



배추 재배에 이용되는 농업용수의 미생물 오염도 조사 및 이화학성분 분석

윤보현 · 김민경¹ · 류진희² · 김원일 · 박병용³ · 김현주 · 이승돈 · 김세리*

국립농업과학원 농산물안전성부 유해생물팀, ¹농촌진흥청 기술협력국 국제기술협력과,
²국립식량과학원 작물기초기반과, ³국립농업과학원 기획조정과

Investigation of Microbiological and Physicochemical Quality for Irrigation Water used in Napa Cabbage Cultivation

Bohyun Yun, Min Kyung Kim¹, Jin Hee Ryu², Won-Il Kim, Byeong-Yong Park³,
Hyun-Ju Kim, Seung-Don Lee, and Se-Ri Kim*

Microbial Safety Team, NAS, RDA, Wanju, Korea

¹Technology Cooperation Bureau, RDA, Jeonju, Korea

²Crop Foundation Division, NICS, RDA, Wanju, Korea

³Planning and Coordination Division, NAS, RDA, Wanju, Korea

(Received August 25, 2017/Revised September 4, 2017/Accepted September 13, 2017)

ABSTRACT - The purpose of this study was to investigate water quality for irrigation water used in Napa cabbage cultivation. The water samples were analyzed for physicochemical and microbiological quality for a total of 111 samples including surface water (n = 75) and groundwater (n = 36) collected from five different regions where Napa cabbage is massively grown. As a conclusion, the levels of fecal indicators for surface water were higher than those for groundwater. The numbers of coliform from surface water and groundwater were 1.96-4.96 and 0-3.98 log MPN/100 mL, respectively. Enterococci were detected in 95% (72/75) of surface water samples and 22% (8/36) of groundwater samples. Besides, 97% (73/75) of surface water samples were observed being contaminated with *Escherichia coli*, and 22% (8/36) of groundwater sample was positive for *E. coli*. In the case of surface water, *E. coli* and coliform correlate to T-P, and enterococci showed relevance to the suspended solid (SS) and biochemical oxygen demand (BOD). In groundwater, fecal indicator bacteria showed relevance to the SS and chemical oxygen demand (COD). These results could be provided as fundamental date for establishing microbial standard of water used in leafy vegetables cultivation.

Key words : Fecal Indicator Bacteria, Physicochemical Analysis, Napa Cabbage, Irrigation Water

김치는 배추와 여러 부재료들이 어우러져 유산균에 의한 젖산발효작용을 통하여 독특한 맛과 영양을 지닌 한국의 전통적인 채소발효식품으로¹⁾ 2001년 국제식품규격(CODEX) 목록에 등록되었고, 2006년 'Health'에서 세계 5대 건강식품으로 선정 되어 전세계적으로 높은 관심을 보이고 있다^{2,3)}. 또한 경제발전과 단체급식의 증가 등으로 인하여 국내에서는 상품김치의 수요가 증가하고 있다⁴⁾. 하지만 김치는 제조 공정에 멸균과정이 없는 비살균 자연발

효식품이기 때문에 충분히 발효가 되지 않으면 김치에 오염된 식중독세균을 제어하기가 어렵다^{1,5)}. 이러한 이유로 2008년, 2011년에는 *Clostridium perfringens*에 2012년에는 장용집성 *Escherichia coli* (enteroaggregative *E. coli*)에 2013년에는 장병원성 대장균(enteropathogenic *E. coli*)에 2014년에는 장독소원성 대장균(enterotoxigenic *E. coli*)에 의한 식중독이 발생하였다¹⁾. 김치의 안전성을 확보하기 위해서는 원재료의 안전성 확보가 가장 중요하며, 그 중에서도 김치 주요 원료인 배추의 안전성이 가장 중요하다. 배추는 재배과정 중 병원성 미생물에 오염된 토양과 농업용수에 의해 오염될 수 있으며^{6,7)}, 특히 배추 재배에 사용되는 농업용수의 수질은 배추의 안전성에 큰 영향을 끼칠 수 있다⁸⁾. 현행 국내 농업용수 수질기준은 하천수질환경기준 중 4급수, 호수수질환경기준 중 4급수에 해당한다.

*Correspondence to: Se-Ri Kim, Microbial Safety Team, Agro-Food Safety & Crop Protection Department, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Nongsaengmyeong-ro 166, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do 55365, Korea Tel: 82-63-238-3395, Fax: 82-63-238-3840
E-mail: seri81@korea.kr

또한 지하수는 지하수수질기준에 따라 농업용수의 수질기준을 설정해 두고 있다⁹⁾. 하지만 농업용수 기준에는 pH, 전기전도도(Electrical conductivity; EC), 생물학적산소요구도(Biochemical oxygen demand; BOD), 화학적산소요구도(Cheical oxygen demand; COD) 등 이화학적 성분에 대한 기준은 설정되어 있으나 미생물에 대한 기준은 부재한 실정이다. 이에 반해 미국, 캐나다, 호주 등에서는 농업용수 수질을 평가하는데 있어서 미생물 기준을 제시하고 있다. 농업용수의 수질 평가 중 미생물 검사 항목에는 총대장균군, 분원성대장균군, 대장균, 장구균 등을 지표미생물을 평가하고 있다. 이들 지표미생물은 사람과 환경 내에 많이 분포하고 환경의 변화에 안정하여 지표미생물로서 기본 조건을 충족시키며 오염원에 대한 특이성을 가지고 있어 수질을 평가하는데 널리 이용되고 있다. 현재까지는 대장균이 인간을 포함한 온혈동물로부터 유래한 분변 오염원의 척도가 되고 있다¹⁰⁾. 대장균이 존재한다는 것은, 생태학적으로 이와 밀접하게 관련된 병원균들에 의해 농업용수가 잠재적으로 오염되었을 가능성이 있다는 것을 말한다. 대장균에 의한 수질검사는 오염의 정도를 추측할 수 있는 좋은 기준이며, 직접적인 위험의 지표가 되는 것은 아니라는 점에서는 한계가 있다. 하지만 여전히 대장균의 존재는 저수지 등이 분변 오염에의 노출을 의미하는 것은 사실이다¹¹⁾. 장구균은 대장균보다 물에서의 분변 오염 그리고 병원성 미생물의 존재의 지표로서 더 적합하다는 의견이 제시되고 있다. 그 이유는 데이터 별로 차이는 있지만 장구균이 환경적으로 스트레스에 견디는 내성이 더 강하기 때문이다¹²⁾.

