

기후변화에 따른 주요 벼 병해충에 의한 벼 생산의 취약성평가*

김명현¹⁾ · 방혜선¹⁾ · 나영은¹⁾ · 김미란¹⁾ · 오영주²⁾ · 강기경¹⁾ · 조광진¹⁾

¹⁾ 국립농업과학원 기후변화생태과 · ²⁾ (주)한반도생물다양성연구소

Vulnerability Assessment of Rice Production by Main Disease and Pest of Rice Plant to Climate Change*

Kim, Myung-Hyun¹⁾ · Bang, Hea-Son¹⁾ · Na, Young-Eun¹⁾
Kim, Miran¹⁾ · Oh, Young-Ju²⁾ · Kang, Kee-Kyung¹⁾ and Cho, Kwang-Jin¹⁾

¹⁾ Climate change and Agro-ecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA,

²⁾ Korea Biodiversity Research Center Co.

ABSTRACT

Rice is a main crop and rice field is the most important farmland in Korea. This study was conducted to propose the methodology assessing impact and vulnerability on rice production by climate change at the regional and national level in Korea. We evaluated a vulnerability of rice paddy according to the outbreak of a main disease and pest of a rice plant. As results, Jeju-do, Gyeongsangnam-do, and Jeollanam-do were more vulnerable area than others. In contrast, the southern central region including Gyeonggi-do was less vulnerable than others. The vulnerable index was significantly higher in 2050s (0.5589) than in present (0.3500). This result showed that the vulnerable to the disease and pest enlarge in the future. The adaptive capacity highly contributed to the vulnerability assessment index. The daily maximum temperature of June and the daily average temperature from May to August also contributed the climate exposure index. The area of occurring

* 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ 008954)의 지원에 의해 이루어진 것임.

First author : Kim, Myung-Hyun, Climate change and Agro-ecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-707, Korea,
Tel : +82-31-290-0234, E-mail : wildflower72@korea.kr

Corresponding author : Cho, Kwang-Jin, Climate change and Agro-ecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-707, Korea,
Tel : +82-31-290-0234, E-mail : 4233125@hanmail.net

Received : November, 20. 2012. **Revised** : January, 21 2013. **Accepted** : January, 21 2013.

sheath blight, rice leaf blast and striped rice borer was related to the system sensitivity index. The ability of water supply (readjustment area of arable land per paddy field area) and rice production technique (rice yield per hectare) were the highly contributed variables to the adaption capacity index.

Key Words : *Vulnerability Assessment, Agro-ecosystem, Climate Change, Rice Plant.*

I. 서 론

화석연료의 대량소비를 인한 온실가스 증가로 이상기온, 몬순기후 변화, 강수량 변화 등의 기후변화가 발생하였으며 이는 수자원, 농업, 산림, 식량안보 등 다양한 분야에 영향을 주고 있다. 특히, 농업과 관련하여 기후변화로 인한 작물의 생육지역과 생육시기, 재배환경의 변화는 애그플레이션과 같은 다양한 사회, 경제적 문제를 발생시키고 있다. 뿐만 아니라, 농업생태계에 서식하는 생물들은 특정 범위의 기후 및 환경조건에 적응하고 있기 때문에, 기후변화는 개체군 밀도의 변화, 몸의 형태 또는 개체의 크기 등을 포함하는 생물학적 형질 및 생식과 유전의 변화, 생물종의 멸종 등 다양한 측면에 영향을 미칠 수 있다(IPCC, 2007).

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 이러한 예측된 기후변화로 인한 영향과 취약성 정도를 파악하여 미래에 받아들일 수 있는 수준의 위험이 어느 정도인지를 설정하는 것에 대한 중요성을 강조하였다.

취약성평가는 시스템이 노출된 기후 변동의 크기와 속도, 시스템의 민감도(sensitivity) 그리고 시스템의 적응능력의 함수이다. 적응(adaptation)은 개인, 공동체 또는 국가차원에서 극단적인 기상재해를 포함한 모든 기후변화로 인한 영향에 대처해가는 과정으로 정의할 수 있으며, 취약성(vulnerability)은 기후 변동성(climatic variability)이나 극단적인 기상 현상을 포함하는 기후변화의 악영향에 대하여 어떤 시스템이 받아들일 수 없는 정도, 또는 대처 할 수 없는 정도로 정의 할

수 있다(UNDP, 2005). 따라서 기후변화 영향 및 취약성평가는 적응조치 마련을 위한 선행단계로 볼 수 있다.

취약성이 큰 농업 부문은 사람, 지역, 국가 및 대륙 사이에서 다양하게 나타난다. 기후변화에 의해 1991년부터 2000년까지 10년의 짧은 기간에도 약 385종 식물의 개화기가 4.5일 빨라졌고(Fitter and Fitter, 2002), 온도 상승과 이산화탄소의 증가로 인한 해충생태계에 미치는 영향으로 식물의 우점종이 교체되고 천적 생물들의 군집은 약화됨에 따라 해충이 폭발적으로 증가할 가능성이 높아져서 작물 생산에도 영향을 미치는 것으로 나타났다(IPCC, 2007).

