

초음파와 효소처리가 국산 6조맥의 당화에서 환원당 생성에 미치는 영향

김혜진 · 김지현 · 이승주 · 김왕준 · 권영안¹ · 홍광원*
동국대학교 식품생명공학과, ¹우석대학교 의식산업조리학과

Effect of Enzymatic and Ultrasonic Treatment on Reducing Sugar Production from Korean 6-row Barley During Mashing

Hye Jin Kim, Ji Hyun Kim, Seung Ju Lee, Wang June Kim,
Young An Kwon¹, and Kwang Won Hong*

Department of Food Science and Biotechnology, Dongguk University-Seoul
¹Department of Food Science and Culinary Art, WooSuk University

Abstract

The effects of ultrasound and enzyme treatments on reducing sugar production from Korean 6-row barley Dahyang during the mashing process of brewing were studied. The concentration of reducing sugar produced by the traditional method was 41.5 mg/mL. The treatment of both the ultrasound at 400 W and amyloglucosidase (0.1 U/mL) increased the reducing sugar concentration produced in the mashing process by 15% compared to the traditional method. In addition, both treatments reduced the total mashing time from 115 min to 70 min. The combination of ultrasound and amyloglucosidase treatment increased the reducing sugar production yield by 17% during mashing, in comparison with the traditional method.

Key words: Korean 6-row barley, mashing, ultrasound, amyloglucosidase, reducing sugar

서 론

맥주는 국내에서 가장 많이 판매되는 주류 중의 하나이다. 맥주는 보리와 물, 홉, 효모로 만들며 사용한 원료의 품질과 적성에 따라 맥주의 맛과 향기, 성분 등의 여러 가지 품질에 차이를 갖는다(Wunderlich et al., 2008). 보리는 맥주 원료 중 가장 중요한 비중을 차지하며 맥주 품질을 결정하는 결정적 요소이다. 보리는 작물학적으로 배열된 보리알의 열 수에 따라 2조맥(two-row barley)과 6조맥(six-row barley)으로 구별된다(Kim and Kang, 2002). 일반적으로 6조맥은 2조맥에 비해 전분 함유량이 적고 맥즙 품질이 낮아 전세계적으로 맥주제조에는 2조맥이 주로 사용되어 왔다(Goldammer, 2008). 그러나 6조맥을 이용하여 다양한 맥주를 제조하는 연구가 북미 지역을 포함하여 여러 나라에서 활발히 진행되고 왔으며(Schwarz and Horsley, 1995), 맥주를 제조할 때 추가공정을 이용하여 6조맥으로

맥주를 만들 수 있는 가능성이 충분하다고 알려져 있다(Gebhardt et al., 1993; Horsley et al., 1995).

국내에서 한해 생산되는 보리의 양은 2조맥 26,189 톤, 6조맥 55,028 톤으로 6조맥이 총 보리 생산량의 67%를 차지하고 있다(Kim et al., 2012). 최근 국내산 6조맥의 소비 활성화를 위한 다양한 보리가공식품 개발이 시도되고 있으나 국내에서는 6조맥을 이용한 맥주제조 연구는 매우 부족한 실정이다. 최근 국산 6조맥 다량의 맥주제조 적성이 국산 맥주보리 진양과 유사하다는 결과가 보고되었으며(Kim et al., 2014), 전분함량이 낮은 6조맥을 맥주제조를 위해 활용할 경우 우선 맥아의 전분을 최대한 추출하여 맥즙을 제조하는 당화 과정의 개선이 필요할 것으로 보인다.

최근 식물이나 폐기물에서 유용성분의 추출이나 당화과정 개선을 위해 초음파나 효소를 이용하는 다양한 사례들이 보고되고 있다. 초음파를 수용액상의 물질에 처리하면 물질의 입자를 더 작게 파괴하거나 물질 입자간의 간격을 발생시켜 반응표면을 증가 시키는 것으로 알려져 있어 약초의 유용성분 추출(Vinatoru, 2001), 대두 오일의 추출(Haizou et al., 2004), 포도의 레스베라트롤 추출(Cho et al., 2005), corn slurry의 당화(Melissa et al., 2010) 효율을 증가시키는데 사용되었다. 또한 효소를 사용하여 폐지(Wood et al., 1997)와 폐목재의 당화(Kim et al., 2011),

