

赵小娟,叶云,胡月明.基于分形理论的珠三角耕地景观变化及驱动[J].江苏农业科学,2018,46(18):261-265,279.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.18.064

基于分形理论的珠三角耕地景观变化及驱动

赵小娟^{1,2},叶云^{2,3},胡月明^{2,3}

(1.华南农业大学水利与土木工程学院,广东广州 510642; 2.广东省土地信息工程技术研究中心/广东省土地利用与整治重点实验室,广东广州 510642; 3.华南农业大学资源环境学院,广东广州 510642)

摘要:为更好探讨耕地景观变化的时空特征,以华南丘陵平原区珠三角为研究区域,基于分形理论基础,利用GIS手段对珠三角2000—2014年耕地流量、景观分形维数及空间格局变化进行研究。结果表明,2000—2014年珠三角耕地流向明显,耕地增加主要来源是未利用地开发,建设用地扩张、农业结构调整等则是造成耕地减少的主要原因。珠三角各地市耕地景观分形维数不同,说明其景观具有不同的稳定性结构,受到人为干扰的程度不同。在时间尺度上2000年珠三角各地市耕地景观分形维数整体比2008年、2014年要高,整体变化不大并呈现平稳状态,稳定性指数则正好相反。从空间尺度上来看,3个研究阶段耕地景观的分形维数最大值都是肇庆,相对应其稳定性指数则是最小。总体来看,稳定性指数越低,受到人为干扰程度越大。人口不断增长、社会经济迅速发展以及产业结构调整等对耕地数量变化影响较大。

关键词:珠三角;耕地景观;GIS;分形维数;稳定性指数

中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)18-0261-05

分形(fractal)理论是由美国科学家Mandebort等在20世纪70年代创立的^[1],能以分形维数对不规则“形”的复杂程度给出数值的度量^[2],是用分形分维的数学工具来描述研究客观事物的真实属性与状态,更加符合客观世界的多样性与复杂性。分形理论被广泛应用于自然科学和社会科学的各个领域,从而形成了许多新的学科生长点。随着分形理论在地理学研究中的应用,至20世纪90年代,逐渐形成了一个新兴的分支学科——分形地理学。近年来,分形理论被应用到城镇体系^[3]、沙漠化^[4]、乡村聚落^[5]、土地利用^[6-8]等方面,而具体到耕地景观变化上的应用研究则较少。耕地对我国经济良性发展与社会和谐稳定起着至关重要的作用,改革开放以来经济发展带来的城镇扩张、交通水利等基础设施增加和产业结构调整导致耕地数量锐减,尤其是城镇建设用地增加导致城镇周边大量优质农田流失,对农业生产造成不可逆的影响。

近年来,随着“3S”和现代信息技术等手段的迅速发展,为研究地理空间信息特别是土地利用动态变化提供了良好的手段^[9-10]。珠三角不仅是中国经济发展最快的核心城市群区域之一,而且也是广东省重要的农业生产基地,同时作为华南典型丘陵平原区,具有很好的研究价值和代表性。笔者以珠三角为研究区域,运用分形理论开展耕地景观变化研究,把握耕地空间格局动态变化,揭示耕地利用景观空间格局变化规律,对于珠三角城市化进程中的耕地保护及可持续利用具有重要作用。

收稿日期:2017-03-14

基金项目:广东省科技计划(编号:2014B020206002、2015B010110006)。

作者简介:赵小娟(1986—),女,陕西渭南人,博士研究生,主要研究方向为土地资源评价与利用。E-mail:422510302@qq.com。

通信作者:胡月明,教授,博士,主要从事土地资源管理与地理信息系统应用研究。E-mail:yhmh163@163.com。

1 区域概况与研究方法

1.1 研究区概况

珠三角位于广东省的中南部,珠江下游,地处111°59'~115°26'E,21°27'~23°56'N,是我国经济最发达的地区之一。行政辖域包括广州市、深圳市、珠海市、佛山市、肇庆市、中山市、东莞市、江门市、惠州市等9个地级市,涉及48个县(区),土地面积占广东省国土面积的23.2%。该地区属南亚热带海洋季风气候,雨热充沛,温暖湿润,年均气温21~23℃,多年平均降水量在1600~2300mm,界内有数千条大小河道纵横交错。三角洲平原土地肥沃,土壤类型多样,可分为5个土类,包括水稻土、赤红壤、石灰土、紫色土、潮土。2014年珠三角土地总面积547.54万hm²,其中耕地61.59万hm²(不包含可调整地类),占全省耕地总面积的23.49%。

1.2 数据来源及处理

研究数据包括遥感影像数据以及中国科学院地理研究所对遥感影像进行解译的土地利用数据(2000年、2008年);2000—2014年土地利用变更数据;社会经济数据主要来源于2015年《广东农村统计年鉴》《广东统计年鉴》及各地市统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报,所涉及的部门包括农业、国土、水利、规划、环保、统计等部门。

