

台湾农村生活废水之水质特性及其影响研究

陈鸿烈 曾安新 梁家柱
(中兴大学水土保持学系 台湾台中)

摘 要 本研究之目的乃以桃园灌区农村生活废水为对象, 调查其水质特性受季节变化之影响等, 并与桃园大圳第二支线上游之灌溉水质进行比较。结果显示, 农村生活废水的各项水质浓度与社区户数间并没有一致性存在, 而是与社区规划、社区生活形态有关。其中, 若因洗车、花园浇灌水等的稀释作用较小时, 社区生活废水的化学需氧量约为 159 ~ 563 mg/L、总氮 15 ~ 68 mg/L, 总磷 0.6 ~ 5.7 mg/L。在季节变化的影响方面, 发现生活废水中的 pH 值乃随雨季初期 中期 末期而逐渐降低; 电导度、生化需氧量、有机氮、凯氏氮及总氮的平均污染浓度则随雨季初期 中期 末期的顺序而升高; 至于化学需氧量、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮及总磷, 是以雨季中期之污染值最高。最后, 研究指出, 农村生活废水的污染浓度非常高, 其中, 电导度是桃园大圳第二支线上游灌溉水质的 2.2 倍, 化学需氧量为 22.5 倍, 生化需氧量 45.6 倍, 氨氮 2.2 倍, 有机氮 122.4 倍, 凯氏氮 44.0 倍, 亚硝酸盐氮 2.4 倍, 总氮 14.3 倍及总磷 128.3 倍。因此, 若不慎将生活废水排入灌溉水道, 将严重影响灌溉水的品质。

关键词 农村生活废水 社区规划 社区生活形态 灌溉水

Evaluation of Water Quality and Influence from Domestic Wastewater

Paris-Honglay Chen An-Hsin Tseng Jia-Chu Liang

(Department of Soil and Water Conservation, Chung-Hsing University Taichung Taiwan)

Abstract The objective of this study is to evaluate the water characteristics and season effects of domestic wastewater in farm irrigation system, Tao-Yuan agricultural zone, Taiwan, and to compare with the irrigation water from upper-stream of the second branch, Tao-Yuan channel. The results showed that the number of community family has no any relationship with the water characteristics of domestic wastewater at all, and the primary factors of influence are the personal and community life pattern. When the dilution effects of washing cars and garden watering are negligible, the chemical oxygen demand of domestic wastewater is approximately 159 ~ 563 mg/L, total nitrogen is 15 ~ 68 mg/L, and total phosphorus is 0.6 ~ 5.7 mg/L. The effects of season on domestic wastewater indicated that pH values decreased gradually from ini-

tial-, middle-, to final-wet season. The mean concentrations of conductivity, biochemical oxygen demand, organic nitrogen, total kjeldahl nitrogen, and total nitrogen deteriorated in order of initial-, middle-, and final-wet season. In addition, the highest concentrations contaminated of chemical oxygen demand, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen, nitrite nitrogen, and total phosphorus located on the middle-wet season. Finally, this study exhibited that the polluted concentrations of domestic wastewater from farm village are correspondingly considerable, among others, conductivity is about 2.2 times that of the irrigation water from upper-stream of the second branch, Tao-Yuan channel, chemical oxygen demand is 22.5 times, and biochemical oxygen demand is 45.6 times. The others are ammonia nitrogen 2.2 times, organic nitrogen 122.4 times, total kjeldahl nitrogen 44.0 times, nitrite nitrogen 2.4 times, total nitrogen 14.3 times, and total phosphorus 128.3 times, respectively. Consequently, discharged the domestic wastewater carelessly into agricultural irrigation channel, the water quality of irrigation water will be a serious contamination.

