

南方水稻复种指数变化对国家粮食产能的影响 及其政策启示

蒋 敏^{1,2}, 李秀彬^{1,2}, 辛良杰¹, 谈明洪^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 中国南方地区水稻生产的变化对国家粮食安全具有重要影响。本文利用 Landsat 数据提取 1990-2015 年南方地区水稻种植制度分布及变化, 并分析其对粮食产能的影响。结果表明: ① 1990-2015 年, 水稻复种指数从 148.3% 下降到 129.3%, 双季稻改种单季稻(“双改单”)损失的播种面积为 253.16 万 hm^2 , 区域上以长江中下游地区变化最为突出。南方地区水稻种植制度整体呈现由北向南“双退单进”的变化格局; ② 1990-2015 年, “双改单”导致全国水稻产量减少 6.1%, 粮食产量减少 2.6%。水稻主产区湖南省和江西省以及经济发展较好的浙江省因“双改单”水稻减产幅度较大, 均超过 13%; ③ 充分利用“双改单”稻田的粮食产能相当于新增耕地 223.3 万 hm^2 , 为 2001-2015 年通过土地整治项目新增耕地总量的 54%, 是 2016-2020 年全国新增耕地规划目标的 1.7 倍, 可节省约 1674.4 亿元新增耕地开垦费用。因此, 与其追求低质量的“新”耕地, 不如充分利用已有的高质量“旧”耕地, 政府应转变耕地占补平衡的考核方式, 将因提高复种指数增加的播种面积纳入补充指标。

关键词: 水稻复种指数; 粮食安全; 双改单; 南方地区; 政策启示

DOI: 10.11821/dlxb201901003

1 引言

粮食安全问题始终是国际社会普遍关注的问题^[1-2]。粮食自给能力是目前中国粮食安全政策的主要出发点, 而耕地资源是保证粮食自给能力的基础^[3]。中国是个“人多地少”的大国, 人均耕地不足 1.5 亩, 用占世界 9% 的耕地养活全球近 19% 的人口^[4]。改革开放以来, 随着城镇化、工业化的快速发展, 大量的优质耕地被建设占用, 尤其在经济快速发展的中国东部沿海区域^[5]。1996-2009 年间, 大约 300 万 hm^2 的高质量耕地转为建设用地^[6]。1991-2001 年间, 接近 80% 的建设用地占用的耕地位于中东部地区^[7]。优质耕地的大量流失引起了中国政府的高度重视。从 1998 年起, 中国实行严格的耕地保护措施, 提出耕地占补平衡政策, 以期维持耕地面积不减少, 保障粮食安全^[8]。然而事与愿违, 中国多年“以粮为纲”, 鼓励开垦荒地, 宜耕后备资源开发殆尽, 新开发的耕地多位于生态脆弱区, 耕地质量大多低于被占用耕地的质量, “以次补好”现象普遍, 耕地保护政策难以实现“保质又保量”的目标^[9-12]。

稻谷是中国 65% 以上人口的主粮, 也是播种面积、总产出、单产水平均为最高的粮

收稿日期: 2018-06-11; 修订日期: 2018-12-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571095, 41161140352) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41571095, No.41161140352]

作者简介: 蒋敏(1989-), 男, 安徽池州人, 博士生, 主要从事土地利用变化及其效应研究。E-mail: jiangm.15b@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 谈明洪(1970-), 男, 博士, 研究员, 主要从事土地利用变化及其效应研究。E-mail: tanmh@igsnrr.ac.cn

食作物,在粮食生产和消费中扮演重要角色。2016年中国稻谷播种面积约占粮食总播种面积的27%,水稻产量占粮食总产量的比例约为34%^[4]。南方地区是中国重要的水稻生产基地,水稻播种面积占全国水稻总播种面积的60%以上。该区域水热条件较好,双季稻作区大多集中分布于此。双季稻属于精耕细作的生产方式,复种指数高,单位耕地面积的水稻年产量明显高于单季稻,在过去几十年中为维护中国粮食安全起到了重要作用^[13]。然而近年来,快速的城镇化与工业化发展引致务农机会成本大幅上升,南方地区出现大面积双季稻改种单季稻现象,或称为“双改单”季节性撂荒现象,水稻种植集约度大幅下降^[14-15]。现有的研究不论是利用统计数据^[16-17],还是遥感数据^[18-21],都反映出双季稻区复种指数下降,水稻播种面积减少的事实。南方地区水稻集约度的变化,对南方的粮食产量产生了重要的影响。南方地区作为中国粮食主产区的地位正在逐渐下降,中国粮食格局已由“南粮北运”转为“北粮南运”^[22-24]。双季稻区复种指数的下降,说明现有的优质耕地资源没有被充分利用,一定程度上浪费了宝贵的优质耕地资源。

在这种背景下,为保证耕地面积动态平衡而大规模开发新增耕地,无疑是浪费财政资源,对生态建设也极为不利。如果充分发挥优质耕地资源的生产潜力,提高复种指数替代新增开发低质耕地,不仅能有效避免耕地浪费,还将有利于生态脆弱区的环境保护,实现粮食安全和生态安全共赢。那么,南方地区水稻复种变化对粮食产量有多大影响?提高水稻复种指数增加的粮食产能相当于补充多少新增耕地?值得深入分析。

现有的关于水稻复种变化对粮食生产影响的研究大多基于统计数据^[15, 25]。然而统计数据只能反映单、双季稻的播种面积的净变化量,不能更为细致深入地刻画不同土地利用类型间的转换,且难以表征行政单元内部差异,不利于全面地了解复种指数变化带来的影响^[26-27]。遥感数据则具有很好的时空可比性,可详细刻画土地利用变化过程,从而能更好地体现和分析水稻复种变化对粮食产量的影响^[19, 28]。由于缺乏详细的区域水稻种植制度分布遥感图,基于较高分辨率的遥感数据评估大区域水稻复种指数对水稻产量影响的研究还不多见。

