

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.1.109>
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Establishment of Soil Suitability for Growing Bracken (*Pteridium aquilinum* L.) Using the Quantification Theory I

Songrae Cho¹, Woori Go¹, Byunghwan Seo¹, Danbi Lee¹, and Yeonkyu Sonn^{2*}

¹Agricultural Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

²Senior Agricultural Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: sonnyk@korea.kr

ABSTRACT

Received: January 17, 2023

Revised: February 20, 2023

Accepted: February 20, 2023

Edited by

Sang Yoon Kim,
Sunchon National University,
Korea

ORCID

Songrae Cho
<https://orcid.org/0000-0003-4719-7106>

Woori Go
<https://orcid.org/0000-0001-8010-2346>

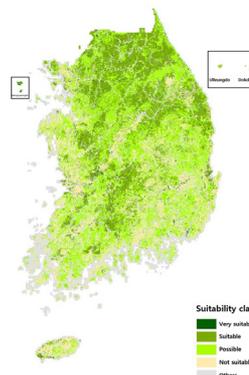
Byunghwan Seo
<https://orcid.org/0000-0002-2597-5125>

Danbi Lee
<https://orcid.org/0000-0001-9584-0691>

Yeonkyu Sonn
<https://orcid.org/0000-0001-5602-7147>

The soil suitability grades are classifying as soil series by judging the potential productivity of the soil based on the yield of crops. The soil suitability grade is divided into four grades, which are very suitable, suitable, possible, and not suitable areas. The reason for classifying the grades is to help farmers in selecting crops to grow in consideration of the characteristics of the soil. Among the soil characteristics used previously to set the soil suitability grade of 66 crops, the five most common characteristics selected. As for the crop it applied as the determinant, the bracken with the largest number of plots selected among the crops excluding the crops with the crop exclusion criteria registered with the agricultural business. The relationship between yield and soil characteristics confirmed by examining the cultivated yield of local bracken and the soil characteristics of the plots. For subsoil, the highest yield was shown when the sub-soil texture were loam and silty loam with a clay content of 15 - 35%, the drainage grade was slightly poor, the available soil depth was >100 cm, the gravel content was 15 - 35%, and the slope was >30%. Based on this, the partial correlation coefficient was calculated. As a result, the drainage grade was the highest at 0.22, indicating the greatest influence. The corresponding soil suitability grade was applied to the soil characteristics of 1,361 phases in Korea to obtain the predicted value for the soil specific factors. The predicted values ranged from 35 - 73 kg ha⁻¹, with 92 very suitable areas, 487 suitable areas, 421 possible areas, and 361 not suitable areas.

Keywords: Bracken, Determination factors, Partial correlation coefficient, Quantification theory I, Soil suitability grade



The soil suitability grades map of bracken in Korea. Based on the relationship value between the detailed soil characteristics and yield of bracken through a soil survey on the yield and the bracken cultivation fields.



Introduction

작물별 토양 적성등급은 농업인 등이 작물을 재배하고자 할 때 작물에 적합한 토양특성을 고려하여 작물 선택에도움을 주기 위해 작물의 수량을 기준으로 토양의 고유특성인 잠재생산력을 평가하여 토양상 별로 등급을 구분한 것으로 최적지, 적지, 가능지, 저위생산지로 구분하고 있다. 토양요인(지형, 경사, 토성 등)만 고려한 것을 토양적성등급이라 하며, 기상요인, 경제성 등을 함께 고려한 것을 재배적지로 표현한다(Kim et al., 2012; Go et al., 2022). 작물의 생육은 토양환경에 국한되지 않고 기상 등 다양한 인자에 의해 영향을 받기 때문에 작물을 위한 적성등급은 다양하게 분류될 수 있다. 현재까지 토양특성을 고려하여 토양적성등급을 설정한 작물은 총 66작물이 설정되어 있으며, 2022년 무화과와 대파가 추가되었다(Go et al., 2022). 토양적성등급이 설정된 작물들은 농촌진흥청에서 운영하고 있는 흙토람이라는 토양환경정보시스템(<http://soil.rda.go.kr>)에서 확인이 가능하다(Go et al., 2022). 작물별 토양적성등급을 설정하기 위해서는 작물의 수량에 대한 자료가 필요하다. 미설정 작물들 중 작물 선정은 농업경영체 등록 정보(MAFRA, 2021)를 활용하여 제외 기준 6가지(① 기준 66작물, ② 목본류, ③ 시설작물, ④ 토양재배가 아닌 경우(예: 수경재배), ⑤ 지점 수는 많으나 토양특성이 다양하지 않은 경우, ⑥ 재배 지점 수가 적은 경우)에 포함되지 않은 작물 중 재배면적이 가장 많은 작물이었던 고사리를 선정하였다.

고사리는 열대지방에서부터 온대지방에 이르기까지 전 세계적으로 분포되어 있는 고사리과의 양치식물인 다년생 초본이다. 고사리는 양지에서 그늘까지, 평지에서 고산지대까지, 그리고 메마른 토양부터 음습한 토양까지 한국을 포함한 해외의 숲 속까지 적응하여 자생하고 있다(Page, 1976; Ouden, 2000; Kim, 2001; Lee et al., 2010). 고사리의 잎은 굽고 긴 잎자루를 가지고 있으며 땅에서 돌아 날 때는 잎자루가 20 - 30 cm 정도로 길다(Marrs et al., 1993; Mitchell et al., 1997; Lee et al., 2010). 고사리 재배는 1996년에 97농가 60.4 ha였으나, 2015년 8,057농가 3,279 ha를 재배하여 약 54배로 증가하여, 농가 소득원으로서의 가능성과 재배면적이 늘어날 것으로 전망된다(Sur et al., 1998; Lee et al., 2010; KOSIS, 2015). 이에 본 연구에서는 고사리의 재배면적 증가로 인한 신규 재배지 확대에 맞추어 다양한 토양환경에서 고사리가 재배될 가능성이 있기에 미설정 상태인 고사리의 토양적성등급을 설정하고자 연구를 진행하였다.

