

# 한국에서 동아시아 난대 목본식물의 잠재분포 가능성 평가

## Assessment of Potential Distribution Possibility of the Warm-Temperate Woody Plants of East Asia in Korea

이철호<sup>1</sup> · 김휘래<sup>2</sup> · 조강현<sup>3</sup> · 최병기<sup>4</sup> · 이보라<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 바이오시스템융합학과 박사과정, <sup>2</sup>(주)수성엔지니어링 사원, <sup>3</sup>인하대학교 생명과학과 교수,  
<sup>4</sup>국립산림과학원 난대·아열대산림연구소 임업연구사

Cheolho Lee<sup>1</sup>, Hwirae Kim<sup>2</sup>, Kang-Hyun Cho<sup>3</sup>, Byeongki Choi<sup>4</sup>, Bora Lee<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Doctor Course, Department Biological Sciences and Bioengineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

<sup>2</sup>Staff, Soosung Engineering Co., Seoul 05836, Korea

<sup>3</sup>Professor, Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 22212, Korea

<sup>4</sup>Researcher, Warm-Temperate and Subtropical Forest Research Center, National Institute of Forest Science, Jeju 63582, Korea

Received 20 December 2022, revised 21 December 2022, accepted 21 December 2022, published online 31 December 2022

**ABSTRACT:** The prediction of changes regarding the distribution of vegetation and plant species according to climate changes is important for ecosystem management. In this study, we attempted to develop an assessment method to evaluate the possibility of the potential distribution of warm-temperate woody plant species of East Asia in Korea. To begin with, a list of warm-temperate woody plants distributed in China and Japan, but not in Korea, was prepared, and a database consisting their global distribution and bioclimatic variables was constructed. In addition, the warm-temperate vegetation zone in Korea was delineated using the coldness index and relevant bioclimatic data were collected. After the exclusion of multicollinearity among bioclimatic variables using correlation analysis, mean temperature of the coldest quarter, mean temperature diurnal range, and annual precipitation were selected as the major variables that influence the distribution of warm-temperate plants. A multivariate environment similarity surfaces (MESS) analysis was conducted to calculate the similarity scores between the distribution of these three bioclimatic variables in the global distribution sites of the East Asian warm-temperate woody plants and the Korean warm-temperate vegetation zone. Finally, using stepwise variable-selection regression, the mean temperature of the coldest quarter and annual precipitation were selected as the main bioclimatic variables that affect the MESS similarity index. The mean temperature of the coldest quarter accounted for 88% of the total variance. For a total of 319 East Asian warm-temperate woody plant species, the possibility of their potential distribution in Korea was evaluated by applying the constructed multivariate regression model that calculates the MESS similarity index.

**KEYWORDS:** Bioclimatic factor, Climate change, Multicollinearity, Multivariate environmental similarity surfaces, Variable selection

**요 약:** 기후변화에 따라서 식생과 식물종의 분포 변화를 예측하는 것이 생태계 관리에서 중요하다. 본 연구에서는 동아시아의 난대 목본식물종의 한반도 분포 가능성을 체계적으로 평가할 수 있는 방안을 개발하고자 하였다. 먼저 중국과 일본에서는 분포하지만 한국에는 분포하지 않은 난대 목본식물종의 목록을 수집하고 그들의 전지구적 분포와 생물기후 자료를 수집하였다. 또한 한국의 난대식생대를 한랭지수를 이용하여 구분하고 이 지역의 기후 정보를 수집하였다. 기후 변수들 사이의 상관분석으로 다중공선성을 배제하고 분포에 영향을 미치는 기후변수로서 최한사분기 평균기온, 평균온도일교차 및 연강수량이 선택되었다. 동아시아 난대 목본식물종의 분포지와 한국 난대식생대의 3가지 기후 변수 사이의 유사도를 산출하기 위하여 다변량 환경 유사도 표면 (MESS)

\*Corresponding author: boralee7208@korea.kr, ORCID 0000-0002-6554-2252

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

분석을 실시하였다. 최종적으로 단계적 변수선택 회귀로 MESS 유사도 지수에 영향을 미치는 주요 기후변수로서 최한사분기 평균기온과 연강수량을 선별하였다. 선택된 2 변수로 구성된 다변량 일차회귀에서 최한사분기 평균기온이 전체 변이의 88%를 차지하였다. 총 319 동아시아 난대 목본식물종에 대하여 MESS 유사도 지수를 산출하는 구축된 다변량 회귀식을 적용하여 이들이 한국에 잠재분포 할 가능성을 평가할 수 있었다.

**핵심어:** 생물기후 요인, 기후변화, 다중공선성, 다변량 환경 유사도 표면, 변수선택

## 1. 서 론

온실가스 배출량 증가로 인한 지구적 기후변화로 기후대가 고위도로 이동하고 식물 생육기간이 2일/10년 이 증가하였다 (IPCC 2021). 한반도에서도 1912년부터 2020년까지 연평균기온이 0.2°C/10년 상승하였고 연강수량이 17.7 mm/10년 증가하였다 (KMA 2021). 이러한 기후변화에 따라 전지구적 생물종 및 식생분포대가 변화하고 있으며 (WWF 2015), 특히 한국의 난대 식생대가 확장되고 국내 분포하지 않는 난아열대 식물이 점차 유입, 정착할 수 있을 것으로 예측되고 있다 (NIFS 2021, NIFS 2022).

기후변화에 따른 난대식생대와 난아열대 식물종의 분포 변화를 예측하기 위하여 일반적으로 일반화 가법 모형, Maxent 등의 다양한 종 분포 모형이 활용되고 있다 (Cho and Lee 2015, NIFS 2021, NIFS 2022). 이러한 종 분포 모형은 한 생물종에 대하여 특화된 예측 모형을 만들기는 쉽지만 여러 종에 동시에 적용할 수 있는 일반적인 모형을 만들기 적합하지 않을 뿐만 아니라 구축된 모형을 다른 목적으로 재이용하기 하기가 어렵다 (Elith and Leathwick 2009, Santini et al. 2021). 최근 종 분포 모형의 한계를 보완하기 위하여 다변량 환경 유사도 표면 (multivariate environmental similarity surfaces, MESS)을 통한 유사도 방법이 활용되고 있다 (Elith et al. 2010). MESS는 다차원 공간에서 두 집단 의 변수들 사이에 얼마나 유사한지 나타내는 지표로서 음수와 양수를 모두 포함하는 그 값이 클수록 두 지역의 환경이 유사하다는 것을 나타낸다 (Elith et al. 2010). 이 분석법은 유사/비유사의 기준이 명확하고, 전체 공간 분포 정보를 동시에 고려하기 때문에 유사도를 추정하는데 강점이 있으며, 많은 대상 종에 대하여 간단한 모형으로서 적용할 수 있는 범용성이 큰 장점을 가지고 있다 (Owens et al. 2013, Mesgaran et al. 2014). 따라서 기후변화에 따라서 다수의 동아시아 난대 식물종이

한국에 분포할 가능성을 평가하는데 MESS가 유용할 것으로 판단된다.

본 연구의 목적은 동아시아 중국과 일본에 분포하지만 한국에 유입되지 않은 난대 목본식물이 한반도에 잠재적으로 분포할 가능성을 평가하기 위하여, 1) 기후 요인 중 난대 목본식물종의 분포 결정 요인을 추출하고, 2) MESS를 이용하여 동아시아의 난대 목본식물종의 전지구적 분포지와 한국 난대식생대의 기후변수 유사도를 추정하며, 3) 이를 종합하여 동아시아 난대 목본식물종의 한국의 잠재분포 가능성을 평가하는 체계를 구축하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

한국에서는 분포하지 않고 있으나 지리적으로 가까이 이입 가능성이 높은 난대 목본식물종을 동아시아인 중국과 일본에서 수집하여 목록을 구축하였다. 중국의 난대 식물종은 Wang et al. (2018)에서 난대 식물로 구분되는 종을, 일본의 난대 식물종은 NIFS (2012)의 난대 식물 목록에서 수집하였다. 이들 목본식물 중에서 한국에 분포하거나 식재된 식물종은 제외하였다. 수집된 종은 WFO (2022)에 따라서 분류학적 실체를 검증하고 학명을 정리하였다. 수집된 난대 목본식물종의 분포 정보는 GBIF (2022)에서 점 분포 자료로 수집하였다. 수집할 때 식재 등에 의한 인위적 분포와 과거 화석 표본 자료는 제외하였다.

