

Tagatose 등 여러 가지 당류와 그 몰농도가 Maillard 갈변반응에 미치는 영향

류소영 · 노회진¹ · 노봉수² · 김상용³ · 오덕근⁴ · 이원종⁵ · 윤정로⁵ · 김석신*

가톨릭대학교 식품영양학과, ¹동양제과(주) 기술개발연구소,
²서울여자대학교 식품미생물공학과, ³바이오엔진 기술개발연구소,
⁴세종대학교 생명공학과, ⁵강릉대학교 식품과학과

Effects of Various Sugars Including Tagatose and Their Molar Concentrations on the Maillard Browning Reaction

So-Young Ryu, Hoe-Jin Roh¹, Bong-Soo Noh², Sang-Yong Kim³,
Deok-Kun Oh⁴, Won-Jong Lee⁵, Jung-Ro Yoon⁵ and Suk-Shin Kim*

Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea

¹R&D Center, Tong Yang Confectionery Co.

²Department of Food and Microbial Technology, Seoul Women's University

³R&D Center, Bio & Gene Co.

⁴Department of Bioscience and Biotechnology, Sejong University

⁵Department of Food Science, Kangnung National University

This study was conducted to observe the effect of various kinds of sugars and their molar concentrations on the Maillard browning reaction. To observe the effects of various kinds of sugar, glucose, fructose, tagatose, xylose, and sucrose were employed. A model solution consisting of 0.2 M sugar and 0.2 M glycine was prepared and heated at 100°C for 5 hr. The model solution with adjusted concentrations of either tagatose or glycine was also heated at 100°C for 5 hr. Tagatose showed the fastest Maillard reaction, followed by xylose, fructose, glucose, and sucrose. After glycine concentration of the model solution was fixed, the model solution showed more browning with an increase in tagatose concentration. When the tagatose concentration of the model solution was fixed, the model solution showed more browning with an increase in glycine concentration. The model solution with a fixed concentration of glycine showed more more browning than that with a fixed concentration of tagatose, since the former had higher amounts of the reactant.

Key words: Maillard reaction, tagatose, glucose, sucrose, fructose, xylose

서 론

설탕은 단맛의 지표이며 오래전부터 애용된 감미료이나 영양성분이 없는 공열량(empty calorie)원이며 성인병 특히 당뇨병의 증가와 밀접한 관계가 있다. 최근 저열량 식품의 개발에 대한 관심이 높아지면서 설탕의 단점을 보완하는 여러 가지 대체 감미료들이 식품소재로 사용되고 있다^(1,2). 이러한 대체 감미료 중에서 D-tagatose는 설탕과 가장 유사한 이화학적 성질을 가진 천연 감미료로 알려져 있다^(3,4). 육탄당인

galactose(aldose)의 이성체인 tagatose(ketose)는 설탕의 92%에 해당하는 단맛을 지니고 있고, 설탕과 유사한 점성과 갈변성을 지니고 있으면서도 g당 6.3 kJ(1.5 kcal)을 공급하는 이상적 설탕 대체 저열량 감미료이다^(5,6). 따라서 tagatose는 제과, 제빵, 아이스크림 및 유제품 등 다양한 식품에 설탕 대신 사용될 수 있다. 네덜란드의 MD사, 덴마크의 Biospherics사 등 선진국의 회사들은 이미 tagatose의 실용화를 앞두고 있으나, 국내의 경우에는 최근 노 등^(7,8)이 tagatose의 물리적·이화학적 특성을 설탕과 비교, 초콜렛제품으로 응용하여 보고한 연구 이외에는 tagatose에 대한 본격적인 연구가 부족한 실정이다.

Tagatose와 같은 당류를 식품에 첨가할 경우 식품의 가공 및 저장 중에 여러 가지 반응이 일어날 수 있다. 특히 환원당과 아미노산 간의 비효소적 갈변반응인 Maillard 반응이 일어나기 쉬운데 이 반응은 식품의 색깔 뿐만 아니라 맛이나

*Corresponding author : Suk Shin Kim, Department of Food Science and Nutrition, The Catholic University of Korea, Buchon City, Kyonggi-do 420-741, Korea
Tel: 82-32-340-3316
Fax: 82-32-340-3316
E-mail: kimsukshin@catholic.ac.kr

향과 같은 관능적 요소(organoleptic factors)에도 영향을 주며, lysine과 같은 필수 아미노산의 파괴 등 영양가의 손실을 일으키는 것으로 알려져 있다. 이 Maillard 반응은 제과 제빵의 경우처럼 식품에 유리한 경우도 있고, 멸균 또는 건조 유제품의 경우처럼 품질저하의 요인이 될 수도 있다. 이로 인해 Maillard 반응에 대한 연구 특히 반응에 영향을 끼치는 인자들에 대한 연구가 많이 보고되고 있다.

