

畜産廢水가 河川汚染에 미치는 影響에 關한 研究(上)

— 細菌學的 調查를 中心으로 —

柳在根* 李希洙** 李元暢·金泰鍾·李澤柱

서 론

급속한 경제성장으로 인한 국민소득의 증대에 따라 식생활 양식의 변화로 축산물의 수요는 매년 급증하여 대도시 근교를 중심으로 한 4 대강 유역에 크고 작은 축산단지가 조성되어 여기에서 배출되는 축산폐수에 의한 수질오염으로 인하여 수질 관리에 많은 문제점을 야기하고 있다.

근래의 축산현황을 보면, 젖소의 경우 1962년 2,406두에서 1970년 22,827두, 1982년 228,248두로서 각각 9.5배, 10배의 증가율을 보였고, 1인당 우유 소비량도 1962년 0.1kg에서 1970년에는 1.5kg, 1982년에는 15.1kg으로 각각 15배, 10.1배의 증가율을 보였다.⁴²⁾

이에 따라서 축산농가에서 배출되는 폐기물 및 오수 또한 크게 증가하여 수질오염, 악취발생, 수인성 질병의 유발 등 보건환경에 악영향을 초래하고 있다.

일반적으로 사용되는 분뇨에 의한 오염지표인 지표 미생물의 배출량은 소의 경우 분원성 대장균군(Fecal Coliform group: F. S)이 5.4×10^9 /두/일, 분원성 연쇄상구균(Fecal Streptococcal group: F. S)이 31×10^9 /두/일이고, 유기성 오염물질의 지표인 BOD(Biochemical Oxygen Demand) 배출량은 640 g/두/일이다. 또한 돼지의 경우는 각각 F.C 8.9×10^9 /두/일, F.S 230×10^9 /두/일, BOD 125/두/일 정도로 보고되고 있다.^{44,49)}

축산폐수에 의한 수질오염을 저감하기 위하여 19

84년에 개정된 환경보전법에는 규제대상 사육규모를 면적합계 1,200m² 이상의 우사 또는 마사, 면적합계 1,400이상의 양돈장으로 정하고, 여기에서 배출되는 오수는 일정농도의 배출 허용기준이내로 방류전 처리를 규정하고 있다.^{5,2)} 그러나 우리나라의 젖소사육 농가의 호당 평균 사육 두수는 1982년 현재 10.6두이고, 100두 이상 사육하는 농가는 전체 0.5%에 불과하여, 대부분이 소규모인 것으로 나타났다.⁴²⁾ 따라서 소규모 사육농가에 대한 적절한 규제방안의 결여, 기존 시설의 운전관리에 대한 기술의 미숙, 폐수처리 시설 설치에 따른 소요 비용의 과다 등 많은 문제점을 안고 있어 이에 대한 효과적인 대처방안이 시급하다 하겠다.

이러한 시점에 있어서 선진국에서는 이미 축산폐기물에 의한 수질오염문제,^{19,20,28,33)} 수질오염도 조사 방법 및 해석방법,^{3,13,17,22,26,27,31)} 공중보건에 미치는 영향,^{4,7,21,32,35)} 축산폐기물의 처리 및 재이용 등^{16,30)}에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으나 국내에서의 축산폐수에 관한 연구는 비교적 적은 편이다^{40,47,50)}

축산폐수에 의한 수질오염은 유기물과 미생물의 오염이 병행하여 발생하며, 미생물의 오염은 병원균의 오염 가능성을 갖고 있다는 점에서 중요시되고 있다. 이러한 미생물의 오염을 판단하는 기준으로 사용되고 있는 지표 미생물은 병원균의 오염여부와 오염원 및 오염 경로를 파악하는데 주요한 지표로 이용하고 있다.^{13,14,22,26,31,40,45)}

지표 미생물로는 일반세균수(Total Viable Bacteria Count: P. C) 대장균군수(Total Coliform group: T. C), 분원성 대장균군수(Fecal Coliform

* 國立環境研究所

** 建國大學校大學院

group : F. C) 및 분원성 연쇄상구균(Fecal Streptococcal group : F. S) 등이 널리 이용되고 있으며,^{13, 19, 27, 31, 40, 45)} 이밖에도 Rhodococcus¹⁰⁾, Klebsiella⁵⁾, Bifidobacterium¹¹⁾ 및 F. C/F. S비 등^{14, 19, 26, 31)}이 축산 폐수에 의한 오염지표로 연구되어 오고 있다.