뿐만 아니라 이들 위생지표세균의 발생과 수질인자는 서로 연관성이 있다는 보고들이 있다. Canosa 등¹³⁾ 은 총대장균수의 증가는 유기물질의 농도와 관련이 있다고 보고하였으며, Ramteke 등¹⁴⁾ 은 총대장균군의 수는 수온과 관련이 있다고 보고하고 하였다. 한편 Choi 등¹⁵⁾ 의 연구에서는 Cl-의 농도는 총대장균군과 대장균수에 가장 큰 영향을 미친다고 보고하였다.

따라서 본 연구는 배추 주산단지 농업용수의 미생물 안전성을 평가하기 위하여 위생지표세균(총대장균군, 대장균, 장구균)을 조사하였으며 이들 위생지표세균과 수질항목과의 상관분석을 통하여 위생지표세균의 발생에 영향을 주는 수질인자의 특성을 조사하고자 수행하였다.

Materials and Methods

시료채취

본 연구는 2016년 8월부터 11월까지 배추 주산단지 5지역을 대상으로 배추재배에 활용되는 농업용수를 각 지역의 수확 시기에 채취하여 위생지표세균(총대장균군, 대장균, 장구균)과 이화학적성분을 조사하였다. 수집된 시료는

Table 1. Irrigation water samples collected for test of water quality and microbial contamination

Region	Sampling period	Sample		
		Farms	Source of water	Number
A	October	6	Surface water (stream, valley)	15
			Groundwater	12
B	August	6	Surface water (stream, valley)	21
			Groundwater	9
C	August	6	Surface water (stream, valley)	24
			Groundwater	6
D	November	2	Surface water (ponds)	12
			Groundwater	3
E	November	2	Surface water (ponds)	3
			Groundwater	6
Total			Surface water	75
			Groundwater	36

Table 1에서 보는 바와 같이 지표수 75점, 지하수 36점을 수집하였다. 농가에서 활용하고 있는 물은 지표수와 지하수이며, 지표수는 지역에 따라 활용하는 수원에 차이가 있었다. I, II, III지역은 주로 산악지대로 계곡, 하천에 있는 물을, IV와 V지역은 주로 평야지대로 주로 웅덩이 물을 활용하고 있었다. 지표수는 멸균된 용기를 활용하여 채취한 후 무균채수병에 옮겨 담았다. 또한 지하수는 5분 이상 흘러 내린 다음 무균채수병에 채수하여 아이스박스에 담아 실험실로 이송하고 18시간 내에 분석하였다.

농업용수 중 위생지표세균 분석

대장균군/ 대장균 분석

대장균군과 대장균 분석은 농업용수를 원액, 10배, 100배 희석한 후 각 농도별 100 mL을 취하여 멸균병에 넣은 후 Colilert 18 (IDEXX Laboratories, Westbrook, ME, USA)을 첨가하고 혼합하였다. 이후 정량플레이트에 분주한 후 37°C, 18~24시간 배양하였다. 대장균군 판별은 노란색으로 변한 웰 수를 계수하였고, 대장균은 노란색을 띄고 365 nm에서 형광을 보이는 웰 수를 계수하였다. 이후 MPN 판독표를 이용하여 100 mL 속의 균수를 환산하였다.

장구균

농업용수를 원액, 10배, 100배 희석한 후 각 농도별 100 mL을 취하여 멸균병에 넣은 후 Enterolert (IDEXX Labo-

ratories, Westbrook, ME, USA) 을 첨가하고 혼합하였다. 이후 정량플레이트에 분주한 후 37°C, 18~24시간 배양하였다. 장구균은 365 nm에서 형광을 보이는 웰 수를 계수하였다. 이후 MPN 판독표를 이용하여 100 mL 속의 균수를 환산하였다.

농업용수의 이화학적 분석

농업용수의 이화학적 분석은 ‘농업용수 수질분석 실무 매뉴얼’에 따라 분석하였으며 각 항목별 분석법은 아래와 같다.

수소이온농도(pH), 전기전도도(EC: Electrical Conductivity) pH, 전기전도도(EC)는 각각 pH meter (Orion Star A211, ThermoScientific, Waltham, MA, USA), EC meter (K4000-EC, Pnlins. Gyeonggi, Korea)를 이용하여 측정하였다.

