

# 昆山市土地生态质量空间分异及其对土地利用程度的响应

吴滢滢<sup>1</sup>, 吴绍华<sup>1</sup>, 周生路<sup>1</sup>, 林晨<sup>2</sup>, 臧玉珠<sup>1</sup>, 彭慧<sup>3</sup>

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210023;

2. 中国科学院 南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 3. 江苏省土地勘测规划院, 南京 210024)

**摘要:**随着社会经济的快速发展,土地生态质量备受关注。选取位列中国百强县之首的昆山市为研究区,基于2012年各类数据,建立土地生态质量综合评价体系,采用皮尔逊相关系数、二元 Moran 指数等方法,以行政村为评价单元,对该市土地生态质量的空间格局及其对土地利用程度的响应进行了研究。结果表明:该市土地生态质量整体较好,中心城区向外围乡镇变好梯度格局明显;土地生态质量受到土地利用程度较为显著的负面影响,其中生态结构方面受到的影响最为明显,南部旅游用地地区土地利用和生态质量则协调较好;该市今后在土地开发利用的同时应注意加强生态环境的保护与建设。

**关键词:**土地生态质量;土地利用程度;空间分异;响应;昆山市

中图分类号:X826;F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)04-0201-05

## Distribution of Land Ecological Environment and Its Response to Landuse Intensity in Kunshan County

WU Yingying<sup>1</sup>, WU Shaohua<sup>1</sup>, ZHOU Shenglu<sup>1</sup>, LIN Chen<sup>2</sup>, ZANG Yuzhu<sup>1</sup>, PENG Hui<sup>3</sup>

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University,

Nanjing 210023, China; 2. Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of

Sciences, Nanjing 210008, China; 3. Jiangsu Institute of Land Surveying and Planning, Nanjing 210024, China)

**Abstract:** With the continuous development of social economy, human alteration to ecosystems is becoming more and more obvious. What's more, the growing contradiction between people and land highlights the importance of scientific management and regulation of land. Landuse is a special behavior led by human to alter and utilize the land in order to achieve particular purposes. Kunshan County is a highly developed area with a large population. In order to pursue sustainable development, the quality of its land ecological environment has become considerable challenges. In this paper, we provided the complete ecological assessment of land use in 2012. Then, we analyzed the distribution of land ecological environment in Kunshan County, and offered its distribution. Finally, we made a thorough inquiry between land ecological environment and landuse intensity. Supported by statistical analysis, we got a negative correlation trend between those two, revealing the ecological quality of the land affected by the intensity of landuse. However, as a special kind of construction land, tourism sites had a high level of landuse intensity, while the protection from the government also contributed to the high ecological status of the land. On the other hand, two scores of the concentrated water areas in the downtown both show the low level.

**Keywords:** land ecological quality; intensity of landuse; spatial distribute; response; Kunshan County

随着社会经济的快速发展,人类对土地的改造利用不断加剧。作为自然与人类活动构成的综合体,土地的生态质量备受关注<sup>[1]</sup>。土地利用程度可体现人类对土地生态环境的改造水平<sup>[2]</sup>。目前,土地生态方

面的研究已经很多,主要从土地生态安全性<sup>[3-8]</sup>、土地生态脆弱敏感性<sup>[9-12]</sup>、土地生态适宜性<sup>[13-16]</sup>等方面开展。从自然基础、污染退化、生态结构、生态建设方面对土地生态质量进行综合评价的研究很少,而进一步

量化地分析其与土地利用程度关系及变化机制的研究则更少。昆山市位于江苏省东南部,辖玉山、巴城、周市、陆家、张浦、周庄、锦溪、千灯、淀山湖九个镇。其经济发展水平连续数年位列中国百强县之首,2012 年 GDP 达 2 725.32 亿元,人均 GDP 达 16.53 万元,土地生态环境质量正面临巨大的挑战。昆山市发展现状可作为经济高度发展地区的缩影,为此,本研究拟对该市土地生态质量进行综合评价,并探究其对土地利用程度的响应,以促进经济发达地区土地生态环境的可持续发展。

