J Korean Soc Food Sci Nutr
38(3), 352~358(2009)

한국식품영양과학회지
DOI: 10.3746/jkfn.2009.38.3.352

다당류 첨가에 따른 당근박 함유 *Leuconostoc citreum* S5 발효물의 물성변화

손민정[2] · 이삼빈[1,2†]

[1]계명대학교 자연과학대학 식품가공학과
[2]계명대학교 전통미생물자원개발 및 산업화연구센터

Effects of Various Polysaccharides on the Physicochemical Properties of the Dextran Culture Containing Carrot Juice Residue Obtained from Submerged Culture Using *Leuconostoc citreum* S5

Min-Jung Son[2] and Sam-Pin Lee[1,2†]

[1]Dept. of Food Science and Technology, and
[2]Traditional Microorganism Resources Center, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

Abstract

The physicochemical properties of dextran culture fermented by *Leuconostoc citreum* S5 were evaluated by the addition of various polysaccharides and heat-treatment. The consistency of dextran culture increased with the addition of carrot juice residue (CJR) in submerged culture, resulting in the highest consistency of 150 Pa · s^n and viable cell counts of 2.36×10^9 CFU/mL at 20% level of CJR. The dextran culture showed the pseudoplastic behavior and its consistency was greatly increased with the addition of various polysaccharides at 2% level. Addition of glucomannan indicated the highest consistency of 1275 Pa · s^n and their heat-treatment resulted in the increase of consistency except for glucomannan. After heat-treatment, the fermented dextran culture containing CJR fortified with gellan gum and carrageenan showed great change in rheology, indicating the highest consistency and hardness value resulted in the great increase of elastic and viscous moduli. The dynamic viscoelastic properties of dextran culture were greatly increased by the heat-treatment after fortification of various polysaccharides. Thus, the consistency and viable cell counts of dextran culture were increased with the addition of CJR. The rheological properties of dextran culture were manipulated by the fortification of various polysaccharides and heat-treatment.

Key words: dextran, *Leuconostoc citreum*, polysaccharide, rheology

서 론

당근은 황색이나 등황색을 띄는 대표적인 근채류로서 β-carotene, 비타민 C, 토코페롤 및 무기질, 식이섬유 등의 phytochemical이 풍부한 원료로 알려져 있다(1,2). 등황색 색소인 β-carotene은 vitamin A의 전구물질로 항산화 효과, 항암작용 및 성인병 예방 등의 기능을 가지고 있다(3). 당근은 샐러드, 생식 및 당근 생즙으로 활용되고 있으나, 생즙 제조 시에 부산물로 생산되는 당근 박은 당분, 비타민 등의 영양분을 함유하며, 85% 이상으로 높은 수분함량으로 쉽게 변질되어 식품소재로의 활용이 어려운 실정이다. 당근 박은 식이섬유가 풍부하며, 주황색 색소성분 및 영양성분을 포함하고 있어 식품소재로 사용이 가능함에도 불구하고, 당근 생즙을 제조하고 남은 당근 박은 식품소재 및 제품화에 매우 미비하다. 국내 생즙회사에서 당근 즙 생산과정에서 50% 정도가 부산물인 당근 박이 생산되고 있지만, 현재 당근 박은 주로 가축사료로 사용되며 일부 건조되어 식품소재로 활용되고 있다(4).

따라서 당근 박을 활용하여 발효를 시킴으로써 카로틴 색소 및 고분자 식이섬유인 덱스트란을 함유한 발효물을 생산하여 물성특성을 규명하며, 물성개량을 위한 식품소재로 활용을 위해 점질성의 발효물에 다양한 고분자 다당류를 첨가하여 물성 조절에 관한 연구가 필요하다. 김치 젖산균을 이용한 점질물 다당류 생산에 관한 연구로서 당근 생즙의 젖산균 발효를 통해 고분자 점질물의 효과적인 생산 및 발효물의 물성조절에 관한 연구(5) 등이 수행되었다.

김치 숙성에 관여하는 *Leuconostoc*속에 속하는 유산균들은 젖산의 생성 외에도 난소화성 식이섬유인 dextran을 생합성하는 특징을 갖는다. 이러한 고분자 dextran은 세포외 효소인 dextran sucrase에 의해 기질인 sucrose로부터 glucose로 유리시키면 동시에 중합반응을 촉매함으로써 고분자 점질성 물질인 덱스트란 다당류를 생산한다(6). 고분자

†Corresponding author. E-mail: splee@kmu.ac.kr
Phone: 82-53-580-5554, Fax: 82-53-580-5554

덱스트란은 glucose의 중합체인 homopolysaccharide로 점착성, 흡습성 및 열안정성을 가지면서 식품의 물성조절에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되고 있다(7-9). 따라서 식이섬유가 강화된 점질성의 덱스트란 발효물을 생산하기 위해 덱스트란 생산 기본배지에 당근 박을 첨가한 후 *Leuconostoc*속 균주를 이용하였으며, 생산된 고분자의 덱스트란을 함유하는 발효물의 물성조절을 위해 상업적으로 이용되는 다양한 다당류들과 상호작용 및 열처리를 통한 물성변화를 측정함으로써 발효물의 물성조절제로서의 가능성을 평가하는 것이 요구된다.

