Korean J. Soil Sci. Fert. Vol.50, No.1, pp.56-64, 2017

Korean Journal of Soil Science and Fertilizer

Article

https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.1.056
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Calculating Soil Quality Index for Biomass Production Based on Soil Chemical Properties

Sung-Chul Kim, Young Kyu Hong, Sang Phil Lee,[1] Seung Min Oh,[1] Kyung Jae Lim,[2] and Jae E. Yang[1,*]
Department of Bio Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Republic of Korea
[1]Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea
[2]Department of Regional Infrastructural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Republic of Korea

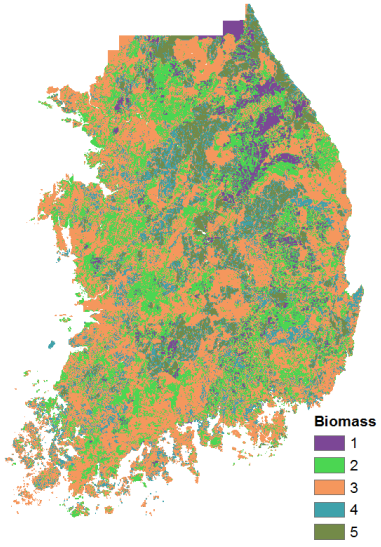
*Corresponding author: yangjay@kangwon.ac.kr

Received: June 13, 2016
Revised: March 6, 2017
Accepted: March 6, 2017

A B S T R A C T

Soil quality has been regarded as an important factor for maintaining sustainability of ecosystem. Main purpose of this research was i) to select minimum factor for predicting biomass, and ii) to calculate soil quality index for biomass according to soil chemical properties. Result showed that soil pH, electrical conductivity (EC), soil organic matter (SOM), cation exchange capacity (CEC), and available phosphorus are minimum data set for calculating biomass production in soil. Selected representative soil chemical properties were evaluated for soil quality index and rated from 1 to 5 (1 is the best for biomass production). Percentage of each grade in terms of biomass production in national wide was 14.52, 35.23, 33.03, 6.47, 10.75% respectively. Although, only soil chemical properties were evaluated for calculating optimum soil quality, result of this research can be useful to understand basic protocol of soil quality assessment in national wide.

Keywords: Soil quality, Chemical properties. Biomass, Scoring



Calculated soil quality index for biomass production in Korea

© The Korean Society of Soil Science and Fertilizer. 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.

Introduction

토양질 평가 (soil quality assessment)란 생태계 내에서 토양이 제공하는 다양한 기능에 대해 토양의 특성을 고려하여 토양의 건전성을 평가하는 방법이다 (Warkentin and Fletcher, 1977; Karlen et al., 1997). 토양질 평가에 대한 기본 개념은 1970년대에 처음으로 소개된 후 1990년대 이후 많은 연구가 진행되었다 (Warkentin and Fletcher, 1977; Wander and Bollero, 1999; Yoon 2004; Poggio et al., 2008).

과거 토양의 특성을 바탕으로 하는 토양질 평가는 주로 토양 내 오염물질 또는 양분 함량만을 고려하여 토양의 오염도와 양분 결핍 또는 양분 과다만을 평가 하였다. 하지만 최근에는 토양의 물리, 화학, 생물학적인 특성을 함께 고려하여 토양의 복합적인 질 (quality)을 평가하는 방법이 제시되고 있다 (Karlen et al., 1997).

토양질에 대한 국내외 연구는 OECD를 중심으로 토양질에 대한 정의 규정, 토양질 평가를 위한 지표 개발, 그리고 토양 특성에 따른 토양질 평가 방법 등에 대하여 활발히 진행되고 있다 (Yoon, 2004). 특히 농업생태계에서의 토양질에 대한 관리는 물질 순환과 더불어 에너지 흐름을 총괄적으로 관리하여 식량의 생산성을 높이는데 매우 필요한 방법이다 (Jung et al., 2009).

토양 오염적 측면에서의 토양질 관리는 오염원의 제거 또는 불용화 과정을 통한 토양 복원을 통해 토양의 본래적인 기능을 회복하는 측면에서의 토양질 평가 및 관리가 이루어지고 있으며 특히 중금속 오염 농경지의 복원에 따른 토양질 변화에 대한 모니터링이 최근 연구되고 있다 (Kim et al., 2012).

