농업 기후 정보 생산을 위한 미래 기후 자료 처리 GrADS 및 R 프로그램 구현

이규종 · 이세미 · 이변우 · 김광수*

서울대학교 식물생산과학부

(접수: 2013년 1월 30일, 수정: 2013년 3월 26일, 게재확정일: 2013년 4월 15일)

Implementation of GrADS and R Scripts for Processing Future Climate Data to Produce Agricultural Climate Information

Kyu Jong Lee, Semi Lee, Byun Woo Lee, and Kwang Soo Kim*

Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul, Korea

(Received: 30 January 2013, Revised: 26 March 2013, Accepted: 15 April 2013)

Abstract A set of scripts for GrADS (Grid Analysis and Display System) and R was implemented to produce agricultural climate information using the future climate scenarios based on the Representative Concentration Pathways. The GrADS script was used to calculate agricultural climate indices including growing degree days and cooling degree days. The script generated agricultural climate maps of these indices, which are compatible with common Geographic Information System (GIS) applications. To perform a statistical analysis using the agricultural climate maps, a script for R, which is open source statistical software, was used. Because a large number of spatial climate data were produced, parallel processing packages such as SNOW, doSNOW, and foreach were used to perform a simple statistical analysis in the R script. The parallel script of R had speedup on workstations with multi-CPU cores.

Key words: Grid, climate data, parallel processing, agriculture, GIS

1. 서 론

최근의 지구 온난화에 따른 급격한 기후변화는 사회 경제적으로 심각한 피해를 주고 있으며 농업분야에 있어서도 농업기후자원의 변화를 초래하여 농업 생산성에 직간접적인 영향을 줄 것으로 예측되고 있다. 이에 따라 미래의 기후변화에 대한 농업 생산성의 변동을 예측하기 위한 다양한 연구와 시도가 이루어지고 있다. 특히, 기상청에서 제공되는 기후정보를 근거로 생산된 농업기후정보는 장기적인 안목에서 농업 생산성을 유지 및 향상시킬 수 있는 개별농가의 의사 결정과 국가차원의 정책 수립에 도움이 된다. 우리나라

의 작은 영농규모와 다양한 지표특성을 감안할 때 농업 기후정보는 정밀한 공간해상도를 가져야 한다. 이에 따라 기상청에서 제공되는 기후정보를 GIS (Geographic Information System)와 같은 정보기술을 활용하여 농업 생산에 활용할 수 있도록 하는 정밀 전자 기후도가 생산되어 널리 활용되고 있다 (Yun, 2006).

한편, 대기 중 온실가스 농도 증가에 따른 기후변화는 농업기후정보 생산의 필요성을 증대시키고 있다. 미래의 기후정보를 기반으로 농업 생산성의 변동 양상을 예측하여 농업 생산성의 안정성을 유지시킬 수 있는 기후변화에 대한 적응 전략 및 대책 수립이 필수적이다. 기후변화 대응 대책 수립을 지원하기 위해 기상청에서 제공하는 기후변화 시나리오 자료를 활용하여 미래의 농업기후정보가 생산될 수 있다. 국립 기상연구소에서는 불과 얼마 전까지만 해도 SRES (Special Report on Emission Scenario) 기반의 기후변화자료를

*Corresponding Author: Kwang Soo Kim, Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea.
Phone : +82-2-880-4546, Fax : +82-2-877-4550
E-mail : luxkwang@snu.ac.kr

생산해 왔으나, 최근 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 5차 보고서에 표준으로 채택된 온실가스 변화 시나리오인 대표농도경로 (RCP; Representative Concentration Pathway)에 기반한 기후변화 자료들을 생산하고 있다 (NIMR, 2011). 대표농도경로는 인간활동으로 초래될 복사 강제력을 바탕으로 미래의 온실가스 농도를 결정하는데, 기존 시나리오에 비해 미래의 기후변화가 더욱 가속화될 것으로 전망되고 있으며 농업 생산성에 미치는 영향 또한 지대할 것으로 예측되고 있다. 이러한 대표농도경로기반 기후변화 자료는 농업분야의 기후변화 정책 수립시 우선적으로 고려해야 할 국가 표준 기후변화 자료로 활용될 수 있다.