또한 기후변화로 인해 농작물의 재배한계선이 바뀌고 겨울철 따뜻한 기온으로 인해 예상치 못한 병해충의 피해가 발생하기도 하며(Cho, 2009) 열대지방의 해충밀도의 감소와 함께 고위도 지역의 해충발생과 밀도가 증대될 것이라 예측되고 있다(Deutsch et al., 2008). 이와 같이, 우리나라의 온대 기후대는 점진적으로 아열대성 기후대로 변화하게 됨으로써 재배 가능한 농작물 종류 및 재배 작형이 변화되고 이에 따른 해충과 익충의 발생양상도 달라질 것으로 전망된다.

기후변화가 농업생물에 미치는 영향에 대한 연구는 개별종의 분포, 발생밀도 및 계절발생에 집중되어 왔으나, 이를 종합적으로 분석할 수 있는 종지수, 군집구성 및 생태계의 특성 등을 포함한 연구가 미진한 실정이다(Menéndez, 2006).

본 연구에서는 기후변화로 인한 농업부문의 영향을 평가하고 평가결과를 바탕으로 우리나라에서의 지역별 벼 생산의 취약성을 산출하여

지역별 적응능력 향상과 최소한의 악영향을 위한 종합적이고 효과적인 기후변화 국가 적응시스템 구축에 최종목적을 두고 있다. 더불어, 지역별 특정 주요 농산물 군집의 취약성평가를 시행함으로써 멸종위기에 처한 익충을 보호하고 병해충의 발생량과 발생시기를 예측함으로써 피해상황을 해석할 수 있는 자료를 확보하고자 수행하였다.

따라서 본 연구결과는 기후변화 영향으로 인한 농업부문의 한반도 전역의 지역별 취약성을 확인하고 피해를 최소화하는 사전예방차원의 국가 적응대책 수립에 정책적 활용도가 높을 것이며 우리나라의 미래 지속가능발전 방향을 설정하는데 기여할 것이라고 기대된다.

II. 연구범위 및 방법

본 연구는 환경부 국립환경과학원의 기후변화 적응대책 지원을 위한 연구산업 산출물로 개발한 CCGIS(CCGIS : Climate Change adaptation program based on GIS) ver. 3을 이용하여 취약성지수(VI; Vulnerability Index)를 파악하였다. 본 CCGIS 프로그램은 현재(2000년대; 1996-2005년), 2020년대(2016-2025년), 2050년대(2046-2055년), 2100년대(2096-2105년) 미래 시나리오 자료가 구축되어 있으며, 이는 IPCC SRES의 6개 온실가스 배출시나리오(A2, A1B, A1T, A1F1, B1, B2)를 기반으로 하였다. 시나리오별 기후예측자료는 국립환경과학원 기후·대기환경 통합시스템 중 전구기후모델인 CCSM3 (Community Climate System Model Version 3) 결과를 다운스케일링(down-scaling)하고 이 자료를 지역기후모델인 RCM(Regional Climate Model)의 입력자료로 사용하여 최종 생산한 자료이다.

본 취약성평가에서는 A1B 기후변화 시나리오를 적용하였으며 CCGIS를 사용하여 232개 시·군·구로 지도화 하였다.

벼농사에 발생하는 병해충 취약성평가를 위

해 각종 해충 및 식물병을 분류했고 농작물을 직접 가해하며 인위적인 방제 실시가 필요한 주요해충(key pest)과 주요병해 가운데 발생면적이 많은 것을 이번 취약성평가의 주요 병해충 대상으로 선정했다. 본 연구에서 벼에 대한 주요 병해충으로 선정한 주요해충은 벼멸구, 흑명나방, 이화명나방(1기), 이화명나방(2기)의 4종이며 주요병해로 선정된 것은 줄무늬마름병, 흰잎마름병, 잎도열병, 이삭도열병, 잎집무늬마름병의 5종이다.

이를 바탕으로 취약성지수를 산출하기 위해 선행연구 및 전문가 자문, 델파이 조사를 통하여 기후노출, 민감도, 적응능력의 대응변수와 가중치를 선정하였다(Table 1).

기후요소는 주요병해충 발생과 밀접한 관계가 있는 요소를 기후노출변수로 선정했다. 높은 습도와 잦은 강우는 도열병과 잎집무늬마름병 발생을 증가시키는 요인이며 여름철 일조부족에 의해서도 도열병이 유발되는 것으로 나타났다. 또한 9~11월 강수량의 증가와 12~2월의 평균기온의 증가는 이화명나방의 다발을 일으키는 요인으로 확인됐다(Korea Crop Protection Association, 1982). 과거 30년간 주요 벼해충인 흰등멸구와 벼멸구의 발생면적과 온도변화패턴 분석결과, 피해발생면적은 5~8월 평균기온과 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

MLP(Multi-Layer Perception)분석 결과, 최고기온, 최저기온, 강수, 상대습도 중 6월의 최고기온이 벼멸구 발생에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 이를 기후노출 대응변수로 선정했다. 민감도에 관한 요인으로는 논이 병해충에 영향을 받는 면적 및 과거에 병해충 발생면적을 변수로 고려했다(<http://www.safekorea.go.kr/dmtd/index.jsp>).

