한작지(Korean J. Crop Sci.), 68(2): 69~80(2023)
DOI : https://doi.org/10.7740/kjcs.2023.68.2.069

ISSN 0252-9777(Print)
ISSN 2287-8432(Online)

Original Research Article

기후분포가 다른 재배지에서 생장한 겉보리 생육, 수량 및 품질 비교

박현화[1] · 이효진[2] · 김예건[2] · 김대욱[3] · 국용인[4,†]

Comparative Analysis of Growth, Yield, and Grain Quality of Hulled Barley Grown Under Different Meteorological Conditions in South Korea

Hyun-Hwa Park[1], Hyo-Jin Lee[2], Ye-Guon Kim[2], Dea-Wook Kim[3], and Yong-In Kuk[4,†]

ABSTRACT This study investigated the differences in barley growth at different growth stages (Dec, Feb, and Apr) and the yield at harvest in three groups (G1, G2, and G3) with different climates. Additionally, we measured meteorological differences between areas during the growing season to determine which factors were related to growth and yield differences. We evaluated the chemical composition of soil and the mineral content in leaves during the heading stages. We also recorded the main constituents, amino acids, and mineral compositions of barley seeds grown in different areas. Tiller number/m^2 in G1 areas was higher than in G2 and G3 when measured before and after overwintering. However, tiller number/m^2 and dry aboveground plant parts/m^2 in G2 and G3 areas were higher than in G1. Regrowth, panicle formation, and heading days in G2 areas occurred slightly later than in G1 and G3. However, there was no difference in chlorophyll content (SPAD value) between groups. The yield in G1 areas was 9~15% less than in G1 and G3. The decrease in yield in G2 areas could be due to lower panicle number, spikelet number, and ripening rate. In addition, the decrease in yield in G2 areas is likely because maximum, minimum, and average daily temperatures during the growing season were lower than those in G1 and G3. However, mineral nutrients in the soil were higher in the G2 area than in G1 and G3. The overall mineral content in plants tended to be higher in G1 areas than in G2 and G3. Mineral content such as Cu, K, Mg, and P in G3 areas and crude protein and most amino acids in G2 areas tended to be relatively low compared to other areas. Thus, the G1 area may be suitable for barley cultivation without adverse impacts on barley yield, main constituents, amino acids, and mineral contents compared to the main producing areas in G3.

Keywords : barley, climate change, grain quality, growth, yield

대기 중 이산화탄소(CO_2) 농도의 증가는 대기 온도 상승을 초래하는 기후 변화의 주요 원인으로 알려져 있다(Lobell *et al*., 2011; Mora *et al*., 2013). 지구 평균 기온은 금세기 말까지 2.4~6.4℃ 증가할 것으로 예상된다(Mora *et al*., 2013). 이러한 기후 변화는 기상 패턴 변화와 홍수, 폭염 및 가뭄과 같은 극심한 현상의 빈도 증가 등에 광범위하게 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이들 요인들은 작물 수량과 식량공급에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Farooqi *et al*., 2005; IPCC, 2013; UNFCCC, 2010). 또한 기후변화는 농업부문에서 토양침식과 물부족 등으로 농작물 재배환경을 악화하고, 새로운 병해충 및 잡초 발생 등이 우려된다(Ahn *et al*., 2017; Lee *et al*., 2008; Yun *et al*., 2001).

[1)]순천대학교 식물생산과학부 박사과정 (Ph. D Student, Dep. of Oriental Medicine Resources, Sunchon National Univ., Suncheon 57922, Republic of Korea)
[2)]순천대학교 자원식물개발학과 석사과정 (MS Student, Dep. of Oriental Medicine Resources, Sunchon National Univ., Suncheon 57922, Republic of Korea)
[3)]농촌진흥청 국립식량과학원 (Extension Specialist, Rural Development Administration, National Institute of Crop Science, Wanju 55365, Republic of Korea)
[4)]순천대학교 바이오한약자원학과 교수 (Professor, Dep. Of Oriental Medicine Resources, Sunchon National Univ., Suncheon 57922, Republic of Korea)

[†]Corresponding author: Yong-In Kuk; (Phone) +82-61-750-3286; (E-mail) yikuk@sunchon.ac.kr
<Received 14 April, 2023; Revised 27 April, 2023; Accepted 2 May, 2023>

ⓒ 본 학회지의 저작권은 한국작물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

보리는 유용성과 다양한 환경 조건에 적응하는 능력이 뛰어나 전 세계적으로 널리 재배되고 있다(Ko *et al*., 2019). 우리나라의 경우 남쪽으로는 제주도에서 북쪽으로는 강원도 여러 지역에 이르기까지 모든 지방에서 보리를 재배되고 있다. 그러나 최근 기후 변화로 인해 프랑스와 같은 전 세계 여러 주요 보리 생산 지역에서 보리 수확량이 정체되고 있다(Brisson *et al*., 2010; Dawson *et al*., 2015). 카자흐스탄에서는 최근에 보리 수확량이 감소하는 주요 원인이 기후변화에 의한 것으로 보고되고 있다(Schierhorn *et al*., 2020). 또한 기후변화는 곡물의 품질과 영양가의 감소에도 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Collins *et al*., 2013; Wang & Frei, 2011). 한 예로 곡류 단백질 함량은 상승된 CO_2 수준에 의해 감소하는 것으로 나타났다(Passarella *et al*., 2008; Savin & Nicolas, 1996).

작물별 안전재배 지대는 유사한 기후요소의 분포를 가지면서 작물 생육기에 생육과 수량에 크게 영향을 주지 않은 지역들을 의미한다(Choi & Yun, 1989). 따라서 작물의 안전재배지대 결정은 실제로 작물을 각 지역에 재배하여 생육 및 수량 감소 유무 등을 판단하여 구분하는 방법이 가장 합리적인 방법이지만, 이 방법은 시간과 노력이 소요되는 것이 단점이다(Cha & Kim, 1989). 그래서 보다 쉬운 방법은 현재 작물 재배지역의 기상환경을 조사하여 이들 재배지역과 기상환경이 유사한 지역을 추가하여 안전재배 지대로 구분하는 방법이 있다. 또한 유사한 방법으로 미래 기후시나리오 등에 의해 이론적으로 안전재배 지대를 추정하는 방법으로서 현재 뿐만 아니라 미래 예상되는 안전재배지를 추정할 수 있다. 보리의 안전재배지를 월동기간 중 가장 추운 1월달의 평균기온과 최저기온을 기준으로 설정하였다(Ha, 2000). 이러한 기준에 따르면 보리 종류 중 상대적으로 내한성이 강한 겉보리는 1월 평균기온 -4℃ 이상이고, 최저기온이 –10℃ 아래로 내려가지 않는다면 안전재배지로 하였다. 쌀보리의 경우 이 1월 평균기온과 최저기온이 각각 -3℃ 및 –8℃로 겉보리보다 약간 낮게 설정되었다. 그러나 상대적으로 내한성이 약한 맥주보리의 경우 1월 평균기온이 영하로 내려가거나 1월 최저기온이 -4℃까지만 떨어져도 안전재배지로 볼 수 없다. Ha (2000)가 제시한 안전재배지는 지구온난화에 의해 지역별 최저기온의 등온선이 과거(1981~2010)에 비해 최근 10년(2011~2020)에는 그 양상이 달라졌다. 즉 겉보리의 경우 안전재배 한계선(1월 평균기온 4℃ 이상, 1월 최저기온 평균 -10℃ 이상)에 해당하는 지역이 황해도 남부-경기북동부-충북북부-강원, 함경남도 해안은 물론 황해도와 평안남도 대부분으로 확장되어 있다(Kim *et al*., 2012; Park *et al*., 2022). 이런 방식으로 미래의 안전재배 지역을 도출해 보면 강원도와 북한 남부 대부분 지역에서 겉보리 재배가 가능해질 것으로 예상된다.

