

基于流域尺度的农业用地景观-水质关联分析

孙芹芹^{1,2}, 黄金良^{1*}, 洪华生^{1,2}, 李青生¹, 林杰¹, 冯媛¹

(1. 厦门大学环境科学研究中心, 厦门 361005; 2. 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 厦门 361005)

摘要: 基于 Landsat 遥感影像进行九龙江流域不同坡度类型的农业用地景观与水质指标 (COD_{Mn}、NH₄⁺-N、TP) 的相关性分析, 并分别对丰水期、枯水期、平水期的农业用地类型百分比与各水质指标进行线性回归。结果显示, 坡度小于 15°和大于 25°的农业用地占总农业用地的面积比例与各水质指标呈较强的正相关。景观聚集度指数 (CONTAG) 与水体中 TP 浓度呈显著正相关, 决定系数为 0.565; 香农多样性指数 (SHDI) 与水体中 TP 浓度呈显著负相关, 相关系数为 -0.527。丰水期和枯水期是九龙江流域水质变化较大的时期。对河流近岸 100 m 范围内的农业用地类型组成进行统计发现, 坡度小于 15°的农业用地面积平均比例为 74.3%。河岸缓冲区和陡坡农业用地的数量及分布是影响该地区水质及控制农业非点源污染的关键。

关键词: 水质, 农田, 环境影响, 非点源污染, 坡度, 景观指数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.04.010

中图分类号: X131.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-04-0054-06

孙芹芹, 黄金良, 洪华生, 等. 基于流域尺度的农业用地景观-水质关联分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 54-59. Sun Qinqin, Huang Jinliang, Hong Huasheng, et al. Analysis on linkage between farm landscape and water quality in Jiulong River watershed [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 54-59. (in Chinese with English abstract)

0 引言

河流水质的变化受人类土地利用活动影响较大^[1], 对水质与土地利用关联的研究有助于利用土地利用/覆被来评估非点源污染对河流水质的影响。农业用地的化肥、农药施用引起的水体非点源污染管理较为困难^[2], 却是水环境污染的重要来源, 尤其是在工业与城市生活污水等点源污染问题逐渐得到控制之后。因此, 流域水环境管理主要集中在非点源污染控制方面^[3]。目前基于遥感影像的流域非点源污染与水质响应的研究主要集中在土地利用结构^[4-6]、景观格局^[7-9]与水质指标的统计分析方面^[10], 其中大多数的研究将农业用地作为整体与水质指标进行相关性分析, 对农业用地由于所处位置、地形等的差异而对水质变化可能造成的影响差异研究较少, 且对水质的季节性变化与土地利用的关联研究也较为少见。农业非点源污染不仅受农业用地耕作方式的影响, 而且与农田水土流失的强弱程度有关^[11-14]。九龙江流域属东南丘陵地貌, 坡度对农业用地水土流失影响较大^[15-16]。本研究选取九龙江 16 个支流小流域, 引入坡度因子将农业用地类型进行分类, 对农业用地景观与水质之间的关系进行研究, 探讨流域内不同农业用地类型对水质时空变化的功能差异, 为流域农业非点源污染控制提供依据。

收稿日期: 2010-07-07 修订日期: 2010-09-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40901100, 40810069004); 福建省自然科学基金项目 (2009J01222)

作者简介: 孙芹芹 (1983-), 女, 博士后, 主要从事环境遥感与 GIS 应用。厦门 厦门大学环境科学研究中心, 361005. Email: qqsun@xmu.edu.cn

*通信作者: 黄金良 (1975-), 男, 副教授, 主要从事土地利用/覆被变化及其生态环境效应研究。厦门 厦门大学环境科学研究中心, 361005.

Email: jlhuang@xmu.edu.cn

1 研究区域

九龙江流域位于中国经济较为发达的东南沿海福建省南部地区, 流域地势自西北向东南倾斜, 下游流经农业集约化水平较高的漳州平原地区。高强度的人类活动与全球气候变化的共同作用对九龙江水环境安全构成严重威胁。流域内部分河流库区水体营养盐负荷趋近饱和, 水华现象已有不同程度的发生。本研究以九龙江流域的 16 条主要支流为目标, 基于 DEM 进行支流子流域的划分 (图 1)。支流子流域可真实反映各点水流的流向、汇

