

宁镇扬丘陵区土地利用空间结构的动态演变

——以江苏省镇江市为例

张荣天

(安徽师范大学 国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241003)

摘要: 以镇江市为例, 基于其 1997—2009 年的土地利用现状数据, 采用 Shannon 信息熵和空间洛伦茨曲线, 对宁镇扬丘陵区土地利用结构的动态演变及其区域分异规律进行了探讨。结果表明: (1) 1997—2009 年镇江市各土地利用类型在空间分布上具有不均衡性, 耕地和居民点及工矿用地的分布较为均衡, 而牧草地和林地的分布则相对集中; (2) 土地利用结构演变具有阶段性特征, 划分为“缓慢增长(1997—2000 年)、快速上升(2001—2004 年)、稳步发展(2005—2009 年)”3 阶段, 耕地和城镇用地是影响土地利用结构演变的主要类型; (3) 该区土地利用结构演变存在区域分异规律, 经济发达的市区及新区的信息熵整体上高于其它区县, 且呈现不断下降的趋势, 表明该区土地利用结构的有序性逐渐提高, 而其它稍欠发达区县的信息熵却呈现出日益上升的态势, 表明其土地利用结构的有序性不断降低。

关键词: 土地利用结构; 信息熵; 动态演变; 镇江市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0255-05

中图分类号: F323.211

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.063

Dynamic Evolution of Spatial Structure of Land Use in

Nanjing—Zhenjiang—Yangzhou Hilly Area

—A Case Study at Zhenjiang City in Jiangsu Province

ZHANG Rong-tian

(College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003, China)

Abstract: Taking the land use data of Zhenjiang City in 1997—2009 as a case study, the land use structure dynamic evolution characteristics and regional differentiation rules of Nanjing—Zhenjiang—Yangzhou hilly area were analyzed and discussed by using Shannon entropy and spatial Lorenz curve. Some conclusions were drawn as follows: (1) From 1997 to 2009, the spatial distribution of different land use types in Zhenjiang City was unbalanced, specially, the distribution of arable land and land for residential areas and mining was more balanced, and the distribution of grassland and woodland was relatively concentrated; (2) Land use structure evolution had periodical characteristics, it can be divided into 3 phases: low speed expansion stage (1997—2000), speed-up expansion stage (2001—2004), steady development stages (2005—2009), the areas of cultivated land and residential and industrial land had significant correlation to the entropy, which could be regarded as the key factors influencing the entropy of land use structure in Zhenjiang City; (3) The land use structure evolution showed regional distribution rules, the urban information entropy was larger than the other counties of Zhenjiang City, and presents the declining trend, it indicated that urban land use structure was in the order of improvement gradually, however, other county revealed a rising trend, it indicated that the order of land use structure was declining.

Keywords: land use structure; information entropy; dynamic evolution; Zhenjiang City

土地利用/覆盖变化(LUCC)研究是当前地理学研究的热点问题之一^[1], 而其中土地利用空间结构研究又占据着十分重要的地位^[2]。目前关于土地利用的研究已经涉及到土地利用变化时空演变、生态环境

效应、驱动机制、模拟预测等多个领域^[3-5], 多采用分形理论^[6]、RS 与 GIS 技术^[7]、景观格局指数^[8]等数理方法对土地利用/覆盖变化(LUCC)进行探讨, 这些研究方法大多为传统的地理学研究方法, 结果不够

收稿日期: 2013-05-04

修回日期: 2013-08-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“煤炭资源型城市产业结构演替与空间形态演化的过程、机理及耦合关系研究”(41171144)

作者简介: 张荣天(1987—), 男(汉族), 江苏省溧水县人, 博士研究生, 主要研究方向为农业地理和土地利用。E-mail: nnuzrr@163.com。

直观,洛伦茨曲线作为重要的经济学分析方法已经在土地利用结构得到了应用^[9-10],它能较准确、直观地反映土地利用结构演变的规律。1948年美国工程师 Shannon^[11]最早提出信息熵的概念,此后信息熵理论被运用到自然与社会科学等研究领域^[12-13]。土地是一个具有耗散结构的自然与历史综合体,具有结构与功能的有序性特征,因此可以运用信息熵来刻画土地利用结构的有序性规律^[14];国内有不少学者对土地利用结构信息熵作了探讨,不仅对东南沿海低山丘陵区、洞庭湖区、黄土丘陵沟壑区等典型区域^[15-17],同时也对中小尺度地区(市域、县域)的土地利用空间结构演变进行了实证探讨与研究^[18-19]。运用信息熵理论探讨土地利用的空间结构的动态演变,可以综合反映某一区域在一定时段内各种土地利用类型的动态变化及其转换程度,为区域土地科学合理利用指出了新的思路与方向。