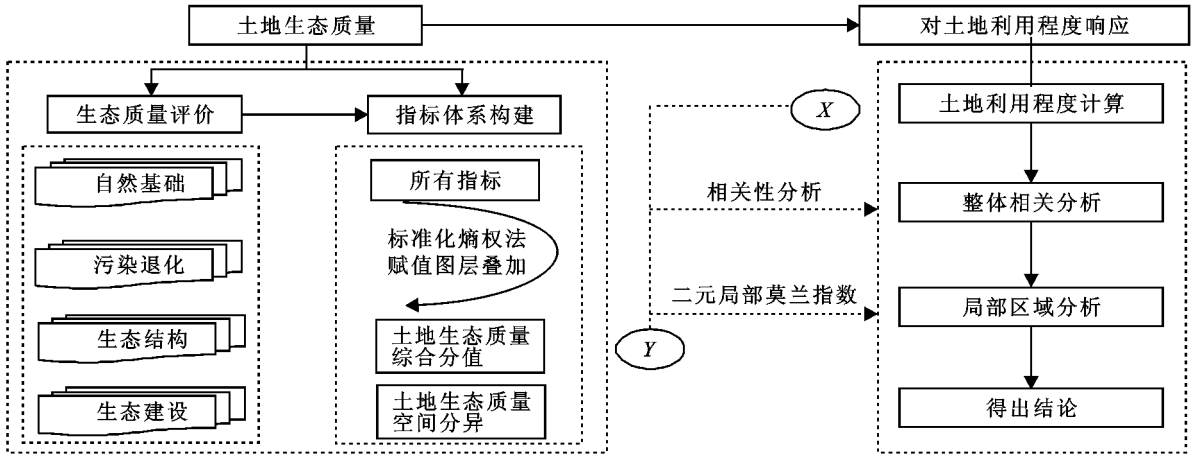


图 1 技术路线

### 1.2 数据来源

研究以 2012 年为基期,其中:地形位指数、植被覆盖度、生物量以国际科学数据服务平台数据为基础通过计算而得;年降水量通过收集气象站点数据进行 Krigging 插值得到;土壤有机质由多目标地球化学调查 4 km 网格采样数据 Krigging 插值得到;有效土层厚度采用农用地分等中的水稻耕作厚度数据;土壤污染综合指数通过多目标地球化学数据中土壤样品实测的重金属含量值计算得到;景观多样性指数、不同土地利用/覆盖类型比例以昆山市土地利用数据库为基础计算而得;生态效益指数则引用环境质量质量报告书数据及统计年鉴数据。所有的数据以 ArcGIS 为平台,构建了基础研究数据库。

### 1.3 评价方法

1.3.1 土地生态质量评估 通过对昆山市土地质量综合调查与分析,基于“多指标集合度量法”模型<sup>[18]</sup>,从土地自然基础、污染退化、生态结构、生态建设状况四方面,构建土地生态质量调查指标体系,其构成包括准则层、指标层和元指标层。

根据昆山市特点,综合四大准则层,共选取 17 个指标对土地生态质量进行综合评价。土地自然基础层反映该地区基础性的地形、气候、土壤状况等自然特点,选择具有代表性的地形位指数、年均降水量、土

## 1 材料与方法

### 1.1 研究技术路线

论文以行政村为单位,首先从土地自然基础、污染退化、生态结构、生态建设四个方面,构建昆山市土地生态质量评价体系,分析土地生态质量的空间格局。其次,依照庄大方等<sup>[17]</sup>提出的规则,计算土地利用程度。最后,综合所得结果,从整体和局部分别探究两者的内在关系。技术路线图如图 1 所示。

壤有机质、有效土层厚度、植被覆盖度、生物量 6 个指标。土地污染退化状况反映人为活动所带来的土地污染、损毁、退化状况,在一定程度上代表了该地区的人为活动的程度。

由于昆山市的特殊性,在调查过程中发现其压占土地、废弃撂荒土地、耕地、林地、草地、湿地比例均未发生变化,昆山市河网资源丰富,污染程度重点反映在水污染方面,因此选择水域年均退化率指标来进行评价,同时也考虑土壤污染综合指数;土地生态结构指标反映基本的土地利用格局,昆山市林草地资源稀少,因此选择土地利用多样性指数、斑块多样性指数、无污染高等级耕地比例、无污染水面比例、生态基础设施用地比例、城市非渗透地表<sup>[18]</sup>比例 6 个指标来进行评价。土地生态建设状况反映土地生态恢复与建设程度,主要从生态效益方面着手,选择了生态保护地比例、区域环境质量指数、人口密度 3 个指标来进行评价。