Materials and Methods

토양적성등급 적용 토양요인 선정 토양적성등급에 적용하기 위한 토양요인을 선정하기 위해, 먼저 경작에 의하여 쉽게 변하지 않고 전 국토의 토양조사로 정밀하게 조사된 토양 형태 및 물리적 요인 중에서 약 30가지의 후보를 선정하였다(Hyeon et al., 2009; Hyun et al., 2013). 그 다음 1) 요인 간의 중복성, 2) 토양적성등급이 설정 완료된 작물에 사용되었는지 여부, 3) 요인 간의 차이점 여부 등 3가지 기준을 고려하여 토양요인을 선정하였다. 앞의 3가지

Table 1. 5 types of soil factors and each detail characteristics.

Soil factors	Drainage class	Soil texture	Gravel content (%)	Soil slope (%)	Available soil depth (cm)
Detail characteristics	Very well	Sandy		A (0 - 2)	
	Well	Coarse loamy	<15	B (2 - 7)	<25
	Moderately well	Coarse silty	15 - 35	C (7 - 15)	25 - 50
	Somewhat poorly	Fine loamy	>35	D (15 - 30)	50 - 100
	Poorly	Fine silty		E (30 - 60)	>100
	Very poorly	Clayey		F (>60)	

기준에 충족하고, 적성 등급 설정이 완료된 66작물에서 많이 사용된 5가지 토양요인 (심토토성, 경사, 유효토심, 배수 등급, 자갈함량)을 선택하였고 각 요인의 세부특성을 구분하였다 (Table 1). 그 외 요인들 (해발 등)은 추후 타 작물의 재배 환경에 필수적일 경우 추가하고자 한다.

토양적성등급 미설정 작물 및 조사 지역 선정 방법 미설정 작물 중 대상 작물을 선정하고자 약 260만 필지, 1,000여종 이상의 작물이 등록되어 있는 농업경영체 등록정보를 활용하였다 (MAFRA, 2021). 등록 작물 중 기준에 토양적성등급 설정이 완료된 66작물, 목본류, 토양재배를 하지 않는 경우 (수경재배 등), 시설 재배 작물 (온실 등), 작물의 재배 필지 수가 적은 경우, 재배 필지 수는 많지만 해당 필지의 토양요인 (세부특성)이 다양하지 않은 경우를 제외하고 재배 필지 수가 많은 미설정 작물을 후보로 선정하였다. 조사 지역 선정은 재배필지 분포도와 토양도를 지리정보 시스템 (geographic information system, GIS)에 적용 및 중첩하여 여러 재배 필지에 토양요인 (세부특성)이 다양하지 않은 경우, 재배 필지의 접근성이 낮은 경우, 재배 필지의 수량 조사가 불가능할 경우를 제외하고 선정하였다. 전국 시·군 단위 분포는 남해 (3,972필지), 하동 (3,667필지), 함양 (2,482필지), 남원 (2,181필지) 순이었으며, 남원은 다른 상위 지역에 비해 접근성이 높고 토양요인들의 세부특성이 다양하게 분포하여 조사지로 선정 후 현장조사를 진행하였다 (Fig. 1).

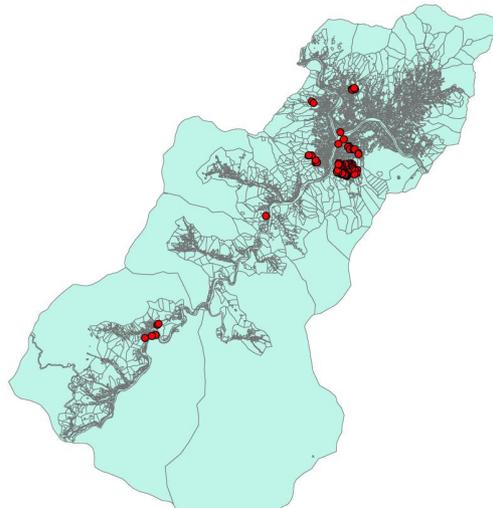


Fig. 1. The soil survey points (120 points) in Nam-won city (San-nae myeon).

선정 작물의 수량 및 재배 필지 토양요인 (세부특성) 조사 선정된 작물의 수량 조사는 조사지 관할 남원시 농업기술센터의 협조를 받아 고사리 재배 필지 별 선물 기준 단위면적당 생산량 (건물중)을 농가 청취로 시행하였다. 재배 필지의 토양요인 (세부특성) 조사는 농촌진흥청에서 제작 및 제공하고 있는 흙토람의 토양도와 정보를 참고해, 조사지역의 토양요인 (세부특성)에 대한 검토 후 기초토양조사 매뉴얼에 따라 현장 조사를 진행하였다 (FAO, 2006; Schoeneberger et al., 2012; USDA, 2014; NAAS, 2018, 2022).

