

灰色关联度法在农业非点源污染土壤 影响因子分析中的应用

林绍霞^{1,2}, 林昌虎³, 何腾兵², 张清海¹

(1. 贵州省理化测试分析研究中心, 贵州 贵阳 550001;

2. 贵州大学 生命科学学院, 贵州 贵阳 550025; 3. 贵州科学院, 贵州 贵阳 550001.)

摘要: 农业非点源污染主要是农业活动中引入的外源物质超过土壤环境容量, 营养物质大于作物生长所需, 过剩物质积累于土壤中形成的污染。在对不同利用类型农耕地土壤理化性质测定的基础上, 以林地土壤为参照, 选取黏粒含量、pH值、有机质、全N、全P、水解性N、速效P作为研究指标, 运用灰关联度的原理及方法, 分析了不同土地利用类型、不同耕作制度以及与居民点不同距离所引起的土壤环境污染的差异。结果表明, 农耕地土壤污染发生机率水田>菜地>旱地, 春秋两季耕作土壤>单季耕作土壤, 距居民点越近, 土壤污染越严重。

关键词: 灰色关联度法; 农业非点源污染; 耕地土壤

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)04-0171-04

中图分类号: X825, S152

Application of Grey Relation Grade in the Analysis of Soil Factors Influencing Agricultural Non-point Source Pollution

LIN Shao-xia^{1,2}, LIN Chang-hu^{1,2}, HE Teng-bing¹, ZHANG Qing-hai³

(1. Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. Guizhou Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550001, China; 3. Guizhou Physical and Chemical Testing and Researching Centre, Guiyang, Guizhou 550002, China)

Abstract: Agricultural non-point source pollution is mainly induced by the excess matter accumulated in soil, when the exogenous substances are beyond soil environmental capacity and nutrients are beyond the need of plant growth. Based on the analysis of soil physical and chemical properties in different land uses, clay particle content, pH, organic matter, total nitrogen, total phosphorus, hydrolysis nitrogen, and available phosphorus were chosen as indexes and forest soil was taken as control. Grey relation principle and method were used to analyze soil pollution and its distribution in different land uses, different planting patterns, and different distances from residential areas. Analyses indicate that by soil pollution ratio, cultivated lands are in the order of paddy field>vegetable land>upland and soils are in the order of farmland pollution with two-maturity per year>signal harvest. The shorter distance from a residential area, the heavier soil pollution is.

Keywords: grey relative analysis; agricultural non-point source pollution; farmland soil

土壤既是自然资源的构成要素, 又是农业生产的重要自然资源^[1], 是农业生产的主要载体。随着农业技术水平的提高和农业生产向集约型的转变, 农业生产在接受现代科技成果过程中, 大量农药、化肥、生长素的使用, 造成农业土壤中营养元素的富集以及有毒有害物质的积累^[2]。土壤环境质量逐渐恶化, 进而对水环境构成潜在危害^[3]。污染物在土壤中的环境行为受多种因素的影响, 这些因素对土壤污染程度的贡

献率存在一定的差异, 采用数学方法对污染因子研究, 识别农业非点源污染因子对土壤环境恶化的关联程度及潜在危害性, 对农业非点源污染的防治和农田土壤环境维护具有重要的指导作用。用数学方法定量研究环境问题已经非常普遍^[4], 尤其是利用多元统计和模糊数学对事前不存在分类关系的情况下, 对于边界模糊的问题进行数据结构的定量分析, 最终给予量化的评判标准。因子分析普遍采用统计学的回

收稿日期: 2008-10-13

修回日期: 2009-02-28

资助项目: 贵州省优秀科技教育人才省长专项(黔省专合字(2007)86号)

作者简介: 林绍霞(1983—), 女(汉族), 贵州省开阳县人, 研究实习员, 研究方向为环境污染与防治。E-mail: linsx112233@sina.com。

通信作者: 林昌虎(1961—), 男(汉族), 贵州省盘县人, 研究员, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究工作。E-mail: linchanghu@tom.com。

