

三江平原典型区水田时空变化及驱动因素分析

张文琦, 宋 戈^{*}

(东北大学土地管理研究所, 沈阳 110169)

摘 要: 为阐明区域水田时空变化特征及其驱动因素, 该文以三江平原典型地区富锦市为例, 运用网格单元法和地理探测器模型分析不同时段(1989—2002 年、2002—2015 年)水田时空变化特征及驱动因素, 探讨各驱动因子在水田时空变化中的作用及其相互关系。结果表明: 1) 1989—2015 年富锦市水田扩张明显, 新增水田 34.99 万 hm^2 , 垦区水田化进程早于农区。1989—2002 年, 东部垦区水田扩张度较高, 南部次之; 2002—2015 年, 水田扩张度较高的地区主要分布在西南部农区与北部垦区。2) 1989—2002 年, 水田扩张的主要驱动因素为政策因素和土壤类型, 各因子间的交互作用大部分是双因子增强; 2002—2015 年, 自然因素对水田变化影响减弱, 水田扩张的主要驱动因素是到河流距离和到铁路距离, 各因子间的交互作用大部分是非线性增强, 水田化发展到成熟阶段。富锦市水田时空变化差异是由多种驱动因子共同作用的结果, 研究结果可为三江平原耕地资源合理利用及水田规模科学管控提供借鉴和参考。

关键词: 土地利用; 遥感; 时空变化; 耕地; 水田; 驱动因素; 地理探测器; 三江平原

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.06.030

中图分类号: F301.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-06-0244-9

张文琦, 宋 戈. 三江平原典型区水田时空变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(6): 244—252. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.06.030 <http://www.tcsae.org>
Zhang Wenqi, Song Ge. Spatial-temporal variations and driving factor analysis of paddy fields in typical regions of Sanjiang Plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(6): 244—252. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.06.030 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

水田变化是人类活动影响耕地利用结构的结果, 空间表现为区域内水田种植面积扩张或缩小, 水田变化不可避免地对区域农业生产功能和农业生态系统服务产生重要影响^[1-2]。全球气候变化与人类活动的双重胁迫, 直接影响地球表层土地利用结构的稳定性, 使全球和区域尺度的耕地及耕地内部利用结构发生剧烈变化。三江平原地处中高纬度和欧亚大陆东端, 对全球气候变化十分敏感, 地表升温幅度和降水时空异质性高于全球同期水平^[3-5], 20 世纪 90 年代以来为应对全球气候变化, 在高强度人类活动干扰下大面积种植水稻, 湿地基质逐渐变为农田基质, 耕地利用结构发生明显变化, 水田扩张特征显著^[6]。水田极端变化无疑会影响区域内粮食供给和资源环境的保护^[7], 因此, 认识水田变化过程并揭示水田变化与驱动因子之间的相关性, 对于促进耕地利用结构的调整优化、区域生态环境的改善和有针对性的进行耕地保护等具有重要的学术意义和实践价值。

国内外基于耕地变化的驱动力研究已由最初的定性表达, 发展到如今的驱动因子定量分析。学者们通常将耕地变化的影响因素分为自然因素和社会经济因素两大

类^[8], 自然因素中的高程、坡度等被证明是影响耕地变化的主要因素, 社会经济因素中人口与经济发展、交通可达性等因素也被证实是耕地变化的主要影响因素^[9]。研究方法通常为自相关分析、面板数据模型、空间计量回归模型、空间成本加权模型、地理加权回归、空间叠加分析等^[10-12]。但以往研究中多因子交互识别是一个理论难题, 目前这一类研究相对较少。由王劲峰^[13-14]等提出的地理探测器模型, 能有效识别因子间的相互关系, 探测各因子对模型的解释力, 能从庞大的空间数据中提取有用的空间关联规则。然而, 目前学者们针对该地区水田变化的研究较为少见, 仅有部分研究关注水田数量变化特征和空间演化规律^[15], 尤其是针对水田时空变化的驱动力研究更为匮乏。

富锦市地处三江平原腹地, 普通农区与垦区国营农场并存, 其耕地变化是整个三江平原的缩影。本文以富锦市为研究区, 为客观探究水田的时空变化特征及其驱动因子, 在分析富锦市水田时空变化差异的基础上, 引入地理探测器模型定量分析水田变化的驱动因素, 揭示其驱动因子在水田扩张过程中的作用及相互关系, 确定不同时期影响水田扩张的主导因子, 以期三江平原耕地保护和管理提供科学依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

富锦市位于黑龙江省东北部、松花江下游南岸三江平原腹地, 地理位置为 $46^{\circ}45'35''\sim 47^{\circ}37'15''\text{N}$, $131^{\circ}25'12''\sim 133^{\circ}26'43''\text{E}$, 土地总面积 822 400 hm^2 。全境地势地平,

收稿日期: 2018-09-03 修订日期: 2018-12-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41571165, 41071346)

作者简介: 张文琦, 博士生, 主要研究方向为土地利用与管理。

Email: wenqi9094@163.com

^{*}通讯作者: 宋 戈, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土地利用与管理。

Email: songgelaoshi@163.com

平均海拔 60 m, 地貌从西北向东南缓慢倾斜, 形成西北略高, 中部低平, 东南稍低的冲积平原。富锦市属中温带大陆性季风气候区, 四季分明, 年平均气温 2.9℃, 年降水量 573.9 mm, 10℃以上活动积温 2 300~2 500℃, 热量状况较好, 适合农林牧渔业生产。富锦市土壤主要有白浆土、草甸土、沼泽土、暗棕壤和黑土, 土壤肥沃, 可耕性良好。富锦市辖 10 个乡镇, 267 个行政村, 农垦建三江分局及七星、大兴、创业 3 个国营农场在其境内, 2016 年末总人口 46 万人。富锦市农区与垦区两种体制并存, 农区耕地属农村集体所有, 垦区耕地属国家所有, 其中富锦市所辖七星农场、大兴农场和创业农场属于垦区, 其他地区属于农区。三江平原是全球范围短时限内经历高强度人类活动的区域, 建国以来经历 4 次大规模土地开发高潮, 农业开发活动非常活跃, 20 世纪 80 年代末至 21 世纪初期是第四次垦荒高潮, 当地政府采取资金补贴等政策推行“旱改水”种植模式, 大量低洼旱地改为水田, 耕地利用格局变化剧烈, 至 2002 年, 富锦市农业种植结构调整政策基本推行完毕^[16]。基于此, 本研究时段确定为 1989—2002 年和 2002—2015 年, 以探寻该地区水田变化的空间特征及其驱动因素。



