

선인장 열매로부터 추출된 점질물 및 색소의 기능성

이삼빈[†] · 황 기 · 하영득

계명대학교 식품가공학과

Functional Properties of Mucilage and Pigment Extracted from *Opuntia ficus-indica*

Sam-Pin Lee[†], Key Whang and Young-Duck Ha

Dept. of Food Science and Technology, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

Abstract

Functional properties of mucilage and pigment extracted from *Opuntia ficus-indica* var. *saboten* were determined at various temperatures, pHs and alcohol concentrations. The crude mucilage extracted from prickly pear showed pH 4.2, 0.14% total acidity and 8.1% total soluble solid content(w/w, wet basis). Polysaccharide was purified from mucilage extract by isopropanol precipitation. Intrinsic viscosity of polysaccharide was 18.1dl/g and decreased with increasing KCl concentration. Relative viscosity and color stability of mucilage extract were determined with capillary viscometer and spectrophotometer at 534nm, respectively. In additions of 1~20%(v/v) ethanol, the red pigment of mucilage extract was very stable, but relative viscosity, increased gradually. For heating above 70°C, the stability of red pigment decreased drastically, but rheological property of mucilage was not changed. During storage, the red pigment was extremely unstable at above pH 8.3. At both pH 3.0 and pH 4.2, the red pigment was the most stable at 4°C for 18 days. In the case of storage at 37°C, pigment of mucilage extract at pH 3.0 was destroyed more quickly than that at pH 4.2. Natural mucilage extract(pH 4.2) showed the good stability of red pigment at 30°C for 10 days.

Key words: prickly pear, mucilage, pigment, color stability

서 론

선인장은 건조한 기후에 적응력이 뛰어난 식물로 오랫동안 탄수화물과 비타민의 공급원으로 이용되어 왔으며, 식수난과 식량난을 겪고 있는 사막 여러 국가에서는 식품으로서의 가치를 인정받고 있어 재배가 권장되고 있다. *Opuntia*속의 선인장에는 다양한 종이 있고, 대부분이 야생에서 자라지만 멕시코, 칠레, 아르헨티나, 미국에서만 상업적인 재배를 하고 있다(1). 특히, 제주도의 서쪽 해변의 월령 마을과 마라도의 남쪽 해변 절벽에 많이 자라고 있는 선인장(*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*)은 중심자목 선인장과에 속하는 다년생 초본으로 열매는 서양배모양이며 많은 종자가 들어 있고, 다량의 점질물을 함유하고 있다(2,3).

선인장 열매(prickly pear) pulp는 14.5%의 고형분 함량을 가지고 있으며, 0.21%의 단백질(N×6.25), 0.12

%의 지방, 0.02%의 조섬유, 0.44%의 회분, 0.19%의 pectin 이외에 미량의 비타민 A와 C 그리고 여러 종류의 무기질들을 포함하고 있다(1). 주요 당류로서 sucrose, fructose와 glucose가 각각 68.7%, 18.0%와 12.8%를 차지하고 있으며, 점질다당류의 구성분인 mannose는 0.5%를 차지하고 있다(4). 또한 선인장 열매로부터 분리된 pectin성분은 콜레스테롤의 수치를 낮추는 효과가 있다고 보고(5)된 바가 있다. 선인장 열매의 적색 색소는 betalains로 알려져 있으며, betalains는 주로 적색 beet와 prickly pear의 꽃, 열매, 잎에 있는 세포의 액포에 존재하며, 천연 적색 색소인 betalains는 적색의 betacyanins와 황색의 betaxanthins로 분류된다(6). 적색 beet에 함유된 betacyanins의 75~95%를 차지하는 betanin의 적색은 pH 3.0과 pH 7.0 사이에서 유지되며, 최대흡수파장은 537~538nm이다. pH 3이하에서는 보라색을 띠고, 최대흡수파장이 단파장영역으로 이동한

[†]To whom all correspondence should be addressed

다. 가공공정이나 저장시에 온도가 상승할수록 색소의 퇴색이 빨라지며, 이것은 색과 최대흡수파장의 변화를 가져온다. 이밖에도 색소의 안정성은 빛, 산소, 수분활성도 및 효소 등에 의해서도 영향을 받는 것으로 보고되어 있다(6).