식품첨가물로서 carrageenan은 홍조류로부터 추출된 쇄상의 유황함유 고분자 다당류로서 겔 형성능이 우수하고, 열가역성이 뛰어나 푸딩과 과일젤리의 겔화제로 많이 사용되고 있고(10,11), 단백질과의 반응성이 우수하여 이를 이용해 어묵, 햄, 소시지, 게맛살의 조직개량제로도 활용되고 있다(12). 곤약으로부터 추출, 정제된 glucomannan은 포도당과 만노스가 결합된 수용성 다당류로서 유화제 및 점증제로 사용되며, 고분자 식이섬유로서 변비 개선에 탁월해 다이어트 식품으로 이용될 뿐만 아니라 특유의 겔 형성력과 다른 검류 및 전분류와 상승작용(13,14)을 가지고 있어 식품산업에 응용 범위가 넓다. 또한 xanthan gum은 열안정성이 우수한 미생물 다당류로서 과일음료, 빙과류, 마요네즈, 케첩이나 치킨소스 및 식품의 유화제, 안정제, 접착제로서 활용되고 있으며(15), gellan gum은 glucuronic acid를 포함하는 산성다당류로서 가역적인 젤 형성능을 갖는 미생물 다당류로 젤리, 잼, 파이, 푸딩, 아이스크림뿐만 아니라 유제품에 많이 이용되고 있다(16,17).

최근까지 식품의 증점제 또는 젤용으로 널리 사용되고 있는 고분자 gum 물질의 혼합 및 상호작용에 의한 물성변화에 관한 많은 연구가 수행되어 왔다(18,19). 그러나 김치 젖산균이 생산하는 고분자 다당류로서 열안정성이 있는 덱스트란 함유 발효물에 다양한 고분자 다당류의 첨가에 따른 물성의 변화에 대한 연구보고는 미비한 실정이다. 따라서 *Leuconostoc*속을 이용한 점질성의 덱스트란 함유 발효물을 생산하는 과정에서 당근 박의 첨가효과를 평가하였으며, 덱스트란 함유 발효물의 다양한 고분자 다당류를 첨가 및 열처리에 따른 물성조절제로서 가능성을 보기 위해서 견고성, 점조성 및 점탄성 등을 포함한 물성을 측정하였다.

재료 및 방법

사용균주

실험에 사용한 균주는 김치에서 분리 동정한 *Leuconostoc citreum* S5를 사용하였으며(9), 설탕이 포함된 DifcoTM Lactobacilli MRS(Becton, Dicknson and Company, Sparks, MD, USA) agar 배지를 이용하여 25℃에서 24시간 계대 배양하여 4℃에 보관하여 사용하였다.

Starter 배양

Starter 배양액은 설탕이 포함된 MRS agar 배지에서 24시간 배양된 단일 colony를 취하여 sucrose 2%, yeast extract 0.5%, tryptone 0.25%, K_2HPO_4 0.25%를 함유하는 액체배지에 접종한 후 25℃에서 24시간 정치 배양하여 starter를 제조하였다.

재료

본 실험에 사용한 당근은 2008년 경북 선산에서 생산된 당근을 구입하여 김치냉장에서 보관(0℃)하면서 사용하였고, 주스 제조기(NJ-91010, (주)엔유씨전자, 한국)를 이용하여 착즙된 당근 즙으로부터 얻어진 미세하게 파쇄된 당근 박을 사용하였다. 다당류로는 xanthan gum, carrageenan (Carragheen Co., LTD, 한국), gellan gum 및 glucomannan (Carragheen Co., LTD, 한국)을 구입하여 사용하였다. 백설탕((주)CJ백설, 한국), 감자분말(감자 100%, 감자분말, 정신물산, 한국), 스킴 밀크(서울탈지분유, 한국)를 사용하였다.

덱스트란 발효물의 제조

설탕 용액 20%, 감자분말 용액 0.5%, 스킴 밀크 용액 2% 및 당근 박을 0~20% 첨가하여 전체 부피를 100%로 한 후, starter를 2% 접종하여 25℃, 150 rpm으로 24시간 진탕 배양하여 덱스트란 발효물을 얻었다. 이 때, 감자분말 용액, 스킴 밀크 및 당근 박이 첨가되면 발효 중에 당근 박이 가라앉는 등의 침전물이 생기므로 진탕 배양을 하여 혼합액들이 잘 섞이도록 하여 발효하였다.

pH 및 적정 산도

pH는 pH meter(Digital pH meter 420A+, Thermo Orion, Beverly, MA)를 사용하여 측정하였고, 적정 산도는 시료 1 mL에 증류수 19 mL을 첨가하여 pH meter로 pH가 8.3에 도달할 때까지 0.1 N-NaOH로 적정한 소비량을 lactic acid 함량(%, v/v)으로 환산하였다.

생균수 측정

김치 젖산균에 의해 생산된 점질물 배양액 1 g을 멸균 증류수 9 mL에 혼합하여 10^6배로 단계별 희석하여 Difco™ *Lactobacilli* MRS broth agar 배지에 20 μL 도말한 후, 25℃ 항온 배양기(BI-600M, Jeio tech., Korea)에서 24시간 배양한 후의 생균수를 CFU(colony forming unit)/mL로 나타내었다.

색도

색도는 색도계(CHROMA CR-400, MINOLTA, Japan)를 사용하여 측정하였다. 원형 석영판(KONICA MINOLTA SENSING, Inc., Japan)에 시료를 담아 색도계로 3회 측정한 후 평균값을 L, a, b 값으로 나타내었다.

