

Research Article

사일리지용 옥수수의 메타자료를 이용한 적정 파종 및 수확시기의 탐색

조현욱¹, 김시철², 김문주³, 김지웅¹, 조무환⁴, 김병완¹, 성경일^{1*}

¹강원대학교 동물생명과학대학, 춘천, 24341, ²한국낙농육우협회, 서울, 06668,

³강원대학교 동물자원공동연구소, 춘천, 24341, ⁴농어촌청소년육성재단, 서울, 06242

Detecting on Optimal Seeding and Harvesting Dates of Whole Crop Maize via Meta Data

Hyun Wook Jo¹, Si Chul Kim², Moon Ju Kim³, Ji Yung Kim¹, Mu Hwan Jo⁴,
Byong Wan Kim¹ and Kyung Il Sung^{1*}

¹College of Animal Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea

²Korea Daily & Beef Farmers Association, Seoul, 06668, Republic of Korea

³Institute of Animal Resources, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea

⁴Foundation for the Rural Youth, Seoul, 06242, Korea

ABSTRACT

This study aimed to discuss the optimal seeding and harvesting dates with growing degree days(GDD) via meta-data of whole crop maize(WCM). The raw data ($n=3,152$) contains cultivation year, cultivars, location, seeding and harvesting dates collected from various reports such as thesis, science journals and research reports (1982-2012). The processing was: recording, screening and modification of errors; Then, the final dataset ($n=121$) consists of seeding cases ($n=29$), and harvesting cases ($n=92$) which were used to detect the optimum. In addition, the optimal periods considering tolerance range and GDD also were estimated. As a result, the optimum seeding and harvesting periods were 14th April ~ 3rd May and 15th August ~ 4th September, respectively; where, their GDDs were 23.7~99.6°C and 1,328.7~1,602.1°C, respectively. These GDDs could be used as a judge standard for selecting the seeding and harvesting dates.

(Key words): Whole crop maize, Seeding dates, Harvesting dates, Growing degree days, Meta-data

I. 서론

사일리지용 옥수수(Whole crop maize, WCM)의 생산량 추세에 미치는 주요 기후 요인을 검토한 결과 생육도일, 강수량 및 강수일수 등이 WCM 생산량에 유의한 영향을 주는 기상변수라고 확인하였다(Chemere et al., 2019; Kim et al., 2019; Peng et al., 2015). 한편 WCM의 재배기술 중 파종 및 수확시기는 건물수량(Dry matter yield, DMY)과 사료품질에 크게 영향을 미친다는 보고가 있다(Lee and Lee, 2010; Lee et al., 2012).

WCM의 적정 파종시거나 수확시기를 기준으로 파종시기가 이르면 냉해를 입을 수 있고 반대로 늦을 경우 생육기간이 짧아 DMY 및 사료품질이 감소할 수 있다. WCM의 수확시기도 파종시기처럼 적정 수확시기보다 일찍 또는 늦게 수확할 경우 DMY 및

사료품질이 저하하게 된다(Lee et al, 2019). 국내 WCM의 적정 파종 및 수확시기를 판단하는 기존의 기준을 보면 파종시기는 지온 10°C 이상, 벚꽃만개시기 및 4월중순~5월상순(Lee and Lee, 1993)을, 수확시기는 황숙기, 건물함량 30~35%, 유선 1/2~2/3 및 흑색층 형성을 추천하고 있다(Pioneer Hi-Bred International, 1990). WCM의 적정 파종 및 수확시기에 대한 종래의 다양한 판단기준은 적정시기를 종합적으로 판단할 수 있다는 측면에서 아주 효과적이거나, 실제 현장에서 수시로 직접 조사해야 하거나 조사자에 따른 차이 등의 편차가 있을 수 있다. 최근 지구온난화에 의한 이상기상으로 WCM의 적정 파종시기 및 수확시기는 지역적 변동이 더욱 심해지고, 동일 지역내에서도 해발, 경사도, 지형 등의 지리적 특성에 따라 차이가 크므로 이러한 문제점을 개선할 수 있는 보다 객관적인 판단기준이 필요하다.

