Relationship between Soil Chemical Properties and Algae Growth at Rice Paddy Field

Hui Su Bae*, Seung Hyeon Ahn, Jaebok Hwang, Hyeonsoo Jang, Jong Tak Youn, Uk Han Kim, Tae Seon Park, and Beomsoo Bae¹

National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

¹Global Research Co., Ltd., Seoul 06671, Korea

*Corresponding author: huisu81@korea.kr

ABSTRACT

Received: August 26, 2019

Revised: September 26, 2019

Accepted: September 27, 2019

ORCID

Hui Su Bae

<https://orcid.org/0000-0001-6490-2028>

Influences of various soil chemical properties on the algae growth (Chl-*a* concentration) at the paddy field were statistically analyzed using soil and water samples collected from 2016 to 2018 in June. As a result of correlation analysis between soil chemical properties and Chl-*a* concentration, significantly positive relationships were observed in pH, EC and SiO₂. To identify the key soil chemistry variables and predict Chl-*a* concentration, factor analysis was done and three principal components (PCs) with eigenvalues > 1 were found, which accounting for 60.9% of the original variance. The PC1 included Mg²⁺, Ca²⁺ and Avail.-P. The PC2 included pH, Na⁺, K⁺, and Avail.-SiO₂. PC3 included OM and T-N. According to the result of linear regression analysis based on the factors by factor analysis, the total explanation amount was 18.0% and only PC3 had an significant influence on the decrease of Chl-*a* concentration. These result will be used for soil management to prevent algae blooms at rice paddy field.

Keywords: Algae, Paddy field, Soil chemical properties, Factor analysis

Rotated factor pattern matrix between chemical properties of soil and chlorophyll-*a* at rice paddy field.

Indicators	Component		
	PC1	PC2	PC3
Mg ²⁺	0.837	0.180	0.171
Ca ²⁺	0.769	0.263	0.198
Avail.-P ₂ O ₅	-0.713	0.251	0.180
EC	0.566	0.545	0.113
pH	-0.018	0.783	-0.093
Na ⁺	-0.047	0.637	0.126
K ⁺	0.370	0.506	0.330
Avail.-SiO ₂	0.274	0.560	-0.005
OM	-0.056	-0.072	0.847
T-N	0.222	0.161	0.813
Eigenvalue	3.3	1.4	1.4
Proportion (%)	33.1	14.1	13.6
Cumulative (%)	33.1	47.3	60.9

Introduction

최근 여름철 이상 고온과 적은 강수량으로 인하여 전국의 하천과 호소에 조류 발생이 증가하고 있으며 논에서도 이양초기 조류 대발생에 의한 어린모 피해 민원이 점차 증가하고 있는 상황이다. 특히 어린모 이양시 논에서 조류가 대발생 할 경우 수온과 지온이 저하되며 바람에 의해 휩쓸린 조류가 모을 덮어 벼 생육을 저해 하는 것으로 알려져 있다 (Lee et al., 1992). 특히 벼 재배시 노동력 절감을 위해 직파 재배가 확대보급 되고 있는 상황에서 조류 대발생에 의한 초기 발아 저해는 직파 재배의 큰 장애요인으로 작용할 것으로 우려된다.

논에서 발생하는 조류는 엽록소를 가지고 광합성을 하므로 물속에서 빛과 영양 염류에 의해 쉽게 번성한다. 특히 조류 성장에 영향을 미치는 수질 인자는 외부적인 요인과 내부적인 요인으로 구분할 수 있는데 외부적인 요인은 점 오염원, 또는 비점 오염원에 의한 영양 염류 유입이며 내부적인 요인은 호소 내부에서 발생하는 영양 염류의 용출이다 (Kim et al., 2001; Oh et al., 2015). 특히 벼 재배시 담수에 의한 정체수는 토양에서 영양 염류의 용출과 관련하여 조류 성장의 내부적인 요인에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상된다. 토양으로부터 영양 염류의 용출은 온도, pH, 용존산소 등 물리화화학적 환경요인에 의해 영향을 받는데 특히 영양 염류 중 인산은 작물 재배시 무기질 비료나 액비 등에 의해 투입되는 양분과 동시에 수질의 부영양화를 초래하는 원인이기도 하다. 또한 토양의 환원이 진행됨에 따라 토양에 고정되어 있던 난용성인산의 일부가 뿌리로 흡수되기 쉬운 형태로 변환된다 (Boström and Pettersson, 1982; Yoo et al., 1996). 따라서 조류 성장에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해서는 영양 염류 용출과 관련된 토양의 화학성과의 관계를 살펴보는 것이 매우 중요할 것으로 보인다.

