

멕시코 톨루카에서 한국 겨울 밀의 shuttle breeding 효율성 및 적응성 평가

박태일¹, 정유란^{2*}

¹농촌진흥청 국립식량과학원, ²APEC 기후센터

Evaluation of Shuttle Breeding Efficiency and Adaptability of Korean Winter Wheat in Toluca of Mexico

Taell Park¹, and Uran Chung^{2*}

¹Winter Cereal and Forage Crop Research Division, RDA, IkSan Agricultural Technology Center, ²Climate Change Research Department, APEC Climate Center

1. 서 언

우리나라의 식량자급률과 곡물자급률은 1970년 86%와 80%를 기록한 이후 계속해서 하락하여 2012년에는 45%와 23%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 28위로 매우 낮은 수준이다 (농촌경제연구소, 2012). 이러한 가운데, 2014년 농림축산식품부는 식량자급률 및 곡물자급률의 목표치를 2015년에는 57%, 30%, 그리고 2020년에는 60%, 32%로 각각 높여 설정하였다. 그러나, 재배면적 감소 등 생산기반이 계속 감소하고 있어 식량 및 곡물자급률을 높이는 데에는 한계가 있다. 더욱이 최근 기후변화에 의한 이상기후의 빈번한 발생은 식량/곡물자급률 향상에 새로운 변수가 될 뿐 아니라 식량안보의 불확실성을 높이고 있다.

따라서 21세기로 접어들면서 많은 선진 농업국가들은 이러한 기후변화에 대한 대응으로 현재 품종을 고온 혹은 냉/동해에 강한 품종으로 개량하거나 미래 기후에 적응할 수 있는 신품종 개발에 노력하고 있다. 한국의 농촌진흥청도 미래 기후변화대응 연구를 추진해왔다. 쌀의 경우, 기후대별 작황시험과 국제미작연구소(International Rice Research Institute, IRRI)에서 한반도의 아열대 기후에 대한 기후변화대응 전략으로 미래 예측기후에 적응하는 신품종 개발 및 적응성 연구 등이 활발히 진행되고 있다. 밀에서도 지역별 작황시험과 병행하여 국제옥수수밀 연구소(International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT)에서 한국의 기후에 맞는 밀 육종/적응시험을 국제공동연구로 추진하여 왔다.

본 시험은 한국과 국제옥수수밀 연구소간의 shuttle breeding을 주로 추진하고 있는 멕시코 톨루카에서 과성이 있는 겨울 밀의 육종/적응성 시험의 효율성을 높이기 위해 수행되었다. 특히, 과성과 저온노출 기간의 변화에 따른 출수 변이가 다양하여 이상고온에 따른 밀 과성도와 출

* Correspondence to : uchung@apcc21.org

수상태의 기초자료를 제시하고자하였다. 따라서 톨루카의 겨울 기후의 변화와 한국 겨울 밀의 육종/적응시험 전략에 적합한 저온노출 기간을 유추해 보고, 또한 신 시나리오에 의한 톨루카 지역의 미래 기후조건에서 겨울 밀의 저온노출 기간의 변화를 전망해보고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1 연구지역 및 기후자료

멕시코의 기후는 북회귀선이 국토의 중앙을 지나고 있어 국토의 대부분이 위도상으로는 열대 기후에 속하지만, 위도보다는 해발고도에 더 큰 영향을 받고 있어 고도차에 따라 기후와 식생이 현저하게 변하는 것이 특징이다. 해발고도 1,000m 이하의 저지대와 구릉지에서는 연평균 기온이 약 25°C로 비교적 무덥고 비가 많이 내리는 열대/아열대 기후가 나타난다. 해발고도 1,500~2,500m의 고원지역은 연평균 기온이 15~19°C로 온화하며, 6~9월 우기를 제외하면 대부분이 건기이다. 겨울 밀 육종/적응시험이 진행되는 톨루카 지역은 해발고도 약 1,600m의 고원지역으로 6~9월이 우기, 11~2월이 건기로 우리나라의 여름/겨울 기후와 비슷한 조건을 가진 곳이다.

