

ORIGINAL ARTICLE

## 벼 재배지 논물의 수질특성과 Chl-*a* 변동 요인의 통계적 분석

배희수\* · 장현수 · 황재복 · 안승현 · 윤종탁 · 김옥한 · 배범수<sup>1)</sup>

농촌진흥청 국립식량과학원, <sup>1)</sup>글로벌리서치

### Statistical Analysis of Paddy Water Properties and Variational Factors on Chl-*a* in Rice Paddy Field

Hui Su Bae\*, Hyeonsoo Jang, Jaebok Hwang, Seung Hyeon Ahn, Jong Tak Youn,  
Uk Han Kim, Beomsoo Bae<sup>1)</sup>

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

<sup>1)</sup>Global Research Co., Ltd., Seoul 06671, Korea

#### Abstract

Statistical analysis was carried out to identify the influence on environmental factors between paddy water chemical properties and Chl-*a* concentration (algae biomass index) using water samples collected in June for 3 years at rice paddy field. As a result of correlation analysis, there was a significantly negative relationships in DO(-0.366) and pH(-0.141). In contrast, significantly positive relationships were founded in COD(+0.431) and TOC(+0.422). According to the result of factor analysis, 3 factors were obtained and indicated that PC1 were Ca, K, Mg cation, PC2 were TOC, T-P, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P and DO, and PC3 were T-N and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N. As a result of linear regression analysis to develop a prediction model for chl-*a* concentration, the total amount of explanation was 20.6%, PC2 had the greatest influence on the increase of chl-*a* concentration and PC1 also showed a positive correlation but the PC3 has a negative correlation. In conclusion, carbon and phosphorous content are the main factors for the increase algae blooms of rice paddy.

**Key words** : Freshwater algae, Factor analysis, Eutrophication, Chl-*a* content

#### 1. 서론

조류(algae) 대발생은 논에서 문제시 되고 있으나, 벼 이앙 재배시 피해가 크게 발생한다고 보고된 바는 없다 (Lee et al., 1993). 그러나 최근 여름철 이상고온과 적은 강수량으로 인하여 전국의 하천과 호소에 녹조현상이 빈번히 발생하고 있으며, 논에서도 이앙초기 녹조 대발생

에 의한 어린모 피해민원이 점차 증가하고 있는 상황이다. 조류가 대발생한 논에서는 수온과 지온이 저하되며 바람에 의해 물린 조류가 모를 덮어 벼 생육에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 또한 중기제초제 살포시 제초제의 입자가 논조류 위에 실려 돌아다니므로 제초 효과가 불균일하거나 부분적으로 약해를 유발하기도 한다(Lee et al., 1992). 특히 벼 직파 재배시 조류 대발생에 의한

Received 26 July, 2019; Revised 2 October, 2019;

Accepted 4 October, 2019

\*Corresponding author: Hui Su Bae, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea  
Phone : +82-63-238-5277  
E-mail : huisu81@korea.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

초기 발아 저해는 직파재배의 큰 장애요인으로 작용할 것으로 우려된다.

기존 국내 연구에 따르면 우리나라 논에서 발생하는 녹조류는 총 16과 29속 46종이 동정되었으며 남조류 20종, 윤조류 1종, 유글레나류 6종, 규조류 21종 등 총 94종인 것으로 보고되었다. 특히 벼 이앙 후 수면에 나타나는 녹색 수화현상은 주로 부유성인 단세포 녹조류인 *Chamydomonas*와 사상 녹조류인 *Stichococcus*인 것으로 알려져 있다(Lee et al., 1993). 최근 기후변화에 따라 논에서 발생하는 조류 발생양상은 과거에 비해 지역별 및 기상조건별로 다양한 변화를 보일 것으로 예상되며 조류 발생 경감 대책 마련을 위해서는 조류발생 원인과 환경특성과의 명확한 상관관계 분석이 필요할 것으로 보인다.