조류 발생 원인 및 관리에 대한 연구는 주로 하천과 강을 중심으로 활발히 이루어 지고있으나 논에서 발생하는 조류에 대한 연구는 상대적으로 연구가 미흡한 실정이다. 논 조류에 관한 연구는 ‘부유성 녹조류 및 괴물의 발생과 방제’ (Lee et al., 1993a)와 ‘논 조류의 비료 반응 및 방제’ (Lee et al., 1993b)등 조류 발생 양상과 방제에 관한 연구를 주로 수행하였으며 현재는 연구가 많이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이에 따라 논에서 발생하는 조류 경감 대책 마련을 위해서는 내부적인 요인인 토양화학성과 조류 발생과의 인과관계를 분석하여 조류 발생 환경에 대한 기초 자료를 확보하는 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 2016년부터 2018년까지 3년간 전남북 7개 지역 평야지 논에서 토양 시료와 논물을 채취하여 토양 화학성과 조류발생량을 분석하여 논 토양의 화학성이 담수조류 발생에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행하였다.

Materials and Methods

시료채취 및 분석 논토양의 화학성이 조류 발생이 미치는 영향을 알아보기 위하여 2016년부터 2018년 까지 전남북 장흥, 해남, 광주, 부안, 김제, 정읍, 익산 등 7개 지역 250지점의 논에서 6월중 이양이 완료된 논을 대상으로 강우의 영향을 피해 맑은 날에 시료를 채취하였다. 채취한 수질 시료는 즉시 휴대용 아이스박스에 보관하여 실험실로 운반 후 냉장보관 하여 Chl-*a* 분석에 이용 하였으며 토양 시료는 풍건 후 분석용 시료로 이용하였다. pH와 EC 측정은 시료와 증류수 비율을 1:5로 하여 30분간 진탕한 후 pH meter 및 EC meter (Mettler Toledo, S470-K)를 이용하여 측정하였다. 토양총 탄소와 질소 측정은 건식연소법 (dry combustion)으로 CN automatic analyzer (Skalar, Primacs SNC 100)를 이용하여 분석하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 spectrophotometer (GBC Scientific Equipment, Cintra-4040)를 이용해 720 nm에서 비색 측정 하였고 K, Ca, Mg 및 Na는 1N-NH₄OAc (pH7.0)로 추출한 액을 ICP-OES

(GBC Scientific Equipment, Integra XL)를 사용하여 정량 분석하였다. 조류 발생량 생물 지표인 Chl-*a* 농도는 환경부 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였다 (The Ministry of Environment, 2012).

통계처리 논토양 화학성과 조류 발생과의 관계를 알아보기 위해 7개 지역 논에서 채취한 시료 분석 결과를 이용하여 Pearson의 상관계수를 이용한 상관분석을 하였다. 또한 논에서 조류 발생량 (chl-*a* 농도) 예측 모형 개발을 위해 요인 분석과 회귀분석을 실시하였으며 요인추출방법은 주성분분석법을 이용하였고 요인 구조의 회전은 Varimax rotation 방법을 이용하였다. 그리고 Chl-*a* 농도를 종속변수로 하고 요인분석 결과의 3개의 요인 점수를 독립변수로 하여 선형회귀분석을 실시하였다 (Kim et al., 2002). 본 연구의 모든 통계처리는 SPSS 18.0을 이용하였다.

