

我国近 20 年主要粮食作物产量、进出口及化肥投入变化特征

宋红梅^{1,2}, 李廷亮¹, 刘 洋¹, 黄 璐¹, 杨立帆¹

(1.山西农业大学资源环境学院,山西 太谷 030801;2.山西师范大学地理科学学院,太原 030031)

摘要: 为明确我国近年来主要粮食作物产量、进出口及化肥投入变化特征,基于中国统计年鉴数据,分析我国 2000—2020 年稻谷、小麦、玉米、豆类和薯类 5 种粮食作物的总产、单产、播种面积、进出口量及化肥投入的时空变化特征。结果表明:我国主要粮食产量在 2003—2020 年间连续 17 年递增,粮食总产的增加主要表现为东北、华北和西北农区玉米产量的增加。近 20 年 5 种粮食作物单产水平均呈上升趋势,以稻谷单产最高,但小麦单产提升幅度最高,为 89.9%,稻谷单产提升幅度最低,为 12.3%。与 2000 年相比,我国 5 种作物播种面积增加 10.4%,总体上我国粮食播种面积和单产水平对粮食增产的贡献率分别为 19.9%和 80.1%。2000—2020 年,我国稻谷、小麦、玉米和大豆 4 种作物进口量呈增加趋势,其中以大豆进口量最高,2020 年占到 4 种粮食进口量的 82.6%。我国化肥用量和施用强度均经历先增后减过程,峰值为 2015 年的 6 022.6 万 t。我国化肥用量主要集中在华北农区和长江中下游农区,年均化肥用量占全国年均投入量(5 146.5 万 t)的 55.1%,化肥施用强度则以东南农区和华北农区最大,分别较全国平均水平(322.6 kg/hm²)高 66.4%和 25.7%。综合上述,我国近 20 年主要粮食作物总产量整体呈增加趋势,粮食平均单产提高是我国粮食增产的主要贡献因子,我国粮食进出口由最初的调剂余缺转变为以大豆为主的大规模进口,化肥总用量以 2015 年为峰值经历先增后减变化规律。

关键词: 粮食总产量; 粮食单产; 粮食播种面积; 化肥总用量

中图分类号: S5; S143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2023)01-0332-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbxb.2023.01.042

Temporal Variation of Main Grain Crops Yield, Import and Export and Fertilizer Consumption of China in the Past 20 Years

SONG Hongmei^{1,2}, LI Tingliang¹, LIU Yang¹, HUANG Lu¹, YANG Lifan¹

(1.College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801; 2.School of Geographical Sciences, Shanxi Normal University, Taiyuan 030031)

Abstract: To clarify the characteristics of main grain yield, import and export, fertilizer consumption, this study analyzed the spatial and temporal variations of total yield, yield per unit area, sowing area, chemical fertilizer consumption and import and export of the five food crops (paddy, wheat, maize soybean and potato) in China during 2000—2020. The data of which were all from the China Statistical Yearbook (2000—2021). The results showed a progressive increase in the main grain yield of China for 17 years during the 2003—2020, the increase mainly presented in higher maize yield in northeast, north and northwest agricultural areas. In the past 20 years, grain crops yield of five crops showed an increasing trend, the highest yield per unit areas was paddy, but the highest increased was wheat (89.9%), while the lowest increased was paddy (12.3%). The sowing acreage of five grain sowing in China increased 10.4% in the past 20 years. Overall, the contribution rates of grain planting area and yield per unit area to grain yield increase in China were 19.9% and 80.1% respectively. In 2000—2020, the four kinds of crops paddy, wheat, corn and soybean imports increased, the highest was soyabean, which accounted for 82.6% of the four crops imports in 2020. The consumption of the fertilizer in China increased first and then decreased, which reached the peak in 2015 for 6 022.6 million tons. The amount of fertilizer application primarily centered in north China and the middle

and lower reaches of the Yangtze River accounting for 55.1% of national total fertilizer consumption (51.465 million tons), while the largest fertilizer application intensity were the southeast and north China areas, which was 66.4 % and 25.7% higher than the national average (322.6 kg/hm²) respectively. Above all, in the past 20 years, the total output of major grain crops in China has shown an increasing trend, and the increase of grain yield per unit area was the main contribution factor, and China's grain products trade changed from original regulator shortage to large-scale soybean import, while the amount of fertilizer consumption in China increased first until the peak in 2015 and then decreased gradually.

Keywords: total grain production; grain yield per unit area; grain sowing acreage; total amount of fertilizer consumption

我国是世界第一人口大国,同时正在推进世界最大规模的城镇化,保障国家粮食安全是一个永恒的课题。全球新冠肺炎疫情蔓延,沙漠蝗灾、草地贪夜蛾等突发自然灾害也对国际粮食供求平衡产生一定影响。研究我国主要粮食作物产量和化肥投入的时空变化特征,探讨化肥投入和粮食产出的关系,并明确我国粮食进出口状况,对保障国家粮食安全和维护生态安全具有重要意义。粮食问题是我国学术的热点问题,粮食产量始终是粮食安全的核心,所以围绕粮食生产进行大量的研究,其成果大致分为 3 方面:一是不同尺度下的粮食生产时空变化特征研究,如全国尺度、省域或流域尺度、县域尺度等;二是粮食产量与响应因素的关系研究,如粮食产量与耕地面积的关系、粮食产量与农业劳动力的耦合、粮食产量与肥料投入的关系、复种指数对粮食产能影响、粮食生产与经济发展时空耦合等;三是粮食安全评价,包括粮食安全评价指标体系和方法以及实证分析等。在粮食生产过程中,化肥对促进作物生长和提高粮食产量作出重要贡献,20 世纪 80 年代我国化肥施用对粮食单产和总产增加的贡献率分别为 55%~57%和 30%~31%,但随着化肥的大量施入,对产量的贡献率在逐渐降低^[1]。已有研究^[2]表明,我国化肥利用率并不高,全国粮食主产区氮肥利用率小于 30%的样本占总样本的 60%以上,植物未利用的养分通过挥发、淋溶和固定等进入环境,造成农产品质量下降和农业面源污染等生态环境问题。同时,区域间施肥水平存在较大差异,部分区域过量,部分地区不足^[3],有学者^[4]利用调研数据分析表明,我国三大作物水稻、小麦和玉米氮肥用量适中的点位分别占 60%,35%,47%,超量点位占到 23%,25%,43%,用量不足点位分别占 17%,40%,10%,即使区域内部施肥水平也有参差不齐^[5],急需辨明我国不同农区粮食产量和化肥投入之间的关系状况,为肥料的科学分配与施用提供依据。粮食进出口是协调区域粮食供需失衡的有效措施,对保障国家粮食安全有重要影响,目前关于粮