용존산소(DO: Dissolved Oxygen)와 생물학적 산소요구도(BOD: Biochemical Oxygen Demand)

용존산소(DO)는 DO meter (YSI Model 58, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)를 이용하여 분석하였고 BOD는 시료를 BOD병 2개에 나누어 적정 농도로 희석하여 담고, 기포를 제거한 후 20°C 배양기에 넣었다. 15분 후 1개씩 꺼내어 DO를 측정하고 나머지 1개는 5일 후 같은 시각에 DO를 측정하였다. 각 수치를 아래의 수식에 대입한 후 결과를 환산하였다.

$$BOD (mg/L) = (DO_1 - DO_2) \times P$$

DO₁: 희석 시료수를 조제하여 15분 후의 용존산소량(mg/L)

DO₂: 희석 시료수를 5일간 BOD 항온조에 저장 후의 용존산소량(mg/L)

P: 희석시료 중 시료의 희석배수 (희석 시료량(mL)/시료량(mL))

화학적산소요구도(COD: Chemical Oxygen Demand)

500 mL 삼각플라스크에 시료 및 바탕시료(증류수) 100 mL를 취하고 황산(1+2: 증류수 200 mL에 황산 100 mL를 혼합한 용액) 10 mL를 넣고 황산은 분말 약 1 g을 넣었다. 이후 세계 흔들어 준 다음 수 분간 방치하고 0.025N 과망간산칼륨액 10 mL를 넣은 후 둥근 바닥플라스크에 냉각관을 붙이고 끓는 수욕상에서 30분간 가열하였다. 수욕조의 수면이 시료의 수면보다 높게 하여 100°C, 30분간 가열하고 냉각관의 끝을 통하여 증류수 소량을 사용하여 씻어주었다. 0.025 N-수산나트륨용액 10 mL를 정확하게 넣고 0.025 N-과망간산칼륨을 채운 뷰렛에서 한방울씩 떨어뜨려 역적정(무색 → 옅은 분홍색)하였다.

$$CODMn (mg/L) = (a - b) \times f \times (1,000/v) \times 0.2$$

a: 본 시험(시료)에 소요된 0.025 N 과망간산칼륨액량 (mL)

b: 바탕시험(증류수)에 소요된 0.025 N 과망간산칼륨액량 (mL)

f: 0.025 N 과망간산칼륨용액의 역가

v: 시험에 사용된 시료량 (mL)

총질소(T-N: Total Nitrogen)

총질소 측정을 위하여 증류수(blank), 시료 50 mL(질소로서 0.1 mg 이하 함유)을 뚜껑이 있는 분해병에 넣고, 알칼리성 과황산칼륨용액 10 mL를 넣어 마개를 닫고 섞었다. 고압증기멸균기(Autoclave)에 넣고 120°C가 될 때부터 30분간 가열 분해한 후 분해병을 꺼내 방냉하였다. 전처리한 시료의 상등액 10 mL를 버리고 다음 여액 10 mL를 시험관에 넣고 염산(1+16: 염산[HCl] 10 mL와 증류수 160 mL를 혼합한다.) 2 mL를 넣은 후 220 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다.

$$총질소(mg N/L) = a \times (60/10) \times (1,000/50)$$

총인(T-P: Total Phosphorus)

농업용수의 총인 분석을 위하여 증류수(blank), 시료 50 mL(인으로서 0.06 mg이하 함유)을 뚜껑이 있는 분해병에 넣고 과황산칼륨용액 10 mL를 넣어 마개를 닫고 섞었다. 고압증기멸균기(Autoclave)에 넣고 120°C가 될 때부터 30분간 가열 분해한 후 분해병을 꺼내 방냉하였다. 이렇게 전처리한 시료의 상등액 및 바탕시료(증류수) 10 mL를 취해 시험관에 넣고 몰리브덴산암모늄-아스코르빈산 혼합용액 0.8 mL를 넣고 섞은 후 30°C에서 15분간 방치 후 880 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다.

$$총인(mg P/L) = a \times (60/10) \times (1,000/50)$$

a: 검량선으로부터 구한 인의 양(mg)

부유물질(SS: Suspended Solid)

여과 전 유리섬유 여지를 105~110°C 건조기 안에서 2시간 건조하였다. 건조시킨 여지를 황산테시케이터에 넣어 방냉하고 무게를 측정하고 시료 500 mL를 여과기에 주입하면서 흡인 여과하였다. 시료용기 및 여과기에 붙어있는 부착물질을 소량의 물로 여지 위에 씻어 내었다. 여과된 여지를 여과기에서 조심히 떼어내고 105~110°C 건조기 안에서 2시간 건조하였다. (여과 후) 황산 테시케이터에 넣어 방냉하고 항량으로하여 무게를 정밀히 측정하였다.

$$부유물질(mg/L) = (b - a) \times 1,000/V$$

a: 시료 여과 전의 유리섬유 여지무게(mg)

b: 시료 여과 후의 유리섬유 여지무게(mg)

V: 시료 양(mL)

농업용수의 위생지표세균수와 이화학적지표간의 상관성

위생지표세균간, 위생지표세균 수에 영향을 미치는 수질 인자를 알아보기 위하여 위생지표세균수와 수질항목에 대한 상관분석을 실시하여 Pearson 상관계수를 구하였고, 양쪽 유의성 검정을 실시하였다.

통계처리

모든 실험은 3반복으로 수행되었으며 관찰된 실험결과와 지역의 차이는 SAS 통계 프로그램(version 9.1, SAS Institute, NC, USA)의 분산분석(ANOVA procedure)을 이용하여 분석하였다. $p < 0.05$ 수준에서 처리효과가 유의적인 경우에는 Duncan's Multiple Range test를 이용하여 평균간 다중비교를 하였다.

Results and Discussion

농업용수의 위생지표세균 분석결과

배추재배 농업용수에서 위생지표세균을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 본 연구를 위해 수집된 배추재배용 지표수에서 모두 총대장균과 장구균이 검출되었으며, 대장균의 경우도 II지역의 1 농가를 제외한 지표수에서 모두 검출되었다(data not shown). 지하수의 경우 V지역을 제외한 농가 중 6 농가에서 대장균이 검출되었으며, 대장균의 경우 I지역 2 농가에서 검출되었다. 장구균의 경우 I지역과 III지역의 농가 중 3 농가에서 검출되었다(data not shown).