Song 등^(9,10)은 glucose와 glycine 혼합계의 Maillard반응에 대하여 농도, pH 및 온도가 반응속도에 미치는 영향을 속도론적으로 규명하였고, Lee 등⁽¹¹⁾은 fructose와 glycine의 model에서 반응 중 일어나는 색의 변화와 HPLC를 이용한 당과 아미노산의 정량분석에 대해 보고하였고, Reyes 등⁽¹²⁾은 glucose, fructose 및 sucrose가 아미노산인 glycine과 반응할 때 일어나는 갈변화 현상을 보고한 바 있다. Stamp 등⁽¹³⁾은 aspartame과 glucose, 그리고 glycine과 glucose의 혼합용액에 대해서 수분활성도와 Maillard 반응간의 관계를 밝혔으며, O'Brien⁽¹⁴⁾은 동결건조 모델시스템에서 trehalose의 Maillard 갈변속도를 다른 당류의 경우와 비교한 바 있다. 그러나 새로운 기능성 감미료인 tagatose의 Maillard 갈변반응에 대한 연구는 국내외를 막론하고 거의 없는 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 tagatose를 첨가한 식품의 가공 또는 저장 중 품질 변화에 대한 기초자료 확립의 일환으로 당류와 glycine의 모델 시스템에서 tagatose, glucose, fructose, sucrose, xylose의 여러 가지 당류의 Maillard 갈변반응을 비교하는 동시에 그 몰농도가 Maillard 반응에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

재료

모델용액 제조용 glucose, fructose, xylose, sucrose 및 glycine은 Sigma사(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)의 특급시약을 사용하였고, tagatose(순도99%)는 MD사(MD Foods Ingredients Amba, Denmark)로부터 공급받아 사용하였으며, 모델용액 제조 시 3차 증류수를 사용하였다.

모델용액 제조 및 가열실험

Maillard 갈변반응에 끼치는 당 종류의 영향 실험: 0.2 M glucose, fructose, xylose, sucrose, tagatose 수용액과 0.2 M glycine 수용액을 각각 1:1로 혼합한 당-아미노산 모델용액을 제조하였다. 이 모델용액을 15 mL씩 screw cap이 달린 시험관에 넣고 마개를 한 후 pH 조절 없이 100°C의 수조에서 5시간동안 가열하였다. 품온이 100°C가 된 시점을 기준으로 1시간 간격으로 시험관을 꺼내어 흐르는 수돗물로 냉각시켰다. 각 실험은 3회 반복하였다.

Maillard 갈변반응에 끼치는 tagatose 몰농도의 영향 실험: Glycine의 농도는 0.2 M로 고정시키고 tagatose의 농도를 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 M로 변화시켜 당-아미노산 모델용액을 제조하였다. 이 모델용액을 15 mL씩 screw cap이 달린 시험관에 넣고 마개를 한 후 pH 조절 없이 100°C의 수조에서 품온이 100°C가 된 시점을 기준으로 5시간동안 가열한 다음 시험관을

을 꺼내어 흐르는 수돗물로 냉각시켰다. 각 실험은 3회 반복하였다.

Maillard 갈변반응에 끼치는 glycine 몰농도의 영향 실험: Tagatose의 농도는 0.2 M로 고정시키고 glycine의 농도를 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 M로 변화시켜 당-아미노산 모델용액을 제조하였다. 이 모델용액을 15 mL씩 screw cap이 달린 시험관에 넣고 마개를 한 후 pH 조절 없이 100°C의 수조에서 품온이 100°C가 된 시점을 기준으로 5시간동안 가열한 다음 시험관을 꺼내어 흐르는 수돗물로 냉각시켰다. 각 실험은 3회 반복하였다.

위의 tagatose 몰농도와 glycine 몰농도의 영향 실험계획을 요약하면 Table 1과 같다.

갈변도 측정 실험

흡광도의 측정: Maillard 갈변반응액의 흡광도를 UV-VIS spectrophotometer(Hitachi, U-2000, Japan)를 사용하여 파장 420 nm에서 측정하였다^(9,10).

색도의 측정: Maillard 갈변반응액의 색도는 색차계(Tokyo Denshoku, Digital Color Meter TC-3600, Japan)를 사용하여 Hunter L(명도), a(적색도), b(황색도)값으로 측정하였다. 이 때 사용된 표준판은 L=90.4, a=0.8, b=3.0의 값을 가진 백색판이었으며, 측정된 Hunter값들로부터 다음 식에 의해 ΔE (색차)를 계산하였다⁽¹⁵⁾.

$$\Delta E = \sqrt{[(L_t - L_0)^2 + (a_t - a_0)^2 + (b_t - b_0)^2]}$$

여기서 L_t , a_t , b_t 는 t시간이 경과한 후 반응액의 값이고, L_0 , a_0 , b_0 는 표준백색판의 값이다.

통계 처리: SigmaPlot 5.0판(SPSS Inc., USA)을 사용하여 선형회귀분석과 유의차($p < 0.05$) 검정을 행하였다.