图1 研究区示意图

Fig.1 Study area diagram

1.2 数据来源与处理

1.2.1 遥感影像数据

本研究采用 6 幅 Landsat 遥感影像: 1) 获取 1989 年研究区云量符合标准的耕作期 Landsat5 TM 影像, 成像时间为 5 月 17 日和 6 月 12 日。2) 获取 2002 年研究区云量符合标准的 Landsat7 ETM+影像, 成像时间为 5 月 17 日和 6 月 24 日。3) 获取 2015 年研究区云量符合标准的 Landsat8 OLI 影像, 成像时间 5 月 21 日和 6 月 16 日。依据三江平原一年一季农作物发育时期, 水稻一般 4 月育苗, 5 月和 6 月处于插秧和分蘖期, 此时水田在遥感影像中光谱差异明显^[17], 故本研究遥感影像选择耕作初期 (5 月和 6 月) 为主要数据源, 分辨率为 30 m×30 m, 轨道号选择 114/27 和 115/27。

根据 2017 年 11 月 1 日颁布的《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017), 结合富锦市土地利用特点, 确定土地利用分类系统, 包括 6 个大类: 耕地、林地、草地、

水域、建设用地和湿地, 其中耕地分为水田和旱地, 本文研究主体水田依据分类标准可界定为用于种植水稻等水生农作物的耕地。基于 ENVI 5.1 软件平台, 经几何校正、图像增强等预处理, 根据不同地类的色调、纹理等特征建立解译标志, 采用面向对象与人工目视解译相结合的方法进行遥感影像分类, 得到富锦市 1989 年、2002 年、2015 年 3 期土地利用现状数据。采用同期土地调查资料和典型区域野外抽样调查进行精度验证, 3 期影像解译总体精度分别为 88.72%、91.52%和 93.18%, Kappa 系数分别为 0.84、0.83 和 0.87, 分类结果满足精度要求, 因此, 通过该方法获取的富锦市土地利用分类结果满足研究所需精度。

1.2.2 驱动因子选择与获取

水田变化的空间选择不但考虑自然因素对于水稻种植环境的适宜性和适应性要求, 而且考虑农户生产生活的经济性和便利性。在此基础上, 本研究结合已有研究成果^[18]与富锦市实际情况, 综合确定高程、坡度、土壤类型、到河流距离、到铁路距离和到城镇距离和政策因素 7 个因素作为驱动因子。

1) 高程。高程是影响水田分布的重要指标。DEM 数字高程数据下载自地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>), 分辨率为 30 m×30 m。

2) 坡度。坡度通过影响水田建设的成本和便利度来影响水田空间分布。坡度数据利用 ArcGIS 10.2 软件空间分析功能坡度命令由 DEM 数据提取而来。

3) 土壤类型。不同土壤类型的理化性质差异显著, 直接影响水田建设的成本和粮食产量。富锦市有白浆土、黑土、草甸土等 7 种土壤类型 (不包括河流湖泊), 不同土壤的理化性质差异明显, 导致水田开发成本、粮食产量差异较大, 所以土壤因子对水田变化具有一定影响。土壤数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>), 通过 ArcGIS 10.2 以富锦市行政区划裁剪后进行空间栅格化处理。

4) 到河流距离。人类垦殖过程中体现出较强的亲水性, 河流分布是影响水田变化的重要因素。河流矢量数据来源于国家基础地理信息中心 (<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>), 距离因子利用 ArcGIS 10.2 软件中 Euclidean Distance 工具获取。

5) 到铁路距离。距离因素直接影响着人类对于土地格局的干扰程度, 很多研究已经证明交通线的分布会对区域土地利用变化产生影响^[19-20]。本研究主要考虑距离因素对土地利用变化 (水田变化) 的影响, 自 1974 年三江平原福前铁路开通以来, 铁路一直作为富锦市的主要交通线, 因此到铁路距离对当地水田变化具有实际意义。数据来源与处理同上。

6) 到城镇距离。综合考虑耕作适宜性、建设经济性和生活便利性, 到城镇距离一定程度上影响研究区水田空间分布特征。数据来源与处理同上。

7) 政策因素。垦区与农区的行政归属不同, 有关土地管理的行政命令不同, 本研究根据富锦市行政体制差

异将研究区政策因素划分为农区和垦区 2 部分。在驱动力分析中政策因素按农区与垦区的范围分成 2 类, 分别赋值为 0 与 1, 以区分其类别。

对土地利用数据以及 DEM、土壤、铁路、水系和居民点等数据进行地图投影和坐标校正, 本研究在影像的空间几何配准上统一采用 CGCS2000 投影坐标系。

2 研究方法

2.1 网格单元法

网格单元 (grid cell, GC) 方法可以定量分析水田在时间和空间上的精细变化, 并且能够通过将相关的自然及人文因子转入网格单元内, 定量分析研究区域内水田变化的驱动力^[21-22]。本研究基于 ArcGIS 平台, 在研究区范围内建立矢量网格, 综合考虑研究区面积、研究目的以及计算机运行效率等因素, 通过反复试验, 确定网格单元大小为 1 000 m×1 000 m, 总计 8 611 个网格单元。将基于遥感数据获得的专题图通过 ArcGIS 软件转入对应位置的网格单元内, 对富锦市 1989—2015 年水田扩张面积的分散程度进行统计。

在本研究中, 水田扩张度定义为每个统计网格单元内的水田图斑占网格单元总面积的比例, 其动态变化量能刻画出水田分布扩张或消亡的时空过程。计算每个网格内水田扩张图斑的面积, 然后计算在相应网格内所占的比例, 公式为

$$P = \frac{A_i}{A_g} \quad (1)$$

式中 P 为水田变化图斑在每个网格内所占的面积比例, $0 \leq P \leq 1$; A_i 为每个网格内水田变化面积, m^2 ; A_g 是每个网格的面积, m^2 。

2.2 地理探测器

地理探测器模型是探测空间分异性, 以及揭示其驱动因子的一组新兴统计学方法, 此方法核心思想是如果某个自变量对某个因变量有重要影响, 那么自变量和因变量的空间分布也应该具有相似性^[23-25]。地理探测器包括 4 个探测器: 因子探测、交互作用探测、风险区探测和生态探测, 其独特优势是探测两因子交互作用于因变量, 通过分别计算和比较各单因子 q 值及两因子叠加后 q 值, 可以判断两因子是否存在交互作用, 以及交互作用的强弱、方向、线性还是非线性。本研究运用地理探测器的因子探测器和交互探测器模型, 定量分析富锦市水田变化空间差异的驱动因子。