따라서 본 연구의 목적은 토양의 다양한 기능 중 바이오매스 생산 기능 즉 식량자원의 생산에 영향을 미치는 토양인자를 통해 전국 토양의 바이오매스 생산적 측면의 토양질을 평가하는 것이다.

Materials and methods

흙토람 DB 구축 전국을 대상으로 토양의 화학적 특성에 대한 DB를 구축하기 위해 농촌진흥청 국립농업과학원에서 제공하는 토양환경정보 시스템 흙토람의 토양통 자료와 1: 25,000 토양도를 활용하여 전국 표토의 이화학적 특성을 분석한 후 DB화 하였다. 전국 토양통은 하천범람지, 하해범람지, 저수지, 암석지, 광석지, 용암지를 제외한 313개의 토양통을 사용하였다. 토양통 (soil series)은 미국 농무성 (USDA)의 토양분류기준 목 (order), 아목 (suborder), 대군 (great group), 아군 (subgroup), 및 계 (family) 다음에 분류되는 토양구의 최소단위이며, 토양상은 농·공학적으로 구분되는 토양분류단위이다 (농촌진흥청, 1999). 전국에서 가장 큰 면적을 차지하는 토양통은 삼각통이였으며, 가장 작은 면적을 차지하는 토양통은 용수통으로 조사되었다.

지질도 DB 구축 흙토람에서 제공받은 토양의 화학적 특성 DB와 함께 전국의 지질 특성을 분석하기 위한 지질도는 한국지질자원연구원에서 제공 받은 1: 250,000 수치지질도를 활용하여 전국에 분포한 지질특성을 분석하고, GIS 기반 DB를 구축하였다. 전국에 대한 지질도는 총 260개의 지질부호로 구분되어 있으며 화강암 (Jgr)이 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 역질 사암 (Kycs)이 가장 적은 면적을 차지하고 있다.

토양질 평가 프로토콜 토양질 평가를 위한 프로토콜은 Fig. 1에 나타내었다. 토양질을 평가하기 위해서는 가장 먼저 평가 또는 관리하고자 하는 관리 목표가 결정되어야 하며 이와 관련된 토양의 기능이 결정되어야 한다. 그 후 토

양질을 평가할 수 있는 지표를 선정하는데 이때 선정된 평가 지표 세트를 최소단위군(MDS, Minumum data set)이라 한다. 최소 단위군은 토양의 기능에 따라 상이하며 특히 기후, 토양, 식물군 등에 따라 더 세밀하게 결정될 필요가 있다. 지표 선정의 대표적인 방법은 통계적 방법인 주성분 분석 (PCA, Principle component analysis) 을 통해 선정되며 이를 활용하기 위해서는 방대한 양의 자료가 필요하다.

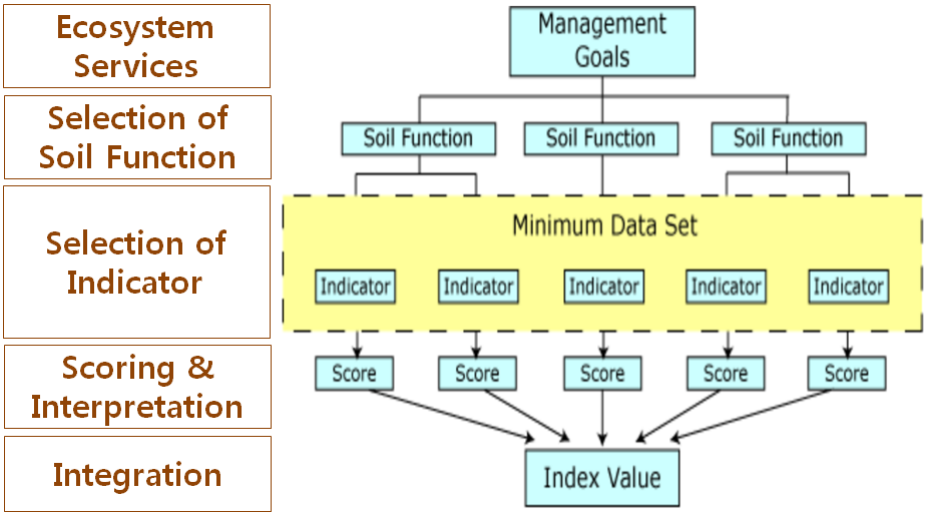


Fig. 1. Schematic diagram of calculating soil quality based on minimum data set (USDA NRCS, 2011).