미래기후변화시나리오 등에 의한 작물 모델은 기후변화에 의한 작물 수확량과 작물관리에 대한 변화 등의 영향을 분석하는 데 널리 사용되고 있다(Araya *et al*., 2015; Araya *et al*., 2017; Araya *et al*., 2020; Asseng *et al*., 2011). 또한 이러한 모델은 기후 변화의 영향을 최소화하기 위한 대체 적응 전략을 수립하는 데 도움이 될 수 있다. 예측된 2050년 기후시나리오와 2010년 기후 조건과 비교시 보리 수확량이 계속적으로 감소할 것으로 보고하였다(Dijkman *et al*., 2017). 또한 Gammans *et al*. (2017)은 다양한 기후모델을 적용하여 프랑스에서 밀과 보리 수확량에 미치는 영향을 평가한 결과 이들 작물의 수량은 금세기말에는 17~33% 감소할 것으로 분석하였다. 그러나 미래 기후 시나리오에서 보리 생산을 모델링하는 것은 많은 변수가 존재하기 때문에 부정확하다. 따라서 본 연구는 기후분포가 다른 3개 그룹 지역에 겉보리를 파종하고, 월동 전(12월), 월동 후(2월) 및 출수기(4월)에 생육과 수확기(6월)에 수량 차이를 조사하였고, 이들 그룹 지역간 생육과 수량차이와 작물생육기 기상요인과 관련성을 조사하였다. 또한 3개 그룹 지역의 출수기에 토양화학성과 잎 무기성분을 조사하였고, 수확기에는 겉보리 종자의 일반성분, 무기물 및 아미노산 함량 등을 을 조사하여 지역간 겉보리 안정재배지를 알아보고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험장소

2021년에 겉보리(품종: 올보리) 종자를 3개 그룹의 10개 지역에 파종하였다[그룹 1 (G1), 양양 1, 양양 2; 그룹 2 (G2), 안성, 충주1, 충주2, 옥천, 영동; 그룹 3 (G3), 상주, 영덕1, 영덕2]. 이들 3개 그룹 간에는 온도분포가 다르고, 구체적인 시험장소에 대한 정보는 Fig. 1에 제시하였다. 시험 포장 면적은 0.1~0.5 ha 이상이었다.

주산지 및 재배한계지 겉보리 생육 및 수량

본 연구에 사용된 겉보리 종자는 2021년 국립종자원에서 제공된 보급종 종자를 사용하였다. 이들 종자는 G1 지역에서는 10월 25일~11월 2일, G2지역에서는 10월 25일~10월 27일, G3지역에서는 10월 27일~11월 2일에 파종하였다. 그 밖의 재배조건은 농촌진흥청 표준재배법(2000)에 준하였다. 각 지역별 파종 후 월동 전(12월)에 초장, 엽수 및 분얼수를 12월 9일~12월 15일 사이에 조사하였다. 조사시기

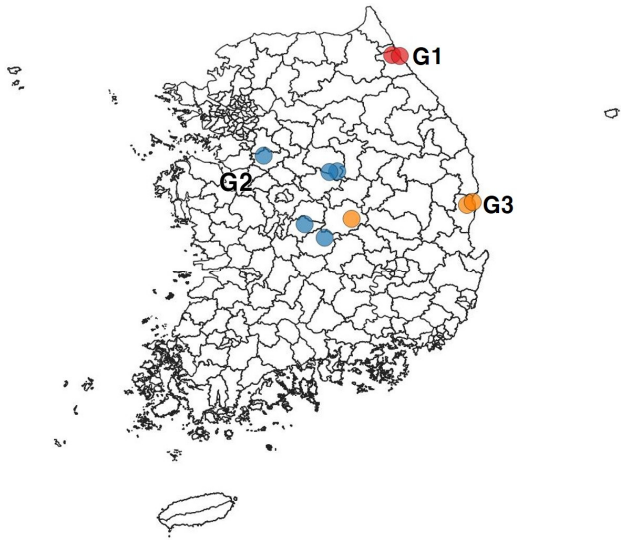

Fig. 1. Experimental areas (G1, G2, and G3) in this study.

는 가능한 파종날짜와 지역을 고려하여 조사하였다. 월동 후(2월) 조사에서는 초장, 엽수 및 분얼수를 2월 10일~2월 15일 사이에 조사하였다. 또한 재생기(새뿌리가 3~4개 관찰) 및 유수형성기(20% 이상)를 조사하였다. 출수기(4월) 조사의 경우에서도 초장, 엽수, 분얼수, 출수기 및 SPAD 값(엽록소 함량)를 4월 10일~4월 15일에 조사하였다. SPAD 값은 SPAD-502 Plus meter (KONICA MINOLTA Co., Ltd., Tokyo, Japan)을 이용하여 측정하였다. 수확기에 간장, 수장, 수수, 영화수, 등숙율, 천립중 및 수량을 6월 3일~6월 8일 사이에 조사하였다. 수량은 각 지역의 실험포장 1 m^2의 크기로 3반복으로 하였다.

주산지 및 재배한계지 토양 화학성과 식물체 무기영양소 함량

출수기에 주산지와 재배한계지에 토양 화학성과 식물체 무기영양소 함량을 조사하였다. 각 지역별 시료 채취시기는 4월 10일~15일 사이에 하였다. 무기영양소 분석을 위해 식물체 지상부 부위를 수집하여 40°C 건조기에 5일 동안 건조하였다. 건조 후 Coffee grinder로 마쇄하여 사용 전에 1 mm 체로 걸러서 사용하였다. 토양 화학성을 조사하기 위해 토양(약 200 g)을 직경 2 cm의 토양 탐침봉(Edelman auger, Royal Eijkelkamp, Giesbeek, The Netherlands)을 사용하여 0~20 cm에서 수집하여 1주일 동안 상온에서 자연건조하였다. 건조한 토양은 사용전에 2 mm체로 걸은 후 사용하였다. 토양 pH 및 전기 전도도(EC)는 토양 pH/EC meter (HI991300, Hanna Instruments Inc. Woonsocket, Rhode Island, USA)를 사용하여 측정하였다. pH 및 EC는 토양:물(1:5, w/v) 혼합물을 사용하여 측정하였다. 토양 유기물 함량은 Tyurin 방법(Kononova, 1966)에 의해 측정하였다. 각 토양 시료 5 g을 0.33 M acetic acid, 0.15 M lactic acid, 0.03 M ammonium fluoride (NH_4F), 0.05 M ammonium sulfate [$(NH_4)_2SO_4$] 및 0.2 M NaOH (NaOH) 20 mL에 넣고 400± 20°C 축열식 가열기에서 4시간 동안 분해하였다. 분해한 추출물에 가용성 인산(P_2O_5)을 측정하기 위하여 자외선(UV)-분광광도계(UV-1601; Shimadzu, Tokyo, Japan)를 사용하여 470 nm에서 측정하였다(Cox, 2001). 토양과 식물체 무기영양소는 농촌진흥청에 출판한 토양과 식물 분석 매뉴얼(RDA, 2000)에 의해 분석하였다. 5 g 토양을 50 mL의 1.0 M ammonium acetate pH 7에 넣고 추출하여 유도 결합 플라즈마 원자 방출 분광계(ICP-AES Integra XL; GBC Inc., Arlington Heights, IL, USA)를 사용하여 칼륨, 칼슘 및 마그네슘 농도를 측정하였다(RDA, 2000). 총질소(T-N) 농도는 자동 질소 분석기(Buchi Co., Flawil, Switzerland)를 사용하여 측정하였다. 인산 농도는 UV-분광광도계를 이용하여 470 nm에서 흡광도에 의해 인산 농도를 계산하였고, 미량원소는 유도 결합 플라즈마 질량분석기(ICP, Integra XL Dual, Scientific Equipment, Ltd. Dandenong, VIC, Australia)로 분석하였다.

주산지 및 재배한계지 겉보리 종자 일반성분, 아미노산 및 무기물 함량

주산지 및 재배한계지에서 수확한 종자를 1주일 동안 자연 건조하고, Coffee grinder로 마쇄하여 1 mm 체로 여과한 후 분석에 사용하였다. 겉보리 종자의 일반성분은 AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 방법(1990)에 따라 분석하였다. 수분은 상압가열건조법, 조단백질은 마이크로 킬달(micro-Kjeldahl)법, 회분은 550°C에서 연소하여, 조지방의 경우 속슬렛(Soxhlet)법에 의해 분석하였다. 총 탄수화물 함량은 수분, 회분, 조단백질 및 조지방 함량을 제하여 계산하였다. 아미노산 분석을 위해 건조 겉보리 종자 0.3 g을 내열 vial에 넣은 후 6N HCl 40 mL에 넣고 건조 오븐에서 110°C에서 22시간 동안 가수분해하였다. 가수분해한 시료는 15,000 rpm에서 30분 동안 원심분리하고, 총 아미노산을 측정하기 위하여 실온에서 냉각하였다(Ohara & Shujiro, 1979). 위의 원심분리 상등액에서 염산과 물을 50°C에서 증발시켜 제거하였다. 이후 pH 2.2 구연산 나트륨(sodium citrate) 완충 용액 10 mL를 첨가한 후 0.22 μm 막여과지에 의해 여과하였다. 이후 여액을 S433 아미노산 분석기(Sykam Co., Eresing, Germany)로 분석하였다. 종자에 무기물 함량은 위의 "주산지 및 재배한계지 토양 화학성과 식물체 무기영양소 함량" 측정과 동일하게 수행하였다.