*Corresponding author: Kwang Won Hong, Department of Food Science and Biotechnology, College of Biosystem, Dongguk University, 3 Pil-dong, Jung-gu, Seoul, 100-715, Republic of Korea
Tel: +82-2-2260-3369; Fax: +82-2-2260-3369
E-mail: hkwon@dongguk.edu
Received June 17, 2014; revised December 13, 2014; accepted December 15, 2014

쌀전분의 당화(Kwon et al., 2012)를 증가시킨 연구도 알려져 있다. 보리의 맥아에는 전분의 α -1,4 결합을 분해하는 α -amylase, 비환원 말단부터 maltose 단위로 절단하는 β -amylase, α -1,6 결합을 분해하는 limit dextrinase(starch debranching enzyme)와 같은 주요 분해효소들을 포함하고 있어 당화과정 중 맥아의 전분을 효모가 이용할 수 있는 상태의 발효성 당으로 분해한다(MacGregor et al., 1999). 맥주제조용 맥아에는 active limit dextrinase의 함량이 낮아 당화 과정 중 전분의 75-80% 정도가 발효성 당으로 전환되며 잔여 small branched dextrin들은 최종 맥주의 품질에 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되었다(Enevoldsen and Bathgate, 1969; Lee and Pylar, 1984).

따라서 당화과정 중 추가로 α -1,4 및 α -1,6 결합을 분해할 수 있는 효소의 사용은 잔여 small branched dextrin들을 발효성 당으로 전환시키는데 도움이 될 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 6조맥의 당화과정에서 발효성 당의 추출효율을 향상시키기 위해 국내산 6조맥 품종인 다향을 이용하여 맥아를 제조하고 이를 이용한 당화과정에서 초음파, α -amylase, 그리고 α -1,04 및 α -1,6 결합을 절단하는 amyloglucosidase를 다양한 조건으로 처리하였다. 맥즙에 포함된 환원당의 양을 분석하여 초음파와 전분가수분해효소 처리가 발효성 당의 추출 증가에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

재료

국산 6조맥은 2012년 전라북도 익산에서 수확된 다향(Dahyang)을 사용하였다. 제맥 과정은 Automatic Micromalting Systems(Phoenix Biosystems Co., Pleasanton, CA, USA)을 이용하여 침맥과 발아, 배조의 3 단계로 진행하였다(Kim et al., 2013). 제조된 맥아는 Drum mill(Malt Drum Mill, Jeil Industry Co., Seoul, Korea)을 이용하여 1 mm의 간극으로 분쇄하여 당화과정에 사용하였다.

전통적인 당화방법

전통적인 당화방법은 EBC Congress mash법(Chemists, ASOB)을 따랐으며, 그 방법은 다음과 같다. 분쇄한 맥아 5 g을 250 mL용 duran bottle에 넣고 45°C의 증류수 20 mL과 잘 섞은 다음 1차 당화를 위해 45°C의 shaking water bath에서 100 rpm로 30분간 당화 시킨 후 1°C/min의 속도로 25 분 동안 온도를 증가시켜 당화액의 온도를 70°C까지 올려 당화시켰다. 그 후 2차 당화를 위해 70°C의 증류수 10 mL을 첨가하여 70°C를 유지하면서 1시간 더 2차 당화시켰다. 따라서 전통적인 당화방법은 1차 당화, 온도증가 구간, 2차 당화를 포함하여 총 115 분이 소요된다. 당화가 완료되면 20°C로 식히고 증류수를 첨가하여 무게를 45 g으로

조정하였다. 당화액 1 mL을 eppendorf tube에 취하여 4°C의 microcentrifuge에서 12,000 rpm으로 2분간 원심분리 후 상등액을 회수하였다. 상등액을 10 배씩 순차적으로 희석하고 희석된 당화액의 환원당 양은 DNS법을 이용하여 측정하였다(Miller, 1959).

