

# 돼지감자로부터 이눌린의 추출 및 분석 방법 연구

## Extraction and Analysis of Inulin from Jerusalem Artichoke

신소향, 권상조, 조현주, 고덕훈<sup>1</sup>, 한재준\*

So-Hyang Shin, Sang-Jo Kwon, Heon-Joo Jo, Dukhoon Go<sup>1</sup>, Jaejoon Han\*

성균관대학교 식품생명공학과, <sup>1</sup>태강 영농조합법인

Department of Food Science and Biotechnology, Sungkyunkwan University

<sup>1</sup>Taegang Cooperative

### I. 서론

최근 현대인의 식습관이 고열량 식이로 변화됨에 따라 비만 환자의 수와 당뇨병 환자의 수가 급증하고 있다(그림 1). 비만과 당뇨병은 고혈압, 심장 질환, 고지혈증 등의 합병증이 수반되기 때문에 심각한 사회적 문제로 대두되고 있고, 그에 따라 저열량 식이요법을 수행하고자 하는 노력이 다각도에서 진행되고 있다. 식이요법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 인간의 장에서 소화되지 않으나 포만감을 주어 흡수되는 실제 칼로리를 낮춰주는 식이섬유를 섭취하는 방법이고 두 번째는 칼로리가 높은 설탕 대신 칼로리가 거의 없는 대체 감미료를 사용하는 방법이다.

이러한 두 가지 조건을 모두 만족하는 물질로는 이눌린(inulin)이 있다. 이눌린은 난소화성 식이섬유로, 인체 내에서 흡수되지 않아 칼로리가 낮으며 과당의 중합체이기 때문에 단맛을 내는 감미료로 쓰일 수 있는 특징이 있다. 달리아(dahlia), 엉겅퀴, 치커리(chicory), 돼지감자

(Jerusalem artichoke) 등의 덩이줄기 식물들은 탄수화물을 이눌린의 형태로 뿌리에 저장하는 것으로 알려져 있다. 이 중 돼지감자는 식용으로 쓰이는 비율이 낮고 경제적 측면에서도 저렴한 가격으로 구입이 가능하여 이눌린의 추출을 위한 시료로서 적합하다.

따라서 본 고찰에서는 돼지감자와 이눌린에 대한 소개와 이눌린의 생리활성 연구 결과들을 통해 증명된 이눌린의 이용가치, 그리고 다양한 추출법과 분석법을 다루고자 한다. 또한 이눌린을 이용한 상품 시장과 돼지감자의 상품 시장의 분석을 통해 돼지감자로부터 추출된 이눌린의 경제적 가치에 대해 소개할 것이다.

### II. 본론

#### 1. 돼지감자

돼지감자의 학명은 *Helianthus tuberosus* L.이며 국화과 해바라기속의 여러해살이 풀로 원산지는 북아메리카이

\*Corresponding author: Jaejoon Han

Department of Food Science and Biotechnology, Sungkyunkwan University, 300 Cheoncheon-dong, Jangan-gu, Suwon 440-746, Korea

Tel: 82-31-290-7803

Fax: 82-31-290-7882

E-mail: han2009@skku.edu

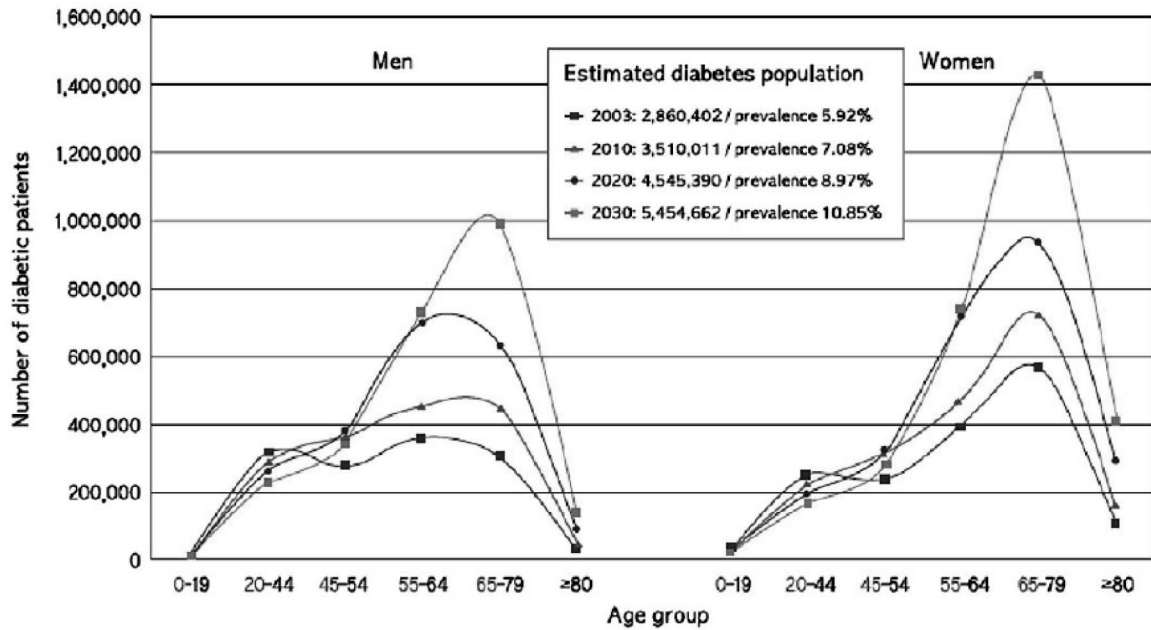


그림 1. 나이에 따른 당뇨병 환자 수의 연도별 증가 추이 (1)

