Evaluation of Changes in Agricultural Stream Water Quality of Small Watershed in Jeonnam Province

Sung-Woo Kim, Sun Kook Kim, Hyeon Ji Kim, So Yeon Lee, Myeong Seok Kim, Jeong-Hwa Kang, Seung-Oh Hur¹, and Soon Ik Kwon*

Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services, Naju 58228, Korea

¹Climate change & Agroecology Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: sikwon@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 14, 2019

Revised: December 2, 2019

Accepted: December 3, 2019

This study aimed to identify the changing trends in the agricultural water quality of the major watersheds in Jeonnam Province over a 10-year period ranging from 2007 to 2016. The results of water quality analysis of the study sites revealed that the mean Chemical Oxygen Demand in April, July, and October was 3.20, 3.04, and 2.37 mg L⁻¹, respectively, with the median values being 2.85, 2.84, and 1.96 mg L⁻¹, respectively. The mean values of EC (Electrical Conductivity) in April, July, and October were 0.15, 0.15, and 0.17 dS m⁻¹, respectively. The mean EC values were lower in April and slightly higher in October, and there was no yearly fluctuation. The mean and median values of the T-N (Total Nitrogen) content were 3.41 mg L⁻¹ and 3.18 mg L⁻¹, respectively. A large deviation in the T-N content was only observed in April 2009 and July 2015. The mean and median values of the T-P (Total Phosphorous) content were 0.09 mg L⁻¹ and 0.05 mg L⁻¹, respectively. No fluctuations were observed in the T-P content in the months of April, July, and October, during the study period, with the exception of July 2016 and October 2016.

Keywords: Agricultural water quality, Stream water, Small watershed, Jeonnam province

Changes in annual water quality index in April, July, and October.

Introduction

전라남도의 수계는 영산강, 섬진강, 탐진강, 보성강, 지석천, 고막원천, 함평천 총 7개의 국가하천과 554개의 지방하천으로 이루어져 있으며 총 연장은 3,764 km 이다 (KOSIS, 2014). 주요 하천인 영산강은 우리나라 4대강의 하나로 황룡강, 지석천, 고막원천, 함평천의 지류를 합하며 흐르고 있으며, 그 안에 나주평야를 비롯하여 넓은 충적지와 구릉지가 펼쳐져 있다 (Oh, 2002). 섬진강은 우리나라에서 4번째로 큰 유역으로 남해안 중서부에 위치하며 유역의 기후는 여름인 7월부터 9월까지의 습한 해안성기후로 고온다습하며 겨울에는 대륙성 기후의 영향을 받아 한냉 건조하고 하류는 남해안에 접하고 있으므로 상류부보다 기온이 높고 강우량이 많다 (Yang and Choi, 2003; KME, 2019).

전라남도의 수질관련 연구를 살펴보면, 주로 영산강과 섬진강 주변의 수질변화에 관련된 내용이 보고되고 있으며, 지속적인 수질관리를 위해 영산강과 섬진강 유역의 하천 수질환경 평가, 비점오염원 유입에 따른 영산강오염특성, 과불화 화합물 모니터링 등의 연구가 수행되었다 (Yang and Choi, 2003; Lee et al., 2007; Kwon et al., 2015). 최근에는 4대강 사업 전후 수질특성 파악을 위해 부영양화, 용존산소분포와 수층 성층구조의 연관성 분석 등의 연구가 보고되었으며 (Song et al., 2015; Park et al., 2017), 수층의 총인 농도를 관리하기 위한 영산강 퇴적물 중 인의 시간에 따른 Ca-P, Al-P, Fe-P의 농도 증감 양상 또한 규명하였다 (Oh et al., 2017). 그러나 전남지역 수질관련 조사 및 연구는 영산강, 섬진강, 탐진강 등 큰 국가하천 위주로 이루어지고 있어 지류하천의 수질관리를 위해서는 장기적인 농촌 소하천의 수질조사와 유역특성파악을 통한 자료 구축이 필요한 실정이다.