조류는 엽록소를 가지고 광합성을 하므로 물속에서 빛과 양분에 의해 쉽게 번성할 수 있으며 유기물 및 영양염류, 수온 및 일조량 같은 환경 조건이 복합적으로 작용하여 발생되며 지형적으로 공간적 분포도 매년 다르게 나타난다(Kim et al., 2016). 특히 농경지에서 화학비료 과다사용에 의한 양분집적은 논조류 발생량을 증가시킬 것으로 보이며 벼-보리 이모작 논은 경우 벼 단작에 비해 투입되는 양분의 양이 많고 수확 후 남은 잔여물의 유기물 조류 발생량을 증가시키는 요인이 될 것으로 예상된다. 이러한 조류 발생 원인과 예측에 관한 연구는 주로 강이나 하천을 중심으로 연구가 수행되었으나 논에서 조류 발생 원인에 대한 환경적 요인 분석에 관한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 2016년부터 2018년까지 3년간 전남 북 7지역 평야지 논을 대상으로 Chlorophyll-*a*와 수질 인자간의 상호영향성 구명하여 논에서 조류 관리 및 경감기술 개발을 위한 기초자료를 확보하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 수질시료 채취 및 이화학성 분석

논물의 수질 화학성 분석을 위해 2016년부터 2018년까지 전남북 벼-맥류 이모작 주산지 7개 지역(Fig. 1)에서 3년간 벼 이앙 초기 6월에 강우의 영향을 피해 맑은 날을 선정하여 논물을 1L용 폴리에틸렌 병을 이용하여 채집하였다. 채집한 시료는 즉시 휴대용 아이스박스에

보관하여 실험실로 운반 후 DO meter (YSI Model 58)를 이용하여 용존산소(DO)를 측정하였다. pH와 EC는 채집한 시료를 pH-EC meter (Mettler Toledo, S470-K)를 이용하여 초자전극 및 전기 전도도법으로 측정하였다. 화학적산소요구량(COD)은 과망간산칼륨법으로 측정하였으며 총질소(T-N), 총인(T-P), 암모니아성 질소( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )는 전자동 수질자동분석기(BLTEC, AACS-V)를 이용하여 분석하였다. 질산성 질소( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )과 인산염인( $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ )은 이온크로마토그래피(Thermo Scientific, Dionex ICS-1600)를 이용하여 측정 하였으며 총 유기탄소(T-C)는 TOC analyzer (GE Analytical Instruments Inc., Sievers 5310C)를 이용하였다. 조류발생량 생물지표인 Chl-*a* 농도는 환경부 수질오염공정시험법(The Ministry of Environment, 2012)에 준하여 분석하였다.

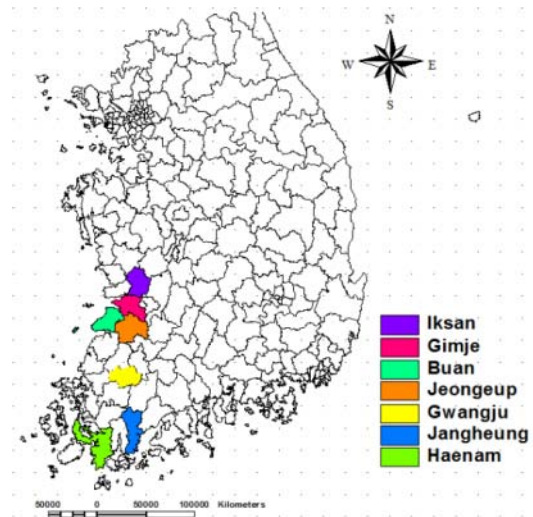


Fig. 1. The locations of sites investigated in this study experiment.

### 2.2. 통계분석

조류발생과 관련된 수질 및 토양화학성과의 관계를 알아보기 위해 7개 지역 논에서 채취한 시료분결 결과를 이용하여 Pearson의 상관계수를 이용하여 상관분석을 하였다. 또한 논에서 조류발생량(Chl-*a* 농도) 모형개발을 위해 요인분석과 회귀분석을 실시하였으며 요인추출방법으로 주성분분석법을 이용하였으며 요인구조의 회전은 Varimax rotation 방법을 이용하였다. 또한 종속변수를

**Table 1.** Observed average water quality data in the study area from 2016 to 2018 at the rice paddy field

Statistics	Chl- <i>a</i>	pH	DO	TOC	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	TN	TP	N/P ratio
	mg/m <sup>3</sup>	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
Mean	24.4	7.6	8.1	18.9	25.6	12.6	6.6	7.0	0.19	53.0
Maximum	128.1	9.7	15.2	15.2	89.0	40.3	30.6	68.4	1.00	811
Minimum	0.8	5.2	1.5	2.9	3.0	1.3	0.7	1.0	0.03	3.2
S.D.	26.4	0.7	2.7	2.7	16.5	8.2	5.8	9.0	0.16	76.9

Chl-*a* 농도로 하고 요인분석결과와 3개의 요인점수를 독립변수로 하여 선형회귀분석을 실시하였다(Kim et al., 2002). 본 연구에서의 모든 통계분석은 SPSS 18.0 을 이용하였다.