초음파를 적용한 당화방법

맥아 5 g을 duran bottle에 넣고 증류수 40 mL와 잘 섞은 다음, 1차 당화는 ultrasonic water bath(SK8210HP, Youngjin Co., Seoul, Korea)을 이용하여 53 kHz로 10 분 동안 4 가지 온도조건(45, 55, 65 및 70°C)과 4 가지 출력조건(200, 300, 400 및 500 watt)을 달리하여 실험하였다. 그 후 2차 당화를 위해 70°C의 shaking water bath로 옮겨 100 rpm으로 1시간 더 당화시킨다. 따라서 초음파 처리나 이후 효소를 처리하는 당화방법은 모두 1차 당화 및 2차 당화를 포함하여 총 70 분이 소요된다. 시간별 당화 실험을 위하여 1차 당화는 ultrasonic water bath에서 53 kHz로 10 분 동안 초음파 최적 온도조건(55 및 65°C), 출력조건(400 watt)과 초음파 무 처리 조건으로 실험을 수행하였다. 그 후 2차 당화를 위해 70°C의 shaking water bath로 옮겨 100 rpm으로 1시간 더 당화시킨다. 2차 당화가 진행되는 동안 15 분 간격으로 당화액을 회수하여 환원당 양을 측정하였다.

효소를 적용한 당화

당화 효소인 α -amylase(from *Aspergillus oryzae*)와 amyloglucosidase(from *Aspergillus niger*)는 Sigma-Aldrich Co.(St Louis, MO, USA)에서 구매하여 사용하였다. α -amylase(100 및 300 units)와 amyloglucosidase(5 및 50 units)를 각각 첨가한 것과 효소 무 처리 조건으로 1차 당화를 65°C에서 10 분 처리 후, 2차 당화를 70°C에서 1시간 진행하였으며, 당화가 완료되면 20°C로 당화액을 식히고 원심 분리한 다음 희석하여 환원당 양을 측정하였다. Amyloglucosidase의 최적 첨가량을 조사하기 위해 효소량을 4 가지 조건(25, 50, 100 및 200 units)으로 각각 첨가한 것과, 효소 무 처리 조건으로 1차 및 2차 당화를 진행하였다.

초음파와 효소를 함께 적용한 당화

당화 비교 실험을 위해 초음파와 효소의 최적조건을 함께 적용하였다. 1차 당화는 ultrasonic water bath에서 amyloglucosidase(50 units) 첨가 후 53 kHz로 10 분 동안 초음파 최적 조건(65°C 및 400 watt)으로 실험을 수행하였다. 2차 당화를 위해 shaking water bath로 옮겨 70°C를 유지하면서 100 rpm으로 1시간 더 2차 당화시켰다. 2차 당화가 진행되는 동안 15 분 간격으로 당화액을 분석하였다.

편광현미경 관찰

편광현미경 관찰을 위해 분쇄된 맥아를 가는 체(710 μm, ChungGye Sanggongsa, Seoul, Korea)로 걸러 껍질을 제거한 후 필터백(160×145 mm)으로 두 번 더 거르고 남은 맥아가루를 사용하였다. 각각의 맥아 5g을 40 mL의 증류수에 넣고 전통적인 방법, 효소 처리(amyloglucosidase 50 unit), 초음파처리(400 watt), 효소 및 초음파 동시처리 조건으로 65°C에서 10분간 반응 시킨 후 70°C에서 60 분 더 당화시켰다. 각 샘플을 10분간 냉각시킨 후 편광현미경(Eclipse-E200, Nikon Co., Tokyo, Japan)으로 40 배 확대하여 관찰하였다. 처리 조건에 따른 당화 결과의 비교를 위해 대조군으로 당화하지 않은 맥아 5g을 40 mL의 증류수에 넣은 직후 편광현미경으로 관찰하였다.

결과 및 고찰

초음파 처리가 당화에 미치는 영향

보리 품종에 따라 맥아의 당화 조건이 최적화되지 않을 경우 맥아의 전분이 발효성 당으로 충분히 분해되지 않을 수 있으며 발효과정 중 효모가 이용할 수 있는 당의 양이 충분치 않아 맥주의 품질이 떨어질 수 있다. 초음파를 이용하여 쌀전분의 평균 분자량을 감소시키거나(Isono et al., 1994) corn slurry의 입자크기를 감소시켜 환원당 수율을 2-3 배 증가시킨 사례가 알려져 있어(Melissa et al., 2010) 본 실험에서도 6조맥 다향 맥아에 있는 전분을 최대한 분해할 수 있도록 다양한 조건으로 초음파 처리를 하였다.