농촌진흥청은 농업용수의 건전성과 농작물의 안전성 확보를 위해 2007년부터 농업용수에 대하여 매년 하천수 300 지점 3회, 지하수 200지점 2회 분석을 실시하고 있으며 2017년에는 『농업자원과 농업환경의 실태조사 및 평가 기준』 고시를 제정하였다. 본 연구의 목적은 2007년부터 2016년까지 10년간 조사한 전라남도 농업용 하천수 수질조사 자료를 바탕으로 소하천 유역의 특성과 하천수 수질 변동 경향을 파악하고자 한다.

Materials and Methods

하천수 조사 시기 및 조사지점의 유역 특성 전라남도지역의 농업용 하천수 수질조사 지점의 위치와 유역의 특성은 Fig. 1과 같다. 유역은 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 90 m DEM (Digital Elevation Model) 데이터 (CGIAR, 2000)를 이용하여 추출하였으며 토지이용 정보는 2013 환경부 중분류토지피복지도를 사용하여 추출하였다 (KMOE, 2013). 총 조사 지점은 37지점이며 2007년부터 2016년까지 연간 4월, 7월, 10월 3회에 걸쳐 수질조사를 실시하였다. 유역크기는 5.6 - 200.2 km², 평균 48.8 km²이며 중위값 31.9 km²로 대부분 농촌지역에 위치한 소유역이다. 농경지 비율은 3.7 - 59.0%, 평균 22.7%이며 중위값은 20.2%이다. 유역별 강수량은 기상청 종관기상 관측자료 (ASOS, Automated Synoptic Observation System) (KMA, 2019)를 사용하여 산정하였다. 2007 - 2016년의 기간에 걸쳐 강수량 자료를 보유하고 있는 기상대의 강수량 자료를 수집하였으며 기상대의 위치 자료와 월별 강수량 자료를 IDW (Inverse Distance Weight)를 이용하여 공간보간 하였다. 유역별 월간 강수량은 ArcGIS의 Zonal statistics를 이용하여 추출하였다.

농업용 하천수 수질 조사 방법 수질시료는 시료채취용 버킷을 이용하여 폴리에틸렌용기에 총 4리터 (2 L + 2 L)를 채수하여 아이스박스에 담아 실험실로 운반하였다. 시료의 보관 및 분석은 종합검정실 분석 매뉴얼 (RDA,

2013)을 따라 수행하였다. COD_{Mn} (Chemical Oxygen Demand)는 COD_{Mn} 산성법을 따라 분석하였다. pH, EC (Electrical Conductivity)는 pH/EC전극을 이용하여 분석하였으며 Orion Star A214 Conductivity Meter (Thermo Scientific, USA)을 사용하였다. 총질소 (T-N, Total Nitrogen)의 경우 자외선흡광광도법으로 분석하였으며 총인 (T-P, Total Phosphorous) 분석은 아스코르빈산환원법을 사용하였다. 총질소와 총인 분석을 위한 장비로서 Cary 8453 UV-Vis (Agilent, USA)을 사용하였다.

Fig. 1. Topography and land use characteristics of the upstream watershed at the water sampling site.

Results and Discussion

계절에 따른 강수량 조사지역의 강수량은 계절적으로 7월에 집중되는 경향을 보였고, 10월의 경우 2016년에 2015년에 비해 약 120% 증가하였다. 연차별 강수량의 증감 양상을 보면 4월의 경우 2011, 2013, 2014년을 제외하고는 증가하였고, 지역별 강수량 편차도 컸으나, 7월과 10월의 경우 일정한 증감 양상은 보이지 않았다 (Fig. 2).

계절 및 농경지 비율에 따른 수질 화학성 변화 EC는 뚜렷한 증감 양상과 지역간 편차는 나타나지 않았고, COD_{Mn}는 2010년도 4월의 경우 전년도 대비 약 47.5% 감소한 것을 제외하고 뚜렷한 증감은 없었다. T-N은 평균값 기준으로 2009과 2016년 각각 5.86과 5.32 mg L⁻¹였고, 나머지 기간은 모두 5.00 mg L⁻¹ 이하로 나타났다. T-P는 2010년 10월, 2016년 7월과 10월의 경우 전년도 대비 각각 137.5%, 70.0%, 142.9% 증가한 것을 제외하고는 뚜렷한 증감

Fig. 2. Changes in annual precipitation in April, July, and October.

