

## 멕시코 톨루카 지역의 겨울 기온상승에 따른 한국 밀 품종의 출수생태 변이

박태일<sup>1</sup> · 정유란<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 작물육종과, <sup>2</sup>APEC 기후센터 응용사업팀  
(2016년 7월 5일 접수; 2016년 8월 12일 수정; 2016년 9월 5일 수락)

### Variation in Heading States of Korean Winter Wheat under Winter Temperature Rise of Toluca in Mexico

TaeIl Park<sup>1</sup> and Uran Chung<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Crop Breeding Research Division, National Institute of Crop Science, RDA

<sup>2</sup>Climate Application Team, Climate Application Department, APEC climate Center

(Received July 5, 2016; Revised August 12, 2016; Accepted September 5, 2016)

#### ABSTRACT

The shuttle breeding of Korean winter wheat has been able to develop high-yielding and day-length-intensive varieties with a wide range of ecologic adoption. However, the phenology of winter wheat has been changed due to recent rises in the winter temperature of Toluca and increasing frequency of high temperatures. We defined two wheat groups (group II and III) with vernalization and evaluated the impact of cold exposure duration and heading ratio due to changes in sowing dates by measuring changes in cold exposure duration and corresponding heading states of each group. The wheat cultivars were sown on three dates in two years. The cold exposure requirement of wheat sown on 6 November 2013 was unfulfilled. The cold exposure requirement of wheat sown on 22 November and 6 December 2013 was fulfilled. However, in 2014, the cold exposure requirement of wheat sown on 5 and 20 November was fulfilled, but that of wheat sown on 5 December was unfulfilled. The differences for the two early November sowings were because winter temperature rises, which caused high temperatures in 2013, whereas early November 2014 saw normal temperatures for the area. The heading ratio of group II did not show a clear difference among the three sowing dates, while the heading ratio of group III was reduced by about half. This implies that the efficiency of shuttle breeding of group III will be high since it showed strong sensitivity to changes in sowing dates. We calculated future sowing dates of each group under near future climate scenarios; the future available sowing dates of group II were projected, but the dates of group III were never estimated in the temperature rise scenario in Toluca. Our findings suggest that change of sowing dates should be considered in the strategy for shuttle breeding of Korean winter wheat.

**Key words:** Cold exposure duration, Vernalization, Winter wheat, Sowing day, Winter temperature rise



\* Corresponding Author : Uran Chung  
(uchung@apcc21.org)

### I. 서론

우리나라의 식량자급률과 곡물자급률은 1970년 86%와 80%를 기록한 이후 계속해서 하락하여 2014년에는 약 50%와 24%까지 하락하였다. 우리나라 국민이 소비하는 곡물의 4분의 3 이상을 수입에 의존하고 있어 우리나라의 곡물자급률은 OECD(The Organization for Economic Co-operation and Development) 34개국 중에서 현재 29위로 매우 낮은 수준이다(농림축산식품부, 2015). 이러한 가운데, 밀은 소비량이 계속 증가하여 연간 소비량이 일인당 2014년에 31.6kg으로 쌀의 65.1kg 다음으로 높은 반면, 자급률은 1% 대로 거의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 재배면적 감소 등 생산기반이 계속 감소하고 있어 식량 및 곡물자급률을 높이는 데에는 한계가 있다. 더욱이 최근 기후변화에 의한 이상 기후의 빈번한 발생은 식량 및 곡물자급률 향상에 새로운 변수가 될 뿐 아니라 식량안보의 불확실성을 높이고 있다. 많은 선진 농업국가들은 이러한 기후변화에 대한 대응으로 현재 품종을 냉해와 동해, 혹은 고온에 강한 품종으로 개량하거나 미래 기후에 적응할 수 있는 신품종 개발에 노력하고 있다. 쌀의 경우, 기후대별 작황시험과 국제미작 연구소(International Rice Research Institute, IRRI)에서 한반도의 아열대 기후에 대한 기후변화대응 전략으로 미래 예측기후에 적응하는 신품종 개발 및 적응성 연구 등이 활발히 진행되고 있다(농촌진흥청, 2015; 국립식량과학원, 2015). 밀에서도 1996년 이후, 국제옥수수 및 연구소(International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT)와 협력하여 한국의 기후에 맞는 밀

육종 및 적응시험을 국제공동연구로 추진하여 왔다(농촌진흥청, 2013). CIMMYT의 밀 육종은 연구소 본부가 위치한 멕시코의 엘바탄(El Batan)과 고온 및 한발 저항성 검정을 위한 오브레곤(Oregon), 주로 녹병 검정을 위한 톨루카(Toluca) 등 3 지역에 포장이 위치하고 있다. 최근 CIMMYT의 밀 작황시험장이 위치한 멕시코의 오브레곤 뿐만 아니라 톨루카의 겨울 기온이 상승하면서 밀의 파종시기가 변화되었다. 특히, 겨울 밀의 경우 파상(vernalization)소거에 필요한 저온 노출지속기간이 충족되지 않아서 밀의 출수뿐만 아니라 생육상태가 불안정하였다. 본 연구는 멕시코 톨루카의 최근 겨울 기후의 변화에 따른 저온 노출지속기간의 변화와 출수에 미치는 영향을 분석함으로써 우리나라 겨울 밀의 육종 및 적응시험(shuttle breeding)에 필요한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다. 또한 톨루카의 미래 기후변화 시나리오 전망으로부터 우리나라 겨울 밀 품종의 저온 노출지속기간의 변화에 따른 미래 적정 파종시기의 변화를 전망해 보았다.