초음파 출력이 적절할 경우 효소의 활성을 증가시킬 수 있으나 지나치게 높은 출력은 오히려 효소의 미세구조를 파괴하여 불활성화 시킬 수도 있다(Wu et al., 2011). 따라서 맥아의 당화과정에 초음파의 출력과 처리시간을 달리하여 생성된 환원당의 양을 전통적인 당화방법과 비교하였다(Fig. 1). 전통적인 당화방법의 환원당 생성량은 41.56 mg/mL이었다. 반면에 초음파를 처리한 경우 400 watt 출력조

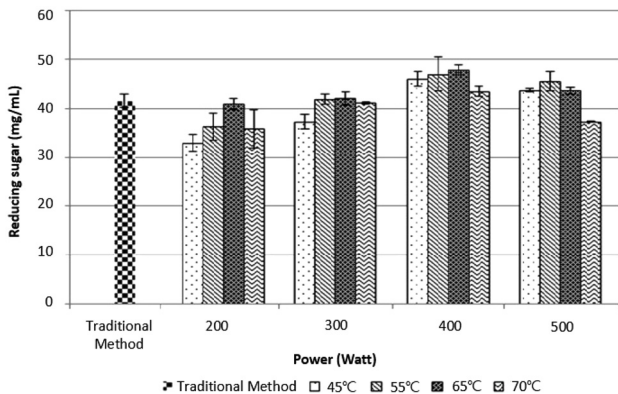


Fig. 1. Effect of sonication temperature and power on reducing sugar concentration obtained after mashing of Korean 6-row barley.

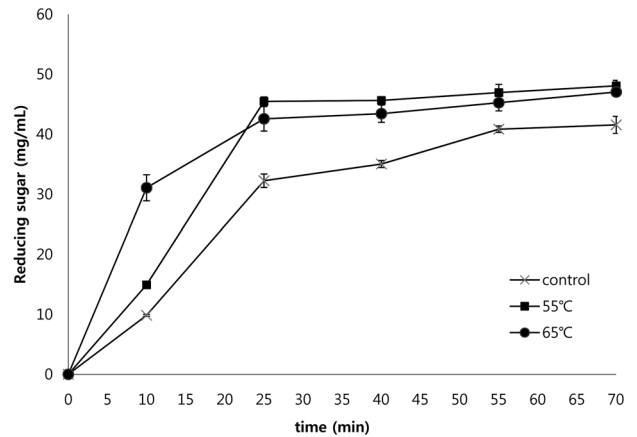


Fig. 2. Time course of reducing sugar production in mashing after ultrasound pretreatment (400 W) for 10 min at 55 and 65°C.

건에서 테스트한 45, 55, 65 및 70°C의 온도 조건 중 55와 65°C에서 환원당 생성량이 각각 46.96 및 47.79 mg/mL로 전통적인 방법에 비해 환원당 양이 12% 및 15%로 증가하였다. 초음파 출력이 200, 300 및 500 watt 조건에서는 여러 온도에서 400 watt 조건에 비해 환원당 생성량은 감소하는 것으로 나타났다. 또한 전통적인 당화방법은 1 차 당화(45°C에서 30 분)와 2 차 당화(70°C에서 60 분)로 나뉘며 1 차 당화에서 2 차 당화로 온도를 서서히 올리는 시간 25 분을 포함하여 총 115 분이 소요되지만 초음파를 적용한 당화방법은 총 70 분으로 당화시간을 약 40% 단축시킬 수 있었다.

