

효소처리에 의한 초당옥수수 추출물의 이화학적 및 항산화 특성의 변화

인병호 · 장다빈* · 이재준* · 이원종* · 윤아름* · 김성규** · †이경행***
한국교통대학교 식품영양학과 대학원생, *한국교통대학교 식품영양학전공 학부생,
클래식영농조합법인 대표, *한국교통대학교 식품영양학전공 교수

Changes in Physicochemical and Antioxidant Properties of by Enzyme-Treated Super Sweet Corn Extracts

Byung-Ho In, Da-Bin Jang*, Jae-Jun Lee*, Won-Jong Lee*,
Ah-Reum Yoon*, Sung-Kyu Kim** and †Kyung-Haeng Lee***

Graduate School Student, Dept. of Food and Nutrition, Korea National University of Transportation, Jeungpyeong 27909, Korea

*Student, Dept. of Food and Nutrition, Korea National University of Transportation, Jeungpyeong 27909, Korea

**CEO, Classicfarms, Koesan 28002, Korea

***Professor, Major in Food and Nutrition, Korea National University of Transportation, Jeungpyeong 27909, Korea

Abstract

To improve usability of super sweet corn, extracts were prepared with hydrolytic enzyme and changes in physicochemical and antioxidant properties were analyzed. Soluble solids and reducing sugars contents were higher in all enzyme treatment groups than in the control. When enzyme treatment time increased, contents of soluble solids and reducing sugars were also increased. There was no significant difference in lightness between treatment groups, with redness showing the highest value in the control and yellowness showing the highest value in the invertase treatment group. Free sugar content in the control was the lowest. However free sugar content in the enzyme combination treatment group was increased by more than four times compared to that in the control. Contents of ascorbic acid, flavonoids and polyphenols were higher in the enzyme treatment group than in the control. In particular, the enzyme combination treatment group showed the highest content. DPPH and ABTS radical scavenging abilities were significantly higher in all enzyme treatment groups than in the control. Radical scavenging abilities of cellulase treatment group and enzyme combination treatment group showed high activity. The activity increased when enzyme treatment time increased. The combined enzyme treatment method for super sweet corn was suitable for food processing.

Key words: super sweet corn, enzyme treatment, physicochemical property, antioxidant activity

서론

옥수수(*Zea mays* L.)는 밀, 쌀과 함께 세계 3대 식량 작물로서 2020년 기준 가장 많이 생산되고 있는 곡물로 주로 사료용, 감미료용, 간식용 등 다양한 용도로 소비되고 있다 (FAO 2022). 옥수수는 72%가 전분이며 그 외 단백질, 지방, 식이섬유 등으로 구성되어 있고, 필수지방산인 리놀렌산이

많이 함유되어있다(Park 등 2019).

초당옥수수(Super sweet corn, *Zea mays saccharata* Sturt.)는 단옥수수의 일종으로 일반 옥수수보다 당도가 높으며, 낱알의 껍질이 얇아 씹을 때 과일과 같은 아삭한 식감을 준다 (Park 등 2022). 옥수수는 일반적으로 전분 생합성(starch biosynthesis)을 통해 생육 및 저장 중 당을 전분으로 합성하는데 이때 ADP-glucose pyrophosphorylase 효소의 작용에 의

† Corresponding author: Kyung-Haeng Lee, Professor, Major in Food and Nutrition, Korea National University of Transportation, Jeungpyeong 27909, Korea. Tel: +82-43-820-5334, Fax: +82-43-820-5850, E-mail: leekh@ut.ac.kr

해 조절된다(Ballicora 등 2003). 그러나 초당옥수수는 전분 생합성 조절 효소인 ADP-glucose pyrophosphorylase의 활성을 억제하는 shrunken-2(sh2) 돌연변이 유전자를 보유하고 있어 당이 전분으로 합성되는 것을 억제하여 높은 자당 함량을 지닌다(Abe & Adelegan 2019).

이러한 특성은 초당옥수수에 높은 단맛과 일반 옥수수와는 다른 특유의 식감을 부여하며 Back 등(2020)은 저연령층에서 선호하는 간식용 옥수수로서 향후 소비시장이 점진적으로 증가할 것으로 전망되어 아동 영양 간식용 소재로서의 개발 전망이 밝다고 하였다.

그러나, 초당옥수수는 당함량이 높고 여름철의 높은 온도에서 수확되는 환경에 있어 변질되기 쉬운 작물로 저장 중 저장온도가 높으면 초당옥수수 내 당 성분이 전분으로 빠르게 변화되어 저장 또는 유통과정 중 감미가 빠르게 떨어지고, 과피의 경도는 증가하여 씹는 질감 또한 나빠져 품질이 저하하게 된다. 또한 높은 당 함량으로 인해 발생하는 미생물 및 병충해 피해에 취약하기 때문에 소비기한이 일반 옥수수보다 짧다는 단점을 가지고 있다(Yang 등 2007). 따라서 이와 같은 초당옥수수의 단점을 보완할 수 있는 다양한 가공기술 및 새로운 제품개발의 필요성이 대두되었다.

식품가공기술 중 식품산업에서 효소처리 기술은 감미도를 상승시키거나 점도의 변화, 수율향상 및 조직감 조절 등의 목적으로 다양하게 사용되고 있다(Lee 등 2021). 이와 같은 효소처리 기술은 초당옥수수의 단점을 보완할 수 있을 것으로 기대되며 특히 효소처리를 통하여 감미도를 증대시켜 식품소재로서의 활용 가능성을 넓힐 수 있을 것으로 생각된다. 그러나, 현재까지는 국내에서는 초당옥수수에 효소처리 기술을 적용한 연구나 제품은 찾아볼 수 없다.