다 (그림 2). 중국의 북부 지방에서는 낮은 기온 및 기온으로 인한 기후환경과 사막화를 방지하기 위한 목적으로 돼지감자를 다량 경작하고 있다. 그러나 생산량에 비해 수

요가 적어 중국에서는 대부분 수확되지 않거나 버려지고 있는 실정이며, 수확이 되더라도 식용보다는 사료용으로 많이 사용되고 있다 (2). 돼지감자는 다른 식물에 비해 저온에서도 잘 견디는 생장 조건을 가지고 있으며 연 평균 6.3-26.6°C에서 성장하므로 우리나라 기후 조건에도 적합하여 전국 각지에 자생하고 있다 (3).



그림 2. 돼지감자 (1: 일반 돼지감자, 2: 자색 돼지감자, 3: 돼지감자의 잎, 4: 돼지감자의 꽃)

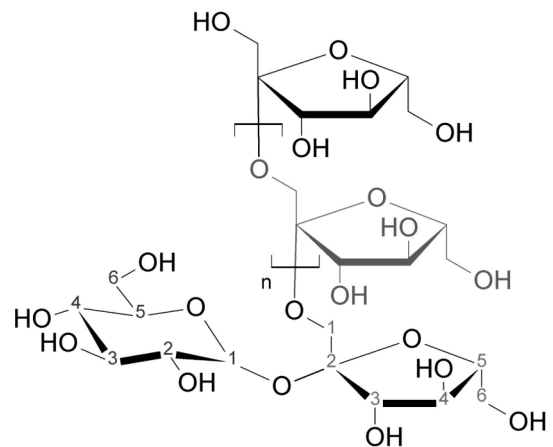


그림 3. 이눌린의 화학적 구조

돼지감자는 80%의 수분과 15-20%의 탄수화물, 1-2%의 단백질, 그리고 무기질과 비타민 등으로 구성되어 있다. 보통의 식물이 탄수화물을 녹말의 형태로 저장하는 것과는 달리, 돼지감자는 탄수화물의 대부분을 '이눌린(inulin)'이라는 과당중합체 물질로 저장하는 특징이 있는 것으로 알려져 있다. 이눌린은 돼지감자 원 중량의 14-19%를 차지할 정도로 그 비율이 높으며, 이는 돼지감자 건조 중량(dry weight)의 약 75%에 해당한다. 돼지감자의 이눌린 함량은 이눌린의 형태로 양분을 저장하는 다른 식물들에 비해 비교적 높은 것으로 알려져 있다 (4). 돼지감자의 성분 조성은 생산지, 수확시기, 기후조건, 수확한 후의 조건, 전처리 방법에 따라 다양하게 나타난다. 특히, 돼지감자에 포함된 이눌린은 수확시기에 따라 중합도의 차이를 보이기 때문에 각 시기 별 돼지감자의 이눌린을 특정 비율로 혼합하면 다양한 분자량을 가지는 이눌린을 이용할 수 있다.

## 2. 이눌린

이눌린은 국화과 식물인 달리아(dahlia)의 덩이뿌리, 엉겅퀴의 뿌리, 치커리(chicory)뿌리 및 돼지감자(Jerusalem artichoke)에 콜로이드상으로 존재하는 저장 다당류의 일종이다. 이눌린은 과당(Fructose)으로 구성된  $\beta(2\rightarrow1)$  글리코시딕 결합의 선형 과당 중합체로 되어 있으며, 비 환원성 말단기에 D-글루코스(glucose)가  $\alpha(1\rightarrow2)$  결합하고 있는 형태이다 (그림 3) (5). 평균적으로 중합도가 2-10인 경우는 프락토올리고당(fructooligosaccharides)으로 분류하고 중합도가 10-40 인 구조는 이눌린으로 분류되나, 중합도가 40 이상인 구조를 갖는 이눌린 역시 존재한다고 알려져 있다 (6). 이눌린은 다당류의 일종이기 때문에 중합도가 다양한데, 중합도 차이에 따라 소화흡수율, 감미도, 수분 결합력 및 장내 미생물 활동에 끼치는 영향이 다르다는 연구 결과들이 있다. 중합도가 낮을수록 물에 대한 용해도가 상승하고 높은 감미도를 나타내는 반면, 중합도가 높을수록 물에 대한 용해도는 낮아지고 열에 대한 안정성이 증가하는 경향을 보인다 (7).

