

적산온도를 활용한 중북부지역 찰옥수수 적정파종기 설정

심강보^{1,†} · 이종기¹ · 구본일² · 신명나² · 윤성탁³

Determination of Adaptable Sowing Dates of Waxy Corn Using Growing Degree Days in the Central Northern Area of Korea

Kang Bo Shim^{1,†}, Jong Ki Lee¹, Bon Il Koo², Myoung Na Shin², and Sung Tak Yoon³

ABSTRACT It is important to determine sowing date as it decisively affects the quality as well as quantity of waxy corn. In the central northern area of Korea, optimum sowing date of waxy corn is May and requires about 20–26 reproductive growth days from silking date to harvest. We determined adaptable sowing date of waxy corn varieties using growing degree days (GDDs), especially in the central northern area. Earlier sowing required many more emergence days owing to the low temperature. All waxy corn varieties required about 16~22 emergence days when sown in April. Otherwise, less than 15 emergence days were needed for sowing from May to August. Sowing dates to maximize ear yield of waxy corns were different depending on the eco-types of corn varieties as well as GDDs during the growth period. Early maturity type ‘Mibaek2’ showed the highest ear yield at the May 15th sowing date. Middle maturity ‘Imichal’ and late maturity ‘Chalok4’ showed the highest ear yield at the May 25th and June 5th sowing dates, respectively. GDDs of 26 days after silking was an index to determine the highest yield sowing date of ‘Mibaek2’. The total GDDs from sowing to harvest and to silking were other indexes to determine the highest yield sowing date of ‘Imichal’ and ‘Chalok4’, respectively. Generally, it required about 2,400°C GDDs from sowing date to maturity and at least 65 days of silking date from sowing to obtain about 1,200kg of ear yield of waxy corn in the central northern area of the Korean peninsula. The results of the study will be helpful for corn farmhouses to determine optimum sowing date of waxy corn in the central northern area of Korea.

Keywords : adaptable sowing date, central northern area, growing degree days, waxy corn

온도는 옥수수 생육에 가장 큰 영향을 미치는 기상 요인 중 하나이다. 일반적으로 작물은 호흡을 통하여 생육에 필요한 에너지를 생산하며, 호흡은 온도가 높아지면 함께 증가하나 일정 시점의 고온은 작물의 생장에 오히려 저해 작용을 한다. 옥수수는 약 45°C까지 높은 온도에서도 생육 및 생장에 필요한 호흡작용이 계속된다(Nevins & Loomins, 1970). 옥수수는 비교적 생육기간이 짧은 작물로서 1년 에 2기작 재배가 가능하며(Jung *et al.*, 2012), 단위면적당 건

물생산성과 영양가, 식미 등 기호성이 좋아 국내에서는 조선시대 이후 쌀이나 보리 등 주식작물 대용으로 널리 재배되어 온 대표적인 작물이다(Jung *et al.*, 1996). 현재 국내 찰옥수수의 재배면적은 15,000 ha로 매년 증가 추세이다. 옥수수의 조파 한계기를 보면 종실용의 경우 미국에서는 서리의 피해를 걱정하여 그 지방의 평균만상일 10~15일 후에 파종하는 것이 보통이다. 옥수수를 너무 일찍 파종하면 저온, 다습한 조건이 되므로 파종에서 출아까지의 소요일수

¹농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 농업연구관 (Senior Researcher, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16429, Korea)

²농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부 농업연구사 (Junior Researcher, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16429, Korea)

³단국대학교 생명자원과학대학 식량생명공학과 교수 (Professor, Department of Crop Science & Biotechnology, College of Life & Resources Science, Dankook University, Cheonan 31116, Korea)

[†]Corresponding author: Kang Bo Shim; (Phone) +82-31-695-0642; (E-mail) shimkb@korea.kr

<Received 26 June, 2019; Revised 2 September, 2019; Accepted 3 September, 2019>

가 길고, 생육이 불량하며, *Fusarium*, *Phythium*, *Penicillium* 과 같은 토양전염병원균 감염이 많다(Wann, 1986). 특히 초당 옥수수는 저온에서 종자활력이 급격히 떨어지므로 우리나라에서 초당 옥수수의 적정 파종 한계기의 구명이 필요하다. 곡실용 옥수수는 파종기가 재배적기보다 늦으면 고온, 단일로 영양생장에서 생식생장으로의 전환이 빨라져서(Park *et al.*, 1987) 영양생장량이 적고, 등숙기에는 일장이 짧아지며, 온도가 낮아져 수량이 감소한다. 찰옥수수는 강원도 홍천에서 4월 15일과 5월 6일 파종기보다 5월 27일 파종기에서는 수량이 감소하여(Yoon *et al.*, 1999) 만파 한계기는 5월 상순경이라고 생각되지만 단옥수수나 초당옥수수의 만파 한계기에 관한 연구는 없다. 작물에서 유효적산온도(Growing Degree Days; GDDs)를 활용한 계산방법에는 지수형, 생리형, 잉여온도형, 증발산양형 등이 있다(Shaw, 1977). 옥수수는 주로 생리형과 잉여온도형을 이용하여 10°C 기준온도를 적용하여 성숙기를 예측하는데 활용되고 있다(Andrew *et al.*, 1956). 하지만 옥수수의 생리적 특성을 예측하는 방법으로 유효적산온도를 이용할 경우 생육단계에 따른 온도반응이 다르고, 최고기온과 최저기온을 평균한 기온은 실제 일 평균기온과 다른 결과를 가져오므로 유효적산온도를 활용할 경우 실제 기온이 작물에 미치는 영향과 차이가 난다(Wang, 1960). 일 기준으로 계산한 유효적산온도가 같더라도 일장, 일사량, 토양수분 등에 따라 작물 생육에 차이가 나며 일반적으로 일사량과 토양수분 보다는 온도만을 고려한 유효적산온도를 활용하여 옥수수의 생육기간을 측정하고 있다(Arnold, 1960; Edey, 1977; Shaw, 1975). 옥수수의 생육기간을 파종기부터 수확기까지의 일 유효적산온도를 활용하면 연차, 지역에 상관없이 거의 일정한 값을 보여 달력상의 날짜에 따라 계산한 것보다 파종기에 따른 생육기간의 변이가 작다. 따라서 그 지방의 장기평년 기상자료를 이용하여 조파 한계기부터 옥수수를 수확하고자 하는 날까지 일 유효적산온도와 누적유효적산온도를 계산하여 목적하는 일자의 유효적산온도에서 파종부터 수확까지 소요되는 유효적산온도를 빼면 파종일자가 계산된다(Katz, 1952; Cross & Zuber, 1972). 본 연구는 중북부지역에서 찰옥수수를 재배할 경우 적산온도를 활용하