본 연구에서는 국립기상연구소에서 생산된 대표농도경로 기반 기후변화 자료로부터 농업분야에 활용될 수 있는 공간 기후정보를 생산할 수 있도록 하는 일련의 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 기후변화 자료 처리와 통계 분석을 위한 스크립트로 구성되어 있다. 우선, 격자형식의 기후변화 자료를 GIS와 호환되는 농업기후자료를 생산하기 위해 GrADS (Grid Analysis and Display System) 스크립트를 활용하였다. 농업기후변화 자료의 통계 분석을 위해 R 스크립트를 사용하였다. 기술적으로는 R 스크립트만을 사용하여 격자형식의 기후변화 자료를 읽어 올 수 있으나 이러한 기능을 사용하기 위해서는 R 스크립트의 구조가 복잡해지기 때문에, 단순한 형태의 스크립트들로 구성된 시스템을 구축하기 위해서 GrADS와 R 스크립트를 같이 사용하였다. 한편, 대용량 자료처리를 위해 통계처리를 병렬화 하였다. 자료처리의 단순화를 피하기 위해 공유 메모리형의 병렬방식 기반의 R 패키지를 활용하여 멀티소켓 워크스테이션에서 다중 코어 프로세서와 대용량 메모리를 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.

본 논문의 2장에서는 농업 생산에 활용될 수 있는 농업기후정보의 변수들에 대해 설명하고, 3장에서는 GIS 형식의 농업기후자료 생성을 위한 GrADS 스크립트의 구조, 그리고 R을 이용한 기후변화자료의 통계처리 방식에 대하여 상세히 설명하였다. 4장에서는 스크립트들의 활용에 대해서 설명하고 5장에서는 결론을 제시하였다.

2. 농업기후지수

본 연구에서는 생장도일 (Growing Degree Days) 과 냉방도일 (Cooling Degree Days) 의 2개의 농업 기후변수를 이용하였다. 각 농업 기후 변수에 대한 자세한 설명은 아래와 같다.

2.1. 생장도일 (Growing Degree Days; GDD)

생장도일은 일 최고기온과 최저기온 간의 평균과 식물영도 (plant zero)와의 차를 일정 생육기간에 대하

여 적산한 것으로 작물 생육의 진전 정도를 파악하거나 예측하기 위해 널리 활용되고 있는 작물 생육 지수이다. 생장도일은 일최고온도 (T_{max})와 최저온도 (T_{min})를 사용하며 다음과 같이 계산된다:

$$GDD = \sum \{ (T_{max} + T_{min}) \times 0.5 - T_{base} \}^+ \quad (1)$$

T_{base} 는 식물영도라고 하며, 작물은 식물영도 이상에서만 생육의 진전이 이루어지는 것으로 가정한 것이다. 일반적으로 0, 5, 10°C의 식물영도가 대부분의 작물에 적용 가능한 것으로 알려져 있으나, 식물영도는 작물의 종류나 품종에 따라 다르기 때문에 생장도일을 이용하여 특정 작물의 생육을 정확히 파악·예측하기 위해서는 해당 작물의 식물영도를 사용하여야 한다 (Gordon and Bootsma, 1993).

미래 기후 조건에서의 생장도일은 작물의 생육 예측뿐만 아니라 병해충 및 제초 관리와 관개수 관리와 같은 재배 관리의 주요 지표로 활용될 수 있으며, 장기적으로 작물 재배의 적지 선정 또는 개별 농가에서 재배될 작물의 품종 선택의 지표로 활용될 수 있다 (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2011). 이와 관련된 연구로, Swan *et al.* (1987)은 대기온도로 계산된 생장도일을 이용하여 옥수수의 초기 생육 상태를 파악하였고, Ojeda-Bustamante *et al.* (2004)는 감자 재배에서 정밀 관개를 위해 생장도일 기반의 모델을 작성하여 활용하였다.

2.2. 냉방도일 (Cooling Degree Days; CDD)

건물이나 시설물의 실내 온도를 자유롭게 조절할 수 있게 됨에 따라 기후변화에 따라 난방과 냉방에 필요한 에너지 비용의 산출이 중요해 졌다. 외부 기온 조건에 따라 실내 기온을 유지하기 위한 에너지 소요량을 나타낼 수 있는 기후지수로서 냉방도일이 사용되어 왔다 (Matzarakis and Balafoutis, 2004). 예를 들어, Jiang *et al.* (2009)은 중국 북부지방에서 냉방도일의 지역적 경향을 분석한 바가 있다. 냉방도일은 (CDD)는 다음과 같이 정의된다:

$$CDD = \sum (T_{avg} - T_b)^+ \quad (2)$$

T_b 는 기준온도이며, 기준 온도는 해당 지역의 기후 요소를 고려하여 다르게 결정된다. 우리나라는 24°C를 냉방도일의 기준온도 (T_b)로 설정하였으며, 국립기상연구소에서는 위 기준온도를 이용하여 미래 기후조건에서 주요 도시의 냉방에 따른 에너지 요구도 변화를 예측하였다 (NIMR, 2011). 농업 분야에 있어 냉방도일은 시설원예에서 시설의 냉방용량을 설계시 고려해야 할 중요한 기후변수로 시설원에 재배의 적지 선정에 활용될 수 있다. 또한, 축사시설 적합한 지역을 선정할 때 고려할 수 있는 중요한 기후변수이다.

