

## 近 30 年我国谷子生产时空变化与区域优势研究

刘杰安<sup>1</sup>, 王小慧<sup>1</sup>, 吴尧<sup>1</sup>, 贾浩<sup>1</sup>, 尹小刚<sup>1</sup>, 史磊刚<sup>2</sup>, 褚庆全<sup>1</sup>, 陈阜<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业大学农学院/农业农村部农作制度重点实验室, 北京 100193; <sup>2</sup> 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097)

**摘要:** 【目的】谷子营养丰富、生育期短、抗旱耐瘠, 谷子种植对优化干旱半干旱地区农业种植结构和促进农民增收具有重要作用。分析我国谷子生产时空变化特征与区域优势, 以期优化谷子布局 and 促进谷子生产发展提供建议与理论依据。【方法】基于 1985—2015 年谷子各省、县域生产统计数据, 采用产量贡献率、重心迁移、比较优势指数等指标, 分析了我国谷子生产时空变化规律。【结果】30 年间全国谷子播种面积由  $3.318 \times 10^6 \text{ hm}^2$  减少至  $7.88 \times 10^5 \text{ hm}^2$  后回升至  $8.39 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 单产由  $1\ 801.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  提高至  $2\ 342.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 总产量变化中面积贡献率为 80.3%, 单产贡献率为 18.4%, 且单产贡献率逐渐增加。全国谷子生产重心年际间变化较小, 优势产区稳定在东北地区中西部、黄淮海平原中北部和北部中低高原区东南部, 具体集中在内蒙东部、东北三省与内蒙接壤的县域、河北大部、河南西北部、山东中部、山西大部、陕西北部、甘肃东部及宁夏中部。30 年间黄淮海平原区、东北地区与西北部分县域单产增加但播种面积大量减少, 使该区域表现为单产优势与面积劣势, 2000 年后北部中低高原区的吉林通榆、内蒙敖汉旗与山西部分县域的播种面积回升。播种面积较大而单产劣势的县域集中在黄土高原地区的陕西和山西中北部部分县域。【结论】30 年来全国谷子播种面积先减后增, 生产集中程度不断增大, 优势产区趋于稳定, 单产逐步提升。黄淮海地区被夏玉米替代的夏谷较难恢复, 东北地区中西部、北方农牧交错区及太行山沿线区谷子生产具有恢复潜力。谷子育种、栽培技术与生产加工机械的进步, 对谷子生产提质增效与实现产业化发展至关重要。

**关键词:** 谷子; 县域; ArcGIS; 时空变化; 贡献率; 重心迁移; 比较优势

## Spatiotemporal Variation and Regional Advantages of Foxtail Millet Production in Recent 30 Years in China

LIU JieAn<sup>1</sup>, WANG XiaoHui<sup>1</sup>, WU Yao<sup>1</sup>, JIA Hao<sup>1</sup>, YIN XiaoGang<sup>1</sup>, SHI LeiGang<sup>2</sup>, CHU QingQuan<sup>1</sup>, CHEN Fu<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University/Key Laboratory of Farming System, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193; <sup>2</sup> Beijing Research Center of Information Technology in Agriculture, Beijing 100097)

**Abstract:** 【Objective】Foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) is rich in nutrition, has a short growth period, and is resistant to drought and barren. Planting foxtail millet plays an important role in optimizing the agricultural planting structure and promoting farmers' income in arid and semi-arid areas. It was of great significance for the sustainable development of foxtail millet production to analyze the spatiotemporal characteristics and regional advantages of foxtail millet production in China. 【Method】Based on the provincial and county production statistics of foxtail millet from 1985 to 2015, the spatial and temporal variation rules of foxtail millet production in China were analyzed by using the yield contribution rate, center of gravity migration, comparative advantage index and other indicators. 【Result】In the last thirty years, the sown area of foxtail millet in China decreased from  $3.318 \times 10^6 \text{ hm}^2$  to  $7.88 \times 10^5 \text{ hm}^2$  and then recovered to  $8.39 \times 10^5 \text{ hm}^2$ . The yield increased from  $1\ 801.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  to  $2\ 342.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ . The area contribution rate of total production change was 80.3%, the yield contribution rate was 18.4%, and the yield contribution rate gradually increased. The center of foxtail millet production in China varied little in recent 30 years. The advantageous production areas were stable in the midwest part of northeast China, the north-central part of the North China Plain and the southeastern part of

收稿日期: 2019-01-02; 接受日期: 2019-02-22

基金项目: 粮食主产区资源要素与作物生产空间匹配特征及优化 (2016YFD0300201)

联系方式: 刘杰安, E-mail: liu-jiean@qq.com. 通信作者陈阜, E-mail: chenfu@cau.edu.cn

the middle-low plateau area in the north, which were concentrated in the counties bordering Inner Mongolia and the three provinces in northeast China, most of Hebei, northwest Henan, central Shandong, most of Shanxi, northern Shaanxi, eastern Gansu and central Ningxia. In the last thirty years, the yield increased in the North China Plain, the northeast plain and some counties in the northwest area, but the sown area decreased significantly, which made these regions show efficiency advantage and scale disadvantage. After 2000, the sown area of Jilin Tongyu, Inner Mongolia Aohan banner and some counties in Shanxi province in the middle and low plateau area in the north were recovered. The counties with scale advantage and efficiency disadvantage were concentrated in Shaanxi and parts of north-central Shanxi in Loess Plateau area. 【Conclusion】 In the past 30 years, the sown area of millet decreased first and then increased, the concentration of foxtail millet production in China had been increasing, the advantageous production areas tended to be stable, and the yield had been gradually increased. The summer foxtail millet replaced by summer corn in North China Plain was difficult to recover, and the foxtail millet production in the midwest regions of northeast China, the northern agro-pastoral interleaving areas and the areas along Taihang mountain had the potential to recover. The progress of foxtail millet breeding, cultivation technology and production processing machinery were very important for improving the quality and efficiency of foxtail millet production and realizing industrialization development.

**Key words:** foxtail millet; county; ArcGIS; spatio-temporal changes; contribution rate; migration of center of gravity; comparative advantage

## 0 引言

【研究意义】谷子 (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) 具有生育期短、水分利用率高、抗旱耐瘠薄等特点, 特别适宜在干旱半干旱地区种植, 是我国北方重要的旱作粮食作物与抗旱救灾战略储备作物<sup>[1-2]</sup>。在积温不足、水资源相对匮乏的东北、西北地区<sup>[3]</sup>, 种植谷子具有减少地下水消耗、减少土壤侵蚀与水土流失<sup>[4]</sup>的重要生态保护作用。同时, 谷子具有良好的食用与饲用价值, 随着人们对食物品质需求的不断提升, 在老少边穷地区发展有机旱作谷子种植将对当地脱贫增收和优化粮食产量结构起到良好的促进作用。因此, 挖掘谷子生产潜力, 优化区域布局, 对促进我国谷子生产可持续发展意义重大。【前人研究进展】近年来, 一些学者利用省域或县域作物生产数据, 采用多种方法对多种作物生产时空变化与比较优势进行了研究。刘忠等<sup>[5]</sup>采用贡献因素分解研究了 2003—2011 年面积、单产和种植结构调整对于粮食增产的贡献率, 划定了全国各区域各主要作物增产主导类型。刘彦随等<sup>[6]</sup>根据规模与效率比较优势指数, 对全国省份进行了比较优势指数分类, 明确了各省份粮食生产优势特征, 并通过分析各省份所属类型年际间变化情况, 发现了粮食区域生产重心的“北进中移”, 我国粮食产销格局已由“南粮北调”转为“北粮南调”。刘珍环等<sup>[7]</sup>通过研究我国水稻重心迁移规律发现水稻种植重心因此向东北方向迁移约 230 km, 产量重心向东北迁移约 320 km。徐海亚等<sup>[8]</sup>利用县域粮食产量数据和粮食生产集中度指标, 发现 1978 年后中国粮食生产重心

