한국농림기상학회지, 제20권 제2호(2018) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 20, No. 2, (2018), pp. 175~182
DOI: 10.5532/KJAFM.2018.20.2.175
ⓒ Author(s) 2018. CC Attribution 3.0 License.

생육도일(GDDs)에 따른 '춘광' 봄배추의 적정 재배 작기 예측

위승환[1] · 송은영[1] · 오순자[1] · 손인창[2] · 이상규[3] · 이희주[4] · 문보흠[4] · 조영열[5*]
[1]국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, [2]국립원예특작과학원 기획조정과,
[3]국립농업과학원 스마트팜개발과, [4]국립원예특작과학원 채소과, [5]제주대학교 원예환경전공
(2018년 1월 15일 접수; 2018년 6월 22일 수정; 2018년 6월 25일 수락)

Estimation of Optimum Period for Spring Cultivation of 'Chunkwang' Chinese Cabbage Based on Growing Degree Days in Korea

Seung Hwan Wi[1], Eun Young Song[1], Soon Ja Oh[1], In Chang Son[2], Sang Gyu Lee[3], Hee Ju Lee[4], Boheum Mun[4] and Young Yeol Cho[5*]
[1]Research Institute of Climate Change and Agriculture, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Jeju, 63607, Korea,
[2]Planning and Coordination Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju, 55365, Korea,
[3]Farming Automation Engineering Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, 55365, Korea,
[4]Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju, 55365, Korea,
[5]Major in Horticultural Science, Jeju National University, Jeju, 63243, Korea
(Received January 15, 2018; Revised June 22, 2018; Accepted June 25, 2018)

ABSTRACT

Knowledge of the optimum cultivation period for Chinese cabbage would help growers especially in spring in Korea. Growth and yield of Chinese cabbage in a temperature gradient chamber was evaluated for the growing periods of 64 days from three set of transplanting dates including March 6, March 20, and April 3 in 2017. Air temperature in the chamber was elevated step-by-step, by 2℃ above the ambient temperature. This increment was divided into three phases; i.e. low (ambient+2℃, A), medium (ambient+4℃, B), and high temperature (ambient+6℃, C). The fresh weight of Chinese cabbage was greater under B and C conditions in the first period and A in the second period, which indicated that GDDs affected the fresh weight considerably. However, leaf growth (number, area, length, and width) did not differ by GDDs. Bolting appeared under A condition in the first period, which was caused by low temperature in the early growth stage. Soft rot was developed under C condition in the second period and all temperature conditions in the third period, which resulted from high temperature in the late stage. Fresh weight increased when GDDs ranged from 587 to 729. However, it decreased when GDDs > 729. The maximum expected yield (16.3 MT/10a) was attained for the growing period of 64 days from transplanting date during which GDDs reached 601. The GDDs for optimum cultivation ranged from 478-724

* Corresponding Author : Young Yeol Cho
(yycho@jejunu.ac.kr)

under which the yield was about 95% (15.5 MT/10a) of maximum fresh weight. Such an optimum condition for GDDs was validated at five main cultivation regions including Jindo, Haenam, Naju, Seosan, and Pyeongtaek in Korea. In these regions, GDDs ranged from 619-719. This suggested that the optimum GDDs for Chinese cabbage cultivation would range from 478-724, which would give the useful information to expect the cultivation periods for ensuring maximum yield.

***Key words*: Spring cabbage, Cultivate period, Growing degree day (GDDs), Estimate model**

I. 서 언

향후 기후변화로 인하여 2100년에는 기온이 최대 2.6～4.8℃까지 높아질 것으로 예측하고 있다(IPCC 제6차 기후변화 종합보고서, 2014). 기온의 변화는 작물의 생육과 품질에 큰 영향을 미치며, 결과적으로 수량에 영향을 준다(Hoogenboom, 2000). 또한 기온의 증가는 작물 작기를 변화시켜 이에 따른 새로운 영농계획 수립이 요구된다(Yun, 2001).

