

Research Article

## 국내 육성 호밀품종의 재배적지와 기상요인과의 관계 분석

류정기<sup>1</sup> · 조익환<sup>2</sup> · 김진진<sup>3</sup> · 한옥규<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>경상북도 농업기술원, <sup>2</sup>대구대학교, <sup>3</sup>국립한국농수산대학교

## Analysis of Relationship between Meteorological Factors and Suitable Cultivation Areas of Korean Rye Cultivar

Jung-Gi Rye<sup>1</sup>, Ik-Hwan Jo<sup>2</sup>, Jin-Jin Kim<sup>3</sup> and Ouk-Kyu Han<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Daegu 41404, Korea

<sup>2</sup>Department of Animal Resources, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

<sup>3</sup>Korean National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

### ABSTRACT

This research was conducted to analyze the cultivation performance and meteorological data of winter rye in Suwon, Gyeonggi Province, and Daegu for 11 years. The objective was to compare the growth and yield of domestically cultivated Korean rye cultivar “Gogu” and identify the factors influencing them, to determine suitable cultivation areas for Korean rye cultivar in the country. The results of the study showed that both Daegu and Suwon regions possess favorable climatic conditions for winter rye cultivation, with Suwon exhibiting a superior moisture supply compared to Daegu. Furthermore, the analysis of climate suitability revealed that rainfall days and precipitation were significant factors affecting rye cultivation. Through correlation and principal component analysis, the research evaluated the interrelationship between climate, cultivation factors, and winter rye crop performance, as well as identified variations among winter rye cultivation regions. This study provides valuable insights and information for winter rye cultivation in the country, thereby assisting in the decision-making process for selecting optimal cultivation areas.

**(Key words:** Korean Forage Rye, Suitable Cultivation Areas, Meteorological Factors)

### I. 서론

우리나라에서 호밀은 주로 10월에 파종하여 5월 이전에 수확을 하는 조사료용 작물로써(Kim et al., 2010), 내한성이 우수하고 척박한 토양에서도 재배가 가능하다(Hurry et al., 1995; Altpeter, 2006; Geiger and Miedaner, 2009; Seo et al., 2016). 국내에서 호밀의 재배면적은 조사료용이나 친환경농업을 위한 녹비용으로 수요가 많아서 매년 50,000 ha 정도가 재배되고 있다(Han et al., 2018).

기온과 강수량을 포함하는 농업 기상적 요인은 작물 수확량에 큰 영향을 미치며, 수확량의 변동은 기상요소의 변화에 의존하는 것으로 알려져 있다. 온도와 수확량은 비선형, 비대칭 관계를 가지며, 온도가 임계값을 초과할 때 급격한 수확량의 감소가 일어난다(Sukhoveeva, 2014).

기후 변화에 의한 지구 온난화는 겨울철에 재배되는 작물의 생산성을 높이는 긍정적인 효과를 가지고 있으나, 기온 상승과 강수량 부족에 따른 생육 부진으로 인해 수량 감소를 초래할 것으로 전망하고 있다(Cabas et al., 2010). 따라서 호밀의 안정적인 생산을 위해 환경요인의 적합도 분석을 통한 재배적지 분석이 필요하다고 사료된다.

호밀의 재배적지 판정과 관련한 연구는 Peng et al. (2018)이 수행을 하였고, 사료용 작물과 초본작물을 대상으로 일부 연구가 수행되었으나(Yun, 2003; Kim et al., 2009), 대부분 수확성이 높은 작물인 인삼(Hyeon et al., 2009), 마늘(Kim et al., 2012) 등을 대상으로 연구가 이루어지고 있는 실정이다.

현재까지 국내 육성 호밀품종의 재배적지 선정과 관련된 연구는 없는 실정으로, 본 연구에서는 국내 육성품종인 곡우호밀에 대한 기후적지 판정 기준에 따른 대구지역과 수원지역의 기후적합

\*Corresponding author: Ouk-Kyu Han, Korean National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea.  
Tel: +82-63-238-9073, E-mail: okhan98@hanmail.net.

도 분석, 재배지역 및 재배 연도별 적지판정 기상요인의 특성 평가 및 연차 간 변화 양상을 조사하였다. 또한 요인별 상관과 주성분분석을 통해 곡우호밀의 생산성에 미치는 관련 영향을 분석하여 기후인자를 고려한 재배적지 선정 및 안정 생산을 위한 재배환경 관리방법을 제시하고자 본 연구를 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 생육 및 수량 정보 수집

본 연구에 사용된 곡우호밀의 조사 자료는 농촌진흥청에서 수행된 호밀 우량계통 지역적응시험 결과보고서에 수록된 시험성적을 활용하였다. 곡우호밀은 국내에서 육성된 호밀품종 중에서 유일하게 국립종자원에서 보급종을 생산하고 있는 품종이다. 2007년부터 2016년과 2021년 대구와 수원지역에서 각각 재배된 곡우호밀의 초장, 출수기, 조사료 수량 등 생육과 수량 성적을 이용하여 재배환경 특성변화에 따른 영향을 분석하였다.

조사기간 내 시험 장소는 대구지역의 경우 경상북도농업기술원 시험연구포장(경도 128° 56'18", 위도 35° 95'27", 해발고도 60 m), 수원지역은 농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부(경도 126° 99'21", 위도 37° 27'29", 해발고도 39 m)이다. 대구지역의 시험 토양은 신흥통으로 식양질계 회색토의 논토양으로 분류되며, 수원지역은 석천통의 사양질계 회색토에 식양질계 토양을 성토한 곳이다.

### 2. 재배적지 구분

호밀의 기후 적지 구분을 위한 판정 기준은 Peng et al. (2018)의 방법을 이용하였으며, 호밀을 재배하기 위한 기후적합도는 지역별 기온, 강우 인자별 배점기준을 환산하여 구하였다(Table 1).

호밀이 성장하는데 필요한 변수는 기온 및 강수량과 관련된 기

후 변수가 주로 기여하는 것으로 간주되고 있으며, 첫 번째 기온 변수로 호밀의 월동과 관련이 있는 1월의 최저기온, 파종한 해의 9월부터 12월까지 작물이 충분히 생육할 수 있는지 여부를 결정하는 일평균기온이 5 ℃ 이상인 날의 수, 호밀의 생산에 적절한 온도조건과 관련이 있는 다음해 3 ~ 5월의 평균기온 등 온도와 관련된 3개의 변수를 포함하였다.

두 번째 기후변수로 강수와 관련된 기후 변수이며, 지난해 10월부터 5월까지 충분한 물 공급은 생리학적으로 중요한 역할을 하므로 누적강수량과 강수일수를 변수에 포함을 하였다.

위의 각 기후 항목을 부적절, 가능, 적절 등 세 가지 수준으로 분류를 하였고, 각각 0.5, 0.8, 1.0점의 가중치를 주었다. 기후 적합성 점수(meteorological suitability score)를 도출하기 위해 각 항목별로 획득한 점수에 항목의 가중치와 곱하여 합산하였다. 기후 항목에서 합산한 기후적합도는 90 ~ 100점이 적합, 70 ~ 89점은 가능, 50 ~ 69점은 불량, 50점 이하는 부적합으로 분류하였다.

### 3. 기상자료 수집

지역별, 연도별 기후적합도 분석을 위한 기상자료는 대구와 수원지역의 연도별 기상자료를 활용하였으며, 기상청 기상자료 개방포털의 종관기상관측 자료를 분석에 사용하였다. 대구지역의 기상자료는 대구지방기상청(경도 128° 65'29", 위도 35° 87'79", 해발고도 54 m), 수원지역은 수도권기상청(경도 126° 98'30", 위도 37° 25'74", 해발고도 40 m)에서 정해진 시각에 동일하게 관측된 자료이다. 재배기간동안 1시간 간격으로 관측된 기온, 상대습도, 풍속, 일사량, 자료를 활용하여 일 단위 관측값으로 환산을 하였고, 1월 최저기온, 3월에서 5월까지 일평균기온, 9월에서 12월까지의 5 ℃ 이상 일수, 10월에서 5월까지의 강우일수와 강우량을 산출하였다.

