Estimation of Soil Organic Matter Content Using Soil Organic Color Chart and Soil Color Meter SPAD 503

Byung-Keun Hyun^{1*}, Yejin Lee², Cheol-Hyun Ryu³, and Yuri Cho³

¹Senior Researcher, Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

²Junior Researcher, Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

³Researcher, Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: bkhyun@korea.kr

ABSTRACT

Received: December 27, 2021

Revised: February 22, 2022

Accepted: February 23, 2022

Edited by

Won-Pyo Park,
Jeju National University, Korea

ORCID

Yejin Lee
<https://orcid.org/0000-0003-4415-846X>

Soil organic matter (SOM) is one of the most representative indicators of soil fertility. In order to quickly estimate the SOM content through soil color in the field, a soil color chart (AG-1941-Color Chart, University of Illinois Extension, USA) and soil color meter (SPAD 503) were used. The results are summarized as follows. A total of 173 soil samples were analyzed, of which 78 were paddy soil and 95 upland soil (including plastic film house soil). The soil color meter was more useful than the soil color chart in estimating the SOM content. The coefficient of determination of the regression equation for estimating soil organic matter content using the soil color chart was 0.5857*** for upland soil, 0.5460*** for all soil, and 0.3499*** for paddy soil. In the case of upland soils, estimating the SOM content using regression model of upland soil had higher estimating power than using regression equation of all soils. The coefficient of determination of the regression equation for estimating soil organic matter content using a soil color meter was higher in the model divided ($R^2 = 0.9537***$) in to paddy and upland soil than in all soil model ($R^2 = 0.7738***$). When the highest value of SOM content used for model validation was excluded, the coefficient of determination of the existing model was reduced, but the trend was the same. When using the soil color meter, the all soil model decreased from 0.9029 to 0.5723, and from 0.9095 to 0.6879 when dividing the paddy and upland soils. Also, when using the soil color chart, the all soil model was reduced from 0.5246 to 0.2111, and when dividing the paddy and upland soil from 0.5987 to 0.1863.

Keywords: Soil color chart, Soil organic matter, SPAD 503

(a) Model (all soil by SPAD 503)

(b) Model (paddy and upland division by SPAD 503)

Soil organic matter content estimation model using SPAD 503.

Introduction

토양의 색이란 토색(土色, soil color)이라고 하며 먼셀 색조표에 의해 색상, 채도, 명도로 표기된다. 토색은 토양의 성질 또는 생성과정을 아는데 중요한 인자 중의 하나이다. 토색에는 주로 부식과 철화합물의 함량과 그 외에 석회, 규산, 망간, 석고 등의 존재 및 형태에 따라 영향을 미친다 (KSSF and RDA, 2012; Kim et al., 2016). 주로, 토색이 어두울수록 유기물 함량이 많고, 붉거나 노란색에서 백색으로 가까울수록 토양유기물함량이 적다고 할 수 있다. 토양의 비옥도를 나타낼 때 토양 중의 질소함량은 토양유기물 함량에 따라 추정할 수 있다. 따라서, 유기물이 많은 토양은 질소함량이 많고, 유기물이 적으면 질소함량도 적은 것으로 생각할 수 있다. 그러므로, 토양의 유기물함량을 적정수준 이상으로 높여야 토양의 지력 질소 공급을 충분히 할 수 있을 것으로 생각된다.

토색과 관련된 선행결과들을 보면 Hur et al. (2006)은 토색별로 토양의 유기물함량의 차이가 발생하기 때문에 토양수분특성곡선 작성 시 토색별로 구분해야 한다고 했다. Park et al. (1984)은 제주도 토양은 토양의 색깔이 다른 흑색, 농암갈색, 암갈색토에 따라서 토양이화학적 (물리성, 화학성)의 차이가 컸다고 했다. Yun et al. (2009)은 논에서 답전순환으로 작토층의 토색의 색상이 밝아지는 경향을 보였으며, 회색도가 벼 재배지의 경우 20인데 전환지는 5로 감소했다고 보고했다. 또한, Jung et al. (2012)은 배수불량 경사지의 논토양을 명거배수 하면 토색이 환원작용으로 회색을 보인 반면, 암거배수구에서는 투수성 및 통기성이 증가하여 회색층의 토색이 명갈색으로 변화되었다고 했다.