따라서, 본 연구에서는 초당옥수수의 활용도 등을 증진시키기 위하여 알곡에 cellulase, pectinase, amylase, invertase 및 이들 효소들의 병용처리로 초당옥수수 추출물을 제조하고 이들의 이화학적 및 항산화 활성 변화를 분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용한 초당옥수수는 2023년도 7월에서 8월에 충청북도 괴산군 불정면 농가에서 구입하여 알곡과 속대를 분리하여 알곡만을 시료로 사용하였다. 초당옥수수의 효소처리를 위하여 사용한 효소는 cellulase, pectinase, amylase, invertase를 사용하였다.

2. 초당옥수수 효소처리 시료 제조

초당옥수수 효소처리 시료 제조는 Lee 등(2021)의 방법을 참조하여 초당옥수수 알곡에 가수분해 효소와 물(DW, distilled water)을 첨가하여 Table 1의 조성에 따라 제조하였다. 이때의 효소처리균은 무처리균인 대조균, cellulase 처리균(Cellucast 1.5 L(700 EGU/g), Novozymes, Bagsvaerd, Denmark), pectinase 처리균(Pectinex Ultra SP-L(3,000 PGNU/g), Novozymes, Bagsvaerd, Denmark), amylase 처리균(AMG 300L BrewQ(300 AGU/g), Daejongzymes, Korea), invertase처리균(Inverlyve P(400 IGIU/g), Daejongzymes, Korea) 및 cellulase, amylase와 invertase 효소 병용처리균으로 하였다. 즉 마쇄한 초당옥수수 알곡에 가수분해효소와 물을 첨가하여 1시간, 3시간, 5시간 동안 각각 55℃에서 80 rpm의 조건으로 교반하면서 효소처리를 진행하였다. 그 후 3,041×g에서 30분간 원심분리하고 여과를 3회 반복하여 정용하였으며 효소 불활성화를 위하여 90℃에서 30분간 처리하여 실험시키고 원심분리하여 상등액을 시료로 사용하였다.

3. 가용성 고형분 및 환원당 함량 측정

초당옥수수 알곡에 각각의 효소를 시간별로 처리하고 추출한 추출물의 가용성 고형분 함량 측정은 굴절 당도계(PAL-2, ATAGO, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였으며 환원당 함량은 dinitrosalicylic acid(DNS)에 의한 비색법(Chae 등

Table 1. Formula for preparation of the super sweet corn enzyme-treated sample

| Sample | Control | Cellulase | Pectinase | Amylase | Invertase | Cellulase+amylase+invertase |
|----------------------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------------------------|
| Super sweet corn (g) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cellulase (mL) | | 24 | | | | 24 |
| Pectinase (mL) | | | 24 | | | |
| Amylase (mL) | | | | 24 | | 24 |
| Invertase (g) | | | | | 1.2 | 1.2 |
| Water (mL) | 300 | 276 | 276 | 276 | 298.8 | 250.8 |
| Total | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |

2000)을 이용하여 측정하였다.

4. 색도 측정

초당옥수수 알곡에 각각의 효소를 시간별로 처리하고 추출한 추출물의 색도는 색차계(Model CR-300, Minolta Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 Hunter L(lightness), a(redness), b(yellowness) 값을 측정하였으며 각 시료당 3회 측정하여 평균값을 나타내었다. 측정에 사용된 표준 백색판의 L*, a*, b* 값은 각각 95.02, 0.04, 0.26이었다.

5. 유리당 함량 측정

초당옥수수 알곡에 각각의 효소를 시간별로 처리하고 추출한 추출물의 유리당 함량은 0.45 µm membrane filter를 통과시키고 Yu 등(2020)의 방법에 따라 HPLC(Waters, Millipore Co-Operative, Milford, MA, USA)로 측정하였으며 column은 Supelcosil™ LC-NH2(5 µm, 25 cm×4.6 mm), Detector는 RI detector(waters 410), 이동상은 acetonitrile : water(75:25, v/v), column 온도는 40 °C로 하여 측정하였다.

6. 항산화 성분 측정

초당옥수수 알곡에 각각의 효소를 시간별로 처리하고 추출한 추출물의 항산화 성분인 ascorbic acid, flavonoid 화합물 및 polyphenol 화합물의 함량 측정을 위하여 다음과 같이 측정하였다. Ascorbic acid의 함량은 각 효소처리 시료 0.2 mL에 10% trichloroacetic acid(TCA) 0.8 mL를 가하고 원심분리기에 서 3,000 rpm으로 5분간 원심분리시킨 후 여과하고 여액 0.5 mL에 2% metaphosphoric acid와 10% phenol reagent를 혼합하여 상온에서 10분간 방치 후 UV-Vis spectrophotometer (Uvikon XL 70, Sacoman, Ales, France)를 이용하여 760 nm에서 흡광도를 측정하였다(Park 등 2008). Flavonoid 화합물의 함량은 각 효소처리 시료 0.1 mL에 80% ethanol 0.9 mL를 가하여 이 혼합액 0.5 mL에 10% aluminium nitrate 0.1 mL, 1 M potassium acetate 0.1 mL 및 80% ethanol 4.3 mL를 각각 가하고 상온에서 40분간 방치 후 415 nm에서 흡광도 값을 측정하였으며 표준물질로는 quercetin(Sigma-Aldrich)을 사용하였다(Moreno 등 2000). Polyphenol 화합물은 각 효소처리 시료 1 mL에 phenol reagent 0.5 mL와 10% Na₂CO₃ 1 mL, 증류수 7.5 mL를 차례대로 혼합하여 30분간 방치 후 760 nm에서 흡광도를 측정하였으며 표준물질로는 tannic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다(AOAC법 1995).

