

## 재배지역 차이에 따른 쌀귀리 영양성분 및 기능성 성분 비교

송지혜<sup>1,§</sup> · 김대욱<sup>2,§</sup> · 오학영<sup>1</sup> · 윤종탁<sup>2</sup> · 국용인<sup>3</sup> · 양광열<sup>4,†</sup>

### Comparison of the Nutritional and Functional Compounds in Naked Oats (*Avena sativa* L.) Cultivated in Different Regions

Ji-Hye Song<sup>1,§</sup>, Dea-Wook Kim<sup>2,§</sup>, Hak-Young Oh<sup>1</sup>, Jong-Tak Yun<sup>2</sup>, Yong-In Kuk<sup>3</sup>, and Kwang-Yeol Yang<sup>4,†</sup>

**ABSTRACT** To cope with climate change, we compared the quality of naked oats (*Avena sativa* L.) cultivated in different regions. Naked oats were collected from domestic farms in different cultivation regions grouped as G1 and G2 for 3 years (2020-2022). The appearance, quality, and nutritional and functional compounds in the samples were assessed. In terms of appearance quality, the brightness and yellowness of the samples from the G1 region were significantly lower than those of the samples from the G2 region in 2020; however, no differences were observed between cultivation regions in the other 2 years. The results of testing the vitality of naked oats seeds showed that the electrical conductivity value was significantly lower in the samples from the G1 region than in those from the G2 region only in 2022. Among the nutritional components, moisture content was higher in the G2 region than in the G1 region over all 3 years, and the crude protein content was significantly higher in the G2 region than in the G1 region over all years. Carbohydrate content was significantly higher in the G1 region than in the G2 region in all 3 years and was inversely proportional to the crude protein content. The crude fat content tended to be significantly higher in the G1 region than in the G2 region, except in 2022. The levels of beta-glucan, a functional compound rich in naked oats, ranged between 3.4% and 4.2%, and except in 2020, there was no significant difference between cultivation regions. In addition, the content of avenanthramides, representative functional compounds that exist only in oats, was assessed. Over 2 years, in 2021 and 2022, the avenanthramide content was in the range of 2.4-20.7 µg/g and tended to be significantly higher in the G2 region than in the G1 region in both years. According to a survey of the average and minimum temperatures during the growing season of naked oats from 2020 to 2022, the average and minimum temperatures in January in the G2 region, which is the cultivation-limit area, were similar to those in Haenam in the G1 region. In conclusion, differences in nutritional and functional compounds were observed in naked oats grown in different cultivation areas. Therefore, considering the cultivation area of naked oats is expanding because of climate change, changes in the compounds that affect quality should be investigated.

**Keywords :** climate change, cultivation areas, naked oats, nutritional and functional compounds

**기후변화**는 다양한 산업에 영향을 주지만 특히 기후 의존도가 매우 높은 농산업과 농업생태계에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 기후변화에 관한 정부간 협의체 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022)에서 발간한 몇

<sup>§</sup>These authors contributed equally to this work.

<sup>1)</sup>전남대학교 응용생물학과 석사 (MS Student, Department of Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea)

<sup>2)</sup>국립식량과학원 작물재배생리과 연구사 (Researcher, Crop protection and Physiology Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea)

<sup>3)</sup>순천대학교 바이오한약자원학과 교수 (Professor, Department of Oriental Medicine Resources, Suncheon National University, Suncheon 57922, Republic of Korea)

<sup>4)</sup>전남대학교 응용생물학과 교수 (Professor, Department of Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea)

<sup>†</sup>Corresponding author: Kwang-Yeol Yang; (Phone) +82-62-530-2076; (E-mail) [kyyang@jnu.ac.kr](mailto:kyyang@jnu.ac.kr)

<Received 12 October, 2023; Revised 3 November, 2023; Accepted 13 November, 2023>

차례 보고서에 따르면 세계적으로 지난 100년(1906~2005) 간 지구 평균기온은 0.74°C 상승, 해수면은 17 cm 상승, 북반구 적설면적은 매 10년마다 2.7%씩 감소하였으며, 지구 평균온도가 2021~2040년 안에 산업화 이전과 비교하여 1.5°C 높아질 가능성이 매우 크다고 제시하였다. 국립기상과학원에서 발간한 “한반도 100년의 기후변화”에 따르면 우리나라는 지난 106년(1912~2017)동안 연평균기온은 13.2°C로 나타났으며 최근 30년 기온은 20세기 초(1912~1941)보다 1.4°C 상승하였고 평균기온, 최고기온, 최저기온 중 최저기온의 상승폭이 가장 컸다(NIMS, 2018)

지구온난화에 따른 기후변화의 영향으로 농작물의 재배 적지가 이동하고 새로운 병해충과 잡초가 발생하는 등 농업환경의 변화가 일어나 결론적으로 작물의 수량 및 품질 저하를 유발하고 있다(Ahn *et al.*, 2017). 한편 식량자원으로 생활과 밀접한 관계가 있는 쌀귀리(*Avena sativa* L.)는 다른 곡류에 비해 필수아미노산, 단백질, 지질, 폴리페놀 화합물, 베타글루칸( $\beta$ -glucan) 등 다양한 영양성분과 기능성 성분을 함유하는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2019). 그로 인해 높은 항산화 활성, 혈중 콜레스테롤 저하, 항염증 등의 효능이 있어 타임지에서 10대 슈퍼푸드 중 선정된 이후 국내에서도 다이어트 식품으로 그 소비가 증가하고 있다. 귀리는 가을에 파종하여 이듬해 출수하는 월동작물로 겨울이 따뜻한 지역에서 재배가 적합하다. 따라서 월동기간 중 가장 추운 달의 평균기온과 최저기온으로 설정된 쌀귀리의 재배한계선은 맥주보리와 비슷하게 1월 평균기온이 0°C 이상이고 1월 최저기온이 평균 -4°C 아래로 내려가지 않는 지역인 전라남도와 경상남도 내륙지역으로 설정되었다(Kim *et al.*, 2012a). 그러나 지구온난화로 인한 재배한계선의 북상으로 쌀귀리를 포함한 맥류의 안전재배지역이 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 신기후변화시나리오에 의하면 2090년대에는 실질적으로 한반도 내 모든 농경지에서 겨울보리의 안전재배가 가능하며 내한성이 약한 맥주보리는 안전재배지역이 점차 증가하여 72%까지 높아질 것으로 전망하였다(Kim *et al.*, 2012a). 따라서 쌀귀리 역시 비슷하게 안전재배지역이 증가하리라 생각되며 맥류의 잠재생산량이 미래에는 크게 증가하여 쌀 생산량을 추월하게 될 것으로 추정되어 기후변화가 맥류의 생산량에는 긍정적인 영향이 예상된다 보고하였다(Kim *et al.*, 2012a).

귀리가 함유하고 있는 다양한 기능성 성분 중에서 2-6%를 차지하고 있는 수용성 식이섬유인 베타글루칸은 혈압을 낮춰 심장 질환 효과 및 혈당 농도를 저하시켜 당뇨병 예방 효과 뿐만 아니라 대장암을 예방하는 효과도 있는 것으

