전분 유래 저열량 식품소재의 개발과 산업적 이용

Development and industrial application of low-calorie food ingredients derived from starches

정현정*
Hyun-Jung Chung*

전남대학교 식품영양과학부
Division of Food and Nutrition, Chonnam National University

Abstract

Indigestible carbohydrates as dietary fiber have attracted interest of consumers due to their several physiological benefits. Recent definitions of dietary fiber have included other indigestible carbohydrates such as resistant starch and resistant maltodextrins, which are natural, colorless, odorless and tasteless low-calorie food ingredients. Unlike some carbohydrates and digestible starches, indigestible starch and maltodextrin resist enzymatic hydrolysis in the upper gastrointestinal tract, resulting in little or no direct glucose absorption. In addition, there is increased microbial fermentation production of short-chain fatty acids in the large intestine. As an emerging functional low-calorie food ingredient, resistant starch and maltodextrin have been shown to have equivalent or superior impacts on human health compared to conventional fiber-enriched food ingredients. In this paper, the definition, strategies to enhance dietary fiber content in foods, some potential health benefits, and applications in food industry for indigestible starch and maltodextrin are summarized and discussed.

Keywords: starch, low-calorie food, food ingredient, indigestible starch, indigestible maltodextrin.

서론

최근 식생활의 급속한 서구화로 식이섬유의 섭취 부족이 문제가 되기 시작하였으며 비만과 당뇨를 포함하는 생활습관병이 증가하고 있다. 이러한 여러 성

*Corresponding author: Hyun-Jung Chung
Division of Food and Nutrition, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea
Tel: +82-62-530-1330
Fax: +82-62-530-1339
E-mail: hchung@jnu.ac.kr
Received October 30, 2019; revised November 4, 2019; accepted November 8, 2019

인병의 발병과 식사와 밀접한 관계가 있다는 것이 밝혀짐에 따라 건강을 증진하는 기능성 소재의 개발과 이를 이용한 식품이 상품화되고 있다. 소비자들은 체중조절을 위하여 저열량 식품(low-calorie food)을 많이 이용하고 있다. 저열량 식품은 체중조절을 위해 알려진 식이요법의 번거로움, 장기간 사용의 어려움, 감소된 체중의 재증가 등의 단점을 보완할 수 있다(Lee, 2007). 탄수화물, 단백질, 지질은 모두 에너지 영양소이지만 체중조절을 위해 식사 중 탄수화물의 조성을 변화하여 열량을 감소시키는 소재나 제품이 많이 이용되고 있다.

탄수화물은 인간의 생명 유지를 위한 필수적인 에너지 영양소이다. 탄수화물의 저장형태인 전분(녹말, starch)은 자연에 가장 풍부하게 존재하는 물질 중 하나이며 쌀, 보리, 밀 등의 곡류와 감자, 고구마 등의 서류에 많이 들어 있는 저장 다당류로서 사람과 동물의 에너지원으로 가장 중요한 영양소이다. 전분 대부분은 인체 내 소장에서 포도당으로 소화되어 흡수되기에 과도한 전분질 식품의 섭취는 여러 성인병 발병의 원인이 되기도 한다(Chung, 2010). 그러나 전분의 구조적 특징이나 가공방법에 따라 느리게 소화되거나 일부는 소화되지 않기도 한다. 이러한 전분 특성은 유지하면서 열량을 감소시킬 수 있는 전분은 혈당 및 지방대사의 조절, 장내 기능 조절 효과를 지니는 것을 알려져 소재연구와 산업적 적용이 활발하게 진행되고 있다. 저열량 전분 유래 소재로 난소화성 전분(저항전분, resistant starch)과 전분으로부터 효소분해를 통해 생산하는 난소화성 말토덱스트린이 식품소재로 많이 활용되고 있다. 이에 본 논문에서는 저열량 전분 유래 소재로 난소화성 전분과 난소화성 말토덱스트린의 개발과 제품 현황에 관해 기술하고자 한다.

본론

1. 저열량식품

1.1. 저열량식품의 종류

열량섭취를 줄이려는 소비자들이 많아지면서 여러 가지 제품들이 개발되고 시판되고 있다. 열량을 감소시킨 제품이 이를 표시하기 위해서 주로 "저열량" 또는 "열량감소"라는 용어를 쓴다(Chung, 1998). 일반적으로 저열량식품은 3가지 형태로 나눌 수 있다. 1) 체중감소를 목표로 고안된 식품으로 일상식사 대용으로 나온 식품, 2) 정상 식품에서 단순당이나 지질을 대체하는 성분을 이용하여 열량을 줄인 것, 3) 원래 열량이 적은 식품이다. 1번 형태의 저열량식품은 한 끼 식사를 대신할 수 있도록 고안된 제품으로 열량은 낮고 단백질 및 미량영양소 등을 강조하고 있다. 체중 감량을 위한 대체식으로 시판되고 있는 제품은 생식과 선식이다. 채식 열풍이 불면서 생식과 선식의 시장은 크게 성장했었다. 생식과 선식에는 난소화성 전분이나 전분 유래 저열량 성분들이 포함될 수 있다. 3번 형태의 저열량식품은 설탕을 대체한 sugar free 식품과 지방대체제를 활용한 식품으로 열량감소를 유도하기에 체중감소 및 비만치료에 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 설탕 대체 저열량식품은 설탕을 당알코올, 올리고당류, 인공감미료로 대체해 열량을 줄이는 것을 목표로 한다. 지질은 설탕보다는 더 많은 열량을 내기 때문에 지방대체제는 더 많은 열량감소를 가져와 비만 예방에 효과가 있을 것으로 기대된다. 식품 내에 존재하는 지방은 텍스쳐나 향미에 많은 영향을 미쳐 식품의 관능성과 소비자의 기호도를 결정하는 가장 중요한 요인으로 작용한다(Hwang, 1998). 그러나 과도한 지방의 섭취는 비만을 비롯한 다양한 성인병을 유발하기 때문에 지방대체제의 개발에 대한 필요성이 대두되고 있다. 지방의 텍스쳐나 풍미를 유지하면서 대체할 수 있는 식품은 탄수화물계, 단백질계 및 지질계로 나눌 수 있다. 전분 유래 저열량 소재의 이용은 탄수화물계 지방대체제이기에 본 논문에서 다루고자 한다.

Table 1. Carbohydrate-based fat replacer in low-calorie food (Adapted from Lee, 2007)

Fat replacer from carbohydrate	Source	Calorie (kcal/g)	Application	Product
Maltodextrin	Corn starch, potato starch, tapioca starch	2-4	Bulking agent, salad dressing, margarine, frozen dessert	Globe (Ingredion)
Polydextrose	Dextrose mixture	1	Frozen dairy product, pudding, baked goods	Sta-Lite (Tate & Lyle)
Oatrim	Partial hydrolysis with oat starch	1-4	Dairy product, frozen dessert, baked goods	Trimchoice (Staley)
Modified starch	Starches from corn, potato, wheat and oat	1-4	Processed meats, salad dressing, dairy product frosting	Versafibe (Ingredion)

1.2. 탄수화물계 저열량식품

탄수화물계 저열량식품은 지방대체 저열량식품의 대부분을 차지하고 있으며 전분 및 이의 유도체, 셀룰로오스 및 이의 유도체, 검류, 펙틴, 폴리덱스트로오스, 난소화성 말토덱스트린 등을 소재로 사용하고 있다(Table 1). 폴리덱스트로오스(polydextrose)는 전분으로부터 유도된 포도당을 주원료로 부원료인 솔비톨 및 구연산을 배합하여 고온고압하에서 중합반응시켜 생산한다. 폴리덱스트로오스는 열량이 1 kcal/g로 매우 낮은 열량을 제공하기 때문에 대표적인 저열량 식품소재로 분류된다. 오트림(oatrim)은 귀리의 겨나 외피 부분을 효소를 이용하여 부분 가수분해하여 제조하며 중성지방과 같은 식감을 가지며 체내 흡수가 안 되기에 저열량 소재로 저지방 제빵류, 쿠키류, 마요네즈, 육가공제품 등에 사용된다. 감자, 쌀, 타피오카 전분을 효소 또는 산으로 가수분해하여 생산하는 말토덱스트린이 지방대체제로 사용되었고 최근에는 난소화성 말토덱스트린이 생산되고 열량이 2 kcal/g로 저열량식품 소재로 이용되고 있다. 변성전분은 감자, 밀, 옥수수, 쌀 등의 전분을 화학적, 물리적 및 효소적으로 본래의 구조나 물성을 변화시켜 제조한다. 일부의 난소화성 전분이 이에 해당하며 소화가 거의 되지 않기에 유제품, 냉동후식, 제과제빵의 저열량 소재로 활용되고 있다.

