POSTER 05

기후변화 시나리오에 따른 벼멸구 월동가능지의 지리적 변화

이세미[1*], 김광수[1], 이변우[2]

[1]서울대학교 농업생명과학대학 농림기상협동과정, [2]서울대학교 농업생명과학대학 식물생산과학부

Geographical Shift of Brown Planthopper Overwintering Area under Future Climate Conditions

S. Lee[1*], K. S. Kim[1], B. W. Lee[2]

[1]Interdisciplinary Program in Agricultural and Forest Meteorology, Seoul National University, 2Department of Plant Science, Seoul National University

I. 서 언

벼의 주요 해충인 벼멸구(Nilaparvata lugens)는 겨울이 추운 온대 지방에서는 월동을 하지 못한다. 따라서 중국이나 베트남과 같은 열대 지방에서 월동하여 봄철이나 여름철에 한국과 일본 등지로 비래한다(Kisimoto and Sogawa, 1995; Turner *et al*., 1999). 기후변화로 인한 벼멸구의 잠재적인 월동지역의 변화는 비래 시기, 기원지, 이동경로에도 상당한 영향을 미칠 수 있다(Hickling *et al*., 2006). 본 연구에서는 주어진 기후조건하에서 다양한 생물 종의 서식지를 예측하는 종 분포 모델을 사용하여 벼멸구의 월동가능지를 예측하였다.

II. 재료 및 방법

2.1 벼멸구 지점자료와 기상자료

벼멸구 월동 가능여부를 판단하기 위해 연중 월 평균기온의 최저값이 >12℃ 일 경우 월동 가능할 것으로 가정하였다. 문헌으로부터 얻은 119개 지점자료 중 벼멸구가 존재하는 것으로 보고된 지점은 88개소였다. 벼멸구가 월동할 것으로 보고된 지점(P)의 수보다 월동하지 않는 지점(A)의 수가 적기 때문에, 벼 재배지역이 아니면서 연중 최저 월 평균기온이 12℃ 이하인 지역에서 랜덤으로 57개의 추가적인 A 지점을 선정하였다. 이들 176개의 지점자료를 특정 경도(109.2°E)를 기준으로 동쪽 그룹과 서쪽 그룹으로 나누고 이들 그룹에 대해 교차 유효성 검사를 실시하였다.

벼멸구 월동가능지를 예측하기 위해 월 평균, 최저, 최고온도, 강수량을 기상 변수로 사용하였다. 또한, 겨울철 기후조건을 반영하기 위해 가장 추운 달의 최저온도, 가장 추운 분기의 평

* Correspondence to : luxkwang@snu.ac.kr

균온도와 강수량 자료가 추가적으로 사용되었다. 현재 기후조건을 나타내기 위해 1950년부터 2000년까지의 월별 30 arc-seconds (~1Km) 고해상도 자료를 사용하였다. 미래 기후조건을 대표하기 위해 SRES A1B 시나리오를 사용하여 5개의 기후모델로부터 얻어진 월별 기후자료를 사용하였다.

2.2 종 분포 모델

잠재적인 벼멸구 월동지 분포를 알기 위해 다양한 종 분포 모델(Species Distribution Model, SDM)이 구현되어 있는 openModeller version 1.4 인터페이스를 사용하였다. 종 분포 모델은 생물종의 실제 서식지와 환경 변수들과의 관계를 수학적으로 계산하여 지리적 분포를 예측하는 모델로, 본 연구에서는 BIOCLIM, GARP, MAXENT 모델이 사용되었다.

2.3 입력자료

월동가능지 예측을 위해 남반구의 겨울에 해당하는 6, 7, 8월의 전자기후도를 북반구의 12, 1, 2월의 전자기후도와 각각 조합하여 월별 입력 기후자료를 생산하였다. 벼멸구가 월동할 것으로 보고된 지점의 위치정보가 정확하지 않기 때문에, 고해상도 기후자료 보다는 10 arc-minutes의 저해상도 기후자료를 사용하여 월동지 내지는 월동 불가능 지역으로부터 현재의 기후자료를 추출하였다. 이들 자료가 SDM 모델의 입력자료로 사용되는 전자기후도에 추가되었다. 이와 같은 전처리 과정은 C++로 작성된 프로그램을 이용하여 수행되었다.