Table 1. Changes in annual water quality index in April, July, and October.

Sampling		Water quality (Average $\pm$ SD [†])									
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
EC (dS m ⁻¹)	April	0.14 $\pm$ 0.06	0.16 $\pm$ 0.07	0.22 $\pm$ 0.09	0.15 $\pm$ 0.06	0.16 $\pm$ 0.07	0.13 $\pm$ 0.06	0.15 $\pm$ 0.06	0.17 $\pm$ 0.06	0.13 $\pm$ 0.05	0.12 $\pm$ 0.04
	July	0.15 $\pm$ 0.05	0.15 $\pm$ 0.08	0.12 $\pm$ 0.07	0.17 $\pm$ 0.15	0.10 $\pm$ 0.04	0.15 $\pm$ 0.04	0.13 $\pm$ 0.04	0.17 $\pm$ 0.07	0.15 $\pm$ 0.05	0.14 $\pm$ 0.06
	October	0.13 $\pm$ 0.06	0.18 $\pm$ 0.06	0.20 $\pm$ 0.09	0.15 $\pm$ 0.07	0.19 $\pm$ 0.08	0.15 $\pm$ 0.08	0.17 $\pm$ 0.07	0.17 $\pm$ 0.07	0.19 $\pm$ 0.07	0.15 $\pm$ 0.10
	Total	0.14 $\pm$ 0.06	0.16 $\pm$ 0.07	0.18 $\pm$ 0.09	0.16 $\pm$ 0.10	0.15 $\pm$ 0.07	0.15 $\pm$ 0.06	0.15 $\pm$ 0.06	0.17 $\pm$ 0.07	0.15 $\pm$ 0.07	0.14 $\pm$ 0.07
COD _{Mn} (mg L ⁻¹)	April	2.79 $\pm$ 1.53	3.58 $\pm$ 1.90	4.06 $\pm$ 2.43	2.13 $\pm$ 1.43	3.34 $\pm$ 1.65	3.35 $\pm$ 1.51	2.94 $\pm$ 1.34	3.52 $\pm$ 2.22	2.66 $\pm$ 1.53	3.19 $\pm$ 1.41
	July	2.89 $\pm$ 1.25	2.96 $\pm$ 1.74	2.67 $\pm$ 1.34	3.06 $\pm$ 1.14	3.16 $\pm$ 1.43	2.72 $\pm$ 1.99	2.41 $\pm$ 0.81	3.64 $\pm$ 1.63	3.41 $\pm$ 1.31	3.13 $\pm$ 1.08
	October	2.54 $\pm$ 1.37	1.86 $\pm$ 1.12	2.29 $\pm$ 1.70	2.22 $\pm$ 1.04	2.44 $\pm$ 1.64	2.57 $\pm$ 2.55	2.33 $\pm$ 1.42	2.06 $\pm$ 1.22	2.55 $\pm$ 1.35	2.58 $\pm$ 1.23
	Total	2.74 $\pm$ 1.40	2.8 $\pm$ 1.77	3.01 $\pm$ 2.03	2.47 $\pm$ 1.29	2.99 $\pm$ 1.62	2.88 $\pm$ 2.09	2.56 $\pm$ 1.25	3.07 $\pm$ 1.88	2.87 $\pm$ 1.45	2.97 $\pm$ 1.28
T-N (mg L ⁻¹)	April	2.99 $\pm$ 0.99	3.66 $\pm$ 1.88	5.86 $\pm$ 3.00	3.79 $\pm$ 1.51	4.13 $\pm$ 2.07	3.71 $\pm$ 0.79	4.41 $\pm$ 1.35	4.05 $\pm$ 0.99	5.32 $\pm$ 1.55	3.88 $\pm$ 1.77
	July	2.82 $\pm$ 0.86	3.62 $\pm$ 2.32	2.04 $\pm$ 1.61	3.9 $\pm$ 1.02	4.67 $\pm$ 1.41	3.82 $\pm$ 0.90	3.95 $\pm$ 1.28	3.18 $\pm$ 0.76	4.78 $\pm$ 2.02	3.01 $\pm$ 1.41
	October	3.15 $\pm$ 0.82	2.77 $\pm$ 0.84	1.58 $\pm$ 1.28	4.73 $\pm$ 2.85	4.51 $\pm$ 1.35	3.3 $\pm$ 0.91	3.4 $\pm$ 0.97	3.33 $\pm$ 0.81	3.73 $\pm$ 2.06	3.73 $\pm$ 2.32
	Total	2.99 $\pm$ 0.90	3.35 $\pm$ 1.84	3.11 $\pm$ 2.82	4.14 $\pm$ 2.00	4.44 $\pm$ 1.66	3.61 $\pm$ 0.90	3.92 $\pm$ 1.28	3.52 $\pm$ 0.94	4.61 $\pm$ 2.00	3.54 $\pm$ 1.91
T-P (mg L ⁻¹)	April	0.09 $\pm$ 0.07	0.08 $\pm$ 0.07	0.10 $\pm$ 0.14	0.10 $\pm$ 0.07	0.09 $\pm$ 0.13	0.05 $\pm$ 0.05	0.07 $\pm$ 0.09	0.10 $\pm$ 0.09	0.08 $\pm$ 0.10	0.10 $\pm$ 0.09
	July	0.09 $\pm$ 0.10	0.09 $\pm$ 0.06	0.06 $\pm$ 0.05	0.07 $\pm$ 0.05	0.07 $\pm$ 0.06	0.09 $\pm$ 0.12	0.08 $\pm$ 0.04	0.10 $\pm$ 0.07	0.1 $\pm$ 0.09	0.17 $\pm$ 0.12
	October	0.05 $\pm$ 0.04	0.07 $\pm$ 0.05	0.08 $\pm$ 0.11	0.19 $\pm$ 0.11	0.06 $\pm$ 0.15	0.06 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.05	0.06 $\pm$ 0.08	0.07 $\pm$ 0.07	0.17 $\pm$ 0.13
	Total	0.08 $\pm$ 0.07	0.08 $\pm$ 0.07	0.08 $\pm$ 0.11	0.12 $\pm$ 0.09	0.08 $\pm$ 0.12	0.07 $\pm$ 0.08	0.06 $\pm$ 0.07	0.09 $\pm$ 0.08	0.08 $\pm$ 0.09	0.15 $\pm$ 0.12