遥感数据是在地理空间数据云平台下载2014年涉及研究区域的多幅30m分辨率TM遥感影像。接收时间是7—12月,选择无云或少云,影像质量高的数据。对TM遥感影像数据的预处理主要包括辐射定标、大气校正以及影像的拼接和裁剪等。遥感数据分类参考GB/T21010—2007《土地利用现状分类》以及中国科学院土地利用覆盖分类体系,结合珠三角区域TM遥感影像特点和景观异质性,分为6个一级类,分别为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地。分类结果的精度检验是从遥感图像上随机选择了100个样点,保证各

地类都有覆盖,采用目视解译的方法结合实地调查与第二次土地调查成果^[11],结果表明,影像分类总体精度达到87.3%,Kappa系数也超过了0.7,分类达到使用要求。

1.3 研究方法

1.3.1 耕地流量变化 为分析耕地转移的空间分布情况,这里采用地图信息图谱法进行定量可视化研究^[12],用土地利用转移矩阵来反映区域在不同时间点土地类型转移的数量关系。转换面积的栅格运算公式为

$$S_{ij} = S \times \sum_{i=1}^n X_{ij} \quad (1)$$

式中: S_{ij} 表示在某一时间段内,从土地利用*i*类型转移到*j*类型的总面积; S 表示栅格单元的面积; X_{ij} 为初期土地利用类型为*i*转换后类型为*j*的栅格总数。

分别对3期遥感解译数据进行重分类并栅格化处理,栅格单元均设定为 $500 \times 500 \text{ m}$ ^[13],重分类中栅格单元的面积为 0.25 km^2 。将土地利用类型中的耕地、园林地、草地、水域及水利设施用地、城镇村及其他建设用地、其他土地分别定义为1、2、3、4、5、6,对2000—2008年土地利用转移采用栅格计算器中的加法运算“reclass2000” $\times 10 +$ “reclass2008”,新产生了29种不同类型的栅格数据;对2000—2008年土地利用转移采用栅格计算器中的加法运算“reclass2008” $\times 10 +$ “reclass2014”,新产生了36种不同类型的栅格数据。

1.3.2 分形维数模型 分形理论被广泛地应用于自然科学和社会科学的各个领域,土地利用具有空间形体的相对不稳定性及复杂性特征^[8]。可以用分形维数模型来分析研究并

表示土地利用景观类型结构的复杂程度和相关分布状况^[14]。景观分形维数模型可表示为

$$\ln A(r) = \frac{2}{D} \ln P(r) + C \quad (2)$$

式中: r 为研究尺度; D 为耕地景观的分形维数; A 为耕地图斑面积; P 为耕地图斑周长; C 为常数。

景观要素的复杂性、稳定性与其空间结构的分形维数*D*值大小密切相关。通常认为,人类干扰作用下形成的地块越规则,因此受到人类活动干扰越大的地块,其形状越简单、斑块间相似程度越高。可通过求取直线的斜率而求得各土地类型分形维数*D*的值,其值为斜率的倒数乘以2,即 $D = 2/k$ (k 为斜率)。分形维数*D*值的理论范围为 $[1, 2]$,*D*值越大,代表地块形状越复杂。当 $D = 1.5$ 时,表示地块处于一种随机状态;*D*值越接近1.5,就表示空间结构越不稳定^[15]。当 $D < 1.5$ 时,说明趋向于简单的地块形状;当 $D > 1.5$ 时,则地块形状将呈现复杂趋势。因而可定义一个景观稳定性指数*SI*如下:

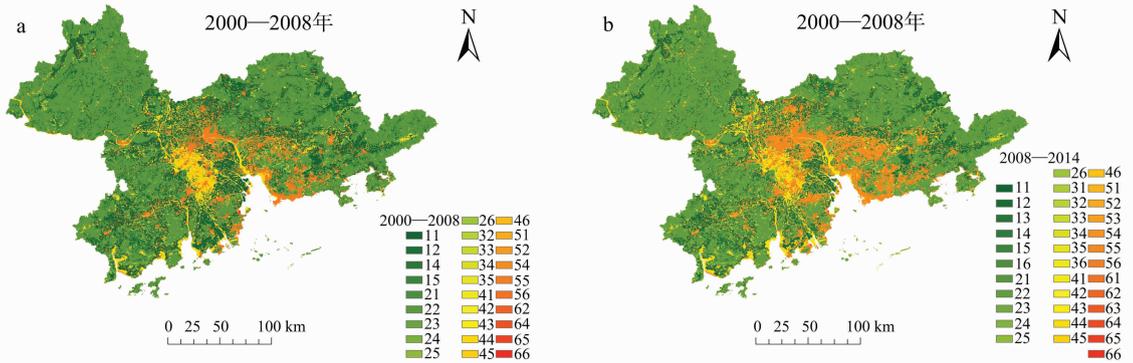
$$SI = |1.5 - D| \quad (3)$$

*SI*值越小代表地块空间结构越不稳定;反之则越稳定。

2 结果与分析

2.1 耕地流量变化

2.1.1 2000—2008年 耕地流量的变化分为流入和转出,耕地流入主要包括土地整治、复垦和开发,农业结构调整等,耕地转出主要是建设占用、灾毁以及农业结构调整等。珠三角2000—2008年土地利用转移情况见图1-a、表1。



