

보리의 발아정도가 맥아의 β -glucan 용해성 및 맥주의 점도에 미치는 영향

이영택*

경원대학교 식품생물공학과

Effects of Malt Modification on β -Glucan Solubility and Beer Viscosity

Young-Tack Lee*

Department of Food Science and Biotechnology, Kyungwon University

Abstract Two barley malt samples were selected at two different stages of germination, a well-modified malt germinated for 96 hr and a poorly-modified malt for 60 hr, and were analyzed for total, insoluble, and soluble β -glucan contents. The total β -glucan content in raw barley was 3.96%, and the content was reduced during malting. The total β -glucan contents of the poorly- and well-modified malts were 1.02% and 0.18%, respectively. After 4 days of germination, approximately 95% of the β -glucan present in the barley was degraded. A significantly higher proportion of water-soluble β -glucan was found in the well-modified malt, suggesting that β -glucan solubility was dependent on cell wall modifications in the malt (β -glucan breakdown). The proportion of water-soluble β -glucan was also affected by the extraction temperature. The two differently modified malts were mashed isothermally at 45, 55, 65, and 75°C for 2 hr. An increasing mashing temperature resulted in increased viscosity for the wort and the resulting beer. The viscosity of the wort from the well-modified malt was significantly low, due to its low initial malt β -glucan with increased solubility as well as a presumably sufficient β -glucanase activity during mashing.

Key words: barley, malt modification, mashing, β -glucan, beer viscosity

서 론

보리의 배유 세포벽을 구성하는 주성분은 (1→3),(1→4)- β -D-glucan으로 일반적으로 β -glucan으로 알려져 있다. 보리 배유 세포벽의 약 70-75%가 β -glucan이며, 나머지는 arabinoxylan 약 20% 그리고 미량의 cellulose, glucomannan, 단백질, phenolic constituents 등으로 구성되어 있다(1). 보리 종실은 약 2-8%의 총 β -glucan을 함유하고 있으며 그 함량은 유전 및 환경적인 영향을 받는다(2-5). β -Glucan은 β -glycosyl unit이 β -(1→3)-결합과 β -(1→4)-결합으로 연결된 단순다당류로 β -glucan 사슬내의 β -(1→3)-결합은 분자형태에 불규칙적인 구조를 초래하여 β -glucan을 부분적으로 수용성이 되도록 한다(6).

보리는 맥주 양조 시에 우선 맥아로 제조되며 이 때 전분을 분해하는 효소들이 생성될 뿐만 아니라 배유의 전분을 둘러싸고 있는 세포벽의 구성물질들을 분해하는 효소들이 합성된다. 보리의 β -glucan은 발아 중에 호분층과 scutelum에서 합성되어 배유 세포벽으로 이동하는 endo- β -glucanase에 의해 저분자량의 사슬로 분해되며(7,8), 이에 따라서 β -glucanase 활성의 증가와 아울러 β -glucan의 함량이 감소하게 된다(9). 보리 β -glucan은 발아과정 중

에 분해됨에 따라 초기에 불용성인 형태의 β -glucan도 제맥단계에서는 보다 가용화될 수 있다. 그러나 최종 맥아에는 일부 β -glucan이 잔존하게 되는데 이는 아직 분해되지 않은 형태 또는 가용화된 형태이더라도 완전히 분해되지 않은 형태로 남아 있게 된다(10).