归分析法,它一般具有较高的精度和置信度,但是这种方法一是需要完备连续的信息资料;二是要求数据分析是线性的或者是典型的;三是计算方法工作量大,且相关系数对数据变化的灵敏度高,有可能出现异常结论。而灰色系统理论可在信息不是很完备或缺损的情况下,对系统进行量化处理,弥补信息不足,以得到较精确的分析结果^[5-9]。

1 材料与方法

1.1 土壤样品的采集与分析

利用 GPS 定位并采集土壤耕作层或表层的混合样。采集土样的土地利用类型包括:旱地、水田、菜园、林地(表 1),其中林地土壤作为对照样品。考虑与农村居民点距离不同,土壤受人类农业生产及生活活动干扰程度不同,分别采集距居民点不同距离土壤做对比分析,同种土地利用方式下的土壤,由于种植作物不同,作物对培肥及田间管理要求不同,土壤受污染程度亦各异,因此在相同地类下采集不同种植制

度的土壤进行对比研究。土壤样品于 3 月中、下旬采集,此间秋播农作物将近成熟期,作物所需养分也达饱和,土壤中营养元素作为过剩物料,会对环境造成污染。同时春播作物未下种,避免由于刚施下肥料,作物未充分利用而暂贮存于土壤中。耕作土样品采集布点于典型耕作田土块内,采集多点混合耕作层土壤 1 kg。

1.2 样品处理与分析

样品自然风干后,按四分法分别制成粒径 2, 1, 0.25 mm 的待测样品。样品测试指标及相应方法分别为:土壤质地采用比重计法;pH 值(H₂O 1:2.5)采用 pH S-5 型酸度计法;有机质采用 K₂CrO₇-H₂SO₄ 外加热法;全氮采用开氏定氮法;碱解氮采用碱解扩散法;全磷采用 H₂SO₄-HClO₄ 消解,钼锑抗比色法;有效氮采用碱解扩散法;速效磷的测定采用:pH≥6.5 用 NaHCO₃ 浸提,pH<6.5 用 NH₄F-HCl 浸提,钼锑抗比色法^[7];供试样品指标测试结果见表 2。

表 1 供试土样信息

编号	土地利用方式	与居民点距离/m	种植作物	备注
CK	林地	300	—	—
1	水田	100	水稻	冬闲田
2	水田	80	水稻—蔬菜	—
3	水田	300	水稻—油菜	—
4	水田	300	水稻	冬闲土
5	水田	< 10	水稻—蔬菜	汇集生活污水、垃圾
6	水田	500	水稻—油菜	—
7	旱地	300	玉米、黄豆套作	冬闲土
8	旱地	50	玉米	冬闲土
9	旱地	> 1 000	玉米—油菜	—
10	旱地	200	玉米—油菜	—
11	菜地	100	蔬菜	蔬菜基地
12	菜地	250	蔬菜	—

表 2 供试样品指标测定结果

编号	黏粒含量/ %	pH 值	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	水解性氮/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)
CK	23.45	4.27	27.85	1.19	0.07	83.27	5.15
1	21.67	6.78	116.16	5.04	0.39	301.47	2.26
2	19.43	6.64	120.78	5.19	0.37	338.45	1.49
3	27.56	5.76	71.22	3.88	0.31	173.49	13.19
4	25.83	5.48	66.77	3.61	0.28	207.31	9.92
5	19.27	8.16	46.39	2.38	0.26	135.43	1.76
6	38.35	6.94	52.01	2.95	0.11	153.22	2.57
7	19.53	5.51	39.53	2.18	0.14	90.14	6.52
8	14.49	7.16	52.62	2.95	0.41	146.25	2.25
9	13.27	7.30	45.17	1.84	0.22	96.32	0.80
10	25.37	6.94	31.43	1.57	0.11	107.65	14.10
11	22.42	6.08	73.23	3.93	0.26	193.08	28.40
12	22.64	7.15	33.43	1.84	0.15	117.64	1.35

2 土壤污染因子灰色关联度分析

运用农业面源污染模型量化地对农业土壤污染影响因子进行分析, 污染指数与影响因子之间有很清楚的界线, 但影响因子信息具有不完备、不连续的特征, 且因子交叉影响, 对土壤污染指数作用的关系直观上不清楚, 因此试图用灰色关联分析方法进行因子分析。

