

PLANT & FOREST

# Projecting suitable habitats considering locational characteristics of major wild vegetables and climate change impacts

Jaeyong Choi<sup>1,†</sup>, Sanghyuk Lee<sup>2,†,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>Environment Planning Lab., Korea Environment Institute, Sejong 30147, Korea

\*Corresponding author: shlee@kei.re.kr

†These authors equally contributed to this study as first author.

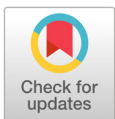
## Abstract

In this study, we constructed a model of an area where the production and production amount of wild vegetables which are designated as short term income forest products for the whole country are self-sufficient for the representative Eastern Braken fern(*Pteridium aquilinum*) and Edible aster(*Aster scaber*). The difference between the existing cultivation site and the model result was examined, and the distribution of the cultivable area was simulated according to the near future climate change by the 2050s. The degree of agreement between the cultivated area and the actual native area was very low at 14.5% for Eastern Braken fern and 12.9% for Edible aster. Using the Maxent model, which has already been proven by many research examples, the cultivation maps through the model can guarantee statistical accuracy by considering many variables. To analyze future location changes, the RCP 4.5 scenario and the RCP 8.5 scenario were applied to Edible aster to predict potential future cultivable areas and compare them to the present. There was no decrease in the cultivable area due to climate change nationwide. However, in the RCP 8.5 scenario for Eastern Braken fern and the RCP 4.5 scenario for Edible aster, declining areas such as Gangwon-do, Jeollabuk-do and Gyeongsangbuk-do showed prominence according to the scenarios. The result of this study suggests that various models can be used for the production of short-term forest productivity maps and it will be used as a climate change impact assessment data for competitive forest products considering the influence of future climate change.

**Keywords:** cultivate suitable map, Eastern brakenfern, Edible aster, maxent, rcp

## Introduction

산림분야에서의 장기투자는 경제적인 취약성을 극복하고 집약적 임지 활용에 의한 단기 임업소득 향상을 도모할 수 있는 유리한 점을 가지고 있다. 우리나라에서의 산림복합경영(agroforestry)은 임간에 산나물 또는 산양삼을 재배하는 혼농임업(forest farming)이 가장 흔한 형태



### OPEN ACCESS

**Citation:** Choi J, Lee S. 2019. Projecting suitable habitats considering locational characteristics of major wild vegetables and climate change impacts. Korean Journal of Agricultural Science. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20190053>

**DOI:** <https://doi.org/10.7744/kjoas.20190053>

**Received:** April 08, 2019

**Revised:** August 02, 2019

**Accepted:** August 13, 2019

**Copyright:** © 2019 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이다(KREI, 2013). 최근의 산림복합경영실태를 보면 기존의 산림을 개별하여 용재수나 특용수종(유실수, 특용수)을 식재하고 하층에는 산채류 등을 식재하거나, 간벌 등 숲가꾸기사업 등을 통해 마련된 공간에 산채, 산약초 등의 음지성 식물을 식재하고 있다. 특히 고사리, 취나물과 같은 산채류는 기존 산지와 연결한 노지를 활용한 집약적 재배 형태가 나타난다(KREI, 2013).

단기소득임산물은 수실류, 버섯류, 산채류, 약초류, 약용류 등으로 나뉘며, 『임업 및 산촌진흥촉진에 관한법률 시행규칙』 제7조 제1항 규정을 통한 “임산물 소득원 지원품목”에 따라 중점 지원되고 있다. 이 중 산채류는 더덕, 고사리, 도라지, 참취(취나물), 두릅, 원추리, 죽순, 산마늘, 고려엉겅퀴, 고비, 들메순, 다래순으로 총 13가지 품목이 지정되어 있다.

산채(山菜)류는 산야에 자생하는 식물 중 식용이 가능한 식물을 뜻한다. 최근 산림청의 임산물 생산조사 자료에 따르면 전체 단기소득임산물 29,136백만원 중에서 산채류가 4,119백만원으로 14.1%를 차지하고 있으며, 생산량은 최근 5년째 꾸준히 증가하고 있다(KFS, 2018). 이는 생활수준의 향상으로 다양하고 고급화된 식생활 등의 사회적 요구가 증가함에 따라 단기소득임산물의 소비가 증가하고 있다고 여겨진다. 특히 대표적 산채류인 고사리의 경우 2017년 기준 11,043톤으로 전년 대비 15.6%로 최근 가장 큰 폭으로 생산량이 증가되고 있으며, 취나물은 7,670톤으로 전년대비 5.0%의 생산량이 증가한 것으로 나타났다(KFS, 2018).

고사리는 3년차부터 수확이 가능하며 10년차까지 매년 수확이 가능한데(Choi, 2018), 이처럼 생산기간이 다른 작물들에 비해 상당히 길기 때문에(KREI, 2013) 장기적인 관점에서 재배적지를 파악할 필요가 있으며 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 이에 따라 한국임업진흥원에서는 임업인 및 산주들의 소득증대를 위해 단기임산물 재배적지도를 제작하여 제공하고 있다.

한편, 우리나라 주요 수목과 자생식물에 대한 기후변화 연구는 활발하게 이루어지고 있다. 하지만 임산물을 대상으로 한 연구는 미진한 편으로 기후변화가 임산물의 재배 및 생산에 미치는 영향에 관한 연구가 요구되고 있는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 주요 산채류 자생지역의 입지환경을 바탕으로 단기임산물 재배적지도와 비교해 보고, 재배 가능성이 높은 지역이 기후변화에 따른 변화 분석을 통해 향후 재배 가능지역 판단을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다.