적응능력을 나타내는 요인으로는 병해충을 방제하는데 효율적으로 대처할 수 있는 능력을 고려하여 현재 자료구축이 가능한 것을 변수로 선정했다. 생산기술력이 높으면 재배관리 및 대

Table 1. Weights of variables for vulnerability assessment based on main rice disease and pest.

Item	Variables	Weight	Lists of variables	Weight
Vulnerability of rice production by main rice disease and pest	Climate exposure	0.40	Relative humidity (%)	0.20
			Number of dates with over 10mm of precipitation	0.15
			In (Insolation Apr. ~ Oct.)	0.05
			Precipitation Sep. ~ Nov. (mm)	0.15
			Daily average temp. Dec. ~ Feb. (° C)	0.15
			Daily average temp. May ~ Aug. (° C)	0.15
			Daily max. temp. Jun. (° C)	0.15
	Sensitivity	0.30	Paddy field area (ha)	0.20
			Damage from storm and flood (damage area of paddy field by typhoon, windstorm and heavy rain per paddy field area)	0.10
			Occurrence area of rice leaf blast (ha)	0.07
			Occurrence area of sheath blight (ha)	0.15
			Occurrence area of rice panicle blast (ha)	0.05
			Occurrence area of bacterial blight (ha)	0.05
			Occurrence area of rice stripe virus (ha)	0.01
			Occurrence area of striped rice borer (first generation)(ha)	0.02
			Occurrence area of striped rice borer (second generation) (ha)	0.02
			Occurrence area of rice leaf roller (ha)	0.13
	Occurrence area of brown plant hopper (ha)	0.20		
	Adaptation ability	0.30	Ability of rice production technique (rice yield per hectare)	0.20
			Potential labor force for damage restoration (number of farmers who grow rice per paddy field area)	0.15
			Ability of water supply (readjustment area of arable land per paddy field area (ha))	0.10
			Ability of information gathering (number of farm using PC per number of farm)	0.10
			Man power for administrative support (number of public official per population)	0.10
			Creative power for production (local GRDP per number of local population)	0.15
			Financial independence (%)	0.20

처능력이 높고 PC활용은 기상정보 등에 대한 정보수집 능력을 높여준다. 농업인수가 많으면 병해충 피해복구가 용이하며 생산창출력 및 재정자립도는 재해에 대처할 수 있는 잠재력과 적응능력 제고에 대한 투자 잠재력을 나타내는 것으로 고려했다(<http://kosis.kr>).

본 연구에서는 전국 232개 시·군·구를 단위로 하여 자료를 구축한 뒤 UNDP(2005)에서 제안하는 Dimension Index를 이용하여 표준화 과정을 거쳤다. 표준화 과정은 아래의 식을 따르며, 모든 변수값들은 0부터 1까지 동일한 범위를 갖는다(Equation 1).

Dimension Index (Standardization formula) =
(Acture value-Min. value) / (Max. value-Min.
value) (Equation 1)

Vulnerability = $\alpha \times$ Climate exposure + $\beta \times$
Sensitivity - $\gamma \times$ Adaptation ability (Weight
s : α, β, γ) (Equation 2)

본 연구에서 사용된 취약성 함수는 Equation 2와 같다. 세부 대응변수별로 표준화를 하여 기후노출, 민감도, 적응능력지수를 계산하였고 아래의 산출식을 통해 취약성지수를 산출했다. 취약성지수는 값이 클수록 기후변화에 더 취약함을 나타내며 기후노출, 민감도, 적응능력 대응변수에 대한 가중치 및 각 카테고리 내의 세부 대응변수에 대한 가중치는 총 2회에 걸친 델파이 조사를 통해 도출했다. 본 연구에서는 민감도와 적응능력 대응변수의 상태가 2100년까지 변화하지 않는다는 가정으로 취약성을 분석했으며 이는 본 연구의 한계점으로 향후 미래 민감도 및 적응능력 예측에 대한 연구 및 방법론이 필요하다고 사료된다.

III. 결과 및 고찰

1. 현재의 벼 생산 취약성평가

1) 기후노출지수

병해충으로 인한 벼 생산의 취약성과 관련하여 현재의 기후노출지수를 살펴보면, 전국평균은 0.4569이며 제주도와 광주광역시를 포함한 전라남·북도, 경상남·북도 일부가 취약지역으로 나타났다(Table 2) 남쪽 지역으로 갈수록 기후노출에 취약한 것으로 확인되었다(Figure 1a). 이는 기후노출지수에 대한 대응변수의 기여도에서 알 수 있듯이 6월 최고기온 및 5~8월 평균기온 등 봄, 여름철의 지역별 기온이 병해충 발생에 큰 영향을 미치기 때문으로 판단된다(Figure 2a). 특히 기후노출이 높은 제주 지역은 일사량을 제외한 대부분의 변수에서 높은 값을 나타냈다.