Results and Discussion

조사 지점의 논토양 화학성 논조류 발생량과 토양 화학성과의 관계를 알아보기 위하여 전남북 지역 평야지 7개 지역 250지점에서 조사한 논토양의 평균 화학성은 Table 1과 같다. 토양 pH분포는 5.1 - 7.2의 범위였으며 평균 6.1로 우리나라 전국 논토양 pH 평균인 (RDA, 2007) 5.8보다 약간 높았으나 큰 차이는 보이지 않았다. Ahn et al. (2012)은 곡간 및 선상지, 하성평탄지 등 지형특성별로 구분하여 토양 pH를 조사한 결과 지형특성에 따른 토양 pH의 차이는 보이지 않는다고 하였다. 본 연구결과에서도 토양 pH는 조사 지점별로 다양한 값을 보였는데 이는 지형적인 특성보다는 석회 시용 및 유기물 환원 유무 등 토양 관리에 따른 차이인 것으로 생각된다. 토양 유기물 함량은 평균 24.4 g kg^{-1} 로 논토양 유기물함량 적정수준인 $25 - 30 \text{ g kg}^{-1}$ 에 근접한 수준을 보였으나 지역별로 최소 8.4 g kg^{-1} 에서 79.0 g kg^{-1} 까지 큰 차이를 보여 토양 유기물 구성성분으로 저장되어 있는 질소나 인 등 영양 염류의 용출량에 다양한 차이를 보일 것으로 생각된다. 유효인산 함량은 평균 206 mg kg^{-1} 로 논토양 적정수준인 $80 - 120 \text{ mg kg}^{-1}$ 보다 훨씬 높았으며 지역별로는 최소 33 mg kg^{-1} 에서 806 mg kg^{-1} 으로 매우 큰 차이를 보였다. 치환성양이온중 K^+ 는 평균 $0.35 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 적정수준인 $0.25 - 0.30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 보다 약간 높았으며 Ca와 Mg는 적정치인 $5.0 - 6.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 및 $1.5 - 2.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 보다 약간 낮은 경향을 보였다. 또한 유효규산 함량은 평균 218 mg kg^{-1} 로 적정치인 $158 - 180 \text{ mg kg}^{-1}$ 보다 높았으며 특히 조사지점별로 최소 34 mg kg^{-1} 에서 최대 $1,026 \text{ mg kg}^{-1}$ 까지 조사 지점간 매우 큰 편차를 보였다.

Table 1. Mean values of soil chemical properties in the study area from 2016 to 2018 at the rice paddy field.

Statistics	pH	EC	T-N	OM	Avail. P_2O_5	Ex. cations ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)			Avail. SiO_2	
	1:5	dS m^{-1}	%	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	K	Ca	Mg	Na	mg kg^{-1}
Mean	6.1	0.08	0.20	24.4	206	0.35	4.3	1.0	1.5	218
Maximum	7.2	0.23	0.40	79.0	806	0.92	9.3	2.9	4.4	1,026
Minimum	5.1	0.03	0.09	8.4	33	0.12	1.7	0.3	0.1	34
S.D.	0.4	0.03	0.06	13.8	118	0.14	1.2	0.6	1.3	153

논토양 화학성분간 상관관계 논 토양 화학성분간의 상관관계를 나타낸 결과는 Table 2와 같다. Chl-*a*와 토양 화학성 항목들간의 상관관계를 보면 pH, EC 및 SiO_2 각각 (+)0.183, (+)0.166 및 (+)0.223으로 양의 유의한 상관관계를 나타냈다. 토양 pH가 조류 생장에 미치는 영향은 선택적으로 나타나는데 낮은 pH에서는 주로 녹조류가 번성하며 높은 pH에서는 남조류 번성에 유리한 것으로 알려져 있다 (Roger and Kulasoorya, 1980). 본 실험결과에서도 조류

발생량 지표인 Chl-*a*와 pH는 양의 상관관계를 보였으나 상관계수는 다소 낮아 토양 pH에 따른 조류 발생종 차이에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

SiO₂은 벼 생육과 수량에 영향을 미치는 중요한 요인으로 논토양에 필수적인 영양성분으로 벼의 광합성량을 증가시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다 (Cho et al., 2006). 특히 조류는 종에 따라 영양요구도가 각기 다르나 규소는 규조류의 세포벽을 형성하는 영양소로 규조류 배양시 필수적으로 필요한 주 영양소로 알려져 있다 (Hur, 2015). 본 연구결과에서도 토양내 규산의 용출이 규조류 생장에 다소 영향을 준 것으로 보인다.

Table 2. Correlation matrix between chemical properties of soil and chlorophyll-*a* at rice paddy field.

	Chl- <i>a</i>	pH	EC	T-N	OM	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
pH	0.183**								
EC	0.166*	0.303**							
T-N	0.010	0.046	0.285**						
OM	-0.011	0.034	0.290**	0.956**					
P ₂ O ₅	-0.033	0.089	-0.217**	-0.016	-0.071				
K	-0.017	0.304 **	0.434**	0.342**	0.428**	-0.070			
Ca	-0.010	0.229**	0.434**	0.355**	0.478**	-0.260**	0.458**		
Mg	-0.013	0.085	0.555**	0.302**	0.383**	-0.341**	0.375**	0.758**	
SiO ₂	0.223**	0.413**	0.432**	0.176**	0.205**	-0.183**	0.265**	0.262**	0.176**

* $p < .05$, ** $p < .01$

요인분석 결과 전남북 평야지 논토양 화학성 분석 결과를 변수로 하여 주성분 분석을 통하여 직교회전 (varimax rotation)을 실시한 결과 누적기여율 60.9%로 고유값 (eigenvalue)이 1 이상인 3개의 요인을 도출하였고 요인부하량 (factor loading)은 Table 3과 같다. 요인부하량 분포도에 따른 논토양 화학성과 Chl-*a*와의 관계를 설명하기 위해 추출

Table 3. Rotated factor pattern matrix between chemical properties of soil and chlorophyll-*a* at rice paddy field.