鉴于此,本文基于Landsat遥感数据提取1990年和2015年南方地区的水稻种植制度时空分布及变化,通过测算水稻复种指数变化对粮食产量的影响,从而提出政策启示。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

本文的研究区为中国南方双季稻区,包括安徽省、湖北省、湖南省、江西省、浙江省、福建省、广东省、广西壮族自治区,共8省(自治区);地理坐标介于104°28'E~122°57'E、20°14'N~34°40'N之间,地形复杂多样,主要包括平原、丘陵、盆地和山地等,总面积约134.37万km²(图1)。该区域属于亚热带季风气候,水热条件好,是中国水稻主产区。从北至南可分为华中双单季稻稻作区(安徽省、湖北省、湖南、江西、浙江)和华南双季稻稻作区(福建、广东、广西)。单季稻一般于5月中下旬播种,6月中下旬移栽,10月上旬收获。双季早稻一般于每年的3月中下旬播种,4月下旬至5月上旬移栽,7月中下旬收获;双季晚稻7月中下旬移栽,10月中下旬收获。华中单双季稻作区由于热量条件不足,7月中下旬属于抢收双季早稻和抢种双季晚稻的“双抢”季节,双抢期间劳动力压力较大。近年来,受务农机会成本上升和农村劳动力紧缺等因素影响,该区域双季稻种植比例呈下降趋势。

2.2 数据

2.2.1 遥感数据 本研究使用美国陆地卫星 Landsat 5 号、7 号和 8 号获取的 TM、ETM+ 和 OLI 影像提取水稻复种指数。该数据来源美国地质调查局 (USGS) 网站 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)。覆盖本研究区需 67 景影像, 经过图像质量 (云量小于 10%) 和水稻物候特征时间窗口的筛选, 最终获取 1990 年前后和 2015 年前后共 244 期影像。所用影像均经过辐射定标、大气校正、云检测, 以及 ETM+ 条带缺失修复后, 计算归一化植被指数 (NDVI)。

2.2.2 非遥感数据 包括: ① 土地利用数据: 30 m 分辨率土地利用数据 (1990 年和 2015 年) 来源于中国科学院遥感与数字研究所, 用于构建稻田分布掩膜, 限定水稻熟制识别范围, 排除其他作物的干扰; ② 水稻物候历来源于农业部种植业管理司分省农时数据库 (<http://www.zzys.moa.gov.cn/>) 以及农户实地调查数据, 用于确定单、双季稻提取的特定时间窗口; ③ 样点数据: 来源于研究区实地调查和辅以 Google Earth 协助的目视解译, 共收集 2015 年前后实地调查水稻样点数据 143 个, 目视解译样点 1109 个; 1990 年前后目视解译样点 1053 个。所有样点被随机分为两部分, 一部分作为训练样本, 构建水稻种植制度提取规则和阈值; 另一部分作为检验样本评价提取结果精度; ④ 县域水稻单产数据 (1990 年) 来源于中国农业科学院, 用于计算水稻复种变化对水稻产量的影响。

2.3 方法

2.3.1 1990 年和 2015 年水稻种植制度提取 本研究区范围较大, 遥感影像数量多, 处理工作量大。为实现研究区水稻种植制度快速提取, 根据特定时间窗口内不同作物的物候差异, 基于 ENVI 5.3 和 IDL 8.5 平台, 开发构建水稻种植制度自动监测系统 (Automatic Rice Cropping System Monitor System, ARCSM)。该系统主要包括 3 个部分 (图 2): ① Landsat 遥感数据批量预处理; ② 水稻种植制度自动提取; ③ 提取结果精度评价及分析。

(1) 基于物候的归一化植被指数差值法 (DNDVI)

水田覆被和物候变化主要包括 3 个阶段: 灌水与移栽期、稻株生长期与收割后休耕期, 不同生长期内水稻光谱差异显著。具体表现为, 随着水稻生长, NDVI 表现出低—高一低的变化态势。水稻移栽后 NDVI 处于较低值, 返青到分蘖期 NDVI 逐渐上升, 在分蘖拔节期植株开始大量分蘖生长, 叶面积指数和叶绿素含量增加, 并在孕穗期 NDVI 达到最高值, 抽穗期 NDVI 开始缓慢回落, 到乳熟与成熟两期内由于叶片叶绿素含量降低, NDVI 重新下降到较低点。

由于单、双季稻具有不同的物候期, 双季水稻的 NDVI 年内变化曲线大致呈现双峰的态势, 而单季稻则呈现单峰形态 (图 3)。在共同生育期内 (5-10 月), 双季早稻和单季