Key words farm domestic wastewater community design life pattern irrigation water

1 前言

依据“环保署”1993年资料显示,台湾地区生活废水占主要污染源产生量的21%(桃, 1995), 又因全台湾的卫生下水道普及率不高, 因此, 生活废水乃严重威胁周围的河川品质, 使其每下况愈。在水源日益拙缺的台湾地区, 优良的灌溉系统可增加农业之水资源, 而桃园灌区正具有此一特色, 即圳埤灌溉系统(陈, 1998, 台 1995a, b)。然因灌区内的工业废水、畜牧废水、家庭生活废水、……等的任意排入圳渠、河川中、使灌溉系统之水质恶化, 不但污染农田, 并影响人体健康。面对目前台湾地区日益增加的人口趋势, 且在缺乏卫生下水道等公共设施的同时, 生活废水的确是一项值得重视的环境问题。因此, 本研究之目的乃以桃园灌区之农村生活废水为对象, 调查其水质特性、受季节变化之影响等, 最后, 并与桃园大圳第二支线上游之灌溉水质进行比较。

2 研究方法

本研究是以桃园灌区之农村生活废水为对象进行采样分析工作, 采样点是以农村社区为单位, 包括“五权国宅”(75户)、“兴盛国宅”(180户)、“忠福国宅”(244户)及“中埔国宅”(500户)之社区生活废水, 并与桃园大圳第二支线上游之灌溉水质进行比较。采样时间分别为雨季初期(1996年5月14日)、雨季中期(1996年7月10日)及雨季末期(1996年10月6日)。样品乃重复分析2~3次后, 取平均值进行比较研究。

水质检测项目包括: 水温、pH值、溶氧、电导度、化学需氧量、生化需氧量、氨氮、有机氮、凯氏氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、总氮及总磷等。采样方法系参考水质检验法通则, 尽量取得各点之代表性水样; 至于水样的保存及水质分析方法乃参照 Standard Methods (APHA, 1985):

化学需氧量——方法 508B; 生化需氧量——方法 421B 及 507; 氨氮——方法 417A 及 417D; 凯氏氮——方法 417D 及 420A; 硝酸盐氮——方法 418A; 亚硝酸盐氮——方法 419; 总磷——方法 424C 及 424D。

表 1 不同户数农村社区生活废水三次采样之水质范围

水质项目	75 户	180 户	244 户	500 户
水 温/	22.0 ~ 27.0	23.0 ~ 29.0	24.5 ~ 33.3	24.1 ~ 30.0
pH 值	7.1 ~ 7.1	6.1 ~ 7.3	5.8 ~ 6.5	6.8 ~ 7.6
溶氧/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	2.1 ~ 3.4	2.0 ~ 3.0	0.4 ~ 5.5	0.8 ~ 3.9
电导度/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	625 ~ 1005	2200 ~ 2780	835 ~ 931	869 ~ 1936
化学需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	5.1 ~ 28.6	254.5 ~ 562.9	158.9 ~ 229.9	6.1 ~ 162.3
生化需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	4.0 ~ 5.6	187.2 ~ 204.7	103.9 ~ 140.4	4.2 ~ 10.8
氨 氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.35 ~ 0.67	ND ~ 1.22	0.05 ~ 1.62	0.07 ~ 0.86
有机氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.25 ~ 1.85	46.35 ~ 67.36	13.52 ~ 18.15	0.64 ~ 15.41
凯氏氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.60 ~ 2.37	47.57 ~ 67.38	15.14 ~ 18.20	0.71 ~ 16.27
硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.309 ~ 0.659	ND ~ 1.201	ND ~ 1.770	0.402 ~ 1.404
亚硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.015 ~ 0.416	0.020 ~ 0.131	0.005 ~ 0.051	0.016 ~ 0.203
总氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1.36 ~ 3.45	48.16 ~ 68.17	15.15 ~ 18.34	2.32 ~ 16.84
总磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.07 ~ 0.45	3.62 ~ 5.66	0.56 ~ 2.03	ND ~ 0.04

注: 1. ND: 小于侦测极限; 2. 侦测极限: 氨氮 0.018 mg/L, 硝酸盐氮 0.006 mg/L, 总磷 0.012 mg/L。

3 结果与讨论

3.1 农村生活废水之水质特性

不同户数社区生活废水三次采样之水质范围如表 1 所示, 其中:

