

中国粮耕价值比与种植结构时空耦合演化 及分区调控

李欣宇^{1,2,3}, 方 斌^{1,2,3}, 李 怡^{1,2,3}, 李冬杰^{1,2,3}, 何莎莎^{1,2,3}

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 南京师范大学新型城镇化与土地问题研究中心, 南京 210023; 3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023)

摘要: 耕地粮食产出价值与种植结构均深刻影响着国家粮食安全, 探讨耕地粮食产出价值与种植结构的时空耦合变化, 可理清两者关系, 助力粮食安全保障能力的提升。本文以中国省级行政单元为研究对象, 在深刻解读粮耕价值比和种植结构内涵的基础上, 综合利用 Simpson 指数、耦合协调度模型和空间自相关等方法, 分析 2004—2020 年中国粮耕价值比和种植结构耦合时空演化, 以揭示其时空动态关系。结果表明: ① 2004—2020 年各省份粮耕价值比空间分布特征表现为“由北向南”和“由西向东”的双重递减态势; ② 种植结构空间格局呈现由“胡焕庸线”沿线区域向两侧递减的空间分布形态, 东北、华北和华东地区多样性递减明显; ③ 粮耕价值比与种植结构耦合协调度介于勉强耦合协调与高度耦合协调之间, 表现为规律性空间集聚, 中西部及东北地区呈高高集聚, 具有“匹配性优势”, 东南沿海地区呈低低集聚, 有待“匹配性改良”, 总体表现为: “东北、中部高, 东南部低”的态势。本文认为应依据要素空间集聚和扩散的分异特征, 因区施策引导耕地粮食品质化与多元化协同演进, 促进粮食结构与效益匹配发展。

关键词: 粮耕价值比; 种植结构; 耦合协调度; 分区调控; 中国

DOI: 10.11821/dlxb202211003

1 引言

粮食安全是关系到国计民生安全保障的重要基础^[1]。城镇化、工业化的快速发展蚕食了中国大量耕地, 而粮食作物种植效益低下导致了较为严重的耕地“非粮化”^[2], 威胁着粮食安全, 农业结构调整与农产品结构性需求失衡成为需要迫切解决的重要问题^[3], 然而部分地区为追求更高的作物经济收益, 把农业结构调整简易解读为压减粮食生产, 将种粮耕地大幅改种高收益经济作物, 仅 2019 年中国粮食播种面积便减少 $9.70 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 任其发展, 耕地“非粮化”必将影响国家粮食安全。与此同时, 2020 年国家提出的新发展格局明确要求以国内大循环为主体、扩大内需为重点^[4], 在农业生产发展环节中要求国内自给自足的前提下保障粮食安全^[5]。但多年数据表明, 中国粮食作物供给呈现结构性不足, 突出表现为玉米、大豆等需求缺口持续扩大, 自给自足面临威胁。因此, 防止耕地“非粮化”与调整粮食结构需同步推进, 确保粮食生产自给能力和经济收益同步提升, 故

收稿日期: 2022-03-09; 修订日期: 2022-10-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42071229, 41671174); 江苏省高校优势学科建设工程项目 (164320H116)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.42071229, No.41671174; The Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions, No.164320H116]

作者简介: 李欣宇(1999-), 女, 江西抚州人, 硕士生, 研究方向为耕地利用与保护。E-mail: xinyuli09@163.com

通讯作者: 方斌(1968-), 男, 江西九江人, 博士, 教授, 主要从事土地利用与管理研究。

E-mail: wenyangfang731@163.com

亟需重视研究粮食种植结构与价值之间的关系,防治耕地“非粮化”,解决粮食结构性需求问题。

近年来耕地“非粮化”“非农化”对粮食安全所造成的影响引发社会各界高度关注,学者们多从耕地多功能评价与时空演变特征^[6-8]、耕地利用转型^[9-10]及其驱动机制^[11]、耕地利用与粮食生产^[12-13]等方面探究耕地粮食安全问题。迄今为止,国外学界暂无明确的耕地“非粮化”概念,其主要从经济作物快速扩张对人类社会和生态环境带来的负面影响等问题展开研究^[14-15]。国内学者则从粮食安全视角探究耕地“非粮化”的空间分异与影响因素^[16],而耕地生态服务功能及其价值,以及“非粮化”空间异质性研究^[17-19],在一定程度上弱化了对耕地粮食生产与经济产出等基础功能的研究^[20],因而应对耕地“非粮化”现象的基础功能价值开展研究^[21]。此外,现阶段相关研究均以粮食作物或非粮作物种植面积比例衡量耕地“非粮化”水平,缺乏对“非粮化”溯源分析,即缺乏通过量化值反映“非粮化”程度及影响。耕地经济价值即为与耕地经济功能对应的价值,由耕地上谷类、薯类及豆类作物等粮食作物总产值与油料、棉花、麻类及糖类等经济作物总产值共同构成。本文借鉴粮经比^[22]概念内涵,将粮食作物产值与耕地经济价值的比例定义为粮耕价值比,该比值一定程度上可反映耕地利用中粮食种植的经济效益,揭示耕地“非粮化”的总态势。

在耕地作物种植结构方面,国外学者倾向于借助遥感数据分析耕地上农作物的种植空间分布特征^[23],多聚焦于全球范围^[24]和亚洲^[25]等大尺度区域;国内学者则主要针对农作物种植结构的时空特征及演化^[26-29]展开研究,对单一粮食作物的种植结构^[30]、面积^[31]、分布^[32-33]等也有探索,但具体到粮食作物种植结构的研究相对较少。以上文献表明,鲜有将耕地“非粮化”和粮食结构问题进行关联性探讨,而粮耕价值比与粮食种植结构的耦合协调同二者关系密切,并关乎粮食安全保障与粮食品质提升。鉴于此,本文基于Simpson指数模型,以中国省级行政单位为单元,借鉴农作物种植结构分析方法^[34]量化省域层面稻谷、小麦、玉米、薯类、大豆等主要粮食作物种植结构多样性程度,以反映粮食作物种植结构的丰富性,可为粮食结构性需求短缺问题论证提供依据;采用耦合协调度模型和空间自相关分析等方法,综合探讨2004—2020年研究区粮耕价值比和粮食作物种植结构时空耦合特征,以此解构中国面临的粮食形势,为中国耕地“非粮化”管控策略的制定提供科学依据,并为提高粮食种植比较效益、优化粮食结构布局提供参考建议。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

2003年4月农村税费改革试点工作在全国推开,其中“粮食增产、农业增效和农民增收”被确定为农业和农村经济工作的主要目标,且《农业法》和《农村土地承包法》于当年3月1日起同时实施,故研究选择2004年为研究基期,5年为间隔,即选取2004年、2009年、2014年、2020年时间截面省域尺度的稻谷、小麦、玉米、薯类、大豆等粮食作物播种面积,谷类、薯类及豆类等粮食作物产值,油料、棉花、麻类、糖料、烟草及蔬菜等经济作物产值。本文中粮食作物播种面积主要通过《中国统计年鉴》(2005—2021年)获取,粮食作物和经济作物产值通过中国三农数据库获取,中国行政区边界数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心(www.resdc.cn/),最终形成2004—2020年中国省份面板数据,受数据获取限制,数据暂未包含港澳台地区。

2.2 研究方法

2.2.1 Simpson 指数模型 为研究粮食作物种植结构类型在省级尺度上的演变趋势，引入生态学中的优势度指数（Simpson 多样性指数）。该指数指从一个群落中连续两次抽样所得到的个体数属于同一种的概率，表征各省份当年粮食作物种植结构类型的多样性特征，指数越大，表明种植类型越丰富，各类粮食作物分布越均匀^[35]。公式表示如下：

$$SIDI=1-\sum_{i=1}^Sp_i^2$$
 (1)

式中：*SIDI*表示区域粮食作物种植结构类型的多样性指数，其值域为[0, 1)，值越大则区域种植结构类型多样性程度越高；*S*表示研究时段内粮食作物的类型数量，*p_i*表示第*i*种粮食作物的播种面积占粮食作物总播种面积的比例。

2.2.2 耦合协调度模型 耦合协调度是在耦合度和协调度的基础上，描述系统或要素彼此相互作用、协调一致的程度，体现系统之间相互关联程度强弱与协调状况好坏。粮耕价值比与粮食作物种植结构之间的耦合协调表现为综合性和协调性的发展，以耦合协调度衡量较为科学。耦合协调度*D*的计算公式为：

$$D=\sqrt{C\times T}$$
 (2)

式中：*T*为粮耕价值比与种植结构两系统的耦合度；*C*为粮耕价值比与种植结构两系统的协调度。

$$T=af(x)+bg(x)$$
 (3)

$$C=\left\{\frac{f(x)g(x)}{[f(x)+g(x)/2]^2}\right\}^{1/2}$$
 (4)

式中：*f(x)*与*g(x)*分别对应粮耕价值比与种植结构 Simpson 多样性指数；*a*和*b*表征待定系数，体现二者在总系统中的重要性，鉴于其处于同等重要的地位，取*a* = *b* = 0.5。