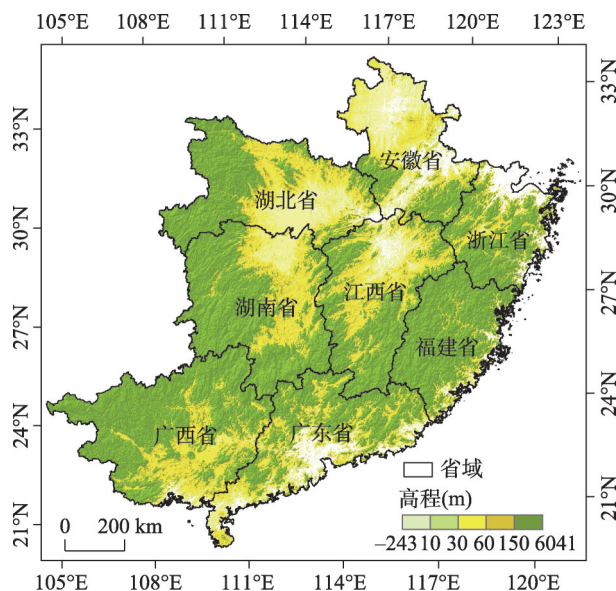


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

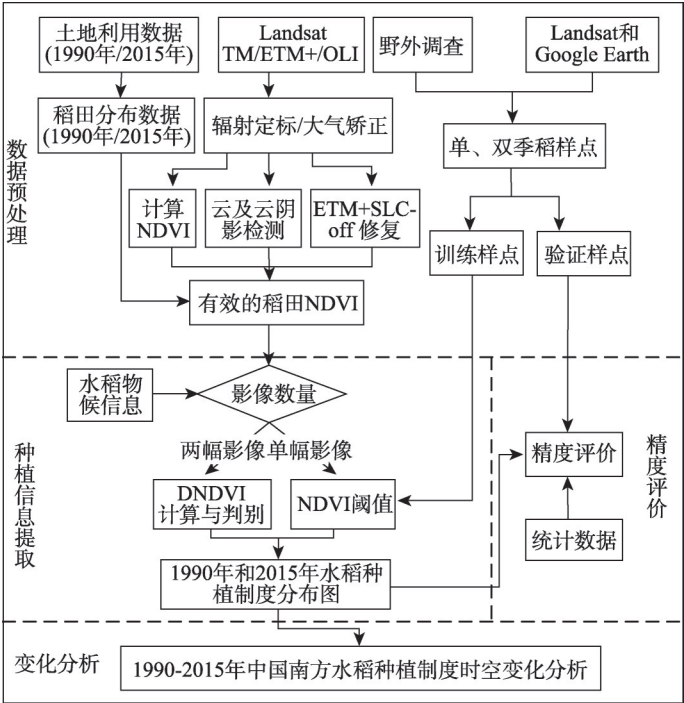


图2 水稻种植制度提取技术路线

Fig. 2 Overview of rice cropping systems mapping methodology

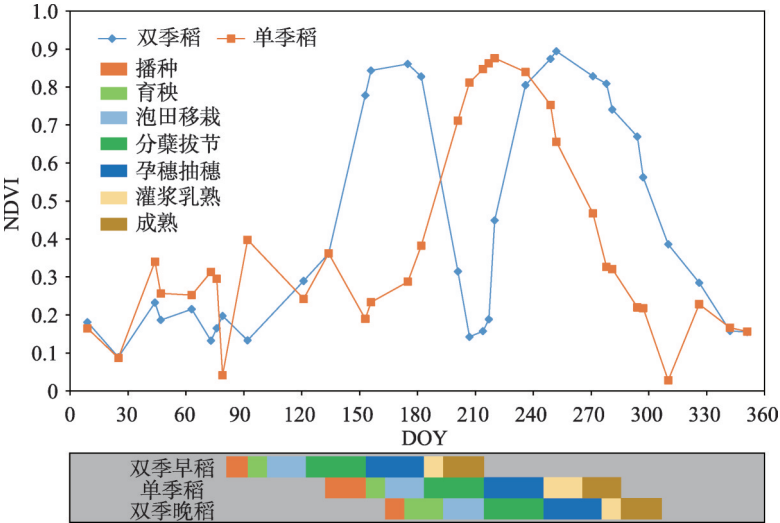


图3 单、双季稻NDVI变化及物候(双季稻样点位于28°52.39'N、116°33.12'E, 单季稻样点位于28°56.85'N、116°4.97'E)

Fig. 3 Temporal profiles of NDVI for different rice cropping systems and rice calendar. Double cropping rice site is located at 28°52.39'N, 116°33.12'E and single cropping rice site at 28°56.85'N, 116°4.97'E. Note: DOY=day of year

中稻从5月下旬到8月上旬NDVI变化趋势相反，双季早稻为成熟期，NDVI呈现下降趋势，而单季中稻为生长期NDVI呈现上升趋势；双季晚稻和单季中稻在7月下旬到10月上旬期间NDVI变化趋势也相反，双季晚稻呈现上升趋势，单季中稻则为下降趋势。基

于此,可以寻找两个单、双季稻NDVI具有明显差异且变化趋势相反的关键时间窗口,计算两个时间窗口的NDVI差值判断水稻地块(像元)NDVI的变化趋势,从而快速有效地识别单、双季水稻种植制度。根据水稻物候和影像特征,有两对关键时间窗口组合单、双季稻NDVI变化大,影像差异明显,可用于计算NDVI差值,一对是5月下旬至6月中旬和7月下旬至8月上旬,另一对为7月下旬至8月上旬和9月下旬至10月中旬。

根据上述单、双季稻的特征,本文构建NDVI差值(DNDVI)指数,以捕捉单、双季稻的NDVI变化的差异。计算公式如下:

$$DNDVI = NDVI_{t_1} - NDVI_{t_2} \quad (1)$$

式中; $NDVI_{t_1}$ 和 $NDVI_{t_2}$ 分别指单、双季稻变化趋势相反的两个时间窗口的NDVI值,如5月下旬至6月中旬($NDVI_{t_1}$)和7月下旬至8月上旬($NDVI_{t_2}$)、7月下旬至8月上旬($NDVI_{t_1}$)和9月下旬至10月上旬($NDVI_{t_2}$)。

DNDVI值在-2.0~2.0之间,如果DNDVI小于0则表示NDVI变化处于上升阶段,大于0则呈现下降趋势。再根据该时段内单双季稻变化的规律,即可区分单双季稻,如 $NDVI_{t_1}$ 在5月下旬至6月中旬时间段内, $NDVI_{t_2}$ 在7月下旬至8月上旬期间内,若DNDVI小于0则为单季中稻,大于0则为双季早稻。