食进出口的研究多集中在我国粮食进出口变化以及粮食贸易安全评估等方面。上述研究主要集中在 2 个方面,一是利用统计资料基于模型分析化肥对粮食产量的效率或贡献率研究,而文献统计数据多有时效性;二是基于田间试验施肥对作物产量效应研究,实际反映的是某一局部地区、个别作物的肥料利用情况。有关全国范围内一个时间跨度的粮食作物产量及肥料投入的时空变化特征,以及其背后原因探析的研究鲜为报道。本文基于《中国统计年鉴》^[6]和《中国农村统计年鉴》^[7]等相关数据,系统分析我国六大农区 2000—2020 年间水稻、小麦、玉米、豆类和薯类 5 种作物产量变化特征、化肥投入强度以及我国粮食进出口状况,并进一步分析我国粮食总产、单产的时空变化特征、粮食生产与化肥投入的变化关系,以期为我国粮食安全生产提供理论依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文所用数据包括全国 31 省(区、市)5 种粮食作物的总产量、播种面积、进出口量及化肥投入量,数据来源于《中国统计年鉴》^[6]和《中国农村统计年鉴》^[7]。因我国粮食生产具有明显的区域特征,所以按照中国粮食主产区划分:东北农区(黑龙江、吉林和辽宁),华北农区(北京、天津、河北、河南、山东、山西),长江中下游农区(上海、江苏、浙江、安徽、湖北、湖南、江西),西北农区(内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆),西南农区(重庆、四川、贵州、云南、西藏),东南农区(福建、广东、广西、海南),未包括香港、澳门和台湾数据。

1.2 粮食增产因素的贡献率测算

粮食总产量的增长本质上是总播种面积增加和粮食平均单产提升共同作用的结果,为了测算各因素对粮食产量增产的贡献大小,采用对数平均分解法^[8]进行计算。粮食增产量可以分解为播种面积增加导致的增产量和单产提高导致的增产量之和,即:

$$\Delta P = P_t - P_0 = \Delta P_s + \Delta P_a \tag{1}$$

式中: ΔP 为某种粮食作物研究期间增产量(万 t);

P_0 、 P_t 分别为某种粮食作物期初和期末的粮食产量(万 t); ΔP_s 、 ΔP_a 分别为研究区某粮食作物由面积增加和单产提升所带来的增产量(万 t)。将其进一步分解,可计算出各自的贡献产量:

$$\Delta P_s = \frac{P_t - P_0}{\ln P_t - \ln P_0} \ln \frac{S_t}{S_0} \tag{2}$$

$$\Delta P_a = \frac{P_t - P_0}{\ln P_t - \ln P_0} \ln \frac{a_t}{a_0} \tag{3}$$

式中: S_0 、 S_t 分别表示区域某种粮食作物期初和期末的播种面积(10^4 hm^2); a_0 、 a_t 分别为某种粮食作物期初和期末的单产水平(kg/hm^2)。由此计算出该区域播种面积和单产对粮食增产各自贡献的产量之后,将其除以粮食增产总量即可得到播种面积和单产对粮食增产的贡献比例。

$$C_s = \frac{\Delta P_s}{\Delta P} \times 100\% \tag{4}$$

$$C_a = \frac{\Delta P_a}{\Delta P} \times 100\% \tag{5}$$

式中: C_s 、 C_a 分别为某种粮食作物播种面积和单产对粮食增产的贡献率(%)。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 软件对数据进行整理、制图,并进行计算分析。

2 结果与分析

2.1 我国主要粮食作物总产量变化特征

由图 1 可知,我国近 20 年主要粮食作物总产量总体呈增加趋势,2003 年全国粮食总产最低,2003—2020 年连续 17 年增加,2020 年 5 种粮食作物总产为 65 952.8 万 t,较 2000 年增加 46.4%。其中稻谷、小麦、玉米和豆类分别增加 12.7%,34.7%,145.9%,13.8%,而薯类下降 18.9%,以玉米的增加幅度最高,5 种作物总产量表现为玉米>稻谷>小麦>薯类>豆类。由图 2 可知,我国 5 种粮食作物总产量主要集中在华北农区、长江中下游农区和东北农区,对全国主要粮食作物总产的贡献率分别为 26.3%,24.9%和 20.9%。不同粮食作物之间,西南农区、东南农区和长江中下游农区主要以稻谷总产最高,分别占对应农区 5 种粮食作物总产的 39.1%~46.5%,77.2%~80.2%和 65.2%~71.1%;西北农区和东北农区主要以玉米总产最高,分别占对应农区 5 种粮食作物总产的 40.8%~66.0%和 36.7%~65.7%;华北农区主要以小麦总产最高,占该农区 5 种粮食作物总产的 46.0%~49.9%。总体来看,近年来我国粮食作物总产量增加主要表现为东北农区、华北农区和西北农区玉米总产量的增加。