지표 (indicator) **해석** (**점수화**) 토양의 기능에 따른 토양질을 평가하기 위해서는 선정된 최소 단위군을 이용하여 점수화 (scoring)가 필요하다. 일반적인 점수화 방법은 비선형식을 사용하며, Karlen and Stott (1994)이 적용한 방법은 각각의 토양 인자를 정규 분포화된 등급값 (Normalized score, 0.0-1.0)으로 변환하기 위해 Eq. 1을 이용하여 토양 인자의 특성에 따라 점수가 높을수록 좋은 변수 (more is better), 낮을수록 좋은 변수 (less is better), 적정범위 (optimum)에서 가장 좋은 변수 등으로 구별하여 각 토양 특성에 대한 등급화의 변수값을 산정하였다.

$$\underline{Normalized\ score}$$

$$\frac{1}{[1+((B-L)/(x-L))^{2S(B+x-2L)}} \quad (1)$$

Where B: soil baseline value

L: lower threshold of soil

x: soil variables

S: slope

토양 특성에 대한 등급화가 이루어진 후, 각 토양 특성에 적합한 모델을 산출하기 위해 Curve Expert (ver 1.40)를 이용하여 최적의 모델식을 산출하였다. 토양 특성에 따라 sinusoidal, logistic, polynominal 모델식 등이 결정되었으며, 결정된 최적의 모델식을 이용하여 웹기반의 토양질 평가 시스템을 구축하였다.

Results and Discussion

바이오매스 생산 기능 국립농업기술원에서 전국 농경지를 대상으로 조사한 표토 특성 (총 1,700여점)을 이용하여, 물리/화학/생물학적 DB를 통계 분석한 후, 평가체계 개발에 활용하였다 (Table 1). 평가 결과 토양의 평균 pH는 논과 밭에서 각각 5.80, 5.91로 약산성 조건이였으며 평균 유기물 함량은 25.0, 25.3 g kg^{-1}로 논과 밭 모두 권장 유기물 함량 범위에 있는 것으로 조사되었다.

Table 1. Summary of chemical properties of soil chemical properties based on soil series

		pH	EC	OM	P_2O_5	CEC
			dS m^{-1}	g kg	mg kg	$cmol_c$ kg
Paddy	Minimum	4.20	0.10	1.2	1.2	2.6
	Average	5.80	0.40	25.0	130.9	9.5
	Maximum	8.20	6.90	179.6	1,450.0	42.1
	Optimum	**6.0~6.5**	-	**25~30**	**80~120**	-
Upland	Minimum	3.45	0.02	0.56	4.58	0.23
	Average	5.91	0.52	25.53	570.54	33.07
	Maximum	8.40	9.45	234.52	2,274.53	90.49
	Optimum	**6.0~6.5**	-	**20~30**	**300~500**	-

최소단위군 선정 다양한 표토 특성 중 평가에 필요한 최소단위군을 선정하기 위해 통계분석인 주요인 분석 (Principal component analysis)을 사용하였다. 표토의 화학적 특성만을 고려하여 주요인 분석을 실시한 결과, 최소단위군은 NH_4-N, NO_3-N, pH, EC, P_2O_5, CEC 인 것으로 조사되었다 (Table 2). 요인 1에서 가장 높은 요인으로 판명된 토양 항목은 암모니아태 질소와 질산태 질소였으며 요인 2에서는 토양 pH와 전기전도도 (EC), 그리고 요인 3에서는 토양 내 유효인산과 CEC인 것으로 조사되었다.

Table 2. Result of statistical analysis for selecting minimum data sets.