멕시코, 일본 및 남아프리카에서는 선인장을 이용한 잼, 젤리 및 주스와 같은 가공식품 개발이 활발히 이루어지고 있으며(7,8), 최근에는 선인장 열매즙을 이용한 *Monascus purpureus*에 의한 색소 생산의 보고가 있었다(9). 우리나라에서는 한국식품개발연구원에서 백년초 열매를 이용하여 다양한 가공식품의 제조 및 백년초의 약리효과를 규명하기 위한 연구가 진행 중에 있다. 민간 요법에서 전래되어 온 선인장 열매의 약리효과(10)와 우리나라 남부 지방의 기후조건의 적합성 및 재배가 용이함을 고려해 볼 때 그 재배량이 증가될 것으로 보인다. 특히 단위 생산량의 판매가격이 밀감보다 월등히 높아 수익성이 높은 제주도 특산물로서 선인장 열매를 이용한 가공식품의 개발이 확대될 것으로 전망된다. 따라서 제주도산 선인장 열매의 식품으로서의 다양한 활용을 위한 기초 연구는 매우 중요하다고 생각한다. 본 연구의 내용은 선인장 열매가 함유하고 있는 점질물에 대한 물리적 성질과 선인장 열매의 가공 공정에서 적용될 수 있는 온도, pH 및 에탄올 농도에 따른 색소와 점질물의 안정성 및 색소의 저장성에 대해 조사하였다.

재료 및 방법

재료

선인장 열매(*Opuntia ficus-indica* var. *saboten*)는 제주도 농원에서 구입한 후 개별 포장하여 -18°C 에서 냉동 보관하면서 사용하였다. 선인장 열매(75g)를 8등분하여 증류수 440ml에 혼합한 후 15시간 동안 20°C 에서 진탕 추출하였다. 추출된 적색의 점질물액을 7,000 rpm에서 25분 동안 원심분리(Supar 21K, Hanil, Korea)하여 색소와 다당류를 포함하는 상등액을 점질물 추출액으로 사용하였다(Fig. 1).

점질물 추출액의 pH, total acidity 및 가용성 고형분 함량

점질물 추출액의 pH는 pH-meter(Digital pH-meter 110, Wheaton)를 이용하여 측정하였으며, total acidity는 추출액 10ml를 증류수로 2배 희석한 후 0.1N NaOH로 적정하여 여과액이 pH 8.3에 도달할 때까지 소모된 NaOH의 양을 citric acid의 양으로 환산하였다(11). 선

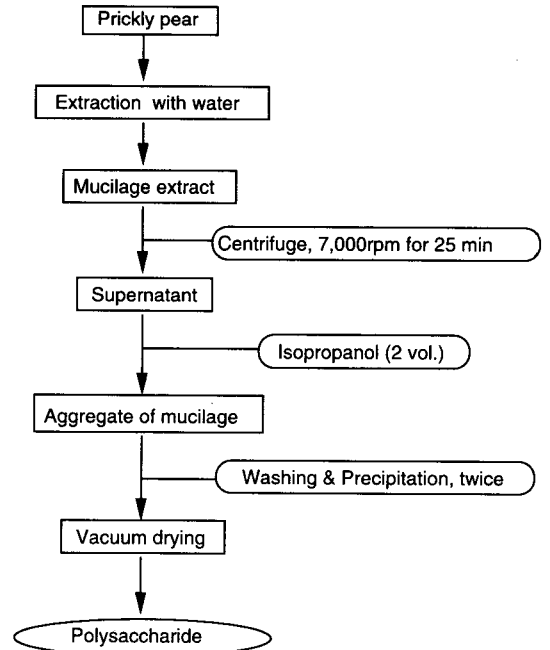


Fig. 1. Flow chart for preparation of mucilage extract and polysaccharide from prickly pear.