*Corresponding author: Kyung Il Sung, Department of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea.
Tel: +82-33-250-8635, Email: kisung@kangwon.ac.kr

생육도일(Growing degree days, °C; GDD)은 WCM의 수량에 크게 영향을 주는 매우 중요한 요인이다(Lee et al., 2006; Emerson, 2009). GDD는 WCM의 적정 파종시기와 수확시기에 대한 판단기준으로 종래의 기준과 더불어 이용할 수 있을 것으로 사료된다. GDD를 기준으로 하는 WCM의 파종시기 예측은 지역별 수량예측은 물론 재배관리 측면에서도 유리하다. 또한 수확시기 예측에서 GDD는 우리나라의 경우 가을장마의 영향으로 수확을 관행적으로 8월 15일(Forage Information Center, 2018) 전후로 실시하고 있어 지역특성에 적합한 WCM의 품종 선택이나 후작물 선택을 용이하게 할 수 있게 한다. GDD를 이용하여 WCM의 적정 파종시기 및 수확시기를 판단하는 것은 지역이나 지리적 특성의 구분없이 일정한 GDD에 달하면 그 값이 그 지역의 적기가 되므로 빈번한 조사의 번거로움이나 조사자간 편차를 줄이는 것에 기여할 수 있다.

본 연구는 WCM의 파종시기와 수확시기에 대한 메타자료를 를 이용하여 적정 파종시기 및 수확시기를 GDD로 탐색하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 자료출처

본 연구에서 WCM의 적정 파종시기와 수확시기를 검토하기 위한 자료출처 및 자료수는 Table 1과 같다. WCM의 메타자료

는 1982년부터 2012년까지 학회지 및 보고서로부터 총 3,152점 (원자료)을 수집하였으며 실험장소, 실험연도, 품종, DMY, 재배 기술(파종 및 수확시기) 등이 포함되어 있다. 기상자료(온도)는 기상청의 기상정보 개방포털의 기상 빅데이터를 이용하여 수집하였으며 평균기온, 최저기온, 최고기온 및 강수량 등을 수집하였다. GDD는 다음과 같이 계산하였다.

$$GDD = \sum Max \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_{base}, 0 \right)$$

T_{max} = 일최고기온
 T_{min} = 일최저기온
 T_{base} = 기본온도, WCM 은 10°C

2. 분석절차 및 방법

자료가공과정은 1~5차로 나누어 구성되어 있다(Table 1). 1차 가공은 데이터 입력으로 풀사료자료 및 기상자료를 엑셀에 각각 입력하는 과정이다. 풀사료자료 입력은 파종시기와 수확시기에 따른 DMY, 품종, 실험연도, 실험지역 등을 입력하였으며 사용한 자료수는 164점이었다. WCM 164점에 대한 기상자료는 1982년부터 2012년까지의 일평균기온을 이용하여 파종시기 및 수확시기의 적산온도를 계산하였다. 2차 가공은 자료선별로 수집한 자료에서 파종시기와 수확시기를 실험한 자료를 선별하는 작업이다. 선별 기준은 다음과 같다. 첫번째, 품종이 같고 파종시기와

Table 1. Data source and sample size by the data processing for WCM

| | | Data source | | | | Total |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--|--------|-------|
| | | NACF ¹⁾ report | NIAS ²⁾ report | KOJAS ³⁾ , KSGFS ⁴⁾ and JAST ⁵⁾ | Thesis | |
| Sample size | | | | | | |
| Data processing steps | | 1,027 | 1,255 | 866 | 4 | 3,152 |
| 1 st | Seeding + Harvesting date | 0 | 81 | 79 | 4 | 164 |
| 2 nd | Seeding date | 0 | 0 | 29 | 0 | 29 |
| | Harvesting date | 0 | 38 | 54 | 0 | 92 |
| 3 rd | Seeding date | 0 | 0 | 29 | 0 | 29 |
| | Harvesting date | 0 | 38 | 54 | 0 | 92 |
| 4 th | Seeding date | 0 | 0 | 29 | 0 | 29 |
| | Harvesting date | 0 | 38 | 54 | 0 | 92 |
| 5 th | Seeding date | 0 | 0 | 29 | 0 | 29 |
| | Harvesting date | 0 | 38 | 54 | 0 | 92 |

¹⁾ Adaptability test of imported varieties of grasses and forage crops operated by National Agricultural Cooperative Federation

