

낙동강 물 관개논의 농업환경 특성과 질소, 인산 요구량

강위금* · 이재생 · 고지연 · 박창영 · 정기열

작물과학원 영남농업연구소

(2004년 7월 27일 접수, 2004년 9월 1일 수리)

Agroenvironmental Characteristics and N-P Demand of Paddy Fields Irrigated with the Water of Nagdong River

Ui-Gum Kang, Jae-Saeng Lee, Ji-Yeon Ko, Chang-Young Park and Ki-Yeul Jung (Yeongnam Agricultural Research Institute, National Institute of Crop Science, P. O. Box 6, Milyang 627-130, Korea)

ABSTRACT : Agroenvironmental characteristics in paddy fields irrigated with the water of Nagdong river were analyzed along the river watershed for two years from 1999. The sites monitored from upper reaches of the river were Andong, Sangju, Gumi, Goryeong, Changnyeong, Milyang and Pusan. In paddy soils, the contents of heavy metals such as Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn and As were around natural values showing the highest values in Pusan followed by Goryeong. In brown rice, the contents of heavy metals were lower than natural values. Soil chemical properties appeared higher values in the lower reaches including Goryeong than the upper ones. The highest parameters in Goryeong were pH (5.9~6.1), EC (0.8~0.9 dS/m), Av.P₂O₅ (155~201 mg/kg), exchangeable Ca (6.7~7.4 cmol⁺/kg), Mg (1.92~2.50 cmol⁺/kg), K (0.18~0.21 cmol⁺/kg) and those in Pusan were organic matter (23.0~29.1 g/kg) and T-N (1.6~1.8 mg/kg). In conclusion, the recommended rates of N fertilizer for rice cropping were 21.4%, 11.8% and 8.8% high for Andong, Sangju and Gumi, respectively and 14.9%, 4.6%, 4.5% and 11.5% low for Goryeong, Changnyeong, Milyang and Pusan, respectively reflecting the chemical properties of soils and the quality of irrigation water on the basis of 110 kgN/ha. In the case of phosphorous, the rates were 18.9% and 33.3% low for Changnyeong and others, respectively on the basis of 45 kgP₂O₅/ha. The populations of bacteria, fungi, actinomycetes, *Bacillus*, fluorescent *Pseudomonas* and Biomass C were high at the lower reaches including Goryeong, which showed relatively much nutrient contents of organic matter, total N and phosphorous etc..

Key words: Nagdong river, watershed, paddy soil, agricultural environment, nitrogen, phosphorous.

서론

농업에 있어서 대표적인 환경요인으로는 기후, 토양, 관개수를 들 수 있다¹⁾. 이중 관개수는 영농뿐만 아니라 인간생활 및 산업 활동에 의해서 그 질이 달라질 수 있으며, 또한 벼농사에서 토양의 질과 농산물의 안전성에 직접적인 영향을 끼친다. 이렇게 볼 때, 영남지역의 주된 농업용수 공급원인 낙동강 물의 수질은 벼 안전재배에 중요한 요인이 될 수 있다.

낙동강 유역 면적은 23,817 km²이며, 이중에 농경지는 19%인 4,510.7 km²로써 전국농경지의 21%나 된다²⁾. 낙동강 유역에서 강수량 대비 유출량은 전국 평균치 55%보다 낮은 49% 수준이며, 유출량 대비 이용율은 50% 안팎이다³⁾. 그리고 이러한 수자원의 이용형태는 농업용수가 54%, 생활용수 17%, 공업용수 등이 29% 안팎인 것으로 보고되었다²⁾. 한국수자원공

사의 보고⁴⁾에 의하면 우리나라의 2010년도 물 수요는 2001년 기준으로 생활용수와 공업용수에서 각각 29.3과 8.4% 증가될 것으로 전망되면서 농업용수로 이용 가능한 수자원의 양은 상대적으로 제한될 것으로 예상된다. 따라서 농업용수로 이용 가능한 수자원은 산업의 발달과 함께 수반되는 수질악화 문제를 고려할 때, 작물의 안전재배 측면에서 장기적인 안전관리가 절실하다^{5,6)}. 특히 낙동강 유역에는 대도시와 각종 산업공단이 밀집하고 있어 생활하수와 공장폐수의 강물혼입 총량이 한강이나 영산강보다도 많은 편이다⁶⁾.

그 동안 우리나라에서 관개수로 사용되는 강물에 대한 연구는 대부분이 수질평가 차원에서 이루어졌고⁷⁻¹⁰⁾, 관개수의 작물 재배환경 영향에 대해서는 미흡한 편이다. 이에 따라 필자는 낙동강 물을 관개수로 이용하는 낙동강 상류(안동)~하류지역(부산) 벼 재배 논에서의 농업환경 특성을 토양 및 식물체의 중금속 함량과 토양의 무기성분 함량, 그리고 토양미생물상을 중심으로 비교 분석하고, 벼농사를 위한 합리적인 시비량을 검토하였다.