인장 열매로부터 분리된 점질물 추출액과 이들로부터 얻어진 다당류의 가용성 고형분 함량은 105°C 에서 상압 건조한 후에 결정하였다(11).

단백질 농도 측정

분리된 다당류에 존재하는 단백질은 BCA(bicinchoninic acid) protein 분석방법(Fierce, Rockford, IL, USA)으로 결정하였다(12). 4% Copper (II) sulfate 용액과 BCA용액을 1 : 50의 비율로 혼합하여 단백질 검출시약으로 사용하였다. 다당류 시료(1ml)와 단백질 검출시약(2ml)을 혼합한 후 37°C 항온 수조에서 30분간 반응시켰다. 반응액을 spectrophotometer(UVICON, Kontron instruments, France)를 이용하여 562nm에서 흡광도를 측정하여 bovine serum albumin를 기준 농도로 하여 다당류에 포함된 단백질 농도를 결정하였다.

다당류의 분리

분리한 점질물 추출액에 두배 용량의 isopropanol을 가한 후 충분히 섞여 형성된 다당류 aggregate를 10°C 에 원심분리(7,000rpm, 15min)하여 회수하였다(13). 다당류 aggregate에 잔존하는 색소를 제거하기 위해 다당류에 증류수를 가하여 용해시킨 후에 isopropanol 침전을 2회 반복하였다. 색소가 제거된 다당류 aggregate

를 100% 에탄올로 세척한 후 vacuum desicator(VS-802, Vision, Korea)에서 건조한 후 증류수에 용해시켜 4°C에서 보관하면서 사용하였다(Fig. 1).

점도 측정

모세관 점도계(Capillary viscometer; size 75, Cannon Instrument)를 이용하여 20°C 항온 수조에서 점질물 추출액의 비교점도를 물을 기준용매로 하여 측정하였다. 점질물 추출액의 에탄올 농도는 100% 에탄올을 첨가하여 20%(v/v) 수준까지 조정하였으며, 열처리는 각각 20, 40, 50, 60, 70, 80, 90°C에서 20분 동안 처리되었다. 점질물 추출액(pH 4.2)의 pH는 0.1N NaOH를 사용하여 각각 pH 7.0과 pH 9.2로 조정되었다. 다당류용액에 KCl의 농도 증가에 따른 고유점도의 변화를 측정하기 위하여 희석된 다당류 용액을 제조한 후 모세관 점도계를 이용하여 측정된 환원점도와 비점도 값으로부터 고유점도를 계산하였다(14).

색소의 안정성

점질물 추출액과 이들의 열처리 및 에탄올 처리된 추출액을 증류수로 4배 희석한 후 최대 흡수파장에 해당하는 534nm에서 spectrophotometer를 이용하여 흡광도를 측정 비교하였다.

색소의 저장성

점질물 추출액(pH 4.2)의 pH는 3M citric acid를 가하여 pH 3.0으로 조정한 후 각각의 점질물액(pH 4.2, pH 3.0)을 4°C, 30°C 및 37°C에서 저장하면서 색의 변화를 관찰하고, 4배 희석하여 최대흡수파장인 534nm에서 흡광도를 측정하였다.

결과 및 고찰

점질물 추출액의 특성

점질물 추출액의 고형분 함량과 이로부터 분리된 다당류 함량 및 다당류에 포함된 단백질의 함량을 결정하였다. 선인장 열매(75g)로부터 분리된 점질물 추출액의 가용성 고형분 함량은 6.1g(8.1%, w/w, wet basis)이었으며, 점질물 추출액의 pH 및 적정산도는 각각 4.2와 0.14%였다. 가용성 고형분에 포함된 다당류의 양은 0.11g으로 가용성 고형분함량의 1.8%(w/w)였으며, 이 다당류에 포함된 단백질의 양은 다당류 건물기준으로 0.9%를 나타내었다.

