

## 특집

## 미생물이 생산하는 식용색소

## — 홍국 색소를 중심으로 —

김수연 · 김정구

서울대학교 농화학과

## 1. 홍국균의 균학적 성질

홍국균은 眞菌類(Eumycetes) 門-子囊菌類(Ascomycetes) 綱-Plectascales 目-Aspergillaceae 科에 속하는 하나의 屬으로, 20餘種이 분리 동정되었다. *Monascus* 속은 식품미생물로서 중요한 *Aspergillus*속 및 *Penicillium*속과 같은 과(科)에 속한다. 1884년 van Tieghem에 의하여 처음으로 *Monascus*라는 명칭으로 명명되었고, 1895년 Went가 처음으로 홍국에서 곰팡이를 분리하여 *Monascus purpureus*라 명명하였다. 中國産의 原料인 紅糟(紅糟; Ang-cho), 우리나라의 곡자(糲子), 臺灣産 紅酒(紅酒; Ang-chu)의 原料인 紅糲(紅糲; Ang-khak) 등에서는 *Monascus purpures* 및 *anka*가 많이 발견되며, 모로코 지방의 Samzu酒의 原料 米麴(米麴)에서는 *M. barkeri*가 분리되었다. *Monascus* 속의 20여종 중에서 *M. purpureus*, *M. anka*, *M. barkeri* 등 세 종이 특히 菌사 중에 색소를 생성하여 菌락이 선홍 내지 검붉은 색을 띤다.

이 균의 중요한 균학적 특징은 자웅동체라는 점이다. 따라서 유성생식을 통하여 子囊孢子를 만들

거나 무성생식을 통하여 分生孢子(芽孢子, conidia)를 만들 수 있으며, 유성생식을 통하여 형질이 분리되는 현상을 관찰할 수 있다. 유성생식을 통하여 分生포자를 형성하며 자낭안에 8개의 자낭포자를 만든다. 대부분의 생활사는  $n$ 세대의 菌사 $\rightarrow n$ 세대의 포자(분생포자)의 반복으로 되어 있으나 菌락의 생장이 오래되면  $2n$  세대의 포자(자낭포자)를 형성하여 잠시  $2n$  세대를 거친다.

## 2. 홍국 색소 이용의 전통과 현황

## 2.1 전통적인 천연 착색료

19세기 중반이래로 각종 합성 색소가 식품에도 이용되어 왔다. 합성 색소들은 색조가 안정하고 가격이 저렴하며 공업적 이용이 편리하여 한 때 20여종의 합성 색소들이 세계적으로 사용되었으나 안전성의 문제로 점차 그 사용이 금지되고 있는 추세이다. 우리나라의 경우 극히 일부만이 허가되어 있고, 더구나 쇠고기, 김치, 된장 등 15종의 식품에 대하여는 tar계 색소의 사용이 전면 금지 되어 있다. 따라서 안전성이 높은 전통적인 천연 착색료에

대한 관심과 수요가 높아졌다.

우리나라에서는 주로 식물체에서 식품 및 섬유의 착색 염료를 얻어 온 오랜 전통이 있다. 대표적인 것으로는 지치(또는 자초; *Lithospermium erythrorhizon*), 치자(*Gardenia jasminoides* Ellis), 쪽(*Persicaria tinctoria*)으로부터 청색소, 잇(*Carthamus tinctorius*), 꼭두서니(*Rubia akane* Nakai), 차조기(*Perilla frutescens* var. *acuta*) 등이다. 한편 미생물 유래색소는 널리 사용한 바가 없으며, 홍국색소가 부분적으로 이용되었다.

## 2.2 홍국 색소 이용의 전통

우리나라에서 기록으로 남아있는 홍국 색소 이용은 평양지방의 특산물이었던 감홍주(甘紅酒)라는 소주의 착색료로 쓰였던 것이다. 홍국 색소는 대만을 비롯한 동남아시아에서 전통적으로 홍주, 홍두부 등의 제조에 이용되었고, 모로코 지방의 Samzu酒 원료로도 이용되어 왔다. 홍국은 색소로서 뿐 아니라 소화불량, 타박상, 이질 등의 치료에도 응용되어 왔다.

