

기후변화 시나리오에 의한 외래식물 실망초(*Conyza bonariensis*)의 서식지 분포 예측

이용호* · 오영주*** · 홍선희* · 나채선* · 나영은*** · 김창식**** · 손수인****

*고려대학교 아생자원식물종자은행, ** (주)미래환경생태연구소, *** 농촌진흥청 연구운영과, **** 농촌진흥청 국립농업과학원

Predicting the Suitable Habitat of Invasive Alien Plant *Conyza bonariensis* based on Climate Change Scenarios

Lee, Yong-Ho*, Oh, Young-Ju***, Hong, Sun-Hea*, Na, Chea-Sun*, Na, Young-Eun***,
Kim, Chang-Suk**** and Sohn, Soo-In****

*Seed Bank of Wild Resource Plants, Korea University, Seoul, Korea

**Institute for Future Environmental Ecology Co., Ltd, Jeonju, Korea

***Division of Research Management, Rural Development Administration, Jeonju, Korea

****National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to predict the changes of potential distribution for invasive alien plant, *Conyza bonariensis* in Korea. *C. bonariensis* was found in southern Korea (Jeju, south coast, southwest coast). The habitats of *C. bonariensis* were roadside, bare ground, farm area, and pasture, where the interference by human was severe. Due to the seed characteristics of Compositae, *C. bonariensis* take long scattering distance and it will easily spread by movement of wind, vehicles and people. *C. canadensis* in same *Conyza* genus has already spread on a national scale and it is difficult to manage. We used maximum entropy modeling (MaxEnt) for analyzing the environmental influences on *C. bonariensis* distribution and projecting on two different RCP scenarios, RCP 4.5 and RCP 8.5. The results of our study indicated annual mean temperature, elevation and temperature seasonality had higher contribution for *C. bonariensis* potential distribution. Area under curve (AUC) values of the model was 0.9. Under future climate scenario, the constructed model predicted that potential distribution of *C. bonariensis* will be increased by 338% on RCP 4.5 and 769% on RCP 8.5 in 2100s.

Key Words: Climate Change, Invasive Alien Plant, MaxEnt, *Conyza bonariensis*

1. 서 론

외래식물의 국내 침입과 확산은 계속해서 진행되어 왔고, 국제적으로 많은 물자의 이동과 교역을 통해 의도적이든 비 의도적이든 국가 간 이동이 더욱 빠르게 이루어지고 있다. 국내 유입된 많은 외래식물은 분포범위를 넓혀가고 있고, 이러한 외래식물의 확산은 생물다양성의 교란과 농작물의 수확량 감소 등 사회·경제적인 손실을 발생시키고 있다(CBD, 2009). 따라서 최근에는 외래식물에 의한 생태적 영향과 기후변화에

의한 확산 양상 그리고 관리방법 등에 대한 관심이 높아지고 있다(Mack *et al.*, 2000; Pimentel *et al.*, 2000; Pimentel, 2002). *Conyza*속은 전 세계적으로 50여 종이 분포하는 것으로 알려져 있고, 국내에는 실망초, 망초, 애기망초 3종의 외래식물이 유입되었다(Munz, 1959; Park, 2009). 이중 실망초(*Conyza bonariensis* (L.) Cronquist)는 남아메리카 원산의 식물로 국내에는 남부지방과 제주도에 분포하는 것으로 알려져 있고, 전 세계적으로는 아프리카, 동남아시아, 오스트레일리아, 북아메리카, 북부유럽, 중부유럽과 남부유럽의 귀화식물로 알려져 있다

† Corresponding author : cave50joo@gmail.com

Received September 2, 2015 / Revised September 14, 2015 / Accepted September 21, 2015

