

# 近30年中国农作物种植结构时空变化分析

刘珍环<sup>1</sup>, 杨 鹏<sup>2</sup>, 吴文斌<sup>2</sup>, 李正国<sup>2</sup>, 游良志<sup>3</sup>

(1. 中山大学地理科学与规划学院国土资源与环境系, 广州 510275

2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 农业部农业信息技术重点实验室, 北京 100081;

3. 国际食物政策研究所, 美国 华盛顿 20006)

**摘要:** 综合运用时序变化趋势、空间集聚分析等方法, 从种植结构类型和种植比例变化趋势分析了1980年以来中国县域种植结构的时空特征。结果表明: ① 近30年来中国前10位的种植结构类型有16种, 2002年后多元种植结构逐步替代单一型种植结构。粮食作物占优的单一种植结构类型呈逐年递减趋势, 其中1980年全国82.7%的县级农业种植结构是水稻、小麦、玉米及其组合种植类型, 2002年后的果蔬类型增加改变了种植结构格局。② 全国种植县中有47%的水稻、61%的小麦和29.6%的玉米的种植比例显著减少, 其他作物呈现增加趋势。粮食作物由以水稻为主的格局调整为水稻、小麦和玉米共存格局, 其中玉米种植面积比例在空间上变化最为显著, 在中国形成东北—西南向的“玉米减少带”。种植结构调整热点的城市地区, 城市化对种植结构变化影响显著, 水果和蔬菜类种植比例在城市化地区快速增加。③ 种植结构变化趋势在1300个县形成空间集聚效应, 水稻的高高聚集占全国县数的2.86%、小麦占5.64%、玉米占6.11%、大豆为4.53%、麻类为1.62%、棉花占7.77%、蔬菜占8.24%、薯类占12%、水果占10%、糖料占1.41%、油料占9.35%, 主要分布于中国东北、新疆和沿海的城市化地区。

**关键词:** 农作物; 种植结构类型; 时空变化; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201605012

## 1 引言

农作物种植结构的时空变化信息是农业地理和农业可持续发展的重要研究内容<sup>[1]</sup>, 特别是在研究农业生态系统对陆地碳循环贡献, 评价全球变化对区域农业生产影响, 分析农作物空间格局动态变化机制和建立模拟模型等方面可作为基础信息<sup>[2]</sup>, 对国家农业生产管理、国家粮食安全预警和评估等理论与实践问题有重要意义<sup>[3]</sup>。农作物种植结构变化以各种农作物种植面积变化为基础数据, 以作物播种面积占总播种面积的比例表征, 其历史变化规律可为调整粮食种植结构<sup>[4]</sup>和指导农业适应气候变化提供科学规划、合理布局的依据<sup>[5-8]</sup>。

农作物种植结构的时空分布受自然资源条件和市场经济行为影响, 具有空间集聚性和时序动态性等特征<sup>[9]</sup>, 因此及时、有效地获取农作物种植结构的时空信息尤为重要<sup>[10]</sup>。

收稿日期: 2015-10-28; 修订日期: 2016-01-22

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助中山大学青年教师培育项目(15lgpy23); 国家自然科学基金项目(41571172, 41101170) [Foundation: The Fundamental Research Funds for the Central Universities, No.15lgpy23; National Natural Science Foundation of China, No.41571172, No.41101170]

作者简介: 刘珍环(1982-), 男, 江西泰和人, 博士, 副教授, 中国地理学会会员(S110009900M), 主要从事景观生态与土地利用、全球变化与农业遥感方面的研究。E-mail: zhenhuanliu@gmail.com

通讯作者: 杨鹏(1975-), 男, 湖南冷水江人, 博士, 研究员, 主要从事全球变化与农业遥感方面的研究。

E-mail: yangpeng@caas.cn

目前获取农作物种植结构信息的数据源有两类，一是基于国家统计局部门的逐级统计上报和抽样估测数据集，另外则是运用遥感技术手段进行作物面积调查<sup>[11]</sup>。遥感技术因其时效性和空间精度高，越来越多的中、高分辨率遥感数据地被应用于作物种植结构快速调查中，可及时准确地获取全国农业种植结构信息<sup>[12-16]</sup>，遥感获取种植结构技术的进步，为实时监测农业种植结构的变化提供了有效手段，然而遥感监测的种植结构尚难在宏观层面进行长时序、大尺度上的变化分析<sup>[17]</sup>。尽管基于行政区的统计数据在时效性和空间分辨率方面较差，但统计数据在区域农业生产研究和大尺度时空变化分析方面具有显著的优势，时间序列长和数据高度综合对于掌握国家尺度上的农作物种植结构时空变化规律具有不可替代性，是分析历史时期农业种植结构变化规律的基础数据<sup>[18-19]</sup>。

改革开放前，中国的粮食种植结构是长期执行计划经济体制以及错综复杂的国际国内政治经济形势综合作用的结果；改革开放后农作物的种植结构随着经济发展进行了调整和优化，但改革开放以来中国的农作物种植结构变化特征尚缺少研究<sup>[20]</sup>。经济的快速发展导致中国第一产业的比重不断降低，与之同期调整的还有农作物种植结构。中国农业发展虽然取得了巨大成就，但进一步的发展也面临一系列的农业结构调整问题，特别是农业总产量与结构不合理，部分农业种植区面临环境污染问题，作物缺少连茬导致病虫害加重，对中国新一轮的农作物结构调整都带来不小压力<sup>[21]</sup>，新一轮的农作物结构调整亟待总结过去30年的种植结构变化规律。因此，本研究旨在基于全国农作物统计数据库，分析农作物种植结构变化规律，为国家宏观层面的种植结构调整和粮食安全保障提供科学基础。

## 2 数据和方法

### 2.1 数据源

(1) 县级农业统计数据库。整理农业部种植司发布的农作物数据库，获得了1980-2011年逐年的农作物总产量、面积和单产数据库。由于历史时期行政边界多次变更，研究以2001年国家基础地理信息中心发布的县级行政边界为基础，依据历史时期行政边界变化，将全国的农作物数据库的统计单元整理合并为2341个县，不包含台湾、香港和澳门地区。形成了一套涵盖32年，2341个县的长时序空间数据集。作物种类涵盖38种，最终按照农业统计数据库的统计要求合并为11类：水稻、小麦、玉米、大豆、薯类、油类、麻类、糖料、棉花、蔬菜、水果。