토양적성등급 설정법 선택 및 토양요인과 수량 간의 관계 분석 (통계분석) 기존의 등록작물들의 토양적성등급에 사용된 방법들은 최대저해인자법, 점수제 (종합점수제, 가중치법), 다변량 통계분석법 등 다양한 방법이

적용되었다 (Hyun et al., 2010; Go et al., 2022). 기존의 방법들은 토양의 세부요인에 대한 기여 정도가 고려되지 않거나 전문가에 대한 높은 의존도로 주관적 견해가 개입될 수 있다는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 세부요인에 대한 기여 정도와 수치화를 통한 객관적인 판단으로 결과 도출이 가능한 다변량 통계분석법 중 수량화 이론 I을 이용하였다. 수량화 이론 I은 Hayashi (1976) 박사가 개발한 이론으로서 독립변수가 질적데이터, 종속변수가 양적데이터 일 때 사용하는 분석방법으로, 다변량 해석 시 복잡한 요인들을 간단히 각 항목으로 분류한 뒤 수량을 부여하여 항간의 상관성을 찾는 방법으로서 앞서 발표된 Go et al. (2022)의 논문에서도 작물의 토양적성등급을 설정하는데 활용된 적이 있다 (Hyun et al., 2010). 토양적성등급의 기준을 설정하기 위해 각 토양요인이 수량에 미치는 기여 정도를 확인할 필요가 있다. 이에 편상관계수를 구하여 토양요인들 간의 비교를 수행하였다. 편상관계수를 이용하게 되면 토양요인들의 복합적인 작용에 관한 부분을 배제하게 되어 기여정도를 판단하는데 사용하는 방법이다. 토양요인의 세부특성들이 수량에 미치는 영향을 확인하기 위해 독립변수로 토양요인의 세부특성을, 종속변수로 수량을 적용하였는데, 세부특성들은 숫자가 아닌 문자 형태로 표기되어 단순 비교가 불가능하다. 이에 문자로 표현되는 세부특성의 질적변수를 순서 형의 양적화 자료로 변환하여 이를 적용시킨 수량화 이론 I 방법을 활용하였다. 각 토양요인들이 수량에 미친 기여 정도를 구하고자, Fig. 2의 코드로 구성된 SAS 프로그램의 다중회귀확장기법 (SAS Proc. Reg.)을 이용하였다 (RDA, 1999; Hyun et al., 2010; Go et al., 2022).

```

data Bracken_raw;

input ID$ texture drainage depth cobble slope yield;

cards;

SqE 1 4 2 3 5 49.200492

SqC 1 4 3 3 3 50.40957782

SqC 1 4 3 3 3 46.21848739

SqC 1 4 3 3 3 50

SqC 1 4 3 3 3 50.50505051

HrA 2 1 1 3 1 55.04587156

: : : : : :

;

proc glm;

class texture drainage depth cobble slope;

model yield = texture drainage depth cobble slope / solution;

run;

```

Fig. 2. The SAS code for estimation of bracken's yield with soil factors.

토양적성등급 설정 및 적용 작물 재배 필지로 구분하여, 토양요인과 수량 간의 관계를 활용하여 각각의 수량 예측 값을 산출하였다. 해당 결과를 기초로 전국 농경지의 고사리 재배 적성등급을 확인하고자 현재까지 알려져 있는 우리나라의 토양상 1,361개에 대해 선정된 5가지 토양요인 자료를 이용하여 각 토양의 세부특성에 대한 수량 예측 값을 계산 후 수량을 기준으로 내림차순 및 4등분하여, 최적지, 적지, 가능지, 저위생산지로 구분하고 적용하였다.

Results and Discussion

재배 필지에서 조사된 토양요인과 수량을 바탕으로 선정된 토양요인 (심토토성, 경사, 유효토심, 배수등급, 자갈함량)의 세부특성 별 지점 수와 각 지점에서의 수량 평균, 표준편차를 표로 도출하였다 (Tables 2 - 6). Table 2는 심토토성의 세부특성에 대한 성적을 분석한 결과이다. 심토토성은 6종류 (사질, 사양질, 식양질, 미사사양질, 미사식양질, 식질)로 구분되는데, 조사된 고사리 재배 토양 중에서는 사질이 1지점, 미사사양질과 미사식양질이 0지점이었기에 점토 함량으로 토성을 구분하였다. 점토 함량이 18% 미만인 사질, 사양질, 미사사양질 토양과 18 - 35% 인 식양질, 미사식양질 토양, 그리고 35% 이상인 식질로 구분하여 결과를 도출하였다. 이 중 점토 함량이 18 - 35%인 토양 (식양질, 미사식양질)에서 $57.7 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 가장 높은 수량 평균 값을 나타냈고 다음으로 18% 미만인 토양 (사질, 사양질, 미사사양질)에서 $56.9 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 의 값을, 점토 함량이 35% 이상인 토양 (식질)에서 $54.2 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 의 값을 나타냈다.

Table 2. The result of bracken yields with soil texture (clay percentage).

Soil texture (clay %)	Sandy, Coarse loamy, Coarse silty (<18%)	Fine loamy, Fine silty (18 - 35%)	Clayey ($\geq 35\%$)
No. of investigation point	26	46	3
Average yield ($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)	56.9	57.7	54.2
Standard deviation	5.8	5.8	5.2

Table 3은 경사 요인의 세부특성과 수량 간의 결과를 나타냈다. 경사의 세부특성은 6등급 (A (0 - 2%), B (2 - 7%), C (7 - 15%), D (15 - 30%), E (30 - 60%), F ($>60\%$))으로 나뉘며, 지점 수가 적었던 A, B의 범위를 0 - 7%로, E와 F를 $\geq 30\%$ 로 묶어 주었다. 경사의 세부특성에 따른 결과 값은 0 - 7%와 15 - 30%의 경사에서 $57.6 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 의 가장 높은 값을 보였으며, 7 - 15%에서 $57 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$, $\geq 30\%$ 에서 $53.8 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 의 결과 값을 나타냈다. 이는 0 - 15%까지의 경사에서는 높은 수량을 보였으나 경사가 15% 이상일 경우 산채류의 수량이 감소되었던 Hyun et al. (2010)의 논문 결과와 같았다.

