

온도에 따른 난지형 마늘 출현 모형

문경환* · 최경산 · 손인창 · 송은영 · 오순자

국립원예특작과학원 온난화대응농업연구센터

(2014년 10월 31일 접수; 2014년 11월 8일 수정; 2014년 11월 9일 수락)

A Simple Emergence Model of Southern Type Garlic Based on Temperature

K. H. Moon*, K. S. Choi, I. C. Son, E. Y. Song and S. Oh

Agricultural Research Center for Climate Change, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Jeju 690-150, Korea

(Received October 31, 2014; Revised November 8, 2014; Accepted November 9, 2014)

ABSTRACT

We developed a simple model to predict emergence time and emergence rate of southern type garlic using the daily mean temperature. Emergence rate of garlic was decreased and emergence time was delayed on higher temperature than optimum temperature of 12.7°C. In the model, firstly daily emergence rate was calculated using a beta function to input daily mean temperature, then the percentage of garlic emergence was calculated using a nonlinear model with accumulated emergence rate. The model was good to describe the experimental data of growth cabinet. Also it can explain well the experimental data using temperature gradient tunnel, designed for verification of model performance. But there are 5 days of deviation between estimated and measured time of garlic emergence on the field experiment. More research is needed to develop an advanced model considering other factors, such as soil moisture.

Key words: Southern type garlic, Emergence model of garlic, Daily mean temperature, Garlic phenology

I. 서 론

상업적으로 재배되는 마늘(*Allium sativum* L.)은 꽃은 피지만 감수분열 시 이상으로 종자가 맺히지 않기 때문에 인편(마늘쪽)이나 주아를 이용한 영양번식을 한다(Kamenetsky *et al.*, 2004). 최근에 우량마늘을 생산하고자 주아를 이용한 재배가 점차 늘어나고 있으나 아직도 마늘 인편을 이용한 재배방법이 일반적이다(Choi *et al.*, 2009, Kim *et al.*, 2009). 마늘 인편을 가을철에 파종하여 발근 후 노지에서 월동을 시키는데 이는 마늘의 분구와 인편형성에 저온요구도를 충

족시킬 필요가 있기 때문이다(Bandara *et al.*, 2000). 6~7월 초여름의 수확기의 마늘을 수확직후에 바로 종구로 파종하면 뿌리나 엽초가 잘 출현되지 않는다. 반면 고온인 20°C 보다 저온인 5°C 또는 15°C에서 4~6주 저장한 후 파종했을 때 엽초의 출현이 빨라졌다. 이는 수확기의 마늘은 이미 휴면 상태에 있고, 마늘 구의 휴면을 해제하기 위해서는 저온처리나 장기간의 보관 시간이 필요하기 때문이다. 수확 직후 휴면 때문에 쉽게 발아하지 않는 현상은, 휴면해제를 위한 휴면 기간이나 적은 범위는 다르지만, 양파나 감자 같은 식물에서도 유사하게 나타난다고 오래 전부터 알려



* Corresponding Author : K. H. Moon
(milestone@korea.kr)

져 있다(Mann and Lewis, 1956). 양파 종자를 토양에 파종하였을 때 발아와 출현에는 온도뿐만 아니라 수분함량도 영향을 준다. 온도와 수분스트레스가 양파의 종자 발아에 미치는 영향에 대해서는 많이 연구가 되어왔고, 이를 바탕으로 포장에서 양파의 발아를 예측하는 식이 개발된 바 있다(Brewster 2008). 소위 hydrothermal time 모형으로 알려진 종자의 발아 모형은 기본 온도 이상의 온도가 일정량 누적되어야 종자가 발아된다는 생장도일 발아모형의 개념을 확장하여, 온도뿐만 아니라 가상의 기본 수분포텐셜보다 낮은 수분포텐셜이 일정량 축적이 되어야 발아가 진행된다고 가정하고 있다(Dahal and Bradford, 1994; Rowse *et al.*, 1999). 그러나 이 모형은 환경요소에 대한 식물반응이 선형으로 나타나는 범위에서만 적용이 가능하다는 문제점 역시 내포하고 있다(McMaster and Wilhelm; 1997; Trudgill *et al.*, 2005). 그리고 시간에 따른 발아율은 정규분포의 누적함수로 나타낼 수 있다고 가정하는 probit 회귀분석을 수행하여 분위별 발아율에 도달할 때까지 소요된 시간을 기준으로 발아 속도를 추정하고 있으나(Bradford, 2002), 발아율의 증가가 정규분포의 누적함수가 아닐 수 있다는 점에서 한계가 있다. 마늘의 종구를 파종했을 경우에도 이와 유사하게 온도, 수분스트레스 등이 마늘 출현에 영향을 줄 것으로 예상할 수 있으나, 이에 대한 연구는 아직 부족한 상태이다.