2. 저열량 소재로서의 난소화성 전분

2.1. 난소화성 전분의 정의

건강한 삶과 식생활의 중요성이 인식되면서 저열량 식품소재의 관심이 증가하고 소비자의 기호를 충족시킬 수 있는 제품의 개발이 요구되고 있다. 이에 체내 소화효소에 의해 분해되지 않는 난소화성 탄수화물(indigestible carbohydrate)의 관심이 증가하고 있고 여기에 당알콜, 폴리덱스트로오스, 난소

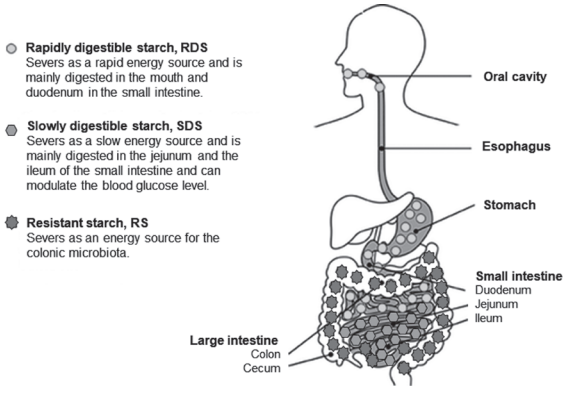

Figure 1. Starch nutrition fraction and position of digestion in human gut (Adapted from Sorndech et al., 2017).

Table 2. Nutritional classification of starch (Adapted from Jeong et al., 2019)

Type of starch	Food source	Digestion description (location)	Structure
Rapidly digestible starch (RDS)	Freshly cooked starchy food	Rapid (mouth and small intestine)	Amorphous
Slowly digestible starch (SDS)	Granular starch (maize and pulse starches) and partially retrograded starch	Slow but complete (small intestine)	Rigid amorphous /imperfect crystalline
Resistant starch (RS)		Resistant (fermentation in colon)	Mainly crystalline
RS1-physically inaccessible starch	Partly milled grains and seeds		
RS2-resistant starch granules	Raw potato and green banana		
RS3-retrograded starch	Cooked, cooled potato, bread, and corn flakes		
RS4-chemically modified starch	Chemically cross-linked and acetylated starches		
RS5-amylose-lipid complex	The amylose-lipid complex fraction in starches		

화성 말토덱스트린, 난소화성 전분 등이 포함된다.

전분을 섭취하면 체내에서 소화효소에 의해 완전히 분해되어 에너지원으로 사용되는 것으로 알려져 왔었는데 1980년대 이후로 전분 중에 체내에서 소화되지 않는 부분이 있다고 보고되었다(Englyst 등, 1992). 전분은 소화 속도에 따라 빨리 소화되는 전분(신속소화성 전분, rapidly digestible starch, RDS), 천천히 소화되는 전분(지소화성전분, slowly digestible starch, SDS), 그리고 소화되지 않는 전분(저항전분, resistant starch, RS)으로 구분된다(Table 2). Fig. 1과 같이 RDS는 소장 상부에서 빠르게 소화되기에 혈당을 빠르게 증가시킨다. 이에 RDS 함량이 높은 식품을 자주 섭취하게 되면 당뇨나 심혈관질환을 유발하는 것으로 알려져 있다. 대부분의 전분질 가공식품은 높은 RDS 함량을 함유한다. 그에 비교해 SDS는 소장 전체를 통과하면서 서서히 소화되지만, 대부분이 소화되고 흡수되어 에너지로 활용된다. RDS와 비교하면 소화 속도가 느리기에 식후 포만감을 향상하고 혈당조절에 도움을 주는 것으로 알려져 있다.

저항전분은 소장에서 소화되지 않는 전분과 전분 분해물의 총합이라고 정의하고 있다. 저항전분은 난소화성 전분(indigestible starch)이라고 불리기도 하며 식이섬유와 유사한 생리적 특징을 가지고 있다. 본 보고에서는 저열량식품의 소재로서의 활용을 위한 개념으로 난소화성 전분이란 용어를 사용하고자 한다. 난소화성 전분은 소장에서 소화되지 않고 대장으로 넘어가 미생물에 의해 발효되어 단쇄지방산(short-chain fatty acid, SCFA)을 생성함으로써 장내 유익한 미생물의 생장을 촉진해 대장암을 예방하고 중성지방을 낮추는 효과 있다고 알려져 있다(Kang 등, 2006). 이러한 특징은 난소화성 전분이 저열량 소재로 이용되어 설탕과 지방을 대체하는 중요한 원인이 된다.

2.2. 난소화성 전분의 종류와 제조

난소화성 전분은 다양한 생리활성을 가지고 있기에 저열량식품 제조에 많이 이용되는 소재이다. 난

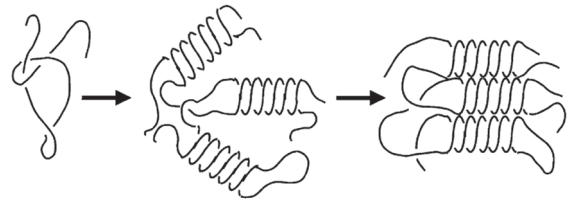

Figure 2. Schematic of amylose retrogradation (Adapted from Haralampu, 2000).

소화성 전분은 5가지의 형태로 구분하고 있다(Sajilata 등, 2006; Jeong 등, 2019).

제1형 난소화성 전분(RS type 1 또는 RS1). RS1은 물리적으로 유세포 등의 세포구조에 갇혀 있는 전분으로 효소가 접근할 수 없기에 난소화성 특징을 가진다. 도정이나 제분으로 제조된 생식이나 선식에서의 높은 난소화성 전분이 이에 해당한다. 그러나 RS1의 RS 함량은 비교적 낮으며 또한 식품제조에 이용되는 가공방법으로 물리적 장벽이 무너지기에 RS 함량이 현저히 낮아지기 때문에 산업적 이용은 높지 않다.

제2형 난소화성 전분(RS type 2 또는 RS2). RS2는 감자, 바나나, 고아밀로오스 옥수수에서 추출된 생전분을 말하며 효소 저항성을 나타낸다. 예로 감자전분과 고아밀로오스 옥수수전분은 70% 이상의 높은 RS 함량을 나타낸다(Englyst 등, 1992). 일부 생전분에서의 높은 RS 함량은 그들의 표면과 결정구조가 다른 전분과 달라 효소의 분해에 저항성을 나타내기 때문으로 보고되고 있다(Thompson, 2000). 그러나 RS2는 열처리 및 조리 과정 중에 전분이 호화되면 대부분 소화효소에 의해 쉽게 분해되어 효소 저항성을 잃게 된다. 감자전분을 가열 처리할 경우 1% 이하의 RS 함량을 나타낸다(Shin, 2004). 이에 RS2는 가열하지 않거나 수분이 제한적으로 사용되어 호화되지 않은 형태의 식품이나 제약산업에서 저열량 소재로 사용될 수 있다.

제3형 난소화성 전분(RS type 3 또는 RS3). RS3는 노화된 전분을 나타내며 Fig. 2와 같이 가열로 호화된 전분을 냉각시키면 분자 간의 수소결합으로 아밀로오스 분자들의 회합이 일어나고 이런 과정을 통해 전분의 결정성 부분이 증가하게 되고 효소의 저항성을 나타낸다. RS3의 장점은 높은 온도에서 가열 처리하여 만든 가공식품에서도 여전히 효소에 대한 저항성을 유지하는 것이다. RS3는 일반적으로 아밀로오스 함량이 높은 고아밀로오스 옥수수전분을 가열-냉각과정을 거쳐 전분의 재결정화를 촉진시켜 제조한다. 이때 가열온도, 냉각온도, 수분함량, 가열과 냉각의 반복 수에 따라 다양한 RS 함량을 나타낸다(Annison과 Topping, 1994). 한편 찰옥수수 전분에 α-1,6결합을 끊어주는 분지절단효소(debranching enzyme)을 가하고 가열과 냉각을 반복하면 아밀로펙틴 사슬이 이중나선구조가 형성되고 이들이 강한 결정성을 형성하기에 효소 저항성을 나타낸다. 제조된 RS3에 열에 안정한 α-amylase를 처리하면 무정형과 불완전한 결정성 영역이 분해되어 효소저항성을 가지는 영역만 존재하게 되어 RS 함량을 현저히 높일 수 있다(Chung 등, 2011). RS3의 결정성 부분을 향상하기 위하여 습열처리(heat-moisture treatment)를 하면 제공된 열에 의해 분자간 수소결합이 증가하여 단단한 결정성을 형성함으로써 RS 함량을 증가시킬 수 있다(Chung 등, 2009). 전분 내부에 존재하는 지질을 제거하여 가열과 냉각과정을 거치면 아밀로오스 결정을 더 많이 만들 수 있기에 RS 함량을 높일 수 있다고 보고했다(Eerlingen 등, 1994). RS3 함량을 증가시켜 새로운 저열량 전분 소재로 개발하기 위해서 고려할 사항은 아밀로오스/아밀로펙틴 함량, 수분함량, 분지절단효소 처리, 가열온도, 냉각온도, 가열-냉각 반복횟수, RS 분리방법 등이며 효과적인 조건과 방법을 찾는 연구가 필요하다. RS3는 식품소재로 국내외 여러 회사에서 시판되고 있고 이를 이용한 저열량 식품들이 소비자들에게 판매되고 있다.