²⁾ National Institute of Animal Science, RDA

³⁾ Korean Journal of Animal Science

⁴⁾ Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science (former Journal of the Korean Society of Grassland Science)

⁵⁾ Journal of Animal Science and Technology

Table 2. Quadratic function in accordance with seeding date of WCM

| | R^2 | F | P -value | Constant | Linear term | Quadratic term |
|-------|-------|-------|------------|----------|-------------|----------------|
| Model | 0.63 | 25.07 | < 0.01 | 21496.01 | -4.44 | -9.31 |

수확시기의 실험 수준이 3개 이상인 자료, 두번째, 파종시기와 수확시기의 실험 수준이 파종시기가 같고 수확시기가 다르거나 수확시기가 같고 파종시기가 다른 자료를 선별하였다. 2차 가공 과정에서 수확시기가 날짜로 표기되어 있지 않고 숙기(유숙기, 호숙기 등)로 표기된 16점과 파종시기와 수확시기의 실험 수준이 3개 미만인 27점, 총 43점을 제거하였다. 3차 가공은 오류 자료 수정 작업으로 중복자료를 제거하고 오기자료 및 오산자료를 수정하는 과정이다. 본 실험에서는 중복 자료, 오기 자료와 오산 자료가 없었다. 4차 가공은 분석에 사용하는 최종 데이터 세트를 구성하는 과정으로 파종시기는 29점(수원 24점, 상주 5점), 수확시기는 92점(군위 4점, 남해 8점, 당진 4점, 수원 58점, 평창 18점), 총 121점(Table 2)이었다. 121점의 출처는 파종시기 자료가 Kim et al.(1996) 24점 및 Lee et al.(2007) 5점으로 총 29점이었으며, 수확시기 자료가 Kim et al.(1986) 34점, 축산시험보고서(RDA, 1997) 4점, Chung et al.(2010) 9점, Ko et al.(1997) 8점, Lim and Kim(1996) 3점, Oh et al.(2011) 4점, Lee et al.(2004) 18점, Do et al.(2012) 4점 및 Kim et al.(2002) 8점으로 총 92점 이었다. 5차 가공은 분석에 사용되는 최종 데이터세트에서 DMY가 가장 많은 수준(적기)을 기준(0)으로 평행이동하는 변환과정(표준화)을 수행하는 과정이다. 파종 및 수확시기를 나타내는 날짜는 1월 1일부터의 일수로 변환하였다. WCM의 최대건물수량이 극점(extreme point)으로 나타나는 2차 모형을 구축한 뒤 모형의 해석력과 풀사료 생산 이론을 검토하여 정밀한 2차 모형을 구축하였

다. WCM의 파종 및 수확시기에 대한 2차 모형의 정밀도는 회귀 분석을 이용하여 해석력(R^2)으로 확인하였다.

WCM의 파종 및 수확시기의 적기는 2차 모형과 함께 산점도로 나타내 탐색하였다. 통계프로그램은 SPSS 24.0을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 표준화 전 파종 및 수확시기의 최적점 탐색

WCM의 적정 파종 및 수확시기를 탐색하기 위해 전체 2차 함수(Global quadratic function)를 이용한 결과, 지역 및 연도가 달라 유일한 최적점을 찾을 수 없었다(Fig. 1). 따라서 WCM의 수확시기를 고정하고 파종시기의 변화에 따른 품종별 산점도를 확인한 결과, 품종별 파종시기에 대한 DMY는 최적수준이 존재하는 2차 형태를 보였다(Fig. 1a). WCM의 상대숙기(relative maturity)를 고려한 품종별(조생종: P3394, 중생종: Suwon19, 32P75, P3352, 만생종: DK713, G4624) 2차 형태는 극점이 뚜렷하였으나 파종 적기는 품종에 따라 차이가 있었다.