(Negean and Ioana, 2012). 실망초는 1~2년생의 국화과 식물로 3~4월에 출현하여 직립하여 자라며, 7~9월에 꽃이 핀다. 실망초는 망초와 달리 곁가지가 생겨 자라며, 근생엽이 심열하는 특징을 가지고 있다(Park, 2009). 국화과 외래식물은 종자의 확산이 쉽게 이루어지며, 환경에 신속하게 적응하여 자생 식물의 생태적 지위를 위협하게 된다. 환경부에서 지정한 생태계 교란 식물 12종 중에는 돼지풀, 단풍잎돼지풀, 서양등골나물, 서양금혼초, 미국쑥부쟁이, 양미역취, 가시상추와 같은 국화과 외래식물이 7종을 차지하고 있다. 한반도는 기후변화에 의해 미래 기후가 2100년까지 지속적으로 증가할 것으로 예측하고 있고, RCP 4.5와 RCP 8.5 시나리오에 따른 한반도의 연평균 기온의 상승폭은 전 지구에 비해 1.2배 이상 될 것으로 전망하고 있다(Korea Meteorological Administration, 2012). 기후변화에 의한 온도 상승으로 현재 제주도와 남부지방에 주로 분포하는 남방계 외래식물의 확산 가능성이 높아지고 있고, 이에 대한 예측과 대응이 필요한 시점이다. 외래식물의 잠재 서식지와 지리적 분포에 대한 확산 예측은 gravity model과 maximum entropy model(MaxEnt) 등과 같은 몇몇 모델에 의해 분석되어 왔고, 지속적인 연구들이 진행 중에 있다(Phillips *et al.*, 2006; Pearson *et al.*, 2007; Youngah *et al.*, 2011). 국내에서도 MaxEnt를 이용하여 잣나무, 눈잣나무, 신갈나무, 소나무, 미선나무, 모데미풀의 적지분포 및 기후변화에 대한 변화를 예측하였다(Lee *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2012; Chun and Lee, 2013; Lee *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2014; Choi *et al.*, 2015).

본 연구는 국내 유입되어 분포하고 있는 실망초의 현재 분포지점을 기반으로 RCP 4.5와 8.5 시나리오에 따른 확산 분포 지도를 작성하여 향후 확산 범위와 관리를 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 위치자료 수집

실망초의 분포자료는 직접 현지 조사를 통한 자료와 기존에 발표된 자료를 통합하여 사용하였다. 현지조사는 2014년부터 2015년까지 제주도와 서해안 일대를 중심으로 수행하였으며, 위치자료는 조사지의 GPS 좌표를 기록하였다. 기존의 자료는 Park *et al.*(2002)의 귀화식물의 분포관련 자료를 활용하였다.

2.2 환경 변수

본 연구에서는 실망초의 분포를 결정하는 환경 변수로 생물기후와 지리적 요소를 사용하였다. 또한 실망초의 확산성에

대한 예측을 위하여 2가지의 서로 다른 RCP 시나리오에 따른 미래의 분포 변화를 비교하였다. RCP 4.5는 온실가스 저감정책이 상당히 실현되는 경우, 그리고 RCP 8.5는 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우를 가정한 기후변화 시나리오이다. RCP 4.5의 2011~2020 데이터의 평균을 도출하여 현재로 설정하였으며, 각각의 시나리오별로 20년 간격으로 2021~2030(2030s), 2041~2050(2050s), 2061~2070(2070s), 2091~2100(2100s)을 비교하였다. 생물기후인자는 Worldclim에서 제공하는 bioclim의 19가지 변수들을 이용하였다. 이를 위하여 기상청의 기후변화정보센터(CCIC)에서 남한 상세 기후변화 앙상블시나리오(제어적분 200년, 기후모델: HadGEM3-RA, 해상도 1 km)를 제공받아 bioclim의 19가지 변수들을 도출하였다. 19개의 변수는 다중공선성(Multicollinearity)이 발생할 수 있어, 이를 제거하기 위하여 19가지의 변수들에 대한 상관분석을 실시하여 상관계수가 0.9 이상의 높은 상관성이 나타나는 인자들은 분석에서 제외하였다. 최종적으로 선발된 기후인자는 Table 1과 같다. 지리적 인자로는 고도, 경사, 방위를 사용하였으며, 이를 위하여 DEM(Digital Elevation Model)을 이용하여 분석하였다. 인자들의 도출과 통계는 ArcMap 10.1를 활용하였다.