작물에 대한 기온의 영향을 분석하기 위하여 열단위, 열시간 등 많은 방법이 제시되어 활용되고 있으며 그중 열단위를 이용한 생육도일(Growing degree days, GDDs)이 많이 사용되고 있다. 생육도일은 일최대기온과 최저기온, 작물기본온도를 조합하여 계산하며 이를 이용하여 과수의 개화시기 예측, 옥수수의 수정시기 예측, 사료작물의 수확시기 예측 등에 활용되고 있다(Gilmore and Rogers, 1958; Mcmaster and Wihelm, 1997; Miller *et al*., 2001; Lee *et al*., 2002).

배추는 호냉성 작물로 생육초기의 적정 기온은 18～20℃이며, 결구기인 생육후기에는 15～18℃이다. 기온은 배추의 작기 결정에 가장 큰 요소이다. 배추는 종자춘화형 작물로 생육초기에 12℃ 이하의 저온에 노출되면 이후 고온 장일에 의하여 추대가 발생하는 것으로 알려져 있다(Heido, 1970; Guttormsen and Moe, 1985). 추대가 일어날 경우 영양생장이 억제되어 생산성이 떨어지며 상품으로서 가치도 없어지게 된다. 또한 생육후기인 결구기에서는 고온에 의한 생리장해가 한계요인이 된다. 배추가 고온에 노출되었을 때 석회결핍증상이 나타나며 이로 인해 속썩음 현상이나 잎 가장자리마름 현상이 나타나 상품율을 떨어트리며(Hwang *et al*., 2003), 생육 저하 및 광합성능 저하 등이 일어나 재배에 어려움을 준다(Lee *et al*., 2009; Oh *et al*., 2014). 이와 같이 기온은 배추 재배에 중요한 요소로 그 한계 범위와 그에 따른 영향 등 많은 연구가 보고되고 있으며, 특히 추대 등 생리 반응은 품종에 따라 많은 차이를 보인다고 한다(Lee *et al*., 2002; Lee *et al*., 2013).

한국인의 주요 부식인 김치의 주재료인 배추는 평년기준 233만톤이 소비된다. 배추의 저장기간은 길어야 3～4개월이며 신선도를 필요하기 때문에 생산량이 곧 소비량이 된다(Kim *et al*., 2016). 이러한 완전 경쟁적인 특성때문에 생산량이 10～20% 감소하게 되면 가격이 2～3배 상승할 정도로 생산량에 따른 가격변동이 커서 안정적인 생산이 매우 중요하다(Lee, 1996). 따라서 수요에 따른 공급량을 맞추기 위하여 배추는 연중 생산체계가 확립되어 1년 내내 파종, 수확되고 있다. 특히 봄배추는 김장배추용인 가을작형에 이어 두 번째로 많이 생산되는 중요한 작형이다. 봄배추의 작형은 21～35일 육묘 후 정식하고 이후 49～77일 정도에 수확되고 있으며, 이보다 재배기간이 짧으면 결구가 문제가 되고, 길어지면 경제성이 떨어지는 것으로 알려져 있다(Park and Kim, 2013).

현재 안정적인 생산을 위하여 지역과 재배작물에 따라서 적정작기가 제시되고 있다. 봄배추의 경우 권역별로 적정 작기가 제시되고 있으나 이는 품종이나 지역별 기후 등이 고려되지 않았다. 또한 봄배추의 경우 주로 '춘광' 품종이 많이 이용되고 있으나 온도에 의한 생육 및 생리에 대해서는 보고되지 않았다. 따라서 본 연구는 봄배추 '춘광'의 기온에 대한 영향을 구명하고 이를 활용하여 안정생산을 위한 적정 재배 작기를 예측하기 위하여 수행되었다.

II. 재료 및 방법

2.1. 공시작물 및 환경요인 설정

본 연구는 국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소의 온도구배 터널에 정식시기를 달리하여 수행되었다. 온도구배 터널은 긴 터널 모양의 하우스로 정면은 개방되어 있으나 후방은 폐쇄된 형태의 시설이다.