(2) 种植结构类型。种植结构类型组合采用作物种植面积占所有作物类型种植面积的百分比组合确定，种植结构类型组合可分两种情况：① 采用作物种植面积占所有作物类型种植面积的百分比超过30%和前三位的组合确定，一般组合不会超过3种作物。例如：某县级行政单元的作物种植面积中前三位只有水稻的种植面积占所有作物种植面积的比例超过30%，则认为该县的种植结构类型为单一水稻型；以此类推，有2类或3类作物超过30%，则以超过的作物进行组合，如水稻—玉米型，水稻—小麦—大豆型。② 所有作物比例都不超过30%时，以前三位作物为组合，例如某县的水稻种植面积为25%，小麦为24%，大豆为19%，玉米为17%，则可将该县的种植结构类型组合为水稻—小麦—大豆型。作物类型的组合考虑作物类型占比和大小排序，前后两者情况的3种作物组合可能存在比例上差距，但排序上如果一致可认为是同一种作物种植结构组合类型。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 种植结构类型变化趋势** 为考察全国尺度上的作物种植结构类型演变趋势，定义了

一个种植类型组合丰富度公式,其含义表示的是某一年份的种植结构类型数量与研究时段内全部出现的类型比例,公式表示如下:

$$R_t = \frac{m_t}{m_{\max}} \quad (1)$$

式中:  $R_t$  表示的是某一年种植结构类型的比例,其值域为(0, 1], 值越大则种植结构类型越丰富;  $m_t$  是某一年种植结构类型的种类数量;  $m_{\max}$  是研究时段内所有种植结构组合类型的种类数量。

运用 ArcGIS 10.0 软件平台将种植结构类型的空间分布作图展示,并统计归纳种植结构的分布特征。根据时序上的种植结构类型,分析其变化。

**2.2.2 种植结构变化趋势分析** 为研究近 30 年来中国农业种植结构变化的状况以及该结构的变化速率在空间上的差异,对全国 2341 个县级行政单元内的某种作物对应的比例按年份进行一元回归分析,得到斜率系数 ( $S$ ),用来表示某种作物的比例状况的变化趋势。斜率为负值,表示该县的某种作物呈减少趋势;斜率为正值则表示该县的某种作物呈增加趋势,如果通过 0.05 的显著性水平 ( $p < 0.05$ ),则认为某种作物变化比例增加或减小趋势显著。斜率计算公式如下:

$$S = \frac{n \sum_{t=1}^n t X_{ij} - \left( \sum_{t=1}^n t \right) \left( \sum_{t=1}^n X_{ij} \right)}{n \sum_{t=1}^n t^2 - \left( \sum_{t=1}^n t \right)^2} \quad (2)$$

式中:  $S$  表示某类作物种植比例的变化趋势线性斜率;  $t$  为研究时段内的年份;  $n$  为研究时段内的年份数;  $X_{ij}$  表示的是某年  $j$  作物的种植比例。为分析 30 年来作物类型的种植比例变化,将  $S$  的空间分布用图展示出。

**2.2.3 种植结构变化的空间聚集** 采用局部空间自相关分析 (LISA) 方法测度农业种植结构是否存在变化趋势高度集聚<sup>[22]</sup>。局部 Moran's  $I$  指数公式:

$$LISA_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s^2} \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

式中:  $LISA_i$  表示的是种植比例变化趋势的局部自相关指数;  $s$  为某类作物种植比例的变化趋势线性斜率的标准差;  $x_i$  为  $i$  省某类作物种植比例的变化趋势线性斜率;  $x_j$  为  $j$  省某类作物种植比例的变化趋势线性斜率;  $\bar{x}$  为某类作物种植比例的变化趋势线性斜率的平均值;  $w_{ij}$  为空间权重,表示省级单元  $i$  与  $j$  的临近关系,这里根据邻接标准来度量;当  $i$  省与  $j$  省相邻时,权重  $w_{ij}$  取 1,否则取 0。高高 (HH) 集聚的显著性 LISA 图可表示农业种植结构变化趋势在县域层面上的连片分布。

### 3 结果分析

#### 3.1 种植结构类型的年际变化

1980-2011 年,按照农作物种植面积占 30% 或者低于 30% 的按作物种植面积的前三位组合的标准,中国的种植结构类型数为 182 种。2000 年以前,国家尺度的种植结构类型数量介于 21~54 种类之间,类型丰富度在 0.18;2002 年后,种植结构类型组合数量介于 84~106 之间,类型丰富度指数增长至 0.52;种植结构类型的调整表明 2000-2002 年期间,中国种植结构发生了重大调整,类型丰富度显著增加,更为多样的种植结构逐渐替代简单的种植结构 (图 1)。从调整类型来看,主要是单一型种植结构被组合型种植结构替



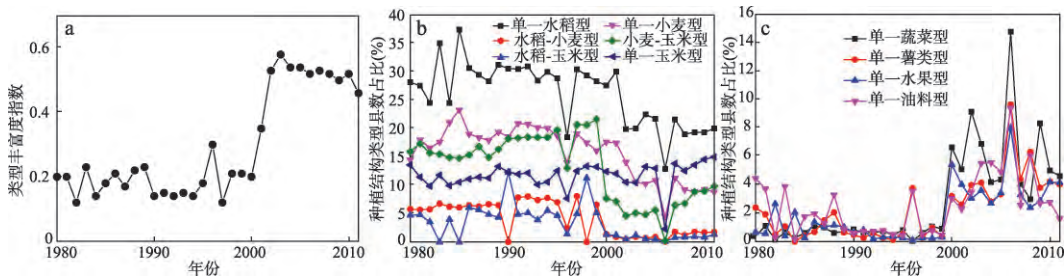


图1 1980-2011年中国种植结构类型丰富度(a)和主要种植结构类型县数占比(b、c)  
Fig. 1 The richness (a) and counties proportion (b, c) of crop combinations in China during 1980-2011

