

近30年来洞庭湖地区水稻种植面积演变的因素分析

米胜渊¹, 谭雪兰¹, 谭杰扬², 蒋凌霄¹, 王振凯¹

(1. 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128;

2. 湖南省农业科学院农业经济和农业区划研究所, 长沙 410125)

摘要: 研究多熟制水稻面积时空演变及驱动机制对保障我国粮食生产和安全具有重要意义。综合运用 *Nich* 指数和地理探测器模型, 探讨了洞庭湖地区 1987—2017 年一季稻和双季稻种植面积的时空动态变化及主要影响因素。结果表明: (1) 近 30 年来, 位于丘岗山地区的一季稻面积比例大于中部平原地区, 整体呈上升的变化趋势; 武陵区、沅江市等地在 2007—2017 年呈先降后升的变化趋势。(2) 1987—2002 年间一季稻和双季稻面积相对变化率呈西高东低的梯度型变化模式; 2002—2017 年间一季稻呈高一低一高的条带状变化模式, 双季稻呈北高南低的变化发展模式。(3) 1987 年和 2017 年地理探测器模型结果表明, 有效灌溉面积、工业从业人员、农业从业人员、农林牧渔总产值对水稻面积影响程度不断加深。研究结果可为水稻种植结构调整提供参考依据。

关键词: 水稻面积; 时空动态; 影响因素; 地理探测器; 洞庭湖

农作物的时空动态变化研究是农业研究的重要内容^[1], 农作物的时空分布信息是人类在空间上对农业资源利用状况的重要反映, 对保障国家粮食安全和农业资源环境具有重要意义^[2]。水稻作为我国重要的农作物之一, 其播种面积约占粮食播种总面积的 30%, 全国约占 60% 的人口以大米为主食^[3], 其生产与布局对我国农业生产、农民增收、粮食安全和国家发展具有重要意义。近年来受自然资源禀赋、社会经济发展、科学技术水平和国家“三农”政策等多种因素的综合影响, 我国水稻生产和布局在空间上发生重大变化^[4,5]。在工业化、城镇化和农业现代化等的驱动下, 土地非农化、农业兼业化、耕地非粮化等问题开始凸显^[6], 而人口刚性增长、自然灾害频发、农业增产乏力等因素对水稻生产的挑战也不断加深, 我国粮食安全面临巨大的挑战, 水稻生产与布局问题已成为影响我国社会健康稳定发展和经济快速增长的重要因素^[7]。因此充分了解水稻生产空间变迁特征, 把握水稻空间格局及其动态变化规律, 对更合理地配置农业生产资源, 制定科学有效的水稻生产政策, 积极主动调整水稻产业空间布局, 具有重要的科学和现实意义^[8]。

国内外学者围绕水稻种植开展了大量的研究。国外学者对水稻研究多聚焦于水稻品种评价^[9]、面积变化与产量预测^[10]及田间综合管理方式^[11]等方面。国内早期学者对水稻时

收稿日期: 2019-04-25; 修订日期: 2019-07-29

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41601097, 41571168); 湖南省哲学社会科学基金项目 (18ZDB015); 湖南省教育厅科学研究重点项目 (18A102)

作者简介: 米胜渊 (1994-), 男, 陕西延安人, 硕士, 主要从事土地资源利用与管理信息技术研究。

E-mail: msy4651@163.com

通讯作者: 谭雪兰 (1978-), 女, 湖南茶陵人, 博士, 教授, 主要从事城乡规划、乡村地理及乡村土地利用研究。

E-mail: txl780120@163.com

空变化的研究多借助 SPAM-China 模型^[12]、重心拟合模型和敏感性分析^[13]来分析水稻种植面积及产量的时空动态变化过程、格局、地域分异特征、影响因素及调控措施, 其中对水稻生产空间布局及产量重心变化等方面颇为关注^[14-16], 并取得了诸多研究成果。从已有研究来看, 在研究视角方面, 学者们多是以水稻作为总体来分析其种植面积的变化格局, 而较少对单、双季不同熟制水稻种植面积变化进行研究, 归纳总结其动态变化的规律差异; 从研究尺度来看, 多集中于国家或省域的宏观尺度^[17-21], 而以县市区为研究单元的中观尺度较为缺乏; 从研究内容来看, 更多地注重于水稻种植面积及产量的动态变化, 虽开始关注其影响因素的研究, 但多以定性分析为主, 而对采用地理探测器、相对发展率及 GIS 空间分析等多种定量分析方法相结合的研究较为缺乏。

中国作为世界上最大的稻米生产国和消费国^[22], 而洞庭湖地区又是以“鱼米之乡”著称的典型区域^[23], 以县市区为研究单元, 综合分析近 30 年来洞庭湖地区不同熟制水稻种植面积的空间分异和影响机制对优化水稻区域种植结构、确保国家粮食安全具有重要现实意义。基于此, 本文以洞庭湖地区(常德市、益阳市、岳阳市) 24 个县市区为地域单元, 利用 1987—2017 年近 30 年水稻面积数据, 采用相对发展率和地理探测器等研究方法, 了解不同熟制水稻播种面积的时空动态变化。从农作物空间分布的系统科学视角出发, 为全局把握水稻空间布局变化格局, 探究其变动原因, 为不断丰富和完善我国水稻作物空间分布信息和驱动机制等科学研究提供参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

本文涵盖了湖南省行政区内的洞庭湖区, 主要以常德市、益阳市、岳阳市三个地级市所辖的 24 个县市区为研究区域(图 1), 经纬度范围为 $111^{\circ}30' \sim 114^{\circ}30'E$, $28^{\circ}50' \sim 30^{\circ}15'N$ 。

