

基于比较优势理论的中国区域种养结构 时空格局演变分析

李 洋^{1,2}, 孙志刚^{1,2,3}, 刘恩媛⁴, 邵长秀^{1,3}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 3. 中科山东东营地理研究院, 东营 257509;

4. 北京林业大学林学院, 北京 100083)

摘要: 研究种植业与养殖业的生产格局及演变趋势是优化种养结构的重要基础, 对保障我国粮食安全具有重要意义。基于全国2000年和2017年335个地市的种养业生产数据集, 利用比较优势理论分析了我国主要作物和畜产品区域比较优势的时空格局演变。结果显示: (1) 近17年, 种植业和养殖业生产的区域比较优势空间格局上均无显著变化, 肉类产出的优势区域呈扩散趋势; (2) 饲料粮(玉米和大豆)生产的优势区域与精饲料消耗为主的牲畜(猪、禽类)优势区域并不匹配。为提升我国农业生产的种养结合水平, 提出以下建议: 区域种植业和养殖业的结构需进行合理化调整; 根据区域种植业规模来确定养殖业规模; 在区域尺度上合理布局有机肥加工厂; 加强有机肥施用技术的研发; 加大对养殖企业粪污处理方面的监管力度。

关键词: 种植业; 养殖业; 比较优势; 市域; 时空格局

20世纪90年代以来, 我国告别了粮食短缺, 基本解决了温饱问题, 农产品的生产能力不断提高^[1,2]。随着我国经济发展, 工资收入增加, 人民生活水平不断改善, 人们对农产品的需求逐渐向营养、安全和健康的消费模式转变^[2,3], 农产品结构与居民消费快速升级不相适应的矛盾日益突出^[4]。此外, 专业化的农业生产导致种植业与养殖业分离, 土壤肥力下降、畜禽粪便不能有效利用等问题并存。优化调整种养业结构是《全国农业可持续发展规划(2015—2030年)》的重要内容^[5], 是提高农业发展质量、解决当前农业生产中资源与环境矛盾的重要路径。研究我国区域种植业与养殖业的生产格局及演变趋势, 是优化调整种养结构的重要基础, 对国家粮食安全保障的理论研究具有重要意义。

关于种植业和养殖业的区域布局研究均已有多篇报道。在种植业方面, 唐华俊等^[6]分析了我国主要农产品区域综合比较优势, 在此基础上提出了优化农产品空间结构的政策建议; 刘珍环等^[7]基于1980—2010年县级统计数据探讨了东北地区种植结构的时空变化特征, 提出种植业结构调整方向应从减少单一玉米型和增加水稻和大豆组合型入手; 雷金银等^[8]分析了1980—2015年宁夏种植结构的时空动态, 发现其种植结构向多元组合型发展, 种植结构类型更加丰富, 布局更加合理。在养殖业方面, 张绪美等^[9]利用省级主要畜禽养

收稿日期: 2020-05-06; 修订日期: 2020-08-14

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA19040303); 中国科学院大学博士研究生国际合作培养计划项目; 中国科学院战略性先导科技专项(XDA23050102); 中国科学院重点部署项目(KFZD-SW-113)

作者简介: 李洋(1991-), 男, 山东邹平人, 博士研究生, 主要从事农业生产结构优化研究。

E-mail: liyangx1991@outlook.com

通讯作者: 孙志刚(1976-), 男, 江苏盐城人, 博士, 研究员, 主要从事农业系统优化与区域可持续发展、遥感与大数据及其在农业中应用等研究。E-mail: sun.zhigang@igsnr.ac.cn

殖量数据,分析了1997—2004年我国不同省份畜禽养殖结构的变化;孙会敏等^[10]分析了2005—2014年吉林省主要畜产品的区域比较优势,提出该省畜牧业供给侧改革重点方向是牛肉和禽肉生产;马丽荣等^[11]采用2008—2015年甘肃省各地市畜禽养殖数据,基于比较优势理论分析了主要畜产品生产区域结构,发现甘肃省目前主要畜产品生产布局基本合理。

综合来看,针对我国种植业和养殖业区域结构的分析已有较多,但多集中在省域尺度^[12-19],对市域尺度的分析较少。我国幅员辽阔,地形复杂,气候类型丰富,省内的农业结构类型也存在差异,省域尺度的种养结构研究还不能很好地反映局部区域的农业结构状况。此外,综合分析种植业和养殖业结构的研究更少。本文在市域尺度上分析我国近17年主要农作物(小麦、水稻、玉米、大豆)和主要畜产品(牛肉、猪肉、羊肉、禽肉)生产区域比较优势的时空格局演变,以期提升种养结构研究的精度以及为合理地调整优化我国种养结构提供理论基础。

1 研究方法与数据来源

1.1 数据来源

数据来源主要为2001年和2018年《各省统计年鉴》《各省农村统计年鉴》《各地级市统计年鉴》,包括全国335个地级市和区域的年农作物播种总面积、年粮食播种面积和产量、年小麦播种面积和产量、年水稻播种面积和产量、年玉米播种面积和产量、年大豆播种面积和产量以及主要畜禽的肉类总产量以及牛肉产量、猪肉产量、羊肉产量和禽肉产量。年鉴统计数据均为前一年的数据,因此研究年份为2000年和2017年。

近17年,我国地级市行政区划有部分调整,为分析区域生产结构的变化趋势,选取2000年和2017年未发生行政区划调整的地级市进行分析,全国共计334个地级市和1个省域;由于海南省地级市行政区划与统计年鉴的地级市数据不匹配,因此将海南省作为一个整体,采用省级数据集进行分析。

1.2 比较优势指数

比较优势原理论证了区域之间在分工和生产专业化基础贸易的互利性,农产品区域比较优势度取决于自然资源生产力、市场需求拉力和环境支撑能力的共同作用^[6]。优势指数法既可以用于一个区域内不同作物或牲畜之间比较优势的分析,也适用于同种作物或牲畜在不同区域之间比较优势的分析^[20,21]。

1.2.1 种植业比较优势指数

(1) 作物规模优势指数(Crop Scale Advantage Index, CSAI)^[20]指某一地区某种农作物生产的规模 and 专业化程度,是地区农作物市场需求及资源禀赋等多种要素条件的体现,计算公式为:

$$CSAI_{bf} = \frac{GS_{bf}/GS_b}{GS_f/GS} \quad (1)$$

式中: $CSAI_{bf}$ 代表 b 区 f 作物的规模优势指数; GS_{bf} 为 b 区 f 作物的播种面积 (hm^2); GS_b 为 b 区农作物播种总面积 (hm^2); GS_f 为全国 f 作物的播种面积 (hm^2); GS 为全国农作物播种总面积 (hm^2)。 $CSAI_{bf} > 1$, 表明 b 区 f 作物生产规模较全国水平具有优势; $CSAI_{bf} < 1$, 表明 b 区 f 作物生产规模较全国水平处于劣势; $CSAI_{bf}$ 值越大, 生产规模优势就越明显。