## Materials and Methods

본 연구에서는 단기소득임산물 중 생산량이 많은 산채류인 고사리(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum* (Desv.) Underw.)와 참취(*Aster scaber* Thunb.)를 연구대상으로 선정하였으며, 공간적인 범위는 조사지역의 범위를 고려한 환경변수의 적용이 필요하므로 우리나라로 설정하였다. 고사리는 생존력이 왕성한 다년생의 양치식물로서 온대지역에서 널리 분포하며 우리나라에서는 전국 각지에 자생하고 있어 흔히 볼 수 있다. 또한, 사리과 식물로서 전 세계적으로 약 63속 1,500종이 분포하고 있으며, 우리나라에는 12속 24종이 자생하고 있다. 한편 국화과에 속하는 취나물류는 약 100여종이 알려져 있으며 우리나라에서는 6속 60여종이 자생하고 있는 것으로 분류되고 있다. 산채류로서 주로 이용되는 것은 참취(*Aster scaber* Thunb.), 곰취(*Ligularia fischeri* Turcz.), 개미취(*Aster tataricus*), 각시취(*Saussurea pulchella*), 미역취(*Solidago virgaurea* var. *asiatica*), 수리취(*Synurus deltooides*) 등으로 형태분류에 따라 다양한 변종이 보고되어 있다.

이러한 주요 산채류의 자생 지역 위치자료는 제5차 국가산림자원조사의 산림식생조사 및 초본종조사 결과를 바탕으로 추출하였다. 자생지역의 위치정보를 바탕으로 출현자료만을 활용하는 MaxEnt 모형(Phillips and Dudík, 2008; Song and Kim, 2012)을 사용하여 재배적지를 도출하였으며, 이를 한국임업진흥원에서 제작한 ‘단기임산물 재배적지도’와 비교하였다. 또한, 기후의 영향과 재배적지의 환경적 특성을 고려하여 자생지의 분포 가능지역을 예측하였으며, 기후변

화의 영향으로 인한 향후 변화 가능성과 그 정도를 살펴보고자 한다. 이를 위하여 1970 - 2000년의 관측 자료를 현재기후로 설정하였고, RCP4.5와 RCP8.5 시나리오를 기준으로 가까운 미래인 2050년대(2041 - 2060 평균)를 예측 시기로 설정하여 기후변화에 따른 변화를 예측하였다. 또한 다양한 기후변화 예측모델(GCM) 중에서 우리나라 국가 기후변화 표준 시나리오로 선정된 HadGEM2-AO를 적용하였다(기상청고시 2018-8호). HadGEM2 모델 및 RCP 8.5 시나리오에 의하면 21세기 말 한반도 평균기온의 6.0°C 상승, 20.4% 증가된 강수량, 영하일 53.1일 감소, 호우와 고온일의 발생 확률 증가, 백두대간 일부지역을 제외한 아열대 지역의 확대가 예상되고 있다(NIMR, 2011).

## 자생지 정보

국가산림자원조사의 경우 계통추출법을 통해 전국을 4 km로 격자단위의 고정 표본점에서 조사하기 때문에 표집편향(sampling bias)에 의한 위치 자료 간의 공간적 자기상관(spatial autocorrelation)은 충분히 고려된 것으로 판단되나(Dormann et al., 2013; Pearson et al., 2007), 위치자료와 변수 간의 상관성을 고려하기 위해서 ENM-Tools를 이용하여 표집편향 분석을 실시하였다(Warren et al., 2010). 또한, 모형 결과에 따른 과적합(overfitting)을 방지하기 위해 자생지의 위치를 교차분석을 실시하였으며(Hijmans et al., 1999), 자생지 위치자료의 편향이 발생하지 않도록 10,000개의 임의비출현 지역을 임의 표본화 하는 방법으로 자생 위치데이터의 25%를 테스트 데이터로 설정하여 10회 반복한 모형을 구현하였다(Barbet-Massin et al., 2012).

## 변수의 설정

식물의 분포에 관여하는 생육환경 요소에는 기후, 토양, 지형 등의 지리적 제한 요인이 있으며, 이 중에서 기후는 가장 중요한 요소이다(Woodward, 1987). 모형에 필요한 독립변수는 서식환경에 영향을 미치는 모든 항목을 적용할 수 없기 때문에, 서식환경의 영향요인 검토를 통해 기후조건, 지형조건, 토양조건으로 환경변수를 구분하였다.