주산지 및 재배한계지 기상요인 분석

지역별 토양수분은 12월, 2월 및 4월에 Water content, Electrical Conductivity, Temperature (WET) sensor (WET-3000, Mirae Sensor Co., Seoul, South Korea)을 이용하여 위에 언급한 생육조사와 동일한 시기에 조사하였다. 시험기간(2021년 10월~2022년 6월) 동안 최고, 최저 및 1일 평균 온도와 강수량을 기상청에서 자료를 받아 분석하였다. 각 그룹 지역의 평균값을 사용하였고, 기상대가 설치되지 않은 곳은 가장 근접한 지역의 기상대 데이터를 사용하였다.

통계분석

자료는 각 시험구내 1 m^2 크기로 3반복으로 수집하였으며, 시험결과는 통계분석 Duncan's Multiple range Test (p = 0.05)을 실시하여 각 지역간 유의성 유무를 확인하였다(SAS, 2000).

결과 및 고찰

주산지 및 재배한계지의 겉보리 생육 및 수량

작물 생육기동안 기온 분포가 다른 주산지와 재배한계지의 다양한 지역에 겉보리를 파종하고 월동 전(12월)에 생육을 조사하였다(Table 1). 초장은 비록 일부 지역 간에 유의적인 차이를 보였으나, 각 그룹의 평균에 있어서 각 그룹 간에 차이가 없었다. 분얼수의 경우도 일부 지역 간에 유의적인 차이를 보였고, 평균에 있어서도 G1 지역에서 G2와 G3에 비해 높았다. 이처럼 평균에 있어서 G1지역이 분얼수가 높았던 것은 양양1 지역에서 다른 지역에 비해 훨씬 높았기 때문이다. 이러한 이유는 겉보리 종자 파종 후 강우 등에 의해 토양수분 상태 등이 다른 지역에 비해 최적의 조건이 형성되어 출현과 생장이 모두 촉진된 것으로 판단되었다. 그러나 본 연구와 유사한 쌀보리 연구(Kim *et al*., 2022)에서도 월동 전(12월) 속초1은 발아가 진행되지 않았고, 속초2의 경우는 발아가 되어 정상적으로 생육하여 같은 재배지역내에서도 다른 반응을 보였다.

월동 후 2월에 주산지와 재배한계지 지역의 초장, 분얼수, 엽수, 재생기 및 유수형성기를 조사하였다(Table 2). 월동 후 2월 초장은 12월 월동 전에 비해 크게 증가하지 않았다. 비록 일부 충주1, 충주2 지역은 다른 지역에 비해 초장이 적었으나, 평균에 있어서 지역 그룹 간에 큰 차이가 없었다. 분얼수는 월동 전(12월)과 유사하게 G1 지역에서 가장 많았고, G3>G2 지역 순이다. 엽수의 경우는 월동 전(12월)에 비해 2배 이상 많았으나, 그룹 간에는 월동 전과 유사하게 G1과 G3지역에서 G2 지역에 비해 많았다. 재생기의 경우 G1과 G2 지역은 각각 2월 28~3월 1일과 2월 22일~3월 2일로 시작 시점은 몇일 차이를 보이지만 끝나는 시점은 유사하였다. 그러나 G3지역(2월 21일~23일)의 재생기는 G1과 G2 지역에 비해 다소 빨랐다. 유수형성기의 경우도 G1과 G2 지역(3월 1일~3월 13일)에서 다소 늦었고, G3지역(3월 1일~3월 3일)지역은 G1과 G2 지역에 비해 다소 빨랐다. 출수기(4월)에 주산지와 재배한계지 지역의 초장, 분얼수, 건물중, 엽록소 및 출수일을 조사하였다(Table 3). 초장은 월동 전, 후 조사와 유사하게 그룹 간에 큰 차이가 없었다. 그러나 G1지역의 분얼수는 월동 후(2월) 조사보다 훨씬 감소하였는데 이러한 현상은 유효분얼수 감소에 기인되는 것으로 판단된다. G3지역의 분얼수는 월동 후(2월) 조사와 유사하였으나, G2지역은 2월조사 보다 29% 증가하였다. G2지역의 충주2의 경우 분얼수(153개/m^2)는 2월 조사에서는 아주 적었으나, 4월 조사에서 G2 지역의 다른 지역과 유사한 수준의 분얼수(624개/m^2)를 보였다. 이러한 결과는 생육기의 불량 환경조건에 의해 생육이 제한적이지만 다시 최적의 환경조건이 되면 회복되어 정상적인 생장이 이루어지는 것으로 판단된다. 따라서 출수기의 분얼수는 G2>G3>G1 순으로 많았다. 지상부 건물중은 G3>G2>G1순이었고, G1은 G3지역에 비해 36% 적었다. 그러나 엽록소 함량(SPAD값)은 그룹 간에 차이가 없었다.

Table 1. Growth of hulled barley plants in different group areas before overwintering (December).

Group	Area	Plant height (cm)	Tiller number (m^2)	Leaf number (Plant)
G1	Yangyang 1	7.60^{d*}	550^{a}	1.32^{cd}
	Yangyang 2	9.40^{b}	320^{cde}	2.54^{b}
Average		**8.5**	**435.0**	**1.9**
G2	Anseong	7.80^{cd}	353^{c}	1.30^{cd}
	Chungju 1	7.75^{cd}	387^{bc}	1.12^{d}
	Chungju 2	6.00^{e}	270de	1.04^{d}
	Okcheon	7.95^{cd}	427^{b}	1.48^{c}
	Yeongdong	11.27^{a}	323^{cd}	2.30^{b}
Average		**8.2**	**352.0**	**1.4**
G3	Sangju	8.45^{cd}	253^{cde}	3.17^{a}
	Yeongdeok 1	6.15^{e}	320^{cde}	1.08^{d}
	Yeongdeok 2	8.65^{bc}	430^{b}	1.6^{c}
Average		**7.8**	**334.3**	**2.0**

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

Table 2. Growth, regrowth, and panicle formation days of hulled barley plants in different group areas after overwintering (February).

Group	Area	Plant height (cm)	Tiller number (m^2)	Leaf number (Plant)	Regrowth day	Panicle formation day
G1	Yangyang 1	8.6^{b*}	633^{ab}	4.7^{ab}	3. 01	3. 7
	Yangyang 2	8.3^{bc}	637^{ab}	4.9^{a}	2. 28	3. 6
Average		**8.5**	**635.0**	**4.8**	**2.28~3.01**	**3.6~3.7**
G2	Anseong	7.3^{d}	553^{bc}	2.9^{de}	3. 02	3. 13
	Chungju 1	4.3^{e}	473^{cd}	3.3^{d}	2. 28	3. 9
	Chungju 2	2.8^{f}	153^{e}	2.6^{e}	2. 28	3. 10
	Okcheon	8.1^{b-d}	443^{d}	4.2^{bc}	2. 23	3. 9
	Yeongdong	12.5^{a}	717^{a}	4.1^{c}	2. 22	3. 1
Average		**7.0**	**467.8**	**3.4**	**2.22~3.02**	**3.1~3.13**
G3	Sangju	7.9^{cd}	467^{cd}	4.9^{a}	2. 23	3. 1
	Yeongdeok 1	7.5^{cd}	587^{b}	4.9^{a}	2. 21	3. 3
	Yeongdeok 2	7.5^{cd}	690^{a}	5.1^{a}	2. 22	3. 3
Average		**7.6**	**581.3**	**5.0**	**2.21~2.23**	**3.1~3.3**

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

Table 3. Growth, heading days, and chlorophyll content (SPAD value) of hulled barley plants in different group areas at the heading stage (April).