[†]SD; Standard deviation.

Table 2. Average value of agricultural water quality by quartile according to the fraction of agricultural land area in the watershed.

Quartile	Number of watershed	Fraction of agricultural land	April			July			October		
			T-N	T-P	COD _{Mn}	T-N	T-P	COD _{Mn}	T-N	T-P	COD _{Mn}
		%	----- mg L ⁻¹ -----			----- mg L ⁻¹ -----			----- mg L ⁻¹ -----		
1st	10	9.7	3.48	0.06	2.24	2.94	0.05	2.23	2.90	0.06	1.69
2nd	9	17.4	4.19	0.08	2.99	3.77	0.09	3.00	3.26	0.08	2.26
3rd	9	24.7	4.32	0.07	3.00	3.60	0.09	2.92	3.26	0.08	2.21
4th	9	40.7	4.77	0.14	4.50	4.07	0.14	3.96	4.33	0.12	3.29

양상은 없었다 (Table 1). 하천수 내 농경지비율과 농업용수 수질 특성을 비교한 결과 T-N, T-P, COD_{Mn} 모두 농경지 비율이 증가함에 따라 하천수 내 농도가 증가하는 경향을 보였다. 특히 농경지비율이 평균 40%인 4분위에서는 4월, 7월, 10월 모두 T-N 값은 4.77, 4.07, 4.33 mg L⁻¹, T-P 값은 0.14, 0.14, 0.12 mg L⁻¹, COD_{Mn} 값은 4.50, 3.96, 3.29 mg L⁻¹으로 1 - 3사분위 값보다 높게 나타났다 (Table 2). 본 연구결과는 농업 기반인 전남지역 농업용 하천수의 수질변화 양상을 파악하고 지속적인 수질관리를 위한 기초자료이며, 향후 농업환경변화에 따른 수질변화 원인분석과 대책 마련을 위해서는 지점별 농림지역의 영농형태, 경사도, 축사 등 부영양원 유입경로에 관한 조사가 추가되어야 할 것으로 사료된다.