7. 항산화 활성 측정

초당옥수수 알곡 효소처리 시료의 항산화 활성을 측정하기 위하여 DPPH radical 소거능과 ABTS radical 소거능을 측

정하였다.

DPPH radical 소거능은 각 효소처리 시료를 12배 희석하여 시료 2 mL에 0.2 mM DPPH 2 mL 첨가 및 혼합 후 상온에서 30분간 반응하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다(Blois MS 1958). ABTS radical 소거능은 ABTS 시약(2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) 7.4 mM과 Potassium persulfate 2.6 mM을 제조한 후 하루 동안 암소에 방치한 시약의 흡광도 값이 1.5 이하가 되도록 증류수로 희석한 후 희석된 ABTS 시약 1 mL에 3배 희석한 효소처리 시료 0.05 mL를 첨가하고 상온에서 90분간 반응시킨 후 734 nm에서 흡광도를 측정하였다(Re 등 1999).

8. 통계처리

모든 실험의 분석 데이터는 SPSS 26.0(IBM Corporation, Armonk, NY, USA)을 이용하여 평균과 표준편차로 나타내었으며, 실험군 간 차이를 one-way ANOVA로 분석한 후, Duncan's multiple range test로 실험군 간 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 초당옥수수 효소처리 시료의 가용성 고형분 및 환원당 함량 측정

초당옥수수 알곡에 효소처리하여 제조한 각 시료의 가용성 고형분 및 환원당 함량 측정값은 Table 2와 같다. 가용성 고형분은 무처리군인 대조군은 2.00~2.30 °brix로 모든 효소처리 군들과 비교하였을 때 유의적으로 가장 낮은 함량을 나타내었고 효소처리 시간을 증가시키에 따라 가용성 고형분의 함량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 특히 효소처리군 증병용처리군은 1시간 처리 시 7.40 °brix로 모든 실험군에서 유의적으로 가장 높았고 3시간 처리시 8.90 °brix로 효소처리 시간이 증가함에 따라 가용성 고형분 함량이 증가하였고 그 후에는 유의적인 차이는 없어 대체적으로 3시간 내외에 가장 많은 변화를 보였고 이는 효소반응이 3시간 내외까지 활발히 일어나고 그 이후부터는 서서히 일어난 것으로 판단되었다.

환원당 함량의 경우 대조군은 시간별로 각각 1.86%, 1.95% 및 2.85%의 함량을 나타내어 시간이 증가함에 따라 환원당의 함량이 증가하는 경향을 보였다. 효소처리군에서는 cellulase 처리군이 대조군보다 높은 함량을 보였지만 다른 효소처리군에 비해 처리시간 내내 낮은 함량을 나타내었다. 반면 amylase 처리군은 1시간 처리 시 12.95%로 대조군 대비 약 14배 이상 증가함을 알 수 있었다. 특히 효소 병용처리군은 amylase 처리군보다 그 함량이 효소처리 시간별로 각각 14.73%, 19.52% 및 17.34%로 다른 처리군에 비하여 유의적으

Table 2. Changes in soluble solid, reducing sugar content of enzyme-treated super sweet corn extracts

| | Treatment | Treatment time | | |
|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | 1 hr | 3 hr | 5hr |
| Soluble solid (°brix) | Control | 2.13±0.15 ^{fB1)} | 2.00±0.00 ^{fB)} | 2.30±0.00 ^{fA)} |
| | Cellulase | 6.00±0.00 ^{bC)} | 6.07±0.06 ^{bB)} | 6.40±0.00 ^{bA)} |
| | Pectinase | 5.30±0.00 ^{cC)} | 5.63±0.06 ^{cB)} | 5.73±0.06 ^{cA)} |
| | Amylase | 3.80±0.00 ^{d)} | 4.50±0.00 ^{d)} | 4.90±0.00 ^{d)} |
| | Invertase | 2.50±0.00 ^{e)} | 2.70±0.00 ^{e)} | 2.70±0.00 ^{e)} |
| | Cellulase+amylase+invertase | 7.40±0.00 ^{a)} | 8.90±0.00 ^{a)} | 8.90±0.00 ^{a)} |
| Reducing sugar (%) | Control | 1.86±0.02 ^{eC)} | 1.95±0.15 ^{fB)} | 2.85±0.03 ^{fA)} |
| | Cellulase | 1.95±0.01 ^{eC)} | 3.28±0.02 ^{eB)} | 3.66±0.05 ^{eA)} |
| | Pectinase | 5.63±0.07 ^{dB)} | 7.30±0.29 ^{dA)} | 7.62±0.09 ^{eA)} |
| | Amylase | 12.95±0.23 ^{bC)} | 15.26±0.24 ^{bB)} | 16.26±0.30 ^{bA)} |
| | Invertase | 7.61±0.03 ^{cA)} | 7.64±0.06 ^{cA)} | 7.33±0.04 ^{dB)} |
| | Cellulase+amylase+invertase | 14.73±0.15 ^{aC)} | 19.52±0.23 ^{aA)} | 17.34±0.06 ^{aB)} |

¹⁾ Values with different superscripts within a column (^{a-f}) and a row (^{A-C}) were significantly different ($p < 0.05$).

로 가장 높은 함량을 나타내는 것으로 확인되었다. 이는 효소처리로 인하여 전분 등의 분해로 환원당의 함량이 증가하여 가용성 고형분 및 환원당 함량이 높게 나타나는 것으로 생각되며 특히 이들의 함량은 효소첨가량이 단독처리군보다 많아 더욱 높게 나타났을 것으로 판단되었다.