(2) 基于水稻物候的单幅影像阈值法

本文研究区为中国南方地区,该区域多阴雨天气,很难获取高质量的连续时间序列的Landsat影像。DNDVI方法根据水稻生长期特征,选择合理的时间窗口,已经大幅降低了对影像的需求,使得提取过程得到简化。但由于本文研究区范围较大,有些地区无法获取两个满足精度条件的合适时间窗口的影像计算DNDVI。对于这些区域,本文采用Li等提出的基于时间窗口的单幅影像阈值法进行水稻熟制的提取^[21]。该方法也是基于单、双季稻物候的不同,选择单双季水稻NDVI有显著差异的特定时间窗口的单幅Landsat影像,设置NDVI阈值区分单双季稻。该方法可以较好地提取单双季稻的分布,但是不同区域阈值不尽相同,不易推广到大范围应用。本文将该方法作为DNDVI方法的补充,应用于不能满足DNDVI方法影像需求的区域的水稻熟制提取。两种方法应用的区域如图4所示。

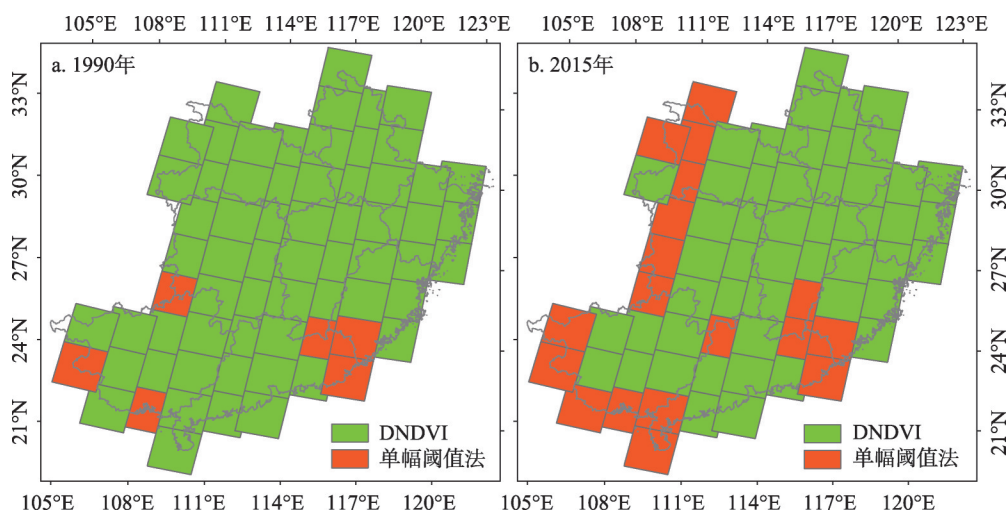


图4 DNDVI法和单幅影像阈值法使用区域

Fig. 4 The distribution of scenes to which the single image threshold method or DNDVI approach was applied

(3) 精度验证

利用Landsat影像目视解译、Google Earth选取和实地调查的样点, 组成水稻熟制验证点, 构建解译结果的混淆矩阵计算总体精度。同时, 将提取单、双季水稻与统计数据

进行回归分析, 计算判定系数 (R^2), 判断单双季水稻提取结果的精度。

2.3.2 水稻复种指数变化对水稻产量的影响测算 本研究的目标是分析水稻复种指数变化引起的水稻产量变化, 需要排除化肥、种子、农业机械等技术进步因素以及气候变化因素带来的影响。因此, 参考其他研究做法^[29], 本文假定研究时段内水稻单产不变, 即以1990年水稻单产为基础, 测算南方地区水稻复种指数变化对粮食产量的影响。水稻复种指数主要受单季稻和双季稻两种制度之间的转换影响, 因此本文计算水稻复种指数对水稻产量影响的公式为:

$$NP = \Delta P_{SD} + \Delta P_{DS}$$
(2)

$$\Delta P_{SD} = (Y_E + Y_L - Y_S) \times S_{SD}$$
(3)

$$\Delta P_{DS} = (Y_E + Y_L - Y_S) \times S_{DS}$$
(4)

式中: NP 为水稻复种指数导致的水稻产量净变化量; ΔP_{SD} 为单季稻转为双季稻引起的水稻产量变化; ΔP_{DS} 为双季稻转为单季稻引起的水稻产量变化; S_{SD} 为单季稻转为双季稻的稻田面积; S_{DS} 为双季稻转为单季稻的稻田面积; Y_E 、 Y_L 、 Y_S 分别为1990年早稻、晚稻以及单季稻的单产。

3 结果与分析

3.1 南方地区水稻种植制度提取结果精度评价

本文使用验证样点分别对南方地区水稻种植制度提取结果进行精度评价, 构建混淆矩阵, 1990年和2015年整体精度分别为88.83%和86.55%, Kappa系数分别为0.75和0.72, 用户精度和生产精度也均高于80%, 精度较高, 提取结果较好(表1)。由于1990年高质量影像数量多于2015年, 导致前者的提取精度要高于后者, 这与其他区域的研究结果类似^[30]。

表1 1990年和2015年水稻种植制度提取结果分类精度评价
Tab. 1 Classification accuracy assessments of rice cropping system distribution in 1990 and 2015

年份			分类结果			总体精度(%)	Kappa系数
			单季稻	双季稻	生产精度(%)		
1990年	验证样点	单季稻	207	46	81.82	88.83	0.75
		双季稻	35	437	92.58		
		用户精度(%)	85.54	90.48			
2015年	验证样点	单季稻	394	48	89.14	86.55	0.72
		双季稻	53	256	82.85		
		用户精度(%)	88.14	84.21			

为进一步验证水稻种植制度提取结果, 用南方地区单、双季水稻播种面积和双季稻播种面积占比表征水稻种植制度格局, 将1990年和2015年Landsat遥感提取结果与省级统计数据

进行对比。由于研究区只包括8个省(自治区), 样本量相对较小, 本研究将1990年和2015年两期省级数据合并成后, 进行综合精度对比, 以增大样本量, 提高验证结果的可靠性。在省域水平上, Landsat提取的单、双季水稻播种面积和双季稻播种比例