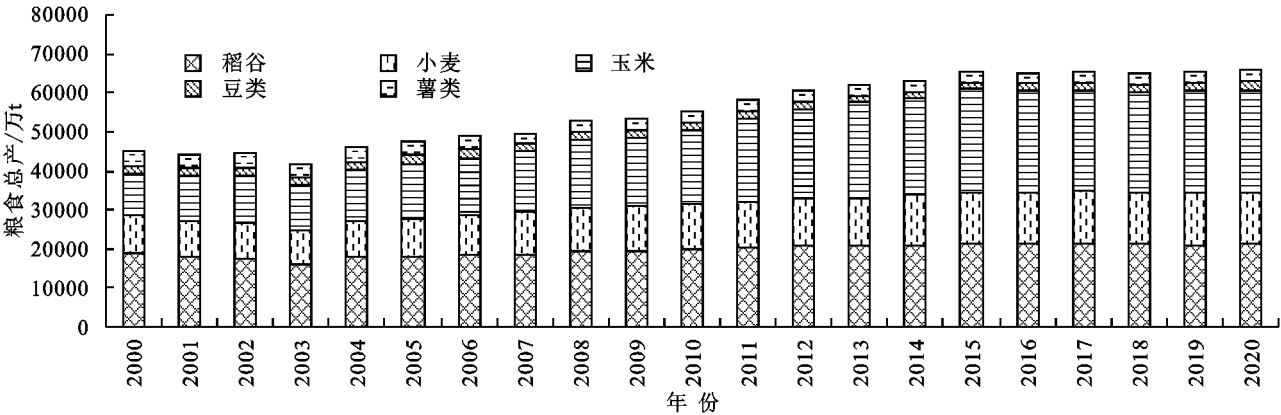


图 1 2000—2020 年我国主要粮食作物的总产量变化

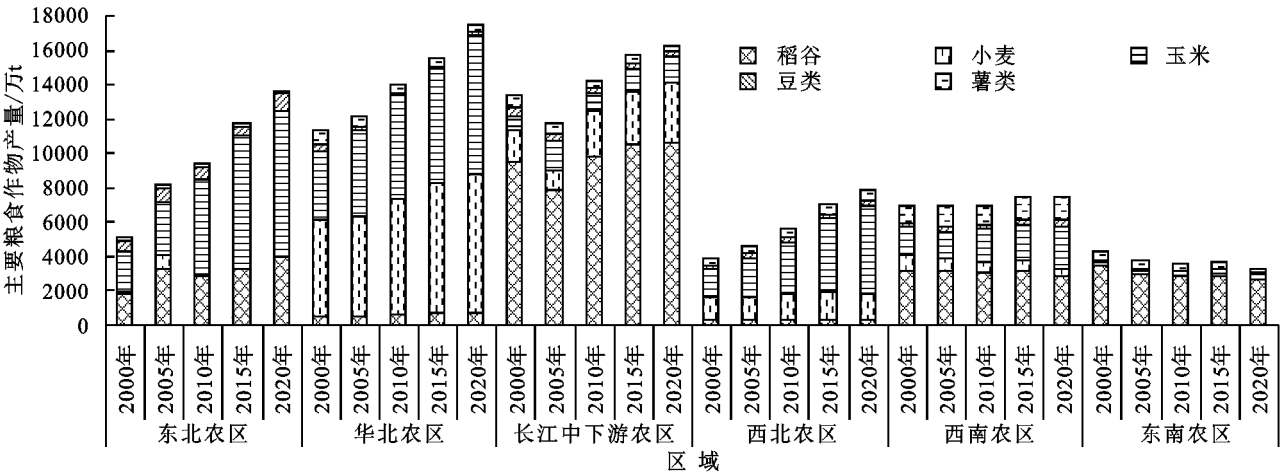


图 2 2000—2020 年我国主要粮食作物产量的区域变化

2.2 我国主要粮食作物单产和播种面积变化特征

由图 3 可知,近 20 年 5 种粮食作物单产水平均呈上升趋势。2020 年稻谷、小麦、玉米、薯类和豆类的单产分别为 7 044.2,5 742.3,6 317.0,4 143.4,1 973.2 kg/hm²,较 2000 年分别提高 12.3%,53.6%,37.4%,18.5%和 24.3%,表现为稻谷单产最高,以小麦单产增产率最高。从单产水平区域变化特征(图 4)来看,我国不同农区 5 种作物单产水平均表现为稻谷>玉米>薯类>小麦>豆类,以东北农区的小麦单产水平提高幅度最大,为 89.9%,华北农区稻谷单产水平提高幅度最大,为 24.9%。从我国 5 种主要粮食作物种植面积来看(图 3),近 20 年 5 种粮食作物中以玉米种植面积提高幅度最大,主要体现在东北农区和华北农区,2020 年全国玉米种植面积为 4 126.0 万 hm²,较 2000

年增加 80.0%。我国稻谷种植面积主要集中在长江中下游农区,但 2020 年全国稻谷面积较 2000 年仅增加 0.4%。小麦、豆类和薯类播种面积则分别降低 12.3%,8.4%和 31.6%。

研究期间从 2003 年以来,粮食作物平均单产提升对我国粮食增产的贡献远大于播种面积(图 5),2000—2020 年,由粮食播种面积所贡献的增产量为 4 127.6 万 t,占粮食增产总量的 19.9%,由单产所贡献的增产量为 16 604.1 万 t,占增产总量的 80.1%。进一步分析表明,稻谷、小麦、玉米、豆类和薯类的种植面积对相应作物总产变化的贡献率分别为 3.2%,−43.9%,64.7%,−68.1%和 180.8%,5 种作物单产水平对相应作物总产变化的贡献率分别为 96.8%,143.9%,35.3%,168.1%和 −80.8%。

