

기온, 강수량, 이산화탄소농도 변화에 따른 CERES-Barley 국내품종의 종실수량 반응

김대준^{1*} · 노재환² · 윤진일¹

¹경희대학교 식물환경신소재공학과, ²국립식량과학원 벼맥류부
(2013년 12월 17일 접수; 2013년 12월 22일 수정; 2013년 12월 26일 수락)

Grain Yield Response of CERES-Barley Adjusted for Domestic Cultivars to the Simultaneous Changes in Temperature, Precipitation, and CO₂ Concentration

Dae-jun Kim^{1*}, Jae-hwan Roh² and Jin I. Yun¹

¹College of Life Science, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea

²Rice Research Division, National Institute of Crop Science, Iksan 570-080, Korea

(Received December 17, 2013; Revised December 22, 2013; Accepted December 26, 2013)

ABSTRACT

Our understanding of the sensitivities of crop responses to changes in carbon dioxide, temperature, and water is limited, which makes it difficult to fully utilize crop models in assessing the impact of climate change on future agricultural production. Genetic coefficients of CERES-Barley model for major domestic cultivars in South Korea (Olbori at Suwon, Albori at Milyang, Saessalbori at Iksan, and Samdobori at Jinju) were estimated from the observed data for daily weather and field trials for more than 10 years by using GenCalc in DSSAT. Data from 1997-2002 annual crop status report (Rural Development Administration, RDA) were used to validate the crop coefficients. The site-calibrated CERES-Barley model was used to perform crop growth simulation with the 99 treatments of step change combinations in temperature, precipitation and carbon dioxide concentration with respect to the baseline climate (1981-2010) at four sites. The upper boundary corresponds to the 2071-2100 climate outlook from the RCP 8.5 scenario. The response surface of grain yield showed a distinct pattern of model behavior under the combined change in environmental variables. The simulated grain yield was most sensitive to CO₂ concentration, least sensitive to precipitation, and showing a variable response to temperature depending on cultivar. The emulated impacts of response surfaces are expected to facilitate assessment of projected climate impacts on a given cultivar in South Korea.

Key words: CERES, RCP 8.5, Response surface, Sensitivity, Winter Barley

I. 서 론

기후변화가 작물생산에 미치는 영향에 대한 연구는 국내외를 막론하고 꾸준히 진행되고 있으며, SRES (Special Report on Emission Scenario)부터 RCP

(Representative Concentration Pathway)에 이르기까지 탄소배출시나리오에 따른 기후전망이 발표되면 곧 이어 작물생산에 미치는 평가결과가 잇달아 발표되고 있다(Shim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012; 국립기상연구소, 2011). 이는 작물모형의 발달에 힘입은 것



* Corresponding Author : Dae-jun Kim
(daejuy@khu.ac.kr)

으로서 국내에서 작물모형을 이용하여 시나리오 기후 조건 하의 식량 생산을 예측한 최초의 사례는 MACROS모형을 이용하여 대기 중 이산화탄소 2배 조건의 기후전망(GISS GCM) 중 한반도 영역격자에 대해 벼의 생산성변화를 추정했던 것이었다(Yun, 1990). 한편, 다목적법 건설에 따른 국지기후변화가 주변 지역 농작물 생산에 미치는 영향을 연구하는 데 ORYZA 및 SIMRIW(벼), CERES-maize(옥수수), SOYGRO(콩) 등이 이용되었고(Yun *et al.*, 1997a; 1997b), 접근이 용이하지 않은 북한지방의 농업기후지대 구분(agroclimatic zoning) 및 DMZ 인접 3개 시,군 벼 및 콩 재배용 농업기후 상세구분을 위해 CERES-rice 모형과 CROPGRO-soybean 모형이 이용되었다(Yun and Lee, 2000; Kim *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2004). 최근에는 전국을 64개 권역으로 나누어 RCP시나리오 조건에서 기후 평균값은 물론 연차변이를 고려한 벼, 보리, 콩 등 주요 곡물의 생산전망을 DSSAT계열 작물모형에 의해 모의한 결과와 기후변화조건에서 파종일을 변경함에 따라 예상되는 보리의 품종별 반응을 CERES-barley 모형에 의해 모의한 결과가 발표되었다(Kim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013).