3. 농업기후변화 정보 생산을 위한 기후변화 자료 처리 스크립트의 구현

3장에서는 기상청 기후변화 자료를 처리하여 GIS 호환 농업 기후변화 자료를 생산하는 스크립트의 구조에 대하여 설명한다.

3.1. 대표경로기반 기후변화자료

국립기상연구소에서 생산된 대표농도경로기반 기후변화 자료는 영국 기상청에서 개발된 전지구 대기-해양 결합모델인 HadGEM2-AO 모델과 지역모델인 HadGEM3-RA모델이 사용되었다 (NIMR, 2011). 우선, HadGEM2-AO 모델을 이용하여 전지구 기후변화 시나리오를 산출하고 HadGEM3-RA모델을 이용하여 우리나라 지역에 대한 12.5 km 해상도의 기후변화 시나리오 자료가 생산된다. 이렇게 생산된 기후변화 자료는 월별, 일별, 시간별 자료로 구성되어 있다. 주요 산출 변수로는 기온, 강수, 습도, 풍속 등의 표준 관측 변수뿐만 아니라 순복사, 현열, 및 잠열 플럭스 등의 변수들로 구성되어 있다. 모델 역법은 1년이 항상 360일이며 수평격자가 위경도 값이 일정한 간격으로 구성되어 있지 않은 회전 적도 위경도 격자 (Rotated equatorial latitude-longitude grid)를 기반으로 하고 있다. 자료형식은 수치모델 자체 형식과 더불어 GrADS 표준 Binary 포맷으로 가공되어 제공된다.

3.2. GIS 호환 기후변화자료 생성을 위한 GrADS 스크립트의 구현

GrADS 표준 파일 형식으로부터 GIS 호환 자료 형식의 기후변화 자료를 생산하기 위해 농업 기후변수 별로 GrADS스크립트를 작성하였다. 이들은 각 스크립트들의 매개변수를 처리하는 입력부분과 농업기후변수를 계산하는 처리부분, 그리고 해당 변수의 GIS 자료를 생성하는 출력부분으로 구성되어 있는 호스트 스크립트들로 작성되었다. 호스트 스크립트들의 자료 처리과정에 대한 의사코드를 Nassi-Schneiderman diagram으로 작성하여 정리하였다 (Fig. 1).

입력부분에서는 매개변수의 Parsing을 통해 격자 자료의 공간해상도와 GIS 호환 자료 생성시 필요한 출력 모듈의 변수 값들이 결정된다. 이러한 변수값들을 활용하여 GrADS 형식의 파일을 읽어들이기 위한 CTL 파일이 생성된다. 회전 적도 위경도 격자의 기후자료가 일반 GIS소프트웨어에서 쉽게 사용될 수 있는 위경도 기상자료로 전환할 수 있도록 CTL 파일의 PDEF, XDEF, YDEF 옵션들을 설정하였다.

GIS 호환자료를 생성하는 출력 모듈에서는 GrADS 형식의 기후변화 자료를 읽어 ASCII ESRI Grid 형

Fig. 1. Nassi-Schneiderman diagram that represents algorithms to process a climate change data in order to produce agricultural climate information data, which is compatible with common GIS applications.

식으로 출력을 하게 된다. ESRI 형식 자료와 GrADS 형식 자료는 행의 순서가 반대이므로, 우선 GrADS 형식 자료를 모두 읽어 그 역순으로 자료를 출력하였다. 농업기후변수 자료를 생산하기 위한 계산식이 출력모듈에 매개변수로 전달되어 처리가 된다. 이러한 작업을 위해 복잡한 과정이 필요하므로 별도의 스크립트 (PrintASC)가 작성되어 호스트 스크립트로부터 호출된다 (Fig. 2).