특히 생물기후변수는 월평균 최저기온, 최고기온, 강수량을 바탕으로 구축되기 때문에 모형분석 과정에서 높은 상관관계가 나타난다(Busby, 1991). 이에 따른 변수들간에 공선성(collinearity)이 발생할 수 있으므로(Watling et al., 2012) 변수간의 상관분석이나 주성분분석(principal component analysis, PCA)이 필요한데(Dormann et al., 2013; Syfert et al., 2013), 본

**Table 1.** Environmental predictor variables used to species distribution model.

Variable code	Description	Type <sup>z</sup>	References	
Climate	Bio01	Annual mean temperature	Co	
	Bio02	Mean diurnal range	Co	Worldclim
	Bio04	Temperature seasonality	Co	1970 - 2000 average (present)
	Bio12	Annual precipitation	Co	KMA
	Bio13	Precipitation of wettest month	Co	HadGEM3-RA
	Bio14	Precipitation of driest month	Co	(RCP 4.5, 8.5)
	Topography	DEM	Digital elevation model	Co
LF		Landforms from TPI	Ca	Derived from SRTM v3
SP		Slope position index from TPI	Ca	
ASP		$\text{Cos}\{(\text{aspect} \times \pi)/180\}$	Co	
SLP		Terrain slope	Co	
Forest Soil		FSD	Forest soil depth	Co
	FST	Forest soil texture	Ca	
	FSM	Forest soil moisture	Ca	

TPI, topographic position index.

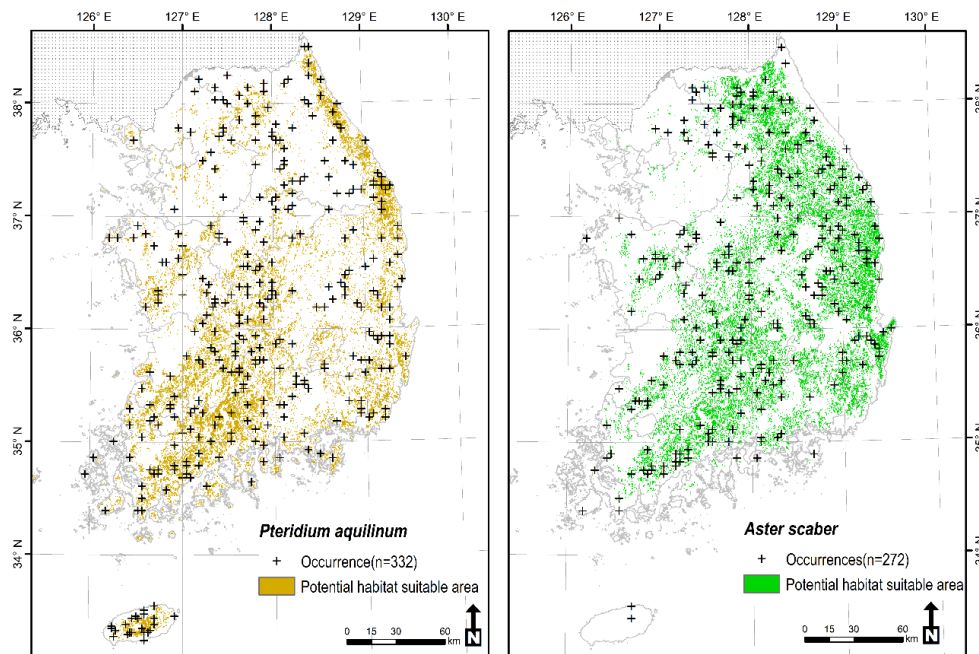
<sup>z</sup>Co, continuous value; Ca, categorical value.

연구에서는 선행 연구결과를 통해 연평균 기온(bio01), 월간 평균기온차(bio02), 기온의 계절성(bio04), 연평균 강수량(bio12), 가장 습한 월의 강수량(bio13), 가장 건조한 월의 강수량(bio14)으로 총 6가지 생물기후변수를 활용하였다(Choi and Lee, 2018). 추가적으로 해발고, 지형지수(topographic position index, TPI)와 같은 지형환경변수와, 산림청의 산림입지 토양도를 바탕으로 토심, 토성, 건습도 변수를 구축하여 모형에 적용하였다(Table 1).

## Results and Discussion

### 자생지의 입지환경

대부분의 산채류는 본래 산야에 자생하고 있던 야생종인 관계로 특별한 환경조건하에서만 적응하여 왔기에 조건이 갖춰진 지역과 토양에서 재배하는 것이 가장 중요하다. 따라서, 국가산림자원조사 자료를 바탕으로 고사리 출현지역 332곳과 참취 272곳의 입지적 환경 특성 분석을 실시하였으며, 각 위치별 변수 속성 값을 바탕으로 분석한 결과 고사리의 경우 연평균 기온  $11.3^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1.6$ ), 평균해발고  $334.5\text{ m}$  ( $\pm 244.9$ ), 평균경사도  $16.0^{\circ}$  ( $\pm 8.6$ )에서 자생 환경의 특성이 나타났고, 참취는 연평균 기온  $10.8^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1.6$ ), 평균해발고  $375.6\text{ m}$  ( $\pm 239.7$ ), 평균경사도  $16.8^{\circ}$  ( $\pm 7.8$ ) 환경에서 주로 자생하는 것으로 나타났다(Fig. 1). 일반적으로 고사리는 햇볕이 잘 쬐는 양지쪽에서부터 햇볕이 거의 없는 음지나 평야, 해발 2,000 m의 높은 산, 건조한 지역부터 습지까지 다양한 환경조건에서 잘 자라는 것으로 알려져 있다. 하지만 실제 자생지의 위치자료를 바탕으로 분석한 결과 그늘지고, 서남 또는 남동향의 다소 경사진 구릉지로 대기중 습도가 높은 곳에서 주로 자생하고 있는 것으로 나타났다. 참취는 산간의 들판이나 보수력이 있는 양지 또는 반그늘의 서늘한 기후가 이상적인데, 유기물이 풍부한 습윤한 음지쪽이나 반음지가 노지재배의 최적지로 알려져 있다. 또한 출현 지역 입상의 경우 고사리는 전체 332개 자생지 위치 중에 46.1%가 침엽수림, 활엽수 17.2%, 혼효림 25.0%로서 대부분 2-3영급에서



**Fig. 1.** Distribution of *Pteridium aquilinum* (A) and *Aster scaber* (B) with referenced occurrence data and potential habitat suitable area.