Indicators	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
Eigenvalue(%)	3.62	1.87	1.23	0.65
Proportion(%)	0.452	0.234	0.154	0.081
Cumulative(%)	0.452	0.686	***0.840***	0.921
pH	-0.343	***0.828***	-0.003	-0.290
SOM	-0.947	0.131	0.094	0.095
EC	-0.603	***0.672***	0.021	0.009
NH_4-N	***0.775***	0.513	0.106	-0.114
NO_3-N	***0.846***	0.464	0.058	-0.121
P_2O_5	-0.505	-0.291	-0.536	-0.589
CEC	-0.802	0.076	***0.538***	0.051

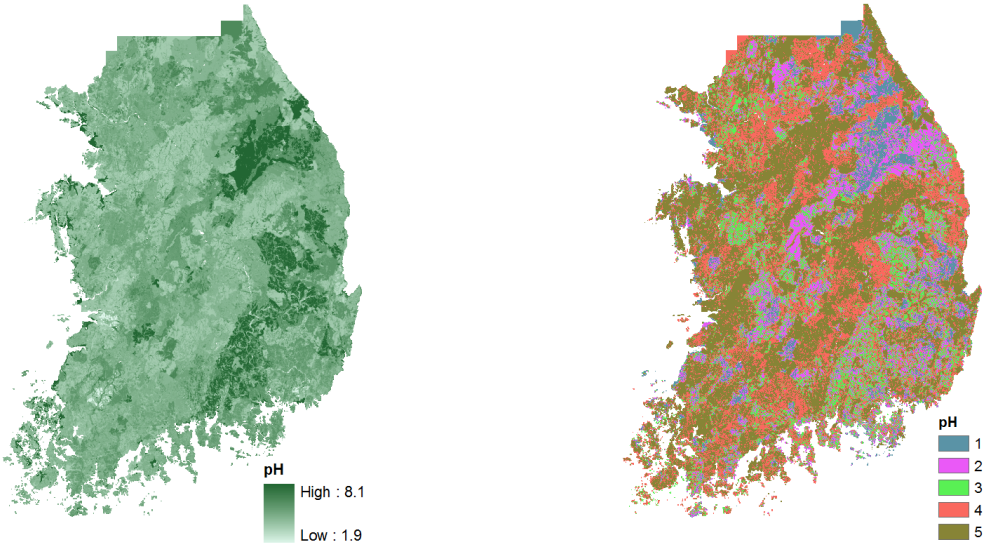
지수화 인자 산출 바이오매스 생산 기능을 평가하기 위한 토양의 화학적 특성에 대해 지수화 인자를 산출하였다 (Table 3). 토양의 각 인자에 대해 Eq. 2에 대한 인자값을 산출하였으며 각 인자값은 국내 토양의 화학적 특성에 의해 산출되었다.

Table 3. Value of parameters for calculating biomass production.

Scoring curve	Indicator	Depth (cm)	LT	UT	LB	UB	Optimum	Slope
More	T-N	0~15	300		1650			0.001
	CEC	0~15	0.02	90.5	20	45	32	0.1159
	OM	0~15	0.5	234.5	16	30	20	0.0036
Optimum	pH	0~15	3.3	8.4	5.3	6.5	6.0	1.3012
	EC	0~15	0.0	9.5	0.3	0.8	0.5	2.2341
	P2O5	0~15	4.5	2275	310	750	530	0.0058
	NO3-N	0~15	4	500	50	300	100	0.104