## 2.3 홍국 색소 이용의 현황

현재는 일본, 중국, 대만 등 동남아 국가들 및 우리나라에서도 사용이 허가되어 수산연제품(水産練製品), 햄, 소시지, 연어알젓, 잼, 토마토 케첩, 사탕, 빙과류, 유아공품 등에 널리 사용되고 있다. 일본의 식용색소 시장규모는 1990년초 연간 약 270억엔이며 그 중 포함한 천연색소는 약 240억엔에 달한다. 즉, 전체 식용 색소 중 천연색소의 비중이 약 88%에 달한다. 이 중 홍국색소의 비중은 연간 약 600톤, 금액으로는 약 15억엔에 이른다. 국내의 최근 식용색소 시장규모는 약 100억원으로, 그 중 천연색소의 비중은 10% 이내인 것으로 추정된다. 그러나 최근 천연색소의 수요가 증가하는 추세이다. 우리나라에서는 홍국색소를 수입에 의존하고 있으며 수산연식품 착색에 주로 이용한다. 앞으로 식물 유래의 각종 천연 색소, 효모류가 생산하는 asthaxanthin류와 더불어 천연 식품 착

색제로서 홍국색소의 이용이 점증하리라 기대된다. 현재 미국과 프랑스 등지에서도 활발히 연구되어 많은 특허가 있다.

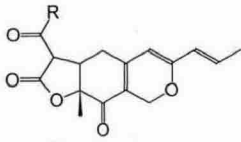
## 3. 홍국 색소의 화학

1932년 西川에 의해 처음 분리 동정된 이래로 1950년대 말 Haws등의 연구로부터 1960년대 Fielding등, Kumasaki등, Inouye등 여러 연구자들의 고전적 및 분광학적 방법을 이용한 연구 결과에 의하여 일부 주요한 홍국 색소의 구조가 밝혀져 있다. 이들 색소는  $\alpha$ -pyrone을 기본으로 한 고리 구조와 이에 부착한 중간크기  $\beta$ -oxo 지방산사슬로 이루어져 있는데, 지방산 사슬은  $C_8$ 와  $C_{10}$ 이 주를 이룬다. 黄色素 monascin( $C_8$ ) 및 ankaflavin( $C_{10}$ ), 赤色素 rubropunctatin( $C_8$ ) 및 monascorubrin( $C_{10}$ ), 그리고 紫色素 rubropunctamine( $C_8$ ) 및 monascorubramine( $C_{10}$ )의 구조는 다음과 같다.

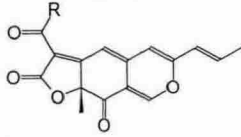
이들은 수용성이 매우 낮으나 alcohol 등의 유기용매에는 잘 녹는다. 한편 적색소들은 비효소적 화학반응에 의하여 암모니아와 반응하여 자색소로 변환된다. 같은 반응메카니즘으로 아민과도 반응할 수 있다. 그러므로 이 적색소는 유리 아미노기가 존재하는 단백질이나 펩타이드와 반응하여 수용성 자색소로 변환될 수 있다. 일단 단백질에 화학적 반응으로 결합한 색소는 용출되지 않으므로 뛰어난 염착성을 가진다.

이를 이용하여 새로운 자색소 유도체를 발효를 통하여 얻을 수 있다. 즉 Blanc등과 Lin 등은 1990년대 초에 배지에 글루타민 산을 질소원으로 첨가한 화학배지에서 생성되는 새로운 수용성색소의 구조를 확인하였는데 이는 글루타민 산이 아미노기를 통하여 pyronoid 산소를 치환하여 색소와 연결된 구조를 가지고 있다.

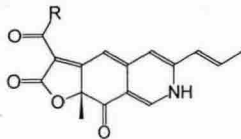
그리고 이외에도 순수분리와 구조결정은 아직 이루어지지 않았으나 적어도 6종 이상의 색소들이 더 존재한다. 이들 중 동일한 골격구조를 가진 Yellow II가 알려졌고, 최근 4,9-dihydromona-



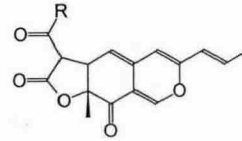
R = C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>, Monascin  
R = C<sub>7</sub>H<sub>15</sub>, Ankaflavin