자생하는 것으로 나타났고, 25%미만의 수관밀도에서 66.3%가 위치하였다. 참취는 272개의 출현 위치에서 50.0%가 침엽수림, 19.5%가 활엽수림, 24.3%가 혼효림에서 자생하였으며, 마찬가지로 2-3명급의 산림과 25%미만의 수관밀도에서 자생지의 75.0%가 위치하고 있었다.

## 재배적지도 구축

모형의 정확도 평가를 위해서 ROC (receiver operating characteristic)의 AUC (area under the curve)값을 이용해 측정하였다. AUC값을 이용한 정확도는 기준 값에 독립적인 장점을 가지고 있으며, 다양한 모형의 정확도 비교에 많이 이용된다 (Phillips and Dudik, 2008). 이에 따라 10회 반복 측정된 결과의 평균값을 적용한 ROC커브의 AUC값으로 측정된 결과 참취의 Training AUC값은 0.928 (s.d. 0.014)으로 나타났으며, 고사리는 0.809 (s.d. 0.020)로서 모형 예측력은 우수한 것으로 판단되었다 (Franklin et al., 2009; Thuiller, 2003). 독립변수가 모형결과에 기여한 정도를 평가한 결과 고사리의 경우 가장 건조한 월의 강수량이 17.4% ( $\pm$  5.3), 연평균 강수량에서 14.6% ( $\pm$  6.1) 순으로 나타났으며, 참취의 경우 해발고가 27.6% ( $\pm$  4.3), 토양형이 10.9% ( $\pm$  4.8) 순으로 기여도가 평가되었다. 생육이 가능하거나 불가능한 지역의 구분을 위해서는 binary map과 같은 이진법 형태로의 변환이 필요한데, 이를 위해 보편적으로 활용되는 “Maximum training sensitivity plus specificity”에 따른 임계값을 산정하여 이를 적용하였다 (Franklin et al., 2009).

## 단기임산물 재배적지도와의 비교

한국임업진흥원에서 제공하는 단기임산물 재배적지도는 문헌 및 전문가 인터뷰를 통해 기후, 입지, 토양 등의 적합 지역 및 부적합지역을 선정하여 수치지도화 하여 제공한다. 실제로 분포하는 자생지와 단기임산물 재배적지도를 비교

**Table 2.** Potential area of *Pteridium aquilinum* by Province on 2050s.

Province	ADA (ha)	FPCM		MD		Var.		RCP4.5		RCP8.5	
		Area (ha)	Prop. (%)	Area (ha)	Prop. (%)	Area (ha)	Prop. (%)	Area (ha)	Prop. (%)	Area (ha)	Prop. (%)
SU	60,520	1,174	1.9	1,594	2.6	420	0.7	9,066	15.0	956	1.6
BS	76,986	745	1.0	16,267	21.1	15,521	20.2	21,291	27.7	22,326	29.0
DG	88,348	9,285	10.5	14,987	17.0	5,702	6.5	40,744	46.1	19,730	22.3
IC	104,088	2,226	2.1	5,071	4.9	2,845	2.7	15,866	15.2	3,848	3.7
GJ	50,118	5,361	10.7	8,368	16.7	3,007	6.0	11,024	22.0	8,693	17.3
DJ	54,024	7,058	13.1	6,184	11.4	874	1.6	20,348	37.7	8,639	16.0
US	106,046	12,847	12.1	26,451	24.9	13,604	12.8	49,879	47.0	37,720	35.6
SJ	46,490	5,581	12.0	2,702	5.8	2,878	- 6.2	14,899	32.0	4,942	10.6
GG	1,017,263	77,561	7.6	40,562	4.0	37,000	- 3.6	160,770	15.8	11,512	1.1
GW	1,682,981	86,866	5.2	194,850	11.6	107,983	6.4	543,833	32.3	51,678	3.1
CB	740,719	63,076	8.5	91,327	12.3	28,251	3.8	220,520	29.8	29,559	4.0
CN	820,451	99,239	12.1	89,568	10.9	9,671	1.2	237,497	28.9	69,875	8.5
JB	806,644	64,662	8.0	179,315	22.2	114,653	14.2	293,754	36.4	120,669	15.0
JN	1,230,392	121,534	9.9	305,626	24.8	184,092	15.0	458,917	37.3	338,724	27.5
GB	1,902,898	229,971	12.1	263,647	13.9	33,676	1.8	994,943	52.3	385,154	20.2
GN	1,053,732	110,361	10.5	201,772	19.1	91,411	8.7	516,205	49.0	262,286	24.9
JJ	184,926	22	0.0	41,830	22.6	41,808	22.6	23,857	12.9	31,087	16.8
S. Korea	10,026,626	897,675	9.0	1,490,339	14.9	592,664	5.9	3,634,868	36.3	1,407,788	14.0

SU, Seoul; BS, Busan; DG, Daegu; IC, Incheon; GJ, Gwangju; DJ, Daejeon; US, Ulsan; SJ, Sejong; GG, Gyeonggi-do; GW, Gangwon-do; CB, Chungcheongbuk-do; CN, Chungcheongnam-do; JB, Jeollabuk-do; JN, Jeollanam-do; GB, Gyeongsangbuk-do; GN, Gyeongsangnam-do; JJ, Jeju-do; S. Korea, South Korea; ADA, administrative division area, FPCM, forest by-products cultivation map; MD, model derivation, Var., variation (absolute value); prop., proportion.