지표수와 지하수간에 위생지표세균(총대장균, 대장균, 장구균)에 대한 오염 수준을 보면 지표수의 경우 총대장균 2.33~4.94 log MPN/100 mL, 대장균은 불검출 ~3.75 log MPN/100 mL, 장구균은 불검출 ~3.53 log MPN/100 mL 수준으로 대부분의 농가가 2.0 log MPN/100 mL 이상으로 검출되었다. 지하수의 경우 총대장균은 불검출 ~3.93 log MPN/100 mL 수준이었으며, 대장균은 대부분은 불검출이었으나, I지역의 몇몇 농가에서 0.30~2.56 log MPN/100 mL 수준으로 검출되었다. 장구균 역시 대부분 불검출이었으

나, I지역과 III지역에서 불검출 ~1.65 log MPN/100 mL 수준으로 검출되었다(Table 2).

농업에 사용되는 농업용수는 상수도, 지하수, 빗물, 지표수(계곡수, 연못, 호수, 강), 폐수 등이 있다¹⁶⁾. 농업용수의 미생물학적 위생수준은 수원과 관련되어 있다¹⁷⁾. 상수도, 지하수, 지표수, 폐수 순으로 미생물 오염도가 높아진다⁸⁾. 본 연구에서 수집된 배추에 재배에 이용되는 농업용수는 지하수와 지표수, 2가지 타입이며, 위 연구들과 유사하게 지하수보다 지표수에서 위생지표세균 검출빈도와 검출수준이 높았다.

캐나다 온타리오주의 지하수 1,300 샘플을 검사한 결과 약 31%에서 총대장균군이 10 CFU/100 mL 이상 검출되었으며, 분원성대장균군은 20% 샘플에서, 대장균은 17.6% 샘플에서 검출되었다고 보고되었다¹⁸⁾. 미국 네브래스카주의 지하수에서는 약 37%의 샘플에서 분원성대장균군이 950 CFU/100 mL 이상 검출되었다고 보고 하고 있다¹⁹⁾. 국내에서는 충남지역의 도시지역과 농촌지역의 지하수 수질을 조사한 결과 도시지역에서 총대장균군 4.7 CFU/50 mL, 농촌지역에서 총대장균군 3.6 CFU/50 mL 수준으로 나타났다²⁰⁾. 본 연구에서는 다른 연구결과와 비슷한 수준으로 오염되어 있었다. 미현대화법의 기준과 비교해보았을 때, 농업용수로 이용되는 지표수는 대장균이 126 CFU/100 mL 이하로 정하고 있으며, 작물에 직접 닿는 농업용수의 경우 불검출/100 mL로 정하고 있다²¹⁾. 배추 주산단지에서 농업용수로 이용되는 지표수 중 I지역과 III지역의 모든 지표수가 미현대화법 기준에 부적합하고, 그 외 지역의 지표수는 기준에 부합하는 것으로 나타났다. 이는 동물의 유입 빈도가 높을수록 토양과 수질의 위생지표세균이 증가한다고 보고된바 있어, 이들 지역이 야생동물의 출입이 자

Table 2. Distribution of the fecal indicator bacteria in irrigation water collected from Napa cabbage farm (unit: log MPN/100 mL)

		Surface water			Groundwater		
		Coliform	<i>E. coli</i>	Enterococci	Coliform	<i>E. coli</i>	Enterococci
I	Average	4.35 ± 0.41 ^A	2.86 ± 0.55 ^A	2.04 ± 0.62 ^B	1.44 ± 1.70 ^{AB}	0.79 ± 1.10	0.71 ± 0.76 ^A
	Range	3.72~4.96	1.78~3.84	0.71~2.94	0.00~3.98	0.00~2.66	0.00~1.68
II	Average	2.78 ± 0.35 ^D	1.24 ± 0.75 ^C	1.65 ± 0.84 ^B	0.11 ± 0.25 ^B	N.D. ¹⁾	N.D. ^B
	Range	1.96~3.00	0.00~2.42	0.00~2.94	0.00~0.72	N.D.	N.D.
III	Average	3.80 ± 0.21 ^B	2.58 ± 0.51 ^A	2.95 ± 0.65 ^A	1.08 ± 1.18 ^{AB}	N.D.	0.08 ± 0.20 ^B
	Range	3.37~4.00	1.87~3.86	1.86~4.00	0.00~2.25	N.D.	0.00~0.49
IV	Average	3.41 ± 3.18 ^C	2.01 ± 1.78 ^B	2.20 ± 2.31 ^B	2.36 ± 2.28 ^A	N.D.	N.D. ^B
	Range	2.71~3.78	1.65~2.32	1.02~2.76	1.79~2.64	N.D.	N.D.
V	Average	2.88 ± 2.08 ^D	0.23 ± 0.33 ^D	N.D. ^C	N.D. ^B	N.D.	N.D. ^B
	Range	2.80~2.94	0.00~0.61	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

¹⁾N.D.: Not Detection

^{A-D}Different superscripts within each fecal indicator bacteria indicate significant different at $p < 0.05$ by one-way ANOVA with Duncan's multiple range test

Table 3. Pearson correlation between coliforms, *E. coli* and Enterococci

	Coliform	<i>E. coli</i>	Enterococci
Coliform	1.000		
<i>E. coli</i>	0.868**	1.000	
Enterococci	0.788**	0.853**	1.000

**Marked correlations are significant at $p < 0.01$

유로운 산악지역이기 때문에 농업용수에 위생지표세균이 높은 것으로 추측된다^{22,23}).