本研究利用极差法对各指标数据进行标准化处理,适度指标标准化参照江苏省农用地分等定级标准等<sup>[19-20]</sup>进行处理。根据各准则层的评价指标特点,选择客观方法中较成熟的熵权法对其指标权值进行赋值<sup>[21-23]</sup>(表 1)。

1.3.2 土地利用程度计算 土地利用程度按照不同

土地利用类型,基于其自然综合状况与社会影响因素 本研究参考庄大方等提出的规则<sup>[17]</sup>,按照行政村为进行分析,可量化地表示人类对土地的改造水平。 单位进行计算。

表 1 昆山市土地生态质量调查与评估体系的建立

准则层	指标层	指标	权重值	属性
土地自然 基础层	地貌特征	地形位指数	0.0187	适度指标
	气候特征	年均降水量(mm)	0.1155	适度指标
	土壤条件	土壤有机质(%)	0.0427	适度指标
	植被状况	有效土层厚度(cm)	0.0308	正指标
		植被覆盖度	0.0327	正指标
		生物量	0.1165	正指标
土地污染 退化层	土壤污染	土壤污染综合指数	0.0415	逆指标
	土地退化	水域年均退化率(%)	0.0176	逆指标
土地生态 结构层	景观多样	土地利用类型多样性指数	0.0525	正指标
	性指数	斑块多样性指数	0.0397	正指标
	不同土地 利用/覆盖 类型比例	无污染高等级耕地比例(%)	0.0134	正指标
		无污染水面比例(%)	0.0702	正指标
		生态基础设施用地比例(%)	0.1006	正指标
		城市非渗透地表比例(%)	0.1275	逆指标
土地生态 建设层	生态保护	生态保护地比例(%)	0.0240	正指标
	生态效益	区域环境质量指数	0.0564	正指标
		人口密度(人/km <sup>2</sup> )	0.0997	逆指标

1.3.3 土地生态质量对利用程度的响应 本研究中土地生态质量对土地利用程度的整体分析利用皮尔逊相关系数进行,在此不赘述;局部分析方面选择二元局部 Moran 指数进行。

局部 Moran 指数是常用的空间自相关局部指标,通过计算每一个空间单元与邻近单元就某一属性的相关程度,来探测空间中高值集聚和低值集聚的区域<sup>[24]</sup>。二元局部 Moran 指数被认为是地学空间的相关系数,它能表明同一位置两组属性值变化的关联程度,在不同的位置嵌入此关联,并将该关联信息转换为空间分布<sup>[25]</sup>,其结果可以很好地反映两组属性的空间集聚情况,计算公式为:

$$I_{x,y} = \left( \frac{n}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \right) \left( \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_j (y_j - \bar{y})^2}} \right)$$

式中: $x, y$ ——空间同一位置的两组不同观测值; $n$ ——变量  $x, y$  的观测数; $x_i, y_i$ —— $x$  在位置  $i$  和  $y$  在位置  $j$  的观测值; $\bar{x}, \bar{y}$ ——两组观测值的平均值; $w_{ij}$ ——空间权重矩阵值。

2 结果与分析

2.1 土地生态质量空间分布格局

通过昆山市土地生态质量分值计算,可得其平均值为 0.507 7,标准差为 9.65%。利用自然断点法,将昆山市土地生态质量分成五个级别(图 2),分别为

优质(0.590 2~0.675 7)、良好(0.543 6~0.590 1)、一般(0.494 7~0.543 5)、较差(0.397 0~0.484 6)及差(0.244 6~0.396 9)。其中优质级别的行政村 48 个,占总数的 20.50%;良好、一般级别均 47 个,占总数 20.09%;较差级别 54 个,占总数的 23.08%;差级别 38 个,占总数的 16.24%。