由 800 mm 以上雨量带向 400—800 mm 雨量带偏移, 并逐渐向平原地区集中, 虽不利于水热资源的高效利用, 但却利于发展机械耕作。刘珍环等<sup>[9]</sup>综合运用时序变化趋势、空间集聚分析等方法, 发现中国的种植结构调整从 2002 年起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。三大粮食作物种植所占比例显著减少, 水果和蔬菜类种植比例在城市化地区快速增加。【本研究切入点】目前尚无全国县域尺度的谷子生产时空变化的相关研究, 也尚无综合运用上述方法对谷子进行分析探讨的报道。【拟解决的关键问题】本研究基于 1985—2015 年我国省级和县级尺度的谷子生产数据, 利用重心迁移、产量贡献因素分解、比较优势分析等方法, 分析近 30 年我国谷子生产要素与比较优势指数的时空分布变化规律, 探讨未来谷子生产的优化布局, 以期为我国谷子生产可持续发展提供建议和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

本文使用数据主要包括农业部种植业司发布的 1985—2015 年分省农作物生产数据<sup>[10]</sup>, 中国农业科学院农业信息研究所提供的 1985—2015 年每 5 年 1 个节点共 7 个年份的我国县域谷子生产数据, 中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>) 获取的 2015 年耕地分布 1 km×1 km 栅格数据。底图以中国农作制综合分区<sup>[11]</sup>与中国科学院资源环境科学数据中心提供的 2012 年县级行政分布图为基础, 最终整理获得包含 10 个农作区、31 个省(市)(港澳台地区

除外)、2 855 个县的分布图。

## 1.2 研究方法

1.2.1 重心轨迹 不同年份的作物播种面积或总产量的重心轨迹采用重心模型法进行计算<sup>[7]</sup>:

$$x_j = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ji} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ji}} \quad (1)$$

$$y_j = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ji} \times y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ji}} \quad (2)$$

$$d_t = \sqrt{(x_{k+t} - x_k)^2 + (y_{k+t} - y_k)^2} \quad (3)$$

式中,  $P(x_j, y_j)$  代表了某作物第  $j$  年重心的地理坐标。 $C_{ji}$  表示某作物在  $i$  区域第  $j$  年的面积或产量数据;  $x_i$  与  $y_i$  表示第  $i$  个区域的地理中心的经纬度坐标。 $d_t$  表示某作物重心在不同年份间移动距离,  $x_{k+t}$  和  $x_k$  分别表示某作物在第  $k+t$  年和  $k$  年的经度坐标,  $y_{k+t}$  和  $y_k$  分别表示某作物在第  $k+t$  年和  $k$  年的纬度坐标。通过 ArcGIS 10.5 中的平均中心工具计算得到  $P(x_j, y_j)$ , 并进一步通过点集转线工具将各年重心连接为迁移路径。由于重心计算结果受面积和产量的数值高低和分布影响, 计算出的重心常不是真正意义上的生产重心, 重心迁移曲线旨在反映年际间全国某作物生产变化趋势, 并由面积、产量重心迁移曲线之间的距离与位置关系反映单产的全国分布变化情况。

1.2.2 面积、单产、互作贡献率分解 对谷子总产变化地区进行面积、单产、互作的贡献率分解<sup>[12]</sup>:

$$RS_{i+t} = (S_{i+t} - S_i) \frac{Y_i}{P_{i+t} - P_i} \quad (4)$$

$$RY_{i+t} = (Y_{i+t} - Y_i) \frac{S_i}{P_{i+t} - P_i} \quad (5)$$

$$RI_{i+t} = (S_{i+t} - S_i) \frac{(Y_{i+t} - Y_i)}{P_{i+t} - P_i} \quad (6)$$

$$RS_{i+t} + RY_{i+t} + RI_{i+t} = 1 \quad (7)$$

式中,  $RS_{i+t}$ 、 $RY_{i+t}$ 、 $RI_{i+t}$  分别表示  $i$  时间节点的种植面积贡献率、单产贡献率、面积单产互作贡献率;  $S_i$ 、 $S_{i+t}$  分别表示  $i$  年和  $i$  年之后  $t$  年的播种面积;  $P_i$ 、 $P_{i+t}$  分别表示  $i$  年和  $i$  年之后  $t$  年的总产量;  $Y_i$ 、 $Y_{i+t}$  分别表示  $i$  年和  $i$  年之后  $t$  年的单产。

$$A_S = \frac{|RS_{i+t}|}{|RS_{i+t}| + |RY_{i+t}| + |RI_{i+t}|} \quad (8)$$

$$A_Y = \frac{|RY_{i+t}|}{|RS_{i+t}| + |RY_{i+t}| + |RI_{i+t}|} \quad (9)$$

$$A_I = \frac{|RI_{i+t}|}{|RS_{i+t}| + |RY_{i+t}| + |RI_{i+t}|} \quad (10)$$

式中,  $A_S$  表示面积贡献率的绝对值占三类贡献率绝对值之和的比重,  $A_Y$  表示单产贡献率的绝对值占三类贡献率绝对值之和的比重,  $A_I$  表示互作贡献率的绝对值占三类贡献率绝对值之和的比重。 $A_S > 1/3$  为面积主导型,  $A_Y > 1/3$  为单产主导型,  $A_I > 1/3$  为互作型。

1.2.3 比较优势指数 比较优势指数可分为规模比较优势指数 (scale advantage index, SAI)、效率比较优势指数 (efficiency advantage index, EAI) 和综合比较优势指数 (aggregated advantage index, AAI)<sup>[13]</sup>。

(1) 规模优势指数反映一个地区某作物的种植规模, 可反映作物的比较优势, 其计算公式如下:

$$SAI_{ij} = \frac{GS_{ij}/GS_i}{GS_j/GS} \quad (11)$$

式中,  $SAI_{ij}$  为  $i$  区  $j$  种作物的规模优势指数;  $GS_{ij}$  为  $i$  区  $j$  种农产品的播种面积;  $GS_i$  为  $i$  区所有农产品的播种面积之和;  $GS_j$  为全国  $j$  种农产品的播种面积;  $GS$  为全国所有农产品的播种面积之和。 $SAI_{ij} < 1$ , 说明  $i$  区  $j$  种作物生产规模较全国平均水平处于劣势;  $SAI_{ij} > 1$ , 说明  $i$  区  $j$  种作物生产规模较全国平均水平处于优势。 $SAI_{ij}$  值越大, 比较优势越明显。

(2) 效率优势指数反映某作物在各地区单产较全国平均单产的比较优势, 其计算公式如下:

$$EAI_{ij} = \frac{AP_{ij}}{AP_j} \quad (12)$$

式中,  $EAI_{ij}$  为  $i$  区  $j$  种作物的效率优势指数;  $AP_{ij}$  为  $i$  区  $j$  种作物单产;  $AP_j$  为全国  $j$  种作物平均单产。 $EAI_{ij} < 1$ , 说明  $i$  区  $j$  种作物生产效率较全国处于劣势;  $EAI_{ij} > 1$ , 说明  $i$  区  $j$  种作物生产效率较全国处于优势。 $EAI_{ij}$  值越大, 比较优势越明显。

(3) 综合比较优势指数综合考虑规模比较优势与效率比较优势, 其计算公式如下:

$$AAI_{ij} = \sqrt{SAI_{ij} \times EAI_{ij}} \quad (13)$$

式中,  $AAI_{ij}$  为  $i$  区  $j$  种作物的综合比较优势指数;  $AAI_{ij} < 1$ , 说明同全国平均水平相比,  $i$  区  $j$  种作物生产处于比较劣势;  $AAI_{ij} > 1$ , 说明同全国平均水平相比,  $i$  区  $j$  种作物生产处于比较优势。 $AAI_{ij}$  值越大, 优势就越明显。