代，从以粮食作物种植结构为主的种植格局转变为粮食与经济作物组合的格局。

中国的主要种植结构类型有单一水稻型、水稻—小麦组合型、水稻—玉米组合型、单一小麦型、小麦—玉米组合型、单一玉米型、单一蔬菜型、单一水果型等等。图1b列举了中国三大作物及其典型的组合表征的农作物种植结构类型的时序变化趋势。三大粮食作物的占优单一型种植结构呈逐年递减趋势，单一水稻型的县数比例由最高值37.5%（1985年）降至19.0%（2008年），单一小麦型由23.3%（1985年）降至8.8%（2011年），单一玉米型相对稳定保持在10%~14%左右；小麦—玉米的组合型在2002年前维持在15%~20%之间，而2002年之后降到10%以下；水稻—小麦型也有类似趋势，2002年前在6%左右，2002年后降为2%以下；水稻—玉米型在2002年前在5%左右，而之后低于1%。图1c展示的是经济作物的单一种植结构型的时序变化趋势。单一蔬菜型、单一薯类型、单一水果型和单一油料型在2002年前比例非常低，2002年后基本都有超过2%。

3.2 种植结构类型的区域分异

表1表示的是种植结构比例数据变化，1980-2011年中国出现的种植面积前10位的主要种植结构类型有16种。1980年时主要的种植结构类型以粮食作物为主，全国82.7%的县级农业种植结构是水稻、小麦、玉米及其相互的组合型，前10位的种植结构类型占全国总县数的93.3%；1990年，前10位的比例略升至95.0%，相比1990年，单一蔬菜型和单一水果型的种植县数替代单一大豆型和单一棉花型进入种植结构前10位；2000年，全国的种植结构尚未发生根本性变化，但前10位县数已降低了近10%，即有209个县通过调整种植作物类型，改变了种植结构比例；2002年，是中国农业种植结构的重大转折时期，以粮食作物为主的种植结构发生了根本性变化，前10位中已种植粮食作物为主要种植类型的县数降至50.7%，单一蔬菜型县数上升至第4位，占9.1%；2011年，中国前10位的县数总量为1699个，只占72.6%，相比1990年减少了524个县（22.4%），粮食作物与经济作物的混合结构出现，例如水稻—蔬菜组合型。农作物种植结构的调整，不仅是大政策的体现。2002年以后，中国的种植结构趋于丰富，既与国家农业政策的调整有关，也与农户的微观选择有关，例如在大城市周边地区形成的粮食与蔬菜作物组合型或是粮食与水果作物组合型，就是城市化带来的经济作物需求。

图2展示的是5个时期中国县级行政单元内的农作物种植结构类型的空间分布及其变化。从种植结构类型变化上看，1980-2011年中国63.8%的县市（1494个）调整了种植结构，主要改变方向为降低主要粮食作物产量的种植比例，增加经济作物和蔬菜瓜果类作物的种植比例；空间分布来看，改变了种植结构类型的县主要分布于中国沿海和西部地区，未改变种植结构的县主要分布于中国中部地区（图2f）。只有近1/3的县级未改变农业种植结构，其中单一水稻型385个，单一小麦型105个，单一玉米型160个，小麦—玉

表 1 1980-2011 年中国种植结构类型分布的数量和比例  
Tab. 1 The proportion and amount of cropping structure in China during 1980-2011

排序	1980 年			1990 年			2000 年		
	类型	县数	比例(%)	类型	县数	比例(%)	类型	县数	比例(%)
1	水稻	659	28.2	水稻	716	30.6	水稻	646	27.6
2	小麦—玉米	373	15.9	小麦	435	18.6	小麦	413	17.6
3	小麦	340	14.5	小麦—玉米	426	18.2	玉米	291	12.4
4	玉米	318	13.6	玉米	289	12.3	小麦—玉米	180	7.7
5	水稻—小麦	136	5.8	水稻—玉米	288	12.3	蔬菜	155	6.6
6	水稻—玉米	111	4.7	蔬菜	20	0.9	水果	127	5.4
7	油料	104	4.4	水果	15	0.6	薯类	75	3.2
8	大豆	62	2.6	油料	14	0.6	油料	71	3
9	薯类	56	2.4	薯类	11	0.5	小麦—油料	39	1.7
10	棉花	25	1.1	水稻—小麦—玉米	9	0.4	水稻—油料	37	1.6
11	其他	157	6.7	其他	118	5	其他	307	13.1

排序	2001 年			2002 年			2011 年		
	类型	县数	比例(%)	类型	县数	比例(%)	类型	县数	比例(%)
1	水稻	703	30.0	水稻	466	19.9	水稻	468	20
2	小麦	409	17.5	小麦	330	14.1	玉米	351	15
3	玉米	282	12.0	玉米	247	10.6	小麦—玉米	230	9.8
4	小麦—玉米	167	7.1	蔬菜	214	9.1	小麦	207	8.8
5	蔬菜	119	5.1	小麦—玉米	108	4.6	蔬菜	108	4.6
6	水果	94	4.0	薯类	93	4	水果	97	4.1
7	薯类	61	2.6	油料	82	3.5	薯类	94	4
8	油料	54	2.3	水果	71	3	水稻—蔬菜	59	2.5
9	小麦—油料	41	1.8	大豆	51	2.2	棉花	44	1.9
10	水稻—玉米	28	1.2	水稻—小麦—玉米	36	1.5	水稻—小麦	41	1.8
11	其他	383	16.4	其他	643	27.5	其他	642	27.4

米组合型 130 个，尽管如此这些县中的主导作物类型比例还是有不同程度的降低趋势。1980-2011 年间，虽然以单一水稻型为典型特征的种植结构县数比例在持续下降，水稻依然是第一大种植作物；空间分布上，1980 年中国单一水稻型作物主要分布在中国南方的 11 个省市，然而到 2011 年分布省份无变化，但各省内都有不少县调整了单一水稻型的种植结构，以长三角、珠三角和闽三角的城市化地区最为典型。单一玉米型则主要分布在东北至西南的东三省、内蒙古东部至广西等地，从 1980-2011 年在同一线上有所外扩。1980 年单一小麦型则主要分布在山东新疆北部、甘肃、宁夏、内蒙中部、河南、安徽北部和山东南部等地，2011 年则相对萎缩至河南、安徽北部和山东南部局部区域。1980 年小麦—玉米组合型主要分布在山东中北部、河北南部、河南北部、山西、陕北和新疆中南部、而到 2011 年则萎缩至山东中北部、河北南部、河南北部、山西南部等地。

