

DOI: 10.3969/j.issn.1004-9479.2017.05.005

黄滢冰,南卓铜,徐启恒,等. 珠三角典型地区耕地流失特征及机制分析[J]. 世界地理研究, 2017, 26(5): 44-55

HUANG Y, NAN Z, XU Q, et al. Characteristics and driving forces of the arable land loss in Dongguan[J]. World Regional Studies, 2017, 26(5): 44-55

珠三角典型地区耕地流失特征及机制分析

—以 1988 年 ~ 2013 年快速城市化的东莞市为例

黄滢冰¹, 南卓铜², 徐启恒³, 赵克飞⁴

(1. 东莞市地理信息与规划编制研究中心, 广东东莞 523129 2. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023 3. 东莞市测绘院, 广东东莞 523129 4. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275)

摘要: 结合遥感解译得到多期土地利用类型图, 分析 1988 年 ~ 2013 年东莞市耕地流失的数量变化特征、流失强度以及与城市扩张之间的流转关系, 并结合社会经济统计数据研究东莞耕地流失的影响因素, 确定了人口、产业结构、经济发展状况、居民生活水平和交通发展水平五类耕地流失驱动指标。利用相关性检验、主成分分析和逐步回归法进行驱动力分析。研究结果表明: 26 年间东莞市耕地流失 886.52km², 占研究区总面积的 35.96%, 耕地以 79.16% 的净流失率和 6.08% 的年均强度持续流失, 且耕地流失与城市建设用地之间存在显著的线性流转关系, 该期间耕地有四个显著的流失阶段, 为原始快速流失期、间歇平稳流失期、二次高速流失期和成熟趋缓流失期, 分别反映了同时期的国家政策调整及地区战略规划; 一、三产业比重、城市化率、职工工资水平及常住人口等 12 个驱动因子与耕地流失存在显著相关性, 其中的户籍非农人口、GDP、固定资产投资、职工工资水平和公路里程分别为五类驱动指标的主成分, 第三产业的发展通过提高居民收入水平进而推动城市房地产业的发展, 是加速东莞市耕地流失最为核心的动力机制。

关键词: 耕地流失; 驱动力; 东莞; 主成分分析; 多元逐步回归

中图分类号: K92 文献标识码: A

0 引言

耕地是土地资源中最为宝贵的自然资源, 其数量和质量是粮食综合生产力的体现^[1-2]。20 世纪 80 年代, 我国耕地流失现象逐渐凸显^[3-6], 珠江三角洲地区处于经济的快速发展期, 伴随着快速城镇化进程, 耕地大量流失^[7]。其中东莞的土地利用变化最具代表性^[8-9], 相关资料^[10]显示, 东莞在改革开放之初为农业大县, 工业基础十分薄弱。而到 80 年代中期, 该区开始承接来自港澳台地区的加工企业的转移, 大力发展加工装配等外向型工业, 并逐渐形成了以制造业为主的国际性加工制造业基地和中国重要的外贸出口基地。在此期间, 乡镇地租低、环境好的耕地不断沦为工业用地。然而这一依赖消耗土地换经济发展的粗放模式终究不

收稿日期: 2016-05-16; 修订日期: 2016-07-07

作者简介: 黄滢冰(1986-), 女, 硕士, 测绘工程师, 从事 GIS、遥感及城市规划的研究与应用工作。E-mail: huangyingbing@yeah.net.

通讯作者: 南卓铜(1977-), 男, 博士, 教授, 研究方向为地表过程集成建模、GIS 应用及科学数据共享。E-mail: nanztc@njnu.edu.cn.

可能持续,黎夏^[11]在 1997 年利用遥感和 GIS 技术对东莞市农田损失进行了监测和定量评价,从数量、质量及空间分布的角度分析了农田被侵占的损失程度。杨青生等^[12]在 2005 年以东莞市樟木头镇为例对其城市用地进行了模拟研究。梁育填等^[13]研究了东莞如何提高区域生产空间质量和优化区域国土空间结构。研究也揭示了东莞 56.1%的耕地处于警戒水平,15.7%耕地处于较差水平^[14,15]。耕地质量的下降主要是对经济发展和工业“三废”排放及农药化肥过量施用等不合理利用的响应。陈红顺等^[16,17]研究了东莞市 1988 年~2005 年的土地利用变化特征及驱动因素,反映出城镇用地快速扩张和耕地大量流失是该地区土地变化的主要特征。经济发展和人口增长是土地利用变化的主要驱动因素,且工业生产总产值与耕地流失之间存在较好的线性关系。

较之以往该区耕地变化特征及驱动力力的相关研究,本文选择 1988 年~2013 年共 26 年的时间跨度,以全面揭示 20 世纪 80 年代以来该区耕地流失变化特征。本文也利用高分辨率的遥感数据源和综合的指标体系,根据以往土地利用变化的驱动机制研究成果^[18-20],选择有代表性和针对性的五类社会经济指标(含 16 个驱动因子),通过相关性分析、主成分分析和逐步回归,建立该区耕地流失驱动力模型。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

东莞市地处我国华南地区,广东省南部珠江口东岸(图 1),位于东经 113°31'~114°15'和北纬 22°39'~23°09'之间,毗邻深圳、香港和广州。该区地势东南高、西北低,土地总面积约 2465 km²。气候上属于亚热带季风气候,长夏无冬、日照时数充足、台风活跃降水充沛,年平均气温约 23℃,年平均日照时数约 1875 小时,年平均雨量约 1820 毫米。