Table 3. The result of bracken yields with slope.

Slope (%)	0 - 7	7 - 15	15 - 30	≥ 30
No. of investigation point	4	40	27	4
Average yield ($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)	57.6	57.0	57.6	53.8
Standard deviation	5.8	5.8	6.0	4.5

Table 4는 유효토심의 세부특성과 수량 간의 결과이다. 유효토심은 깊이에 따라 4범위 (<25 cm, 25 - 50 cm, 50 - 100 cm, ≥100 cm)로 나뉜다. 유효토심에서는 ≥100 cm에서 58 kg 10a⁻¹로 가장 높은 수량 값을 나타냈으며, <25 cm에서 57.5 kg 10a⁻¹, 50 - 100 cm에서 57 kg 10a⁻¹, 25 - 50 cm에서 56.3 kg 10a⁻¹의 순으로 결과를 확인할 수 있었다.

Table 4. The result of bracken yields with available soil depth.

Available soil depth (cm)	<25	25 - 50	50 - 100	≥100
No. of investigation point	5	9	36	25
Average yield (kg 10a ⁻¹)	57.5	56.3	57.0	58.0
Standard deviation	5.9	6.2	5.8	4.8

Table 5는 배수등급의 세부특성과 수량 간의 결과를 나타낸 표로 배수등급은 6개의 등급 (매우양호, 양호, 약간양호, 약간불량, 불량, 매우불량)으로 구분된다 (Sonn et al., 2020). 조사된 필지에서는 불량과 매우불량이 나타나지 않았기에 이를 제외한 3개의 등급 중 약간불량에서 57.7 kg 10a⁻¹로 가장 높은 수량을 나타냈으며, 다음으로 약간양호에서 57.4 kg 10a⁻¹, 양호에서 57.1 kg 10a⁻¹의 결과를 확인할 수 있었다. 불량과 매우불량에서의 재배 필지가 나타나지 않았던 것은 배수가 잘되고 토양습도의 유지가 잘되는 그늘진 곳이 고사리의 재배 적지로 알려져 있으며 (Kim, 2001), 산채류 전체에 대한 재배적지 기준설정 방법 간의 비교 분석을 진행한 Hyun et al. (2010)의 논문에서 대부분 산채류의 배수등급이 양호, 약간양호 순으로 수량이 높게 나온 것과 같은 결과로 보인다.

Table 5. The result of bracken yields with drainage class.

Drainage class	Very well, Well	Moderately well	Somewhat poorly, Poorly, Very poorly
No. of investigation point	37	30	8
Average yield (kg 10a ⁻¹)	57.1	57.4	57.7
Standard deviation	5.9	5.9	6.1

Table 6은 자갈함량의 세부특성과 수량 간의 결과로 자갈함량은 <15%, 15 - 35%, ≥35%으로 구분된다. 그 결과는 15 - 35%에서 57.7 kg 10a⁻¹로 가장 높은 수량 값을 나타냈으며, <15%에서 57.5 kg 10a⁻¹, ≥35%에서 56.9 kg 10a⁻¹의 결과를 나타냈다.

Table 6. The result of bracken yields with gravel content.

Gravel content (%)	<15	15 - 35	≥35
No. of investigation point	7	55	13
Average yield (kg 10a ⁻¹)	57.5	57.7	56.9
Standard deviation	6.2	5.7	5.8

토양요인들과 수량 간의 관계를 확인하고자 계산한 편상관계수 (partial correlation coefficient)는 Table 7에서 확인할 수 있으며, 배수등급 (0.22), 심토토성 (0.16), 자갈함량 (0.14), 경사 (0.14), 유효토심 (0.09)의 순이었다.

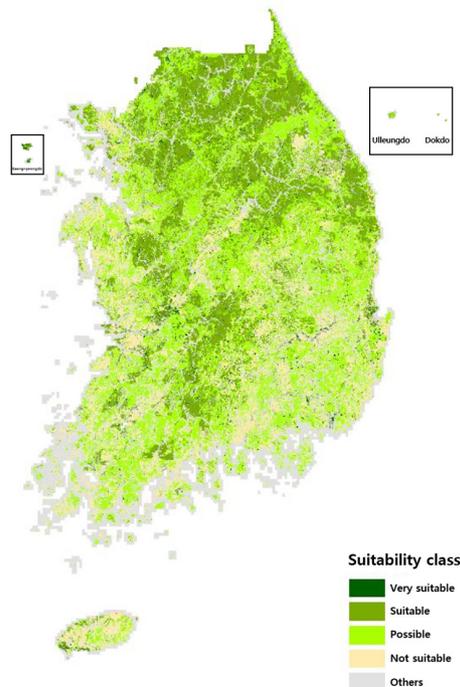
Table 7. The partial correlation coefficient results of each soil factors.