根据耦合协调度数值的大小，将其划分为不同的类型^[36]（表1）。

2.2.3 空间自相关分析 空间自相关分析可反映一个区域单元上的某一属性值与邻近区域单元上同一属性值的关联程度。为了避免空值单元的影响，本文将数据暂缺地区剔除后进行空间自相关分析，分别采用 Global Moran's *I*、Local Moran's *I* 衡量粮耕价值比与粮食作物种植结构耦合协调度的全局和局部空间自相关情况。

表1 耦合协调度的划分标准及其类型
Tab.1 Classification standards and types of the coupling coordination degree

<i>D</i> 值	耦合类型	<i>D</i> 值	耦合类型
(0, 0.2]	勉强耦合协调	(0.6, 0.8]	高度耦合协调
(0.2, 0.4]	低度耦合协调	(0.8, 1.0]	极度耦合协调
(0.4, 0.6]	中度耦合协调		

依据 Global Moran's *I* 反映空间邻近单元属性值在整体上的空间关联程度，以此分析中国各省份粮耕价值比与种植结构耦合协调度在空间上的整体聚集特征，其值域为[-1, 1]。Moran's *I* > 0 表示空间正相关性，其值越大，空间相关性越明显；Moran's *I* < 0 表示空间负相关性，其值越小，空间差异越大；Moran's *I* = 0，空间呈随机性。

$$I=\frac{n}{\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nW_{ij}}\times\frac{\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nW_{ij}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})^2}$$
 (5)

局域空间自相关表示各空间单元与其邻近空间单元属性值之间的关联程度，常用的度量指标为局域 Moran's *I*。计算公式如下：

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_j [W_{ij}(x_j - \bar{x})]}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 / n} \quad (6)$$

式(5)和式(6)中: x_i 、 x_j 分别为区域 i 、 j 中的粮耕价值比与种植结构的耦合协调度; \bar{x} 为各区域粮耕价值比的平均值; W_{ij} 为空间权重矩阵(空间单元的邻接关系), 如果区域 i 和 j 相邻, 则 $W_{ij} = 1$, 否则 $W_{ij} = 0$ 。

根据 Local Moran's I 指数的计算结果, 通常 $I_i > 0$ 时, 以 HH/LL 表示该空间单元相较周围省份的属性值均较高/较低, 且综合空间差异较小; $I_i < 0$ 时, 以 LH/HL 表示属性值较低/较高的空间单元相较周边省份较高/较低, 且综合空间差异较大。

3 研究结果与分析

3.1 粮耕价值比时空格局演化分析

采用自然断点法(Jenks), 对2004—2020年中国各省份粮耕价值比进行统一分区, 由基期年得到5个中断值依次为0.23、0.40、0.56、0.74、0.90, 据此划分为: 低、较低、中等、较高、高(下同), 分析耕地粮食作物与经济作物的种植比较效益时空格局特征。

2004—2020年中国耕地经济价值、粮食作物价值和经济作物价值三者均逐渐增加(图1), 粮耕价值比却呈现阶梯式下降态势, 比值由0.510降至0.362, 降幅为29.02%, 表明种粮比较效益逐渐降低。空间上, 各省份粮耕价值比呈现“由北向南”“由西向东”双重递减的空间特征(图2)。从地理分区角度看, 2004—2009年中国粮耕价值比处于中等及以上值区的省份主要分布于东北、华北、华中和西部地区, 少部分低值区(低和较低两类)则分布于东南沿海地区。2010—2014年粮耕价值比中等及以上类型的区域数量明显减少, 低值区的数量逐渐增加。2015—2020年各省份粮耕价值比的主导类型由中等及以上向中等及以下转变, 高值区范围缩减至东北地区 and 内蒙古、山西、西藏等个别地区; 低值区则主要广泛分布于华东、华中和西南地区。

2004—2020年粮耕价值比总体下降, 种粮比较效益持续走低, 侧面反映农户的粮食作物经营收入比重逐年降低是现阶段耕地“非粮化”问题突出的重要原因。耕地“非粮化”自2009年起便有迹可循(图1), 具体表现为经济作物价值的增长幅度开始明显大于粮食作物价值涨幅。此外, 空间上可见中国南部和东部地区的耕地“非粮化”现象较北部和西部地区更为严重, 其主要原因可能为受自然环境和经济产业发展影响, 东南部地区的热带和亚热带季风气候为农作物结构调整提供广阔的适宜空间, 在经济发展和比较效益驱动下, 农户易将粮食作物改种蔬菜、花卉、橡胶、水果等效益较高的经济作物。

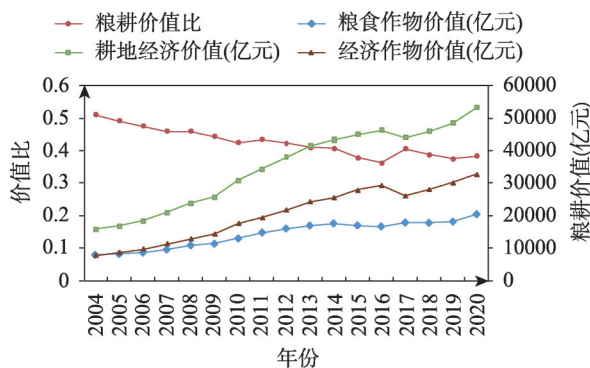


图1 2004—2020年中国粮耕价值比变化趋势

Fig. 1 Changes of the grain-to-arable value ratio in China from 2004 to 2020

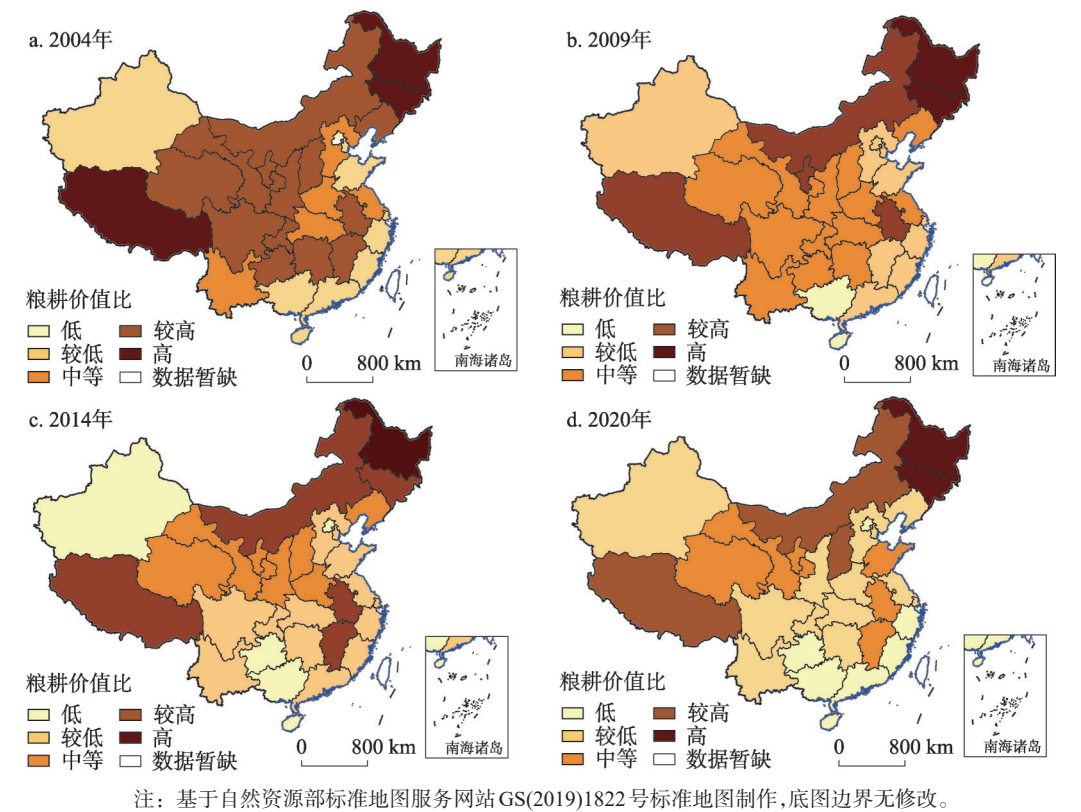


图2 2004—2020中国各省粮耕价值比时空格局

Fig. 2 The spatio-temporal pattern of provincial grain-to-arable value ratio in China from 2004 to 2020

3.2 粮食作物种植结构的时空格局演化分析

3.2.1 播种面积结构时空格局演化分析 2004—2020年中国主要粮食作物播种面积占比变化各有差异（图3），其中稻谷和小麦的播种面积占比相对稳定，稻谷保持在25%~27%之间；小麦保持在20%~23%之间；大豆的播种面积占比在2019年前维持在4%~5%左右，2020年突增至9.93%；玉米播种面积占比逐渐递增，由25.04%增长至35.34%，涨幅为41.13%；薯类播种面积占比先减后增，整体上仍处于减少态势，由9.44%减至6.18%。其他粮食作物播种面积占比由11.78%逐渐递减至2.78%，降幅为76.4%。稻谷和小麦两大主粮播种面积占比呈现细微波动性变化，说明在政策引导下其播种面积基本保持稳定，主粮数量安全得到保障；但其他主粮在逐渐下降，粮食结构多样性减少，粮食结构性安全呈现不稳定状态。