WCM의 파종시기를 고정하고 수확시기의 변화에 따른 품종별 산점도를 확인한 결과, 품종별 수확시기에 대한 DMY는 최적수준이 존재하는 2차 형태를 보였다(Fig. 1b). WCM의 상대숙기를 고려한 품종별(조생종: P3394, 중생종: 청안옥, Suwon19, 31N27, P32W86, P3352, 만생종: 광안옥, DK689) 2차 형태는

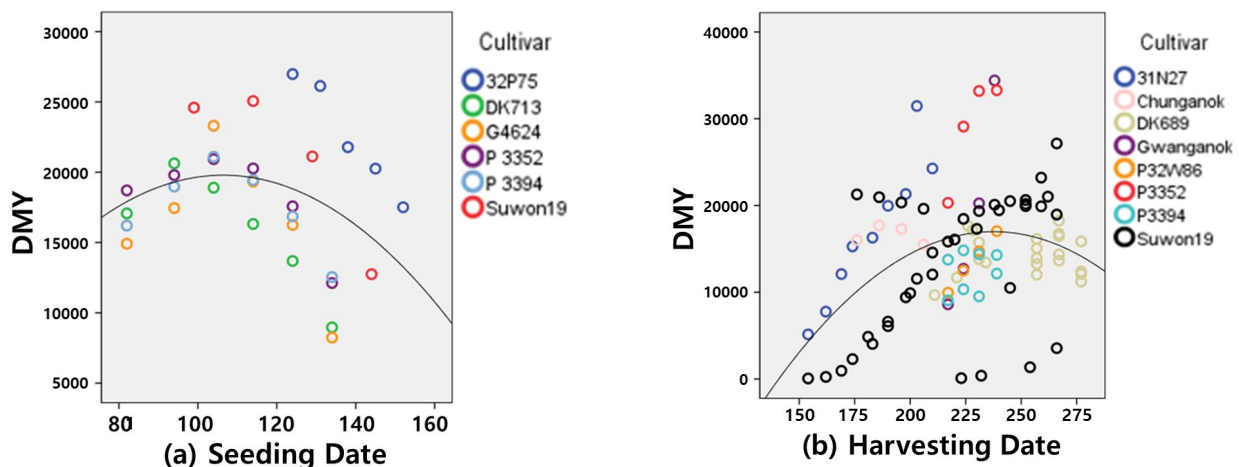


Fig. 1. Scatter plot with variation by cultivars of WCM: (a) seeding date, (b) harvesting date

극점이 뚜렷하였으나 수확적기는 품종에 따라 차이가 있었다.

이와 같은 모형들은 2차함수의 형태가 뚜렷하여 최적 파종 및 수확시기가 존재하였지만, 모형적합(R^2)이 각각 0.12와 0.16으로 불량하여 이를 이용하여 최적일을 탐색하는 것은 부적절하다고 판단하였다. 그러므로 WCM의 파종 및 수확시기에 대하여 개별적으로 중심을 0으로 맞춘 후 전체 2차 함수를 재탐색하였다.

2. 표준화 후 파종 및 수확시기의 최적점 탐색

1) 적정 파종시기 탐색

수확시기를 고정된 경우 WCM의 DMY 변동(Table 2)은 파종시기의 변동에 의해 62.6%로 해석할 수 있었다($p < 0.05$). 표준화 후 2차함수는 높은 해석력과 유의한 수준으로 나타나 신뢰성이 있는 것으로 판단하였다.

Fig. 2는 Table 2의 Model을 산점도로 나타냈다. WCM의 DMY는 파종시기(x)가 0일 때 21,496kg/ha으로, -0.24일 때 21,497kg/ha(최대 DMY)으로 나타났다.

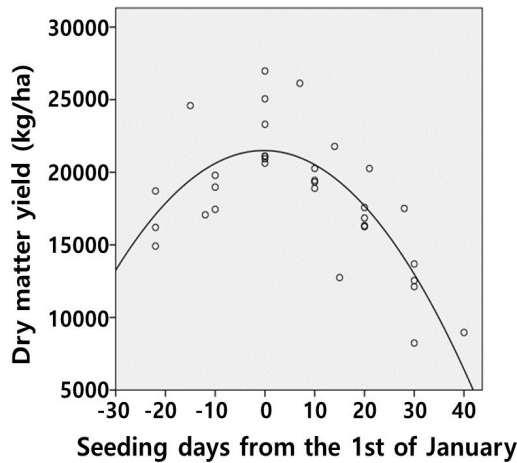


Fig. 2. Scatter plot of WCM fixed optimum point of seeding date.