3.3. 공간적 기후변화 자료의 통계 분석을 위한 R 스크립트의 구현

GrADS에서 제공되는 통계분석 기능이 제한적이기 때문에, 대용량의 기후자료 통계분석을 위한 스크립트가 작성되었다. GIS 형식 자료의 통계 분석을 위해

Fig. 2. Nassi-Schneiderman diagram that describes the process to calculate agricultural climate indices and to write ESRI ASCII data file.

오픈 소스 통계 분석 도구인 R이 사용되었다. R은 윈도우 환경뿐만 아니라 유닉스, 리눅스, Mac 운영체제하에서도 널리 사용되고 있는 통계 분석 소프트웨어이다. R의 우수한 기능 중의 하나는 전세계의 사용자가 직접 제작한 패키지를 활용하여 좀더 전문적인 분석을 수행할 수 있다. 예를 들어, GrADS는 평균 등의 간단한 통계분석을 지원하지만, R에서는 분산 분석 및 시계열 분석 등 복잡하고 다양한 통계 분석 기능을 활용할 수 있다. 예를 들어, 생장도일이 100°C 이하인 특정 기후조건의 빈도 분석을 간단한 지시문을 사용하여 수행할 수 있다.

본 연구에서는 매 시간별 농업기후 변수 값들의 불확실도를 줄이기 위한 장기간 동안의 평균값을 계산하는 R 스크립트를 작성하였다. 우선, GrADS 스크립트로 만들어진 GIS 호환 파일들을 R 시스템에서 사용하기 위해 sp와 rgdal 패키지를 사용하였다. 이들 패키지를 R에서 사용하기 위해서는 코드 (5)와 같은 지시문을 삽입하여야 한다.

```
library(sp)
library(rgdal)
```

(5)

코드 (6)은 rgdal과 sp 패키지를 사용하여 GIS 호환과 일을 분석하는 코드의 예이다.

```
base <-NULL
for (y in 1:10)
{
  ...
  data<-rgdal::readGDAL(name)
  base<-cbind(base, data$band1)
}
data$band1<-apply(as.matrix(base), 1, sum)/10
```

(6)

R에서 통계 분석 함수를 사용하기 위해서는 자료들이 행렬의 형태로 저장되어 있으면 유리하기 때문에 위 코드에서 readGDAL 함수를 이용하여 개별적으로 읽어들이는 기후변화 자료들을 cbind 함수를 사용하여 하나의 변수에 모아 저장한다. 해당 변수에 저장된 10년 동안의 기후자료를 한번에 처리하기 위해 apply란 함수가 사용된다. 코드 (7)에 의하여 계산된 평균값들은 다시 GIS 호환형식인 ASCII ESRI 파일로 만들어진다.

```
sp::write.asciigrid(data, name)
```

(7)

3.4. 통계 분석의 병렬처리를 위한 R 스크립트의 구현

단순한 평균 계산에도 처리해야 할 자료의 양이 많아 R패키지를 이용하여 병렬화를 구현하였다. R 스크립트로 병렬처리를 위해 SNOW (Simple Network Of Workstations)와 foreach 패키지 그리고 foreach 패키지의 snow 어댑터인 doSNOW 패키지가 사용되었다. SNOW 패키지는 마스터로 지정된 컴퓨터와 슬레이브로 지정된 다수의 컴퓨터들과의 통신을 통해 워크스테이션 클러스터를 사용하여 병렬 컴퓨팅을 하기 위한 인터페이스를 제공한다 (Tierney *et al.*, 2004). SNOW 패키지에서는 Socket, Parallel Virtual Machine (PVM), MPI (Message Passing Interface)의 세 가지 로우레벨 메커니즘을 통해 프로세스 간의 가상연결을 형성한다. 예를 들어, 코드 (8)와 같은 지시문을 삽입하여 Socket을 통한 컴퓨터 통신 메커니즘을 사용하여 18 개의 프로세스를 생성하여 기후변화 자료를 처리할 수 있다.

```
library(doSNOW)
registerDoSNOW(makeCluster(18, type = "SOCK"))
```

(8)

R 스크립트에서는 병렬화가 필요한 반복문에 병렬코드를 나타내는 foreach로 시작하는 지시문을 코드 (9)와 같이 사용한다.

```
foreach (d = 1:nDayBlock)%dopar%
{
...
}
```

(9)

위 코드에서 %dopar%는 반복문을 분할하여 병렬로 계산하도록 하는 지시어이며 만일 %do%로 대체될 경우 일반 반복문과 같이 하나의 프로세서에 의해 처리된다.

