KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 35, No. 6, pp. 1022~1027 (2003)

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
©The Korean Society of Food Science and Technology

β-Glucan이 보리 전분의 동적점탄성에 미치는 영향

최희돈* · 석호문 · 김윤숙 · 이철호[1]
한국식품개발연구원, [1]고려대학교 생명공학원

Effect of Barley β-Glucan on Dynamic Viscoelasticity of Barley Starch

Hee-Don Choi*, Ho-Moon Seog, Yun-Sook Kim and Cherl-Ho Lee[1]
Korea Food Research Institute
[1]Graduate School of Biotechnology, Korea University

The effect of β-glucan, prepared from waxy barley, on the dynamic viscoelasticity of nonwaxy and waxy barley starch during gelatinization and gelation was studied. Although no significant effect was observed on waxy starch, there were drastic changes in the dynamic viscoelasticity of nonwaxy starch. The gelatinization onset temperature of nonwaxy starch shifted to a higher temperature and showed a drastic increase in storage modulus and loss modulus at the range of 80~90°C. During the gelation of nonwaxy starch, β-glucan increased the rate of gel formation and weakened the network of starch and amylose by prohibiting their association. Therefore, we proved that there was no specific interaction between amylose and β-glucan. The addition of β-glucan to waxy starch seemed to have no effect on the gelation of waxy starch.

Key words: barley, β-glucan, starch, dynamic viscoelasticity, gelatinization, gelation

서 론

전분은 호화과정 중 전분입자가 결정성을 상실하면서 원래 크기의 수십 배까지 팽윤하고 동시에 amylopectin보다 분자량이 적은 직쇄상의 amylose 성분이 전분입자로부터 용출된다. 따라서 호화시 격렬한 층밀림 변형력이 없다면 호화된 전분입자는 견고성(integrity)을 그대로 유지하게 되어 전분 호화액은 주로 amylopectin으로 구성된 팽윤입자의 분산상과 amylose로 구성된 수용성인 연속상의 2상계(two phase system)로 존재하게 되므로[1], 연속상의 리올로지 특성, 팽윤입자의 volume fraction과 견고성 그리고 2상 사이의 상호작용 등에 의해 전분 호화액의 리올로지 특성이 좌우된다[2,3].

Hydrocolloid는 전분의 호화특성과 겔 형성 양상에 상당한 영향을 미치는데 소량의 hydrocolloid 첨가에 의해서도 전분 호화액의 점도는 크게 높아지게 되고 겔 특성에도 영향을 미친다[4-6]. 이와 같은 hydrocolloid의 첨가에 의한 전분 호화액/겔의 점도 상승은 팽윤입자의 구조적 견고성에 미치는 hydrocolloid의 영향과 가열시 전분입자로부터 용출되는 amylose와 hydrocolloid 사이의 상호작용 등 2가지 현상으로 설명되고 있다[7-9]. Amylose로 구성된 연속상에 수용성의 hydrocolloid가 존재하게 되면 연속상에서는 hydrocolloid에 의한 상분리 현상이 일어나고 이에 의해 각각의 미세영역에서는 각 성분의 농도가 증가되어 결과적으로는 혼합계의 점도에 실제적인 증가현상을 나타낸다[8,10]. 한편 가열시 입자로부터 용출되는 전분분자인 amylose와 hydrocolloid 사이의 상호작용에 의한 점도 증가는 지속적으로 그 가능성이 제기되고 있다[2,11]. Eidam 등[12]은 galactomannan, CMC, xanthan gum 등의 hydrocolloid는 상분리 효과에 의해 전분의 겔 형성 속도를 빠르게 하는 반면 *i*-carrageenan은 amylose와의 상호작용을 통하여 amylose의 응집현상(self-aggregation)을 억제함으로써 겔 형성 속도를 늦춘다고 하였다. 한편 전분은 아니지만 증점제로 이용되고 있는 locust bean gum, guar gum 등의 hydrocolloid를 xanthan gum과 혼합하면 상호결합에 의해 각각의 hydrocolloid가 나타내는 점성보다 훨씬 높은 점성을 나타내는 것으로 보고되어 있다[13,14]. 이와 같이 서로 다른 거대분자를 혼합할 때 발생하는 점도상승 효과는 이들 거대분자의 구조적 특징에 따라 상분리 현상 또는 상호결합에 의한 것으로 설명되고 있다.