우리나라에서 주로 재배되는 마늘은 교배가 이루어지지 않기 때문에 품종 대신 생태형으로 구분하여 비교적 추운 온대지방에서 재배되는 한지형과 기온이 높은 지역에서 재배되는 난지형으로 나누고 있다(Jung *et al.*, 2000). 최근에는 한지형이 약 20%, 난지형이 약 80%를 점유하고 있다(Kim, 2014). 난지형 마늘은 5월 하순부터 수확할 수 있는 조생종으로 온대지방에서 가을철 파종 후 빨리 출현하여 초기 생육을 한 상태에서 월동을 하는 데 비해 한지형 마늘은 중, 만생종으로 휴면타파에 요구되는 기간이 길어 출현이 늦어지고, 맹아가 조금 나온 상태에서 월동을 하며 이듬해 봄이 되어야 빠르게 성장하는 특성을 보인다(Jung *et al.*, 2000). 생태형이 다른 마늘은 휴면타파 요구도가 다르고 재배 시의 온도 여건에 따라 출현 특성이 다르다고 알려져 있다(Lee, 1974; Park and Lee, 1990).

우리나라에서 마늘 재배 시 한해의 위험이 낮은 남부지방에서는 9월 중순, 한해 위험이 높은 중북부지방

은 10월 중순이 파종 적기로 알려져 있다. 그러나 최근 중북부의 농가에서 관행의 재배방식대로 10월 중순에 파종을 했을 때 생육초기 고온으로 마늘 잎이 조기 출현하여 겨울철 한해 피해가 발생하는 등의 문제가 발생하고 있다(Kim *et al.*, 2013). 이것은 지금까지 마늘의 파종 적기를 과거의 기후자료를 바탕으로 결정하였지만 앞으로 기후변화에 의해 관행에 따른 영농관리가 문제를 일으킬 수도 있음을 암시하고 있다. 이렇게 기후변화로 작물 재배가 어려워질 경우, 앞으로는 과거 관행적인 마늘 재배기술을 그대로 적용하기 보다는 작물이 생육하는 것을 사전에 예측하거나 실시간으로 파악하여 적절한 기술을 구사하는 것도 유력한 기후변화 대응책이 될 수 있을 것이다.

이 연구에서는 앞으로 기후변화가 진행되었을 때 기온 상승이 마늘 출현율에 미치는 영향을 예측하기 위해서 우리나라에서 많이 재배되고 있는 난지형 마늘을 대상으로 온도가 마늘의 출현에 대한 영향을 정량적으로 분석하고, 이를 바탕으로 파종 후 일수에 따른 마늘 출현율을 예측하는 모형을 개발하고, 이 모형이 포장조건에서 적용할 수 있을 지를 검토하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 생육상 실험

온도에 따른 난지형 마늘의 출현율을 조사하기 위하여 생육상을 이용한 실험을 수행하였다. 생육상의 온도를 10, 15, 20, 25, 30°C의 5수준 항온 처리로 유지시키면서 24공 육묘상 2개에 마늘 인편을 1개씩 파종하고 출현율을 조사하였다. 마늘은 7월에 수확하여 저장기간 동안 휴면이 완료되었다고 판단되는 시점인 이듬해 1월부터 시험을 개시하였다. 마늘 인편을 처리한 생육상의 온도는 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 범위에서 조절이 되었고 마늘의 새 잎이 0.5cm 이상일 경우를 출현이 되었다고 판단하였고, 조사는 파종 후부터 매일 조사하였다.