该区地貌以丘陵台地、冲积平原为主,丘陵台地和冲积平原分别占 44.5%和 43.3%,山地仅 6.2%。东南部多山,海拔多在 200~600 米,坡度约 30°,起伏较大。中南部为丘陵台地区,海拔稍低于东南部。东北部为陆地和河谷平原区,海拔多在 30~80 米之间,坡度小。西北部为东江冲积而成的三角



图 1 研究区地理位置及地势分布

洲平原,多在 10 米以下,地势低平、水网纵横。西南部为滨临珠江口的江河冲积平原,地势平坦而低陷,是受潮汐影响较大的沙咸田地区。由此可见,研究区本身具备良好的耕地资源,且气候适宜土壤肥沃。自改革开放以来,东莞市大力推进外向型经济,GDP 从 1978 年的 6.11 亿元到 2013 年高达 5490 亿元,年均增速超过 20%,成为中国经济发展最快的地区之一。但伴随着城市迅速扩张,大量耕地被侵占,对城市生态环境造成严重威胁^[11,14]。

1.2 数据来源

本文选用美国陆地卫星 Landsat TM 和法国地球观测卫星 SPOT 两种遥感数据源。在时序上依次选择了 Landsat TM、SPOT5 和 SPOT6 ,分辨率分别为 30m、2.5m 和 1.5m。选择影像清晰、色调均匀且云覆盖量控制在 10%以内、探测器倾斜角度绝对值 25° 以内的遥感影像 ,用于研究耕地流失的过程和特征。其中 2005 年之前选用 Landsat TM 遥感影像 ,空间分辨率为 30m。2005 年~2010 年选用 SPOT5 遥感影像 ,其全色波段分辨率为 2.5m ,多光谱分辨率为 10m。因可获取的社会经济统计资料至 2013 年 ,最新一期研究选择 2013 年 SPOT6 影像 ,其全色和多光谱波段空间分辨率分别为 1.5m、6m。本文还使用了 1988 年~2013 年东莞市年鉴和东莞市统计年鉴 ,用于获取 1988 年以来的经济、社会、人口及交通等相关统计资料。

2 研究方法

本文总体技术路线是通过 Landsat TM 和 SPOT 遥感影像解译出研究区不同时期的土地利用图 ,确定可能驱动耕地流失的人口、产业、经济、社会及交通等因素 ,对驱动因子进行标准化处理 ,展开耕地变化特征和耕地流失驱动力两方面的分析和评价(图 2)。

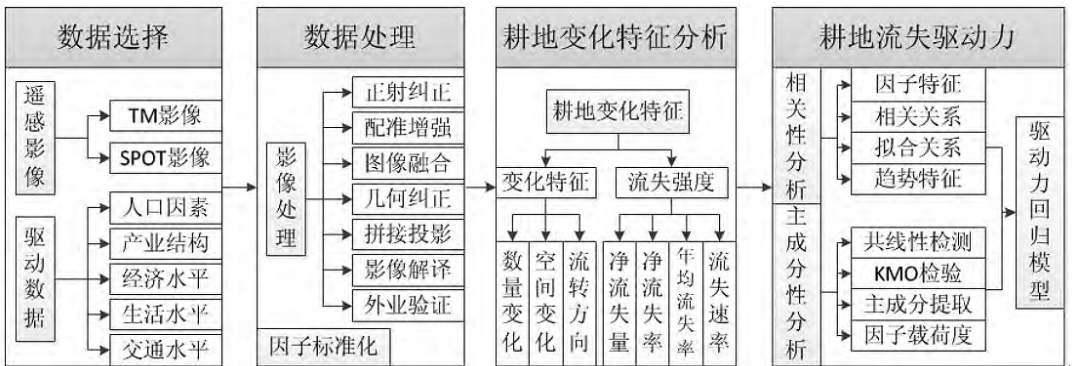


图 2 耕地流失特征及驱动力分析技术流程图

2.1 遥感数据选择和处理

首先 ,遥感影像进行预处理 ,主要在 ERDAS 和 PCI 平台上进行 ,涉及正射纠正、影像配准、影像增强、影像融合和几何校正等工作。其次 ,对预处理后遥感影像进行解译。根据 TM 和 SPOT 影像特征 ,TM 影像采用计算机解译 , SPOT 影像因光谱信息较为复杂、难以准确提取分组特征值而采用目视解译。结合《土地利用现状分类》(2007)国家标准 ,TM 影像计算机解译根据先验知识训练样本 ,通过监督分类最大似然法获得分类准则以提取各类土地利用类型。SPOT 影像通过制定研究区影像解译标志 ,根据“先图外、后图内 ,先整体、后局部 ,勤对比、多分析”的目视判读原则 ,综合运用直接判读法、对比分析法、信息覆合法、综合推理法及地理相关分析法等进行遥感信息综合解译。

为保证解译精度 ,外业核查、初判结果的检查修订及拓扑检查修正工作不可或缺。前期的外业核查用于识别不确定性地物 ,辅助更好地获得先验知识。中期的外业核查有利于完善技术方法 ,提供解译质量和效率。后期的外业核查用于验证解译精度 ,对解译结果进行外业调查核实 ,解译精度和 KAPPA 系数在 90%和 0.7 以上 ,保证了成果的适用性。最终获得 1988 年以来多期土地利用现状图。