*연락처:

Tel: +82-55-350-1257 Fax: +82-55-352-3059

E-mail: Kangug@rda.go.kr

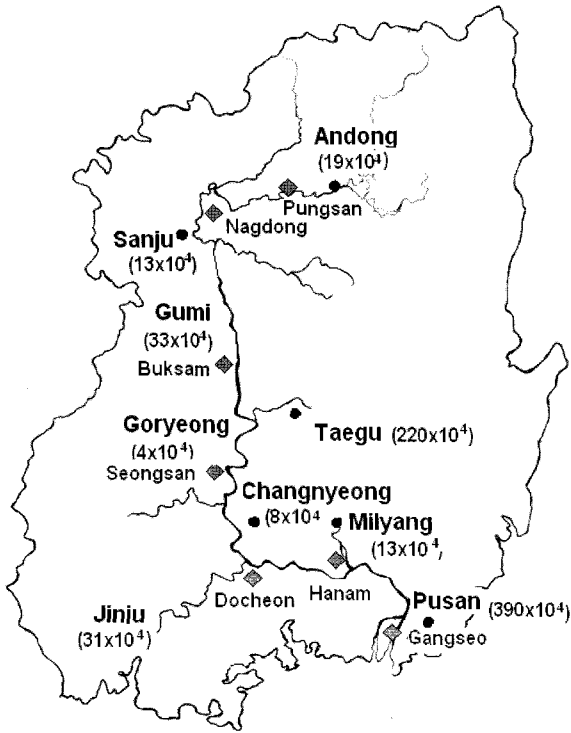


Fig. 1. Sites monitored in the watershed of Nagdong river.

재료 및 방법

조사지역 개황

조사지역은 Fig. 1과 같이 낙동강 상류인 안동 풍산으로부터 상주 낙동, 구미 북삼, 고령 성산, 창녕 도천, 밀양 하남, 부산 강서의 하류에 이르는 총 7개 지역이었다. 조사지역의 개황은 Table 1과 같다. 각 조사지역에서 시료채취 대상지역으로 선정된 논은 5필지였으며, 이들 논에 관개된 물은 수로를 따라서 0.3~2.5 km 떨어진 낙동강 물 취수장에서 공급되고 있었다. 논토양은 대부분이 사양토 내지 미사양토로 이루어져 있었으며, 작부체계는 밀양 하남에서만 벼에 이어서 보리를 재배하였고, 나머지 6지역에서는 벼만 재배하였다. 각 조사지역으로 유입되는 수계의 오염원은 생활하수를 방출하는 인구수로 볼 때, 2001년 현재 고령 성산지역 수계에서 가장 많았고(2,586천명), 다음으로 부산 강서지역의 수계였다(1,434천명). 그리고 공장폐수를 방출하는 공단은 구미 북삼지역 수계에서부터 낙동강 하류 쪽으로 내려올수록 많이 분포하였다.

한편, 조사지역에서 관개수로 사용한 낙동강 물의 수질은 Table 2와 같았다. 1999년도 수질을 기준으로 볼 때 2000년도에는 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD)이 전반적으로 증가된 경향이었고, 용존산소량(DO)은 창녕 도천 지역 하류의 관개강물에서 감소된 경향이였다. 그리고 강물 중에 중금속은 검출되지 않았다. 강물의 BOD, COD, 총 질소

Table 1. Some characteristics of monitoring sites and pollutive sources in watershed of Nagdong river

Sites	Monitoring paddy [irrigation distance ^{a)} (No. of samples)]	Soil series	Pollutive sources [population ^{b)} (city), industrial complex]
Andong (Pungsan)	61.5 (2)~2.5 (3)	Sangju, Sinheung	326 (Andong, Yeongju)
Sangju (Nagdong)	0.8 (2)~2.5 (3)	Yongji, Ceugrag	194 (Sangju, Yecheon)
Gumi (Buksam)	0.3 (1)~2.0 (4)	Gyuam, Sangju, Jisan	506 (Gumi, Euisong, Gunwi), Electronics, Textile
Goryeong (Seongsan)	0.4 (5)	Gyuam	2,586 (Daegu, Gyeongsan, Waegwan, Goryeong, Habcheon), Machine, Textile
Changnyeong (Docheon)	2.3 (5)	Yuga	549 (Jinju, Euiryeong, Haman, Changnyeong), Machine, Textile
Milyang (Hanam)	1.0 (5)	Gyuam	10 (Hanam), Hanam complex
Pusan (Gangseo)	1.0 (5)	Deunggu	1,434 (Milyang, Gimhae, partial Pusan), Machine etc.

^{a)}Distance from Nagdong river : km.

^{b)}Population in Nagdong-river watershed : thousand.

총 인이 가장 높은 곳은 대구, 경산 등지의 생활하수와 공단 폐수가 대량 유입된 고령지역이었다. 전체적으로는 고령을 기준으로 밀양, 부산 등 낙동강 하류쪽 강물이 안동, 상주 등 상류지역 강물보다 부영양화가 심한 편이었다.

시료채취 및 분석

분석시료는 영농전·후 토양으로 중금속과 일반화학성, 미생물상 분석에 사용하였고, 수확된 현미는 중금속 분석에 사용하였다. 토양시료의 경우 영농전의 것은 논물을 가두기 전인 5월 하순에 채취하였고 영농 후 토양은 벼 수확기인 9월 하순부터 10월 초순 사이에 채취하였다. 그리고 현미 시료는 영농 후 토양시료와 함께 벼를 베어 탈곡하여서 분석용으로 준비하였다. 채취된 토양시료는 풍건하여 2 mm 체를 통과시켜서 Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, As 등의 중금속과 pH, EC, 유기물, 총 질소, 유효인산, 치환성 양이온 등 일반 화학성 분석에 사용하였고 풍건하지 않은 토양은 미생물상(세균, 방선균, 사상균, 중온성 *Bacillus*, 형광성 *Pseudomonas*, Biomass C) 분석에 사용하였다. 현미시료는 탄화 후 습식으로 분해하여 중금속 분석에 사용하였다.