Indicators	Component		
	PC1	PC2	PC3
Mg ²⁺	0.837	0.180	0.171
Ca ²⁺	0.769	0.263	0.198
Avail.-P ₂ O ₅	-0.713	0.251	0.180
EC	0.566	0.545	0.113
pH	-0.018	0.783	-0.093
Na ⁺	-0.047	0.637	0.126
K ⁺	0.370	0.506	0.330
Avail.-SiO ₂	0.274	0.560	-0.005
OM	-0.056	-0.072	0.847
T-N	0.222	0.161	0.813
Eigenvalue	3.3	1.4	1.4
Proportion (%)	33.1	14.1	13.6
Cumulative (%)	33.1	47.3	60.9

된 요인의 의미를 해석한 결과는 다음과 같다. 제1요인에서는 Mg^{2+} 및 Ca^{2+} 의 2가 양이온이 양의 값을, 유효인산 (Avail.-P)의 함량은 음의 값을 취하고 있어서 이들을 종합한 지표로 제1요인은 “ Mg^{2+} 및 Ca^{2+} 의 2가 양이온에 의한 인산의 고정 요인” 으로 해석할 수 있었다. 제2요인에서는 pH, Na^+ , K^+ , 유효규산 (Avail.- SiO_2) 함량이 양의 값을 취하고 있어서 이들을 종합한 지표로 “규산염 가수분해에 의한 pH상승과 이에 따른 Na^+ 및 K^+ 의 흡착 요인” 으로 해석할 수 있었다. 제3요인에서는 토양 유기물 (OM)과 총 질소 (T-N)가 큰 양의 값을 취하고 있어 “토양 유기물로 부터의 질소의 무기화 요인” 으로 토양 유기물 요인과 상관성이 높은 것으로 보여진다.

Chl-*a* 농도에 대한 회귀모형 Chl-*a* 농도 예측 모형을 개발하기 위해 요인분석에 의한 3개의 요인점수를 독립 변수로 하고 Chl-*a* 농도를 종속변수로 하여 선형 회귀분석을 실시 하고 회귀모형에 대한 타당성 검정을 위한 분산분석 결과는 Table 4와 같다.

$$Y = \alpha + b_1 \times PC1 + b_2 \times PC2 + b_3 \times PC3 \quad (\text{Eq. 1})$$

<독립변수>

PC1 : Mg^{2+} 및 Ca^{2+} 의 2가 양이온에 의한 인산의 고정 요인

PC2 : 규산염 가수분해에 의한 pH상승과 이에 따른 Na^+ 및 K^+ 의 흡착 요인

PC3 : 토양 유기물로부터의 질소의 무기화 요인

<종속변수>

Y : Chl-*a* 농도

Table 4. The ANOVA table for linear regression analysis on chlorophyll-*a* at rice paddy field.

Source	Sum of squares	df	Mean square	F	<i>p</i> -Value
Regression	28525.24	1	28525.24	48.92	< .0001
Residual	130022.37	223	583.06		
Total	158547.61	224			

분석결과 3개 요인에 의한 Chl-*a* 농도 변화에 대한 총 설명량(R-square)은 18.0%였으며 3개 요인에 대한 예측 모형은 안정적인 것으로 나타났다 ($F = 48.9, p < .0001$). 또한 도출된 회귀계수는 Table 5와 같으며 추정된 회귀모형 타당성 검정결과 3개의 요인중 PC3만 회귀계수의 유의확률이 0.05보다 작아 유의하였다. 베타계수로 본 종속변수 (chl-*a*)에 대한 독립변수들의 영향력을 보면 PC3의 베타계수는 -0.424로 Chl-*a* 농도에 대해 토양유기물 요인은 음의 방향으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Table 5. Regression coefficients for Chl-*a* concentration at rice paddy field by regression analysis.