11~16分别表示耕地不变、耕地转为园林地、耕地转为草地、耕地转为水域及水利设施用地、耕地转为城镇村及其他建设用地、耕地转为其他土地;21~26分别代表园林转为耕地、园林地不变、园林地转为草地、园林地转为水域及水利设施用地、园林地转为城镇村及其他建设用地、园林地转为其他土地;31~36、41~46、51~56、61~66依此类推

图1 珠三角地区2000—2008年、2008—2014年土地利用转移情况

表1 珠三角地区2000—2008年土地转移栅格数

土地利用类型	土地转移栅格数					
	耕地	园林地	草地	水域及水利设施用地	城镇村及其他建设用地	其他土地
耕地	29 105	302	0	831	6 873	0
园林地	21	128 259	7	99	4 225	2
草地	0	258	5 642	11	249	0
水域及水利设施用地	53	28	2	18 964	1 873	5
城镇村及其他建设用地	8	39	0	28	19 682	3
其他土地	0	4	0	9	21	215

通过表中单元数量及单个栅格面积,计算在2000—2008年期间耕地转出的面积约为 $200 150 \text{ hm}^2$,耕地减少主要是转向城镇村及其他建设用地,占耕地总减少面积的85.85%,另

外还有转为园林地、水域及水利设施用地,分别占耕地转出总面积的3.77%、10.38%,这一阶段由于城镇化发展不断扩张,以及工企业建设,导致大量耕地被占用转为建设用地;耕

地转入面积约为 2 050 hm²,转入耕地最多的是水域及水利设施用地,占了总转入耕地面积的 64.63%,而园林地、城镇村及其他建设用地分别有 25.61%、9.76% 转为耕地,主要是受到农业结构调整、围湖造田等影响。

2.1.2 2008—2014 年 珠三角 2008—2014 年土地利用转移情况见图 1-b、表 2。可以看出在 2008—2014 年期间耕地流量变化明显。耕地转出的面积约为 231 550 hm²,耕地减少主要是转向园林地,占总转出耕地面积的 36.32%,耕地转为城镇村及其他建设用地、草地、水域及水利设施用地、其他土地

表 2 珠三角地区 2008—2014 年土地转移栅格数

土地利用类型	土地转移栅格数					
	耕地	园林地	草地	水域及水利设施用地	城镇村及其他建设用地	其他土地
耕地	21 025	3 018	213	2 126	2 604	201
园林地	3 049	113 981	1 415	4 198	5 117	1 130
草地	324	2 058	258	2 652	295	64
水域及水利设施用地	145	987	163	16 962	1 546	139
城镇村及其他建设用地	208	2 608	692	2 121	26 471	823
其他土地	5	21	1	83	46	69

综合以上分析,珠三角未利用地开发是耕地增加主要来源,随着城镇化进程加快,园林地和水域等也逐渐成为耕地增加的重要来源;建设用地扩张、农业结构调整等则是造成耕地减少的主要原因。

2.2 耕地分形维数变化

2.2.1 不同时段分形维数变化 利用 ArcGIS 软件提取 2000

表 3 2000—2014 年珠三角各地市耕地景观分形拟合模型

地区	2000 年		2008 年		2014 年	
	拟合模型	r^2	拟合模型	r^2	拟合模型	r^2
广州市	$y = 1.452 7x + 0.230 9$	0.929 7	$y = 1.646 9x - 0.502 4$	0.945 5	$y = 1.683 6x - 0.668 1$	0.932 1
深圳市	$y = 1.486 0x + 0.160 2$	0.925 1	$y = 1.747 1x - 0.800 5$	0.956 2	$y = 1.690 6x - 0.752 4$	0.920 7
珠海市	$y = 1.610 2x - 0.280 9$	0.935 9	$y = 1.833 6x - 1.191 8$	0.914 4	$y = 1.516 6x - 0.205 5$	0.853 8
佛山市	$y = 1.402 1x + 0.426 9$	0.919 5	$y = 1.653 2x - 0.537 5$	0.936 9	$y = 1.725 7x - 0.809 3$	0.909 5
江门市	$y = 1.339 2x + 0.689 8$	0.946 1	$y = 1.531 2x - 0.069 4$	0.950 1	$y = 1.493 5x - 0.105 6$	0.934 4
肇庆市	$y = 1.334 4x + 0.697 2$	0.943 7	$y = 1.467 5x + 0.193 1$	0.939 7	$y = 1.372 0x + 0.143 4$	0.918 2
惠州市	$y = 1.379 7x + 0.493 2$	0.948 0	$y = 1.577 4x - 0.259 6$	0.953 6	$y = 1.512 4x - 0.225 2$	0.943 1
东莞市	$y = 1.350 5x + 0.608 8$	0.934 8	$y = 1.706 6x - 0.714 1$	0.958 3	$y = 1.709 1x - 0.765 9$	0.910 6
中山市	$y = 1.352 1x + 0.737 2$	0.934 5	$y = 1.714 2x - 0.665 5$	0.958 4	$y = 1.728 6x - 0.742 2$	0.904 4
珠三角	$y = 1.383 9x + 0.505 1$	0.936 7	$y = 1.618 8x - 0.393 1$	0.948 6	$y = 1.567 4x - 0.376 5$	0.925 6