(1) 因子探测器: 探测水田变化 Y 的空间分异性, 以及探测驱动因子 X 多大程度上解释了水田变化属性 Y 的空间分异。用 q 值度量, 表达式为

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (2)$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2, \quad SST = N \sigma^2 \quad (3)$$

式中 $h=1, \dots, L$, L 为变量 Y 或因子 X 的分层 (Strata),

即分类或分区; N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数; σ_h^2 和 σ^2 分别是层 h 和全区的 Y 值的方差。SSW 和 SST 分别为层内方差之和 (within sum of squares) 和全区总方差 (total sum of squares)。 q 的值域为 $[0, 1]$, q 值越大说明水田变化的空间分异性越明显; 如果分层是由自变量 X 生成的, 则 q 值越大表示自变量 X 对水田变化属性 Y 的解释力越强, 反之则越弱。

(2) 交互探测器: 定量表征 2 个不同驱动因子对水田分布格局的相互作用, 对于影响水田化进程的 2 种因子 $X1$ 和 $X2$, 计算他们交互 (叠加变量 $X1$ 和 $X2$ 两个图层形成新的多边形分布) 时的 q 值, 对 $q(X1)$ 、 $q(X2)$ 与 $q(X1 \cap X2)$ 进行比较。两因子之间关系可分为以下几类: 若 $q(X1 \cap X2) < \min(q(X1), q(X2))$, 说明因子 $X1$ 和 $X2$ 交互后非线性减弱; 若 $\min(q(X1), q(X2)) < q(X1 \cap X2) < \max(q(X1), q(X2))$, 说明因子 $X1$ 和 $X2$ 交互后单因子非线性减弱; 若 $q(X1 \cap X2) > \max(q(X1), q(X2))$, 说明因子 $X1$ 和 $X2$ 交互后双因子增强; 若 $q(X1 \cap X2) = q(X1) + q(X2)$, 说明因子 $X1$ 和 $X2$ 交互后相互独立; 若 $q(X1 \cap X2) > q(X1) + q(X2)$, 说明因子 $X1$ 和 $X2$ 交互后非线性增强。

本研究中应用地理探测器模型分析水田分布格局的变化与所选 7 种影响因子的相关性以及多种影响因子之间的交互作用。地理探测器的具体实现采用 GeoDetector 软件 (<http://www.geodetector.org/>), 读入离散化处理后的类型数据, 软件运行结果本研究侧重分析两部分: 影响因子对水田变化格局的空间分异性的解释力, 以及这些影响因子对水田变化的空间分异性影响的交互作用。

3 结果与分析

3.1 水田变化空间特征分析

1989—2015 年富锦市水田扩张明显, 新增水田 34.99 万 hm^2 。基于 ArcGIS 10.2 平台, 利用自然间断点分级法将 1989—2002 年和 2002—2015 年水田扩张面积进行分级, 分类数为 5。与 1 000 m×1 000 m 网格层叠加, 得到 1989—2002 年和 2002—2015 年富锦市 1 000 m×1 000 m 网格单元统计的水田扩张度空间分布图 (图 2)。

1989—2002 年, 当地政府“以稻治涝”农业种植结构调整政策的推行, 导致富锦市水田扩张度在空间上呈现大范围连片扩展和零星分散。1 000 m×1 000 m 格网内水田扩张度高于 0.3 的网格单元数为 2 210 个, 占总数的 26%, 主要聚集分布在富锦市东部垦区, 为水田化集中分布区。水田扩张度在阈值 0~0.102 5 区间内的网格单元数为 5 425 个, 占总数的 63%, 主要分布在富锦市中西部地区。水田扩张度在阈值 0.102 6~0.3 区间内的网格单元数为 976 个, 占总数的 11.33%, 主要零星分布在富锦市中部平原区以及沼泽湿地边缘地带。在规模上, 东部地区的水田扩张度明显高于中西部地区, 且水田扩张聚集密度较高, 以富锦市东部垦区农场尤为显著。此阶段, 富锦市中部传统农区经济发展滞后, 主要以垦殖沼泽湿地为主, 受地形、土质等因素影响, 水田化程度较低。

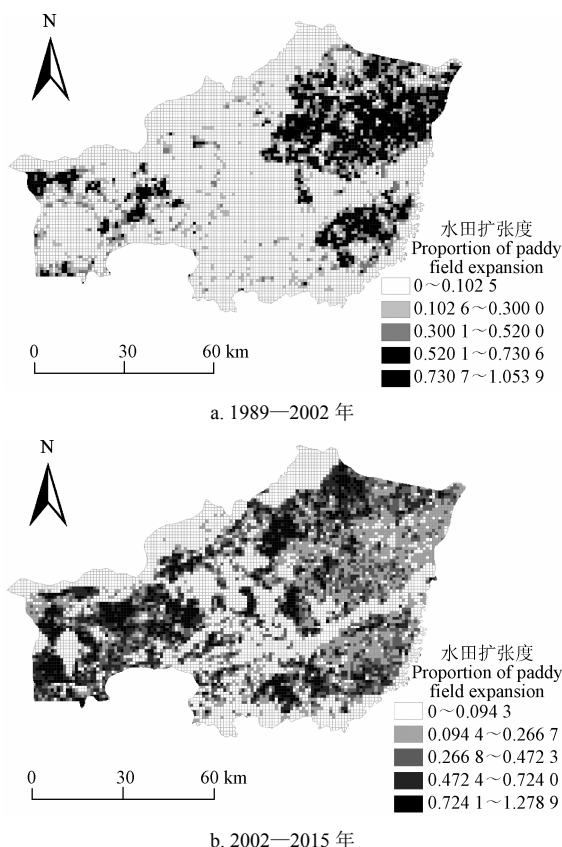


图 2 富锦市 1 000 m×1 000 m 网格单元统计的水田扩张度分布

Fig.2 Distribution of proportion of paddy field expansion at grid of 1 000 m×1 000 m in Fujin

2002—2015 年，“两江一湖工程”、“高标准基本农田建设工程”等耕地开发整治工程实施，富锦市耕地

达到较高的农业开发水平，水田化水平大幅度提升，有条件地区基本实现全域水田化。该时段内，1 000 m×1 000 m 格网内水田扩张度在 0~0.094 3 区间内的网格单元数为 3 718 个，占总网格单元数的 36.91%，区域内大范围耕地基本实现“旱改水”。水田扩张度在阈值 0.094 4~0.266 7 区间内网格单元数为 1 913 个，在阈值 0.266 8~0.472 3 范围内的网格单元数为 1 489 个，2 个区间内网格单元数占总数的 39.51%，主要分布于富锦市垦区的中南部，由于垦区 20 世纪 90 年代以来率先开展“以稻治涝”实施旱地转水田工程，进入水田化成熟期，2002—2015 年水田扩张度相比前一阶段有所降低。1 000 m×1 000 m 格网内水田扩张度高于 47.24%，处于第四、五区间内的网格单元数为 2 031 个，占网格单元总数的 23.59%，这部分区域主要位于富锦市西部农区的锦山镇、长安镇和砚山镇等区域，表明富锦市农区受体制等因素制约，旱田转水田进程慢于东部垦区。