### 3. 결과

#### 3.1. 지역별 논물의 화학적 특성

7개 지역에서 2016년부터 2018년까지 이앙시기인 6월에 이앙초기 논에서 채취한 시료의 수질 화학성의 최소, 평균, 최대값 및 표준편차의 값은 Table 1과 같다. Chl-*a*는 최소 0.8 mg/m<sup>3</sup>에서 최대 128.1 mg/m<sup>3</sup>까지 시료 채취 지점별로 큰 분포 차이를 나타내었다. 이는 시료 채취 당시 이앙 후 경과일수, 수온, 일조량, 양분관리 등의 요인이 시료채취 지역별, 지점별로 다양하기 때문인 것으로 보인다. Park et al.(2012)은 7~9월중 하천에서 Chl-*a*의 농도는 50 mg/m<sup>3</sup> 이상의 농도를 보였는데 이는 여름철 고온 및 강우에 의한 영양물질의 대량 유입으로 규조류와 남조류가 번성하였기 때문이라고 하였다. 본 연구결과 평균 Chl-*a*의 농도는 24.4 mg/m<sup>3</sup> 이상으로 비교적 높은 값을 유지하였는데 이는 이앙시기 고온과 비료사용에 의한 영양물질의 투입으로 조류 성장이 촉진되었기 때문인 것으로 판단된다. pH는 5.2에서 9.7까지 지역별로 다양한 값을 보였는데 Kim et al.(1998)이 농경지 유입하천 수질의 pH 범위는 5.9에서 7.4라고 보고한 값보다 범위가 더 넓게 나타났다. DO 또한 연차 및 지역 간 폭넓은 값의 분포를 보였는데 이는 이앙시기 논물의 온도, 강우량, 관개용수 수질특성, 유기물 함량 등 다양한 인자가 관여한 것으로 보인다. TOC 또한 2.9 ~15.2 mg/L로 매우 폭넓게 분포 하였는데 이는 논에서 퇴비시용이나 식물체 잔사 등의 유기물 환원 유무에 따라 차이

가 발생한 것으로 보인다. 치환성양이온인 Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 값 또한 다양한 분포를 보였는데 이는 화학비료, 유기물의 분해, 토양용출 등에 의해 다양한 값의 차이를 보인 것으로 보인다. T-N값은 최소 1.0 mg/L에서 최대 68.4 mg/L로 평균 7.0 mg/L로 높게 나타났다. Kim et al.(2012)은 돈분 액비 사용시 논 표면수의 T-N은 시용 1일차에 담수 깊이에 따라 약 120~160 mg/L의 농도를 보인다고 하였는데 본 연구 결과 T-N 값의 최대치를 보인 시료 채취 지점이 돈분액비나 퇴비를 과다 사용한 곳으로 추정된다. T-P는 T-N에 비해 상대적으로 낮은 값을 보였는데 이는 질소에 비해 인산이 흡착력이 강하여 토양 중에 흡착되었기 때문인 것으로 생각된다. Tilman et al.(1986)은 N/P ratio는 조류 성장에 영향을 미치는 인자로 계절에 따라 다소 차이를 보이나 N/P ratio 500에서는 규조류가 100% 우점하고 N/P ratio 2 이하에서는 녹조류가 번성한다고 하였다. 본 조사 결과 지역별 N/P ratio는 3.2에서 811로 매우 큰 범위를 나타내어 이는 조류 발생 종류에 영향을 주었을 것으로 보인다.

이상의 결과 지역별로 논물의 화학성 편차는 매우 크게 나타났으며 Chl-*a* 함량 변화에 미치는 영향을 명확히 구명하기 위해서는 수질 화학성과 더불어 재배이력에 관한 추가적인 조사가 필요할 것으로 보인다.

