

Short communication

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.6.520>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Improved Method of Suitability Classification for Sesame (*Sesamum indicum* L.) Cultivation in Paddy Field Soils

Hyen Chung Chun*, Ki Yuol Jung, Young Dae Choi, and Sanghun Lee

Crop Production Technology Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea

*Corresponding author: hyen2010@korea.kr

ABSTRACT

Received: October 16, 2017**Revised:** November 9, 2017**Accepted:** November 13, 2017

In Korea, the largest agricultural lands are paddy fields which have poor infiltration and drainage properties. Recently, Korean government pursues cultivating upland crops in paddy fields to reduce overproduced rice in Korea. In order to succeed this policy, it is critical to set criteria suitability classification for upland crops cultivating in paddy field soils. The objective of this study was developing guideline of suitability classification for sesame cultivation in paddy field soils. Yields of sesame cultivated in paddy field soils and soil properties were investigated at 40 locations at nationwide scale. Soil properties such as topography, soil texture, soil moisture contents, slope, and drainage level were investigated. The guideline of suitability classification for sesame was determined by multi-regression method. As a result, sesame yields had the greatest correlation with topography, soil moisture content, and slope. Since sesame is sensitive to excessive soil moisture content, paddy fields with well drained, slope of 7-15% and mountain foot or hill were best suit for cultivating sesame. Sesame yields were greater with less soil moisture contents. Based on these results, area of best suitable paddy field land for sesame was 161,400 ha, suitable land was 62,600 ha, possible land was 331,600 ha, and low productive land was 1,075,500 ha. Compared to existing suitability classification, the new guideline of classification recommended smaller area of best or suitable areas to cultivate sesame. This result may suggest that sesame cultivation in paddy field can be very susceptible to soil moisture contents.

Keywords: Sesame, Suitability classification, Soil moisture content, Paddy field

The guideline of suitability classification for sesame including soil moisture contents to represent characteristics of paddy field soils.

Soil property	Points			
	Well	Moderately	Imperfectly	Poorly
Drainage	5	5	3	2
Gravel content (%)	< 10	10 - 35	> 35	
	6	14	7	
Slope (%)	0 - 2	2 - 7	7 - 15	> 15
	6	14	17	14
Topography	Valley	Mt. foot, Hill	Alluvial plain	
	28	42	12	
Soil moisture content (%)	< 20	20 - 25	25 - 30	> 30
	22	15	12	9
Range	Bet suit. land	Suitable land	Possible land	Low productive land
Total	≥ 85	80 - 84	70 - 79	≤ 69



Introduction

참깨 (*Sesamum indicum* L.)는 참깨과 (Pedalidaceae)에 속하는 1년생 초본식물이다. 우리나라에서 주요 유지작물로 재배되어 왔으며 참기름 등으로 많이 이용되고 있다. 국내 참깨 재배면적은 1987년도 94,300 ha를 정점으로 그 후 재배면적이 줄어들어 2014년에는 28,370 ha까지 줄어들었다 (KOSIS, 2015). 재배면적의 감소는 참깨 생산량의 감소로 이어져서 2014년에는 12,158 ton으로 참깨 자급률은 10~15%대를 유지하고 있다. 일반적으로 참깨 종자는 지방 50%, 단백질 20%, 탄수화물 15%, 리그난 0.5% 정도 함유되어 있으며, 참기름의 지방산 중 주성분은 불포화지방산인 올레인산, 리놀레산으로 이들은 혈액 중의 혈청콜레스테롤의 농도를 낮추어 동맥경화를 예방하고, 혈압상승을 억제하는 작용을 한다 (Fukuda et al., 1985; Ryu et al., 1996). 리그난 성분은 항산화 물질로서 인체 면역력 강화 등의 역할이 연구로 밝혀졌다 (Fukuda et al., 1985; Osawa et al., 1995). 이런 종자 성분 함량은 유전적인 영향보다는 재배환경에 영향을 받는다 (Kim et al., 2002; Shim et al., 2010). 최적의 참깨 재배 환경에서 생산된 참깨 수량과 종자성분은 온도, 일장시간, 수분 등의 환경 스트레스를 받은 참깨는 수량과 종자성분 함량보다 월등히 높은 값들을 보였다 (Shim et al., 2010). 수량과 리그난 함량은 환경스트레스를 받은 참깨에서 정상적으로 자란 참깨보다 더 적은 값들을 보였다. 참깨는 원산지외 주요 생산지역이 건조나 반 건조 기후대에서 이루어지므로 참깨 생육과 수량은 토양상태, 특히 토양 수분과 밀접한 관계를 갖고 있는 것으로 판단된다.