보리 세포벽 다당류인 β -glucan과 arabinoxylan의 잠재적인 가용성은 β -glucan solubilase에 의해 기인할 수 있으며, 이는 feruloyl-결합으로 되어 있는 arabinoxylan matrix를 분열시켜 β -glucan과 arabinoxylan을 서로 풀어줌으로써 세포벽을 허물어 주기 때문으로 추정되고 있다(10). 만약 세포벽 다당류들이 제맥과정중에 효율적으로 분해되지 않는다면 맥아에 β -glucan의 긴 사슬이 그대로 남아 있게 되며 이러한 잠재적인 수용성 물질 부분은 맥주 양조중에 맥즙(wort)에 빠져나가게 되어 대부분이 최종 맥주 제품에 남게 된다. 맥아에 과다하게 잔존하는 β -glucan은 arabinoxylan과 함께 맥주 양조시 맥즙의 여과를 어렵게 하고, 여과율을 저하시키며 맥주에서 haze와 침전물의 형성 등 문제점을 야기시킨다(11-13). 제맥과정중에 세포벽의 변형(β -glucan 분해)은 맥아 추출물의 함량과 관련해서 매우 중요한 단계로 간주됨과 아울러 맥즙과 맥주의 β -glucan 함량과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(14). 지금까지 보리의 발아중에 맥아의 총 β -glucan 함량에 대하여는 연구된 바 있지만(9,15) 발아에 따른 맥아의 변형정도가 맥아 β -glucan의 추출 용해성과 당화과정후 맥즙과 최종 맥주의 점도에 대하여 조사한 연구는 아직 보고된 바 없다.

본 연구에서는 보리의 발아기간중에 맥아의 변형정도에 따라 2가지의 맥아를 선정한 후 이들 맥아의 β -glucan 용해성을 분석하고, 당화조건에 따른 맥즙과 양조후 최종 맥주의 점도에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

*Corresponding author: Young-Tack Lee, Department of Food Science and Biotechnology, Kyungwon University, Seongnam, Gyeonggi-do 461-701, Korea
 Tel: 82-31-750-5565
 Fax: 82-31-750-5273
 E-mail: ytleee@kyungwon.ac.kr
 Received April 29, 2008; revised May 20, 2008;
 accepted May 21, 2008

재료 및 방법

보리 시료

본 실험에 사용한 보리는 2003년산 2조 보리(품종; Harrington)로 Great Western Malting Co.(Vancouver, WA, USA)로부터 제공 받았다. 보리는 이물질과 손상된 곡립을 제거하기 위하여 체를 사용하여 정선하였다.

맥아의 제조

정선된 보리를 16°C에서 2일간 침맥(steeping)한 후 16°C에서 발아시켰으며, 발아 60시간과 96시간 경과된 두가지 맥아를 선택하여 65°C에서 16시간 건조하였다. 건조후 실온에서 냉각한 후 제공하여 정선된 맥아를 얻었다.

당화 및 양조 방법

당화는 Canongate CM-3 당화조를 사용하여 isothermal 당화(45, 55, 65, 75°C에서 각각 2시간 당화) 방법에 의해 실행하였다. 맥아는 Buhler Miag Disc mill을 사용하여 fine 분쇄하였다. 분쇄된 맥아 50 g을 당화 비이커에 넣고 증류수 200 mL를 첨가하여 각각의 당화온도에서 1시간 동안 당화시킨 후 100 mL의 증류수를 당화 비이커에 추가로 넣고 1시간 더 당화를 계속하였다. 당화를 종결시키고 15분간 냉각한 다음 비이커 내용물의 무게가 450 g 이 되도록 증류수를 추가하였으며, 이를 fluted filter paper를 사용하여 여과하여 맥즙(wort)을 얻었다.

당화 후 맥즙의 쓴맛이 15 IBU가 되도록 맥즙에 hop(cascade, α-acid 함량 6.0%)을 넣어 100°C에서 1시간동안 끓여주었으며, 20°C로 냉각 후 4°C에서 하룻 동안 방치시킨 다음 spent hop과 기타 침전물을 원심분리(3,000 rpm, 10분)에 의해 제거하였다. 맥즙에 *Saccharomyces cerevisiae*를 맥즙 Plato당 10⁷ cells/mL가 되도록 넣고 12°C에서 7일간 발효하였으며, 발효 후 효모는 원심분리에 의해 분리하여 맥주를 제조하였다.