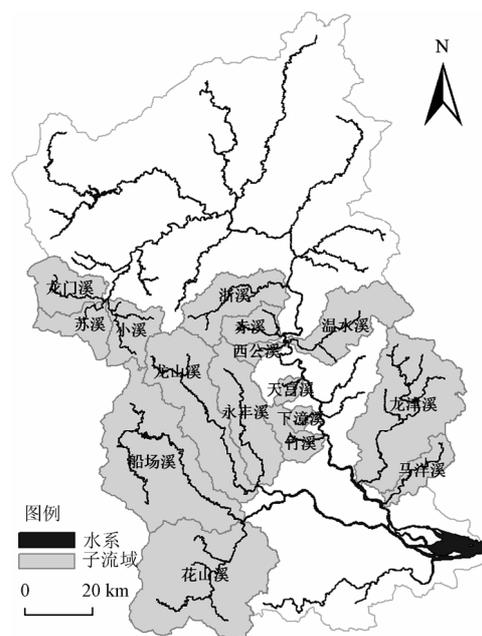


图 1 九龙江 16 个目标支流子流域位置图

Fig.1 Location of sub-watersheds in the Jiulong River watershed

入水域等特征，被广泛应用于水文水质问题的研究^[17]。

对各小流域的面积、人口、大中型企业分布及农业种植情况说明如表 1 所示。

表 1 各小流域概况
Table 1 Overview of 16 sub-watersheds

名称	面积/ km ²	人口/ 万	大中型企业分布	农业种植情况
龙门溪	236	4.83	3 个, 分别为钢铁铸件、轴承、纤维板制造业	蔬菜、花卉、竹林等
苏溪	180	3.23	0	竹林、杨桃、蔬菜等
小溪	218	4.71	5 个, 其中 4 个为水泥制造业, 1 个为煤矿开采选业	果林和蔬菜等
浙溪	343	3.27	0	蔬菜、茶叶、竹林等
赤溪	145	1.31	0	蔬菜、茶叶、龙眼等
温水溪	385	5.9	0	蔬菜、茶叶等
西公溪	55	0.75	0	蔬菜、龙眼、茶叶等
天宫溪	45	0.33	0	柚子林、蔬菜等
下樟溪	43	0.47	0	蔬菜、水稻、甘蔗等
竹溪	142	1.91	3 个, 分别为啤酒、陶瓷、电子真空器件制造业	蔬菜、水稻、甘蔗、竹林等
龙津溪	900	21.7	17 个, 主要为纸板、五金、食品日用品制造业和制糖业	蔬菜、香蕉、龙眼等
马洋溪	153	5.68	1 个无机碱制造业	蔬菜、香蕉、龙眼等
船场溪	1041	16.2	1 个铁矿采选业	蔬菜、香蕉等
龙山溪	676	12.6	2 个, 分别为纸板制造业和金属冶炼加工业	蔬菜、香蕉、龙眼、竹林等
永丰溪	437	6.36	0	蔬菜、巨尾桉、香蕉等
花山溪	1050	29	0	蔬菜、香蕉、柚子等

注：人口数根据小流域与行政边界的关系进行概略计算；大中型企业和农业种植情况根据野外调查结合年鉴资料整理；各小流域均无污水处理厂。

2 研究方法数据来源

2.1 土地利用分类

研究中使用 2007 年的 Landsat TM 遥感影像数据进行土地利用分类，通过监督分类和非监督分类相结合的方式将遥感影像分为农业用地、林地、草地、水体、城镇建设用地和裸地六类，并根据 DEM 提取坡度数据，进一步将农业用地按照坡度大小分为农业用地 I（坡度<15°）、农业用地 II（15°≤坡度<20°）、农业用地 III（20°≤坡度<25°）、农业用地 IV（坡度>25°）。将各类土地利用数据与小流域范围进行掩膜，生成基于小流域的土地利用图和农业用地类型图。

2.2 景观指数计算

不同的土地利用类型空间格局可能对水质变化产生不同的影响，其景观格局可通过景观指数来衡量^[18]。本研究选取的景观指数主要包括：斑块密度（PD）、最大斑块指数（LPI）、景观形状指数（LSI）、聚集度指数（CONTAG）、连通度指数（COHES）、香农多样性指数（SHDI），分别代表景观破碎化程度、景观优势度、景观边界复杂程度、景观组分的聚集程度、同类像元间的连通度、景观分布的丰富度和均匀度^[19]。

