

# 中国耕地粮食生产能力及产量差测算

高婵<sup>1</sup> 张蚌蚌<sup>2,3\*</sup> 赵敏娟<sup>2,3</sup> 杨小柳<sup>1\*</sup>

(1. 北京大学 城市与环境学院, 北京 100871;

2. 西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学 应用经济研究中心, 陕西 杨凌 712100)

**摘要** 为准确测算现有农业生产科技水平下的中国粮食生产能力,以2012—2016年最新粮食作物审定品种的区域试验产量为基础,构建测度模型,估算中国(不包括香港和澳门特别行政区及台湾省)耕地粮食的育种生产能力,测算中国耕地粮食产量差(增产潜力)及生产能力开发程度,并分析省际差异规律。结果表明:1)中国现有耕地粮食生产能力是 $8.46 \times 10^8$  t,实际粮食产量是 $5.48 \times 10^8$  t,差值达 $2.98 \times 10^8$  t,占粮食实际产量的54.38%,耕地生产能力开发率为0.63,说明中国耕地粮食潜力有待进一步挖掘。2)中国耕地粮食总生产能力和潜力较大的省市自治区是:黑龙江省、河南省、山东省、河北省、吉林省、安徽省、内蒙古自治区、江苏省、湖南省、四川省、辽宁省、湖北省、云南省和江西省,应作为未来耕地保护和农田建设的重点对象,可通过土地整治和栽培技术等手段,提高耕地质量。3)同时,开发耕地生产潜力需因地制宜,实现提高粮食产量和保护生态的平衡。在江西省、福建省和浙江省,建议加大农田基础设施建设,提高耕地生产能力;在河北省,需提高水资源利用率,实现节水保粮;在宁夏回族自治区、甘肃省和陕西省,需协调农业-能源-水资源关系,实现绿色可持续发展;在广西壮族自治区、贵州省和云南省,可以利用气候优势,在缓坡丘陵区种植茶树、花卉,发展特色农业;在内蒙古自治区、西藏自治区和青海省,不建议过度开发粮食生产潜力。

**关键词** 中国; 生产能力; 审定品种区域试验产量; 实际产量; 产量差

中图分类号 F301.2

文章编号 1007-4333(2019)03-0010-09

文献标志码 A

## Grain productivity potential of cultivated land and yield gap analysis in China

GAO Chan<sup>1</sup>, ZHANG Bangbang<sup>2,3\*</sup>, ZHAO Minjuan<sup>2,3</sup>, YANG Xiaoliu<sup>1\*</sup>

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2. College of Economics and Management, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

3. Applied Economics Research Center, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract** In order to precisely estimate the production capacity under the latest scientific and technological level, this study builds a measurement model based on the regional test yield of the latest approved varieties of food crops from 2012 to 2016, estimates the breeding production capacity of cultivated land grain in China (excluding Hong Kong, Macao and Taiwan in this study), measures the difference in cultivated land grain yield (yield increase potential) and the development degree of production capacity in China and analyzes the law of inter-provincial differences. The results are as follows: 1) The grain production capacity of cultivated land in China is  $8.46 \times 10^8$  t, the actual output is  $5.48 \times$

收稿日期: 2019-03-09

基金项目: 国家自然科学基金(41801210,41471017);中国博士后科学基金(2019T120959,2018M631214);陕西省社会科学基金(2018S14);陕西省博士后科学基金(2018BSHEDZZ82);陕西省软科学研究计划(2018KRM003)