본 연구에서는 동아시아 난대 목본식물종이 한국에 분포할 수 있는 가능성을 평가할 수 있는 요인으로서 기후만을 고려하였다. 따라서 기후요인에 의하여 이들 식물이 한반도에서 먼저 정착할 수 있는 지역을 난대 식생 기후대로 가정하였다. 난대식생대는 한랭지수 (coldness index)를 계산하여 한랭지수가 -10°C보다 큰 지역으로 정의하였다 (Kira 1945, Yim and Kira 1975, Kira 1991). 한랭지수는 Worldclim (2022)에서 2.5' × 2.5' 해

상도로서 현재 월평균기온 자료를 활용하여 QGIS.org (2022)의 격자 계산기에서 계산하였다.

난대 목본식물종의 분포에 영향을 미치는 기후 자료는 Worldclim (2022)에서 제공하는 19개의 생물기후 자료를 이용하였다. 이 기후 자료를 한국의 난대식생대 격자와 선정된 난대식물종의 한반도를 제외한 전지구적 분포 격자에서 추출하였다. 이들 생물기후 변수 간 관계 및 한반도 난대식생대와 난대식물종별 분포지의 관계를 파악하기 위하여 R 환경 (R Core Team 2022)에서 ‘vegan’ 패키지의 ‘rda’ 함수를 이용하여 주성분 분석 (principal component analysis, PCA)를 실시하였다 (Oksanen et al. 2022).

중국과 일본에 분포하지만 아직 국내에 분포하지 않는 난대 목본식물의 한국에 잠재분포 가능성을 평가하기 위하여, 이들 식물종의 분포에 영향을 미치는 주요 기후 변수를 선별한 후 다변량 회귀분석을 R 환경 (R Core Team 2022)에서 수행하였다. 회귀 분석에서 기후 변수의 다중공선성 (multicollinearity)을 해소하기 위하여 ‘cor.test’ 함수를 이용하여 변수간 Pearson 상관분석을 실시하였다. 상관분석 결과에서 상관계수가 0.75 이상이거나 -0.75 이하인 기후변수를 상관계수의 절대값 총합이 가장 큰 변수만 남기고 제거하였다 (Padalia et al. 2014, Negrini et al. 2020). 한국의 난대식생대 기후 환경과 동아시아 난대 식물 분포지의 기후 환경 사이의 유사도를 추정하기 위하여 다변량 환경 유사도 표면 (multivariate environmental similarity surfaces, MESS) 분석을 수행하였다. 한국 난대식생대 격자와 동아시아 난대 식물 종별 분포 격자에서 선정된 기후 변수 사이에 MESS를 ‘modEvA’ 패키지의 ‘MESS’ 함수를 이용하여 계산하였다 (Barbosa et al. 2013).

MESS로 산출된 환경 유사도 지수는 양의 값으로 클수록 두 지역의 환경이 더욱 유사하며, 음의 값으로 적을수록 환경이 더욱 큰 차이가 있으며, 0이면 최소로 환경 범위가 겹친다는 것을 의미한다 (Elith et al. 2010). 동아시아 난대 목본식물종의 한국 난대식생대에서의 잠재분포 가능성을 평가하는 체계를 구축하기 위하여 MESS 환경 유사도 지수를 종속변수로 하고 선정된 기후 변수를 독립변수로 하여 ‘lm’ 함수 및 ‘step’ 함수를 이용하여 단계적 변수선택 회귀분석을 실시하였다. 이때 모형에서 독립변수의 상대적 중요도는 ‘asbio’ 패키지의 ‘partial.R2’ 함수를 이용하여 부분  $R^2$ 로 추정하였다 (Aho 2022). 최종적으로 각 난대 목본식물종의 분포지에서 기후 변수 평균 값을 모형에 입력하여 환경 유사도를 산출하여 잠재분석 가능성을 평가하였다.

### 3. 결과 및 고찰

현재 한국에서는 분포하지 않지만 우리나라에 이입되어 생육이 가능할 수 있는 동아시아의 난대 목본식물종을 수집한 결과, 중국 342 종과 일본 49 종이었고 두 국가에서 공통으로 나타나는 종이 7 종으로서 연구대상 후보종이 총 384 종이었다. GBIF (2022)에서 수집한 이들 후보종의 분포지는 총 84,549 개소이었다. 분포지 수가 10 개보다 적은 65 종은 신뢰성 확보가 어렵다고 판단하여 연구대상에서 제외하여 총 319 종을 본 연구에 이용하였다 (Appendix 1). 선정된 동아시아 난대 목본식물종의 분포지는 아시아에서는 적도를 포함한 저위도 지역에 특히 남반구에서 위도 높은 지역까지 분포하였다 (Fig. 1). 아프리카와 남미에서는 내륙 열대 기후대보다는 해안을 따라서 다소 위도가 높은 곳에 분

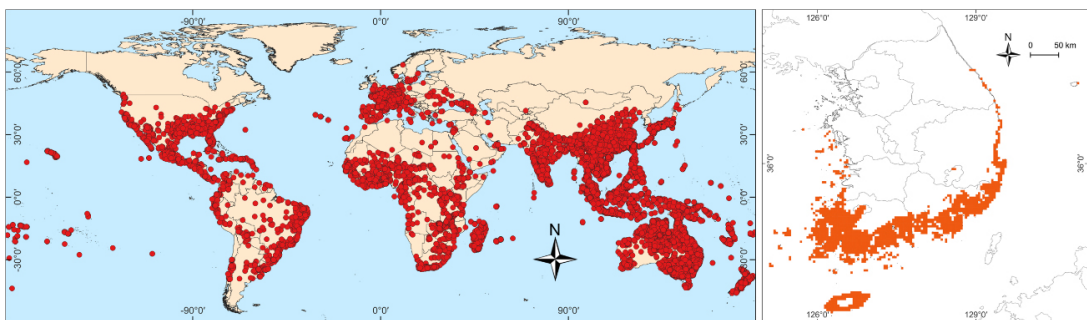
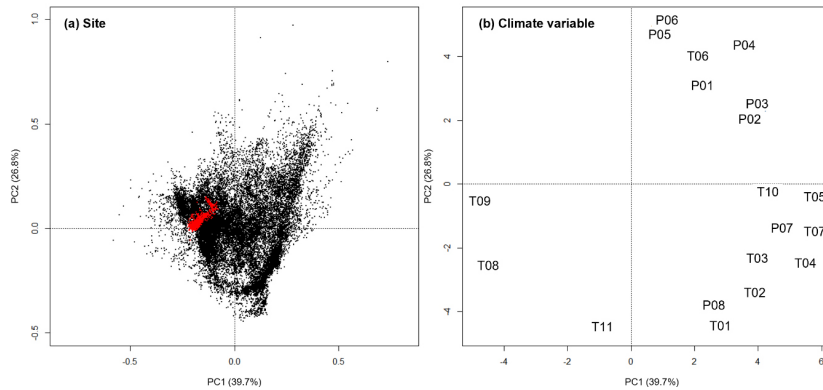


Fig. 1. A map showing the global distribution of warm-temperate woody plants distributed in China and Japan not in Korea (left) and the warm temperate vegetation zone of Korea according to the coldness index (Kira 1991) (right).