Gu 등(2006)의 가수분해조건에 따른 녹두의 특성 변화를 조사한 연구에서 가용성 고형분 함량과 환원당 함량은 무처리군보다 효소처리 시 함량이 높은 경향을 나타내어 연구결과와 유사하나, 단일효소 처리와 효소 병용처리 간의 큰 차이가 없어 효소의 종류에 따른 연구결과와는 다른 결과를 보였으며 이와 같은 결과는 초당옥수수와 녹두 간의 구성물질들의 차이와 효소의 종류 및 효소처리 조건 등에 차이가 있기 때문인 것으로 사료되었다.

2. 색도

초당옥수수 알곡에 효소처리하여 제조한 각 시료의 색도를 측정된 결과는 Table 3과 같다.

명도(lightness)의 경우 대조군과 비교하여 cellulase 처리군, pectinase 처리군, invertase 처리군이 낮은 것으로 나타났고 amylase 처리군과 효소 병용처리군이 대조군과 비슷한 값을 보였으며 효소처리 시간에 따른 명도의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 적색도(redness)의 경우 대조군과 비교하여 효소처리에 의해 감소하는 경향을 나타내었으며 효소처리 시간에 따른 증감의 경향은 없는 것으로 보였다. 황색도(yellowness)의 경우, 대조군, amylase 처리군, 효소 병용처리군이 낮은 값을 나타내었고 invertase 처리군이 가장 높은 값을

나타내었으며 효소처리 시간에 따른 변화는 효소처리 시간이 증가함에 따라 대체적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

Lee 등(2015)은 단일효소와 복합효소를 이용한 고추 추출액 제조 시 명도, 적색도 및 황색도 모두 큰 차이를 보이지 않은 경향을 나타내었으며, Kim 등(2015)은 효소 처리를 이용하여 단삼 추출물 제조 시 효소 처리 시 명도가 증가하는 경향을 나타내고 적색도와 황색도의 경우 처리 효소에 따라 증감하는 경향을 나타내어 다른 결과를 보이는 것으로 보아 원료와 처리 효소에 의한 차이를 보이는 것으로 사료되었다.

3. 유리당 함량 측정

초당옥수수 알곡에 효소처리하여 제조한 각 시료의 유리당 함량을 측정된 결과는 Table 4와 같다. 유리당 함량 측정은 glucose, fructose, sucrose, maltose가 검출되었으며, 처리 효소에 따라 검출되는 유리당의 종류 및 함량에 차이를 보였다. 대조군의 경우 1시간 처리 시 glucose, sucrose만 검출되었지만, 3시간 및 5시간 처리 시 fructose가 추가로 검출되었다. 대조군의 유리당 함량은 처리시간 내내 검출되는 유리당 총 함량이 효소 처리군에 비해 낮은 경향을 나타내었다. 처리 효소에 따른 유리당 함량은 효소 병용처리군이 가장 많았고 다음으로는 cellulase 처리군, amylase 처리군, invertase 및 pectinase 처리군의 순으로 나타났다. 효소 병용처리군의 경우 glucose, fructose 및 maltose가 검출되었으며 시간별로 총 유리당 함량은 7.37%, 7.93% 및 6.99%의 함량을 나타내었다. 본 실험에 사용되었던 기질과 작용부위(Kang 등 2015)는 cellulase의 경우, cellulose의 β -1,4 결합을 가수분해하므로써

Table 3. Hunter's color value of enzyme-treated super sweet corn extracts

| | Treatment | Treatment time | | |
|----------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | 1 hr | 3 hr | 5 hr |
| L (lightness) | Control | 45.13±0.02 ^{cb1)} | 45.73±0.05 ^{bA} | 45.71±0.02 ^{bA} |
| | Cellulase | 42.09±0.02 ^{cC} | 42.29±0.06 ^{dB} | 42.51±0.09 ^{dA} |
| | Pectinase | 43.07±0.06 ^{dB} | 44.77±0.04 ^{cA} | 44.67±0.05 ^{cA} |
| | Amylase | 45.99±0.02 ^{aAB} | 45.97±0.04 ^{aB} | 46.04±0.03 ^{aA} |
| | Invertase | 40.50±0.04 ^{fC} | 41.18±0.02 ^{eB} | 42.05±0.07 ^{eA} |
| | Cellulase+amylase+invertase | 45.87±0.09 ^{bB} | 46.01±0.03 ^{aA} | 45.71±0.03 ^{bC} |
| a (redness) | Control | 1.04±0.03 ^{aB} | 1.07±0.01 ^{aA} | 0.94±0.02 ^{aC} |
| | Cellulase | 0.69±0.01 ^{dB} | 0.79±0.02 ^{dA} | 0.80±0.01 ^{eA} |
| | Pectinase | 0.91±0.03 ^{cA} | 0.91±0.01 ^{bA} | 0.86±0.02 ^{bB} |
| | Amylase | 0.99±0.02 ^{bA} | 0.87±0.01 ^{cB} | 0.84±0.02 ^{bC} |
| | Invertase | -0.24±0.01 ^{cC} | 0.17±0.03 ^{eB} | 0.49±0.01 ^{eA} |
| | Cellulase+amylase+invertase | 0.91±0.02 ^{cA} | 0.93±0.02 ^{bA} | 0.76±0.02 ^{dB} |
| b (yellowness) | Control | -1.03±0.02 ^{eA} | -1.52±0.02 ^{fC} | -1.41±0.01 ^{dB} |
| | Cellulase | 0.95±0.01 ^{bA} | 0.69±0.02 ^{bB} | 0.58±0.01 ^{bC} |
| | Pectinase | 0.16±0.03 ^{cA} | -0.53±0.01 ^{cB} | -0.57±0.02 ^{cC} |
| | Amylase | -1.31±0.02 ^{fC} | -1.11±0.01 ^{dB} | -1.08±0.01 ^{eA} |
| | Invertase | 2.94±0.02 ^{aA} | 1.85±0.04 ^{aB} | 0.86±0.03 ^{aC} |
| | Cellulase+amylase+invertase | -0.94±0.01 ^{dB} | -1.18±0.02 ^{cC} | -0.75±0.02 ^{dA} |