## 3. 이눌린의 생리활성

이눌린은 우리 몸의 소화효소에 의해 소화되지 않는 난

소화성식이섬유이다. 과일, 채소와 같은 식물의 세포벽을 구성하는 식이섬유는 배변활동, 혈청 콜레스테롤 조절, 식후혈당 상승억제 등에 도움을 준다는 보고가 있다 (8). 이러한 난소화성 특징 때문에 이눌린은 탄수화물대사에 관여하여 영양소의 흡수와 소화를 지연시키며, 포만감과 열량밀도에 영향을 줌으로써 효과적인 체중 감소에 도움을 주는 물질로 작용한다 (9).

또한, 이러한 난소화성 특징 때문에 이눌린은 당뇨병 환자들의 식이에도 빈번히 이용되고 있다. 혈당 조절 호르몬인 인슐린(insulin)과 글루카곤(glucagon)의 분비가 원활하지 못한 당뇨병 환자들에게는 혈당 수준의 조절이 가장 중요한 부분이기 때문에, 섭취 시 혈당 수치를 급격히 상승시키는 작용을 하는 설탕은 적절하지 못하다. 따라서 당뇨병 환자들에게는 감미를 내면서도 난소화성이기 때문에 혈당 수준에 큰 영향을 끼치지 않는 이눌린의 섭취가 권장되고 있다 (10).

이눌린은 과당의 중합체이기 때문에 천연 감미원으로 분류되며 식품 가공업계에서 주목 받고있는 감미원 중 하나이다. 이눌린은 설탕과 비교 시 감미도는 조금 낮지만 식품 가공 시 중요한 요소인 용해도와 점성 특성이 설탕에 비해 훨씬 양호하면서도 충치 발현 빈도가 설탕보다

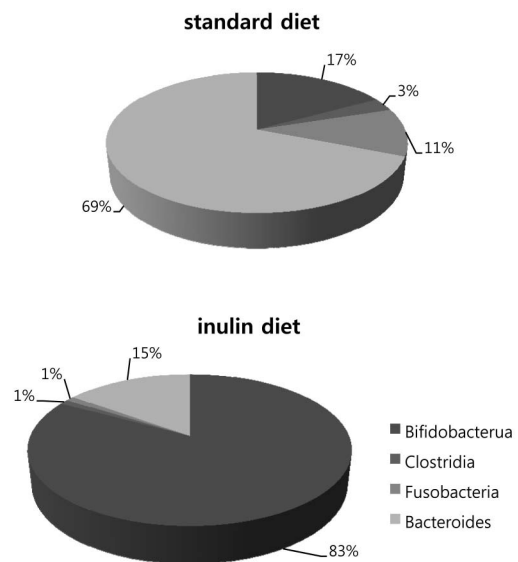


그림 4. 이눌린을 섭취 하였을 때와 하지 않았을 때의 인간의 배변 microflora의 구성 차이 (in vivo) (10)

낮아 설탕의 대체 감미료로 사용이 가능하다. 실제로, 요거트(yogurt)에 설탕 대체 감미료로 칼로리가 낮은 이눌린을 사용하여 관능평가를 하였을 때 설탕을 사용했을 때와 비슷한 수준의 식감과 질감을 나타내었고 칼로리는 더 낮았다는 연구결과가 보고된 바 있다 (1). 이외의 많은 연구결과에 따르면 여러 나라에서 유제품 등 많은 식품에서 설탕의 대체 감미료로 사용되어 칼로리를 낮추는 역할로 쓰이고 있다 (11).

이눌린은 수용성식이섬유로서 기타 음식물과 함께 섭취 시 음식물이 위와 장을 통과하는 시간을 지연시켜 장내의 영양소 흡수 속도를 조절하며 간에서 지방생성효소의 활성을 낮춰준다. 결과적으로 간의 지질 생성 물질과 VLDL(very low-density lipoprotein) 분비 능력을 감소시켜 혈중 지방 성분과 콜레스테롤의 증가를 방지할 수 있어 고혈압이나 동맥경화 예방에 도움을 줄 수 있다 (12).

이눌린은 동물의 위액과 소화효소에 의하여 분해되지 않는데 이 중 80% 이상이 대장에 도달하여 장내 미생물의 성장기질로 이용된다는 연구결과가 있다. 사람의 장내에는 400가지 이상의 다양한 박테리아가 존재한다 (13). 이 때 이눌린은 장내미생물인 박테리아의 성장과 장내 활

동을 선택적으로 촉진 시켜주며 결장 내의 균총을 유지시켜주는 프리바이오틱스(prebiotics)의 역할을 수행한다. 이에 이눌린과 이를 영양원으로 삼는 프로바이오틱스(probiotics) 균주 또는 장내미생물을 함께 신바이오틱스(synbiotics)로 볼 수 있게 된다 (10). 그림 4는 사람에게 평상시와 하루에 5-20g 정도의 이눌린을 복용하였을 때의 장내미생물의 활성의 정도를 나타낸 그래프이다.