하여 실제 분포 위치가 어느 정도로 일치하는지를 살펴보았다.

국가산림자원조사에서의 고사리 출현 지점은 전국 표본점 4,000개 중에서 332개였으며, 단기임산물 재배적지도에 재배적지로 판단된 지역과 겹치는 지점은 48개로 약 14.5%가 일치하였다. 한편, 참취는 272개 중 35개의 지점으로 12.9%의 일치율로 나타났다. 또한 국가산림자원조사에서는 Braun-Blanquet 식물사회학적 조사방법을 활용한 식생조사 결과가 제공된다. 이를 활용하여 분포의 밀도 고려를 통해 비교한 결과 고사리의 분포 빈도가 높았던 58개 지점과는 10개(17.2%)만 일치하였으며, 참취의 경우 18개 지역에서 2개로 약 11.1%가 일치하였다. 본 연구 과정에서 도출된 모형에서의 정확도는 80% 이상으로서 단기임산물 재배적지도와 본 연구결과를 비교한 결과는 본 연구결과가 상대적으로 높은 것으로 판단된다.

단기임산물 재배적지도를 통한 재배가능지역과 모형의 결과로 얻어진 분포가능지역 면적을 전국 단위로 살펴본 결과 고사리 재배적지도는 전국의 9.0%, 모형 결과의 면적은 14.9%로 본 모형에서 더욱 넓게 나타났다. 재배적지도와 본 모형과의 면적 차이가 가장 큰 지역은 제주도(22.6%)이었고, 결과가 가장 비슷한 지역은 경상북도, 경상남도, 충청남도 등으로 나타났다(Table 2). 마찬가지로 참취의 재배적지도와 모형결과를 비교한 결과 재배적지도상의 재배가능할 것으로 나타난 면적은 전국적으로 644,722 ha (6.4%)였으며, 모형결과에서는 전국의 약 17.3%가 재배가능한 지역인 것으로 예상되었다(Table 3). 경상북도와 경상남도, 전라남도, 강원도 등의 지역에서 재배적지도와 본 연구의 모형결과와 차이가 많이 나는 것으로 나타났고, 인천광역시 및 제주도는 재배 및 서식 가능성이 매우 낮은 지역인 동시에 재배적지도와 모형결과가 유사한 것으로 보여진다.

고사리 재배적지도에서는 고사리의 최적 재배지로서의 조건을 임상이 소밀하고 해발고 300 m이하의 소나무, 잣나무 등의 수종이 분포하며 사질양토, 양토, 미사질양토의 토성과 30-60 cm의 토심, 그리고 북 또는 북동향의 사면방향을

**Table 3.** Potential area of *Aster scaber* by Province on 2050s.

(Unit: ha, %)