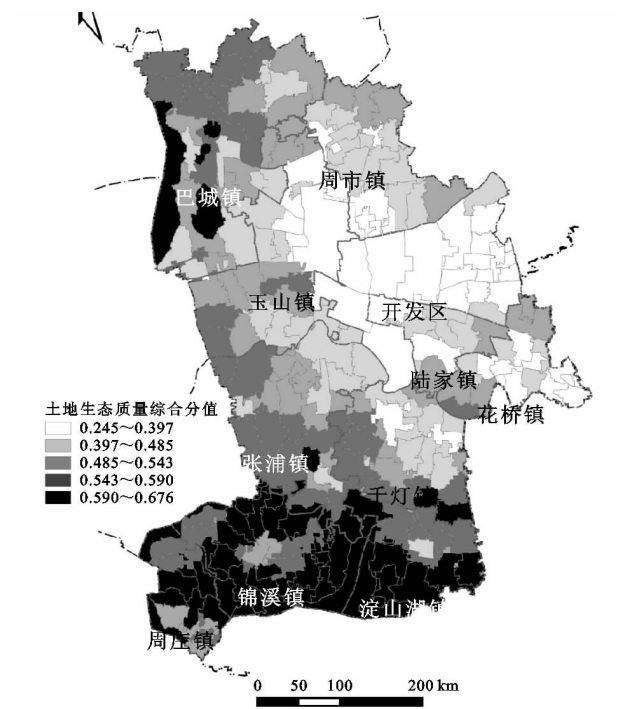


图 2 昆山市土地生态质量空间分布

昆山市土地生态质量土地生态质量整体较好,空间分布上呈现出由中心城区向外围乡镇变好的梯度,空间分异明显。锦溪镇整体得分最高,综合分值平均值为 0.604 5,该地区远离市区,且水域较多,城市非渗透性地表比例高,无污染水面比例低,土地生态环境较好;开发区整体得分最低,其平均值为 0.347 4,该地区为经济活动密集地区,人口集聚,土地开发剧烈,受到城市非渗透性地表比例与人口密度的影响,土地生态环境遭到破坏。综上分析,城市非渗透性地表比例对土地生态质量影响明显,反映出人类城镇化工业化用地行为对土地生态质量作用强烈。

## 2.2 土地生态质量对土地利用程度的响应

2.2.1 整体相关分析 经过分析,得到土地生态质量分值与土地利用程度分值总体均符合正态分布,其皮尔逊相关系数( $R$  值)为  $-0.811\ 6$  ( $p < 0.01$ ),呈现出显著负相关(图 3)。

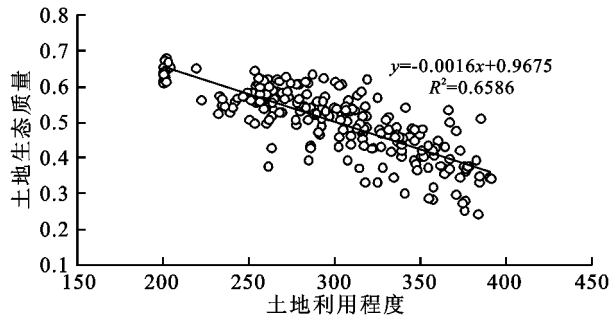


图 3 昆山市土地生态质量与土地利用程度相关性分布

根据不同准则层的得分值,计算得到各准则层与土地利用程度间的相关系数,可得到,土地生态结构受到其显著影响( $R^2 = 0.832\ 1$ )。土地结构包括各土地利用类型比例,在一定程度上与土地利用程度的分布相符,表明昆山市土地生态质量整体深受土地利用程度影响;在社会经济活动强烈的地方,人类的生产生活改变了土地利用方式,并促使其向利用程度高的方向发展;而受人类活动影响较小地区,土地保持原有的状态,其生态质量处于相对较高的稳定状态。

2.2.2 局部区域分析 经过空间二元局部 Moran 指数分析,可得到土地生态质量综合分值与土地利用程度分值二元局部 Moran 集聚分布图(图 4)。

二元空间集聚分布图分为四个类,分别是 HH(土地生态质量高—土地利用程度高)、LH(低—高)、LL(低—低)和 HL(高—低)。由图 4 可以看出,除去聚类不显著地区,昆山市土地生态综合分值与土地利用程度分值二元集聚主要集中在 LH 与 HL 类。LH 类主要集中在昆山市中部区域,比例约为 23.18%,主要包括玉山镇、开发区、陆家镇交界处。这些区域土地生态质量分值低值集聚而土地利用程度分值高