2.4 최적 SDM 선발과 벼멸구 월동가능지 예측

SDM의 예측력을 평가하기 위해 각 모델마다 임계값(threshold)을 찾고, 이 값을 기준으로 예측된 벼멸구 월동 적합도 지도를 이진값을 가지는 지도로 재생산 하였다. 지도에서 각 격자는 월동 가능 여부에 대해 월동 부적합(0) 또는 월동 적합(1)의 값을 가진다. SDM에 동쪽 및 서쪽 그룹의 지점자료가 입력자료로 사용되어 도출된 월동가능지 분포도는 “SDMsubset”과 같이 나타냈다. 예를 들면, BIOCLIME는 BIOCLIM이 동쪽 지점자료를 사용하여 예측한 분포도이다. 모델 생성(calibration)에 동쪽 지점자료가 사용되었다면, 사용되지 않은 서쪽 지점자료가 모델 평가(validation)에 사용되었다. 또한 입력자료로 사용되는 관측지점의 수가 SDM에 미치는 영향을 분석하기 위해, 동, 서쪽 그룹을 합친 176개 지점을 모두 사용하여 예측한 결과와 한 쪽 지점만 사용하여 예측한 결과의 일치도(degree of agreement)를 분석하였다.

개별 SDM의 예측력을 평가하기 위해 KAPPA (K) 지수와 Over-fitting penalty (OFP) 값이 사용되었다. KAPPA는 “degree of agreement”를 나타내는 지표로서, 모델 평가를 위한 지점자료(validation data)와 입력자료(calibration data)로 예측된 분포도와의 일치도 또는 예측된 두 개의 분포도 사이의 일치도를 정량적으로 나타낸다(Cohen, 1960). 또한, 벼멸구의 월동가능 여부를 판단하기 위해 사용된 온도 12℃로 인해 발생할 수 있는 과적 편향(fitting bias)을 줄이기 위해

OFP 값이 추가적으로 사용되었다. 가령, 최저 월 평균기온이 12℃ 이상인 지역의 분포도와 SDM이 예측한 월동지 분포도 사이의 일치도가 클수록 과적(over-fitting, OF)의 가능성이 크다는 것을 가정으로, 1에서 과적을 나타내는 OF 값을 빼준 값이 OFP가 된다. OF 값은 Taylor 지수 값을 사용하여 계산하였다 (Taylor, 2001). OFP 값과 K 값이 클수록 모델의 예측력이 우수하다고 판단하였다. 선발된 모델을 사용하여 랜덤으로 생성한 지점자료를 제외하고 119개 벼멸구 관측 자료만 모두 사용하여 현재와 미래 기후조건에서의 잠재적 월동지 분포를 예측하였다.

III. 결과

3.1 현재 기후조건에서 SDM 예측력 비교

동, 서쪽 그룹의 입력자료에 따른 지리적 분포는 MAXENT가 민감한 예측력을 보였다. 가령, MAXENTE와 MAXENTW의 일치도(K=0.55)는 GARPE와 GARPW의 일치도(K=0.89) 보다 작은 값을 가졌다. 입력자료로 사용된 관측 지점 수의 대한 반응은 GARP 보다 BIOCLIM과 MAXENT에서 두드러지게 나타났다. 119개 실제 관측 자료로 예측한 분포도를 바탕으로 모델의 예측력을 분석해 본 결과, MAXENT로 예측한 분포도인 MAXENT가 상대적으로 높은 K와 OFP 값을 가졌다 (Table 1). GARP와 BIOCLIM은 사우디아라비아나 호주의 사막지대와 같이 벼멸구가 월동이 희박한 지역의 대부분을 예측하기도 하였다. 통계적, 지리적 분석을 통해 MAXENT가 가장 우수한 예측력을 보였음을 판단하였다.

Table 1. A statistical comparison of SDMs. The degree of agreement (KAPPA, K) between a map from a SDM and dependant validation sites, and the over-fitting penalty (OFP) score, which indicates the difference with a map of 12℃ isotherm.

SDM	K_E[a]	OFP_E[b]	K_W[c]	OFP_W[d]
BIOCLIM	0.72	0.20	0.64	0.45
GARP	0.93	0.05	0.80	0.10
MAXENT	0.54	0.77	0.77	0.67

a K value of model calibrated with the eastern side of occurrence data.
b OFP score of model calibrated with the eastern side of occurrence data.
c K value of model calibrated with the western side of occurrence data.
d OFP score of model calibrated with the western side of occurrence data.