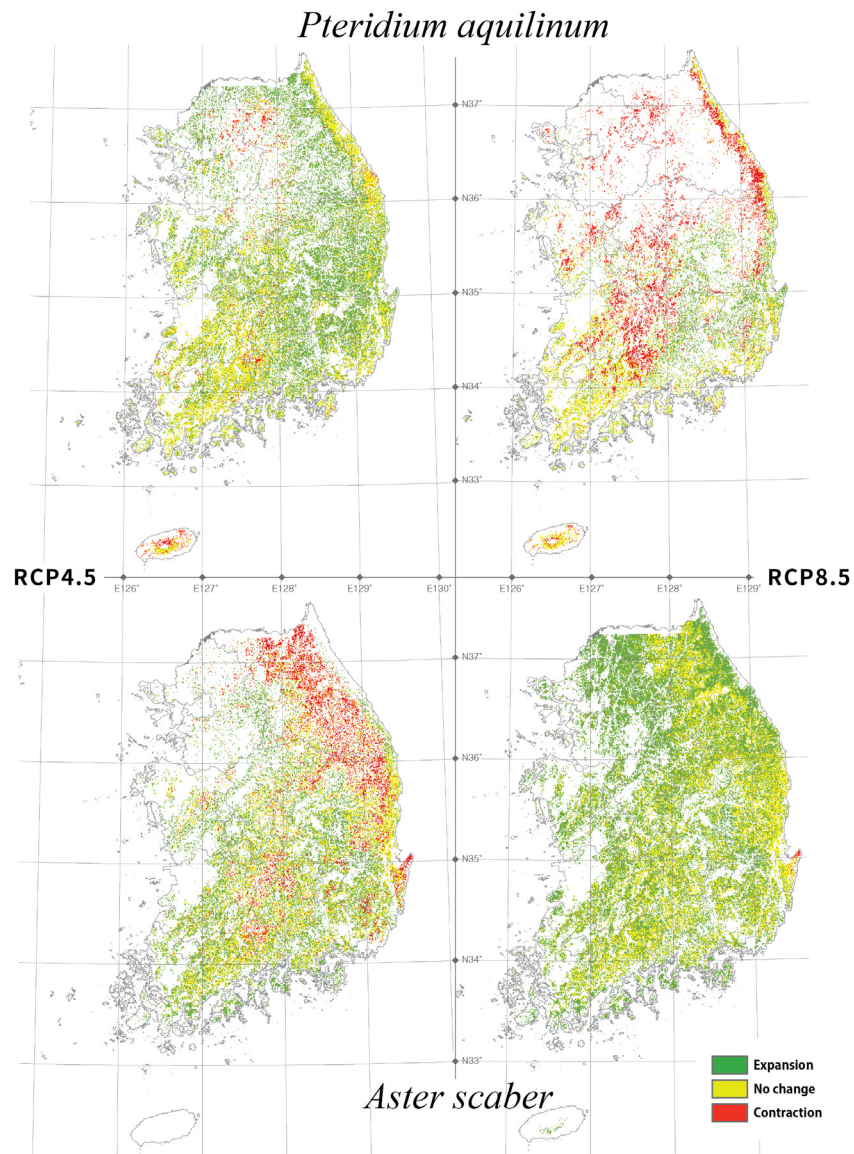
Province	ADA (ha)	FPCM		MD		Var.		RCP4.5		RCP8.5	
		Area (ha)	Prop. (%)	Area (ha)	Prop. (%)	Area (ha)	Prop. (%)	Area (ha)	Prop. (%)	Area (ha)	Prop. (%)
SU	60,520	73	0.1	420	0.7	347	0.6	2,572	4.3	10,734	17.7
BS	76,986	2,259	2.9	7,860	10.2	5,600	7.3	10,322	13.4	22,410	29.1
DG	88,348	3,804	4.3	16,747	19.0	12,943	14.6	32,123	36.4	41,423	46.9
IC	104,088	-	-	286	0.3	286	0.3	2,106	2.0	15,055	14.5
GJ	50,118	200	0.4	3,334	6.7	3,135	6.3	11,235	22.4	12,274	24.5
DJ	54,024	788	1.5	3,829	7.1	3,042	5.6	17,375	32.2	21,956	40.6
US	106,046	4,490	4.2	25,286	23.8	20,795	19.6	42,085	39.7	52,566	49.6
SJ	46,490	243	0.5	2,110	4.5	1,867	4.0	11,253	24.2	16,352	35.2
GG	1,017,263	41,079	4.0	18,943	1.9	22,136	2.2	74,815	7.4	397,950	39.1
GW	1,682,981	226,351	13.4	402,877	23.9	176,526	10.5	216,831	12.9	1,192,566	70.9
CB	740,719	61,230	8.3	132,001	17.8	70,771	9.6	231,367	31.2	412,482	55.7
CN	820,451	13,726	1.7	60,281	7.3	46,555	5.7	150,714	18.4	265,731	32.4
JB	806,644	49,251	6.1	119,624	14.8	70,372	8.7	233,940	29.0	351,018	43.5
JN	1,230,392	33,884	2.8	168,760	13.7	134,875	11.0	398,333	32.4	458,608	37.3
GB	1,902,898	159,256	8.4	532,420	28.0	373,163	19.6	729,330	38.3	1,144,651	60.2
GN	1,053,732	48,087	4.6	234,482	22.3	186,395	17.7	441,807	41.9	565,112	53.6
JJ	184,926	-	-	-	-	-	-	-	-	4,873	2.6
S. Korea	10,026,626	644,722	6.4	1,729,811	17.3	1,085,089	10.8%	2,606,547	26.0	4,987,527	49.7

SU, Seoul; BS, Busan; DG, Daegu; IC, Incheon; GJ, Gwangju; DJ, Daejeon; US, Ulsan; SJ, Sejong; GG, Gyeonggi-do; GW, Gangwon-do; CB, Chungcheongbuk-do; CN, Chungcheongnam-do; JB, Jeollabuk-do; JN, Jeollanam-do; GB, Gyeongsangbuk-do; GN, Gyeongsangnam-do; JJ, Jeju-do; S. Korea, South Korea; ADA, administrative division area, FPCM, forest by-products cultivation map; MD, model derivation, Var., variation (absolute value); prop., proportion.

제외한 조건의 지역이 적지의 기준으로 설정하였다. 또한, 자연공원 및 골프장, 임상도상의 제지, 수역 부분 등의 실제로 재배가 불가능한 지역들을 제외하여 작성되었지만 기온 및 강수량 부분은 제작과정에서 적용되지 않았다. 반면 본 모형결과의 변수들은 Table 1과 같이 기후, 지형, 토양 등의 변수가 활용되었고, 확률에 기반한 통계적 모형의 결과이므로 이에 따른 결과 차이가 나타난 것으로 판단된다.

### 기후변화에 따른 고사리 재배적지의 변화

모형 결과로 도출된 고사리의 자생가능지역의 전국단위의 면적 비율은 전체 국토면적의 14.9%로서 단위 면적당 가장 비율이 높은 지자체는 울산, 전남, 제주 등 산림면적이 비교적 높은 지역으로 나타났다(Table 2). 2050년대에 기후변화 시나리오별 변화 차이를 비교한 결과 온실가스 저감정책이 상당히 실현되는 RCP 4.5 시나리오에서 21.4%의 자생



**Fig. 2.** Projected cultivation areas under two climate change scenarios of *Pteridium aquilinum* and *Aster scaber* in South Korea for 2050s period.