일본의 경우 토양분류 시 일부 대군은 토색을 기준하여 암적색토대군, 적황색토대군, 갈색토대군 등으로 분류한다고 하였다 (Hyun et al., 2016). Park and Shin (2010)은 우리나라 토양색의 범위는 YR계열에서 Y계열까지 색상이 분포하였으며, YR계열이 좀 더 많은 토양색을 포함하며, 서울·경기는 Grayish한 색채가 많고, 충청도는 서울·경기에 비해 좀 더 밝고 채도가 높은 색조가 많으며, 강원도는 Y계열의 색상이 두드러지며, 경상도와 전라도는 reddish하고 비교적 선명한 YR계열이 조금 더 분포하며, 제주도는 dark톤의 토양색이었다고 하였다.

Shin (1970)은 명색에서 암색 농암색으로 진행됨에 따라서 유기물함량이 증가하는데 평균함량이 1.0%, 2.2%, 6.9%라고 하였다. 토성에 따라 큰 차이가 있었으며, 동일계 토색에서도 점토함량이 많아짐에 따라 유기물함량이 증가하였다고 하였다. 토양유기물을 추정하는 연구로는 Seo et al. (2010)은 염산과 수산화나트륨-아인산나트륨 용액으로 추출한 다음 흡광도를 측정하여 기존의 Tyurin법과 비교 시 유기물 함량을 결정할 수 있을 것으로 보았다. 유기물 추정 시 유의할 사항으로는 현장에서 대표성 있는 시료를 얻기에 주의해야 하며, 육안으로 유기물 수준별 반응 정도와 비교하여 토양유기물을 간접 측정해야 한다고 하였다. Kim and Hong (2002)은 연초경작지 67개 토양에 대해 색차계 (Colorimeter CR-300)를 이용하여 분석한 결과 토양의 색 특성은 유기물함량, 양이온치환용량, 치환성 석회 및 고토 등과 유의성 있는 상관을 보였으며, 특히 L (명도를 나타냄)값은 유기물함량과 가장 밀접한 관계를 보였다고 하였다. Choi et al. (2009)은 농경지에서 채취한 30개의 토양 프로파일에 대해 분광스펙트럼 분석결과 토색과 관련해서 Fe에 의한 500 - 1,200 nm 영역에서의 흡수스펙트럼 특징에 의해 유형을 나누어 추정모델을 도출하기도 하였다. 또한, 256개 토양시료를 미국의 ASD fieldSpec pro 장비를 이용해 400 - 2,500 nm에서 반사도를 측정해 토양유기물 함량을 추정한 결과 R^2 값이 0.62정도의 값을 얻었다고 하였다 (Choi et al., 2010).

토양의 유기물 함량을 알기 위해서는 보통 일반 토양분석법인 Tyurin법을 사용한다. 그러나, 현장에서 토양유기물을 신속하게 추정할 수 있는 방법은 아직 개발되어 있지 않기 때문에 토양현장에서 신속하게 토양유기물을 추정할 수 있는 방법을 검토하였다. 현재까지 현장에서 활용되고 있는 토색 측정방법은 토양의 유기물함량 추정 Illinois University (2021)의 AG-1941-Color Chart (University of Illinois Extension, USA; 이하 Color Chart)와 현장토양의

토색을 측정하는 토색계 SPAD 503 등이 있다. 토양유기물 Color Chart와 SPAD 503를 이용하여 토색을 측정하였고, 해당 시료를 Tyurin법과 비교하였다. 추정된 분석모형을 통해서 현장에서 필요한 비료사용처방 등에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각되며, 그 결과를 보고하는 바이다.

Materials and Methods

분석 대상토양 분석대상 토양은 비옥도의 차이가 있는 농경지 토양 173점을 대상으로 하였으며, 토지이용별로는 논이 78점, 밭 (시설포함)이 95점이었다. 이중 모재별로는 간척지 9점, 석회암 21, 화산회 3점이었다. 분석항목은 토양유기물함량을 분석하였다.

토양유기물 분석 및 토색측정 토양유기물함량 분석은 일반분석의 경우에는 건토를 사용하여 Tyurin법으로 수행하였다. Color Chart의 경우에는 현장의 습토 상태로 분석하였다. 습토상태의 토색을 Color Chart를 이용하여 가장 가까운 값에 해당하는 % 값을 이용하였다. 또한, 토색계 SPAD 503 (Minolta)의 경우에도 현장의 습토 상태에서 SPAD 503으로 측정한 토색 값 (색상 명도/채도)을 자료로 이용하였다.