여 생태형 특성에 따라 적정파종기 설정하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 재배조건

본 연구는 2017년부터 2018년까지 경기도 연천 시험연구 포장에서 실시하였으며 미백2호, 일미찰, 찰옥4호 등 찰옥수수 3품종을 시험재료로 활용하였다. 미백2호와 일미찰은 2005년에 육성된 품종으로 평균 출사일수가 각각 70일, 72일 짧은 조중생종 계통이며 찰옥4호는 2004년에 육성되었으며 출사일수가 약 78일로 늦은 중만생종 계통이다. 본 시험에서는 출사일수에 따라 미백2호를 조생형, 일미찰을 중간형, 찰옥4호를 만생형으로 구분하였다. 파종기는 4월 5일, 4월 15일, 4월 25일, 5월 5일, 5월 15일, 5월 25일, 6월 5일, 6월 15일, 6월 25일, 7월 5일, 7월 15일, 7월 25일, 8월 5일, 8월 15일 등 10일 간격으로 14회를 실시하였다. 재식거리는 옥수수 표준 재식밀도(5,714본/10 a)에 따라서 70 × 25 cm (휴폭×주간)로 하고 흑색 비닐을 피복하여 수행하였다. 시비량은 N-P₂O₅-K₂O-퇴비를 10 a당 17-3-6-1,000 kg으로 사용하였으며, 질소비료는 5~6엽기에 기비와 추비를 50 : 50 비율로 분시하였고, 인산, 칼리 및 퇴비는 전량 기비로 사용하였다. 기타 재배관리는 농촌진흥청 풋옥수수 표준재배기술(RDA, 2003)에 준하여 실시하였다. 난괴법 3반복으로 시험구를 배치하였으며 기본조사요령 및 토양의 화학적 특성분석은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2012)에 준하여 실시하였으며 토양분석 결과는 Table 1과 같다.

생육 및 수량특성 조사

출아율은 3~4엽기에 출아한 개체수를 전체 파종 종자수에 대한 비율로 계산하였고, 출아기와 출사기는 파종한 종자의 50%가 출아 및 출사한 날로 각각 계산하였다. 간장은 수확 약 1주일 전에 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준에 따라 조사하였고 수확기는 출사 후 약 26일에 수확하고, 이삭길이, 이삭장, 이삭폭, 이삭무게 등은 농촌진흥청

Table 1. Chemical properties of soil in the experimental plot (0~15 cm soil depth) from 2017 to 2018.

pH (1:5, H ₂ O)	OM ^a (g/kg)	T-N ^b (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ ^c (mg/kg)	Exchangeable cations (cmolc/kg)		
				K	Ca	Mg
5.6	11.7	1.00	346	1.0	4.7	1.2

^aOM : organic matter, ^bT-N : total nitrogen, ^cAv. P₂O₅ : available P₂O₅

[†]Data are the means of two years

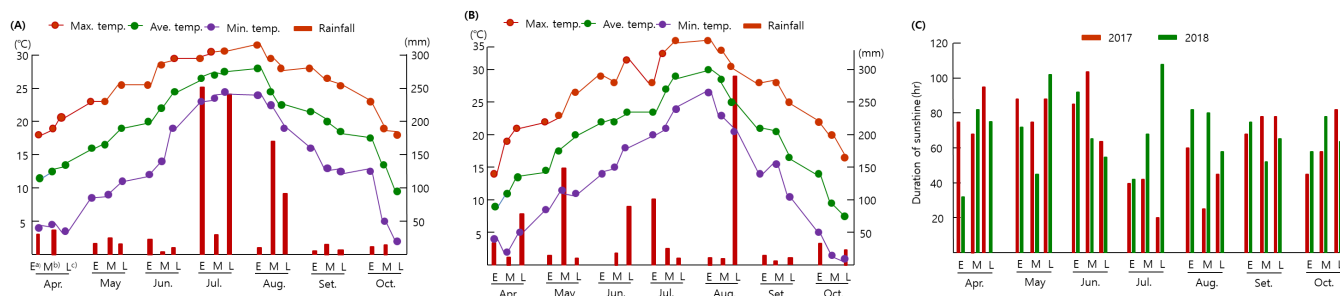


Fig. 1. Cardinal temperature and rainfall of Yeoncheon area from 2017(A) to 2018(B). Panel C shows duration of sunshine during the experimental period.

농업과학기술 연구조사분석기준에 따라 조사하였다(RDA, 2012).

test)과 던킨의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 5% 유의수준에서 검정하였다.

