

龙川江上游典型小流域农业面源污染物排放特征与评价

董磊^{1,2,3}, 翟文亮^{1,2}, 潘雄^{1,2}, 林莉^{1,2*}, 张胜^{1,2} (1.长江水利委员会长江科学院, 湖北武汉 430010; 2.流域水资源与生态环境科学湖北省重点实验室, 湖北武汉 430010; 3.华中科技大学化学与化工学院, 湖北武汉 430074)

摘要 [目的]为了解龙川江上游小流域农业面源污染现状和特征,制定相应的农业面源防控措施,对流域内农业面源污染情况进行调查分析和评价。[方法]基于2019年7月份现场勘查,通过对龙川江上游典型小流域内五街镇、沙桥镇、龙川镇、雨露白族自治乡4个乡镇的27个行政村的农业种植、人居生活源(农村生活污水、生活垃圾)、畜禽养殖进行实地勘查,并对污染负荷进行系统评价分析。[结果]龙川江上游小流域内4个乡镇的面源污染排放源中,农业种植污染源污染物的排放入河量和污染负荷率最大,分别为1 552.48 t/a和86.31%;人居生活源污染物的排放入河量和污染负荷率分别是227.89 t/a和12.67%;畜禽养殖污染源污染物的排放入河量和污染负荷率分别是18.04 t/a和1.02%。在COD、NH₃-N、TN、TP评价因子中,污染负荷率最高的是COD,达92.08%,TN污染负荷率为6.33%,NH₃-N和TP的污染负荷率分别为0.89%、0.70%。[结论]农业种植是龙川江上游小流域农业面源的主要来源,也是该小流域农业面源污染防控的重点。

关键词 龙川江上游;小流域;农业面源污染;排放特征;评价

中图分类号 X71 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)02-0059-07

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.02.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Discharge Characteristics and Evaluation of Agricultural Non-point Source Pollutants in Typical Small Watersheds in the Upper Reaches of Longchuan River

DONG Lei^{1,2,3}, ZHAI Wen-liang^{1,2}, PAN Xiong^{1,2} et al (1.Changjiang River Scientific Research Institute, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan, Hubei 430010; 2. Key Laboratory of Basin Water Resource and Eco-environmental Science in Hubei Province, Wuhan, Hubei 430010; 3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074)

Abstract [Objective] In order to understand the status and characteristics of agricultural non-point source pollution in the small watershed of the upper reaches of the Longchuan River, and formulate corresponding agricultural non-point source pollution prevention and control measures, the agricultural non-point source pollution in the basin was investigated, analyzed and evaluated. [Method] Based on the site survey in July 2019, through field surveys of agricultural plant pollution source, human living pollution sources (rural domestic sewage, rural domestic garbage) and livestock and poultry pollution source in 27 administrative villages in Wujie Town, Shaqiao Town, Longchuan Town and Yulu Town in typical small watersheds in the upper reaches of the Longchuan River, and the pollution load was systematically evaluated and analyzed. [Result] Among the non-point source pollution emission sources of the four townships in the small watershed of the upper reaches of Longchuan River, the agricultural plant pollution source had the largest discharge volume and pollution load rate, which were 1 552.48 t/a and 86.31%, respectively. As to the human living pollution sources, the discharge into the river and the pollution load rate were 227.89 t/a and 12.67%, respectively. As to the livestock and poultry pollution sources, the discharge into the river and the pollution load rate were 18.04 t/a and 1.02%, respectively. Among the four evaluation factors of COD, NH₃-N, TN and TP, the highest pollution load rate was COD, reaching 92.08%, the TN pollution load rate was 6.33%, and the pollution load rates of NH₃-N and TP were 0.89% and 0.70%, respectively. [Conclusion] The agricultural plant pollution source is the main source of agricultural non-point source in the small watershed of the upper reaches of Longchuan River, and it is also the key point of agricultural non-point source pollution prevention and control in the small watershed.

Key words Upper reaches of Longchuan River; Small watershed; Agricultural non-point source pollution; Discharge characteristics; Evaluation

农村面源污染是指农村地区在农业生产和居民生活过程中产生的、未经合理处置的污染物(如化肥、农药、废污水等)对水体、土壤和空气及农产品造成的污染,农业面源污染的严重性和防治的必要性已经引起了国内外学者和管理部门的关注。据报道,美国的面源污染占污染总量的2/3,其中农业面源污染贡献率占68%~83%^[1];荷兰的农业面源污染产生的总氮、总磷污染负荷分别占水环境污染总负荷的60%和40%~50%^[2];丹麦270条河流94%的氮负荷和52%的磷负荷来自农业面源污染^[3]。在我国,农业面源污染形势也十分严峻,2010年《第一次全国污染源普查公报》显示,农业面源污染(种植业、畜禽养殖业、水产养殖业)已成为污染源之

首,其氮磷排放量分别占总排放量的57.2%和67.4%^[4]。

目前,常用的污染负荷估算方法有排污系数法、监测法、模型法、清单分析法等^[5]。唐肖阳等^[5]对汉江流域农业面源污染进行分析与评价,结果表明农田化肥污染和畜禽养殖是该流域内主要污染源,是农业面源污染防控的重点。王国重等^[6]对桃庄河小流域农田面源污染进行调查与评价,利用SCS模型估算了该流域内农田中的径流量和养分流失量,并给出综合治理建议。王萌等^[7]运用改进的输出系数模型结合入河系数对三峡库区农业面源氮磷污染负荷进行分析,认为农田种植和畜禽养殖是总氮、总磷负荷的主要贡献源。宋大平等^[8]采用清单分析法和排污系数法对淮河流域农业面源污染物的排放进行调查分析,结果表明该小流域农业面源污染的主要来源是农田种植和畜禽养殖,其次是农村生活。相对于点源污染,面源污染的特点是固定的排污口,且具有随机性、不确定性和时空分布不均性等特点,其治理难度更大,因此估算农业面源污染负荷和贡献强度对掌握区域水环境主要污染物来源以及面源污染控制具有重要意义。

基金项目 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CKSF2021480/SH,CKSF2017062/SH);湖北省自然科学基金面上项目(2020CFB663)。

作者简介 董磊(1987—),男,河南信阳人,工程师,在读博士,从事流域水生态环境治理与修复研究。*通信作者,正高级工程师,博士,硕士生导师,从事流域水生态环境治理与修复研究。