이눌린은 장내 소화 효소에 의해서는 분해되지 않지만 장내 미생물에 의한 발효에 의해 짧은 결합의 지방산과 젖당(lactose)이 생산되어 신체 내에서는 1.5 kcal/g의 에너지를 내는 것으로 알려져 있다. 이 과정에서 생성된 짧은 결합의 지방산이 독소 및 발암물질의 생성을 야기하는 장내 병원균을 억제하는 역할을 하여 암을 예방하는 효과를 가져온다는 연구결과가 보고되었다 (14, 15). 쥐에게 종양을 이식하고 26일 후 쥐에게 대조군에게는 전분, 실험군에게는 이눌린, 프락토올리고당(fructooligosaccharides), 펙틴(pectin)을 각각 경구 투여하였을 때 46일 동안 종양의 성장 면적을 관찰한 결과이다. 전분을 경구 투여한 대조군은 종양의 면적이 급격히 증가한 반면 이눌린과 프락토올리고당을 섭취한 쥐는 종양의 면적이 느리게

표 1. 이눌린의 특징 및 가능성을 입증하는 실험적 증거 요약 (22)

Property or target function	Supportive evidence
Dietary fiber	Oligo/polysaccharide
	Resistant to digestion
Bowel functions	Fermentation
	Bulking effect
Stool production	Regulation of stool production
	Improved stool consistency
Colonic microflora	Substrates for anaerobic saccharolytic fermentation
	Selective stimulation of growth of health-promoting bacteria(e.g., bifidobacteria)
Bioavailability of Ca and Mg	Increased absorption of Ca/Mg
	Increased bone mineral content/density
Lipid homeostasis	Reduction of triglyceridemia
	Reduced cholesterolemia
Cancer development	Reduction of lipid pool in obese rats
	Slowing of tumor growth
	Reduction of risk of metastasis
	Improved efficacy of cancer therapies

증가하는 결과를 얻은 것을 보여 이눌린의 항암 효과를 뒷받침 하였다 (16).

또한, 이눌린의 섭취는 골다공증의 예방에 관련된 칼슘 및 마그네슘, 철분과 같은 무기질의 흡수를 향상 시킨다고 보고되었다 (17). 소장에서 흡수되지 못한 이눌린이 대장으로 칼슘과 함께 이동하게 되면 대장에서는 수용성인 이눌린을 흡수하기 위해 물의 흡수가 증가하게 되고 이때 수용성인 칼슘의 흡수 역시 증가하게 되는 것이다. 따라서 이눌린은 골밀도를 증가시키는 역할을 하는 칼슘의 흡수를 용이하게 하여 뼈를 단단하게 하는데 도움을 준다 (18). 표 1에 실험적 근거에 의한 이눌린에 관한 특성을 정리하여 나타내었다.

#### 4. 이눌린 추출 방법

돼지감자는 세포벽 안의 액포에 이눌린을 저장하고 있다. 따라서 효과적으로 이눌린을 추출하고자 한다면 식물 세포벽을 구성하는 셀룰로오스(cellulose)를 파괴해야 하는데, 그에 앞서 돼지감자 시료가 추출 용매와 닿는 표면적을 최대한 늘리기 위하여 다음과 같은 일련의 전처리 과정을 거치게 된다.

먼저, 돼지감자의 껍질을 제거하고 잘게 슬라이스 한 후 열풍 건조와 분쇄 과정을 시행해 수분을 제거한 건조 분말의 형태로 만든다. 이 과정 중에서 약 80%의 수분이 증발 되고 건조분말을 약 16% 정도 얻을 수 있다고 알려져 있다. 얻어진 건조 분말은 일정간격의 체에 내려 분말 입자 크기를 균일화 한 후 시료로 사용한다.

얻어진 돼지감자 시료에서 이눌린을 추출하는 방법은 크게 물리적 방법과 화학적 방법으로 나눌 수 있다. 물리적 방법에는 열수를 용매로 사용하여 교반하며 이눌린을 추출하는 열수 추출법, 그리고 초음파를 사용하여 용매와 시료의 혼합물을 교반하며 이눌린을 추출하는 초음파 추출법이 있다. 효소를 이용하여 세포벽을 파괴해 이눌린의 추출을 용이하게 해주는 효소적 추출법은 화학적 방법에 해당된다.

##### 4.1. 열수추출

열수 추출은 시료를 액상으로 추출하는 데 있어 가장 보편적이고 전통적인 방법으로 알려져 있다. 열수를 이용

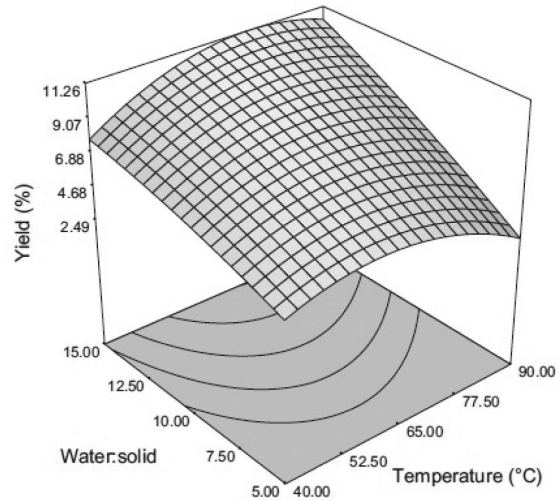


그림 5. 우엉에서의 열수 추출 조건에 따른 수율의 변화 (19)