우리나라는 90년대 이후 쌀이 과잉 생산되어 정부는 쌀 수급의 안정과 밭작물 자급률을 높이기 위하여 논에서 밭작물 재배를 장려하고 있다. 그러나 우리나라 전체 농경지 중 밭 전환 적합한 면적이 31%인 357 천ha, 밭 전환 가능면적이 43%인 489 천ha인 반면 부적지는 26%인 305 천ha가 분포하고 있다 (Jung et al., 1996). 이렇게 밭으로 전환하는데 문제점들 중 하나는 논외 배수불량 특성으로 인하여 토양수분이 과다하게 되고 이는 작물에 산소공급이 부족하게 되고 토양환원에 의한 유해물질의 발생 등으로 미생물의 활동이 제한되어 작물에 스트레스를 주게 된다고 알려져 있다 (Belford et al., 1991; Hiler, 1971). 전국의 논 토양 중 밭작물 재배를 위한 밭 전환 적합 또는 가능지들 중 토양수분을 고려하여 재배적지기준을 설정해야 안정적인 밭작물 생산과 수량 증가가 가능하다.

작물별 적지기준설정이란 특정 작물에 대한 최대이익을 이끌어 내면서 토양에 최소 손실을 줄 수 있는 토양의 잠재력 평가이다 (Driessen, 1997). 작물 적지기준설정은 토양조사 내용에 기초를 두고 기후 조건, 경작방법, 작물생산성 등을 고려하여 결정하게 되고 결과는 효율적인 토지 이용과 과학영농을 할 수 있는 기반조성에 도움이 된다 (Boitt et al., 2015). 1960년대부터 재배적지기준을 설정하기 시작하였고 포장실험을 통하여 작물마다 최대수량 생산조건을 정하여 적지기준을 설정하였다. 이후 재배적지 기준방식은 요인별 배점제도, 최대저해인자법 등이 도입되면서 다양한 작물의 재배적지기준이 설정되었다 (ASI, 1992). 현재까지 작물재배 기준설정 연구결과는 유자 (Cho et al., 1992), 단감 (Jung et al., 1993), 사과 (Kim et al., 1995; Kim et al., 2009), 복숭아 (Hyeon et al., 1994) 등에 대한 적지기준은 설정되었고 밭작물 중에는 콩 (Seo et al., 2006), 팥 (Cho et al., 2014) 등의 재배 기준설정이 이루어졌다. 논외 밭 전환을 위한 논토양의 작물 재배적지기준은 논 콩 (Kim et al., 1994)과 인삼 (Hyeon et al., 2008) 등이 연구되어졌다. 이러한 재배적지기준설정은 60 이상의 작물들이 다양한 기준설정방법을 활용하여 이루어져왔다. 이 중 최대저해인자법과 단일점수제 등을 이용한 방법으로 기준설정이 이루어져왔으나 특정 인자의 영향이 과도하게 작용하는 문제가 있었다 (Hyun et al., 2010). 이를 보완하고자 작물특성과 수량에 영향을 주는 인자별 기여도를 구하여 각 인자별 배점을 달리하여 적지기준을 설정하는 다변량 통계분석방법이 시도되고 있다. 다변량 통계분석은 작물 수량에 영향을 주는 토양 특성들을 중 주성분분석을 선별하고 이런 인자들을 정량적으로 변환 후 다중회귀분석을 이용하여 인자별 배

점을 부여하는 방법이다 (Emmerling and Udelhover, 2002). 현재까지 다변량 통계분석방법을 이용하여 재배적지 기준을 설정한 작물은 호박, 토마토 등 28개 작물이다 (NAAS, 2010).

본 연구는 참깨의 논토양 재배시 안정적인 생산과 재배면적 확대를 위하여 논 토양 재배적지기준을 설정함에 있다. 재배기준 설정 시 논토양의 특성을 고려하여 토양수분을 인자로 포함하고 다변량 통계 분석을 활용하여 기존 참깨 재배기준과 비교 분석 하였다.