### II. 재료 및 방법

#### 2.1. 기후특성

겨울 밀 육종 및 적응시험이 진행되는 톨루카는 해발고도 약 2,640m의 고원으로 6~9월이 우기, 11~2월이 건기로 각각 우리나라의 여름과 겨울 기후와 비슷한 조건을 가진 곳이다(Fig. 1). 톨루카 시험포장에 설치된 자동 무인기상관측기로부터 기후자료(1981-2014년)를 수집하였다. 수집된 기상변수는 일별 최고 및 최저기온

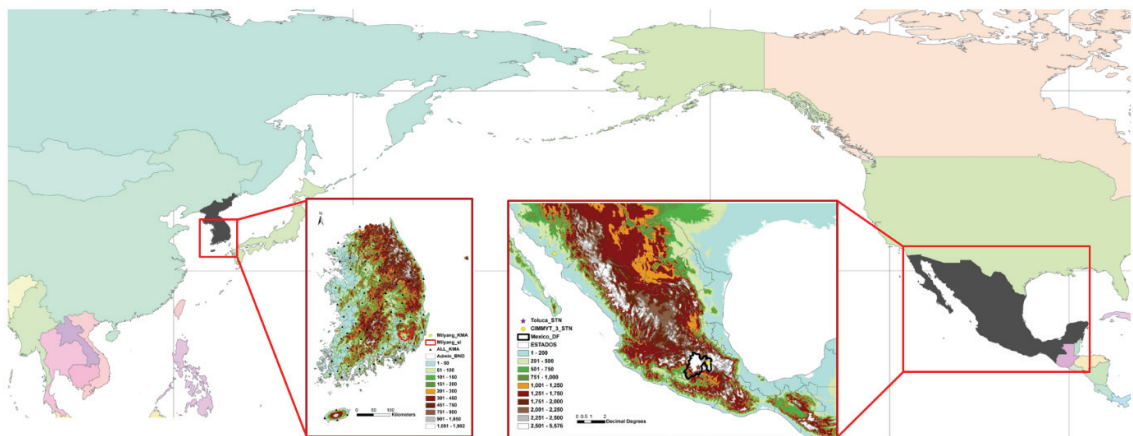


Fig. 1. The map of study area and zoom up of Milyang of South Korea (left) and Toluca of Mexico (right) where shuttle breeding has been carried out.

**Table 1.** The information of 12 CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) GCMs (global climate models) used in the study

Model	Origin	Country	Resolution
BCC-CSM1.1	Beijing Climate Center, Meteorological Administration	China	2.8° x 2.8°
CSIRO-ACC1.0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Queensland Climate Change Center of Excellence	Australia	1.9° x 1.2°
CSIRO-ACC1.3			1.9° x 1.9°
CSIRO-MK3.6			1.9° x 1.9°
GFDL-ESM2G	NOAA/GFDL (Geophysical Fluid Dynamic Laboratory)	USA	2.5° x 2.0°
GFDL-ESM2M			2.5° x 2.0°
NCAR-CCSM4	NCAR (National Center for Atmospheric Research)		1.25° x 0.94°
INMCM4	Institute for Numerical Mathematics	Russia	2° x 1.5°
IPSL-CM5A-LR	Institute Pierre Simon Laplace	France	3.75° x 1.8°
MIROC-ESM	Atmosphere and Ocean Research Institute, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	Japan	2.8° x 2.8°
MIROC-ESM-CHEM			2.8° x 2.8°
MPI-ESM	Max Planck Institute for Meteorology	Germany	1.88° x 1.87°

과 강수량이다. 톨루카 지역의 기후와 비교하기 위해 밀 작황 및 적응시험장이 위치한 밀양에서 기상자료를 수집하였다. 밀양의 기상자료는 포장 인근에 위치한 (0.5km 떨어진 위치) 기상청 무인기상관측소(지점명: 밀양)에서 1981년부터 2014년까지 일별 최고 및 최저기온과 강수량 관측자료를 수집하였다. 미래 기후변화 시나리오(AR5) 전망 자료에 대해서는 CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research)의 CCAFS (Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security, <http://www.ccafs-climate.org/data>) 을 통해서 CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) data를 획득하였으며, CO<sub>2</sub> emission 에 따른 복사 강제력으로 구분된 RCP (Representative Concentration Pathway) 4.5와 8.5를 이용하였다. 본 연구에서 이용한 전지구 기후모형(Global Climate Models, GCMs)의 멤버는 12개로써 2020년에서 2049년(2030s)까지의 월별 최고 및 최저기온을 수집하였다(Table 1). 그러나 저온 노출지속기간을 계산하기 위해 필요한 일별 기온자료는 수집된 월별 미래 기온변화 시나리오 자료를 조화분석법 (Seino, 1993; Yun, 2006)에 의해 일별 기온으로 상세화하였다.