보리에 존재하는 β-glucan은 β-glucosyl unit이 β-(1→3)-결합과 β-(1→4)-결합으로 연결되어 있으면서 가지가 없는 선형으로 random coil 형태의 구조적 특징을 갖고 있기[15,16] 때문에 α-(1→4)-결합으로 나선형을 이루고 있는 amylose와 구조적으로 유사하여 기타의 hydrocolloid에 비해 amylose와 상호작용을 일으킬 가능성이 매우 높을 것으로 추정된다. Kim

*Corresponding author : Hee-Don Choi, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Kyonggi-do 463-746, Korea
Tel: 82-31-780-9068
Fax: 82-31-780-9234
E-mail: chdon@kfri.re.kr

등[17]과 Sung 등[18]은 보리에서 분리한 β-glucan을 메성과 찰성전분에 혼합하여 전분 호화시의 점도변화를 조사한 결과 amylose가 거의 없어 network 형성이 약한 찰성전분 보다 메성전분에 β-glucan을 첨가하였을 때 점도 상승효과가 큰 것으로 나타나 amylose와 β-glucan의 상호작용 가능성을 제시한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 보리로부터 분리한 β-glucan이 전분의 호화 및 겔화시의 동적점탄성에 미치는 영향을 조사하여 β-glucan의 첨가에 의한 전분호화시의 점도상승 기작을 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

충남 논산 소재의 부적농협의 찰성보리쌀과 (주)정원할맥의 메성보리쌀을 시료로 하여 0.5 mm의 체를 끼운 Cyclotec sample mill(Tecator Co., Sweden)로 분쇄하였고 이를 4°C에 보관하면서 실험에 사용하였다. 메성 및 찰성보리의 일반성분 분석 결과 각각 수분 9.6% 및 8.3%, 조단백 11.6% 및 13.3%, 조지방 1.4% 및 1.3%, 회분 1.2% 및 0.8%, 탄수화물 76.2% 및 76.3%이었다.

보리 β-glucan의 추출 및 정제

보리의 β-glucan은 Wood 등의 방법[19]을 보완한 Lee의 방법[20]에 따라 조제하였다. 찰성 보리가루를 증류수에 현탁시키고 20%(w/v) sodium carbonate로 pH를 10으로 조정한 후 β-glucan을 추출하고 원심분리하여 상징액은 모으고 침전물에 대하여 위의 알칼리 추출을 2회 반복하였다. 2 M HCl로 상징액의 pH를 4로 조정하여 단백질을 침전시킨 다음 상징액에 isopropyl alcohol을 50%가 되도록 첨가하여 방치한 후 원심분리하여 침전물을 회수하고 건조하여 crude β-glucan을 얻었다. 분리한 crude β-glucan을 증류수에 0.3%(w/v) 되도록 분산시키고 가열하여 용해시킨 후 원심분리하고 상징액에 ammonium sulfate를 30%(w/v)가 되도록 첨가하였다. 이 용액을 원심분리하여 얻은 침전물을 증류수로 가열용해시켰다. 이를 pH 6.9로 조정하고 α-amylase(1,013 U/100 mL β-glucan solution)를 첨가하여 40°C에서 1시간 반응시키고, pH를 다시 7.5로 조정한 후 pronase(70 U/100 mL β-glucan solution)를 첨가하여 40°C에서 1시간 반응시켰다. 반응 후 가열하여 효소를 불활성화시키고 원심분리로 상징액만을 분리해 증류수에 대하여 투석을 실시하였으며, 투석액을 동결건조하여 정제 β-glucan을 얻었다. 투석은 MWCO 6,000~8,000(Spectrum Medical Industry, USA)의 막을 사용하여 실시하였다.

전분 분리

전분은 MacGregor[21]의 방법으로 분리하였다. 즉 0.02 M acetate buffer(pH 6.5)에 $HgCl_2$를 0.01 M 되도록 첨가한 용액에 메성 또는 찰성보리쌀을 20°C에서 24시간 동안 침지하였다. 침지한 보리쌀은 증류수로 4~5회 수세하고 Waring blender로 마쇄한 후 150과 70 mesh 체를 사용하여 체질하였다. 체질하고 남은 잔사는 다시 마쇄한 후 체질하고 위에서 얻어진 액과 합하여 일정시간 방치한 다음 상징액을 버리고 증류수를 가하는 조작을 3회 반복하였다. 얻어진 전분유액의 1/8(v/v)에 상당하는 toluene을 첨가하여 하룻밤 실온에서 진탕하고 원심분리(5,000×g, 10분)한 다음 증류수로 여러 번 세척하고 실온에서 건조하여 시료로 사용하였다.