2.3 相关性分析

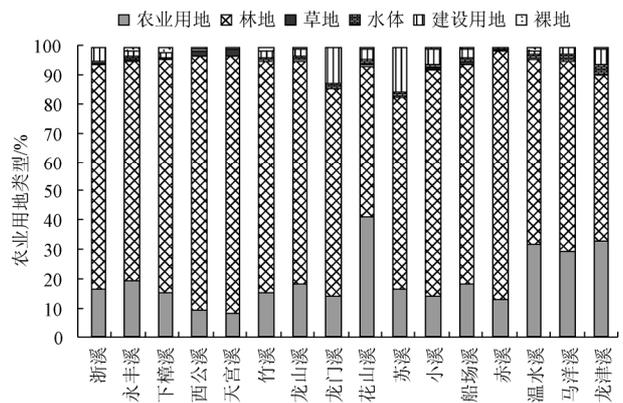
研究中使用的水质数据主要来自福建省环保局 2007 年的水质监测数据，监测指标为 COD_{Mn}、NH₄⁺-N 和 TP。监测频率每 2 个月一次，一年 6 期，取其年平均值进行分析。分别对各小流域内土地利用类型的面积百分比及景观格局指数与以上 3 种水质指标进行相关性分析。各数据序列间相关系数的计算在 SPSS 中完成，计算之前对各数据列进行了对数转换使其符合正态分布。

3 结果与讨论

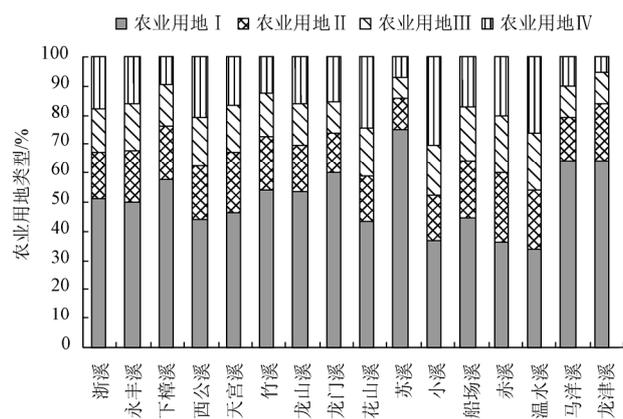
3.1 各小流域土地利用与水质的时空分布

3.1.1 各小流域土地利用结构

图 2 描述了各子流域的土地利用与农业用地类型结构。由图 2a 可见，各子流域土地利用类型以林地为主，约占 52%~89%；其次为农业用地，约占 8%~42%，其中花山溪、龙津溪、温水溪、马洋溪的农业用地超过 25%，其他小流域的农业用地均在 25% 以下；除苏溪、龙门溪外，其他子流域建设用地比例均低于 10%，水体、草地、裸地所占比重较小。



a. 各子流域土地利用百分比



b. 各子流域农业用地类型百分比

图 2 各子流域土地利用与农业用地类型百分比

Fig.2 Composition of land use/land cover (LULC) and farm land use in 16 sub-watersheds

虽然花山溪、温水溪的总农业用地面积较大，但其坡度小于 15°的农业用地所占总农业用地比例相对较小（图 2b），说明该子流域农业用地多位于地势较为起伏（坡

度大于 15°)的地区。苏溪、龙津溪、马洋溪坡度小于 15°的农业用地所占比例均超过 60%，农业用地相对平坦；小溪、赤溪、西公溪、天宫溪坡度小于 15°的农业用地比例也不到 50%，地势以丘陵为主。对于坡度大于 25°的农业用地所占比例来看，小溪、温水溪、花山溪、赤溪、西公溪所占比例较高（大于 20%），说明该子流域发生区域水土流失风险较大，而龙津溪、苏溪、马洋溪、下樟溪坡度大于 25°的农业用地所占比例相对较小。

在河流两岸 100 m 范围设立缓冲区，并对缓冲区内农业用地类型在河流近岸的面积分布特征进行统计，各小流域缓冲区内农业用地比例为 10%~60%。其中不同农业用地类型的组成如图 3 所示。