CIMMYT의 밀 육종은 본부가 위치한 엘바탄과 고온 및 한발저항성 검정을 위한 오브레곤, 주로 녹병검정을 위한 톨루카에 포장이 위치하고 있다. 이 중에서 톨루카 시험장에서는 1975년부터 기상관측을 시작하였다. 시험포장에 설치된 자동무인기상관측기로부터 과거 및 현재까지의 기후자료를 수집하였다 (Fig. 1). 기간은 1975년부터 2014년 3월 31일까지이며, 수집된 기상 변수는 일 최고 및 최저기온, 강수량 등 이다.



Fig. 1. Map of study area and zoom up of Toluca where shuttle breeding has been experimented.

미래 신 기후시나리오 (AR5) 에 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>)에서 획득하였다. 시나리오는 CO₂ emission 에 따라 RCP (Representative Concentration Pathway) 4.5와 8.5로 구분하여 획득하였으며, 미래 시나리오 분석에서의 불확실성을 줄이기 위해 전지구 기후모델의 멤버를 13개로 다양하게 다운받았다. 미래 기간과 기상요소는 2020년에서 2049 (2030s)까지 30년 월 최고 및 최저기온이다. 저온노출 기간을 계산하기 위해서는 일별 기온자료가 필요하다. 따라서 일 최고 및 최저기온으로의 변환은 조화화법 (Seino, 1993)을 이용하여 상세화 하였다.

2.2 밀 품종 및 shuttle breeding

농촌진흥청은 1998년부터 현재 (2014년)까지 국제옥수수밀 연구소와 함께 한국 겨울 밀의 품종개량을 위한 shuttle breeding 연구를 수행하여 오고 있다. 2013년 교배에 사용된 집단은 약 80여개이며, 이 중에서 한국의 공시품종은 약 32종이었다. 밀 파종시기를 결정하는 여러 요인 중에 파성은 중요한 생리적 특성으로 국립식량과학원 파성 검정방법에 의하면 저온노출 일수에 따라 밀의 파성소거 그룹을 4개로 구분하였다. 그룹 1은 춘파성으로 9개의 지엽이 전개되는데 약 45일 동안 저온에 노출되어야 한다. 그룹 2도 춘파성으로 저온노출 기간 70일 이내 13개의 지엽이 전개되고, 그룹 3은 100일 이내에 15개의 지엽이 전개되어 추파성으로 정의된다. 그룹 4는 지엽 전개까지 걸리는 일수가 100일이 넘는 것으로 역시 추파성에 해당된다. 툴루카에서의 파종시기는 약 2주 간격의 3시기로 나누어, 2013년 11월 6일, 11월 22일, 그리고 12월 6일에 이루어졌다.

III. 결과

Fig. 2는 툴루카 시험장의 기후분석 결과로써 위의 왼쪽은 일 최고기온 (A), 위의 오른쪽은 일 최저기온 (B), 아래의 왼쪽은 강수량의 변화 (C)를 보여주고 있으며, 아래 오른쪽은 툴루카의 겨울 동안 (11~2월) 일 최저기온의 변화 (D)를 보여주고 있다. 전체적으로 툴루카의 일 최고 및 최저기온은 4월 이후부터 상승하는 것으로 나타났다. 일 최고기온은 최근 10년 (2001-2010) 사이에 많이 상승했으며, 최저기온의 경우, 특히 최근 20년 동안 (1991-2000 and 2001-2010) 꾸준히 상승해온 것으로 나타났다 (Blue and Red bars of Fig. 2B). 특히, 11월 최저기온이 크게 상승했음을 알 수 있다. 또한 11월부터 2월까지 최근 5년 (2009~2013년) 동안 툴루카 시험장의 일 최저기온의 변화를 살펴보면, 2012년과 2013년 11월의 일 최저기온은 5°C 이상 크게 상승하였을 뿐만 아니라 11월과 12월의 일 최저기온의 변화 폭이 현저하게 나타났음을 알 수 있다 (Fig. 2D). 강수량의 경우, 지난 1991-2000년에는 우기 (여름)부터 건기 (겨울)까지 강수량이 증가하는 일반적인 온대성 기후패턴을 보여주었으나 최근 10년 동안 우기인 6월부터 9월까지 오히려 25~30mm 이상 감소하여 가뭄현상이 두드러지게 나타났음을 알 수 있다.