收稿日期 2021-05-07

龙川江属于金沙江南岸一级支流,为了解该流域农业面源污染现状和特征,对流域内农业面源污染情况进行分析与评价。笔者选取龙川江上游典型小流域作为研究对象,基于GIS技术,结合SCS模型和RUSLE模型,分析流域内农业种植污染特征,采用排污系数法估算流域人居生活源(农村生活污水、生活垃圾)、畜禽养殖畜中各污染源负荷和污染物排放总量,以期为龙川江农业面源污染防治提供科学依据,进而为长江流域农业面源污染的综合治理奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况 龙川江为金沙江南岸一级支流,全长257 km,全流域面积9 187 km²,流域内年均降水量为800~1 000 mm,发源于楚雄彝族自治州的南华县天子庙坡东侧,在元谋北部的江边乡汇入金沙江,是云南省南华、楚雄、牟

定、元谋坝区农业的主要灌溉水源,其水质安全对当地经济发展有极其重要的意义^[9]。龙川江上游指的是楚雄小河口水文站以上区域,河段总长96 km,流经南华县和楚雄市,流域面积为1 788 km²,位于100°58′~101°38′E、24°50′~25°29′N^[10],流域内面源污染较严重,影响整个龙川江流域水质安全。

研究区域为龙川江上游典型小流域(老厂河水库至小天城出境断面),属云南省南华县境内河段,流域面积为685.7 km²,汇水范围内各乡镇及村落分布见图1,主要涉及沿线4个乡镇(五街镇、沙桥镇、龙川镇、雨露白族自治乡),辖27个村委会。基于现场查勘和历史资料收集整理,龙川江上游典型小流域内主要农业面源污染包括农业种植、农村生活污水、生活垃圾和畜禽养殖等。

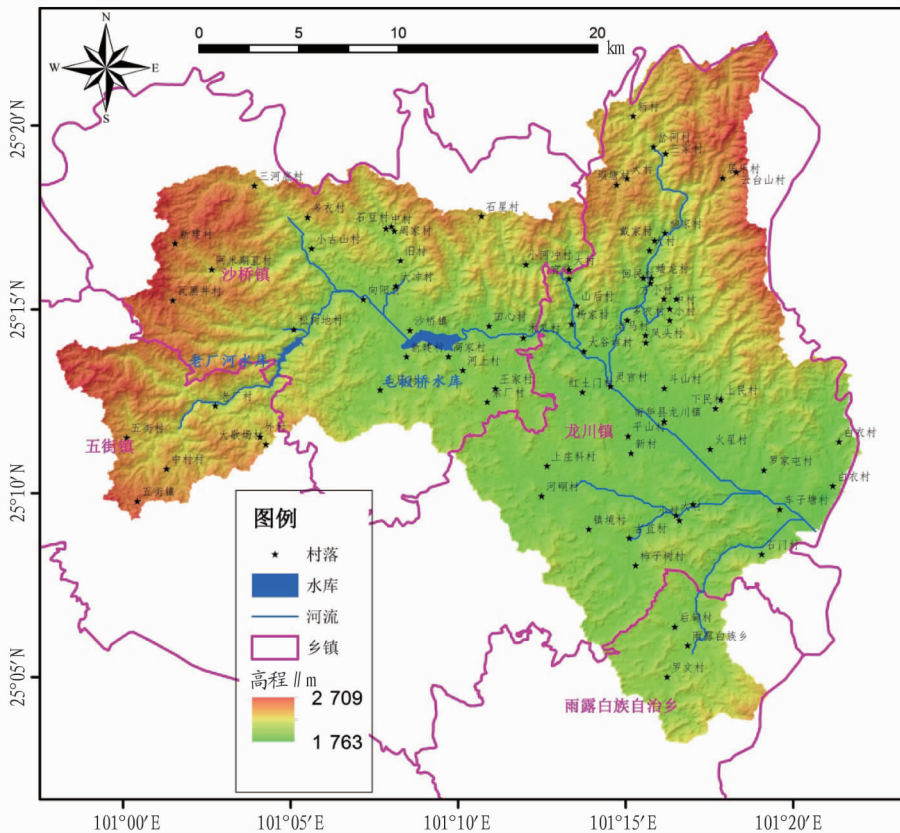


图1 研究区域汇水范围内各乡镇及村落分布

Fig.1 Distribution of townships and villages within the catchment area of the study area

1.2 数据来源 为详细了解龙川江上游典型小流域农业面源污染现状,对汇水范围内的五街镇、沙桥镇、龙川镇、雨露白族自治乡4个乡镇27个行政村内的农业种植、农村生活污水、农村生活垃圾和畜禽养殖等进行实地调查。该研究数据主要来源于相关文献、年鉴、标准以及相关统计报告等^[11-22],现场勘查以行政村为基本单元。

1.3 污染排放估算方法 选用化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)和总磷(TP)作为评价因子,通过实地调查并结合有关统计资料,分析龙川江上游典型小流域内农业种植、农村生活污水、分散式畜禽养殖、生活垃圾和水产养殖各类污染物对农业面源污染的影响及贡献比。

1.3.1 农业种植。 现场调研发现,农业种植是主要产业之一,农村用地面积大,作物类型多样,主要种植农作物有水稻、麦类、油菜、玉米和马铃薯等。基于现场调研,南华县农业种植方式所施用的大量农药、化肥通过地表径流汇入流域内各地表水体,成为影响流域水质的重要因素。农业种植污染负荷主要包括颗粒态和溶解态两部分。其中,颗粒态负荷是指由土壤侵蚀产生的泥沙携带进入受纳水体的污染物;溶解态负荷是指随径流直接进入受纳水体的水溶性污染物。利用GIS软件,对龙川江上游典型小流域汇水范围内各幅DEM数据进行拼接和投影变换等步骤,生成汇水区GRID地图(图2)。