2.2 驱动因子选取与标准化

耕地流失主要是城市扩张和耕地资源稀缺之间矛盾的结果,是城镇用地的激增以占用周边耕地为主的方式导致。耕地流失是城市化背景下政策调整、人口增长、经济发展、社会投入及交通带动等因素的综合驱动所致。大量研究表明,不同地区的耕地流失均与当地的经济、社会及人口等有一定的关系,且这些因素反映了相应政策的变化。本文考虑研究区驱动因子的可量化性及可获取性,选择人口因素、产业结构、经济发展水平、生活水平及交通水平五个影响因素,并细化五个类别共有 16 种驱动因子,如表 1 所示。

表 1 耕地流失驱动因子指标

驱动类别	变量	驱动因子	变量
人口因素	X_1	常住人口(万人)	X_{11}
		城市化率(%)	X_{12}
		户籍非农人口(万人)	X_{13}
		农业人口(万人)	X_{14}
产业结构	X_2	GDP(亿元)	X_{21}
		第一产业占 GDP 比重(%)	X_{22}
		第二产业占 GDP 比重(%)	X_{23}
		第三产业占 GDP 比重(%)	X_{24}
经济发展水平	X_3	财政总收入(含关税)(亿元)	X_{31}
		地方财政收入(亿元)	X_{32}
		财政支出(亿元)	X_{33}
		固定资产投资(亿元)	X_{34}
居民生活水平	X_4	人均 GDP(万元)	X_{41}
		职工平均工资(万元/年)	X_{42}
交通发展水平	X_5	道路里程(km/km ²)	X_{51}
		民用汽车量(辆)	X_{52}

由于各驱动因子量纲不同,因子间数量级差异较大。采用常用的方差标准化方法^[21]对驱动因子值进行标准化处理,将其转化为无量纲值,便于不同量级因子的分析和评价。标准化公式见公式 1 和 2:

$$x'_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

其中 x'_i 为因子标准化值, x_i 为因子原始值, \bar{x} 为因子平均值, σ 为因子标准差。

2.3 耕地变化强度指标确定

耕地流失强度计算选取耕地净流失量、净流失率、年均流失率和流失速率等指标(式 3-6)^[22,23],依据不同时期的耕地指标情况分阶段揭示耕地流失特征。

$$K_1 = U_b - U_a \quad (3)$$

$$K_2 = K_1 / U_a \times 100\% \quad (4)$$

$$K_3 = \left(\frac{U_b}{U_a} \right)^{\frac{1}{T}} \times 100\% - 1 \quad (5)$$

$$K_4 = \frac{(U_b - U_a)}{T} \quad (6)$$

其中 K_1 、 K_2 、 K_3 和 K_4 分别表示净流失面积、净流失率、年均流失率和流失速率, U_a 和 U_b 分别表示某一区域某一阶段研究初期和末期的耕地数量, T 表示时间跨度。

2.4 驱动机制分析方法

(1) 相关分析和主成分分析。相关分析用来检验变量(耕地流失)与驱动因子间是否存在某种依存关系以及相关方向(正相关和负相关)和显著程度,并初步判断与耕地流失相关性较为显著的驱动因子。相关分析利用卡尔·皮尔逊设计的相关系数统计指标来表示(式 7),

其值范围为 -1~1 ,0.8≤|r| 表明存在高度相关性。

由于驱动因子间可能存在一定相关性 通过共线性检测和 KMO 检验诊断因子相关性 然后主成分分析法确定最主要的解释因子。共线性诊断用特征值、条件指数、容差和 VIF(方差膨胀因子)共同表征是否存在共线性情况 ,其中多个维度特征值约为 0、条件指数大于 10 则指示可能存在多重共线性。多重共线性情况需进一步采用主成分分析法对驱动因子定量探讨 ,主成分分析法基于降维思想把多个驱动因子转化为少数几个综合指标(即主成分)来表征多个驱动因子变量的大部分信息(式 8、9)。其中综合指标为原驱动因子的线性组合 ,这样既保留了原始变量的主要信息 ,且指标之间并不相关。

$$r = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}} \quad (7)$$

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ X_{n1} & \cdots & X_{np} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdots + a_{1p}X_p \\ F_2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \cdots + a_{2p}X_p \\ &\vdots \\ F_m &= a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \cdots + a_{mp}X_p \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

假设有 n 个样本 ,原始变量为 $X_1, X_2, X_3 \cdots X_p$ 则构成了 $p \times n$ 的矩阵(式 8)。通过主成分分析对数据降维 ,得到若干个综合指标(如 m 个) ,即式 9 中互不相关的 $F_1, F_2 \cdots F_m$ 。每一主成分所提取的信息量可用方差度量 ,其中 F_1 是 $X_1, X_2, X_3 \cdots X_p$ 一切线性组合中的方差最大者(Var(F_1))。第一主成分(Var(F_1))值越大则包含的信息就越多 ,如不足以代表原 p 个指标的信息 ,则再考虑第二主成分 F_2 ,以此类推。