3.3 作物种植比例变化的分布

图 3 和表 2 表示的是 1980-2011 年中国农作物种植比例的年际变化趋势。全国县级尺度上，三大粮食作物所占的农作物种植比例呈减少趋势，47%的水稻、61%的小麦和 29.6%的玉米种植县的种植比例呈显著减少趋势 ( $p < 0.05$ )。结合种植结构类型变化看(图 2)，粮食作物由水稻为主的格局调整为水稻、小麦和玉米的种植区域共存的格局；其他作物的种植比例呈现空间上的显著增加。

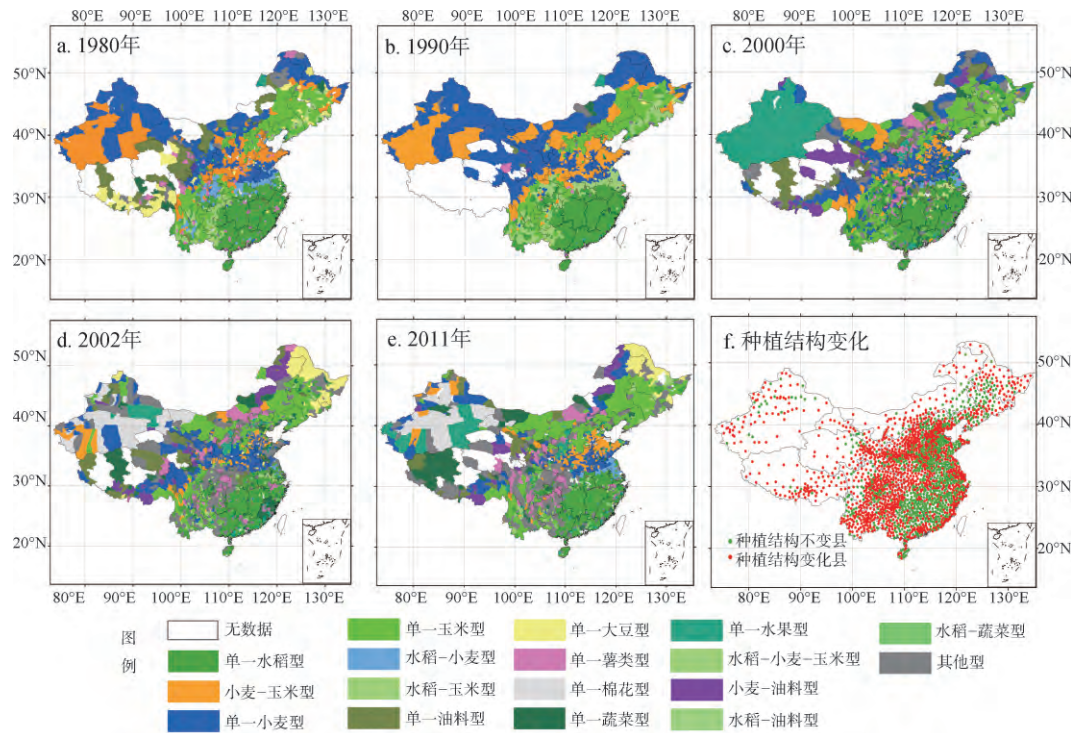


图2 1980, 1990, 2000, 2002, 2011年中国县级行政区主导种植类型的空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of dominated cropping structure in China in 1980, 1990, 2000, 2002 and 2011

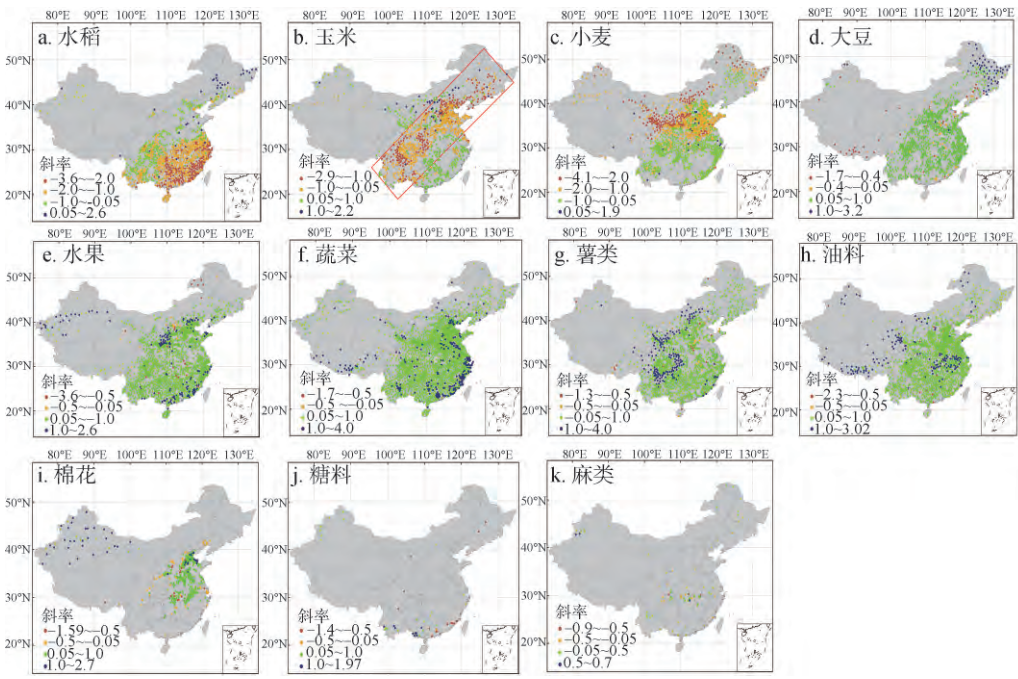


图3 1980-2011年中国11类农作物种植比例变化斜率的空间分布(显著性检验 $p < 0.05$ )

Fig. 3 Spatial distribution of significant annual change of cropping systems in China during 1980-2011 ( $p < 0.05$ )



表2 1980-2011年中国县级农作物种植结构的变化趋势统计

Tab. 2 The characteristic of annual change of cropping structure in China during 1980-2011