2) 민감도지수

동일한 기후노출에서도 그것을 받아들이는 민감도에 따라 기후변동의 영향의 정도가 다르게 나타난다. 본 연구에서는 현재 자료를 기반으로 하는 대응변수 자료를 구축하여 민감도를 나타냈으며 미래 자료구축의 한계가 있다고 판단되어 현재의 값을 미래에 동일하게 적용했다.

현재의 민감도는 전라남도와 경상남·북도가 가장 취약한 지역으로 나타났으며 전체적으로 중부지역에 비해 남부지역의 민감도 지수가 높은 경향을 보였다(Figure 1b). 특히 부산광역시는 대도시지역으로 도심 내 논경작지비율이 매우 좁기 때문에 민감도가 현저히 낮은 것으로 확인되었다(Table 2). 민감도에 가장 큰 기여를 하는 대응변수는 잎집무늬마름병발생면적으로 나타났으며, 잎도열병발생면적 및 이화명나방(1기)발생면적도 비교적 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다(Figure 2b).

한편, 전라남도 해남군은 부산광역시를 제외한 지역 중에서 0.4057의 값으로 민감도가 가장 취약한 지역으로 나타났다(Table 2). 민감도가 낮은 원인으로 논 면적의 대응변수가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며 주요해충 및 병해에 대해서도 취약한 것으로 확인되었다(Figure 4). 해남군은 논 면적이 넓어 기후변동에 민감할 수 있고 과거의 병해 및 해충 발생면적(특히 벼멸구 및 흰잎마름병)이 높기 때문에 벼에 대한 병해충에 취약할 수 있다고 판단되었다.

3) 적응능력지수

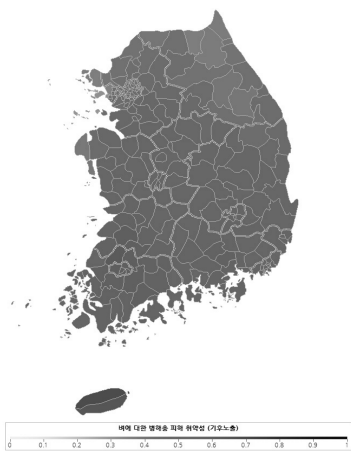
현재의 적응능력지수는 전국평균 0.4326으로 나타났으며 충청남도 천안시 0.6099, 충청남도 아산시 0.6040, 경기도 안양시 0.5813, 전라남도 광양시 0.5704, 서울특별시 종로구 0.5684 순으로 높은 적응력을 보였다(Table 2). 적응능력지수는 남부지역에서 주로 높게 나타난 기후노출지수, 민감도지수와 다르게 서울특별시와 충청남도지역과 같은 중부지역이 높게 나타났(Figure 1c).

Table 2. Top thirty region list on the each variables indices.