β-Glucan 함량 및 용해성(%)

보리와 맥아의 β-glucan 함량은 McCleary와 Glennie-Holmes의 효소적 방법(16)에 준해 Megazyme assay kit(Megazyme Pty, Ltd., Ireland)를 사용하여 분석하였다. 맥아의 수용성 β-glucan 추출을 위해 1 g의 분쇄 시료를 튜브에 넣고 30 mL 증류수로 진탕항온기에서 2시간 추출하였다. 추출 후 튜브를 3,000 rpm에서 5분간 원심분리한 후 상정액을 버려 수용성 β-glucan을 제거하였으며,

남은 침전물에 대해 β-glucan 함량을 측정하여 불용성 β-glucan 함량으로 구하였다. 수용성 β-glucan 함량은 총 β-glucan 함량에서 불용성 β-glucan 함량을 뺀 수치로 계산하였다. 맥아 β-glucan 용해성(% solubility)은 총 β-glucan에 대한 수용성 β-glucan의 백분율로 나타내었다.

점도 측정

맥즙과 맥주의 점도는 ASBC 방법(17)에 준하여 Cannon-Fenske 점도계를 사용하여 20°C에서 측정하였다.

결과 및 고찰

발아정도에 따른 맥아 β-glucan의 용해성

제맥시 맥아의 변형정도는 매우 중요한 단계로 보리 내부의 배유 세포벽, 단백질, 전분 등이 분해효소들에 의해 변형되며 적절히 변형된 맥아는 최대의 맥즙수율을 가져다 줄 수 있다. 맥아의 변형정도는 주로 세포벽 β-glucan의 분해정도에 의해 좌우되는 것으로 제시된 바 있으며(4) 맥아에 잔존하는 β-glucan은 맥주의 점도 증가와 연관이 있다. 발아시간에 따라 덜 변형된 맥아(60시간 발아)와 적절히 변형된 맥아(96시간 발아)의 총, 불용성 및 수용성 β-glucan 함량을 측정된 결과는 Table 1과 같다. 보리의 총 β-glucan 함량은 3.97%였으며 발아 중에 감소하였는데 덜 변형된 맥아에서는 1.02%인 반면에 적절히 변형된 맥아에서는 0.18%로 급격히 감소하였다. 보리 β-glucan은 발아 4일 후면 대부분이 분해되며 이는 endo-(1→3),(1→4)-β-glucanase의 합성 및 발달에 기인하는 것으로(9) 알려져 있다. 맥아 β-glucan의 용해성은 총 β-glucan 함량에 대한 수용성 β-glucan 함량의 백분율인 % 용해성으로 나타내었다. 덜 변형된 맥아는 21°C 추출온도에서 β-glucan 용해성이 9.8%인 반면에 적절히 변형된 맥아는 66.7%로 β-glucan 용해성이 현저하게 증가하였다(Fig. 1). 덜 변형된 맥아에 비해 적절히 변형된 맥아는 불용성 β-glucan이 급격하게 감소한 반면에 수용성 β-glucan의 함량에는 별 차이가 없어(Table 1) β-glucan의 용해성이 증가함을 보여주었다.

보리 β-glucan의 용해성은 β-glucan의 미세구조, 보리 세포벽 구성물질들 사이의 상호관계, 전처리, 추출조건, 잔존효소의 활성 등 다양한 요인에 의해 달라질 수 있다(2,18). 특히 추출온도는 수용성 β-glucan의 함량에 많은 영향을 미친다. 45°C에서 추출하였을 때 맥아의 불용성 β-glucan 함량은 감소하고 수용성 함량은 증가하여 21°C 추출온도에 비해 β-glucan 용해성이 증가함을 나

Table 1. Total, water-insoluble, and soluble β-glucan contents of barley and malts with different germination degree

Germination degree	β-Glucan content (% , d.b.)		
	Total	Insoluble	Soluble
Raw barley			
21°C extraction	3.97 ± 0.01 ¹⁾	2.85 ± 0.04	1.12 ± 0.03
45°C extraction	3.97 ± 0.01	2.23 ± 0.06	1.74 ± 0.05
Poorly-modified malt (60 hr germination)			
21°C extraction	1.02 ± 0.05	0.92 ± 0.02	0.10 ± 0.03
45°C extraction	1.02 ± 0.05	0.86 ± 0.03	0.16 ± 0.02
Well-modified malt (96 hr germination)			
21°C extraction	0.18 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.12 ± 0.01
45°C extraction	0.18 ± 0.01	0.04 ± 0.00	0.14 ± 0.01

¹⁾Values are means of triplicate measurements.