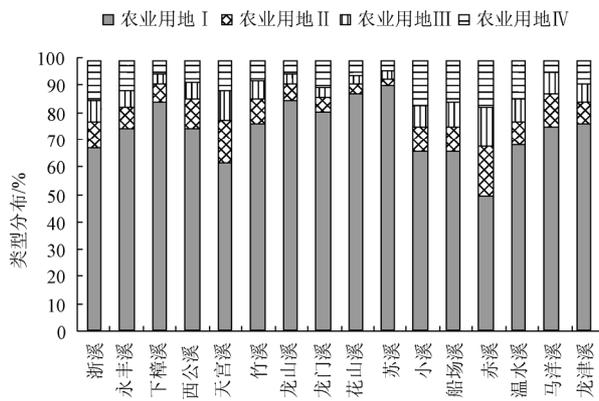


图 3 100 m 缓冲区内农业用地类型分布

Fig.3 Farm land use composition in 100 m riparian buffer

各子流域 100 m 缓冲区内农业用地 I 所占面积比例最大（图 4），其中苏溪、花山溪、龙山溪、下樟溪、龙门溪支流农业用地 I 所占总农业用地的比例均超过了 80%；除赤溪外，其它支流子流域的农业用地 I 所占比例均超过 50%，农业用地 I 所占总农业用地的平均比例为 74.3%。农业用地 IV 所占比例最大的支流有船场溪、小溪、赤溪，分别为 15%~17%。农业用地 I 在河流近岸的大面积分布以及农业用地 IV 的较高面积比例均可能对子流域的水质安全构成威胁。

3.1.2 各小流域水质特征

各小流域的水质浓度（ COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP）分布如图 4 所示。位于九龙江源头的龙门溪、苏溪、小溪的 COD_{Mn} 浓度较高，西公溪、赤溪、浙溪的 COD_{Mn} 浓度较低；而苏溪、龙门溪、小溪的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度较高，永丰溪、赤溪、浙溪的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度较低；苏溪、龙门溪、小溪的 TP 浓度较高，西公溪、天宫溪、赤溪的 TP 浓度较低。总的来说，各类水质指标浓度较高的水体主要位于九龙江源头的龙门溪、苏溪和小溪子流域内，一方面可能受该地区不同农业用地类型分布的影响；另一方面也与该地区建筑面积比例较高和企业较多有关（见表 1 和图 2）。其次，北溪下游的马洋溪、龙津溪的水质较差，也与其受人类活动干扰大，企业分布较多有关，而位于流域中部的赤溪、浙溪、天宫溪等水质状况相对较好。

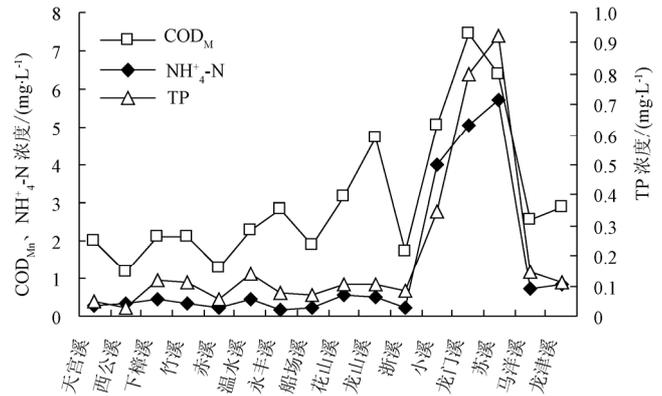


图 4 各子流域 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 浓度

Fig.4 Water quality of 16 sub-watersheds in the Jiulong River watershed

3.2 流域农业用地景观-水质的关联分析

3.2.1 土地利用面积百分比与水质关系

各子流域土地利用面积比例与年平均水质指标的相关性分析发现（表 2），建设用地百分比与各水质指标具有较强的正相关，说明建设用地的增多会导致水质的恶化。除此之外，草地面积百分比与总磷浓度也呈现一定的负相关，说明草地具有一定的截留、阻滞磷污染物传输，净化水体的功能。小流域建设用地、草地与水质的关联与九龙江全流域、缓冲区的研究结论一致^[10]。但是，基于支流子流域的农业用地面积百分比与各水质指标之间未发现相关性，这与前期部分研究成果相符^[20]，也与一些研究成果结论不符^[21-22]。大多数研究认为农业用地中无机化肥的使用是水体营养盐高负荷的重要来源^[23]，九龙江流域传统农业所占比重较大，农业用地多沿河流两岸开垦，与河流水质污染关系密切，因此对该地区农业用地与水质关系需要进行更加深入的研究。

表 2 各土地利用百分比与水质相关性分析（样本数为 16）

Table 2 Correlations between percent LULC and water quality in 16 sub-watersheds ($N=16$)