#### 3.2. 수질환경 요인들과 Chl-*a*와의 상관분석 (correlation analysis)

전남북 평야지 논물에서 수질환경요인과 Chl-*a* 농도와의 관련성을 알아보기 위하여 상관분석을 실시한 결과는 Table 2와 같다. 수질 화학성 항목들과 Chl-*a* 농도와의 상관관계를 살펴보면 pH와 DO는 (-)0.141, (-)0.366으로 음의 상관성을 보였으며 특히 DO와 유의한 상관관계를 보였다. Suh et al.(2005)는 수중 DO 감소에 따른

**Table 2.** Correlation matrix between chemical properties of water and chlorophyll-a at rice paddy field(n=113)

	Chl-a	pH	EC	DO	COD	TOC	Ca	K	Mg	TN	TP	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P
pH	-0.141*												
EC	0.048	0.096											
DO	-0.366**	0.486**	-0.008										
COD	0.431**	-0.271**	0.494**	-0.395**									
TOC	0.422**	-0.341**	0.372**	-0.467**	0.944**								
Ca	0.100	0.097	0.903**	-0.051	0.504**	0.399**							
K	0.105	0.013	0.803**	-0.093	0.487**	0.378**	0.714**						
Mg	0.095	0.133*	0.877**	-0.028	0.544**	0.420**	0.905**	0.643**					
TN	-0.004	-0.071	0.598**	-0.074	0.331**	0.209**	0.389**	0.512**	0.388**				
TP	0.153*	-0.238**	-0.032	-0.454**	0.445**	0.382**	-0.125	0.143*	-0.138*	0.233**			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	-0.102	0.114	0.140*	0.143*	-0.248**	-0.223	0.108	0.072	0.090	0.118	-0.166*		
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0.062	-0.200**	-0.126	-0.371**	0.283**	0.221**	-0.198**	0.016	-0.191**	0.120	0.820**	-0.165*	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	-0.018	-0.104	0.607**	0.007	0.359**	0.253**	0.361**	0.543**	0.398**	0.833**	0.249**	0.047	0.159*

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

협기화 상태는 인이나 망간 등이 용출을 유발하며 이는 조류 발생의 새로운 에너지원으로 작용한다고 하였는데 본 연구 결과에서도 논물의 Chl-a의 농도는 DO에 크게 영향을 받는 것으로 보이며 특히 DO와 TP와의 상관관계도 (-)0.454로 유의한 상관관계를 보여 수중의 DO감소에 따른 인의 용출도 TP의 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다.

유기물함량과 관련된 COD 및 TOC와 Chl-a의 농도와의 상관관계는 각각 (+)0.431, (+)0.422로 유의미한 양의 유의한 상관관계를 보였다. Kim et al.(1996)은 식물성플랑크톤 현존량과 수중 유기물에 대한 기여도는 양의 상관관계를 보이며 Chl-a 농도가 높을수록 기여도는 증가하며 발생된 식물성 플랑크톤 자체도 수계의 유기물 공급원으로 작용하여 수계의 유기탄소(algal carbon)농도 또한 증가한다고 하였다. 본 연구에서도 COD와 TOC의 상관관계는 (+)0.944로 높은 상관관계를 보여 유기물 공급에 의해 조류 발생량이 증가하고 조류 성장에 의한 유기탄소의 추가적인 공급은 TOC의 함량을 높인 것으로 보인다. 특히 벼-맥류 이모작 논에서 작물 재배에 의한 식물체 뿌리 및 잔사 등은 유기물 공급원으로 작용하여 조류 발생량 증가에 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다.

질소와 인은 조류 성장에 필요한 필수적인 영양소로

이들 원소가 부족할 경우 조류 성장을 저해하고 과량으로 존재할 경우 부영양화를 유발할 수 있는 것으로 알려져 있다(Kim and Lee, 2003). 본 연구결과 Chl-a 농도와 총인(T-P)과의 상관관계는 (+)0.153으로 유의미한 양의 상관관계를 보였으며 Chl-a 농도 단계별 분산분석 결과에서도 T-P와 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P의 함량은 유의적인 차이를 보였다. 그러나 T-N과의 상관성은 없었으며 Chl-a 농도 단계별 분산분석 결과에서도 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 농도의 유의적인 차이는 없었다. 호수의 과영양상태 기준치는 T-N과 T-P이 각각 1.5 mg/L, 0.1 mg/L로 알려져 있는데 본 연구결과 논에서 T-N의 평균치는 7.0 mg/L로 기준치를 훨씬 초과하였으며 T-P는 0.2 mg/L로 기준치보다 약간 높았다(Forsberg and Lyding, 1980). 이는 논물에서 기준치 이상의 높은 질소 함량은 조류생장의 제한요인으로 작용하지 못하고 상대적으로 낮은 T-P함량이 조류 성장에 영향을 미친 것으로 보인다.