镇江市位于江南平原与丘陵山地之间的过渡地带,属于宁镇扬(南京—镇波—扬州)丘陵区,土地利用类型复杂多样,土地开发利用程度较高,其中丘陵岗地面积占 63.4%,圩区、洲地面积占到 19.5%,平原占 17.1%,是江苏省丘陵面积比重最大的地级市之一,是宁镇扬丘陵区颇具代表性的地区。本研究以江苏省镇江市为研究的实证区域,基于镇江市的 1997—2009 年的土地利用现状数据,运用空间洛伦茨曲线,分析镇江市域土地利用类型在区域内的空间分布差异情况,即分布相对分散与集中程度;同时采用 Shannon 信息熵理论,计算出镇江市 1997—2009 年不同时期土地利用结构的信息熵 H 与均衡度 E ,揭示出 13 a 间镇江市土地利用结构的熵值动态演变及其区域分异的规律,以期为宁镇扬丘陵区土地利用空间结构的调整与优化提供科学的理论依据和实践参考。

1 研究方法 & 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 信息熵 Shannon 信息熵主要用于描述系统的存在状态,熵值变化可以表征系统具体的演变方向^[20]。理论上信息熵越小,系统就有序程度越高,结构性就越强,它可以深入定量描述区域土地利用空间结构特征,熵值变化可综合反映某区域在一定时段内各种土地利用类型的动态变化及其转换程度,可用来刻画区域土地利用系统的有序程度,计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

式中: H ——信息熵,其值大小反映区域土地利用类型的多少及各类土地利用类型空间分布的均匀程度;

P_i ——景观斑块类型 i 占总面积的比例。为更好地说明区域土地利用类型之间的规模差异及其结构分异,引入土地利用均衡度的概念^[21],具体公式为:

$$E = H/H_{\max} = - \sum_{i=1}^n (P_i \ln P_i) / (\ln N)$$

式中: E ——均衡度; H_{\max} ——信息熵的最大值; N ——土地利用类型。均衡度 E 的取值区间范围为 $[0, 1]$ 。当 $E=0$ 时,区域土地利用结构处于最不平衡状态;而当 $E=1$ 时,土地利用结构达到平衡状态。若 E 值越大,表明区域不同土地利用类型越多,且各类用地的面积相差越小,土地利用结构的均衡性越强。

1.1.2 空间洛伦茨曲线 洛伦茨曲线(图 1)最早是 20 世纪初经济统计学家 Lorenz^[22]提出的一种关于研究工业集中化的统计方法,利用频率累积数绘制成曲线,用来表示区域不平等差异程度,此后该方法在经济学、地理学等领域中也得到广泛运用。它可用于刻画土地利用的空间分布特征,描述土地利用空间结构的分散与集中程度。因此,它是研究土地利用空间结构的一种重要方法。洛伦茨曲线 b 为向外凸起的曲线,与横坐标成 45° 夹角的直线称为绝对均匀线 a 。各土地利用类型曲线至绝对均匀线的离差就是该类实际空间分布与其在全区均匀分布的差异测度。若越接近绝对均匀线,曲线的离差较小,表明该土地利用类型在区域范围内分布越均匀;反之,该土地利用类型在区域内的分布差异较大,空间分布则较为分散。

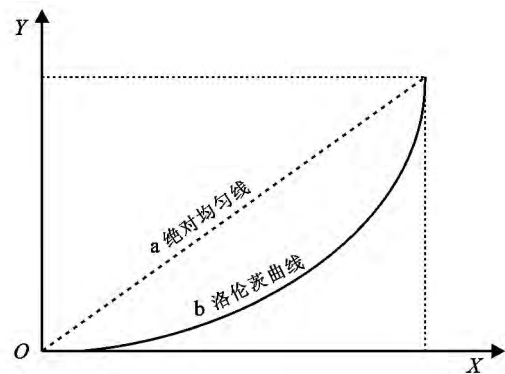


图 1 空间洛伦茨曲线示意图

1.2 数据来源

研究基础数据来源于江苏省镇江市 1997—2008 年土地利用变更统计数据(shp 矢量格式),以及 2009 年的第二次的土地利用调查数据,为了使得研究的数据具有可比性,结合我国土地利用现状分类系统(GB/T21010—2007),并且根据研究区土地利用现