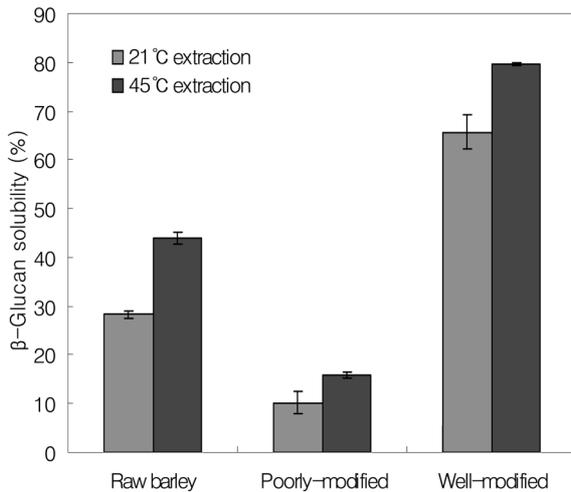


Fig. 1. β -Glucan solubilities of barley and malts with different germination degree.

타내었다. 맥아의 β -glucan 함량은 맥즙의 β -glucan 함량과 밀접한 관계를 가지고 있어(14) 제맥과정중에 세포벽 변형(β -glucan 분해)의 중요성을 나타내주고 있다. 맥아 β -glucan 함량이 맥즙의 점도와 높은 상관관계를 가지고 있으며 이는 맥아 β -glucan이 당화과정 중 거의 맥아 추출물에 용출되어 맥즙의 점도에 직접적인 영향을 준 것으로 설명된 바 있다(19). 따라서 제맥용으로 적당한 보리는 초기 β -glucan 함량이 낮고 제맥 중에 β -glucan 분해가 빨라야 한다고 보고된 바 있다(20). 본 실험에서 측정된 맥아 β -glucan의 수용성 부분은 당화과정 중에 용출되어지는 맥즙과 최종 맥주의 β -glucan 함량에 직접적으로 관련되는 것으로 생각되어 진다.

맥아의 당화온도별 맥즙과 맥주의 점도

맥아의 제조과정에서 시작된 효소의 분해작용은 당화과정에서 완료되어 발효전당을 포함하는 맥즙을 얻게된다. 당화과정 중에 맥아의 가용성 β -glucan 부분은 액체상으로 용출되어 나오며 이때 β -glucan의 분해정도가 맥즙과 맥주의 β -glucan 함량과 점도에 영향을 주게 되는 주 요인이다. 발아시간에 따라 변형정도가 다른 두가지 맥아에 대하여 당화온도별로 당화후 맥즙의 점도를 분석한 결과는 Table 2와 같다. 45°C에서 당화시킨 맥아로부터 얻은 맥즙의 점도는 덜 변형된 맥아와 적절히 변형된 맥아에서 각 1.25 cP와 1.26 cP로 거의 차이가 없이 점도가 낮게 나타났다. 이는 45°C에서는 용출되어지는 β -glucan의 양이 적기 때문에 판단되었다. 당화온도가 55, 65, 그리고 75°C로 증가함에 따라 덜 변형된 맥아로부터 얻은 맥즙의 점도는 1.52, 1.69, 2.54 cP로 증가하였으며 적절히 변형된 맥아는 1.46, 1.53, 1.63 cP로 증가하여 덜 변형된 맥아에 비해 점도의 상승이 높지 않았다. 이는 덜 변형된 맥아에서 초기 β -glucan의 함량이 높아 당화온도의 상승에 따라 용출되어지는 양이 현저하게 증가하는 반면에 적절히 변형된 맥아에서는 초기 β -glucan의 함량이 낮을 뿐 만 아니라 맥아에 충분히 합성되어 발달된 β -glucanase의 활성에 의해 당화과정중에 β -glucan의 분해가 이루어지기 때문으로 생각되었다. 한편 덜 변형된 맥아에서는 용해된 β -glucan이 충분히 분해되지 않아 점도가 높은 것으로 생각되었다. 두가지 맥아로부터 얻은 맥즙을 발효시켜 제조한 맥주의 점도를 측정된 결과는 Table 3과 같다. 맥주는 맥즙에 비해 점도가 높게 나타났으며 이는 제조과

