

## 경기북부지역 정밀 수치기후도 제작 및 활용 - II. 콩 생육모형 결합에 의한 재배적지 탐색

김성기<sup>1</sup> · 박중수<sup>1</sup> · 이영수<sup>1</sup> · 서희철<sup>2</sup> · 김광수<sup>3</sup> · 윤진일<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경기도 농업기술원 북부농업시험장

<sup>2</sup>경희대학교 생태시스템공학과/생명자원과학연구원

<sup>3</sup>미국 아이오와주립대 농학과

(접수 2004년 1월 12일; 수락 2004년 3월 5일)

## Development and Use of Digital Climate Models in Northern Gyeonggi Province - II. Site-specific Performance Evaluation of Soybean Cultivars by DCM-based Growth Simulation

S. K. Kim<sup>1</sup>, J. S. Park<sup>1</sup>, Y. S. Lee<sup>1</sup>, H. C. Seo<sup>2</sup>, K. S. Kim<sup>3</sup> and J. I. Yun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Northern Agriculture Research Station, Gyeonggi-Do Agricultural Research and Extension Service

<sup>2</sup>Department of Ecosystem Engineering/Institute of Life Science and Natural Resources, Kyung Hee University

<sup>3</sup>Department of Agronomy, Iowa State University

(Received January 12, 2004; Accepted March 5, 2004)

### ABSTRACT

A long-term growth simulation was performed at 99 land units in Yeoncheon county to test the potential adaptability of each land unit for growing soybean cultivars. The land units for soybean cultivation(CZU), each represented by a geographically referenced land patch, were selected based on land use, soil characteristics, and minimum arable land area. Monthly climatic normals for daily maximum and minimum temperature, precipitation, number of rain days and solar radiation were extracted for each CZU from digital climate models(DCM). The DCM grid cells falling within a same CZU were aggregated to make spatially explicit climatic normals relevant to the CZU. A daily weather dataset for 30 years was randomly generated from the monthly climatic normals of each CZU. Growth and development parameters of CROPGRO-soybean model suitable for 2 domestic soybean cultivars were derived from long-term field observations. Three foreign cultivars with well established parameters were also added to this study, representing maturity groups 3, 4, and 5. Each treatment was simulated with the randomly generated 30 years' daily weather data(from planting to physiological maturity) for 99 land units in Yeoncheon to simulate the growth and yield responses to the inter-annual climate variation. The same model was run with input data from the Crop Experiment Station in Suwon to obtain a 30 year normal performance of each cultivar, which was used as a "reference" for evaluation. Results were analyzed with respect to spatial and temporal variation in yield and maturity, and used to evaluate the suitability of each land unit for growing a specific cultivar. A computer program(MAPSOY) was written to help utilize the results in a decision-making procedure for agrotechnology transfer.

**Key words** : soybean, growth simulation, climate, CROPGRO, GIS

## I. 서 언

우리나라의 농가당 평균 경지면적은 세계 119에 불과하다. 당연히 땅은 좁고, 지형은 복잡하며, 자연자원은 다양할 수밖에 없다. 이런 곳에서 농업을 국부 창출의 주력산업은 아니더라도 국가경제에 짐이 되지 않는 산업으로 만들기 위해서는 자연자원의 다양성을 분석하고 적극 활용하는 쪽으로 농업연구의 방향이 잡혀야 할 것이다.

자원이란 그 크기나 양이 유한함을 전제로 사용되는 용어이다. 그 동안 기후라는 것은 그저 한 지역에 주어진 자연환경으로서 그 양이 무한하고, 해마다 되풀이되는 영속성이 있으므로 기후자원이란 용어는 알맞지 않은 것으로 인식되어왔다. 하지만 공간적 변이를 중시하는 서양인의 관점과 시간적인 변동을 중시하는 동양적 견해가 과거 100년간의 실증적인 기후변화를 계기로 통합되고, “주어지는 무한한 자연환경”이 아니라 “찾아서 활용해야 하는 자원”으로 기후의 개념이 서서히 바뀌고 있다. 지구라는 생명유지체계의 지속가능성을 심각하게 따지지 않더라도, 당장 우리가 마주한 농업개발의 시련은, 날씨와 기후를 잘 이해하고 여기에 맞는 농업기술 개발로부터 구조조정이 시작되어야 함을 일깨워준다. 즉 보다 적은 에너지를 투입하고 환경에 부담을 적게 주면서도 생산성을 떨어뜨리지 않고, 나아가 품질은 향상시켜야 하는 이 시대의 농업기술은 그 시발점이 “기후맞춤형 농업”(weatherwise agriculture)일 수밖에 없다. 단순히 날씨나 기후정보를 농업에 활용하는 정도가 아니라 품종, 시비, 관개, 방제 등 모든 농업기술이 기후의 속성을 염두에 두고 개발되어야 하며, 기후의 공간변이를 고려한 기술보급이 이루어져야 한다.

여기서 말하는 기후란 “한 세대의 활동기간, 즉 30년 동안 평균한 날씨”라는 일반적인 정의뿐 아니라, 미기후, 국지기후, 산지기후, 계곡기후, 삼림기후, 군락기후 등 시공간적 규모에 따른 다양한 종류를 포괄하는 넓은 의미이다. 60년대 산업화를 추진하면서 가장 먼저 했던 일은 철도, 항만, 전력, 공업용수 등 입지조건에 따른 공단의 위치결정(site selection)이었다. 전 국토의 기후를 바둑판처럼 잘게 나누어 어느 곳에 어떤 작물, 무슨 품종이 적합한지, 작부체계는 어떻게 운영해야 하는지를 결정할 수 있도록 도와주는 일은 공간입지 못지않게 중요하다. 나아가 이렇게 든

든한 입지계획이 준비되어있어야만 기후변화시대에도 안전한 농업정책을 펼 수 있는 것이다.