토양온도 분석

유효적산온도(growing degree days : GDDs) 계산에 필요한 기상자료는 농촌진흥청 농업기상 자료를 이용하였다. 토양 온도는 디지털온도계(Digital Soil Thermometer, luster leaf Co, USA)를 활용하여 옥수수에 의하여 그들이 지지 않도록 센서를 지하 5 cm 지점에 삽입하여 3지점에서 3반복으로 최고 및 최저온도를 측정하였다.

유효적산온도(GDD) 계산

옥수수의 생육은 온도에 가장 크게 영향을 받는데 우리나라에서는 파종기가 달라지면 생육기간의 온도가 다르므로 소요일수 대신에 그 생육기간의 온도를 기초로 하여 유효적산온도를 계산하면 파종기간에 변이를 줄일 수가 있다. 작물에 대한 기온의 영향을 분석하기 위하여 유효적산온도(Growing degree days, GDDs)를 활용하였으며 유효적산온도는 일 최고온도, 일 최저온도 및 옥수수의 기본온도를 조합하여 산출 하였으며 계산식은 아래와 같다.

유효적산온도(Growing degree days, GDDs)

$$= \sum [(T_{max} + T_{min})/2 - T_b]$$

위 식에서 T_{max} , T_{min} , T_b 는 각각 일 최고온도, 일 최저온도, 기본온도를 나타내며, 작물에 따라 기본온도는 다른데 옥수수의 경우 기본온도를 10°C로 설정하였다.

통계분석

통계분석은 SAS 9.2 (Statistical Analysis Systems Inc., Raleigh, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며 최소유의차검정(Fisher's least significant difference

결과 및 고찰

기상 분석

옥수수의 생육 및 수량성은 온도, 일장, 강수량 등에 영향을 크게 받는다(Herrero & Johnson, 1980; Park *et al.*, 1987). 강수량은 월 평균 90 mm가 생육에 적당하며 출사 후 약 1개월 강수량이 옥수수 생육에 중요하다고 하였다(Song *et al.*, 1985). 본 시험에서 옥수수 재배기간(4월 상순~10월 하순) 동안 평균 기온은 18.7°C로 평년과 비슷하였으며, 일조시간은 평균 1,497시간으로 평년보다 3시간 많았고 강수량은 1,423 mm로 평년보다 87 mm 적었다(Fig. 1). 일반적으로 옥수수의 생육 적온은 25~30°C이나 여름재배 시 32°C 이상 고온이 지속 되면 화분 발육정지 및 파열로 수정이 불량해지는데(Herrero & Johnson, 1980), 2018년 7월 중순~8월 중순의 최고기온이 약 35°C 이상 형성되어 옥수수 생육 및 수량에 부정적인 영향을 미친 것으로 판단되었다. 옥수수 재배기간 동안 누적온도는 2017년 3,860°C, 2018년 3,942°C이었으며 유효적산온도는 2017년 1,848°C, 2018년은 1,975°C로 2018년의 적산온도가 약 127°C 높았다.

파종기 및 토양온도에 따른 출아특성

옥수수 발아 최저온도는 8~11°C, 최적온도는 32~34°C, 최고온도는 40°C 내외이며 일평균기온이 10°C가 되어야 발아가 가능하다(Phipps & Wilkinson, 1985). 파종 후 출아까지 소요일수는 지온에 따라 다른데 토양온도가 13°C에서는 18~20일, 15~18°C에서는 8~10일, 그리고 21°C이상 이 되면 4~6일이 소요된다. 이와 같이 토양온도는 발아율, 발아기간 및 발아세와 밀접한 관련성이 있어 옥수수 생육에 많은 영향을 미친다. 파종기가 빠를수록 토양온도가 낮

아 옥수수 유묘 출현기간이 길었으며, 파종시기별 평균 유묘 출현소요일수는 미백2호가 9.1일, 중생형인 일미찰이 9.5일, 만생형인 찰옥4호가 10.1일 소요되어 조생종일수록 유묘 출현소요일수가 짧은 경향을 보였다(Fig. 2).

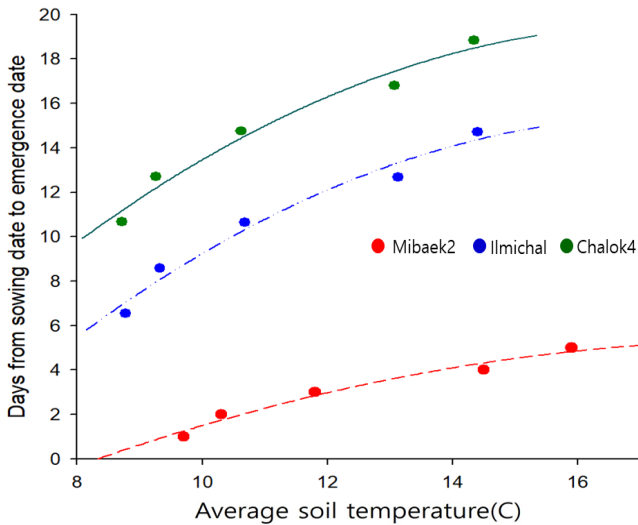


Fig. 2. Response of days from sowing date to emergence date of waxy corn varieties depending on soil temperature.

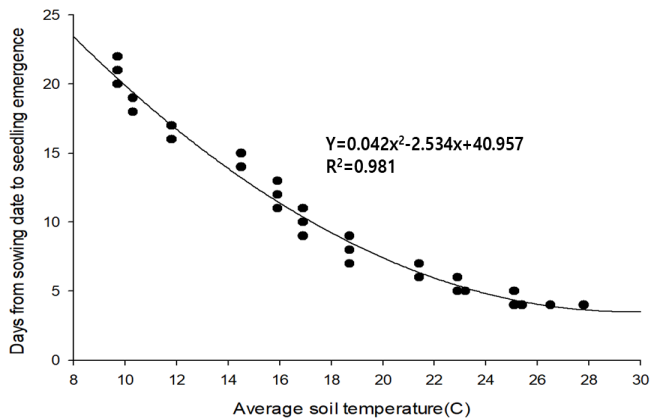


Fig. 3. Relationship between average soil temperature and days from sowing date to seedling emergence of waxy corn varieties in Yeoncheon.

