나 식물에서 직접 추출하여 사용되었으나 추출이 용이하지 않을 뿐만 아니라 생육조건과 자연 환경에 따라 품질의 변화가 심하여 일정한 품질을 유지하기가 어렵다는 단점이 있다[7,16]. 이러한 단점을 극복하기 위하여 최근에는 대량생산이 가능하고 상시 안정된 품질의 제품을 생산할 수 있는 미생물 색소에 대하여 관심이 증가하고 있다[8,11,19]. 지금까지 연구된 미생물 유래 색소로서는 홍국균 (*Monascus* sp.)이 생산하는 적색 색소, *Rhodotorula* 속의 carotenoid, *Rhodospila globiformis*의 적색 색소, *Rhodospirillum rubrum*의 황색 색소, *Rhodospseudomonas viridis*의 녹색 색소, *Azotobacter vinelandii*와 *Streptomyces californicus*의 청색 색소,

*Serratia marcescens*의 황색 색소 등에 관한 연구가 있다[17]. 이 중에서도 해양 미생물을 이용한 색소 생산은 높은 염농도로 인하여 다른 미생물의 오염이 적고 세포 용해는 낮은 염농도에서 쉽게 일어나기 때문에 색소의 추출이 쉽다는 장점을 가지고 있다. 이에 해양미생물을 이용한 미생물 색소에 관한 연구가 다수 보고되고 있다[4,5,17]

본 연구에서는 미생물 색소 개발의 기초자료를 제공하고자 제주도를 비롯한 섬지역의 해안 해수와 서해안의 평화염전의 해수로부터 색소생성능이 우수한 해양세균, *Pseudoalteromonas* 속 Ju11-1, Ju14, TA20 세 균주를 분리하여 균주들의 분류학적 특성과 최적 색소 생성 조건에 관하여 검토하였다.

### 재료 및 방법

#### 사용 균주 및 배지

본 실험에 사용한 균주는 2001년 7월부터 2003년 8월까지 제주도, 가거도, 추자도, 귀녀, 구들녀와 태안 염전의 해수로부터 Marine broth 2216 (Difco, USA)에서 30°C, 1~3 일간 배양 후 형태적으로 다르게 구분되는 집락을 분리하였고 이 중 색소를 생성하는 30 균주를 1차적으로 선별하고 최종적으로 색소 생성능이 우수한 Ju11-1, Ju14, TA20 세 균주를 선별하여 실험에 사용하였다. 순수 분리된 균주는 배양액에 20% glycerol을 첨가하여 -80°C에 보관하였다.

#### 균주의 형태 및 생화학적 특성

분리된 균주들은 MA (Marine agar 2216, Difco, USA) 배지를 기본배지로 하여 배양온도 30°C에서 Yeon 등[19]의 방법에 따라 그람염색, 운동성 및 최적 pH를 조사하였다. pH는 KOH

#### \*Corresponding author

Tel : +82-42-629-8771, Fax : +82-42-629-8769

E-mail : jspark@hnu.kr

와 HCl로 각각 조정하였다. 최적 NaCl 농도는 Ventosa 등[18]의 기초배지를 변형하여 사용하였다. 즉, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 4.8 g; MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 3.5 g; KCl, 1.0g; CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, 0.18 g; NaHCO<sub>3</sub>, 0.03 g; NaBr, 0.013 g을 주요 염성분으로 사용하였고, Bacto-Peptone (Difco, USA), 2.5 g; Yeast extract (Difco, USA), 5.0 g; Glucose (Sigma, USA), 1.0 g; 증류수 1,000 ml, pH 7.2에 NaCl은 각각 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%와 7%가 첨가된 배지를 사용하여 최적 생장 NaCl 농도를 구하였으며, 당으로부터 산 생성능 조사에는 glucose 대신 조사하고자 하는 기질을 1% 첨가하여 사용하였다.