본 연구에서는 축산폐수가 인근 하천수질에 미치는 영향을 조사하기 위하여 경기도 양주군에 위치한 천성농원 및 주변하천을 대상으로 자연환경조사, 수리수문학적조사, 이화학적조사 및 미생물학적 조사를 통한 이 지역의 오염현황 및 오염부하량, 지표미생물의 양상을 파악코자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

1) 시 료

본 실험에서 사용된 시료는 경기도 양주군 주내면 유량 2 리에 위치한 천성농원의 축산폐수와 유입하천의 하천수를 시료로 사용하였다(그림 1 참조).

2) 시약 및 기기

(1) 이화학적 시험용 시약

생화학적 산소요구량(Biochemical Oxygen Demand : BOD), 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand : COD), 부류물질(Suspended Solid : SS), 암모니아질소(Ammonia-Nitrogen : NH₃-N), 아질산성질소(Nitrite-Nitrogen : NO₂-N), 질산성질소(Nitrate-Nitrogen : NO₃-N), 인산염인(Phosphate-Phosphorus : PO₄-P) 등 이화학적 시험에 사용한

시약은 환경오염 공정시험법³⁴⁾에서 추천하는 Guaranteed Reagent(G. R) 및 1급시약(Wako Pure Chemical Inds, 일본)을 사용하였다.

(2) 미생물 시험용 배지

미생물 시험에 사용한 시약 및 배지는 Standard Method¹¹⁾에서 추천하는 Difco⁸⁾ 제품을 사용하였다.

(3) 기 기

본 시험에 사용된 기기는 Spectrophotometer(Turner Mode 330 U. S. A), Ion-Chromatography(Dionex Model Ic-2020), pH meter(Snoll-1 Horibe, 일본), Incubator(BOD용 미생물 배양용) 및 Water Bath(Model 12, 380, 동양과학) 등을 사용하였다.

2. 조사방법

경기도 양주군 소재 천성농원의 축산폐수가 하천에 미치는 영향을 평가하기 위하여 1985년 3월부터 8월까지 6개월에 걸쳐 다음의 사항을 조사하였다.

1) 환경위생적 조사

천성농원의 환경 위생상태를 조사하기 위하여 설문서를 작성, 직접 각호를 방문하여 현황을 파악하고 설문조사하였다.

2) 수리수문학적 조사

(1) 채수지점

채수지점 위치는 Table 1 및 Fig. 1 과 같이 C₁(폐수 유입전), C₂(폐수 유입지점), C₃(합류후 50m), C₄(합류후 200m) 및 C₅(합류 2,000m)를 각각 선정

Table 1. Location of Sampling Sites

Sampling sites	Location
C ₁	<ul style="list-style-type: none"> • near by Chun-Sung Farm, Yoo Yong Ri, Chuna-e-Myon, Yang Ju-Gun, Kyeonggi Province. • upstream from the point source of discharge.
C ₂	<ul style="list-style-type: none"> • just before site of drugstore, Chun-Sung Farm • the discharging point of animal wastewater from Farm
C ₃	<ul style="list-style-type: none"> • 50m, downstream from the point of discharge.
C ₄	<ul style="list-style-type: none"> • beside the point of Yoo Yang-Elementary school • 200m, downstream(from the point of discharge)
C ₅	<ul style="list-style-type: none"> • just before site of Majen-gyo, Majen-ri, Chuna-e-Myon • 2,000m, downstream(from the point of discharge)