## 2.2. 저온노출지속기간과 파종일

1996년부터 현재(2015년)까지 CIMMYT와 함께 우리나라 겨울 밀의 품종 개량을 위한 shuttle breeding 연구가 수행되어 왔다(농촌진흥청, 2013). 2013년 교배에 사용된 품종은 약 80여개이며, 이 중에서 우리나라의 공시품종은 약 32종이었다. 밀 파종시기를 결정하는 여러 요인 중에 파성은 중요한 생리적 특성으로 국립식량과학원의 파성 검정방법에 의하면 저온 노출지속일수에 따라 파성 소거 그룹을 4개(Group I, II, III, and IV)로 구분할 수 있다(국립식량과학원, 2013; Wang *et al.*, 1995). 그룹 I은 춘파성으로 9개의 엽이 전개되는데 약 45일 동안 저온에 지속적으로 노출되어야 하며, 그룹 II도 춘파성으로 저온 노출지속기간이 70일 이내에 13개의 엽이 전개된다. 그룹 III은 15개의 엽이 전개되는데 100일의 저온 노출지속기간이 필요하며, 그룹 IV도 지엽 전개까지 걸리는 일수가 100일이 넘어 추파성으로 정의된다(Table 2). 또한 국립식량과학원의 파성 검정방법에서 저온 처리 온도를 4°C로 두었기 때문에 본 연구에서 저온 노출지속기간을 계산하기 위해 동일하게 4°C를 저온 기준으로 설정하였다.

**Table 2.** The Korean winter wheat varieties which applied to shuttle breeding in Toluca. There are two groups in Korean winter wheat depending on cold exposure duration for vernalization; Group II requires cold exposure duration during 70 days and Group III needs 100 days

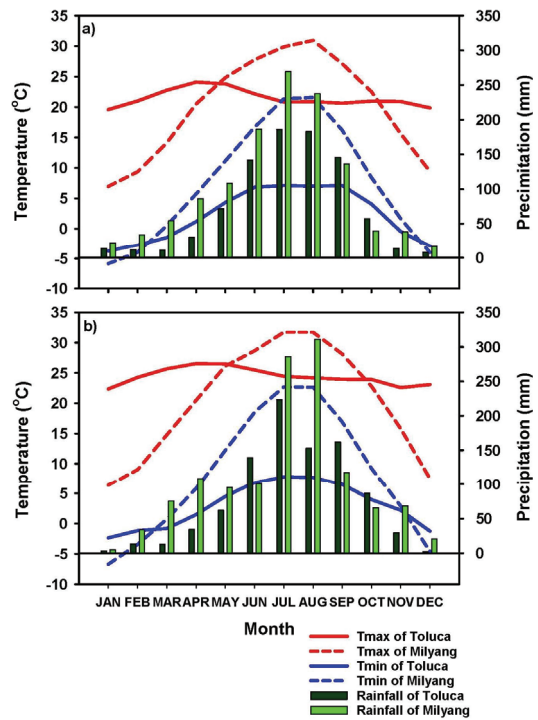
Grouping for vernalization	Variety	Cold exposure duration
Group II	Saeol, Milsung, Jokyung, Baekjoong, Jeokjoong, Dajoong, Goso, Iksan334	70days
Group III	Keumkang, Seodun, Jinpoom, Joeun, Anbaek, Jopoom, Shinmichal, Jonong	100days

톨루카에서 CIMMYT의 봄 밀 교배 품종은 2013년에 약 2주 간격으로 3회(11월 6일, 11월 22일, 그리고 12월 6일) 파종되었고, 우리나라의 겨울 밀 그룹 II와 그룹 III 교배 품종은 2014년에 약 2주 간격으로 3회(11월 5일, 20일, 12월 4일) 파종되었다. 파종시기에 대한 정보는 파종 후 파성 소거에 필요한 저온 노출지속기간의 계산을 통해 파종시기를 역산해서 획득할 수 있지만, 일반적으로 파종시기는 매년 같은 시기에 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 그룹별로 매년 10월 1일부터 하루 간격으로 파종한다는 가정하에 매일 달라지는 파종시기에 따른 파성 소거에 필요한 저온 노출지속기간을 산출하였다. 또한, 2013년과 2015년에 파종한 CIMMYT의 봄 밀 교배 품종과 우리나라 겨울 밀 교배 품종에 대하여 파종시기 이동에 따른 저온 노출지속기간의 변화가 출수율에 미치는 영향을 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