Table 2. Viscosity of wort prepared from poorly- and well-modified malts with different mashing temperatures

Mashing temperature	Wort viscosity (cP)	
	Poorly-modified malt	Well-modified malt
45°C	1.25 ± 0.01	1.26 ± 0.01
55°C	1.52 ± 0.02	1.46 ± 0.01
65°C	1.69 ± 0.02	1.53 ± 0.02
75°C	2.54 ± 0.08	1.64 ± 0.04

Table 3. Viscosity of beer prepared from poorly- and well-modified malts with different mashing temperatures

Mashing temperature	Beer viscosity (cP)	
	Poorly-modified malt	Well-modified malt
45°C	1.39 ± 0.01	1.25 ± 0.01
55°C	1.77 ± 0.01	1.58 ± 0.02
65°C	2.45 ± 0.01	1.75 ± 0.01
75°C	4.42 ± 0.01	1.97 ± 0.01

정중에 맥즙의 가열처리에 의해 맥즙이 다소 농축되어 β -glucan의 농도가 증가하였기 때문으로 생각되었다. 본 실험의 결과는 맥즙과 맥주의 점도가 β -glucan의 함량 및 MW에 따라서 증가하는 것으로 보고한 바(21)와 유사하게 연관되는 것으로 판단되었다. 덜 변형된 맥아는 β -glucan이 충분히 분해되지 않아 55-75°C의 당화온도에서 용출되는 β -glucan 함량이 높은 것으로 여겨지며 이에 따라 맥즙의 분리시간이 늦어지고, 맥즙의 점도가 높으며 맥주의 여과에 문제가 따르는 것으로 나타났다. 따라서 맥주 제조시 β -glucan이 적절히 변형된 맥아의 사용과 아울러 당화조건에 따른 β -glucan의 용해성 및 분해정도를 함께 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

요 약

발아시간에 따라 덜 변형된 맥아(60시간 발아)와 적절히 변형된 맥아(96시간 발아)의 총, 불용성 및 수용성 β -glucan 함량을 측정하였다. 보리의 총 β -glucan 함량은 3.96%였으며 발아 중에 감소하였는데 덜 변형된 맥아에서는 1.02%인 반면에 적절히 변형된 맥아에서는 0.18%로 급격히 감소하였다. 적절히 변형된 맥아는 21°C와 45°C 추출온도에서 β -glucan 용해성이 덜 변형된 맥아에 비해 현저하게 증가하였다. 변형정도가 다른 두가지 맥아에 대하여 당화온도별로 당화 후 맥즙과 맥주의 점도를 분석하였다. 당화온도가 45-75°C로 증가함에 따라 맥즙과 맥주의 점도가 증가하였으며 적절히 변형된 맥아가 덜 변형된 맥아에 비해 점도의 상승이 크지 않았다. 이는 적절히 변형된 맥아는 덜 변형된 맥아에 비해서 당화과정중에 β -glucan 용해성이 상대적으로 높지만 초기 β -glucan의 함량이 낮을 뿐 만 아니라 맥아에 충분히 합성되어 발달된 β -glucanase의 활성에 의해 당화과정 중에 용출되어지는 β -glucan의 분해가 이루어지기 때문인 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 University of California(Davis), Department of Food Science and Technology, Brewing lab에서 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문헌