로 알려져 있다(Anderson *et al.*, 1987; Jeong *et al.*, 2003; Henrion *et al.*, 2019). 또한 귀리에만 특이적으로 존재하는 기능성 물질인 아베난쓰라마이드(Avenanthramides, Avns)는 폴리페놀 화합물로 높은 항산화, 항염증, 항암, 항가려움증 효과 등 다양한 생리활성 작용이 있는 것으로 밝혀졌다(Emmons *et al.*, 1999; Ji *et al.*, 2003; Meydani, 2009). 아베난쓰라마이드는 20가지가 넘게 여러 종류가 있는 것으로 밝혀져 있으나 Avn-A, Avn-B와 Avn-C가 대표적으로 대부분을 차지하고 있으며 그 중 Avn-C는 뛰어난 항염증과 항암 효과와 함께 알츠하이머 치매 예방과 치료에도 효과가 있는 것으로 확인되어 더욱더 주목을 받고 있다(Lim & Kang, 2020; Ramasamy *et al.*, 2020). 이러한 기능성 성분 때문에 건강식품으로 영양적 가치를 인정받아 우리나라에서도 식용으로 사용되는 쌀귀리 5개 품종을 육성하였으며 농촌진흥청에 자료에 의하면 국내 생산량은 18년 2,500톤, 19년 4,550톤, 20년 6,440톤으로 증가하였고 재배면적도 18년 1,000 ha, 19년 1,300 ha, 그리고 20년에는 1,840 ha로 꾸준히 증가하고 있다. 쌀귀리에 대한 관심이 증가함에 따라 국내 육성 쌀귀리의 기본적인 재배적 특성과 기능성 성분의 함량 등과 관련된 연구들은 진행되었으나 재배한계선이 설정된 이후에 기후변화의 영향을 고려한 재배지역 차이에 따른 쌀귀리 품질의 차이를 분석하는 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 급변하는 기후변화에 대응할 수 있는 기초 자료를 확보하기 위해 20년부터 22년까지 3년간 현재 쌀귀리의 주산지인 재배한계지로 설정된 다른 지역에서 재배한 쌀귀리의 영양성분과 기능성 성분 그리고 외관 품질 특성 등의 차이를 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용한 쌀귀리는 1월 평균기온이 0°C 이상이고 1월 최저기온이 평균 -4°C 아래로 내려가지 않아 주산지로 설정된 강진 및 해남[그룹 1 (G1)] 지역과 재배한계지에 해당하는 정읍과 정읍1[그룹 2 (G2)] 지역에서 재배 및 수확된 조양 품종의 종자를 재배 농가로부터 순천대 교수님의 도움을 받아 2020년, 2021년, 2022년 각각 연도별로 수집하여 이를 믹서기로 분쇄하여 분석용 시료로 이용하였다(Kim *et al.*, 2012a). G1에 포함된 강진 및 해남 지역과 G2에 포함된 정읍과 정읍1의 지리학적 및 2020년부터 2022년까지 1월 최저기온 평균값과 2021년과 2022년의 출수기에 대한 정보는 각각 Table 1과 Table 2와 같다.

**Table 1.** Information on samped areas, latitude, longitude, and average minimum temperature in January for the years 2020 to 2022.

Group	Area	Latitude-Longitude	Average Minimum temperature in January (year)		
			2020	2021	2022
G1	Gangjin	34.5-126.7	0.8	-3.5	-2.9
	Haenam	34.6-126.6	-0.6	-4.8	-5.4
G2	Jeongeup	35.6-126.8	-0.5	-5	-4.7
	Jeongeup1	35.5-126.7	-0.5	-5	-4.7

**재배지역별로 수집한 쌀귀리의 외관품질 분석 및 활력 측정**

쌀귀리의 외관품질을 나타내는 색도와 종자의 활력과 관계되는 전기전도도를 측정하였다. 종실의 색도는 색차계(3NH Color Spectrophotometer, China)를 이용하여 표면 색도값인 L (Lightness), a (redness), b (yellowness)를 측정하였다. 전기전도도는 종자 3 g을 30 mL의 증류수에 6시간 동안 침지한 뒤 전기전도계(HM Digital, COM-100 Waterproof Professional Series, USA)를 이용하여 측정하였다. 측정 전 표준용액(1412  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )을 수온 25°C로 보정하여 계산하였으며 측정시 전극을 용액에 담가 10분 간격으로 3회 측정하여 평균값으로 나타내었다.

**재배지역별로 수집한 쌀귀리의 영양성분 분석**

수집한 쌀귀리 종자의 3개년 동안의 영양성분 변화를 AOAC (2019)법에 기반하여 분석하였다. 수분 함량은 110°C에서 가열하여 무게를 측정하는 상압 가열 건조법을 이용하였고, 회분은 550°C 직접회화법을 이용하였으며 조단백질은 Micro-Kjeldal 분석법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조섬유는 Henneberg-Stohmann법을 개량하여 측정하였다. 탄수화물 함량은  $[100 - (\text{수분}(\%) + \text{조지방}(\%) + \text{조단백}(\%) + \text{회분}(\%))]$ 을 이용하여 산출하였다.

**재배지역별로 수집한 쌀귀리의 베타글루칸 함량 분석**

베타글루칸의 함량은 McCleary 방법을 응용한 Mixed linkage  $\beta$ -glucan kit (K-BGLU, Megazyme assay kit, Ireland)을 이용하여 분석하였다. 분쇄시료 100 mg에 50% 에탄올 200  $\mu\text{L}$ 와 sodium phosphate buffer (20 mM, pH 6.5) 4 mL을 혼합하여 끓는 물에 1분간 넣고 섞은 뒤 다시 끓는 물에 2분간 넣었다. 그 후 50°C에서 5분간 방치 후 200  $\mu\text{L}$  lichenase를 혼합한 뒤 50°C 항온수조에서 1시간 동안 반응하였다. 200 mM sodium acetate buffer (pH 4.0)을 4 mL 첨가하여 혼합 후 5분간 상온에 방치한 뒤 1,000 $\times$ g의 속도로

**Table 2.** Heading date of naked oats and average temperature during the ripening period.

Year	Group	Heading Date	Average Temperature (°C)
2021	G1	9-Apr	15.0
	G2	18-Apr	16.3
2022	G1	13-Apr	15.8
	G2	23-Apr	17.5
Average	G1	11-Apr	15.4
	G2	20-Apr	16.9

10분간 원심분리하여 상층액을 얻었다. 상층액 100  $\mu\text{L}$ 을 3개의 tube로 분주한 뒤 2개의 tube에는  $\beta$ -glucosidase 100  $\mu\text{L}$ 을 넣고 나머지 1개의 tube에는 50 mM sodium acetate buffer (pH 4.0) 100  $\mu\text{L}$ 을 넣어 50°C에서 10분간 반응시켰다. 그 후 GOPOD (Glucose oxidase/peroxidase) reagent 3 mL을 각 tube에 분주한 뒤 50°C에서 20분간 반응시킨 후 510 nm에서의 흡광도로 측정하였다. 베타글루칸 함량은 수분 함량을 이용하여 보정한 다음 최종 함량을 산출하였다.

**재배지역별로 수집한 쌀귀리의 아베난쓰라마이드 함량 분석**

아베난쓰라마이드 함량 변화를 살펴보기 위하여 High Performance Liquid Chromatography (HPLC, Agilent co., USA)를 이용하여 분석하였다. 귀리 분쇄시료 1 g에 50 mM sodium phosphate buffer (pH 2.8)을 혼합한 80% 메탄올 10 mL을 첨가하여 10분간 sonication한 뒤 50°C, 200 rpm, 압조건으로 진탕추출하였다. 그 후 4°C, 7,168 $\times$ g 조건으로 원심분리하여 8  $\mu\text{m}$  pore size의 여과지(Whatman No.2)를 이용하여 상등액을 얻어내었으며 이를 원심농축기를 이용하여 10배의 농도로 농축하여 분석시료로 사용하였다. HPLC 분석을 위하여 시료는 20  $\mu\text{L}$  주입하였으며 컬럼은 ZORBAX Eclipse Plus C18 (4.6 $\times$ 250 mm, 5  $\mu\text{m}$ ), 가드컬럼은 Eclipse XDB-C18 (4.6 $\times$ 12.5 mm, 5  $\mu\text{m}$ )을 이용하여 410 nm 파장에서 검출하였다. 이동상은 A: 50 mM sodium phosphate buffer (pH 2.4), B: methanol을 이용하여 기울기 용리법으로 0-5분은 A:B=100:0, 5-35분은 A:B=70:30, 35-40분은 A:B=40:60, 40-45분은 A:B=0:100, 45.1-50분은 A:B=100:0의 비율로 농도구배를 주어 35°C에서 분당 0.6 mL의 유속으로 흘러며 분석하였다. Standard는 Sigma 사(USA)에서 구입하여 아베난쓰라마이드 A, B, C이 표준곡선을 각각 제작하여 신선중량(Fresh weight, FW) 1 g 기준 함유하는 총 함량을 산출하였다.