LT: lower threshold, UT: upper threshold, LB: lower baseline, UB: upper baseline

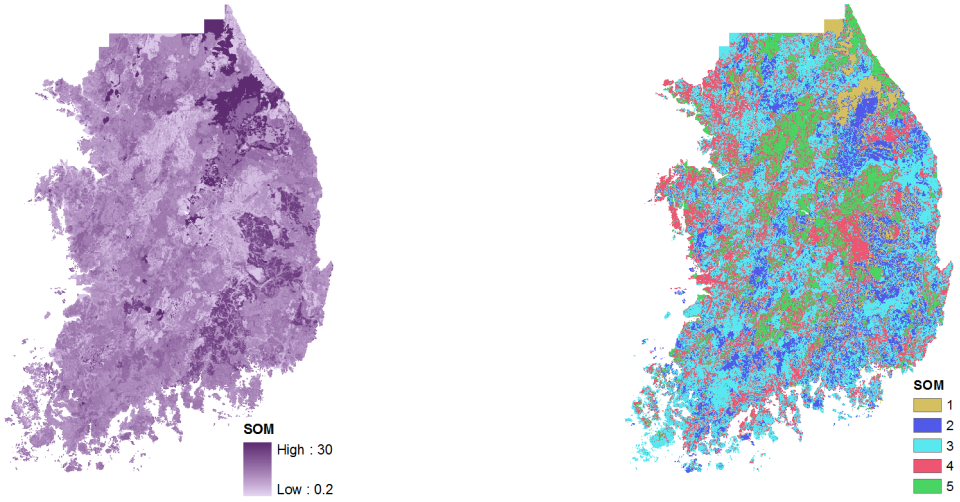
pH 지표 평가 Fig. 2는 전국 pH 항목에 대한 결과로, 최대값 8.1, 최소값 1.9의 범위를 보였다. 등급은 토양 pH에 따른 지수화 값에 따라 총 5단계로 등급화 하였으며, 등급 1의 경우 바이오매스 생산에 적절한 토양 pH를 나타내며 등급 5는 바이오매스 생산 기능에 적절하지 않은 토양 등급을 나타낸다. 토양 pH에 따른 전국 토양을 지수화 한 결과 바이오매스 생산에 적절한 등급 1의 토양 면적은 약 15,522 Km^2 였으며 등급 2의 면적은 약 17,468 Km^2으로 조사되었다. 하지만 전국 토양에 대해 가장 면적이 넓은 등급은 5등급으로 약 32,831 Km^2으로 조사되었다.



(a) GIS map of soil pH (b) Rating map of soil pH

Fig. 2. Result of soil pH evaluation in national wide.

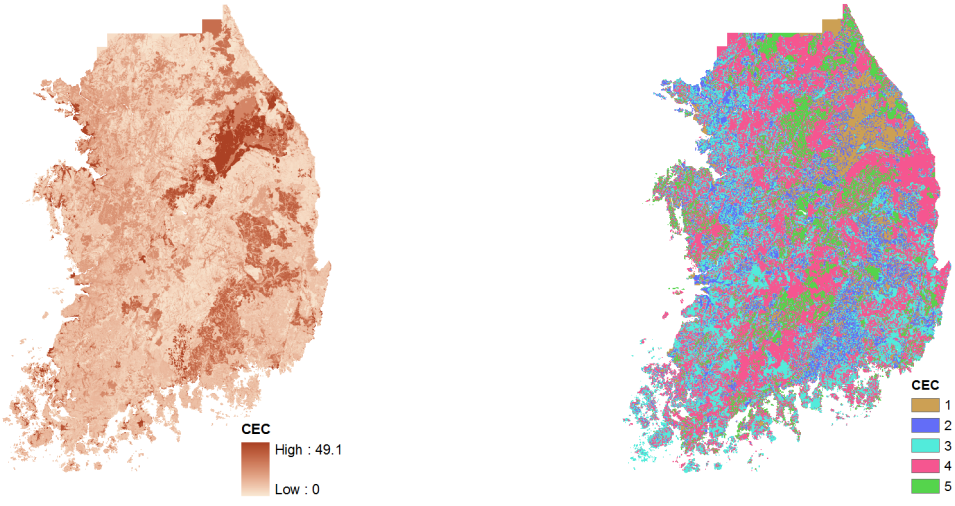
전국 표토 SOM 지표 평가 Fig. 3은 전국 SOM 항목에 대한 결과로 최대값 30, 최소값 0.2 g kg^{-1}의 범위를 보였다. 각 항목에 대한 등급분포를 살펴보면 등급 3이 차지하는 면적이 약 32,299 Km^2로 가장 높았으며 다음은 등급 2로 약 21,533 Km^2으로 조사되었다.



(a) (b)

Fig. 3. Result of soil organic matter evaluation in national wide (a) GIS map of soil pH (b)Rating map of soil pH.