Group	Area	Plant height (cm)	Tiller number (m^2)	Dried aboveground plant part (g/m^2)	SPAD value	Heading day
G1	Yangyang 1	66.6^{d*}	460^{d}	306.3^{f}	58.6^{a}	4. 25
	Yangyang 2	68.5^{cd}	450^{d}	453.0^{d}	55.2^{ab}	4. 24
Average		**67.6**	**455.0**	**379.7**	**56.9**	**4.24~4.25**
G2	Anseong	79.0^{a}	737^{a}	332.6^{a}	46.5^{ef}	4. 25
	Chungju 1	54.6^{e}	637^{bc}	370.9^{e}	49.5^{ef}	4. 30
	Chungju 2	50.4^{e}	624^{bc}	367.0^{e}	47.3^{d-f}	4. 31
	Okcheon	73.6^{b}	693^{ab}	517.3^{c}	50.9^{c-e}	4. 24
	Yeongdong	78.5^{a}	593^{c}	460.4^{d}	50.4^{c-f}	4. 24
Average		**67.2**	**656.8**	**409.6**	**48.9**	**4.24~4.31**
G3	Sangju	69.1^{cd}	497^{d}	618.0^{a}	49.7^{d-f}	4. 18
	Yeongdeok 1	72.2^{bc}	613^{bc}	617.5^{a}	54.0^{bc}	4. 21
	Yeongdeok 2	68.2^{d}	613^{bc}	538.6^{b}	53.7^{b-d}	4. 21
Average		**69.8**	**574.3**	**591.4**	**52.5**	**4.18~4.21**

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

수확기에 주산지와 재배한계지 지역의 간장, 수장, 수수, 영화수, 등숙율 및 천립중 및 수량을 조사하였다(Table 4). 간장은 G2지역이 가장 컸고, G1과 G3는 유사하였다. 수장의 경우는 G3지역이 가장 컸고, G1과 G2는 유사하였다. 수수는 G3이 가장 많았고, G1>G2 순이었다. 그러나 영화수, 등숙율과 천립중은 그룹 간에 차이가 없었다. 수량의 경우 G1과 G3지역간에는 차이가 없었으나, G2 지역이 G1과 G3 지역에 비해 9~15% 감소하였다. G2지역의 수량감

Table 4. Yield components and yield of hulled barley plants in different group areas at harvest.

Group	Area	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Panicle number (m^2)	Spikelet number/ Panicle	Ripening rate (%)	1,000 seed weight (g)	Yield (kg/10a)
G1	Yangyang 1	62.8^{c*}	3.7^{bc}	430^{c}	48.6^{b}	96.3^{ab}	31.2^{d}	415.3^{bc}
	Yangyang 2	62.6^{c}	3.4^{de}	440^{c}	47.4^{bc}	95.6^{abc}	31.1^{d}	431.3^{ab}
Average		**62.7**	**3.6**	**435.0**	**48.0**	**96.0**	**31.2**	**423.3**
G2	Anseong	52.0^{e}	3.7^{bc}	270^{f}	49.8^{b}	93.2^{cd}	32.2^{cd}	315.6^{e}
	Chungju 1	80.0^{a}	3.6^{bcd}	370^{e}	45.6^{c}	95.0^{abc}	34.8^{bc}	395.3^{cd}
	Chungju 2	74.1^{b}	3.2^{e}	360^{e}	40.2^{d}	95.3^{abc}	39.6^{a}	381.7^{d}
	Okcheon	78.4^{a}	3.4^{cde}	410^{d}	39.0^{d}	92.1^{d}	36.1^{b}	394.7^{cd}
	Yeongdong	58.6^{d}	2.8^{f}	520^{b}	40.8^{d}	94.1^{bcd}	26.5^{e}	438.0^{ab}
Average		**68.6**	**3.3**	**386.0**	**43.1**	**93.9**	**33.8**	**385.1**
G3	Sangju	-	-	-	-	-	-	-
	Yeongdeok 1	57.1^{d}	4.4^{a}	560^{a}	52.8^{a}	96.4^{a}	35.2^{b}	453.0^{a}
	Yeongdeok 2	59.3^{d}	3.9^{b}	525^{b}	48.7^{b}	94.9^{abc}	36.5^{b}	450.7^{a}
Average		**58.2**	**4.2**	**542.5**	**50.8**	**95.7**	**35.9**	**451.9**

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

소는 수수, 영화수 및 등숙율에 기인되는 것으로 판단된다. 재배한계선으로 생각되는 G1지역의 경우도 주산지의 G3 지역과 수량이 유사한 것으로 판단되어 G1지역에서 겉보리를 안정적으로 재배할 수 있을 것으로 보인다.

주산지 및 재배한계지의 기상요인

생장기 동안 G1~3 지역의 12월, 2월 및 4월 토양수분과 지온을 측정하였다(Table 5). 12월 토양수분과 지온의 경우 G1지역은 G2와 G3지역에 비해 상대적으로 적었다. 2월 토양수분은 지역 간에 차이가 없었고, 지온은 G2지역이 G1과 G3지역에 비해 낮았다. 4월의 경우도 토양수분은 지역 간 차이가 없었고, 지온은G1지역이 G2와 G3지역에 비해 2℃ 정도 낮았다. 그러나 작물 생육기 동안 지역간 토양수분과 지온은 전반적으로 차이가 없어 이들 요인이 보리 생육에는 크게 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

2021~2022년에 지역간 작물생육기의 최저, 최고 및 일일평균 기온과 강수량을 조사하였다(Fig. 2). 온도는 작물의 생장과 발육 뿐만 아니라 수량을 결정하는 중요한 요인이다. 생장과 발육을 위한 최적의 온도는 작물의 생육기에 따라 다르다. 동해 온도는 작물에 수량 감소를 유발하고, 식물의 분포와 생장을 제한할 수 있다(Alberdi & Corcuera, 1991). 보리는 내한성 작물로 간주되며 밀이나 다른 곡물보다 동해에 강한 것으로 알려져 있다(Newton *et al*., 2011; Fowler & Carles, 1979). 생육기(10~6월)의 최고기온은 10월~1월까지 G2 지역에서 G1과 G3지역 비해 낮았으나, 3월~6월까지 G1지역에서 G2와 G3지역에 비해 낮았다. 생육기(10~6월)의 최저기온과 일평균기온도 대체로 G1과 G3은 차이가 없었으나 G2은 G1과 G3에 비해 낮았다. 생육기(10~6월)의 강수량은 G1지역에서 10월, 12월, 이듬해 4월 및 6월에 G2와 G3 지역에 비해 많았다. 따라서 G1 지역의 월동 전후 및 4월 생육과 수확기 수량이 다른 지역에 비해 높았던 것은 강수량 등의 요인과 관련성이 있는 것으로 사료된다. 그러나 G2 지역에서 G1과 G3지역에 비해 수량이 감소했던 것은 G2지역이 대체적으로 최고, 최저 및 일평균기온이 낮았기 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 보리와 밀은 생식생장기에 고온에 노출되는 경우 수량이 감소하고 노화율이 가속화된다(Asseng *et al*., 2011; Prasad *et al*., 2015). 또한 다른 연구에서도 곡류 작물의 경우 적정 온도보다 높은 고온에 의해서 수량이 감소하는 것으로 보고되었다(Clausen *et al*., 2011; Wheeler *et al*., 1996). 그러나 본 연구에서 G2 지역의 보리 출수 및 등숙기인 5월과 6월의 최고온도는 28℃ 이하로 높지 않았다. 그러므로 G2 지역의 수량감소는 5월과 6월의 고온에 의해 야기되었다기보다는 최적의 온도가 상대적으로 다른 지역에 비해 낮았기 때문으로 판단된다. 따라서 G1지역과 같은 현재 겉보리재배에 부적합 지대가 기후변화로 미래에 적합지대로, 반대로

Table 5. Soil moisture content and temperature in December, February, and April in different group areas.