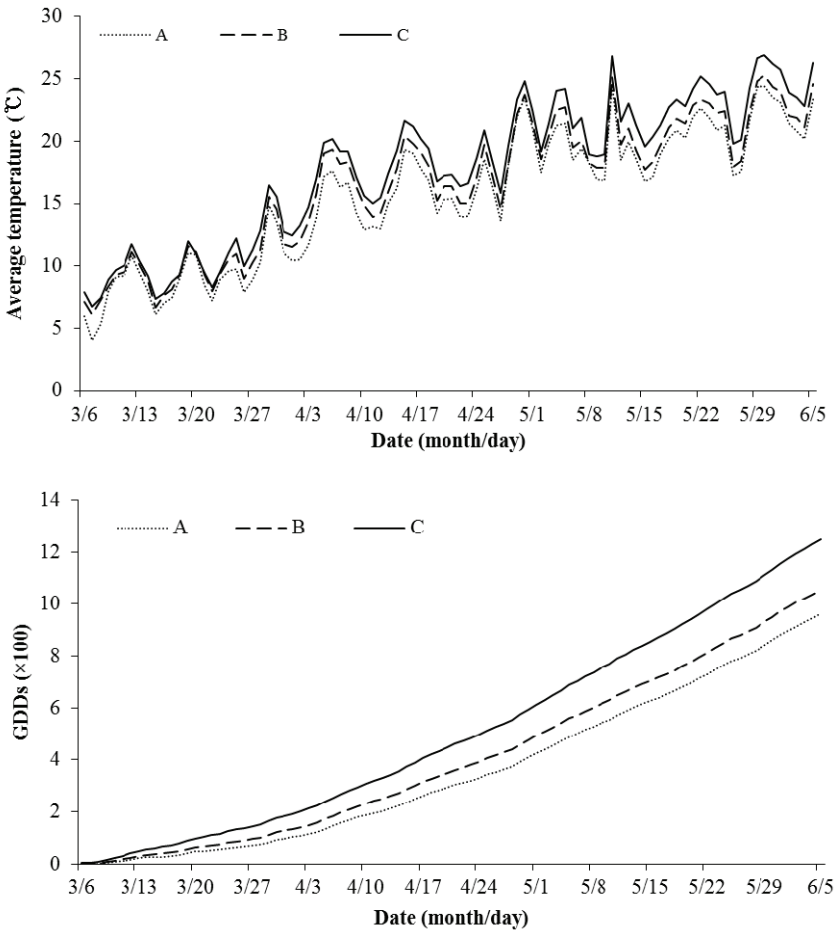

Fig. 1. Changes in daily average air temperature and growing degree days (GDDs) in the temperature-gradient chamber. GDDs were calculated from the equation of $[(T_{max} + T_{min})/2 - T_b]$, and T_b is 5℃. Air temperature was gradually elevated in the chamber, which is (A) 2℃, (B) 4℃, and (C) 6℃ higher than ambient.

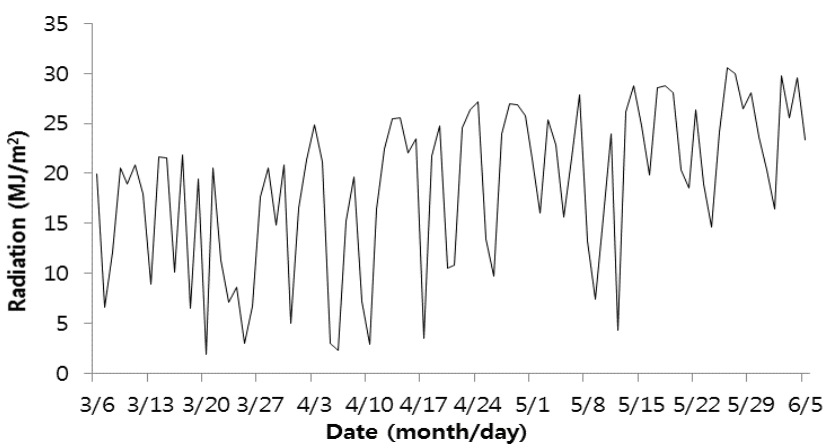

Fig. 2. Changes in daily radiation in the temperature-gradient chamber.