Texture 측정

당근 박 함유 발효물에 다당류를 첨가한 혼합 발효물의 열처리 전후의 조직감은 texture analyser(Stable micro

Table 1. Condition for instrumental texture measurements

Parameters	Condition
Pre-test speed	5 mm/sec
Test speed	3 mm/sec
Post-test speed	5 mm/sec
Distance	6 mm
Time	3 sec
Trigger force	5 g

systems, TA-XT plus, England)를 사용하여 측정하여 TPA(texture profile analysis)로 분석하였다. 시료는 지름 25 mm, 높이 20 mm의 둥근 용기에 담아 원통형의 cylinder(20 mm diameter)로 일정 속도로 눌렀을 때 변형을 일으키는데 필요한 힘을 측정하였으며 측정 조건은 Table 1과 같다.

점조도 측정

덱스트란 발효물의 점조도 및 유동특성 측정은 Rheometer System(HAAKE RheoStress 1, Germany)에 cone plate device(Platte PP35 Ti, 3.5 cm diameter)를 장착하여 측정하였다. 시료 1.2 mL를 취하여 plate에 올려 구간 당 10초 동안의 평균값이 측정되어 얻은 값을 shear rate(1/s)와 shear stress(Pa)로 나타내어 점조도가 높아짐에 따라 층밀림 변형력이 높아지는 효과를 측정하였다. 측정온도 20°C에서 전단속도(ɾ)는 1~100 s^{-1}의 범위로 유동특성을 알아보았고, 점조도 지수 값은 Power law 및 Herschael-Burkley 모델식을 사용하여 나타내었다(20).

동적 점탄성 측정

동적 점탄성(dynamic viscoelasticity) 측정은 정상유동특성과 동일한 실험조건에서 수행하였다. 변형력과 변형률 사이에 선형관계가 나타나는 구간을 결정하기 위하여 frequency sweep로부터 결정된 진동수(frequency, ω) 1.0~31.6 rad/s 범위에서 탄성률(elastic modulus G′)과 점성률(viscous modulus G″)을 측정하였다.

결과 및 고찰

당근 박 첨가 농도에 따른 점질성 발효물의 특성

김치 젖산균을 이용한 점질성 dextran 다당류함유 발효물의 생산시에 풍부한 식이섬유, 고유한 색소 및 풍미를 지니는 당근 박의 첨가에 따른 발효물의 물리화학적 특성을 분석하였다.

당근 박은 수분함량 87%로서 발효배지에 20%(w/v) 수준까지 농도별로 첨가하였을 때 발효물의 pH는 3.6~4.3 정도로 당근 박의 첨가 농도가 높아질수록 낮아지는 경향을 나타내었으며, 산도는 대조군을 제외하고 당근 박의 첨가 농도가 증가할수록 높아지는 경향을 나타내었다(Table 2). 김치 젖산균 *Leuconostoc citreum* S5를 이용하여 설탕을 발효성

Table 2. Changes in pH, acidity and viable cell counts of the dextran culture fermented with various content of carrot juice residue

	% (w/v)	pH	Acidity (%)	Viable cell counts (CFU/mL)
Carrot juice residue	0	4.23	0.44	5.00×10^8
	5	4.34	0.30	2.50×10^9
	10	3.86	0.38	2.38×10^9
	15	3.63	0.67	2.25×10^9
	20	3.62	0.76	2.36×10^9

당으로 하는 기본배지에서 배양된 점질성 발효물은 power law 모델에서 측정된 유동지수가 0.33으로 전형적인 의가소성유체 특성을 보였으며, 점조도 지수(consistency index, K)는 16.3 Pa · s^n을 나타내었다. 특히 발효물의 점조성 지수는 당근 박의 첨가 농도가 높을수록 증가하였으며, 당근 박을 10% 첨가하였을 때 점조도 지수는 100 Pa · s^n, 당근 박을 20% 첨가했을 때에는 150 Pa · s^n 정도로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 1). 당근 박을 첨가하여 기본배지에서 발효시킨 점질성의 발효물은 당근의 고유한 주황색과 풍미를 가지면서 관능적 기호도가 개선되었다. 또한 점조도가 증가되면서 당근 박의 침전이 형성되지 않았으며, 발효물의 생균수 측정 결과, 대조군을 제외하고 당근 박을 첨가한 시료들이 2×10^9 CFU/mL로 높은 값을 나타내어 기본배지에 당근 박의 첨가는 김치 젖산균에 의한 발효를 촉진하는 것으로 사료되었다.

당근 박을 첨가하여 발효시킨 발효물의 색도 변화를 측정한 결과, 당근 박을 농도별로 첨가했을 때에는 첨가 농도에 따른 L값(밝기)의 차이는 크지 않았으나 a값(붉은색)은 첨가 농도에 비례하여 증가하였고, b값(황색)도 증가하였다. 그러나 당근 박 15%와 20%에서 색의 차이는 크지 않았다(Fig. 2). 따라서 당근 박을 20% 수준으로 첨가하여 당근 고유의 빛깔을 가지고, 높은 생균수와 높은 점성을 가지는 덱스트란 함유 발효물을 생산할 수 있었다. 덱스트란 함유 발효물의 식품 다당류 첨가효과에 따른 물성평가를 위해서 비교적 높은 점조도 값과 관능적 기호성을 갖는 당근 박 10%(w/v) 수준으로 첨가하여 얻어진 덱스트란 함유 발효물