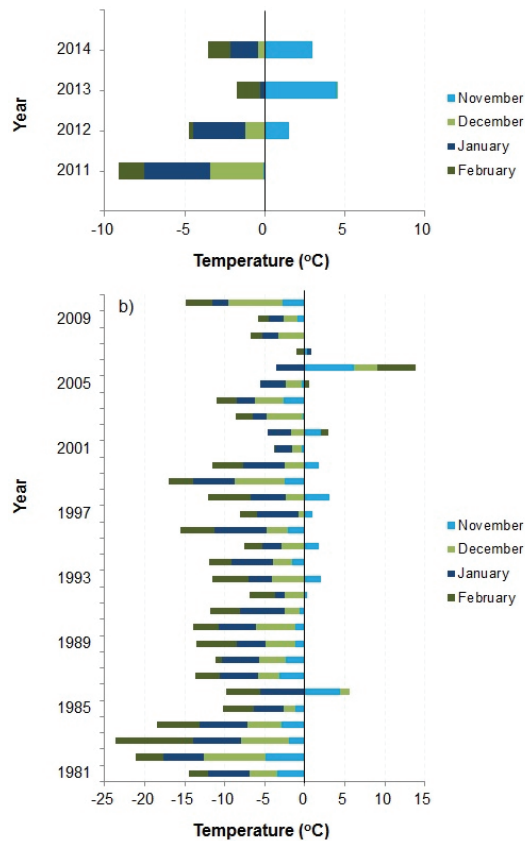
#### 3.1. 겨울기온의 상승

멕시코 톨루카와 한국 밀양의 일별 최고기온의 월별 분포의 경우, 톨루카의 월별 일 최고기온의 분포는 연중 변화가 크지 않지만, 밀양에서는 봄에서 여름으로 갈수록 기온이 상승하고 가을에서 겨울로 갈수록 기온이 감소하는 경향으로 월별 분포가 다르게 나타났다. 일별 최저기온과 일별 적산 강수량의 월별 분포는 절대적인 값의 차이는 컸지만, 대체로 비슷한 시계열적 양상을 보였다(Fig. 2a and 2b). 즉, 여름에는 최저기온의 상승과 강수량의 증가하고 겨울로 갈수록 기온은 낮아지고 강수량은 감소하는 경향이 비슷하였다. 톨루카에서 과거 30년(1981-2010) 보다 최근 4년(2011-2014) 동안의 겨울철 강수량 감소가 뚜렷한 반면, 밀양의 겨울철 강수량은 다소 증가한 것으로 나타났다. 일별 최고기온의 경우, 두 지역에서 최근 4년 동안 평균 1°C, 일별 최저기온은 1.5°C 상승한 것으로 나타났다. 특히, 톨루카의 겨울철



**Fig. 2.** The climatic properties of Toluca in Mexico and Miryang in South Korea during 1981 to 2010 (a) and during the last four (2011-2014) years (b).

일별 최저기온이 크게 상승한 것으로 나타났다(Fig. 3a and 3b). 톨루카에서 분석기간(1981-2014) 동안 11월 일별 최저기온이 0°C 이상이 나타나기 시작한 것은 1986년이며, 1993년 이후부터는 11월 일별 최저기온이 0°C 이상인 날이 비교적 자주 발생하였고 2006년에는 6°C 이상 상승된 것으로 나타났다(Fig. 3b). 2006년 이후 2010년까지 11월부터 겨울 기간 동안 0°C 이상의 일별 최저기온이 나타나지 않았지만 2011년부터 최근 4년 동안 11월 일별 최저기온이 다시 상승하였다(Fig. 3a). 톨루카의 11월 일별 최저기온에서 이상 고온 현상을 보인 해는 대체로 엘니뇨/라니냐가 발생한 연도와 주기가 비



**Fig. 3.** The change of daily minimum temperature of Toluca in Mexico from November to February of next year during 2011-2014 (a) and 1981-2010 (b), respectively.

교적 일치하는 것으로 나타났다(data not shown). 엘리노나 라니냐와 같은 기후변화가 미치는 영향은 우리나라에서는 비교적 크지 않지만, 멕시코가 위치한 북 및 중앙 아메리카와 남 아메리카는 그 영향권에 속한다(Magaña *et al.*, 2003; Rhoda and Burton, 2010). 따라서 톨루카나 오브레곤에서 우리나라 적용 맥류 및 옥수수의 육종 전략을 위한 파종시기를 결정할 때는 엘리노나 라니냐와 같은 기후변화가 그 해의 겨울 기후에 미치는 영향, 즉 계절 예측 전망 등을 참고할 필요가 있다.

**3.2. 저온지속기간과 파종일의 변화**

Table 3은 과거 30년(1981-2010) 동안 톨루카에서 10월 1일부터 1일 간격으로 파종한다는 가정하에 밀 품종 그룹별 저온 노출지속기간을 만족하기 시작한 첫 번째 파종시기(starting sowing date)와 마지막 파종시기(ending sowing date)를 분석한 결과이다. Shuttle breeding에 참여하지 않은 그룹 I과 그룹 IV는 분석에서 제외하였

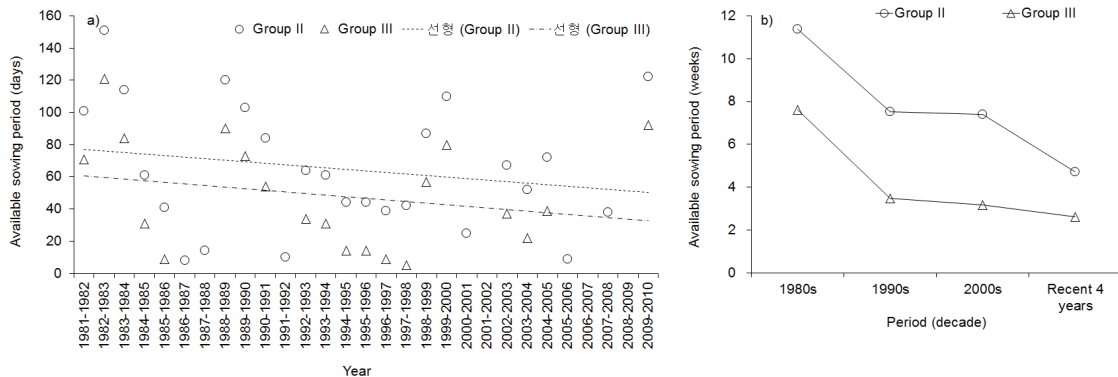
**Table 3.** Calculation for the potential available starting and ending sowing date during 1981 to 2010 on each group. Group II of Korean winter wheat requires cold exposure duration of 70 days for vernalization and Group III needs 100 days