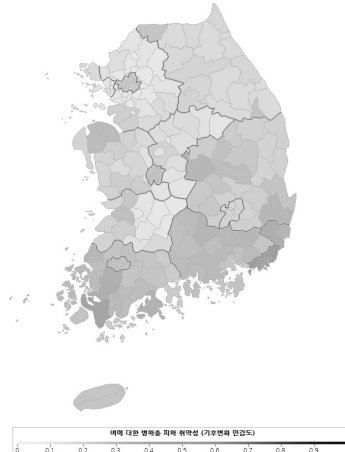
No.	Climate exposure		Sensitivity		Adaptation ability		Vulnerability (standardized)	
	Region name	Index	Region name	Index	Region name	Index	Region name	Index
1	Jeju-si, Jeju-do	0.6603	Gangseo-gu, Busan	0.4902	Cheonan-si, Chungcheongnam-do	0.6099	Yeongdo-gu, Busan	0.7785
2	Seogwipo-si, Jeju-do	0.6222	Gijang-gun, Busan	0.4689	Asan-si, Chungcheongnam-do	0.6040	Seo-gu, Busan	0.7765
3	Jangseong-gun, Jeollanam-do	0.5881	Geumjeong-gu, Busan	0.4608	Anyang-si, Gyeonggi-do	0.5813	Jeju-si, Jeju-do	0.7736
4	Damyang-gun, Jeollanam-do	0.5733	Haundae-gu, Busan	0.4601	Gwangyang-si, Jeollanam-do	0.5704	Dong-gu, Busan	0.7511
5	Gwangsan-gu, Gwangju	0.5713	Yeongdo-gu, Busan	0.4599	Jongno-gu, Seoul	0.5684	Gangseo-gu, Busan	0.7346
6	Hwasun-gun, Jeollanam-do	0.5700	Buk-gu, Busan	0.4592	Gangnam-gu, Seoul	0.5677	Nam-gu, Busan	0.7271
7	Seo-gu, Gwangju	0.5697	Saha-gu, Busan	0.4591	Dangjin-gun, Chungcheongnam-do	0.5651	Saha-gu, Busan	0.7220
8	Buk-gu, Gwangju	0.5681	Dongnae-gu, Busan	0.4591	Seocho-gu, Seoul	0.5624	Jung-gu, Busan	0.7215
9	Jeongeup-si, Jeollabuk-do	0.5677	Sasang-gu, Busan	0.4588	Songpa-gu, Seoul	0.5608	Sasang-gu, Busan	0.7210
10	Nam-gu, Gwangju	0.5656	Suyeong-gu, Busan	0.4585	Seosan-si, Chungcheongnam-do	0.5587	Seogwipo-si, Jeju-do	0.7127
11	Sunchang-gun, Jeollabuk-do	0.5651	Yeonje-gu, Busan	0.4585	Suwon-si, Gyeonggi-do	0.5532	Geumjeong-gu, Busan	0.7113
12	Dong-gu, Gwangju	0.5643	Nam-gu, Busan	0.4584	Gyeryong-si, Chungcheongnam-do	0.5512	Haundae-gu, Busan	0.7095
13	Naju-si, Jeollanam-do	0.5566	Seo-gu, Busan	0.4584	Geumsan-gun, Chungcheongnam-do	0.5508	Buk-gu, Busan	0.7066
14	Boseong-gun, Jeollanam-do	0.5548	Busanjin-gu, Busan	0.4583	Hanam-si, Gyeonggi-do	0.5498	Dongnae-gu, Busan	0.6989
15	Hampyeong-gun, Jeollanam-do	0.5538	Dong-gu, Busan	0.4583	Gangseo-gu, Seoul	0.5493	Gijang-gun, Busan	0.6964
16	Gokseong-gun, Jeollanam-do	0.5503	Jung-gu, Busan	0.4582	Ulju-gun, Ulsan	0.5484	Yeonje-gu, Busan	0.6816
17	Haman-gun, Gyeongsangnam-do	0.5500	Haenam-gun, Jeollanam-do	0.4057	Yeongi-gun, Chungcheongnam-do	0.5455	Busanjin-gu, Busan	0.6815
18	Gurye-gun, Jeollanam-do	0.5474	Yeongam-gun, Jeollanam-do	0.3524	Boryeong-si, Chungcheongnam-do	0.5449	Suyeong-gu, Busan	0.6784
19	Suncheon-si, Jeollanam-do	0.5455	Ulju-gun, Ulsan	0.3510	Yeongdeungpo-gu, Seoul	0.5417	Gwangsan-gu, Gwangju	0.6292
20	Yeongam-gun, Jeollanam-do	0.5417	Naju-si, Jeollanam-do	0.3407	Yesan-gun, Chungcheongnam-do	0.5327	Buk-gu, Gwangju	0.6186
21	Uiryong-gun, Gyeongsangnam-do	0.5415	Goheung-gun, Jeollanam-do	0.3394	Mapo-gu, Seoul	0.5302	Dong-gu, Gwangju	0.6163
22	Sancheong-gun, Gyeongsangnam-do	0.5368	Buk-gu, Ulsan	0.3201	Gongju-si, Chungcheongnam-do	0.5300	Nam-gu, Gwangju	0.6026
23	Masan-si, Gyeongsangnam-do	0.5348	Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	0.3181	Nonsan-si, Chungcheongnam-do	0.5255	Haenam-gun, Jeollanam-do	0.5839
24	Gangjin-gun, Jeollanam-do	0.5328	Nam-gu, Ulsan	0.3145	Mokpo-si, Jeollanam-do	0.5251	Seo-gu, Gwangju	0.5824

Table 2. Continued

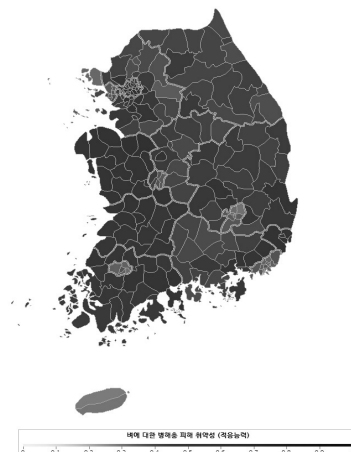
No.	Climate exposure		Sensitivity		Adaptation ability		Vulnerability (standardized)	
	Region name	Index	Region name	Index	Region name	Index	Region name	Index
25	Gochang-gun, Jeollabuk-do	0.5314	Miryang-si, Gyeongsangnam-do	0.3142	Seocheon-gun, Chungcheongnam-do	0.5240	Haman-gun, Gyeongsangnam-do	0.5554
26	Jeonju-si, Jeollabuk-do	0.5312	Sangju-si, Gyeongsangbuk-do	0.3140	Hongseong-gun, Chungcheongnam-do	0.5238	Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do	0.5552
27	Imsil-gun, Jeollabuk-do	0.5308	Jung-gu, Ulsan	0.3136	Changwon-si, Gyeongsangnam-do	0.5208	Hapcheon-gun, Gyeongsangnam-do	0.5505
28	Jangheung-gun, Jeollanam-do	0.5307	Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do	0.3134	Gumi-si, Gyeongsangbuk-do	0.5203	Naju-si, Jeollanam-do	0.5489
29	Muan-gun, Jeollanam-do	0.5303	Dong-gu, Ulsan	0.3101	Yeosu-si, Jeollanam-do	0.5196	Yeongam-gun, Jeollanam-do	0.5466
30	Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do	0.5303	Yeonggwang-gun, Jeollanam-do	0.3078	Taejeon-gun, Chungcheongnam-do	0.5185	Uiryeong-gun, Gyeongsangnam-do	0.5430