与统计数据有着良好的相关性，判定系数 R^2 分别为0.52和0.83，说明提取结果能较好地反映南方单、双季稻种植制度的格局。上述验证表明，本文提取的两期水稻种植分布结果是可靠的。

3.2 1990-2015年水稻播种面积变化

整体上看（表2），1990-2015年间，中国南方地区水稻总播种面积从2183.87万 hm^2 下降到1778.27万 hm^2 ，其中，单季稻播种面积上升201.4万 hm^2 ，而双季稻面积则减少了607万 hm^2 ，复种指数从149.3%下降到129.7%。

表2 1990年和2015年中国南方省级单季稻和双季稻播种面积及产量(万 hm^2 ，万t)

Tab. 2 Provincial sown areas and productions of single cropping rice and double cropping rice in 1990 and 2015 ($\times 10^4 \text{ hm}^2$, $\times 10^4 \text{ t}$)

省份	1990年				2015年			
	单季稻		双季稻		单季稻		双季稻	
	播种面积	产量	播种面积	产量	播种面积	产量	播种面积	产量
浙江	43.34	225.07	131.48	735.08	63.83	339.09	33.72	191.63
安徽	300.05	2173.65	164.34	810.68	341.65	2409.03	74.69	360.44
福建	19.26	100.42	54.25	271.3	18.13	94.12	31.69	154.97
江西	39.49	188.89	283.99	1395.48	112.17	541.21	149.15	719.01
湖北	192.32	1752.05	110.51	618.32	224.08	2032.08	34.78	189.4
湖南	80.58	495.45	285.45	1605.43	130.34	833.26	142.11	786.76
广东	26.61	136.81	247.97	1318.71	39.81	198.15	176.83	923.6
广西	59.79	222.16	144.45	714.63	32.83	122.19	172.45	839.18
合计	761.44	5294.49	1422.43	7469.62	962.84	6569.12	815.43	4164.98

水稻播种面积的变化主要由水稻种植制度变化（单、双季水稻之间的转换）以及种植面积变化（水稻与非水稻之间的转换）两种类型组成，而水稻复种变化主要由水稻种植制度变化引起。从水稻种植制度变化角度看（图5），双季稻改种单季稻（“双改单”）的稻田面积为253.16万 hm^2 ，而单季稻改种双季稻（“单改双”）的稻田面积为74.62万 hm^2 ，“双改单”稻田面积为“单改双”的3倍多。水稻种植制度呈现由北向南“双改单”的变化趋势，转变最为剧烈的区域位于长江中下游的两湖平原、鄱阳湖平原、安徽南部长江沿岸、浙江北部平原及南部山区等传统单、双季稻作混合区。该区域已经从1990年双季稻为主的种植制度格局转为2015年单季稻为主的种植制度格局。

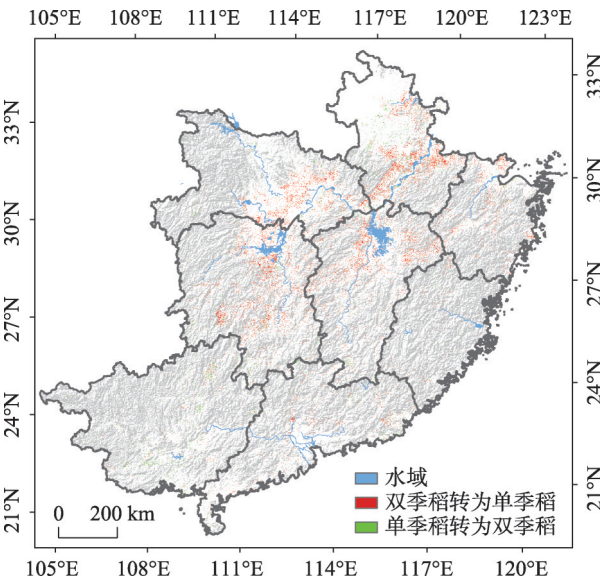


图5 1990-2015年中国南方种植制度变化图
(单季稻和双季稻之间转换)

Fig. 5 Changes in rice cropping systems from 1990 to 2015
(conversion between single cropping rice and double cropping rice)

3.3 1990-2015年水稻复种变化对水稻产量的影响

以1990年水稻单产为基准计算(表2), 相比于1990年, 2015年南方地区水稻因播种面积变化导致的产量净损失为2030万t, 占1990年水稻总产量的16%。其中双季稻损失3304.6万t, 单季稻则增长1274.6万t。从省域角度看, 水稻产量变化趋势与播种面积趋势基本一致, 水稻产量净损失较大的为水稻主产区湖南、江西, 以及经济发展较好的浙江和广东, 净损失量均在320万t以上。

从水稻种植制度变化角度看, 1990-2015年水稻因复种下降导致的净尽损失量为811.78万t, 占水稻产量总损失量的40%, 占1990年水稻总产量的4.2%。其中, 因“双改单”导致的水稻减产量为1164.22万t, 占1990年全国水稻总产量的6.1%, 占1990年全国粮食总产量的2.6%。如图6所示, “双改单”导致水稻产量损失较大的省份主要位于水稻主产区的湖南省和江西省, 相比1990年总损失量达到250万t以上, 减产比例超过15%。此外经济发展较好的浙江“双改单”损失的产量占1990年水稻总产量的比例约为

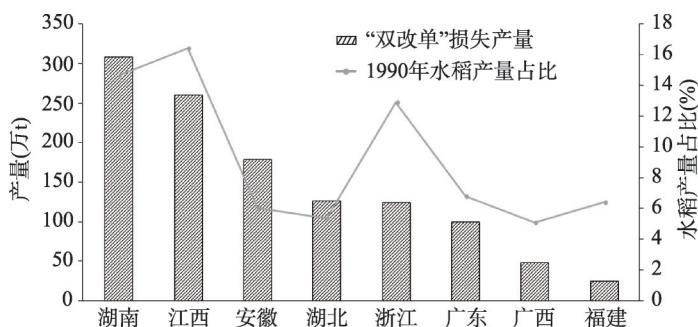


图6 1990-2015年中国南方各省双季稻改种单季稻损失水稻产量及其1990年水稻产量占比

Fig. 6 Provincial losses of rice production caused by double cropping rice to single cropping rice from 1990-2015 and their proportion to rice production in 1990