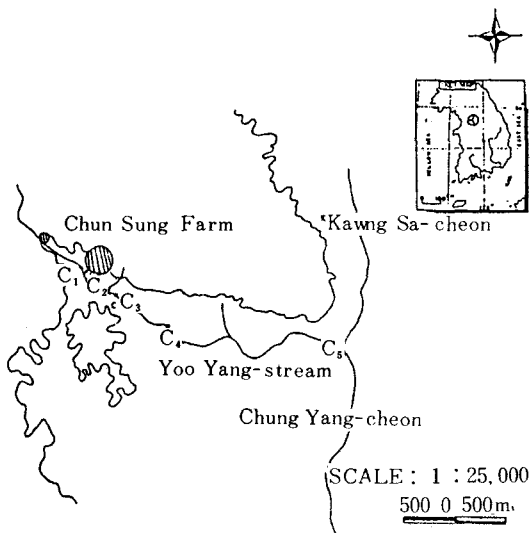


Fig. 1. Sampling locations of Yoo Yang-stream.

하였다.

(2) 유량측정

각 지점의 유량은 채수시에 유속면적법 (Velocity Area Method)^{45, 54)}을 이용하여 측정하였다.

3) 이화학적 조사

하천수중 수소이온 농도 (pH), 생화학적 산소 요구량 (BOD), 화학적 산소요구량 (COD), 부유물질 (SS), 암모니아성 질소 (NH₃-N)는 환경오염 공정법에⁵⁴⁾ 준하여 분석하였고 아질산성 질소 (NO₂-N), 질산성 질소 (NO₃-N), 인산염인 (PO₄-P)은 여과하여 Ion Chromatography를 이용 분석하였다.

항목별 분석방법은 Table 2와 같다.

4) 지표 미생물 조사

지표 미생물의 조사는 하천수를 무균적으로 각각 200ml씩 채수하여 대장균군 (Total Coliform), 분원성 대장균군 (Fecal Coliform) 및 분원성 연쇄상구균 (Fecal Streptococcus)을 Standard Method⁵⁾에 준하여 시험하고 균의 수는 Most Probable Number (MPN)^{1, 54)} 계산법에 따라 다음과 같이 시험하였다 (Table 3 참조).

(1) 대장균군 (Total Coliform) : 추정시험 (Presumptive Test), 확정시험 (Confirmed Test), 완전시험 (Complete Test) 등 3 단계를 MPN 지수법으로 시험하였다. 추정시험은 Lactose의 분해이용과 gas 생성여부를, 확정시험은 2% Ox-Bile에서의 발육과 가스생성 여부를, 완전시험은 EMB-agar 평판배

Table 2. Analytical Methods and Instruments

Items	Methods and instruments
pH	pH meter (Leeds and Northrop)
BOD	Sample → 5 days Incubation
COD (Mn)	KMnO ₄ Method (at 100°C, acid)
SS	Gravimetric method
NH ₃ -N	Indophenol Method — Spectrophotometer
NO ₂ -N	filtering → Ion — Chromatography
NO ₃ -N	filtering → Ion — Chromatography
PO ₄ -N	filtering → Ion — Chromatography

Table 3. Media and Conditions of Incubation of Indicator Bacteria (MPN Method)^{1, 40, 45)}

Indicator organisms	Procedures	Presumptive test	Confirmed test	Complete test	Temperature (°C)	Time (hr)
Total coliform		Lactose broth	BGLB	EMB agar	35 ± 0.5	48
Fecal coliform		Lactose broth	EC Medium		45 ± 0.5	24
Fecal streptococcus		Azida Dextrose broth	PSE agar		35 ± 0.5	48