막혀 있는 후면을 기준으로 열려 있는 전면까지 단계적으로 기온 차가 나게 설계되어 있으며, 각 지점의 기온은 24시간 일정하게 외기온보다 0～6℃까지 높게 편차를 유지할 수 있다(Fig. 1.). 온도 편차에 따라 총 3개의 구역(외기+2℃, A; 외기+4℃, B; 외기+6℃, C)으로 구분하여 배추를 재배하였다. 또한 기온에 대한 영향 외에 작기에 따른 광 영향을 분석하기 위하여 일사량과 일조시간을 조사하였다(Fig. 2).

주야간 온도 23/18℃(12/12h), 습도 40～60%, 광량 900μmol・m^{-2}・s^{-1} 내로 유지되는 챔버에서 원예용 상토를 충전한 72공 플러그트레이에 1셀당 1립씩 '춘광' 종자(사카다코리아)를 파종하여 육묘하였다. 배추는 총 3차례 파종(2017년2월6일, 2월20일 및 3월6일)하여 28일간 육묘 후 2주 간격으로 정식(3월6일, 3월20, 4월3일)하여 재배하였다. 이에 따라 3 수준 작기와 3 수준 온도 편차에 의하여 1차 A(3월6일 정식, 외기+2℃), 1차 B(3월6일 정식, 외기+4℃), 1차 C(3월6일 정식, 외기+6℃), 2차 A(3월20일 정식, 외기+2℃), 2차 B(3월20일 정식, 외기+4℃), 2차 C(3월20일 정식, 외기+6℃), 3차 A(4월3일 정식, 외기+2℃), 3차 B(4월3일 정식, 외기+4℃), 3차 C(4월3일 정식, 외기+6℃) 등으로 총 9가지 처리구에서 실험이 수행되었다. 온도구배 터널에 60x40cm 간격으로 정식하였으며, 점적관수 하였다. 정식 후 배추 표준재배법(Park and Kim, 2013)에 준하여 관리하였으며, 재배기간 중 추가 시비는 하지 않았다.

2.2. 생육조사 및 생육도일을 이용한 기온분석

정식 후 64일(각각 2017.5.8., 5.22., 6.5.)에 배추를 수확하여 구중, 엽수, 최대엽 엽장 및 엽폭, 엽면적과 추대 및 속썩음 현상을 조사하였다. 배추의 수량은 단위면적당 구중과 생리장해(추대, 속썩음) 등을 반영한 상품율을 적용하여 산출하였다. 또한 작물에 대한 기온의 영향을 분석하기 위하여 생육도일(Growing degree days, GDDs) 활용하였다. GDDs는 일 최고온도, 일 최저온도 및 배추의 기본온도를 조합하여 산출하였으며 계산식은 아래와 같다.

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

위 식에서 T_{max}, T_{min}, T_b 는 각각 일 최고온도, 일 최저온도, 기본온도를 나타내며, GDD값이 음수가 될 경우 0으로 처리한다. 작물에 따라 기본온도는 다른데, 본 연구에서는 선행연구(Kim *et al*., 2015)와 같게 생육 최저기온인 5℃를 기준으로 설정하였다.

2.3. 재배적기 예측식과 주산지 재배적기 자료를 이용한 검증

배추의 수량과 생육기간 누적된 GDDs를 이용하여 재배적기 예측식을 개발하였다. EXCEL(2016, Microsoft, USA) 프로그램을 이용하였으며 최대수량의 95%까지를 재배적기로 설정하였다. 이를 검증하기 위하여 봄배추 주산지인 진도군, 해남군, 나주시, 서산시, 평택시의 작기와 GDD를 분석하여 비교하였다. 각 지역별 작기는 진도 3월 중순～5월 말, 해남 3월 말～5월 말, 나주 4월 초～6월 초, 서산 4월 초～6월 초, 평택 4월 말～6월 중순이었다. 주산지의 기상 자료는 2013～2015년 기상청 자료를 이용하였다.