13%, 减产幅度较大。由此可见, 以提高复种的方式补充播种面积有很大潜力, 尤其是在减产比例较大的湖南、江西和浙江等区域。

从县域角度看(图7), 研究区中有近70%的县(市)因水稻复种下降导致水稻产量损失, 其中超过20%的县市损失量超过2万t, 主要分布在长江中下游平原。因水稻复种指数上升增加产量的县主要分布在广西、以及湖南和湖北的西部地区, 其中97%县(市)水稻增产量小于2万t。

4 讨论

随着城镇化的进程, 快速的城市扩张导致大量的耕地转为建设用地, 耕地流失严重。为应对耕地流失, 保

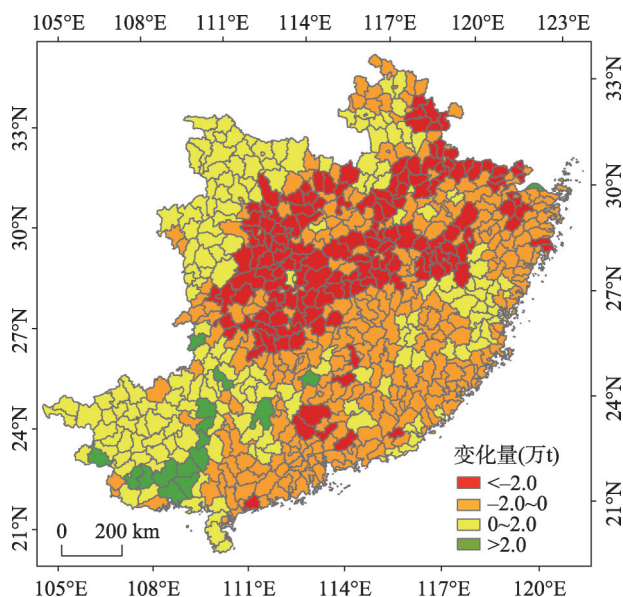


图7 中国南方县域水稻复种变化引起水稻产量净变化

Fig. 7 Net changes of rice production due to rice multiple cropping index changes at county level

障粮食安全,中国自1998年在全国范围内开始实行耕地动态平衡政策^[31]。土地开发整理工程被视为是补充耕地、实现耕地占补平衡的关键工程。2009年后,非农建设占用耕地全面实行“先补后占”,且大多数耕地可以成为指标在市场上交易,进一步推动和加强了土地开发。根据2002-2016年《中国国土资源统计年鉴》统计,2001-2015年间,全国通过土地整治项目新增耕地面积413.5万 hm^2 ,年均21.5万 hm^2 。2017年通过的《全国土地整治规划(2016-2020年)》将通过土地整治项目新增耕地目标定为133万 hm^2 。

然而,多年来,中国鼓励开垦荒地,全国宜耕后备资源开发殆尽。新开发的耕地多从湿地、滩涂、荒草地而来,土地质量较差,容易引起水土流失、土地破碎化、土地退化等环境问题^[6]。多项研究表明损失的耕地多位于水热条件较好的南方地区,而补充耕地位于自然条件相对恶劣的西北以及东北地区^[5, 10-11]。根据Li等研究,南方地区损失耕地的质量是新疆地区补充耕地的1.54倍,东北平原的2倍,对内蒙古东部地区更是高达3.54倍之多^[29]。实地调查也表明,土地开发项目多位于边远山区的坡地和河漫滩上,开发成本高,产出能力较差。此外,一些土地开发项目位于出现耕地撂荒的山区,新增耕地距农户住宅较远,质量较低,投入产出不成正比,部分地区出现了“边开发边撂荒”,甚至开发后立即撂荒的现象^[32]。新增耕地的质量普遍低于减少耕地的质量,耕地保护政策“保量不保质”。

与此同时,城镇化带来的务农机会成本上升和农村劳动力短缺,南方地区出现了水稻“双改单”季节性撂荒现象^[14-15]。南方地区水田的水热条件较好,产量较高,是宝贵的优质耕地,水稻“双改单”现象表明优质耕地资源未被充分利用。根据本文测算结果,相比1990年,2015年南方地区因稻田“双改单”损失的播种面积为253.16万 hm^2 ,造成水稻减产1164.2万t,占1990年粮食总产量的2.6%。按照1990年耕地粮食平均产量(6153 kg/hm^2)折算,相当于损失耕地189.2万 hm^2 。根据Song等研究全国建设占用耕地的平均质量约为通过土地开发整理等项目新增耕地的1.18倍^[11],由此可以得出“双改单”损失粮食产能相当于223.3万 hm^2 新增耕地的粮食产能。这也就意味着,充分利用“双改单”稻田有新增223.3万 hm^2 耕地的潜力,占2001-2015年新增耕地总量的54%,更是2016-2020年全国新增耕地规划目标的1.7倍。目前土地开垦费用根据土地条件不同从4500元/ hm^2 ~90000元/ hm^2 不等,如果包括管理费用,土地开发最低成本达到75000元/ hm^2 ^[32]。以最低标准计算,充分利用“双改单”的稻田而不是通过土地开发整理工程补充耕地,将节省约1674.4亿元的新增耕地开垦费用。

因此,继续一味地追求耕地面积总量的平衡,大面积开发新增耕地,忽视新增耕地所处的位置和质量,难免将加剧新增耕地的“上山下沟”现象,破坏生态环境,也难以实现耕地数量和质量双平衡的目标。如果充分利用“双改单”稻田,则一方面能提高复种指数,充分利用优质耕地资源数,保障粮食生产,另一方面也能避免新开发稻田带来的水土流失等生态环境破坏,以及财政资源的浪费。与其追求质量低的“新”耕地,不如充分利用高质量的“旧”耕地,实现粮食安全和生态安全双赢。