**Fig. 2.** Biplots of principal components analysis (PCA) of climates in the distribution sites of warm-temperate woody plants of East Asia (black dot) and in the warm-temperate vegetation zone of Korea (red dot) (T01 = max temperature of warmest month, T02 = mean temperature of warmest quarter, T03 = mean temperature of wettest quarter, T04 = annual mean temperature, T05 = min temperature of coldest month, T06 = mean temperature of driest quarter, T07 = mean temperature of coldest quarter, T08 = temperature annual range, T09 = temperature seasonality, T10 = temperature isothermality, T11 = mean temperature diurnal range, P01 = precipitation of warmest quarter, P02 = precipitation of wettest month, P03 = precipitation of wettest quarter, P04 = annual precipitation, P05 = precipitation of driest month, P06 = precipitation of driest quarter, P07 = precipitation of coldest quarter, P08 = precipitation seasonality).

포하였다. 북미와 유럽에서는 아시아보다는 위도가 높은 곳에 분포하고 있었다. 한편 한랭지수가  $-10^{\circ}\text{C}$ 보다 큰 난대식생대는 제주 해안 그리고 한반도의 남쪽에 특히 해안을 따라서는 위도가 보다 높은 곳에 위치하였다 (Fig. 1).

선정된 동아시아 난대 목본식물종 분포지와 한국 난대식생대의 19개 생물기후 변수를 이용한 PCA에서 1축과 2축이 전체변이의 각각 39.7%와 26.8%를 차지하였다 (Fig. 2). 장소의 배열에서 한국 난대식생대 지소가 동아시아 난대 목본식물종 분포지의 왼쪽에 좁게 포함되어 있었다. 한편 기후변수의 배열에서 대부분의 온도 관련 변수 (T01 - T11)은 제1축의 양끝에, 강수량 관련 변수 (P01 - P08)은 제2축 양끝에 위치하였다. 따라서 온도 관련 변수 집단과 강수량 관련 변수 집단이 각각 서로 강하게 관련되어 있다는 것을 알 수 있었다. 이에 따라서 기후변수의 다중공선성을 해소하기 위한 상관분석에서 T11 (평균온도일교차)을 제외한 모든 온도 관련 변수 (T01 - T10)가 높은 상호 상관을 가졌다 (Table 1의 황색 음영). 또한 강수량 관련 모든 변수 (P01 - P08)가 서로 깊은 상관을 가졌다 (Table 1의 청색 음영). 상호 상관관계를 갖는 변수군에서 다른 변수와의 상관계수 합이 가장 큰 변수를 대표 변수로 선정하였는데, T01 - T10 변수군에서는 T07 (최한 사분기 평균기온)을 P01 - P08 변수군에서는 P04 (연강수량)이 선택하였다.

난대 목본식물종 별 분포지 및 한국 난대식생대의 공간 격자에서 선정된 기후 변수인 T07, T11 및 P04에 의한 MESS 분석에서 유사도 지수는  $-604 - 69$ 의 범위이었다. 이 유사도 지수에 영향을 미치는 주요 기후변수를 선별하기 위하여 단계적 변수선택 회귀분석을 실시한 결과 최종적으로 T07과 P04가 선별되었다 (Table 2). 선정된 변수의 설명력은 T07이 88.3%와 P04이 2.7%이었다 (Table 2). 따라서 난대 목본식물종 분포에는 최한 사분기 평균기온이 가장 중요한 기후요인을 알 수 있었다. 분포의 유사도 지수 설명하는 회귀식은  $y = 56.759 - 12.8116 \cdot T07 - 0.0073 \cdot P04$ 로 추정되었다. 이 회귀식에 각 동아시아 난대 목본식물종 분포지의 평균 T07 및 P04를 입력하여 산출된 MESS 유사도 지수에서 0 이상이 4종이었고 나머지는 모두 음수로 나타났다 (Table 3 및 Appendix 1). 한국 난대식생대에 분포할 가능성이 가장 높은 종은 *Lyonia villosa*, *Zanthoxylum bungeanum*, *Rhamnus globosa*, *Meliosma cuneifoliad* 이었고, 유사도 지수가 음수로서 비교적 높은 종은 *Symplocos myrtacea*, *Celastrus hypoleucus*, *Wisteria sinensis*, *Rubus ichangensis*, *Smilax glaucochina*, *Elaeagnus henryi*이었다.

이상의 결과에서 본 연구에서, 중국과 일본에 분포하는 난대 식물의 한국 난대식생대에 잠재적으로 분포할 가능성을 평가하기 위하여, 생물기후 환경변수를 상관분석을 실시하여 다중공선성을 배제하여 주요 환경변

**Table 1.** Pearson's correlation coefficients between climate variables. Italic numerals indicate the significance at  $\alpha = 0.01$  and bold numerals indicate values greater than 0.75 as an absolute value. Shading of the same color indicates groups of variables that are strongly correlated with each other. Abbreviations refer to Fig. 2

	T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08
T01	<b>1</b>																		
T02	<b>0.94</b>	<b>1</b>																	
T03	<b>0.75</b>	<b>0.83</b>	<b>1</b>																
T04	<b>0.77</b>	<b>0.86</b>	<b>0.79</b>	<b>1</b>															
T05	<b>0.44</b>	<b>0.58</b>	<b>0.75</b>	<b>0.89</b>	<b>1</b>														
T06	<b>0.50</b>	<b>0.52</b>	<b>0.31</b>	<b>0.78</b>	<b>0.84</b>	<b>1</b>													
T07	<b>0.57</b>	<b>0.67</b>	<b>0.65</b>	<b>0.95</b>	<b>0.97</b>	<b>0.85</b>	<b>1</b>												
T08	<b>0.19</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.15</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.75</b>	<b>-0.75</b>	<b>1</b>											
T09	<b>-0.06</b>	<b>-0.15</b>	<b>-0.25</b>	<b>-0.63</b>	<b>-0.86</b>	<b>-0.75</b>	<b>-0.83</b>	<b>0.90</b>	<b>1</b>										
T10	<b>0.18</b>	<b>0.19</b>	<b>0.27</b>	<b>0.60</b>	<b>0.76</b>	<b>0.75</b>	<b>0.77</b>	<b>-0.76</b>	<b>-0.88</b>	<b>1</b>									
T11	<b>0.50</b>	<b>0.22</b>	<b>0.10</b>	<b>0.15</b>	<b>-0.15</b>	<b>0.12</b>	<b>0.07</b>	<b>0.49</b>	<b>0.08</b>	<b>0.19</b>	<b>1</b>								
P01	<b>-0.17</b>	<b>0.07</b>	<b>0.32</b>	<b>0.12</b>	<b>0.18</b>	<b>-0.11</b>	<b>0.11</b>	<b>-0.31</b>	<b>-0.09</b>	<b>-0.05</b>	<b>-0.53</b>	<b>1</b>							
P02	<b>0.05</b>	<b>0.24</b>	<b>0.37</b>	<b>0.36</b>	<b>0.41</b>	<b>0.19</b>	<b>0.37</b>	<b>-0.42</b>	<b>-0.32</b>	<b>0.15</b>	<b>-0.42</b>	<b>0.75</b>	<b>1</b>						
P03	<b>0.03</b>	<b>0.23</b>	<b>0.38</b>	<b>0.36</b>	<b>0.43</b>	<b>0.19</b>	<b>0.39</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.34</b>	<b>0.16</b>	<b>-0.46</b>	<b>0.76</b>	<b>0.99</b>	<b>1</b>					
P04	<b>-0.17</b>	<b>0.07</b>	<b>0.23</b>	<b>0.23</b>	<b>0.41</b>	<b>0.14</b>	<b>0.30</b>	<b>-0.56</b>	<b>-0.35</b>	<b>0.23</b>	<b>-0.61</b>	<b>0.78</b>	<b>0.82</b>	<b>0.86</b>	<b>1</b>				
P05	<b>-0.32</b>	<b>-0.19</b>	<b>-0.13</b>	<b>-0.09</b>	<b>0.12</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.34</b>	<b>-0.14</b>	<b>0.18</b>	<b>-0.44</b>	<b>0.32</b>	<b>0.15</b>	<b>0.19</b>	<b>0.77</b>	<b>1</b>			
P06	<b>-0.32</b>	<b>-0.19</b>	<b>-0.13</b>	<b>-0.09</b>	<b>0.13</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.36</b>	<b>-0.15</b>	<b>0.19</b>	<b>-0.46</b>	<b>0.34</b>	<b>0.17</b>	<b>0.21</b>	<b>0.77</b>	<b>0.99</b>	<b>1</b>		
P07	<b>-0.20</b>	<b>-0.1</b>	<b>-0.11</b>	<b>0.06</b>	<b>0.29</b>	<b>0.23</b>	<b>0.18</b>	<b>-0.45</b>	<b>-0.31</b>	<b>0.34</b>	<b>-0.37</b>	<b>0.14</b>	<b>0.31</b>	<b>0.33</b>	<b>0.75</b>	<b>0.91</b>	<b>0.85</b>	<b>1</b>	
P08	<b>0.55</b>	<b>0.56</b>	<b>0.57</b>	<b>0.56</b>	<b>0.34</b>	<b>0.29</b>	<b>0.47</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.21</b>	<b>0.13</b>	<b>0.28</b>	<b>0.12</b>	<b>0.38</b>	<b>0.36</b>	<b>-0.41</b>	<b>-0.82</b>	<b>-0.82</b>	<b>-0.75</b>	<b>1</b>