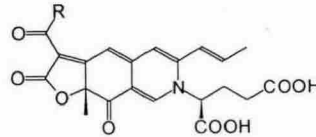
R = C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>, Rubropunctatin  
R = C<sub>7</sub>H<sub>15</sub>, Monascorubrin



R = C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>, Rubropunctamine  
R = C<sub>7</sub>H<sub>15</sub>, Monascorubramine



R = C<sub>5</sub>H<sub>11</sub>, 4,9-dehydromonascin  
R = C<sub>7</sub>H<sub>15</sub>, 4,9-dehydroankaflavin



Glutamic acid derivatives

scin과 4,9-dihydroankaflavin을 분리하였다. 이 밖에도  $\gamma$ -pyrone 대신 latone 구조를 가진 xanthomonascin등이 최근 발견되었다.

홍국 색소는 광화학 반응을 잘 일으켜 오랜 시간 빛에 노출되면 퇴색하는 것이 결점이다. 그러나, 빛이 없는 조건에서는 생물학적 안전성이 높고 색조가 아름다운 것이 큰 장점이다. 또한 다른 천연 색소와는 달리 화학적으로 비교적 안정하여, pH 변화에 대하여 색조가 안정하며 내열성이 비교적 우수하다. 산화제인 과산화수소나 아황산나트륨에도 거의 영향을 받지 않고 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> 등의 금속이온에 거의 영향을 받지 않는다.

#### 4. 홍국 색소의 생산과 이용 방법

현재 홍국 색소의 생산은 고체 배양 및 액체 배양에 의하여 균체 추출액, 단백질 결합체 및 균체 분말 등의 형태로 널리 시판되고 있다. 이 균은 전분, 포도당, 과당, 맥아당을 발효하여 소량의 주정을 생산하며 또한 succinic, gluconic 및 lactic acid를 만든다. M. anka는 pectinase 활성이 강하여 과즙의 청징제(澄清劑) 제조에 이용한다. 고체 배양을 이용한 생산은 주로 자색색소를 생산하므로 수용성에 큰 문제가 없다. 그러나 액체 배양에서는

무기질소원을 사용할 경우 적색소가 주를 이루므로 상업적으로 이용하기 위하여 아미노알코올이나 아미노포리삭카라이드와 반응하게할 필요가 있다.

#### 4.1 고체 배양

전통적인 홍국 색소 생산 방법은 수세하고 불려서 쪄 후 살균한 쌀에 배양한 다음 건조하는 방법이다. 이 때 잡균의 오염을 방지하고 아밀라제 활성을 낮추어 색소 생산에 적합한 조건은 초기 습도 25~30%이나 기질인 쌀의 수분은 약 50%를 유지하여야 한다. 또 한 가지 산소공급이 매우 중요한데, 산소와 이산화탄소의 분압을 각각 0.5 및 0.02 기압으로 할 때가 최적이었다. 색소생산은 성장보다도 더욱 통기의 영향을 받으므로 쌀알이 달라붙지 않게 유지할 필요가 있다. 일반적으로 고체배양은 색소생산이 액체배양보다 더욱 우수하나 그 원인은 정설이 아직 없다. 유력한 가설은 균사가 쌀알의 미세 공극으로 침투하여 자라는 것이 색소형성에 긍정적 영향을 미치는 것이 아닌가 생각하고 있다.

제국(製麴)은 Aspergillus 속과 비교하여 amy-lase 및 protease 활성이 약하여 전분 주체의 고체 배지에서의 생육이 느려 1주일 이상이 소요되며 개방식의 배양에서는 잡균의 번식이 쉽다.

## 4.2 액침 배양

일반적으로 액침 배양에서 색소의 생산성은 질소원의 종류와 같은 배지 조성에 주로 영향 받는다. 탄소원의 영향은 균주에 따라 차이가 많은 것으로 알려져 있다. 포도당, 전분, 맥아당, 과당 등이 탄소원으로 쓰이고 있으나 포도당이 가장 널리 이용된다. *M. purpureus*의 경우 포도당 농도가 20g/L 일 때 색소 생산에 가장 적합하였으며 50g/L 일 때는 균체 생산이나 색소 생산이 저하되면서 에탄올 발효가 많이 일어난다. 그러나 균주내 질소원 등 배양 조건에 따라 포도당 이외의 탄소원이 더욱 유용하다는 보고도 있다. 일부 균주에서 에탄올을 첨가할 경우 색소 생산이 증가한다. 이는 당보다는 에탄올을 이용할 경우 세포 중에 acetyl CoA가 풍부해지기 때문으로 생각된다. 지방산은 메틸케톤으로 변환되기는 하나 단일 탄소원으로 이용될 수는 없다.