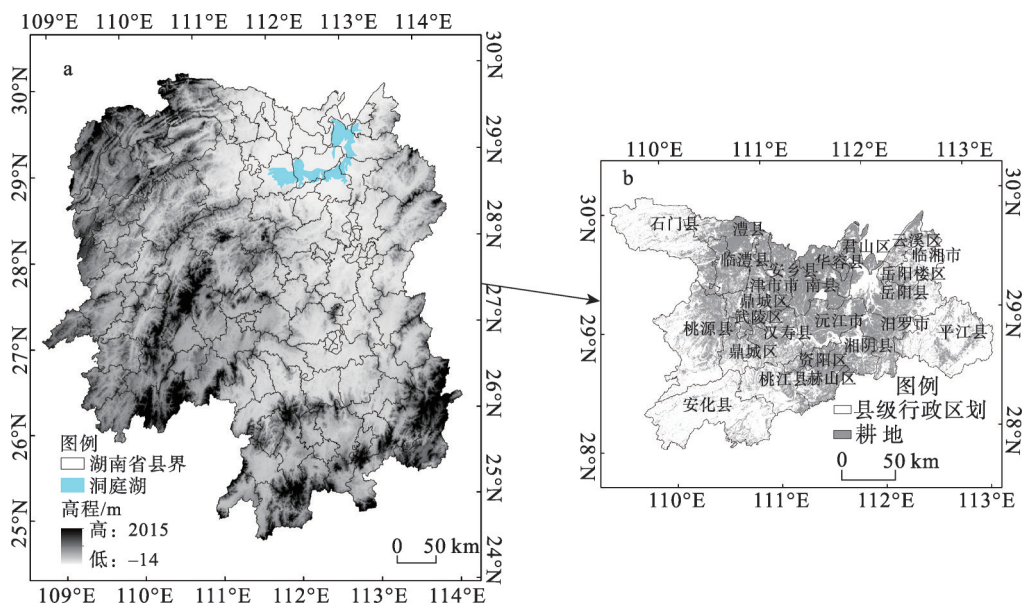


图 1 研究区位置及耕地分布示意

Fig. 1 Location of the study area and the schematic map of cultivated land distribution

洞庭湖地区地处湖南省北部，属于亚热带季风性气候，东、南、西三面环山的碟状盆地，土壤肥沃，水热充足，农业资源丰富，素以“鱼米之乡”著称，是湖南省重要的商品粮生产基地。而常德市、益阳市和岳阳市是环洞庭湖区的三个主要城市，其自然条件与洞庭湖区域基本相同^[24]。2017年，三市粮食作物总播种面积为 $1505.44 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，占湖南省粮食作物播种面积的30.24%，其中一季稻面积为 $321.57 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，双季稻面积为 $1034.41 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，占湖南省总稻谷播种面积的31.99%。因此，选择常德市、益阳市、岳阳市三市作为不同熟制水稻种植面积变化及影响因素分析的研究对象具有较强的代表性。

1.2 数据来源

以洞庭湖区24个县市区为地域单元，以1987年为起始年，每5年为一个时段，将三市近30年数据分成7个时间点（1987年、1992年、1997年、2002年、2007年、2012年和2017年）。其中，一季稻和双季稻播种面积数据来源于1987—2017年《湖南农村统计年鉴》，灌溉面积、自然灾害成灾面积、化肥施用量、农村人均可支配收入等相关指标数据来源于1987年和2017年《湖南统计年鉴》，2017年常德、岳阳和益阳三市《国民经济与社会发展公报》，2015年洞庭湖耕地数据下载于地理国情监测云平台，分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 。

1.3 指标体系构建

本文借助地理探测器模型分析相关影响因素对研究区域水稻种植面积变化的影响差异。为了更好地反映水稻种植面积变化，借鉴已有研究成果^[25,26]并结合洞庭湖区域自然条件、社会经济发展、劳动力变化等因素，分别从环境特征（灌溉面积 x_1 、自然灾害成灾面积 x_2 、化肥施用量 x_3 、经济作物播种面积 x_4 ）、家庭特征（工业从业人员 x_5 、农业从业人员 x_6 、农村人口总数 x_7 、人均可支配收入 x_8 ）和社会特征（农业机械总动力 x_9 、农林牧渔总产值 x_{10} 、机耕面积 x_{11} 、城市化率 x_{12} ）三个方面着手，结合数据的可获取性，共选取12个影响因子构建指标体系对洞庭湖区域水稻种植面积影响因素进行比较研究（图2）。

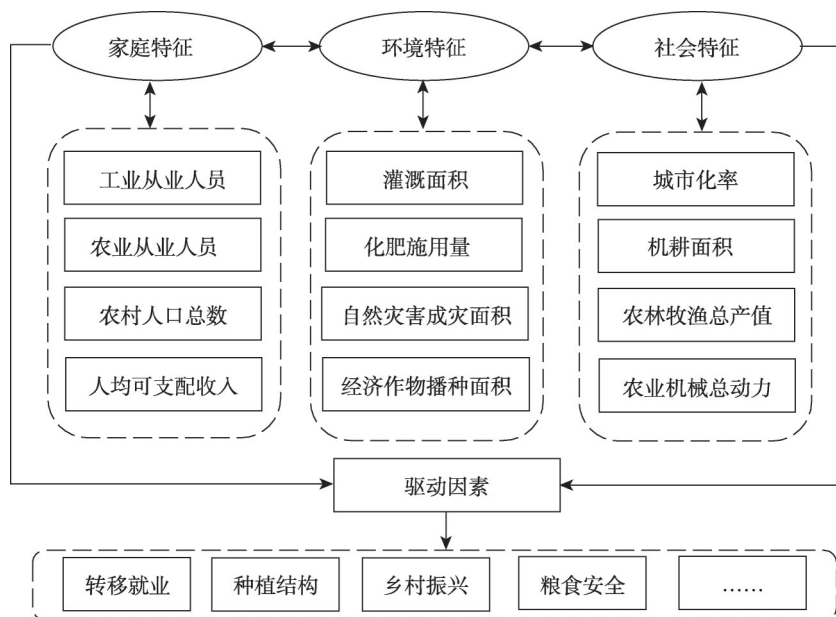


图2 水稻面积影响机制概念框架

Fig. 2 The concept framework of rice area impact mechanism

(1) 环境特征变量主要表征水稻种植的自然环境和市场环境,农户在种植前会根据经验对水稻种植所需的自然环境条件(土壤、水源、地形、受灾情况)和市场经济条件(技术、化肥、农药的投入成本)进行预判。水稻较其他作物生长发育需要更多的水量,灌溉面积的覆盖率越大,有利于充分满足水稻生长的水分需求;化肥施用量的多少会影响水稻生长的养分需求;自然灾害加剧耕地破坏,土壤肥力下降,进而导致水稻种植面积减少;特别是近年来,受经济作物市场价格冲击,经济作物替代粮食作物现象严重影响了农户对水稻种植的积极性,这些都成为影响水稻种植面积的的决定性因素。