从表 3 可以看出,这 3 个时期珠三角各地市耕地景观类型的图斑面积和周长的相关系数 r^2 基本都在 0.9 以上,说明其拟合度很高,研究的数据具有可靠性,表明耕地资源中图斑面积与周长形成的这种关系不是在特定情况下偶然发生的,因此计算分形维数也具有一定的理论依据,说明对分形维数的分析具有研究意义和价值。再利用 SI 公式计算稳定性指数,分析结果见表 4。

从表 4 可以看出,珠三角各地市耕地景观分形维数不同,说明其景观具有不同的稳定性结构,受到不同程度的人为干扰。珠三角作为华南平原丘陵区,社会经济发展具有地域差异性,各地市主导产业不同,农民对农业生产的重视程度和对耕地的依赖程度也不相同,使得各地农民对耕地的人为干扰程度不同。

在时间尺度上 2000 年珠三角各地市耕地景观分形维数整体比 2008 年和 2014 年要高,除珠海外其他各市在 2008 年

的面积占比分别 31.51%、2.73%、27.27%、2.17%,这一时期城镇发展速度放缓,重视交通水利设施建设,同时受农业结构调整、生态退耕等影响,有很大一部分耕地转变为园林地;耕地转入面积约为 126 025 hm²,转为耕地的大部分土地类型是园林地,占总转入耕地面积的 78.34%,其中很大部分是作为可调整园林地变为耕地,转为耕地的其他土地类型还包括草地、水域及水利设施用地、城镇村及其他建设用地、其他土地,面积占比分别为 10.39%、4.86%、6.11%、0.30%。

年、2008 年、2014 年 3 个时期的耕地利用现状数据后,和珠三角市地级行政区进行叠加,得到各市地级区域的耕地图斑数据,然后对所有耕地图斑对应的面积和周长进行对数转换分析,以消除量纲的影响,并将转换后的周长值作为自变量,转换后的面积值作为因变量^[16],再进行线性回归拟合分析,得到珠三角及各地市耕地景观分形拟合模型及相关系数 r^2 ,分析结果见表 3。

和 2014 年的耕地景观分形维数数值相接近,变化不大并呈现平稳状态。与分形维数相对应的稳定性指数则正好相反,2000 年珠三角各地市的耕地景观稳定性指数普遍小于 2008 年和 2014 年,分形维数越大则稳定性指数越小。表明 2000 年耕地图斑形状相对比较复杂,景观结构最不稳定,受到的人为干扰程度最弱。随后通过政府部门指导,实施耕地整治、园地山坡地改造开发、高标准农田建设、土地复垦等土地开发整治项目,表明耕地受到人为干扰的强度变大,对耕地的建设使得其分形维数变小,景观结构越来越稳定,耕地形状由复杂变为简单并趋向于规则化,耕地景观格局的生态效应逐渐明显。整体来看,珠三角区域 2000—2008 年耕地景观分形维数有较大幅度的减少,是由于建设占用、生态退耕、抛荒等各种因素影响,珠三角耕地面积在持续减少,随着科技进步及相关政策的完善,对农田的管理利用趋于规范化,人类干扰程度的加大使得耕地图斑的形状逐渐趋于规整化、简单化,其分形维数也

表4 2000—2014年珠三角各地市耕地景观分形维数和稳定性指数

地区	分形维数(D)			稳定性指数(SI)			分形维数变化(ΔD)	
	2000年	2008年	2014年	2000年	2008年	2014年	2000—2008年	2008—2014年
广州市	1.376 7	1.214 4	1.187 9	0.123 3	0.285 6	0.312 1	-0.162 3	-0.026 5
深圳市	1.345 9	1.144 8	1.183 0	0.154 1	0.355 2	0.317 0	-0.201 1	0.038 3
珠海市	1.242 1	1.090 8	1.318 7	0.257 9	0.409 2	0.181 3	-0.151 3	0.228 0
佛山市	1.426 4	1.209 8	1.158 9	0.073 6	0.290 2	0.341 1	-0.216 7	-0.050 8
江门市	1.493 4	1.306 2	1.339 1	0.006 6	0.193 8	0.160 9	-0.187 3	0.033 0
肇庆市	1.498 8	1.362 9	1.457 7	0.001 2	0.137 1	0.042 3	-0.135 9	0.094 9
惠州市	1.449 6	1.267 9	1.322 4	0.050 4	0.232 1	0.177 6	-0.181 7	0.054 5
东莞市	1.480 9	1.171 9	1.170 2	0.019 1	0.328 1	0.329 8	-0.309 0	-0.001 7
中山市	1.479 2	1.166 7	1.157 0	0.020 8	0.333 3	0.343 0	-0.312 5	-0.009 7
珠三角	1.445 2	1.235 5	1.276 0	0.054 8	0.264 5	0.224 0	-0.209 7	0.040 5