3.2 미래 기후조건에서의 잠재적 벼멸구 월동가능지 변화

MAXENT로 예측한 벼멸구의 잠재적 월동지 변화는 대부분의 지역에서 미래로 갈수록 북한

계선이 북상하는 양상을 보였다 (Fig. 1). 중국 남부 지역의 경우, 2050년대에는 현재 월동 가능 지역 보다 약 100Km 정도 위도가 북상할 것으로 예측되었다. 그러나 동남아시아 지역에서는 지역에 따라 차이를 보이기도 했다. 인도네시아 보르네오 섬과 자바 섬의 경우, 현재 기후조건에서는 월동가능지로 예측된 일부 지역이 2020년, 2050년대로 갈수록 월동이 불가능한 지역으로 예측되었다. 미래 기후조건을 적용했을 때 일본은 현재와 유사한 지리적 분포를 나타냈다.

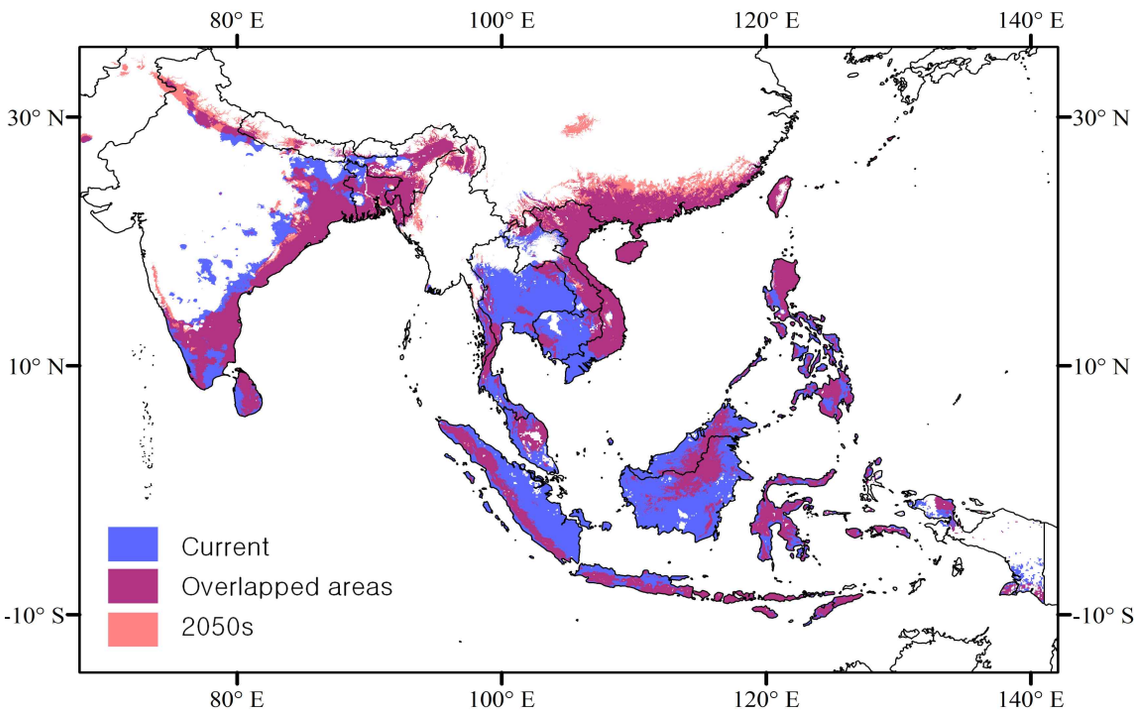

Fig. 1. Geographical distributions of BPH overwintering areas under current and 2050s climate conditions.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ009860)의 지원에 의해 수행되었다.

인용문헌

Cohen, J., 1960: A coefficient of agreement of nominal scales. *Educational Psyschological Measurement* **20**: 37-46.

Hickling, R., D. B. Roy, J. K. Hill, R. Fox, and C. D. Thomas, 2006: The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology* **12** 450-455.

Kisimoto, R., and K. Sogawa, 1995: Migration of the brown planthopper Nilaparvata lugens and the

white-backed planthopper Sogatella furcifera in East Asia: the role of weather and climate. In: V. A. Drake, and A. G. Gatehouse (Eds.) Insect migration: tracking resources through space and time, Cambridge University Press, 67-92.

Taylor, K. E., 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of geophysical research* **106**(D7), 7183-7192.

Turner, R., Y. H. Song, and K. B. Uhm, 1999: Numerical model simulations of brown planthopper Nilaparvata lugens and white-backed planthopper Sogatella furcifera (Hemiptera: Delphacidae) migration. *Bulletin of Entomological Research* **89**: 557-568.