- (1) pH 值: 由表 1 可知, 除 244 户社区生活废水的 pH 值(5.8 ~ 6.5) 曾落于灌溉水标准(6.0 ~ 9.0) 外, 其余均能符合标准, 且其数值与社区户数没有一定的关系存在。
- (2) 溶氧: 表 1 显示, 75 和 180 户生活废水的溶氧浓度虽能符合灌溉水质标准(> 0.2 mg/L), 但数值均不高; 至于 244 和 500 户者, 则偶有出现低于标准之最大限值。研究亦指出, 溶氧值与社区户数间没有相关性存在。
- (3) 电导度: 由表 1 可看出, 电导度污染浓度以 180 户最高(2 200 ~ 2 780 $\mu\text{S}/\text{cm}$), 500 户次之(869 ~ 1 936 $\mu\text{S}/\text{cm}$), 75 及 244 户者较低。由此可知, 电导度污染值的高低仍与社区户数无关连。
- (4) 化学需氧量、生化需氧量: 表 1 指出, 社区生活废水的化学需氧量与生化需氧量污染浓度范围之高低之顺序均为 180 户> 244 户> 500 户> 75 户, 很明显的与社区户数多寡无关。

表 2 农村生活废水之氨氮、有机氮、凯氏氮之水质平均值与其所占百分比

水质项目	75 户	180 户	244 户	500 户
氨氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.51 (37.2%)	0.81 (1.5%)	0.85 (5.1%)	0.51 (5.9%)
有机氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.86 (62.8%)	53.55 (98.5%)	15.76 (94.9%)	8.15 (94.1%)
凯氏氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1.37 (100%)	54.36 (100%)	16.61 (100%)	8.66 (100%)

- (5) 氨氮、有机氮、凯氏氮: 由表 1 可知, 三种氮的污染浓度范围仍以 180 和 244 户者较高, 75 和 500 户较低, 与社区户数无一致性。且在凯氏氮中, 是以有机氮为主成分(表 2), 除 75 户之有机氮所占比例较低(62.8%) 外, 其余均达 90% 以上。
- (6) 硝酸盐氮、亚硝酸盐氮: 研究数据(表 1) 指出, 生活废水的硝酸盐氮及亚硝酸盐氮浓度在总氮中所占比率较小, 但仍不容忽视。此外, 其污染浓度亦不受社区户数之影响。
- (7) 总氮: 表 1 显示, 社区生活废水的总氮污染浓度皆已超过灌溉水质标准(1.0 mg/L), 其

中又以 180 户最高, 244 户次之, 500 户再次之, 75 户最低, 与其他水质项目有类似的情形。

(8) 总磷: 由表 1 数据可知, 生活废水的总磷污染浓度与户数多寡无关, 仍以 180 及 244 户较高, 75 及 500 户较低。

由表 3 三次采样之水质平均值更可明显看出, 绝大部分的水质项目均以 180 户之污染浓度最高, 244 户次之, 500 户再次之, 75 户最低。探究原因, 可知 180 及 244 户虽同属大楼式社区, 且均无洗车设备, 然后者(244 户) 有一个很大的中庭花园, 故浇灌水的稀释作用有助于降低水质污染浓度。至于 75 及 500 户, 则属独栋式社区, 几乎家家户户门前均有洗车设备, 故洗车水的稀释作用亦可将社区水质的污染浓度大幅度降低。由此可知, 农村生活废水的水质特性与农村社区户数多寡间并无一致性存在, 而是与社区规划及社区生活形态有直接的关系。

表 3 不同户数农村社区生活废水三次采样之水质平均值

水质项目	75 户	180 户	244 户	500 户
水 温/	25. 2	26. 4	28. 3	17. 7
pH 值	7. 1	6. 5	6. 1	7. 1
溶氧/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	2. 5	2. 4	2. 3	2. 7
电导度/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	810	2500	874	1445
化学需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	14. 4	383. 3	196. 3	81. 8
生化需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	4. 9	194. 4	120. 5	8. 5
氨 氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0. 51	0. 81	0. 85	0. 51
有机氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0. 86	53. 55	15. 76	8. 15
凯氏氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1. 37	54. 36	16. 61	8. 66
硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0. 473	0. 633	0. 623	0. 848
亚硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0. 247	0. 084	0. 033	0. 128
总氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	2. 09	55. 08	17. 27	9. 64
总磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0. 23	4. 47	1. 42	0. 03