### BYDV가 감염된 귀리 잎에서 RT-PCR 수행

강진 귀리 농가에서 BYDV가 감염된 귀리 잎으로부터 Clear-S Total RNA extraction kit (InVirusTech, Korea)를 이용하여 바이러스 RNA를 추출한 다음 TOPscript RT-PCR DyeMIX (Enzynomics, Korea)를 이용하여 RT-PCR를 수행하였다. PCR에 사용된 primer 세트는 Shu-F (5'-TACGGTA AGTGCCCAACTCC-3')와 Yan-R (5'-TGTTGAGGAGTCT ACCTATTT-3')를 이용하여 50°C에서 30분, 95°C에서 5분, 그리고 95°C에서 30초, 56°C에서 60초, 72°C에서 60초를 35반복한 다음 72°C에서 10분하고 반응을 마쳤다(Malmstrom & Shu, 2004). RT-PCR 결과물은 2%의 agarose gels에 전기영동을 하여 확인하였다.

### 통계처리

본 연구의 결과는 IBM SPSS 27 (Statistics Package for the Social Science, Chicago, USA)를 이용하여 3 반복 결과를 분석하였으며 시료간의 유의적인 차이는 Duncan's multiple range test를 실시하여 5% 유의수준( $p < 0.05$ )에서 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 재배지역별 쌀귀리의 외관 품질 및 활력 특성

쌀귀리의 주산지와 재배한계지로 설정된 G1지역과 G2지역에서 3년간 수집한 쌀귀리 종자의 외관 특성을 파악하기 위해 종자의 색도를 관찰한 결과는 Table 3과 같다. 2020년에 G2지역에서 명도(Lightness, L)가 58.2, 황색도(Yellowness, b)가 22.9로 측정되어 G1지역의 49.1과 21.2에 비해 유의하게 높게 나타나 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 2022년에는 적색도를 나타내는 a 수준만 G1지역에서 6.0으로 측정되어 G2 (5.7)에 비해 높게 나타났고 L과 b 수준은 2021년과 마찬가지로 유의적인 차이가 관찰되지 않았다. 쌀귀리 종자의 품질을 결정하는 요소 중 활력을 검정하기 위해 종실 용출물의 전기전도도를 측정하였다(Table 4). 전기전도도 검사(conductivity test)는 상태가 좋지 않은 종자일수록 세포막이 손상되어 침출물이 증가하는데, 이들의 전하를 측정함으로써 간단하게 손상도를 측정하는 방법으로 전기전도도가 높을수록 종자의 활력이 낮은 것으로 판단할 수 있다(Hall & Wiesner, 1990; Hampton *et al.*, 1992). 본 연구결과, 종자 용출물의 전기전도도가 지역별로 매년 감소하는 양상을 보였으며 2020년과 2021년에 재배지역간에 유의적인 차이가 없었으나 2022년에는 G1지역에서 G2지역보다 전기전도도 값이 유의적으로 낮게 나타나 재배지역

**Table 3.** Color values of naked oats in different cultivation regions over 3 years.

Year	Group	L <sup>1)</sup>	a	b
2020	G1	49.1 <sup>b*</sup>	5.9	21.2 <sup>b</sup>
	G2	58.2 <sup>a</sup>	5.8	22.9 <sup>a</sup>
2021	G1	53.8	5.8	22.5
	G2	55.4	5.6	22.0
2022	G1	57.0	6.0 <sup>a</sup>	22.8
	G2	55.8	5.7 <sup>b</sup>	22.6

<sup>1)</sup>L; Lightness, a; Redness, b; Yellowness.

\*Different letters in the same column indicate a significant difference among experimental groups ( $p < 0.05$ ; Student's t-test).

**Table 4.** Electrical conductivity levels of naked oats in different cultivation regions over 3 years.

Year	Group	Electrical conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
2020	G1	425.5
	G2	392.3
2021	G1	362.6
	G2	391.3
2022	G1	167.1 <sup>b*</sup>
	G2	229.0 <sup>a</sup>

\*Different letters in the same column indicate a significant difference among experimental groups ( $p < 0.05$ ; Student's t-test).

간의 종자활력에 차이가 있음을 알 수 있었다. Park & Kuk (2021) 등에 의하면 걸보리는 재배한계지인 강원도 속초와 춘천의 종자가 주산지인 충북 보은과 경북 영덕의 종자에 비해 전기전도도가 낮았고 맥주보리는 주산지와 재배한계지 간의 전기전도도 값에 유의적인 차이는 없었으나 맥주보리 주산지인 전남 해남과 강진 및 나주지역 내의 종자 간 유의적인 차이가 있었다고 보고하였다. 따라서 본 연구의 결과도 3개년 동안 전반적으로 재배지역간의 일정한 경향이 없었기에 지속적인 모니터링을 통해 재배지역 차이와 종자활력간의 연관 관계를 확인할 필요가 있을 것으로 생각된다.

### 재배지역별 쌀귀리의 영양성분 특성

쌀귀리의 주산지와 재배한계지로 설정된 G1지역과 G2지역에서 3년간 수집한 쌀귀리 종자의 수분, 회분, 조단백, 조지방 및 탄수화물의 함량을 각 연도별로 조사한 결과는 Table 5와 같다. 수분 함량은 2020년도에 지역별로 7.7-8.3%,

**Table 5.** Chemical properties of naked oats in different cultivation regions over 3 years.

Year	Group	Moisture (%)	Ash (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Carbohydrate (%)
2020	G1	7.7 <sup>b*</sup>	1.8	10.9 <sup>b</sup>	10.6 <sup>a</sup>	68.3 <sup>a</sup>
	G2	8.3 <sup>a</sup>	1.7	13.7 <sup>a</sup>	9.8 <sup>b</sup>	65.9 <sup>b</sup>
2021	G1	9.8	1.7	9.3 <sup>b</sup>	9.3 <sup>a</sup>	68.3 <sup>a</sup>
	G2	10.7	1.7	11.9 <sup>a</sup>	8.3 <sup>b</sup>	65.7 <sup>b</sup>
2022	G1	9.5 <sup>b</sup>	1.6	9.7 <sup>b</sup>	9.5	69.7 <sup>a</sup>
	G2	10.3 <sup>a</sup>	1.6	11.0 <sup>a</sup>	8.9	68.2 <sup>b</sup>

\*Different letters in the same column indicate a significant difference among experimental groups ( $p < 0.05$ ; Student's t-test).

2021년도에 9.8-10.7%, 2022년도에 9.5-10.3%로 분포하였으며 3개년 모두에서 G1지역보다 G2지역에서 더 높게 나타났으며 특히 2020년과 2022년에는 유의하게 G2지역에서 높았다. 본 연구의 수분 함량 범위는 국내 육성 쌀귀리 품종들(조양, 수양, 대양, 선양, 중모2005)을 대상으로 수분을 분석하여 8.8-10.2%로 나타난 결과와 비교해 보았을 때 2020년 시료에서 조금 낮게 나타났으나 다른 연도는 유사하였다(Lee *et al.*, 2017). 회분 함량은 2020년도에 1.7-1.8%, 2021년도에 1.7%, 2022년도에 1.6%로 나타나 전체적으로 1.6-1.8% 범위로 나타났으며 매년 G1지역과 G2지역간의 차이가 없이 같거나 비슷한 함량을 나타내었다. 회분의 함량 역시 국내 육성 쌀귀리 품종들(조양, 수양, 대양, 선양, 중모 2005)을 대상으로 회분을 분석하여 1.7-1.9%로 나타난 결과와 유사하였다(Lee *et al.*, 2017). 조단백질 함량은 2020년도에 10.9-13.7%, 2021년도에 9.3-11.9%, 2022년도에 9.7-11%로 분포하여 G1지역과 G2지역에서 2020년보다 2021년과 2022년에 각각 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 또한 3년간 모든 연도에서 G1지역보다 G2지역에서 조단백질 함량은 유의적으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 기후분포가 다른 3개의 재배지에서 재배한 겉보리에서 조단백질의 함량을 조사한 결과, 겉보리 주산지인 경기도 안성, 충북 충주와 옥천 및 영동 지역의 조단백질 함량은 평균 8.68%인 반면 재배한계지에 해당하는 양양은 12.38%, 영덕은 13.07%로 나타나 본 연구결과와 비슷하게 재배한계지에서 조단백질의 함량이 높게 나타났다(Park *et al.*, 2023). 쌀귀리의 품질을 결정하는 인자에 대한 구체적인 연구는 없지만 쌀의 경우는 품종, 취반 특성, 외관, 식미 등이 품질을 결정하게 되는데 쌀의 단백질 함량이 높을수록 밥의 경도가 증가하여 식미가 저하된다고 알려져 있다(Kim *et al.*, 2012b). 우리나라에서는 “쌀 등급 및 단백질 함량 기준”이라는 농식품부 고시를 통해 단백질 함량을 기준으로 6% 이하는 “수”, 6.1-7%는 “우”, 7.1% 이상은 “미” 등 3개 등급으로 나눠서