제4형 난소화성 전분(RS type 4 또는 RS4). 전분의 가공적성의 단점을 개선하기 위하여 화학적으로 변성 처리하여 다양한 성질을 갖는 산화전분, 치환전분, 가교전분 등을 만들어 다양한 식품에 첨가제로 사용해 오고 있다. 이중 가교전분은 화학적 가교제로 전분 분자 가교결합에 의해 산, 열, 전단에 안정성을 부여하고 점성이나 겔 형성을 조절하는 데 이용되었는데 이러한 가교전분은 소화효소에 의해 접근이 어려워 분해되지 않는 전분의 함량이 높았으며 이를 RS4로 분류하고 있다(Woo와 Seib, 2002). 가교결합 정도 또는 가교제의 농도를 CODEX에서 제한한 범위 내에서 증가하면 전분분해효소의 작용이 억제되기에 RS함량이 증가한다. 고아밀로오스 옥수수전분으로부터 제조된 가교전분이 EU에서 식품첨가제로 이용되고 있다(Sajilata 등, 2006). 가교결합과 함께 다양한 기능기를 치환하면 RS 함량을 더 높일 수 있다고 보고하고 있다. 아세틸기, 하드록시프로필기, 호박산기를 치환하고 가교결합제를 처리하면 효소 접근에 구조적인 방해를 유도하기에 효소 저항성을 나타낸다고 보고되었다(Hoover 등, 1988). RS4의 장점으로는 생전분과 같은 입자 형태를 유지하고 있기에 수분흡수력이 낮아 우수한 가공적성을 가진다. 또한 부분적인 호화를 유도하여 수분흡수정도를 조절하여 목적에 맞는 소재를 생산할 수도 있다(Woo와 Seib, 2002). 일부의 가교전분은 지방대체제로 사용되고 있다. RS4에서 가교제의 종류와 농도, 치환제의 혼합 사용, 반응온도와 시간, 부분적인 호화 정도 등을 고려하여 목적에 맞은 저열량 소재를 개발할 수 있을 것이다.

제5형 난소화성 전분(RS type 5 또는 RS5). RS5는 전분에 존재하는 아밀로오스-지질복합체를 의미한다. 생전분이나 전분을 가공할 때 아밀로오스-지질복합체가 발견되며 이는 효소 저항성을 나타낸다(Ai, 2013). 전분에서 아밀로오스-지질복합체가 존재하면 조리나 가공 중에 입자의 팽윤을 제한하기 때문에 효소의 접근이 어렵게 만든다. 아밀로오스-지질복합체는 전분내의 아밀로오스의 결정구조와 지질의 분자구조에 따라 효소의 저항성이 다르게 나타난다. 부분적으로 가수분해된 고아밀로오스 옥수수전분과 지방산으로 제조된 전분은 75% 정도의 RS 함량을 나타냈다(Hasjim 등, 2010). 아밀로오스-팔미트산 복합체로 제조된 빵을 섭취하였을 때 일반 식빵 섭취에 비해 혈당과 인슐린 반응이 현저히 감소함을 보고하였다(Hasjim 등, 2010). 이러한 RS5는 혈당과 인슐린을 조절할 수 있기에 당뇨, 비만, 고혈압 등의 성인병을 예방하는 데 도움을 주는 물질로 보고되고 있다. RS5에서는 아밀로오스 분자구조, 지방산의 종류, 반응온도와 시간 등에 따라 RS 함량이 달라지기에 저열량 소재로 개발 시 고려해야만 한다.

2.3. 난소화성 전분의 분석방법

난소화성 전분을 분석하기 위해서 다양한 *in vivo* 와 *in vitro* 방법이 사용되고 있다. *In vivo* 방법은 인간, 돼지, 쥐를 대상으로 다양한 조건들이 이용되고 있으며 난소화성 전분의 정의가 생리학적인 부분이기에 *in vivo* 방법이 정확성을 나타내지만, 방법상의 어려움, 정밀성, 재현성 등에 단점을 가지고 있기에 다양한 *in vitro* 방법으로 *in vivo* 결과를 유추하고 이를 많이 이용하고 있다.

초기 in vitro 방법. Englyst 등(1982)을 시작으로 많은 난소화성 전분의 *in vitro* 분석 방법들이 보고되었다. 기본적인 난소화성 전분의 측정은 소화성 전분을 α-amylase로 가수분해하고 남은 잔사에서 RS 함량을 측정하는 것이다. 난소화성 전분 함량 측정에서 전분 시료의 특성, protease 처리, α-amylase 종류, amyloglucosidase 처리, buffer의 pH, 교반 속도가 결정적인 영향을 미쳤다. Berry(1986)는 10 mg의 전분 시료, porcine pancreatic α-amylase와 pullulanase의 복합 효소 처리, pH 5.2의 buffer와 42℃에서 16시간 반응으로 과도한 실험조건을 사

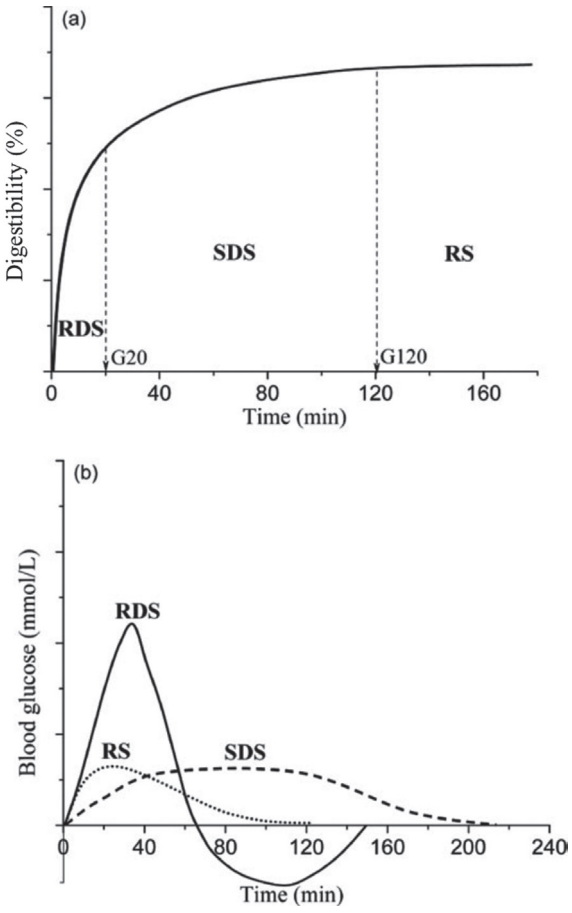

Figure 3. Classification of the bioavailability of nutritional starch fractions.
(a) *In vitro* digestion using the Englyst assay (G20 and G120 indicate glucose released after 20 and 120 min, respectively) and (b) *in vivo* glycemic response to RDS, SDS, and RS (Adapted from Miao et al., 2015).

용하였다. 이러한 방법은 RS2의 분석에 효과적으로 알려지기도 했다.

Englyst in vitro 방법. Englyst 등(1992)은 효소의 종류와 반응조건을 달리하여 *in vivo* 조건인 인체 내에서 일어나는 전분의 장내 소화작용의 결과를 모방한 *in vitro* 방법을 제시하였다. Fig. 3과 같이 RDS, SDS, RS 함량을 *in vitro* 실험의 결과를 가지고 제시하였으며 RS 함량도 RS1, RS2, RS3로 세분화하여 측정하는 방법을 제시하였고 현재까지 다양한 연구에서 많이 이용되고 있다. 본 방법의 특징으로 전분질 식품을 0.9 cm의 구멍을 가진 mincer로 통과시켜 시료의 크기를 표준화, pancreatin-amyloglucosidase-inverase의 혼합 효소 사용, 점도의 표준화를 위하여 guar gum 첨가, 인체 내의 chewing을 모방하기 위하여 glass ball 첨가, pH 5.2의 buffer에서 37℃로 반응, 시료를 포함한 용기를 수평으로 170 rpm으로 교반등의 방법을 사용한 것이다. 그로 얻어진 소화 곡선이 Fig. 3a와 같고 이로부터 초기 20분까지 분해되는 전분을 RDS, 20분과 120분 사이에 분해되는 전분을 SDS, 그리고 120분 이후에도 분해되지 않은 전분을 RS로 분석하였으며 이는 Fig. 3b에서의 *in vivo* 상에서의 혈당 변화와 유사한 결과를 보였다고 보고했다.