## 2 结果

### 2.1 谷子生产时空分布与变化

1985—2015 年全国谷子生产规模先减后增, 单产

波动性提升(图1)。全国谷子播种面积占农作物总播种面积比重由1985年的2.3%降低至2013年的0.4%,后逐渐回升至2015年的0.5%。全国谷子播种面积占粮食作物播种面积比重由1985年的3.1%降低至2009年的0.7%,后逐渐回升至2015年的0.8%。1985—2009年,播种面积由 $3.318 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 减少至 $7.88 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,减少了76.3%,总产量由 $5.977 \times 10^6 \text{ t}$ 减少至 $1.225 \times 10^6 \text{ t}$ ,减少了79.5%。2009—2015年播种面积回升至 $8.39 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,增

加了6.5%。总产量回升至 $1.967 \times 10^6 \text{ t}$ ,增加了60.5%。30年间单产由 $1\,801.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 提高至 $2\,342.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,提高了30.1%。

30年间播种面积小于 $500 \text{ hm}^2$ 的县数先增后减、变化幅度较小,大于 $500 \text{ hm}^2$ 的县数均持续减少,500— $2\,000 \text{ hm}^2$ 的县数减幅较小,2000  $\text{hm}^2$ 以上的县数减幅较大,播种面积前50的县播种面积总和占全国比重由1985年的31.5%增加至2015年的55.9%,生产集中程度逐渐增加。

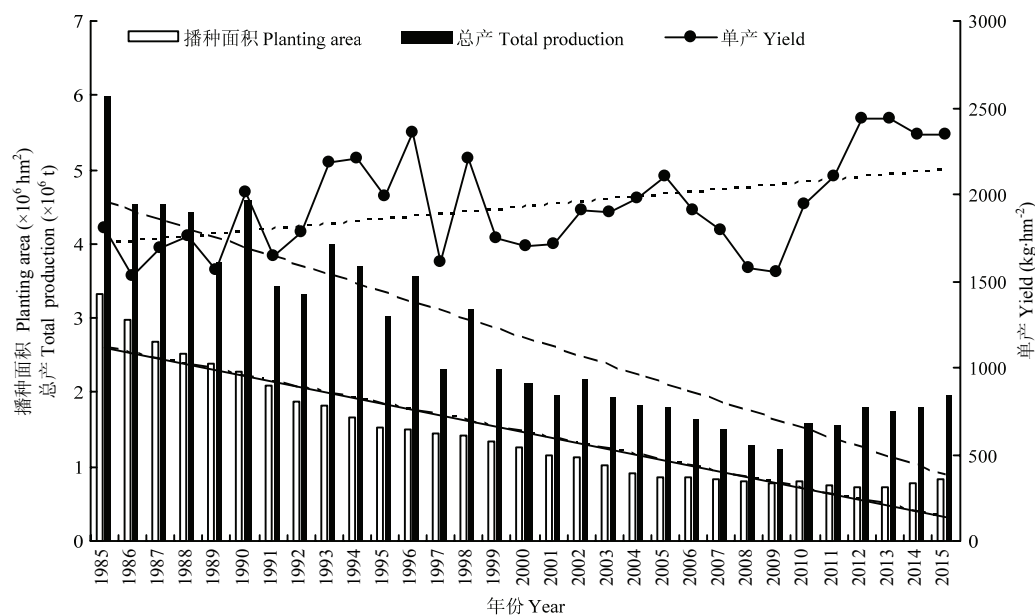


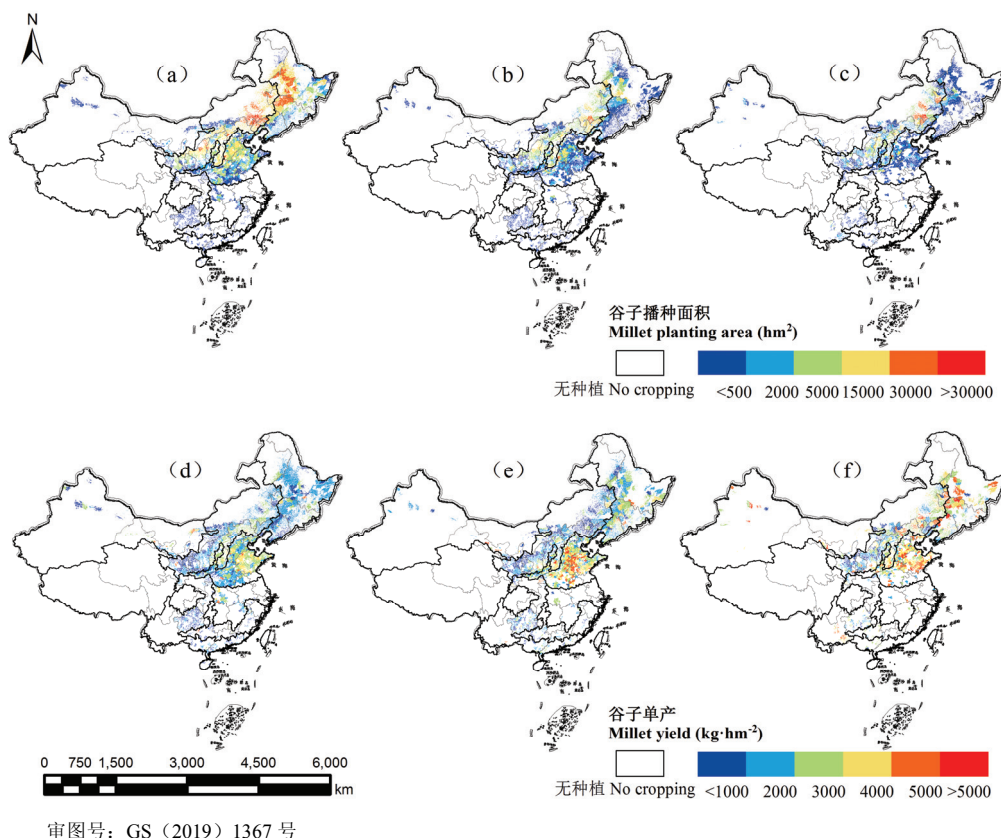
图1 1985—2015年全国谷子播种面积、总产量、单产变化趋势

Fig. 1 Change trend of millet sown area, total production and yield from 1985 to 2015 in China

谷子播种面积较高的县域主要分布在甘肃会宁至吉林白城一线(图2)。1985年以河北、黑龙江、内蒙、山西、吉林、山东、河南、辽宁、陕西、甘肃占全国比重较高,大于 $15\,000 \text{ hm}^2$ 的县主要分布在山西北部至东北三省中西部一线,2000— $15\,000 \text{ hm}^2$ 县集中在黄淮海地区、黄土高原区、内蒙通辽一带与东北的中部地区。2015年山西、内蒙古、河北、辽宁、陕西、吉林、河南、山东、甘肃、贵州、宁夏谷子生产占全国比重较高,播种面积大于 $30\,000 \text{ hm}^2$ 的县仅有内蒙的敖汉旗,15000— $30\,000 \text{ hm}^2$ 的县主要为敖汉旗临近区域、吉林西北部通榆县、河北武安市,2000— $15\,000 \text{ hm}^2$ 的县主要集中在陕西北部、山西北部、河北西部与北部、东北地区中部。