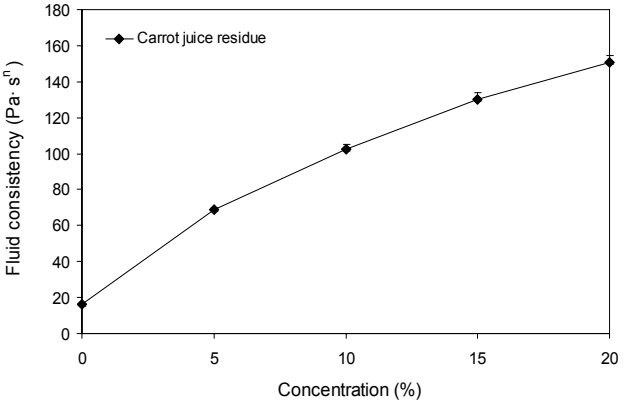

Fig. 1. Changes in fluid consistency of the dextran culture fermented with various concentration of carrot juice residue.

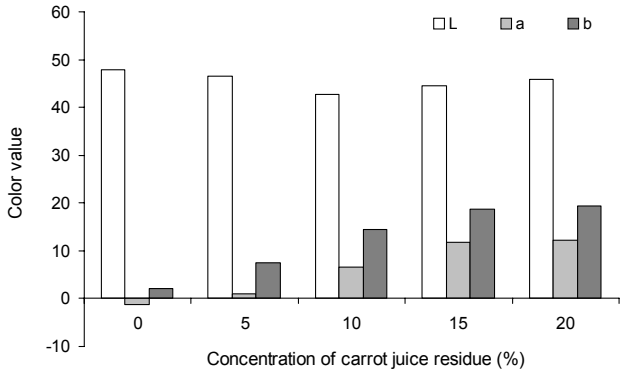

Fig. 2. Changes in hunter color values of the dextran culture fermented with various concentration of carrot juice residue.

을 선택하여 사용하였다. 또한 덱스트란 함유 발효물은 HPLC를 이용한 덱스트란 정량 분석 결과, 수용성 덱스트란을 33.2 g/L, 불용성 덱스트란을 29.8 g/L을 함유하였으며, 당 전환율은 100%를 나타내었다(9).

다당류 첨가에 따른 dextran 발효물의 물성 변화

당근 박을 10% 첨가하여 발효시킨 덱스트란 함유 발효물에 다당류를 첨가하여 열처리 전후의 물성 변화를 측정해 보았으며, 다당류는 100°C 이하에서는 완전히 용해되는 것이 어려워 다당류를 첨가한 발효물의 열처리는 autoclave를 이용해 121°C에서 15분간 하였다. 사용된 다당류로는 xanthan gum, glucomannan, gellan gum 및 carrageenan으로 이를 각각 2% 첨가하여 균일하게 혼합한 후, 발효물의 열처리 전과 열처리 후의 hardness(견고성), adhesiveness(접착성), cohesiveness(응집성), gumminess(점착성) 및 chewiness(씹힘성)의 변화를 알아보았다(Table 3).

다당류를 첨가한 발효물의 hardness는 xanthan gum> glucomannan> carrageenan> gellan gum> 대조군 순으로 나타났고, cohesiveness는 전체적으로 0.8% 정도로 나타났으며, gumminess와 chewiness는 glucomannan과 xanthan gum을 첨가하였을 때 다른 다당류를 첨가하는 것보다 월등히 높게 측정되었다. 덱스트란 함유 발효물에 수용성 고분자 다당류를 첨가한 후 열처리 전 시료들은 다당류 종류에 따라서 큰 물성변화를 보였으며, xanthan gum을 첨가하였을 때에는 삶은 감자와 같은 반고형의 물성을 나타내었고, glucomannan과 carrageenan을 첨가하였을 때에는 잼(jam)과 같은 물성을 나타내었으며, gellan gum을 첨가한 시료는 밀가루 풀과 같은 물성을 나타내었다. 반면에 대조군은 호상 요구르트와 같은 물성을 나타내었다.

다당류를 첨가한 발효물은 열처리 후에 열처리 전보다 큰 물성 변화를 나타내었다. 특히 gellan gum을 첨가하였을 때는 hardness가 62.6 dyne/cm^{2}에서 1084.1 dyne/cm^{2}로 가장 크게 증가되었고, carrageenan은 93.3 dyne/cm^{2}에서 452.7 dyne/cm^{2}로 5배 정도 견고성이 증가되었으며, 그 다음으로 xanthan gum, glucomannan 순으로 나타났다. 열처리 후에 cohesiveness는 glucomannan을 첨가하였을 때 0.9%로 가장 높았으며, gellan gum을 첨가하였을 때에는 열처리 전보다 크게 감소하면서 0.3%로 가장 낮았다. 이는 gellan gum이 한천과 같이 열처리에 따른 고체화되는 현상으로 기인한다고 사료된다. Gumminess와 chewiness는 gellan gum과 carrageenan을 첨가했을 때 열처리 전에 비해 5배 정도로 크게 증가하여 물성이 크게 변하는 것을 알 수 있었으며, glucomannan과 xanthan gum을 첨가하였을 때는 열처리 전후에 큰 변화가 없었다. 점질성 덱스트란 함유 발효물에 다당류를 첨가한 시료들을 열처리 후 육안으로 비교한 결과, gellan gum을 첨가한 시료는 스푼으로 뜰 수 없는 반고체 상태를 나타내었다. 이는 가역적인 젤 형성능을 갖는 미생물 다당류인 gellan gum이 열처리 후에 agar처럼 고형상태의 젤을 형성한다는 보고(17)와 관련이 있는 것으로 사료된다. 또한, carrageenan을 첨가한 시료는 버터와 같은 상태를 나타냈으며, gellan gum 다음으로 높은 견고성을 나타내었다. 유황함유 고분자 다당류인 carrageenan은 겔 형성능이 우수하고, 열가역성이 뛰어나 겔화제로 많이 사용되고 있다(11). 반면에 xanthan gum과 glucomannan을 첨가한 시료는 잼(jam)과 같은 물성을 나타내었다. 따라서 당근 박을 이용하여 생산된 덱스트란 발효물에 다당류를 일정량 첨가함으로서 발효물의 물성을 조절할 수 있었으며, 특히 열처리에 의한 점조성의 증가는 다양한 가공식품 제조 시에 물성개량을 위한 식품소재로 사용이 가능할 것으로 기대된다.