다당류의 고유점도

Table 1은 다당류의 고유점도를 나타내는 것으로 물에 용해된 다당류의 고유점도는 18.1dl/g에서 염 첨가 농도가 증가함에 따라서 고유점도가 7.6dl/g으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 다당류 분자의 이온화 정도가 첨가된 염농도에 의해서 상쇄됨으로서 수용액에서의 다당류의 hydrodynamic volume의 감소에 기인한 것으로 사료된다(15).

색소 안정성 및 비교점도

점질물 추출액은 pH 4.2를 나타내는 산성용액으로 이에 함유된 적색 색소의 최대 흡수파장은 534nm였다. 이는 betalains 중 적색을 띠는 betacyanin의 최대 흡수 파장범위인 534~552nm와 거의 일치함을 보였다. pH에 따른 점질물 추출액의 색소 변화를 보면 산성조건에서는 매우 밝은 적색을 유지하지만 알칼리 조건으로 바뀔수록 색소의 변색과 동시에 노란색으로 변하는 것을 알 수 있었다. 이는 betalamic acid의 유리에 의해 일어나는 현상으로 사료된다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 pH 4.2에서 색소의 흡광도를 기준으로 하여, pH 7.0에서는 비교흡광도가 60% 정도로 낮아졌으며, 색깔은 검붉은 색으로 변하였다. 또한 pH 9.2에서는 비교흡광도가 50%에도 미치지 못했으며, 색깔도 노란색으로 변하였다. 이로써 적색 색소가 알칼리에서 극히 불안정하다는 사실을 알 수 있었다. 따라서 이후 점질물 추출액의 온도

Table 1. Intrinsic viscosity of polysaccharide prepared from prickly pear (dl/g)

	KCl(mM)			
	0	10	20	30
Intrinsic viscosity	18.1	10.8	7.7	7.6

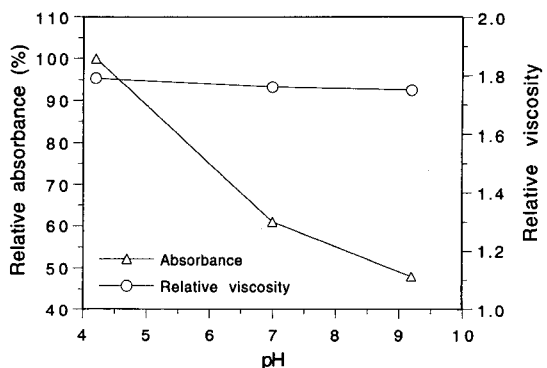


Fig. 2. Effect of pH on relative viscosity and absorbance of prickly pear extract.

및 에탄올 첨가 효과에 따른 색소 및 물성변화를 산성조건에서 실시하였다. 반면에 점질물 추출액의 pH에 따른 비교점도의 변화는 거의 일정한 값을 나타내었다.

가열 온도에 따른 점질물 추출액의 색소 안정성을 살펴보기 위하여 점질물 추출액(0.61%, w/v)을 20°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C 및 90°C에서 20분간 열처리하여 534nm에서 측정된 흡광도를 Fig. 3에 나타내었다. 추출액은 60°C 이하의 열처리에서는 비교흡광도가 90% 이상을 유지하면서 비교적 안정하였으며, 색소의 열안정성은 70°C를 경계로 하여 급격하게 저하되는 것을 알 수 있었다. 열처리된 점질물 추출액의 비교점도는 열처리 온도가 상승함에 따라서 약간 감소하는 경향을 보였지만 90°C 가열의 경우에도 점질물은 aggregate를 형성하지 않는 비교적 높은 열안정성을 나타내었다 (Fig. 3). 이는 마(yam)에 다량 존재하는 점질물이 열처리에 의해서 불용성의 침전물을 형성하는 것에 비해서 식품가공적성이 좋은 것으로 사료된다. 점질물 추출액에 에탄올을 20%(v/v) 수준까지 첨가시에는 색소의 변화가 전혀 관찰되지 않았으며, 반면에 점질물의 비교점도는 20% 수준까지 에탄올 첨가에 의해서 완만하게 증가를 나타냈다(Fig. 4). 이 경우에도 에탄올 첨가에 의한 다당류의 aggregate는 형성되지 않았다.