(2)多元逐步回归模型建立及评价。逐步回归基本思想是将变量逐个引入模型 ,并依次进行 F 检验和 T 检验 ,剔除非显著及引起多重共线性的解释变量 ,保证最后所得解释变量集为最优^[24]。本文根据主成分分析结果构建了两种耕地流失的逐步回归模型。模型 1 是对五类指标的第一主成分根据拟合关系建立逐步回归模型(式 10) ,模型 2 是对主成分里所有高载荷因子建立线性逐步回归模型(式 11)。

$$Y = a_0 f_1(X_{1n_1}) + b_0 f_2(X_{2n_2}) + c_0 f_3(X_{3n_3}) + d_0 f_4(X_{4n_4}) + e_0 f_5(X_{5n_5}) + S_0 \quad (10)$$

$$Y = a_1 X_{11} + \cdots + a_m X_{52} + S_1 \quad (11)$$

式中 ,Y 为耕地量 $X_{1n_1}, X_{2n_2}, X_{3n_3}, X_{4n_4}$ 和 X_{5n_5} 分别为五类驱动指标的第一主成分 $X_{11} \cdots X_{52}$ 分别为表 1 中经主成分等方法筛选后的驱动因子 $a_0, b_0 \cdots e_0$ 分别为模型 1 待回归系数 $a_1, a_2 \cdots a_m$ 分别为模型 2 待回归系数 S_0, S_1 为常量 ; $f_1 \cdots f_5$ 分别为 $X_{1n_1}, X_{2n_2}, X_{3n_3}, X_{4n_4}$ 和 X_{5n_5} 的函数 ,为线性关系或对数关系等。

3 耕地流失特征分析

3.1 耕地面积变化

图 3 为 26 年来东莞市土地利用类型的面积变化趋势,表 2 和图 4 是解译获得的五个时期(趋势拐点年份)的东莞市土地利用类型图及其数量统计。整体上,除建设用地一直在增加外,其他用地类型均有不同程度的减少或波动,其中耕地锐减最为突出,果园和林地次之,基塘与河流水库基数小且仅有相对微弱的起伏变化。耕地以不同的速度持续流失,建设用地则以不同的速度持续扩张。从数量变化看,耕地总量由 1988 年的 1119.89km² 减少到 2013 年的 233.37km²,共流失量 886.52km²,流失了以 1988 年为基准的 79.16%的耕地;从变化趋势看,耕地流失与建设用地扩张表现出剪刀状的趋势,在 2000 年左右两者数量相等。耕地流失可以分为四个明显的阶段,即原始快速流失期 1988 年~1993 年(第一阶段)、间歇平稳流失期 1993 年~1997 年(第二阶段)、二次高速流失期 1997 年~2008 年(第三阶段)和成熟趋缓流失期 2008 年以后(第四阶段),各阶段表现出不同的时间间隔和流失速度。其中一、三阶段耕地流失量为耕地总流失量的 92.74%,第一阶段耕地流失量为 394.63km²,第三阶段流失量为 427.53 km²;第四阶段耕地流失已进入成熟期,逐渐向零流失过渡。

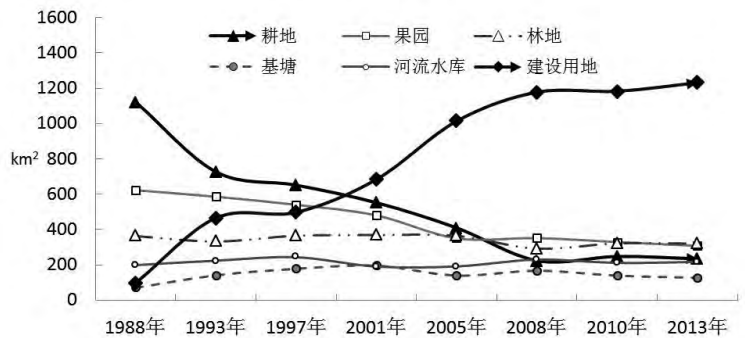


图 3 东莞市土地利用变化

表 2 东莞市 1988 年~2013 年间土地利用类型面积(km²)及比重

四个阶段	年份	耕地	建设用地	果园	林地	基塘	河流水库	未利用地	草地
原始快速流失期	1988 年	1119.89 (45.24%)	99.42 (4.02%)	623.15 (25.17%)	363.43 (14.68%)	70.55 (2.85%)	199.14 (8.04%)	0.00 (0.00%)	0.00 (0.00%)
	1993 年	725.26 (29.30%)	465.83 (18.82%)	586.34 (23.68%)	332.84 (13.44%)	140.94 (5.69%)	224.37 (9.06%)	0.00 (0.00%)	0.00 (0.00%)
间歇平稳流失期	1997 年	650.22 (26.27%)	497.39 (20.09%)	540.65 (21.84%)	365.29 (14.76%)	178.28 (7.20%)	243.75 (9.85%)	0.00 (0.00%)	0.00 (0.00%)
	2008 年	222.69 (9.00%)	1177.36 (47.56%)	351.82 (14.21%)	292.74 (11.83%)	167.27 (6.76%)	230.44 (9.31%)	21.28 (0.86%)	11.98 (0.48%)
成熟趋缓流失期	2013 年	233.37 (9.43%)	1230.94 (49.72%)	307.82 (12.43%)	320.46 (12.94%)	127.15 (5.14%)	217.26 (8.78%)	25.40 (1.03%)	11.55 (0.47%)

3.2 耕地流失强度

耕地流失的四个阶段时间间隔不同,流失强度各异(表 3)。整体上,26 年间耕地净流失了研究区总面积的 35.96%,耕地净流失率为 -79.16%,年均流失率为 -6.08%,流失速率为每年 -35.46km²。1988 年~1993 年和 1997 年~2008 年间耕地流失强度最大,1993 年~1997 年次之,2008 年后趋于零流失。第一阶段 1988 年~1993 年间,是耕地流失的快速期,耕地净流失面积 397.63km²,并以净流失率 35.25%、年均流失率 8.32%和年均流失速率 78.93km² 的强度流失;第二阶段 1993 年~1997 年间,耕地流失强度较前一阶段明显减弱,净流失面积 75.04km²,净流强度约是前一阶段的 1/3,即净流失率、年均流失率和流失速率分别为 -10.