Table 2. Water quality of Nagdong river nearest the monitoring sites of paddy^{a)}

Sites ^{b)}	Year	DO	BOD	COD	SS	T-N	T-P
Andong (Pungsan)	'99	9.4	0.9	3.4	4.6	1.938	0.124
	'00	9.5	1.0	3.5	2.3	1.492	0.042
Sangju (Nagdong)	'99	10.4	0.9	3.3	10.7	3.103	0.183
	'00	10.4	1.2	3.4	8.0	2.454	0.083
Gumi (Buksam)	'99	10.7	1.5	4.0	13.2	3.732	0.277
	'00	10.4	2.0	4.5	10.2	3.103	0.110
Goryeong (Seongsan)	'99	10.3	3.1	6.2	16.6	5.113	0.275
	'00	11.0	4.3	7.0	15.0	4.481	0.208
Changnyeong (Docheon)	'99	11.0	2.8	6.2	16.0	4.286	0.143
	'00	9.7	2.9	6.9	20.7	4.007	0.147
Milyang (Hanam)	'99	11.2	2.9	6.4	14.0	4.271	0.129
	'00	9.8	2.6	6.8	16.2	4.108	0.131
Pusan (Gangseo)	'99	11.0	3.1	6.4	13.0	3.950	0.123
	'00	9.8	2.9	6.9	14.2	3.958	0.126

^{a)} Annual data from Minister of Environment.

^{b)} Water sampling sites : Andong, Yeongnag bridge; Sangju, Nagdan bridge; Gumi, Nagdong bridge; Goryeong, Goryeong bridge; Changnyeong, Namji bridge; Milyang, Susan bridge; Busan, Gupo bridge.

토양의 중금속 분석은 환경부의 토양오염공정시험방법¹¹⁾에 준했는데, 풍건세토 10 g을 100 mL 삼각플라스틱에 취한 후, Cd, Cr, Cu, Zn는 0.1 N 염산용액을, Pb는 1 N 초산용액을, As는 1 N 염산용액을 각각 50 mL 가해서 30°C 항온 진탕기 (100회/분)로 1시간 진탕하여 No.6 여지로 여과한 여액을 ICP로 측정하였다. 토양 화학성은 pH와 EC의 경우 초자전극 법으로 분석하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster 법, 총 질소는 Kjeldahl법, 치환성 양이온은 1 M NH₄OAC (pH 7.0)로 침출시켜 ICP로 분석하였다¹²⁾. 토양 미생물상은 토양을 멸균수에 현탁시킨 다음, 세균의 경우 yeast extract glucose(YG)배지, 방선균은 starch casein(SC)배지, 사상균은 Rose bengal배지, 형광성 *Pseudomonas*는 Kato배지에 접종하여 최확치법으로 계수하였다. 중온성 *Bacillus*는 토양현탁액을 8 0°C에서 20분간 가열하여 체세포를 사멸한 후 YG배지에 접종하여 최확치법으로 계수하였다. 그리고 미생물체량(Biomass C)은 혼중추출법¹³⁾으로 분석하였다. 현미의 중금속 분석은 먼저, 분쇄된 시료 50 g을 증발접시에 취해서 열판에서 불꽃이 나지 않게 탄화시킨 후, 분쇄하였다. 분쇄된 시료는 전기로 안에 넣고 Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, As 분석을 위해서 500°C 이하의 조건에서 회화시키고, As 분석용 시료는 400°C 이하에서 회화시킨 다음에 HClO₄와 HCl을 가하여 백색이 될 때까지 분해하여 No. 6 여지로 여과해서 ICP로 측정하였다.

결과 및 고찰

토양의 중금속 함량

낙동강 물을 관개한 토양의 중금속 함량은 Table 3과 같이 우리나라 토양환경보전법¹⁴⁾의 중금속오염 우려기준에 훨씬 못 미친 수준이었다. 1999년도와 2000년도에 Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, As의 성적차이는 뚜렷한 경향이 없었는데, 2년간의 평균 값으로 영농전과 영농후의 중금속 함량을 비교해 보면 영농 후 토양에서 미미하게 증가된 경향이였다(Table 3). 영농후의 성적을 기준으로 볼 때 모든 중금속이 낙동강 중류지역인 고령을 중심으로 상류지역에서는 상대적으로 낮게 검출되었고 중하류지역에서는 고령의 논토양과 큰 차이가 없었는데, 부산 강서의 논에서는 고령 논토양 보다 높거나 비슷한 수준을 보였다. 우리나라 농경지의 중금속 자연함량은 1980년대 조사된 성적으로 볼 때 논토양에서 Cd 0.127, Cu 4.15, Pb 4.67, Zn 3.95 mg/kg 이었다¹⁵⁾. 1995년부터 1997년까지의 성적에서는 논토양의 경우 Cd 0.133, Cu 4.52, Pb 4.62, Zn 3.9 mg/kg 이었고¹⁶⁾ 밭 토양은 Cd 0.135, Cu 2.77, Pb 3.47, Zn 10.7, As 0.57 mg/kg 이었으며¹⁷⁾ 시설재배지 토양에서는 Cd 0.208, Cu 3.69, Pb 2.49, Zn 23.3, As 0.65 mg/kg 이었고¹⁸⁾ 과수원토양에서는 Cd 0.08, Cu 4.23, Pb 3.42, Zn 16.4, As 0.44 mg/kg 이었다¹⁹⁾. 이에 따라 Cd, Cu, Zn, As 등이 시설재배지와 과수원토양에서 높게 나타난 것으로 분석되었다. 이렇게 볼 때 고령을 중심으로 낙동강 상류지역인 안동, 상주, 구미의 낙동강 물 관개 논에서는 중금속 함량이 자연함량 수준을 보였지만, 고령을 포함한 낙동강의 중하류 지역에서는 중금속이 토양환경관리법¹⁴⁾상의 우려기준에는 못 미치기는 하였으나 우리나라의 평균 자연함량을 약간 웃도는 경향이였다.