이들 연구에서는 예외 없이 작물모형이 사용되어 왔지만 어떤 작물모형을 사용했을 때 각 기후요소의 변화에 대한 작물수량의 반응정도, 즉 민감도에 대해서는 알려진 바가 없다. 동일한 기후전망조건에서 서로 다른 모형을 사용하여 계산된 최종결과물의 차이가 모형의 민감도에 어느 정도 영향을 받았는지, 혹은 같은 모형일지라도 품종이나 적응지역을 달리 해서 얻은 결과물에 민감도의 영향은 없는지 등 의문에 대하여 지금까지 해답을 제시한 경우는 없었다. 만약 어떤 모형의

민감도가 이미 알려진 기온, 강수량, 이산화탄소 농도의 변화범위 내에서도 크게 차이가 난다면 가상기후조건인 생육모의를 위한 실험설계(예, 처리수준 결정)에 이러한 환경인자의 민감도가 반영되어야 할 것이다.

기후변화 시나리오는 여러 가지 기후요소에 대한 미래전망을 내놓고 있다. 이들 중 작물생육과 밀접한 관련이 있고, 미래에 큰 변화가 예상되는 요소로는 이산화탄소 농도, 기온, 그리고 강수량 정도로 알려져 있다. 본 연구는 RCP 8.5 시나리오에 의해 전망된 미래(2071-2100)의 기온, 강수량, 이산화탄소 농도와 관측된 현재(1981-2010) 기후조건 간 차이를 근거로 각 기후요소의 변동범위를 설정하고, 국내 주요 보리 품종에 맞게 조정된 작물모형을 대상으로 모의 종실수량에 미치는 각 기후요소의 영향을 민감도 실험을 통해 정량화 하고자 수행하였다. 연구결과는 우리나라 겨울 보리 재배에 미치는 기후변화의 영향평가기술을 개선하는 데 활용될 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

2.1. 작물모형 및 품종모수 정보

본 연구에서 겨울보리의 생육모의를 위해 사용한 작물 모형은 CERES (Crop Environment Resource Synthesis) -Barley로서 DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) Version 4.5 패키지에 포함되어 있다(Jones *et al.*, 2003). 공시품종은 울보리, 알보리, 새쌀보리 및 삼도보리이며 품종모수는 농촌진흥청에서 매년 실시하고 있는 ‘작황조사시험’ 자료를 토대로 DSSAT 패키지의 내장프로그램인 GenCalc를 이용하여 추정하였다. 수집된 작황조사시험 자료 기온

Table 1. Genetic coefficients of the relevant crop models in DSSAT for adapting selected cultivars in barley (Kim *et al.*, 2012)

Barley	PIV	PID	P5	G1	G2	G3	PHINT
OLBORI	19	13	567	24	44	1.3	75
ALBORI	17	15	468	27	54	1.3	75
SAESSALBORI	16	23	492	45	54	1.3	75
SAMDOBORI	14	34	528	56	20	1.3	75

PIV: Days at optimum vernalizing temperature required to complete vernalization.

PID: Percentage reduction in development rate in a photoperiod 10 hour shorter than the threshold relative to that at the threshold.

P5: Grain filling (excluding lag) phase duration (°C. d)

G1: Kernel number per unit canopy weight at anthesis (#/g)

G2: Standard kernel size under optimum conditions (mg)

G3: Standard, non-stressed dry weight (total, including grain) of a single tiller at maturity (g)