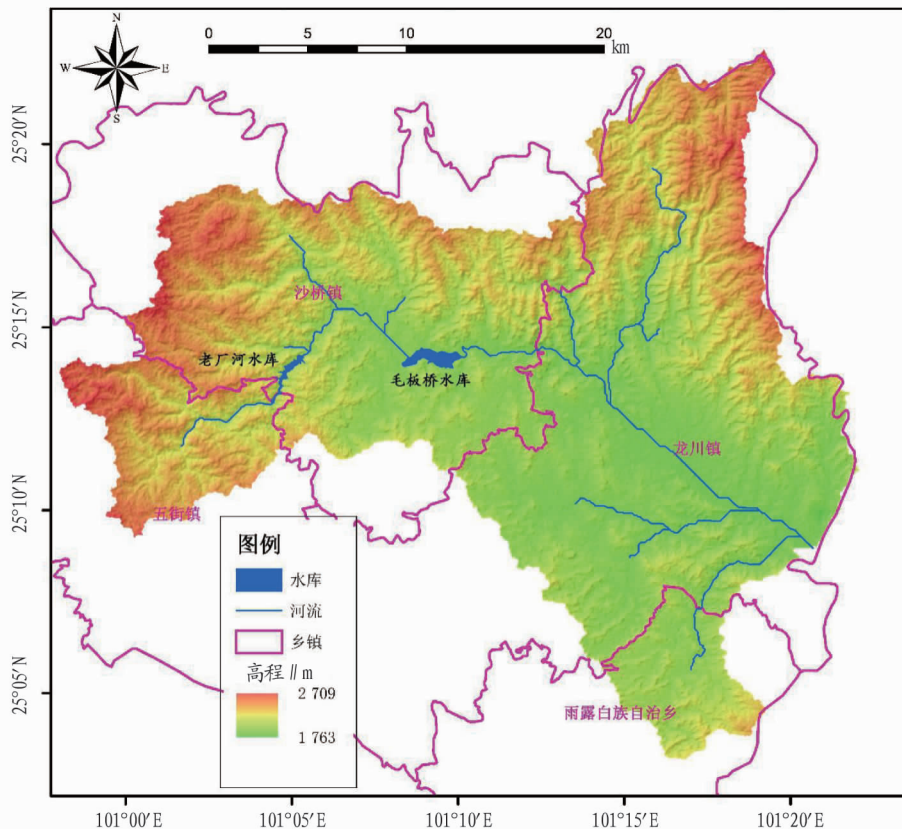


图 2 研究区域汇水区地形

Fig.2 Topography of the catchment area of the study area

对地形图进行填洼、分析流向、计算累积流等处理,提取龙川江上游典型小流域汇水范围内的河道水系,计算农业种植污染总负荷。

(1) 农业种植污染总负荷。计算公式如下:

$$L_a = L_s + L_d \quad (1)$$

式中, L_a 表示农业种植污染总负荷, $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; L_s 表示颗粒态污染负荷, $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; L_d 表示径流中某种土地利用类型的溶解态污染负荷, $\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

(2) 颗粒态污染负荷。计算公式如下:

$$L_s = \alpha \times S_d \times \eta \times C_s \times A \quad (2)$$

式中, α 表示换算系数, 为 1 000; S_d 表示泥沙输移比, 无量纲; η 表示土壤污染物富集比, 无量纲; C_s 表示颗粒态污染物含量, %; A 表示土壤流失量, $\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 采用 RUSLE 模型计算。

(3) 溶解态污染负荷。计算公式如下:

$$L_d = \beta \times C_d \times Q \quad (3)$$

式中, β 为换算系数, 为 0.01; C_d 为径流中某种土地利用类型的污染物浓度^[11]; Q 为年径流深, 利用 SCS 模型计算。

1.3.2 生活污水。农村生活污水污染负荷计算公式如下:

$$W_{li} = \alpha_i \times P \times L_{li} \times 365 \times 10^{-6} \quad (4)$$

式中, i 为污染物种类; W_{li} 为农村居民生活污染负荷, t/a ; P 为农村居住区人口数, 人; L_{li} 为农村人均污染物排放定额, $\text{g}/(\text{人} \cdot \text{d})$; α_i 为农村居民生活污染物入河系数。

结合相关规范^[12]和参考文献^[13-14], 农村居民用水定额

按 50 L/(人·d) 计。排水量取用水量的 80%, 排水量为 40 L/(人·d)。南华县龙川江流域农村生活 COD 排放系数为 23 g/(人·d), $\text{NH}_3\text{-N}$ 排放系数为 1.50 g/(人·d), TN 排放系数为 2.56 g/(人·d), TP 排放系数为 0.51 g/(人·d)。

1.3.3 生活垃圾。参考全国第一次污染源普查生活源产排污系数^[15], 结合面源污染调查研究文献^[16-18], 确定产污系数, 以现场勘察的生活垃圾排放情况为依据, 确定龙川江上游典型小流域居民生活垃圾产生量为 0.5 kg/(人·d), COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 TP 的产污系数分别为 50.0、1.8、2.5 和 1.0 g/(人·d)。

1.3.4 畜禽养殖。龙川江上游典型小流域内存在少量规模化畜禽养殖场, 大部分是分散式畜禽养殖场。流域内的畜禽养殖各污染物的产污系数参照全国第一次污染源普查生活源产排污系数^[15]、中国农村统计年鉴^[19]、中国畜牧业年鉴^[20]以及相关文献^[21-22], 畜禽养殖的排放系数如表 1 所示。

表 1 畜禽粪便产污系数

Table 1 Pollution production coefficient of livestock and poultry manure

畜禽名称 Name of livestock and poultry	粪便产生量 Faeces output	污染物产生量 Pollutant output g/(头·d)或g/(只·d)			
		COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
大牲畜 Big livestock	18.0 kg/(头·d)	665	21.30	42.6	15.5
猪 Pig	3.0 kg/(头·d)	90	2.85	5.7	2.0
家禽 Poultry	0.1 kg/(只·d)	2	0.15	0.3	0.1

畜禽养殖污染负荷计算公式如下:

$$W_{2i} = \alpha_2 \times N \times L_{2i} \times 10^{-3} \quad (5)$$

式中, i 为污染物种类; W_{2i} 为畜禽养殖污染负荷, t/a ; N 为畜禽存栏数, 头或只; L_{2i} 为单位畜禽的污染物排放量, $kg/(头 \cdot a)$ 或 $kg/(只 \cdot a)$; α_2 为畜禽养殖污染物入河系数。

2 结果与分析

2.1 农业种植污染源贡献量估算 利用 GIS 软件, 提取龙川

江上游典型小流域汇水区(包括五街镇、沙桥镇、龙川镇及雨露白族自治乡), 根据汇水区内的土地利用类型(图 3), 基于 SCS 模型估算溶解态农业种植负荷^[23], 基于 RUSLE 模型估算颗粒态农业种植负荷^[24], 按照种植业面源计算方法, 分别计算溶解态和颗粒态农业种植污染负荷。