어떤 작목 혹은 품종의 도입을 위해 지역 내 여러 지점에서 다년간에 걸쳐 포장실험과 생육조사를 실시하는 일은 시간과 경비 측면에서 이루어지기 어렵다. 대신 포장실험의 횟수와 면적을 최소한으로 축소시키기 위한 방편으로서 수치기후자료에 기반을 둔 생육모의실험이 점차 보편화 되고 있다. 주어진 지역에서 어떤 작물 혹은 품종의 재배적지 여부를 판단하는 일은 한두 개 환경변수로부터 성취될 수는 없다. 작물-토양-대기 등의 개별 특성뿐 아니라 이들 상호작용에 관한 우리의 지식을 종합적으로 표현한 것이 작물모형이라고 했을 때, 생장, 발육, 수량성을 종합적으로 평가하는 것은 작물모형의 장기간 구동 외에는 방법이 없다.

작물모형에 대한 기초연구가 활발히 이루어져 많은 실용형 모형이 개발된 선진외국과는 달리 우리나라에서는 외국으로부터 도입된 모형을 우리 조건에 맞추기에 급급하였으며 문제해결에 적용하는 응용연구에만 약간의 성과가 있을 뿐이다. 이들 가운데는 수치기후도를 활용한 사례도 있는데, Yun and Lee(2000)는 북한 183개 시군의 30년 평년기후를 복원하여 조만성에 따른 북한의 벼 품종 선봉9호, 애국72호 및 평양15호의 생육을 모의하고 그 결과를 토대로 농업기후지대를 구분하였다. Kim *et al.*(2002)은 북한의 쌀 주산지인 서부평야지를 사방 5 km 정방형 격자로 나누어 위성사진 판독에 의해 논농사구역을 식별하고, 각 구역별 기후자료를 복원하여 남한 벼 품종 11개의 생육을 8개 작부방식별로 모의하였다. 최근에는 평년기후에서 한 걸음 나아가 일 기상자료를 이용하여 생육모형의 입력요소를 일 단위 해상도로 높여서 벼의 작황진단에 이용한 사례도 있다(Yun, 2003).

경기북부지역 가운데 연천군은 콩의 재배적지로 알려져 있어 최적품종 및 작부체계에 대한 연구가 활발한 편이다(Yoon and Chu, 2003). 본 연구는 선형연구로부터 작성된 경기북부지역의 정밀 수치기후도를 기반으로 이 지역 내 10ha 이상 주요 농토에서 콩의 생육을 모의하여 가장 높은 수량을 안정적으로 낼 수 있는 품종과 파종기를 탐색하고자 하였다. 또한 여기서 얻은 성과를 일선 지도기관에서 활용하는 것을 돕기 위해 이 지역의 수치기후도, 토양도, 지표피복도, 기타 공간정보와 함께 콩 생육모의결과를 검색할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 작성하였다.

## II. 자료 및 방법

### 2.1. 모형입력자료 준비

CROPGRO-Soybean 모형은 경험식 형태의 통계모형이 아니라 수치화된 생리과정들로 구성된 프로세스 모형으로서, 상적 발육, 광합성, 호흡, 수분흡수, 건물증가 및 배분, 그리고 환경조건 등 주요 프로세스를 표현하는 알고리즘으로 되어있다(Boote et al., 1998). CROPGRO는 매일의 기상조건을 입력받아 콩 식물과 토양으로 이루어진 시스템에 대해 탄소, 물, 질소수지를 모의할 수 있으므로, 환경조건과 비배관리에 대한 콩의 반응을 살펴보는 데 강력한 도구로 사용되어 왔다. 본 연구에서 사용한 CROPGRO-Soybean ver. 3.5는 IBSNAT (International Benchmark Site Network for Agro-technology Transfer)에서 제공하는 DSSAT 프로그램 패키지에 포함되어있다.

CROPGRO-Soybean 모형의 국내 재배품종에 해당하는 모수를 추정하기 위해 작물시험장에서 발간한 최근 15년(1988년~2002년)의 작황시험보고서 내용 중 수원에서 얻은 장콩류 두 품종(황금, 장엽)의 생육 및 수량조사 결과를 수집하였다. 재배기간 중 기상은 수원기상대 자료를, 토양은 농업과학기술원 정밀토양도로부터 검색한 물리화학 특성을 이용하였다. 이들 자료를 토대로 각 품종별 모수를 IBSNAT에서 제공하는 모수 추정 프로그램 GENCALC에 의해 추정하였다.

농업과학기술원의 정밀 수치토양도를 근거로 연천지역 내 토지들 가운데 “토지이용 추천” 항목이 “답” 혹은 “전”인 구역을 선별하고, 환경부의 수치 토지이용도를 근거로 이들 가운데 실제 전답으로 쓰이고 있는 구역을 발췌하였다. 이렇게 얻은 1,422개의 구역 가운데 면적이 10ha(100,000 m<sup>2</sup>) 이상인 99개를 최종 선별하여 재배구역단위 (CZU)라고 명명하였다(Fig. 1).

이미 만들어 둔 30 m 해상도의 정밀 수치기후도 위에 이 CZU 주제도를 중첩시키고 각 CZU별 기후정보를 “zonal summary” 기능에 의해 작성하였다. 여기에는 월별로 일 최고기온 및 일 최저기온 평균값, 일사량, 강수량, 강수일수, 그리고 해발고도 등이 포함된다. 월별 기후값을 근거로 하여 생육모형이 요구하는 일별 기상자료를 무작위로 30년간 생성하였다. 이 과정은 많은 시간과 노력이 필요하므로 자동화 프로그램을 Visual BASIC 언어로 작성하였다.