질소원으로서의 yeast extract가 유성세대로의 성장을 막아 균체중을 증가시키며 분생포자의 생성과 색소 생산을 촉진한다. 그러나 분생포자가 너무 많은 수로 생겨 색소 생산은 높지 않다. 질산나트륨은 포자생성을 촉진하면서 균체 성장을 제한하여 색소 생산에는 중간적인 영향을 보이며 염화암모늄은 포자 생성을 막고 유성 세대로의 이행을 촉진하면서 색소 생산을 가장 촉진한다고 한다. 균체 성장과 색소 생산에 가장 유리한 질소원은 염화암모늄과 peptone이다. 염화암모니움 처리는 분생포자 생성이나 유성생식을 모두 저해하며 색소 생산이 우수하나, 배양 중 급격히 pH가 낮아 지므로 자색소생성이 불리하다.

개개의 아미노산을 첨가하였을 때는 균체 성장이나 색소 생성에 영향이 없었다는 보고와 아울러 라이신을 제외한 19개의 단백질 구성 아미노산이 균체 성장에는 도움이 되었다는 보고가 있다. 단백질 구성 아미노산이 아닌 methanproline과 azetidincarboxylic acid는 색소 생성을 촉진하며 류신, 발린, 라이신, 메티오닌은 수용성의 적색소 생성을

강하게 저해한다. 한편 질소원으로 그루타민산을 이용한 화학배지에서 새로운 구조를 가진 자색소가 생성됨은 이미 언급하였다. 펩틴은 질산나트륨과 비교하여 높은 색소 형성을 유도한다. 이 경우 낮은 pH에도 불구하고 monascorubramine이 주 색소이었다.

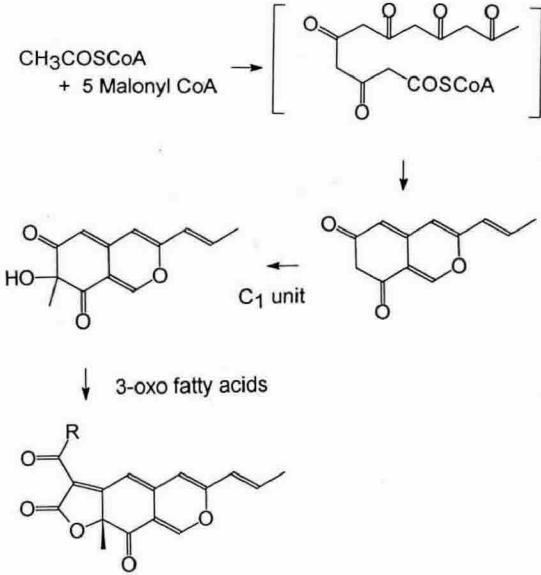
그 밖에 미량원소로서 색소 생성을 촉진하는 유일한 원소는 아연이다. 이는 아연이 탄소원 흡수와 이용에 도움을 주기 때문이라고 생각하고 있다.

적정 배양 온도는 균주에 따라 25 내지 37°C이며 문헌상에는 30°C가 가장 많이 인용된다. 홍국균은 충분한 통기 조건을 요구하므로 액침배양시는 반드시 진탕이 필요하다. 다양한 파장의 빛으로 실험한 결과 색소 생성과 가시광선 조사와는 관계가 없었다. 배양 중 pH는 주로 질소원 종류에 따라 변화하며 탄소원도 영향을 미친다. 따라서 질소원과 탄소원에 따라서 적절한 최적 pH를 선정하여야 한다.