Group	Area	December		February		April	
		Soil moisture content (%)	Soil temperature (℃)	Soil moisture content (%)	Soil temperature (℃)	Soil moisture content (%)	Soil temperature (℃)
G1	Yangyang 1	25.7	4.5	38.8	9.9	38.8	17.2
	Yangyang 2	30.2	3.7	31.4	10.7	31.4	15.3
Average		**28.0**	**4.1**	**35.1**	**10.3**	**35.1**	**16.3**
G2	Anseong	39.2	5.1	33.7	10.4	33.7	19.2
	Chungju 1	37.5	7.9	26.6	4.1	26.6	17.6
	Chungju 2	47.9	7.7	11.6	9.1	11.6	17.7
	Okcheon	45.9	11.1	38.8	5.1	38.8	18.6
	Yeongdong	47.2	10.2	35.6	4.3	35.6	19.3
Average		**43.5**	**8.4**	**29.3**	**6.6**	**29.3**	**18.5**
G3	Sangju	52.0	10.7	37.5	5.6	37.5	22.0
	Yeongdeok 1	40.3	6.3	38.5	13.4	38.5	19.1
	Yeongdeok 2	46.0	9.1	37.5	13.7	37.5	18.9
Average		**46.1**	**8.7**	**37.8**	**10.9**	**37.8**	**20.0**

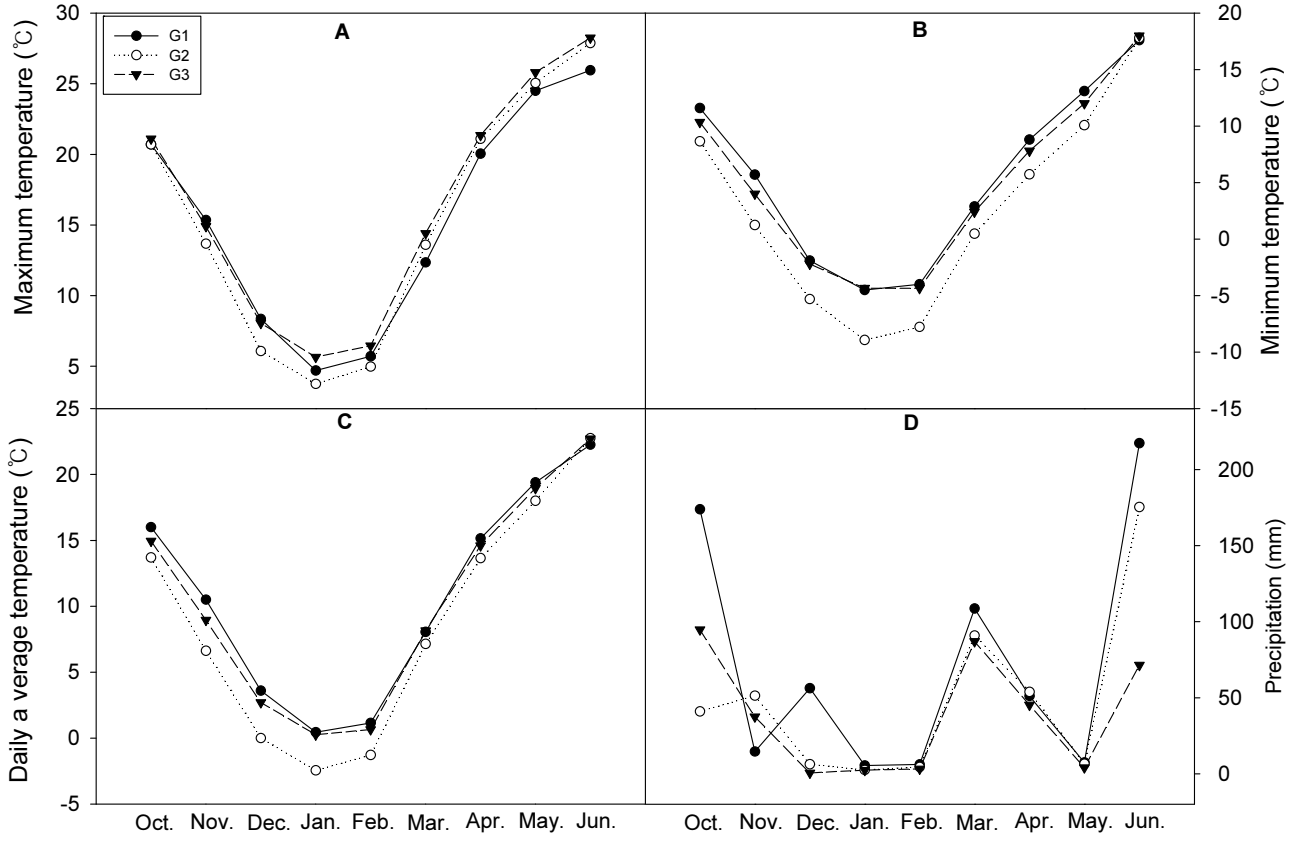

Fig. 2. Maximum (A), minimum (B), daily average temperatures (C), and precipitation (D) in different group areas during the experimental period.

G2와 G3같은 현재 보리재배 적합지대가 미래에는 온도상승으로 적합하지 않은 지대가 될 수 있을 것으로 판단된다.

주산지 및 재배한계지의 토양 및 식물체 무기양분

주산지 및 재배한계지 생육 및 수량차이와 토양의 화학성분과 식물체 무기성분 함량과 관련성을 알아보기 위하여 출수기에 이들 성분들을 조사하였다(Table 6). G1과 G2 지역의 토양 pH (6.5~6.6)는 유사했고, G3지역은 영덕1 지역이 pH 4.6으로 G1과 G2지역에 비해 낮았다. 토양 pH는 작물 생장의 주요 제한 요인이며, 보리는 다른 곡물류 작물에 비해 특히 민감하다(Carr *et al*., 1991). 일반적으로 보리 재배의 경우 pH 4.5이하 토양은 적합하지 않으나(Young, 1998), 본 연구에서는 다양한 지역에서 pH가 4.6 이상이었기 때문에 지역간 보리 생육차이가 pH에 의해 기인되지는 않은 것으로 판단된다. 다양한 지역의 EC는 0.34~1.45ds/m 범위를 보였으나, 평균적으로 볼 때 그룹 지역 간에 차이가 관찰되지 않았다. 또한 보리는 EC 수준이 800 mS/m 이상이면 수량이 감소하는 것으로 보아(Young, 1998), 본 연구에서 EC 수준은 다양한 지역의 생장과 수량에 영향을 미치지 않았을 것으로 판단된다.

유기물은 작물 생장에 가장 중요한 요소 중 하나로서 본 연구에서 지역간 유기물 범위는 8~63 g/kg으로 큰 차이를 보였다. 유기물 함량은 G2>G1>G3 순으로 많았고, 특히 G3 상주 지역에서 가장 적었고, G2 안성 지역에서 가장 높았다. 이런 특이한 지역을 제외한다면 지역 그룹 간에 큰 차이는 없는 것으로 판단된다. 유효인산 함량은 G1지역이 G2와 G3 지역에 비해 2.7~9.8배 많았다. 그러나 유효인산 함량은 G2지역 중 충주2와 옥촌 지역과 G3 지역 상주, 영덕1, 영덕2 모두 아주 적었다. 그러나 G1 지역 양양1, 양양2에서 유효인산 함량이 높았다. 본 연구와 유사한 쌀보리 연구의 경우도 유효인산 함량은 재배한계선이라고 할 수 있는 속초1과 속초 2지역에서 가장 많았다(Kim *et al*., 2022). 이러한 지역에서 유효인산 함량이 높았던 것은 이들 지역이 다른 지역에 비해 상대적으로 저온으로 인하여 토양 내 인산의 이동성이 감소된 것으로 판단된다. 치환성 원소 중 K 함량은 C3지역에서 Ca 함량은 G1지역에서 Mg 함량은 G2와 G3지역에서 가장 낮아 지역간 일정한 경향을 보이지 않았다. 양이온 치환 용량(CEC)과 Mn 함량은 G2>G3>G1 지역 순이었고, Zn함량은 G2>G1>G3지역 순이었다. B함량은 G2지역에서 G1과 G3지역에 비해 많았으나 Cu와 Mo는 지역 간에 차이가 없었다. 전반적으로 볼 때 토양에 무기양분은 G2지역에서 G1과 G3지역에 비해 높았다.

지역별로 보리 출수기때 식물체을 수집하여 무기성분을 측정하였다(Table 7). Mg, Cu, B 함량은 지역 간에 차이가 없었다. 이러한 경향은 쌀보리 연구(Kim *et al*., 2022)에서 유사하게 나타났다. 그러나 T-N와 Ca 함량은 G1지역에서 G2와 G3 지역에 비해 높았다. K 함량은 G1과 G2에서 G3 지역에 비해 높았고, Mo함량은 G3지역에서 G1과 G2지역

Table 6. Chemical components in the soil in different group areas tested during the heading stage grown hulled barley.