Materials and Methods

참깨의 재배적지를 설정하기 위하여 조사한 참깨 주산단지인 충북 괴산, 경북 예천, 안동, 강원 횡성 등 4개 시, 군으로 총 40개의 농가를 대상으로 조사하였다. 이 조사지역 내 토양정보를 얻어서 토양유형이 논으로 되어 있는 농가들 중 참깨를 재배하는 농가를 선정하였다. 조사 대상 참깨 포장의 토양 특성은 흙토람을 활용하여 토양의 물리적 특성을 조사하였다. 토성, 배수등급, 경사, 유효토심, 지형, 자갈함량 등 참깨수량은 농가당 2016~2017년 2년에 걸쳐 10a당 평균수량을 계산하였다. 각 조사 농가 참깨 포장별로 재배기간 동안 Watchdog SM 100 측정기 (Spectrum Technologies, Plainfield, Illinois, USA)로 토양 수분을 15 cm 깊이에서 한 시간마다 측정되어 데이터로거 (Watchdog 1000 Data Logger, Spectrum Technologies, Plainfield, Illinois, USA)에 저장되었다. 참깨 수량은 수확기에 표본시료들을 채취 해서 수량계산을 하였다.

적지판정의 기준은 다변량 통계기법으로 수량에 미치는 토양특성의 기여도를 구하고 이를 바탕으로 배점을 부여 하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 Hyun et al. (2010)이 산채류 재배적지 기준 설정에서 활용한 방법으로 최대저해 인자법과 비교하여 좀 더 토양인자들의 기여도에 차별성을 두었다. 수량에 미치는 토양특성의 기여도를 구하기 위하여 토양특성을 독립변수로 설정하고 수량을 종속변수로 설정하였다. 특히 배수등급과 토성과 같은 질적 토양 특성값 들은 수량지수를 이용하여 양적 값으로 변환하여 분석하였다 (Wataru, 2003). 수량지수는 각 항목별 수량값의 최대값 을 100으로 높고 비율을 계산하였다. 독립변수와 종속변수간 상관관계를 구하고 후에 경로분석을 통하여 결정계수를 구하였다. 수량에 미치는 토양특성의 합이 100이 되도록 결정계수를 환산하여 토양요인별 기여도를 산출하였다. 논 토양 재배시 참깨 재배적지기준은 토양요인별 점수의 합이 85이상이면 최적지, 80~84사이이면 적지, 70~79이면 가 능지 그리고 저위생산지는 69이하인 것으로 설정하였다. 통계분석은 SPSS (v.9.0.1, SPSS Inc., Chicago, USA)에서 ANOVA (Analysis of variance)를 95% 신뢰수준으로 분석하였고 다중회귀분석 모델을 이용하였다.

Results and Discussion

토양 특성에 따른 참깨수량 토양 특성 중 기존 참깨 재배적지기준에 따라 토양특성요인들을 조사하였다. 토성, 배수등급, 경사, 유효토심, 자갈함량. 본 연구에서는 토양요인으로 지형과 토양수분을 추가하였다. 토성에 따른 참깨 의 수량과 수량지수 결과는 Table 1와 같다. 조사 지점들의 토성은 미사질양토, 사양토, 양토로 나뉘었고, 이 중 사양 토의 논에서 참깨가 주로 재배되었다. 참깨 수량은 미사질양토의 논에서 $93.2 \pm 67.4 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 가장 수량이 낮았고 사양토의 논은 $273.9 \pm 101.9 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 가장 높았다. 이런 수량 값들을 바탕으로 수량지수를 계산하였고 미사질양토 는 사양토와 비교하여 34.0에 불과하였다.

Table 1. Average yields and yield indexes depending on soil texture.

Textural class	Sesame yield (kg 10a ⁻¹)	Yield index	No. of sites
Silty loam	93.2 ^{b†}	34.0	9
Loam	199.8 ^{ab}	73	6
Sandy loam	273.9 ^a	100	20

[†] a, b: statistical differences across textures at 95% level.

참깨는 토양수분에 민감한 작물로 알려져 있으므로 배수가 양호한 사양질 토양에서 더 작황이 좋았고 점질 함량이 높아질수록 수량을 떨어졌다. 논토양 중에서도 사질이 높은 논토양일수록 참깨 재배에 더 유리하다고 판단되었다.

유효토심은 토양 단면에서 A와 B층의 두께 합이라고 정의하고 있다. 작물의 뿌리가 뻗어갈 수 있는 깊이라고도 표현된다 (Agunbiade and Ojoawo, 2015). 유효토심의 구분은 토양조사편람 (ASI, 1973)을 따라서 매우 얇음 (< 20 cm), 얇음 (20~50 cm), 보통 (50~100 cm), 깊음 (> 100 cm)으로 나뉘어 진다. 이러한 구분을 따라 조사지점의 유효토심을 구분하고 수량을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 유효토심에 따른 수량 차이는 통계적으로 나타나지 않았다 ($p > 0.05$). 이는 참깨 수량은 유효토심에 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 논토양은 유효토심 내 경반층이 존재할 경우 참깨 뿌리가 뻗어가는 데 문제가 될 수 있다. 우리나라 논토양의 경반층은 20~30 cm 깊이에 위치하는 것으로 조사되었고 (Yun et al., 2011) 참깨 뿌리는 5~15 cm 내외로 알려져 있다 (Abdellatif et al., 2010). 참깨 뿌리의 형태적 특성과 경반층의 깊이에 따라서 경반층의 영향을 받지 않는 것으로 판단되고 이에 따라 유효토심은 참깨 수량에 영향을 적게 준 것으로 판단된다.