Soil factors	Partial correlation coefficient
Soil texture	0.16
Slope	0.14
Available soil depth	0.09
Drainage class	0.22
Gravel content	0.14

위의 고사리 재배 필지 결과를 기초로 하여 전국의 농경지에 이를 적용하고자 우리나라 토양상 1,361개의 5가지 토양요인 (심토토성, 경사, 유효토심, 배수등급, 자갈함량) 자료를 활용하여 각 토양요인의 세부특성에 대한 수량 예측 값을 산출하였다. 수량 예측 값은 최적지에서 $73 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$, 저위 생산지는 $35 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 산출되어 수량 예측 값의 범위는 $35 - 73 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 였다. Table 8은 산출된 수량 예측 값의 범위를 4등분하여 높은 값부터 차례로 최적지, 적지, 가능지, 저위생산지로 나누었을 때의 각각의 개수와 비율을 나타낸 결과이다. 해당 표를 통해 최적지는 92개 (7%), 적지 487개 (36%), 가능지 421개 (31%), 저위생산지 361개 (27%)로 구분됨을 확인할 수 있었다. 도출된 수량 예측 값의 결과를 지리정보 시스템에 적용하여 전국 농경지의 고사리 적성등급도를 작성하였다 (Fig. 3).

Table 8. The results of soil phases and suitability class.

Suitability class	Very suitable	Suitable	Possible	Not suitable	Total
No. of soil phases	92	487	421	361	1,361
Ratio (%)	7	36	31	27	100

**Fig. 3.** The soil suitability grades map of bracken cultivation in Korea.

앞선 결과에 적용된 4개의 등급(최적지, 적지, 가능지, 저위생산지)으로 나뉘어진 토양상 1,361개를 파악하기 쉽도록 Table 9에 목록화 하였으며, 목록 내 각각의 토양상들은 흙토람 (<http://soil.rda.go.kr>)에서 확인이 가능하다.

Table 9. The soil phases in each suitable grade.