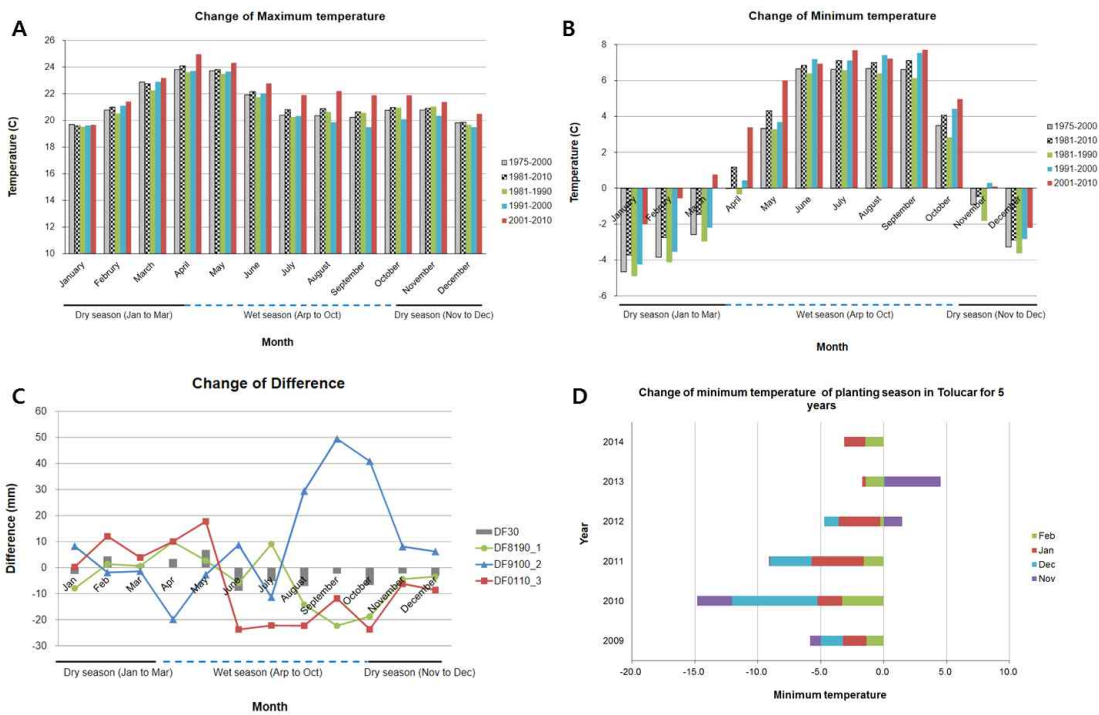


Fig. 2. Change of Maximum temperature of Toluca during 1975-2013 (A), change of minimum temperature of Toluca during 1975-2013 (B), change of difference of rainfall in Toluca during 1975-2013 (C), and change of minimum temperature during November to February for 5 years in Toluca.