**Table 2.** Results of a stepwise regression ( $R^2 = 0.89$ ,  $p < 0.001$ ) estimating the multivariate environmental similarity surfaces (MESS) scores of the distribution of warm-temperate woody plants of East Asia in the warm-temperate vegetation zone of Korea according to major climate variables ( $n=25,016$ )

Climate variable	Coefficient	SE	<i>t</i>	<i>p</i>	Partial $R^2$
Intercept	56.7579	0.5139	110.450	<0.001	-
Mean temperature of coldest quarter (T07)	-12.8116	0.0294	-435.360	<0.001	0.8834
Annual precipitation (P04)	-0.0073	0.0003	-26.620	<0.001	0.0275

**Table 3.** List of warm-temperate woody plants of East Asia by the ranges of the scores from the multivariate environmental similarity surfaces (MESS) of mean temperature of the coldest quarter and annual precipitation between their distribution sites and the warm temperate vegetation zone of Korea. The score indicates the possibility of potential distribution of warm-temperate woody plants of East Asia in Korea

Score range	Species	No. of sp.
10 - 20	<i>Lyonia villosa</i> , <i>Zanthoxylum bungeanum</i> ,	2
0 - 10	<i>Rhamnus globosa</i> , <i>Meliosma cuneifolia</i>	2
-10 - 0	<i>Symplocos myrtacea</i>	1
-20 - -10	<i>Celastrus hypoleucus</i> , <i>Wisteria sinensis</i>	2
-30 - -20	<i>Rubus ichangensis</i> , <i>Smilax glaucochina</i> , <i>Elaeagnus henryi</i>	3
-40 - -30	<i>Ulmus changii</i> , <i>Smilax menispermoides</i> , <i>Rhamnus leptophylla</i> , <i>Rubus irenaeus</i> , <i>Celastrus gemmatus</i> , <i>Sageretia henryi</i> , <i>Litsea coreana var. sinensis</i> , <i>Rubus malifolius</i> , <i>Symplocos dryophila</i> , <i>Acer campbellii</i> , <i>Smilax polycolea</i> , <i>Eurya alata</i> , <i>Gaultheria griffithiana</i> , <i>Laurocerasus spinulosa</i>	14



Table 3. Continued

Score range	Species	No. of sp.
-50 - -40	<i>Ilex corallina</i> , <i>Macropanax rosthornii</i> , <i>Lyonia ovalifolia</i> , <i>Osmanthus cooperi</i> , <i>Phyllostachys heteroclada</i> , <i>Osteomeles schwerinae</i> , <i>Pleioblastus amarus</i> , <i>Phoebe hunanensis</i> , <i>Styrax calvescens</i> , <i>Euonymus dielsianus</i> , <i>Castanopsis sclerophylla</i> , <i>Vaccinium mandarinorum</i> , <i>Viburnum brachybotryum</i> , <i>Acer coriaceifolium</i> , <i>Parthenocissus laetevirens</i> , <i>Camellia pitardii</i> , <i>Neolitsea aurata</i> var. <i>chekiangensis</i> , <i>Craibiodendron yunnanense</i> , <i>Trachelospermum axillare</i> , <i>Clerodendrum mandarinorum</i>	20
-290 - -50	Not listed (Shown in Appendix 1)	275
	Total	319

수로서 최한사분기 평균기온 (T07), 평균온도일교차 (T11) 및 연강수량 (P04)를 선별할 수 있었다. 또한 MESS 분석법을 산출한 한국 난대식생대와 각종별 분포지의 기후변수 유사도 지수에 영향을 미치는 기후변수 중에서 선택적 변수선택 회귀분석으로 최한사분기 평균기온 (T07)과 연강수량 (P04)을 선정하였다. 이 두 변수로 구성된 유사도 지수를 구할 수 있는 다중회귀식을 도출함으로써 동남아 난대 목본식물의 한국의 잠재 분포 가능성을 평가할 수 있는 새로운 방법이 이 연구에서 제안할 수 있었다. 이 평가방법을 이용한다면 기후변화에 따라서 한국에 이입하여 정착할 수 있는 난대식물종을 예측하여 외래종 및 생태계 관리 대책을 수립할 수 있고, 적극적으로는 변화된 환경에서 생육이 적합한 식재종을 선별하는데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국립산림과학원 난대·아열대연구소 ‘도서 해안지역 탄소흡수원 확충을 위한 맹그로브 적응성 검증 및 조성기반 구축 연구’ (과제번호 FE0100-2022-04-2022)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Aho, K. 2022. asbio: A collection of statistical tools for biologists, R package version 1.8-3. <https://CRAN.R-project.org/package=asbio>. Accessed 4 December 2022.
- Barbosa, A.M., Real, R., Munoz, A.R., and Brown, J.A. 2013. New measures for assessing model equilibrium and prediction mismatch in species distribution models. *Diversity and Distributions* 19: 1333-1338.
- Cho, K.H. and Lee, S.H. 2015. Prediction of changes in the potential distribution of a waterfront alien plant, *Paspalum distichum* var. *indutum*, under climate change in the Korean Peninsula. *Ecology and Resilient Infrastructure* 2: 206-215.
- Elith, J. and Leathwick, J.R. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 40: 677-697.
- Elith, J., Kearney, M. and Phillips, S. 2010. The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution* 1: 330-342.
- GBIF. 2022. Free and open access to biodiversity data. Global Biodiversity Information Facility Secretariat. <https://www.gbif.org>. Accessed 24 April 2021.
- IPCC. 2021. Climate change 2021: The physical science basis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- Kira, T. 1945. A new classification of climate in eastern Asia as the basis for agricultural geography. Horticultural Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan. (In Japanese)
- Kira, T. 1991. Forest ecosystems of east and southeast Asia in a global perspective. *Ecological Research* 6(2): 185-200.
- KMA. 2021. Korea's 109 climate change analysis report. Korea Meteorological Administration, Seoul, South Korea. (in Korean)
- Mesgaran, M.B., Cousens, R.D. and Webber, B.L. 2014. Here be dragons: a tool for quantifying novelty due to covariate range and correlation change when projecting species distribution models. *Diversity and Distributions* 20: 1147-1159.
- Negrini, M., Fidelis, E.G., Picanço, M.C. and Ramos, R.S. 2020. Mapping of the *Stenotarsonemus spinki* invasion risk in suitable areas for rice (*Oryza sativa*) cultivation using MaxEnt. *Experimental and Applied Acarology* 80: 445-461.
- NIFS. 2012. Impact assessment and monitoring for terrestrial ecosystem to climate change on Juju Island. National Institute of Forest Science, Seoul, South Korea. (In Korean)
- NIFS. 2021. Analysis of potential distribution area of subtropical forest life resources in response to climate change. National Institute of Forest Science, Seoul, South Korea. (in Korean)