第一作者: 高婵, 硕士研究生, E-mail: 1801214098@pku.edu.cn

通讯作者: 张蚌蚌, 讲师, 主要从事耕地质量与土地评价研究, E-mail: bangbang.zhang@nwafu.edu.cn

杨小柳, 教授, 主要从事为流域综合管理研究, E-mail: xlyang11@pku.edu.cn

$10^8$  t, the difference is  $2.98 \times 10^8$  t, accounting for 54.38% of the actual grain production, and the development rate of cultivated land production capacity is 0.63, which shows that the potential of cultivated land in China can be further developed. 2) China's provinces and cities (such as Heilongjiang Province, Henan Province, Shandong Province, Hebei Province, Jilin Province, Anhui Province, Inner Mongolia Autonomous Region, Jiangsu Province, Hunan Province, Sichuan Province, Liaoning Province, Hubei Province, Yunnan Province, and Jiangxi Province) with large total cultivated land grain production capacity and potential should be taken as key targets for future cultivated land protection and construction, and the quality of cultivated land can be improved through land improvement and cultivation techniques. 3) To develop the productive potential of cultivated land, it is necessary to adjust measures to local conditions so as to realize the balance between increasing grain output and protecting ecology. In Jiangxi Province, Fujian Province and Zhejiang Province, it is suggested to increase the construction of farmland infrastructure and improve the productivity of farmland. In Hebei Province, it is necessary to improve the utilization rate of water resources and to save water and keep grain. In Ningxia Hui Autonomous Region, Gansu Province and Shaanxi Province, it is necessary to coordinate the relationship between agriculture, energy and water resources in order to realize green and sustainable development. In Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guizhou Province and Yunnan Province, tea trees and flowers can be planted in gentle slope hilly areas to develop characteristic agriculture by taking advantage of the climate. In Inner Mongolia Autonomous Region, Tibet Autonomous Region and Qinghai Province, over-exploitation of grain production potential is not recommended.

**Keywords** China; potential grain productivity; regional test yield of certificated grain cultivars; real productivity; yield gap

中国人口众多,耕地资源宝贵且有限。随着城市化和工业化进程不断加快,非农建设将不可避免的占用耕地<sup>[1-4]</sup>。尽管中国实行耕地占补平衡政策,但现实中往往存在占多补少、占优补劣和异地占补的现象<sup>[5-6]</sup>。《2016 中国国土资源公报》<sup>[7]</sup>数据显示,从 2011—2016 年,中国耕地面积呈持续下降态势;截至 2016 年末,中国耕地面积为  $1.35 \times 10^8$  hm<sup>2</sup> (20.24 亿亩)。与此同时,2016 年中国粮食总产量为  $6.16 \times 10^8$  t,比去年减少 0.8%,结束了十二连增。未来,中国粮食需求总量仍呈增长态势,中国面临的粮食安全压力将继续存在。为了确保粮食、耕地资源安全,不仅要坚守耕地数量红线,还应对中国耕地质量状况进行调查评价<sup>[8]</sup>。耕地质量高低具体表现为产能的大小,耕地粮食产能的测算在保障国家粮食安全中显得尤为重要<sup>[9]</sup>。

目前,围绕中国耕地生产潜力的研究已有很多。谢俊奇等<sup>[10]</sup>基于 AEZ 方法,测算 2000 年的中国耕地生产潜力为  $5.9 \times 10^8$  t;张晋科等<sup>[11]</sup>基于 2002—2004 年作物审定品种,测算中国耕地育种生产能力为  $9.2 \times 10^8$  t;党安荣等<sup>[12]</sup>基于气候生产潜力、土地生产潜力、社会生产潜力和分县粮食作物播种面积,计算中国粮食生产绝对潜力总值为  $8.87 \times 10^8$  t;戚世钧等<sup>[13]</sup>构建分析模型,预测到 2030 年中国粮食生产总量为  $6.23 \times 10^8$  t;卢布等<sup>[14]</sup>利用“农业综合预测法”分析预测 2020 年中国粮食总产可达到  $5.58 \times 10^8 \sim 6.00 \times 10^8$  t。

这些研究的生产潜力估算大多是基于农业生态区展开,以省级行政区为单位统计估算则鲜有报道。本研究以中国 31 个省(自治区、直辖市)为研究单元,统计 2012—2016 年各省市自治区三大主粮作物审定品种的区域试验粮食产量,将其平均产量作为粮食作物的单产能力,分析育种、栽培和施肥等最新科技水平下的生产能力,同时避免各种修正系数的繁琐计算;并基于各省级行政区的粮食产能数据,测算中国耕地粮食的育种生产能力、增产潜力及生产能力开发程度,旨在阐明中国粮食生产潜力的省际差异,探讨不同省级行政区的经济发展、地方政策、生态环境对其粮食增产的影响,以期为国家粮食政策的制定和耕地保护战略的实施提供依据。