状的具体特征,基于 ArcGIS 9.3 软件分析平台,把镇江市的土地利用类型划分为耕地、园地、林地、牧草地、其它农用地、居民点及工矿用地、交通水利用地、

水域及未利用地的 9 大类型,并计算出每种地类的面积及比重,得出 1997—2009 年镇江市土地利用结构(表 1)。

表 1 镇江市 1997—2009 年土地利用结构

%

年份	耕地	园地	林地	牧草地	其它农用地	居民点及工矿用地	交通水利用地	水域	未利用地
1997	47.57	3.27	8.10	0.81	12.65	13.52	3.96	8.82	1.30
1998	47.38	3.26	8.12	0.81	12.70	13.65	3.96	8.80	1.32
1999	47.15	3.27	8.11	0.82	12.82	13.76	3.92	8.84	1.31
2000	47.10	3.33	8.09	0.83	12.85	14.16	4.07	9.04	1.34
2001	46.71	3.24	8.04	0.82	12.79	14.22	4.21	8.74	1.24
2002	46.35	3.24	8.02	0.81	13.04	14.39	4.21	8.73	1.22
2003	45.58	3.67	8.12	0.80	13.08	14.70	4.17	8.70	1.18
2004	43.75	4.43	7.98	0.41	13.08	15.93	4.26	8.65	1.51
2005	43.54	4.49	7.89	0.41	12.85	16.26	4.30	8.75	1.52
2006	42.94	4.63	7.86	0.06	12.80	16.77	4.38	8.73	1.83
2007	42.74	4.61	7.84	0.06	12.75	17.15	4.38	8.70	1.76
2008	42.60	4.58	7.82	0.06	12.64	17.63	4.37	8.58	1.71
2009	41.59	4.18	7.75	0.07	12.23	19.64	4.42	8.40	1.71

2 土地利用空间结构动态演变

2.1 土地利用类型的空间分布特征

利用空间洛伦茨曲线来说明研究区内各地类的空间分布集中与分散的规律。首先,利用镇江市 1997 和 2009 年各土地利用类型面积的原始数据,分别求出两个时段镇江市各地类的区位熵,区位熵是指某一地区某土地利用类型面积占区域该土地利用类型总面积的比值与该地区土地总面积占区域土地总面积之比;其次,按照区位熵大小从低到高依次排列,并计算出镇江市土地总面积的累计百分比和各土地利用类型的面积累计百分比;最后,将总土地面积累计百分比为横坐标,以某地类面积累计百分比为纵坐标,各取 100 长度,绘制出直角坐标图。以各累计数绘制坐标点,得到的曲线与绝对均匀线的离差就是该土地利用类型实际分布与在镇江全市均匀分布的差异测度。根据空间洛伦茨曲线绘制的具体步骤,绘制成镇江市 1997 和 2009 年 2 个时段的各土地利用类型的空间洛伦茨曲线可以看出,1997—2009 年,镇江市的居民点及工矿用地、耕地距离绝对均匀线较近,表明这两种土地利用类型在镇江市域内空间分布较为分散,也就是意味着这两种土地利用类型在镇江市各区(县)之内的分布较为均匀;而水域、未利用地、园地等依次远离绝对均匀线,其中林地、牧草地距离绝对均匀线最远,表明林地和牧草地在镇江市域范围内空间分布较不均衡,因为镇江市地处宁镇扬丘陵地