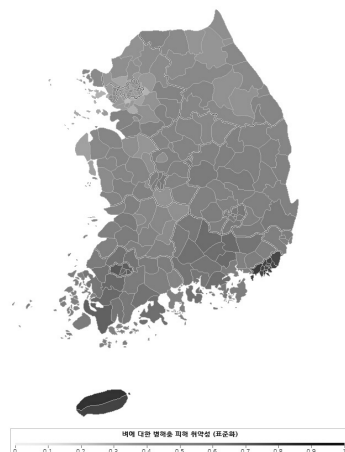
a. Climate exposure (mean±SD : 0.4569±0.0686)



b. Sensitivity (mean±SD : 0.2223±0.0928)



c. Adaptation ability (mean±SD : 0.4326±0.0664)



d. Vulnerability (mean±SD : 0.3500±0.1715)

Figure 1. Result of vulnerability assessment of rice production (present (2000s)).

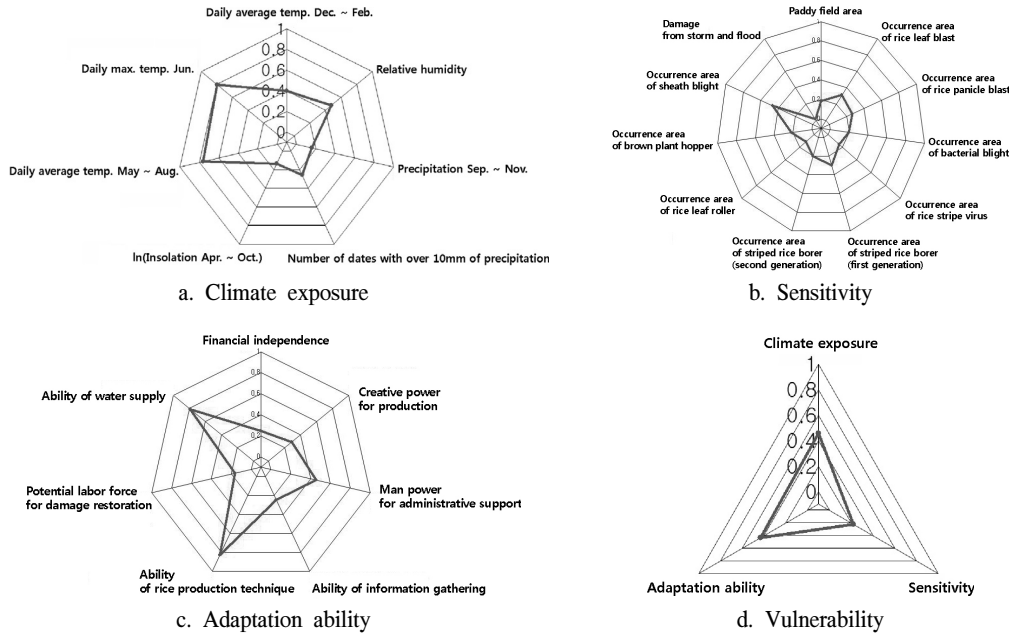


Figure 2. Level of contribution analysis for 232 local governments (present (2000s)).

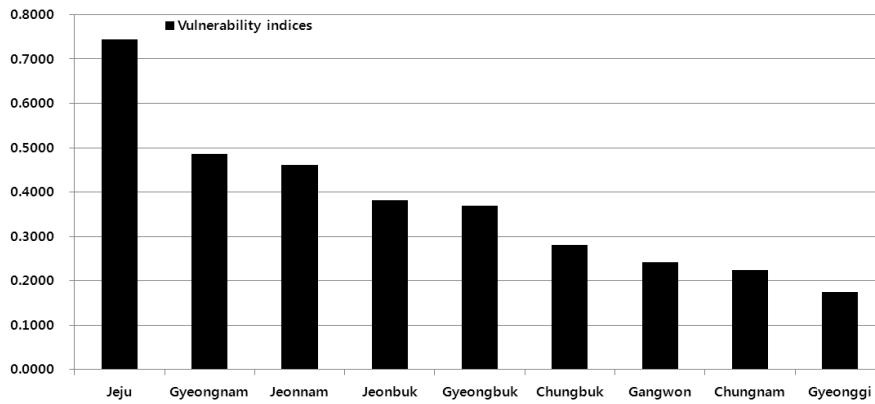


Figure 3. Vulnerability indices of 9 province (except metropolitan city) in Korea.

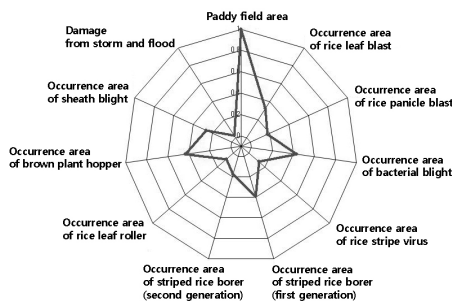


Figure 4. Contribution analysis of sensitivity at the Haenam-gun, Jeollanam-do.