(2) 作物效率优势指数(Crop Efficient Advantage Index, CEAI)^[20]主要反映作物生产时各种物质、技术的投入以及资源利用的程度,计算公式为:

$$CEAI_{bf} = \frac{AP_{bf}/AP_b}{AP_f/AP} \quad (2)$$

式中： $CEAI_{bf}$ 为**b**区**f**作物效率优势指数； AP_{bf} 为**b**区**f**作物的单位面积产量（ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）； AP_b 为**b**区全部农作物平均单产（ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）； AP_f 为全国**f**作物平均单产（ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）； AP 为全国农作物的平均单产（ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ）。 $CEAI_{bf} > 1$ ，表明**b**区**f**作物生产效率较全国水平具有优势； $CEAI_{bf} < 1$ ，表明**b**区**f**作物生产效率较全国水平处于劣势； $CEAI_{bf}$ 值越大，生产效率优势就越明显。

（3）作物综合优势指数（Crop Comprehensive Advantage Index, CCAI）^[20]是对效率优势指数与规模优势指数进行综合处理，从资源、市场、规模等因素更加全面体现地区农作物优势度，计算公式为：

$$CCAI_{bf} = \sqrt{CSAI_{bf} \times CEAI_{bf}} \quad (3)$$

式中： $CCAI_{bf} > 1$ ，表明**b**区**f**作物生产与全国水平相比具有比较优势； $CCAI_{bf} < 1$ ，表明**b**区**f**作物生产与全国水平相比无优势可言； $CCAI_{bf}$ 值越大，优势越明显。

1.2.2 养殖业比较优势指数

养殖业产量优势指数（Livestock Production Advantage Index, LPAI）^[21]主要反映某一区域畜禽肉类生产的优势度，计算公式为：

$$LPAI_{bf} = \frac{GQ_{bf}/GQ_b}{GQ_f/GQ} \quad (4)$$

式中： $LPAI_{bf}$ 代表**b**区**f**牲畜的产量优势指数； GQ_{bf} 为**b**区**f**牲畜的肉类产量（t）； GQ_b 为**b**区肉类总产量（t）； GQ_f 为全国**f**牲畜的肉类产量（t）； GQ 为全国肉类总产量（t）。 $LPAI_{bf} > 1$ ，表明**b**区**f**牲畜生产较全国水平具有优势； $LPAI_{bf} < 1$ ，表明**b**区**f**牲畜生产规全国水平处于劣势； $LPAI_{bf}$ 值越大，生产优势就越明显。

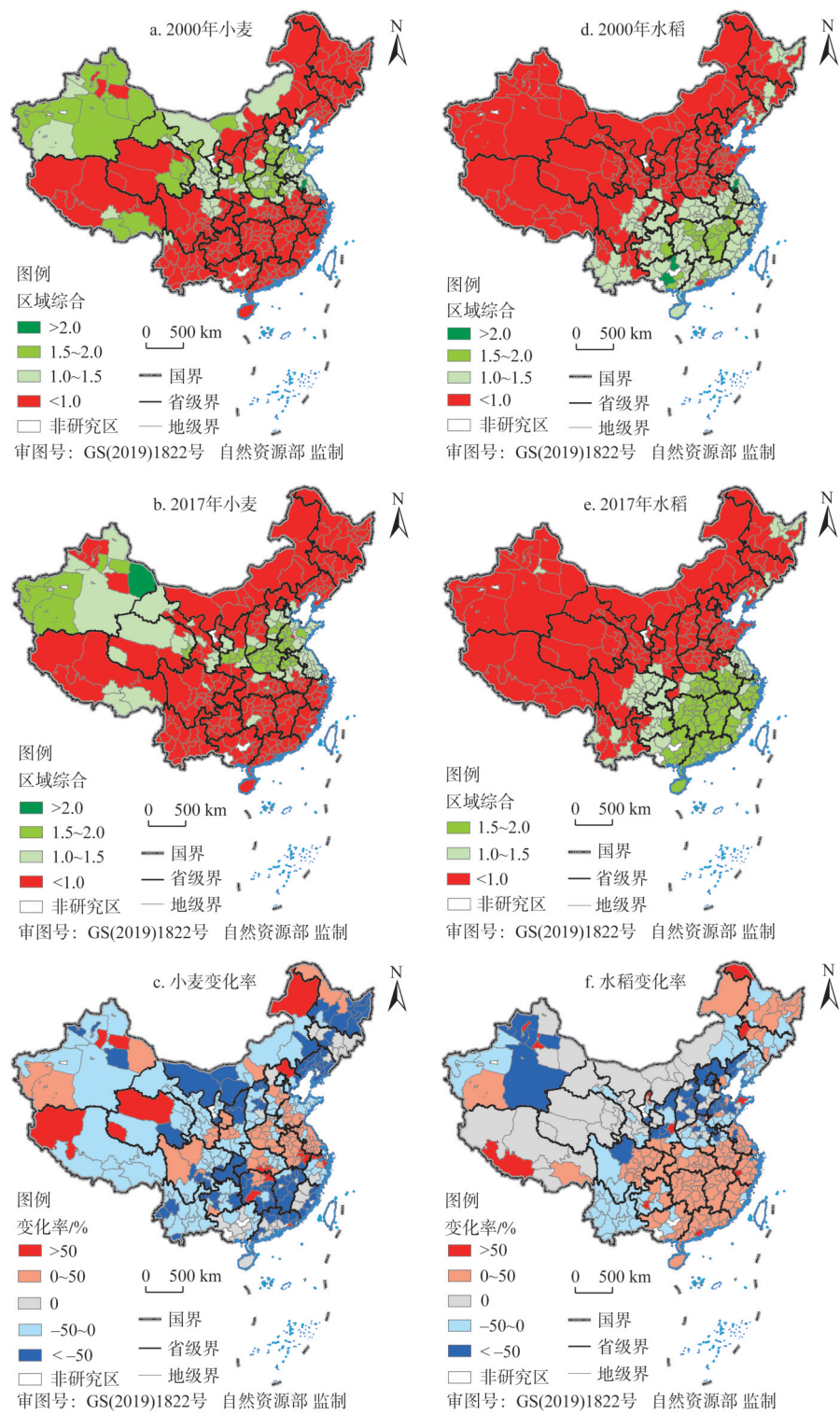
2 结果分析

2.1 主要农作物生产区域比较优势分析

2.1.1 小麦和水稻

图 1a 和图 1b 显示 2000 年和 2017 年全国小麦生产优势区域均集中在华北平原、中部以及西北地区。2017 年 105 个地市小麦生产的区域综合优势指数大于 1，平均值为 1.41，与全国小麦生产水平相比，具有优势；其他地市小麦生产的区域综合优势指数均小于 1，小麦生产处于劣势。近 17 年 92 个地市小麦生产的区域综合优势指数呈增长趋势，优势度增加，主要分布在华北地区、长江流域以及陕甘地区（图 1c）；203 个地市小麦生产的区域综合优势指数呈下降趋势，优势度降低。

图 1d 和图 1e 显示 2000 年和 2017 年全国水稻生产优势区域均集中在我国南方地区和东北部分地区。2017 年 159 个地市水稻生产的区域综合优势指数大于 1，平均值为 1.48，与全国水稻生产水平相比，具有优势；其他地市水稻生产的区域综合优势指数小于 1，水稻生产处于劣势。近 17 年 168 个地市水稻生产的区域综合优势指数呈增长趋势，优势度增加，主要分布在东北三省和南方大部分省份（图 1f）；116 个地市水稻生产的区域综合优势指数呈下降趋势，优势度降低。