5 结论及政策启示

5.1 结论

本文基于水稻物候特征选取特定的时间窗口,运用244幅Landsat影像提取1990和2015年南方地区水稻种植制度分布,分析了复种指数变化,进而测算其对粮食产量的影响。主要研究结果表明:

(1) 1990-2015年, 单季稻播种面积上升201.4万 hm^2 , 双季稻面积则减少了607万 hm^2 , 水稻复种指数从148.3%下降到129.3%。其中“双改单”损失的播种面积为253.16万 hm^2 , 区域上以长江中下游地区表现最为突出。南方地区水稻种植制度整体呈现由北向南“双退单进”的变化格局。

(2) 1990-2015年, 因“双改单”导致的水稻减产量为1164.22万t, 占1990年全国水稻总产量的6.1%, 占1990年全国粮食总产量的2.6%。“双改单”水稻产量损失较大的省份为水稻主产区湖南省和江西省以及经济发展较好的浙江省, 减产幅度均超过13%。研究区内70%以上县(市)因水稻复种指数下降导致粮食减产。

(3) 根据粮食产量折算, 南方地区充分利用“双改单”稻田相当于223.3万 hm^2 新增耕地, 为2001-2015年通过土地整治项目新增耕地总量的54%, 更是2016-2020年全国新增耕地规划目标的1.7倍, 可节省约1674.4亿元新增耕地开垦费用。与其追求质量低的“新”耕地, 不如充分利用已有的高质量“旧”耕地。

5.2 政策启示

(1) 根据本文测算, 南方地区“双改单”导致2.6%的国家粮食产能未能充分利用。这些潜在在目前的土地政策及市场条件下未能充分发挥, 但是在粮食紧缺状况下, 能迅速恢复粮食生产力, 保障粮食安全, 因此可纳入“藏粮于土”计划。本研究结果量化地增进对中国“藏粮于土”计划的认识, 并为决策提供数据支撑。

(2) 追求质量低的“新”耕地容易导致生态问题, 而充分利用已有的高质量“旧”耕地不仅能发挥优质耕地作用也能节省大量开垦费用。因此, 在目前水稻“双改单”背景下, 政府应转变耕地占补平衡的考核方式, 充分将提高复种指数而增加的播种面积纳入补充指标, 在一定程度上抵扣行政区内建设占用的耕地面积, 而不是仅仅将新开发的耕地面积作为补充耕地面积的唯一手段, 以更加持续、健康的方式实现耕地占补平衡。

参考文献(References)

- [1] Schmidhuber J, Tubiello F N. Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(50): 19703-19708.
- [2] Huang J, Yang G. Understanding recent challenges and new food policy in China. *Global Food Security*, 2017, 12: 119-126.
- [3] Fu Zeqiang, Cai Yunlong, Yang Youxiao, et al. Research on the relationship of cultivated land change and food security in China. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(4): 313-319. [傅泽强, 蔡运龙, 杨友孝, 等. 中国粮食安全与耕地资源变化的相关分析. *自然资源学报*, 2001, 16(4): 313-319.]
- [4] National Bureau of Statistics of China. *China Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2017. [中华人民共和国国家统计局. *中国统计年鉴2017*. 北京: 中国统计出版社, 2017.]
- [5] Lichtenberg E, Ding C. Assessing farmland protection policy in China. *Land Use Policy*, 2008, 25(1): 59-68.
- [6] Kong X B. China must protect high-quality arable land. *Nature*, 2014, 506(7486): 7. DOI: <https://doi.org/10.1038/506007a>
- [7] Zhang K, Yu Z, Li X, et al. Land use change and land degradation in China from 1991 to 2001. *Land Degradation & Development*, 2007, 18(2): 209-219.
- [8] Liu X, Zhao C, Song W. Review of the evolution of cultivated land protection policies in the period following China's reform and liberalization. *Land Use Policy*, 2017, 67: 660-669.
- [9] Jin X, Zhang Z, Wu X, et al. Co-ordination of land exploitation, exploitable farmland reserves and national planning in China. *Land Use Policy*, 2016, 57: 682-693.
- [10] Song W, Liu M. Farmland conversion decreases regional and national land quality in China. *Land Degradation & Development*, 2017, 28(2): 459-471.
- [11] Song W, Pijanowski B C. The effects of China's cultivated land balance program on potential land productivity at a national scale. *Applied Geography*, 2014, 46: 158-170.
- [12] Wang J, Chen Y, Shao X, et al. Land-use changes and policy dimension driving forces in China: Present, trend and future. *Land Use Policy*, 2012, 29: 737-749.