결과 및 고찰

Maillard 갈변반응에 끼치는 당 종류의 영향

Fig. 1은 glycine과 반응하는 당의 종류가 Maillard 갈변반응에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해 흡광도, 명도, 적색도, 황색도, 색차의 값들을 시간별로 도시한 것이다. 흡광도의 경우 초기값(평균 0.0040 ± 0.0005)에서 가열시간에 따라 증가하였는데 5시간 가열후의 흡광도 값은 각각 tagatose 0.5460 ± 0.05280 , xylose 0.3347 ± 0.0040 , fructose 0.2530 ± 0.0040 , glucose 0.0785 ± 0.0020 , sucrose 0.0183 ± 0.0010 이었고, Maillard 갈변반응을 1차식으로 가정^(9,16,17)하여 얻은 반응속도 상수값들은 tagatose 0.1045, xylose 0.0673, fructose 0.0539, glucose 0.0149, sucrose 0.0025로 나타났다. 이로부터 Maillard 갈변반응에 끼치는 영향이 큰 당의 종류는 tagatose > xylose > fructose > glucose > sucrose의 순인 것을 알 수 있었다. 이 결과로부터 tagatose를 제외한 당류의 순서는 Wolfrom 등⁽¹⁸⁾, Ko 등⁽¹⁹⁾, Kim 등⁽²⁰⁾, Yang 등⁽²¹⁾의 보고와 일치하는 것으로 나타났다. 다만 tagatose는 가열 초기부터

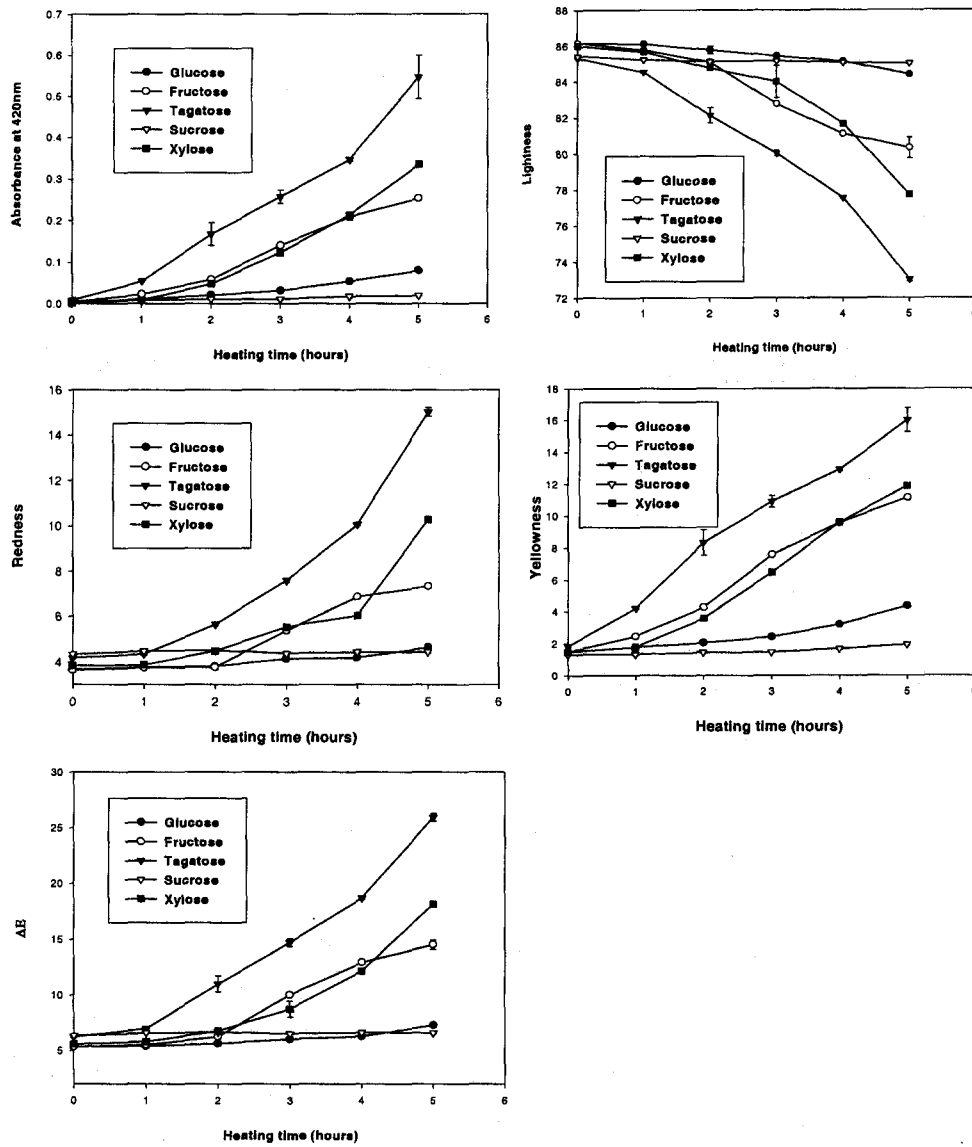


Fig. 1. Effect of kinds of sugar on the Maillard browning reaction of model solution heated at 100°C for 5 hr.