3.2 水田变化空间特征驱动因素分析

探索不同影响因素对三江平原水田化的影响及作用强度一直是众多学者关注的焦点。本文通过定量研究的方法分析造成该区域水田化区域差异的驱动因素，并探索这些驱动因子在地理空间上对水田空间格局变化的解释强度。由于地理探测器擅长识别类型数据，而对于顺序量、比值量或间隔量，需要进行适当的离散化^[13]，本文将高程、坡度、到河流距离、到铁路距离与到城镇距离都用自然断点分成 5 类，土壤类型分为 8 类，政策因素按照农区与垦区行政范围将分别赋值为 0 与 1，以对政策因素量化和空间化表达，便于在地理探测器中进行分析（图 3）。

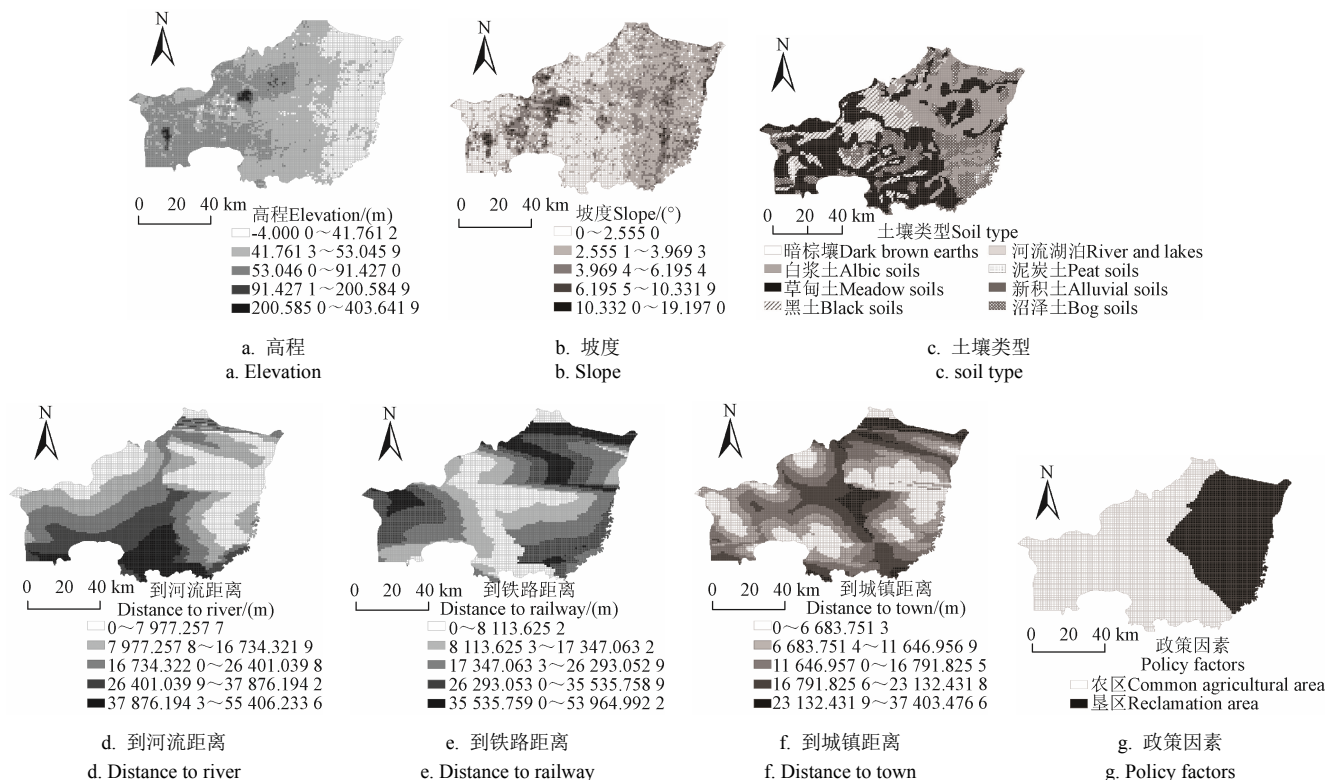


图 3 水田变化驱动因子空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of driving factors for paddy field change

3.2.1 驱动因子探测

运用 GeoDetector 软件进行数据处理,借助因子探测器模块获得 1989—2002 年和 2002—2015 年水田变化各驱动因子的作用强度值(地理探测器的 q 值), q 值越大表示该指标对水田扩张度空间分异的作用强度越大,且是决定水田扩张度空间分异的主要影响因素。

1989—2002 年水田变化的驱动因子作用强度值从大到小排列依次为:政策因素(0.252 4)、土壤类型(0.180 1)、到河流距离(0.155 8)、到铁路距离(0.111 4)、高程(0.100 4)、坡度(0.0277 4)、到城镇距离(0.155 8)。该时期富锦市水田面积的扩张是多因子共同作用的结果,其中政策因素起主导作用,土壤类型、到河流距离、到铁路距离也具有较强的解释力,而高程、坡度、到城镇距离对水田面积扩张的作用强度较小。表明 20 世纪 90 年代富锦市水田面积扩张在农业结构调整的政策引领下,率先改造土壤类型适合种植水田、区位条件优越的土地,导致富锦市东部垦区大量开发条件优越的耕地资源被垦殖为水田。

2002—2015 年水田变化的驱动因子作用强度值从大

到小排列依次为:到河流距离(0.041 4)、到铁路距离(0.028 9)、高程(0.018 7)、土壤类型(0.015 3)、到城镇距离(0.015 2)、政策因素(0.005 2)、坡度(0.000 7)。中国城镇化进程加快导致南方水稻种植面积逐渐减少,国家对粮食需求量持续增加,促使北方水稻种植面积逐渐扩大。三江平原地区水田种植区的水稻受到消费者认可,导致市场需求量逐年上升,在市场经济导向作用下,促进富锦市水田种植面积进一步扩大。另一方面,种植水稻的平均收益远高于玉米的平均收益,在比较利益的驱动下,农民在条件适宜的地区实行旱改水工程,导致大面积旱地转为水田。该时期自然因素已不再是限制水田发展关键,利益驱动下满足水田改造条件的耕地都转为水田,富锦市基本实现全面水田化。