2.1 原始数据无量纲处理

数据无量纲处理是将供试样品所测定的各项指标含量进行统一变换处理, 使各指标数量级基本相

同, 以消除不同指标量纲及数值标准相差过分悬殊带来的影响, 避免造成非等“权”状况^[9]。本研究对测定的各污染因子原始数据作区间化处理, 使各项指标的值得保持在 0~1 之间, 得到 $x_i(k)$ 矩阵(表 3)。即利用计算式

$$x_i(k) = \frac{x_i(k) - \min_k x_i(k)}{\max_k x_i(k) - \min_k x_i(k)}$$

对表 2 中的原始数据进行无量纲处理, i 为供试土壤样品序列 ($1 \leq i \leq 13, i \in N$), n 为与土壤污染相关的因子 ($1 \leq k \leq 73, k \in N$)。

表 3 土壤污染相关因子无量纲化

样品 序列	污染指标因子						
	$K=1$	$K=2$	$K=3$	$K=4$	$K=5$	$K=6$	$K=7$
X_0	0.406	0	0	0	0	0	0.158
X_1	0.335	0.645	0.950	0.963	0.956	0.855	0.053
X_2	0.246	0.609	1	1	0.887	1	0.025
X_3	0.570	0.383	0.467	0.674	0.709	0.354	0.449
X_4	0.501	0.311	0.419	0.606	0.611	0.486	0.330
X_5	0.239	1	0.200	0.298	0.555	0.204	0.035
X_6	1	0.686	0.260	0.440	0.106	0.274	0.064
X_7	0.250	0.319	0.126	0.248	0.206	0.027	0.207
X_8	0.049	0.743	0.267	0.441	1	0.247	0.052
X_9	0	0.779	0.186	0.162	0.436	0.051	0
X_{10}	0.482	0.686	0.039	0.095	0.101	0.096	0.482
X_{11}	0.365	0.465	0.488	0.687	0.545	0.430	1
X_{12}	0.374	0.740	0.060	0.163	0.236	0.135	0.020

2.2 关联系数计算

依据 $\Delta_i(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$, 计算比较数列

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}$$

本研究以林地各污染因子作为参照序列, ρ 取 0.5, 经矩阵绝对差变换得

$$\min_i \min_k = 0.032, \max_i \max_k = 1$$

由此求得关联系数如表 4。

2.3 供试样品测试指标关联度计算

用 K 个指标关联系数的平均值作为比较因素与分析因素整个关联程度的量度, 即 $r_i = \sum_{k=1}^n \xi_i(k) / n$, 计算结果见表 5。

3 分析与讨论

现代农业产值大幅度增长的过程中, 化肥、农药在农业生产中的广泛应用, 提高了农作物产量。另一

方面也产生了有毒有害物质在农作物中富集危害人体健康等, 农田土壤氮、磷因地表径流进入水体而产生富营养化等非点源问题。

本研究以林地土壤的各项测定指标为参照序列, 视林地土壤中指标含量为区域环境容量本底值, 在其它样品与之进行关联度分析时, 关联度越大, 说明样点土壤环境洁净度与林地相似性越大, 土壤环境受人为干扰污染程度越轻, 反之关联度越小, 土壤受人类生产生活污染越严重, 土壤中氮、磷对环境的潜在危害越突出。

本研究以林地土壤的各项测定指标为参照序列, 视林地土壤中指标含量为区域环境容量本底值, 在其它样品与之进行关联度分析时, 关联度越大, 说明样点土壤环境洁净度与林地相似性越大, 土壤环境受人为干扰污染程度越轻, 反之关联度越小, 土壤受人类生产生活污染越严重, 土壤中氮、磷对环境的潜在危害越突出。

3.1 土地利用类型影响

根据表 1 和表 5 可以看出, 3 种不同利用类型的农耕地中, 与土壤污染相关指标均值关联度关系顺序

为:水田(0.601) < 菜地(0.684) < 旱地(0.735),表明水田在接受农业生产过程中,土壤污染发生的机率要大于其它农耕地,因为污染物在水田中径流流失量较