### 3.3. 수질환경 요인분석(factor analysis)

전남북 평야지 논물에서 채취한 수질시료의 수질화학성 분석 결과를 변수로 하여 주성분 분석을 통하여 직교회전(varimax rotation)을 실시한 결과 누적기여율 73.1%로 3개의 요인을 도출하였으며 요인부하량(factor loading)은 Table 3과 같다.

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

Variables	Component		
	PC 1	PC 2	PC 3
Mg	<b>0.933</b>	-0.005	0.077
Ca	<b>0.928</b>	-0.018	0.071
EC	<b>0.902</b>	-0.099	0.346
K	<b>0.773</b>	0.033	0.335
COD	0.647	0.640	0.065
DO	0.008	<b>-0.804</b>	-0.021
TP	-0.087	<b>0.732</b>	0.547
TOC	0.553	<b>0.719</b>	-0.028
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	-0.223	<b>0.702</b>	0.497
pH	0.017	-0.555	0.023
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0.003	-0.507	0.250
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.421	-0.008	<b>0.761</b>
TN	0.469	-0.078	<b>0.752</b>
Eigenvalue	4.3	3.2	2.0
Proportion(%)	33.2	24.5	15.4
Cumulative(%)	33.2	57.7	73.1

요인부하량 분포도에 의한 논물의 수질화학성과 Chl-a와의 관계를 설명하기 위해 추출된 요인의 의미를 해석하면, 제 1요인은 Ca, K, Mg의 양이온과 EC와 높은 요인부하량을 보이고 있으며 이들은 “금속 양이온에 의한 EC 상승”으로 표현하여 해석할 수 있었다. 제 2요인은 TOC, COD, T-P, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P와는 양의관계, DO와는 음의관계를 나타내어 “유기물공급에 의한 DO 감소와 이에 따른 인산염 용출”로 표현하여 해석할 수 있었다. 제 3요인은 T-N과 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N과 양의 관계를 나타내어 “질소원 투입에 의한 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 영양원 공급”으로 해석할 수 있었다. 이와 같이 벼 재배지 논물의 화학성 요인분석 결과, N, P, K, Ca, Mg 등이 포함된 비료시용과 식물체 잔사에 의한 탄소 공급 등 다양한 요인이 논에서 Chl-a를 증가시키고 조류 생물량 변동에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

### 3.4. Chl-a 농도에 대한 회귀모형

요인분석 결과 3개의 요인이 Chl-a 농도에 미치는 영향을 알아보기 위해 3개의 요인점수를 독립변수로 하고

Chl-a 농도를 종속변수로 하여 선형회귀분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

$$Y = a + b_1 \times PC1 + b_2 \times PC2 + b_3 \times PC3$$

<독립변수>

PC1 : 금속양이온에 의한 EC 상승 요인

PC2 : 유기물공급에 의한 DO감소와 이에 따른 인산염 용출 요인

PC3 : 질소원 투입에 의한 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 영양원 공급 요인

<종속변수>

Y : Chl-a 농도

회귀모형에 대한 타당성 검정을 위한 분산분석표는 Table 4와 같으며 분석결과 3개 요인에 의한 Chl-a 농도 증가에 대해 총 설명량(R-square)은 20.6%로 3개 요인에 대한 예측 모형은 매우 안정적인 것으로 나타났다 ( $F=13.2, p<.0001$ ).

회귀분석모형의 회귀계수와 베타계수 회귀계수에 대한

**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	28923.20	3	9641.07	13.21	<.0001
Residual	111669.72	153	729.87		
Total	140592.92	156			

**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	26.376	2.156		12.233	<.0001
PC1	4.322	2.163	0.144	1.998	0.047
PC2	12.146	2.163	0.405	5.615	<.0001
PC3	-4.381	2.163	-0.146	-2.026	0.045

t-통계량 값과 유의확률은 Table 5과 같다. 추정된 회귀모형의 타당성에 대한 검정결과 도출된 회귀계수를 보면 PC2(유기물 공급에 의한 DO 감소와 이에 따른 인산염 용출 요인)가 Chl-*a* 농도 증가에 가장 큰 영향을 미치고 있으며 PC1(금속 양이온에 의한 EC 상승 요인) 또한 Chl-*a* 농도 증가에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. Kim et al.(2002)은 낙동강 부영양화에 대한 수질 환경 요인분석 결과  $\text{KMnO}_4$  소비량, COD, BOD와 관련된 유기물 요인이 다른 요인에 비해 영향력 요인이 가장 크다고 하였으며 Yoon and Park(2000)은 연안해역 수질의 주성분 분석 결과 영양염류 공급원은 유기물 분해에 의한 무기화의 영향이 크다고 하였는데 본 연구도 이와 일치하는 결과를 보였다.