2.4. 통계처리

데이터 분석을 위하여 통계 패키지(3.0.3, R Foundation) 를 이용하였으며, 투키HSD검정(Tukey's honestly significant difference test, $p<0.05$)으로 평균치 간의 차이에 대한 유의성을 검정하였다. 또한 EXCEL(2016, Microsoft, USA)을 이용하여 회귀관계를 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 작기와 기온에 따른 배추의 생육

각 작기와 온도차에 의한 GDDs는 1차 A, 1차 B, 2차 A, 1차 C, 2차 B, 3차 A, 2차 C, 3차 B, 및 3차 C 순으로 높았으며 총 일사량과 평균 일조시간은 1차, 2차, 3차 순으로 높았다(Table 1). GDDs를 분석한 결과, 정식일이 늦을수록 그리고 구역별 온도차에 의해서 GDD는 높아지는 경향을 보였으나 구역별 온도차에 의해서 1차 C는 2차 A보다 2차 C는 3차 A보다 높은 값을 보였다.

작기와 기온에 따른 생육을 조사한 결과 다음과 같았다(Table 2). 구중은 작기 및 온도구별 고도의 유의성을 보였으나 잎의 생태적 특성(엽수, 엽면적, 최대엽의 엽장, 최대엽의 엽폭 등)에는 유의성이 없었다. 구중은 1차 정식 B와 C, 2차 정식 A 구획에서 가장 높았다. 이러한 결과는 같은 각 구획 별 GDDs 차이에 의한 것으로 보이며, 이는 온도가 배추의 구중에 영향을 준

Table 1. Radiation and growing degree days in the temperature gradient chamber

Cultivation period	Temperature condition[z]	Total radiation (MJ/m^2)	Average daylight hour (hr)	Growing degree days
1st Mar. 6～May 8	A	1,075	6.4	515
	B			587
	C			729
2nd Mar. 20～May 22	A	1,149	6.6	665
	B			748
	C			872
3rd Apr. 3～Jun. 5	A	1,314	7.7	847
	B			907
	C			1,037

[z] Air temperature was gradually elevated in the chamber, which is (A) 2℃, (B) 4℃, and (C) 6℃ higher than ambient.

Table 2. The growth and physiological disorders of Chinese cabbage affected by gradient air temperature in different cultivation periods

Cultivation period	Temperature condition[z]	Fresh weight (kg)	Leaf No.	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf area (m^2)	Bolting (%)	Soft rot (%)
1st Mar. 6～May 8	A	3.507 bc[y]	96.8 a	45.7 a	30.2 a	2.220 a	5.5	0
	B	4.416 a	103.5 a	42.5 a	31.1 a	2.404 a	0	0
	C	4.264 a	103.3 a	41.1 a	26.8 a	2.498 a	0	0
2nd Mar. 20～May 22	A	3.938 ab	101.6 a	41.3 a	29.0 a	2.416 a	0	0
	B	3.438 bc	101.8 a	43.4 a	29.8 a	2.288 a	0	0
	C	3.291 bc	93.4 a	43.4 a	29.4 a	2.099 a	0	11.0
3rd Apr. 3～Jun. 5	A	3.126 c	105.4 a	42.6 a	30.3 a	2.037 a	0	5.5
	B	3.093 c	109.8 a	45.5 a	30.7 a	2.178 a	0	33.3
	C	3.372 bc	112.0 a	46.2 a	32.4 a	2.324 a	0	44.4

[z] Air temperature was gradually elevated in the chamber, which is (A) 2℃, (B) 4℃, and (C) 6℃ higher than ambient.
[y] Means followed by the same letter are not significantly different using Tukey's HSD test, P=0.05.

다는 보고와 유사하다(Ahn *et al*., 2014; Kim *et al*., 2015). 배추의 구중은 GDDs의 누적에 따라 증가하다가 729 GDDs부터는 감소하였는데 이는 고온에 의한 스트레스 및 생리장해로 인한 것으로 보인다. 이는 호냉성 작물인 배추에 고온이 스트레스로 작용하여 GDD와 구중과 부의 상관을 보였다는 결과와 유사하다(Kim *et al*., 2015).

광환경에 따른 배추의 생육을 분석하기 위하여 GDDs가 유사하고 작기가 다른 1차 C와 2차 A, 2차 C, 3차 A의 구중을 비교한 결과 누적 일사량과 평균 일조시간이 증가했음에도 구중과 잎의 특성은 차이를 보이지 않았다. 이는 배추의 광포화점이 40klux로 낮으며 재배기간 동안의 광환경이 광요구를 충족함으로써 차이가 나타나지 않은 것으로 보인다.