모형검증 대상 토양 중 148점 (85%)을 이용하여 토양유기물함량 추정모형을 전체농경지와 논밭을 구분하여 Color Chart를 이용한 모형과 토색계를 이용한 모형을 만들었고, 나머지 25점 (15%)을 통해서 모형을 검증하였다. 분산분석을 통해서 회귀모형의 유의성 검증을 실시하였다.

Results and Discussion

분석대상 시료의 토양유기물 특성 Table 1은 분석대상 시료의 토양유기물 분포특성을 나타낸다. 대상 시료의 평균유기물함량은 30 g kg^{-1} 이었으며 최대 228, 최소 2이었다. 시료 173점 중에서 148점은 모델구축에 25점은 모델을 검증하는데 사용하였다.

Table 1. Soil organic matter content distribution characteristics of the sample to be analyzed.

Sample	Average (g kg^{-1})	Maximum (g kg^{-1})	Minimum (g kg^{-1})
173 (all)	30	228	2
- paddy	27	65	2
- upland	33	228	3
148 (model)	30	228	2
25 (verification)	32	158	3

Color Chart를 이용한 토양유기물 추정 Fig. 1은 Color Chart를 이용하여 토양유기물을 추정한 그래프이다. 그래프는 전체대상을 이용한 그래프와 논밭으로 구분하여 회귀식을 구한 그래프이다. 전체토양을 대상으로 했을 때의 모형은 $3.606X - 40.207$ ($R^2 = 0.5460$, 여기서 X는 Color Chart 값)이었다. 논토양만으로 분석했을 경우에는 $2.4264X - 17.152$ ($R^2 = 0.3499$), 밭토양만으로 구분했을 때는 $3.9466X - 48.664$ ($R^2 = 0.5857$)으로 분석되었다. 각 모형의 결정

계수 값을 비교해보면 밭의 경우가 가장 높은 값을 보였다. 결정계수 값이 높은 순서는 밭 > 전제 > 논 순이었다. 그것은 논인 경우 유기물함량이 평균 27 g kg^{-1} 이며 그 범위가 $2 - 65 \text{ g kg}^{-1}$ 인 반면에, 밭은 유기물함량 평균이 33이며 범위는 $3 - 228$ 로 논에 비해 유기물함량이 훨씬 다양하게 분포되어 있는 것에 기인한 것으로 생각된다.

Fig. 1. Difference between estimated value of soil organic matter estimation color chart and Tyurin method.

토색계 SPAD 503을 이용한 토양유기물 추정 Table 2는 토색계 SPAD 503을 이용한 토색 및 토양유기물 함량값이다. Table 2에서와 같이 토색이 한 가지색인 농암갈색 (very dark brown)으로 표현되나, 토색계로는 10YR 2/1 - 2/3으로 세분되어 구분이 되어진다. 각각의 토양유기물함량도 평균값도 $26 - 51 \text{ g kg}^{-1}$ 로 다양하다. 토색은 색상 (hue), 명도 (value)/채도 (chroma)로 표현되는데, 명도의 숫자가 커질수록 밝게, 채도의 숫자가 높아질수록 색의 순도가 높아진다. 따라서, 명도와 채도의 숫자가 작을수록 어두운 색 쪽으로 가까워진다고 할 수 있다. 토색이 10YR 4/2 - 4/4인 토양이나, 7.5Y 3/1 - 3/4인 토양의 경우에는 채도의 값이 커질수록 유기물함량은 줄어들었다. 반면에 2.5Y 3/1 - 3/3인 토양은 오히려 증가하기도 하였다. 토양의 배수등급의 차이에 따라 토색에 영향을 미칠 수 있다 (Brady and Weil, 2008; Kim et al., 2016). 특히 논토양의 경우에는 배수불량의 경우에 토색이 회색내지 검은 색으로 보이기 때문에 유기물이 많을 것으로 오해할 수 있다 (Brady and Weil, 2008; Kim et al., 2016). 따라서, 논, 밭토양을 따로 구분해서 분석할 필요가 있는 것으로 생각된다.

Table 2. Soil color and soil organic matter content using SPAD 503.