注: 本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作, 底图无修改, 下同。

图1 全国市域尺度2000年和2017年小麦和水稻生产的区域综合优势指数空间分布及变化率
Fig. 1 Spatial distribution and change rate of the regional comprehensive advantage index of wheat and rice production in 2000 and 2017 at city level

2.1.2 玉米和大豆

图2a和图2b显示2000年和2017年全国玉米生产优势区域主要集中在北方地区、西北地区以及西南地区。2017年147个地市玉米生产的区域综合优势指数大于1, 平均值为1.25, 与全国玉米生产水平相比, 具有优势; 其他地市玉米生产的区域综合优势指数小于1, 玉米生产处于劣势。近17年113个地市玉米生产的区域综合优势指数呈增长趋势, 优势度增加, 主要分布在长江流域和西部地区(图2c); 196个地市玉米生产的区域综合优势指数呈下降趋势, 优势度降低。

图2d和图2e显示2000年和2017年全国大豆生产优势区域较分散, 主要优势区集中在东北地区、中部部分地区、西北部分地区以及西南地区。2017年83个地市大豆生产的区域综合优势指数大于1, 平均值为1.57, 与全国大豆生产水平相比, 具有优势; 其他地市大豆生产的区域综合优势指数小于1, 大豆生产处于劣势。近17年143个地市大豆生产的区域综合优势指数呈增长趋势, 优势度增加, 主要分布在西南地区、青藏地区以及沿海省市(图2f); 165个地市大豆生产的区域综合优势指数呈下降趋势, 优势度降低。

2.2 主要肉类生产区域比较优势分析

2.2.1 牛肉和羊肉

图3a和图3b显示, 2000年和2017年全国牛肉生产优势区域主要集中在北方草原区、西北地区和青藏地区。2017年132个地市牛肉的区域产量优势指数大于1, 平均值为2.93, 与全国牛肉生产水平相比, 具有优势; 其他地市牛肉的区域产量优势指数小于1, 牛肉生产处于劣势。近17年195个地市牛肉的区域产量优势指数呈增长趋势, 优势度增加, 主要分布在内蒙古和新疆北部、青藏地区、以及南方部分地区(图3c); 133个地市牛肉的区域产量优势指数呈下降趋势, 优势度降低。

图3d和图3e显示, 2000年和2017年全国羊肉生产优势区域主要集中在北方草原区、西北地区和青藏地区。2017年118个地市羊肉的区域产量优势指数大于1, 平均值为4.18, 与全国羊肉生产水平相比, 具有生产优势; 其他地市羊肉的区域产量优势指数小于1, 羊肉生产处于劣势。近17年148个地市羊肉的区域产量优势指数呈增长趋势, 优势度增加, 主要分布在东北地区、长江流域和华南地区(图3f); 178个地市羊肉的区域产量优势指数呈下降趋势, 优势度降低。

2.2.2 猪肉和禽肉

图4a和图4b显示, 2000年和2017年全国猪肉生产优势区域主要集中在南方地区、中部及东北部分区域。2017年175个地市猪肉的区域产量优势指数大于1, 平均值为1.20, 与全国猪肉生产水平相比, 具有优势; 其他地市猪肉的区域产量优势指数小于1, 猪肉生产处于劣势。近17年175个地市猪肉的区域产量优势指数呈增加趋势, 优势度增加, 主要分布在东北地区、华北地区以及甘肃、陕西、湖南、湖北等省份(图4c); 146个地市猪肉的区域产量优势指数呈下降趋势, 优势度降低。

图4d和图4e显示, 2000年和2017年全国禽肉生产的优势区域主要集中在东部沿海以及东北部分区域。2017年114个地市禽肉的区域产量优势指数大于1, 平均值为1.66, 与全国禽肉生产水平相比, 具有生产优势; 其他地市禽肉的区域产量优势指数小于1, 禽肉生产处于劣势。近17年162个地市禽肉的区域产量优势指数呈增长趋势, 优势度增加, 主要分布在华北地区、云贵川地区以及长江流域等地市(图4f); 160个地市禽肉的区域产量优势指数呈下降趋势, 优势度降低。

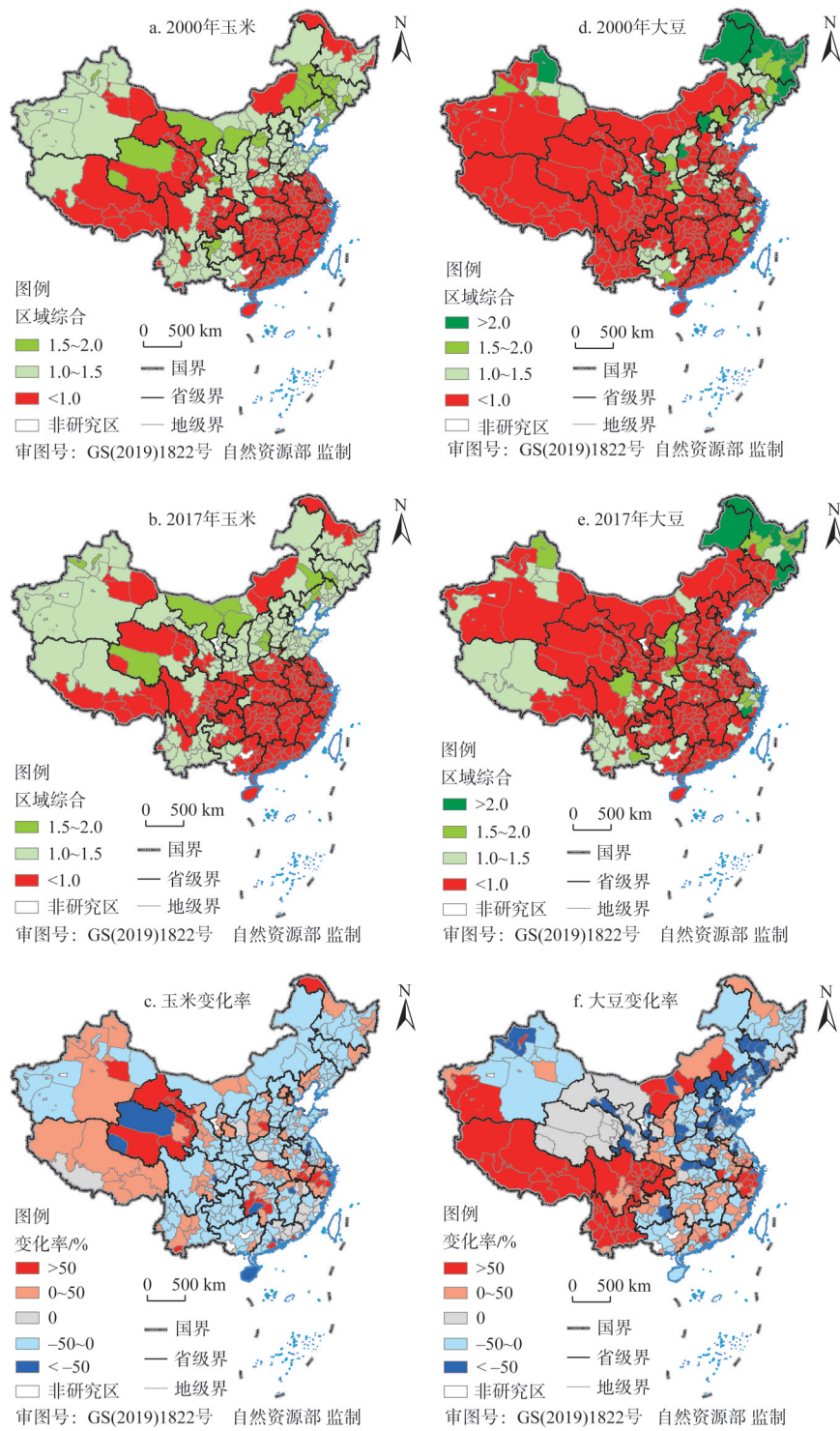


图2 全国市域尺度2000年和2017年玉米和大豆生产的区域综合优势指数空间分布及变化率

Fig. 2 Spatial distribution and change rate of the regional comprehensive advantage index of maize and soybean production in 2000 and 2017 at city level