作物类型	县级样本数	无趋势		增加趋势		减少趋势		显著性增加 <sup>*</sup>		显著性减少 <sup>*</sup>	
		县数	比例(%)	县数	比例(%)	县数	比例(%)	县数	比例(%)	县数	比例(%)
水稻	2341	449	19.2	390	16.7	1502	64.2	46	2.0	1101	47.0
小麦	2341	178	7.6	217	9.3	1946	83.1	20	0.9	1429	61.0
玉米	2341	88	3.8	1085	46.3	1168	49.9	417	17.8	693	29.6
大豆	2341	179	7.6	1778	76.0	384	16.4	1177	50.3	91	3.9
麻类	2341	1776	75.9	247	10.6	318	13.6	113	4.8	181	7.7
棉花	2341	1353	57.8	718	30.7	270	11.5	394	16.8	111	4.7
蔬菜	2341	17	0.7	2271	97.0	53	2.3	2054	87.7	3	0.1
薯类	2341	124	5.3	1983	84.7	234	10.0	1392	59.5	40	1.7
水果	2341	104	4.4	2071	88.5	166	7.1	1656	70.7	40	1.7
糖料	2341	1040	44.4	572	24.4	729	31.1	57	2.4	18	0.8
油料	2341	34	1.5	2071	88.5	236	10.1	1627	69.5	17	0.7

注：\*：显著性为 $p < 0.05$ 。

水稻种植比例显著减少的地区主要集中在福建、广东和浙江等沿海省份，改变了其原始的种植结构类型；传统的水稻种植区的江西、湖南、安徽南部、四川盆地和重庆等地也有减少，但减少程度相对于沿海较轻，该地区主要的农业种植结构调整有别于沿海省份，基本上不改变种植结构类型，但降低种植比例。小麦种植比例显著减少的地区主要集中在黄土高原地区包括甘肃南部、宁夏、陕北高原至山西一带，这些地区的是种植结构类型也发生了显著调整；此外华北平原的传统小麦种植区的种植比例也显著减少，但未改变种植结构类型。

玉米种植比例显著减少的地区在空间上覆盖中国的第二阶梯，在高原区形成北东—西南走向，从东北三省至西南部云贵高原的条带地区，可以称之为种植比例“玉米减少带”（图3b）；其中种植结构类型变化的地区主要分布在云南北部、四川南部、陕西南部、湖北西部、京津冀地区和东北平原区；而种植比例减少包含约650个县级行政单位，覆盖从黑龙江北部至云南西南部的15个省市。

与之相应，经济作物如大豆、蔬菜、薯类、水果和油料作物则呈增加趋势，50.3%的大豆、87.7%的蔬菜、59.5%的薯类、70.7%的水果和69.5%的油料种植县的种植比例增加趋势显著（ $p < 0.05$ ）（图2）。大豆的种植比例增加区主要分布在中国东北的黑龙江和吉林省南部的少量县，而在中国其他地区都有不同程度的增加；蔬菜种植比例显著增加的地区主要集中在沿海地区，包括京津冀、长三角和珠三角等大城市周边，与城市化需求密切相关，还有一部分分布于山东半岛，山东与江苏交界，广西东北部等县市；薯类种植比例显著增加的地区主要分布于内蒙中部、宁夏南部、甘肃西南以及西南五省市的交界山区；水果种植比例显著增加的地区主要分布于山东烟台、北京周边、陕北黄土高原、新疆和东南沿海的广东、福建等地，油料种植比例显著增加的区域集中分布于中国的西藏南部、新疆北部，青海东部以及长江中下游的湖北至安徽沿岸县市。

此外，棉花、糖料和麻类是区域性种植作物，全国棉花有42.2%的棉花，糖料有55.6%的糖料以及24.2%的麻类种植县存在种植比例变化趋势，其中30.7%的棉花和24.4%的糖料呈增加趋势，13.6%的麻类呈减少趋势，三类作物的分布呈现区域性，棉花的显著增加区主要分布于新疆，华北平原和长江中下游平原；麻类主要分布于长江中下游沿岸；而糖料则零星分布于云南、广西、广东和福建等地。

3.4 城市地区的种植结构变化

为了解城市化对区域性种植结构变化的影响，将中国的城市地区按照市辖区的范围提取了660个城市，共717个县区的农业种植结构变化趋势，分析城市地区种植结构变化趋势。总体趋势表明，城市及其周边地区的种植结构变化表现出两个特征，一是农作物种植面积在过去30年间迅速萎缩，耕地大量转为城市建设用地，粮食作物用地和林地改为经济作物用地，种植结构显著改变，90%的县区范围内农作物种植面积减少，粮食作物面积迅速减少，而水果和蔬菜类种植面积迅速增加；二是种植结构由早期的粮食作物转向蔬菜，水果为主经济作物；68.6%的县区发生了种植结构变化，以经济作物中的单一蔬菜型和单一水果型为主的单一型种植结构随着城市扩展而迅速增加，1980年只有3个县区以蔬菜型种植结构为主，2011年则有54个县区级形状单位以蔬菜为主；1980年只有13个以水果为主要种植类型的县区，2011年为29个。224个县市未发生种植结构类型变化，都是粮食作物为主，112个是单一水稻型，3个水稻—玉米型；6个水稻—小麦型；20个小麦型，48个小麦—玉米型；31个玉米型。

3.5 种植结构变化的空间集聚

运用局部自相关方法，对11种作物进行空间集聚分析，获得了1980-2011年中国种植结构的空間集聚特征（图4），1300个县级行政单位具有作物的空間集聚效应；其中，水稻的高度增长聚集区占全国县级行政单位的2.86%，主要分布在中国东北地区的吉林和黑龙江的松嫩平原和黑龙江的三江平原地区；小麦的高度集聚区占5.64%，主要分布在东北的辽宁和吉林中部地区，此外在广西地区有显著的连片集聚区。玉米种植结构增