(2) 家庭特征变量主要体现出家庭就业结构和务农水平,反映农民水稻种植的能力与水平,对水稻种植面积产生重要影响。如农业从业人员和农村人口数越多,则农户对水稻的种植贡献程度越高;人均可支配收入的差异和工业从业人员的数量可导致家庭职业结构发生转变,并且由城镇化和工业化所带来的以工代农、产业结构转变将会影响农业劳动人口的变化及区域经济发展水平,进而成为影响水稻种植面积的重要因素。

(3) 社会特征变量主要表现出产值收益状况及农业现代化水平的高低,展现出区域整体农机水平和城市化状况。如农业机械化水平和机耕面积能够较好地解释农业现代化水平的高低,农业技术水平越高将会减轻农民的种植负担,在水稻播种、生产及收割等环节具有重要作用;城市化水平的快速发展使得大量农村人口转移就业并占用大量耕地面积,造成务农人员及可供农作物生长用地面积不断减少,进而影响水稻种植面积,成为影响水稻种植面积的重要因素。由此可见,所选影响因子指标能够较全面地体现影响水稻种植面积变化的差异。

1.4 研究方法

1.4.1 *Nich* 指数

不同熟制水稻种植面积的相对发展率(*Nich*)是测度地区水稻种植分布变化特征的重要依据,能够较好地反映两种熟制水稻种植变化的地区差异性^[27,28]。基于此,本文通过计算1987—2017年一季稻和双季稻面积的相对发展率,再对其变化类型进行划分来分析其空间分异,具体表达式如下:

$$Nich = (L_b - L_a) / (F_b - F_a) \quad (1)$$

式中: L_a 、 L_b 分别代表某县市区1987年、2002年、2017年两种熟制水稻种植面积(hm^2); F_a 、 F_b 分别代表整个研究区域1987年、2002年、2017年两种熟制水稻种植面积(hm^2)。当*Nich*趋近于0,则表示基本没有发生变化;若 $|S|$ 越大,则表示该县市区的单(双)季稻种植发展能力快于整体水平;若 $|S|$ 值越小,则相反。

1.4.2 地理探测器模型

地理探测器为空间数据探索性分析的有力工具,其模型最早由王劲峰提出,不仅可检验单变量的空间分异性,而且可探测两变量之间的逻辑关系,已被广泛运用于自然、社会等各个领域^[29,30]。本文借助地理探测器方法研究三市水稻种植面积的影响因素,其核心思想是:若其中某因素与水稻种植面积变化强度在空间上具有显著的一致性,则说明该因素对水稻种植面积的变化具有决定性意义。具体表达式如下:





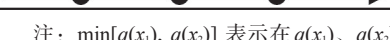
$$Q_R = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{t=1}^G N_t \sigma_t^2 \quad (2)$$

式中: Q_R 是影响因子 R 对水稻种植面积的探测力值; σ_t^2 和 σ^2 是整个区域的离散方差, σ_t^2 为 R 因素类型量 t 的离散方差; N_t 和 n 分别为类型量 t 和整个区域的样本数; G 为因素 R 的

类型数。 Q_n 的值域为 $[0, 1]$ ，其取值越接近 1，则表明该因素对水稻种植面积变化的影响越大。

通过交互作用探测来计算和比较两单因子 x_1 、 x_2 交互后的 q 值与各因子单独作用时的 q 值大小，识别不同影响因子之间的交互作用及交互强弱、线性或非线性等信息，具体信息见表 1：

表 1 自变量对因变量的交互作用类型
Table 1 Types of interaction between two covariates

图示	判据	交互作用
	$q(x_1 \cap x_2) < \min[q(x_1), q(x_2)]$	非线性减弱
	$\min[q(x_1), q(x_2)] < q(x_1 \cap x_2) < \max[q(x_1), q(x_2)]$	单因子非线性减弱
	$q(x_1 \cap x_2) > \max[q(x_1), q(x_2)]$	双因子增强
	$q(x_1 \cap x_2) = q(x_1) + q(x_2)$	独立
	$q(x_1 \cap x_2) > q(x_1) + q(x_2)$	非线性增强

注： $\min[q(x_1), q(x_2)]$ 表示在 $q(x_1)$ 、 $q(x_2)$ 两者取最小值； $q(x_1) + q(x_2)$ 表示 $q(x_1)$ 、 $q(x_2)$ 两者求和； $\max[q(x_1), q(x_2)]$ 表示在 $q(x_1)$ 、 $q(x_2)$ 两者取最大值； $q(x_1 \cap x_2)$ 表示 $q(x_1)$ 、 $q(x_2)$ 两者交互。

2 结果分析

2.1 近 30 年两种熟制水稻种植面积时空变化动态轨迹

2.1.1 两种熟制水稻面积的时序动态变化

借助 ArcGIS 10.5 对近 30 年洞庭湖地区两种熟制水稻种植面积绘制柱状区域图（图 3），由图 3a 可看出，1987—2017 年 24 个县市区一季稻播种面积整体呈上升的变化趋势，西北、西南及东部丘陵地区一季稻种植面积比例大于中部平原地区，这是由于山地丘陵地区耕地面积较少、分布零散、机耕难度大，并且随着农村人口老龄化，大量农村年轻劳动力外出打工，一季稻种植能够满足农户的基本口粮需求。而武陵区、资阳区、湘阴县等紧靠洞庭湖的 7 个县市区在 2007—2017 年间一季稻面积呈先降后升的变化趋势，主要原因是受连年高温及强降雨天气影响，导致自然灾害不断，以及“围湖造田”等生产活动引发的洪涝灾害频发，致使一季稻播种面积持续下降；南县、临湘市、安乡县等 16 个地区一季稻播种面积呈上升变化趋势（图 3a）。譬如，安化县近年来陆续成立水稻种植专业合作社，农业结构不断优化，极大提高了一季稻种植效率。