2.2. 마늘 출현모형 작성

마늘의 출현 속도를 계산하기 위해서 조사시점의 출현된 개체수를 최종 출현 개체수로 나누어 상대 출현율을 계산하였다. 이 때 마늘의 출현율은 단순하게 누적정규분포를 따른다고 가정하지 않고 실험 자료를 이용하여 곡선 맞춤법(curve fitting)으로 적합한 S자형 함수를 선택하였다. 온도에 따른 출현속도 함수는 Yin

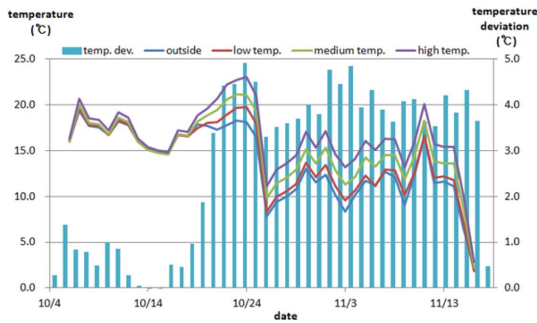


Fig. 1. Changes in daily mean temperatures of inside and outside of temperature-gradient tunnel in every experimental plot. The outside temperature of temperature-gradient tunnel is lower than inside the temperature-gradient tunnel. Vertical bars mean daily temperature deviations between temperatures of outside and that of inner-most plot.

et al.(1995)이 제안한 비선형함수를 적용하였다. 또 온도별 발아속도를 누적한 값과 상대발아율의 발아에 대한 온도의 효과를 정규화하기 위하여 실험자료를 이용하여 곡선 맞춤법으로 최적함수를 구하였다.

2.3. 온도구배터널 시험

온도구배터널에서 마늘을 재배하며 출현모형을 검증하고자 하였다. 온도구배터널은 투명한 불소필름으로 피복된 긴 터널 모양의 하우스로 외부와 입구가 폐쇄된 터널 가장 내부 시험구의 온도차가 24시간 일정하게 편차를 유지할 수 있는 시설이다(Fig. 1). 이 실험에서는 개방된 입구로부터 저온구, 중온구, 고온구로 구분하여 마늘을 재배하며 출현율을 조사하였다. 마늘 파종 후 17일이 경과된 후부터 저온부와 고온부의 일 평균기온이 3.5~5.0°C의 편차를 유지하면서 마늘을 재배하였다. 조사는 마늘이 출현되기 시작하면서부터 매일 조사하는 것을 기준으로 17회 시행하였다. 검증을 위해서 3개 시험구의 일 평균기온 자료를 이용하여 마늘 출현율을 예측하였고, 조사된 값과 비교하였다. 동일한 시기에 외부 포장에도 마늘을 파종하여 출현율을 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

생육상 실험결과 난지형 마늘은 저온에서 고온으로 갈수록 출현율이 저조하고 속도도 늦어지는 것으로 나타났다. 마늘은 10°C의 최종 출현율을 100%로 하면 15°C는 93.8%, 20°C과 25°C는 78.1%, 30°C는

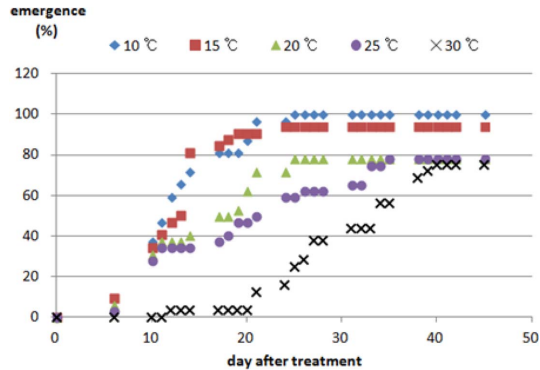


Fig. 2. Progress of emergence rate of southern type garlic according to temperature treatments of 10, 15, 20, 25, 30°C in chamber experiment.

75%로 점차 감소하였다. 또 마늘의 상대 출현율이 50%에 도달하는데 소요되는 시간도 10°C와 15°C에서 가장 빠른 11.6일이었고 30°C에서 가장 오랜 29일이었다. 즉 10~15°C의 처리구에서 마늘이 가장 많이 또 빠르게 출현되었고, 온도가 높아질수록 출현은 점차 어려워졌다(Fig. 2). 온도조건별 상대 발아율로부터 50% 출현소요일수와 출현속도를 Table 1에 나타내었다. 이러한 결과는 Hwang and Lee (1990)이 휴면이 타파된 난지형 마늘의 출현은 온도에 민감하고 5°C부터 20°C까지 고온으로 갈수록 출현이 빨라졌다고 한 결과와 다소 다르게 나타났으나, 본 실험에서의 온도 처리는 20°C보다 높은 25°C와 30°C의 처리구가 있는 점을 감안하면 맹아 최적온도가 10~20°C 범위에 있을 것이라는 점을 의미한다고 보는 것이 타당할 것이다.