Table 1. The criteria of climatic suitability evaluation for winter rye cultivation

Climatic factors <sup>1</sup>	Improper (0.5)	Possible (0.8)	Proper (1.0)	Weight (%)	Suitability Score
MTJ (℃)	< -14	-14 ~ -10	> -10	10	5.0 ~ 10.0
MTS (℃)	< 1	1 ~ 10	> 10	20	10.0 ~ 20.0
NTA (day)	< 30	30 ~ 50	> 50	20	10.0 ~ 20.0
NP (day)	< 45	45 ~ 70	> 70	25	12.5 ~ 25.0
AP (mm)	< 346.5	346.5 ~ 539	> 539	25	12.5 ~ 25.0
Total				100	

<sup>1</sup>MTJ : minimum temperature in January, MTS : mean temperature during March to May, NTA : number of days with daily mean temperature > 5 ℃ during September to December, NP : number of days with precipitation during October to May, AP : accumulated precipitation during October to May.

4. 통계분석

통계분석은 SAS Enterprise 9.4(SAS Institute Incorporation, Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 기술통계량을 분석하였고, 처리군 간 평균비교 분석 및 처리군의 유의성을 검정하였다. 또한 기후인자가 곡우호밀 생산에 대한 영향을 평가하기 위해 둘 사이의 선형관계 강도에 대한 통계 변수인 피어슨의 상관계수를 분석하였다. 기후적합도 판정을 위한 주요 항목과 곡우호밀의 생육과 수량에 미치는 영향을 평가하기 위해 주성분분석을 실시하였다. 본 연구에서는 두 단계의 과정을 거쳐 각각의 특성에 가장 큰 영향을 주는 인자를 주성분분석을 통해 선정한 후 이들 인자들에 대해 주성분분석을 이용하여 처리구 간 상이성을 2차원 평면에 표현하였다. 첫 번째 단계로 가중치와 중복성을 피하기 위해 주요 인자를 선별하였다. 2차원 평면상에 배열을 위해 주성분분석에서 두 개의 주요 주성분(principle component, PC)을 2개(PC1과 PC2, PC1과 PC3)를 선택하였고, 처리구별 벡터거리(vectorial distance, VD)는 다음의 식을 이용하였다.

$$VD = \sqrt{(PC_1X_i - PC_1X_j)^2 + (PC_2Y_i - PC_2Y_j)^2}$$

PC1과 PC2는 각각의 공간 배치에서 가로축과 세로축이다. 또한  $X_iY_i$ 는  $i$ 처리구의 PC1축 및 PC2축에서 점수를 나타낸 반면,  $X_jY_j$ 는  $j$ 처리구 즉  $i$ 처리구와 평면상의 벡터거리를 알고자 하는 처리구의 PC1 및 PC2에서의 값을 의미한다.

III. 결과

1. 경종개요

지역별 파종기, 수확기 및 비료 사용량은 Table 2와 같다. 대구지역에서 곡우호밀의 파종시기는 2007년과 2008년은 전년 10월 25일, 2009년, 2010년 및 2012년은 전년 10월 18일, 2011년은 전년 10월 20일, 2013년은 전년 10월 24일, 2014년은 전년 10월 21일, 2015년과 2016년은 전년 10월 16일 그리고 2021년도는 2020년 10월 27일이였다. 수원지역은 2007년과 2008년은 전년 10월 10일, 2009년은 전년 10월 12일, 2010년은 전년 10월 9일, 2011년과 2021년은 전년 10월 14일, 2012년은 전년 10월 7일, 2013년은 전년 10월 12일, 2013년은 전년 10월 12일, 2014

Table 2. Seeding and harvest dates and fertilizer application rates of Korean rye cv. Gogu at two locations, Daegu and Suwon in Korea

Loaction	Year	Seeding date	Harvest date	Fertilizer application (kg/10a)		
				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Daegu	2007	25 Oct. 2006	13 Apr. 2007	17.9	7.4	3.9
	2008	25 Oct. 2007	15 Apr. 2008	17.9	7.4	3.9
	2009	18 Oct. 2008	15 Apr. 2009	12.0	7.4	3.9
	2010	18 Oct. 2009	28 Apr. 2010	11.8	7.4	3.9
	2011	20 Oct. 2010	25 Apr. 2011	11.8	7.4	3.9
	2012	18 Oct. 2011	28 Apr. 2012	11.8	7.4	3.9
	2013	24 Oct. 2012	26 Apr. 2013	11.8	7.4	3.9
	2014	21 Oct. 2013	19 Apr. 2014	11.8	7.4	3.9
	2015	16 Oct. 2014	27 Apr. 2015	11.1	7.4	3.9
	2016	16 Oct. 2015	27 Apr. 2016	10.9	6.8	3.9
	2021	27 Oct. 2020	16 Apr. 2021	9.1	9.1	7.4
	Mean	21 Oct.	22 Apr.	12.5	7.5	4.2
Suwon	2007	10 Oct. 2006	24 Apr. 2007	12.0	9.0	3.0
	2008	10 Oct. 2007	15 Apr. 2008	12.0	9.0	3.0
	2009	12 Oct. 2008	23 Apr. 2009	12.0	13.7	6.3
	2010	9 Oct. 2009	3 May 2010	14.0	11.0	0.1
	2011	14 Oct. 2010	9 May 2011	11.2	11.0	3.0
	2012	7 Oct. 2011	30 Apr. 2012	11.4	10.9	3.0
	2013	12 Oct. 2012	6 May 2013	11.4	10.9	3.0
	2014	11 Oct. 2013	22 Apr. 2014	11.4	10.9	3.0
	2015	27 Oct. 2014	27 Apr. 2015	11.4	10.9	3.0
	2016	13 Oct. 2015	23 Apr. 2016	10.7	7.4	3.9
	2021	14 Oct. 2020	26 Apr. 2021	11.8	7.4	3.9
	Mean	13 Oct.	27 Apr.	11.8	10.2	3.2

년은 전년 10월 11일, 2015년은 전년 10월 27일, 2016년은 전년 10월 13일에 파종하였다.

대구지역에서 호밀의 수확은 2007년 4월 13일, 2008년과 2009년은 4월 15일, 2010년과 2012년은 4월 28일, 2011년은 4월 25일, 2013년은 4월 26일, 2014년은 4월 19일, 2015년과 2016년은 4월 27일, 2021년은 4월 16일에 하였다. 수원지역은 2007년은 4월 24일, 2008년은 4월 15일, 2009년과 2016년은 4월 23일, 2010년은 5월 3일, 2011년은 5월 9일, 2012년은 4월 30일, 2013년은 5월 6일, 2014년은 4월 22일, 2015년은 4월 27일, 2021년은 4월 26일에 수확하였다.

대구지역에서 평균 시비량은 10a당 질소 12.5 ± 2.8 kg, 인산 7.5 ± 0.6 kg, 칼리 4.2 ± 1.1 kg이었고, 최대 사용량은 질소 17.9 kg, 인산 9.1 kg, 칼리 7.4 kg이었으며, 최소 사용량은 질소 9.1 kg, 인산 6.8 kg, 칼리 3.9 kg이었다. 수원지역에서 평균 시비량은 10a당 질소 11.8 ± 0.8 kg, 인산 10.2 ± 1.8 kg, 칼리 3.2 ± 1.4 kg, 최대 사용량은 질소 14.0 kg, 인산 13.7 kg, 칼리 6.3 kg이었으며, 최소 사용량은 질소 10.7 kg, 인산 7.4 kg, 칼리 0.1 kg으로 나타나 대구지역에서 질소와 칼리의 사용량이 각각 0.8 kg/10a, 1.0 kg/10a가 많았고, 인산은 2.7 kg/10a이 적었다.

## 2. 생육 및 수량 분석

곡우호밀의 생육 및 수량의 특성은 Table 3과 같다. 한해 지수는 평균 0.4로 매우 낮았고, 도복지수도 평균 2.9로 낮은 수준이었다. 평균 출수소요일수는 185.1일이었고, 초장은 133.4 cm로 2002년에서 2004년 품종육성 당시의 107 cm보다 큰 편이었다. 수확소요일수는 191.6일이었고, 건물비율은 19.9%, 생초수량은 4,362.9 kg/10a, 건물수량은 804.6 kg/10a 이었다.