xylose보다 빠른 갈변반응을 나타냄으로써 일반적으로 5탄당이 활동성(mobility)이 크기 때문에 6탄당보다 반응이 빠르다는 Yang 등⁽²¹⁾의 보고와 다른 결과를 보였다. Graham의 기체확산의 법칙을 확대 해석하여 물질의 상대적 mobility가 분자량의 제곱근에 역비례한다고 가정할 때 분자량이 150인 5탄당은 분자량이 180인 6탄당보다 mobility가 1.1배 빠른 정도이기 때문에 이 정도의 mobility 차이는 본 실험의 경우처럼 0.2 M 정도의 묽은 용액에서는 반응속도 상승에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 보였다. 따라서 ketose에 속하는 tagatose는 aldose에 속하는 xylose보다 갈변반응이 잘 일어날 수 있는 특성을 지니고 있다고 결론 내릴 수는 있겠으나 그 기작 등에 대해서는 더 면밀한 연구가 필요할 것으로 생각되었다. 또 fructose의 경우 가열 3시간까지는 xylose보다 흡광도 증가가 다소 컸지만 가열 4시간에는 유사한 값을 보이다가 가열 5시간에 이르러서는 흡광도 증가속도가 둔화되어 흡광도값이 xylose보다 작게 나타났다. 이로부터 ketose에 속하는 fructose 역시 갈변이 잘 일어나는 특성을 지닌 것을

알 수 있었다. 그러나 fructose의 흡광도 변화를 glucose와 비교해 볼 때 가열 초기부터 fructose의 흡광도 증가가 glucose보다 훨씬 큰 것으로 나타남으로써 가열 전반에는 fructose의 갈변이 빠르다가 후반에는 glucose의 갈변이 빠르다는 Wolfrom 등⁽¹⁸⁾, Chun 등⁽²²⁾의 보고와는 다른 결과를 보였다. 이는 본 실험에서 사용한 당의 농도, 가열온도, 가열시간, pH 등이 Wolfrom 등⁽¹⁸⁾, Chun 등⁽²²⁾의 실험조건과 다르기 때문인 것으로 생각되었다. 가장 느리게 갈변이 진행된 sucrose의 경우 Wolfrom 등⁽¹⁸⁾이나 Kim 등⁽²⁰⁾이 보고한 바와 같이 sucrose 자체는 구조적으로 갈변을 일으키는 aldehyde나 ketone기가 없기 때문에 glucose와 fructose로 분해된 뒤 갈변반응이 가능하기 때문이라 생각되었다. Fig. 1로부터 각 당류들이 보이는 색차와 적색도의 경우도 갈변이 진행됨에 따라 흡광도의 경우와 유사한 증가 양상을 보이는 것을 확인 할 수 있었으며 명도의 경우는 각 당류마다 정반대의 감소 양상을 보이는 것으로 나타났다. 다만 황색도의 경우는 가열 5시간에 이르러 갈변 증가세가 다소 둔화되는 양상을 보였으며 특