Soil color		Numbers	Average (g kg^{-1})	Maximum (g kg^{-1})	Minimum (g kg^{-1})	Standard deviation
10Y 3/1	Very dark grayish olive	1	2	2	2	-
10YR 1.7/1	Black	2	29	37	20	8.6
10YR 2/1	Black	5	33	41	16	9.2
10YR 2/2	Very dark brown	11	26	58	10	12.7
10YR 2/3	Very dark brown	5	32	46	16	11.8
10YR 3/1	Very dark gray	2	51	51	51	0.2
10YR 3/2	Very dark grayish brown	28	27	51	13	9.1
10YR 3/3	Dark brown	11	25	61	9	14.5
10YR 3/4	Dark yellowish brown	2	16	19	12	3.3
10YR 4/2	Dark grayish brown	4	21	21	20	0.6
10YR 4/3	Brown	3	15	21	11	4.4
10YR 4/4	Dark yellowish brown	1	12	12	12	-

Table 2. Soil color and soil organic matter content using SPAD 503. (Continued)

Soil color		Numbers	Average (g kg ⁻¹)	Maximum (g kg ⁻¹)	Minimum (g kg ⁻¹)	Standard deviation
2.5Y 2/1	Black	7	47	65	17	16.9
2.5Y 3/1	Very dark gray	1	15	15	15	-
2.5Y 3/2	Very dark grayish brown	5	21	31	13	6.3
2.5Y 3/3	Dark olive brown	2	24	25	24	0.7
2.5Y 4/2	Dark grayish brown	3	9	20	2	8.3
2.5Y 4/3	Olive brown	1	24	24	24	-
2.5Y 5/3	Light olive brown	2	24	24	23	0.9
2.5YR 2/2	Very dusky red	1	24	24	24	-
2.5YR 3/2	Dusky red	1	20	20	20	-
2.5YR 3/3	Dark reddish brown	1	23	23	23	-
2.5YR 4/4	Reddish brown	5	15	37	3	14.4
5GY 2/1	Very dark grayish green	1	2	2	2	-
5Y 2/1	Black	1	19	19	19	-
5Y 2/2	Black	6	25	36	14	8.4
5YR 3/2	Dark reddish brown	2	58	60	56	2.1
5YR 3/3	Dark reddish brown	2	28	47	9	19.0
5YR 3/4	Dark reddish brown	1	10	10	10	-
5YR 4/3	Reddish brown	1	10	10	10	-
7.5Y 3/1	Very dark gray	1	4	4	4	-
7.5YR 2/1	Black	7	53	103	32	30.0
7.5YR 2/2	Very dark brown	5	24	37	16	7.4
7.5YR 3/1	Very dark gray	3	53	104	24	35.8
7.5YR 3/2	Dark brown	3	34	44	19	10.8
7.5YR 3/3	Dark brown	3	18	40	7	18.8
7.5YR 3/4	Dark brown	1	8	8	8	-
7.5YR 4/3	Brown	4	22	24	20	2.0
N 1.5/0	Black	1	181	181	181	-
N 2/0	Black	2	143	228	57	85.3

If there is no soil color value in the Munsell soil color chart, the closest value was applied.

Table 3과 Table 4는 대상토양을 논밭으로 구분한 후 토색계 SPAD 503를 이용해 토색 및 토양유기물을 분석한 것이다. Table 3의 논토양으로 구분한 경우에는 10YR 2/2는 대상 논토양 중 6점이 해당되었으며, 평균 23 g kg⁻¹, 최대 30, 최소 16, 표준편차는 6.1이었다. Table 4의 밭토양의 경우에는 전체 밭토양 중 5점이 해당되었으며, 평균 30 g kg⁻¹, 최대 58, 최소 10, 표준편차는 17.0로 분석되었다. 전체토양으로 토색을 분석한 것보다는 논밭으로 구분했을 경우가, 특히, 토양의 배수등급의 영향을 덜 받는 밭토양의 경우가 채도의 값이 커질수록 토양의 유기물함량이 감소하는 것으로 분석되었다(예, 5YR 3/2 - 3/4, 7.5Y 3/2 - 3/4). 밭토양의 경우, 토색에 의한 토양유기물함량을 구분하는데 있어서 전체토양으로 분석하는 것보다 양호한 것으로 판단된다.