실험자료를 이용하여 시간에 따른 출현율을 나타내도록 선택된 비선형함수는 다음과 같다. 자료와 선택된 함수에 대한 결정계수를 Table 1에 나타내었다.

$$y = \frac{100}{\left[1 + \text{cep} \left(- \left(\frac{x-a}{b} \right) \right) \right]} \tag{1}$$

여기서, y는 출현율 (%), x는 소요일수 (일), 계수 a는 50% 출현 소요일수, b는 계수이다. 또 각 온도 조건에서 50% 출현했을 때까지 소요된 일수의 역수를 구하여 출현속도로 간주하였다. 따라서 매일의 출현속도를 누적하여 합이 1이 되면 전체의 50%가 발아된 기간이 된다.

Table 1. Days of 50% emergence of southern type garlic influenced by temperature

Temperature (°C)	Days of 50% emergence (a) (days)	Coefficient (b)	Emergence rate (day ⁻¹)	r ²
10	11.58	3.25	0.0864	0.9814
15	11.64	2.35	0.0859	0.9857
20	13.23	4.57	0.0756	0.97.7
25	16.15	7.10	0.0619	0.9612
30	29.00	1.39	0.0345	0.9814

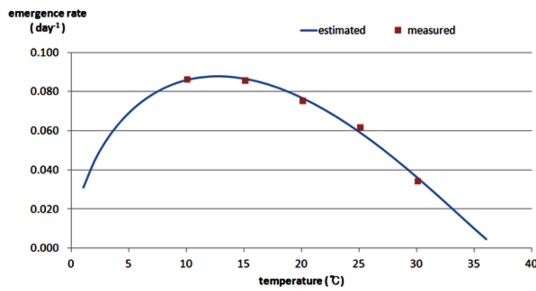
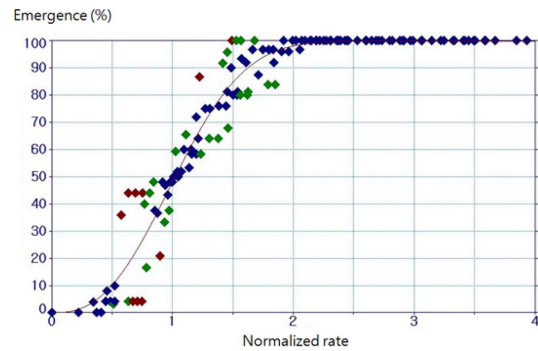
**Fig. 3.** Dependency of emergence rate of southern type garlic on temperature. Yin's beta function was introduced for curve fitting using 4°C as base temperature and 37°C as ceiling temperature.

Fig. 3은 온도에 따른 출현속도의 변화를 Yin *et al.*(1995)이 제안한 함수로 나타낸 것이다.

$$y = \exp(a) \times (x - T_b)^b \times (T_c - x)^c \quad (2)$$

여기서, y 는 출현속도, x 는 일 평균기온, T_b 는 출현가능 최저온도, T_c 는 출현가능 최고온도이며, a , b , c 는 실험자료로부터 도출된 계수인데 각각 -7.477, 0.5826, 1.117의 값을 가진다. 또 이 함수를 활용하기 위해서는 출현이 가능한 최저온도, 최고온도에 대하여 사전에 정보가 있어야 한다. 여기서는 논문 등을 참고하여 난지형 마늘이 출현이 가능한 최저온도를 4°C, 최고온도를 37°C로 가정하여 최적함수를 구하였다(Hwang and Lee, 1990). 난지형 마늘이 출현하기 위한 최적의 온도는 12.7°C이었고 그 때의 출현속도는 0.087 day⁻¹이었다.

온도에 따라 다른 출현속도를 구하고 이를 누적하면 온도의 영향이 배제된 정규화된 출현속도를 구할 수 있고, 이를 출현율과 비교한 것이 Fig. 4이다. 온도처리가 다른 5개의 실험자료를 모두 이용하여 정규화된 출현속도로부터 출현율을 구할 수 있는 비선형함수를 다음과 같은 도출하였다.

**Fig. 4.** Relation between normalized rate, accumulated emergence rate, and percentage of emergence of southern type garlic.

$$y = 100 \times [1 - \exp(-(x/a)^b)] \quad (3)$$

여기서, y 는 출현율, x 는 온도별 출현속도의 누적값으로 정규화된 출현속도, a 와 b 는 계수이다. 측정자료 전체를 모아 위의 비선형식으로 곡선 맞춤법을 적용했을 때 계수 a 는 1.1759, b 는 2.6034이었고, 결정계수는 0.9539로 위 모형으로 전체 자료를 잘 설명할 수 있었다.