Table 2. Treatments used in the climate sensitivity test

	CT*	PC**	CO ₂ ***		CT	PC	CO ₂
1	0.7	-17	418	51	0.1	33	384
2	0.0	23	458	52	4.9	22	440
3	1.9	-22	524	53	3.6	30	724
4	7.5	10	766	54	3.8	-5	836
5	3.6	24	673	55	6.4	4	642
6	1.0	34	403	56	6.3	11	433
7	2.8	38	551	57	1.4	-29	871
8	4.8	8	576	58	-0.2	11	475
9	3.9	-42	700	59	7.0	-21	856
10	4.3	-33	333	60	7.3	-24	829
11	6.9	35	704	61	4.5	-45	847
12	2.5	-12	875	62	-0.3	-21	648
13	5.4	15	377	63	-0.5	5	629
14	0.2	27	777	64	0.6	47	861
15	2.1	3	714	65	-0.8	18	355
16	6.5	-32	768	66	5.1	20	638
17	2.4	-48	510	67	0.2	6	719
18	7.8	26	607	68	4.4	0	783
19	4.2	-46	346	69	6.1	37	482
20	7.3	-28	544	70	2.4	-6	399
21	7.1	-35	500	71	6.6	-34	798
22	6.8	15	825	72	1.7	24	887
23	1.1	41	604	73	1.8	1	563
24	5.8	21	807	74	5.9	-16	898
25	5.1	32	494	75	3.5	19	526
26	3.2	39	366	76	1.2	-40	394
27	3.1	-40	732	77	5.2	-50	554
28	7.9	-3	591	78	0.4	9	679
29	3.1	34	866	79	7.2	14	727
30	3.4	13	585	80	0.9	7	663
31	5.6	45	412	81	-0.4	40	514
32	2.5	44	660	82	-0.6	12	426
33	-0.1	-43	744	83	5.7	-1	406
34	5.5	-9	572	84	5.4	-44	754
35	4.0	-20	490	85	5.5	21	621
36	4.6	-38	839	86	7.6	-36	380
37	6.3	-37	883	87	6.0	-27	444
38	0.9	32	545	88	2.7	2	815
39	7.2	44	453	89	7.5	0	645
40	1.6	49	691	90	-1.0	29	670
41	5.2	-13	454	91	4.1	28	802
42	2.0	-16	504	92	2.2	48	655
43	0.5	-7	537	93	3.9	-35	689
44	4.7	-25	518	94	1.7	43	587
45	6.7	-11	486	95	0.3	-44	774
46	1.3	-26	340	96	4.9	-47	709
47	2.7	-11	424	97	6.2	17	852
48	5.9	-19	580	98	2.2	39	599
49	4.3	-9	793	99	1.1	6	737
50	-0.9	31	435				

*CT: Change in Temperature (°C)

**PC: Precipitation Change (%)

***CO₂: CO₂ Concentration (ppm)

데 1997년 이전 자료(품종별 최단 10년 이상)는 모수 추정에 사용하고, 모수 추정에 사용하지 않은 1997-2002년 자료는 검증용 위해 남겨 두었다. 모수추정과정은 2단계로 나누어 먼저 생물계절과 관련된 P-part (P1, PID, PIV)를 추정하여 결정한 다음, 성장과 수량구성요소 관련 정보를 담고 있는 G-part (G1, G2, G3 등)를 조정하였다(Table 1). 도출된 품종별 유전모수에 의해 해당 모형을 구동하고 모의결과를 실측자료와 비교한 결과, 수량은 6년간 실측자료의 경년변동을 잘 표현하였고 발육단계 추정오차(RMSE)는 평균적으로 출수기 3.8일, 성숙기 2.3일로 나타나 미래 기후변화시나리오에 따른 보리 생육 및 수량 변화 추정에 큰 무리가 없다고 판단하였다.

2.2. 민감도 실험

기후요소의 변동범위는 RCP 8.5 시나리오의 미래(2071-2100) 기후전망을 바탕으로 기준기후(baseline, 1981-2010)에 비해 기온은 -1°C ~ +8°C, 강수량은 -50% ~ +50% 사이에서 변화하도록 두었으며, 대기 중 CO₂ 농도는 330ppm ~ 900ppm으로 설정하였다(Table 2). 이들 3개 기후요소 변화범위를 조합하여 모두 99 세트의 처리를 만들고, 수원, 밀양, 익산, 진주기상대의 기준기후에 해당하는 일 기상자료에 이들 처리조합을 적용하여 매년 99개 세트의 기상자료를 제작하였다. 이러한 실험방법은 AgMIP (Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project)에서 제시한 국제적인 비교 실험의 표준과 동일하다(Ruane *et al.*, 2013).

```

*ENVIRONMENT MODIFICATIONS
BE ODATE EDAY ERAD EMAX EMIN ERAIN ECO2 EDEW EWIND ENVNAME
1 80001 A 0 A 0 A 0.7 A 0.7 M0.83 R 418 A 0 A 0 test 1
2 80001 A 0 A 0 A 0 A 0 M1.23 R 458 A 0 A 0 test 2
3 80001 A 0 A 0 A 1.9 A 1.9 M0.78 R 524 A 0 A 0 test 3
4 80001 A 0 A 0 A 7.5 A 7.5 M1.10 R 766 A 0 A 0 test 4
5 80001 A 0 A 0 A 3.6 A 3.6 M1.24 R 673 A 0 A 0 test 5
...
...
97 80001 A 0 A 0 A 6.2 A 6.2 M1.17 R 852 A 0 A 0 test 97
98 80001 A 0 A 0 A 2.2 A 2.2 M1.39 R 599 A 0 A 0 test 98
99 80001 A 0 A 0 A 1.1 A 1.1 M1.06 R 737 A 0 A 0 test 99
    
```

Fig. 1. Environment modifications file of DSSAT CERES-Barley (File_X).