与一季稻播种面积相比，1987—2017 年大部分地区双季稻播种面积呈先降后升和持续下降的两种变化发展趋势。其中石门县、安乡县、安化县等 5 个县呈现持续下降的变化趋势，且都位于洞庭湖外围（图 3b）。受耕地休耕治理的影响及经济作物快速发展的冲击，农作物种植比例明显下降，对水稻种植面积造成一定负向作用。如 2011 年平江县等地受强降雨影响，部分进入收获期的早稻田被山洪、泥石流摧毁，导致早稻亩产下降，迫使农民改种单季稻；位于中部地区的沅江市、岳阳县、南县等 19 个地区呈先降后升的变化趋势，且主要拐点在 2002 年。2002 年起，中央财政先后设立水稻、小麦等农作物良种补贴政策，资金规模大幅度增加，成为一项重大的强农惠农政策，并对早稻、中稻、晚稻分别实行种一亩补一亩的补贴政策，进而扭转了双季稻持续下滑的趋势。综合自然、社会、经济和技术等多种因素的共同作用下，不同地域间对不同熟制水稻种植选

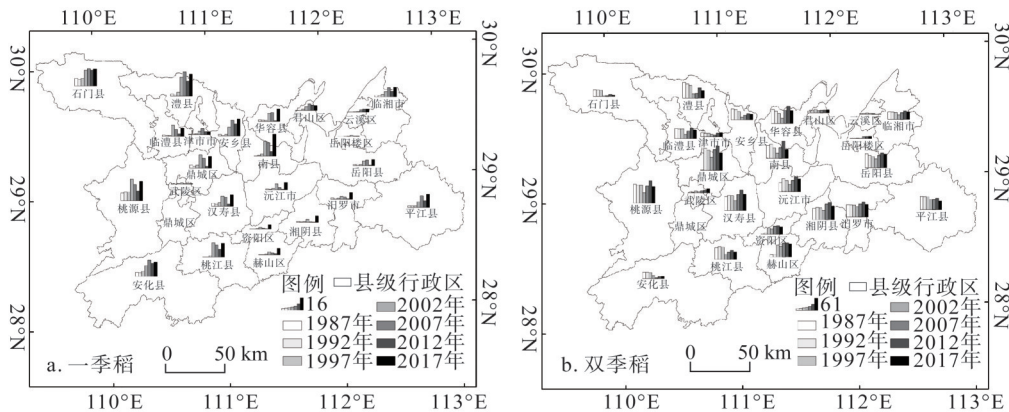


图3 1987—2017年洞庭湖地区一季稻面积和双季稻面积变化幅度

Fig. 3 The change of single cropping rice area and double cropping rice area in Dongting Lake Area from 1987 to 2017

择具有一定分异性。

2.1.2 两种熟制水稻面积动态变化的空间分异

通过计算研究区域24个县市区1987—2002年、2002—2017年两种熟制水稻种植面积的相对发展率来分析不同熟制水稻种植面积变化的地区差异。根据24个县市区单(双)季稻面积的相对发展率,利用自然断点法将单季稻面积和双季稻面积的相对发展率各分成3个区并进行可视化(图4、图5),为了更好地分析各县市区的变化特征,默认其中I区和II区为高值区,III区为低值区。

由图4可以看出,2002年一季稻高值区主要集中分布在常德市及益阳市的西部及南部的丘岗山地区,相对发展率呈西高东低的梯度型的变化模式。常德市的澧县和桃源县,益阳市的南县和桃江县的相对发展率最大,均大于9%,远大于其他县市区。其中澧县、南县的相对发展率分别为12%、10%;其次为桃源县和桃江县,相对发展率均为9%。而2017年一季稻相对发展率主要呈高一低一高的条带状变化模式,其中安乡县、平江县和澧县的相对发展率最高,分别为16%、15%、13%。与平原地区相比,山地丘陵地区耕地面积较少、分布零散、机耕难度大、生产经营成本大,当地务农劳动力的兼业化、老龄化、女性化等特征显著,且半工半耕的就业状态使得大多数农户更倾向于选择

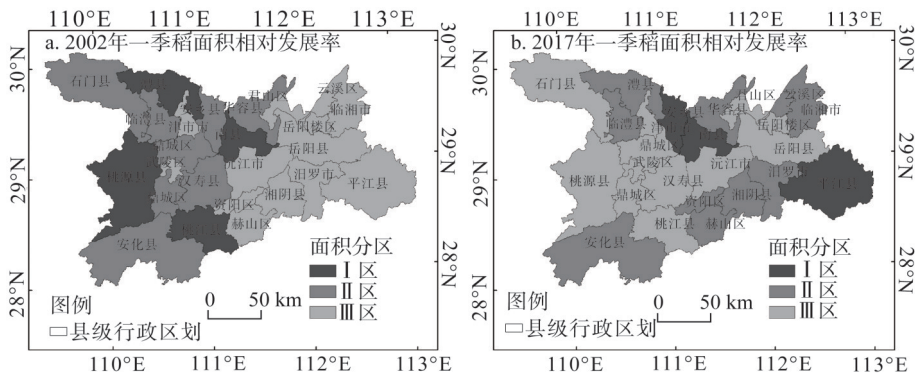


图4 2002年和2017年洞庭湖地区一季稻面积相对发展率的空间布局

Fig. 4 The spatial distribution of Nich index of single cropping rice area in Dongting Lake in 1987 and 2002