Year	Group II		Group III	
	Starting day	Ending day	Starting day	Ending day
1981-1982	306	42	306	12
1982-1983	289	75	289	45
1983-1984	313	62	313	32
1984-1985	333	29	333	364
1985-1986	361	37	361	5
1986-1987	347	355	no calculation	
1987-1988	317	331	no calculation	
1988-1989	297	52	297	22
1989-1990	314	52	314	22
1990-1991	322	41	322	11
1991-1992	312	322	no calculation	
1992-1993	25	89	25	59
1993-1994	334	30	334	365
1994-1995	357	36	357	6
1995-1996	362	41	362	11
1996-1997	354	28	354	363
1997-1998	2	44	2	7
1998-1999	330	52	330	22
1999-2000	303	48	303	18
2000-2001	327	352	no calculation	
2001-2002		no calculation		
2002-2003	320	22	320	357
2003-2004	314	1	314	336
2004-2005	279	351	279	318
2005-2006	316	325	no calculation	
2006-2007		no calculation		
2007-2008	341	14	no calculation	
2008-2009		no calculation		
2009-2010	306	63	306	33

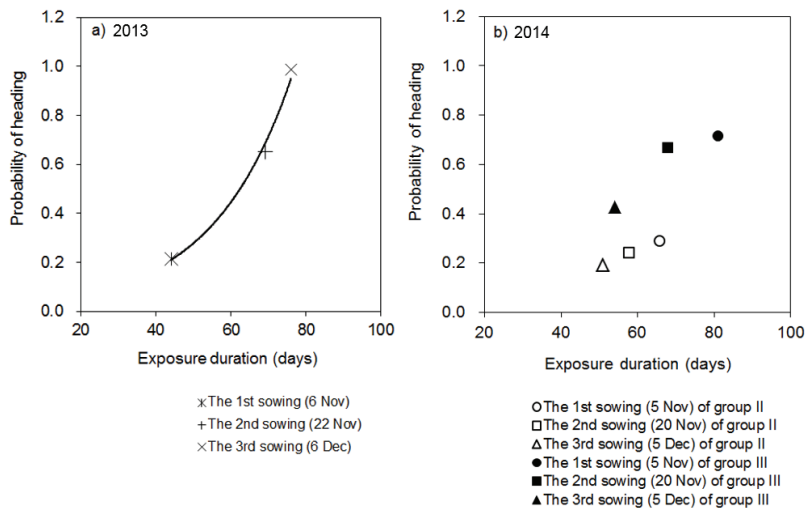
다. 과거 30년 동안 그룹별 저온 노출지속기간을 충족하기 시작한 첫 파종시기는 대부분 11월부터였지만, 1992년과 1997년에는 1월이 저온 노출지속기간을 충족하는 첫 파종시기로 계산되었다. 춘파성인 그룹 II의 경우, 마지막 파종시기가 3월까지도 가능한 것으로 계산되었지만

추파성인 그룹Ⅲ은 대부분의 마지막 파종시기가 1월 초로 나타났다. 11월에 이상 고온이 나타난 해였던 2006년에는 전체 그룹에서 저온 노출지속기간을 만족하는 파종시기를 전혀 예측할 수 없었다. 그룹Ⅲ의 경우, 2000년대 후반부터 저온 노출지속기간을 만족하는 파종시기는 빈번히 예측되지 않았다. 또한, 과거 30년 동안 저온 노

출지속기간을 만족하는 매년 적정 파종시기(available sowing date)를 계산하고, 마지막 파종시기에서 첫 파종시기를 뺀 적정 파종기간(available sowing period)을 계산하였다(Fig. 4a and 4b). 톨루카에서 파종 그룹별로 파종이 가능한 시기는 지속적으로 감소하는 것을 알 수 있었다(Fig. 4a). 특히, 추파성인 그룹Ⅲ의 경우 최근 4년



**Fig. 4.** The calculated available sowing days for each group of Korean winter wheat in Toluca during 1981-2010 (a) and each decadal available sowing season (b). Group II of Korean winter wheat needs cold exposure duration of 70 days for vernalization and Group III requires 100 days. Empty circle presents for Group II and empty triangle presents for Group III, respectively.



**Fig. 5.** The probability of heading on the exposure duration of CIMMYT cross-breeding genotypes during November to December of 2013 (a). The X and cross symbols present the probability of heading of wheat were sown at 6 and 22 November in 2013, respectively. The asterisk symbol presents the probability of heading of wheat were sown at 6 December in 2013. The probability of heading on exposure duration of Korean winter wheat genotypes during November to December of 2014 (b). Group II of Korean winter wheat needs cold exposure duration of 70 days for vernalization and Group III requires 100 days. Empty symbols present for Group II which were sown at 5 and 20 November and 5 December in 2014, respectively. Solid symbols present for Group III which were sown at 5, 20 November, and 5 December in 2014, respectively.