출현기간 중 토양온도와 출아소요 일수는 $Y = 0.042x^2 - 2.534x + 40.957$ ($R^2 = 0.981$)의 관계식으로 나타낼 수 있으며 부의 상관관계를 보였다(Fig. 3). 즉 지온이 높아질수록 유묘 출현일수가 감소하였으며 4월에는 지온이 낮아 유묘 출현일수가 16~22일, 지온이 4~5°C 높은 5월에는 9~15일 정도 단축되었다. 품종 간에는 조생형인 미백2호가 상대적으로 짧았으며 지온이 23°C 이상 되는 7월 이후에는 지온 상승에 따른 유묘의 출현일수 단축효과가 없었다.

옥수수 파종기는 그 지역 유효적산온도를 활용하여 추정할 수가 있는데, 본 시험 결과에 의하면 5월 15일 파종기까지는 유효적산온도가 증가하면 유묘 출현일수가 단축되었으나 5월 25일 이후에는 유효적산온도가 80~90°C 범위에서 파종기 이동에 따른 차이가 없었지만 유묘 출현일수는 감소하였는데 이는 총 유효적산온도 보다는 발아적온 지속일수가 중요한 요인으로 관여함을 알 수 있었으며 이는 선행 연구와 유사한 결과를 보였다(Choe *et al.*, 1990).

수량성

옥수수는 극히 조파하지 않고 적정시기에 일찍 파종하면 늦게 파종하는 것보다 증수하는 것으로 알려져 있다(York *et al.*, 1961 ; Center & Jones, 1971 ; George, 1981 ; Imholte & Carter, 1987). 파종기에 따라 찰옥수수의 생육 및 수량성에 차이를 보였는데, 특히 이삭수량은 공시품종이나 파종시기에 따라 통계적인 유의성을 나타내었다(Table 2). 본 논문에는 제시하지 않았지만 경장, 이삭길이, 이삭폭은 이삭수량과 정의 상관을 보였으며 조생형 미백2호는 5월 15일 파종에서 경장, 이삭길이, 이삭폭이 가장 높았으며, 중생형 일미찰은 5월 25일 파종구에서, 만생형 찰옥4호는 6월 15일 파종구에서 각각 최대를 보였다.

품종 간 적정 파종시기 차이는 기본영양생장성, 온도, 일장 반응성 등 품종 고유의 조만성이나 엽면적지수(LAI) 등 광합성능력 차이에 따라 다르게 나타나는데(Grogan *et al.*, 1959), 본 시험이 수행된 중북부지역 기상조건에서 만생형인 찰옥4호가 중간형 일미찰이나 조생형 미백2호보다 전반적인 생육 및 수량성이 양호하였다. 다만 파종시기가 8월

Table 2. ANOVA for ear weight of waxy corn varieties depending on different sowing dates.

Source of variation	df	Sum of Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Variety	2	63832.6	31916.3	29.10	<0.001	**
Sowing date	13	7466895.8	574376.6	523.60	<0.001	**
Variety×Sowing date	26	621029.6	23885.8	21.77	<0.001	**

** Significant at p < 0.001

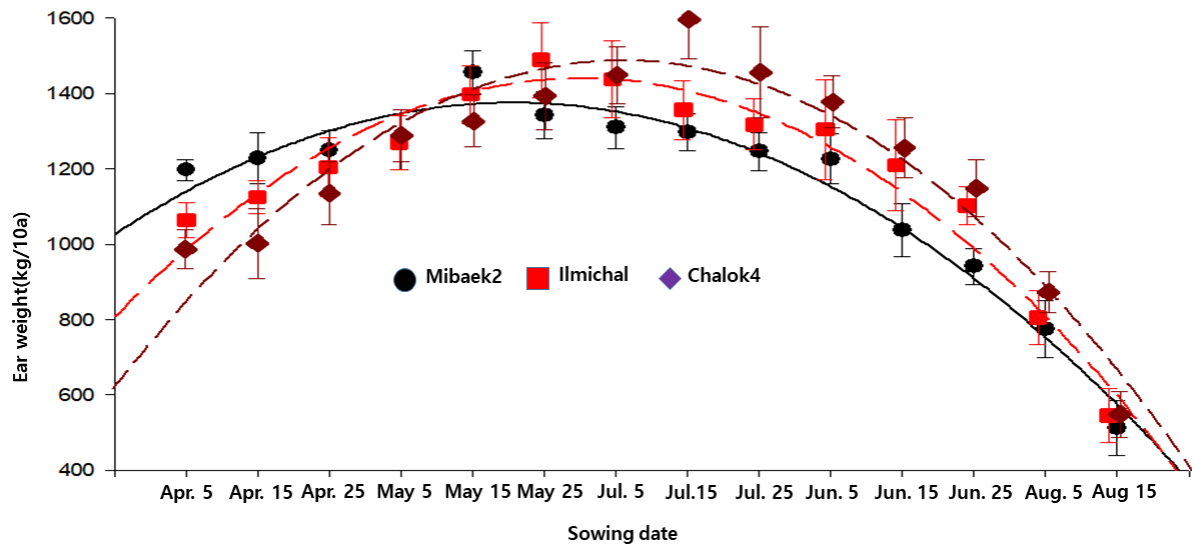


Fig. 4. Response of ear yield of waxy corn varieties depending on the different sowing dates.