2.3 종 서식지 분포 예측 모델

본 연구에서는 MaxEnt 모형을 사용하여 외래잡초 실망초의 잠재 서식지 분포를 예측하였다. MaxEnt 모형은 최대 엔트로피 접근법을 이용하여 생태적 지위와 이에 따른 잠재적 서식지 분포를 확률적으로 제시하는 모형으로 생물 분포를

Table 1. Description of climate variables

Climate variables	Description
Bio01	Annual mean temperature (°C)
Bio02	Mean diurnal range (°C)
Bio03	Isothermality (%)
Bio04	Temperature seasonality (SD × 100)
Bio05	Max temperature of warmest month (°C)
Bio12	Annual precipitation (mm)
Bio13	Precipitation of wettest month (Jul.) (mm)
Bio14	Precipitation of driest month (Dec.) (mm)
Bio15	Precipitation seasonality (%CV)
Bio16	Precipitation of wettest quarter (mm)

예측하는 다른 모델들이 비출현 정보를 요구하는 것과 달리 출현정보만을 요구하는 특성이 있다. 자생식물과는 달리 외래식물은 일반적으로 분포하고 있는 지역 이외에도 확산가능성이 있는 경우가 많으며, 이러한 특성상 비출현정보의 획득에 한계가 존재한다(Philips *et al.*, 2006). 이에 따라 실망초의 생태적 지위와 잠재 서식가능 분포지를 예측하기 위한 모형으로 MaxEnt를 적용하였다. 모형의 분석은 임의로 선발된 20개 이상의 위치정보를 활용하여 5번의 반복으로 이루어졌으며, 모델의 설명력에 대한 검증은 ROC(Receiver Operating Characteristics) 곡선의 AUC(Area Under the Curve) 값을 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 RCP 시나리오에 따른 생물기후 변화

RCP 4.5와 RCP 8.5에 따른 생물기후 변수들의 변화는 Table 2와 같다. 그 결과 시간에 따른 증가 추세가 뚜렷한 온도관련 기후인자는 Bio1(연평균기온)과 Bio5(가장 더운 달의 평균온도)로, 특히 Bio1은 현재에 비하여 2100s에서 RCP 4.5는 약 2°C, RCP 8.5는 약 5°C의 증가가 나타났다. 그에 비하여 Bio2(일교차), Bio3(Isothermality), Bio4(온도 계절성)은 특별한 변화의 경향이 관찰되지 않았다. 강수량 관련 기후인자 Bio12(연누적강수량)는 현재에 비하여 2100s에 약 200 mm의 증가가 관찰되었으나, 시나리오 간의 차이는 발견되지 않았다. 그리고 Bio13(가장 습한 달의 강수량), Bio14(가장 건조한 달의 강수

량), Bio16(가장 습한 분기의 강수량)은 모두 증가가 관찰되었으나, 시간에 따른 증가의 경향이 복잡하게 나타났다. Bio15(강수량 계절성)는 RCP 4.5에서는 증가경향이 나타났으나, RCP 8.5는 감소경향이 나타나 시나리오간의 차이를 보였다.

3.2 실망초의 잠재 서식지 분포

MaxEnt를 활용한 실망초의 잠재 서식지 분포 모형의 Training AUC는 0.95, Test AUC는 0.91로 나타났다(Table 3). Area under curve(AUC)를 활용한 모델의 설명력에 대한 검증은 다양한 모델의 검증에 활용되고 있으며, 최소 0.5에서 모델이 완벽하게 예측할 때 1.0이 도출되며, 일반적으로 0.8 이상이면 모델이 의미를 갖는 것으로 알려져 있다(Franklin, 2009). 본 연구에서 실망초의 예측된 잠재 서식지 분포모형은 AUC가 0.9 이상으로 높은 설명력을 갖는 것으로 분석되었다. 실망초의 분포에 관여하는 환경변수는 MaxEnt의 알고리즘에 의한 기여도 평가를 통해서 분석하였다. 실망초의 분포에는 Bio1(연평균기온)이 64%, 고도가 15%, Bio4(온도 계절성)이 13%로 3개의 환경변수의 합이 90% 이상의 기여도를 보였다. 또한 무작위 샘플링에 의한 Permutation importance에서도 유사한 경향을 보였다(Table 4).