가능지역 면적이 증가할 것으로 나타났으며, 기후변화의 추세가 현재와 같이 지속되는 경우인 RCP 8.5 시나리오에서 지역적인 편차는 있으나 자생가능한 면적은 전국적으로 비슷하나 변화지역이 두드러지게 나타날 것으로 예상되었다 (Table 2). 특히 동해안을 따라 분포하는 재배적지와 지리산 부근의 고산지역에서의 감소가 예상되었다(Fig. 2). 한편 전국 고사리 생산은 약 70%가 경상남도(34.5%)와 경상북도(35.1%)에서 생산되고 있는데(KFS, 2018), 이들 지역은 RCP 4.5 시나리오에서 크게 증가할 것으로 나타났으나 RCP 8.5에서는 이들 지역의 감소가 예상되었다(Table 4).

### 기후변화에 따른 참취 재배적지의 변화

참취 서식가능지역은 2050년대에 8.7% 늘어난 26.0%가 RCP 4.5 시나리오에서 예상되었으며, RCP 8.5 시나리오에서는 49.7%까지 면적이 늘어날 것으로 예상되었다(Table 3). 특히, 경상남도는 산림 면적 701,903 ha에서 약 80.5%가 재배가능지역일 것으로 나타났으며 이는 현재 연간생산량의 71.6% (1,653,418 kg)를 생산하고 있는 지역이 경상남도인 것으로 충분히 설명된다(KFS, 2018). 지역별로 예측된 변화 정도는 대구, 경상북도, 경상남도 지역 순으로 RCP 4.5 시나리오에서 면적의 증가가 예측되었으며, RCP 8.5 시나리오에서는 강원도, 경상북도, 경상남도, 전라북도 순으로 나타났었다(Table 3). 이 중에서 생산량이 많거나, 단위 면적당 산림 지역이 넓은 경상북도와 강원도 지역을 살펴본 결과 RCP 8.5 시나리오에서 자생가능지역의 확장이 매우 높게 예측되었으며, RCP 4.5 시나리오에서는 서식지의 축소지역으로 예측되는 지역이 많을 것으로 나타났었다(Table 4; Fig. 2).

**Table 4.** Projection of the changes in suitable sites for *Pteridium aquilinum* and *Aster scaber* within major production areas. The binary maps change in their areas from the current situation to the near future (2050s).

Species	Province	Present			Present			RCP 8.5				
		ADA (ha)	PA (ha)	Prop. (%)	PA (ha)	Prop. (%)	Variation (ha)	PA (ha)	Prop. (%)	Variation (ha)		
<i>Pteridium aquilinum</i>	Nationwide	10,026,626	1,490,339	14.86	3,634,868	36.25	C	126,038	1,407,788	14.04	C	686,521
							N	1,363,183			N	802,699
							E	2,271,684			E	605,089
	Gyeongsangbuk-do	1,902,898	263,647	13.86	994,943	52.29	C	5,320	385,154	20.24	C	130,478
							N	258,327			N	133,168
							E	736,616			E	251,985
	Gyeongsangnam-do	1,053,732	201,772	19.15	516,205	48.99	C	11,375	262,286	24.89	C	72,839
							N	190,331			N	128,868
							E	325,873			E	133,418
<i>Aster scaber</i>	Nationwide	10,026,626	1,729,811	17.25	2,606,547	26.00	C	590,335	4,987,527	49.74	C	4,725
							N	1,139,476			N	1,725,085
							E	1,467,071			E	3,262,432
	Gyeongsangbuk-do	1,902,898	532,420	27.98	729,330	38.33	C	164,343	1,144,651	60.15	C	4,725
							N	368,076			N	527,695
							E	361,254			E	616,957
	Gangwon-do	1,682,981	402,877	23.88	216,831	12.93	C	280,528	1,192,566	70.87	C	-
							N	122,349			N	402,876
							E	94,483			E	789,680

ADA, administrative division Area; PA, projected area; Prop., proportion; C, contraction; N, no change; E, expansion.



## Conclusion

본 연구에서는 우리나라 전역을 대상으로 단기소득임산물 지원품목으로 지정된 산채류 중에서 생산량 및 생산액이 많은 고사리와 참취를 대상으로 자생가능한 지역을 모형을 통해 구축하였다. 기존에 제작된 재배적지도와 본 연구에서의 모형결과와 비교·분석을 통해 그 차이를 살펴보고, 가까운 미래의 기후변화에 따른 재배가능지역의 분포 변화를 모의하였다. 이를 위해 국가산림자원조사 자료를 활용하여 출현 정보를 구축하였으며 생육과 관련된 변수를 구축하였다.

실제 자생하는 출현 지점과 재배적지도의 재배 가능 지역과 일치 정도를 살펴본 결과 고사리 14.5%, 참취 12.9%로 매우 낮게 나타났으며, 특히 자생지에서의 피도가 높은 지역일수록 일치율이 떨어지는 것으로 나타났다. 반면 모형을 통한 잠재적 서식가능 지역은 이미 많은 연구사례로 검증된 Maxent 모형의 사용과 생육과 관련된 많은 변수를 고려함으로써 출현위치와의 통계적 정확성까지 담보할 수 있었다.