이후가 되면 생육초기의 고온 단일조건에서 생식생장으로 전환이 빨라져 경장이 짧아지고 출사일 단축되지만 등숙기에는 기온이 낮아짐에 따라 등숙 속도와 수확기 지연으로 수량성 감소 경향이 있었고 공시 품종 간 차이는 적어 선행 연구와 유사한 결과를 보였다(Park *et al.*, 1987). 최대 수량 도달 파종기는 품종의 조만성이나 광합성능력, 적산온도에 대한 반응성 등에 따라 차이를 보였는데, 조생형인 미백2호는 5월 15일 파종에서 10 a 당 1,457 kg이며 중간형 일미찰이나 만생형 찰옥4호는 이보다 늦은 5월 25일, 6월 15일에 각각 10 a 당 1,490 kg, 1,598 kg이었다(Fig. 4). 이러한 연구결과로 토대로 중북부지역 찰옥수수 파종기는 조생형은 5월 중순, 중간형은 5월 하순, 만생형은 6월 중순 경으로 설정할 수가 있었으며 한반도 기온상승에 따라 중북부지역 찰옥수수를 조파 할 경우 4월 5일 파종 시 미백2호, 일미찰, 찰옥4호의 10 a 당 이삭 수량이 각각 1,198 kg, 1,064 kg, 988 kg으로 최대수량 대비 82%, 71%, 62% 수준이어서 조생형 품종을 선택하는 것이 유리하였다. 7월 25일 이후 만파 시 만생형 찰옥4호가 수량감소가 적었으며 수량이 50% 이하로 감소하는 8월 5일이 만파 한계기로 추정할 수 있었다.

품종 및 파종기에 따른 적산온도 반응

파종기에 따라 영양생장기간인 출사기까지 적산온도 변화를 비교하여 보면 조생형 미백2호는 중간형 일미찰이나 만생형 찰옥4호에 비해 유효적산온도 요구도가 적었다(Fig. 5). 중부지방에서 찰옥수수 재배 시 생태형에 관계없이 출

사이후 수확기까지 평균 23~25일 정도 소요되나(Jung *et al.*, 2012) 중북부지역은 약간 길어 26일로 설정하여 출사 후 26일 동안 후기 생식생장기간의 유효적산온도 변화를 분석하여 본 결과 전기 영양생장기와 다른 양상을 나타내었다. Fig. 5에서와 같이 동일 파종조건에서 출사 후 26일까지 품종 간 유효적산온도 차이는 적었는데 파종기가 빠를수록 출사기까지 생육초기에는 유효적산온도 영향이 크며 파종기가 늦으면 줄어들어 조기 파종 시 옥수수 생육에 필요한 절대온도 확보가 필요하였다.

Table 3은 파종시기에 따른 출사까지와 출사 후 26일까지 품종간 소요 적산온도를 각각 나타내었다. 중부지역에서 찰옥수수 재배 시 생태형에 따라 수확기까지 소요 적산온도는 약 1,700~2,100°C이고, 출사 후 수확기까지 최소요구 적산온도는 약 600~680°C 범위로 분석되었는데(Jung *et al.*, 2012), 본 시험에서도 유사한 결과를 얻었다. 조생형인 미백2호는 5월 15일 파종에서 이삭 수량이 최대였으며 출사기까지 적산온도는 1,641°C, 출사 후 26일까지의 적산온도는 975°C로 전 생육기간 적산온도는 2,616°C이었다. 조생형 미백2호는 출사 후 26일간 적산온도를 파종기 설정 지표로 활용하는 것이 적당할 것으로 판단되었다. 중간형인 일미찰은 5월 25일 파종에서 이삭 수량이 가장 높았으며 출사기까지 적산온도는 1,893°C, 출사 후 26일까지 적산온도는 866°C로 전 생육기간 적산온도는 2,759°C로 가장 높아 전 생육기간 적산온도를 중북부지역 중간형 찰옥수수의 파종지표로 활용할 수 있었다. 만생형인 찰옥4호는 이삭 수량성이 가장 높은 6월 15일 파종에서 출사기까지