국내산 쌀의 품질을 관리하고 있다. 그러나 단백질의 함량은 단순히 기후환경 뿐만 아니라 다양한 요인에 의해 영향을 받기 때문에 기후변화와 단백질 함량 차이의 상관관계를 규명하기 위해서는 보다 구체적이고 지속적인 연구가 필요하리라 생각된다. 조지방 함량은 2020년도에 9.8-10.6%, 2021년도에 8.3-9.3%, 2022년도에 8.9-9.5%로 분포하였는데 2022년을 제외하고 G2지역보다 G1지역에서 유의미하게 높게 나타난 경향을 보였다. 탄수화물 함량은 2020년도에 65.9-68.3%, 2021년도에 65.7-68.3%, 2022년도에 68.2-69.7%로 분포하였는데 이는 조단백질 함량과 반비례하게 3년간 모든 연도에서 G2지역보다 G1지역에서 유의미하게 높게 나타났다. 이 결과 또한 겉보리 주산지인 안성, 충주, 옥천, 영동 지역의 탄수화물 함량은 평균 77.05%인 반면 재배한계지에 해당하는 양양은 73.7%, 영덕은 72.81%로 나타나 본 연구결과와 비슷하게 주산지에서 높게 나타난 경향을 보였다(Park *et al.*, 2023). 작물 종실 내 탄수화물의 일종인 전분 함량은 등숙기온과 밀접한 관련이 있으며 고온 스트레스와 일사량 등과도 연관이 있는 것으로 보고 되었다(Tashiro & Wardlaw, 1989; Liu *et al.*, 2011). 본 연구의 시험품종인 조양의 등숙기간(출수기~성숙기)은 약 40일로 알려져 있는데, 2021년과 2022년에 조사된 G1지역 조양의 출수기는 4월 11일로 G2지역의 4월 20일 보다 평균 9일 빨랐고, 등숙기간 중 평균기온은 G1지역에서 15.4°C로 G2지역의 16.9°C보다 1.5°C 낮았다(Han *et al.*, 2008; Table 2). Lee *et al.* (2016)에 의하면 인공기상시설에서 등숙기 고온조건에 따른 보리종실의 이화학적 특성을 분석한 결과, 고온처리에 따라 등숙기간이 9일 단축되었을 경우 전분 함량은 5.7% 감소하였고 단백질 함량은 5.6% 증가하였다. 또한 등숙기 평균기온 상승에 따른 밀 종실의 이화학적 특성 변화 연구에서도 고온처리에 따라 등숙기간이 6일 단축되었을 경우 전분 및 아밀로스 함량은 각각 10.8%, 5.4% 감소하였고 조단백질 함량은 1.7% 증가하였다(Ahn *et al.*,

2017). 한편, Spiertz *et al.* (2006)와 Cho *et al.* (2022)는 기온상승에 의해 밀 종실의 단백질 함량이 증가하고 전분 함량이 감소하였다고 보고하였는데, 이에 대하여 Cho *et al.* (2022)는 등숙기온 상승에 따른 단백질 합성 유전자의 발현량 증가와 전분 합성 관련 유전자의 발현량 감소에 따른 결과로 해석하였다. 결과적으로 본 연구에서 G2지역에서 G1지역에 비해 평균적으로 탄수화물의 함량이 2.1% 낮고 단백질의 함량이 2.2% 높게 나타난 쌀귀리 종실 영양성분의 함량 차이는 지역별 등숙기온 차이와 연관된 것으로 판단된다.

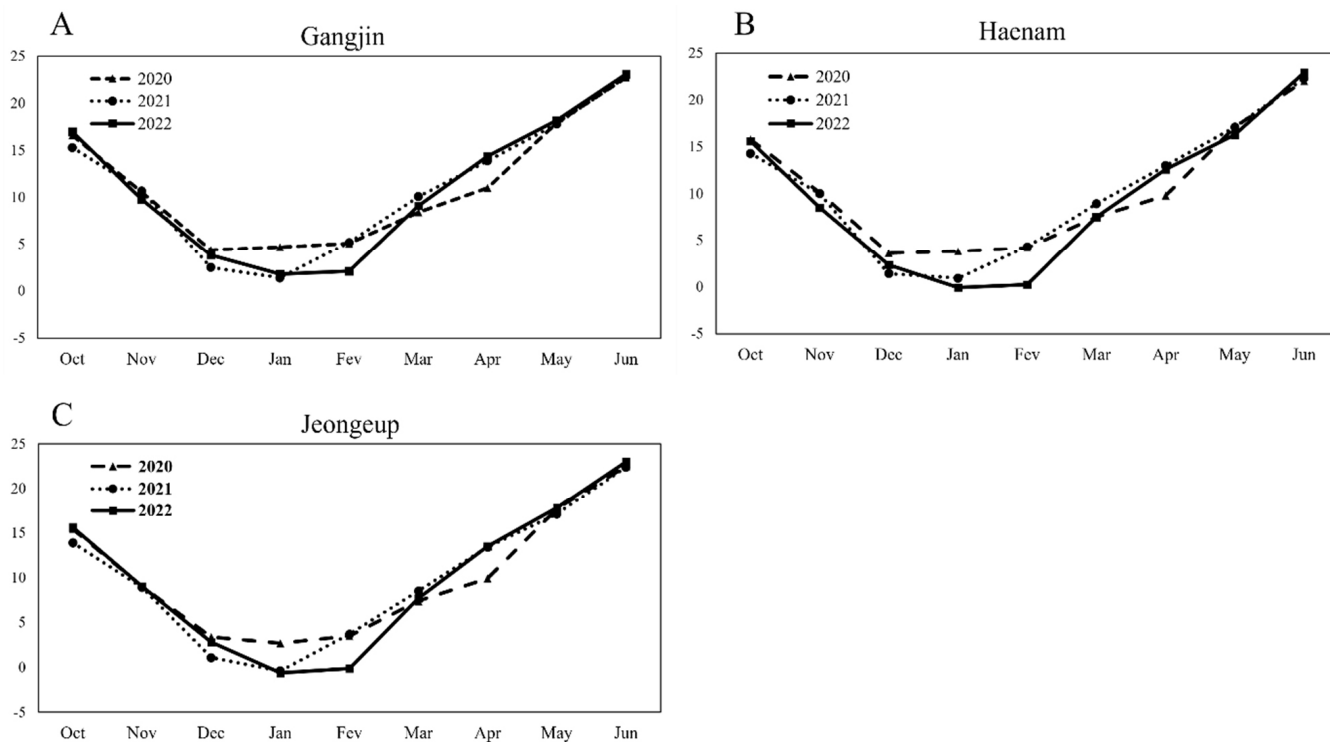
쌀귀리의 재배한계선이 1월 평균기온이 0°C 이상이고 1월 최저기온이 평균 -4°C 아래로 내려가지 않는 지역인 전라남도과 경상남도 내륙지역으로 설정되었다(Kim *et al.*, 2012a). 따라서 본 연구의 쌀귀리 재배지역별 생육기간 중 기온조건 현황을 파악하기 위해 2020년부터 2022년까지 쌀귀리 생육기의 평균기온과 최저기온 평균값을 조사하였다(Fig. 1 & Fig. 2). 전체 생육기간에서 재배한계선의 기준으로 사용된 1월의 평균기온과 최저기온 평균값을 대표적으로 살펴보면, G1에 포함된 강진의 1월 평균기온은 3년동안 각각 4.7°C, 1.4°C, 1.8°C를 보였으며 1월 최저기온 평균값은 각각 0.8°C, -3.5°C, -2.9°C로 나타났고 역시 G1에 포함된 해남의 경우는 1월 평균기온이 3년동안 각각 3.8°C, 0.9°C, -0.1°C를 보였으며 1월 최저기온 평균값은 각각 -0.6°C, -4.8°C, -5.4°C로 나타났다. 그리고 G2에 포함된 정읍의 경우는 1월 평균기온이 3년동안 각각 2.7°C, -0.4°C, -0.6°C를 보였으며 1월 최저기온 평균값은 각각 -0.5°C, -5°C, -4.7°C로 나타났다(Table 1, Fig. 1과 Fig. 2). 결과적으로 강진의 1월 평균기온과 최저기온 평균값은 다른 지역과 차이가 있었지만 재배한계지로 설정되었던 정읍의 1월 평균기온과 최저기온 평균값은 주산지로 설정된 해남의 기온과 매우 비슷하였다. Park *et al.* (2022)에 의해 수행되었던 기후변화에 따른 맥종별 재배실태조사에 따르면 걸보리의 재배한계지역인 강원 7개와 경기 9개 지역의 10a당 수량이 주산지인 충북 5개와 경북 1개 지역의 수량과 큰 차이가 없었고 쌀귀리의 경우도 군산과 정읍지역의 10a당 수량이 강진과 해남지역의 수량이 큰 차이가 없었다고 보고하였다. 그리고 Park *et al.* (2023)에 의한 다른 연구에 따르면 걸보리의 조단백질과 탄수화물 등과 같은 일부 일반성분은 걸보리 주산지와 재배한계지에서 유의적인 차이를 보였지만 수량은 유사한 것으로 판단되어 재배한계지에서도 안정적으로 걸보리를 재배할 수 있다고 판단하였다. 이러한 결과를 종합해 보면 기후변화로 인하여 기온이 상승함에 따라 점진적으로 국내 쌀귀리의 재배한계지에 포함되었던 지역