类型	COD_{Mn}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	TP
农业用地	0.204	0.036	0.165
林地	-0.401	-0.308	-0.368
草地	-0.289	-0.313	-0.512*
水体	0.416	0.339	0.426
建设用地	0.704**	0.644**	0.739**
裸地	-0.043	-0.361	-0.247

注：**表示在 0.01 水平相关性显著，*表示在 0.5 水平相关性显著。

3.2.2 农业用地面积百分比与水质关系

一般认为，污染源在研究单元分布的地区坡度越小，养分发生流失的危险性越小^[24]，为探索九龙江流域农业用地所处坡度对非点源污染贡献的影响，本研究引入坡度因子对农业用地进行类型划分，并进行农业用地面积百分比与水质的相关分析，结果如表 3 所示。

坡度在 15°~20°、20°~25°的农业用地所占总农业用地的百分比与水质指标之间具有较强的负相关，坡度小于 15°的农业用地和坡度大于 25°的农业用地百分比与水质指标相关性不明显。但是，对这 2 种农业用地类型对

水体水质可能造成的影响分析发现，坡度小于 15°的农业用地多位于河岸周围平坦的地区，距离河流较近，其土壤中的营养盐流失较易到达河流，而坡度大于 25°的农业用地水土流失的风险较高^[25]，也可能对水质恶化产生正面影响。因此将坡度小于 15 和坡度大于 25°的农业用地划分为农业用地 V，与 COD_{Mn}、NH₄⁺-N、TP 作相关性分析发现，农业用地 V 所占总农业用地面积比例与水质指标之间具有较强的正相关。说明九龙江流域农业用地内部由于所处地理位置以及地形的不同，对水质具有不同的影响。其中坡度位于 15°~25°的农业用地因为地势相对平坦，其土壤中的营养盐具有含蓄不易流失的特点，对污染物起到截留作用，而坡度小于 15°和坡度大于 25°的农业用地是农业非点源污染的主要来源，对水质的下降起到促进作用。

表 3 农业用地类型百分比与水质相关性分析 (样本数为 16)
Table 3 Correlations between percent farm land use and water quality in 16 sub-watersheds (N=16)

类型	COD _{Mn}	NH ₄ ⁺ -N	TP
农业用地 I	0.43	0.384	0.439
农业用地 II	-0.768**	-0.759**	-0.785**
农业用地 III	-0.591*	-0.656**	-0.664**
农业用地 IV	-0.194	-0.215	-0.258
农业用地 V	0.724**	0.719**	0.726**

注: **表示在 0.01 水平相关性显著, *表示在 0.5 水平相关性显著。

3.3 农业用地景观指数与水质的关联分析

营养元素的流失在到达水体之前，需要流经一定距离的景观布局。因此，可以通过调整不同景观类型在空间上的格局组合来控制营养元素到达水体前的浓度，从而降低非点源污染形成的危险性^[26-27]。对各农业用地类型的景观格局指数与水质指标进行相关性分析发现 (表 4)：聚集度指数与总磷呈正相关，说明流域内同一类型的斑块越聚集，越不利于对农田中总磷的固定和截留，而多样性指数与总磷呈现负相关，说明流域内不同水质调节功能的农业用地类型越多，斑块分布越分散，越有利于对总磷污染流失和扩散的控制。

表 4 农业用地景观指数与水质指标相关性分析 (样本数为 16)
Table 4 Correlations between farm landscape and water quality in 16 sub-watersheds (N=16)

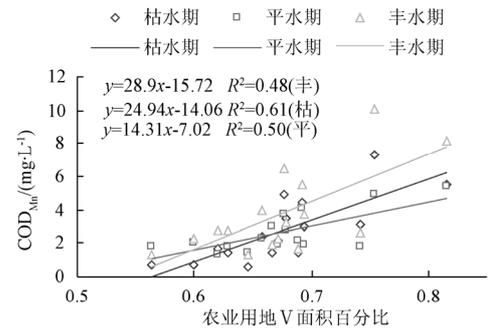
景观指数	COD _{Mn}	NH ₄ ⁺ -N	TP
PD	-0.087	-0.252	-0.262
LPI	0.025	0.009	-0.003
LSI	-0.017	-0.23	-0.214
CONTAG	0.438	0.479	0.565*
COHES	0.167	0.065	0.122
SHDI	-0.408	-0.44	-0.527*