4. 스크립트의 활용

GrADS 스크립트를 사용하여 GIS 호환 자료를 생산하기 위해 AMD Phenom II X6 2.8 GHz CPU가 탑재된 데스크탑 컴퓨터가 사용되었다. R 스크립트를 사용한 통계분석을 위해서는 AMD Opteron 2.3 GHz CPU 두 개가 탑재된 듀얼 소켓 워크스테이션이 사용되었다. 각각의 컴퓨터는 6개와 24개의 다중 코어를 가지고 있다. R 스크립트의 병렬처리 결과, 사용한 코어 수에 따라 이상적인 속도에는 미치지 못하였으나 일관되게 처리 시간이 감소하였다 (Fig. 3). 예를 들어, 코어 8개까지 사용하였을 경우에는 이상속도 대비 20% 정도의 많은 시간이 소요되었으나 18 코어를 사용하였을 경우에는 약 80% 정도의 시간이 더 소요되었다. 그럼에도 불구하고, 하나의 코어를 사용하였을 경우 소요된 시간과 비교하였을 때, 18 코어를 사용하였을 경우 불과 6%에 해당하는 시간 내에 GIS 형식의 자료가 생산되었다.

이들 스크립트들을 사용하여 생산된 기후변화정보의 예가 Figs. 4와 5에 나타나 있다. 이 기후자료는 각각, 현재 (1971~2000), 2030년대, 2060년대, 그리고 2090년대의 5월 하순의 생장도일과 8월 중순의 냉방도일이다. 5월 하순은 벼 이앙과 콩 파종에 중요한 시기로 우리나라 식량 생산에 지대한 영향을 미치는 기간이다. RCP8.5 시나리오에 근거한 기후변화 정보를

Fig. 3. Performance of sequential and parallel computing for calculating the 10-year mean of growing degree days for late May from 2011 to 2100 in Korea at the spatial resolution of 12.5 km. Ideal and doSNOW represent linear scaling and actual scaling of performance.

통해, 우리나라 5월 하순의 생장도일이 점점 높아져 가고 있어, 이앙 및 파종의 시기가 앞당겨져 작물의 생육기간이 좀더 길어 질 수 있음을 암시한다. 8월 중순은 여름철의 고온에 의해 작물의 피해가 예상되는 기간으로 이 시기 동안 기후변화에 따라 냉방도일이 증가하는 경향을 보이고 있어 앞으로 고온에 의한 작물 생산성 감소와 냉방비용 증가가 예상된다. 그러나 기후변화는 일관된 변화양상을 나타내는 것이 아니라 변동성이 증가하는 경향을 보이므로, 빈도분석 등의 좀더 세밀한 통계분석을 통해 기후변화에 따른 작물 재배 환경의 변화에 대해 연구해야 할 것이다.

본 연구에서 생산된 GIS 자료는 주로 10일 간격의 자료로 생산되었으며, 현업에서 사용되기 위해서는 이들 자료를 연구대상 기간동안 수집하여 분석하는 것이 필요하다. 따라서, 본 연구에서 개발된 R 스크립트를 사용자가 지정한 기간 동안 통계 분석을 할 수 있도록 하는 프로그램 개선이 필요할 것이다. 또한,

Fig. 4. Growing degree days during late May under current and future climates.

Fig. 5. Cooling degree days during mid-August under current and future climates.

GrADS 스크립트는 12.5 km와 1 km의 공간해상도에
서 기후변화 자료를 처리 및 분석할 목적으로 개발되
었으나, 기상청 기후변화 자료 이외의 수치모델 자
료를 처리할 경우 수정이 필요하다. 특히, 360일 기반의
역법을 사용하는 기상자료에 특화되어 있어, 365일을
기반으로 하는 역법이 사용된 기후자료 분석을 위해
서는 일별 처리과정에 대한 수정이 요구된다.

5. 결 론

본 연구에서는 대용량의 기후변화 자료로부터 농업
기후지수를 계산하여 공간기후자료를 생산하기 위한
GrADS 스크립트와 R 스크립트를 구현하였다. GrADS
스크립트는 기상청에서 제공하고 있는 기후자료로부
터 10일 간격으로 생장도일과 난방도일과 같은 농업
기후지수를 계산하여 공간자료를 생산하였다. 이 GrADS
스크립트는 입력부와 출력부, 그리고 처리부분으로 구
성되었다. 입력부에서는 장기간의 기후변화자료를
처리하기 위해 매개변수의 Parsing 을 거쳐 기후변화
정보 생산에 대한 설정을 조정하였다. 출력부에서는
또다른 GrADS 스크립트를 호출하여 농업기후지
수를 계산하여 보편적으로 사용되고 있는 공간자료의
형식인 ESRI ASCII 격자 형식으로 출력파일을 생성
하였다. 2011년부터 2100년까지 매년 10일 간격으로
생산된 공간기후자료의 통계 분석을 위해 R 스크립
트가 활용되었다. 방대한 공간자료의 양을 효율적
으로 처리하기 위해 통계 분석을 병렬화하였다. R 스크
립트는 병렬처리 패키지인 SNOW, doSNOW와 foreach
를 사용하여 다중코어를 가진 워크스테이션에서 효율
적으로 통계분석이 수행될 수 있음을 보였다.