Model	B	S.E.	Beta	t	<i>p</i> -Value
Constant	24.529	1.610		15.237	< .0001
PC3	-11.285	1.613	-0.424	-6.995	< .0001

토양 특성이 조류 발생에 미치는 영향에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았으며 특히 조류의 생장은 다양한 환경조건에 복합적으로 영향을 받기 때문에 토양의 일부 특정 요인이 얼마나 크게 작용했는지 정량적으로 구명하기는 매우 어렵다. 토양유기물이 조류 생장에 미치는 영향에 관하여 Okuda and Yamaguchi (1956)는 토양유기물 함량과 조류 발생은 유의적인 관련성이 없다고 보고하였는데 본 연구는 이와 상반되는 결과를 보였다. Lee et al. (1986)은 벼 재배시 심층시비를 할 경우 표층시비보다 조류 발생량이 현저히 감소 하였으며 이는 심층시비시 논물의 질소 농도가 감소하기 때문이라고 하였다. 이러한 결과는 영양성분의 용출과 관련된 것으로 사실 논토양에서 토양유기물 처리량이 증가할수록 질소의 용탈량은 감소한다는 Roh and Ha (1999)의 연구 결과와 마찬가지로 토양유기물에 의한 양분 용출량 감소로 해석된다. 따라서 본 연구결과 토양 유기물이 Chl-*a* 농도에 음의 방향으로 영향을 미친 것은 토양유기물에 의한 영양 염류의 용출량 감소가 조류 발생 감소에 다소 영향을 준 것으로 생각된다. 또한 영양 염류중 질소와 인산은 조류 생장에 중요한 영향을 미치는 인자로 알려져 있으며 특히 토양 중에 존재하는 인은 성상별로 Al-P, Fe-P, Ca-P 등 다양한 형태로 존재하는데 물리적 충격, 생물학적 작용 및 pH변화 등에 따라 용출되는 특성이 다양하다 (Oh et al., 2015). 따라서 토양내 유기태 및 무기태 질소와 인산의 함량과 분획에 의한 영양염류 용출 특성과 이에 따른 조류 발생에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

이상의 결과를 종합할 때 벼 재배시 조류 발생을 경감하기 위해서는 토양 유기물 함량을 높여 투입되는 화학비료에 의한 영양염류의 용출량을 조절하여 조류의 급격한 번성을 억제하고 농경지 주변 양분의 수계 부하를 최소화해야 한다. 또한 조류 발생을 경감함과 동시에 안정적인 벼 수량 확보를 위해서는 조류 발생과 관련된 토양 및 양분 수지에 관한 종합적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

Conclusions

본 연구는 벼 재배시 논물에서 조류 발생과 토양 특성과의 상호 영향성을 구명하기 위하여 2016년부터 2018년까지 3년간 전남북 평야지 논토양을 대상으로 논물과 토양시료를 채취하여 Chl-*a* 농도와 토양화학성과의 관계를 분석하였다. Chl-*a* 농도와 관련성이 높은 토양화학성 인자를 추출하고 이에 따른 Chl-*a* 농도를 예측할 수 있는 모형 개발을 위해 수행한 연구 결과는 다음과 같다.

Chl-*a* 농도와 토양 화학성과의 상관계수는 pH, EC 및 SiO₂ 각각 (+)0.183, (+)0.166 및 (+)0.223으로 양의 유의한 상관관계를 나타냈으나 상관계수의 수치는 높지 않았다.

Chl-*a* 농도에 미치는 토양 화학성 요인의 영향정도에 따른 요인분석 결과 3개의 요인으로 분류 할 수 있었으며 제1요인은 Mg²⁺ 및 Ca²⁺ 의 2가 양이온, 유효인산이고 제2요인에서는 pH, Na⁺, K⁺, 유효규산이었으며 제3요인에서는 토양 유기물과 총 질소로 분류되었다.