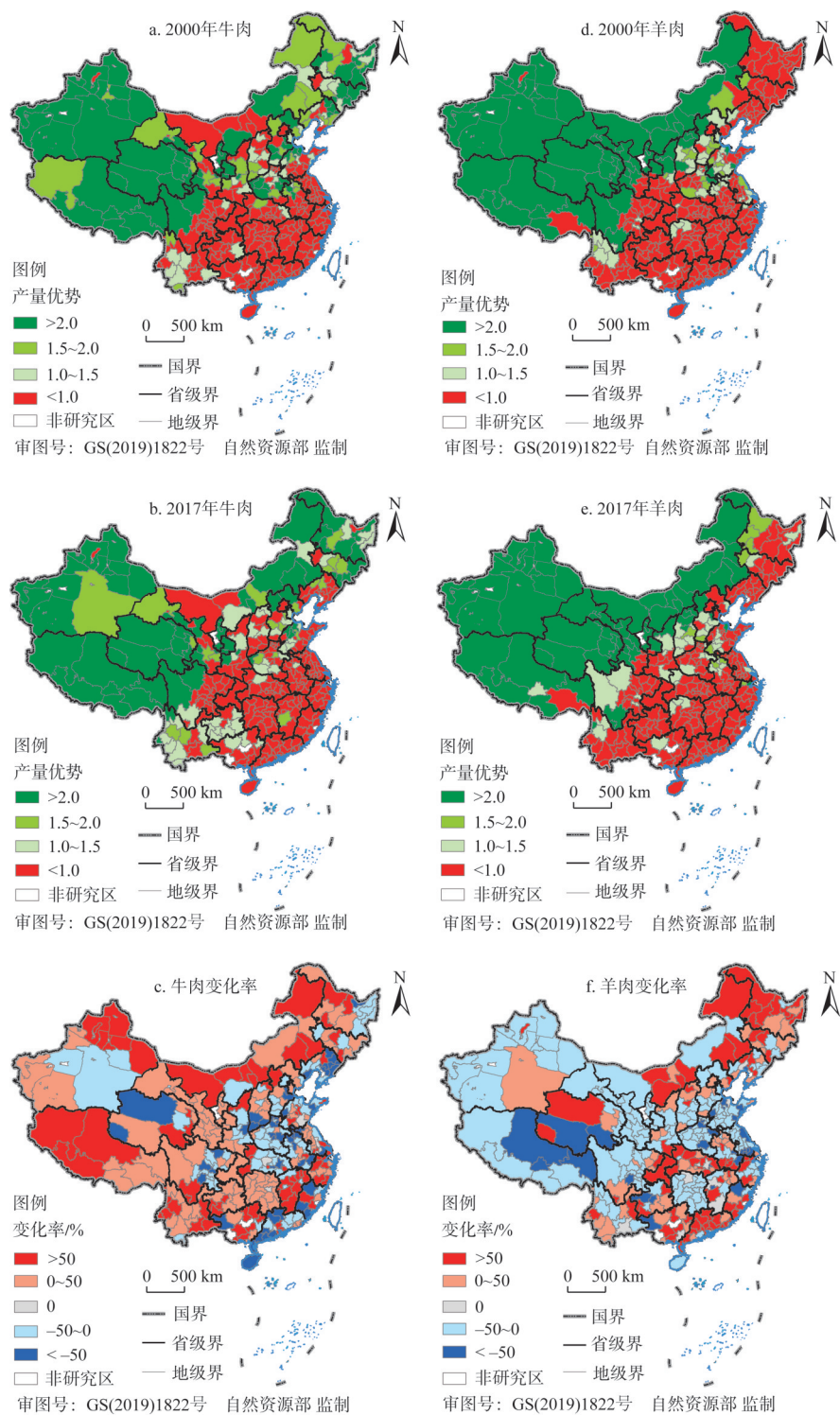


图3 全国市域尺度2000年和2017年牛肉和羊肉生产的区域产量优势指数空间分布及变化率

Fig. 3 Spatial distribution and change rate of the regional production advantage index of beef and mutton production in 2000 and 2017 at city level