#### 염색체 DNA의 분리 및 G+C 함량(mol%) 측정

세균 세포의 염색체 DNA 분리와 G+C 함량(mol%)의 측정은 Jeon과 Park [2]의 방법에 따라 결정하였다. nuclease P1과 Alkaline phosphatase를 처리한 후 HPLC (High-performance Lipid Chromatograph, Simadzu, Japan)에 의해 측정하였다.

#### 지방산 조성의 분석

균체지방산의 분석은 MA 배지에 30°C, 48 시간 배양하여 Lim 등[11]의 방법에 따라 Sherlock Microbial Identification System (MIDI Inc., USA)에 의해 분석하였으며 유사도 0.5 이상을 신뢰성 있는 결과로 판별하였다.

#### 16S rDNA 염기서열 증폭 및 분석

염기서열 결정을 위하여, DNA 증폭 및 염기서열 결정은 Yeon 등[18]의 방법을 이용하였다. 16S rDNA의 염기서열의 결정은 341f (5'-CCTACGGGAGGCAGCAG-3') primer와 926r (5'-CCGTCATTCMTTTRAGTTT-3') primer를 사용하여 ABI Prism 310 Genetic Analyzer (Applied Biosystems, USA)를 사용하여 부분 염기서열을 결정하였다. 16S rDNA 염기서열의 상동성 검색은 GenBank database에 등록된 정보를 대상으로 Blast 검색에 의해 실행하였다.

#### 색소의 추출 및 특성

분리된 균주를 MB (marine broth media) 200 ml이 담긴 500 ml 플라스크에 접종하고, 30°C, 200 rpm으로 30 시간 진탕 배양하였다. 배양액은 6,000 rpm에서 15 분간 원심분리하여 균체와 상등액을 분리하였고 여기에 물, ethanol, methanol, methanol:acetone (7:2, v/v)을 각각 첨가하여 3회 반복 추출하였다. 추출한 색소는 스펙트로포토미터(Spectronic Genesys 5, Miltonroy, USA)를 이용하여 350-900 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다.

#### 색소의 최적 생성 조건

##### 온도, pH, NaCl

온도와 pH에 따른 균주별 색소의 최적 생성 조건을 규명하

기 위하여, MB 배지에 배양액을 1% (v/v) 접종하여, 측정하고자 하는 온도, pH 조건에서 48 시간 동안 진탕배양하면서 4 시간 간격으로 스펙트로포토미터를 이용하여 균체량과 색소량을 측정하였다. 온도에 따른 색소의 최적 생성 조건을 알아보기 위하여 25°C, 30°C와 37°C에서 배양하였고 pH의 영향을 알아보기 위하여 KOH와 HCl를 사용하여 각각 pH 5, pH 6, pH 7, pH 8과 pH 9로 조정된 배지를 이용하였으며, NaCl 농도에 따른 색소의 최적 생성 조건을 알아보기 위하여 균주의 최적 생장 NaCl 농도를 조사하기 위한 배지와 동일한 배지를 사용하여 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%와 7%까지 NaCl 농도가 조정된 배지에 균을 접종하고 배양하면서 측정하였다. 각 조건별 균체량은 660 nm에서 측정하였으며, 색소량은 각 균주의 최대 흡수 파장인 537 nm, 378 nm, 387 nm에서 각각 측정하였다.

#### 탄소원과 질소원

균주별 탄소원과 질소원이 색소 생성 조건에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Kim 등[6]의 방법을 변형하여 사용하였다. 즉, 0.75% casamino acid, 1.0% yeast extract, 0.3% sodium citrate, 0.2% potassium chloride, 2.0% magnesium sulphate, 0.0023% ferric sulfate (pH 7.4)에 NaCl 농도를 2%로 한 배지에 최종 농도 1%가 되도록 각각 탄소원과 질소원을 첨가하고 30°C에서 48 시간 동안 진탕배양하면서 스펙트로포토미터를 사용하여 각 균주의 최대 흡수파장에서 흡광도를 측정하였다. 탄소원은 glucose, lactose, maltose, galactose, arabinose, sucrose, mannitol, sorbitol, glycerol를 첨가하여 확인하였고, 질소원으로는 yeast extract, malt extract, beef extract, tryptone과 peptone의 유기질소원과 potassium nitrate, ammonium nitrate와 sodium nitrate의 무기질소원을 사용하였다.