30年间黄淮海平原区、东北平原区与西北部分县

域播种面积大量减少,2000年后北部中低高原区的吉林通榆、内蒙敖汉旗与山西部分县域的播种面积回升,谷子生产重心由东北向西南方向移动,重心在1985—1990年间变化较大,其他年间变化较小(图3)。1985—2009年,仅云南增加了 $253.3 \text{ hm}^2$ ,其余种植省份均呈减少趋势,河北、黑龙江减少了 $4.6 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 以上、内蒙减少了 $3.1 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 、吉林、山东、山西和河南减少了 $2.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 左右,辽宁和陕西减少了 $1.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 左右,甘肃减少了 $5.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,贵州、江西、安徽、广东及新疆减少了1000— $4\,000 \text{ hm}^2$ 。2009—2015年间全国大部分地区谷子播种面积继续减少,辽宁、黑龙江及陕西减少了 $17\,860 \text{ hm}^2$ 以上,甘肃减少了 $5\,340 \text{ hm}^2$ ,河南减少了 $2\,280 \text{ hm}^2$ ,北部中低高原区谷子种植大幅回升(图4),内蒙增加了



审图号: GS (2019) 1367 号

a、b、c 分别代表 1985、2000 年、2015 年播种面积。d、e、f 分别代表 1985、2000 年、2015 年单产  
a, b and c represent the sown area in 1985, 2000 and 2015, respectively; d, e and f represent the yield in 1985, 2000 and 2015, respectively

图 2 全国谷子播种面积和单产的县域分布

Fig. 2 Distribution of millet sown area and yield in different counties of China

48 026.7  $\text{hm}^2$ , 吉林和山西增加了 26 793.3  $\text{hm}^2$  以上, 宁夏、新疆、山东及河北增加了 2 000  $\text{hm}^2$  以上, 天津增加了 1 073.3  $\text{hm}^2$ , 江西增加了 600  $\text{hm}^2$ , 贵州增加了 6 946.7  $\text{hm}^2$ , 云南增加了 146.7  $\text{hm}^2$ 。

30 年间谷子单产增加较多的区域主要分布在黄淮海地区及东北地区中部, 东南部产区单产普遍高于西北部, 谷子产量重心迁移曲线较面积重心迁移曲线整体偏南 (图 3)。谷子单产 1985 年以山东、山西、天津、北京及河北较高, 大于 3 000  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  的县分布在山东中西部、河北南部和山西南部, 大于 2 000  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  的集中在山东、河北、山西、河南北部、内蒙通辽一带与东北中部的个别县。2015 年单产以安徽、吉林、黑龙江、云南、湖北、河北、山东及辽宁较高, 大于 4 000  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  的县主要分布在云南东部、山东南部、河北北部与南部、河南南部、山西南部、陕西中部、内蒙与东北三省接壤的

县域, 2 000—4 000  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  的县集中在山东、河北、山西、河南北部及东北地区中部。30 年间安徽、黑龙江单产增加了 200% 以上, 吉林、贵州和辽宁增加了 100% 以上、宁夏、湖北、甘肃和河北增加了 50% 以上。2000 年前单产的增加集中在黄淮海平原, 东北三省部分县域, 2000 年后单产的增加集中在黄淮海平原、内蒙赤峰通辽一带、东北地区中部与云南东部的部分县域 (图 2)。

30 年间谷子产量变化贡献以面积变化为主 (80.3%), 以单产变化为辅 (18.4%), 互作贡献对总产量变化影响较小 (1.3%) (图 5), 全国谷子生产面积贡献率逐渐减少、单产贡献率逐渐增加 (表 1)。1985—2000 年, 74.5% 的谷子种植县产量变化由面积变化主导, 24.2% 由单产变化主导, 1.2% 为互作类型; 2000—2015 年, 75.5% 的谷子种植县产量变化由面积变化主导, 23.1% 由单产变化主导, 1.4% 为互作类

型，东北地区与内蒙接壤的县域单产贡献主导比例较1985—2000 年增加较多。

2.2 谷子比较优势指数时空分布与变化

全国谷子面积单产均具有比较优势的县域集中在

山西南部至吉林白城一线，东北地区与黄淮海地区具有单产优势而不具面积优势，黄土高原部分县域具有面积优势但单产劣势。1985 年面积单产均具有优势的区域集中在河北山西全境、山东北部、河南北部、内