Novotny²⁰⁾는 Cd의 농경지 부하와 관련하여 비료와 퇴비의 영향을 보고한 바 있으며, Jung 등¹⁹⁾은 농가단위에서 화학비료 및 퇴비사용에 따른 농경지의 중금속 부하정도는 Cd와 Zn의 경우 시설채소 > 과수원 > 밭 > 논토양 순이며 여기에는 부산퇴비비의 기여도가 크다고 하였다. 일반적으로 농경지의 중금속 자연함량은 토양모재의 영향을 크게 받는다고 볼 수 있겠으나 오늘날과 같이 농자재 투입이 많은 기술 집약형 농업이 성행하는 조건에서는 밭 토양처럼 표토가 상대적으로 높은 농경지에 함유된 중금속이 비점오염원으로 작용하여 결국에는 관개수를 따라 논토양으로 유입되어 평야지 논토양의 중금속 함량 증가의 원인으로 작용할 수 있다^{20,21)}.

따라서 안동, 상주 등 낙동강의 상류지역 보다 고령을 포함한 낙동강의 중하류지역에서 강물 관개논의 중금속 함량이 높았던 것은 주변의 공장지대로부터 중금속이 함유된 오폐수가 장기간에 걸쳐 강물에 유입되었을 가능성과 함께²²⁾ 강 하류로 내려올수록 농업입지 환경적으로 유역 내 농자재 투입이 많은 시설재배농사가 영향을 끼친 것으로 생각되었다^{20,21)}.

현미의 중금속 함량

현미 중의 중금속 함량은 Table 4와 같이 Kim 등¹⁵⁾이 보

Table 3. Contents of heavy metal in paddy soils irrigated with the water of Nagdong river^{a)} (before ~ after farming)

Sites	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	As
mg/kg						
Andong (Pungsan)	0.08~0.14	0.48~0.54	3.4~4.8	6.8~8.5	8.8~13.7	1.4~2.1
Sangju (Nagdong)	0.08~0.10	0.52~0.55	3.4~3.4	10.5~10.8	5.4~7.6	1.4~1.3
Gumi (Buksam)	0.06~0.07	0.58~0.65	2.9~3.0	7.9~11.9	6.1~6.3	1.1~1.2
Goryeong (Seongsan)	0.20~0.28	0.60~0.71	7.2~8.3	8.8~12.1	14.7~22.7	2.5~2.8
Changnyeong (Docheon)	0.18~0.20	0.63~0.70	6.0~6.2	11.2~13.1	5.5~8.4	2.8~2.5
Milyang (Hanam)	0.20~0.27	0.54~0.59	5.6~6.1	6.9~9.7	9.8~11.8	2.1~2.5
Pusan (Gangseo)	0.21~0.36	0.75~0.96	13.0~11.3	10.6~13.0	12.8~21.3	2.7~2.6
Worry value	1.5	4.0	50.0	100.0	-	6.0
Counterplan value	4.0	10.0	125	300.0	-	15.0

^{a)}Mean value of year 1999 and 2000.

Table 4. Contents of heavy metal in brown rice produced in the watershed paddy of Nagdong river^{a)}

Sites	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	As
mg/kg							
Andong (Pungsan)	0.007	0.528	2.412	0.028	0.491	16.81	0.002
Sangju (Nagdong)	0.003	0.642	2.487	0.067	0.568	16.55	0.003
Gumi (Buksam)	0.009	0.768	2.000	0.114	0.897	15.99	0.003
Goryeong (Seongsan)	0.007	0.748	1.971	0.113	0.561	18.89	0.003
Changnyeong (Docheon)	0.009	0.542	2.785	0.044	0.431	16.71	0.003
Milyang (Hanam)	0.004	0.878	1.681	0.067	0.914	14.68	0.003
Pusan (Gangseo)	0.009	1.433	2.734	0.153	0.975	21.90	0.009
Natural contents	0.050	-	3.310	0.440	-	20.55	-

^{a)}Mean value of year 1999 and 2000.

고한 우리나라의 중금속 자연함량 수준 이하였다. 현미중의 중금속 함량은 1999년도와 2000년도에 성적차이가 뚜렷하지 않았는데 조사지역 중에서는 부산 강서지역의 벼에서 가장 높았다. 이때 Cd는 0.009, Cr 1.43, Cu 2.73, Pb 0.15, Ni 0.98, Zn 21.9, As는 0.009 mg/kg 수준이었다. 이처럼 낙동강의 상류보다 최 하류인 부산 강서지역에서 재배된 벼의 현미에서 중금속 함량이 높게 나타난 것은 Table 3에서 나타난 논토양의 중금속 함량과 유사한 경향이었다. 한편, 우리나라 비오염지에서 생산된 벼의 현미중 중금속 함량은 Cd 0.05, Cu 3.31, Pb 0.44, Zn은 20.55 mg/kg으로 알려져 있다¹⁹⁾.