## 1 数据来源和研究方法

2012—2016 年中国各省市自治区粮食作物品种的审定材料主要来源于种业商务网、第一种业网和国家水稻数据中心等网站。共搜集了 117 个水稻品种,315 个玉米品种,161 个小麦品种的审定材料,其中包括各个品种的品种信息、产量特性、适宜种植区域和管理要求等。三大主粮作物的实际产量和播种面积来源于 2015 年的《中国统计年鉴》<sup>[15]</sup>。

**1.1 农业生态二级区及各分区作物审定产量分布**  
综合考虑农用地分等标准耕作制度分区和“中

国农业生态区划方案”,在不打破县级行政界线的情况下,将中国划分为12个农业生态区、41个农业生态亚区、105个农业生态小区<sup>[16]</sup>。每个农业生态小区都是一个自然条件、社会经济条件相对均一的区域,其种植制度相同或相似。

本研究采用41个农业生态亚区作为基本单元来统计各作物的审定产量。通过生态亚区界限与中国的省级行政界限的叠加处理,以及各作物审定产量的点密度分析,得到三大作物的审定产量在中国的分布情况。图1可知,中国的水稻、玉米和小麦的审定产量在各省市自治区内的分布情况是比较均匀的,且在二级区内均有分布。再按省级行政区单位统计各作物的产量数据,来研究中国耕地粮食生产能力以及产量差。

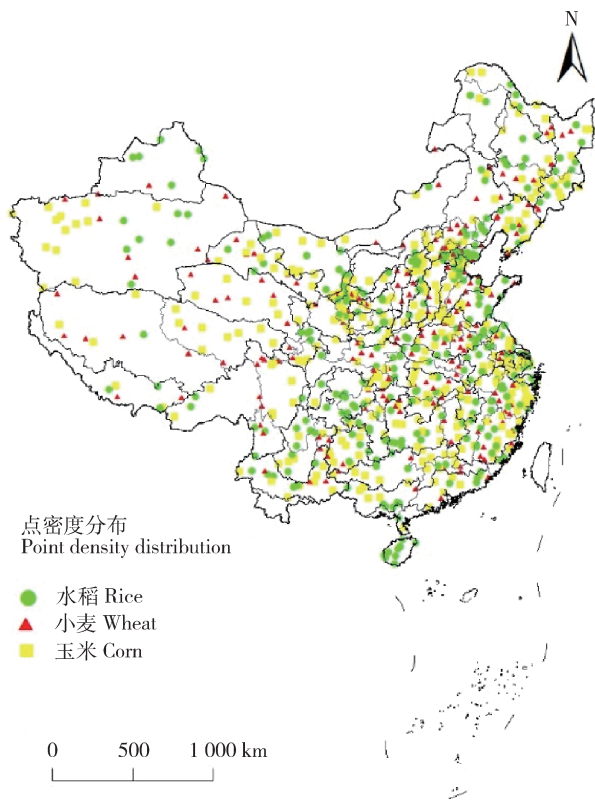


图1 中国农业生态亚区作物审定品种分布

Fig. 1 Distribution of certificated crop cultivars in agricultural ecological subregions of China

## 1.2 耕地粮食单产能力及生产能力

耕地粮食生产能力是指一定区域、一定时期内,由当地的自然条件和当前的技术经济水平决定的粮食作物或粮食作物结构所能达到的最高产量<sup>[16-18]</sup>。粮食作物的生产能力计算公式如下:

$$Y_k = \left[ \frac{\sum_{j=1}^n y_{kj}}{n} \cdot \beta \right] \cdot a_k$$

式中: $Y_k$ 表示第 $k$ 种作物的生产能力; $y_{kj}$ 表示 $k$ 作物的第 $j$ 个品种区域试验的产量; $a_k$ 表示第 $k$ 种粮食作物的播种面积; $n$ 表示该作物进行品种区域试验的品种个数; $\beta$ 表示该作物的粮食单产能力折算系数。由于不同粮食作物的营养价值不同,这里借鉴张晋科等<sup>[19]</sup>的计算方法,将水稻、小麦和玉米按等值物计算,得到水稻、小麦和玉米的 $\beta$ 为1。