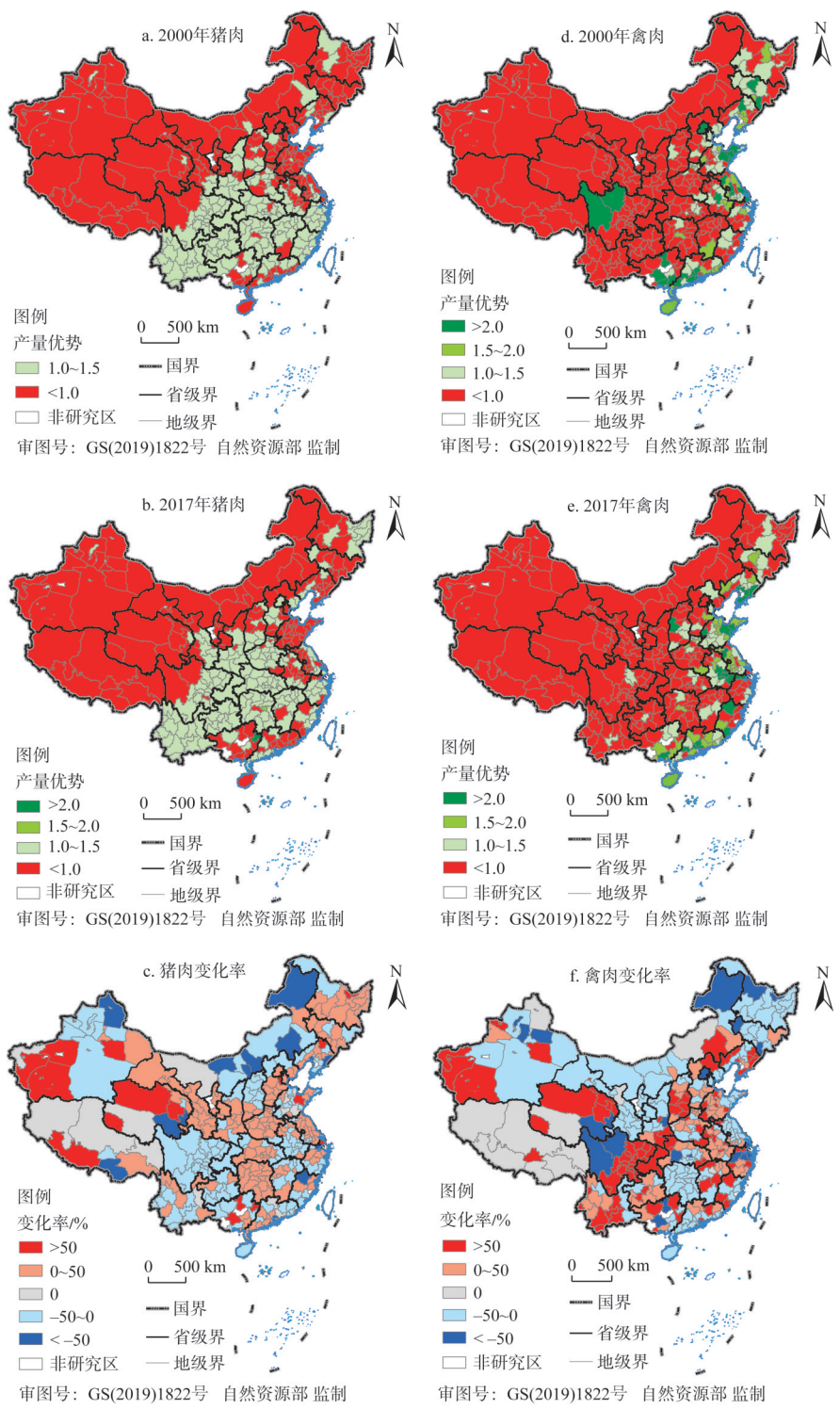


图4 全国市域尺度2000年和2017年猪肉和禽肉生产的产量优势指数空间分布及变化率

Fig. 4 Spatial distribution and change rate of the regional production advantage index of pork and poultry production in 2000 and 2017 at city level

3 结论与讨论

3.1 结论

为综合分析我国种养结构的时空格局及演变,本文基于市域尺度数据分析了我国口粮(小麦和水稻)、饲料粮(玉米和大豆)、草食牲畜(牛和羊)与集约化牲畜(猪和禽类)生产的区域比较优势,主要结论如下:

(1) 近17年,我国种植业生产的区域比较优势空间格局上无显著变化。小麦生产比较优势区域主要集中在华北平原、中部地区以及西北地区;水稻生产比较优势区域主要集中在南方地区和东北部分地区;玉米生产比较优势区域主要集中在北方地区、西北地区和西南地区;大豆生产比较优势区域较为分散。

(2) 养殖业生产区域比较优势空间格局上无显著变化,而肉类产出优势区域呈扩散趋势。草食牲畜(牛和羊)生产比较优势区域主要集中在草原地区;猪肉生产比较优势区域集中在东北、中部及南方地区;禽类生产比较优势区域主要集中在东部沿海及东北部分区域。

(3) 饲料粮(玉米和大豆)生产的优势区域与精饲料消耗为主的牲畜(猪、禽类)优势区域并不匹配。

通过分析我国市域尺度种养结构空间格局,基于我国种养业生产模式现状,为提升种养结合水平,实现我国农业生产可持续生产提出以下建议:

- (1) 通过调整区域种植业和养殖业结构,最大化实现种养结构平衡;
- (2) 根据区域种植业的规模确定养殖业规模;
- (3) 合理布局有机肥加工厂,将湿粪便通过发酵转化为干粪便或商品颗粒有机肥;
- (4) 加强有机肥施用技术研发;
- (5) 制定相关政策,加大对养殖企业粪污处理方面的监管力度。

3.2 讨论

建立不同尺度的空间连续系列研究是地理学和现代生态学重要的研究内容^[22,23]。大尺度(省域尺度)的分析易忽略小尺度(市域尺度)的空间格局,陈培阳等^[24]研究发现小尺度分析比大尺度分析更能揭示地区发展格局的空间依赖性和空间异质性特征。种植业的生产主要受到当地气候、土壤等自然条件和经济、文化、种植习惯等社会经济的影响^[25]。养殖业的生产结构主要受到土地利用类型、需求、文化等的影响。我国地域辽阔,气候类型复杂,社会经济区域发展不平衡,区域分异性强^[26]。过去针对种植业和养殖业生产比较优势的研究多集中于省域尺度或我国部分市域尺度,而省域尺度内部土地利用类型、经济发展水平、需求与文化也存在差异。将研究尺度缩小到市域水平,将大大提高研究结果的精度,为市域种养结构的优化调整提供理论支撑。

3.2.1 种植业生产的比较优势时空格局演变

近17年种植业生产的区域比较优势空间格局上无显著变化。作物受温度、光、水等因素的影响,其生产区域分布变化不大。小麦生产的比较优势区域集中在华北平原、中部地区以及西北地区,这与檀竹平等^[16]的研究类似,但略有不同。例如,其研究在省域尺度,且安徽省具有综合比较优势,而本文发现安徽省16个地市中,有7个地市小麦生产并没有综合比较优势,本文提升了结果精度。华北平原和中部地区冬小麦生产不仅具有良好的气候、地形、土壤、河湖等自然资源禀赋条件,还具有机械化水平高等经济禀赋条件^[16],小麦种植具有综合性比较优势。同样,西北地区小麦种植面积广阔,机械化程度高,也属于种植的综合优势区。近17年小麦种植优势区中,华北部分地区小麦种植优势

度增加,西北部分地区小麦种植优势度降低。水稻生产的比较优势区域集中在南方地区和东北部分地区。南方地区水热资源丰沛,为我国水稻种植的重要优势区域^[14,27];省域尺度上,程叶青等^[28]研究显示东北地区水稻种植处于劣势,而在市域尺度上,部分地市(例如,盘锦、鹤岗、鸡西等)水资源丰沛,水稻种植具有区域综合比较优势。近17年水稻种植优势区中,东北三省^[29]和南方大部分省份优势度均在增加^[30],而西南地区优势度在降低。玉米生产的比较优势区主要集中在北方地区、西北地区 and 西南地区,这与赵芳^[19]的研究结果略有不同,主要因为其仅选取了玉米总产量位居全国前十位的省份作为研究对象,而新疆、云南等省份被忽略。大豆生产的比较优势区域比较分散,主要集中在东北地区、中部、西北部分地区以及西南地区。东北地区日照充足、温差大、降水集中,适宜高油优质大豆的生产^[18]。近17年大豆种植优势区中,西南地区、青藏地区以及沿海省市优势度增加,而大部分地区优势度降低,这与大豆生产成本较高密切相关^[18]。