3.2.2 驱动因子交互作用探测

富锦市水田化空间分布差异是由多种影响因子共同作用的结果,不可能存在单一因子或单一性因素影响水田的分布和变化。借助地理探测器的交互作用探测器模块获得 1989—2002 年和 2002—2015 年各驱动因子对水田变化的交互作用(表 1、表 2)。

表 1 1989—2002 年富锦市水田变化各驱动因子的交互作用
Table 1 Interaction of driving factors for paddy fields change in Fujin from 1989 to 2002

驱动因子 X1/X2 Driving factors X1/X2	交互贡献率 Interaction value $q(X1 \cap X2)$	X1 贡献率 X1 value $q(X1)$	X2 贡献率 X2 value $q(X2)$	最大值 Max	最小值 Min	贡献率求和 Summation $q(X1)+q(X2)$	探测结果 Detection results
土壤类型/政策因素	0.311 7	0.180 1	0.252 4	0.252 4	0.180 1	0.432 5	双因子增强
到铁路距离/政策因素	0.298 0	0.111 4	0.252 4	0.252 4	0.111 4	0.363 8	双因子增强
到河流距离/政策因素	0.290 2	0.155 8	0.252 4	0.252 4	0.155 8	0.408 2	双因子增强
土壤类型/到河流距离	0.282 6	0.180 1	0.155 8	0.180 1	0.155 8	0.335 9	双因子增强
到城镇距离/政策因素	0.262 5	0.027 7	0.252 4	0.252 4	0.027 7	0.280 1	双因子增强
到河流距离/到铁路距离	0.260 5	0.155 8	0.111 4	0.155 8	0.111 4	0.267 3	双因子增强
高程/政策因素	0.258 3	0.100 4	0.252 4	0.252 4	0.100 4	0.352 8	双因子增强
坡度/政策因素	0.254 9	0.055 2	0.252 4	0.252 4	0.055 2	0.307 6	双因子增强
土壤类型/到铁路距离	0.252 7	0.180 1	0.111 4	0.180 1	0.111 4	0.291 6	双因子增强
高程/土壤类型	0.226 4	0.100 4	0.180 1	0.180 1	0.100 4	0.280 5	双因子增强
高程/到河流距离	0.217 0	0.100 4	0.155 8	0.155 8	0.100 4	0.256 2	双因子增强
土壤类型/坡度	0.213 6	0.180 1	0.055 2	0.180 1	0.055 2	0.235 3	双因子增强
土壤类型/到城镇距离	0.211 6	0.180 1	0.027 7	0.180 1	0.027 7	0.207 9	非线性增强
坡度/到河流距离	0.193 4	0.055 2	0.155 8	0.155 8	0.055 2	0.211 0	双因子增强
高程/到铁路距离	0.186 1	0.100 4	0.111 4	0.111 4	0.100 4	0.211 8	双因子增强
到城镇距离/到河流距离	0.185 4	0.027 7	0.155 8	0.155 8	0.027 7	0.183 6	非线性增强
到城镇距离/到铁路距离	0.165 5	0.027 7	0.111 4	0.111 4	0.027 7	0.139 2	非线性增强
坡度/到铁路距离	0.152 0	0.055 2	0.111 4	0.111 4	0.055 2	0.166 7	双因子增强
高程/到城镇距离	0.144 1	0.100 4	0.027 7	0.100 4	0.027 7	0.128 1	非线性增强
高程/坡度	0.136 9	0.100 4	0.055 2	0.100 4	0.055 2	0.155 6	双因子增强

注: X1、X2 为驱动因子, Max 为 $q(X1)$ 、 $q(X2)$ 中最大值, Min 为 $q(X1)$ 、 $q(X2)$ 中最小值。下同。
Note: X1 and X2 are the driving factors. Max is the maximum value of $q(X1)$ and $q(X2)$. Min is the minimum value of $q(X1)$ and $q(X2)$. The same below.

1989—2002 年间各驱动因子对水田变化的交互作用大部分是双因子增强和非线性增强,不存在相互独立起作用的因子。其中解释力较大的交互驱动因子土壤类型/政策因素(0.311 7)、到铁路距离/政策因素(0.298 0)、到河流距离/政策因素(0.290 2)、土壤类型/到河流距离(0.282 6)、到城镇距离/政策因素(0.262 5)等均为双因子增强。土壤类型/到城镇距离(0.211 6)、到城镇距离/到河流距离(0.185 4)、到城镇距离/到铁路距离(0.165 5)

等为非线性增强。政策因素和土壤类型可以较大增强各驱动因子对水田分布空间格局变化的解释力,说明政策引导对水田的空间变化有一定影响。

2002—2015 年间各因子对水田变化的交互作用大部分 $q(X1 \cap X2) > q(X1) + q(X2)$, 是非线性增强的。其中解释力较大的交互驱动因子从大到小依次为:到河流距离/到铁路距离(0.097 9)、土壤类型/到河流距离(0.073 1)、高程/到铁路距离(0.071 2)、土壤类型/到铁路距离

(0.067 7)、到城镇距离/到铁路距离(0.066 8)。相互作用增强的主要是自然因子与社会因子交互,自然因子与社会因子非线性增强的贡献率大于两者之和,说明该时期水田扩张不仅仅是单因素作用,是自然因子与社会因子综合作用的结果,社会因子与自然作用的交互作用造成富锦市水田的大面积扩张。

表 2 2002—2015 年富锦市水田变化各驱动因子的交互作用
Table 2 Interaction of driving factors for paddy fields change in Fujin from 2002 to 2015