需要说明的是,个别省市自治区的粮食作物播种面积较小,试验产量数据缺失,如江西省,湖南省,海南省,西藏自治区和甘肃省的部分作物数据缺失,本研究使用二级生态区的产量数据代替。除此之外,福建省和广东省的玉米试验产量是由玉米鲜果穗的产量和玉米鲜苞的产量按比例系数换算得到。

## 1.3 耕地粮食实际产量与实际单产

粮食实际产量代表耕地的实际粮食生产力,主要由耕地面积、粮食单产、粮作比例和复种指数等决定。粮食作物的实际单产计算公式如下:

$$y'_k = \frac{Y'_k \cdot \beta}{a'_k}$$

式中: $y'_k$ 表示第 $k$ 种粮食作物的实际单产; $a'_k$ 表示第 $k$ 种粮食作物的播种面积; $Y'_k$ 表示 $k$ 粮食作物的实际产量; $\beta$ 表示该作物的粮食单产能力折算系数。同上,将水稻、小麦和玉米按等值物计算,即水稻、小麦和玉米的 $\beta$ 为1。

## 1.4 耕地粮食生产能力与粮食实际产量的对比分析

### 1.4.1 单位面积耕地产量差

粮食作物的单位面积耕地产量差(后文简称单产差)的计算公式如下:

$$f_i = y_i - y'_i$$

式中: $f_i$ 表示 $i$ 省级行政区的单位面积耕地产量差; $y_i$ 表示 $i$ 省级行政区的粮食作物的单产能力; $y'_i$ 表示 $i$ 省级行政区的耕地粮食的实际单产。

### 1.4.2 耕地粮食产量差

耕地粮食产量差计算公式如下:

$$F_i = \sum_{k=1}^m (Y_{ik} - Y'_{ik})$$

式中: $F_i$ 表示 $i$ 省级行政区的耕地粮食产量差; $Y_{ik}$ 表示 $i$ 省级行政区内第 $k$ 种粮食作物的生产能力; $Y'_{ik}$ 表示 $i$ 省级行政区内 $k$ 种粮食作物的实际产量; $m$ 表示粮食作物的种类数。

### 1.4.3 生产能力开发率

“生产能力开发率”是指耕地的粮食实际单产除以粮食单产能力,用来反映粮食生产能力的开发程度。计算公式如下:

$$I_i = \frac{y'_i}{y_i}$$

式中:  $I_i$  表示  $i$  省级行政区粮食生产能力开发率;  $y'_i$  表示  $i$  省级行政区粮食作物的实际单产;  $y_i$  表示  $i$  省级行政区粮食作物的单产能力。

## 2 结果与分析

### 2.1 中国耕地总生产能力及省际分异规律

#### 2.1.1 中国耕地总生产能力

图2所示,中国耕地的粮食总生产能力是  $8.46 \times 10^8$  t,

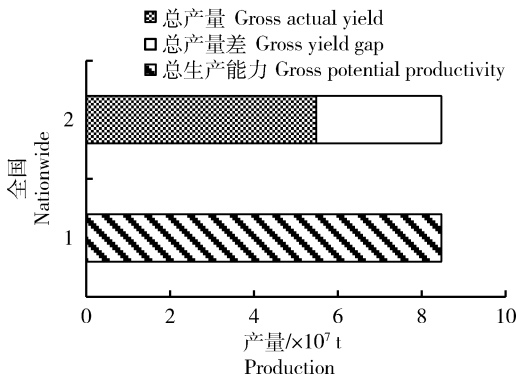


图2 中国耕地粮食总生产能力、总产量与总产量差

Fig. 2 Gross grain potential productivity, gross actual production and gross yield gap in China

$10^8$  t,实际产量是  $5.48 \times 10^8$  t,差值达到  $2.98 \times 10^8$  t,占粮食实际产量的 54.38%;表明在现有科技水平条件下,中国耕地产量仍存在较大的增长空间。