## 결과 및 고찰

#### 분리 균주의 동정

제주도 근해의 해수에서 색소 생성능이 우수한 JU11-1 (빨강)과 Ju14 (노랑)이 분리되었으며 서해안의 평화염전의 해수로 부터 TA20 (주황) 균주가 선별되었다. 이들은 모두 그람음성의 운동성을 갖는 간균으로 pH 6-7과 30°C에서 최적 생장을 나타냈다. 이 균주들은 4°C에서 생장하지 않았으나 JU11-1과 Ju14는 37°C까지 생장하는 반면 염전의 해수에서 분리한 TA20균주의 경우 45°C에서도 생장 가능하여 천일 염전에 적용한 결과로 생각되었다. 세 균주 모두 카탈라제 양성을 나타내었으며 Ju14를 제외한 두 균주는 glucose와 lactose로부터 산을 생성하지 않았으며 지방산 조성은 *Pseudoalteromonas* 속 세균의 주요 지방산으로 알려진 16:1 $\omega$ 7c [1]가 24.5-28.9% 가장 높은 비율을 나타내어 이들 균주의 주요 지방산이 *Pseudoalteromonas* 속과 일치함을 확인하였다. 염색체 DNA의 G+C 함량(mol%)은 Ju11-1은 44.3%, TA20은 44.9% 나타내어

*Pseudoalteromonas* 속 세균의 38-48% 범위[1]에 들어있으나 Ju11-1은 52.3%를 나타내어 전형적인 *Pseudoalteromonas* 속 세균의 G+C 함량 범위에는 들지 않았다(Table 1). 16S rRNA 염기서열 분석 결과, Ju11-1은 *Pseudoalteromonas* sp. AF227238 과 99%, Ju14는 *Pseudoalteromonas* sp. AY394862와 99%, TA20은 *Pseudoalteromonas piscicida* AY839777과 99.5%의 상동성을 나타내어 세 균주 모두 서열 유사도 99% 이상에서 *Pseudoalteromonas* 속에 속하였다.

색소의 추출 및 특성

분리된 *Pseudoalteromonas* 균주들이 생산하는 색소는 ethanol, methanol, acetone과 methanol : acetone (7:2, v/v)과 같은 유기용매에는 잘 녹으나 물에는 잘 녹지 않았다. 이들 균주가 생산하는 색소는 지용성 색소로써 물을 제외하고 사용된 모든 유기용매에서의 추출 효율은 유사하였다(Fig. 1).

세 균주의 색소를 에탄올로 추출한 뒤 스펙트로포토미터로 350-900 nm에서 측정하여 최대 흡수파장을 조사한 결과, *Pseudoalteromonas* sp. Ju11-1의 색소는 537 nm에서, *Pseudoalteromonas* sp. Ju14 색소는 378 nm, *Pseudoalteromonas piscicida* TA20 색소는 387nm에서 각각 최대 흡수파장을 나타냈다. 537 nm에서 최대 흡수파장을 나타낸 *Pseudoalteromonas* sp. Ju11-1의 색소는 anthocyan (531 nm)과 유사한 흡수 파장을 나타내었다[5]. 관찰된 최대 흡수파장은 이후의 색소 최적 생성 조건 조사에서 색소량을 측정하기 위한 흡수파장으로 사용하였다.