通过绘制雷达图分析中国各省份2004—2020年粮食作物、稻谷、小麦、玉米、薯类、豆类和其他粮食作物播种面积变化状况（图4）。2004—2020年中国粮食播种面积总体呈递增趋势，多数省份的粮食总播种面积变化趋势与全国保持一致，其中黑龙江、内蒙古和新疆三地增长率较高，均大于50%；东南沿海及直辖市等经济发达地区受市场需求及经济建设活动影响，粮食播种面积有所下降，但降幅在50%以内；就单一粮食作物而言，2004—2020年中国主要类型粮食作物播种面积变化率多居于0附近，整体表现稳中有增，其中比较特别的是玉米播种面积增幅较大，增长率达62.17%。空间上看，2004—2020年稻谷播种面积增长显著的地区为黑龙江、天津、内蒙古，下降较为明显的地区为陕西、甘肃、新疆和东南沿海等地；小麦播种面积增长较明显的区域为江苏、浙

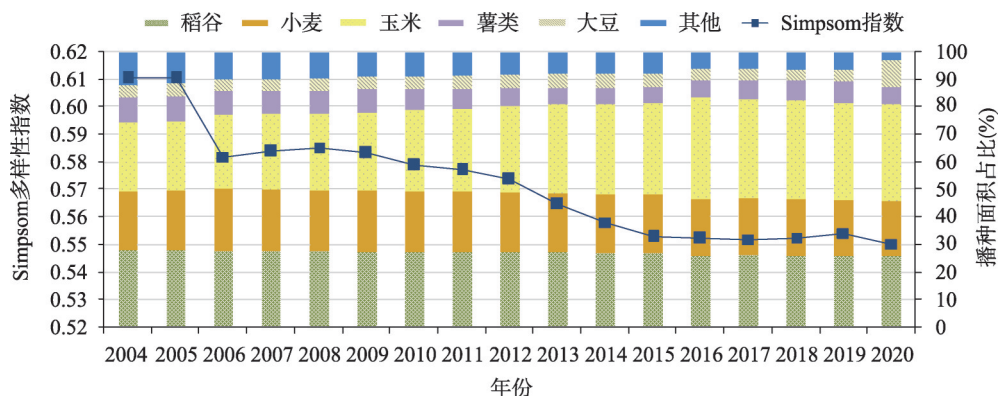


图3 2004—2020年中国粮食作物种植结构及其构成变化

Fig. 3 The cultivation structure of food crops and its composition change in China from 2004 to 2020

江和安徽等长三角地区,播种面积下降较为明显的是东北三省、东南沿海和西南地区等;玉米播种面积在多数省份均增幅较高,其中,江西、黑龙江等种粮大省的玉米播种面积涨幅均超过100%,值得关注的是,青海2004年玉米播种面积仅有 $1.60 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 到2020年扩大到 $21.24 \times 10^3 \text{ hm}^2$,增长倍数达12.38(图4中将该数值缩小4倍,以便作图)。薯类、豆类和其他作物播种面积大多数地区均下降,仅有少数地区出现小幅增长,其中薯类仅有贵州和天津出现明显增长;豆类仅有黑龙江和内蒙古出现增长;其他粮食作物类增长区域分布在天津、陕西、内蒙古、贵州、青海。

3.2.2 粮食种植结构多样性时空格局演化分析 2004—2020年中国粮食作物种植结构Simpson指数均值整体呈现“先骤降,后缓降至趋于平稳”的变化特征(图3),Simpson指数由最高值0.6105降至0.5504。各省份历年粮食作物种植结构多样性总体上呈现“胡焕庸线”沿线区域高,两侧低的空间特征(图5)。2004年粮食作物种植结构Simpson指数高值区(高、较高)沿“胡焕庸线”分布,即主要分布在中国的北部、华东和西部地区;低值区(低、较低)分布在“江西—湖南—广东”以及西藏。2009年空间格局整体上与2004年保持一致,个别区域Simpson指数下降一个等级,如浙江、福建。2009—2014年,Simpson指数高值区范围缩减至中部和西南部分省份。2020年整体空间格局较2014年没有明显变化。综合而言,粮食作物种植结构多样性递减区域主要分布在东北、华北和华东地区;中西部、西南和东南部分省份多样性结构较为稳定,其中中西部和西南地区多样性稳定在高值区,而东南地区和西藏则稳定在低值区。

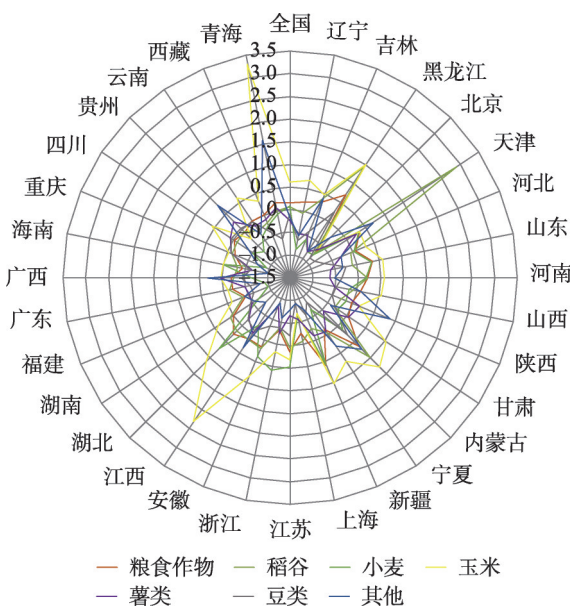
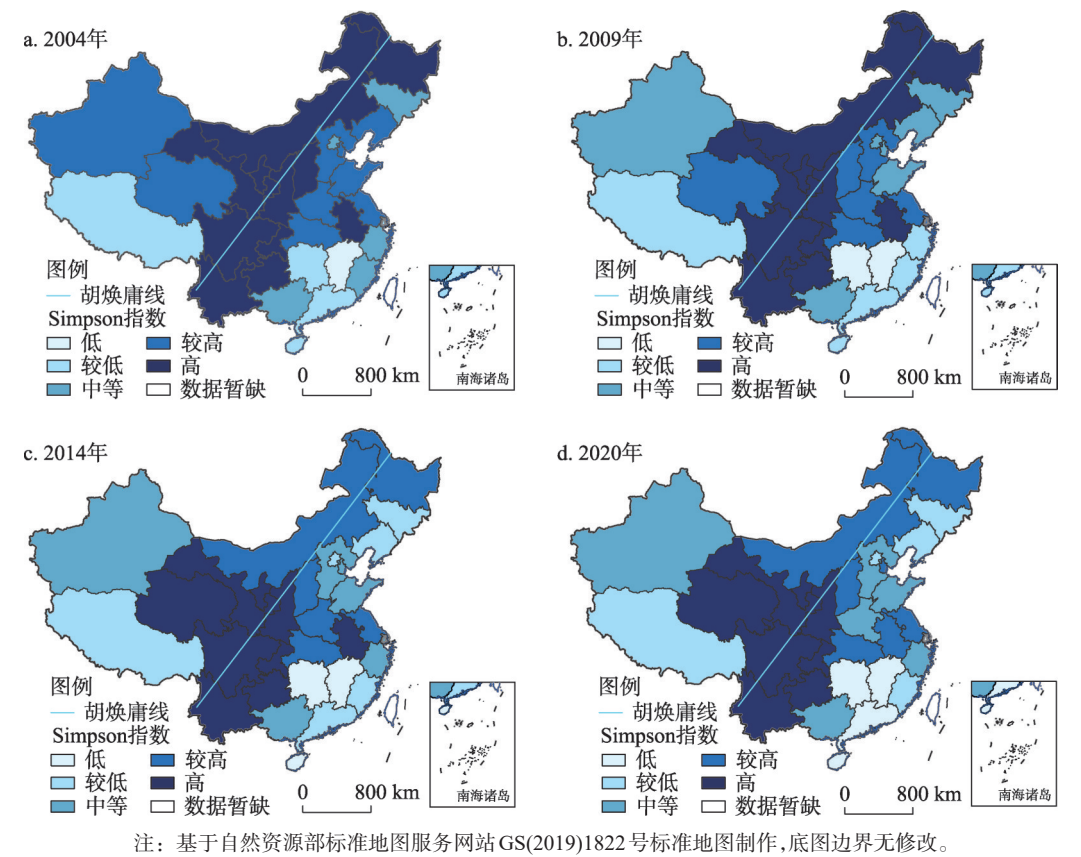


图4 2004—2020年中国各省粮食作物播种面积变化率雷达图

Fig. 4 Radar chart with the comparison of the national and provincial rates of change of the cultivation area of food crops in China from 2004 to 2020



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1822号标准地图制作,底图边界无修改。

图5 2004—2020中国各省粮食作物种植结构多样性时空格局

Fig. 5 The provincial spatio-temporal pattern of the cultivation-structural diversity of food crops in China from 2004 to 2020