한편 초음파 적용시 처리온도에 따른 환원당의 생성속도를 비교하기 위해 400 watt 출력조건에서 온도는 55°C와 65°C에서 실험을 수행하고 환원당은 15 분 간격으로 측정하였다(Fig. 2). 초음파를 10분간 처리한 1 차 당화에서 55°C의 경우 환원당 농도가 14.93 mg/mL이고 2 차 당화가 종료된 시점에서는 48.04 mg/mL 이었다. 65°C의 경우는 1 차 당화 종료시점에서 31.06 mg/mL, 2 차 당화가 종료된 시점에서는 47.04 mg/mL 이었다. 초음파를 처리한 두 온도 조건에서 1 차 당화 후 환원당 농도는 65°C의 경우가 약 2 배 높았으나 2 차 당화 종료 시점에서는 55°C와 비교해 거의 유사하였다. 그러나 초음파를 처리하지 않고 55°C에서 1 차 당화를 진행한 대조군은 환원당 농도가 10.09 mg/mL, 2 차 당화 종료 시점에서는 42.09 mg/mL으로 초음파 처리는 6조맥 맥아에서 환원당의 추출을 약 12-15% 증가시켰음을 재차 확인할 수 있었다.

당화효소 처리가 당화에 미치는 영향

당화효소의 첨가가 6조맥 맥아의 당화에 미치는 영향을 비교조사하기 위해 당화 효소인 α-amylase와 amyloglucosidase를 각각 첨가하여 당화시키고 환원당의 추출 정도를 조사하였다. 두 효소는 일반적인 당화온도에서 최적 활성을 나타

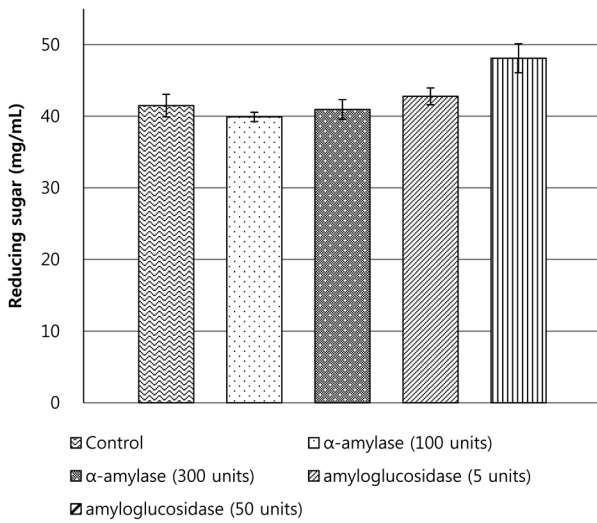


Fig. 3. Effect of starch-degrading enzyme treatment on reducing sugar concentration obtained after mashing of Korean 6-row barley.

내므로 추출 온도와 시간은 초음파 처리조건과 동일한 65°C에서 효소 첨가 후 1차 당화 10분 그리고 70°C에서 2차 당화 60분을 처리하였다. 효소를 첨가하지 않은 대조군에서 환원당 농도는 41.48 mg/mL였으며, α-amylase를 추가로 100 unit과 300 unit 첨가하여도 환원당의 양은 증가하지 않았다. 그러나 amyloglucosidase를 50 unit 첨가하였을 경우, 환원당이 48.10 mg/mL으로 효소를 사용하지 않은 대조군에 비해 약 16% 증가하였다(Fig. 3). 따라서 6조맥 다량의 맥아에서 당화효소는 amyloglucosidase의 사용이 더 적합한 것으로 나타났으며 amyloglucosidase가 α-1,4 결합 이외에도 추가로 α-1,6 결합을 천천히 분해할 수 있기 때문인 것으로 보인다(MacGregor et al., 1999). 또한 amyloglucosidase의 최적 사용량을 결정하기 위해 동일 조건하에서 효소의 사용량만 각각 25, 50, 100 및 200 units으로 구분하여 당화실험을 수행하였다. 실험조건에서 amyloglucosidase가 50 unit 첨가되었을 때 환원당 생성량이 가장 많았으며 효소의 사용량이 그 이상 증가하더라도 환원당은 더 이상 증가하지 않았다(Fig. 4).