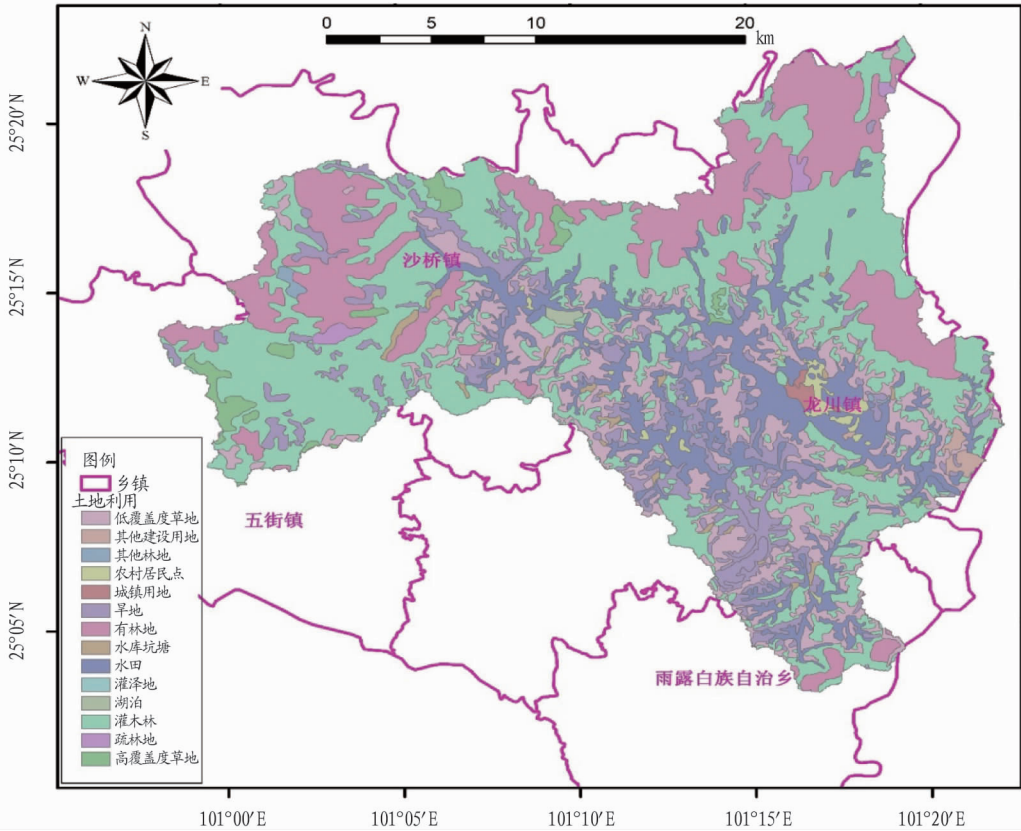


图 3 研究区域汇水区土地利用类型分布

Fig.3 Distribution of land use types in the catchment area of the study area

2.1.1 溶解态农业种植负荷。从龙川江上游典型小流域汇水区各乡镇农业种植溶解态负荷(表 2)可以看出, 龙川江汇水区(包括五街镇、沙桥镇、龙川镇、雨露白族自治乡)溶解态 COD、 NH_3-N 、TN、TP 负荷分别为 1 444.02、5.03、91.05、

5.54 t/a 。其中各乡镇溶解态 COD 负荷从大到小依次为龙川镇、沙桥镇、五街镇、雨露白族自治乡; 各乡镇溶解态 NH_3-N 、TN、TP 负荷从大到小依次为龙川镇、沙桥镇、雨露白族自治乡、五街镇。

表 2 龙川江上游小流域汇水区各乡镇农业种植溶解态污染负荷

Table 2 Dissolved pollution loads of agricultural plantations in various townships in the catchment area in the small catchment of the upper reaches of the Longchuan River

乡镇名称 Township name	面积 Area// km^2	径流量 Runoff// $万 m^3$	溶解态污染负荷 Dissolved pollution loads// t/a			
			COD	NH_3-N	TN	TP
五街镇 Wujie Town	59.70	417.04	126.26	0.28	6.10	0.34
沙桥镇 Shaqiao Town	224.00	1 613.43	485.30	1.46	27.89	1.66
龙川镇 Longchuan Town	324.30	2 580.19	743.57	2.89	50.47	3.11
雨露白族自治乡 Yulubai Autonomous Township	37.97	298.69	88.89	0.40	6.59	0.43
合计 Total	645.97	4 909.35	1 444.02	5.03	91.05	5.54

2.1.2 颗粒态农业种植负荷。经统计(图 4), 龙川江上游典型小流域汇水区(包括五街镇、沙桥镇、龙川镇、雨露白族自治乡)农业种植颗粒态 TN 负荷为 4.36 t/a 、颗粒态 TP 负荷为 2.48 t/a , 其中龙川镇颗粒态 TN、TP 分别为 4.20、2.40 t/a 。

因此, 龙川江汇水区(包括五街镇、沙桥镇、龙川镇、雨露白族自治乡)农业种植总负荷 COD 为 1 444.02 t/a , NH_3-N 为 5.03 t/a , TN 为 95.41 t/a , TP 为 8.02 t/a , 具体污染物负荷见表 3。由于种植面积及综合施肥等因素的影响, 龙川镇在该流域内种植业化肥污染物入河量和污染负荷率均最大, 分别为 806.65 t/a 和 51.96%; 雨露白族自治乡种植业化肥污染