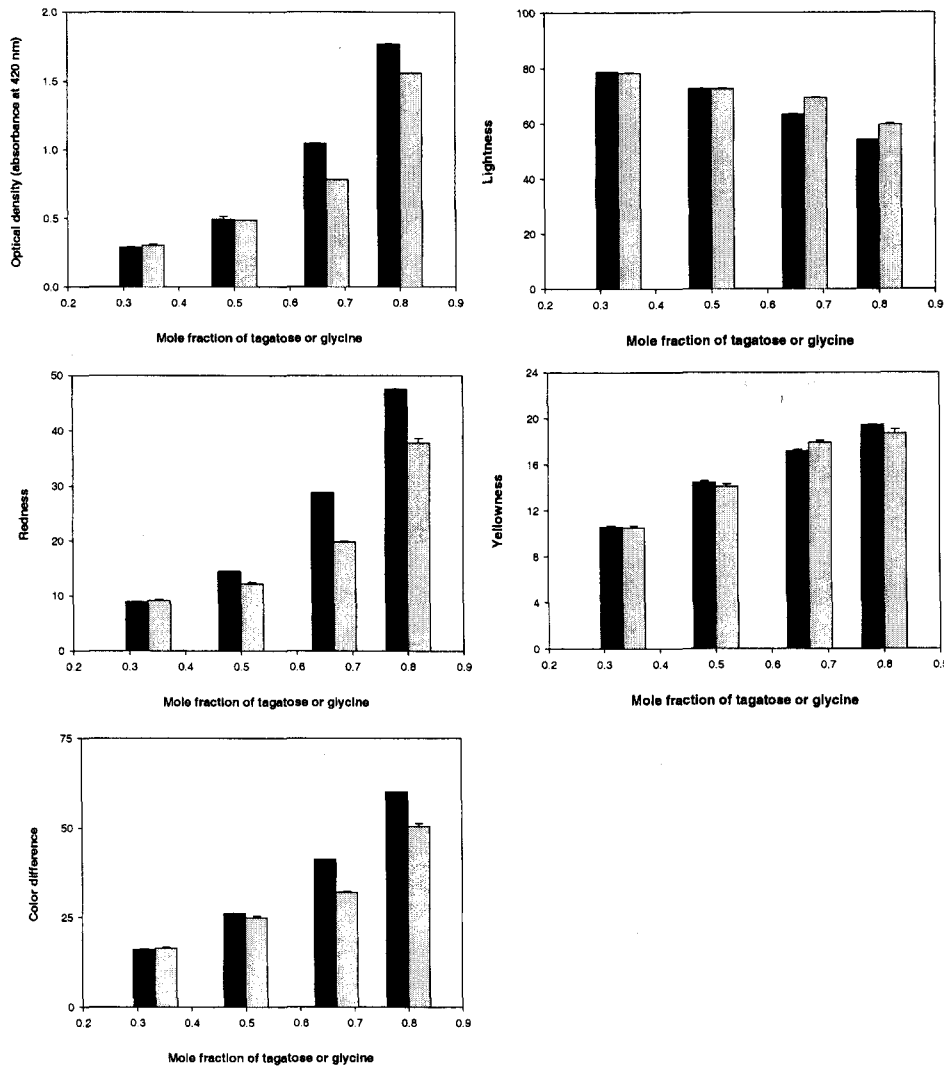


Fig. 2. Effect of mole fraction of tagatose or glycine on the Maillard browning reaction of model solution heated at 100°C for 5 hr. ■ : molar concentration of tagatose varies, ▨ : molar concentration of glycine varies.

히 가열 초기부터 4시간까지는 xylose가 fructose보다 다소 높은 황색도를 보이다가 가열 5시간에는 약간 낮은 황색도를 보이는 것으로 나타났다. 이로부터 황색도는 흡광도, 적색도, 색차, 명도들의 상호관계보다 상관관계가 낮을 것으로 추측되었다.

Maillard 갈변반응에 끼치는 tagatose 또는 glycine 몰농도의 영향

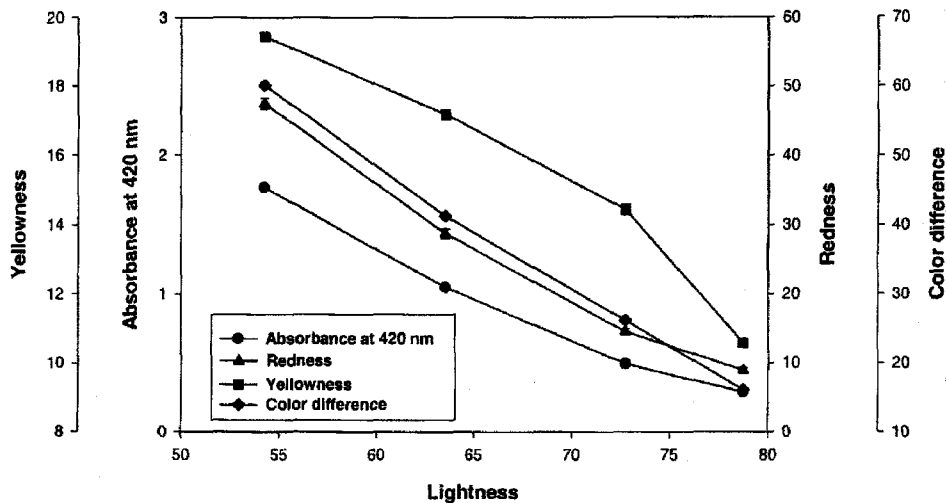
Fig. 2의 흑색 막대그래프는 tagatose의 몰농도가 Maillard 갈변반응에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해 흡광도, 명도, 적색도, 황색도, 색차의 값들을 tagatose의 몰농도별로 비교한 것이다. 100°C에서 5시간 가열한 후 측정된 흡광도의 경우 tagatose 농도 0.1 M일 때 0.2870 ± 0.0060 에서 tagatose 농도 0.8 M일 때 1.7673 ± 0.0250 으로 tagatose 농도가 증가함에 따라 크게 증가하였다. 적색도는 8.9000 ± 0.1000 에서 47.4833 ± 0.0760 으로, 색차는 16.0900 ± 0.1170 에서 60.1300 ± 0.0030 으로, 흡광도의 경우처럼 tagatose 농도의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이에 반해 명도의 경우는 78.7333