WCM 파종시기는 평균값 113.7일, 중앙값 114일로 차이가 없었으며 평균값으로부터 제 1 및 3 사분위수의 차이가 각각 19.7 및 18.8일로 좌우 대칭으로 나타났다(Table 3). 파종시기를 1월1일부터 계산한 일수 기준(0)은 113.7일이며 날짜로 4월 24일이었다.

최대 DMY를 계산하기 위한 이차함수의 완전제곱식(perfect square expression)은 다음과 같았다.

$$\begin{aligned} \text{DMY (kg/ha)} &= -9.31x^2 - 4.44x + 21,496.01 \\ &= -9.31(x + 0.24)^2 + 21,496.54 \end{aligned}$$

따라서 기준(0)으로부터 최대수량(21,496.01kg/ha)은 -0.24일에 나타나므로 적정 파종시기는 약 114일($113.7 - 0.24$)인 4월 24일이었다(Table 4). 이때 GDD는 46.2°C였다.

본 연구에서 파종시기가 평균 4월 24일(113.7일)이고 최고 DMY를 나타내는 파종적기가 4월 24일(113.7-0.24일)로 차이가 없는 것은 현행 파종시기의 선택이 적절하다는 것으로 사료된다. 또한 WCM의 파종시기에 대한 메타자료를 구성하는 개별 실험의 처리 수준이 4월 24일을 중심으로 전후 균등하게 분포하고 있기 때문에 적정 파종시기는 2차함수를 통해 명확하게 찾을 수 있었다.

2) 적정 수확시기 탐색

파종시기를 고정된 경우 WCM의 DMY 변동(Table 5)은 수확시기의 변동에 의해 52.8%로 해석할 수 있었다($p < 0.05$). 표준화 후 2차함수는 높은 해석력과 유의한 수준으로 나타나 신뢰성이 있는 것으로 판단하였다.

Fig. 3은 Table 5의 Model을 산점도로 나타냈다. WCM DMY는 수확시기(x)가 0일 때 18331.39kg/ha으로, +25.40일 때 19366.22 kg/ha(최대 DMY)으로 나타났다.

WCM의 수확시기는 평균값 223.8일, 중앙값 225일로 차이가 없었으며 평균값으로부터 제 1 및 3 사분위수의 차이가 각각 23

Table 3. Descriptive statistics of dry matter yield to seeding date of WCM

| | Average | Median | Minimum | Maximum | Quartile | |
|-------------------|---------|--------|---------|---------|-----------------|-----------------|
| | | | | | 1 st | 3 rd |
| Seeding date(Day) | 113.7 | 114 | 82 | 152 | 94 | 132.5 |

Table 4. Optimal seeding date of WCM

| Days to optimal date | Optimal date | GDD (°C) |
|----------------------|--------------|--------------------|
| 113.46 | 24th April | 46.2 ¹⁾ |

¹⁾ GDD from the first of January to optimal seeding date

Table 5. Quadratic function in accordance with harvesting date of WCM

| | R^2 | F | P -value | Constant | Linear term | Quadratic term |
|-------|-------|-------|------------|----------|-------------|----------------|
| Model | 0.53 | 49.70 | < 0.01 | 18331.39 | 81.48 | -1.60 |

Table 6. Descriptive statistics of dry matter yield to harvesting date of WCM

| | Average | Median | Minimum | Maximum | Quartile | |
|----------------------|---------|--------|---------|---------|-----------------|-----------------|
| | | | | | 1 st | 3 rd |
| Harvesting date(Day) | 223.8 | 225 | 154 | 277 | 200.8 | 252 |

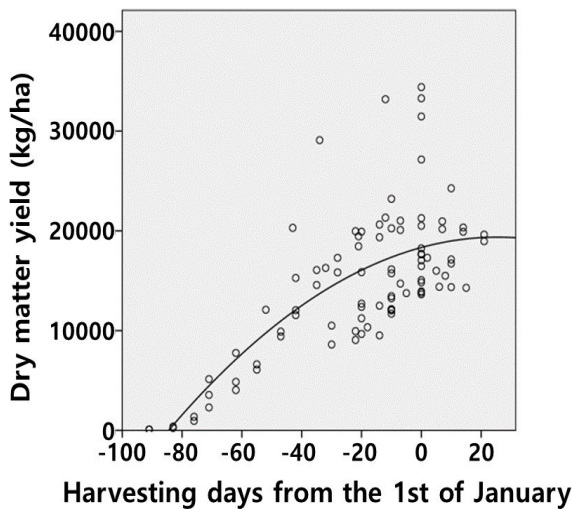


Fig. 3. Scatter plot of WCM fixed optimum point of harvesting date.