Table 3. Soil color and soil organic matter content using SPAD 503 by paddy.

Soil color		Numbers	Average (g kg ⁻¹)	Maximum (g kg ⁻¹)	Minimum (g kg ⁻¹)	Standard deviation
10Y 3/1	Very dark grayish olive	1	2	2	2	-
10YR 1.7/1	Black	2	29	37	20	8.6
10YR 2/1	Black	2	34	38	31	3.7
10YR 2/2	Very dark brown	6	23	30	16	6.1
10YR 2/3	Very dark brown	1	16	16	16	-
10YR 3/1	Very dark gray	2	51	51	51	0.2
10YR 3/2	Very dark grayish brown	14	30	51	16	10.0
10YR 4/2	Dark grayish brown	4	21	21	20	0.6
10YR 4/3	Brown	1	21	21	21	-
2.5Y 2/1	Black	6	47	65	17	18.3
2.5Y 3/1	Very dark gray	1	15	15	15	-
2.5Y 3/2	Very dark grayish brown	3	20	31	13	7.8
2.5Y 3/3	Dark olive brown	2	24	25	24	0.7
2.5Y 4/2	Dark grayish brown	2	3	3	2	0.3
2.5Y 4/3	Olive brown	1	24	24	24	-
2.5Y 5/3	Light olive brown	2	24	24	23	0.9
5GY 2/1	Very dark grayish green	1	2	2	2	-
5Y 2/1	Black	1	19	19	19	-
5Y 2/2	Black	6	25	36	14	8.4
7.5Y 3/1	Very dark gray	1	4	4	4	-
7.5YR 2/1	Black	2	35	37	32	2.5
7.5YR 3/2	Very dark brown	1	44	44	44	-
7.5YR 4/3	Brown	4	22	24	20	2.0

If there is no soil color value in the Munsell soil color chart, the closest value was applied.

Table 4. Soil color and soil organic matter content using SPAD 503 by upland.

Soil color		Numbers	Average (g kg ⁻¹)	Maximum (g kg ⁻¹)	Minimum (g kg ⁻¹)	Standard deviation
10YR 2/1	Black	3	32	41	16	11.5
10YR 2/2	Very dark brown	5	30	58	10	17.0
10YR 2/3	Very dark brown	4	36	46	24	9.7
10YR 3/2	Very dark grayish brown	14	24	44	13	6.9
10YR 3/3	Dark brown	11	25	61	9	14.5
10YR 3/4	Dark yellowish brown	2	16	19	12	3.3
10YR 4/3	Brown	2	11	12	11	0.4
10YR 4/4	Dark yellowish brown	1	12	12	12	-
2.5Y 2/1	Black	1	49	49	49	-
2.5Y 3/2	Very dark grayish brown	2	23	24	23	0.8
2.5Y 4/2	Dark grayish brown	1	20	20	20	-

Table 4. Soil color and soil organic matter content using SPAD 503 by upland. (Continued)

Soil color		Numbers	Average (g kg ⁻¹)	Maximum (g kg ⁻¹)	Minimum (g kg ⁻¹)	Standard deviation
2.5YR 2/2	Very dusky red	1	24	24	24	-
2.5YR 3/2	Dusky red	1	20	20	20	-
2.5YR 3/3	Dark reddish brown	1	23	23	23	-
2.5YR 4/4	Reddish brown	5	15	37	3	14.4
5YR 3/2	Dark reddish brown	2	58	60	56	2.1
5YR 3/3	Dark reddish brown	2	28	47	9	19.0
5YR 3/4	Dark reddish brown	1	10	10	10	-
5YR 4/3	Reddish brown	1	10	10	10	-
7.5YR 2/1	Black	5	60	103	35	29.8
7.5YR 2/2	Very dark brown	5	24	37	16	7.4
7.5YR 3/1	Very dark gray	3	53	104	24	35.8
7.5YR 3/2	Dark brown	2	29	40	19	10.0
7.5YR 3/3	Dark brown	3	18	40	7	18.8
7.5YR 3/4	Dark brown	1	8	8	8	-
N 1.5/0	Black	1	181	181	181	-
N 2/0	Black	2	143	228	57	85.3

If there is no soil color value in the Munsell soil color chart, the closest value was applied.