## 5. 홍국 색소의 생합성

홍국 색소의 고리구조 부분은 acetyl CoA와 몇 개의 malonyl CoA 단위로부터 polyketide 경로에 의하여 생합성되는 것이 1950년대의 연구로 밝혀져 있다(Scheme 1). 아마도 공통의 색소 전구체가 생합성되고 이로부터 각 색소 분자가 생합성되는 것으로 추측된다. 그러나 지방산 결사슬의 직접적 유래는 밝혀지지 않고 있는데, 따로 생합성되어 나중에 polyketide 고리에 부착되는 것으로 생각할 수 있겠다. 이를 뒷받침하기 위하여 지방산 결사슬이 없는 polyketide 고리만으로 이루어진 물질을 분리하여야 하나 아직 직접적인 보고는 없다. 그러나 구조적인 친연성을 가진 citrinin과 ankalactone이 발견되었다는 것은 이러한 가능성을 시사한다. 자색소는 적색소에서 비효소적 반응을 통하여 얻을 수 있다는 점을 앞서 지적하였다. 황색소와 적색소 상호간의 생합성에 있어서의 관계에 대하여는 엇갈리는 가설들이 존재하나 어느 것도

아직 확실히 증명되지는 않았다. 그러나 4,9-dehydro-황색소의 존재는 생합성에 대하여 시사하는 바가 크다.



Scheme 1. Proposed biosynthesis of *Monascus* pigments.

### 6. 홍국균 균주의 개발

자외선 조사, 중성자 또는 X선 조사, MNNG 처리 또는 이들의 조합으로써 균체 성장이 증가되거나 색소 생산이 증가하거나 자낭포자를 형성하지 않거나, 또는 색소를 생산하지 않는 돌연변이주를 개발할 수 있다. 실제로 색소 생성 능력이 뛰어난 균주를 개발한 국내외의 여러 보고가 있으며, 모균주에 비하여 적색소의 생산은 많이 줄어 들고 황색소의 생산은 크게 증가한 돌연변이주를 얻은 예도 있다.

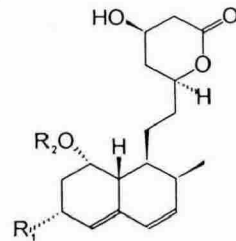
### 7. 홍국 색소의 생리 활성

本草綱目에는 홍주가 혈행을 좋게 하고 소화를

돕는 등 여러 가지의 효능이 있다고 기술되어 있다. 최근 일본에서는 홍국 색소의 단백질 친화성, 콜레스테롤 저해 활성 등의 생리활성을 이용한 다양한 기능성 식품의 개발이 진행되고 있다.

#### 7.1 콜레스테롤 생합성 저해 활성

홍국균 *M. ruber*에서 HMGCoA reductase (HMGR)를 저해하여 콜레스테롤 합성을 저해하는 monacholin K의 존재가 알려졌다. Monacholin 류도 생합성으로는 polyketide에 속하며 조사한 120여 *Monascus* 종중에서 *M. ruber*와 *M. purpureus*를 포함하는 약 15%가 생합성활성을 가진다고 알려져 있다. 1987년 미국을 시초로 각국에서 monacholin K 및 그 유도체가 약품으로 상품화 되어 100만 명 이상의 환자가 치료를 받고 있다.



Mevinolin(monacholin K)

R<sub>1</sub>=Me, R<sub>2</sub>=2-methylbutanoyl

Monacholin류는 monakolin, mevinolin 또는 lovastatin이라는 이름으로도 불리고 있으며, 그 유도체로서 compactin류, pravastatin, simvastatin 등이 알려져 있다. Monacholin K는 간 세포를 비롯한 포유 동물 세포 뿐 아니라 균류나 식물에서도 HMGR을 저해한다. Monacholin K는 dolichol, ubiquinone, isoprenyl-tRNA 등의 생합성을 저해하여 in vivo에서 종양 성장을 억제한다.

## 7.2 항균 활성

*Monascorubrin*이나 *rubropunctatin*은 *Bacillus* 속, *Streptococcus* 속, *Pseudomonas* 속, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* '등의 일부 세균, 효모, 사상균에 대한 항균활성이 보고된 바 있다.

## 7.3 기타 생리 활성

Martinkova 등에 따르면 적색소 분획에서 항균 활성, 면역억제작용, 催奇性, 胚毒性 등의 활성이 나타났다고 한다.