실제 이들 처리조합의 반영은 DSSAT 실험설계 파일(File_X)의 ‘Environment modification’ 부분을 Fig. 1과 같이 수정함으로써 간단히 해결된다. 이렇게 하면 모형 구동 시 기존의 일별 기상자료파일(File_W)에서 해당 요소가 지정된 범위로 변경되므로 기상입력자료 99개를 별도로 제작할 필요가 없다. 품종별 생육모의에 사용된 기준기후자료는 실제 재배현황을 참고하여 올보리의 경우 수원, 알보리는 밀양, 새쌀보리는 익산, 삼도보리는 진주기상대로부터 수집하였다. 최종적으로 “30년 × 99처리 × 4품종(지역) = 11,880” 계산결과를 얻었으며, 이들 가운데 종실수량부분만 다음 단계 분석에 이용하였다.

2.3. 반응표면 분석

어떤 변량에 두 개 이상의 요소가 복합적으로 영향을 미칠 때 가시적인 분석을 위해 널리 사용하는 방법이 반응표면분석(response surface analysis)이다(한원식, 1997). 본 연구에서는 SAS (Statistical Analysis System, SAS Institute, version 9.1.3) RSREG (Response Surface by Least-Square Regression)를 이용하여 두 개의 환경요소를 회귀변수로 두고 종실수량의 반응을 얻은 다음, 이를 SAS G3D에 의해 3차원 그림으로 표현하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 종실수량의 기후반응 개요

매년 99개의 처리조합에 의해 계산된 종실수량을 30년 간 평균하여 그 가운데 최소 및 최대수량을 보인 조합을 찾아보았다. 수원지방에서 올보리를 재배할 경우 기준기후에 비해 기온이 0.8°C 낮고 강수량은 18% 많으며 CO₂ 농도는 355ppm인 조합에서 최소수량을 보였다. 반면 최고수량은 기온이 기준에 비해 2.5°C 높고 강수량은 12%가 적으며 CO₂ 농도는 기준의 두 배 이상인 875ppm에서 발견된다. 경남 밀양지방에서 올보리를 재배할 경우 밀양지방의 기준기후에 비해 기온이 4.3°C 높고 강수량은 33% 적으며 CO₂ 농도가 333ppm인 조합에서 최소수량이 나타났다. 최고수량은 기온이 기준에 비해 0.6°C 높고 강수량은 47% 많으며 CO₂ 농도는 861ppm인 조합이다.

이러한 결과로부터 같은 겉보리 품종에 속하지만 육성지역의 기후조건에 따라 수량형성에 불리한 조합과

유리한 조합이 서로 다르다는 것을 알 수 있다. 예를 들어 RCP 8.5 기후시나리오에 근거한다면, 수원지방에서 앞으로 계속 올보리를 재배할 경우 온도조건은 유리하지만 강수조건은 불리하다. 한편 밀양지방에서 알보리를 재배할 경우 수원과는 달리 미래 온도조건은 크게 불리하지만 강수량증가는 수량형성에 유리한 조건이 될 수 있을 것이다.

전북 익산의 기후조건에서 모의된 새쌀보리의 최소 수량은 기온 7.6°C 상승, 강수량 36% 감소, CO₂ 농도 380ppm에서 관찰되었으며 최고수량은 기온 1.7°C

상승, 강수량 24% 감소 CO₂ 농도 887ppm에서 모의되었다. 맥주보리 품종인 삼도보리를 경남 진주의 기후조건에서 재배할 경우 최소수량은 기온 5.4°C 상승, 강수량 15% 증가, CO₂ 농도 377ppm에서 모의되었고, 최고수량은 기준기후보다 기온은 0.6°C 상승, 강수량 47% 증가, CO₂ 농도 861ppm인 조합에서 발견되었다.