왜도(skewness)는 모집단 분포의 비대칭 특성을 나타내는 지표로 왜도 값이 0보다 크면 왼쪽으로 치우쳐서 분포하고 0보다 작으면 오른쪽으로 치우쳐 분포하는 것을 의미한다. 따라서 한해 지수는 2.3으로 왼쪽으로 치우쳐 분포하므로 피해가 적음을 의미하며, 그 외 도복지수, 출수소요일수, 초장, 이삭수, 수확소요일수, 건물비율, 생초 및 건물수량은 0에 가까운 값을 가지므로 왼쪽과 오른쪽으로 대칭을 이루며 정규분포함을 알 수 있다.

첨도(kurtosis)는 평균치 분포에 분포 여부를 알 수 있는 지표로서 3보다 값이 크면 평균치 근처에 많이 분포하고 3보다 작으면 평균에서 멀리 떨어져 갈수록 급격히 가라앉으며 폭 넓게 분포한다. 따라서 한해의 첨도는 6.6으로 대부분 평균 근처에 분포를 하며 그 외 도복지수, 출수소요일수, 초장, 이삭수, 수확소요일수, 건물비율, 생초 및 건물수량의 첨도는 -1.0 ~ 0.3의 값을 가지므로 평균값 근처보다 멀리 떨어져 폭넓게 분포하는 것으로 나타났다.

지역별 년차간 한해, 도복 및 생육특성을 비교한 결과는 Table 4와 같다. 대구지역의 한해는 2014년과 2016년을 제외하고는 전혀 발생하지 않았고, 수원지역은 2012년에 3으로 가장 심하였으나, 2013년에서 2016년, 그리고 2021년에 한해 지수 1 정도의 피해가 발생하였다. 대구지역은 평균 0.2, 수원지역은 평균 0.6으로 지역 간, 연차 간 차이가 없었다. 도복지수는 대구지역이 평균 0.9, 수원지역은 4.8로 지역 간에는 유의한 차이가 있었으며 ( $p < 0.05$ ), 연차간에는 차이가 없었다. 출수소요일수는 대구지역이 평균 177일, 수원지역은 193일로 매우 큰 차이가 있었으나 ( $p < 0.001$ ), 연차 간에는 차이가 없었다. 곡우호밀의 초장은 대구지역에서는 평균 140 cm이었고, 수원지역은 평균 126 cm로 지역 간, 연차 간 차이는 발생하지 않았다.

지역별 연차 간 수확소요일수, 건물비율, 생초 및 건물수량을

Table 3. Descriptive statistics and normalities for explanatory variables of Korean rye cv. Gogu

Variables	Mean	SE <sup>1</sup>	Percentile		Skewness	Kurtosis
			10th	90th		
Cold injury (0~9)	0.4	0.2	0.0	1.0	2.3	6.6
Lodging (0~9)	2.9	0.7	0.0	8.7	0.8	-1.0
Days of heading <sup>2</sup> (day)	185.1	2.4	169.3	199.7	-0.2	-0.6
Plant height (cm)	133.4	5.2	97.3	167.8	0.1	-1.0
No. of culm (No./m <sup>2</sup> )	906.7	55.2	561.4	1,248.2	0.4	-0.3
Days of harvest <sup>3</sup> (day)	191.6	2.4	172.6	207.0	-0.3	-0.4
Dry matter ratio (%)	19.9	0.8	15.2	26.7	0.6	-0.1
Fresh weight (kg/10a)	4,352.9	273.7	2,775.9	6,039.2	-0.1	-0.7
Dry matter yield (kg/10a)	804.6	52.3	368.0	1,118.3	-0.6	0.3

<sup>1</sup>Standard Error.

<sup>2</sup>Days from seeding of winter rye to heading.

<sup>3</sup>Days from seeding of winter rye to harvest.

분석한 결과는 Table 5와 같다. 대구지역의 수확소요일수는 평균 184일이 소요되었고, 수원지역은 199일이 소요되어 지역 간의 수확소요일수에 큰 차이가 있었으나( $p<0.001$ ), 연차 간에는 유의한 차이가 없었다. 건물비율은 지역 간, 연차 간 차이는 없었다. 생초 수량은 대구지역의 경우 평균 3,639 kg/10a, 수원지역에서는 평균 5,066 kg/10a으로 재배지역 간 유의한 차이가 있었으며 ( $p<0.001$ ), 연차 간 차이는 발생하지 않았다. 또한 건물수량도 대구지역에서는 평균 709 kg/10a, 수원지역은 평균 992 kg/10a으로 재배지역 간 차이는 있었으나( $p<0.001$ ), 연차 간에는 차이가 없었다.

이상의 결과를 종합하면, 곡우호밀의 생육과 수량에는 연차 간 발생하는 기후의 영향은 크지 않고 재배지역의 기상조건이 더 큰 영향을 미치는 것을 나타내었다.

### 3. 재배적지 판정

본 연구에서 평가된 품종인 국내 육성 곡우호밀의 기후적합도를 판정하기 위한 대구지역과 수원지역의 기후인자에 대한 기술 통계량은 Table 6과 같다. 1월의 최저기온에 대한 배점은 평균 10.0으로 대구와 수원 모두 저온에 의한 피해 가능성은 매우 낮게 분석되었다. 3월에서 5월까지의 일평균기온인 MTS는 19.8로 기중치를 환산한 최고 배점인 20점과 유사하여 곡우호밀이 봄 생육을 하는데 충분한 기온이 유지되었으며, 일평균기온인 5℃ 이상의 일수를 나타내는 NTA는 20.0으로 최고 배점을 보였다. 따라서 곡우호밀의 재배적지를 판정하기 위한 온도조건은 대구지역과 수원지역 모두 조사기간동안 생육에 적합한 기후상태를 형성함을 알 수 있었다.

곡우호밀의 생육기간동안 충분한 수분 공급력을 나타내는 지

Table 4. The agronomic characteristics of Korean rye cv. Gogu at Daegu and Suwon from 2007 to 2021

Loaction	Year	Cold injury <sup>1</sup> (0~9)	Lodging (0~9)	Heading days <sup>2</sup> (day)	Plant height (cm)	No. of culm (No./m <sup>2</sup> )
Daegu	2007	0	0	170	117	1,017
	2008	0	0	178	98	692
	2009	0	0	173	95	1,147
	2010	0	3	184	130	493
	2011	0	3	184	126	1,513
	2012	0	0	183	174	775
	2013	0	0	177	157	1,081
	2014	1	1	169	163	721
	2015	0	3	181	154	1,115
	2016	1	0	186	169	532
	2021	0	0	162	165	630
	Mean		0.2	0.9	177	140
Suwon	2007	0	3	198	105	1,054
	2008	0	1	201	129	880
	2009	0	1	190	97	1,188
	2010	0	3	198	112	1,026
	2011	0	7	199	154	810
	2012	3	0	200	126	784
	2013	1	8	198	146	655
	2014	1	0	185	125	905
	2015	1	8	191	125	1,274
	2016	1	9	183	138	997
	2021	1	9	182	130	658
	Mean		0.7	4.5	193	126
Location		NS <sup>3</sup>	*	***	NS	*
Year		NS	NS	NS	NS	NS

<sup>1</sup>CI : chilling injury, Rating: 0, no damage, 9, very serious.

<sup>2</sup>Days from seeding of winter rye to heading.

<sup>3</sup>NS is not significant at 0.05 probability level.

\*, \*\*\* Significant at the 0.05, 0.001 probability levels by Studentized Turkey Test.