Table 1. Taxonomic characteristics of the pigment-producing *Pseudoalteromonas* isolates from marine habitats

Strain	1 <sup>a</sup>	Ju11-1	Ju14	TA20
Gram stain	-	-	-	-
Colony pigment	YO	R	Y	O
Spore	-	-	-	-
Motility	+	+	+	+
Shape	Rod	Rod	Rod	Rod
Growth at				
Temp (°C)	20-40	10-37	10-41	15-45
NaCl (%)	0-10	2-8	2-10	2-10
pH	6-10	5-9	5-9	5-9
Oxidase	-	-	-	+
Catalase	+	+	+	+
Acid from				
glucose	-	-	+	-
lactose	-	-	+	ND
G+C content (mol%)	44-45	52.3	44.3	44.9
Major fatty acid (16:1ω7c)	40.20	28.91	24.46	ND

a, Cited from Bergey's manual of systematic bacteriology 2nd ed. vol. 2;

1, *Pseudoalteromonas piscicida*; R, red; Y, yellow; O, orange; YO, yellow-orange; ND, not determined.

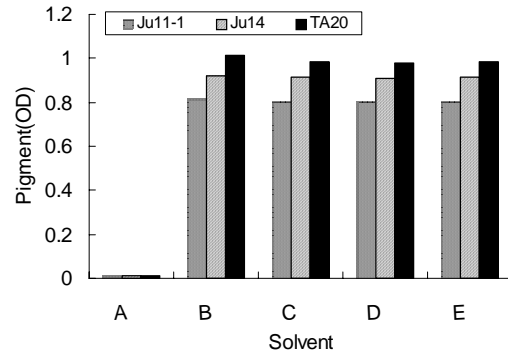


Fig. 1. Effects of solvents on the pigment extraction. A, Water; B, Ethanol; C, Methanol; D, Acetone; E, Methanol: Acetone (7:2)

색소의 최적 생성 조건

온도, pH, NaCl

색소 생성 균주 *Pseudoalteromonas* sp. Ju11-1, *Pseudoalteromonas* sp. Ju14와 *Pseudoalteromonas piscicida* TA20에 대한 색소 생성에 대한 배양 온도의 영향을 검토한 결과 3 균주 모두 30°C에서 균체량과 색소 생성이 가장 우수하였다. 해양세균인 *Erythrobacter* [5], *Vibrio* [4], *Bacillus* [17] 속의 세균인 경우, 각각 색소 생성능이, 25°C, 21°C, 25°C인 것과는 대조적인 결과를 나타내었다.

색소 생성에 미치는 배지의 초기 pH에 대한 영향을 검토한 결과, *Pseudoalteromonas* sp. Ju11-1과 *Pseudoalteromonas* sp. Ju14 균주의 경우 pH 6에서 최대의 색소 생성을 나타내었으나 *Pseudoalteromonas piscicida* TA20 균주의 경우 pH 7에서 최대의 색소 생성을 나타내었다. pH 5의 조건에서는 *Pseudoalteromonas* sp. Ju11-1과 *Pseudoalteromonas piscicida* TA20의 경우 균체의 성장과 색소 생성 급격히 감소하였다(Fig. 2). 이는 해양성 *Erythrobacter*의 경우, pH 6에서 최적 색소 생성이 이루어졌으며, 해양성 *Bacillus*인 경우 pH 7에서 최적 색소 생성능을 나타낸 것과 유사한 결과였다[5,17].

색소 생성에 NaCl 농도가 미치는 영향에 대하여 배지의 NaCl의 농도를 0%에서 7% 까지 변화를 주어 검토한 결과, 세 균주 모두에서 2%의 NaCl 농도에서 최적의 균체 성장과 색소 생성이 관찰되었으며 3% 이상의 NaCl 농도에서는 점진적으로 균체량과 색소량이 감소되었다(Fig. 3). 해양성 *Vibrio* sp.가 생산하는 적색 색소의 경우, 균체의 생산은 0% NaCl에서, 색소 생성은 1-2% NaCl 농도가 최적인 것으로 나타나 균체의 생산과 색소생성의 최적 조건이 서로 다른 것으로 보고되었으나[4] 본 실험에서 사용한 분리 균주들은 균체의 생육과 색소의 생산이 모두 2% NaCl에서 최적을 나타내었다. 해양 미생물은 육상 미생물에 비하여 높은 염 농도에서 자라는 특성이 있는데, 본 연구에서 사용한 균주는 2%의 NaCl이 첨가된 조건에서 최적 생장이 관찰되어 비교적 다른 세균에 의한 염이 적어 색소의 생산 시 유리한 조건으로 작용할 것으로