- NIFS. 2022. Analysis and prediction of potential growth sites of Mangroves in Korea. National Institute of Forest Science, Seoul, South Korea. (in Korean)
- Oksanen, J., Simpson, G., Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., ... and Weedon, J. 2022. Vegan: Community ecology package, R package, version 2.6-2. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Owens, H.L., Campbell, L.P., Dornak, L.L., Saupe, E.E., Barve, N., Soberon, J., Ingenloff, K., Lira-Noriega, A., Hensz, C.M., Myers, C.E., and Peterson, A.T. 2013. Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. *Ecological Modelling* 263: 10-18.
- Padalia, H., Srivastava, V., and Kushwaha, S.P.S. 2014. Modeling potential invasion range of alien invasive species, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. in India: Comparison of MaxEnt and GARP. *Ecological Informatics* 22: 36-43.
- QGIS.org. 2022. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>. Accessed 20 June 2022.
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Santini, L., Benítez-López, A., Maiorano, L., Čengić, M. and Huijbregts, M.A. 2021. Assessing the reliability of species distribution projections in climate change research. *Diversity and Distributions* 27: 1035-1050.
- Wang, H., Harrison, S.P., Prentice, I.C., Yang, Y., Bai, F., Togashi, H.F., Wang, M., Zhou, S., and Ni, J. 2018. The China plant trait database: Toward a comprehensive regional compilation of functional traits for land plants. *Ecology* 99: 500.
- WFO. 2022. An online flora of all known plants. World Flora Online. <http://www.worldfloraonline.org>. Accessed 4 April 2022.
- WorldClim. 2022. Global climate data. WorldClim. <https://www.worldclim.org>. Accessed 1 November 2022.
- WWF. 2015. Impact of climate change on species. World Wide Fund for Nature, Geneva, Switzerland.
- Yim, Y.J. and Kira, T. 1975. Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula. I. Distribution of some indices of thermal climate. *Japanese Journal of Ecology* 25(2): 77-88.

**Appendix 1.** Major climate variables and score indicating the potential distribution possibility estimated by the climate in the warm-temperate vegetation zone of Korea for warm-temperate plants distributed in East Asia not in Korea (mean±SD)

Species	n	Mean temperature of coldest quarter (°C)	Annual precipitation (mm)	Score
<i>Lyonia villosa</i>	71	2.7±5.2	939±291	15.3
<i>Zanthoxylum bungeanum</i>	148	2.8±4.5	914±336	14.2
<i>Rhamnus globosa</i>	56	3.5±4.2	1117±358	3.8
<i>Meliosma cuneifolia</i>	95	3.6±3.6	1012±275	3.3
<i>Symplocos myrtaea</i>	162	3.5±2.3	2474±507	-6.1
<i>Celastrus hypoleucus</i>	34	4.7±4.6	1184±373	-12.1
<i>Wisteria sinensis</i>	5234	5.3±2.7	866±256	-17.5
<i>Rubus ichangensis</i>	65	5.6±2.4	1247±213	-24.1
<i>Smilax glaucocochina</i>	90	5.9±2.5	1348±294	-28.7
<i>Elaeagnus henryi</i>	60	6.0±2.6	1305±254	-29.6
<i>Ulmus changii</i>	12	6.0±2.3	1384±364	-30.2
<i>Smilax menispermoides</i>	145	5.8±4.6	1770±989	-30.5
<i>Rhamnus leptophylla</i>	161	6.1±3.1	1249±281	-30.5
<i>Rubus irenaeus</i>	59	6.1±1.9	1378±200	-31.4
<i>Celastrus gemmatus</i>	110	6.3±2.9	1296±332	-33.4
<i>Sageretia henryi</i>	46	6.4±2.5	1281±211	-34.6
<i>Litsea coreana</i> var. <i>sinensis</i>	29	6.4±1.5	1470±189	-36.0
<i>Rubus malifolius</i>	54	6.5±3.5	1309±265	-36.1
<i>Symplocos dryophila</i>	50	6.6±5.6	1142±287	-36.1
<i>Acer campbellii</i>	37	6.7±5.0	1221±309	-38.0
<i>Smilax polycolea</i>	48	6.8±3.1	1235±272	-39.4
<i>Eurya alata</i>	73	6.7±2.1	1435±205	-39.5
<i>Gaultheria griffithiana</i>	54	6.9±4.9	1113±309	-39.8
<i>Laurocerasus spinulosa</i>	158	6.5±2.5	1818±424	-39.8
<i>Ilex corallina</i>	89	6.9±2.8	1184±253	-40.3
<i>Macropanax rosthornii</i>	50	6.8±2.6	1407±288	-40.6
<i>Lyonia ovalifolia</i>	613	6.5±4.2	2011±896	-41.2
<i>Osmanthus cooperi</i>	16	6.8±1.7	1494±231	-41.3
<i>Phyllostachys heteroclada</i>	15	6.9±3.0	1500±200	-42.6
<i>Osteomeles schwerinae</i>	63	7.3±4.6	836±208	-42.9
<i>Pleioblastus amarus</i>	25	7.1±2.4	1336±204	-44.0
<i>Phoebe humanensis</i>	36	7.1±2.5	1480±131	-45.0
<i>Styrax calvescens</i>	21	7.1±2.1	1478±207	-45.0
<i>Euonymus dielsianus</i>	94	7.2±2.8	1331±222	-45.2
<i>Castanopsis sclerophylla</i>	145	7.2±2.4	1498±224	-46.4
<i>Vaccinium mandarinorum</i>	96	7.3±3.1	1386±290	-46.9
<i>Viburnum brachybotryum</i>	93	7.4±3.0	1326±227	-47.7
<i>Acer coriaceifolium</i>	12	7.4±1.7	1329±184	-47.7
<i>Parthenocissus laetevirens</i>	32	7.4±3.2	1405±330	-48.3
<i>Camellia pitardii</i>	68	7.5±2.4	1239±263	-48.4
<i>Neolitsea aurata</i> var. <i>chekiangensis</i>	24	7.4±2.6	1453±322	-48.6
<i>Craibiodendron yunnanense</i>	28	7.6±4.7	1178±345	-49.2
<i>Trachelospermum axillare</i>	126	7.5±4.0	1386±297	-49.4
<i>Clerodendrum mandarinorum</i>	88	7.5±3.1	1427±202	-49.7
<i>Phoebe sheareri</i>	139	7.5±2.2	1532±189	-50.5
<i>Euonymus vagans</i>	59	7.7±5.0	1215±352	-50.8
<i>Rosa cymosa</i>	232	7.6±3.1	1397±326	-50.8
<i>Rubus paniculatus</i>	19	7.7±6.3	1280±432	-51.2
<i>Uncaria rhynchophylla</i>	125	7.4±3.4	1883±471	-51.8
<i>Prunus spinulosa</i>	134	7.3±4.2	2067±622	-51.8
<i>Rhododendron leptothrium</i>	30	7.9±4.5	1098±287	-52.5
<i>Zanthoxylum lechinocarpum</i>	31	7.8±2.1	1361±140	-53.1
<i>Acer cordatum</i>	77	7.8±3.0	1545±271	-54.4
<i>Photinia parvifolia</i>	165	7.8±2.6	1564±332	-54.6
<i>Illicium simonsii</i>	45	8.1±4.4	1051±326	-54.7
<i>Rosa longicuspis</i>	96	8.1±4.0	1077±281	-54.9
<i>Machilus yunnanensis</i>	21	8.3±4.3	1026±276	-57.1
<i>Symplocos ramosissima</i>	88	8.2±4.0	1344±313	-58.1