이 주산지화 됨으로써 전체적으로 재배면적이 늘어나고 있음을 알 수 있다. 따라서 안전재배지역이 확대되는 상황에서 재배지역간에 차이를 보이는 수분, 단백질 및 탄수화물 등과 같이 쌀귀리의 품질에 영향을 미치는 영양성분의 변화에 대해서는 지속적인 모니터링이 필요하리라 생각된다.

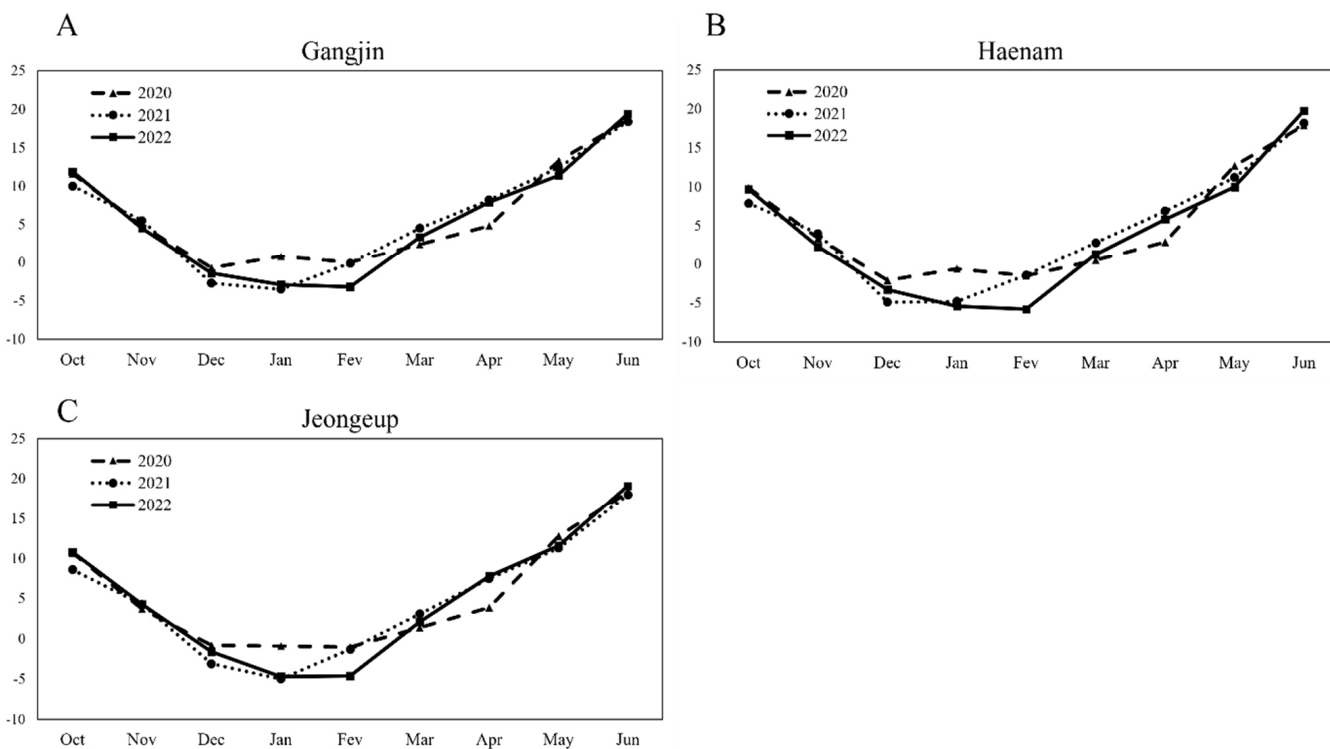
### 재배지역별 쌀귀리의 기능성 성분 특성

귀리에 풍부하게 함유되어 있으며 심혈관 질환에 효과적이라고 알려진 중요한 기능성 성분인 베타글루칸의 함량을 G1지역과 G2지역에서 3년간 수집한 종자를 분석한 결과, 베타글루칸 함량은 3.4-4.2% 범위로 나타났으며 2020년을 제외하고 재배지역간의 유의적인 차이는 없었다(Table 6). Lee *et al.* (2019) 등에 의하면 한국원산 36자원, 중국원산 69자원, 일본원산 37자원 등 총 142 귀리자원을 대상으로 확인한 베타글루칸 함량 분포는 2.3-5.7% 범위를 보였고 한국원산 자원의 함량은 3.5%로 나타나 중국원산 자원이 한국원산과 일본원산 자원에 비해 유의미하게 높게 나타났다고 보고하였다. 국내 육성 쌀귀리 품종들(조양, 수양, 대양, 선양, 중모2005)을 대상으로 베타글루칸 함량을 분석한 결과에서는 3.78-4.6% 범위로 나타났으며 5개 쌀귀리 품종들 중에서 대양이 가장 높은 함량을 보였고 본 연구에 사용한 재료인 조양의 베타글루칸 함량은 3.88%로 나타났다고 보고하였다(Lee *et al.*, 2017). 또한 스웨덴의 연구결과에서는 보리의 베타글루칸 함량은 3-6.9%인 반면 귀리의 경우는 2.2-4.2% 범위로 나타났으며 핀란드의 경우는 귀리에서 3.8-4.9%의 범위를 보였다(Aman & Graham 1987; Saastamoinen *et al.*, 1992). 따라서 G1지역과 G2지역에서 재배한 귀리의 베타글루칸 함량에서 지속적으로 일정한 경향이 없었으며 국내외 연구결과로 미루어 보아 베타글루칸 함량의 변화는 유전적 차이를 보이는 품종이 중요한 요인으로 작용하지만 온도와 강수량 등과 같은 기상요인 및 비료 시비와 관개 등과 같은 농업적 요인 등에 의해 영향을 받을 것으로 생각된다. 베타글루칸 함량의 변화와 관련된 다양한 요인들을 이용하여 시뮬레이션을 진행한 연구결과, 베타글루칸 함량에 영향을 미치는 품종 선택만큼 효과적이지는 않지만 파종시기, 수확시기 및 수확한 종자의 저장 온도와 수분 등의 요인들도 영향을 미치는 것으로 확인되었다(Tiwari & Cummins, 2009). 또한 베타글루칸은 구조적으로 세포벽에서 주로 펙타이드와 셀룰로스 등과 결합되어 존재하며 단백질과 강하게 결합되어 있다고 알려져 있어 베타글루칸 함량은 귀리의 영양성분인 단백질의 함량과 밀접한 연관 관계가 있는 것으로 보고되었다(Saastamoinen *et al.*, 1992; Du *et al.*, 2019).