驱动因子 X1/X2 Driving factors X1/X2	交互贡献率 Interaction value $q(X1 \cap X2)$	X1 贡献率 X1 value $q(X1)$	X2 贡献率 X2 value $q(X2)$	最大值 Max	最小值 Min	贡献率求和 Summation $q(X1)+q(X2)$	探测结果 Detection results
到河流距离/到铁路距离	0.097 9	0.041 4	0.028 9	0.041 4	0.028 9	0.070 4	非线性增强
土壤类型/到河流距离	0.073 1	0.015 3	0.041 4	0.041 4	0.015 3	0.056 7	非线性增强
海拔高程/到铁路距离	0.071 2	0.0187	0.028 9	0.028 9	0.018 7	0.047 6	非线性增强
土壤类型/到铁路距离	0.067 7	0.015 3	0.028 9	0.028 9	0.015 3	0.044 2	非线性增强
到城镇距离/到铁路距离	0.066 8	0.015 2	0.028 9	0.028 9	0.015 2	0.044 1	非线性增强
高程/到河流距离	0.065 3	0.018 7	0.041 4	0.041 4	0.018 7	0.060 1	非线性增强
到铁路距离/政策因素	0.058 6	0.028 9	0.005 2	0.028 9	0.005 2	0.034 1	非线性增强
到城镇距离/到河流距离	0.056 8	0.015 2	0.041 4	0.041 4	0.015 2	0.056 6	非线性增强
到河流距离/政策因素	0.047 7	0.041 4	0.005 2	0.041 4	0.005 2	0.046 6	非线性增强
坡度/到河流距离	0.047 3	0.000 7	0.041 4	0.041 4	0.000 7	0.042 1	非线性增强
高程/土壤类型	0.046 5	0.018 7	0.015 3	0.018 7	0.015 3	0.034 0	非线性增强
土壤类型/到城镇距离	0.037 1	0.015 3	0.015 2	0.015 3	0.015 2	0.030 5	非线性增强
高程/到城镇距离	0.037 1	0.018 7	0.015 2	0.018 7	0.015 2	0.033 8	非线性增强
坡度/到铁路距离	0.036 8	0.000 7	0.028 9	0.028 9	0.000 7	0.029 6	非线性增强
土壤类型/政策因素	0.036 0	0.015 3	0.005 2	0.015 3	0.005 2	0.020 5	非线性增强
到城镇距离/政策因素	0.031 8	0.015 2	0.005 2	0.015 2	0.005 2	0.020 4	非线性增强
土壤类型/坡度	0.027 8	0.015 3	0.000 7	0.015 3	0.000 7	0.016 0	非线性增强
高程/坡度	0.026 1	0.018 7	0.000 7	0.018 7	0.000 7	0.019 4	非线性增强
高程/政策因素	0.022 1	0.018 7	0.005 2	0.018 7	0.005 2	0.023 8	双因子增强
坡度/到城镇距离	0.019 3	0.000 7	0.015 2	0.015 2	0.000 7	0.015 9	非线性增强
坡度/政策因素	0.008 6	0.000 7	0.005 2	0.005 2	0.000 7	0.005 9	非线性增强

4 讨 论

本研究对富锦市水田分布的动态变化过程和水田变化的驱动因素两个方面进行研究。三江平原地势平坦、土壤肥沃、水源丰富,自然条件适宜农业发展,自 20 世纪 90 年代以来,三江平原大面积实施“旱改水”工程^[26-27]。富锦市作为三江平原的核心区,水田化程度较高,由于富锦市行政管辖复杂,包含农区与垦区,体制不同导致富锦市水田化进程空间差异性明显。本研究运用网格单元法明确了水田变化的大小、幅度,在驱动因素研究中运用地理探测器模型很好的探测出 1989—2015 年富锦市水田变化的主导驱动因子和因子间的交互作用。

从研究结果可以看出,1989—2015 年富锦市水田扩张明显,且垦区水田化进程早于农区。富锦市地势低洼,经常发生涝灾,90 年代末当地垦区因地制宜,率先提出“以稻治涝、以稻致富”,把地势低平易涝的不利因素变成有利因素,积极推动种植结构向水稻调整。1989—2015 年,富锦市农区与垦区的水田变化面积占比接近。1989—2002 年,垦区的水田变化面积占富锦市水田变化总面积的 73.09%,远高于农区的 36.81%;2002—2015 年,富锦市农区的水田变化面积占比高于垦区,说明垦区的水田化进程早于农区(表 3)。

表 3 1989—2015 年各时期水田变化面积中农区与垦区占比
Table 3 Proportion of common agricultural area and reclamation area for paddy field change from 1989 to 2015

政策因素 Policy factors	1989—2002 年	2002—2015 年	1989—2015 年
农区 Common agricultural area	36.81%	61.83%	48.72%
垦区 Reclamation area	73.09%	38.17%	51.28%

结果表明,土壤类型对富锦市水田变化的驱动力较大。分别测算富锦市 2015 年水田、旱地中各土壤类型占比,水田中所占比重较高的土壤类型有草甸土、白浆土和沼泽土,旱地主要土壤类型为草甸土、沼泽土和黑土(表 4)。富锦市水田中白浆土占比 32.01%,远高于旱地的 12.72%,白浆土质地粘重,透水性差,低平地区的白浆土适合改种水田^[28],黑土的自然肥力很高,但可耕性差,水分有效性低^[29],种植水田需要的灌溉成本过高,因此富锦市旱地中黑土占比 21.43%,高于水田的 8.70%。

此外,受卫星影像分辨率和分类精度影响,结果存在一定误差,今后应该考虑光学影像与雷达影像相结合,并运用 Google Earth Engine 云平台等先进手段进行水田提取^[30-31]。此外,本研究分析富锦市水田变化的空间特征及驱动因素,下一步应结合耕地保护及农业种植结构

调整政策, 提出耕地利用的调整优化方向, 结合不同发展情景进行模拟。

表 4 2015 年水田、旱地和耕地中各土壤类型占比
Table 4 Proportion of soil types in paddy fields, dry land and cultivated land in 2015

土壤类型 Soil types	水田 Paddy fields/%	旱地 Dryland/%	耕地 Cultivated land/%
草甸土 Meadow soils	36.77	39.66	38.13
白浆土 Albic soils	32.01	12.72	22.92
沼泽土 Bog soils	21.34	24.95	23.04
黑土 Black soils	8.70	21.43	14.70
泥炭土 Peat soils	0.62	0.37	0.50
新积土 Alluvial soils	0.23	0.12	0.18
暗棕壤 Dark brown earths	0.06	0.50	0.27

5 结 论

本文以富锦市水田为研究对象, 以遥感影像、DEM 数据、土壤数据等数据为基本信息源, 基于 RS 和 GIS 技术, 运用地理探测器模型, 对研究区 1989—2015 年水田变化特征及驱动因素进行研究, 揭示当地水田变化空间差异的驱动因子及因子间的交互作用, 主要得出以下结论:

1) 通过 1 000 m×1 000 m 网格分析富锦市 1989—2002 年与 2002—2015 年水田变化图, 分析可得, 1989—2002 年水田扩张度较高的区域主要分布在富锦市东部垦区, 中西部农区水田扩张度较低; 2002—2015 年, 富锦市大范围耕地实施“旱改水”工程, 该时期垦区在已有水田化基础上继续扩张, 西部农区水田扩张度高于东部垦区。