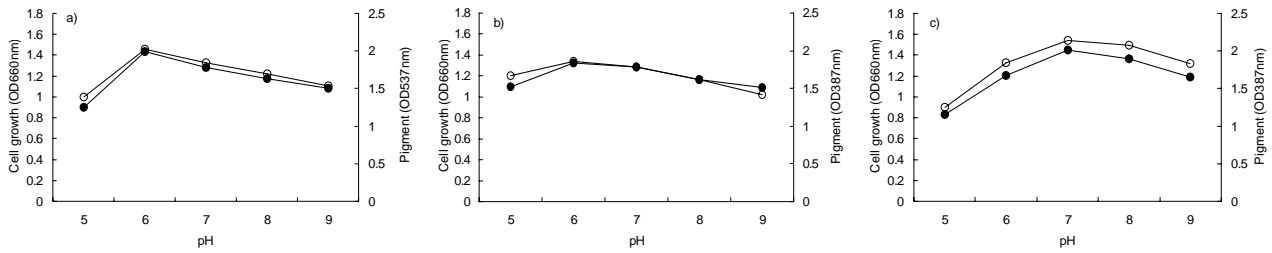


Fig. 2. Effects of pH on the cell growth and the pigment-production. a) *Pseudoalteromonas* sp. Ju11-1, b) *Pseudoalteromonas* sp. Ju14, c) *Pseudoalteromonas* sp. TA20; ○, cell growth; ●, pigment production

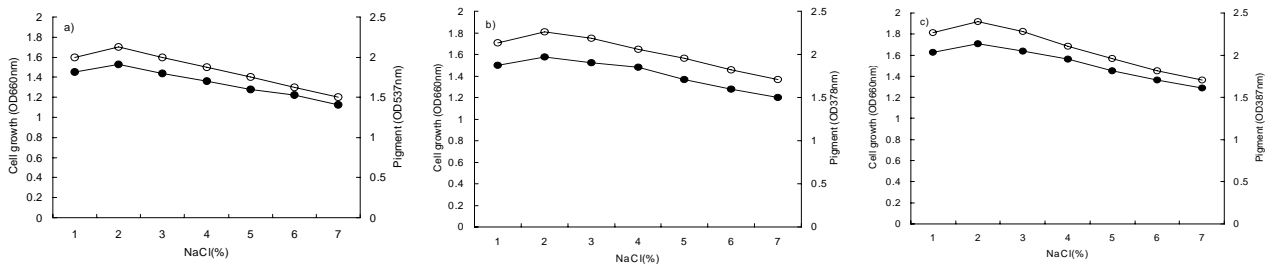


Fig. 3. Effects of NaCl concentration on the cell growth and the pigment-production. a) *Pseudoalteromonas* sp. Ju11-1, b) *Pseudoalteromonas* sp. Ju14, c) *Pseudoalteromonas* sp. TA20; ○, cell growth; ●, pigment production

사료된다.

MA 배지를 이용하여 각 균주의 최적 pH인 pH 6과 7에서, 30°C의 조건에서 배양시간에 따른 영향을 검토한 결과, 균체량은 세 균주 모두 24 시간에서 최대로 나타났으나, 색소의 최적 생성은 *Pseudoalteromonas* sp. Ju11-1과 *Pseudoalteromonas* sp. Ju14의 경우 24 시간에서, *Pseudoalteromonas piscicida* TA20의 경우 28시간에 관찰되었다. 세 균주 중 색소 생성능은 *Pseudoalteromonas piscicida* TA20 균주가 가장 우수하였다(Fig. 4). 해양성 균주들이 배양 48 시간[5,17] 혹은 24 시간에 최대 색소 생성을 나타내는 것과 유사한 결과였다.