동적점탄성

β-Glucan이 전분의 호화 중 동적점탄성 변화에 미치는 영향은 다음과 같이 조사하였다. 12%(w/w) 농도의 전분현탁액과 β-glucan을 전분현탁액에 대해 0.5%(w/w) 농도로 혼합한 혼합물을 rheometer(Carri-Med CSL100, TA Instruments, USA)로 30°C에서 95°C까지 2°C/min의 속도로 가열, 호화시키면서 온도변화에 따른 동적점탄성의 변화를 측정하여 β-glucan이 전분의 호화에 미치는 영향을 조사하였다. 그리고 β-glucan이 전분의 겔화에 미치는 영향은 이상과 동일한 방법으로 전분을 호화시킨 후 95°C에서 25°C까지 2°C/min의 속도로 냉각시키면서 동적점탄성의 변화를 측정하였으며, 또한 rheometer로 30°C에서 95°C까지 가열하여 호화시키고 25°C로 급냉시킨 후 25°C에서 90분동안 유지하면서 시간변화에 따른 동적점탄성 변화를 측정하였다. 모든 측정은 3회반복 실시하였으며, 충분히 팽윤되고 균일한 졸 상태의 전분 현탁액 및 혼합액을 얻기 위하여 현탁액 및 혼합물의 농도 조정후 2시간 동안 50rpm의 속도로 shaking incubator에서 교반하고 이를 50°C에서 5분간 열처리하였다[22]. 이때 모든 측정은 진동수 1 rad/sec에서 2%의 변형으로 행하였으며, 직경 4 cm의 평판형 geometry를 사용하였고 geometry와 평판 사이의 간격은 300 μm로 하였다. 또한 가열시 수분증발을 방지하기 위하여 시료 둘레에 silicone oil을 도포하고 solvent trap을 씌워 주었다.

결과 및 고찰

전분의 호화과정 중 동적점탄성 변화

전분을 과량의 물과 함께 가열하면 전분입자는 점차 물을 흡수하여 수십배까지 팽윤되고 amylose가 용출되어 전분호화액은 용출된 amylose matrix 내에 팽윤된 전분입자로 이루어진 겔이 형성되며, 팽윤입자의 부피 증가에 의해 close-packed system이 형성되어 저장탄성율(G')과 손실탄성율(G")의 증가가 일어난다. 계속적인 가열에 의해 입자는 더욱 팽윤되고 amylose의 용출이 가속되는데, 용출된 amylose는 분자 사슬의 엉킴(entanglement)에 의해 접합구역(junction zone)을 형성하고 여기에 팽윤입자가 embedding되어 filler로서 network 구조를 강화하게 되며 이때 최고의 저장탄성율 값에 도달하게 된다. 더 이상의 가열은 호화액 내에 잔존하고 있는 수소결합 등의 기타 결합을 파괴하고 전분입자가 붕괴하게 됨에 따라 network 구조의 강도가 약하여지고 저장탄성율이 감소하게 된다고 설명되고 있다[23,24].

12% 농도의 메성 및 찰성전분 현탁액의 호화과정 중 동적점탄성 변화에 β-glucan이 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 1, Fig. 2 및 Table 1과 같다. 메성전분(Fig. 1)의 경우 저장탄성율(G')은 57.4±0.3°C에서 급격히 증가하기 시작하여 67.8±1.2°C에서 1,698±175 Pa로 peak를 이룬 후 서서히 감소하다가 91°C 이후부터 급격히 감소하였다. 손실탄성율(G")

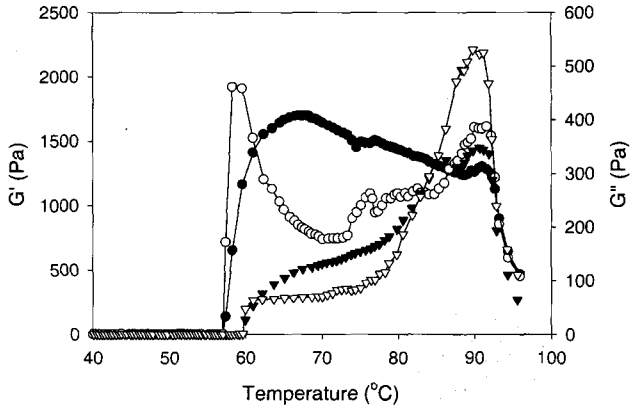

Fig. 1. Effect of β-glucan on viscoelasticity of nonwaxy starch during gelatinization.
●,○: G' and G" of 12% nonwaxy starch dispersion; ▼,▽: G' and G" of 12% nonwaxy starch-β-glucan(0.5%) mixture.