2) 1989—2002 年水田扩张主要驱动因子为: 政策因素>土壤类型>到河流距离>到铁路距离>高程>坡度>到城镇距离, 其中政策因素和土壤类型起主导作用。2002—2015 年水田扩张主要驱动因子为: 到河流距离>到铁路距离>高程>土壤类型>到城镇距离>政策因素>坡度, 该时期在利益驱动下富锦大部分旱地转为水田, 驱动因子作用力均衡。

3) 1989—2002 年各因子间的交互作用大部分是双因子增强的, 解释力较大的驱动因子有土壤类型/政策因素、到铁路距离/政策因素、到河流距离/政策因素等; 2002—2015 年各因子交互作用大部分是非线性增强的, 对水田扩张解释力较大的因子主要有到河流距离/到铁路距离、土壤类型/到河流距离、高程/到铁路距离等。

参 考 文 献

[1] Ge D, Long H, Zhang Y, et al. Farmland transition and its influences on grain production in China[J]. Land Use Policy, 2018, 70: 94—105.
[2] Vliet J, Groot H L F, Rietveld P, et al. Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe[J].

Landscape and Urban Planning, 2015, 133: 24—36.

- [3] Song Jie, Cai Dongyan, Deng Jinsong, et al. Dynamics of paddy field patterns in response to urbanization: A case study of the Hang-Jia-Hu Plain[J]. Sustainability, 2015, 7: 13813—13835.
[4] 吴莉, 侯西勇, 徐新良. 环渤海沿海区域耕地格局及影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 1—10.
Wu Li, Hou Xiyong, Xu Xinliang. Analysis of spatial pattern of farmland and its impacting factors in coastal zone of Circum Bohai[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(9): 1—10. (in Chinese with English abstract)
[5] Yan Fengqin, Yu Lingxue, Yang Chaobin, et al. Paddy field expansion and aggregation since the mid-1950s in a cold region and its possible causes[J]. Remote sensing, 2018, 10: 384—401.
[6] 宋戈, 杨雪昕, 高佳. 三江平原典型地区水田分布格局变化特征[J]. 中国土地科学, 2017, 31(8): 61—68.
Song Ge, Yang Xuexin, Gao Jia. Study on the distribution patterns and characteristics of Paddy cropland in the typical area of Sanjiang Plain[J]. China Land Sciences, 2017, 31(8): 61—68. (in Chinese with English abstract)
[7] 姜秋香, 付强, 王子龙, 等. 三江平原水土资源空间匹配格局[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 270—277.
Jiang Qiuxiang, Fu Qiang, Wang Zilong, et al. Spatial matching patterns of land and water resources in Sanjiang Plain[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(2): 270—277. (in Chinese with English abstract)
[8] Jin Jianjun, Jiang Chong, Li Lun. The economic valuation of cultivated land protection: A contingent valuation study in Wenling City, China[J]. Landscape and Urban Planning, 2013, 119: 158—164.
[9] 郇红艳, 谭清美, 朱平. 城乡一体化进程中耕地利用变化的驱动因素及区域比较[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 201—213.
Huan Hongyan, Tan Qingmei, Zhu Ping. Driving factors of cultivated land use change in city and countryside integration process and region comparisons[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(21): 201—213. (in Chinese with English abstract)
[10] 欧阳玲, 王宗明, 贾明明, 等. 基于遥感的吉林省中西部耕地数量和质量空间格局变化分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 234—242.
Ouyang Ling, Wang Zongming, Jia Mingming, et al. Spatial pattern analysis on quantity and quality of cultivated land in mid-west Jilin province based on remote sensing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(13): 234—242. (in Chinese with English abstract)
[11] 刘敏, 赵翠薇, 施明辉. 贵州山区土地利用变化多尺度空间自相关分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20): 239—246.
Liu Min, Zhao Cuiwei, Shi Minghui. Spatial autocorrelation analysis of multi-scale land use change at mountainous areas in Guizhou province[J]. Transactions of the Chinese

- Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(20): 239—246. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘艳军, 于会胜, 刘德刚, 等. 东北地区建设用地开发强度格局演变的空间分异机制[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 818—831.
Liu Yanjun, Yu Huisheng, Liu Degang, et al. Spatial differentiation mechanisms of the pattern evolution of construction land development intensity in Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(5): 818—831. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116—134.
Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116—134. (in Chinese with English abstract)
- [14] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China[J]. International Journal of Geographical Information Science. 2010, 24(1): 107—127.
- [15] 李娜, 雷国平, 张慧, 等. 水田化进程下挠力河流域耕地时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 63—67+73.
Li Na, Lei Guoping, Zhang Hui, et al. Spatial-temporal characteristics of farmland due to paddy field expansion in Naolihe River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(5): 63—67+73. (in Chinese with English abstract)
- [16] 朱宇. 黑龙江屯垦史[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2017.
- [17] 刘焕军, 于胜男, 张新乐, 等. 一年一季农作物遥感分类的时效性分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(5): 830—839.
Liu Huanjun, Yu Shengnan, Zhang Xinle, et al. Timeliness analysis of crop remote sensing classification one crop a year[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(5): 830—839. (in Chinese with English abstract)
- [18] 刘吉平, 马长迪, 刘雁, 等. 基于地理探测器的沼泽湿地变化驱动因子定量分析: 以小三江平原为例[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2017, 49(2): 127—135.
Liu Jiping, Ma Changdi, Liu Yan, et al. Quantitative study on the driving factors of marsh change based in Geographical Dector: Case study on Small Sanjiang Plain[J]. Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition, 2017, 49(2): 127—135. (in Chinese with English abstract)
- [19] 胡金晓, 朱明, 濮励杰, 等. 交通道路对区域土地利用变化的影响研究进展[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(1): 205—214.
Hu Jinxiao, Zhu Ming, Pu Lijie, et al. Progress of the research on the influence of traffic road on regional land use change[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(1): 205—214. (in Chinese with English abstract)
- [20] 刘超, 霍永伟, 许月卿, 等. 生态退耕前后张家口市耕地变化及影响因素识别[J]. 自然资源学报, 2018, 33(10): 1806—1820.
Liu Chao, Huo Yongwei, Xu Yueqing, et al. Changes in cultivated land and influencing factors before and after the implementation of grain for green project in Zhangjiakou City[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(10): 1806—1820. (in Chinese with English abstract)
- [21] 买买提江·买提尼亚孜, 阿里木江·卡斯木. 基于网格单元的乌鲁木齐市土地覆被/利用时空变化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1): 210—216.
Maimaitijiang Maitiniyazi, Alimujiang Kasimu. Spatial-temporal change of Urumqi urban land use and land cover based on grid cell approach[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(1): 210—216. (in Chinese with English abstract)
- [22] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 等. 基于格网的农村居民点用地时空特征及空间指向性的地理要素识别: 以环渤海地区为例[J]. 地理研究, 2015, 34(6): 1077—1087.
Yang Ren, Liu Yansui, Long Hualou, et al. Spatial-temporal characteristics of rural residential land use change and spatial directivity identification based on grid in the Bohai Rim in China[J]. Geographical Research, 2015, 34(6): 1077—1087. (in Chinese with English abstract)
- [23] 赵小凤, 刘梦丽, 王柏源. 基于地理探测器的城市建设用地规模时空差异及影响因素分析[J]. 中国土地科学, 2018, 32(5): 29—35.
Zhao Xiaofeng, Liu Mengli, Wang Baiyuan. Spatio temporal disparity of urban construction land and its impact factors in China based on Geodetector[J]. China Land Sciences, 2018, 32(5): 29—35. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李颖, 冯玉, 彭飞, 等. 基于地理探测器的天津市生态用地格局演变[J]. 经济地理, 2017, 37(12): 180—189.
Li Ying, Feng Yu, Peng Fei, et al. Pattern evolvement of ecological land in Tianjin based on geodetector[J]. Economic Geography, 2017, 37(12): 180—189. (in Chinese with English abstract)
- [25] 董玉祥, 徐茜, 杨忍, 等. 基于地理探测器的中国陆地热带北界探讨[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 135—147.
Dong Yuxiang, Xu Qian, Yang Ren, et al. Delineation of the northern border of the tropical zone of China's mainland using Geodetector[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 135—147. (in Chinese with English abstract)
- [26] 黄妮, 刘殿伟, 王宗明. 1986年~2005年三江平原水田与旱地的转化特征[J]. 资源科学, 2009, 31(2): 324—329.
Hang Ni, Liu Dianwei, Wang Zongming. Study on mutual transformation characteristics between paddy field and dry land in Sanjiang Plain from 1986 to 2005[J]. Resources Science, 2009, 31(2): 324—329. (in Chinese with English abstract)
- [27] 杜国明, 潘涛, 尹哲睿, 等. 水田化进程中的富锦市耕地景观格局演化规律[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 207—214.
Du Guoming, Pan Tao, Yin Zherui, et al. Cultivated landscape pattern change due to the rice paddy expansion in Northeast China: A case study in Fujin[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(1): 207—214. (in Chinese with English abstract)
- [28] 王晋, 庄舜尧, 朱兆良. 不同种植年限水田与旱地土壤有

- 机氮组分变化[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 286—294.
- Wang Jin, Zhuang Shun Yao, Zhu Zhaoliang. Fractions of soil organic nitrogen in paddy and upland soils relative to cropping history[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(2): 286—294. (in Chinese with English abstract)
- [29] 王媛华, 苏以荣, 李杨, 等. 水田和旱地土壤有机碳周转对水分的响应[J]. 中国农业科学, 2012, 45(2): 266—274.
- Wang Aihua, Su Yirong, Li Yang, et al. Response of the turnover of soil organic carbon to the soil moisture in paddy and upland soil[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45 (2): 266—274. (in Chinese with English abstract)
- [30] Dong J, Xiao X, Menarguez M A, et al. Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2016, 185: 142—154.
- [31] Yang H, Pan B, Wu W, et al. Field-based rice classification in Wuhua county through integration of multi-temporal Sentinel-1A and Landsat-8 OLI data[J]. *International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation*, 2018, 69: 226—236.

Spatial-temporal variations and driving factor analysis of paddy fields in typical regions of Sanjiang Plain

Zhang Wenqi, Song Ge^{*}

(*Institute of Land Management, Northeast University, Shenyang 110169, China*)

Abstract: Over the last three decades, paddy fields on the Sanjiang Plain have experienced rapid expansion. It has an important impact on regional food security, ecological environment and socio-economic development. Fujin is a typical area of Sanjiang Plain, with both common agricultural area and reclamation area, and the land use pattern is the epitome of Sanjiang Plain. In our study, used 1 000 m×1 000 m grid cell to scientifically analyze the spatial-temporal variation and driving factors of paddy fields, in Fujin from 1989 to 2002 and from 2002 to 2015. And elevation, slope, soil type, distance to railway, distance to river, distance to town and policy factors were selected as driving factors in this paper. With the help of GeoDetector, we analyzed the role of these seven factors in paddy field change and their relationship. The results indicated that such paddy fields have increased by approximately 349 900 hm² from 1989 to 2015, and the paddy field process of reclamation area was earlier than that of common agricultural area. In the early 1990s, in order to adjust the agricultural planting structure, the local government began to encourage farmers to plant paddy rice in large areas. During this period, paddy rice planting area increased rapidly. From 1989 to 2002, the areas with the high proportion of paddy field expansion were mainly located in the reclamation areas in the northeast and southeast of Fujin County, and some other agricultural areas. From 2002 to 2015, the project of cultivated land development and improvement was implemented, and the cultivated land in Fujin reached a high level of agricultural development, and all the conditional areas were basically converted to paddy fields. The areas with higher proportion of paddy field expansion were mainly located in the southwestern common agricultural area and the northern reclamation area of Fujin City. In addition, the main driving factors of paddy field expansion in 1989-2002 were policy factors and soil types. The interaction between these factors was mostly enhanced by two factors. It showed that in the 1990s, under the guidance of the policy of agricultural structure adjustment, Fujin took the lead in reforming the soil types suitable for paddy fields and the land with superior location conditions. As a result, a large number of cultivated land resources with superior development conditions in the eastern reclamation area of Fujin were reclaimed into paddy fields. From 2002 to 2015, the influence of natural factors on paddy field change becomes weaker. The main driving factors of paddy field expansion are the distance from rivers to railways, and the interaction among these factors is mostly non-linear. Natural factors are no longer the key to restrict the development of paddy fields. Driven by market interests, dryland that meets the conditions of paddy field transformation is converted to paddy fields. The spatial difference of paddy field change in Sanjiang Plain is the result of the interaction of various driving factors. The driving factors and their relationships are different in different periods. Geographic detectors can make a more comprehensive analysis of various influencing factors. The results can provide theoretical basis for the protection of cultivated land and the rational utilization of cultivated land resources in Sanjiang Plain.

Keywords: land use; remote sensing; spatial-temporal change; cultivated land; paddy field; driving factors; GeoDetector; Sanjiang plain