Table 3. Textural characteristics of the dextran culture fortified with various polysaccharides

		Hardness (dyn/cm^2)	Adhesiveness (g)	Cohesiveness (%)	Gumminess (g)	Chewiness (g)
Before heating	Control	54.2±3.7	-73.5±13.4	0.8±0.2	40.8±8.5	33.9±14.0
	Gellan gum	62.6±4.6	-79.9±5.3	0.8±0.2	48.1±12.4	41.3±19.2
	Glucomannan	180.4±9.4	-141.6±31.8	0.8±0.1	140.4±7.3	136.8±7.2
	Xanthan gum	217.8±9.8	-180.6±13.4	0.7±0.1	153.5±2.7	138.6±4.2
	Carrageenan	93.3±4.3	-70.3±6.7	0.8±0.1	75.5±7.5	73.9±7.4
After heating	Control	40.1±4.0	-41.4±0.3	0.9±0.1	35.3±1.6	34.3±2.1
	Gellan gum	1084.1±64.7	-109.4±31.9	0.3±0.1	316.5±120.7	271.7±78.7
	Glucomannan	142.0±8.1	-108.4±19.6	0.9±0.1	120.4±10.9	117.0±11.6
	Xanthan gum	200.0±19.2	-100.4±12.2	0.7±0.1	139.1±11.7	128.6±11.2
	Carrageenan	452.7±24.3	-423.5±67.0	0.8±0.1	369.9±18.3	358.3±12.9

Table 4. Flow behavior parameters of the dextran culture fortified with various polysaccharides by Power law model (K, n) and Herschael-Burkley model (K_h)

	Consistency index (K) ($Pa·s^n$)		Flow behavior index (n)		K_h ($Pa·s^n$)	
	Before heating	After heating	Before heating	After heating	Before heating	After heating
Control	105.5±3.2	59.3±0.6	0.33±0.04	0.20±0.00	115.3±2.9	65.5±0.04
Gellan gum	150.2±4.3	1093.1±3.1	0.37±0.03	0.98±0.02	187.1±0.8	1296.2±9.3
Glucomannan	1275.0±11.5	697.0±2.3	0.73±0.04	0.67±0.02	688.5±4.2	424.1±4.1
Xanthan gum	192.3±5.7	772.7±3.3	0.38±0.02	0.87±0.04	330.3±2.6	851.4±4.7
Carrageenan	300.2±2.9	802.4±2.8	0.44±0.03	0.84±0.03	683.1±3.8	936.5±6.8

정상유동 특성

당근박이 첨가된 덱스트란 발효물에 다당류를 각각 2% 첨가하여 물성 변화를 측정하였고, 전단속도와 전단응력과의 관계를 Power law 모델과 Herschael-Burkley 모델식에 의해 유동성지수(n), 점조도 지수(K, K_h)로 나타내었다(Table 4). 이 발효물들은 넓은 전단속도 범위 내에서 높은 결정계수(R^2=0.98~0.99)를 나타내면서 유동 모델식들에 잘 적용되었다. 또한 n값의 범위는 0.33~0.98의 범위로 shear-thinning 거동을 나타내는 것을 알 수 있고, 점조도 지수(K, K_h)의 값이 높을수록 유동성지수(n)값은 증가하는 경향을 나타내었다. 고분자 다당류 용액의 shear-thinning 거동은 엉킨 그물 구조 시스템에서 입자간의 결합이 강할수록 응집된 입자의 수는 증가하게 되는데, 전단속도가 증가함에 따라 이들 응집된 입자들의 수는 감소하게 되어 분산식품에 대해 나타나는 거동이라고 보고되고 있다(20).

당근 박을 첨가하여 발효시킨 덱스트란 발효물에 glucomannan을 2% 수준으로 첨가한 발효물의 점조도 지수인 K값과 K_h값이 각각 1275.0 $Pa·s^n$, 688.5 $Pa·s^n$로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 다음으로 carrageenan, xanthan gum, gellan gum 첨가 순으로 나타났다.