MaxEnt 모형에서 분석된 실망초의 잠재 서식지 비율이 높은 지역은 실제 발견지역과 유사하게 나타났다. 제주도의 해안지역과 남부지방 및 남부서해안 지역을 중심으로 높은 서식지 비율이 나타났으며, 높은 산지와 내륙지역은 낮은 서식

Table 2. Average±Standard deviation change of ten climate variables in two different RCP scenarios

Climate variables	Average±Standard deviation									
	Present		RCP 4.5				RCP 8.5			
	2020s	2030s	2050s	2070s	2100s	2030s	2050s	2070s	2100s	
Bio01	11.8±1.9	12.1±1.9	12.9±1.9	13.3±1.9	13.7±2	12.6±1.9	13.6±1.9	14.7±1.9	16.8±1.9	
Bio02	10.9±1.5	10.7±1.5	10.8±1.5	10.8±1.4	10.7±1.5	10.7±1.5	10.6±1.4	10.8±1.5	10.7±1.5	
Bio03	29.6±2.5	30±2.7	29.2±2.5	29.6±2.6	28.9±2.6	29.5±2.5	29.5±2.6	29.7±2.7	29.8±2.6	
Bio04	930±64	910±65	931±66	939±64	955±66	945±63	931±60	934±64	926±63	
Bio05	29.7±1.8	29.7±1.8	31.0±1.8	31.2±1.9	32.3±1.8	30.6±1.9	32.0±1.9	32.8±2.0	35±2.1	
Bio12	1,632±273	1,751±271	1,712±285	1,832±257	1,859±297	1,687±291	1,845±300	1,827±299	1,832±413	
Bio13	415±70	492±75	495±78	509±102	535±112	391±87	393±91	471±88	409±124	
Bio14	28.8±13.1	29.3±11.1	28.9±10.9	38.3±11.5	30.7±9.3	39.1±15	38.1±11.3	40.4±14.6	51.4±15.5	
Bio15	86.9±11.1	93.5±8.6	95.4±13.6	92.8±11.0	100.6±10.7	81.4±13.2	80.2±9.0	90.5±9.0	82.3±10.2	
Bio16	899±138	1,006±151	970±160	1,040±142	1,039±181	877±143	999±189	1,016±168	970±249	

Table 3. Summary of MaxEnt model for *Conyza boariensis*

Species	Average
Total input samples	50
Training samples	22.4
Training AUC	0.9501
Test samples	5.6
Test AUC	0.9061
AUC Standard Deviation	0.0401

Table 4. Percent contribution and permutation importance for each environmental variables

Environmental variables	Contribution (%)	Permutation importance (%)
Bio01	63.98	72.17
Bio02	0.40	0.00
Bio03	1.00	1.28
Bio04	13.01	3.29
Bio05	1.17	0.75
Bio12	0.95	0.91
Bio13	0.13	0.19
Bio14	0.27	1.47
Bio15	0.99	0.00
Bio16	0.36	0.58
Elevation	14.55	15.87
Slope	0.58	0.75
Aspect	2.59	2.74

지비율로 분석되었다(Fig. 1).

3.3 실망초의 미래 잠재 서식지 변화

실망초의 잠재 서식지 분포모형을 미래 기후변화 시나리오 RCP 4.5와 RCP 8.5에 투영하여 미래의 잠재 서식지 변화를 예측하였다. 그 결과, 현재 실망초의 서식지 비율은 전국 평균이 약 0.08로 분석되었고, RCP 4.5 시나리오 기준으로 계속해서 증가하여 2100년대에는 서식지 비율이 0.28로 약 3.39배 증가하는 것으로 나타났다. 또한 RCP 8.5 시나리오에서는 RCP