Table 2. Average yields and yield indexes depending on soil depth.

Depth (cm)	Sesame yield (kg 10a ⁻¹)	Yield index	No. of sites
< 20	246.7	100	6
20 - 50	129.5	52.5	9
50 - 100	218.8	88.7	10
> 100	204.3	82.8	15

자갈함량은 토양 물리성 (토양수분, 배수 등)에 밀접한 관계를 갖고 있는 것으로 알려져 있다 (Paruelo et al, 1987). 자갈함량은 없음 (< 10%), 있음 (10~35%), 많음 (> 35%)으로 구분한다 (ASI, 1973). 참깨는 대부분 자갈함량이 10% 미만의 논에서 재배되었다. 자갈함량 또한 구간 수량의 차이가 확연히 나타나지 않았다 (Table 3, $p > 0.05$). 일반적으로 밭작물은 자갈함량이 적은 곳에서 수량이 많아지는 경향을 보이거나 (Hyun et al., 2010) 본 연구에서는 자갈함량이 영향을 주지 않은 것으로 나타났다.

Table 3. Average yields and yield indexes depending on gravel content.

Gravel content (%)	Sesame yield (kg 10a ⁻¹)	Yield index	No. of sites
< 10	197.3	50.6	31
10 - 35	270.2	140	9
> 35	-	-	-

경사는 토양표면의 기울기 정도를 나타내는 것으로 단위는 %나 도로 표시한다. 참깨의 논 재배시 논토양의 경사가 2~7%인 논에서 가장 많이 재배되었다. 반면 참깨 수량은 경사 7~15%의 논에서 가장 높았으나 통계적으로 2~7% 경사까지 수량 감소는 나타나지 않았다 (Table 4). Hyun et al. (2010)에서도 산채류의 경우 경사가 15%인 지역까지는 수량 감소가 나타나지 않았다. 경사가 높아질수록 토양침식으로 인한 양분유실이 일어나고 이로 인하여 작물 수량이 작아지는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 경사 0~2%가 $101.0 \pm 60.4 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 가장 낮았다. 이는 경사가 있는 지형이 지하수위가 낮고 강우시 토양 수분 배수가 더 용이하다고 밝혀져 있다 (Rahardjo et al., 2005). Rahardjo et al. (2005)은 경사가 낮은 지형의 토양은 지하수위가 더 높고 강우시 배수가 상대적으로 어렵다고 결론 내었다. 이런 경사와 토양수분의 특성으로 인하여 참깨는 경사가 낮은 논에서 수량이 확연히 감소하는 경향을 보인 것으로 판단된다.

Table 4. Average yields and yield indexes depending on slope.

Slope (%)	Sesame yield (kg 10a ⁻¹)	Yield index	No. of sites
0 - 2	101.0 ^{b†}	35.9	10
2 - 7	234.8 ^a	83.3	18
7 - 15	281.3 ^a	100	12

[†]a, b: statistical differences across textures at 95% level.

참깨는 건조성 작물로서 일반적으로 배수가 잘되는 곳에서 더 생육이 좋다고 알려져 왔다 (Kim et al., 2002). 본 연구에서도 배수등급이 약간양호의 논토양에서 참깨 수량이 가장 좋았다 (Table 5). 그러나 배수등급이 양호한 논토양은 약간불량의 논토양과 수량 차이가 없었다. 이것은 양호한 논토양의 경우 재배기간 동안 토양 수분이 일부 10% 미만인 곳들이 있었다. 이는 참깨 재배기간 동안 한발 영향을 받은 것으로 추정된다. Hyun et al. (2010)는 산채류 수량을 배수등급별로 조사한 결과 배수가 매우 양호한 토양이 다른 배수등급의 토양에서 재배된 산채류 수량보다 오히려 작았다. Hyun et al. (2010)은 이러한 결과를 매우양호 토양의 경우 한해를 받은 일부 지역으로 인하여 수량이 떨어진 것으로 밝혔다. 본 연구에서 또한 일부 지형에서 한발이 발생한 가능성을 추측할 수 있었다.