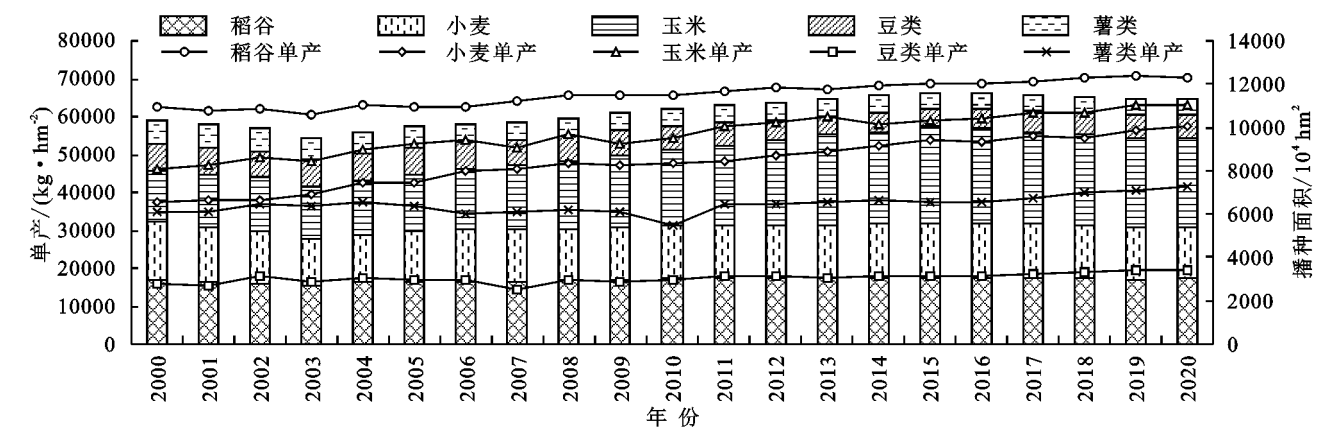


图 3 2000—2020 年我国主要粮食作物的播种面积和单产变化

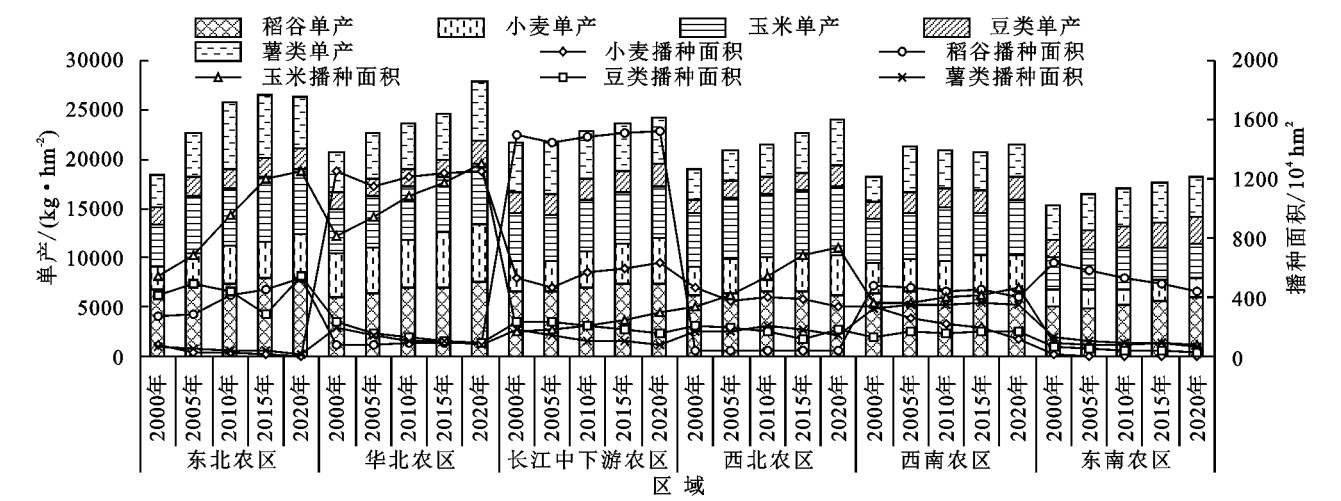


图 4 2000—2020 年我国主要粮食作物的单产水平和播种面积区域变化

2.3 我国主要粮食进出口变化特征

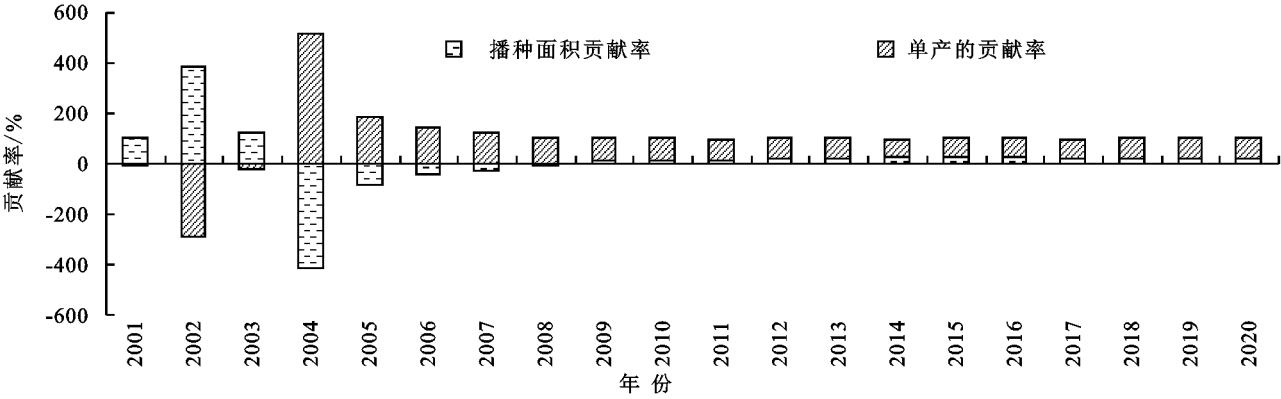
我国粮食贸易主要产品包括大豆、玉米、小麦和稻谷,因此本部分主要统计这 4 种作物的进出口状况。由图 6 可知,4 种主要粮食进口量这 20 年一直呈增加趋势,2020 年进口量达最高值 14 255.0 万 t,较 2000 年粮食进口总量增长 10.5 倍,我国粮食进出口由最初的调剂余缺转变为大规模进口^[9],其中以大豆的进口量最高,且增加速率最大,2020 年占到 4 种粮食进口量的 82.6%。