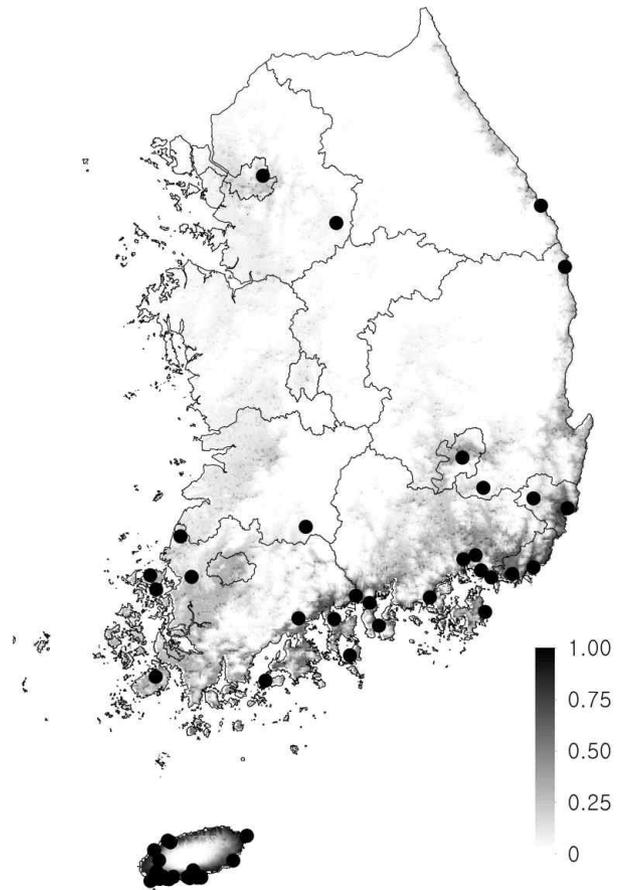


Fig. 1. The potential geographic current distribution of *Conyza boariensis*.

4.5 시나리오에서 보다 급격하게 증가하여 2100년대에는 서식지 비율이 0.64로 약 7.69배 증가하는 것으로 분석되었다(Fig. 2). 이는 실망초와 같이 남방계 외래식물의 서식지 비율이 한반도의 온도상승 등과 같은 요인으로 분포의 범위가 넓어질 수 있음을 알 수 있었다.

RCP 4.5와 8.5 시나리오에 의한 실망초 잠재 서식지의 공간적인 변화는 Fig. 3과 같다. 모든 시나리오에서 실망초의 잠재 서식지는 평지를 중심으로 점차 확산이 되는 방향으로 이루어졌다. RCP 4.5에서는 2030년대는 현재의 잠재 서식지와 거의 유사하지만, 2050년대에 갈수록 부산과 목포 등의 남해안 일대를 중심으로 확산되었고, 2070년대와 2100년대는 잠재 서식지의 범위가 남해안 전역과 서해안 지역에까지 확대되는 것을 확인할 수 있었다. RCP 8.5에서는 2030년대는 RCP 4.5와 유사하지만, 2050년대와 2070년대로 시간이 흐르면서 남해안과 서해안 일대에 잠재 서식지가 확산되었고, 2100년에는 강원도의 태백산맥 주변의 고산지와 소백산맥을 따라 지리산

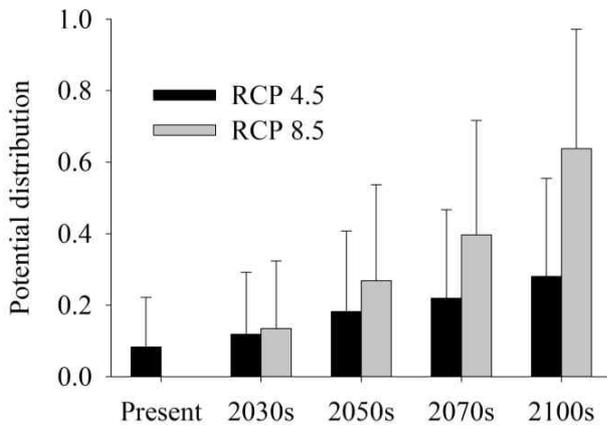


Fig. 2. Change of potential distribution estimated by MaxEnt model for *Conyza bonariensis*.

일대를 제외하고는 대부분의 지역으로 잠재 서식지가 넓어졌다. 국화과 식물의 종자확산성과 1~2년생인 실망초의 생태적 특성을 고려할 때 도시지역과 농경지 등 사람들의 생활이 이루어지는 우리나라 대부분의 지역에 실망초가 발생할 수 있음을 보여주었다. 실망초와 같은 *Conyza*속 식물인 망초는 이미 오래전에 국내에 확산되어 도로변이나 공터뿐만 아니라, 농경지에도 유입되어 분포하고 있고, 최근에는 농업용 제초제

인 paraquat 저항성 망초가 보고되어 있어, 농경지 관리에 많은 어려움을 겪고 있다(Kim and Hwang, 2000). 실망초 또한 농경지에 유입이 쉽게 이루어지고, 망초와 마찬가지로 paraquat 저항성 잡초가 보고되어 있어 확산이 이루어질 경우, 농경지 관리에 어려움이 발생할 것으로 예상되어진다(Shaaltiel and Gressel, 1986).