**Table 4.** The potential sowing periods for sowing of each group of Korean winter wheat under future climate change on 12 global climate models (GCMs) of RCP 4.5 scenario. Group II of Korean winter wheat needs cold exposure duration of 70 days for vernalization and Group III requires 100 days

	RCP 4.5					
	Group II			Group III		
	Starting date	Ending date	Available period for sowing	Starting date	Ending date	Available periods for sowing
BCC-CSM1.1						
CSIRO-ACC1.0						
CSIRO-ACC1.3						
CSIRO-MK3.6	12 Nov	22 Dec	6 weeks	12 Nov	22 Nov	1 week
GFDL-ESM2G	14 Dec	15 Dec	1 day			
GFDL-ESM2M	7 Dec	11 Dec	4 days			
INMCM4	25 Nov	27 Dec	5 weeks	25 Nov	27 Nov	2 days
IPSL-CM5A-LR						
MIROC-ESM						
MIROC-ESM-CHEM						
MPI-ESM						
NCAR-CCSM4						

동안 적정 파종기간이 한 달 이내로 급격히 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 4b).

2013년과 2014년에 파종된 CIMMYT 교배 품종과 우리나라 겨울 밀 교배 품종의 출수생태를 그룹별 저온 노출지속기간의 변화와 결합하여 파종시기의 변화에 따른 저온 노출지속기간과 출수율에 미치는 영향을 분석하였다(Fig. 5a and 5b). 2013년 11월 6일과 22일, 12월 6일의 파종시기부터 계산된 저온 노출지속기간과 이들 시기에 파종된 CIMMYT 교배 품종의 출수율을 비교하였다(Fig. 5a). 1차(11월 6일) 파종된 경우, 저온 노출지속기간은 44일로 계산되었으며 출수율은 0.2로 낮았다. 2차(11월 22일) 때 파종된 경우, 저온 노출지속기간은 69일로 계산되었으며 출수율은 0.7로 1차 파종시기보다 훨씬 좋은 결과를 보였다. 3차(12월 6일)에 파종된 경우, 저온 노출지속기간이 76일로 계산되었고 출수율은 1.0으로 대부분 양호한 상태로 출수하였다. 이와 같이 충분한 저온 노출지속기간을 가지면 출수율이 높은 것으로 나타났다. 2013년 11월 6일에 파종한 것이 11월 22일과 12월 6일에 파종한 것보다 생육상태가 양호하지 못하고 출수율이 낮았던 것은 톨루카의 2013년 11월 기온이 크게 상승(4.5°C 이상) 해서 파종 직후 한달 이상 동안 충분한 저온 노출지속기간을 갖지 못했기 때문인 것으로 판단된다.

2014년 11월 5일과 20일, 12월 4일의 3번의 파종시기 변경으로부터 각각 계산된 저온 노출지속기간과 3월 19일부터 5차례 조사된 우리나라 겨울 밀의 출수율을 비교하였다(Fig. 5b). 11월 5일에 파종된 그룹 II와 그룹 III의 저온 노출지속기간은 각각 66일과 82일로 계산되었으며 출수율은 각각 0.28과 0.72로 분석되었다. 11월 20일에 파종된 그룹 II와 그룹 III의 저온 노출지속기간은 각각 57일과 69일이었으며 출수율은 각각 0.23과 0.66으로 나타났다. 12월 4일에 파종된 그룹 II와 그룹 III의 저온 노출지속기간은 각각 51일과 57일로 계산되었고 출수율은 각각 0.19와 0.41로 나타났다. 그룹 III의 경우 11월 5일과 20일 파종에서 저온 노출지속기간이 각각 82일과 69일로 충분한 저온 노출지속기간을 갖지 못했음에도 불구하고 0.72의 출수율을 보였는데, 그룹 III의 추파성이 어느 정도 소거되는 것으로 보인다. 그러나 그룹 II의 경우 11월 5일과 20일 파종에서 저온 노출지속기간이 평균 62일, 출수율은 평균 0.25로 비교적 낮아, 추파성인 그룹 II의 shuttle breeding 효과가 추파성인 그룹 III 보다 낮을 것으로 판단된다.

### 3.3. 미래 파종일의 변화

멕시코 톨루카 지역에 대한 RCP 4.5와 RCP 8.5의 12개 전지구 기후모형(Global Climate Models, GCMs)

**Table 5.** The potential sowing periods for sowing of each group of Korean winter wheat under future climate change on 12 global climate models (GCMs) of RCP 8.5 scenario. Group II of Korean winter wheat needs cold exposure duration of 70 days for vernalization and Group III requires 100 days

RCP 8.5						
Group II			Group III			
Starting date	Ending date	Potential periods for sowing	Starting date	Ending date	Available period for sowing	
BCC-CSM1.1						
CSIRO-ACC1.0						
CSIRO-ACC1.3						
CSIRO-MK3.6						
GFDL-ESM2G	12 Dec	15 Dec	3 days			
GFDL-ESM2M						
INMCM4						
IPSL-CM5A-LR						
MIROC-ESM						
MIROC-ESM-CHEM						
MPI-ESM						
NCAR-CCSM4						