¹⁾ Values with different superscripts within a column (^{a-f}) and a row (^{A-C}) were significantly different ($p < 0.05$).

glucose의 함량이 높아졌으며 pectinase는 pectin 물질의 α-1,4 결합을 가수분해하지만 실험에 사용한 초당옥수수내 pectin 물질의 양이 적은 것으로 판단되었고 amylase는 전분의 α-1,4 결합을 가수분해함으로써 maltose의 함량이 증가하는 것으로 나타났다. Invertase의 경우, sucrose를 가수분해하여 sucrose는 없어지고 대신 glucose와 fructose가 증가하는 것으로 판단되었다.

Lee 등(2008)의 녹차 생엽에 효소처리 조건에 따른 녹차 추출물 조사에 관한 연구에서 녹차 생엽에 복합효소 처리 시 무처리군에 비해 glucose와 fructose의 함량이 증가하는 결과를 보아 유사한 경향을 나타냈으나, sucrose의 함량도 함께 증가하여 연구결과와 다소 다른 결과를 보였다. 이처럼 효소 처리에 따른 유리당의 구성 및 함량 차이는 시료의 종류, 효소의 종류 및 처리조건에 따라 차이를 내는 것으로 판단되었다.

4. 초당옥수수 효소처리 시료의 항산화 성분 측정

초당옥수수 알곡에 효소처리하여 제조한 시료의 ascorbic acid, flavonoid 화합물, polyphenol 화합물의 함량을 측정된 결과는 Table 5와 같다.

Ascorbic acid의 함량의 경우 대조군은 1시간 추출시 7.18

mg%, 5시간 추출시에도 7.18 mg%로 추출시간에 따른 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 그러나 효소처리군들 중에서 효소 병용처리군은 1시간 처리 시 9.96 mg%로 가장 높은 함량을 나타내었다. Invertase 처리군과 효소 병용처리군이 효소 처리 시간이 증가함에 따라 유의적으로 함량이 높아졌고 다른 실험군의 경우, 시간에 따른 함량변화에 대한 증감의 경향을 보이지는 않았다.

Flavonoid 화합물의 함량은 대조군은 1시간 추출시 51.18 mg%였으며 추출시간이 증가할수록 증가하여 3시간 추출시에는 142.30 mg%의 함량을 보였다. 효소처리군의 경우, 대조군과 비교할 때 모든 효소처리 실험군에서 함량이 유의적으로 증가함을 알 수 있었다. 특히 cellulase 처리군과 효소 병용처리군은 300 mg% 이상의 함량으로 대조군에 비하여 가장 많은 함량을 나타내어 효소처리에 의해 flavonoid 화합물의 함량이 증가함을 알 수 있었다.

Polyphenol 화합물의 함량은 대조군은 1시간 추출시 19.12 mg%였으며 추출시간이 증가함에 따라 27.13 mg%였으며 모든 효소처리 실험군에서 대조군과 비하여 유의적으로 높은 함량을 나타내는 것으로 확인되었다. 특히 cellulase 처리군과 효소 병용처리군이 flavonoid 화합물의 함량에서와 마찬가지로

Table 4. Changes in free sugar contents of enzyme-treated super sweet corn extracts

| Time | Treatment | Free sugar (%) | | | | |
|------|-----------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-----------|-------------------------|
| | | Glucose | Fructose | Sucrose | Maltose | Total |
| 1 hr | Control | 0.34±0.00 ^f | - | 1.37±0.00 ^b | - | 1.71±0.00 ^c |
| | Cellulase | 3.65±0.03 ^b | - | 1.37±0.01 ^b | - | 5.02±0.04 ^b |
| | Pectinase | 1.09±0.01 ^c | 0.50±0.00 ^{b1)} | - | - | 1.59±0.02 ^f |
| | Amylase | 0.82±0.00 ^e | - | 1.47±0.01 ^a | 1.01±0.00 | 3.29±0.01 ^c |
| | Invertase | 1.04±0.01 ^d | 0.77±0.03 ^a | - | - | 1.81±0.05 ^d |
| | Cellulase+Amylase+Invertase | 5.53±0.03 ^a | 0.74±0.02 ^a | - | 1.10±0.01 | 7.37±0.05 ^a |
| 3 hr | Control | 0.41±0.00 ^f | 0.18±0.13 ^b | 1.22±0.01 ^c | - | 1.81±0.17 ^d |
| | Cellulase | 3.38±0.01 ^b | 0.08±0.12 ^b | 1.37±0.01 ^b | - | 4.83±0.16 ^b |
| | Pectinase | 1.26±0.01 ^c | 0.58±0.01 ^a | - | - | 1.84±0.02 ^d |
| | Amylase | 0.89±0.01 ^e | - | 1.45±0.01 ^a | 1.13±0.01 | 3.47±0.03 ^c |
| | Invertase | 1.07±0.00 ^d | 0.77±0.02 ^a | - | - | 1.83±0.03 ^d |
| | Cellulase+Amylase+Invertase | 5.97±0.08 ^a | 0.75±0.01 ^a | - | 1.21±0.07 | 7.93±0.18 ^a |
| 5 hr | Control | 0.45±0.01 ^f | 0.30±0.04 ^c | 1.13±0.00 ^c | - | 1.87±0.05 ^e |
| | Cellulase | 3.75±0.01 ^b | 0.24±0.01 ^c | 1.25±0.03 ^b | - | 5.24±0.05 ^b |
| | Pectinase | 1.39±0.01 ^c | 0.62±0.00 ^b | - | - | 2.01±0.00 ^d |
| | Amylase | 0.99±0.01 ^e | 0.08±0.11 ^d | 1.35±0.01 ^a | 1.26±0.01 | 3.68±0.13 ^c |
| | Invertase | 1.17±0.00 ^d | 0.80±0.00 ^a | - | - | 1.97±0.00 ^{de} |
| | Cellulase+Amylase+Invertase | 4.86±0.05 ^a | 0.76±0.01 ^a | - | 1.37±0.01 | 6.99±0.04 ^a |