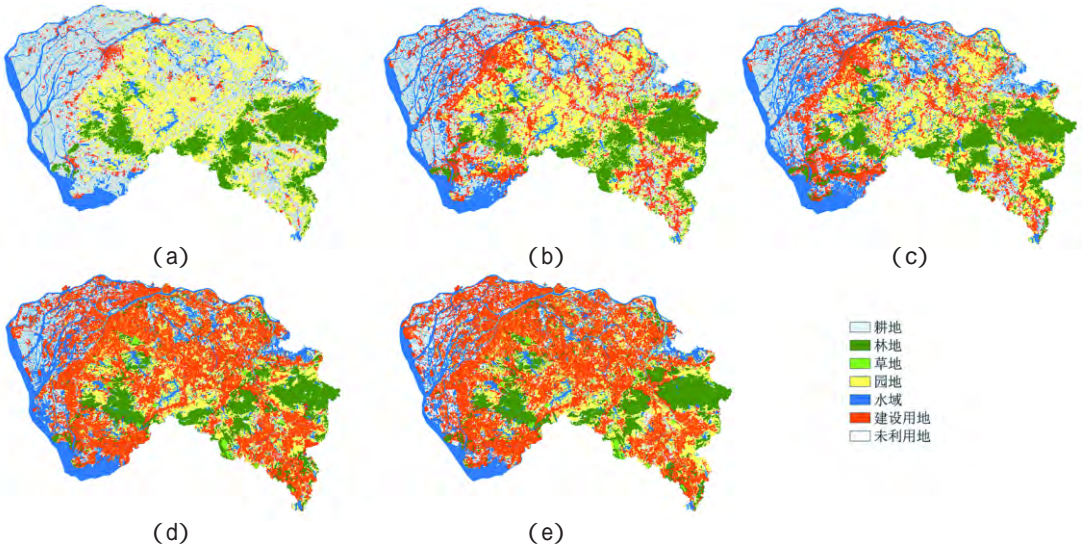


图 4 东莞市 1988 年(a)、1993 年(b)、1997 年(c)、2008 年(d)和 2013 年(e)土地利用分布图

表 3 1988 年~2013 年间及四个变化阶段的耕地流失强度

扩张强度 指标	原始快速流失期 1988 年~1993 年	间歇缓慢流失期 1993 年~1997 年	二次加速流失期 1997 年~2008 年	成熟趋缓流失期 2008 年~2013 年	总体 1988 年~2013 年
净流失面积(km ²)	-394.63	-75.04	-427.53	10.68	-886.52
净流失率(%)	-35.24%	-10.35%	-65.75%	4.80%	-79.16%
年均流失率(%)	-8.32%	-2.69%	-9.28%	0.94%	-6.08%
流失速率(km ² /a)	-78.93	-18.76	-38.87	2.14	-35.46

35%、-2.69%和 -18.76km²/a；第三阶段 1997 年~2008 年间，是耕地流失的二次加速期 2008 年以来，耕地总量渐趋稳定，关键在于城市扩张遇到诸多瓶颈，城市逐渐步入更新阶段。

3.3 与建设用地的关系

研究表明，耕地的流转方向主要是城市不断扩张，这与其他研究结果一致^[11,25,26]。耕

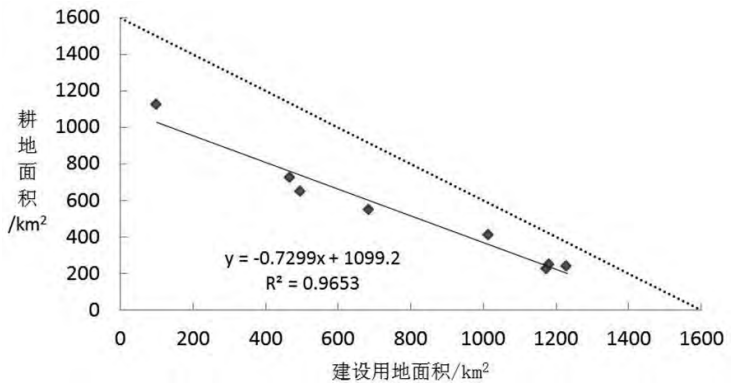


图 5 耕地面积与建设用地面积的负相关关系

地面积与建设用地面积之间有显著的负相关关系(图 5) R^2 为 0.97，通过了 0.01 显著性检验。拟合斜率约为 -0.73，也说明城市扩展除了以侵占耕地为主要方式外还侵占了其他用地类型。图 4 可发现果园是仅次于耕地的流失类型。耕地流失与建设用地间的高相关性可揭示两者具有类似的驱动机制，耕地流失驱动力分析结果同样可供该研究区城市扩张的驱动力研究参考。从空间分布上看，耕地流失主要分布在以主城区为中心向西南和东南延伸的扩展带上，包括主城区，向西南延伸的厚街、虎门及长安等镇区，向东南延伸的寮步、东坑、横沥及常平等镇街。现有耕地分布极其零散，主要分布在珠江口沿岸及西北部的三角洲平原。

4 驱动机制分析

综合分析本文四个显著阶段的耕地流失特征,其变化趋势、强度与对应时期的政策导向紧密相关,定性响应了相关政策调整的过程。且政策的变化可映射到相应社会经济指标中,便于更好的定量分析对耕地流失的驱动作用。因而,选择耕地与五类共 16 个候选驱动因子进行相关性分析,并对显著相关性因子进行共线性检测。采用主成分分析,给出主成分及高载荷量因子,进一步参与构建逐步回归模型,最终可给出耕地流失的核心解释因子。