3.2.2 养殖业生产的比较优势时空格局演变

近17年我国养殖业生产的区域比较优势空间格局上无显著变化,而肉类产出的区域优势度变化较大,肉类生产布局呈扩散趋势。畜禽养殖受饲料、市场需求的影响较大,社会经济的发展,工资收入的增加,人民生活水平的提高,使得我国对肉类的需求量激增。牛肉生产的比较优势区域集中在北方草原区、西北地区和青藏地区,这与司智陟^[15]、贾茂辉等^[31]的研究相似。近17年牛肉生产的比较优势区中,内蒙古和新疆北部、青藏地区以及南方部分地区的牛肉生产优势度增加,西北部分地市牛肉生产优势度下降;牛肉生产的非优势区中,南方有较多地市牛肉生产优势度增加,显示牛肉生产布局呈扩散趋势。与牛肉生产相似,羊肉生产的比较优势区域集中在北方草原区、西北地区和青藏地区,表明牧区仍为我国肉羊最具优势的地区,这与王士权等^[17]的研究相似。近17年羊肉生产比较优势区域中,大部分地市羊肉生产优势度下降,内蒙草原及西北部分地市优势度增加;肉羊生产非优势区中,南方地区多数地市优势度呈增长趋势,显示羊肉生产布局呈扩散趋势。猪肉生产的比较优势区域集中在东北、中部及南方地区,这与饲养环境、饲料资源和消费传统等因素有关^[13]。近17年猪肉生产的比较优势区域中,中部、南方部分地市及东北地区猪肉生产的优势度增加,而南方多数地市猪肉生产优势度下降,有研究发现我国生猪的主产省份由南方向北方扩散、东部经济发达省份向中西部地区转移^[32]。禽肉生产的比较优势区域集中在东部沿海及东北部分区域,这与胡浩等^[12]的研究相似。近17年,禽肉生产比较优势区中,多数地市禽肉生产区域优势度增加,东北及华南部分地市禽肉生产区域优势度降低;禽肉生产非优势区中,西南多数地市优势度增加,显示禽肉生产布局呈扩散趋势^[12]。

3.2.3 以种养结合为理论基础的种养结构调整

改革开放以来,工业资源的投入使得种植业和养殖业生产专业化、集约化水平不断提高,种养分离现象突出^[33,34]。集约化养殖背景下,粪便处理不当、还田率低、污染土壤资源和水资源等问题严重。此外,联合国粮食及农业组织指出,当前集约化的农业生产方式是不可持续的,会造成生物多样性丧失、土壤退化、地下水过度开采等问题^[35-39]。随着我国经济发展,人民收入提高,膳食结构改变,对畜产品的需求巨大,有研究显示我国牲畜养殖数量在不到30年的时间里增长了三倍^[40],未来我国养殖业发展必然产生更多的畜禽粪便。因此,合理利用粪便资源、解决粪便污染问题对我国实现农业生产的可持续发展具有重要意义。种养结合主要表现为种植业为养殖业提供饲料,养殖业为种植业提供肥料,这能够促进畜禽粪便的合理利用,解决粪便污染问题,减少化肥的施用量,提高种植区土壤肥力和质量,提升农业生态系统的自我调节能力,是农业可持续发展的

重要路径^[41-44]。当前, 实现种养结合的关键是解决畜禽粪便还田问题。

我国牧区以天然草地为主要载体, 主要分布在内蒙古、新疆、西藏和青海, 养殖业以草食牲畜为主, 牛肉、羊肉的区域生产综合优势明显。牛、羊养殖过程中以放牧为主, 粪便作为养分自然返回到草地中, 种养结合在形式上表现出良好的态势。但是, 牧区要遵循草地承载力, 根据草地载畜量调整养殖业(牛、羊等)的数量及放牧强度, 使牧草供给量与牲畜饲草需求量达到平衡^[45], 从而实现生态友好的种养结合农业生产方式。我国农区以粮食作物生产为主, 玉米和大豆等饲料粮主要为专业化、集约化的畜牧生产提供精饲料。因此, 农区的养殖业主要以食用精饲料的牲畜(猪、禽类)为主, 而以饲草为主的牛、羊养殖相对薄弱。我国农区是种养分离的主要区域, 主要表现为以下两个方面: (1) 饲料粮(玉米和大豆)生产的优势区域与精饲料消耗为主的牲畜(猪、禽类)优势区域并不匹配。我国南方地区作为生猪养殖的优势区域需要大量的饲料粮, 而我国玉米和大豆生产的比较优势区域均不在南方地区, 造成了我国当前需要“北粮南运”的现状^[46], 这极大地增加了我国饲料粮、畜产品的运输内耗。(2) 畜禽粪便还田率低^[47,48], 极易造成粪便面源污染, 间接导致粪便资源浪费。我国农区主要以集约化、专业化的化学农业模式为主, 产量较高, 而粪便有机肥的使用较少或不使用有机肥, 切断了种植业和养殖业的联系, 造成了种养分离。

为此, 提出以下建议: (1) 通过调整区域种植业和养殖业结构, 最大化地实现种养结构平衡。在北方玉米、大豆生产优势区, 适当扩大猪、禽类等以精饲料消耗为主牲畜的养殖规模; 南方地区的低产田适当种植玉米、大豆等饲料粮, 满足牲畜养殖需要。(2) 种植业是养殖业粪便最合适的接受者^[49], 因此根据区域种植业规模确定养殖业规模, 是保证畜禽粪便合理利用、不造成环境污染的前提。(3) 畜禽粪便运输成本较高, 合理布局有机肥加工厂, 将湿粪便通过发酵转化为干粪便或商品颗粒有机肥能够解决粪便运输成本高、难处理等问题。(4) 加强有机肥施用技术的研发, 提高作物有机肥的施用比例, 降低作物化肥的施用比例。(5) 制定相关政策, 加大对养殖企业粪污处理方面的监管力度, 是解决粪便污染问题、合理利用粪便资源的关键。例如, 丹麦等国家已制定相关政策, 要求养殖农场主保证其养殖产生的氮量必须与能够接受氮量的农业耕地(种植业)达到平衡^[50]。

参考文献(References):

- [1] 李鹏, 谭向勇, 王玉斌. 从食物保障状况看中国当前粮食安全. 中国农村经济, 2005, (6): 4-10. [LI P, TAN X Y, WANG Y B. Viewing China's current food security from the perspective of food supply. Chinese Rural Economy, 2005, (6): 4-10.]
- [2] 姚成胜, 滕毅, 黄琳. 中国粮食安全评价指标体系构建及实证分析. 农业工程学报, 2015, 31(4): 1-10. [YAO C S, TENG Y, HUANG L. Evaluation index system construction and empirical analysis on food security in China. Transactions of the CSAE, 2015, 31(4): 1-10.]
- [3] 胡小平, 星焱. 新形势下中国粮食安全的战略选择: "中国粮食安全形势与对策研讨会"综述. 中国农村经济, 2012, (1): 92-96. [HU X P, XING Y. The strategic choice of China's food security in the new situation: Review of the "China Food Security Situation and Countermeasures Seminar". Chinese Rural Economy, 2012, (1): 92-96.]
- [4] 中国农业部. 农业部关于进一步调整优化农业结构的指导意见. 农村牧区机械化, 2015, (2): 9-13. [The Ministry of Agriculture. Guiding opinions of the Ministry of Agriculture on further adjustment and optimization of agricultural structure. Mechanization of Rural Livestock Areas, 2015, (2): 9-13.]
- [5] 中国农业部. 全国农业可持续发展规划(2015—2030年). 农村实用技术, 2016, (4): 5-15. [The Ministry of Agriculture. National agricultural sustainable development plan (2015-2030). Applicable Technologies for Rural Areas, 2016, (4): 5-15.]
- [6] 唐华俊, 罗其友. 基于比较优势的种植业区域结构调整. 中国农业资源与区划, 2001, 22(5): 37-41. [TANG H J, LUO Q Y. Regional structure adjustment based on the comparative advantages. Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 2001, 22(5): 37-41.]
- [7] 刘珍环, 唐鹏钦, 范玲玲, 等. 1980—2010年东北地区种植结构时空变化特征. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4107-