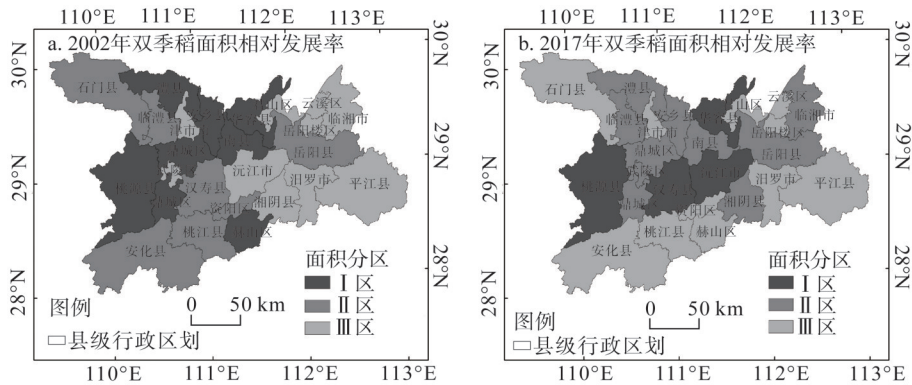


图5 2002年和2017年洞庭湖地区双季稻面积相对发展率的空间布局

Fig. 5 The spatial distribution of Nich index of double cropping rice area in Dongting Lake in 1987 and 2002

一季稻的种植，很大程度上加快了地区一季稻的种植。同时一季稻的种植可有效满足农户基本口粮需求，无需再多种一季稻谷增加劳动强度，并且1995年安乡县、平江县等地被省农委定为集中育秧的重点项目县市，极大程度上增加了对一季稻种植的投入力度。因此一季稻种植面积的相对发展率远高于其他县市区的相对发展率。而主要集中于环洞庭湖区中部地区的低值区多为河湖冲积平原，光热水资源优越，农业生产水平较高及农户水稻种植经营规模较大，但该区域人口集聚，城乡发展密切，尤其是赫山区、资阳区及岳阳楼区等地相对发展率趋于0。这是由于经济发展水平显著提高，城市就业机会不断增多，以工补农和以工代农的发展趋势较为明显，使得该区域一季稻种植面积相对发展速率及能力较弱。

由图5可以看出，2002年双季稻高值区与一季稻高值区相同，呈西高东低的梯度型变化模式，岳阳县、赫山区、南县等7个地区的相对发展率均大于12%，而赫山区和鼎城区的相对发展率呈下降的变化发展趋势。2017年双季稻的相对发展率呈北高南低的变化发展模式，汉寿县、沅江市等地区呈由低到高的变化趋势，主要是由于1990年开始，该区域汉寿县等地区开始大面积推广早稻早育秧技术，极大提高了农民的生产积极性，且北部地区耕地面积大，种植双季稻可高效集约利用耕地和保持土壤肥力，从而该区域双季稻面积相对发展率较大。譬如2000年开始启动稻田耕作制度改革项目，种植密度、生产规模、技术水平和产业化开发程度都发生一定变化，致使双季稻种植变化幅度也较大。位于南部地区的安化县、平江县、赫山区离长株潭城市群较近，大量劳动力转移就业使得耕地非农化与非粮化趋势明显，致使其双季稻发展能力下降。由于城区与非城区的发展能力存在一定的空间异质性，虽然资阳区、云溪区、鼎城区等地于2006年开始引进新品种“黄华占”，其高产、优质、抗逆性强等优良特点迅速被当地农民接受，使得其双季稻种植面积比期初增加，但较中部地区相对变化幅度较小。区域发展的空间异质性，各地区光热水资源的不匀称性，农田水利设施的差异性及地区农户对品种搭配和季节安排上存在盲目性，城市化发展程度的不均衡性使得各县市区的两种熟制水稻种植面积的区域分异明显。整体来看，大部分县市区一季稻和双季稻面积比期初增加，呈正向趋势。

2.2 水稻种植面积影响因子驱动力分析

洞庭湖区域水稻种植面积变化及地域分异是由环境、家庭和社会等多种因素相互作用、交互影响的结果，对我国粮食生产安全、区域种植结构转变、农民转移就业和乡村振

兴战略规划具有重要影响。本文借助地理探测器来计算1987年和2017年各影响因子对水稻种植面积变化的影响大小并进行对比分析:

由环境特征变量计算结果发现(表2),1987年和2017年的灌溉面积 x_1 、化肥施用量 x_3 和经济作物播种面积 x_4 的影响因子均大于0.35。其中,1987年影响最大的因子是 x_4 ,为0.63,其次是 x_1 ,为0.58;2017年影响最大的因子是 x_1 ,为0.76,其次是 x_3 ,为0.50。水稻生长对水资源要求较高,势必成为农户在种植水稻时的必要考虑因素。由于洞庭湖区域得天独厚的地理位置,湘江、资水、沅江、澧水和汨罗江贯穿于常德市、益阳市和岳阳市,使得三市水源充足,全年雨水充沛,灌溉面积覆盖广,能充分满足水稻生长的水分需求,进而促使水稻种植面积的扩大;其次为 x_3 、 x_4 。特别是随着经济作物的迅速发展,水稻产值约占湖南省种植业产值的七成,成为农民经营性收入的重要来源,经济作物的扩种对水稻种植具有重要影响。1987年和2017年影响力最小的是自然灾害成灾面积 x_2 ,三市大部分地形属于洞庭湖冲积平原,1998年国务院提出的“平垸行洪,退田还湖,移民建镇”的治水方略,有效降低了由“围湖造田,围湖垦殖”所带来的洪涝灾害。

由家庭特征变量计算结果发现,1987年影响水稻种植面积的主要因素为农业从业人员 x_6 和农村人口总数 x_7 , q 值分别为0.38和0.46;2017年影响水稻种植面积的因素除 x_6 和 x_7 外,新增工业从业人员 x_5 是另一主要因素,其 q 值为0.47。水稻种植业作为一种劳动密集型产业,其乡村人口总数越大和农业从业人员越多,会大大增加农户对土地的利用强度,提高对作物种植的贡献率,且农户为解决自身基本口粮需求问题,将会扩大对水稻的种植面积,进而影响水稻种植面积的变化,因此这两个因子对近30年水稻种植面积的影响具有一定主导作用;但随着城市化进程的加快,工业发展迅速导致工业从业人员逐渐增多,非农就业机会的增加,提高了农民外出打工的可能性,成为影响水稻种植面积变化的另一重要因素;人均可支配收入 x_8 的 q 值由0.26变为0.05。人均可支配收入的高低体现出家庭收入的差异,转变家庭职业观念及性质,早期对水稻种植面积的影响较大且具有一定的负向作用,但随着劳动力的转移就业,人们收入来源的多样化,务农收入远低于其他工作方式,进而对水稻种植面积的影响也逐渐减弱。