Suitable grade	Soil phases
Very suitable	GaB2, GbB2, GlB, GlB2, GRB, KhB, Gz, Ke, KBB, GsB, Gr, GrB, GM, Ng, Ny, DmB, DnB, DrB, Dy, DyB, DN, DA, DZB, MkB, MeB, Mr, MoB, MtB, MtE, BiB, BiC, Bv, Bn, Bt, Bg, Bp, Sd, SlB, SqB, AhB, YkB, YkC, YnB, UjB, UpB, WcB, Wo, WoB, YtB, Qk, QkB, Qm, QmB, Qa, QaB, Qn, QnB, Qf, QfB, IfB, IbB, Jp, CBC, Cl, ClB, CkB, CkC, CkD, Pi, PiB, PgB, PgC, PkB, PkC, HF, HYB, HYC, HxB, Hn, HG, HGB, HDB, Hd, HdB, Hj, HjB, HHB, Hk, Hl, HN, Hr, Hy
	GvB, GvC, Kp, GaC2, GaD2, GbC, GbC2, GbD, GbD2, GbE, GbE2, GJC, GJC2, GJD, GJD2, GIC, GIC2, GlD, GlD2, GuC2, GuD2, KAB, KAC, GDB, GDC, GRC, Gt, GpB, GpC, KBC, Gg, Go, GsC, Kc, KcB, GeE2, GeE3, GeF2, GeF3, GnE, GnE2, GnF, GnF2, GnF3, GYB2, WBB, WBC, WBC2, GGC2, GGC3, GGD2, GGD3, GBB, GBC, GBC2, GUB, GUC, GUC2, Gw, KJB, GmB, KaE, KbE, KfB, GQ, Gi, Gj, Nd, Nn, NaC2, NaD2, NaD3, NaE2, NaE3, NaF2, NrE2, NrE3, NrF2, Nc, NfD2, NfE2, Np, NjC, NjD, RgB, NkB, NkC, DTB, DcC2, DcD2, DGC2, DGD2, DRD2, DRD3, DRE2, DRE3, DJC2, DJD2, DWB, DnC, DxB, DbE2, DbE3, DbF2, DbF3, DpE2, DpE3, DpE4, DpF2, DpF3, DF, Dq, DaD2, DaD3, DaE2, DaE3, DaE4, DaF2, DaF3, DaF4, DiF3, DjE2, DjE3, DjF2, DjF3, DsD, DsD2, DsD3, DsD4, DsE, DsE2, DsE3, DsE4, OM, OMB, DOE2, DOE3, DOF2, DZC, DZD, MkC, Ma, Mg, MoC, MoD, MVE2, MVF2, MxC2, MxC3, MxD2, MxD3, MxE2, MxF2, My, MqD2, MqE2, MqF2, MQE2, MQF2, Mn, MnB, MnC, MuB, Mp, Mm, MfB, MfC, MfD, MfE, MfF, MiB, MiC, MiD, MiE, MiC, MiD, MbB, MbC, MbE, VmB, VmC, VnB, VnC, BdB, BsC, BEB, BEC, BYB, BcB, BcC2, BcD2, BDC2, BDD2, BDE2, BBD2, VaB, BMB, BMC, BbC2, BbD2, BbE2, BfC2, BfD2, BrE3, ByB2, ByC2, ByC3, ByD, ByD2, ByE2, BG, Vc, VcB, SUE2, SUF2, SZB, ScB, ScC, SfB, SfC, SIC, SCD2, SCE2, ST, SE, SV, SNE2, SNE3, SNE4, SNF2, SNF3, SRE2, SRE3, SRF2, SRF3, SpB, SpC, SpD, SKC, SKD, SKE, SqC, SqD, SqE, SrB2, SrC2, Sn, SnB, SB, SP, AyB, AyC, AbB, AhC, AwB, YF, Yv, YvB, Yp, YEE2, YEF2, YrB, YrC, YdB, YeB, OdE, OdF, OdF2, OnC2, OnC3, OnE2, OnE3, OnE4, OnF2, OnF3, Oo, Op, OgB, OgC, WgB, OaE, OaE2, OaF, OaF2, OsD2, OsE, OsE2, OsE3, OsF, OsF2, YTB, YTC, YTD, YZB, YZC, Yf, Ym, YnC, UdB, UdC, UjC, UpC, UgC, UgD, UgE, WoC, WoD, YtC, Yl, UhB, YH, EgB, EgC, EgD, EoB, EoC, EoD, ErE2, ErF2, EsC2, EsC3, ESC2, ESE2, ESE3, ESF2, IrE2, IrE3, IrF2, IsC2, IsE2, IsE3, IsE4, IsF2, IsF3, IvE2, IvF2, IwB, Ic, Io, Qg, QgB, QaC, Qs, QsB, Qw, IjB, Qi, QiB, Qj, QjB, Qc, QcB, IdB, IbC, JtB, JwB, JuB, Jc, Jv, JvB, JvC, JaC, JaD, JaE, JaF, JnB2, JnC2, JjE, JjE2, JjF2, Je, JeB, JeC, JfB, JfC, JrB, JrC, JzB, JXE, Jd, JdB, Jg, JoB, JoE, ZZC, JBB, CfB, CpB2, CpC2, CbE2, CcC, CcD, CcE2, CcF2, CrE, CrE2, CrF, CrF2, CsE, CsE2, CsF, CsF2, CXC, CXD, CXE, CJB, Cq, CqB, CdB, CdC, CiB, CiC, TeC2, TeE2, TgB, TgC, ToB, ToC, TnB, Tc, Tt, TkC, TkD, PiC, PhB, PaC, PaD, PaE, PjB, PjC, PjD, PJB, PJC, PJD, PhC, PbC2, PbD, PbD2, PbE, PcD, PcE, PgD, Pr, Pu, PuB, PuC, Px, PxB, Pz, PzB, PzC, HbC2, HbE2, HbE3, HbF2, HKC2, HKE2, HvB, HvC, HZC2, HP, HI, HIB, Hu, HuB, HuC, Ht, HtB, Hc, HM, HMB, HpE2, HpF2, Hze2, Hze3, Hzf2, Hzf3, HxC, HxD, HQC, HdC, HBC, HHC, Hf, Hw, HSD2, HEB
Suitable	Gq, KxB, KnC, KnE, Gc, GcB, GeC, KfB, KfC, GkB, GxE, GxE2, GxE3, GxF2, GfC2, GfE2, GfE3, Kw, KJC, Ku, Gy, GmC, GmD, KaC, KaD, KbC, KbD, Ki, KI, KgB, KrB, KyB, RiC, NsD2, NsE2, NsE4, NsF2, NsF3, NGB, NbB, Nw, NwB, NwC, RgC, RgD, RgE, DTC, DTD, DBB, DBC, DCB, DkB, DLB, DfC2, DfD2, DfE2, DfF2, DgC, DgC2, DgD, DgD2, DgD4, DgE, DgE2, DgE4, DgF2, DMD2, DMD3, DME2, DME3, DVE2, DSC2, DSD2, DWC, DWD, DPB, DIB, DIC, DxC, DxD, DEB, DEC, DED, DEE, DKB, DYC, DYD, OMC, DH, MzC2, MzD2, MzD3, MzE2, MzE3, MzF2, MZF2, Mj, MjB, MjC, MjD, Ms, MdE, MdE2, MdE3, MdE4, MdF, MdF2, MvE, MvE2, MvF, MvF2, MvF3, MME, MMF, MTE2, MuC, MuD, MuE, MIB, MbD, BhB, BIB, BLB, VaC, Vp, Bo, Vo, VoB, BSB, BSC, BqB, BqC, BzB, BzC, VgB, VgC, VgD, SZC, ScD, SgC, SgC2, SgC3, SgD, SgD2, SgD3, SgD4, SgE2, SgE3, SgE4, SgF2, SgF3, SmD2, SmD3, SmD4, SmE2, SmE3, SmE4, SmF2, SmF3, SvD4, SvE2, SvE3, SvE4, SvF2, SvF3, SaB, SAB, SAC, SuB, SuC, SuD, Se, SbC, SbD, SbE, SsC, SsD, SsE, StC, StD, StE, SJC, SJD, SzB, SzC, SYB, SNC2, SNC3, SND2, SND3, SND4, SW, SiC, SiE, SIC, SIE, SLB, SLC, SG, AaB, AkB, AkC, AnB, ArB, Am, AmB, Yw, YwB, YcB, YcC, YgB, YgC, YNB, YNC, YyC, Ys, YKB, YiC2, YiD2, YiD3, YGB, YaB2, YaC, YaC2, YaC3, YaD, YaD2, YaD3, YaD4, YaE2, YaE3, YbC2, YbC3, YbC4, YbD2, YbD3, YbD4, YbE2, YbE3, YdC, YdD, YeC, OdD, OrB, OnD2, OnD3, OnD4, OeB, OeC, OtC, OtD, YqB, Yx, YxB, YoB, YjB, UoB, UmC, UmE, UnC, UnE, UrE2, UrF2, UsD2, UsE2, UsE3, UsF2, WiC, WiD, WrB, WnC2, WnD2, WnE2, WjE, WjF, WRE, WRF, WxB, WmB, YzB, YzC, UhC, YLB, YLC, EaD2, EaE2, EaF2, ErD3, EsD2, EsD3, ESD2, ESD3, Im, ImB, ImC, IrD2, IsD2, IsD3, IsD4, IwC, IwD, QgC, Qo, IjC, IgB, IgC, IdC, IdD, IIE2, IIF2, IJ, IJB, JsE, JsE2, JsF, JsF2, JSE, JSF, JME, JwC, JwD, JwD2, JwE, JHB, JDE, JnD2, JAB, JAC, JLE2, JLF2, JGB, JyB, JeD, JfD, JrD, JEB, JEC, JqB, JzC, JxB, JxC, JXD, JkB, JIB, JoC, JoD, JTB, JTC, JBC, JNB, JNC, CgD2, CuB, CjB, CjC, CAE2, CaD2, CaE2, CaE3, CaF2, CaF3, CmE2, CmE3, CmF2, CmF3, CvE2, CvF2, CvF3, Ce, Cw, CxE, CxF, CxF2, CjC, Cn, CGB, CGC, CGD, Co, TeD2, Td, TD, ToD, TnC, TnD, TnE, PhC, PhD, Pt, PH, PfB, PfC, PfD, Ps, PsB, PsC, PsD, Hm, HmB, HbD2, HKD2, Hs, HsB, HRB, HiB, HiC, Ha, Hh, HU, Hq, Hg, HgB, HgC, HT, HLB, HEC, HOB, HXB, HAC, HAD, HAE
Possible	