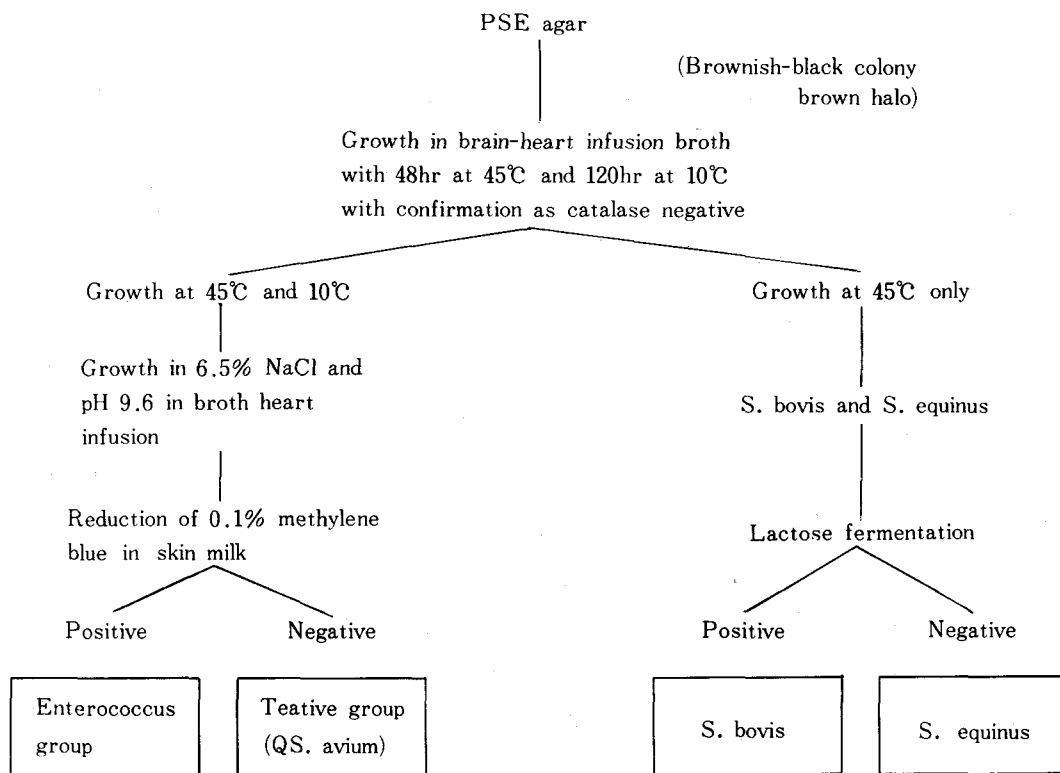


Fig. 2. Schematic outline for identification of fecal streptococci¹⁴⁾

양을 통하여 전형적인 금색 광택의 집락을 확인함과 동시에 Gram-negative 및 Lactose Broth에서 가스생성을 재확인하고, 양성시험 관수를 MPN 지수로서 표시하였다.

(2) 분원성 대장균군(Fecal Coliform) : 대장균군 시험중 추정시험 양성시험관, 즉 Lactose Broth에서 가스생성 시험관을 EC배지에 접종하고 44.5°C로 수욕조에서 배양하여 가스가 형성되는 양성시험 관수를 MPN 지수로서 표시하였다.

(3) 분원성 연쇄상구균(Fecal Streptococcus) : 추정시험은 Azide Dextrose Broth에서 35°C로 48시간 배양하고, 확정시험은 추정시험양성인 시험관을 PSEagar(Pfiter Selective Enterococcus)에 백금이틀 이용, 이식하여 35±0.5°C에서 24시간 배양했을시 Brownish-black Colonies의 생성으로 fecal Streptococci의 존재를 확인하였다.

(4) Fecal Streptococcus(F. S)의 분리동정 : 본 시험은 Gelderich의 분리방법¹⁴⁾ 및 Standard Method¹⁵⁾의 F. S 분리동정 시험방법에 따라 시험하였으며, 그 시험과정을 요약하면 Fig. 2와 같다.

결 과

1. 환경위생적 조사

1) 환경 현황

천성농원의 생활환경은 Table 4에서 보는 바와 같이 총 80가구, 인구 350여명으로서 80%가 축산업에 종사하고 있는 것으로 나타났다. 가축사육현황을 보면 소 80두, 돼지 4,000~5,000두, 닭130,000~140,000수 등으로 양계 및 양돈업이 주 생활수단인 것으로 나타났다.