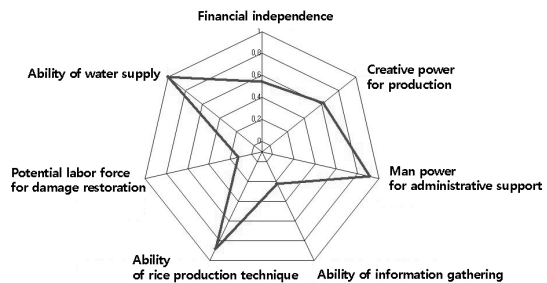


Figure 5. Contribution analysis of adaptation ability at the Cheonan-si, Chungcheongnam-do.

전국평균의 적응능력 기여도 분석 결과, 배수 능력(경지정리면적/논면적)과 벼생산기술력(벼 생산량/ha) 등의 대응변수가 적응능력지수를 결정하는데 크게 기여했음을 알 수 있었다(Figure 2c). 충청남도 천안시는 전국에서 적응능력이 가장 우수한 지역으로 확인되었으며 배수능력(경지정리면적/논면적), 지원행정인력(인구당 공무원수), 벼생산기술력(벼생산량/ha) 등의 대응변수에서 높은 기여도를 나타내었다(Figure 5).

5) 취약성평가 결과

현재를 기준으로 벼 병해충 발생에 가장 취약한 지역은 부산광역시, 제주특별자치도, 광주광역시 등으로 나타났으며, 논경작지의 면적이 좁은 대도시를 제외한 지역 중에서는 전라남도 해남군, 경상남도 함안군, 경상남도 창녕군, 경상남도 합천군 등의 순으로 확인되었다(Table 2). 취약성평가 변수의 기여도 분석결과, 취약한 정도에 가장 큰 영향을 미치는 것은 적응능력 지수로 기후노출지수와 민감도가 높아 잠재영향 지수가 높더라도 적응능력지수 향상에 따라 기후변화에 대한 취약성을 낮출 수 있을 것으로 판단되었다(Figure 2d).

취약성지수의 현재 값을 논경작지가 상대적으로 좁은 대도시(특별시, 광역시)를 제외한 9개

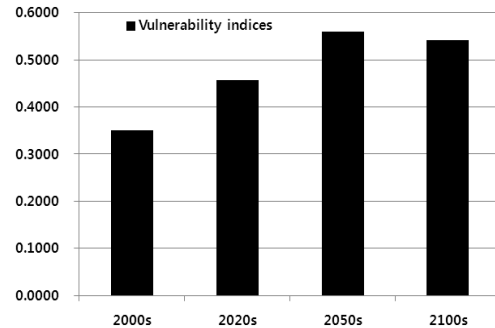


Figure 6. Chronological comparison by vulnerability indices.

도별 평균치로 분석한 결과, 제주도가 가장 높았으며, 다음으로 경기, 충남, 강원 지역 순으로 취약성이 낮게 판별됐다. 제주도는 기후노출지수가 높고 상대적으로 적응능력지수가 낮아 가장 취약한 지역으로 나타났다(Figure 3).

2. 미래의 벼 생산 취약성 경향

A1B 시나리오에 따른 2020년대, 2050년대, 2100년대의 미래 취약성 평가결과, 2050년대까지 전국적으로 높아지는 추세이나 2100년대에는 다소 감소하는 경향을 나타내었다(Figure 6). 특히 한반도의 중부지역 및 전라남·북도 일부와 경상남도의 취약성지수가 상대적으로 높은 증가율을 보였으며, 지역 간의 상대적인 차이는

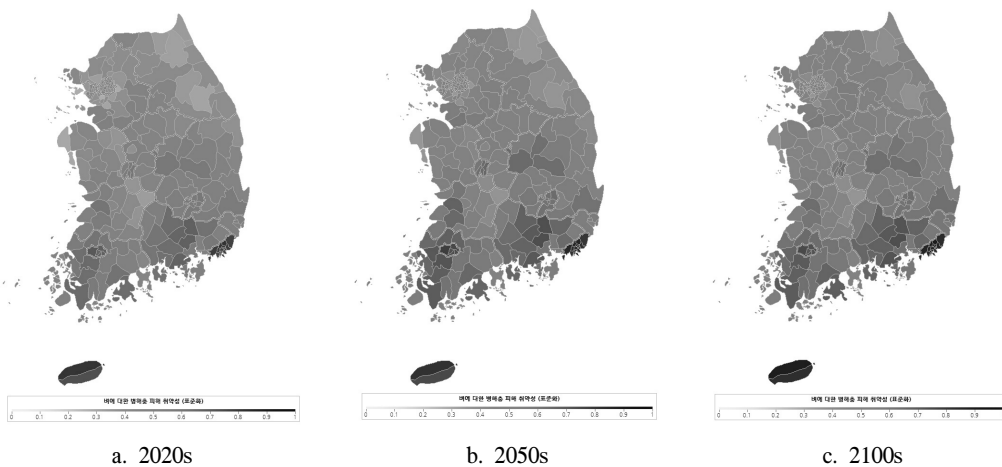


Figure 7. Result of chronological vulnerability assessment of rice production (future).