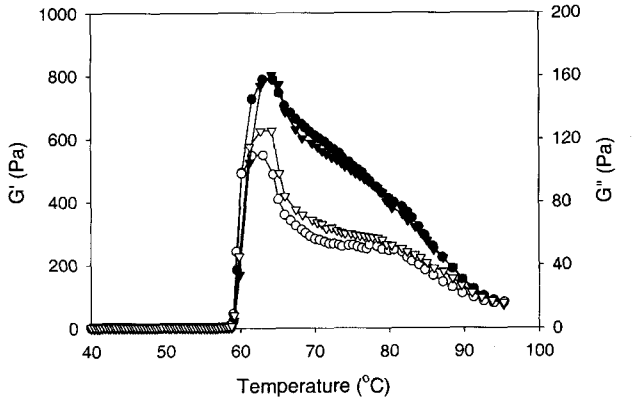

Fig. 2. Effect of β-glucan on viscoelasticity of waxy starch during gelatinization.
●,○: G' and G" of 12% waxy starch dispersion; ▼,▽: G' and G" of 12% waxy starch-β-glucan(0.5%) mixture.

도 57.4±0.3℃에서 급격히 증가하였다가 급격히 감소한 후 다시 증가하여 91.6±0.9℃에서 387±40 Pa로 peak를 이룬 후 급격히 감소하였다. 이때 손실탄성율이 다시 증가하는 시점이 전보[25]에서의 amylose 용출이 증가하는 시점과 일치하는 것으로 볼 때 손실탄성율은 amylose 용출에 비례하는 함수관계인 것으로 판단된다. 한편 β-glucan의 첨가는 메성전분의 동적점탄성에 크게 영향을 미쳤는데 호화개시온도의 경우 메성전분의 57.4±0.3℃에서 β-glucan 첨가에 의해 60.0±0.3℃로 증가하고 또한 저장탄성율과 손실탄성율이 전분만의 경우와는 달리 초기의 급격한 증가경향을 보이지 않고 호화의 전과정을 통하여 서서히 증가하였는데, 저장탄성율은 90.7±0.7℃에서 1,447±98 Pa로 peak를 이루었다. 이는 β-glucan의 첨가가 동적점탄성에 영향을 주고 있음을 말해주는 것으로 호화개시온도가 고온으로 이동하는 전보[25]의 DSC 결과와도 잘 일치하는 것으로 사료된다. 그리고 β-glucan 첨가구의 경우 β-glucan이 첨가되지 않은 처리구에 비해 85℃ 이후의 손실탄성율 값이 크게 증가하였다.

반면 찰성전분(Fig. 2)의 경우에는 메성전분과는 상당히 다른 점탄성 변화를 나타내었는데 59.1±0.2℃에서 저장탄성율과 손실탄성율 모두 급격히 증가하기 시작하여 63.1±0.5℃에서 저장탄성율이 789±46 Pa의 peak를 이룬 후 급격히 감소하는 것으로 나타나 Eliasson[26]과 동일한 결과를 나타내었다. 그리고 β-glucan이 첨가되었을 때도 이러한 경향과 값에 있어 거의 차이가 없었고 메성전분에서 나타난 손실탄성율의 증가도 나타나지 않았다.

Biliaderis 등[27]은 hydrocolloid가 첨가된 전분의 호화양상에 대해 hydrocolloid는 먼저 전분입자의 팽윤과 amylose의 용출을 억제하여 팽윤입자에 견고성을 부여하는 반면 hydrocolloid가 전분입자 사이에 배열하므로써 전분입자간의 접촉을 제한하고 입자를 둘러싼 amylose network의 연속성을 방해하여 network의 구조를 약하게 한다고 하였다. 그리고 이러한 2가지 상반된 작용의 조화에 의하여 전분의 호화양상이 결정된다고 하였다.

전분의 겔화특성

전분호화액을 냉각하면 전분분자들이 이웃한 전분분자와 상호 회합함에 의해 상분리 현상이 일어나 겔이 형성되는데 이때 amylose가 중요한 역할을 한다[28]. 즉 용출된 amylose가 수소결합을 통해 회합이 일어나 접합구역 형성에 의한 3차원 network 구조가 형성된다. 3차원 구조가 형성된 후에는 상대적으로 느린 amylopectin의 구조변화(재결정화, 노화)가 일어남에 따라 접합구역이 더욱 확장되고 강화된다[29]. 그러나 전분과 hydrocolloid의 혼합계에서는 여러 가지 요인이 작용하게 되어 겔 형성양상이 더욱 복잡하게 된다. 일반적으로 hydrocolloid의 첨가에 의해 전분의 겔 형성은 가속화되는데 이는 hydrocolloid의 점증효과 때문이다[3]. 즉 첨가된 hydrocolloid는 amylose의 유동성을 억제하므로써 amylose의 미세영역 내에서의 회합(local association)이 보다 쉽게 일어나고 따라서 접합구역이 쉽게 형성된다. 반면 amylose와 hydrocolloid 사이에 특이한 상호작용이 있을 경우에는 amylose의 self-aggregation이 억제되어 겔 형성 속도가 늦어짐과 동시에 약한 겔이 형성된다[12]. 또한 Kim 등[17]의 RVA 결과와 본 연구에서의 호화시 동적점탄성 결과를 종합하여 볼 때 호화 중 전분입자로부터 용출된 amylose와 첨가된 β-glucan 사이의