Table 5. Days from seeding to harvest, dry matter ratio, fresh weight and dry matter yields of Korean rye cv. Gogu at Daegu and Suwon from 2007 to 2021

Loaction	Year	Harvest days <sup>1</sup> (day)	Dry matter ratio (%)	Yield (kg/10a)	
				Fresh	Dry
Daegu	2007	170	14.8	5,591	826
	2008	174	12.8	2,613	335
	2009	180	22.6	3,319	747
	2010	193	19.1	4,840	924
	2011	188	19.9	3,876	773
	2012	194	28.1	3,156	890
	2013	185	18.7	3,871	722
	2014	181	19.6	4,116	805
	2015	192	18.3	3,364	615
	2016	195	26.2	1,698	445
	2021	172	18.6	3,589	711
	Mean	184	19.9	3,639	709
Suwon	2007	197	18.2	5,664	1,031
	2008	189	23.0	3,373	775
	2009	194	16.8	5,333	887
	2010	207	16.0	6,647	1,064
	2011	208	18.2	5,564	1,011
	2012	207	17.0	4,087	696
	2013	207	26.9	4,613	1,249
	2014	194	24.0	3,160	771
	2015	199	20.2	5,506	1,121
	2016	194	17.9	6,200	1,112
	2021	195	21.3	5,583	1,119
	Mean	199	20.0	5,066	992
Location		*** <sup>1</sup>	NS	**	**
Year		NS <sup>2</sup>	NS	NS	NS

<sup>1</sup>Days from seeding of winter rye to harvest.

<sup>2</sup>\*\*, \*\*\* Significant at the 0.01, 0.001 probability levels by Studentized Turkey Test.

<sup>3</sup>NS is not significant at 0.05 probability level.

표인 누적강수량(AP)과 강수일수(NP)를 분석한 결과, 10월부터 5월까지의 누적강수일수의 배점은 평균 19.4이었으며, 강수일수가 적을 때(percentile 10th)는 12.5로 다소 낮았고, 강수일수가 많을 때(percentile 90th)는 23.5로 분석되었다. 강수량 배점은 평균 16.5이었으며, 강수량이 적을 때(percentile 10th)는 12.5, 강수량이 많을 때(percentile 90th)는 20.0으로 강수일수보다 다소 낮아서, 강수량은 적지만 주기적 수분 공급을 의미하는 강수일수의 차이에 따른 곡우호밀의 생육 변화가 클 것으로 조사되었다. 종합 배점은 평균 85.7로 가능(possible)로 분류되었으며, 기후적합도가 낮을 때(percentile 10th)의 종합배점은 75.0로 가능, 기후적합도가 높을 때(percentile 90th)는 95.0으로 적합(proper)의 범위로 산출되었다.

1월 중 최저기온의 왜도(skewness)는 0으로 재배지역별, 연차간 모두 동일하였으며, 3월에서 5월의 일평균기온은 -4.7로 0보

다 작아서 오른쪽으로 치우친 분포를 나타내므로 평균기온이 평균값보다 높아 온도조건은 양호하였다. 9월에서 12월까지 평균기온 5℃ 이상의 일수, 강수일수와 강수량의 왜도는 0과 비슷한 값을 나타내어 정규분포에 가까운 특성을 보였다. 첨도(kurtosis)는 3월에서 5월까지의 일평균기온이 22.0으로 3보다 크게 높아서 평균치 근처에 많이 분포를 하였으며, 그 외 다른 기후항목은 -2.2 ~ 2.0으로 3보다 작아서 평균값 근처보다 멀리 떨어져 폭넓게 분포하는 것으로 조사되었다.

기후적지에 대한 판정 요소의 지역별 차이를 조사한 결과는 Table 7과 같다. 대구지역과 수원지역의 1월중 최저기온과 3월에서 5월까지의 일평균기온의 배점은 각각 10.0점, 20.0점으로 동일하게 최고 배점을 나타내었으며, 9월에서 12월까지 일평균기온 5℃ 이상의 일수는 대구지역 20.0점, 수원지역은 19.6점으로 최고배점 20점에 유사하였다.

Analysis for Selecting Suitable Cultivation Areas of Korean Forage Rye Cultivar

수분 공급력을 나타내는 지표인 10월부터 5월까지의 강우일수와 강수량은 대구지역이 각각 18.0점, 15.9점이었으며, 수원지역은 20.9점, 17.0점으로 대구지역보다 높은 배점을 보였다. 종합점수는 대구지역이 83.9점으로 가능(possible)으로 분류되었고, 수

Table 6. Descriptive statistics and normalities for calculated suitability scores of Korean rye cv. Gogu

Variables <sup>1</sup>	Mean	SE <sup>2</sup>	Median	Percentile		Skewness	Kurtosis
				10th	90th		
MTJ	10.0	0.0	10.0	10.0	10.0	0.0	-2.2
MTS	19.8	0.2	20.0	20.0	20.0	-4.7	22.0
NTA	20.0	0.0	20.0	20.0	20.0	0.0	-2.2
NP	19.4	0.7	20.0	12.5	23.5	-1.1	2.0
AP	16.5	0.9	16.3	12.5	20.0	0.3	-1.5
Score	85.7	1.3	84.3	75.0	95.0	-0.2	-0.7

<sup>1</sup>MTJ : minimum temperature in January, MTS : mean temperature during March to May, NTA : number of days with daily mean temperature > 5 °C during September to December, NP : number of days with precipitation during October to May, AP : accumulated precipitation during October to May, Score : meteorological suitability score.

<sup>2</sup>Standard Error.

Table 7. The result of calculated meteorological suitability scores of Korean rye cv. Gogu at Daegu and Suwon provinces from 2007 to 2021

Loaction	Year	MTJ <sup>1</sup> (°C)	MTS (°C)	NTA (day)	NP (day)	AP (mm)	Suitability score	Classification
Daegu	2007	10.0	20.0	20.0	12.5	12.5	75.0	Possible
	2008	10.0	20.0	20.0	12.5	12.5	75.0	Possible
	2009	10.0	20.0	20.0	12.5	12.5	75.0	Possible
	2010	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	90.0	Proper
	2011	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	90.0	Proper
	2012	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	90.0	Proper
	2013	10.0	20.0	20.0	20.0	12.5	82.5	Possible
	2014	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	90.0	Proper
	2015	10.0	20.0	20.0	20.0	12.5	82.5	Possible
	2016	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	90.0	Proper
	2021	10.0	20.0	20.0	20.0	12.5	82.5	Possible
	Mean	10.0	20.0	20.0	18.0	15.9	83.9	Possible
Suwon	2007	10.0	20.0	20.0	25.0	20.0	95.0	Proper
	2008	10.0	20.0	20.0	20.0	12.5	82.5	Possible
	2009	10.0	20.0	20.0	20.0	12.5	82.5	Possible
	2010	10.0	20.0	20.0	25.0	20.0	95.0	Proper
	2011	10.0	16.0	20.0	20.0	20.0	86.0	Possible
	2012	10.0	20.0	20.0	20.0	12.5	82.5	Possible
	2013	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	90.0	Proper
	2014	10.0	20.0	20.0	20.0	12.5	82.5	Possible
	2015	10.0	20.0	20.0	20.0	12.5	82.5	Possible
	2016	10.0	20.0	20.0	20.0	25.0	95.0	Proper
	2021	10.0	20.0	20.0	20.0	20.0	90.0	Proper
	Mean	10.0	19.6	20.0	20.9	17.0	87.6	Possible
P value <sup>2</sup>		1.000	0.319	1.000	0.108	0.553	0.217	

<sup>1</sup>MTJ : minimum temperature in January, MTS : mean temperature during March to May, NTA : number of days with daily mean temperature > 5 °C during September to December, NP : number of days with precipitation during October to May, AP : accumulated precipitation during October to May.

<sup>2</sup>P value is calculated by Kruskal-wallis one way analysis of variance on ranks between regions.

원지역의 종합배점은 87.6점으로 대구지역보다 다소 높았으나 기후적합도는 동일하게 가능(possible)으로 분류되었다. 지역 간 차이는 강우일수가 가장 큰 편이었고( $p=0.108$ ), 종합배점( $p=0.217$ ), 3월에서 5월까지 일평균기온( $p=0.319$ ) 순이었다.