3.2. 반응표면

대부분의 탄소배출시나리오는 향후 100년 이상 대기 중 이산화탄소농도는 지속적으로 증가할 것으로 전망

Table 3. Climate factor combinations for the smallest and the largest grain production in winter barley cultivars

	Olbori	Albori	Saessalbori	Samdobori
Smallest Yield (kg/ha)	4,326	4,777	5,267	5,405
Change in Temperature (°C)	-0.8	4.3	7.6	5.4
Precipitation change (%)	18	-33	-36	15
CO ₂ Concentration (ppm)	355	333	380	377
Largest Yield (kg/ha)	9,132	8,455	8,985	9,635
Change in Temperature (°C)	2.5	0.6	1.7	0.6
Precipitation change (%)	-12	47	24	47
CO ₂ Concentration (ppm)	875	861	887	861

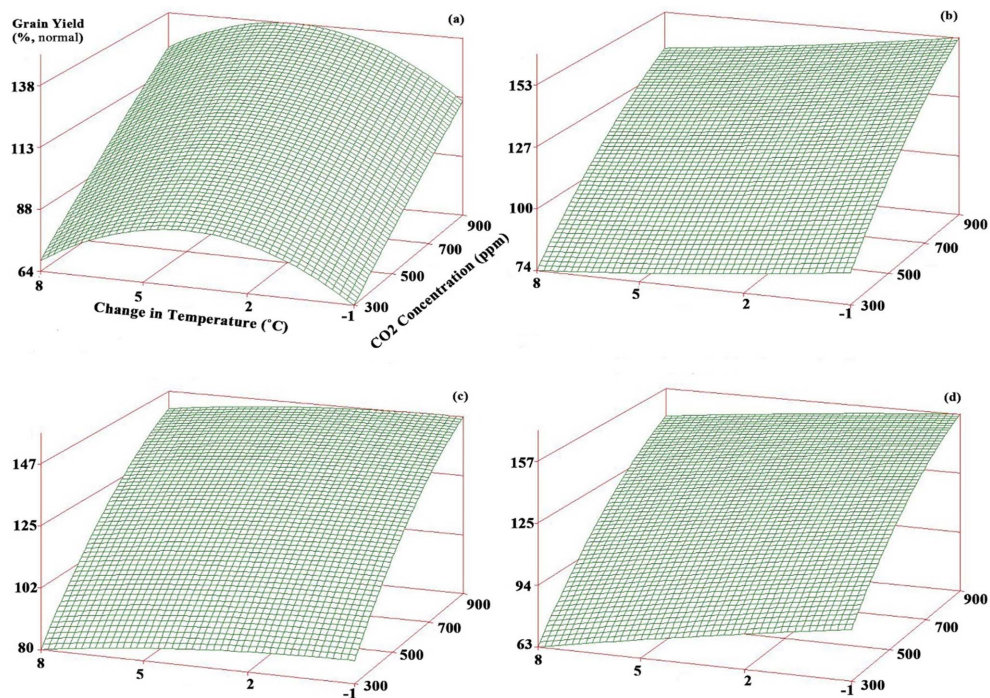


Fig. 2. Grain yield responses to the step changes in temperature and CO₂ concentration in 4 winter barley cultivars, Olbori (A), Albori (B), Saessalbori (C), and Samdobori (D), respectively.

할 수 있다. 지금까지 C3 식물인 보리의 경우 높아진 CO₂분압에 의해 광합성속도가 빨라질 것이며 겨울보리 재배 시 생육기간 중 기온상승에 의한 추가효과까지 더해져 종실수량이 크게 증가할 것으로 예상되어왔다. 총 11,880개의 모의수량을 토대로 SAS RSREG에 의해 품종(지역)별로 도출한 반응표면에 따르면 예상대로 변동범위 내에서 CO₂ 농도가 증가할수록 품종과 무관하게 종실수량은 증가하였다. 하지만 기온의 영향은 예상과 상당히 달랐는데 알보리, 삼도보리, 새쌀보리의 경우 기온이 지금보다 더 올라가면 CO₂ 농도증가효과가 줄어드는 것을 알 수 있다. 올보리의 경우에는 현재온도를 기준으로 약 4°C까지 기온이 올라갈수록 CO₂ 농도와 상승효과를 보여 종실수량이 증가하지만, 이보다 더 올라가면 역시 수량이 감소하기 시작하였다. 이러한 품종 간 반응차이는 품종이 육성된 지역이 다른 데서 찾을 수 있을 것이다. 올보리를 제외한 3 품종은 오랜 기간 재배되어온 해당 시험지역(밀양, 익산, 진주)의 기온에 완전히 적응된 품종이지만 올보리 시험지인 수원의 경우 이 품종의 생육 최적기온보다 약 2°C 추운 지역일 가능성이 높을 가능성이 있다(Fig. 2).