物入河量和污染负荷率均最小,分别为 96.31 t/a 和 6.20%。

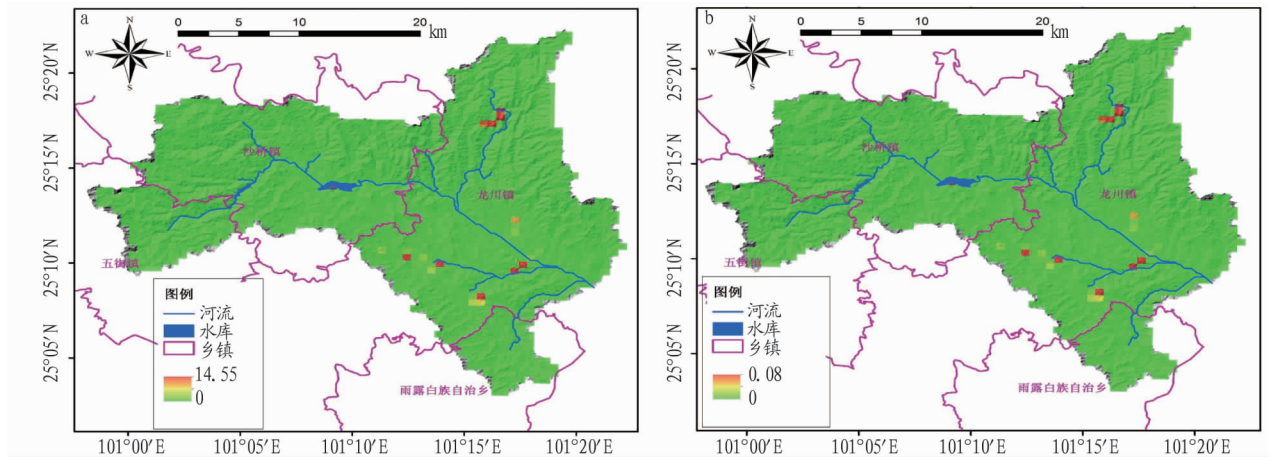


图 4 龙川江上游典型小流域汇水区农业种植颗粒态 TN (a) 和 TP (b) 污染负荷分布(单位: t/a)

Fig.4 The distribution of TN (a) and TP (b) pollution load of particulate pollution load on agricultural crops in the catchment area of a typical small watershed in the upper reaches of the Longchuan River

表 3 龙川江上游典型小流域汇水区各乡镇农业种植污染负荷

Table 3 Pollution load of agricultural crops in various townships in the catchment area of typical small watersheds in the upper reaches of the Longchuan River

乡镇名称 Township name	污染负荷 Pollution load//t/a					污染负荷率 Pollution load rate//%
	COD	NH ₃ -N	TN	TP	合计 Total	
五街镇 Wujie Town	126.26	0.28	6.10	0.34	132.98	8.57
沙桥镇 Shaqiao Town	485.30	1.46	28.04	1.74	516.54	33.27
龙川镇 Longchuan Town	743.57	2.89	54.68	5.51	806.65	51.96
雨露白族自治乡 Yulubai Autonomous Township	88.89	0.40	6.59	0.43	96.31	6.20
合计 Total	1 444.02	5.03	95.41	8.02	1 552.48	100
污染负荷率 Pollution load rate//%	93.01	0.32	6.15	0.52	100	—

2.2 生活污水污染源贡献量估算 龙川江上游典型小流域内的广泛农村地区均不具备排水管网,生活污水未经处理直接排入附近的受纳水体,最终进入龙川江。经现场调研和资料收集,南华县农村生活污水涉及 4 个乡镇(五街镇、沙桥镇、龙川镇、雨露白族自治乡)、27 个村委会、10 788 户、45 141 人,龙川江上游典型小流域汇水区农村生活污水直排问题较严重。

农村生活污水产生后,考虑排放后的生活污水经雨水冲刷后以地表径流的方式入龙川江,根据农村生活污水处理项

目建设与投资技术指南^[25]、西南地区农村生活污水处理技术指南^[26]等报告研究结论,大部分污染物流失,南华县农村生活污水的流失率约 70%,由此得出农村生活污染源污染物的入河系数约 0.3。

由表 4 可知,COD、NH₃-N、TN 和 TP 的污染物排放入河量分别为 113.70、7.39、13.14 和 2.54 t/a。从空间分布上看,沙桥镇在该流域内生活污水污染物入河量和污染负荷率均最大,分别为 73.62 t/a 和 53.83%;雨露白族自治乡生活污水污染物入河量和污染负荷率均最小,分别为 11.09 t/a 和 8.11%。

表 4 龙川江上游典型小流域汇水区各乡镇生活污水污染负荷

Table 4 Domestic sewage pollution load in each township in the catchment area of a typical small watershed in the upper reaches of the Longchuan River

乡镇名称 Township name	污染负荷 Pollution load//t/a					污染负荷率 Pollution load rate//%
	COD	NH ₃ -N	TN	TP	合计 Total	
五街镇 Wujie Town	10.34	0.67	1.19	0.23	12.43	9.09
沙桥镇 Shaqiao Town	61.22	3.99	7.05	1.36	73.62	53.83
龙川镇 Longchuan Town	32.95	2.15	3.80	0.73	39.63	28.97
雨露白族自治乡 Yulubai Autonomous Township	9.19	0.58	1.10	0.22	11.09	8.11
合计 Total	113.70	7.39	13.14	2.54	136.77	100
污染负荷率 Pollution load rate//%	83.13	5.40	9.61	1.86	100	—

2.3 生活垃圾污染源贡献量估算 龙川江上游典型小流域内各乡镇人居生活垃圾由政府统一处理,但现场查勘了解,该流域有部分垃圾进入沟渠、河道等。结合现场实际查勘情

况,垃圾流失率按总产生量的 10%计。由表 5 可知,龙川江上游典型小流域汇水区农村生活垃圾污染物入河系数取 0.1, COD、NH₃-N、TN 和 TP 的污染排放入河量分别为 82.38、

2.96、4.12和1.66 t/a。从空间分布上看,沙桥镇在该流域内生活垃圾污染物入河量和污染负荷率均最大,分别为

49.09 t/a和53.87%;雨露白族自治州生活垃圾污染物入河量和污染负荷率均最小,分别为7.36 t/a和8.08%。

表5 龙川江上游典型小流域汇水区各乡镇生活垃圾污染负荷

Table 5 Domestic garbage pollution load in towns and villages in the typical small watershed of the upper reaches of the Longchuan River

乡镇名称 Township name	污染负荷 Pollution load//t/a					污染负荷率 Pollution load rate//%
	COD	NH ₃ -N	TN	TP	合计 Total	
五街镇 Wujie Town	7.48	0.27	0.38	0.15	8.28	9.09
沙桥镇 Shaqiao Town	44.38	1.60	2.22	0.89	49.09	53.87
龙川镇 Longchuan Town	23.86	0.85	1.19	0.49	26.39	28.96
雨露白族自治州 Yulubai Autonomous Township	6.66	0.24	0.33	0.13	7.36	8.08
合计 Total	82.38	2.96	4.12	1.66	91.12	100
污染负荷率 Pollution load rate//%	90.41	3.25	4.52	1.82	100	—