또한 가까운 미래에서의 재배적지 변화 분석을 위해 RCP 4.5 시나리오와 RCP 8.5 시나리오를 적용하여 미래 기후에서의 잠재적인 재배가능지역을 예측하여 이를 현재와 비교하였다. 예측의 정확성을 위하여 기후자료뿐만 아니라 지형, 토양 등의 비기후적인 환경요소를 추가하였고, 이들 변수가 모형 결과에 기여한 정도를 평가하였다. 전국적으로 기후변화에 따른 재배가능지역 면적의 축소는 적었지만, 시나리오에 따라 고사리의 경우 RCP 8.5 시나리오에서, 참취의 경우 RCP 4.5 시나리오에서 강원도, 전라북도, 경상북도 등의 감소지역이 두드러지게 나타났다.

본 연구의 결과를 통해 단기임산물 재배적지도의 제작을 위해 모형의 활용이 가능한 것으로 여겨지며, 미래 기후변화에 따른 영향을 고려하여 경쟁력 있는 임산물 생산을 위한 기후변화 영향평가 자료로 활용될 것으로 판단된다. 단기임산물 재배적지도와 본 모형결과 추정치간의 전반적인 차이는 생물기후변수, 지형지수의 활용 등의 입력변수간 차이가 모형에서 주요하게 작용한 것으로 여겨지며, 단기임산물 재배적지도와 같이 중첩분석 방식을 통해 재배적지도출하는 과정과 본 연구에서의 확률적 분포를 예측하는 기계학습모형의 차이에 기인한다. 하지만, 자연에서의 생육 환경을 대표하는 국가산림자원조사에서 발견된 주요 산채류의 위치 정보와 인공적으로 조성 가능한 재배환경간의 비교, 즉 생육적지와 재배적지 간의 단순비교는 무리가 있다고 판단되며 이는 연구의 한계점으로 여겨진다. 향후 모형의 정확성을 담보하기 위해서 기후 등의 기초자료 및 관련 주제도의 정확성이 필수적이며, 추가적인 변수의 활용이 필요하기 때문에 지속적 갱신을 통한 정확성 확보에 대한 노력과 다양한 모형의 활용을 통한 예측이 필요한 것으로 사료된다.

## Acknowledgements

본 연구는 환경부의 재원으로 진행된 한국환경산업기술원의 환경정책기반공공기술개발사업 중, 자연보전정책 대응기술 분야의 훼손 유형별 생태복원사업 모델 개발 및 평가 체계 구축 사후관리 기술개발의 세부 과제 “생태복원 사후관리 기술개발 및 실증화(Test-bed)(과제번호: RE201805157)”에 의해 지원받아 수행되었습니다.

## Authors Information

Jaeyong Choi, <https://orcid.org/0000-0001-5905-7229>

Sanghyuk Lee, <https://orcid.org/0000-0002-6326-1801>

## References

- Barbet-Massin M, Jiguet F, Albert CH, Thuiller W. 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: How, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution* 3:327-338.
- Busby J. 1991. BIOCLIM-a bioclimate analysis and prediction system. *Plant Protection Quarterly*, Australia.
- Choi JY, Lee SH. 2018. Climate change impact assessment of *Abies nephrolepis* (Trautv.) maxim. in subalpine ecosystem using ensemble habitat suitability modeling. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology* 21:103-118. [in Korean]
- Choi SI. 2018. Income analysis on the cultivation of major wild edible greens. *Journal of Korean Forest Society* 107:316-323. [in Korean]
- Dormann CF, Elith J, Bacher S, Buchmann C, Carl G, Carré G, Lautenbach S. 2013. Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36:27-46.
- Franklin J, Wejnert KE, Hathaway SA, Rochester CJ, Fisher RN. 2009. Effect of species rarity on the accuracy of species distribution models for reptiles and amphibians in southern California. *Diversity and Distributions* 15:167-177.
- Hijmans RJ, Schreuder M, De La Cruz J, Guarino L. 1999. Using GIS to check co-ordinates of genebank accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution* 46:291-296.
- KFS (Korea Forest Service). 2018. Production of forest products 2017. Korea Forest Service, Daejeon, Korea. [in Korean]
- KREI (Korea Rural Economic Institute). 2013. A study on the current status and performance of agroforestry system in Korea. Korea Rural Economic Institute Report, Naju, Korea. [in Korean]
- NIMR (National Institute of Meteorological Sciences). 2011. Climate change scenario report for IPCC AR5. NIMR, Jeju, Korea. [in Korean].
- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M, Townsend PA. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34:102-117.
- Phillips SJ, Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- Song WK, Kim EY. 2012. A comparison of machine learning species distribution methods for habitat analysis of the Korea water deer (*Hydropotes inermis argyropus*). *Korean Journal of Remote Sensing* 28:171-180. [in Korean]
- Syfert MM, Smith MJ, Coomes DA. 2013. The effects of sampling bias and model complexity on the predictive performance of MaxEnt species distribution models. *PloS One* 8:e55158.
- Thuiller W. 2003. BIOMOD - Optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology* 9:1353-1362.
- Warren DL, Glor RE, Turelli M. 2010. ENMTools: A toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography* 33:607-611
- Watling JI, Romañach SS, Bucklin DN, Speroterra C, Brandt LA, Pearlstine LG, Mazzotti FJ. 2012. Do bioclimate variables improve performance of climate envelope models? *Ecological Modelling* 246:79-85
- Woodward FI. 1987. *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.