由社会特征变量计算结果发现,农林牧渔总产值 x_{10} 在1987年和2017年影响最大,其 q 值分别为0.57和0.67。农林牧渔总产值的增长代表着农业经济的蓬勃发展,农业作为国民经济的基础性产业,农作物的播种面积对其产值影响具有一定的正向作用,而水稻作为湖南省的重要粮食作物,对其产值贡献具有重要作用。由此可知,农林牧渔总产

表2 1987年和2017年洞庭湖地区水稻种植面积影响因子的地理探测结果

Table 2 Detected result of impact factors of rice planting area in Dongting Lake Area in 1987 and 2017

驱动因素	探测因子	q 值	
		1987年	2017年
环境特征	x_1	0.58***	0.76***
	x_2	0.05*	0.34**
	x_3	0.35**	0.50***
	x_4	0.63***	0.41**
家庭特征	x_5	0.14*	0.47***
	x_6	0.38**	0.50***
	x_7	0.46***	0.50***
	x_8	0.26*	0.05*
社会特征	x_9	0.29*	0.61***
	x_{10}	0.57***	0.67***
	x_{11}	0.37**	0.63***
	x_{12}	0.55***	0.35**
主导交互因子		$x_7 \cap x_{11}$	$x_1 \cap x_9$
主导交互因子 q 值		0.87	0.87

注: *、**、***分别表示在10%、5%、1%的显著性水平下显著相关;其他无相关性。

值的变化对水稻种植面积的影响不断增强；农业机械总动力 x_9 和机耕面积 x_{11} 代表农业现代化水平程度，其对水稻种植面积变化影响不断变大，虽然机耕面积是影响作物产量的重要影响因素之一，对水稻播种面积的影响具有一定的主观性，但对作物播种面积的影响不容忽视。农业机械化水平不仅对水稻产量影响显著，而且对水稻种植面积也有一定影响。随着农业现代化水平的不断提高和科学技术广泛应用，农业机械总动力快速增长，农业机械化程度迅速提升，从而大大减轻农户种植负担，实现耕地面积的有效扩展，提高水稻种植效率，促使安全、高效、大面积种植；其次是城市化率 x_{12} ， q 值为0.55和0.35。城市化水平的提高使得大量农村劳动力转移到城市，弃耕抛荒问题严重，水稻播种面积不断减少。工业化和城市化的迅速发展大量占据耕地面积，工业废水及重金属污染对土壤环境的破坏，已在一定程度上造成可耕地面积不断减少，从而导致水稻播种面积受到进一步挤压，因此，城市化率是影响水稻面积种植的重要因素。

不同影响因子之间具有一定的直接或间接关系，通过交互探测器对不同影响因子之间的交互作用发现，各影响因子的交互作用对水稻播种面积的影响大于单因子作用，主要呈双因子增强和非线性在增强两种类型。由计算结果发现，1987年的主导交互因子为 $x_7 \cap x_{11}$ ，早期农村就业劳动力的工资水平增长较快，农业机械化水平较低，成为影响水稻种植面积的重要因素；2017年的主导交互因子为 $x_1 \cap x_9$ ，随着农业现代化水平的提高，农业机械总动力不断增加，及灌溉工程技术的不断规范，进而对水稻种植面积的影响不断加强。以上两对交互因子 q 值均为0.87，在66对交互因子中最高。由此可知，水稻种植面积的变化不仅受到单因子的影响，而且是受多种因素的共同交互作用。

3 结论与讨论

3.1 讨论

(1) 水稻种植面积变化是自然条件和社会经济条件综合作用的结果，而多熟制水稻种植体系中的间作、套种等种植方式，实质上反映了一种人与自然之间的关系问题。本文借助 *Nich* 指数和地理探测器模型对洞庭湖地区两种熟制水稻面积的时空演变及影响因素展开研究，为水稻种植结构的调整及可持续性发展提供理论依据。将本文结论与张猛等^[31]基于洞庭湖区2013年的 Landsat NDVI 数据所得的一季稻和双季稻面积的空间分布进行比较，发现由遥感影像数据对一季稻和双季稻种植面积分布信息提取与统计数据所得结果相符合，一季稻面积主要种植区较为零散，而双季稻面积在小范围内集中。但与统计数据相比，遥感数据易受气候等因素的影响，尤其混合像元对水稻等作物分布信息提取的精度影响较大。

(2) 本文在基于统计数据的水稻面积演变研究中仍有许多不足，由于研究区域范围较小，致使部分县市区水稻种植面积变化及地域差异较小，故未对连续年份的驱动因子进行分析与比较；在研究内容上未能增加一季稻与双季稻之间的转换趋势与原因。因此，未来研究可针对全省各县市区或某县各乡镇水稻种植面积变化及驱动因素进行分析，充分考虑水文气候、土壤属性等对水稻种植面积变化的影响，为湖南省乃至全国粮食安全评估及水稻种植的时空变化和种植结构调整提供科学的理论依据。

3.2 结论

本文运用 *Nich* 指数和地理探测模型，分析了洞庭湖地区1987—2017年一季稻和双季

稻种植面积时空特征及影响因素, 结论如下:

(1) 1987—2017年间, 洞庭湖地区一季稻面积整体呈上升变化趋势。其中, 西北、西南和东部丘陵地区一季稻播种面积比例大于中部地区, 2007—2017年间紧靠洞庭湖的部分地区一季稻呈先降后升的变化趋势。而双季稻面积呈先降后升和持续下降的两种变化趋势, 2002年沅江市、南县, 桃源县等大部分地区开始稳步上升, 成为双季稻面积变化的主要拐点。