잔사의 가수분해에 의한 RS 분석. Englyst법은 가수분해하여 총 전분에서 분해된 전분의 함량을 뺀 부분을 RS로 분석한다면 남은 잔사에서 직접 RS 함량을 구하는 방법들도 많이 이용되고 있다. Muir와 O'Dea(1992) 방법은 식품을 사람들에 의해 chewing한 시료 사용, 위 통과를 모방하기 위하여 펩신을 pH 2.0에서 30분간 반응, porcine pancreatic α-amylase와 amyloglucosidase를 pH 5.0와 37℃에서 6시간 반응하고 남은 잔사를 heat-stable α-amylase을 100℃에서 처리, dimethyl sulfoxide (DMSO)를 끓은 온도에서 1시간 처리, pancreatic α-amylase/amyloglucosidase를 50℃에서 반응하여 포도당 농도를 구함으로써 RS함량을 구하였다. Champ 등(1999)은 건조하고 고운 가루를 시료로 사용, pancreatic α-amylase로 37℃에서 16시간 반응하고 남은 잔사를 KOH로 0℃에서 처리, 연속적으로 amyloglucosidase로 처리하여 RS 함량을 구하였다. Goni 등(1996)은 펩신으로 전처리, 균질한 시료를 α-amylase로 37℃에서 16시간 반응, 가수분해 후 잔사를 KOH로 상온에서 처리하여 RS 함량을 구하였다. Akeberg 등(1998)도 다양한 전분질 식품에서 RS 함량 구하는 방법을 제시하

였는데 펩신 처리 전 사람들에게 chewing한 시료를 사용, pancreatic α-amylase/amyloglucosidase를 pH 5.0과 40℃에서 16시간 반응, 반응 시 미생물의 성장을 막기 위하여 isopropanol을 첨가하여 반응하고 남은 잔사를 ethanol로 침전하고 여과하여 얻은 후 소화성 저분, 난소화성 전분, 식이섬유로 분류하여 분석하였다.

AOAC/AACC International 방법. AOAC/AACC에서 승인된 방법으로 주로 식이섬유 함량 분석을 목적으로 이용되었다. Englyst법과 효소의 종류와 반응조건을 달리하여 사용되었다. McCleary와 Monaghan(2002)에 의해 개발되었으며 소화성 전분은 pancreatic α-amylase/amyloglucosidase를 pH 6.0과 37℃에서 16시간 분해하고 상층액과 침전물로 분리하였다. 상층액의 포도당 농도를 분석하고 침전물은 얼음 속에서 KOH로 처리하고 amyloglucosidase로 50℃에 반응하여 RS 함량을 분석하였다. Englyst 법에서 사용하는 pepsin를 처리하지 않은 이유는 pancreatin이 단백질 가수분해 특성을 일부 가지고 있기 때문이다. 이 분석법으로 얻은 RS 함량이 많은 *in vivo* 결과와 높은 상관성을 보였으며 다양한 inter-laboratory 연구에서도 재현성이 우수하여 AOAC(method 2002.02)/AACC(method 32-40)로 승인되어 사용되고 있다.

현재까지 난소화성 전분의 함량을 구하는 많은 방법이 소개되었지만 구하는 방법에 따라 다양한 난소화성 전분의 함량이 나타난다. 간편하고 정확하면서 국제적으로 승인된 방법의 사용이 저열량 식품에서의 난소화성 전분의 함량 분석에서 중요하다고 볼 수 있다. 또한 난소화성 전분이 소재로 사용되어 제조된 저열량 식품이 소재에서 기인한 RS 함량뿐 아니라 조리, 가공, 저장 중에 생성된 RS 함량을 정확하게 측정하는 방법도 중요할 것이다.

2.4. 난소화성 전분의 생리활성

난소화성 전분을 American Association of Cereal Chemists International은 식이섬유의 범주에 포함하고 있다. 이는 난소화성 전분이 식이섬유와 비슷한 생리활성을 가지고 있기 때문이다(Sajilata 등, 2006). 난소화성 전분에 대한 기능성은 다양한 동물 및 임상연구를 통하여 보고되고 있다.

혈당과 인슐린 반응 감소 효과. 난소화성 전분은 소장에서 흡수되지 않은 전분으로 섭취 후 혈중의 포도당 함량과 인슐린 농도가 감소하였다. 5가지 형태의 RS를 이용한 연구결과에서 파스타(RS1, Granfeldt와 Bjorck, 1991), 고아밀로오스 옥수수전분(RS2, Behall 등, 2006), 노화된 전분(RS3, Reader 등, 1997), 가교전분(RS4, Al-Tamimi 등, 2010), 지방산-고아밀로오스 옥수수전분(RS5, Hasjim 등, 2010)은 대조군인 옥수수전분에 비해 혈당과 인슐린 농도가 감소함을 보고하였다. 결과적으로 지속해서 난소화성 전분을 함유한 식품을 섭취할 경우 혈당과 인슐린 농도를 낮추어 이와 연관된 당뇨병, 심혈관 질관, 대장암을 예방할 수 있다고 보고되었다. 또한 난소화성 전분의 함량이 높은 식품은 혈당지수(glycemic index, GI)를 현저히 낮출 수 있다. 낮은 혈당지수(low GI) 식품은 혈당과 인슐린의 농도를 낮추어 만성질환의 위험을 감소시키는 것으로 알려져 있다. 이는 난소화성 전분의 혈당과 인슐린 반응 감소와 일치하는 결과이다.

인슐린 민감성 증가와 제2형 당뇨병 예방. 난소화성 전분은 소장에서 흡수되지 않은 전분이기에 섭취 후 인슐린의 농도가 감소하고 이는 인슐린의 민감성을 증가시키는 원인이 된다. 인간을 대상으로 한 많은 연구에서 난소화성 전분은 인슐린 민감성을 증가시킨다고 보고하고 있다(Maki 등, 2012). 인슐린 민감성 감소는 당뇨병이나 심혈관질환 등을 포함하는 대사성질환과 연관되어 있기에 지속적인 난소화성 전분의 섭취는 당뇨병을 포함하는 대사성질환을 중재하고 예방하는데 효과적인 식이 성분으로 볼 수 있다.

혈중지질 농도 개선과 비만 예방. 난소화성 전

분의 섭취는 혈중 중성지방과 콜레스테롤 수치를 낮춘다고 보고되고 있다(Cheng과 Lai, 2000). 또한 난소화성 전분의 섭취는 식후 지방 산화를 촉진하기 때문에 지속적인 섭취는 지방축적을 감소시키고 결국 비만을 예방할 수 있다(Shimotoyodome 등, 2010). 일반적으로 전분이 완전히 소화되었을 때 열량은 4 kcal/g인데 난소화성 전분은 대장에서 발효에 의해 생성된 단쇄지방산 흡수로 인해 발생하는 열량으로 1.6~2.8 kcal/g를 내는 것으로 알려져 있다(Shin, 2004). 결과적으로 난소화성 전분의 섭취는 낮은 열량을 내기에 비만을 예방할 수 있다. 또한 난소화성 전분의 섭취는 지질의 배설을 증가시키고 배변의 양을 증가시켜 비만을 조절할 수 있다고 보고했다.

장 건강 향상. 난소화성 전분의 섭취는 소장에서 소화되지 않고 식이섬유와 같이 대장에서 장내 미생물에 의해 단쇄지방산(아세트산, 프로피온산, 뷰티르산)으로 발효되어 대장의 pH도 낮추어 대장암 억제에 효과가 있다고 알려져 있다(Zhao 등, 2011). 난소화성 전분의 섭취는 배변의 양을 증가시켜 장에서의 발암유발 물질을 희석하는 효과를 주어 이들의 노출을 최소화함으로써 장 건강을 향상할 수 있다고 보고했다(Hylla 등, 1998).

무기질 흡수 향상. 난소화성 전분이 장내에 무기질 흡수에 대한 미치는 영향에 대한 일부 보고가 있었다. Morials 등(1996)은 16.4% RS을 포함하는 식사는 일반 100% 소화되는 전분을 포함하는 식사에 비교해 칼슘과 철분의 흡수가 현저하게 높았다고 보고하였다. 난소화성 전분은 장내 무기질흡수에 긍정적인 효과를 지닌다고 할 수 있다(Sajilata 등, 2006).

난소화성 전분은 식이섬유와 비슷한 생리활성을 갖지만, 실제 식품에 적용 시 장점이 있다. 난소화성 전분은 입자가 작고 색이 하얗고 특별한 냄새와 맛이 없기에 제빵, 파스타, 시리얼, 스낵 제품 등에 식이섬유 함량을 높이거나 제품의 품질을 향상하는 데 효과적으로 이용할 수 있다.

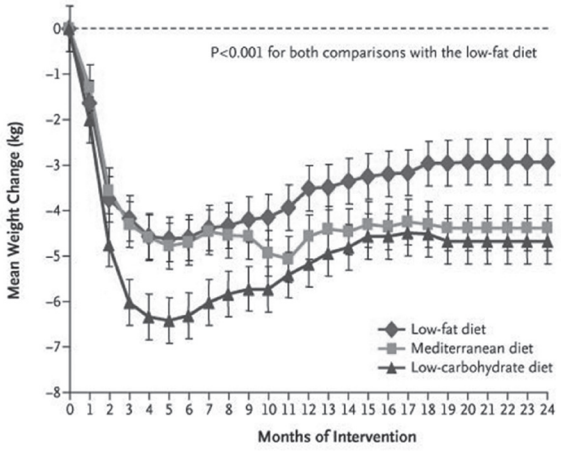

Figure 4. Weight changes during 2 years according to diet group (Adapted from Shai et al., 2008).