덱스트란 함유 발효물에 다당류를 첨가하여 열처리한 후에는 대조군과 glucomannan 첨가 발효물을 제외하고 점조도 지수가 급격히 증가하였으며, 특히 gellan gum을 첨가하여 열처리한 발효물은 K값과 K_h값이 각각 1093.1 $Pa·s^n$과 1296.2 $Pa·s^n$로 측정되어 열처리 전보다 크게 증가하는 경향을 보였으며, 다음으로 carrageenan을 첨가한 경우에 발효물의 K값과 K_h값이 802.4 $Pa·s^n$과 936.5 $Pa·s^n$로 열처리 전보다 점조도 지수 값이 증가되는 것을 알 수 있었다. 덱스트란 발효물의 점조도는 열처리 전에 105.5 $Pa·s^n$을 보였으며, 열처리 후에 점조도 값이 59.3 $Pa·s^n$으로 감소되었다. 이는 열에 안정하면서 중성 다당류인 덱스트란이 젖산 발효물에 존재하는 우유단백질, 전분 등과 상호작용으로 형성된 network가 열처리에 의해서 일부 불안정해지면서 점조도의 감소를 초래(21)한 것으로 사료된다.

따라서 당근 박 함유 점질성 덱스트란 발효물에 첨가되는 수용성 다당류의 종류에 따라서 혼합발효물의 점조도 지수가 증가되며, 열처리에 의해서 크게 차이가 있음을 알 수 있었다. 특히 열에 안정한 복합다당류인 gellan gum과 carrageenan은 점질성 발효물에 혼합되어 열처리 후에도 점조도 값이 크게 증가되는 특징을 보여주면서 덱스트란 및 probiotic 함유 발효물이 점조성 증가를 위한 식품소재로 활용이 가능하다고 사료되었다.

동적 점탄성 특성

고점도 발효물의 동적 점탄성 측정을 위해 oscillatory shear deformation 방법을 적용하여 점성과 탄성의 성질을 알아보았다. 당근 박을 첨가하여 발효시킨 덱스트란 발효물에 다당류를 첨가하여 열처리(121℃, 15 min) 전후의 점탄성 특성을 측정하였다(Fig. 3~6). 점탄성 특성은 각속도(ω)에 따른 탄성률(elastic modulus G′)과 점성률(viscous modulus G″)의 변화로 나타내었다. 적용된 각속도 범위 내에서 각속도가 증가함에 따라 탄성과 점성을 나타내는 G′과 G″은 증가하였고, 열처리 전보다 열처리 후에 점탄성 계수가 크게 높아지는 경향을 나타내었다(Fig. 4, 6). 열처리 전후의 모든 조건에서 발효물은 탄성 계수(G′)가 점성 계수(G″)보다 높은 탄성의 성질을 가지면서, 이는 gel과 유사한 특징을 갖는 것으로 사료된다. 칼슘 첨가에 따른 덱스트란 gel의 동적점탄성 연구에서 형성된 점성물질은 점성(G″)과 탄성(G′)의 값이 유사하였으며, 칼슘의 농도에 따라서 탄성의 성질이 감소하는 gel의 성질을 보고하였다(22). 열처리 전에는 모든 조건에서 탄성 계수와 점성 계수가 유사하게 낮은 값을 나타

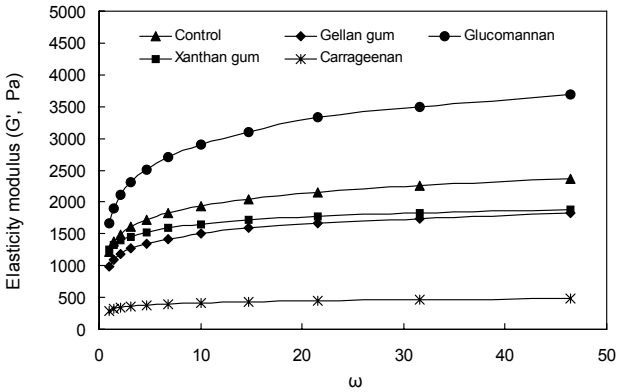

Fig. 3. Changes in the elastic modulus (G′-value) of dextran culture fortified with various polysaccharides. Data shows the elastic modulus of dextran culture containing carrot juice residue and polysaccharides. ▲: control (dextran culture containing carrot juice residue), ◆: dextran culture containing carrot juice residue and gellan gum, ●: dextran culture containing carrot juice residue and glucomannan, ■: dextran culture containing carrot juice residue and xanthan gum, ∗: dextran culture containing carrot juice residue and carrageenan.

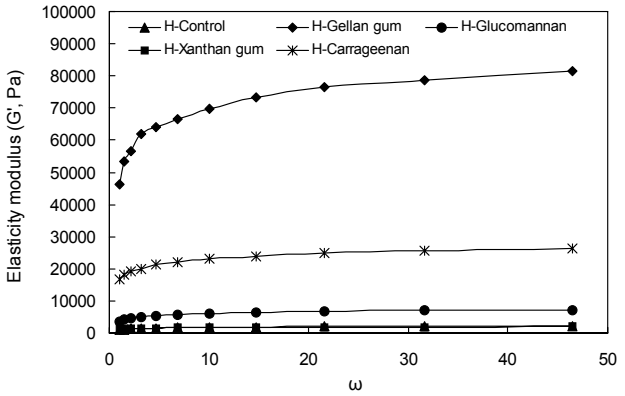

Fig. 4. Changes in the elastic modulus (G′-value) of dextran culture fortified with various polysaccharides after heating. Data shows the elastic modulus of after heating of dextran culture containing carrot juice residue and polysaccharides. H-: heating (121℃, 15 min), ▲: control (dextran culture containing carrot juice residue), ◆: dextran culture containing carrot juice residue and gellan gum, ●: dextran culture containing carrot juice residue and glucomannan, ■: dextran culture containing carrot juice residue and xanthan gum, ∗: dextran culture containing carrot juice residue and carrageenan.