(2) 近30年来, 24个县市区受地形特征、技术水平、劳动力变化等影响, 两种熟制水稻面积的区域发展变化差异明显, 但整体一季稻和双季稻面积发展速率及能力都比期初有所提高, 呈正向趋势。其中1987—2002年间一季稻和双季稻面积相对发展率呈西高东低的梯度型变化模式。2002—2017年间一季稻相对发展率呈高一低一高的条带状变化模式, 双季稻相对发展率呈北高南低的变化发展模式。

(3) 通过对1987年和2017年洞庭湖地区水稻面积变化的影响因素分析, 环境特征方面, 主导因素由经济作物播种面积转变为有效灌溉面积; 家庭特征方面, 工业从业人员、农业从业人员和农村人口总数的影响力度不断增加; 社会特征方面, 农业现代化水平及农林牧渔总产值的影响程度不断加深。1987年和2017年主导交互因子探测值均为0.87, 表明各影响因子的交互作用对水稻面积的影响远大于单因子作用。

参考文献(References):

- [1] TURNER B L, LAMBIN E F, REENBERG A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(52): 20666-20671.
- [2] PORTMANN F T, SIEBERT S, DÖLL P. MIRCA2000-Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 24(1): 1-24.
- [3] 佺军. 近30年江苏省水稻生产的时空变化与效益分析. 扬州: 扬州大学, 2013. [NAI J. Temporal and spatial variations and benefit analyses on rice production in Jiangsu province in recent 30 years. Yangzhou: Yangzhou University, 2013.]
- [4] 邓宗兵, 封永刚, 张俊亮, 等. 中国粮食生产空间布局变迁的特征分析. *经济地理*, 2013, 33(5): 117-123. [DENG Z B, FENG Y G, ZHANG J L, et al. Analysis on the characteristics and tendency of grain production's spatial distribution in China. *Economic Geography*, 2013, 33(5): 117-123.]
- [5] 徐春春, 周锡跃, 李凤博, 等. 中国水稻生产重心北移问题研究. *农业经济问题*, 2013, 34(7): 35-40, 111. [XU C C, ZHOU X Y, LI F B, et al. The research of rice production northward movement in China. *Issues in Agricultural Economy*, 2013, 34(7): 35-40, 111.]
- [6] 张英男, 龙花楼, 戈大专, 等. 黄淮海平原耕地功能演变的时空特征及其驱动机制. *地理学报*, 2018, 73(3): 518-534. [ZHANG Y N, LONG H L, GE D Z, et al. Spatio-temporal characteristics and dynamic mechanism of farmland functions evolution in the Huang-Huai-Hai Plain. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 518-534.]
- [7] 王凤, 刘艳芳, 孔雪松, 等. 中国县域粮食产量时空演变及影响因素变化. *经济地理*, 2018, 38(5): 142-151. [WANG F, LIU Y F, KONG X S, et al. Spatial and temporal variation of grain production and its influencing factors at the county level in China. *Economic Geography*, 2018, 38(5): 142-151.]
- [8] 夏天, 吴文斌, 周清波, 等. 基于地理回归的农作物播种面积统计数据空间化方法. *自然资源学报*, 2016, 31(10): 1773-1782. [XIA T, WU W B, ZHOU Q B, et al. Spatialization of statistical crop planting area based on geographical regression. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(10): 1773-1782.]
- [9] DUBEY K, SHUKLA V K, PARMAR P S. Evaluation of rice varieties for organic farming. *Multilogic in Science*, 2018, 8: 425-428.
- [10] JANUAR H P M, MUHAMMAD N A, FARIT M A. Rice harvest area modeling with GSTARIMA on six provinces in Indo-