토양의 일반화학성

토양의 화학성은 Table 5와 같이 년차 간에 뚜렷한 경향차

이가 없었다. 낙동강 유역 전체적으로는 Table 2에서 언급된 바와 같이 고령을 중심으로 강물의 오염도가 낮았던 상류지역 논에서는 화학성의 수치가 낮았으나 강물의 pH와 BOD, COD, 총 질소, 총 인의 함량이 높았던 고령 하류지역에서는 높은 화학성을 보였다. 조사지역별로 볼 때, 고령 성산지역에서는 pH와 EC, 유효인산, 치환성 Ca·Mg·K가 가장 높았고, 부산 강서지역에서는 유기물과 총 질소 함량이 가장 높았으며 또한 염농도와 유효인산 함량도 높은 편이었다. 이들 지역의 영농 후 성적을 보면, 고령 성산지역 논은 pH는 5.9~6.1, EC 0.8~0.9 dS/m, 유효인산 155~201 mg/kg, 치환성 칼슘 6.7~7.4 cmol⁺/kg, 치환성 마그네슘 1.92~2.50 cmol⁺/kg, 치환성 칼리 0.18~0.21 cmol⁺/kg 이었고, 부산 강서 지역의 논에서 유기물은 23.0~29.1 g/kg, 총 질소 1.6~1.8 mg/kg 이었다. 그리고 영농전후의 토양화학성을 비교해 보면, 영농 후의 pH는 최대 0.4(창녕 도천), 유기물은 최대 1.8 g/kg(고령 성산) 가량 증가하였다. 기타 총 질소, 유효인산, 치환성 양이온은 뚜렷한 변화경향이 없었다. 우리나라 논토양의 평균화학성은 pH 5.6, 유기물 25 g/kg, 유효인산 128 mg/kg, 치환성 칼슘 4.0, 마그네슘 1.2, 칼리는 0.32 cmol⁺/kg으로 알려져 있다²⁰⁾. 시험된 지점에서 벼 재배 후 토양의 평균 화학성은 우리나라의 논토양 평균성과 비교해 보면 pH는 모든 토양에서 평균치 이상이었으나 유기물은 부산 강서지역에서만 평균치 보다 약간 높은 26.1 g/kg을 나타내었다. 유효인산은 고령 성산과 밀양 하남, 부산 강서에서 우리나라 평균치 보다 높은 133(밀양 하남)~178 g/kg(고령 성산)이었다. 치환성 양이온의 경우 칼슘은 구미 북삼을 제외한 전 지역에서, 마그네슘은 구미 북삼, 고령 성산, 창녕 도천, 부산 강서에서 각각 평균치 보다 높았다. 그러나 치환성 칼리는 구미 북삼의 논토양에서 평균치 보다 3배 이상 높은 수치를 보이기도 하였다. 그리고 화학성의 적정치에 비해서는 유기물의 경우 부산 강서지역만이 적정수준이었고 유효인산은 고령 성산과 부산 강서에서 과다한 경향을 보였다.

낙동강 물 관개논의 벼 시비량 추정

Table 5. Chemical properties of paddy soils irrigated with the water of Nagdong river (before~after farming)

Sites	Year	pH (1.5)	EC (dS/m)	O.M. (g/kg)	T-N (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. cations(cmol ⁺ /kg)		
							Ca	Mg	K
Andong (Pungsan)	'99	6.0~6.1	0.27~0.30	14.4~15.1	1.3~1.3	217~207	4.3~4.5	0.7~1.1	0.2~0.2
	'00	5.8~5.9	0.30~0.26	18.7~19.7	1.4~1.3	225~238	4.2~4.4	0.8~0.9	0.2~0.2
Sangju (Nagdong)	'99	5.8~6.0	0.46~0.40	16.0~16.4	0.8~0.9	71~86	4.6~4.1	0.8~1.2	0.3~0.4
	'00	5.8~5.8	0.49~0.18	15.4~17.0	0.6~0.8	74~79	4.2~4.6	0.2~0.7	0.3~0.2
Gumi (Buksam)	'99	6.0~5.8	0.31~0.28	13.5~14.3	0.8~0.8	60~80	4.6~3.7	0.8~1.5	0.1~0.1
	'00	5.7~5.8	0.44~0.22	16.8~17.2	0.7~0.8	86~98	3.8~3.1	1.2~1.2	0.1~0.1
Goryeong (Seongsan)	'99	6.2~6.1	1.00~0.90	21.9~22.4	1.2~1.3	208~201	7.2~6.7	1.2~2.5	0.6~0.2
	'00	5.9~5.9	1.60~0.82	20.8~23.6	1.1~1.0	158~155	7.0~7.4	2.0~1.9	0.2~0.2
Changnyeong (Docheon)	'99	5.7~6.0	0.40~0.38	22.6~22.4	1.4~1.3	69~68	6.7~5.1	1.1~1.2	0.2~0.2
	'00	5.4~5.8	0.71~0.36	19.2~19.8	1.2~1.4	58~56	5.8~5.3	1.8~1.9	0.2~0.2
Milyang (Hanam)	'99	5.7~5.7	0.56~0.46	19.5~20.5	1.1~1.2	137~128	5.6~4.2	0.9~1.0	0.2~0.2
	'00	5.8~5.6	1.11~0.30	18.6~18.9	1.1~1.1	142~138	5.4~5.5	1.0~1.2	0.2~0.2
Pusan (Gangseo)	'99	5.3~5.4	0.74~0.70	28.2~29.1	1.7~1.6	130~126	5.0~7.4	0.8~1.8	0.3~0.3
	'00	5.2~5.4	1.03~0.52	22.1~23.0	1.7~1.8	142~151	4.3~4.0	0.9~1.0	0.2~0.2
Optimum value		6.0~6.5	-	25~30	-	80~120	5.0~6.0	1.5~2.0	0.4~0.5

Table 6. Recommendation rates of Nitrogen and phosphorous fertilizers in paddy soils irrigated with the water of Nagdong river

Sites	Optimum requirement by soil ^{a)}		Nutrition supply by irrigation water at stages of rice ^{b)}				Recommended rates ^{c)}	
	N	P ₂ O ₅	N			P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
			Trans-planting	Till-ering	Head-ing	Trans-planting		
	kg/ha							
Andong (Pungsan)	123.0	30.0	-1.3	-2.0	-7.2	tr	133.5	30.0
Sangju (Nagdong)	123.0	30.0	tr	tr	tr	tr	123.0	30.0
Gumi (Buksam)	126.0	30.0	0.8	1.2	4.3	0.2	119.7	30.0
Goryeong (Seongsan)	113.4	30.0	2.4	3.7	13.7	0.2	93.6	30.0
Changnyeong (Docheon)	118.3	36.5	1.6	2.5	9.3	tr	104.9	36.5
Milyang (Hanam)	118.8	30.0	1.7	2.6	9.5	tr	105.0	30.0
Pusan (Gangseo)	109.0	30.0	1.4	2.2	8.0	tr	97.4	30.0

^{a)}Standard amount of fertilizer for rice cropping (ha⁻¹) : N 110 kg, P₂O₅ 45 kg.