4119. [LIU Z H, TANG P Q, FAN L L, et al. Spatial-temporal changes of cropping types in Northeast China during 1980-2010. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(21): 4107-4119.]
- [8] 雷金银, 吴霞, 王长军, 等. 1980—2015年宁夏农作物种植结构时空变化特征分析. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(12): 172-178. [LEI J Y, WU X, WANG C J, et al. Spatio-temporal changes of crop patterns in Ningxia during 1980-2015. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(12): 172-178.]
- [9] 张绪美, 董元华, 王辉, 等. 中国畜禽养殖结构及其粪便N污染负荷特征分析. *环境科学*, 2007, 28(6): 1311-1318. [ZHANG X M, DONG Y H, WANG H, et al. Structure of livestock and variation of fecal nitrogen pollution load in China. *Environmental Science*, 2007, 28(6): 1311-1318.]
- [10] 孙会敏, 张越杰. 基于比较优势的吉林省畜牧业供给侧改革研究. *中国畜牧杂志*, 2017, 53(3): 136-140. [SUN H M, ZHANG Y J. Research on supply-side reform of husbandry industry in Jilin province based on comparative advantage. *Chinese Journal of Animal Science*, 2017, 53(3): 136-140.]
- [11] 马丽荣, 张邦林, 赵有彪. 基于比较优势理论的甘肃省主要畜产品生产区域结构研究. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(11): 230-236. [MA L R, ZHANG B L, ZHAO Y B. Study on the regional structure of main livestock products based on comparative advantage theory in Gansu province. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(11): 230-236.]
- [12] 胡浩, 张锋. 中国肉鸡业区域比较优势分析. *湖南农业大学学报: 社会科学版*, 2010, 11(1): 1-5, 33. [HU H, ZHANG F. The economic analysis on the production layout of broiler industry in China. *Journal of Hunan Agricultural University: Social Sciences*, 2010, 11(1): 1-5, 33.]
- [13] 胡浩, 张锋, 黄延珩, 等. 中国猪肉生产的区域性布局及发展趋势分析. *中国畜牧杂志*, 2009, 45(20): 43-47. [HU H, ZHANG F, HUANG Y J, et al. Analysis of regional distribution and development trend of pork production in China. *Chinese Journal of Animal Science*, 2009, 45(20): 43-47.]
- [14] 刘书通, 李春生, 方福平, 等. 我国水稻生产区域变化及其比较优势分析. *中国稻米*, 2014, 20(4): 9-13. [LIU S T, LI C S, FANG F P, et al. Study on the variation and comparative advantage of regional rice production structure in China. *China Rice*, 2014, 20(4): 9-13.]
- [15] 司智陟. 我国牛肉生产区域比较优势分析. *中国畜牧杂志*, 2011, 47(18): 19-21. [SI Z Z. Analysis of comparative advantage of China's beef production region. *Chinese Journal of Animal Science*, 2011, 47(18): 19-21.]
- [16] 檀竹平, 高雪萍. 1997—2016年中国小麦种植区域比较优势及空间分布. *河南农业大学学报*, 2018, 52(5): 825-838. [TANG Z P, GAO X P. Comparative advantage and spatial distribution of wheat in China from 1997 to 2016. *Journal of Henan Agricultural University*, 2018, 52(5): 825-838.]
- [17] 王士权, 王文义, 常倩, 等. 中国肉羊主产区比较优势分析. *中国畜牧杂志*, 2015, 51(22): 3-9. [WANG S Q, WANG W Y, CHANG Q, et al. Analysis of comparative advantages of main production areas of Chinese meat sheep. *Chinese Journal of Animal Science*, 2015, 51(22): 3-9.]
- [18] 杨丹, 朱满德. 我国大豆生产格局与区域比较优势演变探析. *国土与自然资源研究*, 2020, (1): 58-64. [YANG D, ZHU M D. Analysis on the evolution of soybean production patterns and regional comparative advantages in China. *Territory & Natural Resources Study*, 2020, (1): 58-64.]
- [19] 赵芳. 中国玉米生产比较优势分析. *财经问题研究*, 2010, (8): 48-51. [ZHAO F. Analysis of comparative advantages of maize production in China. *Research on Financial and Economic Issues*, 2010, (8): 48-51.]
- [20] 胡艳君, 乔娟. 比较优势与山西省种植业结构调整. *中国农业资源与区划*, 2004, 25(3): 20-25. [HU Y J, QIAO J. Comparative priority and structure adjustment of plant industry in Shanxi province. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2004, 25(3): 20-25.]
- [21] 李瑾, 秦向阳. 基于比较优势理论的我国畜牧业区域结构调控研究. *农业现代化研究*, 2009, 30(1): 6-10. [LI J, QIN X Y. Regional structure regulation of livestock husbandry based on comparative advantage theory. *Research of Agricultural Modernization*, 2009, 30(1): 6-10.]
- [22] 蔡运龙, 陆大道, 周一星, 等. 地理科学的中国进展与国际趋势. *地理学报*, 2004, 59(6): 803-810. [CAI Y L, LU D D, ZHOU Y X, et al. Chinese progress and international trends of geography. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 803-810.]
- [23] 张娜. 生态学中的尺度问题: 内涵与分析方法. *生态学报*, 2006, 26(7): 2340-2355. [ZHANG N. Scale issues in ecology: Concepts of scale and scale analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2340-2355.]
- [24] 陈培阳, 朱喜钢. 基于不同尺度的中国区域经济差异. *地理学报*, 2012, 67(8): 1085-1097. [CHEN P Y, ZHU X G. Regional inequalities in China at different scales. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1085-1097.]
- [25] 李祎君, 王春乙. 气候变化对我国农作物种植结构的影响. *气候变化研究进展*, 2010, 6(2): 123-129. [LI Y J, WANG C Y. Impacts of climate change on crop planting structure in China. *Advances in Climate Change Research*, 2010, 6(2): 123-129.]