值集聚,是以人类活动为主导的经济发达地区。HL 类主要分布在巴城镇西北部、张浦镇南部、淀山湖镇西部以及锦溪镇与周庄镇部分地区,比例约为 16.74%,这些地区土地利用类型以水域为主。HH 类有三处,为周庄镇龙凤村、锦溪镇镇区以及张浦镇振苏社区居委会。这些地区为旅游用地,作为特殊的建设用地,其土地利用程度较高,同时,为保证景区生态环境,对其土地生态环境有意识地保护,促使其土地生态质量保持在高水平,因此,其土地生态质量与利用程度均处于较高的水平,协调较好。LL 类有两处,为开发区的兵希渔业与玉山镇的南渔村。该两村依托当地丰富的水资源,渔业发展水平较高,致使其土地利用程度较低,而该两处位于经济发达区域,受到周边村镇影响,土地生态质量也处于较低的水平。总体情况如表 2 所示。

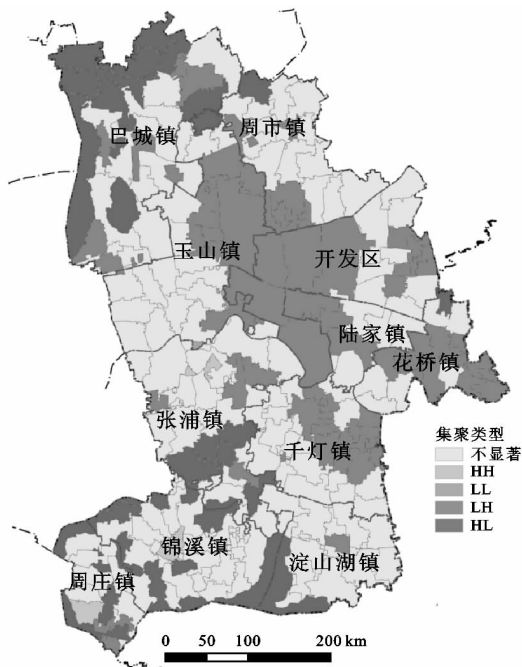


图 4 昆山市土地生态质量综合分值与土地利用程度分值二元局部 Moran 集聚分布

土地生态质量差且土地利用程度高集聚地区地势平坦、以城镇建设用地为主,植被覆盖度较差,这些地区在经济发展的同时,应注意生态环境的保护,发展可持续性产业,适时开展土地生态环境保护与修复工作;土地生态质量好且土地利用程度低集聚的地区坡度相对较大,水域较多,这些地区应继续推行有力的生态保护措施,同时可因地制宜,适当发展轻污染、绿色型经济;昆山市南部周庄镇与锦溪镇境内的旅游用地,良好的政策促使了经济与生态环境的共同发展,应进一步协调人地关系,促进可持续发展;而针对紧靠市区内的水域地区,应逐步改善土地生态环境,推广绿色安全食品的生产技术。

表 2 土地生态质量与土地利用程度二元局部 Moran 集聚分类结果

二元局部 Moran 指数	主要分布区域	主要特征	行政村数 量及比例
LH	玉山镇、开发区、陆家镇等	地势平坦,土地利用类型以城镇建设用地为主,植被覆盖度较差	54 个 23.18%
HL	巴城镇、张浦镇南部、周庄镇等	土地利用类型以水域为主	39 个 16.74%
HH	周庄镇龙凤村、锦溪镇镇区、张浦镇振苏社区居委会	旅游用地,属于建设用地;土地生态环境较好	2 个 0.86%
LL	开发区兵希渔业、玉山镇南渔村	水域地区,属于低土地利用程度;紧靠市区,土地生态质量差	3 个 1.29%
不显著	周市镇、张浦镇、淀山湖镇、锦溪镇、玉山镇南部等	无明显规律	135 个 57.93%

3 结 论

(1) 昆山市土地生态质量整体较好,受城市非渗透性地表比例的主要影响,呈中心城区向外围乡镇变好的梯度格局,空间分异明显。

(2) 总体而言,昆山市土地生态质量受到土地利用程度较为显著的负面影响,其中生态结构影响最为明显。南部旅游用地地区土地生态质量和土地利用程度得分均较高,达到了双赢。

(3) 今后该市土地开发利用的同时应注重加强生态环境的保护与建设,实现两者的协调发展。

参考文献:

[1] 冯产京,林坚,胡振琪,等. 2013 年土地科学研究重点进展评述及 2014 年展望[J]. 中国土地科学,2014(1):3-19.