#### 4. 기후 적합도 판정요소의 연차 간 변화

대구지역과 수원지역의 1월중 최저기온, 3월에서 5월중 일평균기온 및 9월에서 12월까지의 평균기온이 5 °C 이상인 일수의 변화는 Fig. 1과 같다. 대구지역의 1월중 최저평균기온은 0.8 °C 이었으며, 2007년에 3.3 °C로 가장 높았고 2011년에는 -2.5 °C로 가장 낮았다. 수원지역의 1월중 최저평균기온이 -2.5 °C이었으며, 2007년에는 -0.1 °C로 가장 높았고 2011년에 -7.3 °C로 가장 낮았다. 대구지역의 1월중 최저평균기온이 3.4 °C 높은 수준이었다.

대구지역의 3월에서 5월중 일평균기온은 평균 14.3 °C이었으며, 2014년에 15.5 °C로 높았고 2010년에 12.6 °C로 낮았다. 수원지역의 일평균기온은 11.9 °C이었으며, 2016년에 13.3 °C로 높았고 2011년에 10.0 °C로 가장 낮았다. 조사기간동안 대구지역의 일평균기온은 2.4 °C 높은 수준을 나타내었다.

대구지역에서 9월에서 12월까지의 평균기온이 5 °C 이상인 일

수는 평균 96.5일이었는데, 2016년에 105.0일로 많았고 2013년 88.0일로 적었다. 수원지역에서는 9월에서 12월까지의 평균기온이 5 °C 이상인 일수는 평균 86.9일이었는데, 2016년에 94.0일로 가장 많았고 2013년에 77.0일로 가장 적었다. 9월에서 12월까지의 평균기온 5 °C 이상 일수는 대구지역이 수원지역보다 10.4일 정도 많았다.

10월에서 5월까지 강우일수의 변화와 3월에서 5월까지의 강수량은 Fig. 2의 왼쪽과 같다. 대구지역에서 10월에서 5월까지 강우일수는 50.5일이었으며, 2012년에 61.0일로 많았고 2007년에 37일로 가장 적었다. 수원지역은 평균 62.5일의 강우일수를 나타내었으며, 2007년에 84.0일로 많았고 2011년에 48.0일로 적었으며, 대구지역이 수원지역에 비해 평균 11.9일 강우일수가 적었다.

10월에서 이듬해 5월까지의 누적강수량은 대구지역에서 평균 342.6 mm를 나타내었고, 2016년에 465.3 mm로 가장 많았고 2009년에 210.7 mm로 가장 적었다. 수원지역 강수량은 평균 405.2 mm 이었고, 2016년에 580.3 mm로 많았고 2014년에 258.2 mm로 적었다(Fig. 2의 오른쪽). 대구지역이 수원지역에 비해 강수량은 평균 62.7 mm 적은 편이었다.

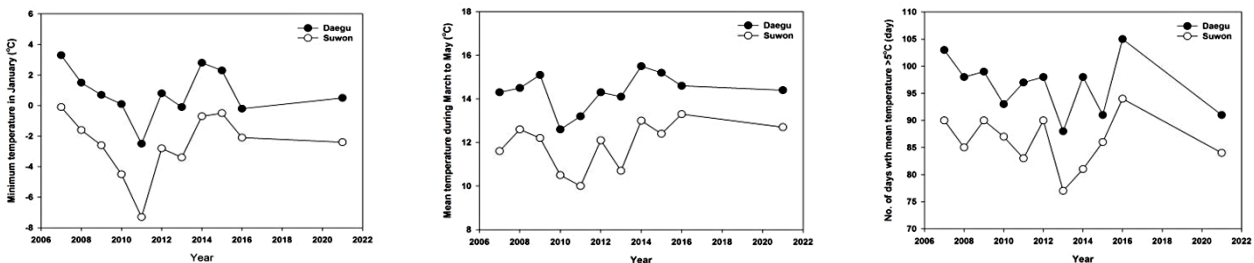


Fig. 1. Yearly time-series (2007~2016) and 2021 of observed minimum temperature (left), mean temperature (middle), days with more than 5 °C on daily mean temperature (right) in January at Daegu and Suwon.

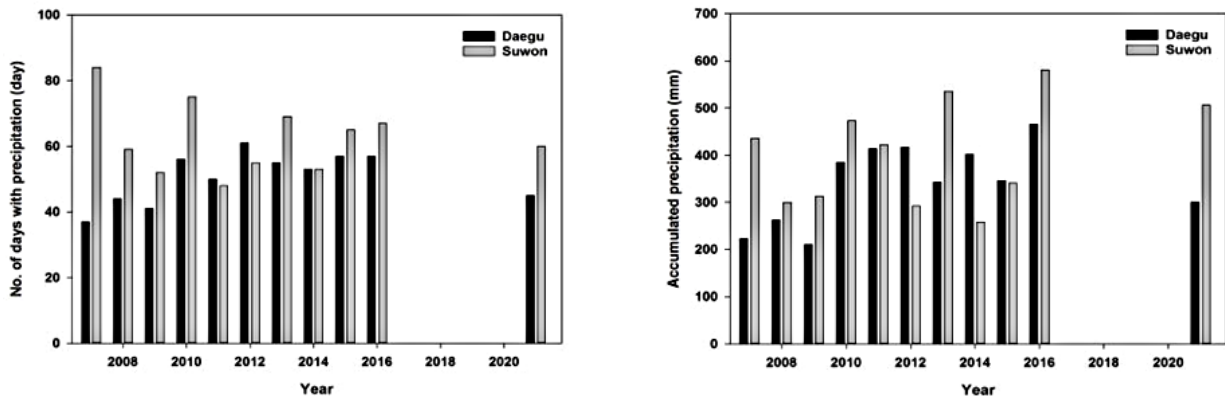


Fig. 2. Yearly time-series (2007~2016) and 2021 of observed days with precipitation (left) and accumulated precipitation (right) during October to May at Daegu and Suwon.



5. 상관 및 주성분 분석

기후적합도 판정을 위한 기후 인자들이 곡우호밀 생산에 대한 영향을 평가하기 위하여 변수들 간의 상관을 분석하였다(Table 8). 10월에서 5월까지 강우일수와 강수량 간의 상관계수는 0.445 ( $p<0.05$ )로, 기후적합도에 대한 종합배점과는 상관계수가 0.805 ( $p<0.001$ )로 고도로 유의한 관계를 나타내었으며, 건물수량과도 상관계수가 0.444 ( $p<0.05$ )로 유의성이 있었다. 강수량 또한 기후적합도 종합배점과의 상관계수가 0.876 ( $p<0.001$ )로 고도로 유의한 관계를 나타내었으며, 건물수량과도 상관계수는 0.490 ( $p<0.05$ )로 유의한 관계를 나타내었다. 기후적합도의 종합배점과 건물수량과의 상관계수는 0.535 ( $p<0.01$ )로 고도로 유의한 관계를 나타내어 기후적합도가 곡우호밀의 건물수량에 크게 영향을

미치는 것으로 분석되었다.

기후적합도 판정에 있어서 주요 기후인자로 고려되는 3월에서 5월까지의 일평균기온, 10월에서 5월까지의 강우일수와 강수량, 기후적합도에 대한 종합배점과 곡우호밀의 생산과 관련된 인자들과의 주성분분석을 실시한 결과는 Table 9와 같다.

주성분분석의 결과에 따라 초기 예측변수는 세 가지로 분류하였다. 첫 번째 주성분(PC1)으로 기후적합도에 대한 종합배점의 주성분 값이 0.565로 가장 높았고, 다음으로 10월에서 5월까지의 강우일수와 강수량, 건물수량의 주성분 값이 각각 0.488, 0.484, 0.386의 순으로 수분 공급과 관련한 기후인자와 곡우호밀의 건물 생산량을 기술하는 변수가 첫 번째 설명요인이었으며, 제1주성분의 고유값은 2.903으로 전체 분산의 최대 수준인 36.28%를 나타내었다.