귀리에만 존재하는 대표적인 기능성 성분인 아베난쓰라



**Fig. 1.** Average temperatures by region in Gangjin (A), Haenam (B), and Jeongeup (C) during the experimental period from 2020 to 2022.



**Fig. 2.** Average minimum temperatures by region in Gangjin (A), Haenam (B), and Jeongeup (C) during the experimental period from 2020 to 2022.

마이드는 높은 항산화, 항염증 및 항암 활성을 가지고 있을 뿐만 아니라 알츠하이머의 예방과 치료에 효과가 있는 것으로 밝혀짐으로써 최근에 관심이 높아지고 있다. 따라서 기후변화에 따른 아베난쓰라마이드 함량의 변화를 확인해 보고자 G1지역과 G2지역에서 2021년과 2022년에 수확한 종자를 이용해 분석한 결과, 아베난쓰라마이드 함량은 2.4-20.7  $\mu\text{g/g}$  범위로 나타났으며 2년 모두 G2지역에서 G1지역보다 유의적으로 아베난쓰라마이드 함량이 높게 나타나는 경향을 보였다(Table 7). 아베난쓰라마이드는 *Puccinia coronata*라는 병원균에 의한 crown rust에 감염된 귀리의 잎에서 처음 발견된 파이토알렉신의 일종으로 알려져 있다(Mayama *et al.*, 1982). 파이토알렉신은 엘리시터(Elicitor) 처리에 의한 식물의 방어 기작을 거쳐 생성되는 이차대사산물의 총칭으로, 추가적인 연구에 의해 아베난쓰라마이드는 병원균 감

염에 의해서 뿐만 아니라 식물병저항성 활성제에 의해서도 생합성 되는 것으로 알려졌다. 엘리시터에는 곰팡이 또는 세균 유래 생물학적 엘리시터 뿐만 아니라 UV, 가뭄, 온도 등과 같은 환경 스트레스도 비생물학적 엘리시터가 포함된다. 귀리가 스트레스 하에서 자랐을 때 아베난쓰라마이드 함량이 10배 증가한 것을 관찰됨으로써 스트레스가 아베난쓰라마이드 생합성을 강력하게 상향 조절한다고 보고되었다(Peterson *et al.*, 2005). Lee *et al.* (2021)의 연구에서는 새싹귀리의 생육온도가 올라갈수록 아베난쓰라마이드의 함량이 증가하였다가 한계온도에서 급격히 낮아지는 결과를 확인하였다. 또한 본 연구가 진행되는 과정에서 강진군 귀리 재배농가 포장에서 BYDV (Barley Yellow Dwarf Virus) 감염으로 추정되는 귀리 잎을 채집하여 DNA를 추출한 다음 BYDV 특이적인 primer를 이용하여 BYDV에 의한 피해를 확인하였다(Fig. 3). 그리고 정상적인 귀리 잎과 BYDV

**Table 6.**  $\beta$ -Glucan levels of naked oats in different cultivation regions over 3 years.

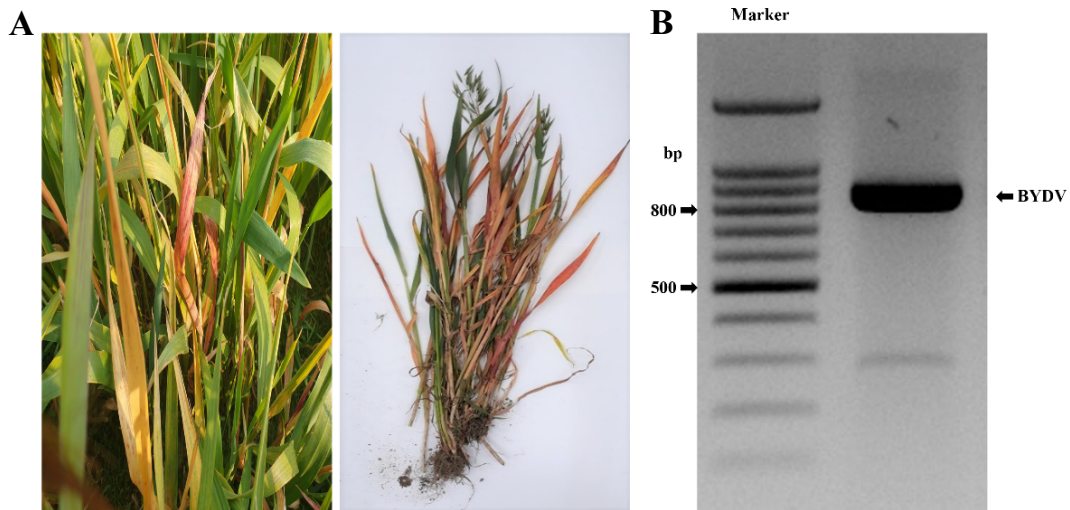
Year	Group	$\beta$ -glucan (%)
2020	G1	3.4 <sup>b*</sup>
	G2	3.8 <sup>a</sup>
2021	G1	4.0
	G2	4.2
2022	G1	3.6
	G2	3.5

\*Different letters in the same column indicate a significant difference among experimental groups ( $p < 0.05$ ; Student's t-test).

**Table 7.** Changes in avenanthramides levels of naked oats in different cultivation regions over 2 years.

Year	Group	Avenanthramides ( $\mu\text{g/g}$ )			
		A	B	C	Total
2021	G1	1.8 <sup>b*</sup>	1.6 <sup>b</sup>	1.2 <sup>b</sup>	4.6 <sup>b</sup>
	G2	8.0 <sup>a</sup>	8.5 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup>	20.7 <sup>a</sup>
2022	G1	1.1 <sup>b</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.6 <sup>b</sup>	2.4 <sup>b</sup>
	G2	5.7 <sup>a</sup>	4.5 <sup>a</sup>	3.5 <sup>a</sup>	13.7 <sup>a</sup>

\*Different letters in the same column indicate a significant difference among experimental groups ( $p < 0.05$ ; Student's t-test).



**Fig. 3.** Disease symptoms of barley yellow leaf curl virus (BYDV)-infected oat leaves (A) and detection of BYDV by reverse transcription polymerase amplification reaction (RT-PCR) (B). The RT-PCR product was visualized on a 1.2% agarose gel.



**Table 8.** Comparison of avenanthramides levels in normal and barley yellow leaf curl virus (BYDV)-infected oat leaves.

	Avenanthramides ( $\mu\text{g/g}$ )			
	A	B	C	Total
Normal leaves	0.0 <sup>b</sup> *	0.0 <sup>b</sup>	0.0	0.0 <sup>b</sup>
BYDV-infected leaves	13.5 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	0.0	17.2 <sup>a</sup>

\*Different letters in the same column indicate a significant difference among experimental groups ( $p < 0.05$ ; Student's t-test).