2.4 畜禽养殖污染源贡献量估算 调查龙川江上游典型小流域汇水区各乡镇人口及养殖业情况,项目区域内的养殖以生猪、牛和家禽(蛋鸡为主)为主,养殖量统计如表6所示。小流域内沙桥镇和龙川镇畜禽养殖数量较大,主要原因是大型规模养殖场较多;五街镇和雨露白族自治州畜禽养殖场少,主要是小规模养殖场较少,大部分以农户散养为主。

对于畜禽废渣以回收等方式进行处理的污染源,按照产生量的12%计算污染物的流失量。畜禽养殖污水产生后,其污染负荷从源头至目标水体的输移过程中,会产生衰减,且这种衰减会随着输移距离(或时间)的增大而增加,最终仅有部分污染物进入目标水域。参考《中国环境经济核算技术指南》^[27]中推荐畜禽养殖的入河系数北方取0.20、南方取0.35,龙川江上游典型小流域内的入河系数取0.35。

从表7可看出,流域内4个乡镇的养殖业污染源共向水体排放污染物18.42 t/a,污染物主要以COD为主,占比88.06%。沙桥镇畜禽养殖污染物排放总量高达8.39 t/a,占污染物排放总量的45.55%,主要由于沙桥镇畜禽养殖场较

多;龙川镇的污染物排放总量和污染负荷率分别是5.34 t/a、28.99%;五街镇和雨露白族自治州家禽养殖污染物排放总量和污染负荷率较低,分别为2.48 t/a(13.46%)、2.21 t/a(12.00%)。

表6 龙川江上游典型小流域汇水区各乡镇人口及养殖业情况

Table 6 Population and aquaculture of various townships in the catchment area of a typical small watershed in the upper reaches of the Longchuan River

乡镇名称 Township name	畜牧养殖数量 Number of livestock breeding			常住人口 Permanent population 人
	牛 Cow 头	生猪 Pig 头	家禽 Poultry 只	
五街镇 Wujie Town	52	959	10 436	4 104
沙桥镇 Shaqiao Town	258	2 939	23 286	24 307
龙川镇 Longchuan Town	121	2 199	14 521	13 082
雨露白族自治州 Yulubai Autonomous Township	47	851	9 252	3 648
合计 Total	478	6 948	57 495	45 141

表7 龙川江上游典型小流域汇水区各乡镇养殖业污染物排放量

Table 7 Pollutant emissions from aquaculture in towns and villages in the typical small watershed of the upper reaches of the Longchuan River

乡镇名称 Township name	排放量 Emission//t/a					污染负荷率 Pollution load rate//%
	COD	NH ₃ -N	TN	TP	合计 Total	
五街镇 Wujie Town	2.17	0.08	0.17	0.06	2.48	13.46
沙桥镇 Shaqiao Town	7.40	0.27	0.53	0.19	8.39	45.55
龙川镇 Longchuan Town	4.71	0.17	0.34	0.12	5.34	28.99
雨露白族自治州 Yulubai Autonomous Township	1.94	0.07	0.15	0.05	2.21	12.00
合计 Total	16.22	0.59	1.19	0.42	18.42	100
污染负荷率 Pollution load rate//%	88.06	3.20	6.46	2.28	100	—

2.5 农业面源污染综合贡献量及比率估算 从表8可看出,龙川江上游典型小流域汇水区农业面源污染排放源中,农业种植污染源污染物的排放入河量和污染负荷率均最大,分别为1 552.48 t/a和86.31%;其次是人居生活源(包括农村生活污水、生活垃圾),其污染物的排放入河量和污染负荷率分别为227.89 t/a和12.67%;畜禽养殖带来的污染物排放入河量和污染负荷率均最小,分别是18.40 t/a和1.02%。在4个评价因子中,COD的污染负荷率最高,达92.08%;其次是TN,污染负荷率为6.33%;NH₃-N和TP的污染负荷率分别为

0.89%、0.70%。

2.6 农业面源污染主要防控对策 龙川江上游典型小流域农业面源污染的主要污染源是农业种植污染,主要由于种植业中化肥施用过量、不合理的施肥结构造成。建议加强公益性的农业环保宣传和科学培训,加强流域农业种植污染防治的制度建设和政策扶持,推进农业种植业结构调整,建立健全的农业种植污染监测体系,严格控制化肥施用强度^[28],提高农作物秸秆综合利用率,大力推广精准测土配方施肥、水肥一体化技术,加快推进环境友好型农业种植模式。

表 8 龙川江上游典型小流域汇水区各面源污染综合排入河量

Table 8 Comprehensive discharge of non-point source pollution into the catchment area in the typical small watershed of the upper reaches of the Longchuan River

污染源 Pollution source	排入河量 Discharge into river//t/a				合计 Total	污染负荷率 Pollution load rate//%
	COD	NH ₃ -N	TN	TP		
农业种植 Agricultural planting	1 444.02	5.03	95.41	8.02	1 552.48	86.31
生活污水 Domestic sewage	113.69	7.39	13.14	2.54	136.76	7.60
生活垃圾 Domestic waste	82.38	2.97	4.12	1.66	91.13	5.07
畜禽养殖 Livestock and poultry breeding	16.22	0.59	1.18	0.41	18.40	1.02
合计 Total	1 656.31	15.99	113.85	12.63	1 798.77	100
污染负荷率 Pollution load rate//%	92.08	0.89	6.33	0.70	100	—

人居生活污染主要是由于该流域内人口较密集和当地居民生态环保意识不强等原因。针对生活污水,建议加大环保宣传和培训,提高居民参与农村生态环境保护意愿,减少生活废水的排放。过程中可采用自然生态处理方法对农村生活污水进行有效去除,如构建人工湿地^[29]、一体化污水处理设备等^[30]。针对生活垃圾,应进一步完善龙川江流域农村生活垃圾收集、转运、处理系统建设,提高垃圾收集率和处理率;强化生活垃圾的分类、收集处理措施和制度,增强生活垃圾的分类宣传与推广,提高村民环境保护意识^[31]。

畜禽养殖污染应推进畜禽养殖制度化和规范化,对区域畜禽养殖散户废物的排放和治理进行统一规划,强制监管,强化粪污资源化利用,建立雨污分离的化粪池,强化畜禽养殖的监督管理。建立良性生态循环模式,将畜禽养殖的废物以及种植业自身产生的秸秆等资源转化为种植业可利用的化肥等资源以及能源,逐步推广种养结合、农牧循环的生态健康养殖模式^[32-33]。