농업기후자료는 전자기후도 형태의 고해상도 월별자
료가 주로 생산되어 왔으나 기후변화자료를 이용하여
매년마다의 농업기후지수가 계산되고 그 변이가 계산
되어 활용되는 예는 극히 일부분에 지나지 않는다. 평

균적인 농업 기후 정보도 중요하지만, 평균 정보는 매
해의 변이를 보여줄 수 없기 때문에 정보 활용에 주의
가 필요하다. 따라서, 신뢰성 있는 농업기후변화 정보
제공을 위해 R 스크립트의 통계 분석의 병렬화를 통
한 보다 손쉬운 변이분석 자료의 생산에 활용할 수 있다.

또한, 본 연구에서 구현된 GrADS 스크립트와 R 스
크립트는 최소한의 수정을 거쳐 기상청 이외의 기후
변화자료에 적용되어 사용될 수 있으므로 국외 기관
에서 생산된 기후변화자료를 처리하여 다양한 조건의
농업기후지수를 계산하고 이를 종합한 농업기후정보
는 기후변화 대응을 위한 보다 신뢰성 있는 자료로 활
용될 수 있을 것이다. GrADS 스크립트로부터 GIS 호
환자료를 생산하여 통계처리를 하는 모든 시간을 고
려하여 볼 때 GIS자료를 생산하기까지 상당한 처리시
간이 요구되기 때문에 통계분석에 있어서의 병렬처리
의 이점이 적어질 수 있다. 또한, 통계분석시 본 연구
에서 사용된 간단한 계산으로 인해 과일입출력에 관
련한 처리시간이 상대적으로 커서 병렬화의 성능향상
효과가 저조해 보일 수 있다. 이러한 단점을 해결하기
위해서 앞으로의 연구에서는 R 스크립트만으로 기상
청에서 제공되는 기후자료를 직접 읽어들이 농업관련
지수를 계산하고 통계분석까지 하나의 시스템 내에서
처리를 할 수 있는 방식으로 개발이 되어야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업 (CATER
2012-3110)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Gordon, R. and A. Bootsma, 1993: analyses of growing
degree-days for agriculture in Atlantic Canada. *Climate
Res.*, **3**, 169-176.

- Jiang, F., X. Li, B. Wei, R. Hu, and Z. Li, 2008: Observed trends of heating and cooling degree-days in Xinjiang Province, China. *Theor. Appl. Climatol.*, **97**, 349-360.
- Lee, C.-K., K.S. Kwak, J.H. Kim, J.-Y. Son, and W.-H. Yang, 2011: Impacts of climate change and follow-up cropping season shift on growing period and temperature in different rice maturity types. *Korean J. Crop Sci.*, **56**, 233-243.
- Matzarakis, A. and C. Balafoutis, 2004: Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1817-1828.
- NIMR, 2011: Report on climate change scenarios for IPCC AR5, *National Institute of Meteorological Research*, Seoul, 117 pp.
- Ojeda-bustamante, W., E. Sifuentes-ibarra, D.C. Slack, and M. Carrillo, 2004: Generalization of irrigationscheduling parameters using the growing degree days concept: Application to a potato crop. *Irrig. Drain.*, **53**, 251-261.
- Swan, J. B., E. C. Schneider, J. F. Moncrief, W. H. Paulson, and A. E. Peterson, 1987: Estimating Corn Growth, Yield, and Grain Moisture from Air Growing Degree Days and Residue Cover. *Agron. J.*, **79**, 53.
- Tierney, L., A. Rossini, N. Li, and H. Sevcikova, 2004: The snow Package: Simple Network of Workstations. Version 0.2-1.
- Yun, J. I. 2006: Climate change impact on the flowering season of Japanese cherry (*Prunus serrulata* var. *spontanea*) in Korea during 1941-2100. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, **8**, 68-76.