하여 돼지감자 세포벽을 파괴해 이눌린의 용출을 유도하는 원리이며, 다른 추출 방법들과는 달리 열수와 교반기 외에는 실험 장비를 요하지 않기 때문에 경제적이며 간단한 방법이다. 그러나 열수를 용매로 이용하여 추출하는 방법이기 때문에 얻고자 하는 물질이 열에 안정하지 못한 특성을 가지고 있다면 제약이 따른다. 이눌린의 경우 열에 비교적 안정한 것으로 알려져 있고, 이눌린의 분해 효소인 이눌리나아제(inulinase)의 불활성을 위하여 60-90 °C 의 열수를 사용하기도 한다.

그림 5는 우엉에서의 이눌린 추출의 최적조건을 찾기 위해 추출시간, 추출온도, 추출용매인 증류수와 돼지감자 분말의 비율을 변수로 고려하여 진행된 실험 결과이다 (19). 이와 같은 실험을 통해 여러 가지 추출 변수를 이용하여 최적 추출 조건을 얻을 수 있다.

##### 4.2 초음파추출

초음파추출은 시료에 20kHz 정도의 초음파를 지속적으로 방출시켜 물질 이동과 내부 입자의 확산을 용이하게 하는 방법이다. 액체 상의 시료에 초음파를 가할 경우, 저압과 함께 기포들이 생성되는 '공동현상' 이 발생하게 되는데, 기포들이 터지면서 발생하는 충격파에 의해 화합물과 입자들이 조직으로부터 괴리되게 된다 (20).

식물세포로부터의 추출은 세포벽의 파괴를 요하게 되는

데, 이 때 초음파를 사용할 경우 세포벽의 파괴가 용이해 지게 되기 때문에 단 시간 내에 높은 수율을 보이는 추출을 시행할 수 있게 된다. 돼지감자의 경우, 이눌린은 액포(vacuole) 속에 저장되어 있기 때문에 초음파추출을 이용할 시 이눌린의 추출을 용이하게 해주어 추출 수율을 높여준다 (19).

초음파 추출은 크게 두 가지로 분류되는데, 첫 번째는 돼지감자 건조분말과 증류수 혼합물에 소니케이터(sonicator)의 프로브(probe)를 이용하여 직접 초음파를 가하는 방법이고 두 번째는 세척용 소니케이터를 이용하여 혼합물에 간접적으로 초음파를 가하는 방법이다. 초음파를 가하는 방법은 일반적인 열수추출 방법보다 2배 이상의 빠른 추출시간과 높은 이눌린의 수율을 나타내어 더 효과적이고 신속한 방법인 것으로 나타났다 (21).

### 4.3. 효소적 가수분해에 의한 추출

돼지감자의 이눌린은 세포의 액포 내에 다량 함유되어 있다. 따라서 이눌린을 추출하고자 할 경우에 세포벽을 물리적 방법을 이용하여 파괴하기도 하지만 효소적 가수분해와 같은 화학적 방법 역시 이용 가능하다. 세포벽은 섬유소로 이루어져 있으므로 보통 셀룰라아제(cellulase)를 이용하여 섬유소의 가수분해를 유도해 세포벽을 파괴하게 된다. 효소는 기질특이성을 나타내기 때문에 효소적 가수분해를 이용할 경우 물리적 추출 방법과는 달리 파괴하고자 하는 물질만을 선택적으로 파괴할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 열수 추출과 효소적 가수분해를 이용하였을 때 이눌린의 추출 수율이 효소를 처리하지 않고 열수 추출만을 사용한 대조군과 비교 시 유의적인 차이를 보이지 않았다는 연구 결과가 보고된 바 있기 때문에 (21) 열수 추출법이나 초음파 추출법 보다는 이용 빈도가 낮은 편이다.

## 5. 이눌린의 분석 방법

돼지감자로부터 추출한 추출액의 이눌린 함량을 구하는 것은 전체 추출물 중에서 이눌린이 차지하는 질량을 구하는 과정이다. 이눌린은 수용성이므로 기본적으로 추출액의 이눌린의 함량을 구하기 위해서는 불용성 성분을 제거해야 한다. 이는 여과와 원심분리에 의해 수행되며 이렇게 불용성 성분이 제거된 추출액을 시료로 하여 특정 분

석 방법에 의해 이눌린 함량을 구할 수 있게 된다. 분석 방법은 추출액을 구성하고 있는 탄수화물의 특징을 이용한 화학적 분석법에서부터 추출액에 들어있는 물질들을 크로마토그래피에 의해 분석하여 표준물질과의 비교를 통한 함량 분석에 이르기까지 다양하다.