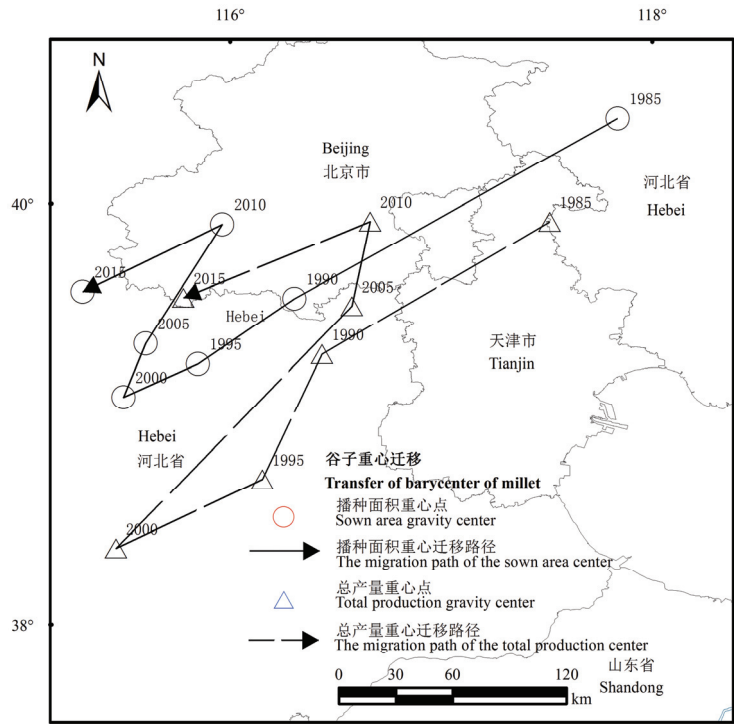


图 3 1985—2015 年谷子重心迁移路径

Fig. 3 Migration path of millet production gravity center from 1985 to 2015

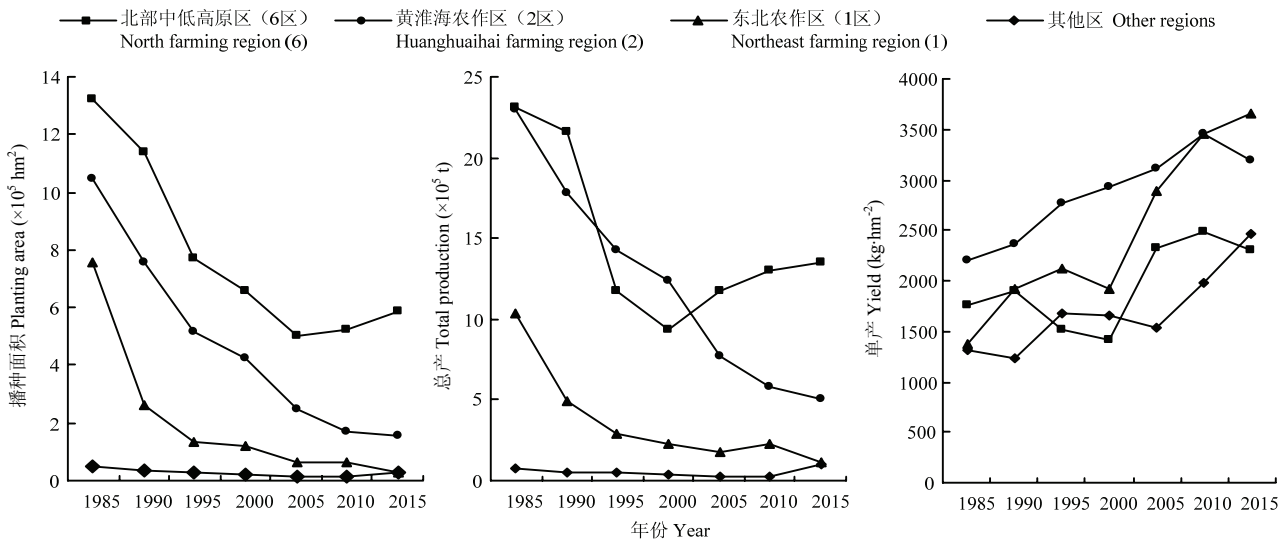


图 4 1985—2015 年全国不同农作区谷子播种面积 (a)、总产量 (b)、单产 (c) 变化情况

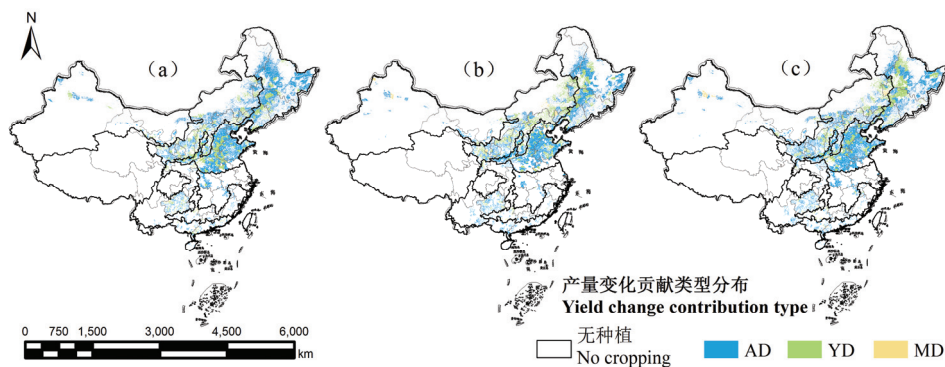
Fig. 4 Millet sown area (a), total production (b) and yield (c) in different farming system regions from 1985 to 2015



表 1 近 30 年各时段全国谷子产量贡献率变化

Table 1 The change of millet yield contribution rate in each period of China in recent 30 years

时段	播种面积变化量	总产量变化量	单产变化量	面积贡献率	单产贡献率	交互贡献率
Period of time	Change in sown area (hm <sup>2</sup> )	Change in total production (t)	Change in yield (kg·hm <sup>-2</sup> )	Area contribution rate (%)	Yield contribution rate (%)	Mutual contribution rate (%)
1985-1990	-1040000.0	-1402.0	206.7	67.5	24.7	7.7
1990-1995	-756066.7	-1556.0	-24.9	95.3	3.6	1.2
1995-2000	-272400.0	-893.9	-282.9	51.5	41.1	7.4
2000-2005	-400800.0	-340.1	401.9	50.7	37.4	12.0
2005-2010	-40500.0	-212.0	-156.9	37.9	59.3	2.8
2010-2015	30673.3	393.5	397.8	15.2	81.7	3.1



审图号：GS（2019）1367 号

AD 为面积主导型，YD 为单产主导型，MD 为交互型  
AD: area-dominant, YD: yield-dominant, MD: mutual-dominant

图 5 1985—2000 年 (a)、2000—2015 年 (b) 和 1985—2015 年 (c) 不同产量贡献率主导类型分布  
Fig. 5 Distribution of different production dominant during 1985-2000 (a), 2000-2015 (b) and 1985-2015 (c)

蒙赤峰通辽一带与东北三省的部分县域，单产具有优势但播种面积不具优势的区域集中在河北东部、山东大部、河南北部与湖北的部分县域，单产不具优势但面积具优势的区域集中在东北地区大部、甘肃、陕西、山西、河北的部分县域。2015 年面积单产均具有优势的区域集中在山西南部至东北地区中部一线及云南东部部分县域，单产具有优势但播种面积不具优势的区域集中在山东大部、东北地区大部，单产不具优势但面积具优势的区域集中在陕西北部至吉林西部一线。30 年间东北地区与黄淮海地区谷子效率优势增加但面积急剧减少，山西中北部部分临近县域单产不再具有效率比较优势（图 6）。

1985 年，谷子 AAI 较高的区域集中在河北北部与西南部、山西东南部与中部、陕西东北部与内蒙赤峰

通辽一带，2000—2015 年 AAI 较高的区域稳定在河北西南部与北部、河南西北部、山西全境、陕西北部、内蒙赤峰通辽一带、东北三省与内蒙接壤的县域（表 2）。30 年间东北三省与黄淮海平原大部分县域尽管单产增加较多，但由于播种面积的大量减少，这些区域的 AAI 指数不断降低（图 7）。

3 讨论

3.1 比较效益低是谷子生产减少的主要原因

国家对主粮作物的重视、谷子种植费时费工、比较效益低与产品加工滞后是谷子过去在东北与黄淮海平原等单产优势区播种面积减少的主要原因。自 2004 年起，国家实施了农机具购置补贴与针对水稻、小麦、玉米、大豆、油菜、棉花的粮食直接补贴、良种补贴、

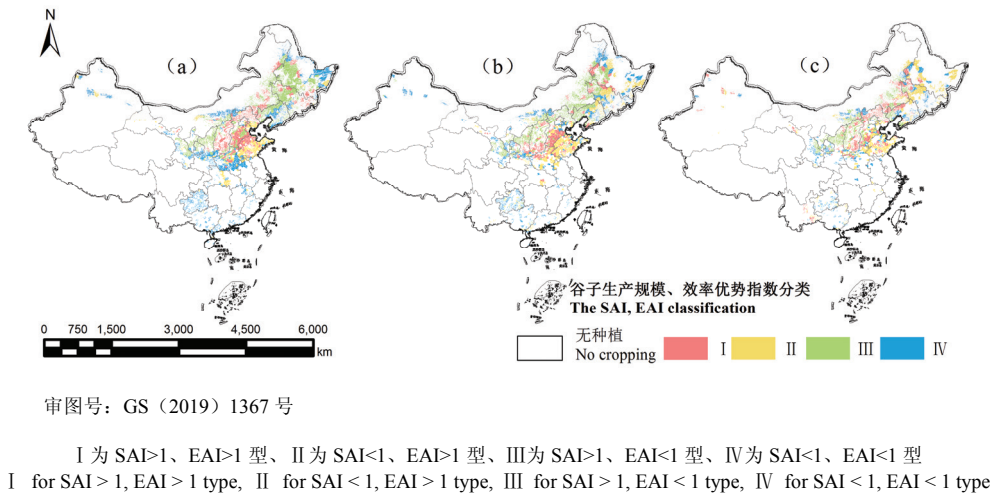


图 6 1985 年 (a)、2000 年 (b)、2015 年 (c) 全国县域谷子生产 SAI、EAI 分类

Fig. 6 The SAI and EAI classification of millet production in 1985 (a), 2000 (b) and 2015 (c) in different counties of China

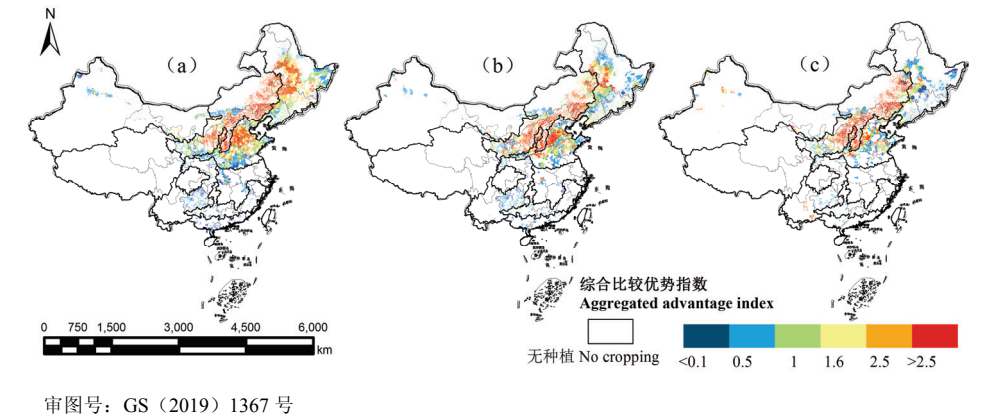


图 7 全国谷子综合比较优势 1985 (a)、2000 (b) 和 2015 年 (c) 县域分布

Fig. 7 Distribution of millet AAI in 1985 (a), 2000 (b) and 2015 (c) in different counties of China