2000—2008 年我国粮食出口量在 228.0~2 222.0 万 t,但 2008—2020 年基本保持在 140.0 万 t。

2.4 我国农业生产化肥投入量的变化特征分析

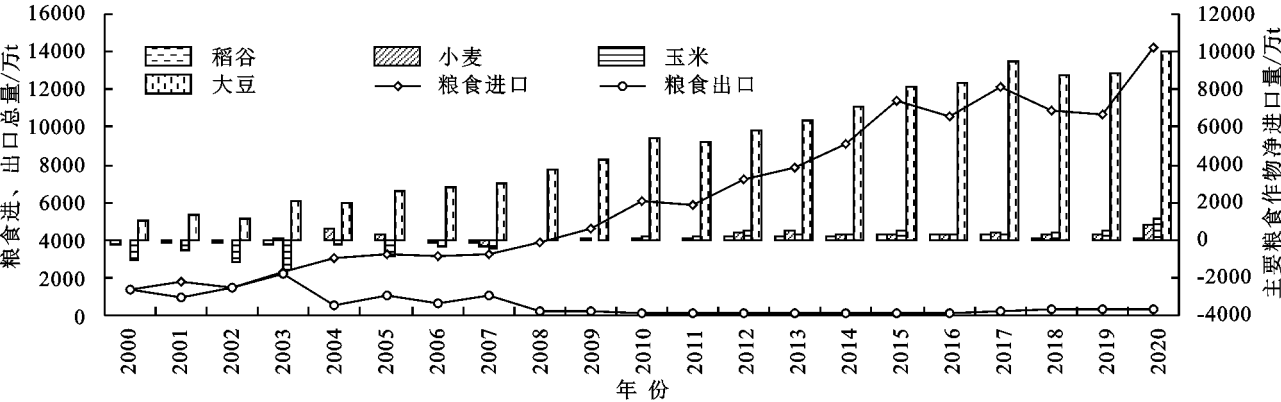
由图 7 可知,化肥总投入量呈先增后减的变化规律,2015 年达到峰值,为 6 022.6 万 t,其中氮肥、磷肥、钾肥和复合肥分别占 39.2%,14.0%,10.7%和 36.1%。2020 年化肥总投入量较 2015 年下降 12.8%,具体表现为氮肥、磷肥和钾肥分别降低 22.4%,22.5%和 15.6%,复合肥增加

2.1%,20 年间化肥投入量总体变化以氮肥下降幅度最大而复合肥增加幅度最高。



注：贡献率以 2000 年数据为基准计算。

图 5 2000 年以来我国粮食增产的累计播种面积、单产贡献率



注：图中稻谷包括稻谷和大米。

图 6 2000—2020 年我国主要粮食进出口变化

由图 8 可知,我国化肥用量主要集中在华北农区和长江中下游农区,2 个农区年均化肥用量分别为 1 483.4 万 t 和 1 369.5 万 t,分别占全国化肥年均投入量的 28.9%和 26.8%。进一步分析不同农区肥料类型差异发现,东北农区、华北农区、长江中下游农区和东南农区不同化肥用量均表现为复合肥>氮肥>磷肥>钾肥,而西北和西南农区则表现为氮肥>复合

肥>磷肥>钾肥。另外以单位农作物播种面积上的化肥用量来反映化肥投入强度(图 9),6 个农区化肥投入强度均表现为先增加而减少的趋势,峰值出现在 2015—2016 年。2020 年东南农区和华北农区化肥投入强度分别为 536.7,405.6 kg/hm²,高于全国平均水平 322.6 kg/hm²的 66.4%和 25.7%,其余 4 农区化肥投入强度均低于全国平均水平。

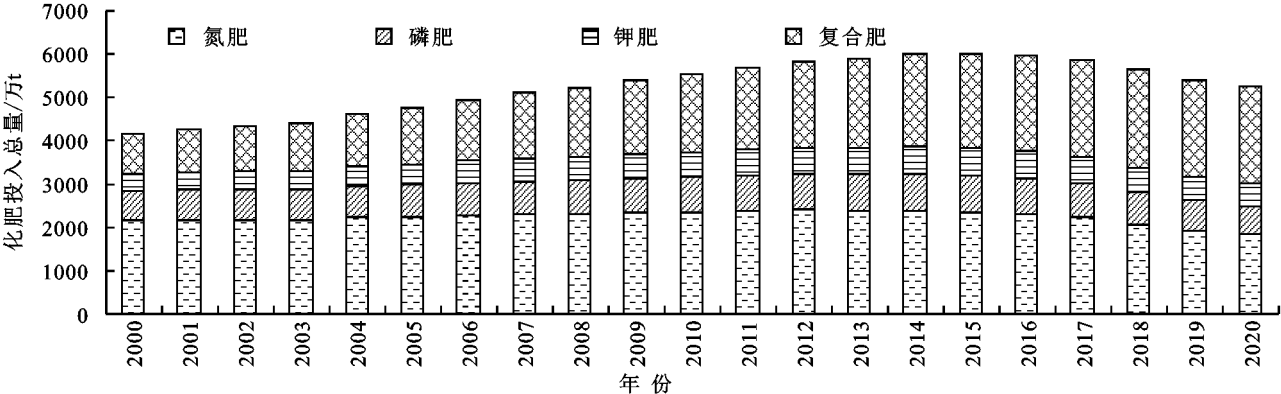


图 7 2000—2020 年我国化肥总量及不同类型化肥用量变化

3 讨论

3.1 我国主要粮食作物产量时空变化特征

粮食安全是国家安全的重要基础,我国始终强调要牢牢把握粮食安全主动权,扎实推进“藏粮于地、

藏粮于技”战略^[10]。

本研究表明,2000—2020 年我国稻谷、小麦、玉米、豆类和薯类总产量整体呈增加趋势,增幅达 46.4%。粮食总产取决于播种面积和粮食单产,20 年期

间 5 种粮食作物总面积变幅较小,仅增加14.1%,而 5 种粮食作物单产则提升 12.3%~53.6%,种植面积和单产对粮食增产的贡献率分别为 19.9%和 80.1%。高云等^[11]研究也表明,依靠增加耕地面积提高我国粮食产量的难度相对较大,提高粮食单产更能提升粮食增产潜力。具体看,2003 年前我国粮食生产总量下降,这与国家 1999 年实施的生态退耕还林(草)政策