이상의 결과로부터 난지형 마늘의 일별 출현율을 계산하는 모형을 도출할 수 있다. 일별 출현율을 구하기 위해서 먼저 일 평균기온자료로부터 식 (2)를 이용하여 온도에 따른 일별 출현속도를 구한다. 다음으로 파종일 이후 일별 출현속도를 계속 누적시킨 값을 구하고, 마지막으로 식 (3)을 이용하여 출현율을 구하게 된다.

Fig. 5는 온도구배터널과 노지에서 모형을 적용하여 예측한 출현율과 관측된 출현율을 비교한 결과를 나타내었다. 모형은 온도구배터널 내부의 출현 개시기와 출현율의 변화는 비교적 잘 예측하였으나, 외부 포장 조건에서는 출현이 실측값보다 5일 일찍 개시되는 것

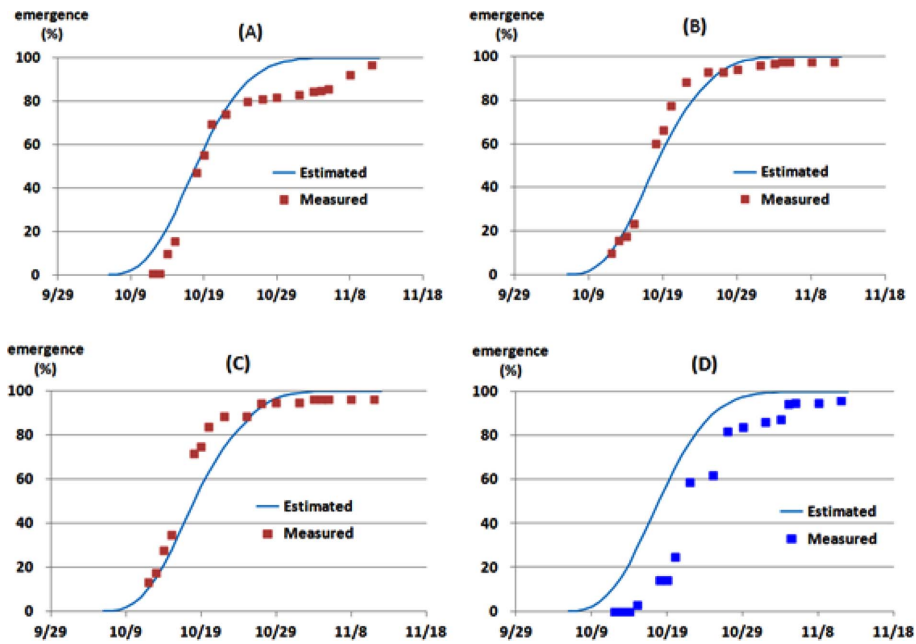


Fig. 5. Comparison of measured and estimated percentages of garlic emergence in temperature gradient tunnel and outside field. The results of low-, medium-, high-temperature and outside plots are showed on (A), (B), (C) and (D), respectively. In case of outside field (D), Five days of deviation between model estimation and measured data in emergence time are showed.

으로 예측하였다. 이는 외부에서는 온도 이외의 다른 요인이 출현개시를 저해한 것으로 판단되었다. Bradford(2002)는 온도와 수분스트레스를 동시에 고려한 종자 발아모형을 제안했듯이 마늘 출현예측에서도 토양수분상태를 반영하는 모형이 필요함을 암시하고 있다.

이 연구에서 제안된 마늘 출현모형은 일 평균기온 자료를 이용하여 비교적 쉽게 난지형 마늘의 출현시기와 출현율의 변화를 예측할 수 있는 모형이다. 앞으로 기후변화에 따라 우리나라는 기온이 증가하고 강수형태로 바뀔 것으로 예상되고 있다(Kwon, 2005). 제안된 모형은 최소한 기온이 상승했을 때 난지형 마늘의 출현시기와 출현율의 변화를 예측해 보는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 앞으로 강수형태까지 고려한 영향평가를 위해서는 수분스트레스까지 고려된 마늘 출현모형의 개발이 필요하다고 하겠다.

적 요

일 평균기온을 이용하여 난지형 마늘의 출현시기와 출현율을 일별로 예측하는 동적 모형을 개발하였다.