1. Fincher GB. Morphology and chemical composition of barley endosperm cell walls. *J. Inst. Brew.* 81: 116-122 (1975)
2. Aman P, Graham H. Analysis of total and insoluble mixed-linked (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucans in barley and oats. *J. Agr. Food Chem.* 35: 704-709 (1987)
3. Bourne DT, Wheeler RE. Environmental and varietal differences in total beta-glucan contents of barley and the effectiveness of its breakdown under different malting conditions. *J. Inst. Brew.* 90: 306-310 (1984)
4. Henry RJ. Genetic and environmental variation in the pentosan and beta-glucan contents of barley and their relation to malting quality. *J. Cereal Sci.* 4: 269-277 (1986)
5. Stuart IM, Loi L, Fincher GB. Varietal and environmental variations in (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -glucan levels and (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -glucanase potential in barley: relationships to malting quality. *J. Cereal Sci.* 7: 61-71 (1988)
6. Buliga GS, Brant DA, Fincher GB. The sequence statistics and solution conformation of a barley (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan. *Carbohydr. Res.* 157: 139-156 (1986)
7. Stuart IM, Loi L, Fincher GB. Development of (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan endohydrolase isoenzymes in isolated scutella and aleurone layers of barley (*Hordeum vulgare*). *Plant Physiol.* 80: 310-314 (1986)
8. McFadden GI, Ahluwalia B, Clarke AE, Fincher GB. Expression sites and developmental regulation of genes encoding (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -glucanases in germinated barley. *Planta* 173: 500-508 (1988)
9. Wang J, Zhang G, Chen J, Wu F. The changes of β -glucan content and β -glucanase activity in barley before and after malting and their relationships to malt qualities. *Food Chem.* 86: 223-228 (2004)
10. Bamforth CW. β -Glucan and glucanases in malting and brewing: practical aspects. *Brewers Dig.* 69: 12-21 (1994)
11. Bamforth CW. Barley beta-glucans: Their role in malting and brewing. *Brewers Dig.* 3: 22-35 (1982)
12. Woodward JR, Phillips DR, Fincher GB. Water-soluble (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. I. physicochemical properties. *Carbohydr. Polym.* 3: 143-156 (1983)
13. Li Y, Lu J, Gu G, Shi Z, Mao J. Studies on water-extractable arabinoxylans during malting and brewing. *Food Chem.* 93: 33-38 (2005)
14. Edney MJ, LaBerge DE, Langrell DE. Relationships among the β -glucan contents of barley, malt, malt congress extract, and beer. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 56: 164-168 (1998)
15. Lee YT, Mok C. Activities of hydrolytic enzymes in barley malts prepared under different germination conditions. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 42: 324-329 (1999)
16. McCleary BV, Glennie-Holmes M. Enzymatic quantification of (1 \rightarrow 3),(1 \rightarrow 4)- β -D-glucan in barley and malt. *J. Inst. Brew.* 91: 285-295 (1985)
17. ASBC, Methods and Analysis, 8th ed. Wort-13 Viscosity. St. Paul, MN, USA (1992)
18. Wood PJ, Siddiqui IR, Paton D. Extraction of high-viscosity gums from oats. *Cereal Chem.* 54: 524-533 (1978)
19. Lee YT, Lee CK. Effects of varietal variation in barley on β -glucan and malting quality characteristics. *Korean J. Food Sci. Technol.* 26: 172-177 (1994)
20. Henry RJ. Changes in β -glucan and other carbohydrate components of barley during malting. *J. Sci. Food Agric.* 42: 333-341 (1988)
21. Jin Y, Speers A, Paulson AT, Stewart RJ. Effects of β -glucans and environmental factors on the viscosities of wort and beer. *J. Inst. Brew.* 110: 104-116 (2004)