4.1 耕地流失显著影响因子

相关系数情况如表 4,耕地与 X_{23} (第二产业比重)、 X_{14} (农业人口)、 X_{33} (财政支出)和 X_{32} (地方财政收入)的相关系数绝对值小于 0.8,将不参与共线性诊断和主成分分析。耕地与其余驱动因子相关系数绝对值均

表 4 耕地与驱动因子的相关系数

	驱动因子	相关系数	驱动因子	相关系数	驱动因子	相关系数
大于 0.8,而与其中的 X_{24} (第三产业占 GDP 比重)、 X_{22} (第二产业占 GDP 比重)、 X_{12} (城市化率)、 X_{42} (职工平均工资)、 X_{51} (道路里程)及 X_{11} (常住人口)更是具有高度显著的相关性。对相关性显著的 12 个因子的共线性诊断显示,	X_{24}	-0.976	X_{41}	-0.891	X_{32}	-0.793
	X_{22}	0.952	X_{13}	-0.883	X_{33}	-0.791
	X_{12}	-0.943	X_{21}	-0.875	X_{14}	0.409
	X_{42}	-0.922	X_{34}	-0.863	X_{23}	0.283
	X_{51}	-0.915	X_{31}	-0.834		
	X_{11}	-0.912	X_{52}	-0.834		

变量系数中 X_{11} 、 X_{22} 、 X_{24} 、 X_{41} 、 X_{42} 、 X_{51} 及 X_{52} 的容差均小于 0.1,其对应的 VIF 值均大于 10,说明该 7 个驱动因子均与其他因子存在多重共线性,且其中的 X_{41} 、 X_{42} 、 X_{51} 和 X_{52} 的 VIF 值更是超过 100,表明存在严重的多重共线性,驱动因子之间存在较为严重的信息重叠问题。

表 5 耕地的显著性驱动因子主成分分析

表 5 给出了主成分的统计信息,第一成分的特征值为 10.95,解释了原 12 个显著变量总方差的 91.28%(即第一成分特征

成分	特征值	方差 / %	累积贡献率 %
1	10.954	91.280	91.280
2	.778	6.484	97.764
3	.174	1.446	99.210
4	.055	.460	99.671
5	.022	.182	99.852
6	.015	.124	99.977
7	.003	.023	100.000
8-12	.000	.000	100.000

值贡献率达 91.28%)。第一成分特征值大于 1,其贡献率超过 80%。因而第一成分信息损失量少,能够充分反映耕地与驱动因素的关系,可替代原 12 个显著变量指标。表 6 指示了第一主成分中驱动因子的载荷数。 X_{42} (职工工资水平)、 X_{13} (户籍非农业人口)、 X_{41} (人均 GDP)和 X_{21} (GDP)在主成分上的载荷排在前四位,超过了 0.98。从类别上看,经济水平、居民生活水平和交通发展水平在主成分上的载荷均超过 0.965。这也说明了东莞市耕地的流失是多重因素综合影响的结果,涉及人口、产业结构、经济发展、居民生活水平及交通发展情况等诸多方面,其中居民生活水平的提高及交通的发达对耕地流失的影响尤为突出,居民生活水平中的职

表 6 耕地流失驱动第一主成分中各因子载荷量

类别	人口因素			产业结构			经济水平		生活水平		交通水平	
驱动因子	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{21}	X_{22}	X_{24}	X_{31}	X_{34}	X_{41}	X_{42}	X_{51}	X_{52}
载荷	0.945	0.918	0.985	0.984	-0.814	0.948	0.968	0.974	0.985	0.989	0.977	0.965

工工资水平和人均 GDP、人口因素中的户籍非农人口、经济发展因素中的 GDP 等是影响耕地流失较为关键的驱动因子。

在相关学者研究中,人口的激增往往是导致耕地数量锐减的重要因素^[17,23,25],而本文进一步分析表明,户籍非农人口是真正影响东莞市耕地流失的人口因素。东莞户籍非农人口往往是由原市民、富裕起来的农业人口转移及外地精英人士本地化组成,该部分人口收入水平相对较高,是推动房地产业发展的主力,进而加剧耕地的流失。

4.2 耕地流失核心驱动机制

根据 Gong 等的研究^[23,27] 根据主成分上载荷值选出每一类驱动指标中载荷最高的因子,即为该类指标的第一主成分,包括 X₁₃(户籍非农人口)、X₂₁(GDP)、X₃₄(固定资产投资)、X₄₂(职工工资水平)和 X₅₁(公路里程)五个因子项分别代表人口、产业结构、经济水平、生活水平和交通水平五类驱动指标,参与纳入逐步回归模型 1(即各类指标的第一主成分逐步回归)。而载荷量绝对值均大于 0.8 的因子,均纳入线性逐步回归模型 2(即主成分中所有高载荷因子逐步回归)。结合耕地与各驱动因子的拟合关系,确定模型 1 和模型 2 形式如式 12、13 表示:

$$Y = a_0 X_{13}^{-1.21} + b_0 \ln(X_{21}) + c_0 \ln(X_{34}) + d_0 \ln(X_{42}) + e_0 \ln(X_{51}) + S_0 \tag{12}$$

$$Y = a_1 X_{11} + a_2 X_{12} + a_3 X_{13} + b_1 X_{21} + b_2 X_{22} + b_3 X_{24} + c_1 X_{31} + c_2 X_{34} + d_1 X_{41} + d_2 X_{42} + e_1 X_{51} + e_2 X_{52} + S_1 \tag{13}$$