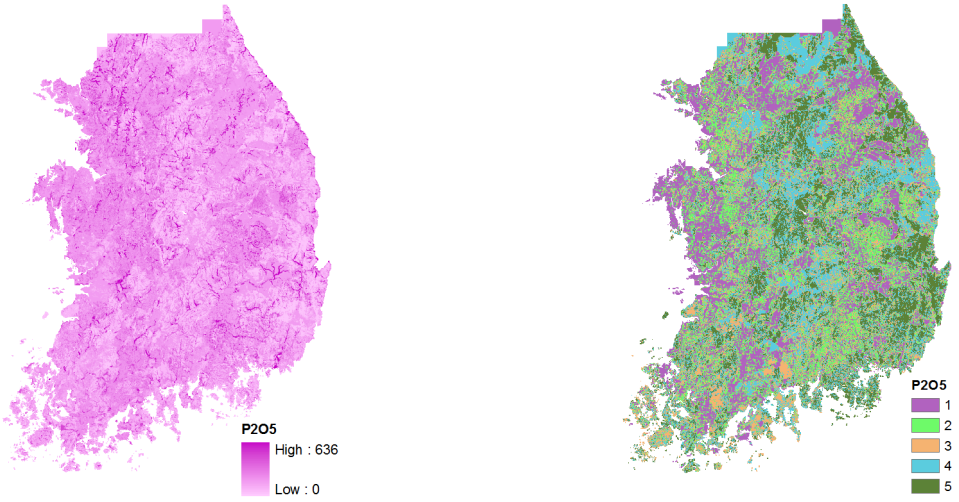
전국 표토 CEC 지표 평가 Fig. 4는 전국 CEC 항목에 대한 결과로 최대값 49.1, 최소값 0.7 $cmol_c$ kg^{-1}의 범위를 보였다. 전국 토양의 유기물 함량을 대상으로 Eq. 2를 이용하여 지수화한 후 총 5등급화 한 결과 가장 많은 등급은 등급 4로 약 27,988 Km^2 의 면적을 차지하였으며 다음은 3등급이 약 19,316 Km^2의 면적을 차지하였다. 바이오매스 생산적 측면에서 CEC의 가장 좋은 등급인 1등급이 차지하는 면적은 약 16,689 Km^2로 조사되었다.



(a) (b)

Fig. 4. Result of cation exchange capacity evaluation in national wide (a) GIS map of CEC (b)Rating map of CEC.

전국 표토 P_2O_5 지표 평가 Fig. 5는 전국 P_2O_5 항목에 대한 결과로 최대값 636, 최소값 13 mg kg^{-1}의 범위를 보였다. 각 등급별 1~5등급까지의 면적분포를 살펴보면 1등급이 차지하는 면적은 약 48,514 Km^2로 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 5등급이 차지하는 면적은 약 25,433 Km^2 로 2번째로 많은 면적을 차지하는 것으로 조사되었다.



(a) (b)

Fig. 5. Result of available phosphorus evaluation in national wide (a) GIS map of phosphorus (b) Rating map of phosphorus.

전국 표토 바이오매스생산 기능 평가 통계적 분석 방법에 의해 산출된 토양의 화학적 특성 (pH, SOM, CEC, P2O5)을 종합하여 전국 바이오매스 생산 기능에 대한 각 인자를 평가하였다 (Fig. 6). 평가 결과 바이오매스 생산 기능에 가장 좋은 영향을 미치는 토양 특성을 갖는 1등급 토양 면적은 약 13,503 Km^2로 전국 면적의 약 13%를 차지하였으며 2, 3 등급이 각각 전국 면적의 약 32%, 30%인 32,762 Km^2, 30,716 Km^2의 면적을 차지하는 것으로 조사되었다. 전체 5등급 중 가장 많은 면적을 차지하는 등급은 2등급이였으며 다음은 3등급인 것으로 조사되었다.