带,整体上镇江西部的地形较高,而中东部地区相对平坦,因此林地主要集中分布在地形较高的镇江市西部地区,而在镇江市东部地区则较少分布。

2.2 土地利用结构演变的时间规律

根据 Shannon 信息熵的计算公式,对镇江市 1997—2009 年的土地利用结构信息熵分别进行计算。由图 2 可知,整体上研究区土地利用结构的信息熵自 1997 年以来就不断升高,这充分表明了镇江市土地利用结构正在朝着无序方向发展,土地利用结构稳定性逐渐减弱,但 13 a 间,镇江市土地利用结构的动态演变表现出十分显著的“阶段性”特征,总体上可以划分出 3 大阶段:(1) 缓慢增长期(1997—2000 年),1997 年镇江市土地利用结构信息熵为 1.638 6,此后开始逐渐升高,但增长的幅度较小,到 2000 年仅 1.643 5,年增长的幅度为 0.12%,表明土地利用结构无序化进程极度缓慢,区域发展中土地利用结构的均衡度较高,各土地利用类型比例的变化偏小,变动较为显著的为耕地和居民点及工矿用地;(2) 快速上升期(2001—2004 年),从 2001 年开始,信息熵开始快速上升,到 2004 年达到了最大值 1.692 1,年增长的幅度为 1.05%,这一时期信息熵 H 值急剧上升,表明该阶段研究区的土地利用结构发生了剧烈变化,主要是耕地、居民点及工矿用地和牧草地的变化较为显著。其中,耕地比重下降了 2.96%,牧草地的比重下降了 0.42%,而居民点及工矿用地的比重上升了 1.77%,这一时期镇江市土地利用结构无序发展程度

最大；(3) 稳步发展期(2005—2009 年),从 2005 开始,土地利用的信息熵进入一个相对平稳时期,熵值 H 大致就在 1.695 0 左右波动,年增长幅度仅仅为 0.04%,明显低于前面两阶段,这一时期土地利用结构进入低水平的有序发展状态。均衡度 E 与信息熵 H 变化趋势相似,也呈现出呈十分显著的“阶段性”演变规律,也大致划分为 3 个阶段,但整体上均衡度指数 E 一直处于不断上升的趋势,表明 1997—2009 年间镇江市土地利用结构的均衡度在提高,占优势地位的土地利用类型在减弱,但是通过与全国其它地区的信息熵指数对比分析可知^[23],总体上而言,镇江市土地利用有序程度还处在较低的状态,表明镇江市的土地利用结构尚处于低水平的均衡状态,土地利用结构还有待于进一步的优化与调整。

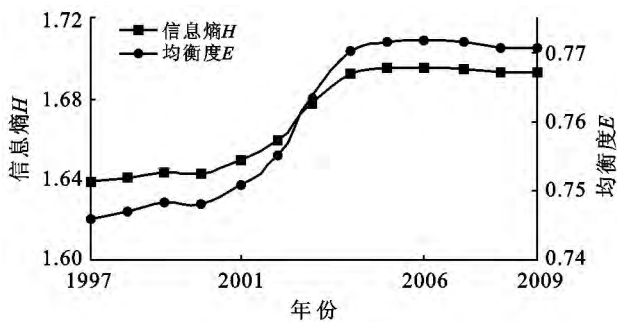


图 2 镇江市土地利用结构信息熵及均衡度演变

通过进一步分析,镇江市土地利用结构信息熵变化主要是由于土地利用结构内部变化与调整,具体体现在两个方面:(1) 工业化与城镇化的快速推进,导致城镇用地的需求量不断增加。镇江市正处在由传统农业向现代化、工业化的产业结构升级过程之中,同时由于沪宁线的开通,南京都市圈的打造,镇江市城镇化速度加快,促使城市建成区不断向外围地区扩展,使得大量耕地转变为建设用地,农地景观转变为非农地景观的现象在城郊地区尤为地显著;13 a 间居民点及工矿用地面积增加了 $2.34 \times 10^4 \text{ hm}^2$,交通水利用地面积增加了 $1\,718 \text{ hm}^2$,建设用地快速增长导致区域土地利用结构信息熵不断发生变化;(2) 农业内部结构的调整,也是造成土地利用结构信息熵变化的重要原因。林地和牧草地的都呈现出不断减少的趋势,其中林地减少了 $1\,439 \text{ hm}^2$,牧草地减少了 $2\,860 \text{ hm}^2$;而园地呈现出不断上升的趋势,用地面积增加了 $3\,460 \text{ hm}^2$ 。基于 SPSS 统计分析软件,运用相关分析法定量地探讨镇江市土地利用类型与信息熵之间内在关系。在显著性水平 $p < 0.01$ 时,园地、林地、水域及未利用地与信息熵成负相关,而居民点及工矿用地、交通水利用地与信息熵成正比;在显著