Group	Area	pH (1:5)	EC (ds/m)	OM (g/Kg)	Av.P_2O_5 (mg/Kg)	Exchangeable base ($cmol^+$/Kg)			CEC ($cmol^+$/Kg)	Zn	Mn	Cu	B	Mo
						K	Ca	Mg		(mg/kg)				
G1	Yangyang 1	6.46^{e*}	0.72^{c}	30^{g}	1387^{a}	0.80^{d}	0.77^{i}	0.22^{h}	8.17^{i}	4.91^{e}	15.18^{i}	4.49^{c}	0.40^{f}	0.01^{b}
	Yangyang 2	6.59^{c}	0.34^{h}	32^{f}	1051^{b}	0.93^{b}	4.63^{g}	1.42^{f}	10.26^{g}	8.65^{d}	88.38^{f}	2.08^{h}	0.79^{d}	0.01^{b}
Average		**6.53**	**0.53**	**31.0**	**1219.0**	**0.87**	**2.70**	**0.82**	**9.22**	**6.78**	**51.78**	**3.29**	**0.60**	**0.01**
G2	Anseong	7.69^{a}	0.55^{f}	63^{a}	651^{c}	0.39^{e}	14.91^{a}	2.84^{c}	19.17^{a}	58.02^{a}	196.35^{a}	1.42^{i}	2.46^{a}	0.00^{c}
	Chungju 1	6.60^{c}	0.60^{e}	41^{c}	583^{d}	1.65^{a}	7.94^{c}	2.79^{c}	16.78^{c}	14.90^{c}	178.61^{b}	2.63^{f}	1.22^{b}	0.01^{b}
	Chungju 2	6.59^{c}	0.60^{e}	40^{d}	284^{f}	1.63^{a}	7.88^{c}	2.79^{c}	16.75^{c}	14.60^{c}	169.22^{c}	2.48^{g}	1.26^{b}	0.01^{b}
	Okcheon	5.61^{f}	0.43^{g}	27^{h}	154^{h}	0.35^{f}	4.16^{h}	0.84^{g}	9.75^{h}	3.51^{g}	103.92^{e}	5.78^{a}	0.62^{e}	0.02^{a}
	Yeongdong	6.72^{b}	0.75^{b}	44^{b}	508^{e}	0.86^{c}	9.92^{b}	4.23^{a}	17.92^{b}	19.87^{b}	113.90^{d}	3.03^{e}	1.07^{c}	0.01^{b}
Average		**6.64**	**0.59**	**43.0**	**436.0**	**0.98**	**8.96**	**2.70**	**16.07**	**22.18**	**152.40**	**3.07**	**1.33**	**0.01**
G3	Sangju	6.53^{d}	0.10^{i}	8^{i}	87^{i}	0.05^{h}	6.11^{f}	3.31^{b}	13.01^{f}	4.25^{f}	80.09^{g}	1.25^{j}	0.12^{g}	0.00^{c}
	Yeongdeok 1	4.68^{h}	1.45^{a}	27^{h}	99^{h}	0.07^{h}	7.15^{e}	1.64^{d}	13.66^{d}	2.94^{h}	77.92^{g}	4.32^{d}	0.82^{d}	0.00^{c}
	Yeongdeok 2	5.57^{g}	0.68^{d}	35^{e}	186^{g}	0.26^{g}	7.34^{d}	1.55^{e}	13.52^{e}	2.73^{h}	73.42^{h}	5.20^{b}	0.85^{d}	0.00^{c}
Average		**5.59**	**0.74**	**23.3**	**124.0**	**0.13**	**6.87**	**2.17**	**13.40**	**3.31**	**77.14**	**3.59**	**0.60**	**0.00**

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

Table 7. Nutrient levels in plants during the heading stage grown hulled barley in different group areas.

Group	Area	T-N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Zn	Mn	Cu	B	Mo
		(%)					(mg/kg)				
G1	Yangyang 1	2.86[a*]	0.47[b]	2.83[f]	0.75[a]	0.22[b]	37.06[a]	151.01[a]	3.17[c]	14.43[f]	0.32[d]
	Yangyang 2	2.2[c]	0.52[a]	3.52[d]	0.41[c]	0.20[c]	19.44[b]	86.33[b]	2.94[cd]	13.43[g]	0.23[e]
Average		**2.56**	**0.50**	**3.18**	**0.58**	**0.21**	**28.25**	**118.67**	**3.06**	**13.93**	**0.28**
G2	Anseong	1.12[i]	0.41[c]	2.83[f]	0.35[e]	0.15[g]	12.61[f]	10.67[i]	2.38[e]	15.14[e]	0.11[e]
	Chungju 1	2.39[b]	0.42[c]	4.87[a]	0.33[f]	0.19[d]	16.72[d]	11.96[g]	3.79[a]	18.32[b]	0.38[d]
	Chungju 2	1.82[e]	0.37[d]	4.26[b]	0.41[c]	0.22[b]	18.28[c]	12.43[f]	3.18[c]	16.45[cd]	0.38[d]
	Okcheon	1.37[f]	0.27[e]	3.03[e]	0.38[d]	0.17[f]	9.82[h]	25.97[d]	1.97[f]	16.18[d]	0.36[d]
	Yeongdong	1.31[g]	0.42[c]	3.78[c]	0.29[h]	0.18[e]	15.48[e]	6.05[j]	3.51[b]	16.96[c]	0.47[c]
Average		**1.60**	**0.38**	**3.75**	**0.35**	**0.18**	**14.58**	**13.42**	**2.97**	**16.61**	**0.34**
G3	Sangju	1.10[i]	0.37[d]	1.61[g]	0.19[i]	0.25[a]	11.76[g]	11.41[h]	2.30[e]	14.35[f]	0.21[f]
	Yeongdeok 1	2.10[d]	0.13[g]	1.19[i]	0.50[b]	0.22[b]	9.62[h]	43.34[c]	2.69[d]	19.20[a]	0.66[a]
	Yeongdeok 2	1.22[h]	0.20[f]	1.43[h]	0.32[g]	0.18[e]	7.80[i]	18.69[e]	1.98[f]	17.04[c]	0.58[b]
Average		**1.47**	**0.23**	**1.41**	**0.34**	**0.22**	**9.73**	**24.48**	**2.32**	**16.86**	**0.48**

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

Table 8. Moisture, ash, and biochemical component level in hulled barley seeds in different group areas.

Group	Area	Moisture	Crude ash	Crude protein	Crude fat	Total carbohydrate
G1	Yangyang	10.03[bc*]	2.26[c]	12.38[a]	1.64[a]	73.70[c]
Average		**10.03**	**2.26**	**12.38**	**1.64**	**73.70**
G2	Anseong	10.40[ab]	2.67[b]	8.83[b]	1.58[a]	76.52[b]
	Chungju	10.19[bc]	2.34[c]	8.88[b]	1.45[a]	77.15[ab]
	Okcheon	10.13[bc]	2.14[c]	8.13[b]	1.61[a]	77.99[a]
	Yeongdong	9.82[c]	2.93[a]	8.89[b]	1.80[a]	76.56[b]
Average		**10.13**	**2.52**	**8.68**	**1.61**	**77.05**
G3	Yeongdeok	10.68[a]	1.70[d]	13.07[a]	1.75[a]	72.81[c]
Average		**10.68**	**1.70**	**13.07**	**1.75**	**72.81**

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

에 비해 높았다. P_2O_5과 Zn 함량은 G1>G2>G3 순으로 높았다. Mn 함량은 G1지역에서 G2와 G3지역에 비해 5~9배 많았다. 전반적으로 식물체의 무기성분 함량은 G1지역에서 G2와 G3 지역에 비해 높은 경향이었다. 그러나 보리의 생장에는 특정 무기원소보다는 다양한 원소의 상호작용에 의한 영향이 더 큰 것으로 사료된다.

주산지 및 재배한계지의 일반성분, 아미노산 및 무기물 함량

주산지와 재배한계지에서 수확한 종자의 조단백질과 같은 일반성분을 조사하였다(Table 8). 종자의 수분과 조지방은 지역 간에 차이가 없었다. 조회분 함량은 G1과 G2지역에서 G3지역에 비해 높았고, 조단백질 함량은 G1과 G3지역에서 G2지역에 비해 높았고, 반대로 탄수화물 함량은 G2지역에서 G1과 G3지역에 비해 높았다.

주산지와 재배한계지에서 수확한 보리 종자의 아미노산 함량도 분석하였다(Table 9). 17개 아미노산 중 cysteine, methionine은 지역 간에 큰 차이가 없었다. 그러나 그 밖의 soleucine, leucine, phenylalanine을 포함하는 15개 아미노산은 G2지역에서 G1과 G3지역에 비해 일관성 있게 낮았다. 그러나 쌀보리 연구에서는 재배한계지와 근접한 G2 지

Table 9. Amino acid content in hulled barley seeds in different group areas.