2.5. 난소화성 전분을 활용한 제품

전 세계적으로 대사성 증후군에 의한 질병이 증가하고 이에 따른 사회적 비용 증가하고 있다. 현재 대부분의 나라에서 섭취하는 식이섬유량은 하루 필요량에 훨씬 못 미치는 것으로 알려져 있다(Shin, 2004). 이에 최근 들어 건강에 관한 관심이 증가하면서 고식이섬유, 저지방, 저열량 식품의 개발이 식품업계에서 중요한 과제 중의 하나이다. 앞서 언급했듯이 난소화성 전분은 혈당감소, 대장암 예방, 지방축적 억제, 비만 개선, 장 건강 향상, 무기질흡수 향상과 같은 기능성이 있어 활용성이 높아 이와 관련한 제품들이 시중에 판매되고 있다. Shai 등(2008)의 연구에 따르면 2년간의 임상실험에서 지질제한식이나 지중해식이보다 저탄수화물식이가 체중조절에 효과적이라는 보고를 했다(Fig. 4). 이는 난소화성 전분과 같은 저열량 탄수화물 식이의 중요성과 이를 이용한 제품의 필요성을 설명하고 있다. 난소화성 전분은 기존 식이섬유 소재들과 비교하면 밀가루와의 좋은 호환성, 낮은 수분흡수력에 의한 높은 crispiness, 스낵이나 과자류 등에 첨가하면 습기가 많은 기간에 눅눅

Table 3. Possible application in low-calorie foods of resistant starches (Adapted from Shin, 2004)

Types of food product	Application
Bakery products	Bread, cake, cookie, pastry, hard roll, bagel
Noodles	White salted noodle, yellow alkaline noodle, ramen, pasta, dumpling, starch noodle
Flour mix	Premix flour, RS supplemented wheat flour
Rice products	Rice cake, rice cookie
Extruded products	Snack, breakfast cereal, noodles
Fat replacer	Fat free or low fat dressing, sauce, low fat cheese, ice cream, yogurt
Encapsulating material	Powdered flavoring, capsule for probiotics
Coating material	Enriched cereal grains, coating powder for mochi
Pharmaceutical formulation	Excipient, binder, diluent powder
Absorbent	Anti-caking agent

해져 품질이 저하되는 문제점을 줄일 수 있어 저장성을 개선할 수 있다. 또한 난소화성 전분의 제조에 이용되는 전분의 종류에 따라 입자의 크기, 팽윤력, 수분보유력, 텍스쳐 등을 포함하는 이화학적 특성이 다르기에 제품에 특성에 맞게 맞춤형 난소화성 전분을 제조할 수 있는 장점이 있다(Min, 2014). 그러나 난소화성 전분은 일반 전분이 가지는 호화 특성이 식품의 제조 공정 중 발현되지 않고 수분흡수력이 너무 낮아 최종제품의 결착력 저하, 반죽 형성능 저하 등의 단점을 가지기도 한다(Min, 2014).

현재 판매되고 있는 난소화성 전분은 RS2, RS3, RS4이다. RS2는 Ingredion사에서 Hi-Maize®로 판매되고 있으며 천연 그리고 클린라벨로 식이섬유 함량이 60% 정도이다. European Food Safety Authority (EFSA)는 RS2의 섭취는 식후혈당을 감소할 수 있으며 Food Standards Australia New Zealand (FSANZ)는 RS2의 섭취는 소화계를 건강하게 유지할 수 있다고 보고했다. 한편 US Food and Drug (FDA)는 고아밀로오스 옥수수전분은 제2형 당뇨병의 발병을 줄일 수 있다고 했으나 제한적인 과학적 근거라고 설명했다. RS2는 저열량 식이 소재로 이용될 뿐 아니라 식이섬유 소재, 글루텐-프리, 클린라벨로 주목받고 있다.

RS3는 Ingredion사에서 Novelose® 330으로 판매되고 있으며 고아밀로오스 옥수수전분을 가열하여 노화시킨 소재이다. Novelose® 330은 낮은 수분보유력과 높은 가공 안정성을 가지고 있어 압출성형 식품이나 영양강화 식품에 첨가하여 식이섬유의 함량을 증가시키는 목적으로 사용되고 있다.

RS4는 Ingredion사에서 Novelose™과 Versafibe™으로 판매되고 있다. 타피오카 전분으로 제조된 RS4인 Novelose™ 3490은 90%의 식이섬유를 함유하고 밀로 제조한 RS4인 Novelose™ W는 85%의 식이섬유 함량을 나타내고 천연 밀의 맛과 텍스쳐를 가지고 있기에 밀을 소재로 한 식품의 식이섬유 함량을 향상하기 위한 목적으로 사용되고 있다. Versafibe™ 1490은 감자로부터 제조된 RS4며 90%의 식이섬유 함량을 나타내고 천연의 맛과 텍스쳐를 가지고 있다. 이러한 Ingredion사의 RS4는 식이섬유 함량을 강화하는 목적으로 사용하고 있으며 제조한 식품에 맛과 향 그리고 텍스쳐에 큰 영향을 주지 않는 장점이 있다. 특히 높은 식이섬유 함량을 함유하고 있기에 저열량 탄수화물 소재로 여러 나라에서 판매되고 있다.

대상주식회사에서 RS4의 단점을 개선하여 식품 제조 공정 중 일반적인 전분의 호화 특성을 나타내고 식품의 식이섬유 함량을 증가시키려는 목적으로 RS-FiberGel60을 판매하고 있다(Min, 2014). 햄버거 번에 RS-FiberGel60을 적용하면 기존 제품과 같은 관능적 특성을 보이면서도 식이섬유 함량을 6%까지 향상할 수 있다고 보고했다. 또한 RS2인 고아밀로오스 옥수수전분보다 노화 안정성이 높아 저장성을 향상했다고 보고하였다. 최종제품의 관능적 품질은 유지하면서 식이섬유 함량을 향상함으로써 저열량 식품소재로 활용 가능성이 크다고 할 수 있다.

난소화성 전분은 저열량 식품소재로서 수용성 식이섬유 소재(올리고당이나 폴리덱스트로오스)와는 특성이 다르기에 적용되는 식품이 다르다. 난소화성 전분은 비전분 다당류인 식이섬유와 비슷한 용도로 식품에 적용되고 있다. 위에 언급한 것처럼 저열량 식품에 식이섬유를 첨가하는 것보다 난소화성 전분을 첨가하는 것이 많은 장점이 있다. 현재까지 난소화성 전분은 Table 3과 같이 주로 제빵과 제과산업, 면류제품, 스낵이나 시리얼제품, 샐러드드레싱, 아이스크림, 냉동 후식 등에 일부 첨가되어 식이섬유 함량을 높이는 데 주로 사용되고 있다(Shin, 2004). 그러나 난소화성 전분은 콜로이드 상태의 식품으로부터 모든 고체형태의 식품까지 다양한 식품에 적용할 수 있으며 난소화성 전분은 지방대체제로서의 기능도 있고 안정제나 계면활성제로의 역할도 할 수 있기에 더욱 다양한 식품 분야로 활용이 확대될 것으로 생각된다.

3. 저열량 소재로의 난소화성 말토덱스트린

3.1. 난소화성 말토덱스트린의 정의 및 제조

말토덱스트린(maltodextrin)는 전분을 산이나 효소로 가수분해시켜 얻은 당화 중간생성물을 농축, 건조의 방법으로 얻은 물질이다(Parikh 등, 2014). 말토덱스트린의 규격은 백색의 분말상으로 DE (dextrose equivalent)가 20 미만이다. 말토덱스트린은 단맛이 있고 냄새가 거의 없으며 물에 쉽게 용해되는 특성이 있다. 또한 보습효과가 뛰어나며 점도를 증가시키는 증점효과가 있고 식품 고유의 맛과 향에 영향을 주지 않은 장점이 있다. 그 외에도 소화 흡수성이 양호, 음료의 바디감 부여, 빙점을 조절, 당의 재결정 억제효과, 광택성 부여의 특징이 있다. 이러한 특징은 제과류, 캔디류, 제빵류, 아이스크림류에서 보습성 향상, 식감개선, 성형성 향상, 설탕 재결정 억제, 증점효과, 고형분 함량증가, 냉해동 안정성 향상 등을 목적으로 사용되고 있다. 말토덱스트린은 단순 탄수화물이기에 쉽게 소화되고 에너지원(4 kcal/g)으로 이용된다. 빠르게 소화되어 에너지원으로 이용될 수 있는 특징은 스포츠음료의 소재로 사용되기도 한다. 말토덱스트린은 긴 전분 사슬에 2-3%의 포도당과 5-7%의 말토스(maltose)로 구성되어 있다. 말토덱스트린은 전분과 같이 일정 비율의 아밀로오스와 아밀로펙틴이 존재하고 이들은 α-1,4결합과 α-1,6결합으로 연결되어 있다. 이에 인체 소화효소에 의해 쉽게 분해가 이루어진다.