Conclusions

본 연구는 전라남도 주요 소유역 하천수를 대상으로 10년간 (2007 - 2016년) 수질 변동 경향 특성 파악을 위해 실시하였다. 조사 대상지역의 수질분석결과 COD_{Mn} 평균은 4월, 7월, 10월 각각 3.20, 3.04, 2.37 mg L⁻¹, 중위값은 2.85, 2.84, 1.96 mg L⁻¹로 나타났다. EC는 평균은 4월, 7월, 10월 각각 0.15, 0.15, 0.17 dS m⁻¹ 나타냈으며 연도별 증감 경향이 없이 4월이 낮고, 10월이 다소 높았다. T-N 함량은 평균 3.41 mg L⁻¹, 중위값 3.18 mg L⁻¹로 나타냈으며 2009년 4월과 2015년 7월에 지역간 큰 편차를 보였다. T-P 함량은 평균 0.09 mg L⁻¹, 중위값 0.05 mg L⁻¹으로 나타났으며, 2016년도 7월과 10월 제외하고 조사시기별 증감 경향 없이 4월, 7월, 10월 비슷한 평균값을 나타냈다. 따라서 10년간 전남 지역 농업용 하천수의 수질은 COD_{Mn}과 T-P의 수질관리기준인 9.0 mg L⁻¹, 0.30 mg L⁻¹ 이하와 비교했을 때 양호한 것으로 보인다.

Acknowledgement

This study was conducted by support of NAS, RDA research and development project (Project no. PJ01250-5192019).

References

- CSI (Consortium for Spatial Information). 2000. <http://srtm.csi.cgiar.org/>.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2019. <https://data.kma.go.kr/>.
- KME (Korean Ministry of Environment). 2019. <http://www.me.go.kr/ysg/>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2014. <http://kosis.kr/>.
- Kwon, B.G., C.S. Lim, H.J. Lim, S.H. Na, J.K. Kwon, and S.Y. Chung. 2015. Monitoring of perfluorinated compounds [PFCs] in the Yeongsan river water system. *J. Kor. Soc. Environ. Eng.* 37(5):303-311.
- Lee, J.E., J.J. Song, H.G. Kim, and D.H. Song. 2007. The study on the characteristic of Yeongsan river pollution by inflowing of nonpoint source. *J. Korean Soc. Atmos. Environ.* 5:2035-2038.
- Oh, H.S., I.A. Huh, and J.H. Choi. 2017. Laboratory study of phosphorus fractionation in the sediments of Yeongsan river. *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 39(9):519-526.
- Oh, K.H. 2002. Sedimentary environments, pollutions of river water and sediments, Yeongsan river area. Chonnam National University. South Korea.
- Park, S.C., K.H. Choi, J.O. Kim, K.S. Kang, and P.J. Gwak. 2017. Eutrophication characteristics of the four great lakes the Korean eutrophication index. *Korean society of civil engineers.* 10:1116-1118.
- Rural Development Administration. 2013. Manual of Analysis Procedures for Comprehensive Test Lab, p.75-93. Rural Development Administration. South Korea.
- Song, E.S., K.A. Cho, and Y.S. Shin. 2015. Exploring the dynamics of dissolved oxygen and vertical density structure of water column in the Yeongsan lake. *J. Environ. Sci. Int.* 24(2):163-174.
- Yang, H. and H.C. Choi. 2003. Estimation of water quality environment in Yeongsan and Seumjin river basins. *Journal of the Korean Geographical Society.* 38(1):16-31.