注: **表示在 0.01 水平相关性显著, *表示在 0.5 水平相关性显著。

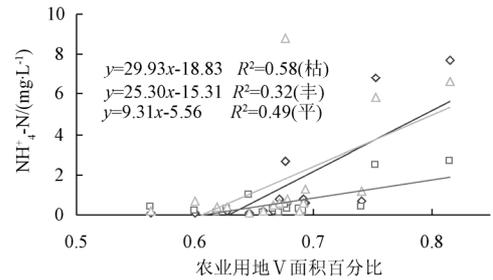
3.4 农业用地与水质关系的季节性关联分析

九龙江流域是一个典型的农业流域，农业非点源污染情况突出，非点源污染的一个显著特点是污染物产生量与径流量的大小有关^[28]。根据子流域内各支流径流量的大小将各水质指标按丰水期 (7 月、9 月)、平水期 (3

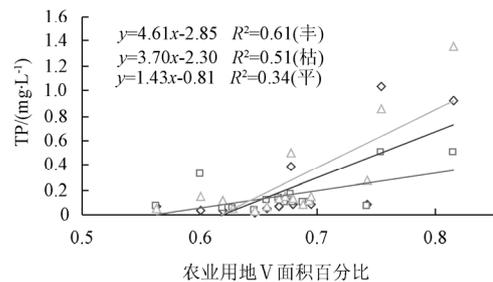
月、5 月)、枯水期 (1 月、11 月) 进行分类，并按不同时期的农业用地百分比与各水质指标浓度进行线性回归分析并根据线性公式斜率大小依次排列 (图 5)。



a. 不同时期农业用地 V 百分比与 COD_{Mn} 的线性回归



b. 不同时期农业用地 V 百分比与 NH₄⁺-N 的线性回归



c. 不同时期农业用地 V 百分比与 TP 的线性回归

图 5 不同时期农业用地 V 百分比与水质指标的线性回归
Fig.5 Linear regression between percentage of Class V of farm land and water quality in the Jiulong River watershed

由图 5 可见，COD_{Mn} 与农业用地 V 面积百分比的线性公式斜率：丰水期>枯水期>平水期；NH₄⁺-N 与农业用地 V 面积百分比的线性公式斜率：枯水期>丰水期>平水期；TP 与农业用地 V 面积百分比的线性公式斜率：丰水期>枯水期>平水期。总的来看，各斜率在丰水期和枯水期较大，说明丰水期和枯水期均是水质富营养化的敏感时期，丰水期的暴雨径流冲刷给水体带入较多的污染物，一定程度上说明了这些子流域是以农业非点源污染为主。而在平水期的农业用地 V 与 COD_{Mn}、NH₄⁺-N、TP 的线性公式斜率比丰水期、枯水期的斜率小，说明该时期水质浓度变化相对不明显。

4 结 论

1) 影响农业非点源污染的因子复杂多样，但在其他条件相似时，随着坡度小于 15°和坡度大于 25°的农业用地比例的增加，水质指标浓度呈现上升趋势。坡度小于

15°和大于 25°的农业用地所占总农业用地的面积百分比与各水质指标均呈现较强的正相关, 与水体中 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TP 的决定系数分别为 0.724、0.719、0.726。

2) 农业用地类型对河流水质的影响不仅与数量有关, 而且与其空间分布格局有一定的关系。聚集度指数 (CONTAG) 和香农多样性指数 (SHDI) 与水体中 TP 浓度分别呈正相关和负相关。说明同类农业用地分布越聚集, 越容易造成土壤中 TP 的流失; 流域内不同农业用地类型越分散, 则越有利于对 TP 污染流失和扩散的控制。

3) 丰水期和枯水期的农业用地面积百分比与各水质指标之间的线性公式系数较大, 原因是丰水期较高的污染物冲刷及枯水期的低水量导致各水质指标浓度升高, 因此丰水期和枯水期均是控制水质富营养化的敏感时期。

4) 农业用地对河流水质的影响与其位置及坡度密切相关, 距离水体较近及坡度较大地区的农业用地类型均是控制农业非点源污染的关键, 因此可通过陡坡还林、建立河岸缓冲带、分散种植等措施控制农业用地对河流水质的污染。

[参 考 文 献]