^{b)}Genenal water quality for checking the nutrition supplies by irrigation water(L⁻¹) : T-N 2.78 mg, T-P 0.068 mg. Water amount for irrigation(ha⁻¹) : 1,200 Mg for transplanting, 1,850 Mg for tillering, 6,770 Mg for heading stage of rice plant.

^{c)}Optimum requirement by soil checking minus nutrition amount supplied by irrigation water.

조사지역 가운데 강물의 부영양화가 심한(Table 2참조) 고령 성산지역을 중심으로 낙동강 상류지역인 성주 낙동의 논 토양과 고령성산의 논토양, 그리고 낙동강 하류인 부산 강서의 논토양에 대해 질소와 인산질 양분의 비 진단시비량을 추정 한 결과는 Table 6과 같았다. 먼저 토양 검정시비량²⁴⁾은 Table 5에서 언급된 2년간의 영농전 토양성적 평균치를 반영 한 계산식 "N (kg/10a) = 12.74 - 1.52 · 유기물함량 (%) + 0.028 · SiO₂ (mg/kg)", "P₂O₅ (kg/10a) = (100 - 토양 P₂O₅ (mg/kg) × 0.1" 으로부터 산출하였는데, 지역별 규산함량은 안동 풍산 75, 상주 낙동 70, 구미 북삼 78, 고령 성산 66, 창녕

도천 81, 밀양 하남 73, 부산 강서 71 mg/kg을 각각 반영하였다. 그리고 관개수에 의한 양분공급량은 [해당지역 관개강물의 2년간 평균 수질 값 - 관개용 하천수의 평균수질 값²⁵⁾]으로 계산하였다. 따라서 비의 시비 추천량은 [토양 검정시비량 - 관개강물에 의한 양분공급량]으로 결정하였다. 이를 위한 ha당 관개강물의 양은 기비시용시기까지는 이양재배를 위한 토양정지작업 요수량인 1,200 Mg을 적용하였고²⁶⁾, 기비시용 후 분얼비 시용기까지와 분얼비 이후 수비 시용시기까지는 미사식양질 토양의 이양재배에서 비 재배기간의 평균 관개 용수량 123 mm/day를 기준²⁶⁾으로 전자는 15일간의 1,850 Mg

Table 6. Microbial populations in paddy soils irrigated with the water of Nagdong river (before~after farming in 2000)

Sites	Bacteria	Fungi	Log c.f.u/g.soil		fluorecent <i>Pseudomonas</i>	Biomass C µg/g.soil
			Actinomy-cetes	<i>Bacillus</i> sp.		
Andong (Pungsan)	7.1~6.4	3.7~3.6	5.5~6.0	5.5~5.8	2.4~3.3	195~256
Sangju (Nagdong)	6.7~6.2	3.3~3.2	4.9~5.2	5.3~5.0	2.9~3.1	260~225
Gumi (Buksam)	6.8~6.8	3.2~3.7	5.5~5.6	5.1~5.2	2.2~2.4	157~278
Goryeung (Seongsan)	7.0~6.4	4.3~3.1	5.7~6.2	5.6~5.9	4.6~4.5	433~344
Changnyeong (Docheon)	7.1~6.5	4.3~4.0	4.9~5.8	5.1~5.2	2.9~3.1	272~263
Milyang (Hanam)	6.7~6.6	3.8~3.8	5.9~6.2	4.8~5.4	2.6~2.8	292~453
Pusan (Gangseo)	7.4~6.5	3.7~4.2	5.2~5.7	5.4~4.9	2.9~3.1	428~549

후자는 55일간의 6,770 Mg을 각각 적용하였다. 그 결과, 질소 (N) 비료의 경우 기본시비량 110 kg/ha 기준으로 안동 풍산에서는 23.5 kg, 상주 낙동은 13 kg, 구미 북삼은 9.7 kg를 증시할 필요가 있었으나 고령 성산지역은 16.4 kg, 창녕 도천은 5.1 kg, 밀양 하남은 5 kg, 부산 강서는 12.6 kg를 줄여 주어도 무방할 것으로 분석되었다. 또한 인산(P₂O₅) 비료는 45 kg/ha 기준으로 볼 때, 창녕 도천에서는 8.5 kg를 감한 36.5 kg을 사용하고 기타지역에서는 15 kg을 감한 기본시비량 30 kg만 사용하여도 좋을 것으로 판단되었다. 여기서 관개강물에 의한 양분공급량은 논토양의 감수심을 고려한 관개수량으로부터 계산되었기 때문에 실질적인 시비효과로 나타날 수 있을 것으로 생각된다. 더구나 이러한 시비추정량이 출수기에 맞추어 시비하는 수비시기까지의 관개수량으로 계산된 것이므로 수비시기 이후 30일 동안의 추가적인 관개수량²⁶⁾을 감안할 경우 더 많은 화학비료의 절감이 가능할 것으로 분석되었다. Uhm 등²⁷⁾은 총 질소 함량이 6.16 mg/L이고 총인의 함량이 0.26 mg/L인 관개수 유입 논에서 토양검정시비량의 50%를 사용했을 때 유출수의 성적으로 본 양분수지는 총질소의 경우 0.14 kg/ha로써 토양검정시비구의 30 kg/ha와 토양검정을 무시한 관행시비구의 95.3 kg/ha에 비해 무시할 정도였다고 하였다. Han 등²⁸⁾은 오염원의 유입이 적은 전북 진안지역에서 벼 재배기간에 관개수에 의한 영양물질의 논토양 유입량을 조사한 결과, ha당 총 질소는 29.7 kg, 총인은 0.5 kg이 유입되었다고 하였다. Kim 등²⁹⁾은 6월부터 9월까지 관개수의 COD가 21~53 mg/L이고 NH₄-N이 3.2~5.3 mg/L인 금호강 하류지역 농가포장(유기물 20~23 g/kg, 규산 116~138 mg/kg)에서 질소 사용량을 30% 줄여서 벼를 재배한 결과, 미질에 영향을 주는 쌀의 Mg/K·N, 호응집성, 알카리붕괴도 등이 개선되었다고 하였다. 따라서 고령 하류의 낙동강 유역 논에서 고품질 쌀의 안정생산을 위해서는 비료를 관개수질을 고려하여 시비할 필요가 있는 것으로 해석되었다.