¹⁾ Values with different superscripts within a column (^{a-f}) were significantly different ($p<0.05$).

로 대조군보다 높은 함량을 보였으며 Shahidi & Yeo(2016)는 발효, 발아, 로스팅, 압출 등 식품 가공 절차 중에 세포벽 매트릭스에서 방출될 수 있다고 하여 본 결과를 뒷받침해 주었다.

Yoo 등(2013)의 효소 처리 가공이 당근의 항산화 활성 변화에 미치는 영향에 관한 연구에서는 효소 처리 시 총 flavonoid 화합물 함량과 총 polyphenol 화합물 함량이 증가하는 결과를 보아 유사한 경향을 나타내었다. Lee 등(2021)은 병풀에 효소 처리 시 항산화 성분 함량이 증가하였고 효소를 병용처리하여 사용 시 가장 높은 항산화 성분 함량을 보인다고 하여 효소 처리로 인하여 식물체내 조직이 연화되어 추출과정 중 효소 처리군의 추출능이 증가하는 것으로 판단되었다.

5. 초당옥수수 효소처리 시료의 항산화 활성 측정

초당옥수수 알곡에 효소처리하여 제조한 추출물의 DPPH 라디칼 소거능, ABTS 라디칼 소거능을 측정된 값은 Table 6 과 같다.

DPPH 라디칼 소거능 측정값의 경우 대조군은 추출 시간 별로 각각 41.59%, 44.30% 및 50.75%로 추출시간의 증가에 따라 소거능도 증가하는 경향이였다. 효소처리군은 대조군과 비교하여 모든 실험군에서 유의적으로 높은 라디칼 소거

능을 나타냈으며, 1시간 처리 시 cellulase 처리군이 59.38%로 가장 높은 활성을 나타냈으며 다음으로 효소 병용처리군, invertase 처리군의 순으로 나타났다. 효소 처리 시간에 따른 변화에서는 대조군과 마찬가지로 처리시간이 증가함에 따라 라디칼소거능도 높아지는 경향이었고 처리시간 내내 효소처리군이 높은 활성을 보였다.

ABTS 라디칼 소거능은 대조군이 39.47~47.31%였으며 모든 효소처리 실험군에서 대조군 대비 활성이 증가하는 경향을 나타내었으며 cellulase 효소처리군이 63.57~67.74%로 가장 높은 활성을 나타냈다. 또한, 효소 처리 시간이 증가함에 따라 활성이 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 효소처리에 의해 flavonoid 화합물을 비롯한 항산화 성분들의 함량이 증가하기 때문인 것으로 사료되었다.

Kim 등(2023)의 효소처리 농도 및 시간에 따른 섬썩부쟁이 추출물 특성에 관한 연구에서 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능이 효소 처리 시 증가하는 결과를 나타내어 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다. 또한, 효소 처리한 섬썩부쟁이 추출물의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능이 효소의 농도가 높아짐에 따라 유의적으로 높아지는 경향을 나타냄에 따라 효소의 농도에 따른 변화를 알 수 있었으며

Table 5. Ascorbic acid, flavonoids and polyphenols contents of enzyme-treated super sweet corn extracts