현재와 비교했을 때 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 전국적으로 취약성지수는 미래로 갈수록 계속해서 증가하며 가장 취약한 지역은 현재와 마찬가지로 제주시와 서귀포로 나타났다. 시간이 지남에 따라 현재에 취약지역으로 나타난 한반도 남부지역 뿐만 아니라 상대적으로 취약하지 않았던 수도권 및 충청도, 강원지역을 포함하여 전국적으로 취약성지수가 높아져 병해충 발생에 대한 취약면적이 확대될 것으로 생각된다(Figure 7). 이는 시나리오에 의한 미래의 온도 및 강수량 증가로 인해 기후요소에 노출되는 강도가 커지기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 기후의 영향과 민감도, 적응의 개념을 종합적으로 고려하여 주요 병해충에 대한 병해충의 취약성을 평가했다. 연구 대상지는 한국 전 지역이며 분석의 공간적 단위는 시·군·구이다. 미래의 기후노출 및 취약성 결과는 국립환경과학원 전지구기후모델을 다운스케일링하여 RCM(Regional Climate Model)로 최종 생산한 자료 중 A1B 시나리오를 기반으로 나타냈다.

벼에 대한 주요병해충 피해 취약성 분석 결과, 제주도, 경상남도, 전라남도지역이 높은 취약성을 나타냈으며 상대적으로 경기도 등 한반도 중부지역의 취약성이 낮게 나타났다. 현재의 취약성지수(0.3500)에 대비해 2050년대의 전국 평균 값은 0.5589로 60%가량 높아져 병해충에 대한 취약지역 면적이 증가했다. 미래의 취약성도 현재와 마찬가지로 제주도, 경상남도 등 한반도 남부지역을 중심으로 취약한 결과를 보였다.

취약성지수에 대한 기여도는 적응능력변수가 가장 높고 기후노출지수에서는 6월 최고기온 및 5~8월 평균기온, 민감도지수에서는 잎집무늬마름병, 잎도열병, 그리고 이화명나방(1기)의

발생면적, 적응능력지수에서는 배수능력(경지정리면적/논면적)과 병생산기술력(병생산량/ha)이 높은 기여도를 나타냈다.

미래의 불가피한 기후변화에 대비하여 민감도를 감소시키거나, 적응능력을 증가시켜 병해충에 대한 취약성을 감소시키는 노력이 필요할 것이다. 해충의 경우, 번식과 서식을 막았던 기온의 벽이 이동하는 대로 그 뒤를 따라가며, 외래 침입곤충의 새로운 서식지 점유속도는 보통 1년에 2km가 넘는다(Sutherst et al., 1995). 따라서 온도의 상승이 불가피한 만큼 미래 기후에 발생할 수 있는 외래 해충의 예측 및 그 방제대책에 대한 연구를 수립하는 대비가 필요할 것이다.

본 연구는 농생물군집에 대한 기후변화 취약성평가를 위한 방법론 제시에 의의가 있으며, 여기서 설정된 대응변수와 가중치는 폭넓은 선행연구, 여러 차례의 전문가 자문, 전문가 델파이 조사를 통하여 객관적이고 논리적인 절차를 거쳐 선정됐으나, 자료 구축의 어려움으로 민감도 및 적응능력 변수에 대한 미래 예측 값이 현재와 동일한 조건이라는 한계를 가지고 있으며, 이는 향후 지속적인 연구를 통해 지표의 예측 및 신뢰도 검증을 위한 노력이 필요하다고 사료된다.

인 용 문 헌

- Cho, E. Y. 2009. The effects of climate change on agricultural production. MS dissertation, Sookmyung Women's University, Seoul, Korea. (in Korean with English summary)
- Deutsch, C. A. · Tewksbury, J. J. · Huey, R. B. · Sheldon, K. S. · Ghalambor, C. K. · Haak, D. C. and Martin, P. R. 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. PNAS 105(18) : 6668-6672.
- Fitter, A. H. and Fitter, R. S. R. 2002. Rapid changes

- in flowering time in British plants. *Science* 296(5573) : 1689-1691.
- IPCC. 2007. Climate change 2007. Synthesis Report.
- Korea Crop Protection Association. 1982. Flying insects – At high temperature for August, damage of flying insects can be increase; Ecology of the flying insects and timing for chemical control - Brown plant hopper · White-backed planthopper · Rice leaf roller · Armyworm. *Life and Agrochemicals* 3(8) : 67-75. (in Korean)
- Menéndez, R. · Megías, A. G. · Hill, J. K. · Braschler, B. · Willis, S. G. · Collingham, Y. · Fox, R. · Roy, D. B. and Thomas, C. D. 2006. Species richness changes lag behind climate change. *Proc Biol Sci* 273(1593) : 1465-1470.
- Sutherst, R. W. · Maywald, G. F. and Skarratt, D. B. 1995. Predicting insect distributions in a changed climate, in Harington and Stork.
- UNDP. 2005. Adaptation policy frameworks for climate change : developing strategies. *Policies and Measures : Annexes*, pp. 2-4.
- <http://kosis.kr>
- <http://www.safekorea.go.kr/dmtd/index.jsp>