토양미생물 분포

조사지역의 토양미생물 분포는 Table 6과 같았다. 토양내 세균과 사상균, 방선균, 중온성 *Bacillus*, 형광성 *Pseudomonas*,

Biomass C는 Table 5에서의 토양화학성이 상대적으로 양호하였던 고령 성산지역과 그 하류에서 높은 경향이었다. 특히, 고령 성산지역 논에서는 중온성 *Bacillus*, 형광성 *Pseudomonas*의 서식밀도가 조사지역 중에서 가장 높았다. Lee 등³⁰⁾은 경남지역 논토양의 미생물상을 분석한 결과 미생물상은 세균 > 방선균 > 사상균 순으로 많이 분포하였고 염류농도와 유기물 함량이 높을수록 세균, 방선균, 사상균, *Bacillus*속 균의 밀도가 증가하였으며, 특히 인산함량이 높은 곳에서 세균과 사상균의 수가 증가하였다고 하였다. 본 시험에서 세균과, 방선균, 사상균의 분포경향은 Lee 등³¹⁾의 보고와 일치했지만 미생물 종류별 밀도는 특정 화학성분의 경향과 일치되지 않았다. 또한 Suh 등³¹⁾은 형광성 *Pseudomonas*의 서식밀도는 토양의 전기전도도와 부의 관계가 있다고 하였으나, 본 연구에서는 전기전도도값이 가장 높았던 고령지역 논에서 *Pseudomonas*의 밀도가 가장 높은 값을 보이기도 하였다. 토양세균 중에는 식물의 생장을 촉진시키는 것들이 많으며 그 대표적인 미생물로써 *Bacillus*속과 *Pseudomonas*속의 균주들이 알려져 있다^{32,33)}. 또한 세균을 포함한 방선균과 사상균은 각종 물질변환을 통하여 토양생태계의 한 부분인 식물뿌리의 발달과 양분흡수에 직접적인 영향을 끼치므로 농경지 고도이용과 지속농업측면에서 중요시 된다³⁴⁾. 본 연구에서 조사·분석된 낙동강 유역 논토양의 미생물 서식밀도는 강의 상류 보다 고령과 그 하류 지역에서 높았는데, 이는 Table 2에서와 같이 1차적으로 논토양에 관개된 강물 중에 미생물의 영양원이 많았기 때문이 아닌가 생각되며, 또한 이들 지역에서의 중금속함량이 미생물 서식에 부의 영향을 미치지 못했던 것으로 해석되었다.

요 약

낙동강 물을 관개하여 벼를 재배하는 강 상류의 안동 풍산에서부터 하류의 부산 구포까지 7개 지역 논토양의 농업환경 특성을 1999년부터 2년간 비교 분석하였다. 토양의 중금속 함량은 자연함량 안팎이었으며 가장 높았던 곳은 부산 강서 지역이었고 다음으로는 고령 성산 지역이었다. 그러나 현미중의 중금속은 자연함량 이하를 보였다. 토양의 화학성은 고령

성산지역과 부산 강서지역에서 높았는데, 1999~2000년도의 영농 후 토양에서 고령은 pH (5.9~6.1), EC(0.8~0.9 dS/m), 유효인산(155~201 mg/kg), 치환성 칼슘(6.7~7.4 cmol⁺/kg), 치환성 마그네슘(1.92~2.50 cmol⁺/kg), 치환성 칼리(0.18~0.21 cmol⁺/kg)가 가장 높았고 부산에서는 유기물(23.0~29.1 g/kg), 총질소(1.6~1.8 mg/kg)가 가장 높았다. 낙동강 물의 관개수질과 토양화학성을 고려한 비의 진단시비량은 질소의 경우 110 kg/ha를 기준으로 안동 21.4%, 상주 11.85, 구미지역에서 8.8% 정도 증시할 필요가 있었으나, 고령에서는 14.9%, 창녕은 4.6%, 밀양 하남은 4.55, 부산 강서지역은 11.5% 내외로 줄일 수 있을 것으로 분석되었다. 그리고 인산질 비료는 45 kg/ha 기준으로 창녕 도천에서만 18.9% 줄여 주고 다른 지역에서는 기본시비량인 30 kg/ha만 사용하여도 무방할 것으로 판단되었다. 논토양에 분포하는 세균과 사상균, 방선균, 중온성 *Bacillus*, 형광성 *Pseudomonas*, Biomass C는 유기물과 총 질소, 인산 등의 양분함유량이 많았던 고령 성산과 그 하류지역에서 높았다.