Table 5. Average yields and yield indexes depending on soil drainage classes.

Drainage class	Sesame yield (kg 10a ⁻¹)	Yield index	No. of sites
Well	229.0 ^{ab†}	67.6	6
Moderately	232.5 ^a	68.7	15
Imperfectly	191.4 ^{ab}	56.5	12
Poorly	151.4 ^b	44.7	7

[†]a, b: statistical differences across textures at 95% level.

지형은 토양 표면의 위치와 형태에 따라 결정되는 요인으로 토양특성을 결정하는 요인 중에 하나이고 토양조사에서 지형은 하해혼성평탄지, 하성평탄지, 곡간/선상지, 홍적대비, 용암류대비, 산록경사지, 구릉지 및 산악지로 구분되며 조사지점의 논 지형은 Table 6와 같다. 참깨가 재배된 논토양은 대부분 곡간지/선상지이었고 평탄지가 다음으로 많았다. 산록경사지나 구릉지는 주로 경사가 15% 이상 되는 경우가 많아서 논으로 사용이 어려워져 산록경사지 논에

참깨 재배하는 경우가 드물었다. 그러나 산록경사지 논은 다른 지형의 논보다 배수가 양호하기 때문에 참깨 수량이 다른 지형들보다 확연히 많았고 다음으로 곡간지와 평탄지 순으로 나타났다.

Table 6. Average yields and yield indexes depending on topography.

Topography	Sesame yield (kg 10a ⁻¹)	Yield index	No. of sites
Valley	231.6 ^{b†}	65.9	28
Alluvial plain	101.0 ^c	28.7	12
Mt. foot, Hill	351.7 ^a	100	6

[†]a, b, c: statistical differences across textures at 95% level.

토양수분은 건조한 환경을 선호하는 참깨 재배에서 수량에 영향을 주는 중요한 요인 중에 하나다 (Choi et al., 1982; Chun et al., 2016). 조사지점 마다 재배기간 동안 측정된 토양수분 평균값을 조사한 결과 주요 참깨가 재배되는 논토양은 토양수분이 20% 미만일 때 수량이 299.0 ± 114.6 kg 10a⁻¹로 가장 컸다 (Table 7). 토양수분 평균값이 25% 이상의 논토양은 토양수분이 20% 미만인 논외의 참깨들보다 확연한 수량감소를 보였다.

Table 7. Average yields and yield indexes depending on soil moisture contents.

Soil moisture content (%)	Sesame yield (kg 10a ⁻¹)	Yield index	No. of sites
< 20	299.0 ^{a†}	100	13
20 - 25	198.3 ^{ab}	66.3	9
25 - 30	156.0 ^b	52.2	13
> 30	119.1 ^b	39.8	5

[†]a, b, c: statistical differences across textures at 95% level.

다변량 분석을 이용한 참깨 논토양 재배적지 기준설정 여러 토양인자들 중 참깨 수량에 영향을 미치는 정도를 나타내는 기여도를 다변량 통계법을 이용하여 구하였다. 토양인자별 기여도 결과는 Table 8와 같다. 기여도 분석 결과 지형이 41.50으로 가장 높았고 토양수분이 21.93, 경사 16.33, 자갈함량 13.40 순으로 나타났다. 건조한 환경을

Table 8. Summary of soil property coefficients for sesame.

Soil property	Coefficient of correlation (A)	Coefficient of path (B)	Coefficient of determination (C = A × B)	Contribution rate (C/Σ) × 100
Soil texture	0.61	0.03	0.02	1.51
Drainage class	0.24	0.17	0.04	3.36
Soil depth	0.24	0.1	0.02	1.98
Gravel content	0.44	0.37	0.16	13.40
Slopeness	0.64	0.31	0.20	16.33
Topography	0.71	0.71	0.50	41.50
Soil moisture content	0.74	0.36	0.27	21.93
Sum			1.21	100

선호하는 참깨 특성상 지형과 토양수분, 경사와 같은 토양요인들은 참깨재배에 중요한 인자로 판단된다. 기여도 결과에서 토성과 유효토심은 낮은 기여도로 인하여 구간별 점수 차이가 나타나지 않아서 이 두 요인들을 빼고 점수를 배점하였다.