### 5.1. 총당 환원당 분석을 통한 이눌린의 함량 측정

이 방법은 실험실 수준에서 실시할 수 있는 간단하고도 상대적으로 저렴한 이눌린 분석 방법이다. 돼지감자로부터의 추출에 의해 얻은 추출액에 존재하는 탄수화물 성분은 대부분 비환원당에 속하는 이눌린과 기타 포도당, 과당과 같은 환원당으로 구성되어 있다. 따라서 총 탄수화물 함량과 환원당 함량의 차이를 이눌린의 함량이라고 볼 수 있다. 이에 따라 이눌린을 표준물질로 하여 돼지감자 추출액을 페놀황산법(phenolsulphuric acid method)을 시행해 총 탄수화물 함량을 구하고, 환원당의 함량은 D-(-)-Fructose를 표준물질로 하여 디니트로살리실산법(dinitrosalicylic acid method)을 이용하여 측정한다 (22). 이 측정값을 다음과 같은 식에 대입하여 계산하면 돼지감자 분말로부터의 이눌린 추출 수율을 얻을 수 있다.

$$\text{이눌린 추출 수율(\%)} = (\text{이눌린 함량} \times \text{추출액의 부피} / \text{돼지감자 분말의 질량}) \times 100$$

### 5.2. 얇은 층 크로마토그래피(Thin layer chromatographic; TLC)

얇은 층 크로마토그래피는 실리카겔(silica gel), 이온교환셀룰로오스(ion exchange cellulose)와 같은 고정상 위에서 이동상에 의해 혼합물이 이동할 때 혼합물을 이루고 있는 물질들의 이동 속도 차이를 이용해 분리, 분석하는 방법이다. 일반적으로 얇은 층 크로마토그래피 분석을 위해서는 고정상으로 GF254 pates를, 이동상 용매로는 Butanol-isopropanol-water-acetic acid(7:5:4:2)를 이용한다. 돼지감자 추출액의 분석을 시행하고자 할 경우는 이눌린, 과당, 포도당 등을 표준물질로 선정하고 추출액과 함께 전개시켜 강산 등으로 발색시키면 돼지감자 추출액에 포함된 이눌린을 분석할 수 있다. 그러나 이눌린은 분자량이 일정하지 않은 물질이므로 이러한 중합도 차이에 의한 시각적 판단으로는 정확한 분석이 어렵다는 단점이

있다. 따라서 얇은 층 크로마토그래피는 그 자체로서 분석법으로 이용하기보다는 HPLC를 시행하기 전 전처리로 사용하기 적절하다 (23).

### 5.3 고성능 음이온 교환 크로마토그래피

고성능 음이온 교환 크로마토그래피(High-performance anion exchange chromatographic; HPAEC)에 펄스식 전기 화학검출기(pulsed amperometric detection; PAD)를 부착시킨 HPAEC-PAD를 이용하여 돼지감자 추출액의 이눌린 함량을 분석하는 방법이다. HPAEC-PAD는 천연물이나 생체 시료 내에서의 탄수화물의 분석에 매우 효과적인 기기로 분석 시간이 빠르고 매우 높은 해상도를 가진 것이 특징이다 (24). HPAEC-PAD는 전기화학검출 기기 중 하나로써 금 전극에 양전하를 주었을 경우 탄수화물이 산화가 되는 원리를 이용하여 함량을 측정하는 기기이다. HPAEC-PAD를 이용하여 돼지감자의 추출액을 시료로 분석하면 시료의 피크 면적을 표준물질의 피크 면적과 대조하여 이눌린의 정량 분석이 가능하다 (23).

## 6. 이눌린의 시장성

최근 이눌린의 다양한 기능성에 대한 연구 결과가 보고되면서 이를 이용한 다양한 이눌린 제품이 개발되고 있다. 이와 더불어 이눌린 공급원에 대한 관심 또한 증가하고 있는데, 돼지감자 역시 여기에 해당된다. 돼지감자는 현재 1kg 당 3000-4000원으로 일반 감자에 비해 값이 저렴하며, 건조중량의 75%가 이눌린으로서 그 함량이 매우 높은 편이다. 건조중량의 대부분이 이눌린이기 때문에, 이를 특별히 가공하지 않고 분말 혹은 환 형태로 만들어 직접 식품에 첨가할 수 있게 한 제품도 판매되고 있다.

다양한 이눌린 가공품 중 이눌린의 낮은 열량, 저충치성 등을 이용하여 설탕 대체 감미료로 사용하는 경우가 가장 일반적이며, 이 외에도 체중 조절용 기능성 식품이나 당뇨병 환자를 위한 식품에 이눌린이 첨가물로서 사용되기도 한다. 또한 화장품, 바이오 연료 등 이눌린 자체의 화학적 특성을 이용하여 식품 분야 외에 다른 분야에서도 이눌린을 활용하기 위한 시도가 증가하고 있다 (그림 6).