- nesia. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 2017, 8(8): 424-427.
- [11] KHATUN N, RAHMAN M A, DEVI P. Integrated crop management (ICM) for increasing rice production in Barind Area. *African Journal of Agricultural Research*, 2018, 13(16): 886-889.
- [12] 刘珍环, 李正国, 唐鹏钦, 等. 近30年中国水稻种植区域与产量时空变化分析. *地理学报*, 2013, 68(5): 680-693. [LIU Z H, LI Z G, TANG P Q, et al. Spatial-temporal changes of rice area and production in China during 1980-2010. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 680-693.]
- [13] 程勇翔, 王秀珍, 郭建平, 等. 中国水稻生产的时空动态分析. *中国农业科学*, 2012, 45(17): 3473-3485. [CHENG Y X, WANG X Z, GUO J P, et al. The temporal-spatial dynamic analysis of China rice production. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(17): 3473-3485.]
- [14] 黄爱军. 我国粮食生产区域格局的变化趋势探讨. *农业经济问题*, 1995, 16(2): 20-23. [HUANG A J. Discussion on the changing trend of regional pattern of grain production in China. *Issues in Agricultural Economy*, 1995, 16(2): 20-23.]
- [15] 鲁奇, 吕鸣伦. 五十年代以来我国粮食生产地域格局变化趋势及原因初探. *地理科学进展*, 1997, 16(1): 34-39. [LU Q, LYU M L. Trends and basic cause of the regional pattern changes in China's grain production since 1950s. *Progress in Geography*, 1997, 16(1): 34-39.]
- [16] 伍山林. 中国粮食生产区域特征与成因研究: 市场化改革以来的实证分析. *经济研究*, 2000, (10): 38-45, 79. [WU S L. A study of the regional characteristics of China's grain production: An empirical analysis since the market-oriented reform. *Economic Research*, 2000, (10): 38-45, 79.]
- [17] 柏林川, 武兰芳, 宋小青. 1995—2010年山东省粮食单产变化空间分异及均衡增产潜力. *地理科学进展*, 2013, 32(8): 1257-1265. [BAI L C, WU L F, SONG X Q. Spatial difference of grain yield changes during 1995-2010 and balance potential output to increase in Shandong province. *Progress in Geography*, 2013, 32(8): 1257-1265.]
- [18] 周立青, 程叶青. 黑龙江省粮食生产的时空格局及动因分析. *自然资源学报*, 2015, 30(3): 491-501. [ZHOU L Q, CHENG Y Q. Spatio-temporal pattern and its driving factors of grain production in Heilongjiang province. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(3): 491-501.]
- [19] 高军波, 刘彦随, 张永显. 1990—2012年淮河流域粮食生产的时空演进及驱动机制. *水土保持通报*, 2016, 36(3): 179-185, 192. [GAO J B, LIU Y S, ZHANG Y X. Evolution of temporal-spatial pattern of grain production and its driving mechanism in Huaihe River Basin during 1990-2012. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2016, 36(3): 179-185, 192.]
- [20] 孙乌仁图雅. 1990—2013年农牧交错区耕地变化及其对粮食产量的影响研究. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2016. [SUN W R T Y. Change of arable land and its impact on grain production in transitional area between pastoral and agricultural in 1990-2013. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2016.]
- [21] 范业龙, 陆玉麒, 赵俊华, 等. 中国粮食生产区域差异的多尺度分析. *经济地理*, 2014, 34(10): 124-130. [FAN Y L, LU Y Q, ZHAO J H, et al. Multi-scale analysis of regional differences of grain production in China. *Economic Geography*, 2014, 34(10): 124-130.]
- [22] 雷森波. 中国双季稻主产区空间分布变迁研究. 南昌: 江西农业大学, 2012. [LEI S B. Spatial distribution transferring of China's main double-season rice production areas from 1980 to 2009. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2012.]
- [23] 李忠武, 叶芳毅, 李裕元, 等. 基于逐级递减法的洞庭湖区晚稻生产潜力模拟与预测. *地理研究*, 2010, 29(11): 2017-2025. [LI Z W, YE F Y, LI Y Y, et al. Predictive analysis of late rice potential productivity in Dongting Lake Area (DLA) based on stepwise diminishing method. *Geographical Research*, 2010, 29(11): 2017-2025.]
- [24] 李松龄, 李娜. 洞庭湖区域产业同构现象研究. *经济地理*, 2010, 30(11): 1854-1858. [LI S L, LI N. Study on industry isomorphic phenomenon in Dongting Lake Area. *Economic Geography*, 2010, 30(11): 1854-1858.]
- [25] 叶妍君, 齐清文, 姜莉莉, 等. 基于地理探测器的黑龙江垦区农场粮食产量影响因素分析. *地理研究*, 2018, 37(1): 171-182. [YE Y J, QI Q W, JIANG L L, et al. Impact factors of grain outout from farms in Heilongjiang reclamation area based on geographical detector. *Geographical Research*, 2018, 37(1): 171-182.]
- [26] 王骏. 最低收购价政策对湖北省水稻种植面积的影响研究. 武汉: 华中农业大学, 2016. [WANG J. Effects of minimum purchase price policy for rice planting area in Hubei province. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.]
- [27] 谭雪兰, 钟艳英, 段建南, 等. 快速城市化进程中农村居民点用地变化及驱动力研究: 以长株潭城市群为例. *地理科*

- 学, 2014, 34(3): 309-315. [TAN X L, ZHONG Y Y, DUAN J N, et al. The change and driving forces of rural residential area under the background of rapid urbanization: A case study of the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Urban Agglomeration. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(3): 309-315.]
- [28] 胡雪瑶, 张子龙, 陈兴鹏, 等. 县域经济发展时空差异和影响因素的地理探测: 以甘肃省为例. *地理研究*, 2019, 38(4): 772-783. [HU X Y, ZHANG Z L, CHEN X P, et al. Geographic detection of spatial-temporal difference and its influencing factors on county economic development: A case study of Gansu province. *Geographical Research*, 2019, 38(4): 772-783.]
- [29] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134. [WANG J F, XU C D. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [30] 谭雪兰, 蒋凌霄, 米胜渊, 等. 湖南省县域乡村反贫困绩效评价与空间分异特征. *地理科学*, 2019, 39(6): 938-946. [TAN X L, JIANG L X, MI S Y, et al. Performance evaluation and spatial differentiation of rural anti-poverty at county scale in Hunan province. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(6): 938-946.]
- [31] 张猛, 曾永年. 基于多时相 Landsat 数据融合的洞庭湖区水稻面积提取. *农业工程学报*, 2015, 31(13): 178-185. [ZHANG M, ZENG Y N. Mapping paddy fields of Dongting lake area by fusing Landsat and MODIS data. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(13): 178-185.]

Analysis of influencing factors of rice planting area evolution in Dongting Lake Area during 1987-2017

MI Sheng-yuan¹, TAN Xue-lan¹, TAN Jie-yang², JIANG Ling-xiao¹, WANG Zhen-kai¹

(1. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Agricultural Economy and Regional Planning Research Institute of Hunan

Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract: It is of great significance to study the spatial and temporal evolution and driving mechanism of multi-cropping rice area to ensure Chinese grain production and security. The Nich index and geo-detector model were used to explore the spatial and temporal dynamics and main influencing factors of one-cropping rice and double-cropping rice planting in Dongting Lake Area from 1987 to 2017. The results show that: (1) In the past 30 years, the proportion of one cropping rice in the hilly area was greater than that in the central plain, and the overall trend was increasing; with a tendency to decrease first and then increase in Wuling district, Yuanjiang city and other places from 2007 to 2017. (2) From 1987 to 2002, the relative development rates of the area of one-cropping rice and double-cropping rice showed a high gradient pattern in the west and low in the east. From 2002 to 2017, one-cropping rice showed a high-low-high banding pattern, while double-cropping rice showed a pattern of high in the north and low in the south. (3) The results of geo-detector models in 1987 and 2017 showed that the effect of effective irrigation area, industrial workers, agricultural workers, and the total output value of agriculture, forestry, animal husbandry and fishery exerted influence on rice area. This research results provide a basis for optimizing the adjustment of rice planting structure.

Keywords: rice area; space-time dynamics; influencing factors; geo-detector; Dongting Lake