[2] 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,等. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应[J]. 生态学报,2013,33(8):2565-2576.

[3] 梁国付,丁圣彦. 气候和土地利用变化对径流变化影响研究:以伊洛河流域伊河上游地区为例[J]. 地理科学,2012,32(5):635-640.

[4] Su S, Li D, Yu X, et al. Assessing land ecological security in Shanghai(China) based on catastrophe theory [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2011,25(6):737-746.

[5] Hua Y E, Yan M A, Limin D. Land ecological security assessment for Bai autonomous prefecture of Dali based using PSR model-with data in 2009 as case[J]. Energy Procedia, 2011(5):2172-2177.

[6] 余敦,陈文波. 鄱阳湖生态经济区土地生态安全研究[J]. 水土保持研究,2011,18(4):107-111.

[7] 郑敬刚,许淑娜,喻铮铮,等. 中原经济区核心区土地资源生态安全评价[J]. 水土保持研究,2013,20(3):273-277.

[8] 余健,房莉,仓定帮,等. 熵权模糊物元模型在土地生态安全

评价中的应用[J]. 农业工程学报,2012,28(5):260-266.

[9] De Lange H J, Sala S, Vighi M, et al. Ecological vulnerability in risk assessment: A review and perspectives [J]. Science of the Total Environment, 2010,408(18):3871-3879.

[10] 刘焱序,李春越,任志远. 基于 LUCC 的生态型城市土地生态敏感性评价[J]. 水土保持研究,2012,19(4):125-130.

[11] Abson D J, Dougill A J, Stringer L C. Using Principal Component Analysis for information-rich socio-ecological vulnerability mapping in Southern Africa [J]. Applied Geography, 2012,35(1):515-524.

[12] 李玉平,朱琛,张义文. 河北省邢台市土地生态安全评价及可持续发展对策研究[J]. 水土保持通报,2013,33(6):116-120.

[13] 余光英,员开奇. 武汉城市圈土地碳平衡适宜性评价及潜力分析[J]. 水土保持研究,2013,20(6):271-276.

[14] 舒帮荣,黄琪,刘友兆,等. 基于变权的城镇用地扩展生态适宜性空间模糊评价:以江苏省太仓市为例[J]. 自然资源学报,2012,27(3):402-412.

[15] 程琳琳,娄尚,刘峦峰,等. 矿业废弃地再利用空间结构优化的技术体系与方法[J]. 农业工程学报,2013,29(7):207-218.

[16] 邹丽丽,陈晓翔,何莹,等. 基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价[J]. 生态学报,2012,32(12):3722-3728

[17] 庄大方,刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报,1997,12(2):105-111.

[18] 赵兴国,潘玉君,丁生,等. 中国省域土地利用可持续性评价及时空格局特征[J]. 农业工程学报,2014,30(3):196-204.

[19] 曲衍波. 基于 GIS 的山区县域土地生态安全评价与土地利用优化调控研究[D]. 山东泰安:山东农业大学,2008.

[20] 戴靓. 县域土地生态质量的空间分异及其主控因子识别[D]. 南京:南京大学,2013.

到生物埂根系影响,当坡度增大到一定范围时,生物埂土壤表层松散土壤全部被冲刷,下层土壤在植被根系的固结作用下难以被冲刷搬运。

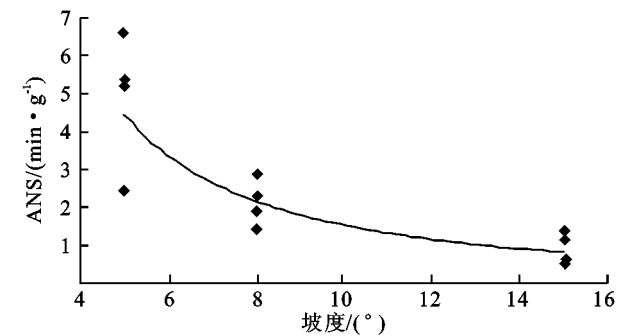


图 2 不同类型生物埂土壤抗冲性与坡度的关系

3 结论

(1) 各种生物埂径流含沙量随着冲刷时间的继续呈现“先急剧减小后平稳减小直至稳定”的变化趋势。在冲刷前 3 min 内,桑树埂径流含沙量由 7.677 g/L 降低到 0.33 g/L;3~10 min 内径流含沙量逐渐减小,10 min 后趋于稳定。