## Appendix 1. Continued

Species	n	Mean temperature of coldest quarter (°C)	Annual precipitation (mm)	Score
<i>Ilex hylonoma</i>	15	8.2±2.4	1449±164	-58.9
<i>Rhododendron mariesii</i>	208	8.1±3.6	1735±713	-59.7
<i>Litsea wilsonii</i>	36	8.4±5.4	1259±286	-60.0
<i>Hypericum uralum</i>	19	8.3±7.2	1488±705	-60.4
<i>Piper wallichii</i>	46	8.4±5.6	1408±460	-61.1
<i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>lanceolata</i>	104	8.5±4.5	1223±434	-61.1
<i>Alnus nepalensis</i>	159	8.5±4.8	1283±431	-61.5
<i>Ficus henryi</i>	79	8.5±4.2	1342±283	-61.9
<i>Lithocarpus glaber</i>	247	8.3±3.3	1755±377	-62.4
<i>Smilax ferox</i>	103	8.6±4.1	1250±286	-62.5
<i>Ormosia henryi</i>	37	8.5±2.6	1543±181	-63.4
<i>Cinnamomum appelianum</i>	42	8.6±2.5	1488±229	-64.3
<i>Rhododendron ovatum</i>	200	8.4±2.9	1855±565	-64.4
<i>Millettia dielsiana</i>	126	8.7±3.9	1411±292	-65.0
<i>Mahonia duclouxiana</i>	16	8.9±3.5	1100±234	-65.3
<i>Schima argentea</i>	102	8.8±3.4	1332±315	-65.7
<i>Eurya jintungensis</i>	15	8.8±3.8	1347±274	-65.8
<i>Elaeocarpus glabripetalus</i>	78	8.7±3.1	1556±188	-66.1
<i>Pistacia chinensis</i>	1655	9.0±3.6	1035±517	-66.1
<i>Vaccinium duclouxii</i>	67	9.0±3.2	1113±266	-66.7
<i>Laurocerasus zippelliana</i>	107	8.6±3.2	1879±548	-67.1
<i>Tetrastigma serrulatum</i>	69	8.9±4.8	1382±799	-67.3
<i>Kadsura longipedunculata</i>	51	8.8±2.6	1553±170	-67.3
<i>Styrax odoratissimus</i>	31	8.8±3.4	1555±161	-67.3
<i>Actinidia eriantha</i>	102	8.8±2.2	1580±172	-67.5
<i>Castanopsis eyrei</i>	246	8.8±3.1	1655±356	-68.1
<i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	68	8.9±2.7	1576±144	-68.8
<i>Stauntonia chinensis</i>	22	9.0±5.7	1452±385	-69.1
<i>Symplocos lancifolia</i>	357	8.7±3.8	2047±675	-69.6
<i>Ficus samentosa</i> var. <i>henryi</i>	259	8.9±4.1	1766±709	-70.1
<i>Leucosceptrum canum</i>	57	9.1±6.0	1438±580	-70.3
<i>Symplocos stellaris</i>	356	8.7±3.4	2392±822	-72.1
<i>Rubus columellaris</i>	66	9.2±2.9	1534±172	-72.3
<i>Rhododendron microphyton</i>	77	9.4±4.1	1205±310	-72.5
<i>Isodon amethystoides</i>	15	9.2±4.5	2027±915	-75.9
<i>Sloanea sinensis</i>	141	9.5±3.6	1557±265	-76.3
<i>Jasminum lanceolaria</i>	248	9.5±4.6	1585±458	-76.5
<i>Ampelopsis grossedentata</i>	93	9.6±2.9	1541±198	-77.5
<i>Symplocos heishanensis</i>	142	9.1±2.9	2627±637	-79.0
<i>Lindera aggregata</i>	236	9.6±3.9	1804±476	-79.4
<i>Ficus pandurata</i>	85	9.8±3.5	1561±219	-80.2
<i>Meliosma rigida</i>	195	9.3±4.0	2465±539	-80.4
<i>Tetrastigma hemsleyanum</i>	126	9.8±3.5	1830±601	-82.1
<i>Premna microphylla</i>	268	9.7±4.1	2158±751	-83.3
<i>Aucuba chlorascens</i>	14	10.2±4.8	1372±349	-83.9
<i>Symplocos anomala</i>	221	9.9±5.8	1890±743	-83.9
<i>Alangium chinense</i>	358	10.2±6.3	1458±473	-84.6
<i>Embelia vestita</i>	44	10.2±5.9	1473±631	-84.7
<i>Choerospondias axillaris</i>	127	10.2±4.4	1474±281	-84.7
<i>Tarenna mollissima</i>	96	10.2±3.4	1617±213	-85.7
<i>Piper hancei</i>	73	10.3±4.2	1602±263	-86.9
<i>Camellia cordifolia</i>	52	10.3±2.2	1606±148	-86.9
<i>Castanopsis fargesii</i>	258	10.2±3.4	1799±449	-87.0
<i>Symplocos sumuntia</i>	182	10.2±5.6	1787±747	-87.0
<i>Smilax glabra</i>	237	10.3±4.2	1713±533	-87.7
<i>Callicarpa rubella</i>	259	10.6±4.3	1578±473	-90.6
<i>Castanopsis fordii</i>	71	10.6±2.5	1619±147	-90.9
<i>Lithocarpus hancei</i>	226	10.5±3.9	1861±720	-91.3
<i>Syzygium austrosinense</i>	15	10.7±3.7	1544±194	-91.6
<i>Dalbergia hancei</i>	119	10.7±3.9	1581±270	-91.9