모형검증 Fig. 2는 Color Chart와 SPAD-503에 의한 토양유기물 함량 추정모형값이다. 그래프의 모형값을 보면 토색계를 이용한 방법이 Color Chart를 이용한 방법보다 토양유기물 추정이 더 양호한 것으로 분석되었다.

(a) Model (all soil by SPAD 503)

(b) Model (paddy and upland division by SPAD 503)

(c) Model (all soil by soil color chart)

(d) Model (paddy and upland division by soil color chart)

Fig. 2. Soil organic matter content estimation model by color chart and SPAD 503.

Table 5는 구축한 모형별 상관관계를 분석한 값이다. Tyurin법과 각각의 모형값을 비교 시 토색계 SPAD 503이 Color Chart 보다 더 양호하였다. 특히 토색계 SPAD 503을 이용해 논과 밭을 구분해서 구축한 모형의 상관계수가 0.9537로 Color Chart를 이용해 논밭을 구분한 모형 값 0.7738보다 상관계수값이 더 높았다.

Table 5. Correlation analysis by models.

Division	Tyurin method	SPAD 503 (all)	SPAD 503 (paddy and upland division)	Color chart (all)	Color chart (paddy and upland division)
Tyurin method	1	0.9502	0.9537	0.7243	0.7738
SPAD 503 (all)		1	0.9759	0.8173	0.8470
SPAD 503 (paddy and upland division)			1	0.7717	0.8168
Color chart (all)				1	0.9786
Color chart (paddy and upland division)					1

밭토양의 토양유기물 추정모형이 높은 것은 논토양에 비해 밭토양의 토색이 현장에서 명확하게 판단되기 때문인 것으로 생각된다. 밭토양의 경우에는 배수등급이 매우양호, 양호, 약간양호 (해당 토양은 극히 일부)등급이나, 논토양의 경우에는 매우불량, 불량, 약간불량의 등급으로 현장에서는 토양수분 때문에 토색이 더 검게 보여 토양유기물 함량이 더 많은 것으로 생각될 수 있을 것이다.

Fig. 3은 검증모형 값 중에서 유기물함량이 가장 높은 토양값 ($\text{OM } 157 \text{ g kg}^{-1}$)을 제외한 후에 회귀식을 다시 구한 값이다.

(a) Model (all soil by SPAD 503)

(b) Model (paddy and upland division by SPAD 503)

(c) Model (all soil by soil color chart)

(d) Model (paddy and upland division by soil color chart)

Fig. 3. Graph verified after excluding the highest value of organic matter content.

유기물함량 최고값을 제외하면 기존 Fig. 2에서 구한 모형의 결정계수 (R^2) 값보다 작아졌다. 토색계 SPAD 503의 결정계수 (R^2) 값이 전체토양을 대상으로 했을 경우에는 0.9029이 0.5723로, 논밭을 구분했을 때는 0.9095값이 0.6879로 감소하였다. 또한, Color Chart의 결정계수 (R^2) 값이 전체토양을 대상으로 했을 경우에는 0.5246값이 0.2111로, 논밭을 구분한 경우에는 0.5987이 0.1863로 감소되었다.

모형의 결정계수 값은 감소되었으나 그 경향은 동일하였다. 특히 Color Chart의 경우에는 결정계수 값이 매우 낮아졌음을 알 수 있다.