Table 1. Effect of β-glucan on viscoelasticity of nonwaxy and waxy starch during gelatinization

Species	Conc. of β-glucan (%)	G'			G"		
		To (℃)	Tp (℃)	G'Tp (Pa)	To (℃)	Tp (℃)	G"Tp (Pa)
Nonwaxy starch	0	57.4±0.3	67.8±1.2	1,698±175	57.4±0.3	91.6±0.9	387±40
	0.5	60.0±0.3	90.7±0.7	1,447±98	60.0±0.3	89.8±0.8	530±37
Waxy starch	0	59.1±0.2	63.1±0.5	789±46	59.1±0.2	63.1±0.5	110±18
	0.5	59.2±0.2	62.8±0.3	865±55	59.2±0.2	64.3±0.4	135±20

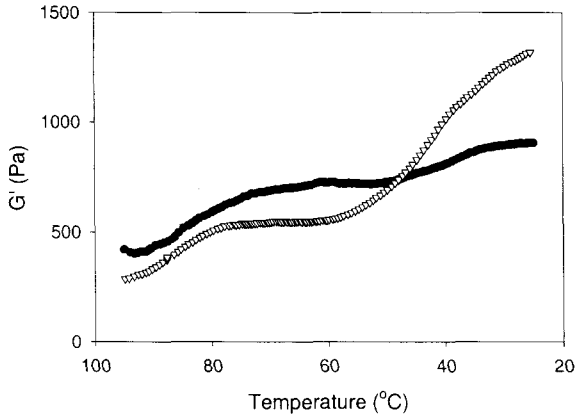

Fig. 3. Storage modulus as a function of temperature for pastes of nonwaxy starch and nonwaxy starch-β-glucan mixture on cooling after gelatinized.
●: G' of 12% nonwaxy starch; ▽: G' of 12% nonwaxy starch-β-glucan (0.5%) mixture.

상호작용 가능성이 높은 것으로 추정된다.

따라서 본 시험에서는 amylose와 hydrocolloid의 상호작용 유무에 따라서 겔 형성 양상이 달라지기 때문에 β-glucan 첨가 유무에 따른 전분의 겔 형성 양상을 비교함으로써 amylose와 β-glucan의 상호작용 유무를 검토하였다. 메성전분 및 이에 β-glucan을 첨가한 혼합물을 95°C까지 가열하여 호화시킨 후 25°C까지 2°C/min의 속도로 냉각하면서 동적점탄성의 변화를 측정한 결과는 Fig. 3과 같다. 95°C까지 가열 직후의 저장탄성율은 각각 422±29 Pa과 287±22 Pa로 메성전분만의 저장탄성율이 높았으나 냉각시 48°C 이하부터 β-glucan을 첨가한 혼합물의 저장탄성율이 높아졌다. 그리고 95°C까지 가열하고 25°C까지 급냉한 후 1 rad/sec의 진동수의 조건으로 90분간 동적점탄성 변화를 측정한 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 β-glucan 첨가 유무에 따라 상당히 다른 양상을 나타내었다. 메성전분만의 것은 저장탄성율이 완만히 증가하여 약 40분 정도 경과했을 때부터 평형에 도달한 반면 β-glucan 첨가시에는 저장탄성율이 초기에 급격히 증가하여 약 10분 경과 후 이미 평형에 도달하여 겔을 형성하였을 뿐만 아니라 메성전분 처리구에 비해 더 높은 값을 나타내었다. 이는 β-glucan 첨가에 의해 메성전분의 겔 형성 속도가 매우 빨라짐을 말해주는 것이며 또한 tan δ(G"/G')의 값이 β-glucan의 첨가로 더 높아진 결과로 미루어 볼 때 메성전분에 비해 약한 겔이 형성됨을 알 수 있었다. 이러한 결과로 볼 때 첨가된 β-glucan은 전분호화액의 겔 형성 속도를 촉진하기는 하지만 전분 및 amylose의 회합을 구조적으로 방해하여 network 구조를 약화시키는 역할을 하는 것으로 생각된다.