식이섬유(dietary fiber)는 다른 영양소와는 다르게 사람의 소화효소에 의해 가수분해되지 않은 난소화성 성분으로 정의된다. 식이섬유는 체내에서 작용하는 것이 아니고 소화관에서 신체가 잘 기능하도록 작용하는 영양소이다. 식이섬유는 어떤 특정의 화학물질의 이름이 아니라 정의에 일치하는 많은 물질의 총칭이다. 화학물질명은 pectin, cellulose, hemicellulose, arginic acid, resistant maltodextrin, resistant starch 등이다. 이들 식이섬유는 수용성 식이섬유와 불용성 식이섬유로 나뉜다. 불용성 식이섬유는 정장 효과의 주체이며, 수용성 식이섬유는 장내 미생물의 먹이로 되는 것 외에 많은 유용한 생리적 기능이 있다. 수용성 식이섬유는 부분적으로 가수분해된 구아검이나 난소화성 말토덱스트린이 있으며 불용성 식이섬유는 밀겨와 난소화성 전분을 예로 들 수 있다(Watanabe 등, 2018).

Table 4. Dietary fibers recognized in functional ingredients for health functional foods

원료	기능성 내용	일일섭취량
구아검/구아검 가수분해물	혈중 콜레스테롤 개선, 식후 혈당 상승 억제, 장내 유익균 증식, 배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	구아검/구아검 가수분해물 식이섬유로서 ① 9.9~27 g (콜레스테롤 개선, 식후혈당 상승 억제, 배변활동 원활) ② 4.6~27 g (장내 유익균 증식)
글루코만난 (곤약, 곤약만난)	혈중 콜레스테롤 개선, 배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	글루코만난 식이섬유로서 2.7~17 g
귀리 식이섬유	혈중 콜레스테롤 개선, 식후 혈당 상승 억제에 도움을 줄 수 있음	귀리 식이섬유로서 ① 3 g 이상(콜레스테롤 개선) ② 0.8 g 이상(식후 혈당상승 억제)
난소화성 말토덱스트린	식후 혈당상승 억제, 혈중 중성지질 개선, 배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	난소화성 말토덱스트린 식이섬유로서 ① 11.9~30 g : 액상 11.6~44 g (식후혈당상승 억제) ② 2.5~30 g : 액상 2.3~44 g (배변 활동 원활) ③ 12.7~30 g : 액상 12.7~44 g (혈중 중성지질 개선)
대두 식이섬유	혈중 콜레스테롤 개선, 식후 혈당상승 억제, 배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	대두 식이섬유로서 ① 20~60 g (콜레스테롤 개선, 배변활동 원활) ② 10~60 g (식후혈당상승 억제)
목이버섯 식이섬유	배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	목이버섯 식이섬유로서 12 g
밀 식이섬유	식후 혈당상승 억제, 배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	밀 식이섬유로서 ① 6~36 g (식후혈당상승 억제) ② 36 g (배변활동 원활)
보리 식이섬유	배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	보리 식이섬유로서 20~25 g
아라비아검 (아카시아검)	배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	아라비아검 식이섬유로서 20 g
옥수수겨 식이섬유	혈중 콜레스테롤 개선, 식후 혈당상승 억제에 도움을 줄 수 있음	옥수수겨 식이섬유로서 10 g
이눌린/치커리 추출물	혈중 콜레스테롤 개선, 식후 혈당상승 억제, 배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	이눌린/치커리 추출물 식이섬유로서 ① 7.2~20 g (콜레스테롤 개선, 식후혈당상승 억제) ② 6.4~20 g (배변활동 원활)
차전자피 식이섬유	혈중 콜레스테롤 개선, 배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	① 5.5 g 이상(콜레스테롤 개선) ② 3.9 g 이상(배변활동 원활)
폴리덱스트로스	배변활동 원활에 도움을 줄 수 있음	폴리덱스트로스 식이섬유로서 4.5~12 g
호로파종자 식이섬유	식후 혈당상승 억제에 도움을 줄 수 있음	호로파종자 식이섬유로서 12~50 g

난소화성 말토덱스트린(nondigestible maltodextrin, NMD)은 옥수수 전분의 원재료를 가열하여 얻은 배소덱스트린을 α-amylase 및 amyloglucosidase로 효소분해하고 정제한 덱스트린 중에 난소화성 성분을 분획하여 제조한 식이섬유를 말한다. 현재 시판되고 있는 난소화성 말토덱스트린은 85% 이상(액상일 때 58% 이상)의 식이섬유를 함유하고 있어야 한다고 규정하고 있으며 g당 2 kcal의 열량을 제

공하고 있어 식이섬유가 풍부한 저열량 식품소재이다. 난소화성 말토덱스트린은 저항성 말토덱스트린(resistant maltodextrin, RMD)이라고 명명되기도 한다(Wang 등, 2001; Woo와 Moon, 2000a).

열처리 덱스트린(pyrodextrin)에 의해 생성된 전분 유래의 난소화성 말토덱스트린은 약 200 Da 정도의 분자량을 가진 저분자의 수용성 식이섬유로서 과거로부터 식품에 이용되었으며 FAO/WHO의 일일섭취 허용량의 상한치가 규정되지 않을 정도로 매우 독성이 적은 식품소재로 인식되었고 FDA로부터 GRAS (generally recognized as safe) 물질로 인정되었다. 천연 소재인 전분으로부터 유래된 난소화성 말토덱스트린은 수용성이며 용액상태에서 투명하고 점도와 감미도가 낮고 장내 비피더스균의 증식 인자로 보고되었다(Matsuda와 Satouchi, 1994).

전분을 물에 분산하고 호화시켜 산 또는 효소로 가수분해하여 얻은 말토덱스트린과 달리 전분의 분말 자체를 직접 가열하거나 산과 일부 촉매제를 첨가하여 가열하여 제조한 것을 열처리 덱스트린(pyrodextrin)이라고 하며 이는 난소화성 말토덱스트린의 제조 방법이다. 이러한 난소화성 말토덱스트린은 기본적으로 전분의 구조와 비슷하지만 긴 전분의 분자가 더 짧은 사슬로 가수분해되어 점도가 같은 농도에서의 전분 호화액보다 낮게 된다. 열처리 덱스트린의 종류는 백색 덱스트린, 황색 덱스트린, British gum이 있는데 백색 덱스트린은 약 120℃의 비교적 낮은 온도에서 높은 농도의 산을 첨가하여 열처리함으로 착색을 최대한 방지하여 제조하며 황색 덱스트린은 160℃ 이상에서 열처리되어 담황색 또는 갈색을 띠는 분말로 냉수에 완전히 용해되고 노화가 지연되는 효과를 가진다. 그리고 British gum은 산촉매를 사용하지 않고 소량의 알칼리를 첨가하여 보통 180-200℃로 열처리하여 제조한다(Woo와 Moon, 2000b). 열처리 과정 중 전분 분자에서 일어나는 구조적 변화는 복잡하고 명확하지는 않지만 분해(hydrolysis), 당전이(transglucosidation), 재중합의 3단계로 진행된다(Wang 등, 2001). 분해는 전분의 α-1,4와 α-1,6결합이 분해되어 분자량과 점도가 감소하는 과정이며, 당전이는 저분자화가 진행됨에 따라 생성된 저분자 전분 분획과 분지구조 내에 OH가 재조합되는 과정을 의미하고 재중합은 분해되어 생성된 포도당이나 올리고당이 높은 온도에서 큰 분자로 결합하는 과정을 나타낸다. 이러한 과정을 통하여 α-1,4와 α-1,6결합을 주체로 미량의 α-1,3와 α-1,2결합이 생성되고 복잡한 구조로 amylase로 분해되기 어렵게 되어 식이섬유로서의 생리적 기능을 가지게 된다.

3.2. 난소화성 말토덱스트린의 생리활성

현재 정부에서 건강기능식품 기능성 원료로 인정한 식이섬유는 총 14품목이다(Table 4). 난소화성 말토덱스트린은 식후혈당 상승억제에 도움을 주기 위해 일일섭취량이 난소화성 말토덱스트린 식이섬유로서 11.9~30 g (액상 원료는 11.6~44 g), 혈중 중성지질 개선에는 12.7~30 g (액상 원료는 12.7~44 g), 배변활동 원활에는 2.5~30 g (액상 원료는 2.3~44 g)이다. 일본 특정보건용 식품의 30% 초과하는 품목에 관여성분으로써 이용되는 난소화성 말토덱스트린은 해마다 사용량이 증가하고 있다. 난소화성 말토덱스트린은 식후의 혈당 및 중성지방의 상승억제작용, 혈청 콜레스테롤과 중성 지질개선, 변비와 복부 팽만감을 해소하는 정장작용과 배변활동 원활, 계속 섭취에 의한 내장 지방 저감 작용 등의 다양한 생리 기능이 인정되어 많은 식품이나 음료에 사용되고 있으며 특히 정장작용 식품과 식후혈당 상승억제작용 품목으로 주로 이용되고 있다.