Table 9. The soil phases in each suitable grade. (Continued)

Suitable grade	Soil phases
Not suitable	Kk, KkB, KkC, KxC, KnD, Gd, GdB, GdC, KfD, GkC, GkD, Kv, KvB, KvC, GxD, GxD2, GfD2, KIE2, KIF2, KzD2, KzD3, KzE2, KzE3, KzF2, KDE2, KDF2, KQC2, KQD2, KQE2, KQF2, KXF2, KoB, KoC, KoD, KmB, KmC, KmD, KJB, KJC, KJD, KqB, KsD, KsE, KsF, KRC2, KR2D2, KitC2, KitD2, KitE2, KdD2, KdE2, KdF2, GSB, KgC, KgD, KrC, KrD, KrE, KyC, KyD, Gh, NtC2, NtD2, NGC, NmE, RrC, RrD, RrE, RsC, RsD, RsE, NoC2, NoD2, NoE2, DD, Dt, DIC2, DID2, DID3, DIE2, Dd, DCC, DkC, DLC, DvC2, DvD2, DvE2, DvF2, DXF2, DPC, DPD, DQD, DzC, DzD, Dh, DKC, DUC, DUD, DwB, DwC, DwD, Do, DoB, DoC, De, Du, MhC, MhD, MhE, MMC, MdD, MdD2, MdD3, MdD4, MMD, MTD2, McC2, McD2, McD3, McE2, Mw, MwB, BhC, BhD, BIC, BID, BIE, BLC, BLD, BaB, BRD2, BRE2, BeB, BeC, BeD, BjB, BjC, BwD, BwE, BH, Bm, BxC2, BxD2, BxE2, BxE3, BSD, BFC2, BFD2, BFE2, BkC2, BkD2, BuC, BuD2, SMC, SMD, SME, SMF, SQE, SD, SDB, SDC, SDD, SFB, SFC, SwB, SwC, SwD, SwE, SwF, SoB2, SoC, SoC2, SoC3, SoC4, SoD, SoD2, SoD3, SoD4, SoE, SoE2, SoE3, SoE4, SSC2, SSC3, SSD2, SSD3, Sk, SOB, SOC, SOD, SOE, SOF, SxD2, SxE2, SiD, SiD, SjC, SjD2, SjD4, SJE2, SJE4, SxC2, SxC3, SxD2, SxD3, SxE2, SxE3, SxF2, SyD2, SyE2, SyE4, Sh, AoB, AaC, AaD, ARD2, ARE2, AsC2, AsC3, AsD2, AsD3, AsE2, AsE3, AkD, Ad, AdB, AdC, AdD, AgB, AgC, AnC, AnD, AnE, ArC, ArD, AmC, YwC, YcD, YgD, YND, YKC, YGC, OrC, OrD, O, OcB, OcC, WsC2, WsD2, WsD3, WsE2, YjC, YjD, UoC, UmD, UnD, UBC, UBD, UbC, UbD, WaB, WaC, WdB, WdC, WmC, Yu, YuB, YuC, Rn, YhC2, YhD2, YhE2, EfB, EfC, EkB, EkC, IaB, IaC, Ih, Qd, QdB, Qe, QeB, InB, IIC2, IID2, JRF2, JZC2, JZD2, JZE2, JZF2, Jb, JGC, JyC, JED, JqC, JFB, JFC, JkC, JkD, JIC, JID, JIE, JhB, JmB, JmC, JmD, Ji, JiB, JiC, JiD, JYB, JYC, JND, ChC, ChD, ChE, CAD2, Ctc2, CtD2, CIE2, CTE2, TaC2, TaD2, TaE2, TaE3, Taf2, TrD2, TrE2, TrE3, TBD2, TGD2, TMD4, TME2, TME4, Tp, TpB, TpC, PdB, PdC, PoB, PoC, PoD, Pp, Pe, PE, PL, Ho, HRC, HRD, HiD, HJD, HJE, HLC, HLD, HOC, HOD, He, HXC, HXD, HV
Others	RC, RS, RCS, W, TF, BRS, RO, RL, MD, TS, SH, LF, BRC, BRB, RB, X, BR