각 재배가능구역별로 동일한 토양특성을 갖는데 아

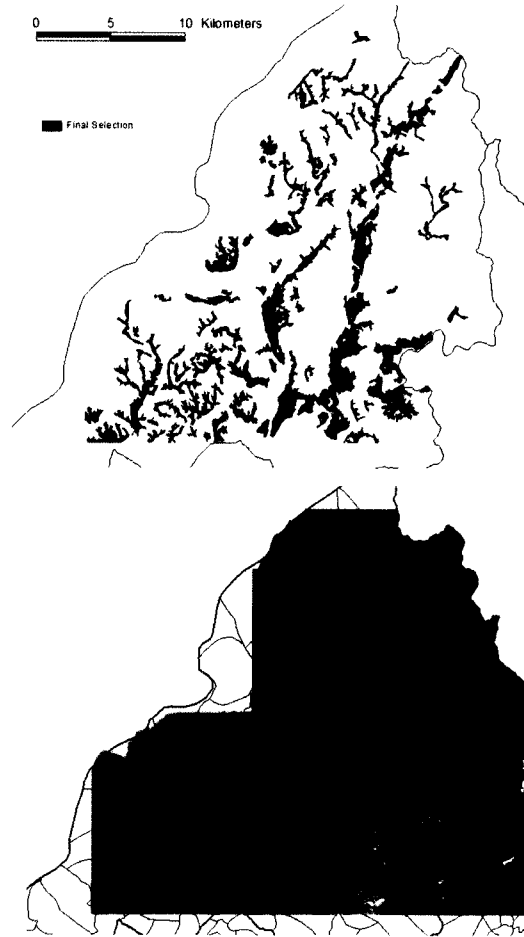


Fig. 1. Crop cultivation zones selected for the growth simulation of 5 soybean cultivars (top) and those overlaid with the soil map and administrative boundary (bottom).

쉽게도 농업과학기술원에서 제공한 토양속성에는 작물 모형 구동에 필요한 정보 가운데 극히 일부만 들어있다. 따라서 작물모형 구동에 필요한 재배구역별 토양 정보는 토성(soil texture)을 기준으로 한 Kim et al. (2002)의 방법으로 생성하였다. 전 토양층에 공통으로 적용되는 정보들로서 일사에 대한 토양표면의 반사율(albedo), 하루 동안 최대 증발시킬 수 있는 물의 양, 하루 동안 증력에 의해 토양층으로부터 제거되는 수분의 비율, 미국 농무부 토양보전국(Soil Conservation Service, SCS)에서 부여한 유거특성곡선 번호 등이 필요하다. 각 층위별 정보로는 유효수분 최저한계(영구위조점에서의 수분함량), 유효수분 최대한계(포장용수량에서의 수분함량), 포화용수량 상태에서의 최대수분,

뿌리생장지수(0.0 - 1.0), 포화상태 수리전도도, 가비중, 토양유기물의 탄소당량 등이 있다. 이 밖에 점토함량과 미사함량, 자갈함량, 전질소 함량, 토양산도, 양이온 치환용량이 포함된다.

## 2.2. 생육모의 및 결과분석

준비된 토양자료 및 재배방법과 함께 복원된 30년 간의 일 기상자료를 각 CZU에 적용하여 CROPGRO를 구동시켰다. 재배법은 품종과 파종기를 요인으로 각각 5수준씩  $5 \times 5 = 25$  처리로 이루어진다. 품종에는 모수를 직접 추정된 황금콩과 장엽콩 외에 성숙군(maturity group) 3, 4, 5에 속하는 표준품종으로 Wayne, Clark, Forrest를 추가하였다. 표준품종의 모수는 IBSNAT에 의해 이미 정해져 있으므로 별도의 작업이 불필요하다. 파종기는 5월 15일을 적기로 하여 이보다 10일씩 지연된 날짜로 하며 6월 24일을 만파한계로 두었다.

각 CZU에서의 생육모의결과로부터 품종별 적응성을 평가하기 위해서는 비교를 위한 기준이 필요하므로 1988년부터 2002년까지 15년간 수원 작물시험장 포장의 실제 날씨와 토양조건에서 CROPGRO-Soybean을 구동하였다. 얻어진 생물계절 및 수량 관련 결과를 100으로 두고 각 CZU의 30년 구동결과를 상대적인 백분율로 표현하였다.

종합적인 적응성은 Kim *et al.*(2002)의 방법에 따라 30년 동안의 ①생리적 성숙기 연차변이, ②수량평균의 수원기준 상대비율, ③수량의 연차변이 등 3 항목으로 나누어 평가하였다. 성숙기 연차변이는 표준편차 기준으로 30년간 2일 이내이면 “안정”(stable), 2-3일이면 “양호”(quasi-stable), 3-4일이면 “가변”(variable), 4일 이상이면 “불안정”(unstable) 등으로 분류하였다. 수량평균의 경우 수원수량에 비해 10% 이상 증수이면 고도생산지역(high), -10%에서 +10%이면 보통생산지역(medium), 10 - 30% 감수이면 저위생산지역(low), 30% 이상 감수이면 한계생산지역(poor) 등으로 구분하였다. 수량의 연차변이는 변이계수(coefficient of variation, CV)를 기준으로 0.3까지는 “안정”(stable), 0.3 - 0.6이면 “양호”(quasi-stable), 0.6 - 0.9이면 “가변”(variable), 0.9 이상이면 “불안정”(unstable) 등으로 판정하였다.