3 结论与讨论

(1) 龙川江上游典型小流域汇水区面源污染贡献从大到小依次为农业种植(86.31%)、生活污水(7.60%)、生活垃圾(5.07%)、畜禽养殖(1.02%)。

(2) 农业种植业污染源共向水体排放污染物 1 552.48 t/a,主要以 COD 为主,其排入河量占污染物排入河总量的 80.28%,其次是 TN,污染物排入河量达 95.41 t/a,污染负荷率为 5.30%。人居生活污染源方面,农村生活污水、生活垃圾排入河污染物分别是 136.76、91.13 t/a,污染物均以 COD 为主。畜禽养殖业中入河污染物负荷较小,其入河污染物为 18.40 t/a。

(3) 应重点加大对农业种植面源污染防控,推广生态养殖,将种植业与畜禽养殖业相结合形成养殖产业链,实现形成种养结合、综合利用的循环链;同时强化监管,推进农业环境保护宣传与居民参与力度,完善生活垃圾收集、转运、处理系统建设,因地制宜,优化生活污水生态处理技术,采用源头控制、过程阻断和末端控制治理相结合的技术路线,对农业面源污染进行综合防控。

参考文献

[1] 卢少勇,张萍,潘成荣,等.洞庭湖农业面源污染排放特征及控制对策研究[J].中国环境科学,2017,37(6):2278-2286.
[2] 沈珍瑶,刘瑞民,叶闽.长江上游非点源污染特征及其变化规律[M].北

京:科学出版社,2008:1-394.
[3] 王静,郭熙盛,吕国安,等.农业面源污染研究进展及其发展态势分析[J].江苏农业科学,2016,44(9):21-24.
[4] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家统计局,中华人民共和国农业部.全国污染源普查公报[R].2010.
[5] 唐肖阳,唐德善,鲁佳慧,等.汉江流域农业面源污染的源解析[J].农业环境科学学报,2018,37(10):2242-2251.
[6] 王国重,李中原,屈建钢,等.桃庄河小流域农田面源污染特征研究[J].环境科学与技术,2016,39(S1):371-375.
[7] 王萌,王敬贤,刘云,等.湖北省三峡库区 1991—2014 年农业非点源氮磷污染负荷分析[J].农业环境科学学报,2018,37(2):294-301.
[8] 宋大平,左强,刘本生,等.农业面源污染中氮排放时空变化及其健康风险评价研究:以淮河流域为例[J].农业环境科学学报,2018,37(6):1219-1231.
[9] 何敏,周跃,吕喜玺,等.金沙江一级支流龙川江水体氮磷含量动态分析[J].水生态学杂志,2010,31(4):33-37.
[10] 丁文荣.龙川江流域上游地区河流泥沙输移变化及影响因素[J].水电能源科学,2017,35(4):115-119.
[11] 孙慧,张建锋,单奇华,等.宜兴太湖防护林对农业面源污染的减源增汇作用浅析[J].湖泊科学,2015,27(2):227-233.
[12] 张玉蓉,顾也祥,谢波,等.云南省地方标准 用水定额:DB53 T 168—2013[S].云南省质量技术监督局,2013.
[13] 张德刚,汤利,陈永川,等.滇池流域典型城郊村镇排放污水氮、磷特征分析[J].农业环境科学学报,2007,26(6):2245-2250.
[14] 严婷婷,王红华,孙治旭,等.滇池流域农村生活污水产排污系数研究[J].环境科学导刊,2010,29(4):46-48.
[15] 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,环境保护部南京环境科学研究所.第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册[Z].2009.
[16] 王国重,李中原,左其亭,等.丹江口水库水源区农业面源污染物流失量估算[J].环境科学研究,2017,30(3):415-422.
[17] WU L,GAO J N,MA X Y,et al.Application of modified export coefficient method on the load estimation of non-point source nitrogen and phosphorus pollution of soil and water loss in semiarid regions[J].Environmental science and pollution research,2015,22(14):10647-10660.
[18] WANG X,HAO F H,CHENG H G,et al.Estimating non-point source pollutant loads for the large-scale basin of the Yangtze River in China[J].Environmental earth sciences,2011,63(5):1079-1092.
[19] 国家统计局农村社会经济调查司.中国农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1985-2016.
[20] 农业部畜牧业司,全国畜牧总站.中国畜牧业统计[M].北京:中国农业出版社,1985-2016.
[21] 王方浩,马文奇,窦争霞,等.中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J].中国环境科学,2006,26(5):614-617.
[22] 耿维,胡林,崔建宇,等.中国区域畜禽粪便能源潜力及总量控制研究[J].农业工程学报,2013,29(1):171-179,295.
[23] 沈涛,刘良云,马金峰,等.基于 L-THIA 模型的密云水库地区非点源污染空间分布特征[J].农业工程学报,2007,23(5):62-68.
[24] 史志华,蔡崇法,丁树文,等.基于 GIS 和 RUSLE 的小流域农地水土保持规划研究[J].农业工程学报,2002,18(4):172-175.
[25] 中华人民共和国环境保护部.农村生活污水处理项目建设与投资指南[R].2013.
[26] 中华人民共和国住房和城乡建设部.西南地区农村生活污水处理技术指南[R].2010.

表土替代材料的改良可考虑施加外源性氮肥来提高氮素含量。

3.2 模糊综合评价养分指标权重的确定方法 在模糊综合评价中构建权重向量至关重要,权重的确定方法一般有专家打分法、AHP 法、主成分分析法等,其中主成分分析法应用较为广泛。刘少春等^[20]采用主成分分析法对蔗田土壤 12 个养分指标进行综合评价,结果表明蔗田土壤肥力水平总体偏低。赵蛟等^[9]利用主成分分析法确定权重,采用模糊综合评价法对建瓯市毛竹林土壤肥力开展评价,结果表明建瓯市毛竹林地土壤肥力总体属于中上等水平。该研究采用主成分分析法确定模糊综合评价指标权重分别为 pH 0.28、速效钾 0.26、碱解氮 0.23、有效磷 0.21、有机质 0.02,其中有机质由于在主成分分析中贡献率较低导致其权重最低,权重的大小与表土替代材料养分指标的含量和变异系数关系密切。