한편 Fig. 5에서 보는 바와 같이 찰성전분의 경우에는 메성전분과는 달리 초기의 급격한 감소 이후 완만한 감소로 이어진 다음 평형에 도달하였으며, β-glucan 첨가시에도 초기의 저장탄성율 값이 급격히 감소한 후 평형에 도달하는 것으로 나타났다. 이들 값은 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 또한 tan δ의 값도 거의 유사한 것으로 나타나 β-glucan 첨가가 찰성전분 겔 형성에 본 연구에서 시험한 조건에서는 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

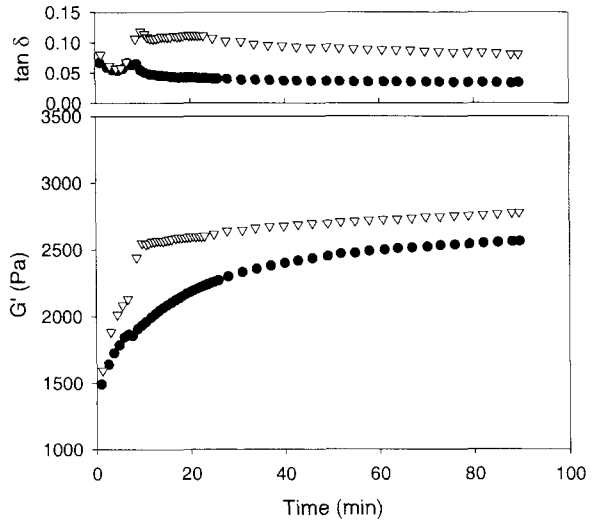

Fig. 4. Storage modulus and tan δ as a function of time for gels of nonwaxy starch and nonwaxy starch-β-glucan mixture at 25°C.
●: G' and tan δ of 12% nonwaxy starch; ▽: G' and tan δ of 12% nonwaxy starch-β-glucan (0.5%) mixture.

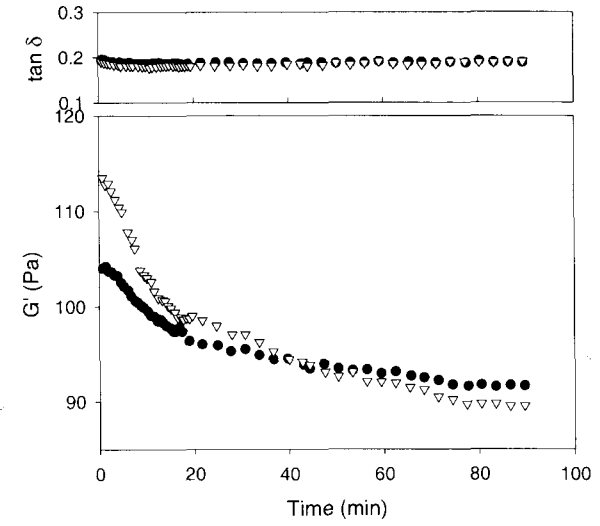

Fig. 5. Storage modulus and tan δ as a function of time for gels of waxy starch and waxy starch-β-glucan mixture at 25°C.
●: G' and tan δ of 12% waxy starch; ▽: G' and tan δ of 12% waxy starch-β-glucan (0.5%) mixture.

이상의 결과를 종합하여 보면 전분에 β-glucan을 첨가할 경우 찰성전분에 비해 메성전분에서의 현저한 점도 상승 및 냉각시의 냉각점도 증가[17] 그리고 동적점탄성 측정에 의한 손실탄성율 증가와 amylose 용출량 증가[25] 경향이 일치하는 등의 결과로부터 β-glucan과 amylose 사이의 상호작용 가능성이 높은 것으로 추정되었다. 그러나 β-glucan 첨가로 메성전분의 겔화과정 중 전분의 겔 형성 속도가 상당히 빨라졌고 저장탄성율이 크게 증가하였으며, 전분 및 amylose의 회합을 방해하여 network 구조를 약화시키는 역할을 하는 것으로 보아 전분과 β-glucan 사이에는 RVA 결과에서 나타났던 점도상승현상을 설명해줄 수 있는 상호작용은 일어나지