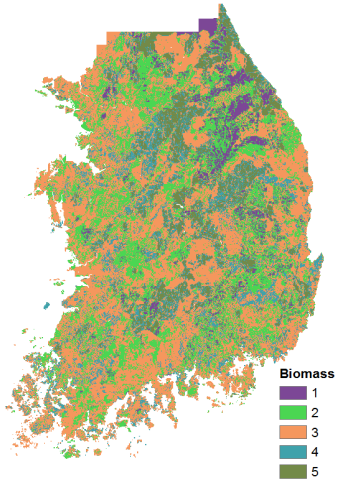


Fig. 6. Result of soil rating based on chemical properties for biomass production in national wide

Conclusion

본 연구에서는 전국을 대상으로 토양의 이화학적 특성에 따른 토양질을 평가하기 위한 프로토콜을 제시하였다. 토양의 다양한 기능 중 바이오매스 생산 기능을 평가하기 위해 전국 토양의 화학적 특성을 인자로 토양질 평가를 실시하였다. 다양한 토양의 화학적 특성 중 토양 pH, 유기물함량, 유효인산, 그리고 치환성 양이온 함량 등이 바이오매스 생산 기능을 평가하기 위한 인자로 산출되었으며 각 인자의 특성값에 따라 지수화를 실시하여 토양 등급을 판별하였다. 분석 결과 바이오매스 생산 기능이 우수할 것으로 판단되는 1등급은 전체 국토 면적의 약 13%인 13,503 Km^2으로 조사되었으며 2,3 등급이 각각 32,762 Km^2, 30,716 Km^2의 면적을 차지하는 것으로 조사되었다. 우리나라 국토의 화학적 특성만을 이용하여 바이오매스 생산 기능을 평가한 결과 현재 3등급이 가장 많은 면적을 차지하고 있으며 다음은 2등급, 1등급의 순으로 많은 면적을 나타내었다. 추후 보다 복합적인 토양질을 평가하기 위해서는 토양의 화학적 특성뿐만 아니라 물리, 생물학적 특성 등에 대한 복합적 평가가 필요할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This study was supported by research grants from the Korean Ministry of Environment (MOE) as the “Development of Korean Evaluation and Management System of Surface Soil Resources” in the GAIA Project(201400054003).

References

Brooks, P.C., A. Landman, G. Pruden, and D.S. Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extracting method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil Bio. Biochem. 17:837-842.

Glover, J.D., J.P. Reganold, and P.K. Andrews. 2000. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. Agric. Ecosyst. Environ. 80:29-45.

Karlen, D.L and D.E. Scott. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In ‘Defining soil quality for a sustainable environment’ pp.53-72. SSSA Special Publishing, Madison.

Li, W.X., X.X. Zhang, B. Wu, S.L. Sun, Y. S. Chen, W.Y. Pan, D.Y. Zhao, and S.P. Cheng. 2008. A comparative analysis of environmental quality assessment methods for heavy metal-contaminated soils. Pedosphere. 18:344-352.

Monokrousos, N., E.M. Papatheodorou, J.D. Diamantopoulos, and G.P. Stamou. 2006. Soil quality variables in organically and conventionally cultivated field sites. Soil Bio. Biochem. 38, 1282-1289.

Mora, A.P., J. Ortega-Calvo, F. Cabrera, and E. Madejon. 2005. Changes in enzyme activities and microbial biomass after “in situ” remediation of a heavy metal-contaminated soil. Appl. Soil Ecolo. 28:125-137.

NIAST. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA. Suwon. Korea.

Poggio L., B. Vrscaj, E. Hepperle, R. Schulin, and F.A. Marsan. 2008. Introducing a method of human health risk evaluation for planning and soil quality management of heavy metal-polluted soils-An example from Grugliasco(Italy). Landsc. Urban Plan. 88:64-72.

Wander M.R. and G.A. Bollero. 1999. Soil quality assessment of tillage impacts of Illinois. J of Soil Sci. Soc. Ameri.

63:961-971.

Warkentin, B.P. and H.F. Fletcher. 1997. Soil quality for intensive agriculture. p. 594-598. In Proc. Int. Sem. on Soil Environ. and Fert. Manage. in Intensive Agric. Soc. Sci. Soil and Manure, Natl. Inst. of Agric. Sci., Tokyo, Japan.

Yoon, J.H. 2004. Review and discussion on development of soil quality indicators. Korean J. Soil. Sci. Fert. 37:192-198.