Group	Area	Asp	Thr	Ser	Glu	Gly	Ala	Val	Ile	Leu	Tyr	Phe	Lys	His	Arg	Pro	Cys	Met
G1	Yangyang	0.7^{a*}	0.4^{a}	0.5^{a}	3.1^{a}	0.5^{a}	0.5^{a}	0.6^{a}	0.4^{a}	0.8^{a}	0.4^{a}	0.7^{a}	0.4^{a}	0.3^{a}	0.6^{a}	1.5^{a}	0.3^{ab}	0.2^{a}
Average		**0.7**	**0.4**	**0.5**	**3.1**	**0.5**	**0.5**	**0.6**	**0.4**	**0.8**	**0.4**	**0.7**	**0.4**	**0.3**	**0.6**	**1.5**	**0.3**	**0.2**
G2	Anseong	0.5^{b}	0.3^{b}	0.4	1.9^{b}	0.4^{b}	0.4^{b}	0.5^{b}	0.3^{b}	0.6^{b}	0.3^{b}	0.4^{b}	0.3^{b}	0.2^{b}	0.4^{b}	0.9^{b}	0.2^{c}	0.1^{b}
	Chungju	0.5^{b}	0.3^{b}	0.4^{b}	2.0^{b}	0.4^{b}	0.4^{b}	0.5^{b}	0.3^{b}	0.6^{b}	0.3^{b}	0.4^{b}	0.3^{b}	0.2^{b}	0.4^{b}	0.9^{b}	0.3^{abc}	0.1^{b}
	Okcheon	0.5^{b}	0.3^{b}	0.4^{b}	1.8^{b}	0.4^{b}	0.4^{b}	0.4^{b}	0.3^{b}	0.5^{b}	0.3^{b}	0.4^{b}	0.3^{b}	0.2^{b}	0.4^{b}	0.8^{b}	0.3^{bc}	0.1^{b}
	Yeongdong	0.5^{b}	0.3^{b}	0.4^{b}	1.8^{b}	0.4^{b}	0.4^{b}	0.4^{b}	0.3^{b}	0.5^{b}	0.3^{b}	0.4^{b}	0.3^{b}	0.2^{b}	0.4^{b}	0.9^{b}	0.3^{bc}	0.1^{b}
Average		**0.5**	**0.3**	**0.4**	**1.9**	**0.4**	**0.4**	**0.4**	**0.3**	**0.6**	**0.3**	**0.4**	**0.3**	**0.2**	**0.4**	**0.9**	**0.3**	**0.1**
G3	Yeongdeok	0.6^{a}	0.4^{a}	0.5^{a}	3.1^{a}	0.5^{a}	0.5^{a}	0.6^{a}	0.4^{a}	0.8^{a}	0.4^{a}	0.7^{a}	0.4^{a}	0.3^{a}	0.6^{a}	1.5^{a}	0.3^{a}	0.2^{a}
Average		**0.7**	**0.4**	**0.5**	**3.1**	**0.5**	**0.5**	**0.6**	**0.4**	**0.8**	**0.4**	**0.7**	**0.4**	**0.3**	**0.6**	**1.5**	**0.3**	**0.2**

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

Table 10. Mineral content in hulled barley seeds in different group areas.

Group	Area	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Na	P
G1	Yangyang	42.71^{c*}	0.35^{b}	4.82^{ab}	552.43^{b}	129.30^{a}	15.45^{bc}	497.95^{a}
Average		**42.71**	**0.35**	**4.82**	**552.43**	**129.30**	**15.45**	**497.95**
G2	Anseong	57.67^{b}	0.03^{d}	5.45^{a}	517.27^{c}	115.89^{b}	16.32^{bc}	438.50^{b}
	Chungju	36.68^{d}	0.14^{c}	3.97^{bc}	508.02^{c}	120.42^{b}	9.33^{c}	427.35^{b}
	Okcheon	36.13^{d}	0.83^{a}	4.78^{ab}	483.19^{c}	119.80^{b}	10.97^{c}	399.69^{c}
	Yeongdong	62.36^{a}	0.21^{c}	3.38^{c}	629.60^{a}	133.64^{a}	20.75^{b}	517.96^{a}
Average		**48.21**	**0.31**	**4.40**	**534.52**	**122.44**	**14.34**	**445.87**
G3	Yeongdeok	45.79^{c}	0.11^{cd}	4.03^{bc}	311.81^{d}	104.23^{c}	42.62^{a}	264.98^{d}
Average		**45.79**	**0.11**	**4.03**	**311.81**	**104.23**	**42.62**	**264.98**

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different at the 5% level according to Duncan's Multiple Range Test.

역에서 threonine, serine, valine, isoleucine, leucine, phenylalanine 함량은 다른 지역에 비해 높았다(Kim *et al*., 2022). 또한 단백질 및 아미노산과 같은 주요 성분은 기상요인 뿐만 아니라 토성, 생장 단계, 비생물적 스트레스와 같은 다른 요인에 의해 영향을 받을 수 있다(Kumar *et al*., 2017).

주산지와 재배한계지에서 수확한 종자의 무기물 함량을 조사하였다(Table 10). Ca와 Fe 함량은 지역 간에 차이가 없었다. 그러나 Cu, K, Mg 및 P 함량은 G3 지역에서 G1과 G2 지역에 비해 적었다. 반대로 Na 함량은 G3 지역에서 G1과 G2 지역에 비해 높았다. 전반적으로 볼 때 Cu, K, Mg 및 P와 같은 무기물 함량은 G3 지역에서 그리고 조단백질과 대부분 아미노산은 G2 지역에서 다른 지역에 비해 상대적으로 낮은 경향을 보였다. 작물 품질은 다양한 요인의 기후 변화 조건에 의해 영향을 받을 수 있다(Wang & Frei, 2011). 또한 작물의 품질은 바이오매스 생산, 동화산물의 분할 및 저장과 관련된 복잡한 과정에 의해 영향을 받을 수 있다. 더욱이 장기간의 온난화 외에, 개화 또는 등숙기 같은 민감한 생장 단계 동안 짧은 기간의 고온(>30℃)도 곡물의 곡물 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Passarella *et al*., 2008). 그러나 본 연구에서는 주산지 및 재배한계지에서 수확한 종자의 일반성분, 아미노산 및 무기물 함량은 일정한 경향을 보이지 않았다. 따라서 본 연구에서 재배한계지 G1지역은 겉보리 수량과 일반성분, 아미노산 및 무기물 함량 등에 부정적인 영향없이 안정적으로 재배가 가능한 것으로 판단된다. 미래기후 시나리오에 의해서도 강원지역과 주변 지역이 겉보리 재배가 가능하는 것으로 보고되고 있지만(Kim *et al*., 2012; Park *et al*., 2022) 추후 보다 많은 재배한계지 지역에서 시험이 수행되어야 만 정확하게 안정재배지로 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 기후분포가 다른 3개 그룹 지역(G1, G2, G3)에 겉보리를 파종하고, 월동 전(12월), 월동 후(2월) 및 출

수기(4월)에 생육과 수확기(6월)에 수량 차이를 조사하였고, 이들 그룹 지역간 생육과 수량차이와 작물생육기 기상요인과 출수기에 토양화학성과 잎 무기성분과 관련성을 조사하였다. 또한 수확기에는 그룹 지역간에 수확한 겉보리 종자의 일반성분, 무기물 및 아미노산 함량을 조사하였다. 월동 전, 후 분얼수는 G1지역이 G2와 G3지역에 비해 높았다. 그러나 출수기의 분얼수와 지상부 건물중은 G2와 G3 지역이 G1지역에 비해 높았다. 재생기, 유수형성기 및 출수일의 경우 G2 지역은 G1과 G3지역에 비해 다소 늦었다. 그러나 엽록소 함량(SPAD값)은 그룹 간에 차이가 없었다. 수량의 경우 G2지역이 G1과 G3지역에 비해 9~15% 감소하였다. G2지역의 수량 감소는 수수, 영화수 및 등숙율 감소에 기인되는 것으로 판단된다. 또한 G2지역에서 수량이 감소했던 것은 G2지역이 작물 생육기에 최고, 최저 및 일평균기온이 G1과 G3지역에 비해 낮았기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 토양 내 무기성분은 G2지역에서 G1과 G3 지역에 비해 높았다. 식물체의 무기성분 함량은 G1지역에서 G2와 G3 지역에 비해 높은 경향이었다. Cu, K, Mg 및 P와 같은 무기물 함량은 G3 지역에서 그리고 조단백질과 대부분 아미노산은 G2 지역에서 다른 지역에 비해 상대적으로 낮은 경향을 보였다. 따라서 재배한계지 G1지역은 주산지 G3 지역에 비해 겉보리 수량과 일반성분, 아미노산 및 무기물 함량 등에 부정적인 영향없이 안정적으로 재배가 가능한 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(ATIS 과제번호 : PJ 014812)의 지원으로 수행된 결과입니다. 연구과제의 실험 진행을 도와 주신 김희권, 정병준, 황인택, 김영옥, 이영선, 남지영, 이미영, 이옥기 연구원 분들께 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 Korean Society of International Agriculture. 29(1) : 50-55.