각 계급에 대해 3, 2, 1, 0의 점수를 부여하고, 세 종류의 점수를 더하여 0-9점 스케일로 종합적인 재배

적합성을 나타내었다. 한 재배구역이 갖는 농업기후학적 잠재생산력을 결정하는데 이들 세 가지 변량이 각각 동일한 기여를 하는 것은 물론 아니지만, 기술의 단순화를 위해 별도의 가중치를 부여하지 않았다.

30년 생육모의 가운데 그 해 연말까지 생리적 성숙기에 도달하지 못하는 연도의 계산결과는 이 평가에서 제외하였다.

## 2.3. 통합분석시스템 작성

수치기후도, 동상해 위험도, 그리고 콩 재배적지 제도 등을 사용자의 목적에 맞게 검색, 표출할 수 있는 프로그램을 작성하였다. 기후정보와 함께 중첩분석이 가능한 공간정보로서 도로, 하천, 취락 등 벡터자료와 정밀토양도, 지표식생도, 경사도, 경사향 등 래스터자료가 혼합되어 있으므로 효율적인 처리를 위해 ArcView Avenue 언어로 작성하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 수원지방에서 얻은 품종별 기준성능

수원지방(작물시험장 전작포장)의 기후 및 토양조건에서 찾아낸 황금콩과 장엽콩의 CROPGRO 품종모수가 Table 1에 수록되어있다.

Fig. 2는 이러한 품종모수에 의해 4월 25일부터 6월 24일까지 10일씩 파종기를 지연시켜가면서 얻은 개화기와 성숙기 변화를 보인 것이다. 북미지역에서 제 3 성숙군으로 분류된 조생종 Wayne은 다른 품종들에 비해 개화는 보름 이상, 성숙은 30일 이상 앞선다. 국내품종 황금과 장엽은 개화의 경우 제 5 성숙군인 Forrest에 근접하지만 성숙기는 더 늦었다. 이를 근거로 등숙기간을 계산해 보면 Wayne을 제외한 나머지 4품종은 최대 7일 정도의 편차범위 내에서 비슷한 기간을 보인다. 4월 25일 파종에서 가장 등숙기간이 길어서 4품종 평균 77일이 소요되며, 6월 24일 파종에서는 62일로 보름 정도 단축된다. 그러나 조생종인 Wayne은 4월 25일 파종에서 61일, 6월 24일 파종에서 47일로 다른 4품종보다 모든 파종기에서 15일 정도 짧은 등숙기간을 갖는다.

Fig. 3는 수원지방에서 생육모의에 의해 얻은 종실 수량을 비교한 것이다. 국내 품종을 수원지방에서 재배할 경우 6월 이전 파종에서 모두 Forrest가 가장 높는데, 파종기가 4월로 앞당겨질수록 다른 품종과의

**Table 1.** Genetic coefficients of Korean soybean cultivars. Those of Wayne, Clark, and Forrest were added for comparison.

	CSDL	PPSEN	EM-FL	FL-SH	FL-SD	SD-PM	FL-LF	LFMAX	SLAVR	SIZLF	XFRT	WTPSD	SFDUR	SDPD	PODUR
Wayne(3)	13.45	0.245	19.5	7.9	14.8	28.0	26.0	1.02	380	180	1.0	0.18	21.0	2.20	14.0
Clark(4)	12.83	0.303	18.0	9.0	15.0	32.0	26.0	1.03	390	200	1.0	0.19	20.0	2.10	12.0
Forrest(5)	12.83	0.303	21.1	8.0	15.0	35.0	18.0	1.03	355	140	1.0	0.18	23.0	2.05	9.0
Jangyeop	12.80	0.303	19.8	8.0	15.5	37.2	18.0	1.03	318	180	1.0	0.27	18.0	1.90	12.3
Hwang-geum	12.74	0.303	19.8	8.0	15.5	35.1	18.0	1.03	318	180	1.0	0.23	18.0	1.90	14.5

CSDL Critical Short Day Length below which reproductive development progresses with no daylength effect (for shortday plants) (hour)

PPSEN Slope of the relative response of development to photoperiod with time(positive for shortday plants) (1/hour)

EM-FL Time between plant emergence and flower appearance(photothermal days)

FL-SH Time between first flower and first pod(photothermal days)

FL-SD Time between first flower and first seed(photothermal days)

SD-PM Time between first seed(R5) and physiological maturity(R7)(photothermal days)

FL-LF Time between first flower(R1) and end of leaf expansion(photothermal days)

LFMAX Maximum leaf photosynthesis rate at 30 C, 350 vpm CO<sub>2</sub>, and high light (mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)

SLAVR Specific leaf area of cultivar under standard growth conditions(cm<sup>2</sup>/g)

SIZLF Maximum size of full leaf(three leaflets) (cm<sup>2</sup>)

XFRT Maximum fraction of daily growth that is partitioned to seed + shell

WTPSD Maximum weight per seed(g)

SFDUR Seed filling duration for pod cohort at standard growth conditions(photothermal days)

SDPD Average seed per pod under standard growing conditions(#/pod)

PODUR Time required for cultivar to reach final pod load under optimal conditions(photothermal days)

격차가 커진다. 황금콩의 경우 5월 초 파종에서 가장 수량이 많지만 다른 품종에서는 파종기가 앞당겨질수록 계속 수량이 증가하는 경향이다.