초음파와 당화효소의 동시처리가 당화에 미치는 영향

초음파와 효소를 각각 적용한 6조맥 맥아의 당화 실험에서 각각의 처리는 환원당의 생성을 처리하지 않은 경우에 비해 유사하게 대략 15%씩 증가시켰다. 초음파와 효소의 동시처리가 당화과정에서 환원당 추출에 미치는 영향을 조사하기 위해 65°C에서 amyloglucosidase를 50 unit 첨가하고 초음파를 400 watt 조건으로 10분간 처리하는 1차 당화를 거쳐 70°C에서 60분간 반응시키는 2차 당화를 진행하면서 일정 시간 별로 환원당의 농도를 조사하였다. 1차 당화과정에서 초음파 처리군, 효소 처리군, 초음파와 효소

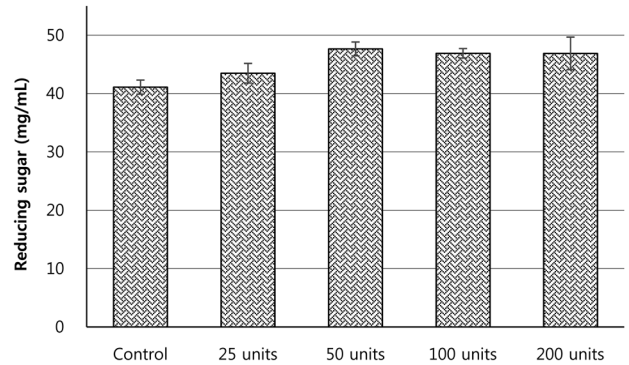


Fig. 4. Influence of amyloglucosidase concentration on the production of reducing sugar in mashing.

동시처리군의 환원당 농도는 각각 35.27, 36.15 및 39.15 mg/mL로 유사하였으며 무처리군(10.24 mg/mL)에 비해 생성량이 대략 3.5 배 정도 증가하였다. 그러나 2차 당화 종료시점에서는 초음파/효소 동시처리군의 환원당 농도는 49.11 mg/mL으로 초음파(48.10 mg/mL)나 효소(47.04 mg/mL) 단독처리군에 비해 약 2-4% 증가하였으나 큰 차이는 없었으며 무처리군(41.97 mg/mL)에 비해서는 약 17% 정도 증가하였다.

편광현미경에 의한 당화 정도 관찰

상기 실험에서 초음파/효소 동시처리군의 환원당 농도가 기대와 달리 초음파나 효소 단독 처리군에 비해 큰 차이가 없었으므로 당화과정 중 효소 및 초음파 처리에 따른 다량 맥아 전분의 분해 정도를 확인하기 위해 편광현미경을 이용하여 40 배의 배율로 당화액의 잔여 전분을 직접 관찰하였다. 당화 이전의 다량 맥아 생전분 입자는 대략 타원형으로 복굴절성을 나타내고 있다(Fig. 6-A). 전통적인 당화과정 이후에 전분입자의 수는 생전분에 비해 많이 감소되

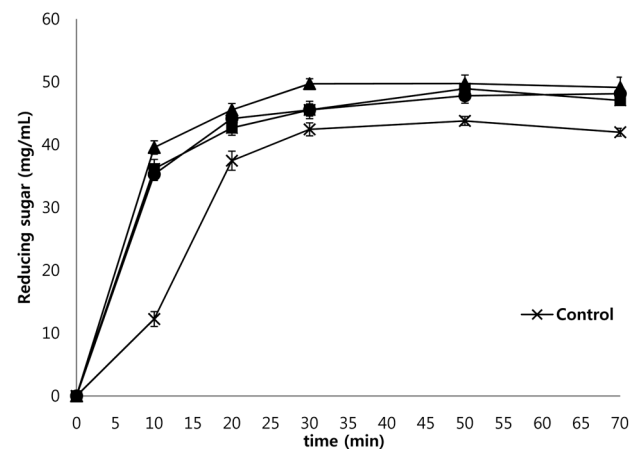


Fig. 5. Time course of reducing sugar production in mashing with the ultrasound (●), amyloglucosidase (■) and ultrasonic plus amyloglucosidase (▲) treatments.

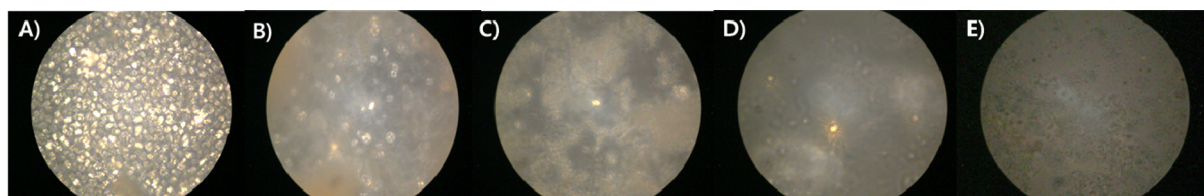


Fig. 6. Polarized-light micrographs of malt starch granules before mashing (A), after traditional mashing (B), amyloglucosidase treatment (C), ultrasound treatment (D), and ultrasonic plus amyloglucosidase treatments (E).