± 0.0570 에서 54.2667 ± 0.0570 으로 흡광도의 경우와 정반대로 tagatose 농도의 증가에 따라 감소하였다. 다만 황색도의 경우는 10.5667 ± 0.1155 에서 19.4467 ± 0.0507 로 tagatose 농도의 증가에 따라 증가하였으나 tagatose 농도 0.4 M일 때부터 그 증가세가 다소 둔화되는 경향을 보였다. 이로부터 황색도는 흡광도, 적색도, 색차, 명도들의 상호관계보다 상관관계가 낮을 것으로 추측되었다. 이러한 결과들은 Beer-Lambert 법칙에서 농도와 흡광도가 비례한다는 결과와 일치하는 것으로서, Lee 등⁽²³⁾이 당유도체, 즉, fructo-oligo당, HMS(High Maltose Syrup), sorbitol의 몰 농도가 증가할수록 직선적으로 증가하는 경향을 보인다는 보고와도 일치하였다. 그러나 포도당과 아미노산의 몰 분율비가 1:1일 때를 정점으로 하여 낮은 몰 분비일 때는 직선적으로 증가되다가 포도당의 몰 분비가 높아짐에 따라 곡선을 그리고 감소된다고 하는 Yang 등⁽²¹⁾의 보고와는 일치하지 않았는데 Yang 등⁽²¹⁾이 사용한 당 농도와 가열온도가 본 실험의 경우와 다르기 때문이라고 생각되었다.

Fig. 2의 회색 막대그래프는 glycine의 몰농도가 Maillard

Table 1. Composition of model system for the effect of molar concentration of tagatose and glycine

Purpose of model system	Tagatose (M)	Glycine (M)	Tagatose mole fraction	Glycine mole fraction	Total solid (%)
Effect of tagatose molar concentration	0.1	0.2	0.33	-	1.65
	0.2	0.2	0.50	-	2.55
	0.4	0.2	0.67	-	4.35
	0.8	0.2	0.80	-	7.95
Effect of glycine molar concentration	0.2	0.1	-	0.33	2.18
	0.2	0.2	-	0.50	2.55
	0.2	0.4	-	0.67	3.30
	0.2	0.8	-	0.80	4.80

**Fig. 3. Relationships of lightness with absorbance, redness, yellowness and color difference of model solution with varied tagatose concentration heated at 100°C for 5 hr.**

갈변반응에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해 흡광도, 명도, 적색도, 황색도, 색차의 값들을 glycine의 몰농도별로 비교한 것이다. 100°C에서 5시간 가열한 후 측정된 흡광도의 경우 glycine 농도 0.1 M일 때 0.3033 ± 0.0090 에서 glycine 농도 0.8 M일 때 1.5587 ± 0.0030 으로 glycine 농도가 증가함에 따라 크게 증가하였다. 적색도는 9.1500 ± 0.1500 에서 37.8667 ± 0.8081 로, 색차는 16.4004 ± 0.2900 에서 50.5400 ± 0.7150 으로, 흡광도의 경우처럼 glycine 농도에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이에 반해 명도의 경우는 78.4000 ± 0.2000 에서 59.8333 ± 0.2887 로 흡광도의 경우와 정반대로 glycine 농도에 따라 감소하였다. 다만 황색도의 경우는 10.5333 ± 0.1528 에서 18.7000 ± 0.3606 으로 glycine 농도에 따라 증가하였으나 glycine 농도 0.4 M일 때부터 그 증가세가 다소 둔화되는 경향을 보였다. 이로부터 황색도는 흡광도, 적색도, 색차, 명도들의 상호관계보다 상관관계가 낮을 것으로 추측되었다. Wolform 등⁽¹⁸⁾와 Baisier 등⁽²⁴⁾은 아미노산의 몰농도가 증가할수록 색도와 흡광도가 증가함을 보고하였는데, 이 실험 역시 같은 경향을 보였다.

Fig. 2에서 tagatose 몰농도를 변화시킨 갈변도(흑색막대)가 glycine의 몰농도를 변화시킨 갈변도(회색막대)보다 색도가 더 높음(명도가 더 낮은) 이유는 Table 1에 나와 있는 것처럼 tagatose(분자량 180)가 glycine(분자량 75)보다 분자량이 크기

때문에 tagatose 몰농도를 변화시킨 경우가 glycine 몰농도를 변화시킨 경우보다 반응물질의 양(총고형물 함량)이 더 많기 때문이다. Barbanti⁽²⁵⁾도 총고형물 함량이 높을수록 갈변반응이 더 빠르게 진행된다는 사실을 보고한 바 있다.

Fig. 3은 glycine의 몰농도를 고정시키고 tagatose의 몰농도를 조정하여 얻은 흡광도, 적색도, 황색도, 색차의 값들을 명도와 비교한 결과이다. Fig. 3에 나타나 있는 것처럼 흡광도, 적색도, 황색도, 색차는 명도와 역비례하는 관계를 보여주고 있다. 선형회귀의 결정계수는 흡광도 0.9814, 적색도 0.9823, 황색도 0.9529, 색차 0.9972이므로 결정계수가 가장 낮은 황색도는 상대적으로 명도와 선형관계가 되기 어려운 것으로 나타났다. 이 결과에서 Maillard 갈변반응의 전 과정의 명도의 감소는 흡광도, 색차와 직접 관계되는 적색도가 관여하고 있으며, Maillard 갈변반응의 초기과정 중 명도의 감소는 황색도도 기여하나 중반기 이후의 갈변현상은 황색도보다 적색도의 기여가 클 것으로 추측되었다.