이눌린은 설탕에 비해 약간 낮은 감미도를 갖긴 하지만,



그림 6. 돼지감자 제품의 여러 형태

열량과 혈당지수(glycemic index: GI)가 낮고 물에 잘 녹는 등 가공성이 좋아 대체 감미료로서 폭넓게 활용되고 있다. 일반적으로 감미료로 사용되는 이눌린 제품은 추출한 이눌린을 좀 더 분해하여 제품화한다. 따라서 감미료용 이눌린은 과당, 포도당과 다양한 중합도를 지닌 이눌린으로 구성된 혼합 당이 된다. 이렇게 이눌린을 분해하여 사용할 경우 저열량, 혈당 상승억제라는 이눌린의 기능성은 그대로 유지하면서 감미도는 상승시킬 수 있다는 이점이 있다. 실제로 이눌린이 주요 성분인 아가베(agave)로부터 추출한 '아가베 시럽'은 설탕보다 약 30% 이상 높은 감미료를 지니면서도 혈당지수는 설탕의 1/3 수준에 불과하기 때문에 많은 제품에서 설탕 대신 이용되고 있다.

이눌린의 낮은 열량을 이용한 또 다른 제품으로 체중조절용 음료를 들 수 있다. 이눌린은 열량이 낮다는 것 외에도, 식이섬유로서 배변활동을 개선시키고 포만감을 주는 역할을 때문에 음식 섭취량을 감소시키는 효과가 있다. 돼지감자를 착즙하여 그대로 제품화하기도 하며, 이눌린을 가르시니아 캄보지아(garsinia cambogia)와 같이 체중 조절에 효과가 있는 다른 기능성 물질과 혼합하여 음료 형태로 만들기도 한다.

또한 현미 죽과 돼지감자 죽을 적절히 배합한 후, 이를 발효시켜 만든 막걸리 제조법에 대한 특허가 출원되어 있다 (특허번호: 10-2012-0117052). 이렇게 제조한 막걸리는 맛이 더 부드럽고 칼로리가 낮으면서도 트림과 숙취를 발생시키지 않는다는 특징이 있다. 그 밖에도, 당뇨병 환자를 대상으로 하여 돼지감자 분말을 첨가한 파스타 면,

쿠키, 차 등이 개발되어 있다.

한편, 이눌린은 식품 분야 이외에 화장품 시장과 바이오 연료 분야에도 응용되고 있다. 화장품 분야에서는 주로 '이눌린 라우릴 카바메이트(inulin lauryl carbamate)'라는 형태로 사용되며 화장품 내에서 천연 유효제 역할을 한다. 식물에서 추출한 이눌린과 라우릴이소시아네이트를 반응시키면 이눌린 라우릴 카바메이트를 얻을 수 있다. 바이오 연료 분야에서는 바이오 에탄올의 소재로 사용된다. 이눌린으로 만든 바이오 에탄올을 차량 연료 첨가제로 사용할 경우, 휘발유만 사용했을 때보다 일산화탄소 배출량과 휘발성 유기 화합물(volatile organic compound: VOC)이 감소되어 연료의 연소에 의한 대기 오염을 저감화할 수 있다는 보고가 있다 (25). 이처럼, 돼지감자와 그로부터 추출한 이눌린은 다양한 분야에 활용이 가능하기 때문에 무궁무진한 시장 가능성이 기대된다.

### III. 결론

돼지감자(*Helianthus tuberosus* L.)는 저온 및 척박한 토양 환경에서도 잘 생장하는 식물이며, 자생력이 강하고 많은 수확량을 얻을 수 있는 장점이 있는 작물이다. 돼지감자는 건조 중량의 75% 정도의 이눌린을 함유하고 있는데, 이눌린은 인간의 배변활동, 장내 미생물의 활성화에 영향을 주며 낮은 열량으로 인해 체중 조절 식품과 당뇨병 환자의 식이 요법에 응용 될 수 있는, 부가가치가 높은 물질로 알려져 있다. 또한 이눌린은 식품 산업뿐만 아니라 화장품, 바이오 에탄올 등 다양한 분야에서 그 활용 가능성이 보고되어 있다. 그러나 돼지감자는 현재까지 수확량에 비해 수요량이 적어 많은 양이 수확되지 않거나 버려지고 있는 실정이다. 이는 돼지감자에 포함된 이눌린의 영양적 가치에 비해 좀 더 대중적으로 많은 수요를 창출할 수 있는 마땅한 사업 모델이 아직 없기 때문이다. 하지만 시중에서 돼지감자는 저렴한 값에 유통되고 있기 때문에 돼지감자에서 이눌린을 추출, 정제하여 사용한다면 경제적 측면에서 높은 가치 창출을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

이를 위해서는 먼저 돼지감자와 이눌린에 대한 적극적인 홍보를 통해 소비자들로부터의 호응을 이끌어내는 노력이 필요하다. 그리고 돼지감자로부터 이눌린의 추출 수율을 극대화시키는 연구는 현재 이눌린을 추출하는 주요

식물들에 비해 아직 미흡한 실정이기 때문에 관련된 연구를 진행하여 경제성을 더욱 확보하는 것이 중요하다. 또한 지금보다 다양한 식품에의 적용과 의약품 개발로의 사 용처 확대를 모색하는 것이 최우선 과제라고 생각된다.