## 8. 홍국 색소의 독성과 안전성

수백년 이상 식품으로 이용하면서 별다른 안전상의 문제가 지적된 바 없으며, 여러 연구의 결과를 종합하여 볼 때, 인체나 포유 동물에 대하여 사실상 독성이 없다고 할 수 있다. 김 등에 의하면 mouse에 대한 LD<sub>50</sub>치는 체중 20g 당 0.25g 이상으로 사실상 독성이 없으며, Suzuki는 급성, 아급성독성, 변이원성 등에서 독성이 인정되지 않았다고 하였다. 황색소만을 분리하여 실험한 결과에 의하면 발열 한도량은 kg당 5mg, histamine 물질 시험은 혈압강하 물질 표준품과 비교하여 kg당 10mg까지 안정하였다.

그러나, 닭의 胚를 이용한 실험 결과, 쌀가루와 같은 복합 질소원 배지에서 얻어진 홍국 색소는 催奇性(teratogenicity) 및 胚毒性(embryotoxicity)을 보이지 않았으나 염화암모늄과 같은 무기 질소원 배지에서 얻어진 것은 최기성과 배독성을 나타냈다. 즉, 전통적인 배양 조건이 아닌, 무기 질소를 질소원으로 배양한 경우에는 유리형의 색소가 독성을 나타낸다는 것이며, 이를 단백질이나 아미노산에 결합시켜 독성을 없앨 수 있다는 것이다.

최근 Blanc 등은 홍국 색소가 생성하는 항생물질로서 粗色素에 흔히 함유되는 monascidin A가 citrinin임을 증명하였다. 이는 색소가 신장독성과 催奇性を 가진 것으로 알려진 독성 물질인 citrinin

에 오염될 가능성을 시사하는 것이다. 따라서 citrinin을 생성하지 않는 균주를 개발할 필요가 있다.

## 9. 홍국 색소 연구 동향과 향후 연구 과제

### 9.1 전통적인 색소 생산성 향상 연구

국내외의 여러 연구자들이 색소 생성 능력이 뛰어난 돌연변이주 개발을 위하여 자외선 돌연변이 실험 등을 수행하여 상당한 성과를 올린 바 있으며 발효 조건의 최적화 시도도 꾸준히 행하여지고 있다. 전통적인 방법에 의하여 색소 생산성을 높이는 연구도 좀 더 이루어져야 하겠으나 이제 이 방법은 거의 한계에 도달한 것이 아닌가 생각한다.

### 9.2 독성과 생리 활성에 대한 연구

독성 물질인 citrinin 문제에 대하여 국내외의 여러 연구자들이 citrinin을 생성하지 않는 균주를 개발하는 연구를 진행 중이며, 기존 및 자연에서 분리되는 새로운 홍국균 균주들의 여러 가지 생리활성을 검정하는 연구들이 진행 중이다.

### 9.3 색소 생합성 연구

홍국색소 생합성의 중간대사물로 추측되는 물질들에 대한 연구 보고도 있었으나 aflatoxin의 생합성 연구에서와 같은, 생합성의 중간단계가 차단된 여러 가지 다양한 돌연변이주들을 이용한 체계적인 대사연구나 중간 대사산물의 동정은 아직 보고되지 않았다. 그리고 최근 미생물 뿐 아니라 고등 동식물에게까지 적용되고 있는 유전자 조작 기술을 적용하는 연구도 아직 보고 되지 않았다. 향후에는 이러한 생화학 및 분자생물학적인 기초 연구가 많이 이루어져 그 결과를 토대로 한 색소 생성 효율화를 추구할 필요가 있다.

### 9.4 지금까지의 홍국균에 대한 분자생물학적 연구

최근까지 홍국균에서는 cytochrome P450과 GDPH 단 2가지 유전자의 염기 서열이 보고되어 있으며 이들은 색소 생합성과 관련이 있는 유전자가 아니다. 앞으로 홍국균에서 색소 생합성에 관련된 유전자를 클론화하고, 그 발현조절 기작을 밝혀 색소 생산성을 높여야 할 것이다.

최근 필자의 연구실에서는 홍국균 *M. anka* (KCCM11847)로부터 glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase 유전자(gpd)를 클론화하여 균류에서 가장 강력한 것으로 알려진 gpd promoter를 이용할 수 있게 되었으며, 전기충격법에 의하여 홍국균 *M. purpureus* DSM1379 에 *E. coli*에서 유래한 hygromycin B 저항성 유전자를 도입하여 형질전환하는 데 성공하였다. 향후에는 이 형질전환 시스템으로써 홍국균에 외래 유전자를 도입하여 발현시킬 수 있게 되었다. 그러므로 이 연구를 토대로 앞으로 색소 생합성 유전자인 polyketide synthase (PKS)를 찾고 발현 조절 기작연구가 가능하게 되었다.