Fig. 4는 tagatose의 몰농도를 0.2 M로 고정시키고 glycine의 몰농도를 조정하여 얻은 흡광도, 적색도, 황색도, 색차의 값들을 명도와 비교한 결과이다. Fig. 4 역시 Fig. 3의 경우처럼 흡광도, 적색도, 황색도, 색차는 명도와 역비례하는 관계를 보여주고 있다. 선형회귀의 결정계수가 흡광도는 0.9679, 적색도 0.9529, 황색도 0.8116, 색차 0.9956이므로 결정계수

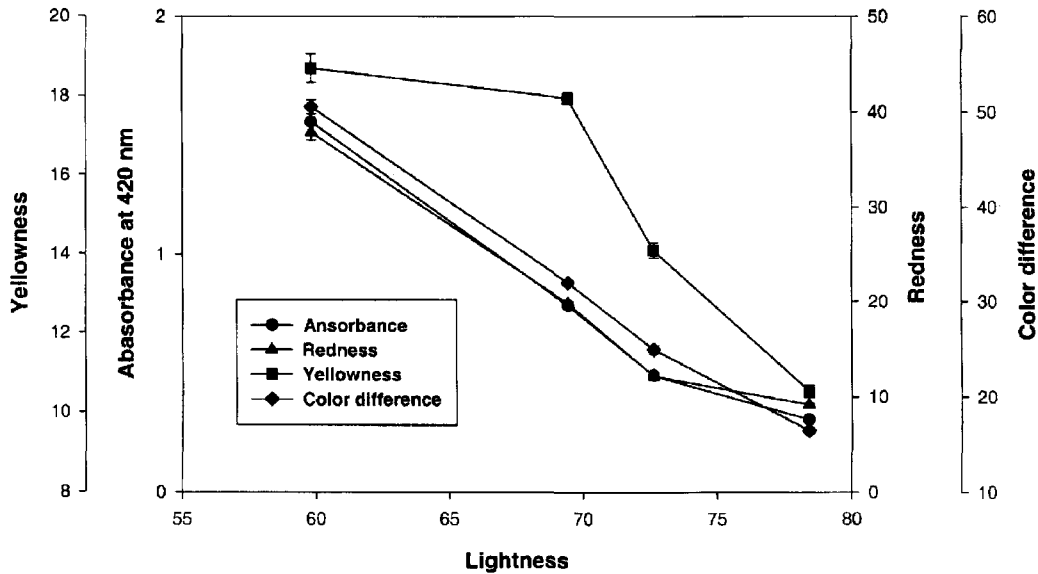


Fig. 4. Relationships of lightness with absorbance, redness, yellowness and color difference of model solution with varied glycine concentration heated at 100°C for 5 hr.

가 Fig. 3의 경우보다 더 작은 황색도는 명도와는 더 두드러진 비선형관계를 보임을 알 수 있었다. 이 결과 역시 Maillard 갈변반응의 초기과정 중 명도의 감소에는 황색도도 기여하지만 중반기 이후의 갈변현상은 적색도 위주임을 입증한다고 하겠다. 또한 Fig. 3이나 Fig. 4에 나타내지는 않았지만 100에서 명도(lightness)의 수치를 뺀 값을 암도(darkness)로 표기하여 사용하면 갈변반응의 경우 흡광도, 색차 등과 정비례하는 직선관계로 나타낼 수 있어 편리할 것으로 생각되었다.

요약

본 연구는 tagatose 등 당의 종류와 그 몰농도가 Maillard 갈변반응에 끼치는 영향을 살펴보고자 수행되었다. 당의 영향을 연구하기 위해 0.2 M의 tagatose, glucose, fructose, sucrose, xylose 수용액과 0.2 M glycine 수용액을 혼합한 모델용액을 제조하여 100°C에서 5시간동안 가열하였다. Tagatose 몰농도의 영향을 연구하기 위해 glycine 농도를 0.2 M로 고정시키고 tagatose의 농도를 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 M로 변화시킨 후 100°C에서 5시간동안 가열하였으며, glycine 몰농도의 영향을 연구하기 위해 tagatose 농도를 0.2 M로 고정시키고 glycine의 농도를 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 M로 변화시킨 후 100°C에서 5시간동안 가열하였다. Maillard 갈변반응은 tagatose가 가장 빨랐고 그 다음 xylose, fructose, glucose, sucrose의 순서를 보였다. Tagatose나 glycine 모두 몰농도가 증가하면 갈변이 증가하였으나 tagatose를 변화시킨 경우 총고형물 함량이 더 높아 갈변이 더 촉진되었다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어졌음.