Chl-*a* 농도에 대한 예측모형을 개발하기 위해 요인분석 결과의 3개의 요인점수를 독립변수로 하고 Chl-*a* 농도를 종속변수로 하여 선형회귀분석을 실시한 결과 Chl-*a* 농도 증가에 대한 총 설명량은 18.0%였으며 3개 요인에 대한 예측 모형은 안정적인 것으로 나타났다 ($F = 48.9, p < .0001$). 추정된 회귀모형 타당성 검정결과 3개의 요인 중 PC3의 회귀계수만 통계적 유의성을 보였다. 베타계수로 본 종속변수 (Chl-*a*)에 대한 독립변수들의 영향력을 보면 PC3의 베타계수는 -0.424로 Chl-*a* 농도에 대해 토양유기물 요인은 음의 방향으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합할 때 벼 재배시 조류 발생을 경감하기 위해서는 토양 유기물 함량을 높여 벼 재배시 투입되는 화학비료에 의한 영양염류의 급격한 용출을 방지하여 조류의 대발생을 억제하고 농경지 주변 양분의 수계 부하를 최

소화해야 할 것으로 판단된다. 또한 다양한 환경변수를 고려한 종합적인 조류 발생 원인 구명과 조류 발생 경감 기술 개발에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01192801)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ahn, B.K., J.H. Lee, K.C. Kim, H.G. Kim, S.S. Jeong, H.W. Jeon, and Y.S. Zhang. 2012. Changes in Chemical Properties of Paddy Field Soils as Influenced by Regional Topography in Jeonbuk Province. *Korean. J. Soc. Soil Sci. Fert.* 45(3):393-398.
- Boström, B. and K. Pettersson. 1982. Different Patterns of Phosphorus Release from Lake Sediments in Laboratory Experiments, *Hydrobiologia* 92:415-429.
- Cho, Y., W. Jeon, C. Park, K. Park, and U. Kang. 2006. Study of nutrient uptake and physiological characteristics of rice by ¹⁵N and purified Si fertilization level in a transplanted pot experiment. *Korean J. Crop Sci.* 51(5):408-419.
- Hur, S.B. 2015. Culture and application of plankton: live food in aquaculture. *Lifescience*, Seoul, Korea, 67-68.
- Kim, M.S., Y.R. Chung, E.H. Suh, and W.S. Song. 2002. Eutrophication of Nakdong river and statistical analysis of environmental factors. *Algae*. 17(2):105-115.
- Kim, Y.H., B.C. Kim, K.S. Choi, and D.I. Seo. 2001. Modeling of thermal stratification and transport of density flow in Soyang reservoir using the 2-D hydrodynamic water quality model, CE-QUAL-W2. *J. Korean Soc. Water Wastewater*. 15(1):40-49.
- Lee, H.K., J.E. Park, G.H. Ryu, J.O. Lee, and Y.S. Park. 1992. Fresh-water algae occurred in paddy rice fields III. Identification and propagation of green algae. *Korean J. Weed Sci.* 12(4):335-351.
- Lee, H.K., J.E. Park, G.H. Ryu, J.O. Lee, and Y.S. Park. 1993b. Fresh-water algae occurred in paddy rice fields V. Fertilizer response and chemical control. *Korean J. Weed Sci.* 13(1):1-6.
- Lee, H.K., J.E. Park, G.H. Ryu, J.O. Lee, and Y.S. Park. 1993a. Fresh-water algae occurred in paddy rice fields VI. Ecology of suspensible green algae and soil-flakes and their chemical Control. *Korean J. Weed Sci.* 13(2):96-103.
- Lee, S.K., S.H. Kim, and K.H. Han. 1986. Algal water bloom on rice seedling-bed and nuisance phytoplanktonic green algae in rice field. *Korean. J. Soc. Soil Sci. Fert.* 19(1):70-75.
- Oh, K.H., Y.J. Kim, and Y.C. Cho. 2015. Effects of sediments on the growth of algae at Chusori area in Daechung reservoir. *J. Korean Soc. Water Environ.* 31(5):533-542.
- Okuda, A., and Yamaguchi, M. 1956. Nitrogen-fixing microorganisms in paddy soils (Part 2) Distribution of blue-green algae in paddy soils and the relationship between the growth of them and soil properties. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2(1):4-7.
- RDA. 2007. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Roger, P.A. and Kulasoorya, S.A. 1980. Blue-green algae and rice. The International Rice Research Institute, Philippines.
- Roh, K.A. and H.S. Ha. 1999. Nutrient balance during rice cultivation in sandy soil affected by the fertilizer management. *Korean. J. Soc. Soil Sci. Fert.* 32(2):155-163.
- The Ministry of Environment. 2012. Standard method, quality test of water.
- Yoo, C.H., J.W. Choi, B.W. Shin, S.B. Lee, J.H. Jeong, S.J. Kim, and S.S. Han. 1996. Distribution of available soil phosphorus and effect of phosphorus application on appearance of algal waterbloom and rice yield in Honam area. *Korean. J. Soc. Soil Sci. Fert.* 29(3):270-274.