및 28.2일로 좌우대칭으로 나타났다(Table 6). 수확시기를 1월 1일부터 계산한 일수 기준(0)은 223.8일이며 날짜로 9월 4일이었다.

최대 DMY를 계산하기 위한 이차함수의 완전제곱식(perfect square expression)은 다음과 같았다.

$$\begin{aligned}
 \text{DMY}(\text{kg/ha}) &= -1.60x^2 + 81.48x + 18,331.39 \\
 &= -1.60(x - 25.40)^2 + 19,366.22
 \end{aligned}$$

따라서 기준(0)으로부터 최대수량(19366.22kg/ha)은 +25.40일에 나타나므로 적정 수확시기는 약 249.2일(223.8+25.4)인 9월 4일이었다(Table 7). 이때 GDD는 1602.1°C였다.

WCM의 적정 수확시기가 9월 4일로 관행의 적정 수확시기로 여겨지는 8월 15일과 비교하면 20일 정도 늦다. 그 이유는 첫째, 일반적으로 우리나라에서 WCM은 가을장마가 오기 전 8월 15일 전후로 수확하기 때문이다. 둘째, WCM의 숙기가 늦은 품종을 파종하고 관행적으로 8월 15일에 이른 수확을 하였을 가능성이 높다. 실제로 본 연구의 WCM 수확시기 관련 전체 자료(92점) 중 중·만생종이 86.8%로 대부분을 차지하고 있어 이를 뒷받침하고 있다. 셋째, 본 연구의 메타자료를 구성하는 개별 실험의 처리 수준이 대부분 8월 15일을 최종으로 하는 조건에서 수확시기별 DMY를 비교하여 대부분의 처리 수준이 8월 15일보다 앞에 분포하고 있기 때문이다.

본 연구에서 최대 DMY를 나타내는 WCM의 적정 파종 및 수확시기는 각각 4월 24일 및 9월 4일로 특징하고 있어, 이를 중심으로 허용 범위를 고려한 기간을 GDD와 병행 제안하였다. 여기서 WCM의 적정 수확시기(9월 4일)와 관행 적정 수확시기(8월 15일)간 차이가 20일 정도이므로 허용 범위를 20일로 설정하였다. 처리 수준의 분포를 고려할 때 파종시기는 4월 24일을 중심으로 전후 균등하게 분포하므로(Fig. 2) 허용 범위를 전후가 균등한 ±10일로, 수확시기는 9월 4일을 기준으로 앞으로만 치우쳐 있어(Fig. 3) 허용 범위를 -20일로 설정하였다. 따라서 WCM의 파종기간은 4월 14일~5월 3일로 GDD는 23.7~99.6°C, 수확기간

Table 7. Optimal harvesting date of WCM

| Days to optimal date | Optimal date | GDD(°C) |
|----------------------|---------------|-----------------------|
| 249.2 | 4th September | 1,602.1 ¹⁾ |

¹⁾ GDD from the first of January to optimal harvesting date

Table 8. Optimal seeding and harvesting dates considering GDD in Jinju, Suwon and Daegwanryeong

| | Jinju | Suwon | Daegwanryeong |
|-------------------------|-------------|-------------|-----------------|
| Optimal seeding date | 11th April | 13th April | 7th May |
| Optimal harvesting date | 21th August | 16th August | - ¹⁾ |

¹⁾ The optimal harvesting date is not determined with 1602.1°C of GDD

은 8월 15일~9월4일로 GDD는 1,328.7~1,602.1°C로 제시하였다. 이러한 결과는 적기로부터 ±5일 이내에는 건물수량의 변동이 적고 ±10일을 벗어나면 건물수량의 감소폭이 커지는 수수-수단그라스 교잡종의 결과와 유사하였다(Kim et al., 2020).