전국의 논토양에 새로운 참깨 재배적지 기준을 적용하기 위해서 모든 논토양의 토양수분 정보가 필요하였다. 본 연구에서 조사된 토양수분과 다른 토양요인들과 상관관계를 분석한 결과 토양수분은 지형과 가장 높은 상관관계를 가지고 있었다 (Table 9). 이 결과를 바탕으로 토양수분 정보가 없는 논토양은 지형을 따라서 점수를 배점하였다. 배정된 배점들을 합하여 총점수가 85점 이상인 경우 최적지, 80에서 84점 사이이면 적지, 70에서 79 사이이면 가능지, 그리고 총점이 69점 이하이면 저위생산지로 구분하였다. 새로운 참깨 재배기준과 기존의 최대저해인자법을 이용하여 전국의 논토양을 최적지, 적지, 가능지 및 저위생산지로 나누었다 (Table 10).

Table 9. Correlation among soil properties.

	Topography	Gravel content	Slope	Texture	Drainage class	Soil depth	Soil moisture
Topography	1	0.04	0.63**	0.73**	-0.68*	-0.31	-0.77**
Gravel content	0.04	1	0.24	0.26	-0.15	0.08	-0.13
Slope	0.63**	0.24	1	0.57**	-0.31	-0.13	-0.66**
Texture	0.73**	0.26	0.57**	1	-0.30	0.03	-0.15
Drainage class	-0.38*	-0.15	-0.31	-0.30	1	-0.08	0.38*
Soil depth	-0.38	0.08	-0.13	0.03	-0.07	1	0.26
Soil moisture	-0.77**	-0.14	-0.66**	-0.15	0.38*	0.26	1

Table 10. The guidelines for sesame cultivation in paddy field soils.

Soil property	Points			
	Well	Moderately	Imperfectly	Poorly
Drainage	5	5	3	2
Gravel content (%)	< 10	10 - 35	> 35	
	6	14	7	
Slope (%)	0 - 2	2 - 7	7 - 15	> 15
	6	14	17	14
Topography	Valley	Mt. foot, Hill	Alluvial plain	
	28	42	12	
Soil moisture content (%)	< 20	20 - 25	25 - 30	> 30
	22	15	12	9
Range	Bet suit. land	Suitable land	Possible land	Low productive land
Total	≥ 85	80 - 84	70 - 79	≤ 69

이에 따라서 전국 논토양 중 참깨 재배의 최적지의 면적은 약 161,400 ha 로 전국의 10%, 적지의 면적은 약 62,600 ha 로 4%, 가능지는 331,600 ha, 20% 그리고 저위생산지는 약 1,075,200 ha로 66%를 차지하였다. 기존 참깨 재배적지 기준으로 논토양을 적용하여 면적을 계산한 후 전국 논토양 중 최적지는 24%, 적지는 9%, 가능지는 12%, 저위생산지는 1,075,200 ha 로 전국 논토양의 56%였다 (Fig. 1). 토양수분을 감안한 재배적지기준과 기존재배적지 기준을 비

교하면 최적지와 적지는 감소하였고 가능지와 저위생산지가 증가하였다. 이와 같은 차이가 나타나는 것은 기존 참깨 재배적지기준은 논과 밭 모든 토양을 고려하여 기준을 설정할여 각 토양 특성의 범위가 넓었다. 밭토양과 논토양의 토양 특성 중 유효토심과 토성은 논토양이 밭토양만큼 범위가 넓지 않았다. 전국 논토양 중 토성이 사질인 경우는 6%미 만이었고 유효토심이 20 cm미만인 경우도 5%정도였다. 이에 따라서 기존 참깨 재배적지 기준을 논토양에 적용할 경우 토성과 유효토심에서 높은 점수가 배점되면서 최적지와 적지에 해당하는 토양이 증가하였다.

논토양에서 벼 대체작물로 참깨를 안정적으로 재배하기 위해서는 토양수분의 관리가 중요하다고 밝혀졌다 (Chun et al., 2016). 논토양에서 토양수분은 지형, 경사, 배수등급과 높은 상관관계를 보였고 이는 수량의 차이로 나타났다. 따라서 재배적지기준 설정 시 토양수분을 포함하여 논토양 특성에 맞추어서 재배적지를 설정하는 것이 중요하다고 판단된다.