性水平 $p < 0.05$ 时,其它农用地与信息熵成反比,而耕地和牧草地与信息熵成正比,通过相关分析可知,耕地、牧草地面积的减少,居民点及工矿用地、交通水利用地面积的增加,直接促使镇江市土地利用信息熵不断上升,土地利用结构持续向无序的方向发展。

2.3 土地利用结构演变的区域分异

尺度是地理学的一个核心问题,尺度对于分析土地利用结构意义重大,因为不同尺度的选择会得出相异的结论。市域尺度上的土地利用结构信息熵值是不能全面表征其它更小尺度上土地利用信息熵演变特征,即土地利用的整体有序程度无法表达部分的有序度,因此需要探讨更小尺度(县域、镇域)土地利用结构演变的区域分异规律。镇江市下辖市区(京口与润州)、丹徒区、新区、扬中市、丹阳市及句容市,各个区(县)由于经济发展模式的差异以及工业化和城镇化都处于不同的阶段,导致其土地利用方式和程度也存在较大的分异。因此,镇江市域不同区(县)的土地利用结构的信息熵也会各不相同;同时即使在同一区(县)范围之内,在不同的时间段,其土地利用结构的信息熵也会出现相异的动态演变特征。根据上述的分析思路,基于 GIS 空间分析软件平台,提炼出镇江市各区(县)土地利用的类型数据,运用 Shannon 信息熵公式计算出镇江市各个区(县)土地利用信息熵 H 值,并运用 Excel 软件绘制出信息熵演变图(图 2),从而来探讨镇江市土地利用结构演变的区域分异规律。从图 3 中可以看出,镇江市区的土地利用结构信息熵值普遍地高于其所下辖的各区县,但同时各区县的变化趋势也呈现出显著的分异特征:(1) 镇江市区的的信息熵值呈现出波动下降的态势,镇江市区 1997 年的信息熵 H 为 1.717,之后信息熵就开始连续下降,到 2009 年,下降到仅仅为 1.671,主要的原因因为市区是镇江市域城镇化最为重要的空间载体,随着城镇化的步伐不断加快,市区周围大量的农业用地不断转化为建设用地,建设用地成为市区最主要的景观用地,市区的土地利用结构不断趋向单一化,这就造成了市区土地利用信息熵值呈现不断下降的趋势;(2) 新区的土地利用结构的信息熵也出现了波动减小的趋势,从 1997 年的 1.667 减少到 2009 年的 1.631,表明新区的土地利用结构也正在朝着无序方向发展,这是由于新区近些年来,也逐渐成为城镇用地不断向外拓展的地区,工业化和城镇化的水平也处在较高的水平,城镇用地逐渐变为新区的占据优势地位的土地利用类型之一;(3) 除市区和新区外的其余 4 个稍欠发达县区的的信息熵值呈现出波动上升的态势,随着 1997 年以来经济社会的快速增长,导致区域土地利用结构均

衡度有所增加,逐渐打破了这一区域内农业或者林业土地利用类型占据优势的空间分布格局,从而导致镇江西部丘陵区及中部过渡区土地利用信息熵值呈现不断上升的态势。

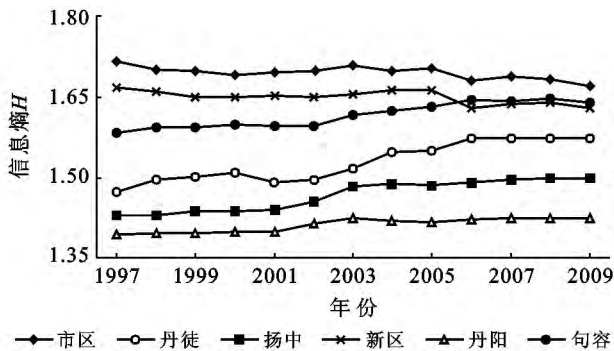


图3 镇江市各区(县)土地利用结构信息熵变化

3 结论

(1) 通过空间洛伦茨曲线分析可知,居民点及工矿用地、耕地距离绝对均匀线较近,这两种土地利用类型在镇江市域范围之内空间分布较为分散;而园地、水域、林地、未利用地等依次远离绝对均匀线,其中牧草地距离绝对均匀线最远,表明林地和牧草地在镇江市域范围内空间分布较不均衡;