본 연구에서는 GDD를 이용하여 적정 파종(46.2°C) 및 수확시기(1602.1°C)를 남부(진주), 중부(수원) 및 북부(대관령)에 대하여 탐색하였다(Table 8). 진주와 수원 간 GDD를 비교하면 WCM의 적정 파종시기는 차이가 없었으나 수확시기는 오히려 수원이 진주보다 이른 것으로 나타났다. 이는 수원이 진주보다 여름은 덥고 겨울은 추운 기후적 특성에 영향을 받은 것으로 사료된다.

한편 대관령에서 WCM의 적정 파종시기는 5월 7일이었으나 수확시기는 1602.1°C에 도달하는 적정 시기가 존재하지 않아 이러한 GDD는 수확시기를 결정하는데 적절하지 않았다.

그러므로 WCM 원자료($n=3,152$)로부터 대관령 지역의 수확시기를 검토하면 9월 하순 ~ 10월 상순이었다. 이는 9월 중순이 9월 상순에 발생하는 가을장마 및 9월 하순에 발생하는 서리에 의한 피해를 최소화할 수 있는 수확시기로 바람직함을 나타낸다.

이상의 본 연구를 통해 탐색한 WCM의 파종시기는 적정하다고 판단할 수 있었다. 그러나 적정 수확시기는 극점이 우측으로 치우친 2차 모형 때문에 관형적 수확시기(8월 15일 전후)에 비해 늦은 문제점이 있었다. 이를 해결하기 위해서는 적합도가 높은 2차 모형을 기반으로 WCM의 적정 수확시기를 보다 정확히 탐색하는 것이 요구된다. 이 경우 WCM의 실험설계는 처리 수준의 수는 물론 수준간 간격을 동일하게 할 필요가 있다. 앞으로 WCM의 적정 파종 및 수확시기의 탐색은 지역에 따라 WCM의 최적 숙기가 정해지므로 해당 지역의 숙기에 맞는 품종을 선택하여 수행하고자 한다.

IV. 요약

본 연구는 사일리지용 옥수수(whole crop maize: WCM)의 메타자료를 통해 적정 파종 및 수확시기에 대한 탐색을 생육도일(Growing degree days, °C; GDD)을 이용하여 검토하였다. WCM의 원자료(1982~2012년)는 학위논문, 학회지 및 연구보고서로부터 실험별 연도, 품종, 지역, 파종시기 및 수확시기 등 생육정보

가 포함된 3,152점이었다. 수집한 자료 중 파종시기 및 수확시기와 관련된 자료는 데이터입력, 자료선별 및 오류자료수정 과정을 거쳐 최종데이터세트(파종시기 29점, 수확시기 92점; 총 121점)를 구성하였고 최적점 설정, 메타분석, 2차모형 구축을 통하여 적정 파종 및 수확시기의 허용 범위를 고려한 기간과 GDD를 제시하였다. WCM의 적정 파종 및 수확기간은 각각 4월 14일~5월 3일 및 8월 15일~9월 4일이었으며 이 때 GDD는 23.7~99.6°C 및 1,328.7~1,602.1°C였다. 이상에서 GDD는 WCM의 적정 파종 및 수확시기의 판단기준으로 사용 가능할 것으로 사료된다.

V. 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업의 과제번호: PJ01499603의 지원에 의해 이루어졌습니다.

VI. REFERENCES

- Chemere, B., Kim, M.J., Peng, J.L., Kim, B.W. and Sung, K.I. 2019. Detecting dry matter yield trend of whole crop maize considering the climatic factors in the Republic of Korea. *Grassland Science*. 65:116-124.
- Chung, E.S., Jo, M.H., Kim, J.K., Nam, D.W., Jin, S.J., Jang, S.Y. and Kang, H.S. 2010. Agronomic and silage traits of corn over time. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 30:325-332.
- Do, G.H., Kim, E.J. and Lee, S.M. 2012. Effects of harvest stage on agronomic characteristics, yield and feed value of silage corn in the newly reclaimed hilly land. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 32:253-264.
- Emerson Nafziger. 2009. Corn. *Illinois Agronomy Handbook*. pp.13-26.
- Forage information center (FIC). March 13, 2020. <http://forageinformationcenter.kr/crops/maize2.html>.
- Kim, D.A., Lee, K.N., Shin, D.E., Kim, J.D. and Han, K.J. 1996. Effect of planting date on forage yield and quality of corn four maturity groups. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 16:327-337.