2) 폐기물 현황

폐기물을 가정에서 생산되는 일반쓰레기, 분뇨 및 가축폐기물로 구분하고 각각의 그 처분 방법을 Table 4에 나타내었다. 분뇨처리는 조사대상 가구수의 48%가 토양환원에 의한 개인임의처분으로 20%가 위탁처분으로 나타났고, 일반쓰레기는 70%가 소각매립에 의해, 12%가 방치상태인 것으로 나타났으며, 가축폐기물의 경우는 건조위탁처분이 63%로 가장 많고, 18%가 토양환원, 12%가 자연방치상태로 나타났다.

Table 4. Status of Environmental Sanitation in Chun Sung Farm

Current status of environmental										
Survey area	Occupation						Number of livestock			
	Total Number of house	Total population	House number of tested	Animal agriculture	Agriculture	Others	Cattle	Swine	Poultry	Others
Chun Sung Farm	81	about 350	50 (100%)	40 (80%)	6 (12%)	4 (8%)	80	1,500 -2,000	13,000 -14,000	40

Current status of waste disposal									
Human excreta			General waste			Animal waste			
Manureuse of ower's	Manureuse of other's	Incineration Others and landfill	Negligence	Others	Manureuse	Negligence	Drying and commission	Others	
24 (48%)	16 (32%)	9 (20%)	35 (70%)	6 (12%)	9 (18%)	9 (18%)	6 (12%)	32 (63%)	3 (7%)

2. 하천의 수리수문학적 조사

Table 5는 지점 C₁, C₂, C₃, C₄, 및 C₅에 있어서 유속(m/sec)과 단면적(m²) 및 유량(m³/day)을 나타낸 것이다. 하천으로 유입되고 있는 농장 폐수량(C₂)은 평균 146.9m³/day를 보였고 이량은 하천C₁(769.0m³/day)와 합류, 지점C₃에서는 924.5m³/day를, 지점C₄(합류후 200m) 및 C₅(합류후 2,000m)는 각각 1,087.3m³/day, 2,177.3m³/day를 보여 유량은 점점 증가하고 있음을 보여 주었다. 한편 월별변화를 보면 6월에 최대량을 보였으나 전반적인 변화폭은 크지 않게 나타났다.

3. 하천의 오염도조사

하천의 각 조사 지점에 있어서 오염도는 Table6과 같으며 농원으로부터 하천에 유입되고 있는 C₂ 지점의 오염도(평균치)를 보면, BOD가 2,011.92mg/ℓ, COD가 1,190.58mg/ℓ, SS는 1,936.51mg/ℓ를 보였고, 영양염류는 NH₃-N이 48.75mg/ℓ, PO₄-P가 26.5mg/ℓ로 나타났으며, 이밖에 지표미생물인 T.C가 18.2×10⁷으로, F.C가 16.6×10⁷로 각각 나타났다.

1) 조사지점별 오염도변화

각 조사지점별 오염도의 변화양상을 보면, BOD의 경우 지점 C₂의 고농도 유기성 폐수는 지점 C₁과 합류되어 지점 C₃에서는 407.15mg/ℓ로 떨어졌고 합류후 200m지점인 C₄에 있어서는 214.14mg/ℓ를 보여 지점C₃ BOD의 약 48% 감소율을 보였다. 지점 C₅(2,000m하류)에서는 11.62mg/ℓ로 합류전인 지점 C₁ 오염도(56.31mg/ℓ)이하로 나타났다. 지표미생물인 T.C와 F.C의 경우를 보면 지점C₂의 각각 8.26, 8.22(이상 Log MPN/100ml)이 지점C₃에서는 각각 3.76, 2.99로 나타나 지점C₁의 4.77, 4.51보다 낮은 오염도를 보이고 있다. 이밖에 COD, SS, NH₃-N 및 PO₄-P 등은 BOD나 지표미생물의 오염도와 비슷한 양상을 나타내었다.

2) 월별 오염도조사

Table 6에서 보는 바와 같이 조사지점 모두에 있어서 7~8월에 높은 오염도를 나타내었다(pH, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P 제외). BOD 및 NH₃-N오염도를 보면 지점C₂, C₃ 및 C₄의 경우는 월별변화 양

상이 비슷하게 나타나고 있으나, C₅지점에서는 이들 지점과는 다른 양상을 보였다. T.C 및 F.C 의

경우는 각 지점 모두 7월에 상승된 것으로 나타났으나, 전반적인 변화폭은 크지 않게 나타났다.