(2) 镇江市土地利用结构信息熵在时间上呈现出十分显著的“阶段性”特征,1997—2000年为缓慢增长期;2001—2004年为快速上升期;2005—2009年为稳步发展期;耕地和居民点及工矿用地的面积变化与土地利用结构信息熵的变化显著地相关,是镇江市土地利用结构演变的主要影响类型;

(3) 镇江市土地利用结构在空间上呈现出较为显著的区域分异规律,经济发达的市区及新区的信息熵整体上高于其它区县,且呈现不断下降的趋势,土地利用结构的有序性逐渐提高,而其它稍欠发达4个区县的信息熵却呈现出日益上升的态势,土地利用结构的有序性不断降低。

(4) 需要进一步指出的是,本研究仅对镇江市1997—2009年的土地利用空间结构的演变特征进行了描述,时间尺度不够长,而大时间尺度的研究更能揭示区域土地利用结构演变的特征及规律;本研究初步地分析了镇江市域信息熵呈现出不断上升趋势与各地类面积变化的相关性的定量分析,弱化了关于市域信息熵演变阶段性特征及区域分异深层次驱动因子的分析与探讨,而这种分析更加有利于针对性地提出优化区域土地利用结构的策略与方案;再者,本研究只是选取了宁镇扬丘陵区典型案例地镇江市,通过

以点带面的研究方法探讨了宁镇扬丘陵区土地利用结构演变规律,这样研究模式在某种程度能揭示该区域的一些共性规律,但是还是不够全面和科学的,因此在今后的研究中,积极探索将镇江、南京及扬州市的土地利用作为整体进行相关研究,并且探讨宁镇扬丘陵区土地利用结构动态演变的内在机理,这对于揭示宁镇扬丘陵区土地利用结构的总体演变特征规律以及为这一地区土地利用规划与整理、城乡统筹发展提供更为有益的理论与实践的参考,从而使得宁镇扬丘陵区的土地利用向着更加科学、合理的方向发展。

[参考文献]

- [1] Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land use and land cover change[R]. Stockholm: IGBP, Science/research land IGBP Report No. 35 and HDP Report No. 7, 1995.
- [2] 史培军,李晓兵.土地利用/覆被变化研究的方法与实践[M].北京:科学出版社,2000:66-90.
- [3] 郭旭东,陈利顶,傅伯杰.土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响[J].地理科学进展,1999,7(6):66-75.
- [4] 李平,李秀彬,刘学军.我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析[J].地理研究,2001,20(2):130-138.
- [5] Rao KS, Rekha P. Land use dynamics and landscape change pattern in a typical micro-watershed in the mid elevation zone of central Himalaya, India [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2001, 86(2): 113-124.
- [6] 张荣天.宁镇扬丘陵区土地利用空间结构的分形研究:以镇江市为例[J].水土保持研究,2013,20(3):98-10.
- [7] 彭文甫,周介铭,杨存建,等.基于RS与GIS的县级土地利用变化分析:以四川省成都市双流县为例[J].遥感技术与应用,2008,23(1):24-30.
- [8] 张荣天,张小林,李传武.镇江市土地利用景观格局分析[J].经济地理,2012,32(9):132-137.
- [9] 邓晶,刁承泰.基于空间洛伦茨曲线和基尼系数的土地利用结构分析:以重庆江津市为例[J].国土与自然资源研究,2008(1):38-40.
- [10] 扈传荣,姜栋,唐旭,等.基于洛伦兹曲线的全国城市土地利用现状抽样分析[J].中国土地科学,2009,23(12):44-50.
- [11] Shannon C E. A Mathematical theory of communication [J]. Bell System Technical Journal, 1948,27(1):623-658.
- [12] Yan Aimin. Human resource ecosystem and its evolutionary rules [J]. Ecological Economy, 2007, 3(2): 365-372.
- [13] John E C, Shi Lei, Samantha J. Environment as the stage for economic actors[J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2007,5(4):3-8.