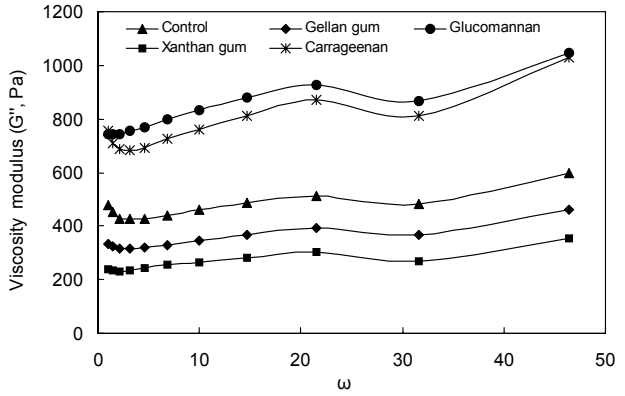

Fig. 5. Changes in the viscous modulus (G″-value) of dextran culture fortified with various polysaccharides. Data shows the viscous modulus of dextran culture containing carrot juice residue and polysaccharides. ▲: control (dextran culture containing carrot juice residue), ◆: dextran culture containing carrot juice residue and gellan gum, ●: dextran culture containing carrot juice residue and glucomannan, ■: dextran culture containing carrot juice residue and xanthan gum, ∗: dextran culture containing carrot juice residue and carrageenan.

내었으나, 열처리 후에는 gellan gum을 첨가하였을 때 탄성계수와 점성 계수가 크게 증가하면서 가장 높은 값을 나타냈으며, 다음으로 carrageenan의 첨가가 높은 값을 나타났다. 이는 Table 3과 Table 4의 결과에서 보듯이 덱스트란 발효물에 gellan gum과 carrageenan을 첨가하여 열처리 한 시료의 texture 분석에서 hardness, gumminess 및 chewiness 값이 크게 증가하였고, 점조도 지수가 열처리 전보다 월등히 높게 측정된 것과 유사한 경향을 나타내었다.

반면에 xanthan gum과 glucomannan의 첨가는 열처리 전후에 따른 점성값과 탄성값의 변화가 크지 않은 것으로 나타났고, 이 역시 Table 3의 결과에서 xanthan gum과 glucomannan을 첨가하여 발효물을 열처리한 후에 오히려 hardness, gumminess 및 chewiness 값이 감소하는 경향과 유사한 결과를 나타내는 것으로 판단된다. 따라서 당근 박을 첨가하여 발효시킨 덱스트란 발효물에 다당류로써 gellan gum, carrageenan을 첨가하여 열처리하면 매우 높은 점탄성을 가지게 되면서, 다당류가 첨가된 덱스트란함유 발효물은 다양한 살균제품의 물성 조절의 소재로 이용될 수 있다고 사료된다.

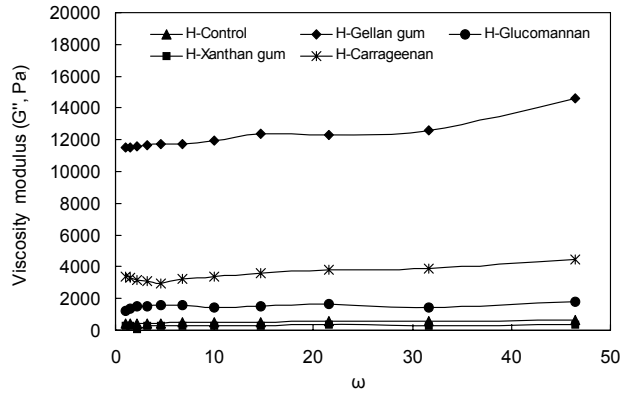

Fig. 6. Changes in the viscous modulus (G″-value) of dextran culture fortified with various polysaccharides after heating. Data shows the viscous modulus of after heating of dextran culture containing carrot juice residue and polysaccharides. H-: heating (121℃, 15 min), ▲: control (dextran culture containing carrot juice residue), ◆: dextran culture containing carrot juice residue and gellan gum, ●: dextran culture containing carrot juice residue and glucomannan, ■: dextran culture containing carrot juice residue and xanthan gum, ∗: dextran culture containing carrot juice residue and carrageenan.

요 약

*Leuconostoc*속의 균주와 당근 박을 이용하여 생산된 점질성의 발효물의 물성을 조절하기 위해서 다양한 다당류의 첨가 및 열처리 전후에 물성변화를 점도계와 조직감 측정으로 평가하였다. 당근 박 첨가농도가 증가함에 따라서 점조도 값은 증가되었으며, 20% 수준으로 첨가하였을 때 점조도 지수는 대조군 18 Pa · s^n에서 150 Pa · s^n 정도로 크게 증가되었으며, 생균수는 2.36×10^9 CFU/mL으로 나타났다. 점질성의 덱스트란 발효물에 다양한 다당류를 첨가한 경우, 대조군의 점조도 값보다 증가되었으며, glucomannan을 첨가했을 때 가장 높은 점조도 값을 나타내었다. 특히 gellan gum을 첨가하여 열처리한 경우에는 발효물의 견고성이 가장 크게 증가되고, 점조도 지수가 높았으며, 혼합발효물이 반고체 상태로 전환되면서 탄성 계수와 점성 계수가 가장 크게 증가되었다. Carrageenan을 첨가하여 열처리한 경우에도 역시 높은 견고성 값, 점조도 지수 및 높은 탄성 계수를 나타내는 물성을 나타내었으며, xanthan gum과 glucomannan을 첨가한 시료는 비교적 낮은 점성과 탄성의 값을 나타내었다. 따라서 *Leuconostoc*속의 균주와 당근 박을 이용하여 생산된

