

果糖과 식품공업

이 창 용

미국 코넬대학교
(1980년 9월 25일 수리)

Fructose and Food Industry

C. Y. Lee

Cornell University, USA
(Received September 25, 1980)

유기화합물 가운데 탄수화물로서 비교적 간단한 구조식을 갖고 물에 녹기 쉬우며 단맛(甘味)을 가진 화합물을 당(糖)이라고 한다. 과당은 당류 가운데 단당류(monosaccharides)의 하나로 식품 중 과실류와 꿀에 많이 함유되어 있고 당류 중 감도가 가장 높은 당으로, 화학구조의 특성이 左旋性을 띄운다는 뜻에서 左旋糖(levulose)이라고도 부른다.

과당은 식품의 한 성분으로 오랫동안 이용되어 왔으나 최근에 이르러 이의 영양학적 및 식품가공학적인 면에서 새로운 인식을 갖게 되고 이에 이용성을 크게 늘리고 있다. 근년에 과당의 생산기술발전으로 생산비가 낮게 되자 순수한 결정체의 과당이 식품가공 첨가물로 많이 쓰여지고 최근에는 high fructose corn syrup (HFCS)이라 하여 90%의 과당을 함유한 제품이 상당한 인기를 모으고 있다. HFCS는 옥수수의 전분을 효소작용으로 당화하여 과당의 양을 증가시킨 감미료이다. 과당의 높은 감도 때문에 HFCS는 보통의 corn syrup보다 더 달고 따라서 소량으로도 동일한 단맛을 내기 때문에 식품가공에 소량 첨가하여 결과적으로 식품의 열량을 줄이게 된다. 그러므로 소위 규정식품(diet food)을 생산하는데 첨가물로 또는 직접 몸무게를 조절하기 위해 쓰이는 "사카린"을 대신해서 쓰이기 시작하고 있다.

이와 같이 과당은 식품성분으로써 매우 중요하기 때문에 화학적, 영양학적 및 식품가공학적 면에서 과당을 간단히 소개하고자 한다.

과당의 근원

식품 가운데 가장 많이 포함된 당은 자당(蔗糖, sucrose)이며 이는 이당류(disaccharides)의 하나로 인

체내에 소화흡수될 때 효소에 의해 과당과 포도당으로 분해된다. 그러므로 자당은 과당을 공급하는 중요한 근원이 되는 식품이라 하겠다. 꿀 중에 약 40%가 과당이며 여러 과실류에 많이 포함되어 있다. 즉 사과, 포도, 딸기, 배 등에 5~8% 함유되고 기타 과실류엔 2~5% 정도, 소채류에 0.5~1.5%, 두류엔 근소한 양으로 0.1~1.2% 정도 포함되어 있다⁽¹⁾. 최근의 가공제품인 corn syrup에는 40~90%의 과당을 함유하며 감미 첨가물로 잼이나, 젤리, 설탕, 드레싱, 음료 등에 쓰이며, 과실통조림, 제과, 아이스크림, 요구르트 등에 오늘날 시험되고 있다.

화학적 성질과 감미

과당은 단당류 중의 대표적인 케토스(ketose)로서 케톤(C=O)의 성질과 알콜(-OH)의 성질을 띄우며 일반포도당과 비슷한 환원성을 갖고 있다. 그러나 화학구조의 입체배치와 관련된 입체화학(stereochemistry) 면에서 볼 때 다른 단당류에 비해 잘 알려져 있지 않다. 그 이유로서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 環式異性體로 가능성이 있는 4개 중 단 하나만이 결정체로 알려졌기 때문이고 또 과당의 변광회전(mutarotation) 특성이 애매하게 나타나는데 있다고 본다. 즉 과당이 수용액에서 이루는 변광회전을 측정하면 일차반응과정(first order reaction kinetics)을 띄워 평형상태에서 단지 2개의 이성체만이 존재하는 것같이 보여지나 사실 이를 가스 크로마토그래피나 원자핵 자기 공명(nuclear magnetic resonance)을 이용해 측정하면 3개 이상의 이성체가 존재하는 것으로 나타나며 평형 비율이 온도나 용매에 따라 또 과당농도에 따라 변하는 것으로 나타난다⁽²⁾. 과당의 수용액은 높은 온도