난소화성 말토덱스트린은 식이섬유로 지금까지 연구실적에서 확인된 것과 같이 식이섬유 그 자체이다. 식이섬유의 생리 기능은 정장작용, 식후혈당 상승억제, 혈중콜레스테롤 저하작용, 지방축적 억제작용, 면역기능 증강작용, 무기질흡수 촉진작용

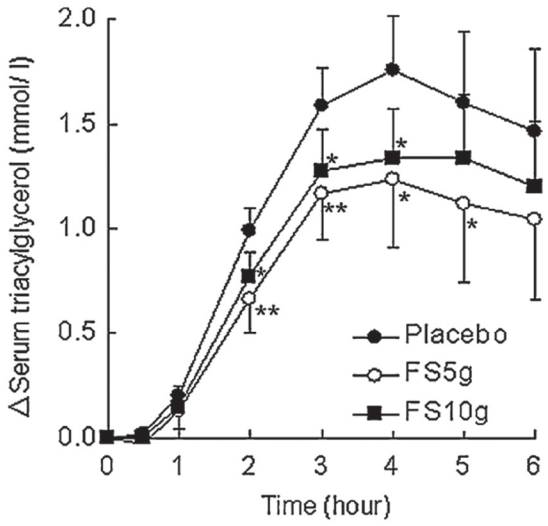

Fig. 5. Postprandial changes (differential from the pre-experiment values) in the blood triacylglycerol levels after the administration of the placebo, FS5 g (5 g RMD) or FS10 g (10 g RMD) beverage with the lipid-loading meal in human (Adapted from Kishimoto et al., 2007).

등이 알려져 있다. 그 외에도 변비 해소, 대장암 예방, 장내 균총 개선, 유해물질의 흡수와 배설, 당뇨병 예방과 인슐린 분비, 비만 예방 효과 등이 보고되고 있다.

난소화성 말토덱스트린의 인정된 건강기능식품 기능성 원료에서의 기능성 내용은 식후혈당 상승억제, 혈중 중성지방 개선, 배변 활동 원활이다. 난소화성 말토덱스트린의 혈당상승억제 작용에 관한 많은 연구가 진행되었다. Wakabayashi 등(1999)은 건강한 성인에게 난소화성 말토덱스트린을 섭취시켰을 때 섭취하지 않은 대조군에 비교해 혈당상승과 인슐린 분비가 억제됨을 확인하였고 난소화성 말토덱스트린 5.6 g을 첨가한 커피를 빵과 함께 제공하였을 경우, 일반 커피와 빵을 섭취하였을 때에 비교해 혈당이 84%밖에 오르지 않았다. Fujiwara 등(1995)의 연구에서도 성인에게 난소화성 덱스트린을 섭취시켰을 때 대조군보다 혈당 및 인슐린 분비가 저하되었다고 보고하였다 난소화성 말토덱스트린은 혈중 중성지방 개선 효과를 나타낸다. Fig. 5에서와 같이 사람을 대상으로 난소화성 말토덱스트린을 섭취한 군은 대조군에 비해 혈중 중성지방의 함량이 감소하는 결과를 나타냈다(Kishimoto 등, 2007). Woo 등(1998)의 연구에서도 난소화성 말토덱스트린 섭취한 쥐는 정상지방식이 섭취한 군에 비교해 혈중지질과 혈중콜레스테롤 저하 효과를 나타냈으며 이는 난소화성 말토덱스트린이 콜레스테롤과 담즙산을 변으로 배설을 증가시켰기 때문이었다. 난소화성 말토덱스트린 섭취는 오래전부터 대변의 양 증가에 의한 변비 개선 효과를 나타낸다고 보고하였다. 난소화성 말토덱스트린 섭취 시 배변 횟수, 배변의 양, 배변 내 수분함량이 증가하였으며 변비 유발 약물을 투입한 쥐에서 난소화성 말토덱스트린의 섭취군이 장내 세포와 표피 손상이 적게 나타나기도 하였다(Woo와 Moon, 2000b).

3.3. 난소화성 말토덱스트린을 활용한 제품

난소화성 말토덱스트린은 식이섬유로 우수한 생리 기능성을 가지고 있기에 다양한 식품소재로 판매되고 있다. 난소화성 말토덱스트린으로 직접 제조하여 판매되고 있으며(Fig. 5a) 여러 용도로 식품에 첨가되어 소비자들에게 제품으로 판매되고 있다(Fig. 5b). 난소화성 말토덱스트린으로 삼양사에서 분말과 액상(난소화성 말토덱스트린L) 형태로 판매하고 있으며 수용성 식이섬유로 상대적 감미도는 10으로 낮고 일반 말토덱스트린에 비교해 내열성과 내산성이 우수하다고 소개하고 있다. 또한 일반 말토덱스트린보다 냉해동 안정성이 우수하고 냉해동이 잦은 제품에 적용하여도 품질에 영향을 주지 않았다. 대상주식회사에서도 일본의 마쯔다니와 협력하여 옥수수 전분을 건식 가수분해하여 생산한 난소화성 말토덱스트린(Fibersol-2L)제품을 생산하고 있다. 식이섬유 함량이 90% 이상이고 무기질흡수를 방해하지 않고 낮은 점도와 향을 가지고

Fig. 6. Nondigestbile maltodextrins (a) and various food products prepared by NMD (b) in Korea.

있지 않으며 감미도가 설탕대비 1/10의 고순도 식이섬유로 소개하고 있다. 삼양사의 제품과 같이 일반 말토덱스트린에 비해 산안정성이 우수해 갈변화가 덜 발생하며 냉해동 안정성이 우수해 레토르트에 적합하였다. 그래서 건강식품에서 식이섬유 보충 소재, 음료에서 바디감 부여, 차류에서 침전예방 및 쓴맛 대체, 유가공에서 유지방의 일부 대체 소재로 사용할 수 있다.

난소화성 말토덱스트린을 소재로 하여 Fig. 5b에서와 같이 다양한 제품들이 시중에 판매되고 있다. 난소화성 말토덱스트린의 인정된 기능성 내용에 근거한 제품들이 주를 이루고 있었다. 일본의 특정 보건용 식품 시장에서 몇 해 전부터 난소화성 덱스트린을 배합한 음료가 많이 상품화되었고 우리나라에서도 난소화성 말토덱스트린과 폴리덱스트로오스를 함유한 음료 형태로 출시하여 장내 유익균 증식과 유해균 억제 및 배변활동에 도움을 줄 수 있는 건강기능 식품으로 시중에 많이 판매되고 있다. 현대인들은 식이섬유 섭취 부족으로 배변활동이 원활하지 않아 변비로 많은 고통을 겪고 있기에 난소화성 말토덱스트린을 포함한 음료는 배변 활동을 향상하기에 각광을 받고 있다. 또한 난소화성 말토덱스트린은 장내 유익균 증식에 도움을 주어 장 건강을 향상하기에 많은 제품들이 시중에 판매되고 있다. 많은 현대인은 업무로 인해 음식을 많이 먹고도 운동을 하지 않아 에너지로 쓰이고 남은 지질이 혈중에 쌓여 지방조직에 저장되기 쉽고 혈중지질이 계속해서 누적될 경우 동맥경화와 같은 질병 발생의 원인으로 발전할 수 있다. 난소화성 말토덱스트린은 혈중 중성지질개선 기능성 역시 인정받은 만큼 혈중 지질개선에 도움을 주는 제품들이 많이 판매되고 있어 다이어트에 관심이 있는 많은 소비자에게 주목받는 저열량 식품이다. 난소화성 말토덱스트린이 장내 당 흡수를 늦춰 혈당을 조절할 수 있는 기능성을 가지기에 CJ, 아모레퍼시픽, 네츄럴엔도텍 등의 기업에서 제품을 생산하고 판매하고 있다. CJ에서 판매되고 있는 즉석밥에 난소화성 말토덱스트린을 첨가하여 식후 혈당조절에 도움을 줄 수 있는 제품으로 판매되고 있다. 난소화성 말토덱스트린은 저열량 소재로 시중에 많은 제품에 이용되고 있고 앞으로도 더 많은 제품에 이용될 것으로 생각된다.

요약

소비자들은 건강에 관한 관심이 계속 증가할 것이며 이에 저열량 식품에 대한 요구에 부응하는 소재의 개발이 필요하다. 저열량 식품소재의 개발에 있어 열량을 낮춘 소재의 기능성과 최종제품의 품질을 잘 유지할 수 있는 관능성이 중요하다. 이에 난소화성 전분과 난소화성 말토덱스트린은 이러한 필요를 충족시킬 수 있는 소재이며 일반 식이섬유보다 다양한 제품에 품질을 자유롭게 조절할 수 있

는 장점이 있다. 난소화성 전분은 입자가 작고 색이 하얗고 특별한 냄새와 맛이 없기에 제빵, 파스타, 시리얼, 스낵 제품 등에 식이섬유 함량을 높이거나 제품의 품질을 향상하는데 저열량 소재로 사용되고 있고 난소화성 말토덱스트린은 식후혈당 상승억제, 혈중 중성지방 개선, 배변 활동 원활하게 하는 기능성 원료이기에 음료, 건강보조식품, 일반 식품에서 저열량 소재로 많이 활용되고 있으며 앞으로도 다양한 저열량 식품에 소재로 활용될 것이다.