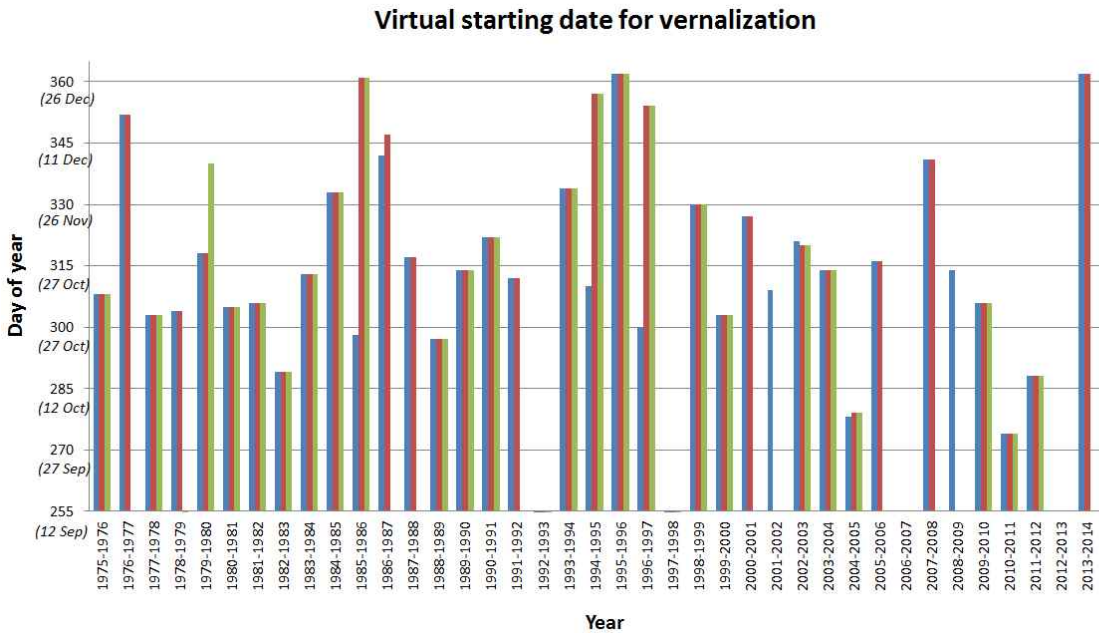


Fig. 3. Extracted the potential sowing date after releasing enough low temperature for vernalization three groups during 1975 September to 2014 January.

Fig. 3은 1975년부터 2013년까지 툴루카 시험장의 겨울 기후자료로부터 한국의 겨울 밀 그룹 1에서 그룹 3의 파성소거에 필요한 저온노출 기간을 고려하여 찾은 적정 파종시점이다. 특이한 현상은 2012년 10월에서 2013년 1~2월 동안 그룹1에서 그룹 3의 지속적인 저온노출 기간인 45일, 70일, 100일을 충족하는 기간이 전혀 나타나지 않았다. 바꿔 말하면, 툴루카 시험장에서 2012년의 10월부터 2013년 연초까지 한국 대부분의 밀 품종이 winter type이므로 해당 기간에 파종해도 툴루카 시험장의 기온이 이미 높아 파성이 소거되지 못하고 이것은 출수에 영향을 줄 수 있다는 것이다. 특히, 2012년은 El Nino로 미국 폭염 등 많은 농작물 재해가 있었던 때이다. 역시, El Nino가 발생했던 1992-1993년, 1997-1998년, 그리고 2006-2007년에도 그룹 3개의 파성소거 기간을 충족하는 날이 나타나지 않았다. 또한, 최근 10년 동안 그룹 3의 파성소거에 필요한 기간 (100일)을 충족하는 해가 감소하였다. 2013년의 파종시기는 11월 6일과 22일, 12월 6일이었는데, 이 3개의 파종시점부터 그룹 1에서 그룹 3까지의 저온노출 기간을 적용했을 때, 3개의 그룹 모두의 저온노출 기간을 충족하는 날이 나타나지 않았고, 오히려 Fig. 3에서 알 수 있듯이 12월 28일에 파종했을 때 그룹 1 (45일)과 그룹 2 (70일)에서 저온노출 기간이 나타났다. 즉, 2013년 11월과 12월 초에 파종하면 40~45일, 70일 이상 지속적으로 저온이 지속되는 날이 전혀 나타나지 않아 파성소거에 문제가 발생할 수 있다는 것을 예상할 수 있다. 이것은 Fig. 2D에서도 알 수 있는데, 2012년부터 11월의 일 최저기온이 크게 상승했고 2013년에는 5°C까지 상승했다. 특히, 2013년 11월 한 달 동안의 일 최저기온에서 4°C이하인 날이 전혀 없었다. 따라서 2013년 11월 6일과 22일 파종했을 경우 겨울 밀은 전혀 저온에 노출될 수가 없는 것이다. 그러므로, 최근 툴루카 시험장의 가을-겨울 기온이 현저하게 상승했고, 특히 2014년에도 El Nino가 발생했기 때문에 한국 겨울 밀의 shuttle breeding을 위한 적응전략에 변화가 필요할 것으로 판단된다.

인용문헌

- 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 with English abstract)
- Shi-Ying Wang, Richard W. Ward, Joe T. Ritchie, Ralph Anthony Fischer, Urs Schulthess. 1995: Vernalization in wheat. I. A model based on the interchangeability of plant age and vernalization duration. *Field Crops Research* **41**, 91-100.
- 농촌경제연구소, 2012: 글로벌 식량위기와 대비책 - 농협의 역할, 208호