## Appendix 1. Continued

Species	n	Mean temperature of coldest quarter (°C)	Annual precipitation (mm)	Score
<i>Ardisia hanceana</i>	42	10.8±4.1	1656±207	-93.7
<i>Coptosapelta diffusa</i>	173	10.7±3.5	1907±575	-94.2
<i>Tarenna depauperata</i>	26	11.0±2.4	1516±193	-95.2
<i>Eurya loquaiana</i>	873	10.4±3.4	2644±768	-95.8
<i>Dodonaea viscosa</i>	9246	11.5±3.7	828±511	-96.6
<i>Machilus pauhoi</i>	37	11.0±4.1	1748±324	-96.9
<i>Litsea cubeba</i>	910	10.9±4.7	2050±670	-97.8
<i>Castanopsis chinensis</i>	41	11.2±3.2	1627±405	-98.6
<i>Rhododendron mariae</i>	50	11.3±2.3	1583±194	-99.6
<i>Olea europaea</i> subsp. <i>cuspidata</i>	3028	11.8±1.4	926±217	-101.2
<i>Castanopsis echinocarpa</i>	12	11.5±4.3	1490±312	-101.4
<i>Sabia swinhoei</i>	125	11.1±3.6	2216±747	-101.6
<i>Rubus swinhoei</i>	230	11.0±4.0	2438±765	-102.0
<i>Alchomea trewioides</i>	108	11.5±3.7	1639±310	-102.5
<i>Psychotria calocarpa</i>	26	11.6±6.6	1484±500	-102.7
<i>Actinodaphne obovata</i>	11	11.5±3.5	1742±784	-103.3
<i>Neolitsea chunii</i>	59	11.6±2.3	1664±152	-104.0
<i>Meliosma amottiana</i>	22	11.8±7.0	1369±366	-104.4
<i>Antidesma japonicum</i>	240	11.6±4.6	1717±480	-104.4
<i>Symplocos glauca</i>	384	11.1±4.0	2608±649	-104.5
<i>Prunus zippeliana</i>	109	11.4±4.3	2269±440	-105.8
<i>Alyxia sinensis</i>	66	11.8±3.1	1627±224	-106.3
<i>Boehmeria clidemioides</i>	57	11.9±7.1	1468±513	-106.4
<i>Lindera communis</i>	663	11.7±4.1	2142±852	-108.8
<i>Litsea acuminata</i>	923	11.4±3.0	2751±540	-109.4
<i>Ilex pubescens</i>	301	11.8±3.2	2109±650	-109.8
<i>Helicia cochinchinensis</i>	362	11.7±3.7	2294±664	-109.9
<i>Symplocos viridissima</i>	18	12.3±5.6	1543±244	-112.1
<i>Smilax lanceifolia</i>	343	11.8±4.0	2456±706	-112.3
<i>Ficus cyrtophylla</i>	67	12.4±4.7	1417±291	-112.4
<i>Elaeocarpus varunua</i>	17	12.4±5.8	1531±327	-113.3
<i>Celastrus hindsii</i>	142	12.2±4.3	1932±755	-113.6
<i>Castanopsis carlesii</i>	230	11.9±4.0	2451±744	-113.6
<i>Phoebe puwenensis</i>	13	12.6±6.2	1403±362	-114.9
<i>Ficus variolosa</i>	146	12.5±3.4	1690±276	-115.7
<i>Ampelopsis cantoniensis</i>	244	12.3±3.8	2101±649	-116.1
<i>Gnetum parvifolium</i>	53	12.6±3.8	1667±383	-116.8
<i>Leea compactiflora</i>	13	12.8±6.8	1450±388	-117.8
<i>Smilax hypoglauca</i>	32	12.7±2.9	1643±268	-117.9
<i>Castanopsis hystrix</i>	171	12.6±4.0	1891±546	-118.5
<i>Lindera chunii</i>	22	12.7±4.0	1752±329	-118.7
<i>Ilex viridis</i>	57	12.7±5.2	1800±435	-119.1
<i>Syzygium buxifolium</i>	462	12.4±3.6	2414±738	-119.7
<i>Myriopteron extensum</i>	14	13.0±4.0	1377±215	-119.8
<i>Diospyros morrisiana</i>	145	12.5±2.6	2315±654	-120.3
<i>Lindera megaphylla</i>	289	12.5±3.8	2462±777	-121.3
<i>Cleidion brevipetiolatum</i>	46	13.1±4.7	1419±290	-121.4
<i>Anodendron affine</i>	154	12.6±4.9	2338±567	-121.7
<i>Castanopsis fissa</i>	161	13.0±3.5	1746±292	-122.5
<i>Calamus thysanolepis</i>	15	13.1±4.0	1607±146	-122.8
<i>Camellia furfuracea</i>	41	13.0±3.7	1888±462	-123.6
<i>Fissistigma oldhamii</i>	243	12.8±3.0	2295±596	-124.0
<i>Aidia cochinchinensis</i>	213	12.9±4.6	2210±720	-124.6
<i>Toona ciliata</i>	1873	13.5±3.4	1341±394	-126.0
<i>Dioscorea cirrhosa</i>	154	13.0±4.6	2252±746	-126.2
<i>Ficus semicordata</i>	66	13.5±5.5	1461±412	-126.9
<i>Myrsine seguinii</i>	606	12.7±3.5	2883±583	-127.0
<i>Erythrophleum fordii</i>	12	13.6±5.9	1613±420	-129.2
<i>Eurya trichocarpa</i>	44	13.5±6.6	1864±560	-129.8
<i>Litsea verticillata</i>	56	13.7±4.0	1608±293	-130.5

## Appendix 1. Continued

Species	n	Mean temperature of coldest quarter (°C)	Annual precipitation (mm)	Score
<i>Eleutherococcus trifoliatus</i>	163	13.4±3.5	2265±537	-131.4
<i>Anneslea fragrans</i>	66	13.9±5.0	1439±321	-131.8
<i>Sarcosperma arboreum</i>	31	13.9±5.0	1601±1111	-133.0
<i>Randia cochinchinensis</i>	389	13.3±3.2	2838±573	-134.3
<i>Mussaenda erosa</i>	61	14.0±4.2	1627±304	-134.5
<i>Castanopsis fleuryi</i>	12	14.2±2.2	1364±228	-135.1
<i>Ardisia lindleyana</i>	43	13.9±2.3	1934±192	-135.4
<i>Mussaenda pubescens</i>	202	14.0±3.3	1903±355	-136.5
<i>Lithocarpus truncatus</i>	61	14.2±3.7	1653±333	-137.2
<i>Tetrastigma planicaule</i>	52	14.3±3.8	1615±365	-138.2
<i>Gnetum montanum</i>	62	14.5±6.3	1613±599	-140.8
<i>Symplocos racemosa</i>	70	14.5±6.9	1625±781	-140.9
<i>Machilus chinensis</i>	22	14.6±5.7	1575±206	-141.8
<i>Lasianthus fordii</i>	628	13.9±2.6	2841±549	-142.0
<i>Blastus cochinchinensis</i>	636	14.0±2.3	2768±516	-142.8
<i>Albizia lucidior</i>	14	14.7±3.6	1552±404	-142.9
<i>Eurya nitida</i>	208	14.0±5.0	2788±586	-142.9
<i>Engelhardia roxburghiana</i>	659	14.0±2.6	2867±577	-143.5
<i>Cryptocarya chinensis</i>	318	14.2±2.2	2653±606	-144.5
<i>Mallotus philippensis</i>	3158	14.9±4.4	1574±580	-145.6
<i>Tarenna attenuata</i>	35	14.9±4.5	1581±290	-145.7
<i>Lithocarpus dealbatus</i>	125	15.0±6.1	1466±618	-146.1
<i>Magnolia henryi</i>	17	15.0±3.8	1492±246	-146.3
<i>Litsea monopetala</i>	109	14.9±6.2	1675±515	-146.4
<i>Pericampylus glaucus</i>	249	14.7±5.6	2110±761	-147.0
<i>Pinus kesiya</i>	54	15.0±4.0	1619±685	-147.2
<i>Ilex asprella</i>	566	14.4±2.1	2703±575	-147.4
<i>Byttneria aspera</i>	29	15.0±2.6	1759±282	-148.2
<i>Ardisia quinqueгона</i>	593	14.5±2.3	2640±611	-148.3
<i>Bauhinia championii</i>	231	14.7±2.6	2338±542	-148.6
<i>Dasymaschalon rostratum</i>	11	15.3±5.0	1528±139	-150.4
<i>Castanopsis argyrophylla</i>	41	15.4±4.5	1563±430	-151.9
<i>Cinnamomum bejolghota</i>	78	15.3±5.7	1773±617	-152.2
<i>Rademachera sinica</i>	176	15.0±3.8	2343±722	-152.5
<i>Lasianthus curtisii</i>	95	14.8±2.9	2703±480	-152.6
<i>Fissistigma glaucescens</i>	33	15.3±4.1	1916±573	-153.2
<i>Cryptolepis buchananii</i>	56	15.5±5.0	1697±840	-154.2
<i>Sterculia lanceolata</i>	224	15.4±3.0	1904±291	-154.4
<i>Schefflera heptaphylla</i>	692	15.1±1.9	2470±495	-154.7
<i>Garcinia oblongifolia</i>	52	15.5±2.7	1834±250	-155.2
<i>Psychotria serpens</i>	562	15.1±2.6	2545±560	-155.3
<i>Croton tiglium</i>	135	15.6±6.7	1730±592	-155.7
<i>Schima noronhae</i>	13	15.3±4.9	2266±615	-155.8
<i>Smilax ocreata</i>	94	15.5±4.3	2004±670	-156.4
<i>Garcinia cowa</i>	18	15.8±2.7	1504±266	-156.6
<i>Melastoma candidum</i>	631	15.1±2.1	2735±538	-156.6
<i>Symplocos microcalyx</i>	24	15.4±1.1	2313±195	-157.4
<i>Trema angustifolia</i>	45	15.7±5.9	1845±686	-157.8
<i>Canarium album</i>	38	15.8±4.3	1676±331	-157.9
<i>Bredia hirsuta</i>	21	15.4±4.4	2436±390	-158.3
<i>Barleria cristata</i>	284	16.0±6.2	1460±670	-158.9
<i>Mussaenda parviflora</i>	169	15.4±3.1	2544±490	-159.1
<i>Ardisia sieboldii</i>	1128	15.3±2.2	2892±507	-160.4
<i>Ficus auriculata</i>	176	16.1±6.6	1609±738	-161.2
<i>Dendrolobium triangulare</i>	107	16.2±5.8	1692±587	-163.1
<i>Caryota maxima</i>	16	16.1±3.8	2003±598	-164.1
<i>Callicarpa nudiflora</i>	31	16.3±5.2	1662±410	-164.2
<i>Alphonsea monogyna</i>	19	16.5±4.5	1467±262	-165.3
<i>Tarennoidea wallichii</i>	59	16.4±6.3	1670±563	-165.5
<i>Ilex godajam</i>	14	16.4±5.3	1803±598	-166.5