Table 5. Hydrological Data of Sampling Sites

Sampling sites	Month	Velocity (m / sec)	Cross sectional area (m ²)	Flow rate (m ³ / day)
C ₁	3	0.38	0.0146	475.2
	4	0.40	0.0162	561.6
	5	0.48	0.0229	950.4
	6	0.55	0.0273	1,296.0
	7	0.45	0.0177	691.2
	8	0.44	0.0170	648.0
	Mean	0.45	0.0198	769.0
	C ₂	3	0.57	0.0014
4		0.60	0.0020	103.7
5		0.68	0.0029	172.8
6		0.67	0.0042	241.9
7		0.67	0.0028	155.2
8		0.64	0.0023	129.6
Mean		0.64	0.0027	146.9
C ₃		3	0.48	0.0135
	4	0.52	0.0154	691.2
	5	0.57	0.0228	1,123.2
	6	0.59	0.0305	1,548.0
	7	0.55	0.0182	864.0
	8	0.53	0.0170	794.9
	Mean	0.54	0.0196	924.5
	C ₄	3	0.62	0.0129
4		0.65	0.0162	907.2
5		0.68	0.0209	1,226.9
6		0.71	0.0270	1,658.9
7		0.67	0.0179	1,036.8
8		0.67	0.0189	1,080.0
Mean		0.67	0.0189	1,087.3
C ₅		3	0.15	0.1013
	4	0.17	0.1206	1,771.2
	5	0.20	0.1700	2,937.6
	6	0.20	0.1800	3,110.4
	7	0.17	0.1471	2,160.0
	8	0.18	0.1139	1,771.2
	Mean	0.18	0.1428	2,177.3