表 2 七个年份 AAI 均值排名前 50 的县

Table 2 The top 50 counties with the highest AAI mean in seven years

省 (区)	县 (市)
Province (Region)	County (City)
河北省 Hebei	武安市 Wuan、赤城县 Chicheng、威县 Weixian、宣化县 Xuanhua、涉县 Shexian、南宫市 Nangong、涿鹿县 Zhuolu、青龙满族自治县 Qinglong、沙河市 Shahe、蔚县 Weixian、曲阳县 Quyang、下花园区 Xiahuayuan、广宗县 Guangzong、枣强县 Zaoqiang、宽城满族自治县 Kuancheng、新河县 Xinhe、唐县 Tangxian、临西县 Linxi
山西省 Shanxi	武乡县 Wuxiang、左权县 Zuoquan、榆社县 Yushe、昔阳县 Xiyang、沁县 Qinxian、和顺县 Heshun、郊区 Jiaoqu、阳城县 Yangcheng、平顺县 Pingshun、陵川县 Lingchuan、襄垣县 Xiangyuan、灵丘县 Lingqiu、平定县 Pingding、阳曲县 Yangqu、沁源县 Qinyuan、米脂县 Mizhi、寿阳县 Shouyang、盂县 Mengxian、壶关县 Huguan、娄烦县 Loufan、岚县 Lanxian、沁水县 Qinshui、长治县 Changzhi、古交市 Gujiao
内蒙古自治区 Inner Mongolia	松山区 Songshan、敖汉旗 Aohanqi、喀喇沁旗 Harqin Banner、宁城县 Ningcheng、翁牛特旗 Ongniud Banner
辽宁省 Liaoning	建平县 Jianping
陕西省 Shaanxi	延长县 Yanchang、安塞县 Ansai



农资综合补贴, 农户主粮作物生产成本得到降低, 增加了农户主粮种植的积极性<sup>[14]</sup>。根据国家发改委《2008 全国农产品成本收益资料汇编》<sup>[15]</sup>显示, 谷子全国平均净利润低于花生、棉花、粳稻、高粱、玉米, 高于油菜、大豆、小麦。谷子价格波动较大<sup>[16]</sup>, 效益不稳定, 在农村劳动力大量外流的背景下, 农民更愿意在水肥条件较好的地块种植效益高、种植管理简便、易于规模化机械化作业的小麦、玉米、蔬菜、棉花等作物, 谷子抗旱耐瘠的特点促使谷子向山区丘陵水少壤瘠的地块转移。吕超等<sup>[17]</sup>研究发现我国马铃薯种植的地理集聚区逐渐向西南地区、西北地区和华北地区的内蒙古转移, 内蒙阴山北麓种植马铃薯的经济效益远高于谷子<sup>[18]</sup>, 农牧交错区的部分谷子被新增的马铃薯所替代。另外, 由于谷子淀粉颗粒偏大, 口感较差, 烹饪制作费时费工, 只能作为辅粮, 其消费需求远比不上粮食、饲料与工业原料兼用的玉米。

### 3.2 东北地区中西部、北方农牧交错区及太行山沿线区具有恢复谷子生产的潜力

“镰刀弯”地区生态环境脆弱, 玉米产量低而不稳<sup>[19]</sup>。本研究的比较优势分析表明, 谷子在“镰刀弯”地区中的东北地区中西部、北方农牧交错区及太行山沿线区的单产较全国具有比较优势, 生育期短且水分利用效率较高的谷子在这些区域的播种面积有望回升。研究显示, 东北地区降水量呈下降趋势<sup>[20-21]</sup>, 在东北地区中西部种植玉米水稻等作物, 不利于当地地下水涵养。唐鹏钦等<sup>[22]</sup>发现, 近 30 年来东北水稻种植界限北移东扩, 向高海拔区扩展<sup>[23]</sup>, 中部和北部地区水稻种植增加较多。方福平等<sup>[24]</sup>发现, 2004—2010 年间东北水稻面积新增约  $1.533 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 其中绝大部分都是井灌稻, 造成了地下水位的下降。据李雷<sup>[25]</sup>和 YIN 等<sup>[26]</sup>研究显示, 东北地区西部干旱频繁发生, 该地区玉米生长阶段需要抽取地下水灌溉, 钟新科等<sup>[27]</sup>研究结果也表明春玉米灌溉需水量较高的区域集中在东北地区中西部。内蒙是最严重的缺水省区之一, 每  $0.067 \text{ hm}^2$  平均水资源占有量仅为全国的  $1/4$ , 水资源匮乏, 在内蒙等农牧交错区种植耗水较高的作物也不利于当地地下水涵养。胡琦等发现<sup>[28]</sup>内蒙马铃薯生育期有效降水时空分布不均匀, 地区间差异大, 在内蒙古东北部正常年无需灌溉, 西部和北部降水资源不足以支撑马铃薯生产。郑海春等<sup>[29]</sup>发现内蒙的部分地区由于马铃薯喷灌圈建设过于集中, 过度开采地下水形成“漏斗区”, 已影响到了当地的生产生活。而在黄淮海地区, 钟新科等<sup>[27]</sup>研

究发现由于当地雨热同期, 种植省工高产的夏玉米具有很好的气候适宜性, 在黄淮海大部分地区被夏玉米替代的夏谷较难恢复。

### 3.3 需求增加与技术进步促进谷子种植面积逐步回升

随着干旱发生频率增加, 谷子单产的大幅提高和人民群众对健康饮食的重视, 谷子的抗旱节水特性、营养保健价值被重新重视起来。高品质小米拥有较高的售价, 据调查研究, 农民谷子收购价  $3.4\text{—}3.8 \text{ 元/kg}$ 、一级批发售价  $5.2\text{—}5.8 \text{ 元/kg}$ 、二级批发售价  $6\text{—}8 \text{ 元/kg}$ 、精品小包装售价  $15\text{—}20 \text{ 元/kg}$ 、绿色认证谷子  $25\text{—}35 \text{ 元/kg}$ 、有机谷子售价约为  $35.9\text{—}44.8 \text{ 元/kg}$ <sup>[30]</sup>。在水少壤瘠的山区丘陵地带及其他干旱半干旱地区, 减少耗水作物的种植, 推广林下间作、旱作雨养与全程轻简化生产集成技术三位一体的种植模式, 适度扩大了绿色有机谷子种植面积, 有利于促进当地居民脱贫增收、优化粮食产量结构及减少地下水消耗。2008 年谷子被列入国家现代农业产业技术体系以来, 在稳定的科研经费支持下, 谷子育种与栽培研究得到快速发展<sup>[31]</sup>: 山西农业科学院研制的 MND 制剂能够实现谷子化控间苗、省工节支; 各地科研院所已培育出一些抗除草剂、株矮紧凑、穗齐易脱粒、适合食品加工的谷子简化栽培品种; 配套机械可实现精播免间苗、机械化播种收获。目前谷子单产  $4\ 500\text{—}7\ 500 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  (夏谷) 已很普遍, 据李顺国等<sup>[32]</sup>调查研究, 2012—2017 年河北玉米单产为  $8\ 032\text{—}15\ 540 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 价格  $1.6\text{—}2.3 \text{ 元/kg}$ , 净利润  $2\ 481\text{—}4\ 963 \text{ 元/hm}^2$ ; 谷子单产为  $4\ 395\text{—}4\ 680 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 价格  $3.2\text{—}10 \text{ 元/kg}$ , 净利润  $5\ 451\text{—}26\ 270 \text{ 元/hm}^2$ , 在科研工作者的努力下, 河北省谷子利润已较全国平均高  $2\ 047 \text{ 元/hm}^2$ , 较河北省玉米利润高约  $2\ 970 \text{ 元/hm}^2$ 。2005—2010 年间冀谷 25 及其配套简化栽培技术已在河北、河南、山东累计示范推广  $1.541 \times 10^5 \text{ hm}^2$ <sup>[33]</sup>, 该技术节约间苗除草用工劳动日  $90 \text{ 个/hm}^2$ , 节约用工费  $3\ 420 \text{ 元/hm}^2$ , 扣除新增种子和除草剂成本  $375 \text{ 元/hm}^2$ , 节支增收  $3\ 045 \text{ 元/hm}^2$ , 促进了谷子生产的恢复和发展。未来, 谷子优势生产区还需要进一步在育种、栽培、植保、加工等产业关键环节加大科研支持力度, 研发适宜谷子的特种机械, 通过实行良种补贴等加强政策支持。同时加强流通企业与加工企业的联合, 扶持和壮大现有企业, 提升加工规模和水平, 实施“名、优、特”品牌战略, 不断促进谷子生产向区域规模化、种植标准化、无公害化发展<sup>[34-35]</sup>。