Table 8. Correlation matrix including the explanatory variables

Variables	MTS	NP	AP	Suitability score	Fresh weight	Dry matter yield	Heading days	Harvest days
MTS <sup>1</sup>	1.000	-0.004	-0.187	-0.010	0.195	-0.157	0.002	-0.049
NP		1.000	0.445*	0.805***	-0.116	0.444*	0.087	0.375
AP			1.000	0.876***	0.065	0.490*	-0.011	0.042
Score				1.000	0.012	0.535**	0.037	0.213
Fresh weight					1.000	-0.039	0.319	0.344
Dry matter yield						1.000	-0.250	-0.102
Heading days <sup>2</sup>							1.000	0.854***
Harvest days <sup>3</sup>								1.000

<sup>1</sup>MTS : mean temperature during March to May, NP : number of days with precipitation during October to May, AP : accumulated precipitation during October to May. <sup>2</sup>Days from seeding to heading. <sup>3</sup>Days from seeding to harvest.

\*, \*\*, \*\*\*Significant at the 0.05, 0.01, 0.001 probability levels, respectively, evaluated by Pearson correlation analysis.

Table 9. Results of principal component analysis for constructing the structure in the agronomic characteristics, yields of Korean rye cv. Gogu and meteorological suitability scores data

Variables	Component of factor		
	First	Second	Third
MTS <sup>1</sup>	-0.086	0.010	0.764
NP	0.488	0.016	-0.108
AP	0.484	-0.128	0.066
Suitability score	0.565	-0.058	0.087
Fresh weight	0.076	0.351	0.560
Dry matter yield	0.386	-0.269	0.117
Heading days	0.078	0.631	-0.185
Harvest days	0.200	0.614	-0.179
Eigenvalue	2.903	2.101	1.128
Proportion (%)	36.28	26.26	14.10
Cumulative proportion (%)	36.28	62.54	76.64

<sup>1</sup>MTS : mean temperature during March to May, NP : number of days with precipitation during October to May, AP : accumulated precipitation during October to May.

제2주성분(PC2)은 출수소요일수와 수확소요일수로써 기상환경 특성에 따른 작물의 생육기간이 두 번째 설명변수로 분석되었고, 제2주성분의 고유값은 2.101, 변수의 설명력은 전체 분산의 26.26%를 차지하여 제1주성분과 제2주성분의 누적 설명력은 62.54%이었다.

제3주성분(PC3)은 3월에서 5월까지의 일평균기온과 생초수량이었으며, 이들 변수는 1.128의 고유값을 가지며 총 분산에 대하여 14.10%의 설명력을 나타내었고 제1주성분, 제2주성분과 제3주성분은 전체 분산에 대하여 76.64%의 설명력을 갖는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 곡우호밀 재배지역 간 주성분 점수의 2차원 평면 분포를 살펴보면 Fig. 3과 같다. 대구지역의 제1주성분 점수는  $-0.723 \pm 1.736$ , 제2주성분 점수는  $0.174 \pm 0.542$ 이었고, 수원지역은 제1주성분 점수는  $0.723 \pm 1.389$ , 제2주성분 점수는  $-0.174 \pm 1.471$ 을 나타내어 곡우호밀의 재배기간동안 수분 공급을 나타

내는 강우일수, 강수량 및 기후적합도에 대한 종합배점이 수원지역이 대구지역보다 높아 곡우호밀의 재배에 유리한 환경으로 평가되었다.

곡우호밀의 재배지역별 연차 간 주성분 점수의 2차원 평면 분포 변화를 분석하였다. 대구지역에서 주성분 점수의 연도별 분포는 Fig. 4와 같다. 제1주성분 점수가 높고 제2주성분 점수가 낮은 건물수량(10a)은 2010년 924 kg, 2012년 850 kg, 2011년 773 kg이었고, 제1주성분 점수가 높고 제2주성분 점수도 높은 2014년은 805 kg, 2016년은 445 kg을 나타내었으며, 제1주성분 점수가 다소 낮고 제2주성분 점수가 낮은 2013년은 722 kg, 2015년은 615 kg, 2021년은 709 kg이었다. 제1주성분 점수가 매우 낮고 제2주성분 점수도 매우 낮은 2007년은 건물수량(10a)이 826 kg, 2009년은 747 kg을 나타낸 반면 제1주성분 점수가 매우 낮고 제2주성분 점수가 매우 높은 2008년은 335kg으로 건물수량이 가장 낮았다.

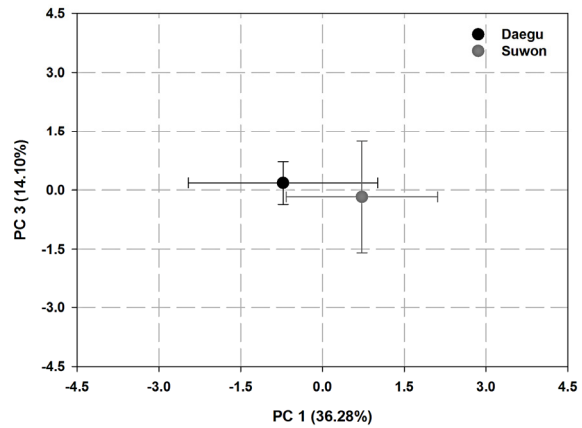
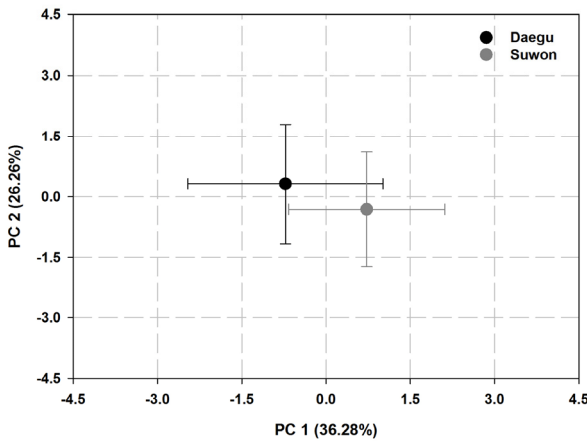


Fig. 3. Scatter plot of principal component analysis score between PC1 · PC2 (left) and PC1 · PC3 (right) for two locations, Daegu and Suwon.

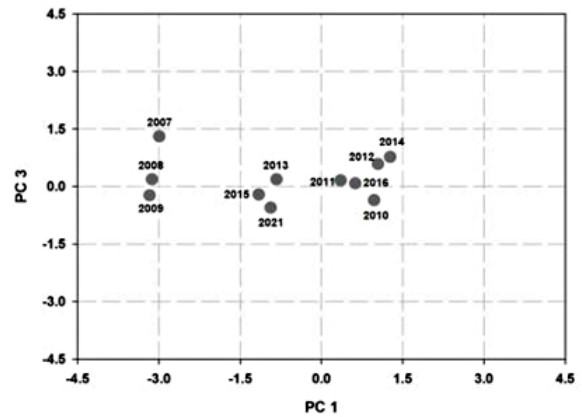
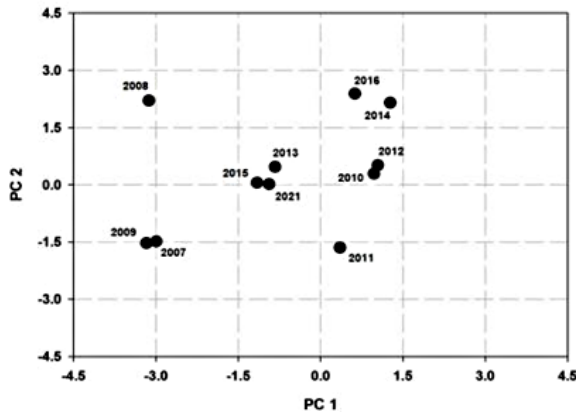


Fig. 4. Changes in principal component analysis score with cultivation year between PC1 · PC2 (left) and PC1 · PC3 (right) at Daegu.

제1주성분과 제3주성분의 분포비율을 살펴보면 제1주성분 점수가 높은 건물수량(/10a)은 924 kg, 2011년 773 kg, 2012년 890 kg, 2014년 805 kg, 2016년 445 kg이 해당되며, 평균 건물수량은 767 kg 이었다. 제1주성분이 다소 낮은 2013년은 건물수량(/10a)이 722 kg, 2015년 805 kg, 2021년 709 kg으로 평균 건물수량은 745 kg 이었으며, 제1주성분 점수가 낮은 2007년 826 kg, 2008년 335 kg, 2009년 747 kg 이었고 평균 건물수량은 636 kg을 나타내어 제1주성분 점수에 따른 건물수량이 크게 변동됨을 알 수 있었다.