이번에는 대부분 기후시나리오에서 전망하는 기온상승이 종실수량에 미치는 효과를 강수량변화와 함께 살펴 보았다. 현재 기후조건에 비해 강수량이 절반으로 줄어들거나 반대로 50%까지 증가할 경우 기온상승에 따른 종실수량 반응 역시 품종에 따라 달랐다. 현재 온도를 기준으로 약 4°C까지 기온이 올라갈수록 종실수량이 증가하지만, 이보다 더 올라가면 수량이 감소하는 올보리의 온도반응은 강수량 변화와 무관하게 유지된 반면, 전체 온도변화 범위에서 기온이 오를수록 종실수량이 줄어들었던 다른 품종, 특히 알보리와 삼도보리의 경우 강수량이 지금보다 줄어드는 조건에서는 올보리와 유사한 반응을 보였다(Fig. 3). 이들 품종에서는 현재 온도조건이라면 강수량이 많아질수록 종실수량이 늘어나지만, 기온이 크게 상승하는 미래에는 강수량 증가에 의해 종실수량이 오히려 큰 폭으로 감소하게 됨을 보여준다. 전반적으로 강수량 변화에 대한 수량반응은 생각보다 무디다는 것을 알 수 있는데, 특히 수원의 올보리와 익산의 새쌀보리는 기온의 상승, 하강에 무관하게 강수량 변동에 대한 수량반응이 거의 나타나지 않았다.

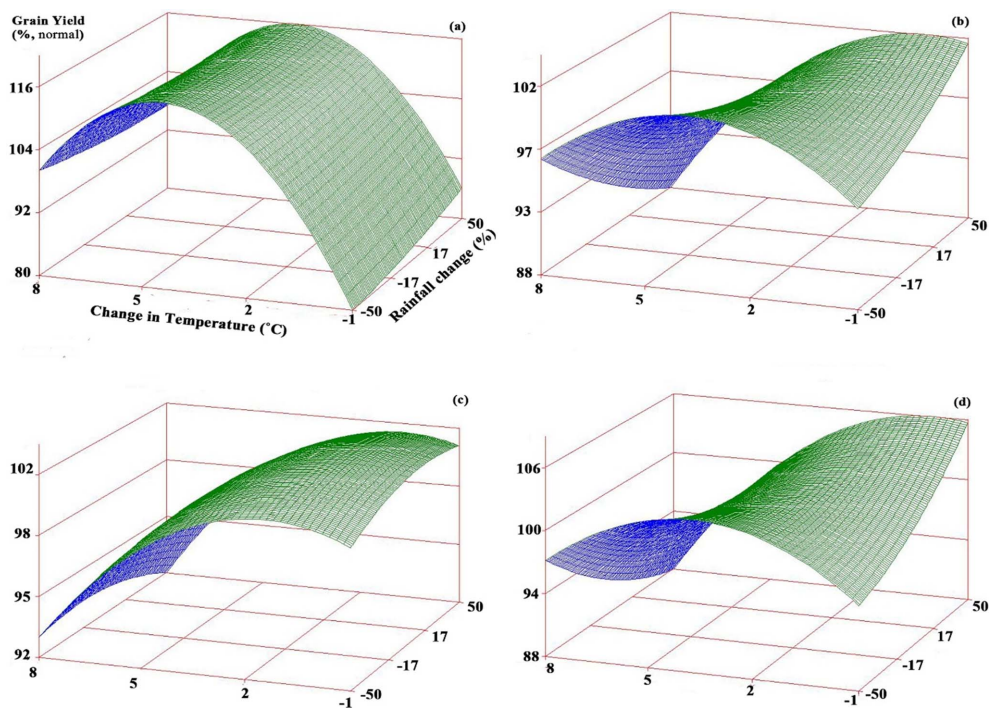


Fig. 3. Grain yield responses to the step changes in temperature and precipitation in 4 winter barley cultivars, Olbori (A), Albori (B), Saessalbori (C), and Samdobori (D), respectively.