3.3 模糊综合评价结果 根据模糊综合评价养分指标的结果,3 组配比中养分指标评价大小关系为 4A>4C>4B,从 A、B、C 3 组表土替代材料的粒径配比情况来看,2.0~3.0 mm 粒径含量较多是 A 组表土替代材料的显著特点,大粒径有利于提高表土替代材料的通透性^[21-22],增强呼吸作用,减少板结,增加表土替代材料的孔隙度,提高持水量,并且由于水分含量高,不易于表土替代材料养分的矿化分解,因此养分含量较高^[23]。而 B 组和 C 组的 0.5~1.0 mm 粒径较多,粒径较小导致表土替代材料透水性差,易板结,不利于植物生长。

4 结论

本研究利用模糊综合评价法对表土替代材料养分指标进行评价,结果表明,pH 是表土替代材料养分指标评价的重要因子,在各个养分指标的含量中速效钾水平最高,其次为有效磷,而有机质和碱解氮的含量较低;变异系数从大到小依次为碱解氮>有机质>有效磷>速效钾>pH。主成分分析结果表明,各指标的权重分别为 pH 0.28、速效钾 0.26、碱解氮 0.23、有效磷 0.21、有机质 0.02。模糊综合评价结果表明,4A 配比[其粒径配比 1 号剥离物(2.0~3.0 mm):2 号剥离物(2.0~3.0 mm):3 号剥离物(1.0~2.0 mm):4 号剥离物(1.0~2.0 mm):5 号剥离物(0.5~1.0 mm)=4:4:2:1:3]明显优于其他配比,为此次试验筛选出的最优配比。

(上接第 65 页)

- [27] 於方,王金南,曹东.中国环境经济核算技术指南[M].北京:中国环境科学出版社,2009.
- [28] 刘钦普.中国化肥施用强度及环境安全阈值时空变化[J].农业工程学报,2017,33(6):214-221.
- [29] 白晓龙,杨春和.农村畜禽养殖废水处理技术与展望[J].中国资源综合利用,2015,33(6):30-34.

参考文献

- [1] 刘雪冉,胡振琪,许涛,等.露天煤矿表土替代材料研究综述[J].中国矿业,2017,26(3):81-85.
- [2] SHRESTHA R K, LAL R. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation[J]. Geoderma, 2011, 161(3/4): 168-176.
- [3] FELLETT G, MARCHIOL L, DELLE VEDOVE G, et al. Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation[J]. Chemosphere, 2011, 83(9): 1262-1267.
- [4] BOYER S, WRATTEN S D. The potential of earthworms to restore ecosystem services after opencast mining-A review[J]. Basic and applied ecology, 2010, 11(3): 196-203.
- [5] 胡振琪,位蓓蕾,林衫,等.露天矿上覆岩土层中表土替代材料的筛选[J].农业工程学报,2013,29(19):209-214.
- [6] DUMANSKI J, PIERI C. Land quality indicators; Research plan[J]. Agriculture ecosystems & environment, 2000, 81(2): 93-102.
- [7] WANG J, FU B J, QIU Y, et al. Analysis on soil nutrient characteristics for sustainable land use in Danangou catchment of the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2003, 54(1/2): 17-29.
- [8] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [9] 赵蛟,徐梦洁,庄舜尧,等.基于模糊综合评价法的建瓯市毛竹林地土壤肥力评价[J].土壤通报,2018,49(6):1428-1435.
- [10] 靳晓.大兴安岭天然次生林土壤肥力的评价模型[D].哈尔滨:东北林业大学,2019.
- [11] 王建国,杨林章,单艳红.模糊数学在土壤质量评价中的应用研究[J].土壤学报,2001,38(2):176-183.
- [12] 张凤荣,安萍莉,王军艳,等.耕地分等中的土壤质量指标体系与分等方法[J].资源科学,2002,24(2):71-75.
- [13] 邢启鑫,饶良懿,王志臻,等.内蒙古砒砂岩不同类型区土壤有机质与速效钾特征[J].水土保持学报,2019,33(6):257-264,272.
- [14] 居玛汗·卡斯木,张丽娜,范鹏,等.黄土高原不同生态类型区果园地土壤肥力特征综合评价及其区域差异特征研究[J].水土保持研究,2015,22(1):316-323.
- [15] 袁海峰,王立民,罗春雨,等.黑瞎子岛地区土壤养分特征分析[J].国土与自然资源研究,2018(6):76-81.
- [16] 许文霞,翟勇,黄婷,等.石河子垦区农田土壤有机质和全氮空间分布特征研究[J].土壤通报,2015,46(6):1352-1358.
- [17] 陈双林,郭子武,杨清平.毛竹林土壤酶活性变化的海拔效应[J].生态学杂志,2010,29(3):529-533.
- [18] 张捷,刘洋,张健,等.马尾松人工林林冠层降雨再分配及其氮磷特征[J].生态学杂志,2014,33(6):1451-1458.
- [19] 彭佳佳,胡玉福,肖海华,等.生态修复对川西北沙化草地土壤有机质和氮素的影响[J].干旱区资源与环境,2015,29(5):149-153.
- [20] 刘少春,张跃彬,郭家文,等.基于养分丰缺分级的蔗田土壤肥力主成分综合分析[J].西南农业学报,2016,29(3):611-617.
- [21] 赵明月,赵文武,刘源鑫.不同尺度下土壤粒径分布特征及其影响因素:以黄土丘陵沟壑区为例[J].生态学报,2015,35(14):4625-4632.
- [22] 王静娅,张风华.干旱区典型盐生植物群落土壤团聚体组成及有机碳分布[J].生态学报,2016,36(3):600-607.
- [23] 李有民,周华荣,侯海生.新疆伊犁皮里其河流域表层土壤养分特征[J].干旱区研究,2010,27(2):290-296.
- [30] 周凯,郭林,郜国玉,等.河南省农村生活污水治理现状及政策建议[J].农业现代化研究,2019,40(3):387-394.
- [31] 陈淑媛.欠发达地区农村生活垃圾治理的问题及对策:以罗定市为例[J].安徽农业科学,2018,46(36):67-69.
- [32] 田宜水.中国规模化养殖场畜禽粪便资源化潜力评价[J].农业工程学报,2012,28(8):230-234.
- [33] 李文哲,徐名汉,李晶宇.畜禽养殖废弃物资源化利用技术发展分析[J].农业机械学报,2013,44(5):135-142.