- Kim, J.D., Kwon, C.H., Kim, S.G., Park, H.S., Ko, H.J. and Kim, J.K. 2002. Effect of harvest stage on forage yield and quality of silage corn at late planting. *Journal of Animal Science and Technology*. 44:251-260.
- Kim, J.G., Lee, S.B., Han, M.S. and Yang, J.S. 1986. Research on the cultivation and utilization of forage crop. National Institute of Animal Science Annual Research Report. pp. 769-784.
- Kim, M.J., Chemere, B. and Sung, K.I. 2019. Effect of heavy rainfall events on the dry matter yield of whole crop maize (*Zea mays* L.). *Agriculture*. 9:75-86.
- Kim, M.J., Kim, J.Y. and Sung, K.I. 2020. The optimum seeding and harvesting dates of sorghum-sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor* L.) via optimum moving response surface methodology. *Grassland Science*. 00: 1-9. (online published).
- Ko, Y.D., Lee, H.J., Kim, J.H. and Yoo, S.O. 1997. Evaluation of herbage yield and silage quality of corn (Suweon 19, Kwanganok) and sweet sorghum (Ramiki sorgo, Silage sorgo). *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 17:265-276.
- Lee, C.D., Herbek, J. H., Lacefield, G. and Smith, R. 2006. Producing corn for silage. University of Kentucky-College of Agriculture. Cooperative Extension Service.
- Lee, H.J. and Lee, H.W. 1993. Forage crop. Korea National Open University. South Korea. pp.215-234.
- Lee, H.J., Joo, Y.H., Lee, S.S., Paradipta, D.H.V., Han, O.K., Ku, J.H., Min, H.G., Oh, J.S. and Kim, S.C. 2019. Effect of the sowing and harvesting dates on the agronomic characteristics and feed value of corn and sorghum x sorghum hybrid in Younnam and mountain area. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 39:53-60.
- Lee, J.K., Park, H.S., Kim, Y.G., Chung, J.W., Na, K.J., Kim, M.C., Lee, S.C. and Yook, W.B. 2004. Effect of the seeding and harvesting dates on the growth characteristics, dry matter yield and quality of corn for silage in alpine areas. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 24:115-122.
- Lee, S.M. 2012. Effects of ridging times on agronomic characteristics, yield and feed value of corn hybrid for silage in paddy field cultivation. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 32:265-274.
- Lee, S.M. and Lee, J.H. 2010. Effects of seeding dates and growth periods on the growth characteristics, dry matter yield and feed value of corn silage in paddy field. *Journal of Animal Science and Technology*. 52:441-448.
- Lee, S.M., Kim, B.T., Hwang, J.H., Jeon, B.T. and Moon, S.H. 2007. Effect of plowing frequency and sowing dates on the agronomic characteristics, feed value, weed yield and palatability of silage corn. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 27:209-218.
- Lim, S.H. and Kim, D.A. 1996. Effect of different harvest dates on dry matter yield and forage quality of corn (*Zea mays* L.). *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 16:75-80.
- Oh, T.S., Kim, C.H. and Choi, B.S. 2011. The city rhinoreaction research of the corn feed for the heavy metal removal of the pig ordure sludge using the citric acid and stability evaluation. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science*. 31:395-408.
- Peng, J.L., Kim, M.J., Kim, Y.J., Jo, M.H., Nejad, J.G., Lee, B.H., Ji, D.H., Kim, J.Y., Oh, S.M., Kim, B.W., Kim, K.D., SO, M.J., Park, H.S. and Sung, K.I. 2015. Detecting the climate factors related to dry matter yield of Whole Crop Maize. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 17:261-269.
- Pioneer Hi-Bred International. 1990. The pioneer forage manual: A nutritional guide. Pioneer Hi-Bred International, Inc. Des Moines, Iowa, U.S.A. pp. 18-20.
- Rural Development Administration (RDA). 1997. Silage quality improvement of early and late harvesting corn. National Institute of Animal Science Annual Research Report. pp. 728-733.

(Received : March 13, 2020 | Revised : March 24, 2020 | Accepted : March 24, 2020)