농업용수에서 위생지표세균간의 출현에 대한 지표수, 지하수 모두 포함하여 Pearson 상관분석을 실시한 결과, 총 대장균군수와 대장균수의 상관계수는 0.868($p < 0.01$), 총 대장균수와 장구균수의 상관계수는 0.788($p < 0.01$)로 조사되었다(Table 3). 총대장균군, 대장균, 장구균은 서로간의 상관성이 높은 것으로 나타났으며, 이는 모두 분변유래의 지표세균으로 이용되고 있기 때문이다²². 물에서 분변유래 지표세균의 상관관계를 조사한 몇몇 연구를 보면, Cabral 과 Marques의²⁴ 연구에서는 포르투갈 북서부에 위치한 Febros 강에서 수질을 검사한 결과, 총대장균군, 분원성대장균군 및 장구균이 서로 유의한 상관관계를 가지고 있다고 보고하였으며, Touron 등²⁵의 연구는 프랑스의 세느강 수질을 검사한 결과, 살모넬라와 분원성대장균군이 상관관계를 가지며, 대장균과 장구균이 상관관계를 가진다고 보고하였다. Wilkes 등²⁶의 연구에서는 캐나다 온타리오주에 위치한 사우스네이션강의 수질을 검사한 결과, 분원성

대장균, 대장균, 장구균, *Clostridium perfringens*가 상관관계를 가진다고 보고하였다. 대장균이나 장구균이 수원에 존재하면 병원성미생물의 발생빈도가 높은 것은 아니지만 대장균의 발생은 분변유래의 지표이기 때문에 분명 지표로서는 가치가 있고 향후 위생지표세균이 배추에서 생존, 사멸 연구를 통하여 국내 농업용수의 기준을 설정하는 것이 필요하다고 판단된다.

농업용수의 이화학성 분석결과

배추주산단지 지표수와 지하수간 이화학성분의 차이는 T-P와 COD를 제외하고는 유의적인 차이가 없었다(Table 4). 지표수의 경우 pH, EC, COD, DO, BOD에서 지역간 차이가 있었으며, 이중 pH를 제외한 이화학성 성분들이 IV과 V지역이 높은 수치를 나타내었다. 지하수의 경우 pH, EC, DO, BOD, T-P가 지역간 차이가 있었다(Table 5).

전기전도도(EC)의 경우 IV지역이 0.4로 가장 높게 나타나는데 이는 IV지역은 바닷가 근처에 있는 지역으로 빗물을 웅덩이에 가두어 농업용수로 이용하기 때문인 것으로 추측된다. 국내에는 농업용수의 수질기준에 EC에 대한 기준을 제시하고 있지는 않지만, 일본의 경우 0.3 dS/m 이하로 정하고 있다⁹. 이러한 기준에 IV지역을 제외한 지역에서 모두 충족하고 있는 것으로 조사되었다.

하천에서 유기물은 수질악화의 원인으로 수질관리를 위한 핵심지표로 이용되며, 생물화학적산소요구량(biochemical oxygen demand; BOD), 화학적산소요구량(chemical oxygen demand; COD)을 유기물 오염지표로 국내에서 이용되고

Table 4. Differences in physico-chemical composition between surface water and groundwater

	pH	EC(dS/m)	SS(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)	COD(mg/L)	DOl	BOD(mg/L)
Surface water	7.5 ± 0.4	0.2 ± 0.1	24.4 ± 36.1	6.5 ± 4.0	0.3 ± 0.2*	5.1 ± 3.4*	11.5 ± 2.4	1.3 ± 0.9
Groundwater	7.5 ± 0.4	0.2 ± 0.1	10.7 ± 0.1	11.3 ± 10.1	0.2 ± 0.1*	2.4 ± 4.0*	11.6 ± 10.2	1.0 ± 0.7

*Marked correlations are significant at $p < 0.05$

Table 5. Physico-chemical composition of irrigation water

	Surface water					Groundwater				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
pH	7.7 ^{AB}	7.9 ^A	7.1 ^C	7.6 ^{AB}	7.5 ^{BC}	7.8 ^A	7.5 ^{AB}	7.6 ^{AB}	7.0 ^{AB}	7.0 ^B
EC (dS/m)	0.2 ^B	0.2 ^B	0.1 ^B	0.4 ^A	0.3 ^{AB}	0.1 ^C	0.3 ^{BC}	0.3 ^{BC}	0.4 ^A	0.4 ^{AB}
SS (mg/L)	21.6	5.7	42.5	25.5	20.0	27.0	3.3	3.2	4.0	0.0
T-N (mg/L)	4.8	5.8	6.8	9.7	3.8	2.7 ^C	6.4 ^{BC}	16.2 ^{AB}	19.5 ^A	26.8 ^A
T-P (mg/L)	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
COD (mg/L)	5.9 ^{ABC}	1.8 ^C	4.7 ^{BC}	9.7 ^A	8.7 ^{AB}	5.7	1.0	0.6	0.6	0.6
DO (mg/L)	12.7 ^B	9.8 ^c	9.8 ^C	15.3 ^A	15.6 ^A	12.7 ^B	9.5 ^C	9.6 ^C	14.0 ^A	13.5 ^A
BOD (mg/L)	1.8 ^A	0.9 ^B	0.5 ^B	2.4 ^A	2.8 ^A	1.4 ^A	1.0 ^B	0.4 ^C	1.0 ^B	0.7 ^{BC}

^{A-C}Different superscripts within each physico-chemical composition by water source indicate significant different at $p < 0.05$ by one-way ANOVA with Duncan's multiple range test

있다²⁷⁾.