그러나 PC3(질소원 투입에 의한  $\text{NH}_4^+$ -N 영양원 공급 요인)은 회귀계수가 (-)4.381로 Chl-*a* 농도에 음의 방향으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. Cho and Shin(1996)의 담수조류 실내배양실험에서 배양액 내  $\text{NH}_4^+$ -N의 농도는 배양 기간 내에 지속적으로 감소하였으며 담수조류는 생장시  $\text{NH}_4^+$ -N를 선택적으로 흡수한다고 하였다. 본 연구결과에서도 Chl-*a* 농도 단계별 분석 결과 Chl-*a* 농도는 40.0-59.9  $\text{mg}/\text{m}^3$ 까지는 증가하였으나 그 이상의 Chl-*a* 농도에서는  $\text{NH}_4^+$ -N농도가 지속적으로 감소하는 경향을 보였다. 이는 눈물에서 존재하는  $\text{NH}_4^+$ -N를 조류 생장에 이용되면서 Chl-*a* 농도는 증가하고  $\text{NH}_4^+$ -N는 감소함에 따라 회귀계수가 음의

값을 나타낸 것으로 보인다. 따라서  $\text{NH}_4^+$ -N의 농도는 Chl-*a* 농도에 대한 종속변수로 작용한 것으로 보이며 Chl-*a* 농도 예측을 위한 회귀모형 개발 시 독립변수로 활용하는 부분에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 눈에서 조류 생물량 지표인 Chl-*a*와 수질 요인간의 상호영향성 구명하기 위하여 2016년부터 2018년까지 3년간 이양시기인 6월 초에 전남북 7지역 평야지 눈을 대상으로 눈물을 채취하여 화학성을 분석한 자료에 대해 통계 분석을 수행하였으며 이상의 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 조사 지점 눈물의 Chl-*a* 농도는 0.8~128.1  $\text{mg}/\text{m}^3$ 로 매우 폭넓게 분포 하였으며 평균 N/P ratio는 53으로 질소가 과잉 존재하는 것으로 나타났다.

2) Chl-*a* 농도와 수질화학성과의 상관분석을 실시한 결과 pH와 DO는 (-)0.141, (-)0.366으로 음의 상관성을 보였으며 COD 및 TOC와 상관계수는 각각 (+)0.431, (+)0.422로 양의 유의한 상관관계 보였다.

3) Chl-*a* 농도에 영향을 미치는 수질화학성 분석 결과를 변수로 하여 주성분 분석을 통한 직교회전(varimax rotation)을 실시한 결과 누적기여율 73.1%로 3개의 요인을 도출하였으며 제1요인은 Ca, K, Mg의 양이온과

EC와 높은 요인부하량을 보였으며 제2요인은 TOC, T-P,  $PO_4^{3-}$ -P 및 DO이며 제3요인은 T-N,  $NH_4^+$ -N로 분류되었다.

4) Chl-a 농도에 대한 예측모형을 개발하기 위해 요인 분석결과 3개의 요인점수를 독립변수로 하고 Chl-a 농도를 종속변수로 하여 선형회귀분석을 실시한 결과 Chl-a 농도 증가에 대한 총 설명량은 20.6%였으며 3개 요인에 대한 예측 모형은 매우 안정적인 것으로 나타났다( $F=13.2$ ,  $p<.0001$ ). 추정된 회귀모형의 타당성에 대한 검증결과 도출된 회귀계수를 보면 PC2(유기물 공급에 의한 DO 감소와 이에 따른 인산염 용출 요인)가 Chl-a 농도 증가에 가장 큰 영향을 미치고 있으며 PC1(금속 양이온에 의한 EC 상승 요인) 또한 Chl-a 농도 증가에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 PC3(질소원 투입에 의한  $NH_4^+$ -N 영양원 공급 요인)은 회귀계수가 (-)4.381로 Chl-a 농도에 음의 방향으로 영향을 미치는 것으로 나타나 이에 대해 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다.