수원지역에서도 대구지역과 마찬가지로 유사한 주성분 점수의 2차원 평면 분포를 나타내었다(Fig. 5). 제1주성분 점수가 높고 제2주성분 점수가 낮았던 2016년의 건물수량(/10a)은 1,112 kg, 2010년은 1,064 kg, 2011년에는 1,011 kg을 나타내었고, 제1주성분 점수가 높고 제2주성분 점수도 높은 2007년은 1,031 kg, 2013년은 1,249 kg 이었다. 제1주성분 점수가 다소 낮고 제2주성분 점수는 다소 높은 2009년은 887 kg, 2015년은 1,121 kg 이었으며, 제1주성분 점수가 낮고 제2주성분 점수도 낮은 2008년은 775 kg, 2012년은 696 kg, 2014년은 771 kg의 분포를 보였다.

제1주성분과 제3주성분의 분포비율을 살펴보면 제1주성분 점수가 높은 연도의 건물수량(/10a)은 2007년 1,031 kg, 2010년 1,064 kg, 2013년 1,249 kg, 2016년 1,112 kg, 2021년 1,119 kg 이었으며, 평균 건물수량은 1,098 kg으로 수량이 가장 많은 분포를 나타내었다. 이에 비해 제1주성분이 다소 낮은 2009년은 건물수량(/10a)이 887 kg, 2015년은 1,121 kg 이었으며, 평균 건물수량은 1,004 kg 이었고, 제1주성분 점수가 가장 낮은 2008년은 건물수량(/10a)이 775 kg, 2012년 696 kg, 2014년은 771 kg으로 평균 건물수량은 747 kg을 나타내어 수원지역에서도 제1주성분 점수에 따라 연차 간 건물수량의 변동이 크게 영향을 받는 것으로 알 수 있었다.

제1주성분은 수분 공급력과 관련한 강우일수, 강수량 그리고 기후적합도 종합배점 및 곡우호밀의 건물수량이 주요 설명변수에 해당되었고, 제2주성분은 출수소요일수와 수확소요일수, 그리고 제3주성분은 생초수량과 3월에서 5월까지의 일평균기온이 주요 설명변수에 해당되었다(Table 9).

#### IV. 고찰

호밀은 내한성이 뛰어나고 봄에 주요 작물을 심기 전에 수확하여 조사료로 사용할 수 있기 때문에 겨울에 재배하는 작물로 가장 널리 사용되고 있다(Snapp et al., 2005; Tonitto et al., 2006; Crowley et al., 2018).

호밀은 다른 작물과 마찬가지로 수량과 품질은 품종, 재배방법 및 환경요인에 큰 영향을 받는데, 특히 기온과 강수량은 사료작물의 수량에 가장 큰 영향을 끼치며 임계값을 초과할 때 수확량이 급격히 감소가 일어난다. 따라서 호밀 조사료의 안정적인 생산을 위해 재배적지 분석, 수확량 예측을 위한 연구가 절실하나 이에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다(Peng et al., 2016; Peng et al., 2018; Kim et al., 2019).

본 연구에서 국내에서 육성된 품종으로써 이모작 작부체계에 적합한 조생종의 특성을 가지고 있으며(Heo et al., 2004), 또 국내에서 유일하게 종자를 채종하여 보급종을 공급하는 등 넓은 재배면적을 가지고 있는 곡우호밀 품종의 안정 생산성을 제고시키기 위한 지표와 방법을 도출하기 위해 중부지역인 수원과 남부지역인 대구에서 11년간에 걸쳐 조사한 생육 및 수량 자료를 분석하였다. 이 분석에는 기후 적합도, 기상요인의 연차간 변화가 포함되었으며, 각 기상환경요인과 호밀의 생육 및 조사료 생산성과의 관계를 밝혀 재배환경에 대한 관리방법을 제시하는 것이었다.

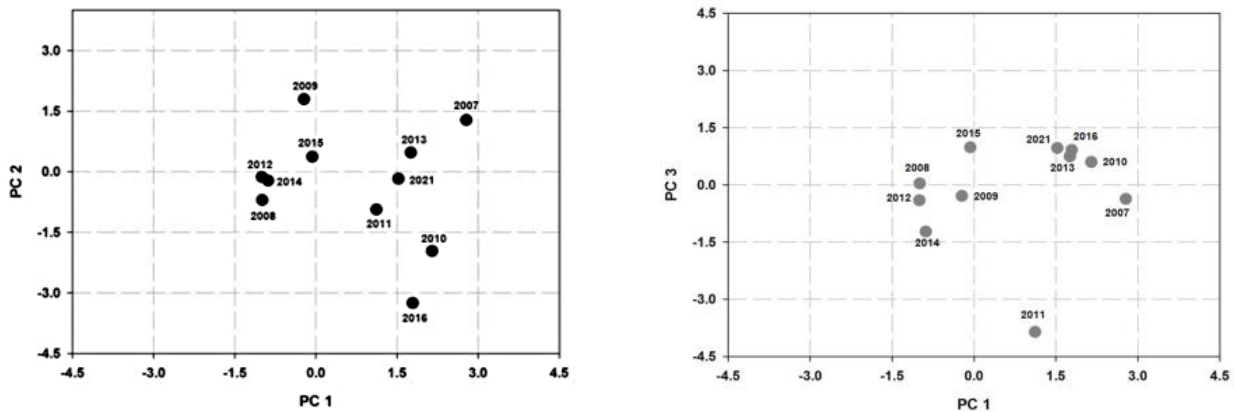


Fig. 5. Changes in principal component analysis score with cultivation year between PC1 · PC2 (left) and PC1 · PC3 (right) at Suwon.

곡우호밀의 지역간, 연차간 생육, 수량을 조사한 결과로 볼 때 한해, 초장 및 건물비율은 지역간/연차간 차이는 없었고, 도복의 발생은 지역간 차이가 있었으나, 연차간 차이는 없었다(Table 4, 5). 또한 생초와 건물수량은 수원지역이 대구지역보다 많았으나, 연차간 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 5). 이러한 결과는 호밀의 수량에 영향을 주는 한해, 초장, 도복 등 생육 및 내재해성과 생초 및 건물수량 등 수량 형질에는 연차 간에 발생하는 기상 영향이 크지 않은 것으로 본 연구에서 밝혀졌다. 이에 대해 Mukula and Rantanen (1989) 및 Peltonen-Sainio et al. (2009)은 호밀을 겨울철에 재배할 때 작물의 성장과 월동 능력에 가장 큰 영향을 주는 기상인자가 기온과 강수량이었다는 보고와 일치하여 건물 생산량은 비배관리보다 인위적으로 조절이 불가능한 기후조건의 영향이 더욱 많이 받고 있으므로 지역에 있어서 건물 수량 예측에도 영향을 미치리라 사료되었다. 또한 앞으로 기후는 더욱 따뜻해지고 생육기간도 길어질 것으로 예상되므로 길어진 봄철 재배기간으로 인해 가뭄의 위험이 더욱 심해질 것으로 전망된다. 따라서 재배지역의 기상조건이 곡우호밀의 생육과 수량에 더 큰 영향을 미치기 때문에 지역별 기상요소를 고려하여 재배적지를 구분하는 것이 합리적인 것으로 사료되었다.