향후에 홍국균에 대해 연구할 수 있는 분자생물학적 연구 과제는 다음과 같다.

- (1) 이미 알려진 polyketide 유전자를 probe로써 홍국균에서 polyketide 유전자를 클론화할 수 있을 것이다.
- (2) 홍국균에 외래 유전자를 도입하는 실험을 통하여 소위 gene targeting에 성공한다면 색소 생합성 관련 유전자를 클론화 할 수 있을 것이다.
- (3) 색소 생합성 유전자를 클론화 하면 이를 효모나 *Aspergillus*와 같이 성장이 빠른 균주에 도입하여 색소 생산성을 크게 높일 수 있을 것이다.
- (4) 색소 생합성 유전자를 클론화하고 분석한 후 변형하여 재도입하거나 다른 polyketide 생합성 유전자와 조합하여 도입하면 새로운 색소

(소위 hybrid polyketide)를 생산할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

김우정 : 천연 향신료와 식용 색소(1987)  
 김정구, 김수연 : *Monascus anka*의 균주 선발 및 색소 생성 조건, 한국농화학회지 33(3) : 239-246(1990)  
 김현수 등 : *Monascus* sp. CS-2가 생산하는 황색색소에 관한 연구, 한국산업미생물학회지, 8 : 117-121, 1981  
 김호식 : 발효미생물학, 4판, 향문사(1979)  
 廣井忠夫 : 紅麴菌の食品加工への利用, New Food Industry, 30(4) (1988)  
 西川英次郎 : 絲狀菌の生化學(其の一)-紅麴菌(*Monascus purpureus* Went) 色素(第一報), 日本農藝化學會誌 8, 1007-1015(1932)  
 鈴木秀昭 : 바이오利用による天然着色料, 食品と科學, 5:94-97 (1986)  
 鈴木秀昭 : 加工へのモナスカスの食品利用について, New Food Industry, 30(4) (1988)  
 遠藤章 : 紅麴と紅麴菌をめぐる歴史と最近の動向, 醱酵と工業 43(6):544-552(1985)  
 著者 未詳 : 마케팅 리서치, 月刊푸드ケミカル 11(1992)  
 Fielding, B. C. et al. : The chemistry of fungi. Part XXXIX. The structure of Monascin., J. Chem. Soc. 4579-4589(1961)  
 Haws, E. J. et al. : The chemistry of fungi. Part XXXVII. The structure of rubropunctatin., J. Chem. Soc., 3598-3610(1959)  
 Hong, Y.-J., et al. : Effects of feeding intermediate and starter units on *Monascus* pigments production, Agr. Chem. Biotechnol., 38(1):31-36(1995)  
 Inouye, Y. et al. : Structure of monascoflavin, Tetrahedron 18:1195-1203 (1962)

- Juzlova, P. et al. : Secondary metabolites of the fungus *Monascus* : a review, *J. Ind. Microbiol.*, 16:163–170(1996)
- Kim, J., Choi, Y. D. and S.-U. Kim : “Cloning and analysis of glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase gene from *Monascus anka* IFO4478, Poster Presentation, Conference of the Korean Society for Applied Microbiology, 28 Oct 1995, Yong-In, Korea
- Kim, J., Choi, Y. D. and S.-U. Kim : “Development of a genetic transformation system for *Monascus purpureus* DSM1379”, Poster Presentation, Conference of the Korean Society of Agricultural Chemistry and Biotechnology, 31 May 1997, Taejeon, Korea, (1997)
- Kumasaki, S. et al. : Structure of Monascorubrin, *Tetrahedron* 18:1171–1184,(1962)
- Kurono, M. : Biosynthesis of monascorubrin and monascoflavin, *Chem. Pharm. Bull.* 11: 359–363(1963)
- Martinkova, L. et al. : Biological activity of polyketide pigments produced by the fungus *Monascus*, *J. Appl. Bacteriol.* 79:609–616 (1995)
- Stoessl, A. : Quinone methides and  $\gamma$ -pyrone methides, *CRC handbook of microbiology*, 2nd ed. vol. V pp.683–693(1984)
-