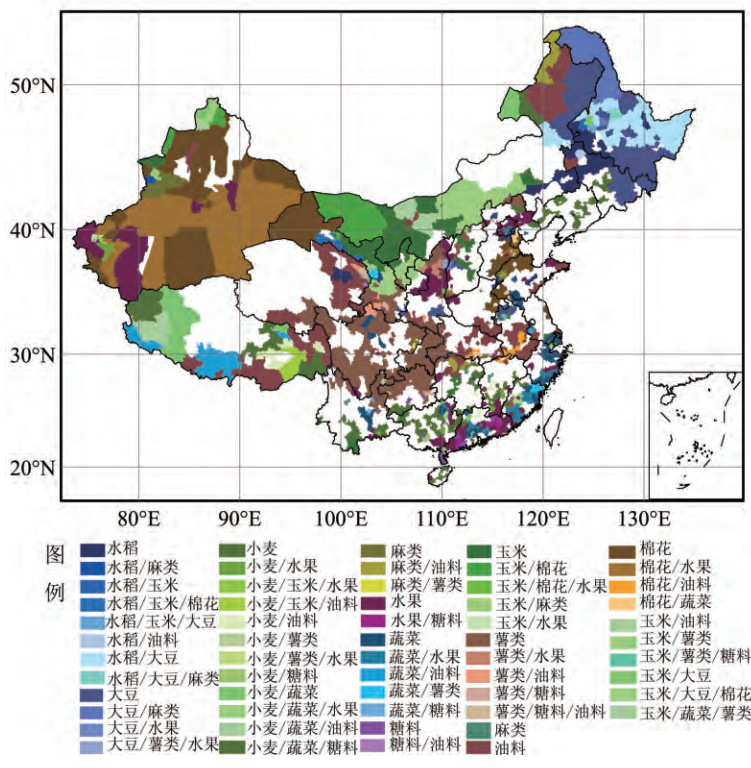


图4 1980-2011年中国农作物种植比例变化趋势的空间集聚特征

Fig. 4 Spatial cluster of significant pattern of cropping structure in China during 1980-2011



长的连片区占 6.11%，分布在中国北方的甘肃黑河流域和宁夏，内蒙高原中部附近；大豆的 4.53% 连片集聚在内蒙东北，黑龙江和吉林的东南等地；1.62% 的麻类集聚区主要分布在湖南，江西和湖北的交界区；棉花的高级集聚区占 7.77%，主要分布在新疆全境，山东北部、天津和河北东南以及河南东部部分县市；8.24% 的蔬菜类集聚区主要分布在京津冀地区、上海、浙江、福建的沿海县市和珠江三角洲的外围城市如肇庆、清远、从化和惠州等地；12% 的薯类种植比例增加的集聚区主要分布在中国的西部省份，包括从内蒙中部，宁夏南部，甘肃南部、四川山区、重庆周边及其与之接壤的贵州、云南等地；10% 的水果种植比例集聚区主要分布在北京周边、陕北黄土高原、新疆中南部、江西赣南、福建南部、广州的粤东粤西两轴和广西南部；1.41% 的糖料主要分布在贵州南部、广西南部和广东的雷州半岛附近；9.35% 的油料作物主要分布在青海东部，西藏南部，湖北东部、湖南北部、河南南部、安徽南部和江西北部的集中区域。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

(1) 国家尺度上的种植结构类型变化，中国的种植结构调整从 2002 年起发生重大变化，类型丰富度显著增加，多元种植结构逐渐替代单一型种植结构。三大粮食作物的占优单一种植结构类型呈逐年递减趋势，其中既有三大粮食作物的组合型结构混合因素，又有三大粮食作物种植面积转换为其他作物种植面积的变化因素。

(2) 近 30 年来中国出现的种植面积前 10 位的主要种植结构类型有 16 种。1980 年全国 82.7% 的县级农业种植结构是水稻、小麦、玉米及其相互的组合型；但从 2002 年起，中国农业种植结构进入调整期，以粮食作物为主的种植结构发生了根本性变化，前 10 位中以种植粮食作物为主要种植类型的县数降至 50.7%。

(3) 全国县级尺度上，三大粮食作物所占的农作物种植比例呈减少趋势，47% 的水稻、61% 的小麦和 29.6% 的玉米种植县的种植比例减少趋势显著 ( $p < 0.05$ )。粮食作物以水稻为主的种植格局调整为水稻、小麦和玉米的种植区域共存的格局，其中玉米种植面积比例在空间上变化最为显著，在中国形成东北—西南向的“玉米减少带”，同时该区域也是中国种植结构多样性最丰富的地带。作为种植结构调整最为热点的城市地区，城市化对种植结构变化影响显著，水果和蔬菜类种植比例在城市化地区快速增加。

(4) 种植结构变化趋势的空间集聚区域。近 30 年来中国种植结构在 1300 个县级行政单位形成了的空间集聚效应；其中，水稻的高度增长集聚区占全国县级行政单位的 2.86%；小麦占 5.64%；玉米种植结构增长的连片区占 6.11%；4.53% 的大豆；1.62% 的麻类；棉花的高度集聚区占 7.77%；8.24% 的蔬菜类集聚区；12% 的薯类；10% 的水果种植比例；1.41% 的糖料；9.35% 的油料作物。

### 4.2 讨论

(1) 与种植结构密切相关的宏观决策问题是中国粮食安全的保障程度。《国家粮食安全中长期规划纲要（2008-2020 年）》设定的 2020 年粮食自给率为 95%，其中谷物为 100%，这意味着农作物种植结构变化与粮食供给能力密切相关，中国种植结构变化对粮食安全的影响将涉及到以下几个方面：① 受粮食价格的影响，农户趋向于种植非粮食作物，或者撂荒土地；而主粮作物作为肉类食品的低端原料，受中国人口增长和经济增长带来的肉类食品需求影响，将原有的主粮转作饲料投放，因此未来受粮食消费习惯改变、国内外粮食价格变化、区域水土资源条件等影响，依托调整作物种植结构实现粮食

增产的潜力有限,进而影响粮食安全<sup>[5]</sup>;②为减少温室气体排放,有效保护生态环境,实现可持续发展,越来越多的粮食作物种植区将会因生物质能源需求上升而转种生物质能料作物<sup>[23]</sup>,这将直接占用种植农作物的耕地资源,进而增加粮食供给保障的负荷,因此需要统筹粮食安全保障与生物质燃料种植对种植结构的调整<sup>[24]</sup>;③随着城市化发展,越来越多城市周边的农业种植以生态观光农业需求为主,同时因为物流技术的发展,增加对远程经济作物和水果蔬菜类作物的需求,而改变城市近郊和传统农业主产区的种植结构<sup>[25]</sup>,而被置换的农业用地也可能被城市建设用地侵占,进而减少粮食供应能力。