可见,“胡焕庸线”沿线区域粮食作物种植结构与两侧相比,前者更具多样性。“胡焕庸线”由于受气候与地貌等条件作用,成为中国重要的人口地理分界线,其沿线亦是地理环境的过渡梯度线,过渡带上粮食作物种类更为丰富,粮食种植结构也呈现出更为多样化的特征。此外,2014年东北地区粮食作物种植结构多样性递减明显,且一直维持略低于西南地区的状态。相关研究^[37]表明东北粮食主产区是作物种植结构调整的重点区域,但研究结果发现其粮食作物种植结构的调整方向可能是多样性递减的模式,表明现阶段部分地区在实施国家种植结构调整的政策时仍存在一定偏差。

3.3 时空耦合演化特征

3.3.1 耦合协调度时空演化特征分析 2004—2020年中国粮耕价值比、粮食作物种植结构多样性及二者的耦合协调度均呈现逐渐递减趋势(图6)。整体上,粮耕价值比与粮食作物种植结构耦合协调度介于勉强耦合协调至高度耦合协调之间(图7),各省份的耦合协调度由高、中度耦合协调,逐渐转变为低度、勉强耦合协调状态,研究时段未出现极度耦合协调类型。

2004年各省份耦合协调度出现勉强、低度、中度和高度4种状态。勉强耦合协调主要分布于东南沿海;低度耦合协调区分布在“胡焕庸线”以东、云南及西藏等地;中度耦合协调区大规模分布在“胡焕庸线”以西。高度耦合协调状态仅出现在黑龙江,且其他年份未出现,数据显示黑龙江的粮耕价值比和种植结构多样性均处于较高水平,即当年黑龙江并未出现或暂未显现耕地“非粮化”现象且粮食作物种植结构多样性程度较

高。2009年各省份耦合协调度出现勉强、低度、中度3种状态。勉强耦合协调区集中分布于东南沿海并向内陆扩张；低度耦合协调区主要分布于东部沿海、中部、西南沿线；中度耦合协调区迅速缩减至中国北部。2014年各省份耦合协调度仍为3类，勉强耦合协调区扩张至南部及环渤海等地；低度耦合协调区横向分布于中部地区；中度耦合协调区分布于宁夏和黑龙江。2020年耦合协调度类型不变，勉强耦合协调区由南部向内陆延展至中部区域，其余分布于环渤海地区；低度耦合协调区被陕西纵向分成东、西两个片区；中度耦合协调区分布于黑龙江和内蒙古等高纬度地区。

综合而言，2004—2020年中国各省份粮耕价值比与种植结构耦合协调度的时空特征可分为3个阶段，第一阶段为2004—2009年，耦合协调度整体空间格局以“胡焕庸线”

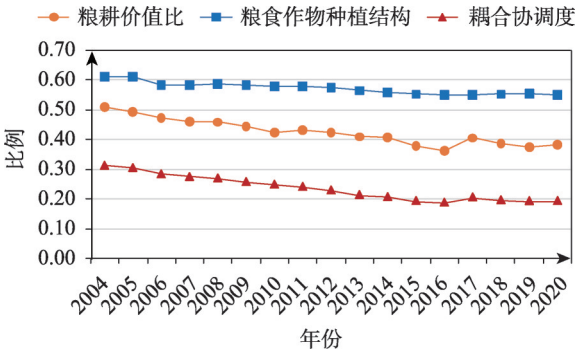
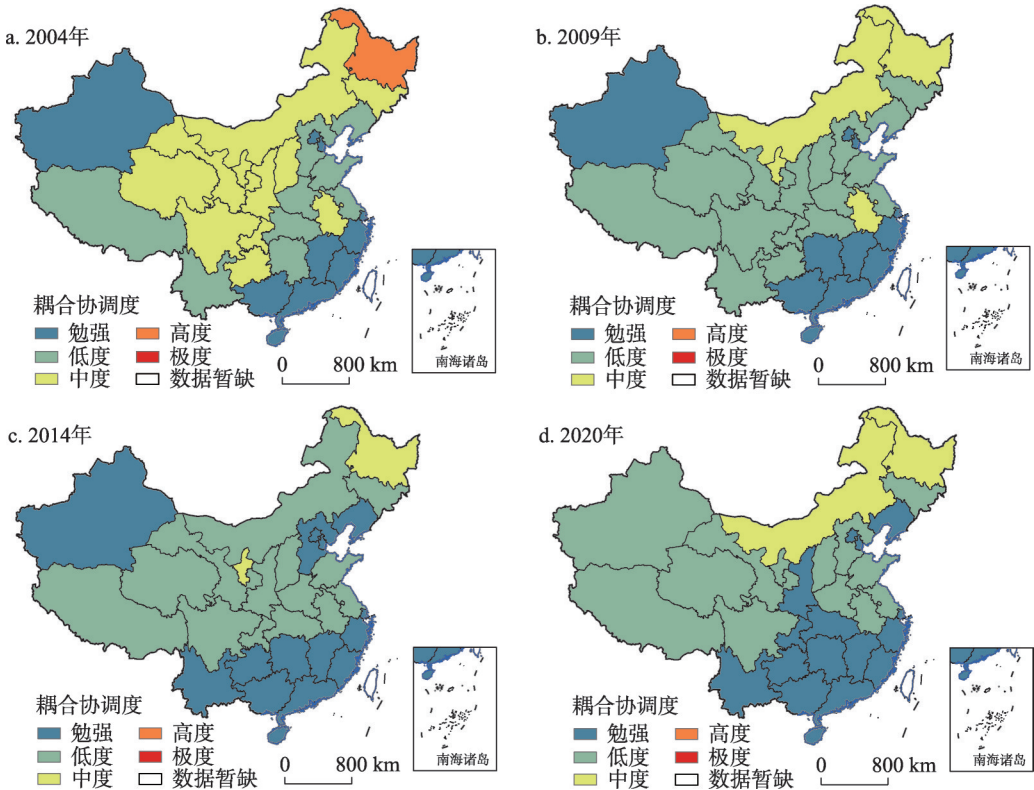


图6 2004—2020年粮耕价值比与种植结构耦合协调度变化趋势

Fig. 6 The coupling and coordination tendency between the grain-to-arable value ratio and the cultivation structure of food crops from 2004 to 2020



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1822号标准地图制作,底图边界无修改。

图7 2004—2020年中国各省粮耕价值比与种植结构耦合协调度空间分布

Fig. 7 The provincial spatial distribution of the coupling and coordination degree between the grain-to-arable value ratio and the cultivation structure of food crops in China from 2004 to 2020

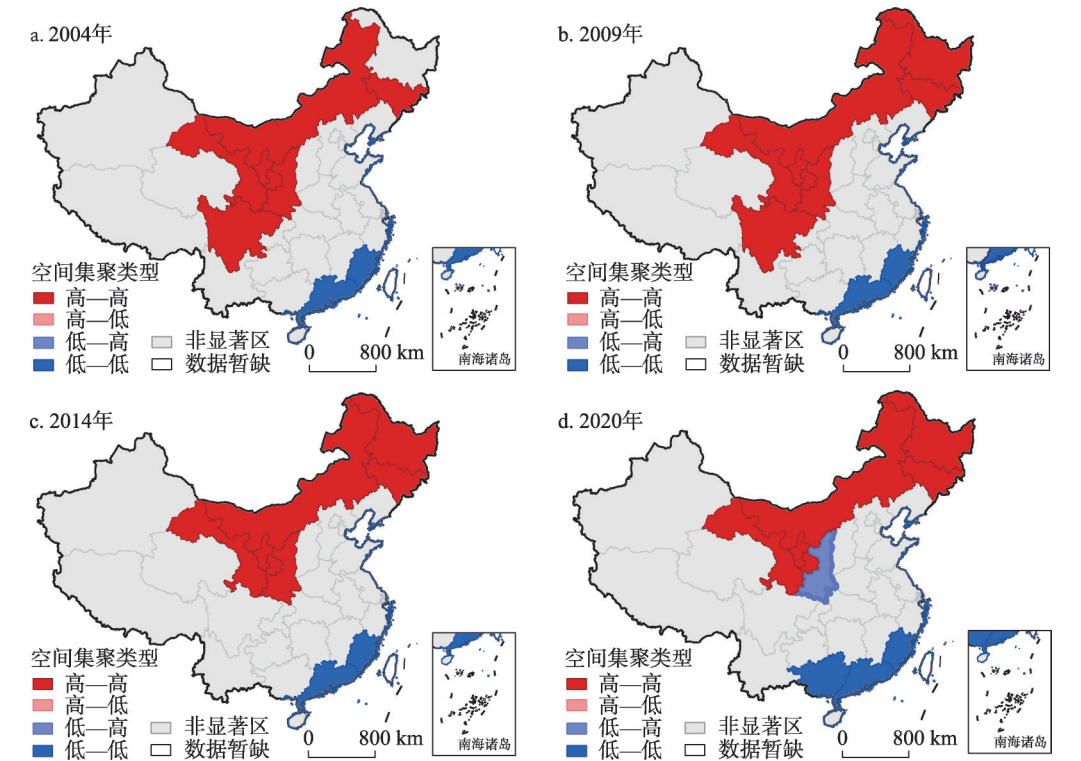
为界，由“西高东低”逐步向“北高南低”的特征转变；第二阶段为2010—2014年，耦合协调度的空间分布整体相对稳定，局部区域略有调整，低值区由东南向西南扩张，最终实现由“东西”向“南北”分异的过渡转变。第三阶段为2015—2020年，耦合协调度呈现“北高南低”的纬度阶梯状分异格局，具体为随纬度降低，耦合协调度逐渐减小，中部和南部地区均处于低度及以下耦合协调状态，且低水平耦合协调区有向北继续扩张的趋势，其中陕西受周边区域影响明显，最先由低度耦合协调转变为勉强耦合协调状态。