추대는 3월 6일 1차 정식 A 구획에서만 5.5% 발생되었다. 1차정식 A 구획의 3월 평균 기온은 8.7℃이었으며, 이는 13℃ 이하의 저온에 감응하여 꽃눈이 생성되어 추대된다는 보고(Guttormsen and Moe, 1985)와 부합한다. 그러나 현행 주요 봄배추 품종들은 추대에 높은 저항성을 갖도록 육성되어(Lee *et al*., 2013), 저온에 의한 추대 발생률이 낮게 나온 것으로 보인다. 속썩음 증상은 3차 A구획 5.5%, 2차 C구획 11%, 3차 B구획 33.3%, 그리고 3차 C구획에서 44.4% 발생되었다. 이는 생육 중후기 고온에 의한 것으로 보이며 재배

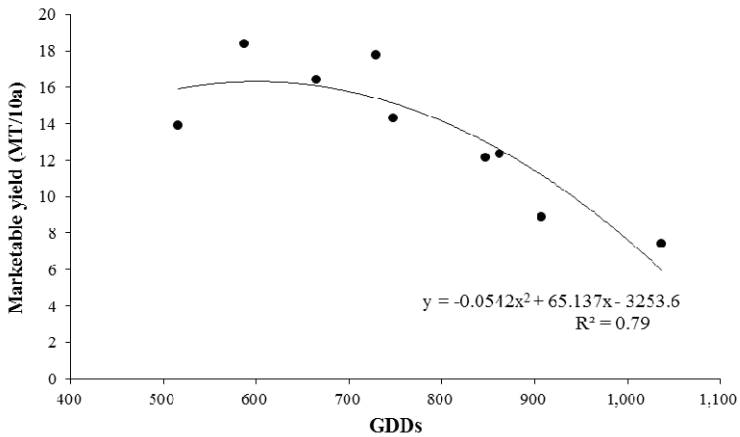

Fig. 3. Relationship between marketable yield of Chinese cabbage and GDDs (n=18) at different cultivation periods.

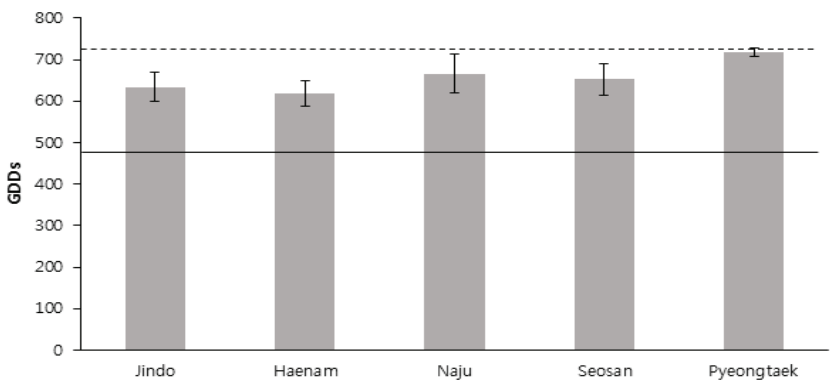

Fig. 4. GDDs at 5 main cultivation regions of spring Chinese cabbage in Korea. — means lower threshold 478 GDD, - - means upper threshold 724 GDD in optimum GDDs for Chinese cabbage cultivation range.

기간 중 고온이 지속될 경우 속썩음 현상이 나타난다는 보고(Park and Kim, 2013; Lee *et al*., 2015)와 유사하였다.