小,污染物在土壤中积累超过作物需求量。菜地由于耕种频繁,且蔬菜种植密度大,单位面积外加化肥量多于旱地,土壤污染严重程度大于旱地。

表 4 供试样品污染相关因子关联系数

样品 序列	关联系数						
	K=1	K=2	K=3	K=4	K=5	K=6	K=7
ξ_1	0.932	0.465	0.367	0.364	0.365	0.393	0.879
ξ_2	0.806	0.480	0.355	0.355	0.384	0.355	0.840
ξ_3	0.801	0.602	0.550	0.453	0.440	0.623	0.673
ξ_4	0.894	0.656	0.579	0.481	0.479	0.539	0.791
ξ_5	0.798	0.355	0.761	0.667	0.504	0.755	0.854
ξ_6	0.486	0.448	0.700	0.566	0.878	0.687	0.896
ξ_7	0.811	0.650	0.850	0.711	0.753	1.000	0.969
ξ_8	0.621	0.428	0.694	0.566	0.355	0.712	0.878
ξ_9	0.587	0.416	0.775	0.804	0.569	0.965	0.809
ξ_{10}	0.923	0.448	0.988	0.894	0.886	0.893	0.646
ξ_{11}	0.983	0.551	0.538	0.448	0.509	0.572	0.396
ξ_{12}	1.000	0.429	0.950	0.802	0.723	0.838	0.834

表 5 关联度计算结果

样品序列	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
关联度 r	0.538	0.511	0.592	0.631	0.670	0.666	0.821	0.608	0.704	0.811	0.571	0.796
排序	11	12	9	7	5	6	1	8	4	2	10	3

3.2 种植制度影响

同种利用类型的土壤,不同种植制度水田样品中,关联度顺序为:水稻—油菜(0.592) < 水稻(0.631),说明种植制度不一样,污染程度不同,单季耕作土壤受污染的程度小于两季轮作。

3.3 与居民点距离影响

在土地类型一样,耕作制度相同的情况下,土壤污染与居民点的距离也存在相关性,通过分析种植作物均是玉米—油菜轮作,与居民点的距离大于 1 km 和 200 m 的旱地土壤,发现距离越近,其关联度越高,表明距住所越近,人们进行田间管理较方便,土壤接受外加肥源的机率越大,土壤污染发生的可能性越大。

用灰色关联度法对农业非点源污染对土壤危害的影响因素进行研究,可以将非点源污染冗杂的影响指标归一化,最终得到一个反映污染关系的关联度,减少在数据分析过程中由于数据多而杂给分析带来不便,同时可以避免因子之间相互影响对分析结果的混淆。灰色关联度法能够完整地反映土壤污染发生相关因素的关系,分析方法更客观,是农业非点源污染复杂体系研究中值得推广的有效方法。

[参 考 文 献]

- [1] 陈满怀. 环境土壤学[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 216-217.
- [2] 吕晓男, 孟赐福, 麻万诸, 等. 农用化学品及废弃物对土壤环境与食品安全的影响[J]. 中国农业生态学报, 2005, 13(4): 150-153.
- [3] 唐莲, 白丹. 农业活动非点源污染与水环境恶化[J]. 环境保护, 2003(3): 18-20.
- [4] 安中华, 安琼. 农田土壤环境质量的最有模糊聚类及其分级[J]. 统计与决策, 2008(1): 39-42.
- [5] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工学院出版社, 1987.
- [6] 王治祯. 灰色系统及模糊数学在环境保护中的应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2007.
- [7] 杜森, 高祥照. 土壤分析技术规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [8] 吴新民, 潘根兴. 影响城市土壤重金属污染因子的关联度分析[J]. 土壤学报, 2003, 40(6): 921-928.
- [9] 李月芬, 汤洁, 李艳梅. 用主成分分析和灰色关联度分析评价草原土壤质量[J]. 世界地质, 2004, 23(2): 169-174.