의 가까운 미래 기후변화(2020-2049년) 시나리오 전망으로부터 우리나라 겨울 밀의 그룹별 저온 노출지속기간에 따른 미래 적정 파종시기를 계산하였다(Table 4 and 5). RCP 4.5 시나리오에서 그룹 II의 경우, 12개 GCMs 중에서 4개의 GCMs만이 저온 노출지속기간을 충족하는 미래 적정 파종시기를 예측하였다. 그룹 III에서는 단 2개의 GCMs에서만 미래 적정 파종시기가 예측되었다. 또한 예측된 미래 적정 파종기간은 그룹 II에서는 최대 6주, 그룹 III에서는 단 1주로 미래 적정 파종시기가 매우 단축될 것으로 예측되었다. RCP 8.5에서, 그룹 II의 경우, 단 1개의 GCM에서만 미래 적정 파종시기가 예측되었다. 그룹 III의 경우, 12개 GCMs에서 미래 적정 파종시기는 톨루카 지역에서 더 이상 나타나지 않는 것으로 예측되었다.

#### IV. 결 론

겨울 밀은 품종고유특성인 파성 정도에 따라 재배기간 동안 충분히 저온에 노출되지 못하면 출수가 어렵다(Allard *et al.*, 2012). 최근 멕시코 톨루카의 가을-겨울 기후 및 기상의 이상 변동이 현저하게 증가했기 때문에 파성 소거에 필요한 저온 노출지속기간을 확보하기 위한 파종시기의 이동이 불가피하고, 저온 노출지속기간

을 충분히 확보할 수 있는 적정 파종시기의 예측도 필요하였다. 우리나라 겨울 밀의 품종개량 및 적응시험에서 추파성인 그룹 II는 3번의 파종시기 변경에 따라 출수율의 증감 차이가 확실하지 않았는데, 추파성인 그룹 III는 3차 파종시기에서 출수율이 약 1/2로 감소한 것(0.7에서 0.4로)으로 나타나서 추파성인 그룹 III가 파종시기 이동에 더 민감할 것으로 판단되어 shuttle breeding의 효과가 더 클 것으로 보인다.

2013년 11월 6일, 22일, 12월 6일로 3회 파종시기에서 11월 6일에 파종한 것은 저온 노출지속기간은 충분히 충족되지 않았고, 14일 이후인 11월 22일과 12월 6일에는 저온 노출지속기간이 충족되었다. 2014년 11월 5일과 20일에 파종한 경우는 저온 노출지속기간이 충족되었고, 12월 5일에 파종한 것에서 저온 노출지속기간이 충족되지 않았다. 이것은 2012년 이후 11월 일별 최저기온이 4.5°C 이상 상승하여, 11월 파종 후 빈번한 고온 발생에 의해 저온 노출지속기간이 충족되지 않았던 반면, 2014년의 11월 일별 최저기온은 3.0°C 미만으로 2013년의 11월과는 1.5°C 이상의 차이를 보였고, 2014년 11월 일별 최저기온은 저온 기준 온도인 4°C를 넘지 않는 수준으로, 11월 5일 파종 후에도 저온 노출지속기간을 충족할 수 있는 환경이 유지되었기 때문인 것으로 판단된다. Shuttle breeding의 효율을 향상 시키기 위해서는



11월을 포함한 겨울 철 일별 최저기온의 이상 변동이 저온 노출지속기간의 변화와 적정 파종시기의 이동에 미치는 영향에 대하여 지속적으로 연구할 필요가 있다. 가까운 미래 기후변화 시나리오 전망에서는 그룹II의 미래 적정 파종시기는 예측되었지만, 그룹III에서는 미래 적정 파종시기가 톨루카에서 전혀 나타나지 않았기 때문에 추파성인 그룹III에 대한 shuttle breeding에는 고온에 의한 저온 노출지속기간 감소와 파종시기 변화에 대한 영향 등이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 기온 이외 광주기가 파성 소거와 출수 생태에 영향을 미치기 때문에(Levy and Peterson, 1972; Allard *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2012; Lalic *et al.*, 2013), 겨울철 이상 고온 혹은 저온에 대한 영향 이외에 다른 기후/기상 환경요소(예, 일장 등)가 파성 소거 및 출수에 미치는 영향도 연구할 필요가 있다.

종합해 보면, 본 연구의 예비결과가 멕시코 톨루카의 기후 및 기상변동에 따른 우리나라 밀의 shuttle breeding 평가 및 전략 수립을 위한 기초 자료로서 유용할 것으로 기대한다.