3.2. GDDs를 이용한 봄배추 적정 재배작기 예측 및 검증

작기와 기온에 따른 생육과 생리장해를 조사한 결과 온도 누적인 GDDs과 밀접한연관이 있다는 것을 확인할 수 있었으며 이를 이용하여 봄배추의 적정 재배작기를 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 봄배추 적정 재배작기를 구명하기 위하여 수량과 GDDs와의 연관성을 분석하고 적정 재배작기 예측식을 산출하였다(Fig. 3). 적정 작기 예측식은 EXCEL을 이용하여 2차 함수로 개발하였으며 결정계수는 0.79이었다. 최대 기대수량은 GDDs가 601일 때 16.3MT/10a가 되는 것으로 산출되었으며 GDD가 이보다 높거나 낮을 경우 수량이 떨어졌다. 최대 수량의 95%인 15.5MT/10a이상으로 산출되는 GDDs를 재배적기로 설정하였을 때 적정 재배 작기는 재배 기간 중 GDDs가 478～724이 되는 기간이다.

본 예측식을 검증하기 위하여 주산지 재배적기의 GDDs를 조사한 결과는 다음과 같았다(Fig. 4). 재배기간은 해남・나주・서산은 64일, 진도가 76일, 평택은 50일로 설정하여 조사하였으며 GDDs는 진도, 해남, 나주, 서산, 평택이 각각 634, 619, 666, 652, 719이었다. 비교 결과 실험구에서 수량이 좋았던 실험구의

GDDs와 각 주산지 재배기간 동안의 GDDs가 근사하였으며 예측식의 최대값의 95%를 나타내는 구간 내에 포함되었다. 이로 보아 봄배추의 적정 작형은 478～724 GDDs 범위인 것으로 판단되었다.

적 요

본 연구는 기온에 따른 봄배추 '춘광'의 재배 적기를 밝혀 농가에 적정 재배시기를 제공하기 위해서 수행되었다. 기온이 외기보다 6℃까지 단계적으로 상승하도록 설계된 온도구배 터널을 3개의 구역(외기+2℃, A; 외기+4℃, B; 외기+6℃, C)으로 나눈 후 작기(2017.3.6., 1차; 3.20., 2차; 4.3., 3차)에 걸쳐 정식하였다. 재배기간 동안의 생육도일(growing degree days, GDDs)은 1차 A, 1차 B, 2차 A, 1차 C, 2차 B, 3차 A, 2차 C, 3차 B, 3차 C 순으로 높았다. 구중은 1차 B, 1차 C, 2차 A 처리구에서 높게 나타나 처리간 높은 유의적 차이를 보였으나 생태적인 특성(엽수, 엽면적, 최대엽의 엽장 및 엽폭 등)은 차이가 없었다. 다만, 생육초기 13℃ 이하의 저온에 감응하였던 결과로 1차 A 처리구에서 5.5%의 추대현상이 발생하였다. 또한 2차 C, 3차 A, B, 및 C 처리구에서 기온이 높아짐에 따라 각각 11.0, 5.5, 33.3, 및 44.4%의 속썩음 현상이 발생하였다. GDDs에 따른 배추 구중은 587 GDDs까지 증가하다 729 GDDs 이후에는 오히려 감소하였다. GDDs에 따른 배추 수량과 적정 재배시기 예측식에서 최대 기대수량은 정식 후 64일 기준 GDDs가 601일 때 16.3MT/10a이었다. 최대 수량의 95%(약 15.5MT/10a) 이상을 재배 적기로 설정할 때 적정 범위는 478～724 GDDs로 산출되었다. 재배적기 예측식의 검증 결과, 봄배추 주산지인 진도, 해남, 나주, 서산, 평택의 GDDs는 각각 634, 619, 666, 652, 및 719이었고, 예측식에서 산출된 범위(478～724 GDDs)에 포함되었다. 결과적으로 봄배추의 재배 최적기는 예측식의 최대값인 수확기준 601 GDDs이며 적정 범위는 호냉성인 온도 특성을 감안하여 478～724 GDDs인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 실험연구사업 과제번호(PJ012033)의 지원에 의해 수행되었음

REFERENCES

Ahn, J. H., K. D. Kim, and J. T. Lee, 2014: Growth modeling of Chinese cabbage in an alpine area. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(4), 309-315. (in Korean with English abstract)

Gilmore, E. C., and J. S. Rogers, 1958: Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, **50**(10), 611-615.

Guttormsen, G., and R. Moe, 1985: Effect of plant age and temperature on bolting in Chinese cabbage. *Scientia Horticulturae* **25**, 217-224.