난지형 마늘은 최적온도인 12.7°C보다 증가하면서 출현율과 출현속도가 감소하였다. 일 평균기온을 입력하여 난지형 마늘의 일별 출현속도를 예측할 수 있는 베타함수와, 출현속도를 누적하여 마늘 출현율의 변화를 예측하는 비선형 모형을 개발하였다. 개발된 모형으로 성장상의 실험결과를 잘 설명할 수 있었다. 모형을 재배기간 온도조건이 다른 온도구배터널에 적용해본 결과 온도구배터널 재배 마늘의 출현시기와 출현율을 비교적 잘 예측할 수 있었다. 그러나 노지 포장에서는 모형에서는 출현시기가 실제 관측된 것보다 5일 정도 빠를 것으로 예측되어 토양수분 등 온도이외의 다른 요인을 반영할 수 있도록 모형의 개선이 필요하였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ007493)의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Bandara, M. S., K. Krieger, A. E. Slinkard and K. K.

- Tanino, 2000: Pre-plant chilling requirements for cloving of spring-planted garlic. *Canadian Journal of Plant Science* **80**, 379-384. (In Korean with English abstract)
- Bradford, K. J., 2002: Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science* **50**, 248-260.
- Brewster, J. L., 2008: Onions and other vegetable Alliums (2nd ed.). CABI, 85-169.
- Choi, H. S., W. B. Chae, Y. B. Kwack, H. L. Kim and E. Y. Yang, 2009: Effect of Soil Temperature, Seedtime, and Fertilization Rate on the Secondary Growth in the Cultivation of the Big Bulbils of Namdo Garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Bio-Environment Control* **18**, 454-459. (In Korean with English abstract)
- Dahal, P. and K. J. Bradford, 1994: Hydrothermal time analysis of tomato seed germination at suboptimal temperature and reduced water potential. *Seed Science Research* **4**, 71-80.
- Hwang, J. M. and B. Y. Lee, 1990: Effect of temperature and humidity conditions on rooting and sprouting of garlic. *Journal of Korean Society of Horticultural Science* **31**, 15-21. (In Korean with English abstract)
- Jung, Y., M. Park, I. Jo, Y. Jo, C. Park, D. Noh, 2000: Taxonomical classification of Korean soils. *National Institute of Agricultural Science and Technology*, Rural Development Administration, Suwon, South Korea.
- Kamenetsky, R., I. L. Shafir, H. Zemah, A. Barzilay and H. Rabinowitch, 2004: Environmental control of garlic growth and florogenesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **129**, 144-151.
- Kim, C. H., K. C. Seong, J. S. Lee, K. H. Kang, Y. C. Um and H. D. Suh, 2009: Production of seed garlic by sawing bulbils of southern type garlic in Jeju Island. *Journal of Bio-Environment Control* **18**, 74-80. (In Korean with English abstract)
- Kim, I. J., G. W. Park, C. K. Yun, J. S. Lee, K. -H. Kim, K. S. Ahn, 2013: Effects of The Time Sowing on Growth and Yield of Northern Type Garlic. *Journal of Korean Society of International Agriculture* **25**, 260-264. (In Korean with English abstract)
- Kim, S. W., 2014: Trend of global garlic industry. *World agriculture* **166**, 93-107. (In Korean)
- Kwon, W. T., 2005: Current Status and Perspectives of Climate Change Sciences. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* **41**, 325-336. (In Korean with English abstract)
- Lee, W., 1974: Studies on dormancy of Korean local garlics. *Korean Journal of Horticultural Science* **15**, 119-141. (In Korean with English abstract)
- Mann, L. K. and D. A. Lewis, 1956: Rest and dormancy in garlics. *hilgardia* **26**, 161-189.
- McMaster, G. S. and W. Wilhelm, 1997: Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* **87**, 291-300.
- Park, Y. and B. Lee. 1990: The effect of planting date on growth and bulb formation of northern and southern garlic ecotypes in Cheju. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science* **31**, 7-14. (In Korean with English abstract)
- Rowse, H., J. McKee and E. Higgs, 1999: A model of the effects of water stress on seed advancement and germination. *New phytologist* **143**, 273-279.
- Trudgill, D., A. Honek, D. Li and N. Straalen, 2005: Thermal time-concepts and utility. *Annals of Applied Biology* **146**, 1-14.
- Yin, X., M. J. Kropff, G. McLaren and R.M. Visperas, 1995: A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* **77**, 1-16.