연차별 기상요소를 활용하여 국내에서 육성한 곡우호밀을 재배하기 위한 기후적합도 분석, 기상요소와 생육·수량과의 상관 및 주성분분석을 실시하여 지역 간 및 연차 간 변화에 미치는 영향을 평가하였다. Peng et al. (2018)이 제시한 호밀의 안정 생산을 위한 환경요인의 적합도를 분석함에 있어서 본 연구가 시행된 기간에는 재배지역으로 선정된 대상지역이 저온의 피해가 매우 적었고, 봄철 생육에 있어서도 양호한 기온조건이 유지되어 온도 조건 상 적합지역으로 분류되었다(Table 7). 그러나 파종기로부터 수확기까지의 강우일수와 강수량의 차이가 크게 발생하여 기온 상승과 함께 강수량의 부족으로 인한 수량 감소를 초래하여 기후적합도에서 유의미한 영향을 줄 수 있다는 Cabas et al.(2010)의 연구와 유사한 결과를 도출하였다. 특히 이러한 결과는 상관분석 결과 호밀의 재배기간동안 강우일수 및 강수량이 건물수량과 유의한 관계를 나타내어 강우인자가 건물수량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다(Table 8). 이는 작물체에서 증산이 작물 생산성, 환경 중에서 물의 순환을 결정하는 중요한 특성이며(Colaizzi et al., 2017; Djaman et al., 2018), 기온과 강수량을 포함한 농업의 기상적 요인이 작물 수량과 관계가 크다고 보고한 Sukhoveeva (2014)의 결과와도 일치하였다.

본 연구에서도 호밀을 재배하는 기간동안의 일평균기온, 강우일수, 강수량, 기후적합도 종합배점과 호밀의 생산성과 관련된 인자들의 주성분분석을 실시한 결과를 보면 수분 공급과 관련된 기후인자와 이에 따른 호밀의 건물수량이 첫 번째 주성분으로 도출되었다(Figs. 3, 4 and 5).

이러한 결과로부터 국내 육성 곡우호밀의 생산성 변동에는 강우일수와 강수량과 같은 수분 공급과 관련된 기상인자가 큰 영향을 미치므로 호밀의 안정적인 수량 확보를 위해서는 강우 인자를 고려한 재배적지의 선정과 더불어 가뭄해가 발생할 경우 관수 등의 적절한 조치가 필요한 것으로 고찰되었다.

## V. 요약

이 연구는 경기도 수원과 대구지역에서 11년 동안 수행된 호밀 재배 시험 성적과 기상자료를 분석하여 생육특성과 수량성을 비교하고, 그것에 관여하는 요인을 분석하여 국내에서 육성된 호밀품종 “곡우”의 재배적지를 설정하는데 활용하기 위해 실시되었다. 연구 결과, 대구와 수원지역은 호밀 재배에 적합한 기후를 가지고 있으며, 수원지역은 대구지역에 비해 수분 공급력이 우수하였다. 또한, 기후적합도를 분석한 결과, 수분 공급력과 깊은 관계가 있는 호밀의 재배기간 중 강우일수와 강수량이 호밀의 생육과 수량에 영향을 미치는 요소로 확인되었다. 이 연구는 상관 및 주성분 분석을 통해 기후와 호밀의 생육 및 수량 요소 간의 관계를 평가하였고, 재배지역 간의 차이를 확인하였다. 이 연구는 국내에서 육성된 호밀 품종의 재배에 유용한 정보를 제공하고, 재배적지를 결정하는데 도움을 줄 수 있다.

## VI. REFERENCES

- Altpeter, F. 2006. Rye (*Secale cereale* L.). In: K. Wang (Ed.), *Agrobacterium protocols*. Humana Press, Totowa, US. pp. 223-232.
- Cabas, J., Weersink, A. and Olale, E. 2010. Crop yield response to economic, site and climatic variables. *Climatic Change*. 101:599-616.
- Colaizzi, P.D., O'Shaughnessy, S.A., Evett, S.R. and Mounce, R.B. 2017. Crop evapotranspiration calculating using infrared thermometers abroad pivots. *Agricultural Water Manage.* 187:173-189.
- Crowley, K.A., Van Es, H.M., Gómez, M.I. and Ryan, M.R. 2018. Trade offs in cereal rye management strategies prior to organically managed soybean. *Agronomy Journal*. 110(4):1492-1504.
- Djaman, K., O'Neill, M., Owen, C.K., Smeal, D., Koudahe, K., West, M., Allen, S., Lombard, K. and Irmak, S. 2018. Crop evapotranspiration, irrigation water requirement, and water productivity of maize from meteorological data under semi-arid climate. *Water*. 10:405-422.
- Geiger, H.H. and Miedaner, T. 2009. Rye (*Secale cereale* L.). In: M.J. Carena (Ed.), *Cereals*. Springer. New York. US. pp. 157-181.

## Analysis for Selecting Suitable Cultivation Areas of Korean Forage Rye Cultivar

- Han, O.K., Song, J.H., Ku, J.H., Kim, D.W., Kwon, Y.U., Lee, Y.Y., Park, C.H., Kweon, S.J. and Ahn, J.W. 2018. Development of optimal seed production methods using domestic rye cultivar in central and north area of Korea. *Journal of the Korean Grassland and Forage Science*. 38(1):44-52.
- Hurry, V.M., Keerberg, O., Pärnik, T., Gardeström, P. and Öquist, G. 1995. Cold-hardening results in increased activity of enzymes involved in carbon metabolism in leaves of winter rye (*Secale cereale* L.). *Planta*. 195:554-562.
- Heo, H.Y., Park, H.H., Kwon, Y.U., Kim, J.G., Nam, T.H., Kim, S.T. and Lee, J.K. 2004. A new high yielding rye variety "Gogu." *Treatise of Crop Research*. 6:59-66.
- Hyeon, G.S., Kim, S.M., Song, K.C., Yeon, B.Y. and Hyun, D.Y. 2009. Establishment of the suitability class in ginseng cultivated lands. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 42(6):430-438.
- Kim, M.J., Peng, J.L. and Sung, K.I. 2019. Causality of climate and soil factors affecting whole crop rye (*Secale cereale* L.) yield as part of natural ecosystem structure via longitudinal structural equation model in the Republic of Korea. *Grassland Science*. 66:110-115.
- Kim, S.O., Chung, U.R., Kim, S.H., Choi, I.M. and Yun, J.I. 2009. The suitable region and site for Fuji apple under the projected climate in South Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 11:162-173.
- Kim, W.H., Kim, K.Y., Jung, M.W., Ji, H.C., Chul, J.N., Lim, Y.C., Seo, S., Baek, K.S. and Yoon, B.K. 2010. Dry matter yield and forage quality at mixture of annual legumes and rye on paddy field. *Annals of Animal Resources Sciences*. 21:107-111.
- Kim, Y.W., Jang, M.W., Hong, S.Y. and Kim, Y.H. 2012. Assessing southern-type garlic suitability with regards to soil and temperature conditions. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 2:266-271.
- Mukula, J. and Rantanen, O. 1989. Climatic risks to the yield and quality of field crops in Finland. III. Winter rye 1969-1986. *Annales Agriculturae Fenniae*. 28:3-119.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. and Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: Changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science*. 18:171-190.
- Peng, J.L., Kim, K.D., Jo, M.H., Kim, M.J., Lee, B.H., Kim, J.Y., Chemere, B., Kim, S.C., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2018. Climatic suitability mapping of whole-crop rye cultivation in the Republic of Korea. *Journal of the Korean Grassland and Forage Science*. 38(4):337-342.
- Peng, J.L., Kim, M.J., Kim, B.H. and Sung, K.I. 2016. A yield estimation model of forage rye based on climate data by locations in South Korea using general linear model. *Journal of the Korean Society*. 36(3):205-214.
- Seo, M.J., Han, K.H., Jung, K.H., Zhang, Y.S. and Choi, S.Y. 2016. Effect of temperature and plow pan on water movement in monolithic weighable lysimeter with paddy sandy loam soil during winter season. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 49:300-309.
- Snapp, S.S., Swinton, S.M., Labarta, R., Mutch, D., Black, J.R. and Leep, R. 2005. Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. *Agronomy Journal*. 97:322-332.
- Sukhoveeva, O.E. 2014. Analyzing the impact of agrometeorological factors on winter rye yield in the Central Non-Black soil zone. *Russian Meteorology and Hydrology*. 39:762-767.
- Tonitto, C., David, M.B. and Drinkwater, L.E. 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer intensive cropping systems. A meta analysis of crop yield and N dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 112:58-72.
- Yun, J.I. 2003. Predicting regional rice production in South Korea using spatial data and crop-growth modeling. *Agricultural Systems*. 77:23-38.

(Received : May 08, 2023 | Revised : June 20, 2023 | Accepted : June 21, 2023)