(下转第263页)

律,与产流产沙变化规律有密切相关,尤其与产沙量变化规律密切相关,这与本试验各次降雨过程中产流量除前期略少外后期基本变化不大有关。

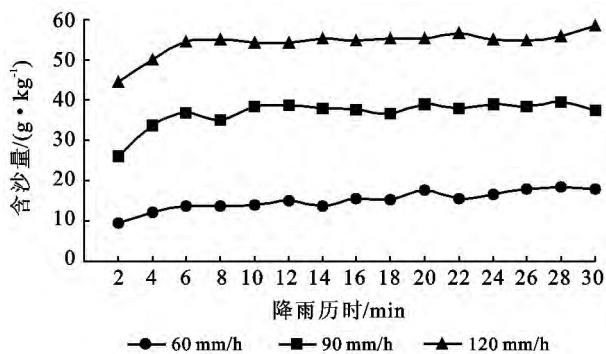


图3 含沙量随降雨历时变化规律图

3 结论

(1) 3种雨强条件下,降雨产流量及产沙量均随雨强增加,但产流量的增加幅度远大于产沙量。

(2) 3种雨强条件下,产流量均随径流时间的延长呈现先增大后趋于稳定的趋势。

(3) 3场降雨过程中产沙量及径流含沙量变化规律不一致,在60 mm/h雨强下,两者变化均随产流时间逐渐增加;90 mm/h雨强下,两者变化均随产流时间变化出现了先陡增后稳定波动的趋势;而120 mm/h

降雨强度下两者变化均随产流时间变化出现了先增加后略微递减的趋势。

(4) 在各场次降雨下,累积产流量和累积产沙量均随降雨历时的增加呈线性变化。

[参考文献]

- [1] 熊平生,谢世友,谢金宁. 初探三峡水库湿地面临的问题及其对策[J]. 国土与自然资源研究,2004(4):60-62.
- [2] Kimoto A, Nearing M A, Shipitalo M J, et al. Multi-year tracking of sediment sources in a small agricultural watershed using rare earth elements[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2006, 31(14): 1763-1774.
- [3] 刘刚,杨明义,刘普灵,等.⁷Be示踪坡耕地次降雨细沟与细沟间侵蚀[J]. 农业工程学报,2009,25(5):47-53.
- [4] 唐泽军,雷廷武,张晴雯,等. 降雨及聚丙烯酰胺(PAM)作用下土壤的封闭过程和结皮的形成[J]. 生态学报,2001,22(5):674-648.
- [5] 田风霞,刘刚,郑世清,等. 草本植物对土质路面径流水动力学特征及水沙过程的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(10):25-29.
- [6] 李朝霞,王天巍,史志华,等. 降雨过程中红壤表土结构变化与侵蚀产沙关系[J]. 水土保持学报,2005,19(1):1-4,9.
- [7] 丁文峰,李勉,张平仓,等. 坡沟系统侵蚀产沙特征模拟试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(3):10-14.

(上接第259页)

- [14] 谭永忠,吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J]. 自然资源学报,2003,18(1):112-117.
- [15] 周生路,黄劲松. 东南沿海低山丘陵区土地利用结构的地域分异研究[J]. 土壤学报,2003,40(1):37-45.
- [16] 申海建,郭荣中,刘刚,等. 洞庭湖区土地利用结构信息熵分异规律研究:以湖南省岳阳市为例[J]. 河北农业科学,2008,12(2):92-97.
- [17] 石培基,张学斌,罗君. 黄土丘陵沟壑区土地利用空间结构的计量地理分析:以甘肃省天水市为例[J]. 土壤,2011,43(3):439-445.
- [18] 赵晶,徐建华,梅安新,等. 上海市土地利用结构和形态演变的信息熵与分维分析[J]. 地理研究,2004,23(2):137-146.
- [19] 周子英,段建南,梁春风. 长沙市土地利用结构信息熵时空变化研究[J]. 经济地理,2012,32(4):124-129.
- [20] 陈彦光,刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述:从信息熵到分数维[J]. 地理研究,2001,20(2):146-152.
- [21] 吴燕芳,石培基,刘宁宁. 陇南山地土地利用结构动态演变分析[J]. 水土保持研究,2010,17(6):133-137.
- [22] 边静,何多兴,田永中,等. 基于信息熵与空间洛伦兹曲线的土地利用空间结构分析:以重庆市合川区为例[J]. 水土保持研究,2011,18(5):201-204.
- [23] 毛良祥,林燕华. 基于信息熵的我国土地利用结构动态变化研究[J]. 国土资源科技管理,2008,25(6):48-51.