- [13] Yang Wanjiang, Wang Yi. Analysis on cropping changes and contributing factors of double cropping: Empirical study based on 10 major rice producing provinces. *Rural Economy*, 2013(11): 24-28. [杨万江, 王绎. 我国双季稻区复种变化及影响因素分析: 基于 10 个水稻主产省的实证研究. *农村经济*, 2013(11): 24-28.]
- [14] Wang R, Li X, Tan M, et al. Inter-provincial differences in rice multi-cropping changes in main double-cropping rice area in China: Evidence from provinces and households. *Chinese Geographical Science*, 2018: 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11769-018-0972-4>
- [15] Xin Liangjie, Li Xiubin. Changes of multiple cropping in double cropping rice area of southern China and its policy implications. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(1): 58-65. [辛良杰, 李秀彬. 近年来我国南方双季稻区复种的变化及其政策启示. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 58-65.]
- [16] Cheng Yeqing, Zhang Pingyu. Regional patterns changes of Chinese grain production and response of commodity grain in base in Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(5): 3-10. [程叶青, 张平宇. 中国粮食生产的区域格局变化及东北商品粮基地的响应. *地理科学*, 2005, 25(5): 3-10.]
- [17] Xie Hualin, Liu Guiying. Spatiotemporal difference and determinants of multiplecropping index in China during 1998-2012. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(4): 604-614. [谢花林, 刘桂英. 1998-2012 年中国耕地复种指数时空差异及动因. *地理学报*, 2015, 70(4): 604-614.]
- [18] Qiu B, Qi W, Tang Z, et al. Rice cropping density and intensity lessened in southeast China during the twenty-first century. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, 188(1): 5.
- [19] Ding Mingjun, Chen Qian, Xin Liangjie, et al. Spatial and temporal variations of multiple cropping index in China based on SPOT-NDVI during 1999-2013. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(7): 1080-1090. [丁明军, 陈倩, 辛良杰. 1999-2013 年中国耕地复种指数的时空演变格局. *地理学报*, 2015, 70(7): 1080-1090.]
- [20] Liu J, Kuang W, Zhang Z, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195-210.
- [21] Li P, Feng Z, Jiang L, et al. Changes in rice cropping systems in the Poyang Lake Region, China during 2004-2010. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(4): 653-668.
- [22] Wang Jiayue, Xin Liangjie. Spatial-temporal variations of cultivated land and grain production in China based on GlobeLand30. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2017, 33(22): 1-8. [王佳月, 辛良杰. 基于 GlobeLand30 数据的中国耕地与粮食生产的时空变化分析. *农业工程学报*, 2017, 33(22): 1-8.]
- [23] Wang Jieyong, Liu Yansui. The changes of grain output center of gravity and its driving forces in China since 1990. *Resources Science*, 2009, 31(7): 1188-1194. [王介勇, 刘彦随. 1990 年至 2005 年中国粮食产量重心演进格局及其驱动机制. *资源科学*, 2009, 31(7): 1188-1194.]
- [24] Li T, Long H, Zhang Y, et al. Analysis of the spatial mismatch of grain production and farmland resources in China based on the potential crop rotation system. *Land Use Policy*, 2017, 60: 26-36.
- [25] Jin Shulan, Hou Lichun, Xu Lei. The relationship of multiple cropping index of arableland change and national food security in the middle and lower reaches of Yangtze River. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(17): 208-212. [金姝兰, 侯立春, 徐磊. 长江中下游地区耕地复种指数变化与国家粮食安全. *中国农学通报*, 2011, 27(17): 208-212.]
- [26] Yan Huimin, Liu Jiyuan, Cao Mingkui. Remotely sensed multiple cropping index variations in China during 1981-2000. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(4): 559-566. [闫慧敏, 刘纪远, 曹明奎. 近 20 年中国耕地复种指数的时空变化. *地理学报*, 2005, 60(4): 559-566.]
- [27] Liu Y, Song W, Deng X. Changes in crop type distribution in Zhangye City of the Heihe River Basin, China. *Applied Geography*, 2016, 76: 22-36.
- [28] Liu Zhenhuan, Li Zhengguo, Tang Pengqin, et al. Spatial-temporal changes of rice area and production in China during 1980-2010. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 680-693. [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.]
- [29] Li Y, Li X, Tan M, et al. The impact of cultivated land spatial shift on food crop production in China, 1990-2010. *Land Degradation & Development*, 2018, 29(6): 1652-1659.
- [30] Dong J, Xiao X, Kou W, et al. Tracking the dynamics of paddy rice planting area in 1986-2010 through time series Landsat images and phenology-based algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 160: 99-113.
- [31] Du X, Zhang X, Jin X. Assessing the effectiveness of land consolidation for improving agricultural productivity in China. *Land Use Policy*, 2018, 70: 360-367.
- [32] Xin L, Li X. China should not massively reclaim new farmland. *Land Use Policy*, 2018, 72: 12-15.

The impact of paddy rice multiple cropping index changes in Southern China on national grain production capacity and its policy implications

JIANG Min^{1,2}, LI Xiubin^{1,2}, XIN Liangjie¹, TAN Minghong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Changes of rice production in Southern China are crucial to national food security. This study employed Landsat images to map the distributions of paddy rice cropping systems in Southern China in 1990 and 2015, and then explored the impact of rice multiple cropping index changes on grain production capacity. The results indicated that: (1) From 1990 to 2015, the multiple cropping index of rice decreased from 148.3% to 129.3%, and the loss area due to conversion of double cropping rice to single cropping rice ("double to single") was $253.16 \times 10^4 \text{ hm}^2$. The area with most dramatic changes was located in the Middle-Lower Yangtze Plain. The rice cropping systems in Southern China showed a change pattern of "double cropping rice shrinkage and single cropping rice expansion" from north to south. (2) From 1990 to 2015, "double to single" led to a reduction of 6.1% and 2.6% in rice production and grain production, respectively. Hunan and Jiangxi, located in the main rice producing areas, as well as Zhejiang with better economic development, had a large reduction in rice production due to "double to single", all exceeding 13%. (3) The grain production capacity of "double to single" paddy field is equivalent to that of $223.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ of newly reclaimed cultivated land. The equivalent newly reclaimed cultivated land is 54% of the total newly reclaimed cultivated land through the land consolidation project during 2001-2015, as well as 1.7 times the target of the newly cultivated land goal for the national land consolidation plan (2016-2020). Making full use of the "double to single" paddy field can save approximately 167.44 billion yuan newly reclaimed cultivated land costs. Therefore, instead of pursuing low-quality "new" arable land, it is better to make full use of the existing high-quality "old" arable land. The government should change the assessment method of cultivated land balance, and incorporate the sown area increased by improving multiple cropping index into the cultivated land compensation indicator.

Keywords: rice multiple cropping index; food security; double-cropping rice to single-cropping rice; Southern China; policy implications