3.3.2 耦合协调度空间关联格局 2004—2020年中国各省份粮耕价值比与种植结构耦合协调度空间格局呈现“东北和中部高、东南和西北低”特征，具有一定空间集聚效应。因此，有必要分析粮耕价值比与种植结构耦合协调度的空间关联格局。运用全局自相关分析检验2004年、2009年、2014年和2020年耦合协调度空间关联程度的显著性（表2），结果显示 $|Z| > 1.96$ ，即 $P < 0.05$ ，则Moran's I 显著，同时可知2004—2020年的Global Moran's I 经历“先减后增”变化，其中2004年正向空间关联性最强。为进一步明晰二者耦合协调度的局部空间关联格局，运用GEODA软件绘制显著性 $P < 0.05$ 水平下的局部空间自相关Lisa图（图8）。研究时段内二者耦合协调度总体呈现正向空间

表2 全局自相关指数显著性检验

Tab. 2 Significance test of the global auto-correlation index

指标	年份			
	2004	2009	2014	2020
Moran's I	0.5118	0.4871	0.4742	0.5037
P 值	0.001	0.001	0.001	0.001
Z 值	4.2217	4.1528	3.9463	4.1835



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1822号标准地图制作,底图边界无修改。

图8 2004—2020年各省粮耕价值比与种植结构耦合协调度局部空间关联

Fig. 8 The local spatial correlation of the coupling and coordination degree between the grain-to-arable value ratio and the cultivation structure of food crops across China's provinces from 2004 to 2020

相关,并在地域分布上呈现一定集聚特征,具体为:2004—2009年高一高型由东北部和中西部地区构成的横向“Y”型分布,逐渐缩减至2014—2020年“东北—内蒙古—甘肃”一线的横向“I”型分布;而低—低型则由2004—2014年东南沿海的带状分布逐渐向沿海西侧延伸,扩张至2020年的福建—广东—广西的带状分布。低—高型区仅2020年出现于陕西,非显著型主要位于西北部 and 东部地区。结合图6可知,高一高型与高度、中度耦合协调区相对应;低—低型区主要对应勉强耦合协调区。可见基于局部空间自相关的空间关联格局,与耦合协调度空间分布特征基本相符。

4 分区调控

4.1 集聚类型分区

根据中国各省份粮耕价值比与粮食作物种植结构耦合协调度的空间集聚特征类型划分结果,考虑二者耦合协调度受空间相互作用和空间扩散的影响,且空间集聚特征类型区与耦合协调度的空间溢出和辐射息息相关,分别依据高一高型、低—低型、低—高型3种空间集聚类型构建分区,以因地制宜提出差异化管制策略。高一高型和低—低型分别代表的是高/低耦合协调区域的空间集聚与溢出效应,低—高型则代表耦合协调低值区被高值区围绕的异常值。结合前文耦合协调度的空间关联格局,构建分区如下:

东北及西部的部分地区属于高一高型高度耦合,粮耕价值比与粮食作物种植结构耦合协调度较高,地区之间存在高耦合协调对周边区域的辐射与溢出现象,形成高一高型区,划定为“匹配性优势区”。南部沿海地区属于低—低型高度耦合,其耦合协调度较低且向周边地区辐射与溢出,形成低—低型区,划分为“匹配性全面改良区”。2020年陕西耦合协调度为勉强耦合协调,但被较高耦合协调度省域围绕,表现为负向空间相关,形成低—高型区,该类型区受空间极化效应的影响易转化为高一高型,应划为“匹配性局部提升区”。其余地区均为非显著区,主要集中分布于中部、东部及西北部,其自身耦合协调度介于中度水平,且其值的高低对周边相应地区的辐射与溢出现象不显著。

4.2 空间关联机制与管控

“匹配性优势区”在研究时段内粮耕价值比与粮食作物种植结构多样性均处于高水平耦合协调状态,说明其耕地粮食生产与粮食作物种植结构长期处于相辅相成的作用过程,可供其他区域借鉴。“匹配性局部提升区”种粮比较效益低下的负面作用程度更强,种植结构多样性重视程度被相对弱化,该区可通过提高种粮比较效益逐步向高匹配性转变。“匹配性全面改良区”的粮耕价值比和种植结构多样性处于低水平的耦合协调状态,且此类型对周边的负面溢出效益更明显,具体表现为勉强耦合协调区由东南沿海地区向内陆地区迅速延展。可见,随着经济产业发展和城市化建设扩张带来的种粮比较效益降低,东南沿海地区的粮耕价值比降低,粮食种植结构趋向单一化,二者低水平的耦合协调态势随经济产业一同向内陆地区转移,出现低水平空间扩散态势,且扩散速度和规模远高于匹配性优势区。这一现象将进一步导致耕地“非粮化”趋向,威胁国家粮食安全。

在分区基础上构建差异化的管制策略,针对“匹配性优势区”应从优化种粮补贴政策、创新拓宽投入资金渠道、强化技术指导与培育、完善农田基础设施的续建配套、推动数字农业与智慧农业建设等方面稳定相关省区的粮食作物种植结构与种植效益,以激励和引导农户积极种植粮食作物。针对“匹配性全面改良区”应加强粮食品质化与结构多样化结合,从种粮扶持、技术指导、销售渠道、粮食品质等多角度切入,综合提升农民种粮的积极性,全面改良相关省区的粮食种植结构布局及粮食安全保障能力。具体而

言,在综合考量该区自然禀赋和经济社会发展水平的基础上,出台细化种粮财政扶持、引导等相关政策,扶持种粮大户与粮食生产经营专业合作组织;引导众筹、“互联网+”等新型融资模式创新粮食产业链发展,按不同粮食作物类型划定差异化培训片区,将种粮技术深入到村、组、田块,以示范、田间观摩等方式提升培训质量;培育新型农业市场主要体现为完善农村电商基础设施建设,简化供应链,降低农产品交易成本;同时,构建分类市场将小农市场与品质市场分离,既保障小农经济又提升品质效应。针对“匹配性局部提升区”,既要助推粮食作物种植结构多样化发展,又要注重品牌产品培育、管理方式选择与维护、标准制订与遵循等,并兼顾种植结构多样化与粮食品质生产规模化,增强农业科技含量,确保土地适度规模化。一方面,农业科技创新可降低粮食对原生种植环境的门槛,例如利用生物科技创新可改善粮食产品生长环境,为培育高产优质的粮食作物提供可行路径。另一方面,高质高效实施土地平整工程可完善农田基础设施及其续建配套,可提升中低产田与坡耕地质量,改善土壤健康水平,为粮食种植结构多样化,粮食产品品质化提供可行路径,引导该区向“匹配性优势区”转变。

5 讨论

5.1 结构性短缺与“非粮化”趋势亟需全面改良

随着新型冠状病毒肺炎疫情在全球扩散蔓延,各国粮食危机风险骤然上升,部分国家试图限制粮食出口以应对不确定性风险^[38],面对粮食国际贸易格局的不稳定性,中国必须保证水稻、小麦、玉米、大豆等主粮的自给能力。当前水稻和小麦已实现完全自给,但玉米和大豆等主粮依然存在不同程度的缺口,其中大豆对外依赖度达80%以上,而大豆种植面积仅占粮食种植总面积的6.18%,大豆供应已形成严重的依赖性风险^[39]。以此折射出的粮食生产结构化问题是中国当前粮食安全保障的薄弱环节,粮食种植结构优化调整应成为亟待关注的重要问题。另一方面,改革开放带来的经济迅速发展由沿海向内地扩散,尤其是21世纪以来,东南沿海地区经济社会发展已达较高水平,市场需求和比较效益转变促生了较明显的耕地“非粮化”问题,这一现象可被本文佐证。

2004—2020年中国粮耕价值比在整体上呈现下降趋势,而粮食播种面积却逐渐增长,原因主要在于经济作物价格涨幅要远远高于粮食作物价格涨幅,这表明粮食比较效益日趋低下的现实情况,其也成为部分地区耕地非粮化的重要原因。结合本文结果看,2004—2020年经济发达的浙江、福建、海南、广东等东南沿海地区的粮耕价值比一直维持在较低值区间,地区的粮食作物播种面积降幅也较大,其降幅值介于-0.5~0之间。具体看,福建和广东两地所有粮食作物类型的播种面积均在减少,属于耕地“非粮化”的重灾区,这些地区非农经济发展较好,居民收入和生活水平较高,对于农产品的需求更加多元化,市场需求促使耕地“非粮化”不断;同样状况也出现在其他沿海省份,浙江、海南和广西等地在耕地“非粮化”进程中,薯类、豆类等主粮种植面积出现不同程度的减少,粮食作物多样性锐减,结构性问题也较为突出。