4. 결 론

본 연구에서 외래식물인 실망초(*Conyza bonariensis* (L.) Cronquist)의 현재의 잠재 서식지와 RCP 4.5와 RCP 8.5에 의한 미래의 종 분포 확산 예측을 MaxEnt 모델을 사용하여 확인하였다. 실망초의 잠재 서식지는 연평균기온, 고도, 온도 계절성의 환경변수가 90% 이상의 기여도를 보여 가장 중요한 변수로 분석되었고, AUC도 0.9 이상으로 잠재 서식지 분포모형의 설명력을 뒷받침하였다. 제주도과 남해안 및 남부 서해안을 중심으로 확산되어 있는 실망초는 RCP 4.5와 RCP 8.5 시나리오를 기반으로 한 분포모형에서 잠재 서식지가 확산되는 것으로 나타났고, 특히 RCP 8.5에서는 2100년대 잠재 서식지가 약 7.69배 증가하는 것으로 분석되었다. 실망초는 남미에서 유입된 외래식물로 현재 남부지방을 중심으로 분포하고 있고,

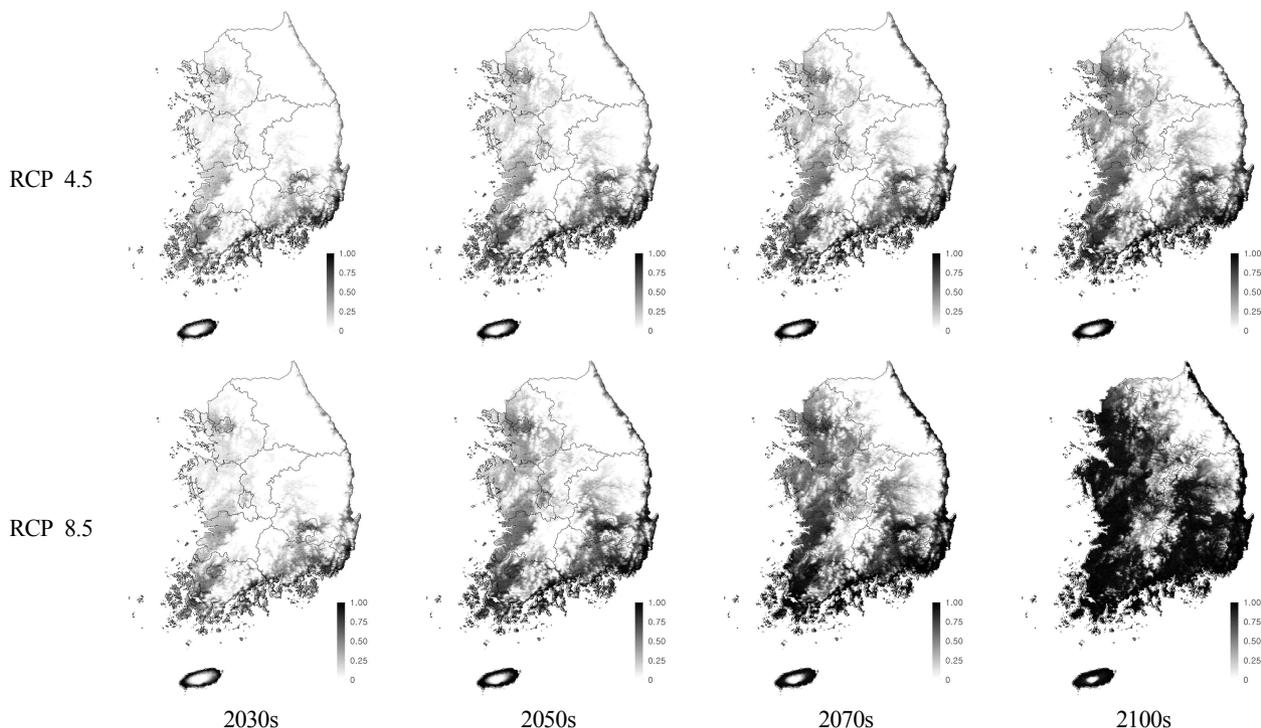


Fig. 3. The potential distribution of *Conyza boariensis* projected on two different RCP scenario.