Table 6. Water Quality in a Stream Receiving Livestock Wastewater

Parameters	Flow rate (l/sec)	General items (mg/l)				Nutrient salts (mg/l)					Indicator bacteria				
		pH	Temp.	BOD	COD	SS	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	T. C (MPN/100ml)	Log (MPN/100ml)	F. C (MPN/100ml)	Log (MPN/100ml)	
C ₁	3	5.5	9.0	9.51	5.24	3.73	0.62	0.07	0	0	0.34	94×10 ²	4.97	12×10 ²	3.08
	4	6.5	17.0	2502	3.27	7.54	5.42	0	0	0	0	150×10 ²	4.18	29×10 ²	3.46
	5	11.0	22.0	30.42	5.08	15.05	2.17	1.03	0.03	0	0	39×10 ³	4.59	46×10 ²	3.66
	6	15.0	24.5	50.34	35.24	45.75	4.54	0.02	0.51	0.01	0	240×10 ²	4.38	76×10 ²	3.88
	7	8.0	23.0	102.25	62.15	51.98	6.52	0	0.05	0	0	24×10 ³	4.38	130×10 ²	4.11
	8	7.5	28.0	120.34	85.43	115.02	17.94	0.02	0.78	0.72	0	24×10 ⁴	5.38	16×10 ⁴	5.20
	Mean	8.9	20.6	56.31	32.74	39.85	6.20	0.19	0.23	0.13	0	58.6×10 ³	4.77	32×10 ³	4.51
	3	0.8	11.0	1,680.25	700.85	1,500.42	25.50	1.23	10.45	15.40	14×10 ⁷	8.14	12×10 ⁷	8.08	
4	1.2	20.0	620.37	520.45	1,017.28	24.50	0.28	0.9	10.42	34×10 ⁶	7.53	26×10 ⁶	7.41		
5	2.0	20.5	1,020.18	650.28	1,300.42	20.54	0.45	1.84	12.52	26×10 ⁷	8.41	23×10 ⁷	8.36		
6	2.8	23.0	1,850.21	1,020.72	1,500.25	32.62	0.32	1.62	21.00	54×10 ⁷	8.73	50×10 ⁷	8.70		
7	1.8	22.5	4,200.30	2,200.42	3,200.43	14.32	0.42	2.34	87.47	70×10 ⁸	7.85	70×10 ⁸	7.85		
8	1.5	27.5	2,700.12	2,050.75	3,100.28	175.00	0.45	2.15	12.70	49×10 ⁶	7.69	49×10 ⁶	7.69		
Mean	1.7	20.8	2,011.92	1,190.58	1,936.51	48.75	0.53	3.22	26.59	18.0×10 ⁷	8.26	16.6×10 ⁷	8.22		
3	6.5	7.8	220.50	140.24	300.72	6.02	0.84	1.89	5.12	26×10 ⁵	6.41	21×10 ⁵	6.32		
4	8.0	18.5	130.82	132.13	152.85	15.20	0	0.62	2.50	84×10 ⁴	5.92	53×10 ⁴	5.72		
5	13.0	21.0	250.72	150.05	220.47	15.32	0.04	0.75	3.24	16×10 ⁵	6.20	12×10 ⁵	6.08		
6	18.0	24.0	380.40	350.42	400.50	15.26	0	0.94	6.45	32×10 ⁵	6.51	26×10 ⁵	6.41		
7	10.0	23.0	840.12	720.75	920.45	62.58	0.06	0.41	17.76	33×10 ⁶	7.52	33×10 ⁶	7.52		
8	9.2	28.0	620.34	450.42	670.25	46.14	0.02	1.54	7.2	14×10 ⁶	7.15	14×10 ⁶	7.15		
Mean	10.8	20.7	407.15	324.14	444.21	26.75	0.16	1.03	7.05	92×10 ⁵	6.96	89×10 ⁵	6.95		
3	8.0	7.7	138.12	86.65	180.35	3.12	0	2.54	2.34	3.3×10 ⁴	4.50	2.4×10 ⁴	4.34		
4	10.5	18	75.54	58.24	102.74	10.40	0	0.34	0.79	8×10 ⁴	4.90	4.4×10 ⁴	4.64		
5	14.2	21.0	180.45	130.42	220.25	8.50	0	1.34	1.85	10×10 ⁴	5.00	6×10 ⁴	4.78		
6	19.2	24.5	205.24	170.45	220.37	9.75	0	0.54	3.80	12×10 ⁴	4.88	76×10 ³	4.88		
7	12.0	23.0	405.26	380.67	420.55	28.80	0	0.08	5.66	79×10 ⁵	6.90	22×10 ⁵	6.34		
8	12.5	27.5	280.21	290.78	320.27	31.00	0.03	1.28	4.52	110×10 ⁴	6.04	79×10 ⁴	5.89		
Mean	12.7	20.6	214.14	186.04	244.09	15.26	0.0	1.00	3.19	15.6×10 ⁵	6.20	5.3×10 ⁵	5.72		
3	15.2	10.5	2.54	1.47	3.95	1.21	0.03	1.34	0	12×10 ²	3.07	33×10	2.52		
4	20.5	17.0	8.65	5.45	11.08	1.42	0	0.42	0	22×10 ²	3.34	46×10	2.66		
5	34.0	21.5	10.13	8.54	11.54	0.45	0	1.01	0	24×10 ²	3.38	49×10	2.69		
6	36.0	22.5	8.53	5.27	12.74	1.23	0	0.05	0.24	12×10 ²	3.07	22×10 ²	2.34		
7	25.0	23.0	15.04	9.88	16.02	3.14	0.05	0.95	0.10	24×10 ³	4.38	16×10 ²	3.20		
8	20.5	28.0	25.08	20.54	30.27	9.04	0.011	1.09	0.37	33×10 ²	2.52	78×10	2.89		
Mean	25.2	20.4	11.62	7.69	14.27	2.75	0.02	0.81	0.12	57.2×10 ²	3.76	99.7×10	2.99		

*T. C.: Total Coliform. F. C.: Fecal Coliform.

**Station C₁ is above, station C₂ is discharging point, station C₃, C₄ and C₅ are 50, 200, 2,000m respectively below the point source of livestock wastewater.