在粮耕价值比与粮食作物播种面积双重递减的作用下,东南沿海地区耕地“非粮化”现象日益严重,与此同时受气候地形等条件的影响,区域粮食作物种植结构始终保持较为单一的模式,种粮比较效益无法实现根本提高,致使二者的耦合协调度持续处于低水平状态,且随着经济产业从沿海向内地的转移,耕地“非粮化”现象的空间扩散效应也愈发显著。故该地区需注重当地粮食作物的品质提升,并在区域条件允许的同时丰

富粮食结构,以控制其对周边区域的低溢出效应,约束勉强耦合协调区域向内陆的进一步扩张。因此按照“稳定面积,优化结构,提高品质”的原则,此类地区可适度加大种粮补贴力度,在严格划定永久基本农田的基础上,推动土地流转以实现耕地粮食生产规模化经营,降低农业生产成本并提升粮食经营者收益^[40];还应因地制宜,发挥南方地域自然优势,推动高标准农田建设,积极发展多样化自然生态有机农业,推广有机农业等高附加值粮食作物^[41-42],以优化粮食作物种植结构和比较效益;同时扶持粮食作物产品加工业,有序引导粮食生产向高端领域延伸,促进粮食精度、深度加工,打造高效益的粮食产业链^[43],将更多利润留给粮食种植经营者手中,以激发农户的种粮积极性。

5.2 经济建设与种粮效益尚待协同发展

1978年改革开放以来,工业化和城镇化推动了中国社会经济巨大变革,尤其是21世纪的前10年,城镇化进程高速推进,出现由沿海向内陆的第一轮产业转移,中西部地区社会经济实现跨越式发展^[44-45],居民消费升级和耕地“非粮化”现象也随之由沿海向内陆扩散,这一变化可以被本文证实。具体而言,2004—2020年中国粮食作物种植结构多样性最丰富的地区集中分布于中国地势第二级阶梯周边,包括重庆、贵州、云南、四川、陕西等省份,受多样的地貌类型和气候条件影响,地区粮食作物种植种类丰富,但区域粮耕价值比却呈现较低态势,故其成为粮耕价值比和粮食种植结构耦合协调度较低值的地区。

梳理发现,上述区域粮耕价值比在2004—2009年尚且处于中高值状态,随着中西部城市化和多元农作物需求市场的兴起,2014—2020年各省份粮耕价值比已降至较低和低值,整体降幅尤为显著。表明2004—2020年中部和西南部地区耕地种粮比较效益低下的状况由轻度显现转为日益严重,尤以城镇化建设快速推进的重庆和农业种植结构转型的贵州等地最为典型。研究时段内,重庆市城镇化率从43.5%提升至69.5%,同时粮食作物播种面积减少20.4%,且各类型粮食作物播种面积均在减少,降幅最高的小麦播种面积减少了93.4%,表明重庆市城镇化建设和非农经济发展带来的多元化市场需求进一步降低了本地的种粮比较效益;此外,贵州粮食作物播种面积减少9.32%,粮耕价值比却从0.5687骤降至0.1583,降幅达72.16%,这与省内农业种植结构调整密不可分,并与其地貌单元复杂、喀斯特地貌发育典型^[46]带来的地表崎岖破碎等特征间接相关。贵州作为中国石漠化面积最大、类型最多、程度最深的地区,21世纪以来该省为遏制石漠化持续实施植树造林、退耕还林等治理措施,同时以石漠化治理为依托调整农业产业结构,在耕地上发展茶叶、核桃、油茶、花椒等经济作物种植,有效增加植被覆盖以加强石漠化地区的生态保护与修护^[47],可见经济发展和生态建设在一定程度上会加深耕地“非粮化”程度。

因此,上述地区应重点关注区域经济社会发展和自然环境特征对耕地粮食种植造成的直接影响,按照“稳定结构,提升质量,规模经营”的原则,在维系粮食作物种植结构多样性的同时,加大耕地红线管控和基本农田建设力度,并因地制宜推出土地平整和耕地规模化等整治措施,改造现有耕地质量,以提升耕地粮食产能和规模化种植水平;同时充分挖掘区域生态环境优势,开发地方特色粮食产品,打造优势特色农业产业基地,树立高品质生态粮食品牌,促进粮食产业提质增效^[48];再者,同步推进农村数字基础设施建设、“农旅产业融合”和“农业+数字经济”等工作^[49],借助乡村旅游开发和电子商务等数字化平台搭建农副产品与市场之间的桥梁,开拓特色粮食产品市场空间,延展粮食生产上下游产业链等^[50],以提升粮食附加值和种粮比较效益,抑制耕地“非粮化”态势,保障地区粮食安全。

6 研究结论与展望

本文以2004—2020年中国省级行政单位为研究对象,在分析粮耕价值比和粮食作物种植结构二者时空演化特征的基础上,采用耦合协调度模型与空间自相关法研究二者时空耦合演化规律,并构建省级分区。主要结论如下:

(1) 2004—2020年中国各省份的粮耕价值比呈现下降趋势,空间上呈现“由北向南”和“由西向东”双重递减特征。粮食作物价值在耕地经济价值中的占比逐渐下降,非粮价值比则逐渐上升,表明粮食作物的产出效益在耕地产出效益的占比逐渐下降,种粮比较效益持续走低。粮耕价值比下降从经济效益视角显化了耕地“非粮化”倾向,切实提高种粮收益是抑制“非粮化”的最有效路径。

(2) 2004—2020年中国各省份粮食作物种植结构的格局总体呈现“胡焕庸线”沿线区域高的特征,即“东北—西南对角沿线高,西北—东南低”,越靠近该线其种植结构多样性越丰富。分区域上,东北、华北、华东等地的粮食作物种植结构多样性出现明显递减,与近年国家推进的粮食作物种植结构调整政策思路存在一定偏差。加强局部地区粮食安全管控,合理调整耕地粮食结构,一定程度上可抑制中国粮食的结构性短缺。

(3) 2004—2020年中国各省份粮耕价值比与粮食作物种植结构的耦合协调度介于勉强耦合协调至高度耦合协调区间,且空间格局呈现“东北及中部高、东南及西北部低”的特征。加强粮耕价值比与种植结构的协调匹配,尤其注重对勉强和低度耦合协调地区的耕地“非粮化”防控与粮食结构合理化改善,并重视中度耦合协调区耕地“非粮化”管控,兼顾各耦合协调类型区同步优化,以有效提升中国粮食安全保障能力。

(4) 2004年、2009年、2014年、2020年粮耕价值比与种植结构耦合协调度的Global Moran's I 值依次为0.5118、0.4871、0.4742、0.5037,局部看中西部及东北部地区形成高一高型集聚区;南部沿海地区形成低—低型集聚区;陕西省于2020年出现异常值,成为低—高型集聚区。耦合协调度在地域分布上呈现规律性的空间集聚,可将高一高型划定为“匹配性优势区”,低—低型划为“匹配性全面改良区”,低—高型划为“匹配性局部提升区”,并建议在要素空间集聚和扩散状态的基础上构建差异化的管制策略。

囿于省级面板数据的选用,本文仅从省域层面探讨二者的耦合协调度及空间格局演化特征,之后可进一步从市、县级层面展开更为深入地研究,更精准地量化分析中国粮耕价值比的时空演化特征,以更具针对性地提出调控举措。另外,本文仅完成对粮耕价值比和种植结构的时空耦合演化、空间关联格局规律及分区构建等基础性研究,尚未深刻探析二者关系的影响机理等问题,未来可从不同研究视角拓展,更为全面地探讨粮耕价值比与粮食作物种植结构间的互动机制,并提出更为合理的耕地增粮化与粮食结构优化路径。

参考文献(References)

- [1] Liu Zhengjia, Zhong Huimin, Li Yurui, et al. Change in grain production in China and its impacts on spatial supply and demand distributions in recent two decades. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1413-1425. [刘正佳, 钟会民, 李裕瑞, 等. 近20年中国粮食生产变化特征及其对区域粮食供需格局的影响. *自然资源学报*, 2021, 36(6): 1413-1425.]
- [2] Kong Xiangbin. The non-food question, causes and countermeasures of cropland. *China Land*, 2020, 39(11): 17-19. [孔祥斌. 耕地“非粮化”问题、成因及对策. *中国土地*, 2020, 39(11): 17-19.]
- [3] Liu Changquan. Challenges and strategies of the supply security of important agricultural products in China. *Economic Review Journal*, 2021(5): 61-73. [刘长全. 我国重要农产品供给安全面临的挑战与对策. *经济纵横*, 2021(5): 61-73.]
- [4] Zhang Ming, Yang Ying, Zou Xiaorong. Strategic coordination and differential design of China's food subsidy policy in the new era. *Issues in Agricultural Economy*, 2021, 42(3): 53-61. [张明, 杨颖, 邹小容. 新时期中国粮食补贴政策的战