Conclusions

토양유기물은 토양의 비옥도를 나타내는 가장 대표적인 지표 중의 하나이다. 현장에서 토색을 통해 신속하게 토양 유기물 함량을 추정하기 위해 토색 Color Chart와 토색계 SPAD 503를 이용하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 분석대상 시료는 총 173점이었으며, 이중 논 78점, 밭 (시설포함) 95점이었다. 이중 모재별로는 간척지 9점, 석회암 21점, 화산회 3점이었다. 모델구축에 148점, 검증에 25점을 사용하였다. 토양유기물함량의 평균은 30 g kg^{-1} , 최대 값은 228, 최소값은 2인 토양이었다.
2. 현장의 토양유기물함량을 추정하는 데는 토색 Color Chart와 토색계를 활용할 수 있었다. 토양유기물함량의 추정하는 데는 토색계 SPAD 503이 토색 Color Chart 보다 더 유용하였다.
3. 토색 Color Chart를 이용한 토양유기물 함량 추정 회귀식의 결정계수 값은 밭 ($R^2 = 0.5857^{***}$) > 전체 ($R^2 = 0.5460^{***}$) > 논 ($R^2 = 0.3499^{***}$)이었다. 밭토양의 경우에는 밭의 회귀식 모형을 이용하여 토양유기물함량을 추정하는 것이 전체토양의 회귀식을 이용하는 것보다 추정력이 높았다.
4. 토색계 SPAD 503을 이용한 토양유기물 함량 추정회귀식의 결정계수 값은 논밭으로 구분 ($R^2 = 0.9537^{***}$)한 모형이 전체토양 ($R^2 = 0.7738^{***}$) 모형보다 높았다.
5. 모형검증에 사용된 토양유기물 함량 중 가장 높은 값을 제외 시 기존 모형의 결정계수 값보다 감소하였으나 그 경향을 같았다. 토색계 SPAD 503 (전체토양) 0.9029이 0.5723로, 토색계 SPAD 503 (논밭구분 시) 0.9095값이 0.6879로 감소하였다. 또한, Color Chart (전체토양) 0.5246값이 0.2111로, Color Chart (논밭구분 시) 0.5987이 0.1863로 감소되었다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 (과제번호: PJ014837) “북방지역 식량작물 재배지 토양 비옥도 향상 기술 개발”의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. The nature and properties of soils (14th ed.), p. 122. Pearson Prentice Hall, Ohio, USA.

- Choi, E.Y., S.Y. Hong, L.Y. Kim, and Y.S. Zhang. 2010. Estimation and mapping of soil organic matter using visible-near infrared spectroscopy. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6):968-974.
- Choi, E.Y., S.Y. Hong, Y.H. Kim, K.C. Song, and Y.S. Zhang. 2009. Quantification of soil properties using visible-nearinfrared reflectance spectroscopy. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(6):522-528.
- Hur, S.O., K.H. Moon, G.H. Jung, S.G. Ha, K.W. Song, H.C. Yim, and J.K. Kim. 2006. Estimation model for simplification and validation of soil water characteristics curve on volcanic ash soil in subtropical area in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(6):329-333.
- Hyun, B.K., Y.K. Sonn, H.J. Choi, Y.S. Zhang, K.H. Jung, J.W. Choi, W.R. Kwank, W.S. Kim, and S.E. Hong. 2016. The study on soil classification in Japan. p. 77-82. In *Proceedings of the KSSSF Spring Academic Presentation*, Seoul, Korea.
- Illinois University. 2021. AG1941 - Color chart for estimating organic matter in mineral soils in illinois. Illinois Extension, Illinois, USA.
- Jung, K.Y., E.S. Yun, C.Y. Park, J.B. Hwang, Y.D. Choi, S.H. Jeon, and H.A. Lee. 2012. Variation of soil physical characteristics by drainage improvement in poorly drained sloping paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(5): 704-710.
- Kim, K.H., D.M. Sa, J.B. Jung, E.Y. Choi, and H.N. Hyun. 2016. Soil sciences. p. 47-48. K. Broadcasting and Communication University Press, Seoul, Korea.
- Kim, K.I. and S.D. Hong. 2002. Relationship between soil color characteristics and measurement values by colorimeter. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(2):77-86.
- KSSSF and RDA. 2012. Soil and Fertilizer Glossary. p. 155. Korean Society of Soil Science and Fertilizer, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Park, C.S., K.T. Um, and Y.Y. Kim. 1984. Variation of soil characteristics for soil color groups in Jeju-do. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 17(2):141-146.
- Park, Y.S. and O. Shin. 2010. Analyzing regional soil color of Korea II. *J. Korea Soc. Color Stud.* 24(3):91-99.
- Seo, Y.H., Y.M. Mo, B.O. Cho, A.S. Kang, B.C. Jung, and Y.S. Jung. 2010. Feasibility of a simple determination of soil organic matter content using spectrophotometric method in Korean soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6):1008-1011.
- Shin, W.H. 1970. A study on the relationship of soil color to some soil properties of the soils in Korea. *Agric. Test Res. Rep. (Plant Environ. Ed.)* 13:31-37.
- Yun, E.S., K.Y. Jung, K.D. Park, G.Y. Goh, J.S. Lee, and S.T. Park. 2009. Changes in the soil physical properties of vineyard converted from paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(3):145-151.