이는 정부와 관련 부처의 지속적인 관심과 연구 지원이 필요한 사안이다. 만약 이러한 노력이 결실을 맺는다면 재배 농가들은 경작물을 버리는 손실을 이익으로 전환시킬 수 있을 것이고 관련 산업들이 같이 발전하여 많은 부가가치를 창출할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- (1) Park IB and Baik SH. Epidemiologic characteristics of diabetes mellitus in Korea: current status of diabetic patients using Korean health insurance database. Korean Diabetes J. 33: 357-362 (2009)
- (2) Yi H, Zhang L, Hua C, Sun K, Zhang L. Extraction and enzymatic hydrolysis of inulin from Jerusalem artichoke and their effects on textural and sensorial characteristics of yogurt. Food Bioprocess Technol. 3: 315-319 (2010)
- (3) Kim YS, Lee SJ, Hwang JW, Kim EH, Park PJ, Jeon BT. Antioxidant activity and protective effects of extracts from *Helianthus tuberosus* L. leaves on t-BHP induced oxidative stress in chag cells. J. Korean Soc Food Sci Nutr. 40: 1525-1531 (2011)
- (4) FAO, Food Comnd position Tables for the Near East, FAO Food and Nutrition: <http://www.fao.org/> (1982)
- (5) Park SO, Park BS. Effects of dietary inuloprebiotics on egg production and on the microbial ecology and blood lipid profile of laying hens. J. Life Sic. 7: 880-888 (2012)
- (6) Azorin-Ortuno M, Irban C, Ceron JJ, Tecles F, Allende A, Tomas-Barberan FA, Espin JC. Effect of low inulin dose with different polymerization degree on lipid metabolism, mineral absorption, and intestinal microbiota in rats with fat-supplemented diet. Food Chem. 113: 1058-1065 (2009)
- (7) Guggisberg D, Cuthbert-Steven J, Piccinali P, Bütikofer U, Eberhard P. Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. Int. Dairy J. 19: 107-115 (2009)
- (8) Brighenti F, Casiraghi MC, Canzj E, Ferrari A. Effect of consumption of a ready-to-eat breakfast cereal containing inulin on the intestinal milieu and blood lipids in healthy male volunteers. Eur. J. Clin. Nutr. 53: 726-733 (1999)
- (9) Lee EH, Lee YJ, Choi OB, Kang SM. Effect of a combined diet of Jerusalem artichoke's inulin, lotus leaf and herb extracts in obesity-induced white rat with fat diet. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 50: 295-303 (2007)
- (10) Wise EC, Heyl FW. Failure of a diabetic to utilize inulin. J. Am. Pharm. Soc. 20: 26-29 (1931)



- (11) Gibson GR, Roberfroid MB. Dietary modulation of the human colonic microbiota-introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.* 125: 1401-1412 (1995)
- (12) Arbeeny CA, Meysers DS, Bergquist KE, Gregg RE. Inhibition of fatty acid synthesis decrease very-low density lipoprotein secretion in the hamster. *J. Lipid Res.* 33: 843-851 (1992)
- (13) Niness KR. Inulin and Oligofructose: What Are They?. *J. Nutr.* 129: 1402s-1406s (1999)
- (14) Gibson GR, Beatty ER, Wang X, Cummings JH. selective stimulation of bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin. *Gastroenterology.* 108: 975-982 (1995)
- (15) Wollowski I, Rechkemmer G, Pool-Zobel BL. Protective role of probiotics and prebiotics in colon cancer. *Am J. Clin. Nutr.* 73: 451s-455s (2001)
- (16) Taper HS, Roberfroid M. Influence of inulin and oligofructose on breast cancer and tumor growth. *J. Nutr.* 129: 1488s-1491s (1999)
- (17) Brighenti F. Effect of consumption of a ready-to-eat breakfast cereal containing inulin on the intestinal milieu and blood lipids in healthy male volunteers. *Eur J Clin Nutr* 53: 726-733 (1999)
- (18) Carabin IG, Flamm WG. Evaluation of safety of inulin and oligofructose as dietary fiber. *Regul. Toxicol. Pharm.* 30(3): 268-282 (1999)
- (19) Milani E, Koocheki A, Golimvahhed QA. Extraction of inulin from Burdock root(*Arctium lappa*) using high intensity ultrasound. *Int J. Food Sci and Tech.* 46: 1699-1704 (2011)
- (20) Sanchez C, Ericsson M, Carlsson H, Colomsjö A, Dyremark E. Dynamic sonication-assisted solvent extraction of organophosphate esters in air samples. *J. Chromatogr. A.* 957: 227-234 (2002)
- (21) Kierstan M. Studies on enzymic methods for extraction of inulin from Jerusalem artichokes. *Enzyme Microb. Technol.* 5(6): 445-448 (1983)(22) AOAC. Official methods of analysis (16th ed.). Washington: Association of Official Analytical Chemists. (1995)
- (23) Lingyun W, Jianhua W, Xiaodong Z, Da T, Yalin Y, Chenggang C, Tianhua F, Fan Z. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. *J. Food Engineering.* 79(3): 1087-1093 (2007)
- (24) Lee YC. Carbohydrate analyses with high-performance anion-exchange chromatography. *J. Chromatogr A.* 720(1-2): 137-149 (1996)
- (25) Bailey, B.K., Performance of ethanol as a transportation fuel, in *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*, Wyman,C.E.Ed. 37-60 (1996)