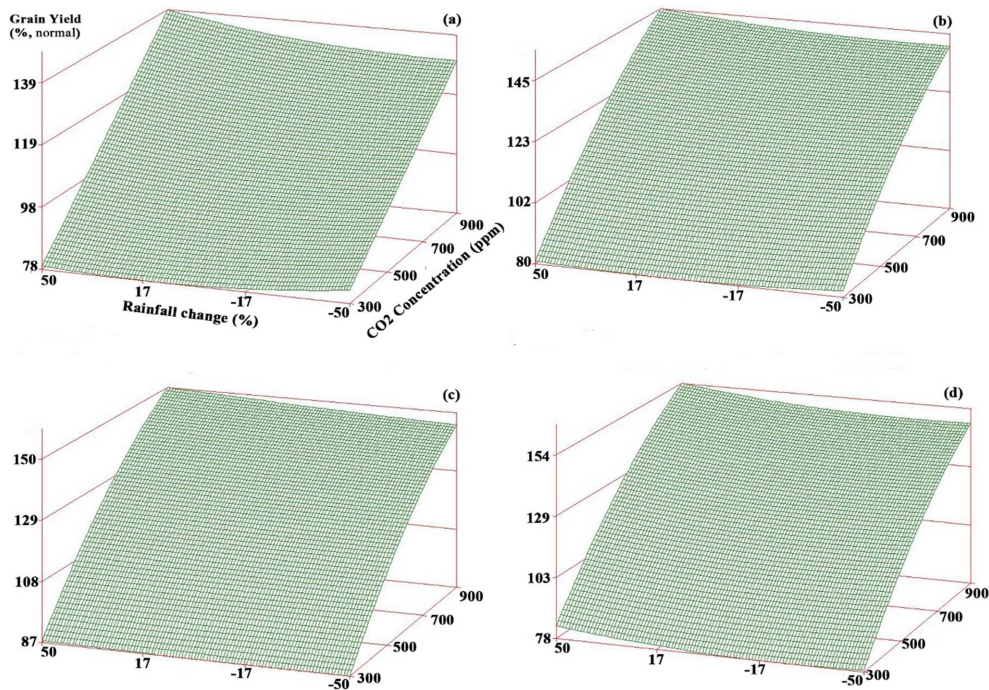


Fig. 4. Grain yield responses to the step changes in precipitation and CO₂ concentration in 4 winter barley cultivars, Olbori (A), Albori (B), Saessalbori (C), and Samdobori (D), respectively.

종실수량에 미치는 CO₂ 농도증가효과는 강수량 변화에 의해서는 별 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 도출된 반응표면 가운데 강수량과 CO₂ 농도의 변화가 종실수량에 미치는 영향은 4품종 모두 동일한 경향을 보여 준다(Fig. 4).

결론적으로 본 실험에서 설정한 기후요소의 변동범위 내에서 겨울보리의 종실수량은 이산화탄소농도 변화에 가장 민감하며, 강수량 변동에 대한 반응이 가장 무디었다. 온도변화는 다른 요소들과 뚜렷한 상호작용을 보였으며 품종별로도 반응이 달랐다. 하지만 전 기간에 걸쳐 동일한 온도와 강수량 변화를 가정한 결과 이므로 이 결과를 적용하는 데는 주의가 필요하다. 기온과 강수량의 변화는 계절적인 특성에 크게 의존하므로 결과의 적용은 당초 연구목적인 모형의 민감도 해석에 그쳐야 할 것이다. 나아가 CERES-Barley 모형에 한정된 결과이므로 다른 작물모형을 사용할 경우 환경변수에 대한 민감도가 당연히 달라질 것으로 기대한다. CERES-Barley 모형은 농업부문 기후변화 영향평가에 널리 사용되고 있으므로 실험설계 시 모형의 민감도 특성을 알고 충분히 반영한다면 현실성 있는 미래전망

이 가능할 것이다.