가 감염된 잎에서 아베난쓰라마이드의 생합성 여부를 확인해 본 결과, BYDV가 감염된 잎에서만 아베난쓰라마이드가 생성된 것을 확인하였다(Table 8). 이러한 결과들을 종합해 보면 본 연구결과에서 2년 모두 G2지역에서 유의적으로 아베난쓰라마이드 함량이 높게 나타난 이유는 재배환경의 농업환경이 주산지에 비해 다양한 외부적인 스트레스로 작용했을 것으로 추정할 수 있다. 중국 북서부에서 재배되는 39종 귀리품종을 대상으로 아베난쓰라마이드 함량에 영향을 미치는 유전자형과 재배환경을 확인하기 위해 평균온도, 파종시기부터 성숙시기까지의 강수량 및 적산온도 등과 같이 환경 조건의 차이가 있는 4개 지역으로 나누어 분석한 결과, 4개 지역간의 특정한 재배환경, 아베난쓰라마이드 농도 및 항산화 활성 수준 간에는 양의 상관관계가 있었지만 상관관계는 유의미하지 않았다(Li *et al.* 2017). 또한 Malunga *et al.* (2022)에 의하면 캐나다 서부 8개 지역에서 재배되는 6종 귀리품종에서 아베난쓰라마이드 함량의 유전적 및 환경적 변화를 확인한 결과, Morden 지역에서 재배된 귀리에서 가장 높게 나타나 반면 Dawson Creek 지역에서 재배된 귀리에서는 7배 적게 나타나 재배지역에 영향을 받은 것으로 나타났다. 그러나 지역별로 파종, 성숙, 수확 일정 등이 차이가 있어 기상 데이터와 상관관계를 확인하기 어렵다고 기술하면서 Morden 지역이 다른 지역에 비해 귀리 crown rust 발병률이 높은 지역이기에 아베난쓰라마이드 축적과 연관되어 있을 것으로 생각하였다(Malunga *et al.*, 2022). 특히 Peterson & Dimberg (2008)는 아베난쓰라마이드 생합성의 최종 단계를 촉매하는 효소인 hydroxycinnamoyl transferase (HHT) 활성 연구를 통해 아베난쓰라마이드가 귀리 생육 중 이삭의 등숙조건에 따라 합성과 출현에 영향을 받고 있다고 보고하였다. 이러한 측면에서, 앞장에서 전술하였던 바와 같이 G2지역에서 재배된 귀리는 G1지역에 비해 출수기가 9일 늦고 등숙기온이 1.5°C 높았던 것은 지역별 귀리 종실의 아베난쓰라마이드 함량 차이와 연관성이 있는 것으로 생각되었다(Table 2). 따라서 아베난쓰라마이드 함량의 차

이에 대한 원인을 확인하기 위해서는 귀리 생육기의 기상 조건에 대한 보다 과학적이고 구체적인 연구가 필요하리라 생각된다. Peterson & Dimberg (2008)는 같은 연구에서 가장 높은 HHT 활성은 가장 높은 농도의 아베난쓰라마이드를 가진 품종에서 확인되었으며 반면에 가장 낮은 HHT 활성은 가장 낮은 농도의 아베난쓰라마이드를 가진 품종에서 확인되었다고 보고하였다. 또 다른 국외 연구에 의하면 아베난쓰라마이드 농도는 유의미하게 품종 간의 차이가 있음이 확인되었고 국내에서 육성한 쌀귀리 품종들을 이용한 연구에서도 겉귀리보다 쌀귀리에서 아베난쓰라마이드를 다량 함유하고 있는 것으로 확인되었으며 쌀귀리 중에서는 조양에 비해 대양이 현저하게 아베난쓰라마이드가 많은 것으로 나타났다(Emmons & Peterson, 2001; Peterson *et al.*, 2005; Son *et al.*, 2018). 이러한 결과는 아베난쓰라마이드의 함량은 재배 환경 뿐만아니라 유전자형에 의해 영향을 크게 받고 있음을 의미한다 하겠다. 따라서 귀리가 가진 유일한 기능성분인 아베난쓰라마이드를 건강기능소재로 활용하기 위해 많은 함량을 얻고자 한다면 품종 및 등숙기 등 농업환경 조절을 통한 최적의 재배조건을 설정할 필요가 있을 것으로 생각된다.

## 적 요

기후변화에 대응하기 위해 재배지역 차이에 따른 쌀귀리 (*Avena sativa* L.)의 품질을 비교하고자 재배지역이 다른 G1과 G2 그룹의 국내 농가에서 쌀귀리 조양 품종을 2020년부터 2022년까지 3년 동안 수집하여 외관 품질, 영양성분, 기능성 성분 등을 분석하였다. 외관 품질의 경우는 2020년에 G2지역에서 명도와 황색도에서 G1지역에 비해 유의하게 높게 나타나 차이가 있었지만 다른 연도에서는 재배 지역간에 차이가 없었다. 쌀귀리 종자의 활력을 검정한 결과는 2022년에서만 G1지역에서 G2지역보다 전기전도도 값이 유의적으로 낮게 나타났다. 영양성분 중에서 수분 함량은 3개년 모두에서 G1지역보다 G2지역에서 더 높게 나타났으며 조단백질 함량 역시 모든 연도에서 G1지역보다 G2지역에서 유의적으로 높게 나타났다. 탄수화물 함량은 조단백질 함량과 반비례하게 3년간 모든 연도에서 G2지역보다 G1지역에서 유의미하게 높게 나타났다. 조지방 함량은 2022년을 제외하고 G2지역보다 G1지역에서 유의미하게 높게 나타난 경향을 보였다. 그리고 쌀귀리에 풍부하게 함유되어 있는 기능성 성분인 베타글루칸을 분석한 결과 3.4-4.2% 범위로 나타났으며 2020년을 제외하고 재배지역 간의 유의적인 차이는 없었다. 또한 귀리에만 존재하는 대

표적인 기능성 성분인 아베난쓰라마이드는 2021년과 2022년 2년에 걸쳐 함량을 분석한 결과, 아베난쓰라마이드 함량은 2.4-20.7  $\mu\text{g/g}$  범위로 나타났으며 2년 모두 G2지역에서 G1지역보다 유의적으로 아베난쓰라마이드 함량이 높게 나타나는 경향을 보였다. 본 연구가 진행되는 재배지역간의 기온을 파악하기 위해 2020년부터 2022년까지 쌀귀리 생육기의 평균기온과 최저기온 평균값을 조사한 결과, 재배한계지로 설정된 G2지역과 주산지인 G1지역 해남의 1월 평균기온과 1월 최저기온 평균값이 유사하였다. 결론적으로 재배지역 차이에 따라 재배되고 있는 쌀귀리 품질에서 일부 영양성분과 기능성 성분에 차이를 확인하였기에 기후변화로 인해 쌀귀리의 재배면적이 확대되는 상황에서 품질에 영향을 미치는 성분들의 변화에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(기후변화에 따른 식량작물(맥류)의 재배적지 한계선과 저온요구도 실태조사 및 영향 평가(1단계), 제3공동, RS-2020-RD008569)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Ahn, S. H., D. W. Kim, H. S. Lee, J. H. Jeong, H. Y. Jeong, W. H. Hwang, J. S. Baek, K. J. Choi, I. B. Choi, H. K. Park, J. T. Youn, and G. J. Kim. 2017. Changes in physicochemical properties in wheat grains as influenced by average temperature rise during ripening stage. *Journal of the Korean Society of International Agriculture*. 29(1) : 50-55.
- Aman, P. and H. Graham. 1987. Analysis of total and insoluble mixed-linked (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-glucans in barley and oats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 35(5) : 704-709.
- Anderson, J. W., N. J. Gustafson, C. A. Bryant, and J. Tietzen-Clark. 1987. Dietary fiber and diabetes: a comprehensive review and practical application. *Journal of the American Dietetic Association*. 87(9) : 1189-1197.
- AOAC. 2019. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International. 21st Edition, AOAC, Washington DC.
- Cho, C. O., H. Y. Jeong, Y. R. Kim, J. H. Park, K. H. Kim, K. M. Kim, C. S. Kang, J. M. Ko, and J. Y. Shon. 2022. Growth and quality characteristics of Korean bread wheat in response to elevated temperature during their growing season. *Korean Journal of Crop Science*. 67(4) : 234-241 (in Korean with English abstract).
- Du, B., M. Meenu, H. Liu, and B. Xu. 2019. A Concise review on the molecular structure and function relationship of  $\beta$ -Glucan. *International Journal of Molecular Sciences*. 20(16).
- Emmons, C. L. and D. M. Peterson. 2001. Antioxidant activity and phenolic content of oat as affected by cultivar and location. *Crop Science*. 41 : 1676-1681.
- Emmons, C. L., D. M. Peterson, and G. L. Paul. 1999. Antioxidant capacity of oat (*Avena sativa* L.) extracts. 2. In vitro antioxidant activity and contents of phenolic and tocol antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47 : 4894-4898.
- Hall, R. and L. Wiesner. 1990. Relationship between seed vigor tests and field performance of 'Regar' meadow bromegrass. *Crop Science*. 30 : 967-970.
- Hampton, J., K. Johnstone, and V. Eua-umpon. 1992. Bulk conductivity test variables for mungbean, soybean and French bean seed lots. *Seed Science and Technology*. 20 : 677-686.
- Han, O. K., H. H. Park, T. I. Park, J. H. Seo, K. H. Park, J. G. Kim, H. Y. Heo, Y. G. H., and D. H. Kim. 2008. A New Early-Heading and High-Yielding Naked Oat Cultivar for Human Consumption, 'Choyang'. *Korean Journal of Breeding Science*. 40(4) : 512-516.
- Henrion, M., C. Francey, K. A. Le, and L. Lamothe. 2019. Cereal B-glucans: The impact of processing and how it affects physiological responses. *Nutrients*. 11(8) : 1729.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii>. 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the IPCC, Cambridge, Cambridge University Press.
- Jeong, H. S., T. S. Kang, I. S. Jung, H. J. Park, and Y. K. Min. 2003.  $\beta$ -glucan contents with different particle size and varieties of barley and oats. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 35(4) : 610-616 (in Korean with English abstract).
- Ji, L. L., D. Lay, E. Chung, Y. Fu, and D.M. Peterson. 2003. Effects of avenanthramides on oxidant generation and antioxidant enzyme activity in exercised rats. *Nutrition Research*. 23(11) : 1579-1590.
- Kim, C. E., M. Y. Kang, and M. H. Kim. 2012b. Comparison of properties affecting the palatability of 33 commercial brands of rice. *Korean Journal of Crop Science*. 57(3) : 301-309 (in Korean with English abstract).
- Kim, D. J., J. H. Kim, J. H. Roh, and J. I. Yun. 2012a. Geographical migration of winter barley in the Korean peninsula under RCP8.5 projected climate condition. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 14(4) : 161-169 (in Korean with English abstract).
- Lee, H. S., D. W. Kim, W. H. Hwang, J. H. Jeong, S. H. Ahn, J. S. Baek, J. R. Kang, H. Y. Jeong, J. T. Yun, G. H. Lee, and K. J. Choi. 2016. Change of physicochemical properties in barley kernels by high temperature during the ripening stage. *Journal of Korean Society of International Agriculture*. 28(3) :