- 略协同与差异设计. 农业经济问题, 2021, 42(3): 53-61.]
- [5] Yu Xiaohua, Huang Yingying, Wang Hanjie. Rethinking agricultural rural development under the new pattern of domestic circulation. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2021(3): 10-18, 182-183. [于晓华, 黄莹莹, 王汉杰. 国内大循环新格局下农业农村发展的目标再定位与战略选择. 华中农业大学学报(社会科学版), 2021(3): 10-18, 182-183.]
- [6] Fan Yeting, Jin Xiaobin, Xiang Xiaomin, et al. Evaluation and spatial characteristics of arable land multifunction in southern Jiangsu. *Resources Science*, 2018, 40(5): 980-992. [范业婷, 金晓斌, 项晓敏, 等. 苏南地区耕地多功能评价与空间特征分析. 资源科学, 2018, 40(5): 980-992.]
- [7] Zhang Yingnan, Long Hualou, Ge Dazhuan, 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. [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.]
- [8] Zou Lilin, Li Yurui, Liu Yansui, et al. Theory building and empirical research of production-living-ecological function of cultivated land based on the elements. *Geographical Research*, 2021, 40(3): 839-855. [邹利林, 李裕瑞, 刘彦随, 等. 基于要素视角的耕地“三生”功能理论建构与实证研究. 地理研究, 2021, 40(3): 839-855.]
- [9] Niu Shandong, Fang Bin, Cui Cui, et al. The spatial-temporal pattern and path of cultivated land use transition from the perspective of rural revitalization: Taking Huaihai Economic Zone as an example. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(8): 1908-1925. [牛善栋, 方斌, 崔翠, 等. 乡村振兴视角下耕地利用转型的时空格局及路径分析: 以淮海经济区为例. 自然资源学报, 2020, 35(8): 1908-1925.]
- [10] Song Xiaoqing, Li Xinyi. Theoretical explanation and case study of regional cultivated land use function transition. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(5): 992-1010. [宋小青, 李心怡. 区域耕地利用功能转型的理论解释与实证. 地理学报, 2019, 74(5): 992-1010.]
- [11] Zhang Wenbin, Zhang Zhibin, Dong Jianhong, et al. Transformation and driving forces of cultivated land utilization function from a multi-scale perspective in Gansu Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(5): 900-910. [张文斌, 张志斌, 董建红, 等. 多尺度视角下耕地利用功能转型及驱动力分析: 以甘肃省为例. 地理科学, 2021, 41(5): 900-910.]
- [12] Du Guoming, Chai Lujia, Li Yuheng. Theoretical explanation and research framework of cultivated land use system. *Progress in Geography*, 2022, 41(7): 1288-1299. [杜国明, 柴璐佳, 李玉恒. 耕地利用系统的理论解析与研究框架. 地理科学进展, 2022, 41(7): 1288-1299.]
- [13] Ge Dazhuan, Long Hualou, Zhang Yingnan, et al. Pattern and coupling relationship between grain yield and agricultural labor changes at county level in China. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6): 1063-1077. [戈大专, 龙花楼, 张英男, 等. 中国县域粮食产量与农业劳动力变化的格局及其耦合关系. 地理学报, 2017, 72(6): 1063-1077.]
- [14] Meyfroidt P, Carlson K M, Fagan M E, et al. Multiple pathways of commodity crop expansion in tropical forest landscapes. *Environmental Research Letters*, 2014, 9(7): 074012. DOI: 10.1088/1748-9326/9/7/074012.
- [15] Sayer J, Ghazoul J, Nelson P, et al. Oil palm expansion transforms tropical landscapes and livelihoods. *Global Food Security*, 2012, 1(2): 114-119.
- [16] Zhang Huizhong, Song Wen, Zhang Wenxin, et al. Analysis of spatial differentiation characteristics and influencing factors of non-grain cultivated land in Shandong province. *China Land Science*, 2021, 35(10): 94-103. [张惠中, 宋文, 张文信, 等. 山东省耕地“非粮化”空间分异特征及其影响因素分析. 中国土地科学, 2021, 35(10): 94-103.]
- [17] Sun Menghua, Niu Wenhao, Zhang Bangbang, et al. Spatial-temporal evolution pattern and response of ecosystem service value under land use change in the Yellow River basin: A case study of Shaanxi- Gansu- Ningxia region, Northwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(11): 3913-3922. [孙梦华, 牛文浩, 张蚌蚌, 等. 黄河流域土地利用变化下生态系统服务价值时空演变及其响应: 以陕甘宁地区为例. 应用生态学报, 2021, 32(11): 3913-3922.]
- [18] Geng Xin, Hu Shi, Xiao Yu, et al. Land use pattern optimization and evaluation based on ESV of agro-pastoral ecotone in Northeast China. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(7): 1799-1814. [耿鑫, 胡实, 肖玉, 等. 基于生态系统服务价值的东北农牧交错区土地利用格局优化与评价. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1799-1814.]
- [19] Zhang Maomao, Zhang Xuesong, Wang Quanxi, et al. Analysis on the change characteristics of ecosystem service value in northwest Hubei province: A case study of Lishan town, Sui county of Hubei province. *Ecological Economy*, 2019, 35(7): 184-190. [张茂茂, 张雪松, 王全喜, 等. 鄂西北地区生态系统服务价值变化特征分析: 以湖北省随县厉山镇为例. 生态经济, 2019, 35(7): 184-190.]
- [20] Liu Hongtao, Guo Xiaoxia, Cheng Shengkui, et al. Environment, Resource properties and corresponding cost of arable

- land resulted from grain production in China. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2019, 11(4): 67-70, 78. [刘洪涛, 郭小夏, 成升魁, 等. 我国粮食生产的耕地资源环境效应特征与代价分析. *中国环境管理*, 2019, 11(4): 67-70, 78.]
- [21] Meng Fei, Tan Yongzhong, Chen Hang, et al. Spatial-temporal evolution patterns and influencing factors of "Non-grain" utilization of cultivated land in China. *China Land Science*, 2022, 36(1): 97-106. [孟菲, 谭永忠, 陈航, 等. 中国耕地“非粮化”的时空格局演变及其影响因素. *中国土地科学*, 2022, 36(1): 97-106.]
- [22] Chen Baiming. On the comprehensive productive capacity and security of future agricultural resources in China. *Geographical Research*, 2002, 21(3): 294-304. [陈百明. 未来中国的农业资源综合生产能力与食物保障. *地理研究*, 2002, 21(3): 294-304.]
- [23] Vesco P, Kovacic M, Mistry M, et al. Climate variability, crop and conflict: Exploring the impacts of spatial concentration in agricultural production. *Journal of Peace Research*, 2021, 58(1): 98-113.
- [24] Tan G X, Shibasaki R. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integrations. *Ecological Modelling*, 2003, 168(3): 357-370.
- [25] Canisius F, Turrall H, Molden D. Fourier analysis of historical NOAA time series data to estimate bimodal agriculture. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(24): 5503-5522.
- [26] An Yue, Tan Xuelan, Tan Jieyang, et al. Evolution of crop planting structure in traditional agricultural areas and its influence factors: A case study in Hunan province. *Economic Geography*, 2021, 41(2): 156-166. [安悦, 谭雪兰, 谭杰扬, 等. 湖南省农作物种植结构演变及影响因素. *经济地理*, 2021, 41(2): 156-166.]
- [27] Liu Zhenhuan, Yang Peng, Wu Wenbin, et al. Spatio-temporal changes in Chinese crop patterns over the past three decades. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5): 840-851. [刘珍环, 杨鹏, 吴文斌, 等. 近30年中国农作物种植结构时空变化分析. *地理学报*, 2016, 71(5): 840-851.]
- [28] Jiang Lingxiao, An Yue, Tan Xuelan, et al. Temporal and spatial evolution and optimized countermeasure of crop planting structure in the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan area in recent 30 years. *Economic Geography*, 2020, 40(1): 173-180. [蒋凌霄, 安悦, 谭雪兰, 等. 近30年来长株潭地区农作物种植结构演变及优化对策. *经济地理*, 2020, 40(1): 173-180.]
- [29] Wang Hongluo, Fang Yangang, Liu Jianzhi. Spatio-temporal changes of crop structure in Heilongjiang province from 2005 to 2015. *Areal Research and Development*, 2020, 39(1): 168-174. [王泓淦, 房艳刚, 刘建志. 2005—2015年黑龙江省农作物种植结构时空演变. *地域研究与开发*, 2020, 39(1): 168-174.]
- [30] Liu Hang, Wu Wenbin, Shen Ge, et al. Spatio-temporal evolution of traditional soybean planting structure in Songnen Plain, China in 1996-2016. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(10): 3275-3282. [刘航, 吴文斌, 申格, 等. 1996—2016年松嫩平原传统大豆种植结构的时空演变. *应用生态学报*, 2018, 29(10): 3275-3282.]
- [31] Mi Shengyuan, Tan Xuelan, Tan Jieyang, et al. Analysis of influencing factors of rice planting area evolution in Dongting Lake Area during 1987-2017. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(10): 2499-2510. [米胜渊, 谭雪兰, 谭杰扬, 等. 近30年来洞庭湖地区水稻种植面积演变的影响因素分析. *自然资源学报*, 2020, 35(10): 2499-2510.]
- [32] Wang Manman, Liu Ying, Gao Qizheng, et al. The spatial and temporal analysis of the comparative advantage of different rice planting pattern in Hubei province. *Economic Geography*, 2017, 37(8): 137-144. [王慢慢, 刘颖, 高奇正, 等. 湖北省水稻种植模式结构和比较优势时空变化. *经济地理*, 2017, 37(8): 137-144.]
- [33] Ren Pinpin, Li Baoguo, Huang Feng. Spatio-temporal patterns of wheat and maize production under the evolution of crop planting structures in the Huang-Huai-Hai dry farmland, China. *Resources Science*, 2022, 44(3): 436-449. [任频频, 李保国, 黄峰. 农作物种植结构演变下的黄淮海旱作区小麦玉米生产时空格局. *资源科学*, 2022, 44(3): 436-449.]
- [34] Gorelick R. Combining richness and abundance into a single diversity index using matrix analogues of Shannon's and Simpson's indices. *Ecography*, 2006, 29(4): 525-530.
- [35] Hunter P R, Gaston M A. Numerical index of the discriminatory ability of typing systems: An application of Simpson's index of diversity. *Journal of Clinical Microbiology*, 1988, 26(11): 2465-2466.
- [36] Tan Juntao, Zhang Pingyu, Li Jing, et al. Spatial-temporal evolution characteristic of coordination between urbanization and eco-environment in Jilin Province, Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(12): 3827-3834. [谭俊涛, 张平宇, 李静, 等. 吉林省城镇化与生态环境协调发展的时空演变特征. *应用生态学报*, 2015, 26(12): 3827-3834.]
- [37] Song Ge, Zhang Wenqi. Spatiotemporal differentiation characteristics of cultivated land use from perspective of growing food crops in major grain production areas in Northeast China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(15): 1-8. [宋戈, 张文琦. 粮食作物种植视角下东北粮食主产区耕地利用的时空分化特征. *农业工程学报*, 2020, 36(15): 1-8.]