분포지역은 대부분 도로변, 공한지, 농경지, 목초지 등 인간 간섭이 심한 곳에 분포한다. 또한 국화과의 특성상 종자의 비산거리가 길고, 차량의 이동이나 사람의 이동 중에 쉽게 확산될 수 있어 서식지의 생육 환경만 갖추어진다면 빠르게 확산될 수 있을 것이다. 같은 *Conyza*속의 망초는 이미 전국에 분포하고 있어 관리가 어려운 실정이고, 기후변화에 의한 온도 상승은 망초 또한 전국적으로 확산될 가능성을 가지고 있어 장기적인 관심과 관리기술 개발이 필요한 시점이다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청의 지원(과제번호: PJ009962042015)에 의해 수행되었음.

REFERENCES

- CBD. 2009. Invasive alien species. Convention on Biological Diversity. Montreal. Canada pp 6-9.
- Choi JY, Lee SH, Lee SH. 2015. Anticipation of the future suitable cultivation areas for Korean pines in Korean peninsula with climate change. *J Korean Env Res Tech* 18 (1):103-113.
- Chun JH, Lee CB. 2013. Assessing the effects of climate change on the geographic distribution of *Pinus densiflora* in Korea using ecological niche model. *Korean J of Agri and For Met* 15(4):219-233.
- Franklin J. 2009. Mapping species distributions spatial inference and prediction. Cambridge University Press. Cambridge.
- Kim HJ, Hang EC. 2000. Protective enzymes of praquatresistant *Conyza bonariensis*. *J Korean Soc Argic Chem Biotechnol* 43(1):46-51.
- Korea Meteorological Administration. 2012. Prospect report of climate change in Korea. KMA. Seoul.
- Lee SH, Jung HC, Choi JY. 2012. Projecting climate change impact on the potential distribution of endemic plants (*Megaleranthis saniculifolia*) in Korea. *J Korean Env Res Tech* 15(3):75-83.
- Lee SH, Choi JY, Lee YM. 2011. Projection of climate change effects on the potential distribution of *Abeliophyllum distichum* in Korea. *J of Agri Sci* 38(2):219-225.
- Lee YG, Sung JH, Chun JH, Shin MY. 2014. Effect of climate changes on the distribution of productive areas for *Quercus mongolica* in Korea. *J of Korean for Soc* 103(4): 605-612.
- Mack RN, Simberloff D, Lonsdale WM, Evans H, Clout M *et al.* 2000. Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecol Appl* 10: 689-710.
- Munz P. 1959. A flora of California. University of California press. Berkley.
- Negrean G, Ioana C. 2012. *Conyza bonariensis*, A new plant with invasive character in Romanian Flora. University of Craiova. Vol. XVII(LIII), Craiova.
- Park HC, Lee JH, Lee GG. 2014. Predicting the suitable habitat of the *Pinus pumila* under climate change. *J of Env Imp Ass* 23(5):379-392.
- Park SH, Sin JH, Lee YM, Lim JH, Mun JS. 2002. Distributions of naturalized alien plants in Korea. *KFRI Research Bull.* No. 193. Ukgo press, Seoul.
- Park SH. 2009. New illustration and photographs of naturalized plants of Korea. Ilchokak Publishing. Seoul.
- Pearson RG, Raxworthy CJ *et al.* 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records; A test case using cryptic geckos in Madagascar. *J of Biogeography* 34:102-117.
- Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modeling* 190:231-259.
- Pimentel D. 2002. Biological invasions: Economic and environmental costs of alien plant, animal, and microbe species. CRC press, Boca Raton, FL. P 369.
- Pimentel D, Lach L, Zuniga R, Morrison D. 2000. Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioSci* 50:53-65.
- Shaaltiel Y, Gressel J. 1986. Multienzyme oxygen radical detoxifying system correlated with paraquat resistance in *Conyza bonariensis*. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 26(1):22-28.
- Youngah L, Munisamy G, Samuel C, Michael H. 2011. Predicting potential invasive species distribution: An application to New Zealand mudsnails in the pacific northwest. *Agricultural and Applied Economics* 24-26.