않는 것으로 판단되었다[12]. 따라서 호화시 전분의 거동을 팽윤입자를 분산상으로, 그리고 amylose를 연속상으로 하는 2상계라고 가정할 때 전분에 β-glucan을 첨가하였을 때에는 연속상은 amylose와 β-glucan으로 이루어진 혼합계라고 할 수 있다. 한편 구조적으로 상이한 고분자 물질들은 화학적으로 서로 양립할 수 없어 같은 고분자 물질끼리 모여 두 물질이 분리되는 상분리 현상이 일어나 미세영역 내에서 각 성분의 농도를 증가시켜 점도증가를 일으키게 된다[3,30,31]. 이러한 상분리 현상은 amylose의 겔화현상 등 고분자 물질에 있어 보편적인 현상으로 β-glucan과 amylose의 상호작용이 존재하지 않는다는 사실과 β-glucan 첨가에 의해 발생하는 점도상승을 설명할 수 있는 이론적 배경이라 할 수 있다. 즉 첨가된 β-glucan은 용출된 amylose의 유동성을 억제하여 amylose의 미세영역에서의 농도를 증가시켜 점도를 증가시키는 것으로 판단된다. 따라서 전분의 호화 및 겔화시 용출되어 나온 amylose는 서로 회합하여 network을 형성하지만 첨가된 β-glucan은 network 형성에 참여하지 못하고 amylose와는 분리된 상태로 존재함에 따라 호화시에는 점도상승을, 겔화시에는 겔화속도 촉진 등의 역할을 하는 것으로 판단된다. 한편 찰성전분의 경우 메성전분과 달리 호화시 RVA와 동적점탄성 결과에서 β-glucan을 첨가하였을 때도 거의 변화가 없는 것은 메성전분과 찰성전분의 분자구조적 차이에 기인하는 것으로 찰성전분은 팽윤력과 수분결합력이 커 β-glucan에 의한 팽윤 억제 효과가 메성전분에 비해 훨씬 적을 뿐 아니라 입자에 견고성을 부여할 수 있는 amylose가 적고 계속적으로 팽윤이 일어나기 때문에 결정성 상실 후 쉽게 파괴되어 점도가 급격히 감소하게 되는 것이라 추론된다.

요 약

보리로부터 분리한 β-glucan이 메성 및 찰성 보리전분의 호화 및 겔화시의 동적점탄성에 미치는 영향을 조사하였다. 호화시 β-glucan의 첨가는 찰성전분에 대해서는 거의 영향을 미치지 않았지만 메성전분의 동적점탄성에는 상당한 영향을 미쳐 호화개시온도가 높아졌으며, 80~90°C의 온도범위에서 저장탄성율과 손실탄성율이 크게 증가하여 저장탄성율의 경우 90.7±0.7°C에서 peak를 나타내었다. 겔화과정 중 메성전분은 β-glucan의 첨가에 의해 겔 형성 속도가 상당히 빨라졌고 전분 및 amylose의 회합을 방해하여 network 구조를 약화시키는 것으로 나타났으나 amylose와 β-glucan 사이에 특이한 상호작용은 존재하지 않는 것으로 판명되었다. 한편 찰성전분의 경우에는 β-glucan 첨가에 의해 겔화 양상이 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