有关,该时期处于农业生产结构调整期,耕地转为林地或其他经济作物用地^[12],粮食播种面积减少 8.3%,各作物单产较低且不稳定,表现出播种面积对粮食减产的效应大于单产效应。2003 年之后我国粮食播种面积稳中略增,这与国家实行严格耕地保护政策、农业税收减免、财政支农政策等提高了农民种地积极性等有重要关系。

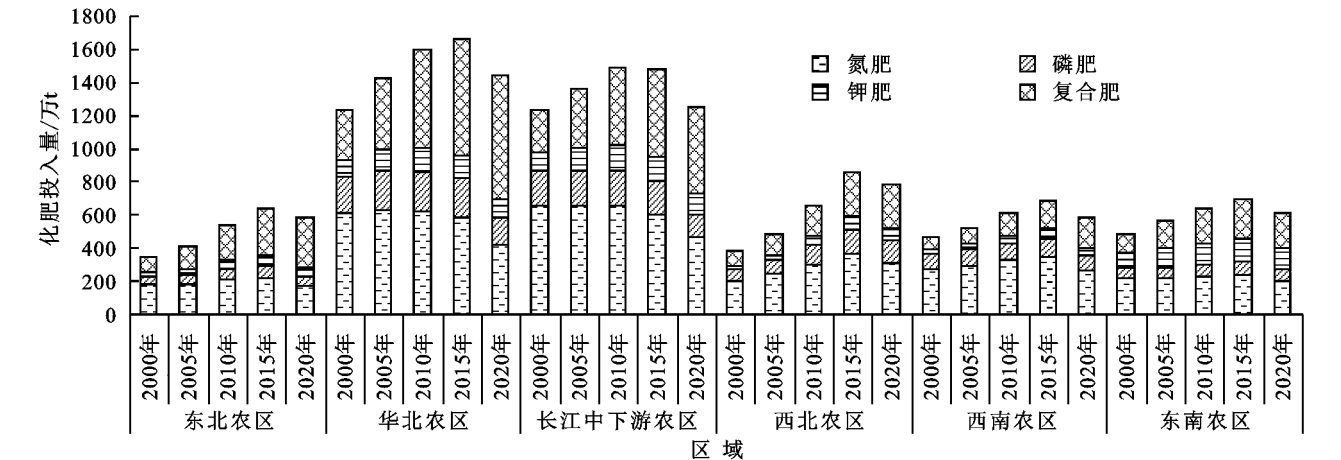


图 8 2000—2020 年我国化肥总用量的区域变化

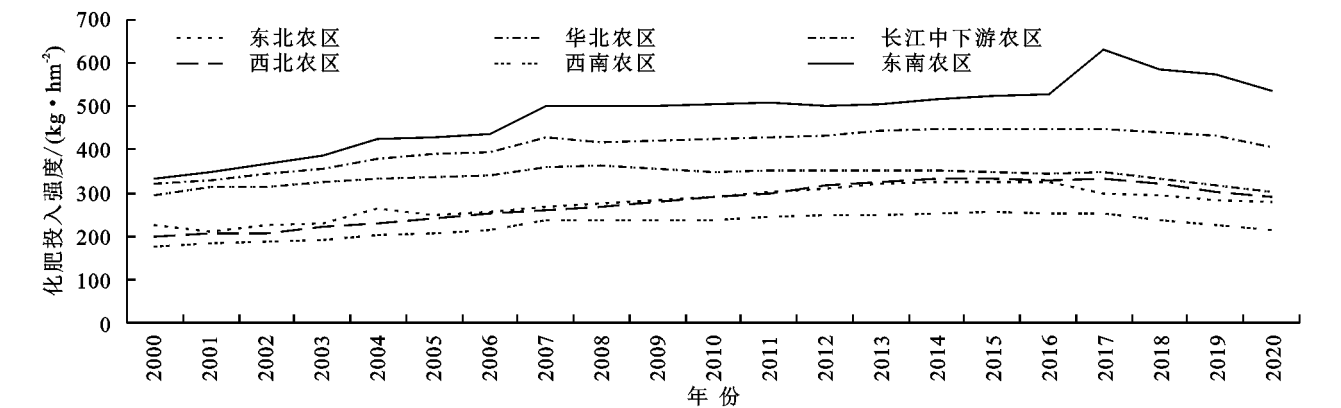


图 9 2000—2020 年我国不同农区化肥投入强度变化

粮食单产的提高与作物品种更新迭代、土壤地力提升以及水肥等生产要素有效投入有关。目前我国农业科技进步贡献率超过 60%，良种对粮食增产贡献率达到 45%，养分高效品种在同样的投入下可以较常规品种增产 10%~20%^[13]。化肥作为粮食增产的驱动力,对我国粮食产量的贡献率也在 30%~50%^[14]。另外,我国粮食总产的提升也与作物种植结构变化有关,即通过高产作物对低产作物的种植替代提高加权平均单产,期间具体表现为单产高的玉米播种面积不断提高,提高幅度为 79.0%,而相对低产的豆类、小麦及薯类种植比例持续下降,下降幅度为 8.4%~31.6%。

从种植区域来看,我国 5 种粮食作物总产量主要集中在华北农区、长江中下游农区和东北农区,对全国主要粮食作物总产的贡献率分别为 26.6%,24.7%和 20.6%。不同农区主产粮食作物产量差异主要与种植面积有关,另外华北农区小麦单产要明显高于东

北农区、长江中下游农区。不同农区同一作物单产差异也与当地的气候条件有关,已有研究^[15]表明,气温越高,农作物生长发育越快,当有效积温积累到一定量时,缩短了作物整个发育周期的时间,造成干物质积累量少进而影响产量。赵彦茜等^[16]研究发现,平均气温每升高 1℃,玉米生育期将缩短 7 天,产量降低 5%~6%,而水稻生育期缩短 14~15 天,有效分蘖降低导致产量下降 14%~17%。因此,我国东南农区 5 种粮食作物产量总体低于其他农区,尤其是小麦单产较其他 4 个农区平均低 50.1%。