농업용수로 이용되는 지표수의 경우 BOD 8 mg/L 이하, COD 9 mg/L 이하로 제시하고 있으며, 본 연구에서 조사된 농업용수에서는 BOD의 경우 평균 1.29 mg/L으로 기준을 충족하고 8 mg/L 이상을 넘는 지역은 없었다. 그러나 COD의 경우 평균 5.10 mg/L로 기준에 충족하나, I와 IV 지역의 몇 농가에서 기준차인 9 mg/L 이상이였다. COD가 높은 원인은 강우시 토양 유실이 증가하게 되고 이로 인하여 토양에 부착되어 있던 인과 유기물이 함께 유실되기 때문에 COD와 T-P가 증가한다고 보고하고 있으며²⁸⁾, 외부로부터 유입되는 수원이 없고 눈이나 비에 의해 물이 공급되는 소류지나 웅덩이의 경우 눈이나 비에 의해 비점

오염원이 유입됨으로서 COD가 증가하게 된다고 보고되고 있다²⁹⁾. 본연구에서 I지역의 샘플링 시기에 장마철로 인한 강우 증가로 인하여 COD가 높은 것으로 보이며, IV 지역의 경우 농업용수를 웅덩이를 이용하기 때문인 것으로 판단된다. 전반적으로 국내 농업용수 수질기준인 하천 수질환경기준 중 4급수, 호수수질환경기준 중 4급수에 해당하며³⁰⁾, 본 연구에서 사용된 농업용수는 위 기준에 충족하고 있다. 하지만 현재 GAP 인증에서는 농업용수 수질 기준을 대장균이나 생물학적위해요소 고려가 없는 상태에서 이화학적 요인으로 평가하는 것은 부적절하다. 이화적인 부분은 수질의 측도는 될 수 있지만 안전성을 직접적으로 평가할 수 있는 측도는 아니기 때문에 이 부분에

Table 6. Pearson correlation between fecal indicator bacteria and physico-chemical composition in surface water

	Coliform	<i>E. coli</i>	Enterococci	pH	EC (dS/m)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (mg/L)	DO1	BOD (mg/L)
Coliform	1.000										
<i>E. coli</i>	0.792**	1.000									
Enterococci	0.486*	0.659**	1.000								
pH	-0.395	-0.445*	-0.417*	1.000							
EC (dS/m)	-0.291	-0.279	-0.344	0.355	1.000						
SS (mg/L)	0.342	0.387	0.420*	-0.250	-0.009	1.000					
T-N (mg/L)	0.155	0.244	0.137	-0.144	0.653**	0.293	1.000				
T-P (mg/L)	0.453*	0.435*	0.276	-0.285	0.143	0.787**	0.498**	1.000			
COD (mg/L)	0.313	0.280	-0.113	-0.303	0.449*	0.418*	0.460*	0.568**	1.000		
DO1	0.079	-0.044	-0.378	0.129	0.569**	-0.004	0.183	0.181	0.762**	1.000	
BOD (mg/L)	0.033	-0.058	-0.467*	0.190	0.598**	-0.036	0.260	0.143	0.741**	0.920**	1.000

*Marked correlations are significant at $p < 0.05$

**Marked correlations are significant at $p < 0.01$

Table 7. Pearson correlation between fecal indicator bacteria and physico-chemical composition in groundwater

	Coliform	<i>E. coli</i>	Enterococci	pH	EC (dS/m)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (mg/L)	DO1	BOD (mg/L)
Coliform	1.000										
<i>E. coli</i>	0.775**	1.000									
Enterococci	0.787**	0.912**	1.000								
pH	-0.122	0.089	0.091	1.000							
EC (dS/m)	-0.190	-0.488	-0.596*	-0.612*	1.000						
SS (mg/L)	0.772**	0.987**	0.902**	0.163	-0.568	1.000					
T-N (mg/L)	-0.048	-0.314	-0.359	-0.780**	0.813**	-0.384	1.000				
T-P (mg/L)	0.298	0.689*	0.457	-0.212	-0.118	0.637*	-0.078	1.000			
COD (mg/L)	0.640*	0.910**	0.748**	0.153	-0.565	0.948**	-0.365	0.686*	1.000		
DO1	0.221	0.212	0.221	-0.272	0.129	0.203	0.232	0.302	0.215	1.000	
BOD (mg/L)	0.238	0.433	0.473	0.324	-0.526	0.469	-0.647*	0.280	0.472	0.418	1.000

*Marked correlations are significant at $p < 0.05$

**Marked correlations are significant at $p < 0.01$

대한 고려가 필요하다.

국내 배추 주산단지 농업용수 중 위생지표세균 밀도와 이화학적 성분의 상관관계

배추 주산단지에서 이용되는 농업용수 중 지표수 및 지하수의 위생지표세균 밀도와 이화학적 성분의 상관관계를 요약하면 Table 6 및 Table 7과 같다. 지표수의 경우 대장균과 T-P가 상관성을 보였으며, 대장균은 T-P ($0.44, p < 0.03$), 장구균은 SS ($0.42, p < 0.04$), BOD에 상관성을 보였다. 지하수의 경우 대장균은 SS ($0.77, p < 0.003$), COD ($0.91, p < 0.001$)에 상관성을 보였으며, 대장균은 SS ($0.99, p < 0.001$), T-P ($0.69, p < 0.01$), COD ($0.75, p < 0.01$), 장구균은 SS ($0.90, p < 0.001$), COD ($0.76, p < 0.01$)에 상관성을 보였다.