通过逐步回归,最终模型 1 仅剩 X₄₂ 自变量(式 14 和表 7),即职工平均工资,模型 2 仅剩 X₂₄ 自变量(公式 15 和表 7),即第三产业占 GDP 比重,其 R² 分别为 0.975、0.952,均通过了 0.01 的显著性检验。揭示了职工工资水平对耕地数量变化的驱动十分显著,最能充分解释耕地的流失,第三产业与耕地流失存在显著的负相关,同时分析发现工资水平与第三产业比重之间存在显著的指数关系,复相关系数为 0.972,两者潜在的关联机制是引起耕地流失最为重要的动力。

$$Y = -229.283 \ln(x_{42}) + 3432.993 \tag{14}$$

$$Y = -0.976 X_{24} - 0.00001 \tag{15}$$

表 7 逐步回归模型训练结果

方法	变量	回归系数	R ² (判定系数)	F 值	Sig(显著水平)
模型 1	X ₄₂ (职工平均工资)	-299.283	0.975	233.650	0.000
	S ₀ (常量)	3432.993			
模型 2	X ₂₄ (第三产业比重)	-0.976	0.952	118.038	0.000
	S ₁ (常量)	-0.00001			

注:模型 1 和模型 2 通过 0.01 的显著性检验,其中模型 2 数据已经过标准化处理

该区 GDP 构成为“二三一”,与北京、上海及广州等大城市不同,但第三产业通过提高居民生活水平进而促进耕地流失的内在机制相同^[18,25,28,29]。通常第三产业通过提供更多就业机会来增加居民收入和住房需求,从而刺激房地产的迅猛发展,导致了城市以侵占耕地的形式获得扩张。可见,第三产业的快速发展是促进研究区耕地流失的最主要动力,而由此带来的职工工资水平的提高对预测耕地流失有着极其重要的指示作用。本研究虽然与相关研究^[18,23,25,28-29]的城市规模、采用方法、选取指标及建立的模型不同,但得到相同的结论,起到互相印证的作用。

5 结论

利用遥感和 GIS 技术,分析了 1988 年~2013 年间东莞市耕地变化特征、耕地流失强度,并结合社会经济统计数据探讨了耕地流失的驱动机制。研究表明。

(1)26 年来该区耕地流失总量占总面积的 35.96%,净流失率和年均流失强度分别为 79.16% 的和 6.08%,现存耕地保有量仅为 1988 年耕地量的 20%,主要因城市扩张而流转。目前研究区耕地分布极为零散,主要位于珠江口沿岸及西北部东江冲积三角洲平原地区。

(2)耕地流失经历了原始快速流失-间歇缓慢流失-二次加速流失-成熟平稳流失期的四个特征阶段,与对应时期国家宏观政策的重大调整及地区战略规划紧密相关。

(3)人口、产业结构、经济发展状况、居民生活水平和交通发展水平五类指标均对耕地流失有着不同程度的影响,户籍非农人口、GDP、固定资产投资、职工工资水平和公路里程分别是最能代表该五类指标的因子,对耕地流失有较强的解释力。农业人口和第二产业比重对耕地流失的影响则较微弱。

(4)两种逐步自回归模型从不同角度表明,职工平均工资的提升或者第三产业的快速发展是耕地流失的核心驱动力,而工资水平与第三产业占 GDP 比重之间存在显著的指数关系。结果显示,尽管东莞在近三十年城市发展中产业结构一直为“二三一”的形式,但近五年来工业比重有所下降,第三产业依然保持增长态势,而工资水平又与第三产业存在指数增长关系。表明耕地变化已进入第四阶段流失稳定期,但反观第三产业比重的增长趋势及对工资水平的指数式影响,需保持谨慎态度、做好相关政策和监管措施,遏制耕地资源的进一步流失。未来可结合土地利用与覆被变化模型如 Dyna-CLUE 等^[30],进一步探讨该区土地利用类型在时空上的动态变化,从而提升该区土地利用管理水平和土地资源科学配置的能力。

参考文献:

- [1] 周炳中,赵其国,杨浩. 江苏省耕地变化及其驱动机制的数理探讨[J]. 土壤学报,2003,40(05):665-671.
- [2] 邵晓梅,杨勤业,张洪业. 山东省耕地变化趋势及驱动力研究[J]. 地理研究,2001,20(03):298-306.
- [3] Xie Y, Mei Y, Guangjin T, et al. Socio-economic driving forces of arable land conversion: A case study of Wuxian City, China[J]. Global Environmental Change,2005,15(3):238-252.
- [4] 李秀彬. 中国近 20 年来耕地面积的变化及其政策启示[J]. 自然资源学报,1999,14(04):329-333.
- [5] Li X, Zhou W, Ouyang Z. Forty years of urban expansion in Beijing: What is the relative importance of physical, socioeconomic, and neighborhood factors?[J]. Applied Geography,2013,38(1):1-10.
- [6] 杨桂山. 长江三角洲近 50 年耕地数量变化的过程与驱动机制研究[J]. 自然资源学报,2001,02:121-127.
- [7] Yeh A.G., Li X., 1999. Economic Development and Agricultural Land Loss in the Pearl River Delta, China. Habitat International 23(3):373-390.
- [8] Li X., 1997. A sustainable land allocation model with the integration of remote sensing and GIS a case study in Dongguan. International Journal of Environmental Studies 53(4):325-348.
- [9] Liao F.H.F., Wei Y.H.D., 2014. Modeling determinants of urban growth in Dongguan, China:a spatial logistic approach. Stoch Environ Res Risk Assess 28: 801-816.
- [10] 东莞年鉴编纂委员会. 东莞年鉴(1997~2001)[M]. 北京:中华书局,2001.
- [11] 黎夏. 利用遥感与 GIS 对农田损失的监测及定量评价方法——以东莞市为例[J]. 地理学报,1997,52(03):89-97.
- [12] 杨青生,黎夏,刘小平. 基于 Agent 和 CA 的城市土地利用变化研究[J]. 地球信息科学,2005,7(02):78-81+93.
- [13] 梁育填,樊杰,柳林,等. 优化开发区域制造业企业迁移的因素及其区域影响——以广东东莞市为例[J]. 地理研究,2013,32(03):497-506.