문 헌

1. Doublier, J.L., Llamas, G. and LeMeur, M. A rheological investigation of cereal starch pastes and gels. Effect of pasting procedures. Carbohydr. Polym. 7: 251-275 (1987)
2. Eliasson, A.C. Viscoelastic behavior during the gelatinization of starch. I. Comparison of wheat, maize, potato and waxy barley starches. J. Texture Stud. 17: 253-265 (1986)
3. Alloncle, M. and Doublier, J.L. Viscoelastic properties of maize starch/hydrocolloid pastes and gels. Food Hydrocolloids 5: 455-467 (1991)
4. Yoshimura, M., Takasa, T. and Nishinari, K. Effects of konjac-glucomannan on the gelatinization and retrogradation of corn starch as determined by rheology and differential scanning calorimetry. J. Agric. Food Chem. 44: 2970-2976 (1996)
5. Biliaderis, C.G., Thessaloniki, A., Izydorczyk, M.S. and Prokopowich, W. Effect of hydrocolloids on gelatinization and structure formation in concentrated waxy maize and wheat starch gels. Starch/Stärke 49: 278-283 (1997)
6. Kulicke, W.-M., Eidam, D., Kath, F., Kix, M. and Kull, A.H. Hydrocolloids and rheology : Regulation of viscoelastic characteristics of waxy rice starch in mixtures with galactomannan. Stärke/Starch 48: 105-114 (1996)
7. Bagley, E.B. and Christianson, D.D. Swelling capacity of starch and its relationship to suspension viscosity. Effects of cooking time, temperature and concentration. J. Texture Stud. 13: 115-126 (1982)
8. Sajjan, S.U. and Rao, M.R.R. Effect of hydrocolloids on the rheological properties of wheat starch. Carbohydr. Polym. 7: 395-402 (1987)
9. Bahnassey, Y.A. and Breene, M.W. Rapid-visco analyzer pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locust bean gums. Starch/Stärke 46: 134-141 (1994)
10. Ring, S.G. Some studies on starch gelation. Starch/Stärke 37: 80-83 (1985)
11. Christianson, D.D. Hydrocolloid interactions with starches, pp. 399-419. In: Food Carbohydrates. Lineback, D.R. and Inglett, G.E. (ed.) AVI Public. Comp. Inc., Westport, CT, USA (1982)
12. Eidam, D., Kulicke, W.M., Kuhn, K. and Stute, R. Formation of maize starch gels selectively regulated by the addition of hydrocolloids. Starch/Stärke 47: 378-384 (1995)
13. Casas, L.A. and Garcia-Ochoa, F. Viscosity of solutions of xanthan/locust bean gum mixtures. J. Sci. Food Agric. 79: 25-31 (1999)
14. Schorsch, C., Garnier, C. and Doublier, J.-L. Viscoelastic properties of xanthan/galactomannan mixtures: comparison of guar gum with locust bean gum. Carbohydr. Polym. 34: 165-175 (1997)
15. Woodward, J.R., Fincher, G.B. and Stone, B.A. Water-soluble (1→3),(1→4)-β-D-glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. I. Physicochemical properties. Carbohydr. Polym. 3: 143-156 (1983)
16. Woodward, J.R., Fincher, G.B. and Stone, B.A. Water-soluble (1→3),(1→4)-β-D-glucans from barley(Hordeum Vulgare) endosperm. II. Fine structure. Carbohydr. Polym. 3: 207-225 (1983)
17. Kim, S.R., Choi, H.D., Seog, H.M., Kim, S.S. and Lee, Y.T. Physicochemical characteristics of β-glucan isolated from barley. Korean J. Food Sci. Technol. 31: 1164-1170 (1999)
18. Sung, J.E., Lee, Y.T., Seog, H.M., Kim, Y.S. and Ko, Y.S. Characteristics of β-glucan gums from normal and waxy hull-less barleys. Korean J. Food Sci. Technol. 31: 644-650 (1999)
19. Wood, P.J., Paton, D. and Siddique, I.R. Determination of beta-glucan in oats and barley. Cereal Chem. 54: 524-533 (1977)
20. Lee, Y.T. β-Glucans from hull-less barley: Isolation, chemical and rheological characterization, and utilization as a food gum. Ph.D. dissertation, North Dakota State Univ., ND, USA (1992)
21. MacGregor, A.W. Isolation of large and small granules of barley starch and a study of factors influencing the absorption of barley malt α-amylase by thease granules. Cereal Chem. 56: 430-434 (1979)
22. Katsuta, K. Dynamic viscoelastic behavior of rice starch suspension on the gelatinization process. J. Appl. Glycosci. 43: 541-543 (1996)
23. Eliasson, A.C. and Bohlin, L. Rheological properties of concentrated wheat starch gels. Starch/Stärke 34: 267-272 (1982)
24. Lii, C.Y., Shao, Y.Y. and Tseng, K.H. Gelation mechanism and

rheological properties of rice starch. Cereal Chem. 72: 393-400 (1995)
25. Choi, H.D., Seog, H.M., Kim, S.R., Park, Y.G. and Lee, C.H. Effect of β-glucan on gelatinization of barley starch. Korean J. Food Sci. Technol. 35: 545-550 (2003)
26. Eliasson, A.C. Viscoelastic behaviour during the gelatinization of starch. I. Comparison of wheat, maize, potato and waxy-barley starches. J. Texture Stud. 17: 253-265 (1986)
27. Biliaderis, C.G., Thessaloniki, A., Izydorczyk, M.S. and Prokopowich, W. Effect of hydrocolloids on gelatinization and structure formation in concentrated waxy maize and wheat starch gels. Starch/Stärke 49: 278-283 (1997)
28. Doublier, J.L. and Choplin, L. A rheological description of amylose gelation. Carbohydr. Res. 193: 215-226 (1989)
29. Miles, M.J., Morris, V.J., Orford, P.D. and Ring, S.G. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. Carbohydr. Res. 135: 271-281 (1985)
30. Kalichevsky, M.T., Orford, P.D. and Ring, S.G. The incompatibility of concentrated aqueous solutions of dextran and amylose and its effect on amylose gelation. Carbohydr. Polym. 6: 145-154 (1986)
31. Kalichevsky, M.T. and Ring, S.G. Incompatibility of amylose and amylopectin in aqueous solution. Carbohydr. Res. 162: 323-328 (1987)

(2003년 7월 4일 접수; 2003년 11월 19일 채택)