## 4 结论

本研究结果表明,过去 30 年全国谷子播种面积先减后增,生产集中程度不断增大,优势产区趋于稳定。谷子产量变化贡献以面积为主、单产为辅,单产贡献率逐年增加。年际间谷子生产重心变化较小,其优势产区稳定在东北地区中西部、黄淮海平原中北部和北部中低高原区东南部,具体集中在内蒙古东部、东北三省与内蒙接壤的县域、河北大部、河南西北部、山东中部、山西大部、陕西北部、甘肃东部及宁夏中部。30 年间黄淮海平原区、东北地区与西北部分县域单产增加但播种面积大量减少,使该区域表现为单产优势与面积劣势,2000 年后北部中低高原区的吉林通榆、内蒙敖汉旗与山西部分县域的播种面积有所回升。播种面积较大而单产劣势的县域集中在黄土高原地区的陕西和山西中北部部分县域。黄淮海地区被夏玉米替代的夏谷或较难恢复,东北地区中西部、北方农牧交错区及太行山沿线区谷子生产具有恢复潜力。谷子育种、栽培技术与生产加工机械的进步,对谷子生产提质增效与实现产业化发展至关重要。

## References

- [1] 赵海云. 山西省谷子生产及其产业化开发//第四届中国杂粮产业发展论坛论文集. 山西省农业科学院, 2007: 16-20.
- ZHAO H Y. Production and industrialization of millet in Shanxi Province//*Papers Collection of the Fourth China Miscellaneous Grain Industry Development Forum*. Shanxi Academy of Agricultural Sciences, 2007: 16-20. (in Chinese)
- [2] 刘晓东, 白丽, 于树会, 张黎明. 河北省谷子生产现状调查研究. 江西农业学报, 2011, 23(10): 199-201.
- LIU X D, BAI L, YU S H, ZHANG L M. Investigation on production status of millet in Hebei province. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2011, 23(10): 199-201. (in Chinese)
- [3] ZUO L J, ZHANG Z X, CARLSON K M, MACDONALD G K, BRAUMAN K A, LIU Y C, ZHANG W, ZHANG H Y, WU W B, ZHAO X L, WANG X, LIU B, YI L, WEN Q K, LIU F, XU J Y, HU S G, SUN F F, GERBER J S, WEST P C. Progress towards sustainable intensification in China challenged by land-use change. *Nature Sustainability*, 2018, 1(6): 304-313.
- [4] 张雄, 王立祥, 柴岩, 廖允成. 小杂粮生产可持续发展探讨. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1595-1598.
- ZHANG X, WANG L X, CHAI Y, LIAO Y C. Sustainable development of minor food crops in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(12): 1595-1598. (in Chinese)
- [5] 刘忠, 黄峰, 李保国. 2003-2011 年中国粮食增产的贡献因素分析. 农业工程学报, 2013, 29(23): 1-8.
- LIU Z, HUANG F, LI B G. Investigating contribution factors to China's grain output increase in period of 2003 to 2011. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(23): 1-8. (in Chinese)
- [6] 刘彦随, 翟荣新. 中国粮食生产时空格局动态及其优化策略探析. 地域研究与开发, 2009, 28(1): 1-5.
- LIU Y S, ZHAI R X. Spatial-temporal pattern changes and optimal strategy of grain production in China since 1990s. *Areal Research and Development*, 2009, 28(1): 1-5. (in Chinese)
- [7] 刘珍环, 李正国, 唐鹏钦, 李志鹏, 吴文斌, 杨鹏, 游良, 唐华俊. 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.
- LIU Z H, LI Z G, TANG P Q, LI Z P, WU W B, YANG P, YOU L, TANG H J. Spatial-temporal changes of rice area and production in China during 1980-2010. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(5): 680-693. (in Chinese)
- [8] 徐海亚, 朱会义. 基于自然地理分区的 1990-2010 年中国粮食生产格局变化. 地理学报, 2015, 70(4): 582-590.
- XU H Y, ZHU H Y. Spatial change of China's grain production based on geographical division of natural factors during 1990-2010. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(4): 582-590. (in Chinese)
- [9] 刘珍环, 杨鹏, 吴文斌, 李正国, 游良志. 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.
- LIU Z H, YANG P, WU W B, LI Z G, YOU L Z. Spatio-temporal changes in Chinese crop patterns over the past three decades. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5): 840-851.
- [10] 中华人民共和国农业部种植业司. 农作物查询(省). 北京: 中华人民共和国农业部 [2017-09-17]. <http://202.127.42.157/moazzys/nongqing.aspx>.
- Planting Division of Ministry of Agriculture of People's Republic of China. Province Crop Database. Beijing: Ministry of Agriculture of the People's Republic of China [2017-09-17]. <http://202.127.42.157/moazzys/nongqing.aspx>. (in Chinese)
- [11] 刘巽浩, 陈阜. 中国农作制. 北京: 中国农业出版社, 2005: 30-33.
- LIU X H, CHEN F. *Chinese Farming System*. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 30-33. (in Chinese)
- [12] 王小慧, 姜雨林, 刘洋, 卢捷, 尹小刚, 史磊刚, 黄晶, 褚庆全, 陈阜. 基于县域单元的我国水稻生产时空动态变化. 作物学报, 2018, 44(11): 1704-1712.
- WANG X H, JIANG Y L, LIU Y, LU J, YIN X G, SHI L G, HUANG J,