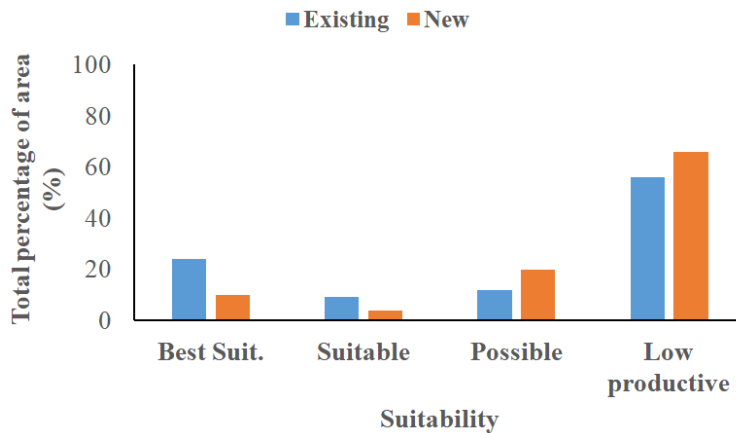


Fig. 1. Comparison of suitable land areas calculated by existing method and new method for sesame cultivation in paddy field soils.

Conclusions

본 연구는 벼 대체작물로 참깨의 논토양 재배를 위한 재배적지 기준설정을 평가하였다. 기존의 참깨 재배적지 설정은 밭토양을 포함한 포괄적인 재배적지 기준설정이었으나 본 연구는 논토양의 특성과 참깨 재배 제한요인인 토양수분을 포함하여 재배적지 기준을 설정하였다. 전국 논토양의 최적지 면적이 기존 재배적지기준과 비교하여 감소하였으나 참깨의 안정적인 생산을 위해서는 논토양 특성에 맞추어서 재배적지를 설정하는 것이 중요하다고 판단된다. 좀 더 정확한 논토양의 밭작물 재배적지 기준을 위하여 향후 더 많은 조사지점을 조사하여 재배적지 기준을 보완하여 논 의 벼 대체작물로 참깨재배 및 수량향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was financially supported by “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ 01228602)” National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Korea.

References

- Abdellatef, E., M.M. Ahmed, H. Daffalla, and M. Khalafalla. 2010. Enhancement of adventitious shoot regeneration in sesame (*sesamum indicum L.*) cultivar promo KY using ethylene inhibitors. *J. Phyto.* 2(1):61-67.
- Agunbiade, O.J. and A.I. Ojoawo. 2015. Evaluation of effective soil depth and heterogeneous sub-surface mapping using electrical resistivity geophysical methods to aid oil palm plantation planning at Ile-oluji, ondo state, Nigeria. *Am. J. Sci. Ind. Res.* 6(3):58-68.
- ASI. 1973. Soil Survey Manual. Agricultural Science Institute, Suwon, Korea (in Korean).
- ASI. 1992. Revised Korean Soil Survey Materials. No. 13. Agricultural Science Institute, Suwon, Korea (in Korean).
- Belford, R.K., R.Q. Cannell, and R.J. Thomson. 1985. Effect of single and multiple saterlogging on the growth and yield of winter wheat on a clay soil. *J. Sci. Food Agric.* 32(3):142-156.
- Boitt, M.K., C.N. Mundia, P.K.E. Pellikka, and J.K. Kapoi. 2015. Land suitability assessment for effective crop production, a case study of Taita Hills, Kenya. *J. Agric. Inf.* 6(2):23-31.
- Cho, H.J., B.K. Hyun, Y.K. Sonn, S.O. Hur, and K.S. Shin. 2014. A study on soil suitability criteria for adzuki bean. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47(6):412-417 (in Korean).
- Cho, K.H., J.W. Choi, B.W. Shin, S.J. Yoo, and J.D. So. 1992. The environment characteristics and suitability class criteria for citron cultivation. *Ann. Conf. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* p.21 (in Korean).
- Chun, H.C., K.Y. Jung, Y.D. Choi, S.H. Lee, and H.W. Kang. 2016. The growth and yield changes of foxtail millet (*Setaria italic L.*), proso millet (*Panicum miliaceum L.*), sorghum (*Sorghum bicolor L.*), Adzuki bean (*Vigna angularis L.*), and sesame (*Sesamum indicum L.*) as affected by excessive soil-water. *Korean J. Agric. Sci.* 43(4):547-559 (in Korean).
- Driessen, P.M., M.W. Ihle, and J.G.B. Leenaars. 1997. Land suitability assessment for selected land-use systems in the Sanmatenga-north area, Burkina Faso. Wageningen Agricultural University. Dept. Soil Science & Geology.
- Emmerling, C. and T. Udelhoven. 2002. Discriminating factors of the spatial variability of soil quality parameters at landscape-scale. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165:706-712.
- Evans, R.O. and R.W. Skaggs. 1984. Crop susceptibility factors for corn and soybeans to controlled flooding. ASAE Paper No. 84-2567, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- Fukuda, Y., T. Osawa, M. Namiki, and T. Ozaki. 1985. Studies on antioxidative substances in sesame seed. *Agric. Biol. Chem.* 49:301-306.
- Hiler, E.A. and R.N. Clark. 1971. Stress day index to characterize effects of water stress on crop yields. *Trans. ASABE* 14(4):757-761.
- Hyeon, G.S., B.Y. Yeon, D.Y. Hyun, S.W. Kang, S.W. Cha, D.H. Choi, K.C. Song, and S.M. Kim. 2008. Suitability classes of soil properties for ginseng production in the upland soils. *Annu. Spring Conf. KSSSF.* p. 42 (in Korean).
- Hyeon, G.S., S.K. Rim, S.J. Jung, C.S. Park, and J.Y. Lee. 1994. Establishment of suitability of peach. *Annu. Rep. (Environ).* 208-212 (in Korean).
- 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 (in Korean).
- Jung, S.J., C.S. Park, G.S. Hyen, S.K. Rim, G.H. Cho, and Y.T. Jung. 1996. Land suitability classification and its distribution for paddy-upland rotations in Korea. *RDA. J. Agric. Sci.* 38(1):357-363 (in Korean).
- Jung, Y.T., E.S. Yun, I.S. Son, J.D. So, and Y.G. Cho. 1993. Suitability class criteria for sweet persimmon cultivation. *Annu. Conf. KSSSF.* p. 164 (in Korean).