### 3.2. 재배구역별 기상자료 자동 생성기(ArcDSSAT)

이 프로그램(ArcDSSAT)은 재배구역 단위로 미리 준비된 월별 기후자료 DBF 파일을 입력받아 30년 일별 기상자료를 무작위로 생성, 출력하는 기능을 가진다. 먼저 모의 대상 지역의 일반 지리정보와 월별 기후특성정보로 구성된 CLI 파일을 생성한다. Setting I에서는 CLI 파일들을 저장할 경로를 [...] 버튼을 눌러 설정한다. 장소 및 데이터 생성 설정을 위해 지역 코드(영문 두글자; ①), 평균 기온(②), 연간 기온 변동폭([최대-최소]/2; ③), 위도(④)를 설정한다. 이들이 최소한으로 요구되는 자료이므로 정확한 값을 입력하여야 한다(Fig. 4). 기타 변수들은 이미 설정되어 있는 값을 사용하여도 생성될 기상자료에 영향을 주지 않는다.

Setting II를 클릭하여 다음 화면으로 넘어간다. 이 화면에서는 불러들여올 DBF 파일들에 대한 정보를 설정한다. CLI파일을 만들기 위해서는 일 최고 및 최

저기온의 월별 평균값, 일사량, 강수량 및 강수일수 자료를 가진 DBF파일들이 필요하다. 이들 DBF파일들을 구분하기 위해서 알파벳 2글자로 된 인식자가 사용된다. 예를 들어 일 최고기온자료를 DBF파일에서 구하기 위해서는 TX라는 인식이 사용된다. 테이블 이름이라는 항목에 이러한 인식자들을 입력하고 각 DBF의 경로를 [...]버튼을 사용하여 옆에 위치한 텍스트 상자에 입력한다(Fig. 4). 한 개의 폴더에 각 DBF파일이 저장되어 있는 경우, 일 최고기온 DBF파일 경로를 설정한 후에 텍스트 박스 하단의 왼쪽 체크박스를 클릭하면, 다른 DBF 파일 경로를 설정할 수 있다. 또한 DBF파일들이 각각의 하위 폴더에 저장되어 있는 경우에 오른쪽 체크박스를 클릭하면 각 변수별로 경로를 설정할 수 있다.

“실행(Run)” 탭을 선택하여 작업 테이블 및 생성될 기상자료가 저장될 경로를 설정한다. ArcDSSAT은 개별적으로 저장되어 있는 월별 기상자료들을 하나의 작업 테이블로 모아 DSSAT에 사용될 기상자료를 생성한다. 따라서 이러한 작업 테이블의 이름과 경로를 설정해야 한다. 작업테이블의 이름은 알파벳 8자 이내이

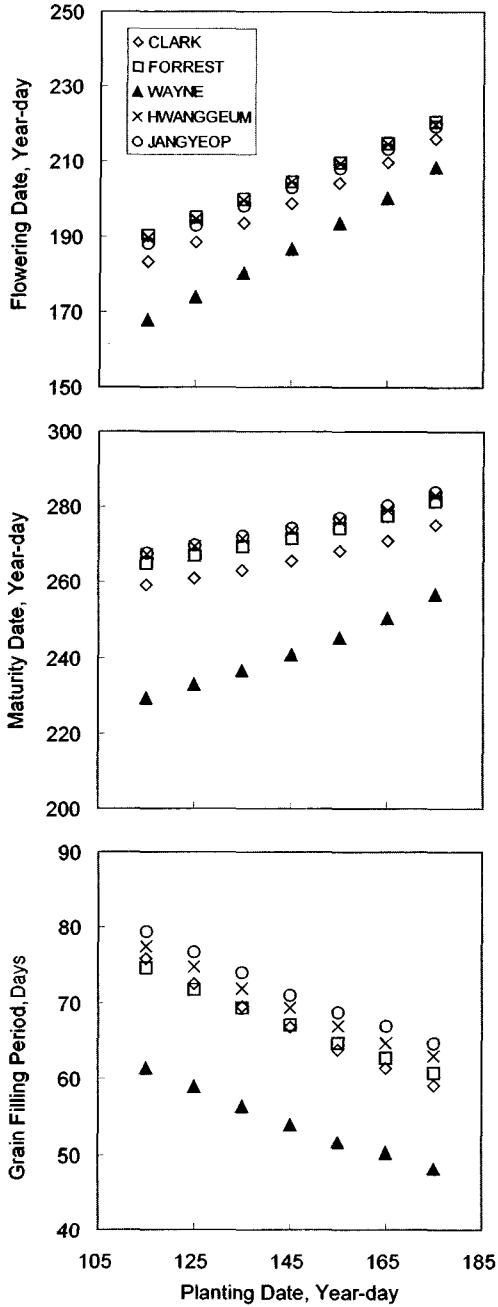


Fig. 2. Flowering, physiological maturity, and the grain-fill period of 5 soybean cultivars simulated under the 1988-2002 climatic conditions in Suwon.

어야 한다. 작업 테이블에 대한 설정이 끝나면 CLI파일을 생성할 수 있다. “CLI 만들기(Create CLI)” 버튼을 눌러 CLI 파일 생성을 시작한다. CLI 파일이 생성되면 DSSAT에 포함되어 있는 도스용 프로그램인

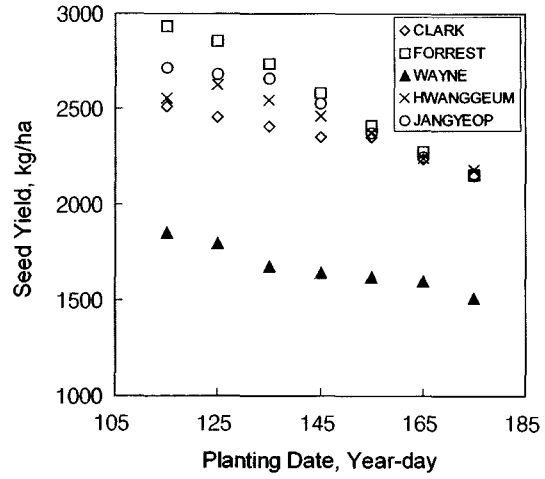


Fig. 3. Grain yields of 5 soybean cultivars simulated under the 1988-2002 climatic conditions in Suwon.