不断减小并趋向稳定;2008—2014年又有了小幅度的提高,是由于近些年农民外出打工者增加,造成部分耕地无人耕种而被撂荒,使农田景观格局变得较为破碎,分形维数值变大^[17]。2000—2008年 $\Delta D = -0.2097$,为负,表明在这个时期内耕地空间分布的复杂性有所降低,2008—2014年 $\Delta D = 0.0405$,为正,表明在这个研究时间段内耕地分布有小幅度的增加的趋势,且复杂性增大。

2.2.2 不同区域分形维数变化 从空间尺度上来看,2000年珠海的分形维数最低,相同时期其稳定性指数则最高,并且佛山市、江门市、肇庆市、惠州市、东莞市、中山市耕地景观的分形维数均大于1.4,其他地市也都大于1.2,说明这一时期,大部分区域耕地利用情况还较粗放,集约利用效果不明显;2008年,所有地市耕地景观的分形维数均小于1.4,最小值仍然是珠海市,仅有1.0908,分形维数最大的是肇庆,为1.3629;2014年,各地市耕地景观的分形维数值都大于1.1。整体来看,稳定性指数越低,受到人为干扰程度越大,3个研究阶段耕地景观的分形维数最大值都是肇庆,相对应其稳定性指数则是最小。

依据上述稳定性指数,结合珠三角近15年来社会经济发展状况以及土地利用情况,将珠三角各地市耕地景观稳定性指数数值大小分为4个级别:1级(0~0.1)、2级(>0.1~0.2)、3级(>0.2~0.3)、4级(>0.3)。稳定性指数分区见图2。

2000年,珠三角有5个地市的耕地景观稳定性指数小于0.1,景观结构表现为很不稳定,并且所有地市稳定性指数均小于0.3,即没有出现第4级;2008年,珠三角各地市耕地景观稳定性指数级别集中在2、3、4级,并且分布也比较均匀,所占比例相当;2014年,耕地景观稳定性指数级别包括1、2、4级,主要集中在4级,位于珠三角中部区域,景观结构趋于稳定。广州市作为广东省政治经济中心,其社会经济的发展离不开建设占用耕地,以广州市为中心向外围辐射,尤其是佛山市、珠海市耕地面积不断减少,人为干扰程度也在不断加大。从地域分布来看,稳定性较高的区域主要集中在珠三角中部,这个区域地势平缓,对耕地景观稳定性起一定的正向作用。耕地斑块边缘较为规则,说明地形因素对景观稳定性指数也起着重要影响。

2.3 耕地景观变化驱动力

2.3.1 耕地景观变化驱动因素 工业化、城市化进程的加快,引起耕地格局剧烈改变,了解导致其剧变的原因及人类活动对耕地的干扰,是研究耕地资源保护与可持续利用的重要