- [14] 邱孟龙,王琦,陈俊坚,等. 东莞市耕地环境质量的压力 - 状态 - 响应分析与评价[J]. 农业环境科学学报,2015,34(03):524-531.
- [15] 邱孟龙,李芳柏,王琦,等. 工业发达城市区域耕地土壤重金属时空变异与来源变化[J]. 农业工程学报,2015,31(02):298-305.
- [16] 陈红顺,夏斌. 快速城市化地区土地利用变化研究——以广东省东莞市为例[J]. 水土保持研究,2012,19(01):239-242.
- [17] 陈红顺,夏斌. 快速城市化地区土地利用变化及驱动因素分析——以广东省东莞市为例[J]. 水土保持通报,2012,32(01):54-59.
- [18] 李景刚,何春阳,史培军,等. 近 20 年中国北方 13 省的耕地变化与驱动力[J]. 地理学报,2004,59(02):274-282.
- [19] 汪朝辉,王克林,熊艳,许联芳. 湖南省耕地动态变化及驱动力研究[J]. 长江流域资源与环境,2004,13(01):53-59.
- [20] Turner B L, Meyer W B. Land use and land cover in global environmental change: Considerations for study[J]. International Social Science Journal,1991,43:669-679.
- [21] 承继成,林辉,杨汝万. 面向信息社会的区域可持续发展导论[M]. 北京:商务印书馆,2001.
- [22] 刘盛和,吴传钧,沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报,2000,55(04):407-416.
- [23] 周翔,韩骥,孟醒,等. 快速城市化地区耕地流失的时空特征及其驱动机制综合分析——以江苏省苏锡常地区为例[J]. 资源科学,2014,36(06):1191-1202.
- [24] 何晓群,刘文卿. 应用回归分析[M]. 北京:中国统计出版社,2007.
- [25] 孙强,蔡运龙,王乐. 北京耕地流失的时空特征与驱动机制[J]. 资源科学,2007,29(04):158-163.
- [26] 袁磊,杨昆,赵俊三. 云南省土地利用变化特征及耕地变化驱动因素分析[J]. 国土资源科技管理,2015,32(03):1-10.
- [27] Gong C F, Yu S X, Joesting H, et al. Determining socioeconomic drivers of urban forest fragmentation with historical remote sensing images[J]. Landscape and Urban Planning,2013,117(09):57-65.
- [28] TAN Minghong, LI Xiubin, LU Changhe. Urban land expansion and arable land loss of the major cities in China in the 1990s[J]. Science in China(Series D:Earth Sciences),2005,48(09):166-174.
- [29] ZHANG Tingwei. Community features and urban sprawl: The case of the Chicago metropolitan region [J]. Land use policy,2001,18:221-232.
- [30] 张凌,南卓铜,余文君. 基于模型耦合的土地利用变化和人文响应多情景分析[J]. 地球信息科学学报,2013,15(06):829-839.

Characteristics and driving forces of the arable land loss in Dongguan

HUANG Ying-bing¹, NAN Zhuo-tong², XU Qi-heng³, ZHAO Ke-fei⁴

(1.Dongguan Geographic Information & Urban Planning Research Center, Dongguan 523129, China; 2. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 3. Dongguan Surveying & Mapping Institute, Dongguan 523129, China; 4. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275,China)

Abstract: Dongguan is a typical city suffering severe loss of arable land. Combining a variety of methods and data including GIS, statistical approach, multi-temporal remote sensed images and social economic statistical data, the land transition characteristics, loss intensity and their connections with urbanization in Dongguan were analyzed. Five categories of forcing variables, namely population, industrial structure, the state of economic development,

living standard of residents and the level of transportation development, were adopted. A stepwise regression was established for the selected forcing factors, following correlation analysis and principal component analysis. The results show that Dongguan has a rapid loss of arable land during 1988 to 2013. The lost area of arable land is up to 886.52 km², 35.96% of the total number. The net loss rate is 79.16% and annual intensity 6.08%. There are four stages featuring distinct loss characteristics, which are highly related to policy enforcement and regional planning in the same period. Twelve forcing variables are found to be significantly correlated with the arable land loss. Among them, the registered non-agricultural population, GDP, fixed asset investment, salary standard and road mileages are first principal components which account for as much of the impacts. The development of the third industry, which consequently promotes the development of the real estate industry by increasing resident income, is the key driving force contributing to the arable land loss in Dongguan.

Key words: arable land loss; driving forces; Dongguan; principal component analysis; stepwise regression