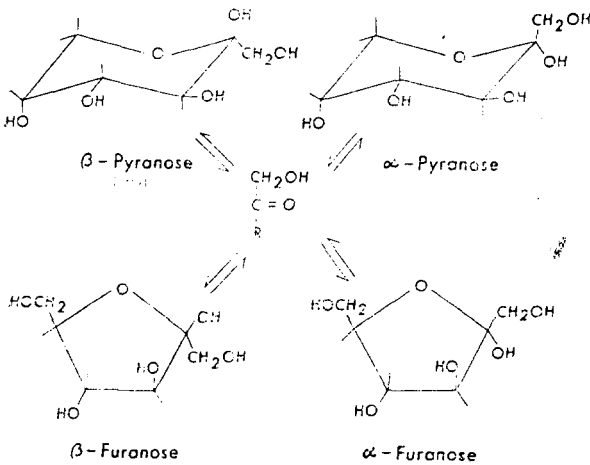


Fig. 1. 果糖異性體

서 β -D-fructopyranose가 대부분이고 β -D-fructofuranose가 소량 존재되는 것으로 알려져 있다. 감도가 당의 입체구조식과 직접 관련된다는 사실을 본다면⁽⁹⁾ 과당이 수용액 중에서 과연 어떠한 화학구조식을 이루고 있는 것을 알아본다는 것이 큰 흥미거리가 되지 않을 수 없다. 과당의 단맛이 가장 높고 그 단맛의 변이성이 큰 이유는 과당의 변광회전특성(mutarotation behavior)에서 온다고 본다. 즉 새로 단든 과당 수용액의 감도는 자당의 감도보다 거의 2배이지만 시간이 지나면 변광회전의 경형을 이루고 감도가 줄어들어 자당보다 조금 더 감미를 나타낼 뿐이다. 특히 과당의 수용액은 온도가 증가하면 감미가 감소된다(당의 변광회전에 관한 자세한 것은 문헌 4, 5, 6, 감미에 관한 것은 문헌 7, 8, 9을 참조).

과당의 신진대사

인체내에서 과당이 소화흡수되어 혈관으로 운반되는 자세한 과정은 잘 알려져 있지 않으나 포도당 보다는 흡수가 느리고 소요는 빠른 것으로 알려져 있다^(10,11). 장으로의 흡수과정 중 일부 소량의 과당이 포도당이나 젖산으로 변하며, 일단 혈관으로 흡수된 과당은 간으로 운반되어 신진대사과정을 밟게 된다⁽¹²⁾. 흡수된 과당의 약 1/3은 간에서 포도당으로 변하여 다시 혈관으로 옮겨져 체내의 각 조직의 에너지 자원으로 이용되거나 또는 저장되며, 나머지의 과당은 다른 화합물로 변해서 에너지를 발생하는 신진대사과정에 참여되거나 또는 글리코겐 및 지방질로 저장된다.

포도당은 간이나 다른 조직으로 흡수될 때 인슐린을 요하나 과당은 인슐린을 필요로 하지 않고, 일단 포도당이나 다른 화합물로 변했을 때 인슐린을 요하게 된다. 과당흡수가 혈액내 당량에 주는 영향을 관찰한 최

근의 보고를 보면⁽¹³⁾ 과당은 어느 한계의 양이 흡수될 때 혈액내의 포도당 양을 증가시키나 자당과 포도당은 그 양에 관계없이 늘 혈액내의 포도당 양을 증가시키고, 과당은 혈액의 인슐린과 관계 없이 포도당과 자당은 인슐린의 방출을 자극시켰다고 한다. 과당과 자당은 혈액내의 uric acid를 증가시키나 포도당은 증가시키지 않으며 이는 자당의 성분인 과당이 이러한 대가작용의 주 원인인 것으로 추측되고, 과당과 자당은 포도당과는 달리 혈액의 lactate 및 pyruvate 양을 증가시킨다고 한다. 포도당과 과당의 신진대사과정의 다른 점을 연구한 결과가 최근 여러번 보고된 바 있다^(14,15).