| | Sample | Treatment time | | |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | 1 hr | 3 hr | 5 hr |
| Ascorbic acid (mg %) | Control | 7.18±0.79 ^{c1)} | 7.70±0.30 ^b | 7.18±0.79 ^b |
| | Cellulase | 7.70±1.31 ^{bc} | 7.36±1.67 ^b | 7.36±1.50 ^b |
| | Pectinase | 5.11±0.29 ^{dB} | 8.57±1.04 ^{bA} | 7.53±0.90 ^{bA} |
| | Amylase | 7.18±1.67 ^{cA} | 4.76±0.59 ^{cB} | 7.36±1.08 ^{bA} |
| | Invertase | 9.43±0.79 ^{abB} | 13.94±1.08 ^{aA} | 12.90±1.59 ^{aA} |
| | Cellulase+amylase+invertase | 9.96±0.30 ^{aB} | 8.92±1.08 ^{bB} | 12.38±0.79 ^{aA} |
| Flavonoid (mg %) | Control | 51.18±5.13 ^{fC} | 74.89±4.45 ^{dB} | 142.30±10.96 ^{dA} |
| | Cellulase | 397.85±8.98 ^{aA} | 301.56±22.55 ^{aB} | 308.22±15.40 ^{bB} |
| | Pectinase | 115.63±7.15 ^{dB} | 174.89±34.50 ^{bA} | 103.04±14.28 ^{cB} |
| | Amylase | 87.48±7.15 ^{cC} | 134.89±13.52 ^{cB} | 171.92±19.42 ^{dA} |
| | Invertase | 166.00±4.44 ^{cC} | 299.33±18.19 ^{aA} | 243.04±22.37 ^{cB} |
| | Cellulase+amylase+invertase | 300.07±20.04 ^{bC} | 308.22±26.94 ^{aB} | 392.67±30.55 ^{aA} |
| Polyphenol (mg %) | Control | 19.12±0.29 ^{fC} | 20.50±0.90 ^{eB} | 27.13±0.52 ^{eA} |
| | Cellulase | 57.60±1.16 ^{aAB} | 53.51±3.33 ^{bB} | 59.77±1.67 ^{bA} |
| | Pectinase | 46.40±3.42 ^c | 48.71±1.21 ^c | 50.43±1.94 ^c |
| | Amylase | 40.38±1.49 ^{dB} | 51.77±0.85 ^{bcA} | 54.10±4.14 ^{eA} |
| | Invertase | 31.83±0.32 ^{eC} | 36.07±0.35 ^{dA} | 34.90±0.41 ^{dB} |
| | Cellulase+amylase+invertase | 52.05±0.92 ^{bC} | 65.73±2.37 ^{aB} | 70.77±1.91 ^{aA} |

¹⁾ Values with different superscripts within a column (^{a-c}) and a row (^{A-C}) were significantly different ($p < 0.05$).

Table 6. Antioxidant activities of enzyme-treated super sweet corn extracts

| | Sample | Treatment time | | |
|--|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | | 1 hr | 3 hr | 5 hr |
| DPPH radical scavenging activity (%) | Control | 41.59±0.01 ^{dC1)} | 44.30±0.30 ^{eB} | 50.75±0.49 ^{eA} |
| | Cellulase | 59.38±1.40 ^{aB} | 70.49±0.86 ^{bA} | 71.46±1.32 ^{bA} |
| | Pectinase | 46.54±0.91 ^{cB} | 65.23±0.10 ^{cA} | 66.32±0.54 ^{cA} |
| | Amylase | 48.23±0.48 ^{cB} | 61.68±0.63 ^{dA} | 62.46±0.37 ^{dA} |
| | Invertase | 55.26±1.86 ^{bB} | 60.96±1.53 ^{dA} | 61.55±1.14 ^{dA} |
| | Cellulase+amylase+invertase | 56.02±0.54 ^{bC} | 83.63±0.45 ^{aA} | 75.63±0.08 ^{aB} |
| ABTS radical scavenging activity (%) | Control | 42.08±0.42 ^{dB} | 39.47±0.70 ^{dB} | 47.31±2.17 ^{dA} |
| | Cellulase | 63.57±0.83 ^{aB} | 64.12±0.95 ^{aB} | 67.74±1.93 ^{aA} |
| | Pectinase | 54.29±1.16 ^b | 54.41±1.43 ^b | 55.69±0.89 ^c |
| | Amylase | 43.72±0.53 ^{dC} | 51.09±0.41 ^{cB} | 53.51±1.05 ^{cA} |
| | Invertase | 48.79±2.02 ^{cB} | 52.58±2.57 ^{bcAB} | 54.02±0.84 ^{cA} |
| | Cellulase+amylase+invertase | 48.95±1.01 ^{cB} | 62.91±1.16 ^{aA} | 60.88±1.11 ^{bA} |

¹⁾ Values with different superscripts within a column (^{a-c}) and a row (^{A-C}) were significantly different ($p < 0.05$).

본 결과와 일치하는 경향이였다.

한편, 초당옥수수의 분석한 각각의 항산화 성분들과 항산화 활성들에 대한 상관분석(Table 7)에서는 polyphenol 화합

물과 DPPH 라디칼 소거능간의 r값이 0.752로 가장 높은 것으로 나타났으며 polyphenol 화합물과 ABTS 라디칼 소거능간에도 높은 상관관계(0.716)를 보이는 것으로 나타났다.

Table 7. Correlation coefficients among antioxidant compounds and antioxidant activity in enzyme-treated super sweet corn extracts

| | Ascorbic acid | Flavonoids | Polyphenols | DPPH radical scavenging | ABTS radical scavenging |
|-------------------------|---------------|------------|-------------|-------------------------|-------------------------|
| Ascorbic acid | 1.000 | | | | |
| Flavonoids | 0.386 | 1.000 | | | |
| Polyphenols | 0.023 | 0.356 | 1.000 | | |
| DPPH radical scavenging | 0.279 | 0.526 | 0.752 | 1.000 | |
| ABTS radical scavenging | 0.054 | 0.542 | 0.716 | 0.665 | 1.000 |

이상의 결과로 보아 초당옥수수의 활용도 증진을 위해 알곡에 가수분해 효소를 처리하였고 그 결과, 가용성 고형분, 유리당, 항산화 성분 등 생리적 기능성 물질들의 함량 증가와 라디칼 소거능도 증가시킬 수 있었으며 초당옥수수 알곡에의 효소처리시 단독보다는 병용처리하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