Weather Manager를 이용해서 개별적으로 WTD파일을 만든다. WTD 파일들이 만들어지면, ArcDSSAT을 이용해서 DSSAT의 입력자료인 WTH파일로 전환한다. 우선 WTD 파일들이 위치해있는 경로를 [...] 버튼을 이용하여 WTD 파일 경로 텍스트 박스에 입력한다. WTH 파일 경로를 설정한 후 “WTH 만들기(Create WTH)” 버튼을 클릭하여 WTH 파일들을 만든다(Fig. 4).

3.3. 연천지역 재배적지 탐색

연천지역 99개 CZU에서 30년간 생육을 모의한 결과 종실수량의 평균값은 Wayne - Clark - Forrest - 장엽콩 - 황금콩의 순으로 많았다. 모든 품종에서 과종기가 늦어질수록 수량은 감소하였으며, 적과수량에 대한 상대지수로 나타내면 40일 지연시(6월 24일 과종) 43-45%까지 감소하였는데, 다만 Wayne에 있어서는 28% 감소에 그쳤다. 수원지방에서 가장 수량이 낮았던 Wayne이 연천지역에서는 오히려 가장 높게 나타난 것은 연천이 수원보다 100 km 가량 북쪽에 위치하여 일장과 기온이 상당히 다른 데 일차적인 원인이 있다고 봐야할 것이다. Wayne은 공시품종 가운데 가장 등숙기간이 짧고 성숙기가 빠르다. 이런 특성이 수원지방에서는 주어진 기후자원을 충분히 활용하기 어렵게 작용하나 생육기간이 짧고 연중 일장변동이 심한 연천지방에서는 좋은 방향으로 작용했을 것이다.

각 재배구역의 30년간 수량변이(표준편차)에 있어서도 조생종인 Wayne이 가장 안정된 추세를 보였다.

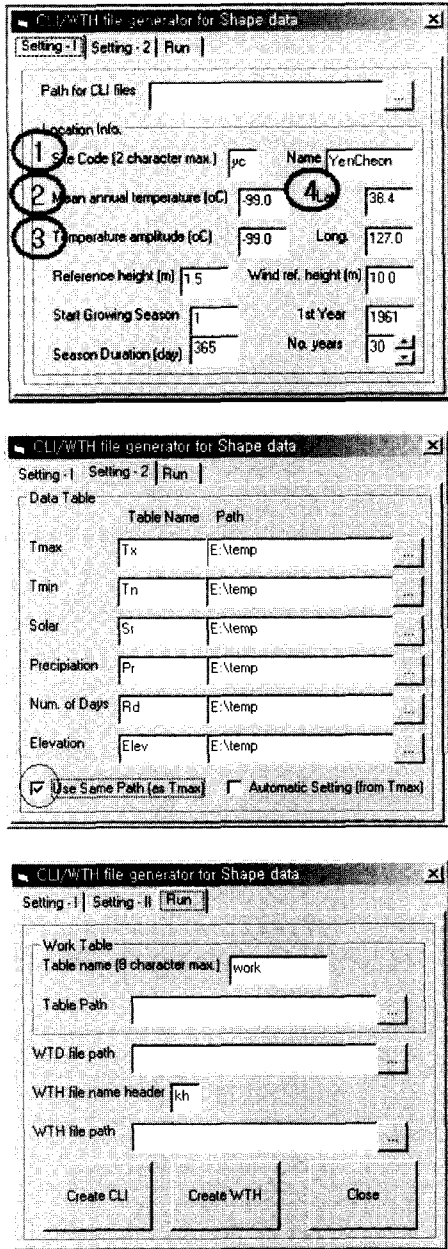


Fig. 4. Input screens of ArcDSSAT for initial conditions to create CLI files(top), for output file codes and locations(mid), and for running random weather generator(bottom).

반면 국내품종인 장엽과 제 5 성숙군인 Forrest가 심한 연차변이를 보이며, 황금콩은 제 4 성숙군에 속하는 Clark와 비슷하다. Wayne과 Clark을 제외한 3품종에서는 파종이 지연될수록 편차가 줄어드는 경향이 나타나는 만파일수록 수량이 감소한 것을 나타낼 뿐이다.

수량이 감소하는데도 Clark의 연차변이는 파종기별로 거의 차이가 없으며, Wayne의 경우에는 오히려 연차변이가 커졌다.

적기 파종에서 생리적 성숙기의 연차변이를 표준편차로 나타내면 Clark 품종은 약 이틀 정도로 가장 안정되어있으며, 나머지 4품종도 2.2 - 2.3일 정도로 비슷한 수준이다. 그러나 파종기가 6월 이후로 지연되면 점차 변이가 증가하는데 Wayne에서는 오히려 감소하여 Clark보다 더 적은 변이를 보인다. 이로부터 미루어보면 생물계절특성 면에서 Wayne은 다른 4품종과는 구분되는 특성을 갖고 있다.

5월 15일 파종조건에서 얻은 종실수량을 99개 CZU에 대해 평균해 보면, 수원외 작시포장에 비해 Clark 94%, Forrest 75%, 황금 66%, 장엽 71% 등으로 모두 적은 값을 보인다. 다만 수원지방에서 가장 수량성이 낮았던 Wayne은 오히려 157%로 종실수량이 크게 증가하였다. 전술한대로 Wayne은 북미지역 제 3 성숙군으로서, 공식된 품종들 중 조생종에 속하므로 우리나라 중남부지방보다는 중북부지방에 잘 적용할 것으로 기대된다.