저장에 따른 색소의 안정성

점질물 추출액을 pH와 저장온도에 따른 색소의 안정성을 비교 검토하였다. 산처리된 점질물 추출액(pH 3.0)을 각각 4°C, 30°C 및 37°C에서 저장하면서 흡광도를 측정하였다. Fig. 5에서 보는 것처럼 37°C 저장온도에서는 1일 후부터 급격한 변색을 나타내며 빠른 속도로 색이 변하였으며, 4일 후에는 색이 갈색에 가깝게 변하였다. 30°C 저장에서 산처리액의 색소 안정성을 비

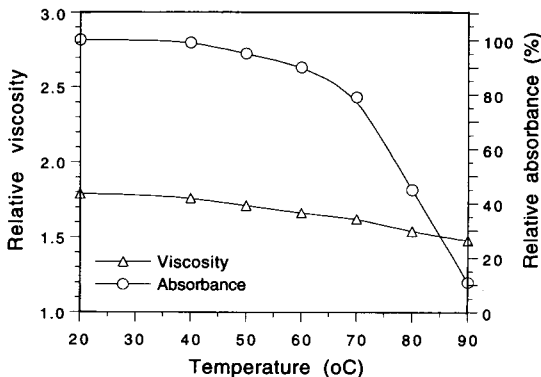


Fig. 3. Effect of temperature on the relative viscosity and absorbance of prickly pear extract.

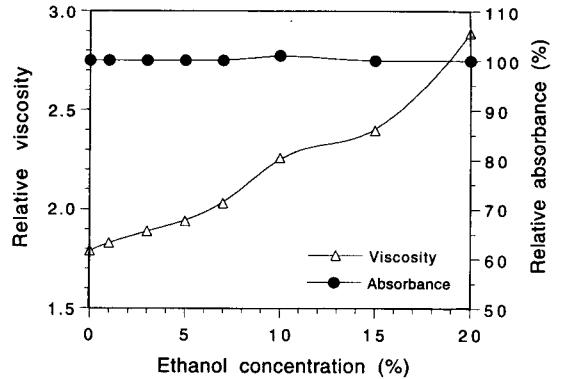


Fig. 4. Effect of alcohol concentration on the relative viscosity and absorbance of prickly pear extract.

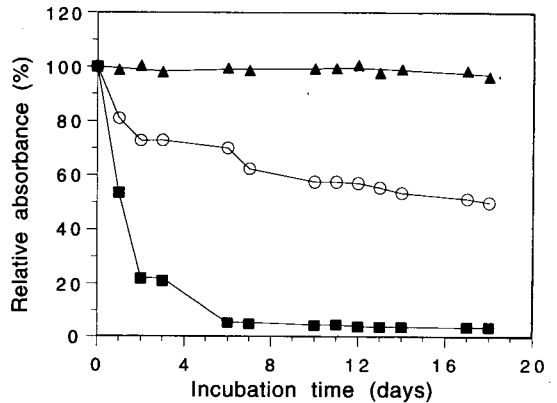


Fig. 5. Relative absorbance of prickly pear extract(pH 3.0) during storage at various temperature. ▲—▲ 4°C, ○—○ 30°C, ■—■ 37°C

교해 보면 추출액의 흡광도는 2일까지 색소의 안정성이 75% 수준으로 유지되면서, 장기간 보관시에 비교적 완만하게 색소의 변색을 나타냈다. 반면에 4°C에서는 18일 동안 저장 후에도 색소의 변색이 거의 없이 안정성을 보였다.