탄소원과 질소원

탄소원이 색소 생성에 미치는 영향에 대하여 검토하기 위하여 glucose, lactose, maltose, galactose, arabinose, sucrose, mannitol, sorbitol과 glycerol을 각각 최종 농도 1%(v/v)로 배지에 첨가하여 관찰한 결과 거의 모든 탄소원에서 생육이

저해되었으나 Ju11-1 균주의 경우 lactose에서, *Pseudoalteromonas* sp. Ju14와 *Pseudoalteromonas piscicida* TA20 균주의 경우는 maltose를 첨가하였을 때 균체 성장과 색소 생성이 향상되는 것으로 나타났다. Carotenoid를 생산하는 해양세균 *Erythrobracter*의 경우 mannitol [5]이, *Vibrio*의 경우 fructose가 최적의 탄소원[4]인 것과는 다른 결과였으며, 이는 세균 종의 차이에 기인하는 대사능의 차이 때문으로 생각된다. 또한 색소의 생산은 균체 성장 곡선과 거의 비례하는 것으로 나타났다(Table 2).

질소원의 영향을 조사하기 위하여 탄소원으로 1%의 maltose가 포함된 배지에 각각 3종의 무기질소원과 5종의 유기질소원에 대하여 조사한 결과, 유기질소원을 첨가하였을 경우가 무기질소원을 첨가한 경우에 비하여 색소 생성능이 우수하였다. 색소 생성능에 미치는 질소원의 영향에 관한 많은 실험에서 무기질소원보다 유기질소원에서 색소의 생성이 좋은 것으로 나타난 결과와 일치하는 것이다[3,4,17]. 유기질소

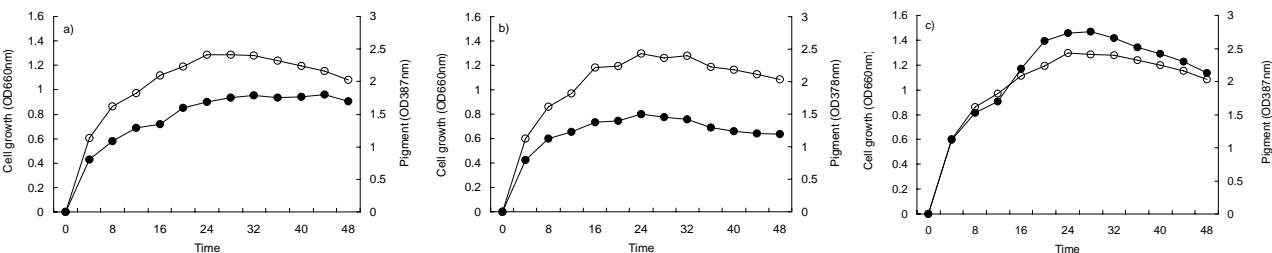


Fig. 4. Cell growth and the pigment production at 2% NaCl, pH 6-7, and 30°C. a) *Pseudoalteromonas* sp. Ju11-1 b) *Pseudoalteromonas* sp. Ju14 c) *Pseudoalteromonas* sp. TA20; ○, cell growth; ●, pigment production

Table 2. Effects of carbon source on the cell growth and the pigment production

Carbon sources	Ju11-1		Ju14		TA20	
	A	B	A	B	A	B
None	1.25	1.32	1.33	1.38	1.43	1.52
Glucose	1.25	1.43	1.32	1.42	1.55	1.62
Lactose	1.33	1.58	1.29	1.32	1.38	1.45
Maltose	1.06	1.25	1.52	1.68	1.65	1.72
Galactose	1.10	1.31	1.15	1.22	1.37	1.42
Arabinose	1.12	1.18	1.13	1.21	1.14	1.25
Sucrose	1.11	1.16	1.28	1.31	1.20	1.23
Mannitol	0.85	0.95	0.95	1.03	1.13	1.21
Sorbitol	1.12	1.16	1.30	1.35	1.49	1.52
Glycerol	1.13	1.14	1.31	1.41	1.52	1.60
Arginine	1.05	1.12	1.18	1.26	1.39	1.46