- CHU Q Q, CHEN F. Spatio-temporal changes of rice production in China based on county unit. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(11): 1704-1712. (in Chinese)
- [13] 李会忠. 中国主要农作物省级区域比较优势实证分析[D]. 北京: 清华大学, 2006: 21-26.
- LI H Z. An empirical analysis of provincial planting comparative advantage in China[D]. Beijing: Tsinghua University, 2006: 21-26. (in Chinese)
- [14] 刘斌, 王秀东. 我国粮食“九连增”主要因素贡献浅析. 中国农业资源与区划, 2013, 34(4): 5-10.
- LIU B, WANG X D. Analysis of the major contribution factors of nine-year consecutive increasing of China's grain. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2013, 34(4): 5-10. (in Chinese)
- [15] 中华人民共和国国家发展和改革委员会价格司. 2008 全国农产品成本收益资料汇编. 北京: 中国统计出版社, 2008: 36-168.
- Price Division of the National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. *Compilation of Cost-Benefit Data of National Agricultural Products in 2008*. Beijing: China Statistics Press, 2008: 36-168. (in Chinese)
- [16] 李顺国, 刘斐, 刘猛, 刁现民. 新时期中国谷子产业发展技术需求与展望. 农学报, 2018, 8(6): 96-100.
- LI S G, LIU F, LIU M, DIAO X M. Technology need and prospect of foxtail millet industry development in China in the new era. *Journal of Agriculture*, 2018, 8(6): 96-100. (in Chinese)
- [17] 吕超, 耿献辉, 张荣敏. 中国马铃薯种植的时空布局演化研究. 统计与决策, 2017(18): 136-140.
- LÜ C, GENG X H, ZHANG R M. Research on the spatial and temporal distribution evolution of potato planting in China. *Statistics and Decision*, 2017(18): 136-140. (in Chinese)
- [18] 段玉, 妥德宝, 赵沛义, 李焕春, 张君, 姚俊卿, 付贵锁. 内蒙古阴山北麓主要作物综合生产能力分析//2011 中国环境科学学会学术年会论文集(第四卷). 中国环境科学学会, 2011: 6.
- DUAN Y, TUO D B, ZHAO P Y, LI H C, ZHANG J, YAO J Q, FU G S. Comprehensive production capacity analysis of major crops in the northern foothills of the Yinshan mountains in Inner Mongolia//2011 *Proceedings of the Annual Conference of the Chinese Society of Environmental Sciences (Volume iv)*. Chinese Society of Environmental Sciences, 2011: 6. (in Chinese)
- [19] 农业部种植业管理司. 农业部关于“镰刀弯”地区玉米结构调整的指导意见 [EB/OL]. (2015-11-02)[2018-05-03]. <http://jiuban.moa.gov.cn/zwlmm/tzgg/tz/201511/t201511024885037.htm>.
- Department of Crop Management, Ministry of Agriculture. Guiding opinions of Ministry of Agriculture on corn structure adjustment in “sickle bend” area. [EB/OL]. (2015-11-02)[2018-05-03]. <http://jiuban.moa.gov.cn/zwlmm/tzgg/tz/201511/t201511024885037.htm>. (in Chinese)
- [20] 姜晓剑, 汤亮, 刘小军, 黄芬, 曹卫星, 朱艳. 中国主要稻作区水稻生产气候资源的时空特征. 农业工程学报, 2011, 27(7): 238-245.
- JIANG X J, TANG L, LIU X J, HUANG F, CAO W X, ZHU Y. Spatial and temporal characteristics of rice production climatic resources in main growing regions of China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(7): 238-245. (in Chinese)
- [21] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 李克南, 张晓煜. 气候变化背景下我国东北三省农业气候资源变化特征. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2199-2206.
- LIU Z J, YANG X G, WANG W F, LI K N, ZHANG X Y. Characteristics of agricultural climate resources in three provinces of Northeast China under global climate change. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(9): 2199-2206. (in Chinese)
- [22] 唐鹏钦, 陈仲新, 杨鹏, 李正国, 刘珍环, 姚艳敏. 利用作物空间分配模型模拟近 30 年东北地区水稻分布变化//中国农业资源与区划学会学术年会, 2012.
- TANG P Q, CHEN Z X, YANG P, LI Z G, LIU Z H, YAO Y M. Crop spatial distribution model was used to simulate the variation of rice distribution in northeast China in recent 30 years//*Academic Annual Meeting of China Society of Agricultural Resources and Regionalization*. 2012. (in Chinese)
- [23] 陈浩, 李正国, 唐鹏钦, 胡亚南, 谭杰扬, 刘珍环, 游良志, 杨鹏. 气候变化背景下东北水稻的时空分布特征. 应用生态学报, 2016, 27(8): 2571-2579.
- CHEN H, LI Z G, TANG P Q, HU Y N, TAN J Y, LIU Z H, YOU L Z, YANG P. Rice area change in Northeast China and its correlation with climate change. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(8): 2571-2579. (in Chinese)
- [24] 方福平, 徐春春, 李凤博, 周锡跃. 当前东北水稻生产与市场形势分析. 中国稻米, 2010, 16(1): 44-47.
- FANG F P, XU C C, LI F B, ZHOU X Y. Analysis of current rice production and market situation in northeast China. *China Rice*, 2010, 16(1): 44-47. (in Chinese)
- [25] 李雷. 东北地区玉米种植范围的水分适宜性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018: 40-45.
- LI L. Research on water suitability of maize planting area in Northeast China[D]. Changchun: Jilin University, 2018: 40-45. (in Chinese)
- [26] YIN X G, JABLOUN M, OLESEN J E, ÖZTÜRK I, WANG M,

- CHEN F. Effects of climatic factors, drought risk and irrigation requirement on maize yield in the northeast farming region of China. *The Journal of Agricultural Science*, 2016, 154(7): 1171-1189.
- [27] 钟新科, 刘洛, 徐新良, 游松财. 近30年中国玉米气候生产潜力时空变化特征. *农业工程学报*, 2012, 28(15): 94-101.
- ZHONG X K, LIU L, XU X L, YOU S C. Characteristics of spatial-temporal variation of maize climate productivity during last 30 years in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(15): 94-101. (in Chinese)
- [28] 胡琦, 潘学标, 邵长秀, 张丹, 杨宁. 内蒙古降水量分布及其对马铃薯灌溉需水量的影响. *中国农业气象*, 2013, 34(4): 419-424.
- HU Q, PAN X B, SHAO C X, ZHANG D, YANG N. Distribution of precipitation in Inner Mongolia and its impact on potato irrigation amount. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2013, 34(4): 419-424. (in Chinese)
- [29] 郑海春, 白云龙. 内蒙古马铃薯节水灌溉技术推广与应用. *农业技术与装备*, 2011(21): 16-19.
- ZHENG H C, BAI Y L. Popularization and application of water-saving irrigation technology for potatoes in Inner Mongolia. *Agricultural Technology and Equipment*, 2011(21): 16-19. (in Chinese)
- [30] 张雪峰. 中国谷子产业发展问题研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013: 47-49.
- ZHANG X F. Studies on the issues of millet industry development in China[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013:47-49. (in Chinese)
- [31] 李明哲, 郝洪波, 崔海英. 谷子规模化高效栽培技术研究. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016: 7-14.
- LI M Z, HAO H B, CUI H Y. *Millet Scale Efficient Cultivation Technology Research*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2016: 7-14. (in Chinese)
- [32] 李顺国, 刘猛, 刘斐. 河北省谷子产业发展研究. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2018: 26-31.
- LI S G, LIU M, LIU F. *Research on the Development of Millet Industry in Hebei Province*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2018: 26-31. (in Chinese)
- [33] 夏雪岩, 师志刚, 刘正理, 程汝宏. 栽培方式对简化栽培品种冀谷25生长发育的影响. *河北农业科学*, 2010, 14(11): 5-7, 12.
- XIA X Y, SHI Z G, LIU Z L, CHENG R H. Effects of cultivation methods on the growth and development of simplified cultural foxtail millet variety Jigu 25. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2010, 14(11): 5-7, 12. (in Chinese)
- [34] 刁现民. 中国谷子产业与产业技术体系. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 130-134.
- DIAO X M. *China Millet Industry and Industrial Technology System*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2011: 130-134. (in Chinese)
- [35] 李顺国, 刘斐, 刘猛, 赵宇, 龚瑞平, 杨振立. 近期中国谷子高粱产业发展形势与未来趋势. *农业展望*, 2018, 14(10): 37-40.
- LI S G, LIU F, LIU M, ZHAO Y, GONG R P, YANG Z L. Recent development situation and future trends of China's foxtail millet and sorghum industries. *Agricultural Outlook*, 2018, 14(10): 37-40. (in Chinese)

(责任编辑 杨鑫浩)