몇몇 연구에서 대장균이나 병원성균의 경우 강우량이 높을수록, 온도가 높을수록 증가하는 경향을 보인다고 보고하였다³¹⁾. Sood 등³²⁾의 연구에서도 강우량이 많은 여름에 총대장균수가 증가하는 경향을 보이며, 총대장균수가 강우량에 영향을 받는다고 보고하였다. 이는 강우시 토양이 유실되어 지표수로 흘러 들어가게 되고 이로 인하여 토양에 오염되어 있던 야생동물이나 가축의 분변 등의 오염원이 수원을 오염시키는 것으로 판단된다. 특히 강우 때에는 지표수 아래 침전되어 있던 침전물들이 다시 부유하게 되는데 분변지표세균인 대장균, 분원성대장균, 장구균의 경우 침전물질에 부착하여 생존해 있다가 물을 재 오염시킬 우려가 있다³³⁾. 본 연구에서도 강우시 증가할 수 있는 SS, BOD, COD, T-P 등이 위생지표세균과 상관관계를 지닌다고 조사되었으며, Beck 등³⁴⁾의 연구에서도 하수방류수에서 대장균 발생은 유기물의 농도가 높을수록 대장균의 출현에 영향을 미친다고 보고하였으며, 총대장균과 COD가 상관관계가 높다고 조사되었다.

이러한 결과 농업용수를 이용되는 강우로 인한 토양유실이나 동물의 직접적인 접촉이나 분변의 오염으로 농업용수의 SS, BOD, COD, T-P 등의 이화학적 성분과 총대장균, 대장균, 장구균 등의 위생지표세균 밀도가 증가할 수 있으며, 이들이 서로 상관관계가 있다고 판단된다.

그러나 McCoy와 Olson의 연구에서는³⁵⁾ 탁도와 부유물간의 상관관계는 있으나, 탁도와 미생물과의 상관관계가 없다고 보고하였으며, 최 등¹⁵⁾의 연구에서도 COD, BOD, SS 등과 상관관계가 없는 본 연구와 상이한 결과를 보였다. 이는 수질에 대해 다양한 인자들이 관여하며, 특히 이화학적 매개변수 및 생물학적 매개변수 이외에도 수원의 특징, 기후 변화, 환경 등 다양한 매개변수들을 직간접적으로 관여하기 때문이다³⁶⁾. 이에 대한 연구도 향후 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ012009)의 지원에 의해 이루어진 것임.

국문요약

본 연구는 국내 배추 주산단지 5지역을 대상으로 배추 재배에 활용되는 농업용수를 각 지역의 수확 시기에 채취하여 위생지표세균(총대장균, 대장균, 장구균)과 이화학적 성분을 분석함으로써 농업용수의 수질의 오염도를 조사하기 위하여 수행되었다. 그 결과 지하수 보다 지표수에서 위생지표세균이 높은 수준으로 검출되었다. 지표수의 경우 총대장균 1.96-4.96 log MPN/100 mL, 지하수의 경우 0-3.98 log MPN/100 mL 수준이었다. 장구균의 경우 지표수에서 95% (72/75), 지하수에서 22% (8/36) 빈도로 검출되었으며, 대장균의 경우 지표수에서 100% (72/75), 지하수에서 22% (8/36) 빈도로 검출되었다. 위생지표세균과 이화학적 성분의 상관관계를 조사한 결과, 지표수의 경우 대장균과 대장균은 총인과 상관성을 보였으며, 장구균은 부유물질과 생물학적산소요구량에 상관성을 보였다. 지하수의 경우 위생지표세균은 부유물질과 화학적산소요구량에 상관성을 보였다. 본 연구의 결과는 업체류 재배에 사용되는 농업용수의 미생물 기준을 설정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. Lee H.W., Yoon S.R., Kim S.J., Lee H.M., Lee J.Y., Lee J.H., Kim S.H., Ha J.H.: Identification of microbial communities, with a focus on foodborne pathogens, during Kimchi manufacturing process using culture-independent and-dependent analyses. *LWT-Food Sci. Technol.*, **81**, 153-159 (2017).
2. Commission C.A.: Codex standard for Kimchi. *Codex Stan 223*, (2001).
3. Magazine U.H.: Available from <http://eating.health.com>. Updated Feb 1 (2008).
4. You J.H., Shin M.J., Choi S.K.: Importance and satisfaction with selection attributes when purchasing Kimchi. *J. East. Asian. Soc. Diet. Life*, **18**, 624-632 (2008).
5. Lee J.K., Jung D.W., Kim Y.J., Cha S.K., Lee M.K., Ahn B.H., Kwak N.S., Oh S.W.: Growth inhibitory effect of fermented Kimchi on food-borne pathogens. *Food Sci. Biotechnol.*, **18**, 12-17 (2009).
6. Beuchat L.R., Farber J.M., Garrett E.H., Harris L.J., Parish M.E., Suslow T.V., Busta F.F.: Standardization of a method to determine the efficacy of sanitizers in inactivating human pathogenic microorganisms on raw fruits and vegetables. *J. Food Prot.*, **64**, 1079-1084 (2001).