참고문헌

Ai Y. Structures, properties, and digestibility of resistant starch. PhD thesis, Iowa State University, Ames, IA, USA (2013)

Akerberg AKE, Liljeberg HGM, Granfeldt YE, Drews AW, Bjorck IME. An *in vitro* method, based on chewing, to predict resistant starch content in foods allows parallel determination of potentially available starch and dietary fiber. J. Nutr. 128: 651-660 (1998)

Al-Tamimi EK, Seib PA, Snyder BS, Haub MD. Consumption of Cross-linked resistant starch (RS4XL) on glucose and insulin responses in humans. J. Nutr. Metab. 2010: 651063 (2010)

Annison G, Topping DL. Nutritional role of resistant starch: Chemical structure vs physiological function. Annu. Rev. Nutr. 14: 297-320 (1994)

Behall KM, Scholfield DJ, Hallfrisch JG, Liljeberg-Elmstahl HGM. Consumption of both resistant starch and beta-glucan improves postprandial plasma glucose and insulin in women. Diabetes Care 29: 976-981 (2006)

Berry CS. Resistant starch: Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fiber. J. Cereal Sci. 4: 301-314 (1986)

Champ M, Martin L, Noah L, Gratas M. Analytical methods for resistant starch. pp 169-187. In: Complex Carbohydrates in Foods. Cho SS, Prosky L, Dreher M (eds.) Marcel Dekker, New York, NY, USA (1999).

Cheng HH, Lai MH. Fermentation of resistant rice starch produces propionate reducing serum and hepatic cholesterol in rats. J. Nutr. 130: 1991-1995 (2000)

Chung HJ, Donner E, Liu Q. Food systems: Resistant starches in foods. Vol. 4, pp. 527-534. In: Comprehensive Biotechnology (Second Edition). Murray MY (ed.). Elsevier Science Pub., Amsterdam, The Netherlands (2011)

Chung HJ, Liu Q, Hoover R. The impact of annealing and heat-moisture treatments on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. Carbohydr. Polym. 75: 436-447 (2009)

Chung HR. 저열량식품의 표시 및 규격기준. Food Ind. Nutr. 3: 24-29 (1998)

Eerlingen RC, Cillen G, Delcour JA. Enzyme-resistant starch. IV. Effect of endogenous lipids and added sodium dodecyl sulfate on formation of resistant starch. Cereal Chem. 71: 170-177 (1994)

Englyst H, Wiggins HS, Cummings JH. Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. Analyst 107: 307-318 (1982)

Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. Eur. J. Clin. Nutr. 46: S33-S50 (1992)

Fujiwara K, Matsuoka A. Improvement of glucose tolerance by low-viscosity, water-soluble dietary fiber, indigestible dextrin. Jpn. J. Nutr. Diet. 53: 361-368 (1995)

Granfeldt Y, Bjorck I. Glycemic response to starch in pasta-a study of mechanisms of limited enzyme availability. J. Cereal Sci. 14: 47-61 (1991)

Haralampu SG. Resistant starch - a review of the physical properties and biological impact of RS_3. Carbohydr. Polym. 41: 285-292 (2000)

Hasjim J, Lee SO, Hendrich S, Setiawan S, Ai YF, Jane JL. Characterization of a novel resistant starch and its effects on postprandial plasma-glucose and insulin responses. Cereal Chem. 87: 257-262 (2010)

Hoover R, Hannouz D, Sosulski FW. Effects of hydroxypropylation on thermal properties, starch digestibility and freeze-thaw stability of field pea (*Pisum sativum cv Trapper*). Starch 40: 383-387 (1988)

Hwang JK. 저열량 탄수화물 대체 식품소재의 기능성과 산업적 이용. Food Ind. Nutr. 3: 18-23 (1998)

Hylla S, Gostner A, Dusel G, Anger H, Bartram HP, Christl SU, Kasper H, Scheppach W. Effects of resistant starch on the colon in healthy volunteers: Possible implications for cancer prevention. Am. J. Clin. Nutr. 67: 136-142 (1998)

Jeong D, Han JA, Liu Q, Chung HJ. Effect of processing, storage, and modification on *in vitro* starch digestion characteristics of food legumes: A review. Food Hydrocolloid. 90: 367-376 (2019)

Kang NE, Lee IS, Cho MS. Physicochemical and sensory quality characteristics of jelly prepared with various levels of resistant starch. Korean J. Food Nutri. 19: 532-538 (2006)

Kishimoto Y, Oga H, Tagami H, Okuma K, Gordon D. Suppressive effect of resistant maltodextrin on postprandial blood triacylglycerol elevation. Eur. J. Nutr. 46: 133-138 (2007)

Lee GJ. Low calorie foods. Clin. Diabetes 8: 320-326 (2007)

Matsuda I, Satouchi M. Agent for promoting the proliferation of

bifidobacterium. U.S. Patent 5,698,437 (1994)
McCleary BV, Monaghan DA. Measurement of resistant starch. J. AOAC Int. 85: 665-675 (2002)
Miao M, Jiang B, Cui SW, Zhang T, Jin Z. Slowly digestible starch-A review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 55: 1642-1657(2015)
Min BC. New modified food starch products and strategy of development. Food Sci. Ind. 47: 2-10 (2014)
Morais MB, Feste A, Miller RG, Lifichitz CH. Effect of resistant starch and digestible starch on intestinal absorption of calcium, iron and zinc in infant pigs. Paediatr. Res. 39: 872-876 (1996)
Muir JG, O'Dea K. Measurement of resistant starch: factors affecting the amount of starch escaping digestion *in vitro*. Am. J. of Clin. Nutr. 56: 123-127 (1992)
Parikh A, Agarwal S, Raut K. A review on applications of maltodextrin in pharmacutical industry. Rev. Article Pharmaceut. Sci. 4: 67-74 (2014)
Reader D, Johnson ML, Hollander P, Franz M. The glycemic and insulinemic response of resistant starch in a food bar vs. two commercially available food bars in persons with type II diabetes mellitus. Diabetes 46: 975-975 (1997)
Sajilata MG, Singhal RS, Kulkarni PR. Resistant starch – A review. Compr. Rev. Food Sci. Food Safety 5: 1-17 (2006)
Shai I,Schwarzfuchs D, Henkin Y, Shahar DR, Witkow S et al. Weight loss with a low-carbohydrate, mediterranean, or low-fat diet. N. Engl. J. Med. 359: 229-241 (2008)
Shimotoyodome A, Suzuki J, Fukuoka D, Tokimitsu I, Hase T. RS4-type resistant starch prevents high-fat diet-induced obesity via increased hepatic fatty acid oxidation and decreased postprandial GIP in C57BL/6J mice. Am. J. of Physiol. Endocr. Metab. 298: E652-E662 (2010)
Shin MS. Development and application of resistant starch. Food Ind. Nutr. 9: 1-9 (2004)
Sorndech W, Tongta S, Blennow A. Slowly digestible and non-digestible α-glucans: An enzymatic approach to starch modification and nutritional effects. Starch 70: 145-158 (2017)
Thompson DB. Strategies for the manufacture of resistant starch. Trends Food Sci. Tech. 11: 245-253 (2000)
Wakabayashi S, Kishimoto Y, Nanbu S, Matsuoka A. Effects of Indigestible Dextrin on Postprandial Rise in Blood Glucose Levels in Man. J. Jpn. Assoc. Diet. Fiber Res. 3: 13-19 (1999)
Wang YJ, Kozlowskl R, Delgado GA. Enzyme resistant dextrins from high amylose corn mutant starches. Starch 53: 21-26 (2001)
Watanabe N, Suzuki M, Yamaguchi Y, Egshira Y. Effects of resistant maltodextrin on bowel movements: a systematic review and meta-analysis. Clin. Experimental Gastroent. 11: 85-96 (2018)
Woo DH, Kang HS, Lee YS, Park YJ, Lee HS. Effects of indigestible dextrin on lipid metabolism in rats fed normal or high fat diet. Korean Nutr. Soc. 31: 981-990 (1998)
Woo DH, Moon TW. Methods for preparing indigestible dextrin with high digestible fraction. Korean J. Food Sci. Technol. 32: 610-617 (2000a).
Woo DH, Moon TW. Preparation of indigestible dextrin from pyrodextrin. Korean J. Food Sci. Technol. 32: 618-628 (2000b).
Woo KS, Seib PA. Cross-linked resistant starch: Preparation and properties. Cereal Chem. 70: 596-601 (2002)
Zhao YS, Hasjim J, Li L, Jane JL, Hendrich S, Birt DF. Inhibition of Azoxymethane-induced preneoplastic lesions in the rat colon by a coked stearic acid complexed high-amylose cornstarch. J. Agr. Food Chem. 59: 9700-9708 (2011)