A, cell growth; B, pigment production

Table 3. Effects of nitrogen source on the cell growth and the pigment production

Nitrogen sources	Ju11-1		Ju14		TA20	
	A	B	A	B	A	B
None	1.14	1.37	0.97	1.12	1.12	1.32
Yeast extract	1.16	1.42	0.98	1.13	1.16	1.34
Malt extract	0.83	1.15	0.06	0.10	0.25	0.32
Beef extract	1.58	1.86	1.81	2.01	1.76	1.93
Tryptone	1.01	1.23	1.75	1.92	1.65	1.81
Peptone	1.22	1.36	1.16	1.32	1.54	1.72
Potassium nitrate	1.03	1.06	0.20	0.25	0.23	0.34
Ammonium nitrate	0.86	1.12	1.16	1.26	0.07	0.08
Sodium nitrate	1.17	1.25	0.08	0.10	0.15	0.23

A, cell growth; B, pigment production

원으로는 beef extract를 첨가하였을 경우 균체의 생장과 색소 생성이 가장 우수하였다(Table 3). 이 결과는 Park 등[14]의 *Monascus purpureus* P-57 곰팡이를 연구한 결과에서 질소 원으로는 beef extract를 사용한 경우에 색소의 생성이 가장 우수하다는 보고와 일치하는 결과이며, malt extract를 첨가하였을 경우 균체의 생장과 색소의 생성이 저해되는 결과를 나타냈다.

해양환경으로부터 분리한 색소 생성능이 우수한 *Pseudoalteromonas* sp. Ju11-1, *Pseudoalteromonas* sp. Ju14와 *Pseudoalteromonas piscicida* TA20의 3 균주는 동일한 *Pseudoalteromonas* 속 세균으로 각기 다른 색소를 생성하며 각 색소의 최적 생성 조건이 균주에 따라 차이를 나타내었다. 이는 carotenoid를 생성하는 비광합성 세균인 *Hymenobacter*의 경우, carotenoid의 조성에 의해 종(species)의 구분이 가능하며, 색소의 생성과 세균 종간의 유연관계가 있음을 시사한 Klassen과 Foght의 보고[8]와 유사한 결과이다.

요 약

한국의 제주도과 서해안 염전의 해수로 부터 각각 빨강(JU11-1), 노랑(JU14), 주황(TA20)의 색소를 생성하는 3 균주를 분리하였으며, 이들의 분류학적 특성 및 16S rRNA 서열 분석 결과 3 균주 모두 *Pseudoalteromonas* 속 세균으로 밝혀졌다. 이들 각각의 색소 최대 흡수파장은 각각 537, 378, 387 nm로 나타났다. 균주는 Marine broth 2216에서 잘 자랐으며, 30°C, 2% NaCl, pH 6-7 의 조건에서 Ju11-1과 Ju14는 배양 24 시간에, TA20은 배양 28 시간에 최대 색소 생성을 나타냈다. 탄소 원으로 maltose를 1% 첨가하였을 경우 색소 생성이 우수하였으며, 질소원으로는 beef extract를 1% 첨가하였을 경우 최적의 색소 생성을 나타냈다.