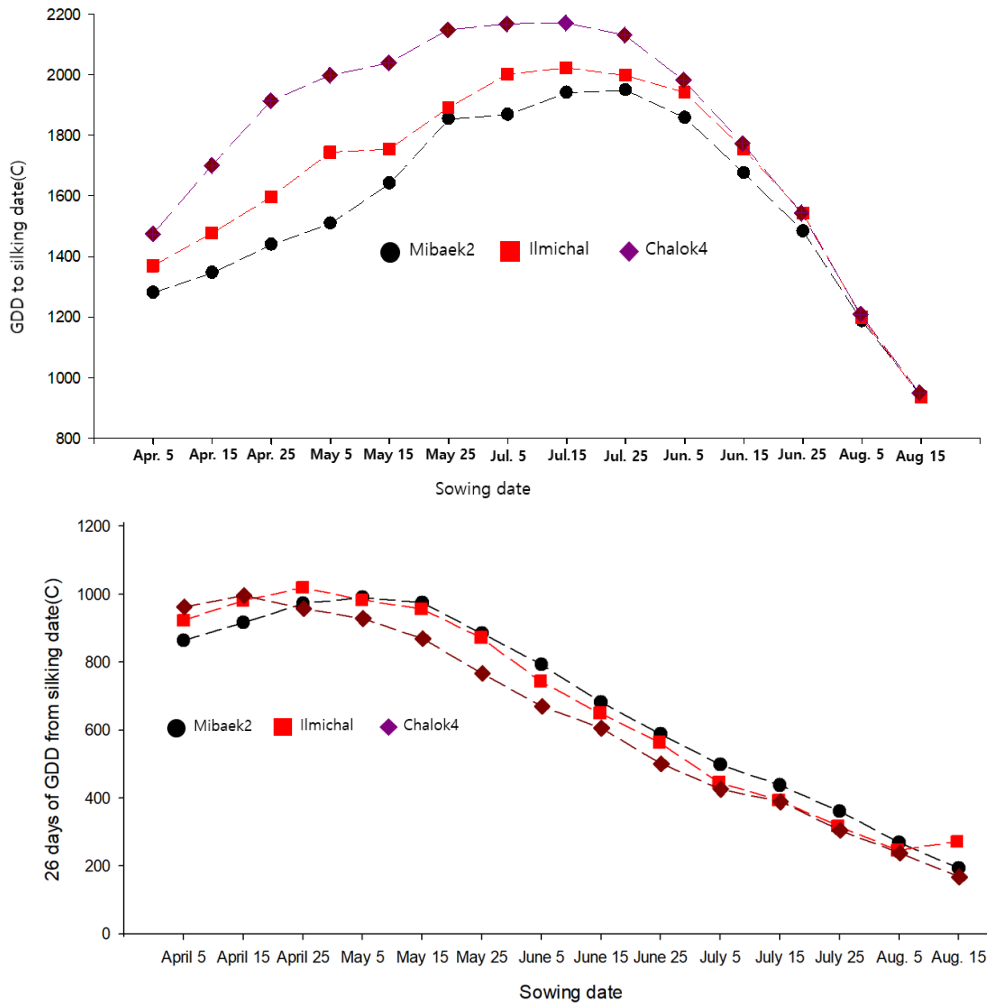


Fig. 5. Change in growing degree days (GDDs) to silking date (A) and 26 days from silking date (B) of waxy corn varieties depending on sowing dates.

적산온도는 2,172°C로 다른 파종기보다 가장 높았으며 출사 이후 26일까지 적산온도는 604°C로 출사 이후 성숙기까지 총 유효적산온도는 2,776°C였다. 따라서 만생형인 찰옥4호는 출사기까지 적산온도를 파종기 설정지표로 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

Table 3에 의하면 출사 후 26일간 적산온도는 4월 이후 옥수수 파종시기에 따라 증가 후 감소하는데 이는 풋옥수수 수량성이 결정되는 후기생육에 온도의 영향 외에 다른 요인의 영향이 크다는 것을 알 수 있었다(Benoit *et al.*, 1965). 풋옥수수 이삭 수량성과 유효적산온도는 $y = -0.0002x^2 + 1.2641x - 626.54$ 의 관계식에서 결정계수(R^2)는 0.8013으로 고도의 정의 상관관계를 나타내었다(Fig. 6). 적산온도 2,000°C까지는 생태형에 따른 품종간 수량성 차이는 적었으나 그 이후에는 만생형인 찰옥4호의 반응성이 넓게 분포하는

경향을 나타내었다. 옥수수 생육기간 동안 발아 및 생육에 적합한 온도조건이 형성이 되면 출사일수가 단축이 되고 소요 적산온도가 줄어들지만 찰옥수수를 만파하게 되면 생육초기 고온으로 인한 조기 출사가 되고 생육후기 저온 등 불량환경으로 인한 생육지연으로 수량감소가 발생하게 된다. 찰옥수수의 적정 파종기에 멀어질수록 적산온도 영향보다는 기본영양생장성, 감광성 등 생태반응성이나 다른 환경요인에 의해서 수량성이 결정된다고 판단되었다. 파종 후 생육초기에는 출사일수에 적산온도의 영향이 상대적으로 크게 작용하지만 1,500°C 이상에서는 영향이 적었으며 조생형 품종일수록 반응성이 높게 나타났다.

유효적산온도를 활용한 중복부지역 찰옥수수의 적정 수량성을 확보하기 위해서는 파종부터 등숙 까지 평균 적산온도는 약 2,400°C, 평균 출사일수는 65일 이상 조건에서

Table 3. Change in silking dates, days from sowing date to silking date, growing degree days (GDDs) from sowing date to silking date, 26 days from silking date, and total growing degree days depending on waxy corn varieties and sowing dates.