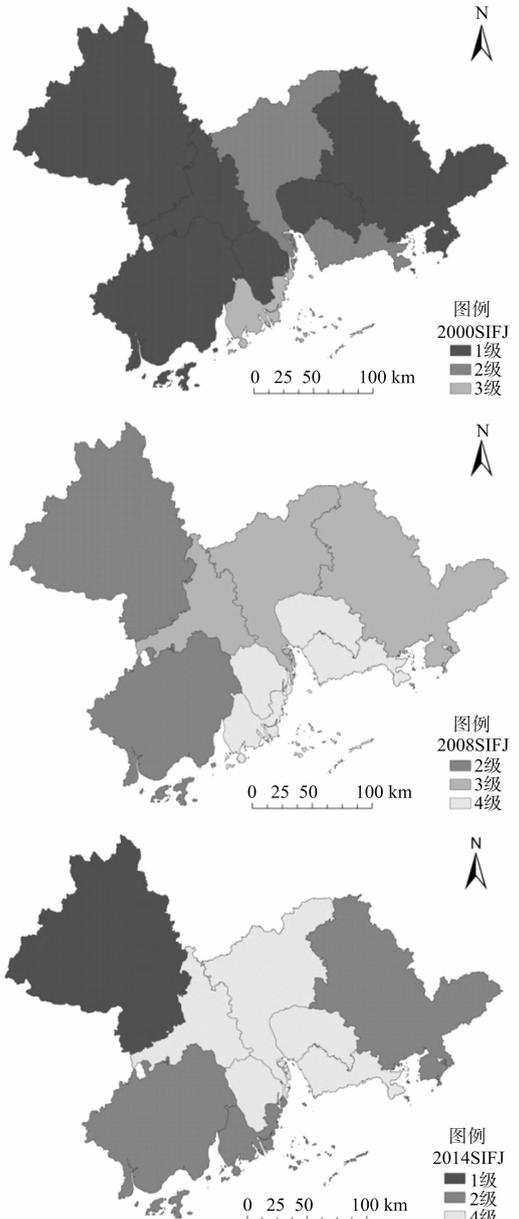


图2 2000年、2008年、2014年3个时期珠三角耕地景观稳定性指数变化分布

课题之一^[18-19]。影响耕地空间格局的演变主要包括自然和人为两方面,自然因子对景观的作用常发生在较大的时空尺

度,引起大范围的景观发生变化;而人为因子则主要作用于较小时空尺度的景观演变^[20]。耕地变化受自然灾害、社会发展、农业结构调整以及国家政策等因素综合影响^[21]。

耕地变化自然驱动因素主要影响土地资源的生产力和土地利用强度,社会经济驱动相对较活跃,包括人口增长、科技进步、城镇扩张、经济发展等因素,影响土地利用类型和土地利用强度^[22]。由于研究时间尺度较短,自然环境因素相对较为稳定,发挥着累积性效应,对耕地利用变化的影响相对较小,而社会、经济和技术等因素则成为主要影响因素^[23]。因此笔者主要研究人文因素对珠三角耕地利用变化的影响。

2.3.2 驱动因素的数理分析 在查阅相关文献资料的基础上,遵循综合性、科学性、代表性及可获取性原则,依据珠三角耕地利用实际情况,选取了影响其耕地利用的因素,并邀请领域专家进行修正,得到如下指标:总人口、农业人口比重、人均耕地面积、财政收入、固定资产投资、农民人均纯收入、人均GDP、农业总产值、粮食产量、二三产业结构比重、农业机械总动力。由于各评价指标量纲、数量级和数量变化幅度的差异,首先对原始数据进行标准化处理,这里采用Z标准化方法,处理后各变量的平均值为0,标准差为1^[24]。再利用SPSS统计软件对所选指标与耕地面积进行相关性分析,得到耕地面积变化与驱动因素的相关系数见表5。

表5 2000—2014年珠三角区域耕地变化与驱动因素的相关系数

驱动因素	相关系数
总人口	-0.948 **
农业人口比重	0.687 **
人均耕地面积	0.995 **
人均GDP	-0.679 **
财政收入	-0.887 **
固定资产投资	-0.911 **
农民人均纯收入	-0.864 **
农业总产值	-0.805 **
粮食产量	0.812 **
GDP	-0.689 **
二、三产业结构比重	-0.932 **
农业机械总动力	-0.679 **

注:“**”表示在0.01水平双侧上显著相关。

从表5可以看出,导致珠三角耕地面积变化的主要驱动因素为总人口、人均耕地面积、财政收入、固定资产投资、农民人均纯收入、二三产业结构比重等,从侧面印证了人口不断增长、社会经济迅速发展以及产业结构调整等对耕地数量变化影响较大。人口因素对耕地变化具有直接作用,人口增长必然带来城镇建设用地的增加,占用城镇周边大量优质耕地;经济的迅速发展和利益驱动也使得农地不断被非农化利用,土地利用结构发生转变,二三次产业比重加大,耕地数量不断减少。负相关系数则表明这些因素是珠三角耕地面积不断减少的主要原因。

3 结论

从耕地流量变化来看,2000—2008年期间耕地转出的面积约为200 150 hm²,主要是转向城镇村及其他建设用地,占耕地总减少面积的85.85%;耕地转入面积约为2 050 hm²,转入耕地最多的是水域及水利设施用地,占了总转入耕地面积

的64.63%。2008—2014年期间耕地流量变化明显,耕地转出的面积约为231 550 hm²,主要是转向园林地和城镇村及其他建设用地,分别占总转出耕地面积的36.32%、31.51%。

利用分形理论对耕地景观格局特征进行分析,研究珠三角各地市耕地景观的空间分布格局和空间异质性特征。在定量描述耕地利用景观格局时,分形理论是一种较好的方法。在时间尺度上2000年珠三角各地市耕地景观分形维数整体比2008年、2014年要高。空间上来看,珠三角各地市耕地景观分形维数不同,反映了其耕地斑块形状复杂度多样,景观具有不同的稳定性结构,受到不同程度的人为干扰。稳定性指数则正好相反,2000年珠三角各地市的耕地景观稳定性指数普遍小于2008年、2014年,分形维数越大则稳定性指数越小。3个研究阶段耕地景观的分形维数最大值都是肇庆,相对应其稳定性指数则是最小。这些变化都是在自然和人为因素共同作用下发生的,珠三角耕地变化的主要驱动因素是总人口、人均耕地面积、财政收入、固定资产投资、农民人均纯收入、二三产业结构比重等,从侧面印证了人口不断增长、社会经济迅速发展以及产业结构调整等对耕地数量变化影响较大。通过定量分析耕地景观格局特征,将有助于深入研究其影响因素,寻求土地高效利用方式,并为社会经济的可持续以及人与自然的和谐发展奠定良好基础。