(2) 种植结构变化的驱动因素分析。一般研究认为,种植结构变化的驱动是政策、技术进步、社会需求、经济效益、自然条件等多因素综合的作用过程<sup>[19]</sup>。也有研究选择单一作物水稻的种植面积变化与驱动因素进行定量分析表明,除了上述原因外,城市化和气候变化也是驱动种植结构调整的重要因素<sup>[26]</sup>。然而,本研究中种植结构变化并不是线性趋势,而是在某一阶段迅速发生突变,因而种植结构演变的驱动因素尚难以量化,就定性的描述来说,中国种植结构调整的几大重要因素包括:①城市化水平提升改变了城市周边地区的种植类型,将原有粮食作物改种为水果、蔬菜类经济作物,另外直接减少耕地面积,减少种植面积;②不同作物的价格差异驱动种植者将经济价值低的作物改种为价值高的作物;③技术进步包含两个方面,一是农业技术进步,提升了作物产量和种植面积,另外则是物流成本降低,加大了不同种植区间的作物需求交换;④近30年中国农业投入的加大,特别是单位面积的农业投入提升大大增加了总的作物产量,相应地就减少了作物种植面积的需求;⑤肉类消耗,增加了饲养作物牲畜所需的主粮作物的供应;⑥气候变化的影响,已有研究表明近30年中国的气候变化对作物产量和种植面积都有温和的正效应<sup>[27-28]</sup>;而在过去的50年中,由于气候变暖造成了全国种植制度改变玉米、冬小麦和双季稻种植北界北移,也为结构变化提供了地理空间<sup>[29-30]</sup>。为此,种植结构变化的影响及驱动因素的时空分异特征将是下一步研究的重点。

## 参考文献(References)

- [1] Tang Huajun, Wu Wenbin, Yang Peng, et al. Recent progresses in monitoring crop spatial patterns by using remote sensing technologies. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(14): 2879-2888. [唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 等. 农作物空间格局遥感监测研究进展. *中国农业科学*, 2010, 43(14): 2879-2888.]
- [2] Tang Huajun, Wu Wenbin, Yu Qiangyi, et al. Key research priorities for agricultural land system studies. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(5): 900-910. [唐华俊, 吴文斌, 余强毅, 等. 农业土地系统研究及其关键科学问题. *中国农业科学*, 2015, 48(5): 900-910.]
- [3] Hu Qiong, Wu Wenbin, Song Qian, et al. Recent progresses in research of crop patterns mapping by using remote sensing. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(10): 1900-1914. [胡琼, 吴文斌, 宋茜, 等. 农作物种植结构遥感提取研究进展. *中国农业科学*, 2015, 48(10): 1900-1914.]
- [4] Liang Shumin, Meng Zhe, Bai Shi. Research on Chinese crop planting structure changes based on village-level survey. *Issues in Agricultural Economy*, 2008, 29(S1): 26-31. [梁书民, 孟哲, 白石. 基于村级调查的中国农业种植结构变化研究. *农业经济问题*, 2008, 29(S1): 26-31.]
- [5] Huang Jikun, Yang Jun, Qiu Huanguang. New era of national food security strategies and policies. *Issues in Agricultural Economy*, 2012, 33(3): 4-8. [黄季焜, 杨军, 仇焕广. 新时期国家粮食安全战略和政策的思考. *农业经济问题*, 2012, 33(3): 4-8.]
- [6] Field C B, Barros V R, Dokken D J, et al. IPCC 2014: Summary for policymakers in Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects//Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2014: 17-18.
- [7] Zhou Guangsheng. Research prospect on impact of climate change on agricultural production in China. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2015, 38(1): 80-93. [周广胜. 气候变化对中国农业生产影响研究展望. *气象与环境科学*, 2015, 38(1): 80-93.]