- Kim, C.S., I.S. Son, E.S. Yun, K.Y. Jung, S.T. Park, D.C. Lee, and J.T. Kim. 1994. Suitability classification of paddy soils for soybean cultivation in Korea. *Annu. Rep. (Yeongnam)*. 145-153 (in Korean).
- Kim, D.K., Y.I. Kuk, S.U. Chon, M.H. Kang, J.C. Lee, M.S. Kim, and G.C. Bak. 2002. Growth and seed quality as affected by growing condition in sesame. *Korean J. Crop Sci.* 47(6):443-447 (in Korean).
- Kim, J.K., Y.T. Jung, I.S. Son, and E.S. Yun. 1995. Physiography and soil characteristics of the apple orchards in chief producing localities in Yeongnam area. *KSSSF* 37:239-245 (in Korean).
- Kim, S.O., U. Chung, S. Kim, I. Choi, and J. Yun. 2009. The suitable region and site for 'Fuji' apple under the projected climate in south Korea. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 11(4):162-173 (in Korean).
- Korean Statistical Information Service. 2015. Agricultural area for sesame. Website: <http://www.kosis.kr> (in Korean).
- NAAS. 2010. NAAS homepage. Website: <http://asis.rda.go.kr> (in Korean).
- Osawa, T., M. Nagata, M. Namiki, and Y. Fukuta. 1995. Sesamolinal, a novel antioxidant isolated from sesame seeds. *Agric. Biol. Chem.* 49:3351-3352.
- Paruelo, J.M., M.R. Aguiar, and R.A. Golluscio. 1987. Soil water availability in the Patagonian arid steppe: Gravel content effect. *Arid Soil Res. Rehab.* 67-74.
- Rahardjo, H., T. Lee, E.C. Leong, and R.B. Rezaur. 2005. Response of a residual soil slope to rainfall. *Can. Geotech. J.* 42(2):340-351.
- Ryu, S.R., J.I. Lee, and H.S. Lee. 1993. Effect of temperature and day-length on antioxidants in sesame. *Korean J. Crop Sci.* 38(4):330-335 (in Korean).
- Seo, H.C., S.K. Kim, Y.S. Lee, and Y.C. Cho. 2006. Geographical shift of quality soybean production area in northern Gyeonggi province by year 2100. *Korean J. Agric. For. Meteorol.* 8(4):242-249 (in Korean).
- Shim, K.B., C.D. Hwang, S.B. Pae, M.H. Lee, T.J. Ha, C.H. Park, and K.Y. Park. 2010. Comparison of physiochemical characters of sesame seeds according to the different producing origin. *Korea J. Int. Agric.* 22(4):371-375 (in Korean).
- Wataru. 2003. The guide of analysis for multi- regression. Daehanmedia. p. 73-79.
- Yun, E.S., K.Y. Jung, K.D. Park, Y.K. Sonn, C.Y. Park, J.B. Hwang, and M.H. Nam. 2011. Compaction characteristics of multi-cropping paddy soils in south-eastern part of Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5):688-695 (in Korean).