参考文献:

- [1] Mandelbrot B B, Aizenman M. Fractals: form, chance, and dimension [J]. *Physics Today*, 1979, 3(4): 346.
- [2] 许君燕, 陈松林, 施明乐. 基于分形理论的土地利用景观格局变化研究——以长乐市为例[J]. *云南地理环境研究*, 2006, 18(6): 30-33.
- [3] 曹芳东, 吴江, 徐敏. 基于分形理论的江苏省南通市城镇体系空间结构研究[J]. *人文地理*, 2010(5): 69-74.
- [4] 阿如早, 杨持, 同丽嘎. 基于分形理论的沙漠化土地空间结构——以内蒙古多伦县为例[J]. *地理研究*, 2010, 29(2): 283-290.
- [5] 吴江国, 张小林, 冀亚哲. 苏南和皖北平原地区乡村聚落分形特征对比分析——以镇江丹阳市和宿州埇桥区为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(2): 161-169.
- [6] 叶长盛, 董玉祥. 珠江三角洲土地利用分形特征及其影响机制[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(4): 330-335.
- [7] 吴晨, 张建新, 吴国平, 等. 基于矢量和栅格数据的土地利用稳定性研究——以山东省临沂市为例[J]. *地理与地理信息科学*, 2016, 32(1): 117-121.
- [8] 郑瑞卿, 刘富民. 基于分形理论的土地利用景观格局变化研究——以镇赉县镇赉镇为例[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(2): 217-222.
- [9] 李轩宇, 周卫军, 黄利红, 等. 基于RS的土地动态监测方法和应用[J]. *经济地理*, 2008(4): 671-673.
- [10] 钟凯文, 孙彩歌, 解靓. 基于GIS的广州市土地利用遥感动态监测与变化分析[J]. *地球信息科学学报*, 2009, 11(1): 111-116.
- [11] 黄颖. 基于遥感与景观指数的土地利用/覆盖变化及格局分析[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
- [12] 李建春. 银川市耕地变化与基本农田空间布局优化研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.

(下转第279页)