Varieties	Sowing date	Silking date	Days from sowing date to silking date	GDDs (°C)		Total
				From sowing date to silking date	26 days from silking date	
Mibaek2	April 5	July 2	87ab	1,280c	864b	2,144c
	April 15	July 5	80ab	1,346c	916ab	2,262bc
	April 25	July 10	75b	1,439bc	973a	2,412b
	May 5	July 15	70bc	1,509bc	991a	2,500b
	May 15	July 22	67bc	1,641b	975a	2,616ab
	May 25	Aug. 1	65c	1,854ab	885b	2,739ab
	June 5	Aug. 7	62c	1,868ab	793bc	2,661ab
	June 15	Aug. 15	60c	1,941ab	682c	2,623ab
	June 25	Aug. 24	59cd	1,949ab	588d	2,537b
	July 5	Sep. 1	56cd	1,858ab	498de	2,356bc
	July 15	Sep. 6	51d	1,675b	437e	2,112c
	July 25	Sep. 14	49d	1,483bc	361ef	1,844cd
	Aug. 5	Sep. 19	44de	1,186c	268f	1,454d
	Aug. 15	Sep. 25	40e	938cd	193g	1,131de
Ilmichal	April 5	July 5	90a	1,370bc	916ab	2,286bc
	April 15	July 10	85ab	1,478bc	973a	2,451b
	April 25	July 15	80ab	1,598b	1,011a	2,609ab
	May 5	July 22	77b	1,746b	975a	2,721ab
	May 15	July 25	70bc	1,756b	949a	2,705ab
	May 25	Aug. 2	67bc	1,893ab	866b	2,759a
	June 5	Aug. 11	66c	2,004a	739c	2,743a
	June 15	Aug. 18	63c	2,025a	647cd	2,672ab
	June 25	Aug. 26	61c	2,000a	562d	2,562b
	July 5	Sep. 5	60c	1,944ab	446e	2,390b
	July 15	Sep. 10	55d	1,757b	395e	2,152c
	July 25	Sep. 17	52d	1,545bc	320ef	1,865cd
	Aug. 5	Sep. 20	43de	1,199bc	250f	1,449d
	Aug. 15	Sep. 26	41e	936cd	275f	1,211de
Chalok4	April 5	July 9	94a	1,476bc	961a	2,437b
	April 15	July 17	92a	1,702b	995a	2,697ab
	April 25	July 24	89a	1,915ab	956a	2,871a
	May 5	July 29	84ab	1,999ab	927ab	2,926a
	May 15	Aug. 2	77b	2,040a	868b	2,908a
	May 25	Aug. 9	74b	2,149a	765bc	2,914a
	June 5	Aug. 16	71bc	2,169a	668cd	2,837a
	June 15	Aug. 23	68bc	2,172a	604d	2,776a
	June 25	Sep. 1	66c	2,132a	499de	2,631ab
	July 5	Sep. 7	62c	1,983ab	424e	2,407b
	July 15	Sep. 11	56cd	1,775ab	387e	2,162c
	July 25	Sep. 17	52d	1,545bc	303f	1,848cd
	Aug. 5	Sep. 21	44de	1,212c	236fg	1,448d
	Aug. 15	Sep. 27	42e	952cd	166g	1,118de
Average			65	1,677	655	2,332
Sowing date			**	**	**	**
CV(%)			6.7	8.5	6.8	5.4
LDS			13	424	132	374

1) Means in the columns by different letters are significantly different at the 5% significance level by Duncan's multiple range test.
 2) *, **. Significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$ probability level respectively.

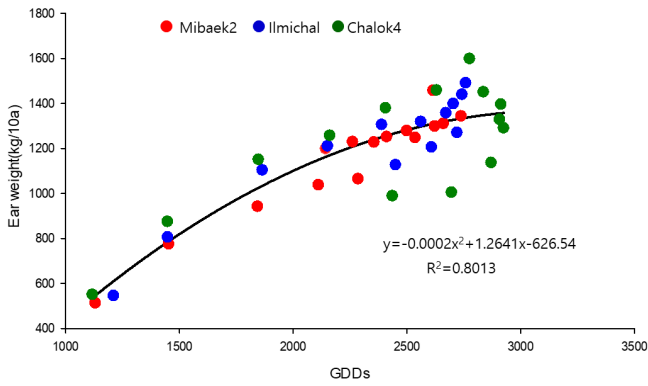


Fig. 6. Relationship between ear weight of waxy corn varieties and growing degree days (GDDs) at different sowing dates.

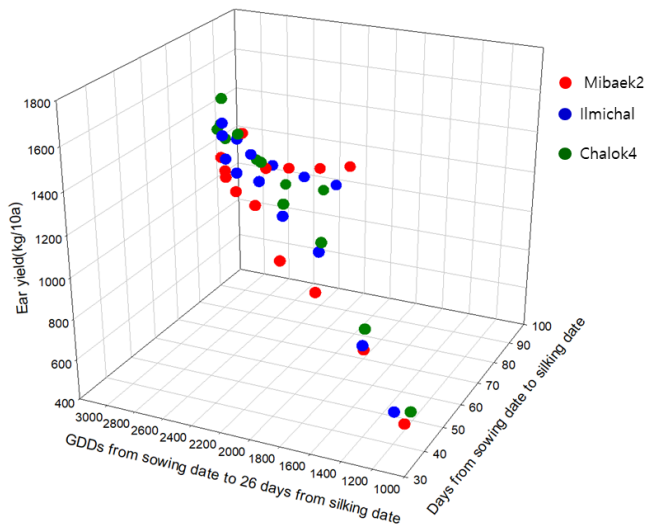


Fig. 7. Relationship among days from sowing date to silking date, growing degree days (GDDs) from sowing date to 26 days from silking date and ear yield of waxy corn varieties.

찰옥수수의 10 a 당 1,200 kg 수준의 수량성 확보가 가능할 것으로 판단되었으며(Fig. 7), 다만 파종시기에 따른 적산 온도를 중심으로 분석한 본 연구결과를 토대로 품종의 개화 등숙에 대한 기본영양생장성, 감광성, 감온성이나 광합성능력 등 품종 고유의 특성을 감안한 파종시기 설정 연구가 추가로 필요할 것으로 판단되었다.

적 요

파종시기를 달리하여 옥수수 생육 및 수량성을 비교하고 출사기, 출사후 등숙기까지 적산온도를 활용하여 중북부지역에서 적합한 옥수수 파종시기를 구명하고자 2017~2018