- [38] Cheng Guoqiang, Zhu Mande. COVID-19 pandemic is affecting food security: Trends, impacts and recommendations. *Chinese Rural Economy*, 2020(5): 13-20. [程国强, 朱满德. 新冠肺炎疫情冲击粮食安全: 趋势、影响与应对. *中国农村经济*, 2020(5): 13-20.]
- [39] Wei Yanjiao, Zhang Huiyan, Zhu Jing. An analysis of dependence risk and market layout optimization for soybean import of China under the new development pattern. *Chinese Rural Economy*, 2021(12): 66-86. [魏艳娇, 张慧艳, 朱晶. 新发展格局下中国大豆进口依赖性风险及市场布局优化分析. *中国农村经济*, 2021(12): 66-86.]
- [40] Luo Wanchun, China's food security governance: Development trends, challenges and improvements. *Chinese Rural Economy*, 2020(12): 56-66. [罗万纯. 中国粮食安全治理: 发展趋势、挑战及改进. *中国农村经济*, 2020(12): 56-66.]
- [41] Cao Jin, Tadashi Horiguchi, Jiao Bifang, et al. New tendency of depopulated areas in Japan: Characteristics, policy measures and enlightenment. *Chinese Rural Economy*, 2017(7): 85-96. [曹瑾, 堀口正, 焦必方, 等. 日本过疏化地区的新动向: 特征、治理措施及启示. *中国农村经济*, 2017(7): 85-96.]
- [42] Zhao Yingxia, Chen Jiaxin. Research on the path of coupling development of modern service industry and modern agriculture. *On Economic Problems*, 2018(5): 75-81. [赵英霞, 陈佳馨. 现代服务业与现代农业耦合发展路径研究. *经济问题*, 2018(5): 75-81.]
- [43] Deng Qingqing, Li Erling. Models and optimal path of grain industrialization based on the perspective of network organization. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1602-1615. [邓晴晴, 李二玲. 基于网络组织视角的粮食产业化模式与优化路径. *自然资源学报*, 2021, 36(6): 1602-1615.]
- [44] Lun Yuchao, Liu Tianbao, Han Zenglin. Analysis of coupling relationship between China's urbanization and basic public services in time and space and its driving forces. *Geography and Geo-information Science*, 2022, 38(1): 124-132. [论宇超, 刘天宝, 韩增林. 中国城镇化与基本公共服务时空交互耦合关系及其驱动力分析. *地理与地理信息科学*, 2022, 38(1): 124-132.]
- [45] He Canfei, Hu Xuqian. Evolution of Chinese industrial geography since reform and opening-up. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 1962-1979. [贺灿飞, 胡绪千. 1978年改革开放以来中国工业地理格局演变. *地理学报*, 2019, 74(10): 1962-1979.]
- [46] Xiong Kangning, Li Jin, Long Mingzhong. Features of soil and water loss and key issues in demonstration areas for combating Karst rocky desertification. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(7): 878-888. [熊康宁, 李晋, 龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题. *地理学报*, 2012, 67(7): 878-888.]
- [47] Ye Xin, Gu Yangyang, Zhang Kun, et al. Current situation analysis and countermeasures of rocky desertification control in southwest Karst region: A case study of Qianxinan prefecture in Guizhou province. *Environmental Protection*, 2020, 48(22): 30-34. [叶鑫, 顾羊羊, 张琨, 等. 西南喀斯特地区石漠化治理现状分析与对策研究: 以贵州省黔西南州为例. *环境保护*, 2020, 48(22): 30-34.]
- [48] Li Zhi. The opportunity and challenge of China's food security under dual circulation development pattern. *Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition)*, 2021, 21(4): 97-104. [李治. “双循环”下我国粮食产业的机遇与挑战. *西北农林科技大学学报(社会科学版)*, 2021, 21(4): 97-104.]
- [49] Wang Dingxiang, Ran Ximei. Rural digitalization, human capital and integrated development of rural industries: Empirical evidence based on China provincial panel data. *Journal of Chongqing University (Social Science Edition)*, 2022, 28(2): 1-14. [王定祥, 冉希美. 农村数字化、人力资本与农村产业融合发展: 基于中国省域面板数据的经验证据. *重庆大学学报(社会科学版)*, 2022, 28(2): 1-14.]
- [50] Tang Wenhao. Digital technology drives high-quality development of agriculture and rural areas: Theoretical interpretation and practical path. *Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2022, 22(2): 1-9. [唐文浩. 数字技术驱动农业农村高质量发展: 理论阐释与实践路径. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2022, 22(2): 1-9.]

Spatio-temporal coupling evolution and zoning regulation of grain-to-arable value ratio and cropping structures in China

LI Xinyu^{1,2,3}, FANG Bin^{1,2,3}, LI Yi^{1,2,3}, LI Dongjie^{1,2,3}, HE Shasha^{1,2,3}

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Research Center of New Urbanization and Land Problem, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;

3. Jiangsu Provincial Geographic Information Resources Development and Utilization Cooperative Innovation Center, Nanjing 210023, China)

Abstract: Both the food production value on arable land and the structure of food crop cultivation have impacted on national food security. Therefore, exploring changes in their spatial and temporal coupling patterns can help us to understand their relationships and to further improve food security. In this research, we took provincial-level regions in China as the object, and based on an in-depth interpretation of the connotation of the grain-to-arable value ratio and cropping structure, Simpson's index model, coupling coordination model and spatial auto-correlation are comprehensively used to study the spatial and temporal evolution patterns of grain-to-arable value ratio and cropping structure in the study area from 2004 to 2020, and the spatial and temporal dynamics between them in different regions are revealed in consequence. The results show that: (1) The spatial distribution of the grain-to-arable value ratio in all the provincial-level regions from 2004 to 2020 shows a double-decreasing characteristic, one from north to south and the other from west to east; (2) The spatial pattern of cropping structure shows a Hu-Huanyong-line-ridge in terms of spatial distribution, where Northeast, North and East China witness a significant decrease in crop diversity; (3) The degree of coupling coordination between the grain-to-arable value ratio and cropping structure is found between barely coupled and coordinated and highly coupled and coordinated, showing regular spatial clustering characteristics. In the central, western and northeastern China, there is a high-high concentration with matching advantage; in the southeast coastal region, there is a low-low concentration for matching improvement; and the overall distribution presents a pattern of high in the northeast and central regions, and low in the southeast. The study believes that, based on the heterogeneous characteristics of the spatial concentration and diffusion of factors, the synergistic evolution of food quality and diversity on arable land should be encouraged according to the local conditions, so as to promote the harmonious development of food structure and efficiency.

Keywords: grain-to-arable value ratio; cropping structure; coupling coordination degree; zoning regulation; China