- [26] 于贵瑞, 谢高地, 于振良, 等. 我国区域尺度生态系统管理中的几个重要生态学命题. 应用生态学报, 2002, 13(7): 885-891. [YU G R, XIE G D, YU Z L, et al. Important ecological topics on regional scale ecosystem management in China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(7): 885-891.]
- [27] 朱红根. 气候变化对中国南方水稻影响的经济分析及其适应策略. 南京: 南京农业大学, 2010. [ZHU H G. The economic analysis of climate change impact on rice in Southern China and its adaptive strategies. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.]
- [28] 程叶青, 何秀丽. 东北地区粮食生产的结构变动及比较优势分析. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3): 1-7. [CHENG Y Q, HE X L. An analysis of structure change and comparative advantage of grain production in Northeast China. Agriculture Research in the Arid Areas, 2005, 23(3): 1-7.]
- [29] 杨鑫, 穆月英. 灌溉水压力, 供给弹性与粮食生产结构: 基于变系数 Nerlove 模型. 自然资源学报, 2020, 35(3): 728-742. [YANG X, MU Y Y. Irrigation water pressure, supply elasticity and grain production structure based on heterogeneous coefficient Nerlove model. Journal of Natural Resources, 2020, 35(3): 728-742.]
- [30] 胡忆雨, 朱颖璇, 杨雨豪, 等. 1951—2015 年中国主要粮食与油料作物种植结构变化分析. 中国农业大学学报, 2019, 24(11): 183-196. [HU Y Y, ZHU Y X, YANG Y H, et al. Changes of the planting structure of major food and oil crops in China from 1951 to 2015. Journal of China Agricultural University, 2019, 24(11): 183-196.]
- [31] 贾茂辉, 王桂霞. 中国肉牛主产区空间布局变迁的实证分析. 吉林农业, 2012, (3): 27-28. [JIA M H, WANG G X. An empirical analysis of the changes in the spatial distribution of the main production regions of Chinese cattle. Jilin Agriculture, 2012, (3): 27-28.]
- [32] 谭莹, 张俊艳, 何勤英. 中国生猪生产布局演进历程及区域优化研究. 黑龙江畜牧兽医, 2018, (6): 6-10. [TAN Y, ZHANG J Y, HE Q Y. Research on the evolution and regional optimization of pig production layout in China. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2018, (6): 6-10.]
- [33] MORAINÉ M, DURU M, THEROND O. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop-livestock systems from farm to territory levels. Renewable Agriculture and Food Systems, 2017, 32(1): 43-56.
- [34] 李洋, 孙志刚, 张旭博, 等. 种养系统可持续发展指数的空间格局及其演变趋势: 以山东省为例. 应用生态学报, 2019, 30(7): 2371-2383. [LI Y, SUN Z G, ZHANG X B, et al. Spatial pattern and evolutionary trend of sustainable development index of crop-livestock system: A case study in Shandong province, China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(7): 2371-2383.]
- [35] ASAI M, MORAINÉ M, RYSCHAWY J, et al. Critical factors for crop-livestock integration beyond the farm level: A cross analysis of worldwide case studies. Land Use Policy, 2018, 73: 184-194.
- [36] ROCKSTROM J, STEFFEN W, NOONE K, et al. A safe operating space for humanity. Nature, 2009, 461(7263): 472-475.
- [37] RYSCHAWY J, MARTIN G, MORAINÉ M, et al. Designing crop-livestock integration at different levels: Toward new agroecological models?. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2017, 108(1): 5-20.
- [38] SNEESSENS I, VEYSSET P, BENOIT M, et al. Direct and indirect impacts of crop-livestock organization on mixed crop-livestock systems sustainability: A model-based study. Animal: An International Journal of Animal Bioscience, 2016, 10(11): 1911.
- [39] TILMAN D, CASSMAN K G, MATSON P A, et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature, 2002, 418(6898): 671-677.
- [40] BAI Z, MA W, MA L, et al. China's livestock transition: Driving forces, impacts, and consequences. Science Advances, 2018, 4(7): 8534.
- [41] THORNTON P K, HERRERO M. Climate change adaptation in mixed crop-livestock systems in developing countries. Global Food Security, 2014, 3(2): 99-107.
- [42] 孟祥海, 周海川, 周海文. 区域种养平衡估算与养殖场种养结合意愿影响因素分析: 基于江苏省的实证研究. 生态与农村环境学报, 2018, 34(2): 132-139. [MENG X H, ZHOU H C, ZHOU H W. Balancing of planting-breeding on a region scale and factors affecting willingness of livestock farms for planting-breeding combination: A case study in Jiangsu province. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018, 34(2): 132-139.]
- [43] RUSSELLE M P, ENTZ M H, FRANZLUEBBERS A J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. Agronomy Journal, 2007, 99(2): 325-334.
- [44] 邱乐丰, 龙文莉, 方豪, 等. 基于种养平衡的杭州市畜禽养殖环境承载力研究. 自然资源学报, 2016, 31(8): 1410-1419. [QIU L F, LONG W L, FANG H, et al. Regional environmental carrying capacity for livestock and poultry breeding based on planting-breeding balance in Hangzhou city. Journal of Natural Resources, 2016, 31(8): 1410-1419.]
- [45] 徐敏云, 贺金生. 草地载畜量研究进展: 概念、理论和模型. 草业学报, 2014, 23(3): 313-324. [XU M Y, HE J S. A re-

- view of grassland carrying capacity: Definition, theoretical consideration and model. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(3): 313-324.]
- [46] 辛良杰, 王立新, 刘爱民. 我国饲料粮区域产消平衡特征及政策启示. *自然资源学报*, 2018, 33(6): 965-977. [XIN L J, WANG L X, LIU A M. Regional production and consumption equilibrium of feed grain in China and its policy implication. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(6): 965-977.]
- [47] 农业部. 我国畜禽粪便养分还田率低于 50%. *中国猪业*, 2015, 10(11): 78. [Ministry of Agriculture. The nutrient return rate of livestock manure in China is less than 50%. *China Swine Industry*, 2015, 10(11): 78.]
- [48] 刘晓永, 李书田. 中国畜禽粪尿养分资源及其还田的时空分布特征. *农业工程学报*, 2018, 34(4): 1-14, 316. [LIU X Y, LI S T. Temporal and spatial distribution of nutrient resource from livestock and poultry feces and its returning to cropland. *Transactions of the CSAE*, 2018, 34(4): 1-14, 316.]
- [49] 武兰芳, 欧阳竹, 谢小立. 不同种养结合区农田系统氮磷平衡分析. *自然资源学报*, 2011, 26(6): 943-954. [WU L F, OUYANG Z, XIE X L. Nireogen and phosphorus balance of cropland at regional scale for integrated crop-livestock farming system in two different areas. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(6): 943-954.]
- [50] ASAI M, LANGER V, FREDERIKSEN P, et al. Livestock farmer perceptions of successful collaborative arrangements for manure exchange: A study in Denmark. *Agricultural Systems*, 2014, 128: 55-65.

Spatio-temporal evolution of regional structure about crops and livestock in China based on the theory of comparative advantage

LI Yang^{1,2}, SUN Zhi-gang^{1,2,3}, LIU En-yuan⁴, SHAO Chang-xiu^{1,3}

(1. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Resource and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Zhongke Shandong Dongying Institute of Geography, Dongying 257509, Shandong, China; 4. The College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Studying the production pattern and evolution trend of crop and livestock is an important basis for optimizing crop-livestock structure to realize food security. Based on the production data sets of 335 cities in 2000 and 2017, this paper used the theory of comparative advantage to analyze the spatio-temporal evolution of the regional comparative advantages of major crops and livestock products in China. The results showed that: (1) In the past 17 years, there was no significant change in the spatial pattern of regional comparative advantages about crops and livestock products. The regions, which had the comparative advantage of meat, had been spreading. (2) The comparative advantage regions for the feed production (corn and soybeans) did not match the comparative advantage regions for livestock (pigs and poultry), where concentrated feed was mainly consumed. To improve the level of integrated crop-livestock in China, the following suggestions are put forward: rationally adjusting the regional crop-livestock structure; controlling the scale of the livestock according to the scale of the regional crops; rationally allocating the distribution of manure fertilizer factories in the spatial pattern; advancing the progress of the technology so as to apply more manure fertilizer and less chemical fertilizer to crops; and strengthening the supervision of manure treatment of livestock factories.

Keywords: crops; livestock; comparative advantage; cities; spatio-temporal pattern