점질물 추출액 (pH 4.2)의 저장 온도에 따른 색소의 안정성은 Fig. 6에 나타내었다. 37°C에서 색소의 비교흡광도가 50%로 감소하는데 6일이 걸렸으며, 이는 산처리된 점질물 추출액(pH 3.0)에서 1일 저장 후에 나타낸 색소의 변색정도와 유사한 값을 나타내었다. 또한 30°C에서는 10일 동안 저장시에도 색소의 변색이 거의 없이 안정함을 알 수 있었다. 따라서 점질물 추출액(pH 4.2)이 산처리된 점질물 추출액(pH 3.0)보다 저장시에 비교적 높은 색소의 안정성을 보였다. 이는 점질물 추출액을 이용한 발효식품의 제조에 있어서 30°C에서 가공처리시에도 색소의 변색을 최소화할 수 있을 것으로 사료된다. 한편 4°C에서 점질물 추출액을 pH 4.2와 pH

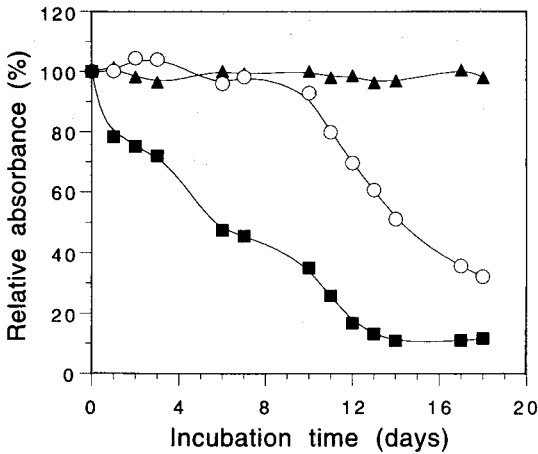


Fig. 6. Relative absorbance of prickly pear extract(pH 4.2) during storage at various temperatures. ▲-▲ 4°C, ○-○ 30°C, ■-■ 37°C

3.0의 조건에서 18일 동안 저장시에도 색소의 변색은 거의 없었다. 이처럼 점질물 추출액의 색소안정성이 온도와 pH에 의해서 크게 영향을 받는 것으로 보아 점질물 추출액에 존재하는 효소들의 활성 정도에 따라 색소의 안정성이 크게 영향을 받는 것으로 사료된다. 결론적으로 선인장 열매 추출액의 적색 색소는 pH 4.2 및 30°C에서 저장함으로써 비교적 높은 색소의 안정성이 유지됨을 알 수 있었으며, 특히 4°C 이하에서 보관할 때 변색없이 장기간 색소의 저장이 가능하다고 판단된다.

요 약

선인장 열매로부터 분리된 점질물 추출액은 점질물 다당류와 천연 적색색소를 함유하고 있어서 점질물 추출액과 천연 적색색소의 가공적성, 즉 열, pH 및 에탄올에 의한 안정성을 알아보았다. 또한 추출액에 존재하는 다당류는 isopropanol을 첨가하여 분리한 후에 KCl 농도에 따른 고유점도를 평가하였다. 천연 색소는 점질물 추출액의 고유 산성조건(pH 4.2)에서 가장 안정하였으며, 알칼리로 갈수록 색소의 변색이 초래되었다. 천연 적색색소는 70°C까지 열처리에서 비교적 안정하였으며, 점질물 다당류도 침전물 형성없이 약간의 비교점도의 상승을 보였다. 90°C에서 가열시에는 색소의 완전한 변색을 보였지만, 점질물 추출액의 비교점도는 약간의 감소를 초래할 뿐 다당류의 물성에는 변화를 주지 않았다. pH 3.0으로 처리한 점질물 추출액의 저장온도에 따른 색소의 안정성은 4°C를 제외한 30°C와 37°C에서 적었으며, 특히 37°C에서 색소가 급격하게 변색되는 것을 알 수 있었다. 반면에 pH 4.2의 점질물 추출액은