점질성 덱스트란 발효물에 첨가되는 수용성 다당류의 종류 및 열처리에 따라서 발효물의 물성 조절이 가능하여 점증제로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 지역혁신기술개발사업과 계명대학교 전통미생물자원개발 및 산업화연구센터의 지원으로 수행되었음에 감사드립니다.

문 헌

1. Sinchaipanit P, Kerr WL. 2007. Effect of reducing pulp-particles on the physical properties of carrot juice. *ASEAN Food Journal* 14: 205-214.
2. Shin JH, Ryu CH, Cho SH. 2002. Development of vinegar and vinegar-containing beverage from carrots. *J Agric Life Sci* 36: 39-46.
3. Lee KS, Park KW, Lee SH, Choe EO, Lee HG. 2003. The quality properties of dried carrots as affected by blanching and drying methods during storage. *Kor J Food Sci Technol* 35: 1086-1092.
4. Kim YA. The effects of hot air dried carrot juice residue as a dietary fiber source on the quality and staling of cake. *Food Sci Biotechnol* 7: 295-299.
5. Jo SJ, Oh SM, Jang EK, Hwang KI, Lee SP. 2008. Physicochemical properties of carrot juice fermented by *Leuconostoc mesenteroides* SM. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 210-216.
6. Morris ER, Curture AN, Ross-Murphy SB, Rees DA. 1981. Concentration and shear rate dependence of viscosity in random coil polysaccharide solutions. *Carbohyd Polmers* 1: 5-21.
7. Santos M, Teixeira J, Rodrigues A. 2000. Production of dextransucrase, dextran and fructose from sucrose using *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B412(f). *Biochem Eng* 4: 177-188.
8. Kim D, Thomas S, Fogler H. 2000. Effects of pH and trace minerals on long-term starvation of *Leuconostoc mesenteroides*. *Appl Environ Microbiol* 66: 976-981.
9. Son MJ, Jang EK, Kwon OS, Seo JH, Kim IJ, Lee IS, Park SC, Lee SP. 2008. Characterization of dextran produced from *Leuconostoc citreum* S5 strain isolated from Korean fermented vegetable. *Eur Food Res Technol* 226: 697-706.
10. Paik JE, Joo NM, Sim YJ, Chun HJ. 1996. Studies on marking jelly and mold salad with grape extract. *Kor J Soc Food Sci* 12: 291-294.
11. Lee JH, Park SJ, Son SH. 1993. The rheological properties and applications of modified starch and carrageenan complex as stabilizer. *Kor J Food Sci Technol* 25: 672-676.
12. Moon JD, Park GB, Kim YH, Kim YG, Kim SK, Jin SK, Kim YG, Shin TS, Song DJ. 1996. Effects of seed oils, water and carrageenan on the physical properties of low-fat sausages during cold storage. *J Inst Develop of Livestock Prod* 23: 19-26.
13. Yoo MH, Lee HG, Lim ST. 1997. Physical properties of the films prepared with glucomannan extracted from *Amporphophallus konjac*. *Kor J Food Sci Technol* 29: 255-260.
14. Yoshomura M, Nishinari K. 1999. Dynamic viscoelastic study on the gelation of konjac glucomannan with different molecular weights. *Food Hydrocolloids* 13: 227-233.
15. Lim BY, Yoo YJ. 1989. Mass transfer effects in xanthan gum fermentation. *Kor J Appl Microbiol Bioeng* 17: 277-283.
16. Wang X, Xu P, Yuan Y, Liu C, Zhang D, Yang Z, Yang C, Ma C. 2006. Modeling for gellan gum production by *Sphingomonas paucimobilis* ATCC 31461 in a simplified medium. *Appl Environ Microbiol* 72: 3367-3374.
17. Kwon HS, Koo SJ. 1988. Comparative studies on rheological characterization of gellan gum and agar. *Korean J Soc Food Sci* 4: 17-26.
18. Yaseen EI, Herald TJ, Aramouni FM, Alavi S. 2005. Rheological properties of selected gum solutions. *Food Research International* 38: 111-110.
19. Rodriguez-Hernandez AI, Tecante A. 1999. Dynamic viscoelastic behavior of gellan-ι-carrageenan and gellan-xanthan gels. *Food Hydrocolloids* 13: 59-64.
20. Turabi E, Sumnu G, Sahin S. 2008. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids* 22: 305-312.
21. Kim YC, Yoo BS. 2000. Rheological properties of traditional *Kochujang*. *Korean J Food Sci Technol* 6: 1313-1318.
22. Padmanabhan PA, Kim DS, Sim SJ. 2003. Rheology and gelation of water-insoluble dextran from *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B-523. *Carbohydr Polym* 53: 459-468.

(2008년 11월 18일 접수; 2009년 2월 16일 채택)