었으나 여전히 전분입자가 적지 않게 남아 있는 것을 볼 수 있다(Fig. 6-B). 잔여 전분의 분해를 촉진하기 위해 초음파와 amyloglucosidase의 단독 처리 그리고 초음파와 효소를 동시에 처리한 결과(Fig. 6-C, E), 기존 당화 이후의 전분입자에 비해 그 수가 거의 감소한 것으로 나타나 환원당의 양을 화학적으로 분석한 결과들과 일치한다.

본 실험에서 제조한 국산 6조맥 다향 맥아의 당화과정 중 초음파나 효소의 단독처리는 환원당의 양을 대조군에 비해 약 15% 증가시켰고 초음파와 효소의 동시처리는 약 17% 증가시켰다. 맥주보리의 맥아를 전통적인 방법으로 당화할 경우 전분의 75-80% 정도가 발효성 당으로 전환된다는 외국의 연구결과(Enevoldsen, et al., 1969; Lee & Pyle, 1984)와 직접적인 비교는 곤란하나 국산 6조맥 다향의 경우 환원당 분석과 편광현미경 결과를 통해 기존의 전통적인 당화방법으로는 맥아의 전분을 충분히 발효성 당으로 분해할 수 없다는 결과를 얻었다.

그리고 국산 맥주보리 진양 2조맥 맥아를 전통적인 방법으로 당화하여 분석한 환원당 양이 54.4 mg/mL(Kim et al., 2014)인 것과 비교해 볼 때 본 실험에서 동일한 방법으로 당화하여 분석한 6조맥 다향 맥아의 환원당 양은 약 41.5 mg/mL로 2조맥 진양의 환원당 생성량에 비해 약 24% 적은 것으로 나타났다. 따라서 맥주제조를 위해 전통적인 방법으로 6조맥 다향 맥아의 전분을 충분히 당화시킬 수 없으면 당화온도 조절, 초음파, 다양한 분해효소의 사용 등과 같은 반응조건의 개선이 필요하고 또한 품종에 따른 전분 함유량이 부족하면 보완을 위해 다양한 부원료의 사용이 필요할 것으로 보인다.

요 약

국산 6조맥 다향 맥아를 이용하여 맥주를 제조하기 위한 당화 공정에서 초음파와 효소처리가 환원당의 생성에 미치는 영향을 조사하였다. 전통적인 방법으로 당화시킨 맥아의 환원당 생성량은 약 41.5 mg/mL 이었다. 초음파(400 watt)와 amyloglucosidase(50 U)를 각각 처리한 경우 전통적인 당화방법에 비해 추출된 환원당의 양은 모두 15% 증가하였으며 당화시간도 115 분에서 70 분으로 단축되었다. 초음파와 amyloglucosidase를 동시 처리하였을 경우 환원당의 양은

전통적인 방법에 비해 17% 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업(112071-3) 연구결과의 일부로서 연구비 지원에 감사 드립니다.