과당을 장기간 섭취했을 때 주는 신진대사의 영향에 대한 연구보고가 없으나 위의 예로 보아 다른 당류를 대신해서 과당을 섭취했을 때 어느 정도의 영향이 있을 것이라는 것을 예측지 않을 수 없다. 따라서 식품가공에 과당을 대량 내치해서 쓰는 데는 미리 고려해야 할 점이 있다고 본다. 한 예로서 과당흡수가 혈액 트리-글리세리드나 지방산에 미치는 영향을 신중히 고려해야 하고 또 인체내의 hyperlipidemia 발생도 관찰해야 된다고 한다(과당이 신진대사에 미치는 영향에 대한 자세한 것은 문헌 16, 17, 18, 19 참조).

또 유전적으로 과당을 신진대사과정에 적절히 이용치 못하는 경우가 있기도 하다. 첫째 fructosuria란 병은 인체의 간에 특별 효소의 결핍증으로 흡수된 과당을 소비치 못하고 분비하고 증세는 비교적 온화하여 특별하게 나타나지 않으며 13만명 중에 한 사람 정도가 이런 증세를 갖는다고 하고 두 번째의 경우도 역시 효소의 결핍으로 fructose-1-phosphate가 신진대사과정을 정상적으로 밟지 못해 나타나는 증세로서 신생아의 황달병, 구토증 또는 식품을 거부하는 등의 여러가지 병증을 일으킨다⁽²⁰⁾.

규정음식(Diet food)과 과당

위에 논한 바와 같이 과당은 자당보다 감도가 높아 적은 양으로도 쓸 수 있기 때문에 열량을 줄여 규정음식으로 이용할 수가 있다. 그러나 이를 잘못 이해시켜 일반 대중에게 특별한 음식인 듯한 오해를 줄 수도 있다. 과당을 사용해서 몸무게를 줄이라는 어느 의사의 말을 들어보면 대개 체중이 과대한 사람일수록 포도당의 신진대사가 비정상적이라 쉽게 공복을 느끼고 계속 음식을 섭취하려 한다고 하며 과당은 소화흡수가 늦고 인슐린의 조발도 지극치 않음으로 공복을 쉽게 느끼지 않게 한다고 한다. 물론 위에 논한대로 과당은 흡수가 포도당보다 느리고 인슐린과도 관계없으나 사실상 과당이 다른 당보다 식욕을 조절하는데 특별한 효과가

있는지는 아직 확실치 않고, 식욕을 조절한다는 자체가 복잡한 생리현상임으로 간단히 해석하기가 어렵다고 본다.

과당을 규정식품으로 사용하면 다른 식품의 섭취가 제한되어 열량을 줄이게 됨으로 신체내의 지방질을 소모하여 체중이 줄어들게 될 수 있겠다고 보겠으나 사실 과당 자체가 체중을 줄이는 것은 아니고 섭취하는 음식의 열량이 줄어진 데에서 온 결과임을 알아야 할 것이고, 그리고 한 마디 덧붙이는 것은 가공된 다른 여러 당류와 마찬가지로 과당도 정제가공되어 다른 영양 성분은 없고 단지 열량만을 공급하고 있다는 사실이다.

가공식품 중의 과당

미국에서 가공된 과당이 식품상점에 나타난 것이 최근의 일이나 구라파에선 약 10여년 전부터 상품화 되어 왔다. 생산기술의 발전으로 싸게 과당이 생산됨으로서 각종 가공식품에 쓰여지게 되었고 특별히 순수한 단맛만을 주기 때문에 여러가지 식품에 쉽게 사용할 수 있는 장점을 갖고 있다. 오늘날 과당은 음식점이나 약방에서 錠劑로나, 분말상태 또는 시럽으로 살 수 있고 보통 자당의 몇배 값으로 판매된다.