- [1] Roberts A, Prince S. Effects of urban and non-urban land cover on nitrogen and phosphorus runoff to Chesapeake Bay [J]. *Ecological Indicators*, 2010, 10: 459—474.
- [2] 贺缠生, 傅伯杰, 陈利顶. 非点源污染的管理及控制[J]. *环境科学*, 1998, 19(5): 87—91.
He Chansheng, Fu Bojie, Chen Liding. Non-point source pollution control and management[J]. *Environmental Science*, 1998, 19(5): 87—91. (in Chinese with English abstract)
- [3] Baker A. Land use and water quality[J]. *Hydrological Processes*, 2003, 17(12): 2499—2501.
- [4] 王秀娟, 刘瑞民, 何孟常. 土地利用及其变化对松辽流域非点源污染影响研究[J]. *地理科学*, 2009, 29(4): 555—560.
Wang Xiujuan, Liu Ruimin, He Mengchang. Effect of land use/cover change on non-point source pollution in songliao basin[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(4): 555—560. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘瑞民, 杨志峰, 丁晓雯, 等. 土地利用/覆盖变化对长江上游非点源污染的影响研究[J]. *环境科学*, 2006, 27(12): 2408—2414.
Liu Ruimin, Yang Zhifeng, Ding Xiaowen, et al. Effect of Land use/cover change on pollution load of non-point source in upper reach of yangtze river basin[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(12): 2408—2414. (in Chinese with English abstract)
- [6] Herlihy A, Stoddard J, Johnson C. The relationship between stream chemistry and watershed land cover data in the mid-Atlantic region, US[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1998, 105(1): 377—386.
- [7] Sliva L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality [J]. *Water Research*, 2001, 35(14): 3462—3472.
- [8] Johnson L, Richards C, Host G, et al. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems [J]. *Freshwater Biology*, 1997, 37: 193—208.
- [9] Wear D N, Turner M G, Naiman R J. Land cover along an urban-rural gradient: Implications for water quality[J]. *Ecological Applications*, 1998, 8: 619—630.
- [10] 黄金良, 李青生, 洪华生, 等. 九龙江流域土地利用/景观格局-水质的初步关联分析[J]. *环境科学*, 2011, 32(1): 64—72.
Huang Jinliang, Li Qingsheng, Hong Huasheng, et al. Preliminary study on linking land use and landscape pattern and water quality in the Jiulong River Watershed[J]. *Environmental Science*, 2011, 32(1): 64—72. (in Chinese with English abstract)
- [11] Loen L F, Soulis E D, Kouwen N, et al. Non-point source pollution: A distributed water quality modeling approach[J]. *Water Research*, 2001, 35(4): 997—1007.
- [12] 卜红梅, 王岑, 张全发. 汉江上游金水河流域非点源污染及控制[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(4): 33—38.
Bu Hongmei, Wang Cen, Zhang Quanfa. Non-point source pollution and control in the jinshui river basin of the upper hanjiang river[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(4): 33—38. (in Chinese with English abstract)
- [13] 陈利顶, 傅伯杰. 农田生态系统管理与非点源污染控制[J]. *环境科学*, 2000, 21(2): 98—100.
Chen Liding, Fu Bojie. Farm ecosystem management and control of nonpoint source pollution[J]. *Environmental Science*, 2000, 21(2): 98—100. (in Chinese with English abstract)
- [14] 李俊然, 陈利顶, 郭旭东, 等. 土地利用结构对非点源污染的影响[J]. *中国环境科学*, 2000, 20(6): 506—510.
Li Junran, Chen Liding, Guo Xudong, et al. Effects of land use structure on non-point source pollution[J]. *China Environmental Science*, 2000, 20(6): 506—510. (in Chinese with English abstract)
- [15] 黄金良, 洪华生, 张璐平, 等. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(5): 75—79.
Huang Jinliang, Hong Huasheng, Zhang Luoping, et al. Study on predicting soil erosion in jiulong river watershed based on GIS and USLE[J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2004, 18(5): 75—79. (in Chinese with English abstract)
- [16] 程琳琳, 赵文武, 张银辉, 等. 集水区尺度降雨侵蚀力空间分布对土壤流失的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 69—73.
Chen Linlin, Zhao Wenwu, Zhang Yinwei, et al. Effect of spatial distribution of rainfall erosivity on soil loss at catchment scale[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(12): 69—73. (in Chinese with English abstract)
- [17] 万荣荣, 杨桂山. 流域 LUCC 水文效应研究中的若干问题探讨[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(3): 25—33.
Wan Rongrong, Yang Guishan. Discussion on some issues of hydrological effects of watershed land use and land cover change[J]. *Progress in Geography*, 2005, 24(3): 25—33. (in Chinese with English abstract)