감사의 글

이 연구는 2005년도 한남대학교 교비 학술연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Brenner, D. J., N. R. Krieg, J. T. Staley and G. M. Garrity. 2005. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. pp. 467-478, 2nd eds., Vol. 2, Springer. USA.
- Chun, C. H. and J. S. Park. 2000. Chemosystematic and phenotypic characterization of Gram-positive bacteria from coastal seawater, Korea. *Kor. J. Microbiol.* **36**, 167-172.
- Kim, C. H., S. H. Kim and S. I. Hong. 1998. Isolation and characterization of prodigiosin-like red pigment produced by *Serratia* sp. KH-95. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.* **26**, 283-289.
- Kim, H. J., H. J. Park, S. K. Bae, J. D. Kim, I. S. Kong and J. Y. Kong. 1996. Characterization of red-pigment produced by marine bacterium *Vibrio* sp. *J. Korean Soc. Food Nutr.* **25**, 294-300.
- Kim, J. D., D. S. Kang, M. Y. Kim, S. B. Roh, M. R. Choi, S. H. Song, S. H. Baek, H. J. Seo, D. H. Kim and J. Y. Kong. 2001. Production of carotenoid from halophilic *Erythrobacter* sp. and characterization of physiological properties. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **30**, 143-151.
- Kim, T. S., M. J. Jung, B. H. Ryu, W. H. Joo, J. W. Park and Y. K. Jeong. 1999. Optimal growth conditions for carotenoid pigment production from marine microorganism. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **28**, 1239-1243.
- Kim, Y. H. and S. S. Lee. 1994. A Study of greenish pigments from *Rhodospseudomonas viridis* by acetone extraction: Characteristics of potential food colorant. *Korean J. Food Sci. Technol.* **26**, 93-97.
- Klassen, J. L. and J. M. Foght. 2008. Differences in carotenoid composition among *Hymenobacter* and related strains support a tree-like model of carotenoid evolution.

- Appl. Environ. Microbiol.* **74**, 2016-2022.
9. Lagarde, D., L. Beuf and W. Vermaas. 2000. Increased production of zaxanthin and other pigments by application of genetic engineering techniques to *Synechocystis* sp. strain PCC 6803. *Appl. Environ. Microbiol.* **66**, 64-72.
  10. Lauro, G. J. 1991. A primer in natural colors. *Cereal Foods World.* **36**, 949-953.
  11. Lim, Y. W., S. A. Lee, Y. K. Park, S. B. Kim and J. S. Park. 2005. Diversity of denitrifying bacteria isolated from Daejeon sewage treatment plant. *J. Microbiol.* **43**, 383-390.
  12. Miura, Y., K. Kondo, T. Saito, H. Shimada, P. D. Fraser and N. Misawa. 1998. Production of carotenoids lycopene,  $\beta$ -carotene, and astaxanthin in the food yeast *Candida utilis*. *Appl. Environ. Microbiol.* **64**, 1226-1229.
  13. Mortensen, A. 2006. Carotenoids and other pigments as natural colorants. *Pure Appl. Chem.* **78**, 1477-1491.
  14. Park, C. D., H. J. Jung and T. S. Yu. 2005. Optimization of pigment production of *Monascus purpureus* P-57 in liquid culture. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* **20**, 66-70.
  15. Rao, A. V. and L. G. Rao. 2007. Carotenoids and human health. *Pharmacol. Res.* **55**, 207-216.
  16. Riboh, M. 1977. Natural colors. *Food Eng.* **49**, 66-72.
  17. Ryu, B. H. and M. J. Kim. 2000. Production of red pigment from marine bacterium utilizing colloidal chitin. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* **28**, 264-269.
  18. Ventosa, A., M. C. Marquez, F. Ruiz-Berraquero and M. Kocur. 1990. *Salinicoccus riseus* gen. nov., sp. nov., a New moderately halophilic Gram-Positive coccus. *System. Appl. Microbiol.* **13**, 29-33.
  19. Yeon, S. H., W. J. Jeong and J. S. Park. 2005. The diversity of culturable organotrophic bacteria from local solar salterns. *J. Microbiol.* **43**, 1-10.
  20. Yongsmith, B., S. Krairak and R. Bavavoda. 1994. Production of yellow pigments in submerged culture of a mutant of *Monascus* sp. *J. Ferment. Bioeng.* **78**, 223-228.