3.2 粮食进出口变化对我国粮食安全影响分析

粮食进出口贸易与国际国内市场及国家宏观调控有关。2000—2020 年,我国粮食贸易基本上呈净进口格局,粮食出口较低,从 2008—2020 年基本保持在 140.0 万 t,但大豆、玉米、小麦和稻谷进口均呈增加趋势,其中以大豆进口量最高,2020 年达 10 031 万 t,这种粮

食贸易结构的转变首先与我国资源特征有关。我国人均耕地面积较小,耕地优先种植小麦、水稻等主粮作物保证主粮供给是首要任务,而大豆耗水系数却高^[17],国内大幅生产大豆的生态效益的国际比较优势较低;其次,由于大豆是生产豆粕和豆油的原料,在我国饲料工业和居民的膳食结构中占重要地位,而国内大豆供需的巨大缺口导致对全球贸易依赖;第 3 自入世以来,我国大幅降低豆粕及大豆的关税水平^[17],减少进口贸易壁垒,从而国外大豆产品凭借农业的高补贴等更具有竞争优势。

玉米是 2020 年我国净进口第二大主要粮食作物,且净进口量不断增加,这是因为:一方面,我国玉米生产成本较高和玉米单产水平相对较低并存问题,我国玉米生产成本是 2.05 元/kg,而美国为 0.96 元/kg,玉米单产水平近年来虽有较大提升,但与发达农业国家相比仍有差距^[18];另一方面,玉米在饲用、工业加工和食用等方面的多功能性,国内市场对玉米的需求规模不断增长^[18]。小麦和稻米作为我国的口粮,两者进出口规模都较小,小麦进口主要以高筋小麦满足国内品种需求^[19],我国稻米自给率虽较高,但因个性化和多样化需求,主要以进口精米为主,虽然 2 种作物近年来均呈较低量的净进口状态,但均以特色小麦和稻米为主。一般认为以稻谷、小麦和玉米在内的谷物是我国粮食主体,从 2010 年开始,3 种作物均转为净进口粮食作物,但我国谷物自给率仍在 95% 以上^[20],属于基本自给水平,所以,我国粮食进口增长主要是对饲料粮和食用油需求的扩大,进口粮食的消费主要倾向于畜牧业饲料和工业生产,而国内包括小麦、稻谷和玉米在内的谷物供给经济运行相对稳定。

3.3 化肥用量变化与我国粮食总产和单产的关系

化肥作为粮食的“粮食”,在提高我国粮食作物单产和满足人民丰衣足食过程中发挥不可替代的作用。本研究表明,2000—2020 年我国化肥投入量总体呈“先增加而降低”变化规律,2015 年我国化肥投入量达到峰值(6 022.6 万 t),之后呈下降趋势。这与国家政策调整和目标导向有重要关系,2015 年原农业部制定《到 2020 年化肥施用量零增长行动方案》,且在 2016—2022 年国家中央一号文件中均强调加强农业面污染防治,深入开展农业化肥减量行动。2000—2015 年我国化肥大幅增加一方面与农民追求单产提升有关;另一方面也与我国作物种植结构改变有关,期间我国玉米播种面积急剧增加,而玉米生产单位面积化肥投入量要高于小麦、稻谷和大豆^[21]。从化肥投入类型来看,因作物需求特性,不同肥料投入量表现为氮肥>磷肥>钾肥。我

国复合肥投入量总体呈增加趋势,主要是因为复合肥养分含量丰富且平衡,能满足作物生长需求及肥料利用率提升的需求^[22]。我国化肥总用量主要集中在华北农区和长江中下游农区,分别占到全国化肥年均投入量的 28.9% 和 26.8%,这是因为华北农区和长江中下游农区是我国粮食主产区,耕地复种指数高,播种面积大,化肥投入量大。

化肥投入强度直接影响我国粮食生产的环境安全,全国化肥施用强度以 2014 年最高,达 362.4 kg/hm²,2020 年较 2014 年下降 11.0%,为 322.6 kg/hm²,仍是国际公认化肥施用安全标准上限 225 kg/hm² 的 1.4 倍^[2],处于高水平状态远超其他国家^[23]。多年的化肥过量投入已经使得我国南方农田土壤 pH 下降 0.5 个单位^[24],在华北农区小麦、玉米种植区,4 m 土壤硝态氮的累积量达 453,749 kg/hm²^[25],同时过量的化肥投入也造成我国化肥投入效率较低^[13],史常亮等^[26-27]和张永强等^[28]研究表明,目前我国小麦、玉米和稻谷的化肥生产效率为 0.45,0.45,0.35,维持各作物既定产出下节肥潜力分别达 55.2%,55.0%,65.0%,刘钦普等^[29]研究也表明,与发达国家相比,中国化肥生产效率存在较大差距,我国的增粮节肥潜力较大。2000—2020 年不同农区化肥投入强度差异比较大(175.1~632.0 kg/hm²),而种植结构、化肥利用效率和土壤性质等是影响不同农区间化肥投入强度的重要因素^[30]。张卫峰等^[3]研究表明,由于作物间施肥水平有较大差异,种植结构对不同农区化肥用量的影响较大;张福锁等^[13]研究表明,主要粮食作物化肥利用率在不同农区差异表现明显,如同样种植小麦,氮肥利用率在华北农区平均为 40.5%,而西北农区仅为 10.8%;磷肥利用率在西南农区平均达 20.1%,而长江中下游磷肥利用率仅为 7.3%;主要粮食作物钾肥利用率在不同农区变化也较大,为 21.2%~35.9%。

有研究^[23]表明,化肥总用量与我国粮食产量增加存在正相关关系。2015 年之前,我国粮食总产和化肥总用量均呈增加趋势,但 2015—2020 年,我国化肥总用量减少 12.8%,而粮食总产保持 1.3% 的增长趋势,可见化肥的减量并没有影响粮食产量的增加,说明由于土壤养分大量残留,粮食增产对化肥投入量的灵敏度降低。张利庠等^[31]研究表明,1952—2000 期间化肥施用量对粮食产量有显著的增产效应,但在 2001—2006 期间化肥投入引起粮食产量的增加不断下降,至 2006 年化肥投入效应已不明显,麻坤等^[23]通过 1995—2015 年化肥对我国粮食产量贡献率研究表明,化肥总用量与粮食产量二者存在倒“U”形关系,即粮食产量增加速度随着施肥量的增加而逐渐放缓,