요약 및 결론

초당옥수수의 활용도 등을 증진시키기 위하여 알곡에 cellulase, pectinase, amylase, invertase 및 이들 효소들의 병용 처리로 초당옥수수 추출물을 제조하고 이화학적 및 항산화 활성 변화를 분석하였다. 가용성 고형분과 환원당 함량은 대조군에 비해 모든 효소처리군들이 높은 함량을 보였고 효소 처리 시간이 증가함에 따라 가용성 고형분 및 환원당의 함량이 증가하였다. 특히 효소 병용처리군이 가장 높은 함량을 보였다. 색도의 경우, 명도는 처리기간 큰 차이를 보이지는 않았고 적색도는 대조군이 높은 값을, 황색도는 invertase 처리군이 가장 높은 값을 나타내었다. 유리당 함량은 대조군이 가장 낮은 함량을 보였고 효소 병용처리시 유리당의 함량이 대조군에 비해 약 4배 이상 증가하였다. 항산화 성분의 함량에서는 ascorbic acid, flavonoid 화합물, polyphenol 화합물 모두 대조군에 비하여 효소처리군이 높은 함량을 보였으며 특히 효소 병용처리군이 가장 높은 함량을 나타내었다. DPPH 라디칼 소거능 및 ABTS 라디칼 소거능에서도 대조군에 비하여 모든 효소처리군에서 유의적으로 높은 라디칼 소거능을 나타냈으며 cellulase 처리군과 효소병용처리군이 높은 활성을 나타내었고 효소처리 시간이 증가할수록 활성도 증가하였다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구

재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업(2021RIS-001)과 2021년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다(No. 2021R1A6A1A03046418).

References

- Abe A, Adelegan CA. 2019. Genetic variability, heritability and genetic advance in Shrunken-2 super-sweet corn (*Zea mays L. saccharata*) populations. *J Plant Breed Crop Sci* 11:100-105
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Association of Official Analytical Chemist International
- Baek SB, Son BY, Kim JT, Bae HH, Go YS, Kim SL. 2020. Changes and prospects in the development of corn varieties in Korea. *Korean J Breed Sci* 52:93-102
- Ballicora MA, Iglesias AA, Preiss J. 2003. ADP-glucose pyrophosphorylase, a regulatory enzyme for bacterial glycogen synthesis. *Microbiol Mol Biol Rev* 67:213-225
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181:1199-1200
- Chae SK, Kang KS, Ma SJ, Bang GW, Oh MH, Oh SH. 2000. Standard Food Analysis. pp.299-301, 403-404. Jigumunhwasa
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2022. World food and agriculture - Statistical yearbook 2022. Available from <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc2211en> [cited 16 October 2023]
- Gu YA, Jang SY, Park NY, Mun CR, Kim OM, Jeong YJ. 2006. Property changes of mung bean depending on hydrolysis conditions. *Korean J Food Preserv* 13:563-568
- Kang IJ, Kang MH, Kim MS, Park SS, Byun EH, Yoo SH, Hook HS, Lee KH, Lee MK, Lee YT, Lee OH, Lee JS, Lim

- SS, Lim JY, Jeon WJ, Jung SJ, Jung YH, Jung HJ. 2015. Food Chemistry. pp.202-204. Life Science
- Kim SH, Hwang IW, Chung SK, Seo YJ, Kim JS, Jeong YJ, Kim MY. 2015. Physicochemical properties of *Salvia miltiorrhiza* Bunge following treatment with enzymes. *Korean J Food Preserv* 22:699-707
- Kim SH, Yoon SR, Jeong YJ. 2023. Quality characteristics of *Aster glehni* extract depending on the concentration and time of enzyme treatment. *Korean J Food Preserv* 30: 654-662
- Lee JY, Choi GH, Lee KH. 2015. Physicochemical and sensory properties of red pepper extract treated with enzyme complex. *Korean J Food Nutr* 28:628-634
- Lee KH, Joo GY, Kim CY, Han KJ, Jang DB, Yun JH, Yu KW, Bae YJ. 2021. Physicochemical quality change of enzyme-treated *Centella asiatica* and preparation of jam using enzyme-treated *Centella asiatica*. *Korean J Food Nutr* 34:612-620
- Lee LS, Cha HS, Park JD, Yi SH, Kim SH. 2008. High quality green tea extract production from enzyme treated fresh green tea leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37:1025-1029
- Moreno MIN, Isla MI, Sampietro AR, Vattuone MA. 2000. Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *J Ethnopharmacol* 71:109-114
- Park AR, Lee KY, Kim TH, Choi JG, Lee HY, Choi SJ, Kwon SB, Kim HY. 2019. Study of nutrient analysis by specie of domestically cultivated popcorns. *J Food Hyg Saf* 34: 438-446
- Park SB, Park WH, Cha SH, Han IB, Bak SL, So YS, Hyun TK, Lee SY, Jang KI. 2022. Quality characteristics of super sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt.) jam, based on the addition of varying amounts of sucrose. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 51:381-388
- Park YK, Kim SH, Choi SH, Han JG, Chung HG. 2008. Changes of antioxidant capacity, total phenolics, and vitamin C contents during *Rubus coreanus* fruit ripening. *Food Sci Biotechnol* 17:251-256
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26:1231-1237
- Shahidi F, Yeo J. 2016. Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules* 21:1216
- Yang SK, Hong SB, Lee SS. 2007. Planting time for the economic yield of a super sweet corn hybrid in the southern part of Korea. *Korean J Crop Sci* 52:325-333
- Yoo JK, Lee JH, Cho HY, Kim JG. 2013. Change of antioxidant activities in carrots (*Daucus carota* var. *sativa*) with enzyme treatment. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42:262-267
- Yu KW, Bae YJ, Bae YJ, Joo GY, Kim CY, Yun JH, Lee KH. 2020. Qualities analysis of domestic soybean cultivars. *Korean J Food Nutr* 33:666-671

Received 15 November, 2023
 Revised 05 December, 2023
 Accepted 06 December, 2023