7. Choi Y.D., Lee C.W., Kim J.S., Chung D.H., Shim W.B.: Investigation of hazards from onions and their cultivation areas to establish a good agricultural practices (GAP) model. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **45**, 785-790 (2013).
8. Uyttendaele M., Jaykus L.A., Amoah P., Chiodini A., Cunniffé D., Jacxsens L., Holvoet K., Korsten L., Lau M., McClure P., Medema G., Sampers I., Jasti P.R.: Microbial hazards in irrigation water: Standards, norms, and testing to manage use of water in fresh produce primary production. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, **14**, 336-356 (2015).
9. An Y.J., Lee W.M., Yoon C.G.: Evaluation of Korean water quality standards and suggestion of additional water parameters. *Korean J. Limnol.*, **39**, 285-295 (2006).
10. Mossel D.: Marker (index and indicator) organisms in food and drinking water. Semantics, ecology, taxonomy and enumeration. *Antonie van Leeuwenhoek*, **48**, 609-611 (1983).
11. Report EFSA. The community summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in the European Union in 2001. *EFSA J.*, **12**, 3547 (2014).
12. Hutchison M.L., Walters L.D., Morre T., Thomas D.J.I., Avery S.M.: Fate of pathogens present in livestock wastes spread onto fescue plots. *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**, 691-696 (2005).
13. Canosa A., Pinilla G.: Bacteriological eutrophication indicators in four Colombian water bodies (South America). *Lakes Reserv. Res. Manag.*, **4**, 23-27 (1999).
14. Ramteke P., Bhattacharjee J., Pathak S., Kalra N.: Evaluation of coliforms as indicators of water quality in India. *J. Appl. Microbiol.*, **72**, 352-356 (1992).
15. Choi C.M., Yun S.G., Kim M.K., Kim J.H., Ko B.G., Park S.J., Ryu H.Y.: Correlation between ground water quality parameters and total coliforms in livestock farm. *Korean J. Environ. Agric.*, **28**, 86-91 (2009).
16. James J.: Overview of microbial hazards in fresh fruit and vegetables operations. Microbial hazard identification in fresh fruit and vegetables, John Wiley & Sons Inc., West Sussex, U.K., pp. 1-36 (2006).
17. Steele M., Odumeru J.: Irrigation water as source of food-borne pathogens on fruit and vegetables. *J. food prot.*, **67**, 2839-2849 (2004).
18. Canada C.A., Rudolph D.L., Waterloo Centre for Groundwater Research: Ontario farm groundwater quality survey. Summer 1992: [Ontario]: *Agriculture Canada* (1993).
19. Exner M.E., Spalding R.F.: Ground-water contamination and well construction in Southeast Nebraska. *Groundwater*, **23**, 26-34 (1985).
20. Park H.S., Jung K.H.: Comparison between urban area and rural area for characteristics of ground water quality in Chungnam provine. *J. Korean Soc. Environ. Adm.*, **7**, 495-502 (2001).
21. U.S. Food and Drug Administration: Standards for the growing, harvesting, packing, and holding of produce for human consumption. Fed Regist **80**, 74353-74642 (2015).
22. Cabral J.P.: Water microbiology. Bacterial pathogens and water. *Int. J. Env. Res. Pub. He.*, **B**, 3657-3703 (2010).
23. Unc A., Goss M.J.: Transport of bacteria from manure and protection of water resources. *Appl. Soil Ecol.*, **25**, 1-18 (2004).
24. Cabral J.P., Marques C.: Faecal coliform bacteria in Febros river (Northwest Portugal): temporal variation, correlation with water parameters, and species identification. *Environ. Monit. Assess.*, **118**, 21-36 (2006).
25. Tournon A., Berthe T., Gargals G., Fournier M., Ratajczak M., Servais P., Petit F.: Assessment of faecal contamination and the relationship between pathogens and faecal bacterial indicators in an estuarine environment (Seine, France). *Mar. Pollut. Bull.*, **54**, 1441-1450 (2007).
26. Wilkes G., Edge T., Gannon V., Jokinen C., Lyautey E., Medeiros D., Neumann N., Ruecker N., Topp E., Lapen D.R.: Seasonal relationships among indicator bacteria, pathogenic bacteria, Cryptosporidium oocysts, Giardia cysts, and hydrological indices for surface waters within an agricultural landscape. *Water Res.*, **43**, 2209-2223 (2009).
27. Seo H.J., Kang Y.J., Min K.W., Lee K.S., Seo G.Y., Kim S.H., Paik K.J., Kim S.J.: Characteristics of distribution and decomposition of organic matters in stream water and sewage effluent. *Anal. Sci. Technol.*, **23**, 36-44 (2010).
28. Shin Y.K.: Comparison of water quality between forested and agricultural subcatchments in Daegwallyong area. *J. Korean Geogr. Soc.*, **39**, 544-561 (2004).
29. Lim D.O., Lee S.H., Oh Y.T., Ji S.I., Lee H.C.: The specific plants, water quality and the use realities of reservoirs in Jeonju city - Osongjae, Gisijae, Sunggokjae, Gujujae, Seounjae, Hwanghakjae and Hacksojae. *Pro. Kor. Soc. Env. Eco. Con.*, **22**, 179-183 (2012).
30. Jo J.Y.: Water quality of agricultural groundwater in Western Coast area and Eastern Mountain Area of Jeollabuk-do. *J. Appl. Biol. Chem.*, **54**, 218-224 (2011).
31. Charron D.F., Thomas M.K., Waltner-Toews D., Aramini J.J., Edge T., Kent R.A., Maarouf A., Wilson J.: Vulnerability of waterborne diseases to climate change in Canada: a review. *J. Toxicol. Environ. Health, Part A*, **67**, 1667-1677 (2004).
32. Sood A., Singh K.D., Pandey P., Sharma S.: Assessment of bacterial indicators and physicochemical parameters to investigate pollution status of Gangetic river system of Uttarakhand (India). *Ecol. Indic.*, **8**, 709-717 (2008).
33. Jin G., Englande A., Bradford H., Jeng H.W.: Comparison of *E. coli*, enterococci, and fecal coliform as indicators for brackish water quality assessment. *Water Environ. Res.*, **76**, 245-255 (2004).
34. Beck Y., Sohn J.: Studies on the effect of water quality parameters on total coliform concentration in sewage effluents. *J. Kor. Soc. Wat. Qual.*, **22**, 166-171 (2006).
35. McCoy W.F., Olson B.H.: Relationship among turbidity, particle counts and bacteriological quality within water distribution lines. *Water Res.*, **20**, 1023-1029 (1986).
36. Delpla I., Jung A.V., Baures E., Clement M., Thomas O.: Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environ. Int.*, **35**, 1225-1233 (2009).