我国化肥施用量的弹性系数在约 2000 年达到最大值,之后开始呈下降趋势,表明化肥投入已经进入边际报酬递减阶段,化肥对粮食增产效应已不明显,原因可能是农业生产技术较稳定条件下,化肥要素投入过量而其利用效率较低。

4 结 论

2003—2020 年,我国主要粮食作物产量连续 17 年保持上升趋势,72%粮食总产集中在华北农区、长江中下游农区和东北农区,近年来粮食总产量增加主要表现为东北农区、华北农区和西北农区玉米总产量的增加。粮食平均单产提高是我国粮食增产的主要贡献因子,种植结构变化对我国粮食作物产量提升也具有重要意义,即单产相对高的玉米播种面积不断提高,而相对低产的豆类、小麦及薯类种植比例持续下降。统计期间,我国粮食进出口由最初的调剂余缺转变为以大豆为主的大规模进口,化肥总用量和施用强度均经历先增后减的变化规律,2015 年后氮肥、磷肥和钾肥用量大幅下降,复合肥用量略有提升。

参考文献:

[1] 李廷亮,谢英荷,高志强,等.黄土高原旱地小麦覆膜增产与氮肥增效分析[J].中国农业科学,2018,51(14):2735-2746.

[2] 刘钦普,濮励杰.中国粮食主产区化肥施用时空特征及生态经济合理性分析[J].农业工程学报,2019,35(23):142-150.

[3] 张卫峰,马文奇,王雁峰,等.中国农户小麦施肥水平和效应的评价[J].土壤通报,2008,39(5):1049-1055.

[4] 闫湘,金继运,梁鸣早.我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率[J].土壤,2017,49(6):1067-1077.

[5] 张欣欣,石磊,何刚,等.陕西省粮食生产的减肥潜力及环境效益[J].中国农业科学,2020,53(19):4010-4023.

[6] 国家统计局农村社会经济调查司.中国农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2001—2021.

[7] 国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2001—2021.

[8] 封志明,孙通,杨艳昭.2003—2013 年中国粮食增产格局及其贡献因素研究[J].中国农业科学,2016,31(6):895-907.

[9] 毛学峰,刘靖,朱信凯.中国粮食结构与粮食安全:基于粮食流通贸易的视角[J].管理世界,2015(3):76-85.

[10] 沈仁芳,王超,孙波.“藏粮于地、藏粮于技”战略实施中的土壤科学与技术问题[J].中国科学院院刊,2018(2):135-44.

[11] 高云,何龙娟,詹慧龙,等.中国粮食增产潜力影响因素分析[J].中国农学通报,2013,29(35):132-138.

[12] 刘瑶,张凤荣,谢臻,等.耕地利用视角下全国粮食生产时空特征演变[J].中国农业大学学报,2019,24(11):

173-182.

[13] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.

[14] 王朝辉.我国小麦施肥问题与化肥减施[J].中国农业科学,2020,53(23):4813-4815.

[15] 潘根兴,高民,胡国华,等.气候变化对中国农业生产的影响[J].农业环境保护,2011,30(9):1698-1706.

[16] 赵彦茜,肖登攀,唐建昭,等.气候变化对我国主要粮食作物产量的影响及适应措施[J].水土保持研究,2019,26(6):317-326.

[17] 吕梦轲,张丽君,秦耀辰,等.1987—2016 年中国粮食贸易时空格局演变及贸易结构安全性评估[J].资源科学,2021,43(4):838-848.

[18] 郭修平,刘帅.中国玉米进出口 W 型波动及贸易效应研究[J].经济纵横,2021(7):102-109.

[19] 王锐,王新华.2003 年以来我国粮食进出口格局的变化、走向及战略思考[J].华东经济管理,2015,29(12):83-87.

[20] 杨明智,裴源生,李旭东.中国粮食自给率研究:粮食、谷物和口粮自给率分析[J].自然资源学报,2019,34(4):881-889.

[21] 张卫峰,季玥秀,马骥,等.中国化肥消费需求影响因素及走势分析(Ⅱ)[J].资源科学,2008,30(1):31-36.

[22] 陈宏坤,王志刚.我国复合肥产业发展现状、机遇与调战[J].磷肥与复肥,2018,33(12):16-22.

[23] 麻坤,刁钢.化肥对中国粮食产量变化贡献率的研究[J].植物营养与肥料学报,2018,24(4):1113-20.

[24] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. Science, 2010, 327:1008-1010.

[25] Zhou J Y, Gu B J, Schlesinger W H, et al. Significant accumulation of nitrate in Chinese Semi-humid croplands[J].Scientific Reports,2016,6:e25088.

[26] 史常亮,朱俊峰,栾江.我国小麦化肥投入效率及其影响因素分析:基于全国 15 个小麦主产省的实证[J].农业技术经济,2015(11):69-78.

[27] 史常亮,朱俊峰,栾江.农户化肥施用技术效率及其影响因素分析:基于 4 省水稻种植户的调查数据[J].农林经济管理学报,2015,14(3):234-242.

[28] 张永强,蒲晨曦,王珧,等.化肥投入效率测度及归因:来自 20 个玉米生产省份的面板证据[J].资源科学,2018,40(7):1333-1343.

[29] 刘钦普,濮励杰.中国与主要发达国家化肥施用配置及效率对比分析[J].中国土壤与肥料,2021(6):328-335.

[30] 陶源,周玉玺,胡继连.中国化肥施用强度的驱动因素分解与控制路径研究[J].浙江农业学报,2021,33(10):1956-1970.

[31] 张利庠,彭辉,靳兴初.不同阶段化肥施用量对我国粮食产量的影响分析:基于 1952—2006 年 30 个省份的面板数据[J].农业技术经济,2008(4):85-94.