Alberdi, M. and L. J. Corcuera. 1991. Cold acclimation in plants. Phytochemistry 30 : 3177-3184.

Araya, A., G. Hoogenboom, E. Luedeling, K. M. Hadgu, I. Kisekka, and L. G. Martorano, 2015. Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern Ethiopia. Agricultural and Forest Meteorology. 214 : 252-265.

Araya, A., I. Kisekka, X. Lin, P. V. Vara Prasad, P. H. Gowda, C. Rice, and A. Andales. 2017. Evaluating the impact of future climate change on irrigated corn production in Kansas. J. Climate Risk Management. 17 : 139-154.

Araya, A., P. V. V. Prasad, Z. Zambreski, P. H. Gowda, I. A. Ciampitti, and A. Girma. 2020. Spatial analysis of the impact of climate factors and adaptation strategies on productivity of wheat in Ethiopia. Science of The Total Environment. 731 : 139094.

Asseng, S., I. Foster, and N.C. Turner. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. Glob. Global Change Biology. 17 : 997-1012.

Brisson, N., P. Gate, D. Gouache, G. Charmet, F.-X. Oury, and F. Huard. 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehen sive data analysis for France. Field Crops Research. 119 : 201-212.

Carr, S. J., G. S. P. Ritchie, and W. M. Porter. 1991. A soil test for aluminium toxicity in acidic subsoils of yellow earths in Western Australia. Australian Journal of Agricultural Research. 42 : 875-892.

Cha, J. H. and K. S. Kim. 1989. Agriculture, Forestry and Meteorology; Sunjin Culture: Seoul, Korea. pp. 201-307.

Choi, D. H. and S. H. Yun. 1989. Agroclimatic zone and characters of the area subject to climatic disaster in Korea. Korean Journal of Crop Science. 34 (Suppl. S2) : 13-33.

Clausen, S. K., G. Frenck, L. G. Linden, T. N. Mikkelsen, C. Lunde, and R. B. Jørgensen. 2011. Effects of single and multi-factor treatments with elevated temperature, CO_2 and ozone on oilseed rape and barley. Journal of Agronomy Crop Science. 197 : 4421-453.

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J. L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W. J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A. J. Weaver, and M. Wehner. 2013. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In Climate Change 2013—The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK. 12 : 1029-1136

Dijkman, T. J., M. Birkved, H. Saxe, H. Wenzel, and M. Z. Hauschild. 2017. Environmental impacts of barley cultivation under current and future climatic conditions. Journal of Cleaner Production. 140 : 644-653.

Dawson, I. K., J. Russell, W. Powell, B. Steffenson, W. T. B. Thomas, and R. Waugh. 2015. Barley: A translational model for adaptation to climate change. New Phytologist. 206 : 913-931.

Farooqi, A. B., A. H. Khan, and H. Mir. 2005. Climate change perspective in Pakistan. Pakistan Journal of Meteorology. 2 :

11-21.
Fowler, D. B. and R. J. Carles. 1979. Growth, development, and cold tolerance of fall acclimated cereal grains. Crop Science. 19 : 915-922.
Gammans, M., P. Merel, and A. Ortiz-Bobea. 2017. Negative impacts of climate change on cereal yields: Statistical evidence from France. Environmental Research Letters. 12 : 54007.
Ha, Y. W. 2000. Barley, Ruderal Development Administration. Geomogmunhasa. pp. 81-82.
IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. In Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, MA, UK.
Kim, D. J., J. H. Kin, J. H. Roh, and J. I. Yun. 2012. Geographical Migration of Winter Barley in the Korean Peninsula under the RCP8.5 Projected Climate Condition. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology. 14 : 161-169.
Kim, Y. G., H. H. Park, H. J. Lee, H. K. Kim, and Y. I. Kuk. 2022. Growth, yield and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown across South Korean farmland with different temperature distributions. Agronomy. 12 : 2731.
Ko, J., C. T. Ng, S. Jeong, J. H. Kim, B. Lee, and H. Y. Kim. 2019. Impacts of regional climate change on barley yield and its geographical variation in South Korea. International Agrophysics. 33 : 81-96.
Kononova, M. M. 1996. Soil Organic Matter: Its Nature, Its Role in Soil Formation and in Soil Fertility; Pergamon Press: Oxford, UK.
Kumar, R., V. Singh, S. K. Pawar, P. K. Singh, A. Kaur, and D. Sharma. 2017. Abiotic Stress and Wheat Grain Quality: A Comprehensive Review. In Wheat Production in Changing Environments; Springer: New York, NY, USA, pp. 63-87.
Lee, S. H., I. H. Heo, K. M. Lee, S. Y. Kim, Y. S. Lee, and W. T. Kwon. 2008. Impacts of climate change on phenology and growth of crops: In the case of Naju. Journal of the Korean Geographical Society. 43 : 20-35.
Lobell, D. B., W. Schlenker, and J. Costa-Roberts. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. Science. 333(6042) : 616-620.
Mora, C., A. G. Fraizier, R. J. Longman, R. S. Dacks, M. M. Walton, E. J. Tong, J. J. Sanchez, L. R. Kaiser, Y. O. Srender, J. M. Anderson, C. M. Amberosino, I. F. Silva, L. M. Giuseffi, and T. W. Giambelluca. 2013. The projected timing of climate departure from recent variability. Nature. 502 : 183-188.
Newton, A. C., A. J. Flavell, T. S. George, P. Leat, B. Mullholland, L. Ramsay, C. Revoredo-Giha, J. Russell, B. J. Steffenson, J. S. Swanston, W. T. B. Thomas, R. Waugh, P. J. White, and I. J. Bingham. 2011. Crops that feed the world 4. Barley: A resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. Food Security. 3 : 141-178.
Ohara, I. and A. Shujiro. 1979. Comparison of protein precipitants for the determination of free amino acids in plasma. Agricultural and Biological Chemistry. 43 : 1473-1478.
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. The Korean Journal of Crop Science. 67 : 95-110.
Passarella, V. S., R. Savin, and G. A. Slafer. 2008. Are temperature effects on weight and quality of barley grains modified by resource availability? Australian Journal of Plant Physiology. 59 : 510-516.
Prasad, P. V. V., M. Djanaguiraman, R. Perumal, and I. A. Ciampitti. 2015. Impact of high temperature stress on floret fertility and individual grain weight of grain sorghum: Sensitive stages and thresholds for temperature and duration. Frontiers in Plant Science. 6 : 820.
Statistical Analysis System (SAS). 2000. SAS/STAT User's Guide, 7th ed.; Electronic Version; Statistical Analysis System Institute: Cary, NC, USA.
Savin, R. and M. E. Nicolas. 1996. Effects of short periods of drought and high temperature on grain growth and starch accumulation of two malting barley cultivars. Australian Journal of Plant Physiology. 23 : 201-210.
Schierhorn, F., M. Hofmann, I. Adrian, H. Bobojonov, and D. Müller. 2020. Spatially varying impacts of climate change on wheat and barley yields in Kazakhstan. Journal of Arid Environments. 178 : 104-164.
UNFCCC. 2010. United Nations Framework Collection on Climate Change. In Copenhagen Accord; UNFCCC: Copenhagen, Denmark.
Wang, Y. and M. Frei. 2011. Stressed food-The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. Agriculture, Ecosystems & Environment. 141: 271-286.
Wheeler, T. R., G. R. Batts, R. H. Ellis, P. Hadley, and J. I. L. Morison. 1996. Growth and yield of winter wheat (Triticum aestivum) crops in response to CO_2 and temperature. The Journal of Agricultural Science. 127 : 37-48.
Young, K. 1998. Barley: Soil; Climatic Requirements. In Soil Guide: A Handbook for Understanding and Managing Agricultural Soils; Bulletin 4343; Moore, G., Ed.; Agriculture Western Australia: South Perth, Australia.
Yun, S. H., J. N. Im, J. T. Lee, K. M. Shim, and K. H. Hwang. 2001. Climate change and coping with vulnerability of agricultural productivity. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology 3 : 220-237.