문헌

1. Oku, T., Tokunaga, T. and Hosoya, N. Nondigestibility of a new sweetener 'Neo-sugar' in the rat. *J. Nutr.* 114: 1574-1575 (1984)
2. Bornet, R.J. Undigestible sugars in food products. *Am. J. Clin. Nutr.* 59: 763-766 (1994)
3. Nabors, L.O. Sweet choices: Sugar replacements for foods and beverages. *Food Technol.* 56: 28-34, 45 (2002)
4. Levin, G.V., Zehner, L.R., Saunders, J.P. and Beadle, J.R. Sugar substitutes: Their energy values, bulk characteristics and potential health benefits. *Am. J. Clin. Nutr.* 62 (supplement): 1161S-1168S (1995)
5. Zehner, L.R. D-Tagatose as a low-calorie carbohydrate sweetener and bulking agent. US patent 4,786,722 (1998)
6. Mazur, A.W. Functional sugar substitutes with reduced calories. Eur. Patent 0341062A2 (1989)
7. Roh, H.J., Kim, S.Y., Noh, B.S., Kim, S.S. and Oh, D.K. Application of a low calorie sweetener, tagatose to chocolate product. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 237-240 (1998)
8. Roh, H.J., Kim, S.Y., Kim, S.S., Oh, D.K., Han, K.Y. and Noh, B.S. Physicochemical properties of a low calorie sweetener, tagatose. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31: 24-29 (1999)
9. Song, P.S., Chichester, C.O. and Stadman, F.H. Kinetic behavior and mechanism of inhibition in the Maillard reaction: Kinetic behavior of the reaction between D-glucose and glycine. *J. Food Sci.* 31: 906-913 (1966)
10. Song, P.S. and Chichester, C.O. Kinetic behavior and mechanism of inhibition in the Maillard reaction; Mechanistic considerations in the reaction between D-glucose and glycine. *J. Food Sci.* 31: 914-926 (1966)
11. Lee, J.H. and Han, K.W. The amino-carbonyl reaction in the fructose-glycine mixture system. *Korean J. Food Sci. Technol.* 21: 351-359 (1989)
12. Reyes, F.G.R., Poocharoen, B. and Wrolstad, R.E. Maillard browning reaction of sugar-glycine model systems. *J. Food Sci.* 47: 1376-1377 (1982)
13. Stamp, J.A. and Labuza, T.P. Kinetics of the Maillard reaction between aspartame and glucose in solution at high temperatures. *J. Food Sci.* 49: 543-547 (1983)
14. O'Brien, J. Stability of trehalose, sucrose, and glucose to non-

- zymatic browning in model systems. *J. Food. Sci.* 61: 679-682 (1996)
15. Francis, F.J. Blueberries as a colorant ingredient in food products. *J. Food Sci.* 50: 754-756 (1985)
16. Morales, F.J. and Boekel, M.A.J.S. A study on advanced Maillard reaction in heated casein/sugar solution: color formation. *Int. Dairy J.* 8: 907-915 (1998)
17. Lericci, C.R., Barbanti, D., Manzano, M. and Cherubin, S. Early indicators of chemical changes on foods due to enzymic or non-enzymic browning reactions. 1: Study on heat treated model systems. *Lebens. Wiss. u-Technol.* 23: 289-294 (1990)
18. Wolfrom, M.L., Kashimura, N. and Horton, D. Factors affecting the Maillard browning reaction between sugars and amino acids. Studies on the nonenzymatic browning of dehydrated orange juice. *J. Agric. Food Chem.* 22: 796-800 (1974)
19. Ko, S.N., Yoon, S.H., Yoon, S.K. and Kim, W.J. Development of meat-like flavor by Maillard reaction of model system with amino acids and sugars. *Korean J. Food Sci. Technol.* 29: 827-838 (1997)
20. Kim, W.J., Chun, Y.H. and Sung, H.S. Evaluation and prediction of color changes of sugar-glycine mixtures by Maillard reaction. *Korean J. Food Sci. Technol.* 18: 306-311 (1986)
21. Yang, R. and Shin, D.B. A study on the amino-carbonyl reaction. *Korean J. Food Sci. Technol.* 12: 88-95 (1980)
22. Chun, Y.H., Kim, C.K. and Kim, W.J. Effect of temperature, pH and sugars on kinetic property of Maillard reaction. *Korean J. Food Sci. Technol.* 18: 55-59 (1986)
23. Lee, C.H., Han, B.J., Kim, N.Y., Lim, J.K. and Kim, B.C. Studies on the browning reaction of sugar derivative sweeteners. *Korean J. Food Sci. Technol.* 23: 52-56 (1991)
24. Baisier, W.M. and Labuza, T.P. Maillard browning kinetics in a liquid model system. *J. Agric. Chem.* 40: 707-713 (1992)
25. Barbanti, D., Mostrocola, D. and Lericci, C.R. Early indicators of chemical changes on foods due to enzymic or non-enzymic browning reactions. Part II: Color changes in heat treated model systems. *Lebens. Wiss. u-Technol.* 23: 494-498 (1990)

(2003년 7월 7일 접수; 2003년 8월 8일 채택)