References

- ASOB. 1992. American Society of Brewing Chemists. Methods of Analysis of the American Society of Brewing Chemists 8th.
- Cho Y, Hong J, Chun HS, Lee SK, Min H. 2005. Ultrasonication-assisted extraction of resveratrol from grapes. *J. Food Eng.* 77: 725-730.
- Enevoldsen BS, Bathgate GN. 1999. Structural analysis of wort dextrins by means of β -amylase and the de-branching enzyme, pullulanase. *J. Inst. Brew.* 75: 433-443.
- Gebhardt DJ, Rasmusson DC, Fulcher RG, 1993. Kernel morphology and malting quality variation in lateral and central kernels of six-row barley. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 51: 145-148.
- Goldammer T. 2008. *The Brewers' handbook*. Apex Publishers, Lexington, KY, USA. pp. 10-52.
- Haizhou L, Pordesimo L, Weiss J. 2004. High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. *Food Res. Int.* 37: 731-738.
- Horsley RD, Schwarz PB, Hammond JJ. 1995. Genetic diversity in malt quality of North American six-rowed spring barley. *Crop Sci.* 35: 113-118.
- Isono Y, Kumagai T, Watanabe T. 1994. Ultrasonic degradation of waxy rice starch. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 58: 1799-1802.
- Kim HJ, Cho EJ, Lee KH, Kim SB, Bae HJ. 2011. Popping pretreatment for enzymatic hydrolysis of waste wood. *J. Korean Wood Sci. Tech.* 39: 95-103.
- Kim JG, Lee JH, Sung BR, Ko BR, Kwon TO, Lee YT. 2012. Current state of barley industry and counterplan against the abolition of procurement system of barley. *J. Kor. Soc. Int. Agric.* 24: 107-129.
- Kim JH, Kim JH, Choi EJ, Lee SJ, Kwon YA, Hong KW, Kim WJ. 2014. Multivariate analysis for feasibility of Korean six-row barleys for beer brewing. *J. Inst. Brew.* 120: 371-378.
- Kim JH, Kim JH, Lee SJ, Hong KW, Kwon YA, Park JC, Kim WJ. 2013. Characterization of fermentation kinetics of beer made of Korean 6 row-barley. *Food Eng. Prog.* 17: 189-197.
- Kim KB, Kang KH. 2002. Effect of high-protein Korean malting barley on malt quality. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 34: 407-412.

- Kwon YA, Lee KG, Hong KW, Lee SJ. 2012. Various enzymes and amino acids were used to improve the quality attributes of beer brewed with rice adjunct. *Food Eng. Prog.* 16: 151-156.
- Lee HS, Lee JH. 1989. Effect of starch and pectic substances on potato texture. *Korean J. Soc. Food Sci.* 5: 43-49.
- Lee WJ and Pyler R.E. 1984. Barley malt limit dextrinase; varietal, environmental and malting effects. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 42: 11-17.
- MacGregor AW, Bazin SL, Macri LJ, and Babb JC. 1999. Modeling the contribution of alpha-amylase, beta-amylase and limit dextrinase to starch degradation during mashing. *J. Cereal Sci.* 29: 161-169.
- Melissa ML, Samir KK, Johannes L, Raj R, Larson DJ, David G. 2010. Ultrasonic pretreatment of corn slurry for saccharification: A comparison of batch and continuous systems. *Ultrason. Sonochem.* 17: 939-946.
- Miller GL. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.* 31: 426-428.
- Schwarz PB, Horsley RD. 1995. Malt quality improvement in North American six-rowed barley cultivars since 1910. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 53: 14-18.
- Shin MS, Song E. 1991. Physicochemical properties of naked barley starches. *J. Korean Agric. Chem. Soc.* 34: 94-101.
- Stephen B, Clive B, Deborah W. 1996. The effects of ultrasound on the activities of some glycosidase enzymes of industrial importance. *Enzyme Microb. Tech.* 18: 190-194.
- Vinatoru M. 2001. An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs. *Ultrason. Sonochem.* 8: 303-313.
- Wood BE, Aldrich HC, Ingram LO. 1997. Ultrasound stimulates ethanol production during the simultaneous saccharification and fermentation of mixed waste office paper. *Biotechnol. Prog.* 13: 323-327.
- Wu Y, Du X, Ge H, Lv Z. 2011. Preparation of microporous starch by glucoamylase and ultrasound. *Starch/Starke.* 63: 217-225.
- Wunderlich S, Back W. 2008. Ingredients, processes, and quality criteria. In: *Overview of manufacturing beer. Beer in health and disease prevention.* Academic Press, Waltham, MA, USA. pp. 1-15.
- Zhang YQ, Fu EH, Liang JH. 2008. Effect of ultrasonic waves on the saccharification processes of lignocellulose. *Chem. Eng. Technol.* 31: 1510-1515.
- Zhu J, Li L, Chen L, Li X. 2012. Study on supramolecular structural changes of ultrasonic treated potato starch granules. *Food Hydrocolloid.* 29: 116-122.