Heide, O. M., 1970: Seed-stalk formation and flowering in cabbage. Day-length, temperature, and tune relationships. *Meldinger fra Norgen Landbrukshogskole* **49**, 471-422.

Hoogenboom, G., 2000: Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. *Agricultural and forest meteorology* **103**, 137-157.

Hwang, S. W., J. Y. Lee, S. C. Hong, Y. H. Park, S. G. Yun, and M. H. Park, 2003: High temperature stress of summer Chinese cabbage in alpine region. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* **36**, 417-422. (in Korean with English abstract)

IPCC, 2014: Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 117-130.

Kim, S. W., H. Y. Rho, and S. H. Yun, 2016: Prediction of Chinese cabbage and radish consumption. *KREI* **18**, 5-6.

Kim, K. D., J. T. Suh, J. N. Lee, D. L. Yoo, M. Kwon, and S. C. Hong, 2015: Evaluation of factors related to productivity and Yield estimation based on growth characteristics and growing degree days in highland Kimchi cabbage. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **33**, 911-922. (in Korean with English abstract)

Lee, S. G., H. J. Lee, S. K. Kim, C. S. Choi, S. T. Park, Y. A. Jang, and K. R. Do, 2015: Effect of vernalization, temperature, and soil drying periods and the growth and yield of Chinese cabbage. *Korean Journal of Horticultural Science &*

Technology **33**, 820-828. (in Korean with English abstract)

Lee, J. G., C. S. Choi, S. G. Lee, Y. C. Um, C. W. Nam, H. J. Lee, and Y. A. Jang, 2013: Effect of day and night temperature during seedling stage on bolting of spring Chinese cabbage. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **31**, 61pp. (in Korean with English abstract)

Lee, J. G., J. W. Lee, S. H. Park, Y. A. Jang, S. S. Oh, T. C. Seo, H. K. Yoon, and Y. C. Um, 2011: Effect of low night-time temperature during seedling stage on growth of spring Chinese cabbage. *Journal of Bio-Environment Control* **20**(4), 326-332. (in Korean with English abstract)

Lee, S. G., J. H. Moon, Y. A. Jang, W. M. Lee, I. H. Cho, S. Y. Kim, and K. D. Ko, 2009: Photosynthetic characteristics and cellular tissue of Chinese cabbage are affected by temperature and CO_2 concentration. *Journal of Bio-Environment Control* **18**(2), 148-152. (in Korean with English abstract)

Lee, J. W., H. K. Yun, Y. C. Kim, K. Y. Kim, and T. C. Seo, 2002: Effect of seedling period and planting time on the bolting and quality in spring Chinese cabbage. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **20**(3), 37pp. (in Korean with English abstract)

Lee, K., M. Allen, and R. Leep, 2002; Predicting optimum time of alfalfa harvest. *In Proc. Tri-state Dairy Nutrition Conference*, Fort Wayne. Ohio State University, Columbus, USA, 149-152.

Lee, J. W., 1996: A study of decision-making factors of production for radish and Chinese cabbage. Report of Korea Rural Economic Institute, Korea.

Mcmaster, G. S., and W. W. Wilhelm, 1997: Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and forest meteorology* **87**, 291-300.

Miller, P., W. Lanier, and S. Brandt, 2001: Using growing degree days to predict plant stages. *Ag/Extension Communications Coordinator, Communications Services*, Montana State University-Bozeman, Bozeman, MO.

Oh, S. J., K. H. Moon, I. C. Son, E. Y. Song, Y. E. Moon, and S. C. Koh, 2014: Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of Chinese cabbage in response to high temperature effects of differentiated temperature. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **32**, 318-329. (in Korean with English abstract)

Park, S. H., and J. K. Kim, 2013: Cabbage. Rural Development Administration 128, 46pp.

Son, I. C., K. H. Moon, E. Y. Song, S. J. Oh, H. H. Seo, Y. E. Moon, and J. Y. Yang, 2015: Effects of differentiated temperature based on growing season temperature on growth and physiological response in Chinese cabbage 'Chunkwang'. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **17**, 254-260. (in Korean with English abstract)