- [8] Guo Jianping. Advances in impacts of climate change on agricultural production in China. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2015, 26(1): 1-11. [郭建平. 气候变化对中国农业生产的影响研究进展. *应用气象学报*, 2015, 26(1): 1-11.]
- [9] Liang Shumin. Space distribution and reason analysis of the changes in agriculture planting structure of China. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2006, 27(2): 29-34. [梁书民. 中国农业种植结构及演化的空间分布和原因分析. *中国农业资源与区划*, 2006, 27(2): 29-34.]
- [10] 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.]
- [11] Wu Wenbin, Yang Peng, Li Zhengguo, et al. Overview of research progresses in crop spatial pattern changes. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2014, 35(1): 12-20. [吴文斌, 杨鹏, 李正国, 等. 农作物空间格局变化研究进展评述. *中国农业资源与区划*, 2014, 35(1): 12-20.]
- [12] Wu Bingfang, Fan Jinlong, Tian Yichen, et al. A method for crop planting structure inventory and its application. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(6): 618-627. [吴炳方, 范锦龙, 田亦陈, 等. 全国作物种植结构快速调查技术与应用. *遥感学报*, 2004, 8(6): 618-627.]
- [13] Xu Mei, Ruan Benqing, Huang Shifeng, et al. Monitoring of crop variety distribution by remote sensing and its application. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(7): 879-885. [徐美, 阮本清, 黄诗峰, 等. 灌区作物种植结构遥感监测及其应用. *水利学报*, 2007, 38(7): 879-885.]
- [14] Cai Xueliang, Cui Yuanlai. Crop planting structure extraction in irrigated areas from multi-sensor and multi-temporal remote sensing data. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(8): 124-130. [蔡学良, 崔远来. 基于异源多时相遥感数据提取灌区作物种植结构. *农业工程学报*, 2009, 25(8): 124-130.]
- [15] Huang Qing, Tang Huajun, Wu Wenbin, et al. Remote sensing based dynamic changes analysis of crop distribution pattern: Taking Northeast China as an example. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(13): 2668-2676. [黄青, 唐华俊, 吴文斌, 等. 农作物分布格局动态变化的遥感监测: 以东北三省为例. *中国农业科学*, 2013, 46(13): 2668-2676.]
- [16] Liu Kebao, Liu Shubin, Lu Zhongjun, et al. Extraction on cropping structure based on high spatial resolution remote sensing data. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2014, 35(1): 21-26. [刘克宝, 刘述斌, 陆忠军, 等. 利用高空间分辨率遥感数据的农作物种植结构提取. *中国农业资源与区划*, 2014, 35(1): 21-26.]
- [17] Leff B, Ramankutty N, Foley J A. Geographic distribution of major crops across the world. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004, 18(1): 1-27.
- [18] Li Qifeng, Zhang Hailin, Chen Fu. Changes in spatial distribution and planting structure of major crops in Northeast China. *Journal of China Agricultural University*, 2008, 13(3): 74-79. [李奇峰, 张海林, 陈阜. 东北农作区粮食作物种植格局变化的特征分析. *中国农业大学学报*, 2008, 13(3): 74-79.]
- [19] Wang Yang, Wang Xinjiang. Driving mechanism of cultivating structural evolutionary in Jilin province. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2005, 21(1): 34-36. [王洋, 王新江. 吉林省种植结构演变的驱动机制研究. *农业系统科学与综合研究*, 2005, 21(1): 34-36.]
- [20] Ban Zhengyao. Crop planting structure adjustment: A food revolution of China in the cross century. *China Food Economy*, 2000(1): 13-15. [卞正瑶. 种植结构调整: 我国世纪之交的一场粮食革命. *中国粮食经济*, 2000(1): 13-15.]
- [21] Luo Qiyao. Issue of A new round of strategic adjustment of crop planting structure. Source from: <http://www.caas.cn/ysxw/zjgd/249662.shtml>, 2015-10-13. [罗其友. 关于新一轮作物结构调整的思考. 中国农业科学院网站专家观点栏目, 2015-10-13.]
- [22] Deng Zongbing, Feng Yonggang, Zhang Junliang, et al. Analysis on the spatial-temporal features and developing trend and effects of agricultural geographic agglomeration in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(22): 4816-4828. [邓宗兵, 封永刚, 张俊亮, 等. 中国种植业地理集聚的时空特征、演进趋势及效应分析. *中国农业科学*, 2013, 46(22): 4816-4828.]
- [23] Suramaythangkoor T, Li Zhengguo. Energy policy tools for agricultural residues utilization for heat and power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(6): 4343-4351.
- [24] Chen Yangfen, Zhong Yu, Liu Yu, et al. Management situation and policy implications of China's grain security. *Research of Agricultural Modernization*, 2014, 35(6): 690-695. [陈秧分, 钟钰, 刘玉, 等. 中国粮食安全治理现状与政策启示. *农业现代化研究*, 2014, 35(6): 690-695.]
- [25] Jiang Li, Seto K C, Bai Junfei. Urban economic development, changes in food consumption patterns and land requirements for food production in China. *China Agricultural Economic Review*, 2015, 7(2): 240-261.



- [26] Li Zhengguo, Liu Zhenhuan, Anderson W, et al. Chinese rice production area adaptations to climate changes, 1949-2010. *Environmental Science & Technology*, 2015, 49(4): 2032-2037.
- [27] Ye Liming, Xiong Wei, Li Zhengguo, et al. Climate change impact on China food security in 2050. *Agronomy for Sustainable Development*, 2013, 33(2): 363-374.
- [28] Liu Zhenhuan, Yang Peng, Tang Huajun, et al. Shifts in the extent and location of rice cropping areas match the climate change pattern in China during 1980-2010. *Regional Environmental Change*, 2014, 15(5): 919-929.
- [29] Liu Zhijuan, Yang Xiaoguang, Chen Fu, et al. The effects of past climate change on the northern limits of maize planting in Northeast China. *Climatic Change*, 2013, 117(4): 891-902.
- [30] Ye Qing, Yang Xiaoguang, Dai Shuwei, et al. Effects of climate change on suitable rice cropping areas, cropping systems and crop water requirements in southern China. *Agricultural Water Management*, 2015, 159: 35-44.

## Spatio-temporal changes in Chinese crop patterns over the past three decades

LIU Zhenhuan<sup>1</sup>, YANG Peng<sup>2</sup>, WU Wenbin<sup>2</sup>, LI Zhengguo<sup>2</sup>, YOU Liangzhi<sup>3</sup>

(1. Department of Land Resources and Environment Studies, Geography and Planning School of Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Key Laboratory of Agri-Informatics, Ministry of Agriculture/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. International Food Policy Research Institute, Washington DC 20006, USA)

**Abstract:** The study aims to investigate the spatio-temporal changes in crop patterns in China since 1980. In doing so, the analysis methods of time-series trend and spatial cluster were used to cover the major eleven crops at county scale. The results indicate that (1) There are 16 kinds of crop combinations ranking in the China's top 10 during the past 30 years. Yet since 2002, the simplified cropping structure has been gradually replaced by the multiple cropping structure, which suggests an increase in the diversity index of crop patterns. In 1980, about 82.7% of China's counties have a similar crop pattern which is composed of rice, wheat, corn and their combinations, however, this pattern largely changed after 2002 due to the increase in the planting area of fruit and vegetables. (2) In the same period, rice planting area of 47% of the counties, wheat planting area of 61% of the counties and corn area of 29.6% of the counties experience a significant decrease, while other crops show an increasing trend. As a result, rice-dominated cereal crops in China are slightly adjusted to the coexistence of rice, wheat and maize crops. In particular, maize area proportion shows a significant change, which forms a so-called "corn decreased belt" spanning from northeast to southwest of China. Urbanization had an important impact on crop patterns as fruit and vegetable planting areas rapidly grow so as to meet the increasing demands in urbanized areas. (3) Crop patterns also show an obvious spatial cluster effect in China's 1300 counties. The proportion of high cluster accounts for 2.86%, 5.64%, 6.11%, 4.53%, 1.62%, 7.77%, 8.24%, 12%, 10%, 1.41% and 9.35% of China's counties for rice, wheat, maize, soybean, fibers, cotton, vegetables, potatoes, fruits, sugars and oils, respectively. These crops are distributed in Northeast China, Xinjiang, Northern Shaanxi Plateau, Yunnan-Guizhou Plateau and the metropolis areas. This finding of this study can support the decision making in agricultural restructuring and adaptation to climate change.

**Keywords:** crop; crop pattern; temporal and spatial change; China