적 요

주어진 작물모형이 기후요소 중 어떤 것에 얼마만큼 반응하는지 상대적인 민감도를 모르는 상태에서 계산 결과만으로 미래 전망을 내리는 것은 적절치 않을 수 있다. 본 연구에서는 미래기후전망에 근거한 국내 보리 품종의 민감도 변화 실험을 통해 기온, 강수량, 이산화탄소 농도의 변화가 작물의 생산량에 미치는 상대적인 영향을 분석하였다. 주요 보리 품종(울보리-수원, 알보리-밀양, 새쌀보리-익산, 삼도보리-진주)에 맞게 품종모수가 조정된 CERES-Barley를 RCP 8.5 시나리오의 2071-2100 기후변동범위(1981-2010 기준 기온 -1°C ~ +8°C, 강수량 -50% ~ +50%, CO₂ 농도 330ppm ~ 900ppm)에 근거한 99개 처리조합에 의해 구동하였다. 이들 처리조합에 의해 생성된 11,880개 종실수량 계산결과를 토대로 각 기후요소의 변화에 따른 종실수량의 민감도를 분석한 결과 이산화탄소농도 변화에 가장 민감한 반응을 보인 반면 강수량 변동에 대한 반

응이 가장 무디었고, 온도변화에 대해서는 기준온도 대비 상승, 하강 모두 감소하는 경향이었지만 품종 별로 차이가 뚜렷하였다. CERES-Barley는 우리나라에서 농업부문 기후변화 영향평가에 널리 사용되므로 실험 설계 시 이러한 모형의 민감도를 감안하여야 현실성 있는 생육모의가 가능하다.

REFERENCES

- Jones, J. W., G. Hoogenboom, C. H. Porter, K. J. Boote, W. D. Batchelor, L. A. Hunt, P. W. Wilkens, U. Singh, A. J. Gijssman, and J. T. Ritchie, 2003: DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy* **18**, 235-265.
- Kim, D. J., J. H. Roh, J. G. Kim, and J. I. Yun, 2013: The Influence of Shifting Planting Date on Cereal Grains Production under the Projected Climate Change. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **15**(1), 26-39. (in Korean with English abstract)
- Kim, D. J., S. O. Kim, K. H. Moon, and J. I. Yun, 2012: An outlook on cereal grains production in South Korea based on crop growth simulation under the RCP 8.5 climate change scenarios. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **14**(3), 132-141 (in Korean with English abstract)
- Kim, S. K., J. S. Park, Y. S. Lee, H. C. Seo, K. S. Kim, and J. I. Yun, 2004: Development and Use of Digital Climate Models in Northern Gyunggi Province - II. Site-specific Performance Evaluation of Soybean Cultivars by DCM-based Growth Simulation. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**(1), 61-69. (in Korean with English abstract)
- 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 Grown in Western Coastal Plains in North Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **4**(4), 224-236. (in Korean with English abstract)
- Ruane, A. C., S. Mcdermid, and C. Rosenzweig, 2013: *C3MP protocols and procedures*. C3MP, AgMIP, 1-14.
- Shim, K. M., S. H. Min, D. B. Lee, G. Y. Kim, H. C. Jeong, S. B. Lee, and K. K. Kang, 2011: Simulation of the effects of the A1B climate change scenario on the potential yield of winter naked barley in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **13**(4), 192-203. (in Korean with English abstract)
- Yun, J. I., 1990: Analysis of the Climatic Impact on Korean Rice Production under the Carbon Dioxide Scenario. *Journal of Korean Meteorological Society* **26**(4), 263-274. (in Korean with English abstract)
- Yun, J. I., J. M. Hwang, and S. G. Lee, 1997a: Simulation of Local Climate and Crop Productivity in Andong after Multi-Purpose Dam Construction. *Korean Journal of Crop Science* **42**(5), 579-596.
- Yun, J. I., K. H. Hwang, H. H. Chung, M. Y. Shin, J. T. Lim, and J. C. Shin, 1997b: Effects of an Artificial Lake on the Local Climate and the Crop Production in Suncheon Area. *Journal of Korean Meteorological Society* **33**(3), 409-427. (in Korean with English abstract)
- 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**(2), 47-61. (in Korean with English abstract)
- 국립기상연구소, 2011: IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서 2011. 79-110. 기상청.
- 한원식, 1997: 농업생명과학을 위한 통계적 방법. 자유아카데미, 503-529.