- 358-363. (in Korean with English abstract)
- Lee, M. J., S. Y. Park, Y. K. Kim, H. S. Kim, H. H. Park, Y. J. Lee, and H. S. Jeong. 2017. Physicochemical properties and  $\beta$ -glucan contents of Korean naked oat (*Avena sativa* L.) cultivars. Korean Journal of Food Science and Technology. 49(1) : 97-103 (in Korean with English abstract).
- Lee, S. K., H. M. Yoon, M. C. Lee, S. J. Oh, M. Rauf, O. S. Hur, N. Y. Ro, J. Y., Yi, D. Y. Hyun, G. T. Cho, H. C. Ko, and Y. M. Choi. 2019. Comparison of the diversity of east asian oat (*Avena sativa* L.) genetic resources by origins, considering major nutritional ingredients and agronomic traits. Korean Journal of Breeding Science. 51(1) : 9-19 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y. Y., Y. R. Son, M. S. Kang, M. H. Kim, J. Y. Lee, and H. J. Kim. 2021. Functional components and antioxidant activities by temperature and growing days of sprouted oats. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition. 50(11) : 1161-1167 (in Korean with English abstract).
- Li, X. P., M. Y. Li, A. J. Ling, X. Z. Hu, Z. Ma, L. Liu, and Y. X. Li. 2017. Effects of genotype and environment on avenanthramides and antioxidant activity of oats grown in northwestern China. Journal of Cereal Science. 73 : 130-137.
- Lim, W. and C. Kang. 2020. Avenanthramide C suppresses hypoxia-induced cyclooxygenase-2 expression through sirtuin1 activation in non-small-cell lung cancer cells. Animal Cells and Systems. 24(2) : 79-83.
- Liu, P., W. Guo, Z. Jiang, H. Pu, C. Peng, X. Zhu, Y. Peng, A. Kuang, and C.R. Little. 2011. Effects of high temperature after anthesis on starch granules in grains of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agricultural Science. 149(2) : 159-169.
- Malmstrom, C. M. and R. Shu. 2004. Multiplexed RT-PCR for streamlined detection and separation of barley and cereal yellow dwarf viruses. Journal of Virology Methods. 120(1) : 69-78.
- Malunga, L. N., N. Ames, J. M. Fetch, T. Netticadan, and S. J. Thandapilly. 2022. Genotypic and environmental variations in phenolic acid and avenanthramide content of Canadian oats (*Avena sativa*). Food Chemistry. 388 : 132904.
- Mayama, S., Y. Matsuura, H. Iida, and T. Tani. 1982. The role of avenalumin in the resistance of oat to crown rust, *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*. Physiological Plant Pathology. 20(2) : 189-199.
- Meydani, M. 2009. Potential health benefits of avenanthramides of oats. Nutrition Reviews. 67(12) : 731-735.
- National Institute of Meteorological Sciences (NIMS). 2018. Report on climate change for 100 years over the Korean Peninsula. 11-1360620-000132-01 (in Korean).
- Park, H. H. and Y. I. Kuk. 2021. Differences in seed vigor, early growth, and secondary compounds in hulled and dehulled barley, malting barley, and naked oat collected from various areas. Korean Journal of Crop Science. 66(2) : 171-181 (in Korean with English abstract).
- Park, H. H., H. J. Lee, S. W. Roh, H. Hwangbo, and Y. I. Kuk. 2022. Evaluation of cultivation limit area for different types of barley owing to climate change based on cultivation status and area of certified seed request. Korean Journal of Crop Science. 67(2) : 95-110 (in Korean with English abstract).
- Park, H. H., H. J. Lee, Y. G. Kim, D. W. Kim, and Y. I. Kuk. 2023. Comparative analysis of growth, yield, and grain quality of hulled barley grown under different meteorological conditions in South Korea. Korean Journal of Crop Science. 68(2) : 69-80 (in Korean with English abstract).
- Peterson, D. M. and L. H. Dimberg. 2008. Avenanthramide concentrations and hydroxycinnamoyl-CoA:hydroxyanthranilate N-hydroxycinnamoyltransferase activities in developing oats. Journal of Cereal Science. 47(1) : 101-108.
- Peterson, D. M., D. M. Wesenberg, D. E. Burrup, and C. A. Erickson. 2005. Relationships among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. Crop Science. 45 : 1249-1255.
- Ramasamy, V. S., S. Manikandan, H. J. Park, M. Wang, R. Park, S. Y. Yu, H. Kang, S. Hong, W. Choi, Y. Y. Lee, H. S. Kim, and J. Jo. 2020. Avenanthramide-C restores impaired plasticity and cognition in Alzheimer's disease model mice. Molecular Neurobiology. 57 : 315-330.
- Saastamoinen, M., S. Plaami, and J. Kumpulainen. 1992. Genetic and environmental variation in  $\beta$ -glucan content of oats cultivated or tested in Finland. Journal of Cereal Science. 16(3) : 279-290.
- Son, Y. R., J. H. Lee, H. H. Park, B. W. Lee, H. J. Kim, S. I. Han, K. S. Woo, B. K. Lee, S. C. Lee, and Y. Y. Lee. 2018. Changes in functional compounds and antioxidant activities in storage duration with accelerated age-conditioning of oats. Korean Journal of Crop Science. 63(2) : 149-157 (in Korean with English abstract).
- Spiertz, J. H. J., R. J. Hamer, H. Xu, C. Primo-Martin, C. Don, and P. E. L. van der Putten. 2006. Heat stress in wheat (*Triticum aestivum* L.): Effects on grain growth and quality traits. European Journal of Agronomy. 25(2) : 89-95.
- Tashiro, T. and I. F. Wardlaw. 1989. A Comparison of the effect of high temperature on grain development in wheat and rice. Annals of Botany. 64(1) : 59-65.
- Tiwari, U. and E. Cummins. 2009. Simulation of the factors affecting  $\beta$ -glucan levels during the cultivation of oats. Journal of Cereal Science. 50(2) : 175-183.