## 적 요

최근 겨울 기온이 상승하면서 밀의 파종시기가 변화되고 있다. 겨울 밀의 경우, 파성 소거에 필요한 저온 노출지속기간이 충족되지 않으면 출수뿐만 아니라 생육이 불안정해질 수 있다. 한국의 농촌진흥청 국립식량과학원은 국제옥수수밀 연구소의 멕시코 톨루카에서 한국의 기후에 맞는 밀 육종을 위해 1996년 이후 지속적으로 밀 적응시험을 수행해 왔다. 그러나 톨루카의 최근 겨울기후가 상승하는 등 이상기후 발생에 의해 밀 파종시기 및 생육에 변화가 발생하였고 이에 따라 우리나라 겨울 밀의 육종 및 적응시험 전략의 변화가 필요하여 이를 위한 기초자료를 제공하고자 본 연구를 수행하였다. 2013년과 2014년에 파종된 CIMMYT 교배 품종과 우리나라 겨울 밀 교배 품종의 출수생태를 그룹별(II and III) 저온 노출지속기간의 변화와 결합하여 파종시기의 변화에 따른 저온 노출지속기간과 출수율에 미치는 영향을 분석하였다. 2013년 11월 6일, 22일, 12월 6일로 3회 파종시기에서 11월 6일에 파종한 것은 저온 노출지속기간은 충분히 충족되지 않았고, 14일 이후인 11월 22일과 12월 6일에는 저온 노출지속기간이 충족되었다. 그러나 2014년 11월 5일과 20일에 파종한 경우는 저온 노출지속기간이 충족되었고, 오히려 12월 5일에 파종한 것에서 저

온 노출지속기간이 충족되지 않았다. 이것은 2012년 이후 11월에 빈번한 고온 발생에 의해 11월 파종 후 저온 노출지속기간을 충족시키지 못했던 반면, 2014년 11월 일별 최저기온은 3.0°C 미만으로, 11월 파종 후에도 저온 노출지속기간을 충족할 수 있는 기후환경이 유지되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 우리나라 겨울 밀의 품종 개량 및 적응시험에서 추파성인 그룹II는 3회 파종시기 변경에 따라 출수율의 증감 차이가 확실하지 않았는데, 추파성인 그룹III는 파종시기별 출수율이 뚜렷하게 나타나서 추파성인 그룹III가 파종시기 이동에 더 민감할 것으로 판단되어 shuttle breeding의 효과가 더 클 것으로 보인다. 또한, 가까운 미래 기후변화 시나리오 전망에 적용한 결과, 톨루카에서 그룹II의 미래 적정 파종시기는 예측되었지만, 그룹III에서는 미래 적정 파종시기를 아예 예측할 수 없었기 때문에 추파성인 그룹III에 대한 shuttle breeding에는 이러한 점이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 에이팩 기후센터의 아시아태평양 기후정보 서비스 및 연구개발 지원으로 수행되었습니다. 논문의 질적 향상을 위해 심사해 주신 세 분의 심사자분들께 감사의 말씀을 전합니다.

## REFERENCES

- Allard, V., O. Veisz, B. Kőszegi, M. Rousset, J. Gouis, and P. Martre, 2012: The quantitative response of wheat vernalization to environmental variables indicates that vernalization is not a response to cold temperature. *Journal of Experimental Botany* **63**, 847-857. DOI:10.1093/jxb/err316
- Lalic, B., J. Eitzinger, D. T., Mihailovic, S. Thaler, and M. Jancic, 2013: Climate change impacts on winter wheat yield change - which climatic parameters are crucial in Pannonian lowland? *The Journal of Agricultural Science* **151**(6), 757-774. DOI:10.1017/S0021859612000640.
- Levy, J., and M. L., Peterson, 1972: Responses of spring wheats to vernalization and photoperiod. *Crop Science* **12**(4), 487-490.
- Magaña, V. O., J. L. Vázquez, J. L. Pérez, and J. B. Pérez, 2003: Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofisica Internacional* **42**(3), 313-330.
- Mohammadi, M., D. Torkamaneh, and E. Mehrazar, 2012: Molecular examination and genotype diversity

- of vernalization sensitivity and photoperiod response in old and modern bread wheat cultivars grown in Iran. *Journal of Crop Science and Biotechnology* **15**(4), 259-265. DOI:10.1007/s12892-012-0077-z.
- Rhoda, R., and Burton, T., 2010: *Geo-Mexico: the geography and dynamics of modern Mexico*. Sombbrero Books, 288pp.
- Seino, H., 1993: An estimation of distribution of meteorological elements using GIS and AMeDAS data. *Journal of Agricultural Meteorology* (Japan) **48**, 379-383. (In Japanese)
- Wang, S. Y., R. W. Ward, J. T. Ritchie, R. A. Fischer, and U. Schulthess, 1995: Vernalization in wheat. I. A model based on the interchangeability of plant age and vernalization duration. *Field Crops Research* **41**(2), 91-100. doi:10.1016/0378-4290(95)00006-C.
- Yun, J. I., 2006: Climate change impact on the flowering season of Japanese cherry (*Prunus serrulata* var. *spontanea*) in Korea during 1941-2100. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **8**(2), 68-76.
- 국립식량과학원, 2013: 국산 밀 주요 품종 자료집, 농촌진흥청, 122pp.
- 농림축산식품부, 2015: 농림축산식품 주요 통계
- 농촌진흥청, 2013: 국외농업기술개발사업 완결보고서-국내 환경적응 조숙 고품질 다수성 밀 품종 개발, 농촌진흥청, 136pp.
- 농촌진흥청, 2015: 농촌진흥사업 시행계획: 벼 유전자원 부가가치 향상(GUVA), 농촌진흥청, 81pp.
- 국립식량과학원, 2015: IRRI 상주연구원 귀국 보고서, 농촌진흥청 국립식량과학원, 143pp.