(2) 生物埂抗冲刷过程根据其径流含沙量随时间的变化规律可划分为快速冲刷阶段(0~3 min)、慢速冲刷阶段(3~20 min)和平稳冲刷阶段(20~28 min)。土壤抗冲性与冲刷时间关系可以用幂函数得到很好的拟合,3 种坡度下相关性均达到极显著相关, $R^2$  值均在 0.85 以上。

(3) 各种生物埂土壤抗冲性随着坡度的增大而降低,其中以桑树埂变化程度最小,自然生草埂最大。土壤抗冲性与坡度回归方程达到了极显著水平( $p<0.001$ ),关系式可用幂函数表示,决定系数  $R^2$  达到 0.790 7。

参考文献:

[1] 朱显谟. 甘肃中部土壤侵蚀调查报告[J]. 土壤专报, 1958,32:53-109.

[2] 朱显谟. 黄土高原植被因素对水土流失的影响[J]. 土壤学报,1960,8(2):121-134.

[3] 蒋定生. 黄土区不同利用类型土壤抗冲刷能力的研究[J]. 土壤通报,1979,4(2):20-23.

[4] 刘国彬. 黄土高原土壤抗冲性研究及有关问题[J]. 水土保持研究,1997,4(5):91-101.

[5] 陈晏,史东梅,文卓立,等. 紫色土丘陵区不同土地利用类型土壤抗冲性特征研究[J]. 水土保持学报,2007,21(2):24-27.

[6] 周正朝,上官周平. 子午岭次生林植被演替过程的土壤抗冲性[J]. 生态学报,2006,26(10):3270-3275.

[7] 周兴魁,蔡强国. 黄土丘陵区的地埂植物篱—紫穗槐[J]. 山西水土保持科技,1997(2):32-34.

[8] Oyedele D J, Awotoye O O, Popoola S E. Soil physical and chemical properties under continuous maize cultivation as influenced by hedgerow trees species on an alfisol in South Western Nigeria[J]. African Journal of Agricultural Research, 2009,4(8):736-739.

[9] 蔡强国. 冀西北黄土丘陵区复合农林业与水土保持综合技术研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.

[10] 王喜龙,蔡强国,王忠科,等. 冀西北黄土丘陵沟壑区梯田埂植物篱的固埂作用与效益分析[J]. 自然资源学报,2000,15(1):74-79.

[11] 王喜龙,王忠科. 不同生物埂生态效益的模糊对比分析与评价[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(3):27-32.

[12] Everson C S, Everson T M, Van Niekerk W. Soil water competition in a temperate hedgerow agroforestry system in South Africa [J]. Agroforestry Systems, 2009,75(3):211-221.

[13] 王忠林,李会科. 渭北旱塬花椒地埂土壤抗蚀抗冲性研究[J]. 水土保持研究,2000,7(1):33-37.

[14] 朱钟麟,卿明福,刘定辉,等. 蓑草根系特征及蓑草经济植物埂的水土保持功能[J]. 土壤学报,2006,43(1):164-167.

(上接第 205 页)

[21] 韩平,王纪华,潘立刚,等. 北京郊区田块尺度土壤质量评价[J]. 农业工程学报,2009,25(2):228-234.

[22] 李晓倩,刘学录. 土地评价指标权重赋值方法的比较分析[J]. 甘肃农业大学学报,2012,47(5):129-133.

[23] 戴昺,姚新春,周生路,等. 长三角经济发达区金坛市土地生态状况评价[J]. 农业工程学报,2013,29(8):

249-257.

[24] 张松林,张昆. 空间自相关局部指标 Moran 指数和 G 系数研究[J]. 大地测量与地球动力学,2007,27(3):31-34.

[25] Luo H, Yang Y. Spatial pattern of hotel distribution in China[J]. Tourism and Hospitality Research, 2013, 13(1):3-15.