注: 若分析项目中有 ND 数值者, 以其侦测极限进行平均计算。

3. 2 季节变化与农村生活废水水质间的关系

由上述结果可知, 农村生活废水的水质与社区户数间并没有一致性存在, 因此, 可忽略户数多寡的影响, 直接进行季节变化之研究(表 4, 表 5) 。表 5 显示, 在本研究中, 季节变化与农村生活废水水质间的关系如下:

- (1) pH 值: 随雨季初期 中期 末期而逐渐降低, 此一现象可能与台湾地区之雨水多为酸性有关。
- (2) 电导度、生化需氧量、有机氮、凯氏氮及总氮: 随雨季初期 中期 末期的顺序而升高。
- (3) 化学需氧量及总磷: 平均污染浓度是以雨季中期最高, 雨季初期最低。
- (4) 氨氮、硝酸盐氮及亚硝酸盐氮: 以雨季中期之平均污染值最高, 但最低的是雨季末期。

3. 3 生活废水之质量负荷

质量负荷(mass loadings) 的单位一般是以 kg/d 表示, 并可以下面的数学式来表示(Tchobanoglous, 1979):

$$M = C \times Q \times 10^{-6}$$

式中: M ——质量负荷(kg/d); C ——进流浓度(mg/L); Q ——流量(L/d)。

由前述研究显示, 农村生活废水各项水质浓度均与社区户数无关, 故可将各项水质之所有采样分析结果进行平均(表 6) , 用以代表全年之各项水质进流浓度 C 值, 若流量 Q 值可知, 即可求得各项水质之质量负荷 M 值。

以桃园县全县为例, 1994 年人口数为 1 483 955 人(桃, 1994) , 若每人每天用水量为 220 L

(桃, 1995), 则流量 $Q = 1\,483\,955\text{ 人} \times 220\text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d}) = 326\,470\,100\text{ L}/\text{d}$; 再以表 6 之生化需氧量 $82.1\text{ mg}/\text{L}$ 为进流浓度 C 值, 则质量负荷 $M = 82.1\text{ mg}/\text{L} \times 326\,470\,100\text{ L}/\text{d} \times 10^{-6}\text{ kg}/\text{mg} = 26\,803\text{ kg}/\text{d}$ 。此方法在尔后污染总负荷计算中可使用。本例指出, 桃园县全县每天之生活废水中的生化需氧量负荷约为 26.8 t 。

表 4 不同季节采样之农村生活废水水质范围

水质项目	雨季初期	雨季中期	雨季末期
水 温/	22.0~24.5	27.0~33.3	26.5~29.0
pH 值	6.4~7.4	6.1~7.6	5.8~7.3
溶氧/ $\text{mg}/\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$	0.9~3.5	2.1~5.5	0.4~3.4
电导度/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	774~2200	835~2520	625~2780
化学需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	5.1~254.5	28.6~562.9	9.5~332.6
生化需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	4.0~191.2	5.2~204.7	5.6~187.2
氨 氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.07~1.62	0.52~1.22	ND~0.67
有机氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.25~46.95	1.85~46.35	0.47~67.38
凯氏氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.60~48.13	2.37~47.57	1.14~67.38
硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	ND~1.404	0.402~1.770	0.093~0.738
亚硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.005~0.309	0.044~0.416	0.015~0.101
总氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1.36~48.15	3.44~48.90	1.46~68.17
总磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.03~3.62	ND~5.66	0.04~4.14

注: (1) ND: 小于侦测极限; (2) 侦测极限: 氨氮 $0.018\text{ mg}/\text{L}$, 硝酸盐氮 $0.006\text{ mg}/\text{L}$, 总磷 $0.012\text{ mg}/\text{L}$