30°C에서 10일 동안 저장시에도 색소가 매우 안정함을 알 수 있었고, 37°C에서도 색소의 변색속도가 pH 3.0과 비교할 때 완만하였다. pH 4.2를 유지하는 점질물 추출액을 4°C 저장 조건에서는 적색을 유지하면서 장기간 저장이 가능하였다. 결론적으로 선인장 열매에서 분리된 점질물 추출액은 열에 안정하며, 산성조건에서도 적색 색소의 안정성 및 물성을 유지하는 다당류를 함유하고 있어 식품가공, 발효에 의한 제품의 기호성 증진 및 식품학적 가치를 증진시키는데 이용될 수 있는 유용한 식품소재라고 생각된다.

문 헌

- Sawaya, W. N., Khatchadourian, H. A., Safi, W. M. and Al-Muhammad, H. M. : Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus-indica*, and the manufacturing of prickly pear jam. *J. Food Technol.*, **18**, 183(1983)
- 김인환, 김명희, 김홍만, 김영언 : 선인장열매 적색색소의 열안정성에 대한 항산화제의 효과. *한국식품과학회지*, **27**, 1013(1995)
- 정미숙, 김정희 : 선인장 붉은 열매에서 추출한 betanine 색소의 안정성. *한국조리과학회지*, **12**, 506(1996)
- 이영철, 황금희, 한동휴, 김성대 : 손바닥 선인장의 성분 특성. *한국식품과학회지*, **29**, 847(1997)
- Fernandez, M. L., Trejo, A. and Mcnamara, D. J. : Pectin isolated from prickly pear (*Opuntia sp.*) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed guinea pigs. *Lipids*, **25**, 1283(1990)
- Jackman, R. L. and Smith, I. L. : Anthocyanins and betalains In "*Natural food colorants*" Hendry, G. A. I. and Houghton, J. D.(eds.), 2nd ed., Blackie Academic and Professional, London, p.280(1996)
- Vietmeyer, N. D. : Lesser-known plants of potential use in agriculture and forestry. *Science*, **232**, 1379 (1986)
- Joubert, E. : Processing of the fruit of five prickly pear cultivars grown in South Africa. *International J. Food Sci. Tech.*, **28**, 377(1993)
- Hamdi, M., Blanc, P. J. and Goma, G. : Effect of aeration conditions on the production of red pigments by *Monascus purpureus* growth on prickly pear juice. *Process Biochemistry*, **31**, 543(1996)
- 中藥大事典. 新文豐 出版社, 上卷, p.483(1981)
- Helrich, K. : *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C., p.744 (1990)
- Wiechelmann, K., Braun, R. and Fitzpatrick, J. : Investigation of the bicinchoninic acid protein assay : Identification of the groups responsible for color formation. *Anal. Biochem.*, **175**, 231(1988)
- Lee, S. P., Kwon, O. S. and Sinskey, A. J. : Localization of genes involved in exopolysaccharide biosynthesis in *Zoogloea ramigera* 115SLR. *J. Microbiol. Biotechnol.*, **6**, 321(1996)

14. Doublier, J. L. and Cuvelier, G. : Gums and hydrocolloids: functional aspects. In "*Carbohydrates in food*" Eliasson, A-C(ed.), Marcel Dekker, Inc. New York, p.283(1996)
15. Stauffer, K. R., Leeder, J. G. and Wang, S. S. : Characterization of zooglan-115, an exocellular glycan of *Zoogloea ramigera* 115. *J. Food Sci.*, **45**, 946(1980)

(1998년 6월 1일 접수)