년 2년에 걸쳐 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 파종기가 빠를수록 토양온도가 낮아 옥수수 유묘 출현기간이 길었으며, 파종시 기별 평균 유묘 출현소요일수는 조생형인 미백2호가 9.1일, 중생형인 일미찰이 9.5일, 만생형인 찰옥4호가 10.1일 소요되어 조생형일수록 유묘 출현소요일수가 짧았다.
2. 지온과 유묘 출현일수는 부의 상관관계를 나타내었는데, 지온이 낮은 4월에는 유묘 출현일수가 16~22일, 지온이 높은 5월에는 9~15일 정도로 감소하였다.
3. 파종기에 따른 경장, 이삭길이, 이삭폭은 수량과 정의 상관관계를 나타내었으며 조생형인 미백2호는 5월 15일, 중생형인 일미찰은 5월 25일, 만생형인 찰옥4호는 6월 15일 파종에서 각각 수량이 가장 높아 중북부지역의 평년기온 조건에서 생태형별 적정 파종기로 판단할 수가 있었다.
4. 동일 파종조건에서 출사 후 26일 까지 품종 간 유효적산온도 차이는 적었으나 만생형 품종일수록 성숙기까지 소요적산온도가 적었는데 출사 후 26일까지 유효적산온도는 조생형인 미백2호가 975°C, 만생형인 찰옥4호가 604°C 이었다.
5. 중북부지역에서 찰옥수수를 재배할 경우 생태형에 따른 품종의 파종지표로 유효적산온도를 활용할 경우 조생형인 미백2호는 출사 후 26일까지 적산온도, 중생형인 일미찰은 전 생육기간 적산온도, 만생형인 찰옥4호는 출사기까지 적산온도가 적합하였다.
6. 중북부지역(강원도, 경기북부)에서 생태형에 따른 찰옥수수를 재배 할 경우 파종기부터 등숙기까지 평균 적산온도는 약 2,400°C, 평균 출사일수는 65일 이상 조건에서 10 a 당 1,200 kg 수준의 수량성 확보가 가능하였다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명 : 한반도 북방지역 적응 최대생산 작부체계 기술개발, 세부과제번호 : PJ01261901)의 지원으로 이루어진 것임.

인용문헌(REFERENCES)

Andrew, R. H., F. P. Ferewerda, and A. M. Strommen. 1956. Maturation and yield of corn as influenced by climate and production technique. *Agron. J.* 48 : 231-236.
 Arnold, C. Y. 1960. Maximum-minimum temperatures as a

- basic for computing heat units. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 76 : 682-692.
- Benoit, G. R., A. L. Hatfield, and J. L. Ragland. 1965. The growth and yield of corn III Soil moisture and temperature effects. Agron. J. 57 : 223-226.
- Center. C. F. and G. D. Jones. 1971. Planting date and growing season effects and interactions on growth and yield maize. Agron. J. 63 : 760-761.
- Choe, Z. R., Y. K. Joo, M. T. Song, H. S. Oh, and D. W. Ann. 1990. Determination of sowing date for silage corn based on growing degree days and soil temperature. Korean J. Crop Sci. 35(2) : 254-288.
- Cross, H. Z. and M. S. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. Crop Sci. 12 : 351-355.
- Edey, S. N. 1977. Growing degree-days and crop production in Canada. Can. Dept. of Agr. Publ. 1635 : 63.
- George, J. R. 1981. Grain crop production in the North Central United States. 3rd print.
- Grogan, C. O., M. S. Zuber, N. Brown, D. C. Peters, and H. E. Brown. 1959. Date of planting studies with corn. Mo. Agr. Expt. Sta. Bul. 706.
- Herrero, M. P. and R. R. Johnson, 1980. High temperature stress and pollen viability of maize. Crop Science. 20(6) : 796-800.
- Imholte, A. A. and P. R. Carter. 1987. Planting date and tillage effects on corn following corn. Agron. J. 79 : 746-751.
- Jung, G. H., J. E. Lee, J. H. Seo, S. L. Kim, D. W. Kim, J. T. Kim, T. Y. Hwang, and Y. U. Kwon. 2012. Effects of seeding dates on harvesting time of double cropped waxy corn. Korean Journal of Crop Science. 57(2) : 195-201.
- Jung, S. K., S. S. Lee, S. Y. Park, and D. H. Bae. 1996. Comprehensive technology of corn cultivation and utilization. Nongmin news.
- Katz, Y. H. 1952. The relationship between heat unit accumulation and the planting and harvesting of canning peas. Agron. J. 44 : 74-78.
- Nevins, D. J. and R. S. Loomins. 1970. A method for determining net photosynthesis and transpiration of plant leaves. Crop Science. 10 : 3-6.
- Park, S. U., K. Y. Park, Y. K. Kang, H. G. Hong, and S. K. Jong. 1987. Effect on the plant density on growth and yield of sweet corn hybrid. Korean Journal of Crop Science. 32(1) : 92-96.
- Phipps, R. and M. Wilkinson. 1985. Maize silage, Chalcombe publications, Bucks SL7 2PU.
- Rural Development Administration. 2003. Standard waxy corn cultivation technology.
- Rural Development Administration. 2012. Agricultural science and technology research standard.
- Shaw, R. H. 1975. Growing-degree units for corn in the north central region. Res. Bull. 581. Iowa Agric. 36 : 794-807.
- Shaw, R. H. 1977. Climatic requirement. pp. 591-623. In G. F. Sprague (ed.) Corn and corn improvement. ASA Argon. Series No. 18.
- Song, S. H., J. M. Yoo, Y. K. Hong, D. W. Rdd, and S. K. Kim. 1985. Effect of the planting date on growth and yield of fall-harvest sweet corn. Kyunggido Agricultural Research Report. 3 : 89-95.
- Yoon, J. T., S. E. Park, S. Y. Lee, S. H. Song, H. G. Moon, and K. H. Kim. 1999. Grain filling characteristics of waxy corn hybrids at different planting dates. Kor. J. Breed. Sci. 31(1) : 7-13.
- York, J. O., R. L. Shepherd, and C. J. Nettles. 1961. Effect of different planting dates on the performance of corn hybrids of three maturity groups. Ark. Agr. Expt. Sta. Report Series 102.
- Wang, J. Y. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. Ecology 41 : 785-790.
- Wann, E. V. 1986. Leaching of metabolites during imbibition of sweet corn seed of different endosperm genotypes. Crop Science 26 (4) : 731-733.