## Appendix 1. Continued

Species	n	Mean temperature of coldest quarter (°C)	Annual precipitation (mm)	Score
<i>Melastoma sanguineum</i>	134	16.4±3.9	1919±366	-167.3
<i>Pittosporopsis kerrii</i>	16	16.5±2.8	1810±415	-167.8
<i>Maesa indica</i>	69	16.5±6.8	1800±896	-167.8
<i>Diospyros eriantha</i>	721	16.0±2.3	2693±469	-167.9
<i>Terminalia myriocarpa</i>	24	16.6±4.6	1732±658	-168.6
<i>Tetracera sarmentosa</i>	20	16.5±4.2	2020±355	-169.4
<i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	452	16.5±4.0	2025±598	-169.4
<i>Rubus alceifolius</i>	144	16.3±3.5	2393±922	-169.5
<i>Osmanthus marginatus</i>	257	16.1±3.9	2770±768	-169.7
<i>Castanopsis indica</i>	216	16.4±3.2	2273±816	-169.9
<i>Aporosa yunnanensis</i>	17	16.8±4.8	1610±428	-170.2
<i>Schima wallichii</i>	266	16.7±5.7	1986±806	-171.7
<i>Triadica cochinchinensis</i>	151	16.4±3.7	2572±652	-172.1
<i>Tabernaemontana corymbosa</i>	24	16.8±5.5	2033±578	-173.3
<i>Cryptocarya concinna</i>	205	16.5±2.9	2703±634	-174.3
<i>Ilex warburgii</i>	34	16.7±1.9	2342±526	-174.3
<i>Alpinia zerumbet</i>	1511	17.0±3.9	1984±727	-175.5
<i>Tarenna gracilipes</i>	210	16.7±3.0	2725±508	-177.1
<i>Stereospermum colais</i>	22	17.4±4.1	1509±446	-177.2
<i>Phyllanthus emblica</i>	298	17.4±6.0	1646±692	-178.2
<i>Psychotria henryi</i>	11	17.5±2.2	1564±176	-178.9
<i>Ficus microcarpa</i>	1644	17.5±4.6	1872±719	-181.1
<i>Lasianthus trichophlebus</i>	15	18.0±4.4	1576±326	-185.3
<i>Engelhardia spicata</i>	27	17.7±5.2	2295±718	-186.7
<i>Celastrus paniculatus</i>	98	18.1±5.0	1619±640	-186.9
<i>Carissa spinarum</i>	4126	18.6±4.8	816±361	-187.5
<i>Duabanga grandiflora</i>	65	18.1±4.6	1772±682	-188.1
<i>Lasianthus verticillatus</i>	79	17.8±3.4	2581±616	-190.1
<i>Psychotria manillensis</i>	30	18.0±1.5	2294±257	-190.6
<i>Antidesma pentandrum</i>	11	18.1±0.8	2142±81	-190.8
<i>Canthium horridum</i>	59	18.3±5.9	1891±587	-191.5
<i>Antidesma acidum</i>	51	18.4±5.9	1741±930	-191.7
<i>Woodfordia fruticosa</i>	104	18.6±5.8	1751±1016	-194.3
<i>Vitex quinata</i>	270	18.3±5.2	2479±540	-195.8
<i>Ficus ampelas</i>	322	18.3±4.1	2643±487	-197.0
<i>Acronychia pedunculata</i>	200	18.5±4.8	2303±735	-197.1
<i>Caesalpinia crista</i>	176	18.7±5.8	2118±780	-198.3
<i>Cipadessa baccifera</i>	35	19.1±4.0	1485±681	-198.8
<i>Dendrotrophe varians</i>	72	18.8±5.8	2381±715	-201.5
<i>Diploclisia glaucescens</i>	47	18.9±4.8	2407±990	-202.9
<i>Cajanus scarabaeoides</i>	393	19.5±4.7	1644±720	-205.1
<i>Crotalaria linifolia</i>	121	19.5±6.0	1676±590	-205.3
<i>Dalbergia pinnata</i>	94	19.6±7.2	2263±908	-210.9
<i>Trema tomentosa</i>	941	20.3±4.9	1410±662	-213.6
<i>Cratogeomys cochinchinense</i>	139	20.1±5.8	2160±695	-216.5
<i>Excoecaria agallocha</i>	620	20.6±4.5	1744±652	-219.9
<i>Cerbera manghas</i>	520	20.4±3.8	2177±799	-220.5
<i>Baccaurea ramiflora</i>	121	20.7±3.8	1731±632	-221.1
<i>Lasianthus cyanocarpus</i>	68	20.3±4.0	2563±543	-222.0
<i>Phoebe lanceolata</i>	50	20.6±4.3	2041±815	-222.1
<i>Melicope triphylla</i>	90	20.2±3.0	2760±642	-222.2
<i>Barringtonia racemosa</i>	363	20.5±4.5	2249±948	-222.3
<i>Entada phaseoloides</i>	146	20.5±4.7	2455±798	-223.8
<i>Smilax zeylanica</i>	26	20.9±5.2	2212±653	-227.1
<i>Melastoma malabathricum</i>	939	21.0±5.7	2351±731	-229.4
<i>Decaspermum fruticosum</i>	81	21.1±5.1	2373±808	-230.9
<i>Lannea coromandelica</i>	62	21.4±4.6	2010±1058	-232.1
<i>Ficus virens</i>	1166	21.9±3.9	1392±472	-234.0
<i>Bridelia stipularis</i>	139	21.6±6.0	2115±815	-235.4

## Appendix 1. Continued

Species	n	Mean temperature of coldest quarter (°C)	Annual precipitation (mm)	Score
<i>Bridelia tomentosa</i>	1563	21.9±3.7	1615±601	-235.6
<i>Ficus fulva</i>	72	21.6±5.5	2571±725	-238.7
<i>Antidesma montanum</i>	264	21.8±5.5	2264±723	-239.1
<i>Tephrosia purpurea</i>	1164	22.7±3.2	729±630	-239.4
<i>Heritiera littoralis</i>	279	21.9±3.3	2188±751	-239.8
<i>Rourea minor</i>	194	22.0±3.8	2064±731	-240.2
<i>Gironniera subaequalis</i>	145	21.9±4.7	2339±719	-240.9
<i>Ficus subulata</i>	261	22.0±4.4	2618±684	-244.2
<i>Hernandia nymphaeifolia</i>	124	22.3±3.1	2249±800	-245.3
<i>Syzygium acuminatissimum</i>	31	22.6±3.9	2374±267	-250.1
<i>Leea indica</i>	186	22.7±4.5	2431±794	-251.8
<i>Knema furfuracea</i>	20	22.8±3.2	2316±443	-252.2
<i>Knema globularia</i>	53	23.0±4.1	1999±607	-252.5
<i>Microdesmis caseariifolia</i>	71	23.3±4.1	2023±544	-256.5
<i>Poikilospermum suaveolens</i>	53	23.1±4.1	2402±643	-256.7
<i>Diospyros maritima</i>	579	23.8±2.2	1569±538	-259.6
<i>Lepisanthes senegalensis</i>	170	24.6±3.5	1399±781	-268.6
<i>Pometia pinnata</i>	204	24.1±2.5	2654±780	-271.4
<i>Antiaris toxicaria</i>	3002	25.1±1.2	1165±316	-273.3
<i>Orophea creaghii</i>	30	24.5±3.9	2365±552	-274.4
<i>Barringtonia macrostachya</i>	34	24.6±3.2	2475±619	-276.5
<i>Walsura pinnata</i>	21	25.6±1.5	2577±491	-290.0