Conclusions

본 연구에서는 고사리의 토양적성등급을 설정하기 위하여 적합한 토양요인을 선정하고 토양요인과 수량 간의 관계를 기초로 수량화 이론 I에 적용하여, 전국 농경지의 고사리 토양적성등급 지도를 작성하고 해당 토양상들을 목록화 하였다. 토양요인에 따른 고사리의 수량은, 점토함량이 18 - 35%인 토양(식양질, 미사식양질), 0 - 7와 15 - 30%의 경사, 100 cm 이상의 유효토심, 약간불량의 배수등급, 15 - 35%의 자갈함량에서 수량이 가장 높았다. 토양요인과 수량에 미치는 기여 정도를 확인한 결과, 배수등급 (0.22), 심토토성 (0.16), 자갈함량 (0.14), 경사 (0.14), 유효토심 (0.09)순으로 나타났다. 수량화 이론 I에 토양요인의 세부특성들과 고사리의 수량을 적용하여 산출된 값을 기초로 우리나라 토양상 1,361개에 대입하여 35 - 73 kg 10a⁻¹라는 수량 예측 값을 도출하였다. 도출된 값에서 수량 값을 내림차순으로 정렬하여 이를 최적지, 적지, 가능지, 저위생산지로 구분한 결과 최적지는 92개 (7%), 적지 487개 (36%), 가능지 421개 (31%), 저위생산지 361개 (27%)로 구분해 낼 수 있었다. 전국 토양상 1,361개에 적용하여 작성된 전국 농경지의 고사리 적성등급지도는 고사리를 재배 작물로 선정하여 재배를 하고자 하는 농가의 작물 선택에 도움이 될 수 있을 것이며, 최적지, 적지, 가능지, 저위생산지에 해당하는 토양상 목록들은 관련 연구의 기초자료가 될 수 있을 것이라 기대한다.

Acknowledgement

This work was supported by the “Cooperative Research Program for Agriculture Science & technology Development (Project No. PJ016744)” of National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- FAO. 2006. Guidelines for soil description, 4th edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Go, W.R., B.H. Seo, S.R. Cho, and Y.K. Son. 2022. Applicability of soil suitability class assessed with the quantification theory I. Korean J. Soil Sci. Fert. 55(2):121-128.
- Hayashi, C. 1976. Method of quantification. Toyo Keizai, Tokyo, Japan.
- Hyeon, G.S., S.M. Kim, K.C. Song, B.Y. Yeon, and D.Y. Hyun. 2009. Establishment of the suitability class in ginseng cultivated lands. Korean J. Soil Sci. Fert. 42(6):430-438.
- Hyun, B.K., H.J. Cho, Y.K. Sonn, C.W. Park, H.C. Chun, K.C. Song, Y.H. Moon, D.C. Noh, K.H. Yun, M.S. Kim, and D.B. Lee. 2013. Establishment of soil suitability for Korean black raspberry by soil morphological and physical properties. Korean J. Soil Sci. Fert. 46(2):92-98.
- Hyun, B.K., S.J. Jung, Y.K. Sonn, C.W. Park, Y.S. Zhang, K.C. Song, L.H. Kim, E.Y. Choi, S.Y. Hong, S.I. Kwon, and B.C. Jang. 2010. Comparison between methods for suitability classification of wild edible greens. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(5):696-704.
- Kim, J.R. 2001. Bracken cultivation technology. Institute of Wild Edible Greens of Experimental Station in Kangwon Province, Chuncheon, Korea.
- Kim, Y.W., M.W. Jang, S.Y. Hong, and Y.H. Kim. 2012. Assessing southern-type garlic suitability with regards to soil and temperature conditions. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(2):266-271.
- KOSIS. 2015. Final results of the 2015 census of agriculture, forestry and fisheries. Korean Statistical Information Service, Statistics Korea, Daejeon, Korea.
- Lee, S.Y., K.Y. Park, and Y.H. Park. 2010. Nutrient contents of bracken (*Pteridium aquilinum* L.) and soil chemical properties of its habitat in the coastal area. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(5):631-636.
- MAFRA. 2021. The registration information of agricultural organization 2021. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Saejong, Korea.
- Marrs, R.H., R.J. Pakeman, and J.E. Lowday. 1993. Control of bracken and the restoration of heathland. V. Effects of bracken control treatments on the rhizome and its relationship with frond performance. J. Appl. Ecol. 30:107-118.
- Mitchell, R.J., R.H. Marrs, M.G. Le Duc, and M.H.D. Auld. 1997. A study of succession on lowland heaths in Dorset, southern England: Changes in vegetation and soil chemical properties. J. Appl. Ecol. 34:1426-1444.
- NAAS. 2018. Field soil survey handbook. National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Korea.
- NAAS. 2022. Basic soil survey manual. National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, Korea.
- Ouden, J.D. 2000. The role of bracken (*Pteridium aquilinum*) in forest dynamics. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Page, C.N. 1976. The taxonomy and phytogeography of bracken—a review. Bot. J. Linn. Soc. 73:1-34.
- RDA. 1999. Statistical method for agricultural research. p. 274-345. Rural Development Administration, Wanju, Korea.
- Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham, and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Sonn, Y., B. Seo, W. Go, and S. Jeon. 2020. Quantification of drainage classes of Korean soils as morphological characteristics. Korean J. Soil Sci. Fert. 53(4):668-676.
- Sur, J.T., W.B. Kim, and J.K. Hong. 1998. Agricultural technical information report. Rural Development Administration, Wanju, Korea.
- USDA. 2014. Keys to soil taxonomy, 12th edition. p. 335-340. United States Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.