- [18] Lee S W, Hwang S J, Lee S B, et al. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 92: 80–89.
- [19] McGarigal K, Cushman S A, Neel M C, et al. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps [EB/OL]. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>. 2010-9-15.
- [20] Fedorko E, Pontius J, Aldrich S, et al. Spatial distribution of land type in regression models of pollutant loading[J]. *Journal of Spatial Hydrology*, 2005, 5(20): 60–80.
- [21] Bahar M M, Ohmori H, Yamamuro M. Relationship between river water quality and land use in a small river basin running through the urbanizing area of Central Japan[J]. *Limnology*, 2008, 9: 19–26.
- [22] Arheimer B, Liden R. Nitrogen and phosphorus concentrations for agricultural catchments: influence of spatial and temporal variables[J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 227(1/4): 140–159.
- [23] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 等. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法—景观空间负荷对比指数[J]. *生态学报*, 2003, 23(11): 2406–2413.
Chen Liding, Fu Bojie, Xu Jianying, et al. Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on “Source-Sink” ecological processes[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2406–2413. (in Chinese with English abstract)
- [24] 索安宁, 王天明, 王辉, 等. 基于格局-过程理论的非点源污染实证研究: 以黄土丘陵沟壑区水土流失为例[J]. *环境科学*, 2006, 27(12): 2415–2420.
Suo Anning, Wang Tianming, Wang Hui, et al. Empirical study on non-point sources pollution based on landscape pattern and ecological processes theory: a case of soil water loss on the Loess Plateau in China[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(12): 2415–2420. (in Chinese with English abstract)
- [25] 陈利顶, 丘君, 张淑荣, 等. 复杂景观中营养型非点源污染物时空变异特征分析[J]. *环境科学*, 2003, 24(3): 85–90.
Chen Liding, Qiu Jun, Zhang Shurong, et al. Tempo-spatial variation of non-point source pollutants in a complex landscape[J]. *Environmental Science*, 2003, 24(3): 85–90. (in Chinese with English abstract)
- [26] Chen L D, Fu B J, Zhang S R, et al. A comparative study on nitrogen concentration dynamic in surface water in Heterogeneous Landscape [J]. *Environmental Geology*, 2002, 42(4): 424–432.
- [27] Hood E W, Williams M W, Caine N. Landscape controls on organic and inorganic nitrogen leaching across an alpine/subalpine ecotone, green. lakes valley, colorado front range [J]. *Ecosystem*, 2003, 6: 31–45.
- [28] 王卫平, 洪华生, 张玉珍, 等. 九龙江污染物入海通量初步估算[J]. *海洋环境科学*, 2006, 25(2): 45–47.
Wang Weiping, Hong Huasheng, Zhang Yuzhen, et al. Preliminary estimate for the contaminations fluxes from Jiulong River to the sea[J]. *Marine Environmental Science*, 2006, 25(2): 45–47. (in Chinese with English abstract)

Analysis on linkage between farm landscape and water quality in Jiulong River watershed

Sun Qinqin^{1,2}, Huang Jinliang^{1*}, Hong Huasheng^{1,2}, Li Qingsheng¹, Lin Jie¹, Feng Yuan¹

(1. Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Correlation analysis was performed to explore the relationships between COD_{Mn} , $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP and farm landscape in the Jiulong River watershed. Linear regressions between water quality and farm land percents were also processed in flood season, dry season and average season. The results showed that the total proportion of farm lands located in the slopes less than 15 degrees and greater than 25 degrees were positively correlated with COD_{Mn} , $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and TP concentrations in the water. Contagion index (CONTAG) of farm lands was positively correlated with TP concentrations, and Shannon Diversity Index (SHDI) of farm lands was negatively correlated with TP concentrations. The determinate coefficients were 0.565 and -0.527, respectively. Water eutrophication was susceptible to farm land pollutions in flood season and dry season. The farm lands located in the slopes less than 15 degrees took up 74.3% in the 100m-width riparian buffer. The farm lands located in the riparian buffer and in the deep slopes played a crucial role in water quality management, especially the non-point source pollution control in the Jiulong River watershed.

Key words: water quality, farm, environmental impact, non-point source pollution, slope, landscape metrics