表 5 不同季节采样之农村生活废水水质平均值

水质项目	雨季初期	雨季中期	雨季末期
水 温/	23.4	29.8	27.5
pH 值	6.8	6.5	6.3
溶氧/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	2.2	3.6	1.7
电导度/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	1194	1472	1556
化学需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	106.2	224.6	176.1
生化需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	79.1	81.1	86.0
氨 氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.80	0.87	0.34
有机氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	15.34	19.80	23.59
凯氏氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	16.14	20.67	23.93
硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.467	1.008	0.458
亚硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.134	0.189	0.046
总氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	16.74	21.87	24.43
总磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1.09	2.03	1.48

注: 若分析项目中有 ND 数值者, 以其侦测极限进行平均计算。

表 6 农村生活废水全年之水质平均值

水质项目	平均值
电导度/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	1407
化学需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	169.0
生化需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	82.1
氨 氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.67
有机氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	19.58
凯氏氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	20.25
硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.644
亚硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.123
总氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	21.02
总磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1.54

表 7 农村生活废水与桃园大圳第二支线

上游灌溉 水质全年平均值之比较		
水质项目	生活废水	灌溉水
水 温/	26.9	22.3
pH 值	6.5	6.9
溶氧/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	2.5	6.0
电导度/ $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	1407	641
化学需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	169.0	7.5
生化需氧量/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	82.1	1.8
氨 氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.67	0.30
有机氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	19.58	0.16
凯氏氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	20.25	0.46
硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.644	0.953
亚硝酸盐氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.123	0.052
总氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	21.02	1.47
总磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1.54	ND

注: 1. ND: 小于侦测极限; 2. 侦测极限: 总磷 $0.012\text{ mg}/\text{L}$ 。

3.4 农村生活废水与桃园大圳第二支线上游灌溉水质之比较

由本实验室先前研究可知, 桃园大圳第二支线大部分的水质项目之污染浓度均依上、中、下游顺序递增, 其余项目一般亦以中、下游污染浓度较高(陈, 1998), 由此可知, 上游水质较接近于未受污染之灌溉水质状况, 故在此将桃园农村生活废水与桃园大圳第二支线上游灌溉水质作一番比较。

由表 7 可看出, 二者的 pH 值相差不大; 溶氧方面, 桃园农村生活废水的年平均溶氧值虽能符合灌溉水质标准($> 2.0 \text{ mg/L}$), 但远低于桃园大圳第二支线上游之灌溉水质。至于其他水质项目, 除硝酸盐氮外, 均以农村生活废水水质污染浓度高出甚多, 其中, 电导度是第二支线上游灌溉水质的 2.2 倍, 化学需氧量为 22.5 倍, 生化需氧量 45.6 倍, 氨氮 2.2 倍, 有机氮 122.4 倍, 凯氏氮 44.0 倍, 亚硝酸盐氮 2.4 倍, 总氮 14.3 倍, 总磷 128.3 倍。

由此可知, 农村生活废水的污染性非常高, 若不慎排入灌溉水道, 将严重影响灌溉水的品质。

4 结 论

农村生活废水的各项水质污染浓度与农村社区户数多寡无关, 而是受到社区规划及社区生活形态之影响。至于其水质状况, 研究显示, 农村生活废水的污染性相当高, 若任其排入灌溉水道, 将严重降低灌溉水的品质, 进而污染农田, 影响作物生长, 危害人体健康。故农村生活废水实为不容忽视的环境问题。

致谢: 本文承蒙“财团法人桃园农田水利研究发展基金会”之赞助, 方得以完成研究, 作者谨此致谢。

参考文献

- 1 陈鸿烈. 利用环境自净能力之灌溉系统功能研究. “水土保持学报”, 1998, 30(1): 19 ~ 30
- 2 APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16th. Ed. American Public Health Association. Washington, D. C. 1985
- 3 Tchobanoglous, G. and F. L. Burton. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, Third Edition. Metcalf and Eddy, Inc., New York. 1997

作者简介

陈鸿烈: 中兴大学水土保持学系副教授。

曾安新: 中兴大学技正兼东势林场场长。

梁家柱: 中兴大学水土保持学系研究生。