수원과 연천 두 지역에서 모두 비슷한 수량을 올린 Clark의 수량을 기준으로 99개 CZU의 상대 수량지수를 비교하면 역시 Wayne의 수량성이 모든 CZU에서 월등히 높게 나타났다. 그렇다면 Wayne의 실제 수량도 다른 품종에 비해 더 높을 것인지 궁금하므로 이번에는 99개 CZU의 종실수량을 평균해 보았다. 역시 Wayne이 ha당 2,638 kg으로 가장 많고, 다음이 Clark의 2,263, Forrest의 2,053, 장엽의 1,899 kg 순이며 황금콩은 1,670 kg으로 가장 낮았다. Wayne의 경우 전 CZU에 걸쳐 매우 안정적인 수량을 보이며, 아주 수량이 높은 몇 개 CZU에서만 다른 품종들에 비해 약간 적은 값을 보였다.

모형 구동결과로부터 얻은 수량은 반드시 실제 포장 실험을 통해 비교, 검증되어야만 실용적인 목적에 이용될 수 있으므로 북부농업시험장에서는 향후 2-3년간 대표적인 CZU에 실험포장을 조성하여 품종 및 파종기별 재배실험과 생육조사를 추가로 실시할 계획이다. 본격적인 검증자료가 나오기 전까지는 과거에 수행된 연구조사결과로부터 모의결과의 신뢰성을 추정할 수밖에 없다. 콩 품종 13개를 연천지역에서 2002년 한 해 동안 재배한 Yoon and Chu (2003)의 보고에 의하면 '실파달콩 2호'에서 2,726 kg/ha로 수량이 가장

높았고, 장엽콩에서 1,584 kg/ha로 가장 낮았다. 시공간적인 변이를 무시한 결과이긴 하나 이러한 품종간 수량변이폭은 본 생육모의에서 관측되는 변이폭 (2,738 - 1,670 kg/ha)과 유사함을 알 수 있다.

과중기가 6월 24일인 경우 수원수량에 대한 수량 백분율의 99개 CZU 평균값은 Clark 61%, Forrest 52%, 장엽 48%, 황금은 42%로 크게 낮았다. 반면 Wayne의 경우 127%로 적기과중에는 못 미치지만 그래도 높은 수량을 유지하였다.

절대수량을 역시 Clark 품종 기준으로 비교해보면 대부분의 재배구역에서 Wayne은 1,500 kg/ha이상의 수량을 올렸으며, 전체 CZU 평균값에 있어서도 1,911 kg/ha을 유지하였다. 기준 품종인 Clark이 1,316 kg/ha이며, Forrest 1,126, 장엽 1,037, 그리고 황금콩 918인 것에 비하면 만파재배에 있어서도 Wayne의 수량성이 월등함을 알 수 있었다.

#### 3.4. 통합분석시스템 MAPSOY

이상의 수치기후도 및 응용주제도를 여타 공간정보와 함께 중첩시켜 사용자로 하여금 손쉽게 원하는 정

보를 검색하고 표출할 수 있도록 도와주는 도구를 만들어 MAPSOY이라고 명명하였다. 먼저 정밀기후도와 이를 이용한 경기북부지역의 과수 동해 및 상해 위험도를 보여주는 메뉴가 준비되어있다.

Fig. 5는 기준품종인 Clark을 5월 15일 파종하여 평년기후조건에서 재배할 경우 각 CZU에서 기대할 수 있는 작황을 점수로 표현한 것이다. 패널 A는 생리적 성숙기의 연차변이, B는 종실수량, C는 수량의 연차변이를 평가한 것으로서 양호, 보통, 미흡, 불량 등 4 등급으로 표현하였다. 패널 D는 이들 3 요소의 종합점수로써 수, 우, 미, 양, 기의 5등급으로 나타내었다.

기본적인 기후정보에 덧붙여 특별한 목적을 위해 가공된 이들 정보는 지방정부(시, 군청) 행정담당자들에게 이 지역 주요 농경지의 콩 재배 가능성 여부를 파악하는데 도움을 줄 것이다. 즉 한 눈에 지역의 농업 환경과 토지의 생산성을 볼 수 있어 농지관련 정책입안에 유용한 자료로 활용할 수 있다. 또한 농업기술센터 근무자에게는 이보다 깊이 있는 기술지도자료를 얻을 수 있다. MAPSOY에는 5품종의 적파 및 만파재배시 예상되는 발육, 성장, 수량관련 특성을 각각 독