이상의 결과 논에서 조류 발생에 영향을 줄 수 있는 중요한 수질화학성 요인은 유기물과 인산함량이 깊게 관련함을 알 수 있었다. 그러나 본 연구는 수질화학성 요인만 고려한 결과로 논물의 수질특성 이외에 토양이화학성, 기상조건, 관개용수 특성, 재배이력 등 다양한 환경변수를 고려한 Chl-a 농도 추정 모형개발에 관한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 보인다. 또한 이러한 추정모형을 이용할 경우 논에서 조류 대발생 요인을 사전에 파악하여 논에서 조류 관리 및 경감기술 개발을 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 아젠다과제(과제번호: PJ0119 2801)의 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부입니다.

### REFERENCES

- Cho, K. J., Shin, J. G., 1996, Bioassay for N-P nutrient demand by freshwater algae cultivation of the Naktong River, Korean J. Limnol., 29(4), 263-273.
- Forsberg, C., Ryding, S. O., 1980, Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste receiving lakes, Arch. Hydrobiol, 89, 189-207.
- Kim, B. C., Kim, D. S., Hwang, G. S., Choi, K. S. Heo, W. M., Park, W. K., 1996, Contribution of primary production of phytoplankton to organic pollution in a eutrophic river, the Naktong River, Algae, 11(2), 231-237.
- Kim, H. S., Ihm, B. S., 1998, Studies on the application plan and purification capacity of the hydrophytes for improvement of water quality of effluent from agricultural land, J. Korea Soc. Env. Adm., 4(2), 1-8.
- Kim, K. S., Lee, N. I., 2003, Estimation of pollution loads flowing into Mokpo Harbour "Centering on pollution loads from land in dry case", J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 6(1), 11-20.
- Kim, M. K., Kwon, S. I., Kang, S. S., Jung, G. B., Hong, S. C., Chae, M. J., So, K. H., 2012, Minimizing nutrient loading from SCB treated paddy rice fields through water management, Korean. J. Soc. Soil Sci. Fert., 45(5), 671-675.
- Kim, M. S., Chung, Y. R., Suh, E. H., Song, W. S., 2002, Eutrophication of Nakdong river and statistical analysis of environmental factors, Algae, 17(2), 105-115.
- Kim, S. J., Song, Y. H., Lee, J. H., 2016, A Study on management strategy of non point source pollutants in stream basin, J. Korean Soc. Hazard Mitig, 16(2), 515-522.
- Lee, H. K., Park, J. E., Ryu, G. H., Lee, J. O., Park, Y. S., 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., Park, J. E., Ryu, G. H., Lee, J. O., Park, Y. S., 1993, Fresh-water algae occurred in paddy rice fields V. Fertilizer response and chemical control, Korean J. Weed Sci., 13(1), 1-6.
- Park, K. H., Kim, B. S., Yun, H. J., Ryu, K. Y., Yun, J. C., Choi, J. Y., Kim, K. D., Jin, Y. I., 2012, Characteristics of water quality at main streams and lake Doam in Daegwallyeong area, Korean. J. Soc. Soil Sci. Fert., 45(6), 882-889.
- Suh, M. Y., Kim, B. H., Han, M. S., 2005, Cyanobacterial bloom and microcystin - LR in eutrophic waters, Korean J. Sanitation, 20(2), 1-11.
- The Ministry of Environment, 2012, Standard method, quality test of water.

Tilman, D., Kiesling, R. L., Sterner, R., Kilham, S. S., Johnson, F. A., 1986, Green, bluegreen and diatom algae : taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon, and nitrogen, Arch. Hydrobiol., 106, 473-485.

Yoon, Y. H., Park, J. S., 2000, The analysis of variational characteristics on water quality and phytoplankton by Principal Component Analysis (PCA) in Kogum-sudo, southwestern part of Korea, J. Environ. Sci. Int., 9(1), 1-11.

- 
- 배희수, 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사  
huisu81@korea.kr
  - 장현수, 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사  
janghs331@korea.kr
  - 황재복, 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사  
hjb0451@korea.kr
  - 안승현, 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구사  
shahn94@korea.kr
  - 윤종탁, 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관  
jongtag@korea.kr
  - 김옥한, 농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관  
kimwhsoy@korea.kr
  - 배범수, 글로벌리서치 조사연구2본부 수석연구원  
bsbae@globalri.co.kr