참고문헌

1. OECD (1997) Environmental indicators for agriculture.
2. 이순탁 (1997) 물 수급 전망과 효율적 관리. 아시아 물 2000년- 농어촌 용수 수급과 효율적 관리, 한국관개배수위원회 · 농어촌진흥공사, p.7-53
3. 한국수자원공사 (1992) 전국하천 조사서.
4. 한국수자원공사 (1996) 수자원 장기 종합계획(안).
5. Kim, B. Y. (1998) Water pollution in relation to agriculture, *Kor. J. Environ. Agric.* 7(2), 153-169.
6. 환경부 (2000) 환경백서.
7. Chung, J. B., Kim, B. J. and Kim J. K. (1997) Water pollution in some agricultural areas along Nagdong river, *Kor. J. Environ. Agric.* 16(2), 187-192.
8. Lee, J. S., Kang J. G. and Kim J. G. (1993) Studies on the irrigation water quality along the Seonjin river, *Kor. J. Environ. Agric.* 12(1), 19-25.
9. Lee, K. B. (1999) Change in agricultural irrigation water quality in Mankyong river, *Kor. J. Environ. Agric.* 18(1), 6-10.
10. Lee, Y. H., Kim, J. G., Lee, H. S., Cho, D. J., Cho, J. S. and Shin, Y. K. (1997) Changes in agricultural irrigation water quality in Nam river, *Kor. J. Environ. Agric.* 16(3), 259-263.
11. 환경부 (1999) 토양오염공정시험방법.
12. 농촌진흥청 (1988) 토양화학분석법.
13. Vance, E. D., Brookes, P. C., and Jenkinson, D. S. (1987) Microbial biomass measurement in forest soils : the use of the chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils, *Soil Biol. Biochem.* 19, 697-702.
14. 환경부 (2001) 토양환경보전법.
15. Kim, B. Y. (1993) Soil Pollution status and improvement strategy, Symposium on soil management for environmentally friendly agriculture, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fer.* p.90-120
16. Kim, B. Y., Jung, B. K., Choi, J. W., Yun, E. S. and Choi, S. (1995) Heavy metals in paddy soils of Korea, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fer.* 28(4), 295-300.
17. Jung, G. B., Kim, H. C., Jung K. Y., Jung, B. K. and Kim, W. I. (1998) Heavy metal contents in upland soils and crops in Korea, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fer.* 31, 225-232.
18. Jung, G. B., Jung, K. Y., Cho, G. H., Jung B. K. and Kim, K. S. (1997) Heavy metal contents in soils and vegetables in the plastic film house, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fer.* 30(2), 152-160.
19. Jung, G. B., Kim, W. I., Lee, J. S., Shin, J. D., Kim J. H. and Yun, S. G. (2004) Assessment on the content of heavy metal in orchard soils in middle part of Korea, *Kor. J. Environ. Agric.* 23(1), 15-21.
20. Novotny, V. (1998) Nonpoint pollution and urban storm water management ; Water quality management library (Vol. 9), Second edition, *Technomic Pub Co.*
21. Ha, H. S., Yang, M. S., Lee, H., Lee, Y. B., Sohn, B. K. and Kang, U. G. (1997) Soil chemical properties and plant mineral contents in plastic film house in southern part of Korea, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fer.* 30(3), 271-279.
22. Yoo, S. H. and Suh, Y. S. (1990) Quality of irrigation water and levels of heavy metals in soils in Korea, *Internat'l. Symp. Environ. Pollut. Agric.* p.96-111.
23. Jung, B. G., Jo, G. H., Yun, E. S., Yoon, J. H. and Kim Y. H. (1998) Monitoring on chemical properties of bench marked paddy soils in Korea, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fer.* 31, 246-252.
24. 농촌진흥청 (1999) 작물별 시비처방 기준.
25. 농촌진흥청 (2003) 농업환경변동조사사업 보고서.
26. Kang, H. W., Ko, J. Y., Park, H. M. and Kang, U. G. (1996) Effects of soil amendments to lessen the initial water-percolation in the paddy with dry seeded rice, *Res. Rept of National Yeoungnam Agricultural Experiment Station* p.705-713.
27. Uhm, M. J., Park, H. C., Kim, K. C., Ryu, J., Xhoi, J. S. (2004) Effect of fertilizer application level considering irrigation water quality on rice(*Oryza sativa* L.) productivity and agricultural environment, *Kor. J. Environ. Agric.* 23(1) 7-14.
28. Han, K. W., Chon, J. C., Cho, J. Y. and Kim, S. J. (1997) Changes of nutrients contents and natural supp-

- lies by irrigation water during the rice cultivation, *Kor. J. Environ. Agric.* 16(4), 394-398.
29. Kim, J. S., Park, K. B. and Choi J. (1993) Effect of polluted irrigation water on the rice growth and the grain quality, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 26(2), 132-137.
30. Lee, Y. H., Choi, Y. J., Park S. R., Lee, S. T., Son, B. G. and Sohn, G. M. (2001) Evaluation of soil microbial population of paddy fields in Gyeongnam province area, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fer.* 34(6), 387-393.
31. Suh, J. S., Jung, B. G. and Kwon, J. S. (1998) Soil microbial diversity of the plastic film house fields in Korea, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fer.* 31(2), 197-209.
32. Lalande, R., Bissonnette, N., Coutlee, D. and Antoun, H. (1989) Identification of rhizobacteria from maize and determination of their plant-growth promoting potential, *Plant Soil* 115, 7-11.
33. Hallmann, J., Quadt-Hallmann, A., Mahafee, W. F. and Kloepper, J. W. (1997) Bacterial endophytes in agricultural crops, *Can. J. Microbiol.* 43, 895-914.
34. Van Veen, J. A., van Overbeek, L. S. and van Elsas, J. D. (1997) Fate and activity of microorganisms introduced into soil, *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 61, 121-135.