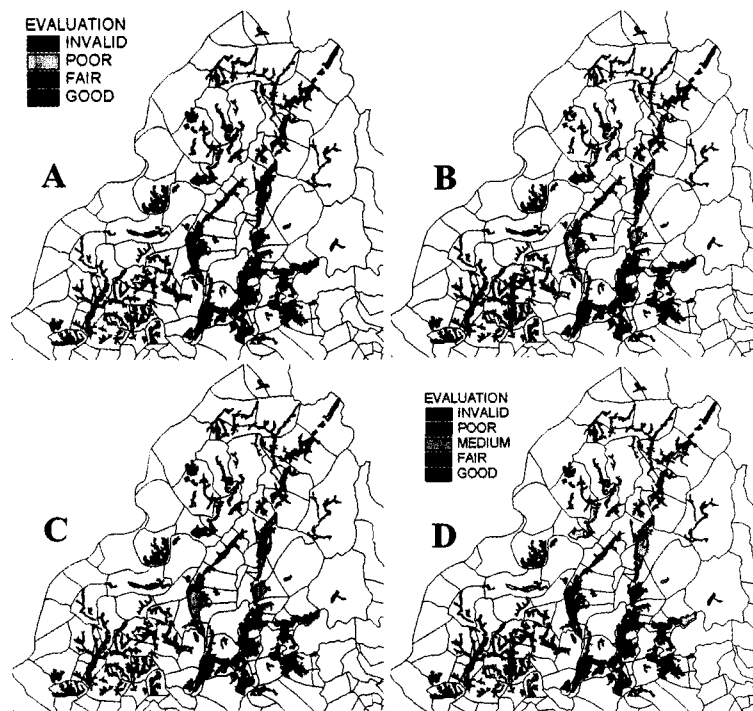


Fig. 5. Inter-annual variations in maturity (A), average grain yields (B), inter-annual variations in grain yield (C), and the overall scores (D) estimated by CROPGRO-Soybean with the genetic coefficients of Clark cultivar planted on 15 May.



립된 메뉴로 작성하여 사용자가 쉽게 검색할 수 있도록 하였으므로 원하는 품종과 작부체계를 선택하여 각 CZU별 예상작황을 비교해볼 수 있다. 최종 사용자인 농업인의 경우 지역 전체의 예상작황보다는 본인 소유 경작지에 알맞은 품종과 작부체계에 더욱 관심이 있을 것이다. 이를 위해 MAPSOY에는 지도상에서 원하는 CZU를 선택하면 관련된 작황정보는 물론, 궁극적으로 이 재배구역의 적과 혹은 만과재배에 가장 적합한 품종이 무엇인지 알려준다.

#### IV. 요약 및 결론

CROPGRO-Soybean 모형을 이용해 연천지역 기후 조건에 알맞은 콩 품종을 선발하고, 나아가 지역 내 콩 재배적지를 정밀하게 탐색하기 위해 수치기후도 등 다양한 공간정보로부터 모형입력자료를 준비하였다. 연천근내에서 작물재배가 가능한 토지 가운데 면적이 10 ha 이상인 구역 99개를 선발하여, 농업과학기술원 수치토양도로부터 토양자료를 추출하고, 수치기후도로부터 30년 일 기상자료를 생성하였다. 최근 15년간 작물시험장 작황시험성적(1988-2002)을 토대로 장엽 및 황금 두 품종의 모수를 도출하였으며, 제 3, 4, 5 성숙군의 대표품종(Wayne, Clark, Forrest)을 포함한 5 품종에 대하여 파종기를 달리 한 생육모의를 30년간 실시하였다. 예측된 종실수량 및 수량 연차변이, 그리고 성숙기 연차변이 성적을 토대로 99개 재배구역의 콩 재배적합성을 평가하였고, 각 재배구역에 대해 파종기별 최적품종을 선발하였다.

본 연구를 통해 제작 및 수집된 모든 공간정보와 생육모의결과를 공간데이터베이스로 구축하고, 이를 쉽게 이용할 수 있도록 활용시스템 프로그램(MAPSOY)을 제작하였다. MAPSOY는 초보자도 수치기후도 데이터베이스를 손쉽게 검색, 분석, 표출할 수 있도록 구성되어있다. 이 시스템은 앞으로 경기북부 3개 시군의 유관 단체 및 개인의 시험사용을 통해 그 실용성을 확인할 것이며, Web 기반의 서비스로 발전한다면 더욱 많은 사람들에게 다가갈 수 있을 것이다. MAPSOY를 통해 단기적으로는 작물생육, 병해충예찰, 토양수분

관개 등 농업모형의 입력자료를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 필지 단위까지의 농업생산 및 환경관련 정보를 생산함으로써 보상과 규제기준 산정 등 직접지불제와 농작물재해보험에도 활용할 수 있다. 나아가 친환경 농업 기능 작목을 선정하고 적합한 재배기술을 제시하는데도 기여할 수 있을 것이며, 작물별 재배 안전지대를 정밀하게 재설정함으로써 재해경감에도 이바지할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2003년도 경기도 농업기술원 학술용역으로 수행되었으며, 실험에 사용된 정밀 수치토양도는 농업과학기술원, 지표피복도는 환경부에서 각각 지원 받았다.

#### 인용문헌

- Boote, K. J., J. W. Jones, and G. Hoogenboom, 1998: Simulation of crop growth: CROPGRO Model. Chapter 18, 651-692pp. In R. M. Peart and R. B. Curry (eds.) *Agricultural Systems Modeling and Simulation*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Kim, Y. H., H. D. Kim, S. W. Han, J. Y. Choi, J. M. Koo, U. Chung, J. Y. Kim, and J. I. Yun, 2002: Using spatial data and crop growth modeling to predict performance of South Korean rice varieties in Western Coastal Plains in North Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 4, 224-236.
- Yajima, M., 1996: Monitoring and forecasting of rice growth and development using crop-weather model. In: R. Ishii and T. Horie(eds.), *Crop Research in Asia: Achievements and Perspective*. Asian Crop Science Association, 280-285.
- Yoon, S. T., and Y. H. Chu, 2003: Selection of optimum soybean variety for Gyeonggi northern areas. *Journal of Korean Society of International Agriculture* 15(4), 309-317.
- Yun, J. I., 2003: Predicting regional rice production in South Korea using spatial data and crop-growth modeling. *Agricultural Systems* 77, 23-38.
- Yun, J. I., and K. H. Lee, 2000: Agroclimatology of North Korea for paddy rice cultivation: preliminary results from a simulation experiment. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 2, 47-61.