과당에 대한 식품가공업자들의 가장 큰 매력은 이의 높은 당미로서 자당의 약 190%가 되나, 이 감도는 식품의 온도나 pH에 따라 다르게 나타난다. 최근 과당의 감도가 산, 레몬주수, 케익 등에 의해 나타나는 차이점을 보고한 바 있다⁽²¹⁾.

최근에 시험되고 있는 가공식품으로는 복숭아 통조림제조에 과당시럽을 사용하여 약 10칼로리를 줄인 바 있고 Sara Lee 식품회사에서도 최근 과당을 사용하여 열량을 1/3 줄인 케익이나 요구르트를 생산하고 있다⁽²²⁾. 각 식품가공업자마다 비장의 formulation이 있어 과당을 얼마만큼 사용하는지에 대해 상세히 알 수가 없으나 과당의 사용범위가 점차 증가함에 따라 각종 음료에 큰 가능성이 있고 더욱 사카린의 사용이 금지된 캐나다에선 과당 시럽을 많은 음료수에 쓰고 있는 것으로 알고 있다. 자당을 이용한 제품의 종류와 그 수는 헤아릴 수 없음으로 앞으로 과당을 대신하여 이용한다면 예측하기 어려운 만큼 많은 양이 이용될 것이다.

문 헌

1. Lee, C. Y., Shallenberger, R. S. and Vittum, M. T.: *Free sugars in fruits and vegetables*, New York's Food Science and Life Sciences

- Bulletin #1 (1970)
2. Shallenberger, R. S., Lee, C. Y., Acree, T. E., Barnard, J. and Lindley, M. G.: *Carbohydrate Res.*, **58**, 209 (1977)
3. Shallenberger, R. S. and Acree, T. E.: *Nature*, **216**, 480 (1967)
4. Lee C. Y., Acree, T. E. and Shallenberger, R. S.: *Carbohydrate Res.*, **9**, 356 (1969)
5. Acree, T. E., Shallenberger, R. S., Lee, C. Y. and Einset, J. W.: *Carbohydrate Res.*, **10**, 355 (1969)
6. Shallenberger, R. S.: *Pure and Applied Chemistry*, **50**, 1409 (1978)
7. Shallenberger, R. S. and Acree, T. E.: *Handbook of Sensory and Physiology*, N. part 2, p.222 (1971)
8. Birch, G. G. and Lee, C. K.: *Food Sci*, **39**, 947 (1975)
9. Shallenberger, R. S., Acree, T. E. and Lee, C. Y.: *Nature*, **221**, 556 (1969)
10. Cori, C.: *Biol. Chem.*, **66**, 691 (1925)
11. Crane, R.: *Physiol. Review*, **40**, 789 (1960)
12. Butterfield, W., Sargeant, B. and Whichelow, M.: *The Lancet*, **1**, 574 (1964)
13. MacDonald, I., Keyser, A. and Pacy, D.: *Am. J. Clin. Nutr.*, **31**, 1305 (1979)
14. Baron, H. and Stein, Y.: *J. Nutr.*, **94**, 95 (1968)
15. MacDonald, I.: *Am. J. Clin. Nutr.*, **21**, 1366 (1968)
16. MacDonald, I.: *Am. J. Clin. Nutr.*, **18**, 369 (1966)
17. MacDonald, I.: *Am. J. Clin. Nutr.*, **20**, 345 (1967)
18. Nikkila, E. A.: in *"Sugars in Nutrition"* edited by Sipple & McNutt, Academic Press, p.439 (1974)
19. Hue, L.: in *"Sugars in Nutrition"* edited by Sipple & McNutt, Academic Press, p.357 (1974)
20. Anon: *Dietary sugars in health and disease*, Federation of American Societies for Experimental Biology. Bethesda, MD. (1976)
21. Cardello, A. V., Hunt, D. and Mann, B.: *Food Sci*, **44**, 748 (1979)
22. Anon: *Food Processing*, Food of Tomorrow: A special section, April (1978)