- [6] 张晓雪. 绿肥和花卉对 ^{137}Cs 和 ^{88}Sr 污染土壤的修复能力研究 [D]. 绵阳:西南科技大学,2010.
- [7] 唐永金,罗学刚,曾峰,等. 不同植物对高浓度 Sr、Cs 胁迫的响应与修复植物筛选[J]. 农业环境科学学报,2013,32(5):960-965.
- [8] 施仲齐,方栋,云桂春. 核电站的环境影响[M]. 北京:水利电力出版社,1984:172.
- [9] 胡凯光. 核工业微生物学[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2009:306.
- [10] 汤泽平,陈迪云,宋刚. 土壤放射性核素污染的植物修复与利用[J]. 安徽农业科学,2009,37(13):6101-6103.
- [11] Fuhrmann M, Lasat M M, Ebbs S D, et al. Uptake of cesium - 137 and strontium - 90 from contaminated soil by three plant species; application to phytoremediation [J]. Journal of Environmental Quality, 2002, 31(3):904-909.
- [12] 李泽鸿,姚玉霞. 荠菜的营养成分分析[J]. 中国野生植物资源,2000(4):41.
- [13] 程爱芳. 荠菜的营养价值及药用价值[J]. 蔬菜,2004(6):36.
- [14] 余先亮. 荠菜高产栽培技术[J]. 福建农业,2012(5):38.
- [15] Tsukada H, Takeda A, Takahashi T, et al. Uptake and distribution of ^{90}Sr and stable Sr in rice plants [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2005, 81(2):221-231.
- [16] Soudek P, Valenová S, Vavříková Z, et al. ^{137}Cs and ^{90}Sr uptake by sunflower cultivated under hydroponic conditions [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2006, 88(3):236-250.
- [17] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990:87-90.
- [18] 熊毅,李庆逵. 中国土壤[M]. 2版. 北京:科学出版社,1978:318.
- [19] 张彤,刘桂琴,韩向荣. 土壤与肥料[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1984:45-46.
- [20] 王丹,陈晓明,唐运来,等. 放射性核素污染土壤的植物修复技术研究关键问题探讨[J]. 辐射防护,2016,36(2):94-103.
- [21] 姜晓燕,刘淑娟,闫冬,等. 植物对核素铯的吸附与富集作用研究现状[J]. 癌变·畸变·突变,2014,26(6):463-466.
- [22] 闻方平. 西南地区四种植物对土壤 ^{137}Cs 、 ^{88}Sr 胁迫响应及吸收积累特征研究[D]. 绵阳:西南科技大学,2009.
- [23] 曾超,王丹,付菊梅,等. 不同螯合剂对花生富集污染土壤中 Co 的影响[J]. 安全与环境学报,2015,15(1):252-257.
- [24] Qi L, Qin X, Li F M, et al. Uptake and distribution of stable strontium in 26 cultivars of three crop species; oats, wheat, and barley for their potential use in phytoremediation [J]. International Journal of Phytoremediation, 2014, 17(3):264-271.
- [25] 唐秀欢,潘孝兵,杨永青,等. 放射性污染植物修复中超富集植物的数值评价[J]. 环境科学与技术,2008,31(5):125-129.
- [26] 周璐璐,唐运来,陈霞,等. 铯对油菜幼苗叶片光合作用的影响[J]. 植物学报,2013,48(3):313-319.
- [27] 敖嘉,唐运来,陈梅,等. Sr 胁迫对油菜幼苗抗氧化指标影响的研究[J]. 核农学报,2010,24(1):166-170.
- [28] 李奕泰. 植物对铯富集能力及根际促生菌协同作用的研究 [D]. 北京:中国疾病预防控制中心,2016.
- [29] 刘淑娟. 4 种常见蔬菜对 Sr 的吸收积累特征及其生理指标的影响研究 [D]. 北京:中国疾病预防控制中心,2015.
- [30] Brooks R R, Lee J, Reeves R D, et al. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1977, 7:49-57.
- [31] Baker A J M, Brooks R R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements, a review of their distribution, ecology and phytochemistry [J]. Biorecovery, 1989, 1:81-126.
- [32] Chaney R L, Malik M, Li Y M, et al. Phytoremediation of soil metals [J]. Current Opinion in Biotechnology, 1997, 8(3):279-84.
- [33] 唐秀欢,潘孝兵. 植物修复——大面积低剂量放射性污染的新治理技术[J]. 环境污染与防治,2006,28(4):275-278.
- [34] 田军华,曾敏,杨勇,等. 放射性核素污染土壤的植物修复[J]. 四川环境,2007,26(5):93-96.
- [35] 唐秀欢,潘孝兵,王俊生. 放射性污染植物修复技术田间试验及前景分析[J]. 环境科学与技术,2008,31(4):63-67.
- [36] 张晓雪,王丹,张志伟,等. 水培条件下十种植物对 ^{88}Sr 和 ^{137}Cs 的吸收和富集[J]. 北方园艺,2009(10):65-67.
- [37] 侯兰欣,徐世明,赵文虎,等. ^{90}Sr 在棉花等作物体内分布及高浓集植物的筛选[J]. 中国核科技报告,1996(增刊1):869-877.
- [38] 赵文虎,徐世明,侯兰欣,等. 农作物食用部分中 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 含量的早期预报——对 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 具有高浓集力植物的筛选[J]. 中国核科技报告,1996(增刊):272-291.

(上接第 265 页)

- [13] 包妮沙,叶宝莹,祝艳. 矢量数据栅格化过程中尺度与方法选择研究[C]//ESRI 中国有限公司. 2009 第八届 ESRI 中国用户大会论文集. 北京:测绘出版社.
- [14] 徐磊. 龙海市耕地景观格局变化及其影响因素研究[D]. 福州:福建农林大学,2015.
- [15] 谢花林,李秀彬. 基于分形理论的土地利用空间行为特征——以江西东江源流域为例[J]. 资源科学,2008,30(12):1866-1872.
- [16] 刘淑苹. 周宁县耕地景观格局及其影响因素分析[D]. 福州:福建师范大学,2009.
- [17] 李谢辉,塔西甫拉提·特依拜,任福文. 基于分形理论的干旱区绿洲耕地动态变化及驱动力研究[J]. 农业工程学报,2007,23(2):65-70.
- [18] Deng X, Huang J, Rozelle S, et al. Cultivated land conversion and potential agricultural productivity in China [J]. Land Use Policy, 2006, 23(4):372-384.
- [19] 吴楠楠,任星,张鹏岩. 河南省巩义市不同坡度下的耕地景观格局分析[J]. 河南大学学报(自然科学版),2014,44(3):317-323.
- [20] 常胜. 基于景观空间格局的土地可持续利用评价——以湖北恩施为例[D]. 武汉:中国地质大学,2010.
- [21] 关兴良,方创琳,鲁莎莎. 中国耕地变化的空间格局与重心曲线动态分析[J]. 自然资源学报,2010,25(12):1997-2006.
- [22] 陈朝. 湖北耕地利用变化与驱动力分析[D]. 武汉:华中师范大学,2007.
- [23] 王秋香. 佛山市耕地变化驱动机理及空间布局优化研究[D]. 南京:南京大学,2011.
- [24] 王爱苓,严永路,尹崧,等. 经济、社会、资源、环境复合系统协调发展研究——以保定市为例[J]. 中国农学通报,2012,28(23):171-176.