#### 2.1.2 中国耕地生产能力及产量差省际分异规律

图3表明,中国耕地粮食生产能力较高的省级行政区依次是黑龙江省、河南省、山东省、河北省、吉林省、安徽省、内蒙古自治区、江苏省、湖南省、四川省、辽宁省、湖北省、云南省和江西省,其耕地粮食生产能力均高于中国平均水平 ( $2.73 \times 10^7$  t),其粮食生产能力范围  $2.77 \times 10^7 \sim 8.44 \times 10^7$  t,其粮食生产能力之和为  $6.74 \times 10^8$  t,占中国粮食总生产能力的 79.62%。这些省份的耕地水热条件较好,地形平坦,应作为中国未来耕地保护的重点区域;耕地生产能力较低的省级行政区是福建省、宁夏回族自治区、天津市、海南省、上海市、北京市、青海省和西藏自治区,其生产能力范围是  $0.30 \times 10^6 \sim 6.64 \times 10^6$  t,其生产能力之和为  $2.18 \times 10^7$  t,仅占中国粮食总生产能力的 2.58%。其耕地生产能力较低,主要因为耕地资源数量不足,耕地利用集约度下降;而山西省、陕西省、广西壮族自治区、新疆维吾尔自治区、甘肃省、贵州省、广东省、重庆市和浙江省的耕地生产能力居中,生产能力范围是  $0.66 \times 10^7 \sim 2.77 \times 10^7$  t,生产能力之和为  $1.51 \times 10^8$  t,占中国粮食总生产能力的 17.80%。总体来看,耕地生产能力主要集中分布在中国的黄淮海地区、东北地区 and 长江中下游地区,且呈现由北向南,由沿海向内陆递减的趋势。

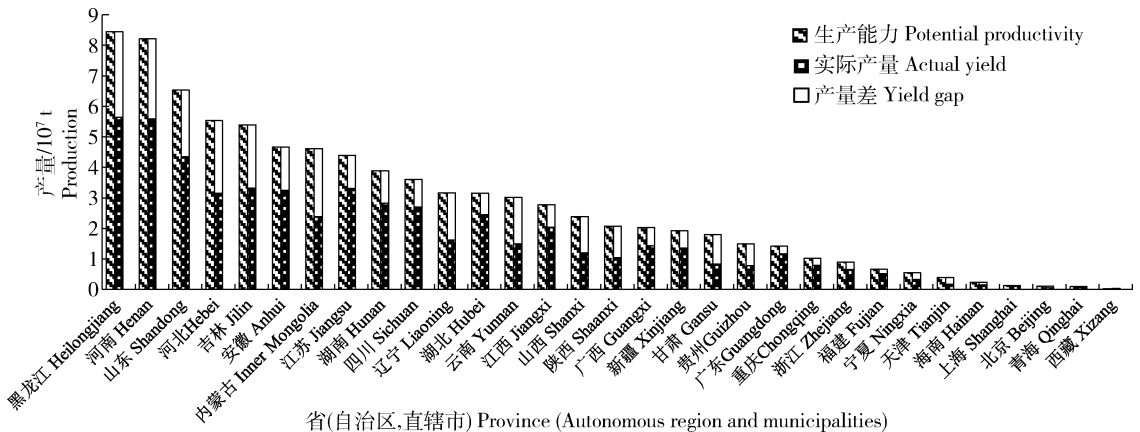


图3 各省级行政区耕地粮食生产能力、实际产量和产量差

Fig. 3 Grain potential productivity, actual production and yield gap in each province

中国各省级行政区耕地粮食产量差与其粮食生产能力表现出相似的空间变化趋势(图4),两者的线性相关分析图,相关系数为 0.89。对于耕地粮食

生产能力较高的省级行政区,如黑龙江省、河南省、山东省、河北省、吉林省、安徽省、内蒙古自治区、江苏省、湖南省、四川省、辽宁省、湖北省、云南省和江

西省等,耕地产量差较大,范围为  $0.71 \times 10^7 \sim 2.81 \times 10^7$  t,应该是中国大力开展道路和水利等农田基础设施建设的重点省市自治区;反之,福建省、宁夏回族自治区、天津市、海南省、上海市、北京市、青海省和西藏自治区的耕地生产能力产量差较小,主要是因为耕地数量较少,耕地利用集约度不高。

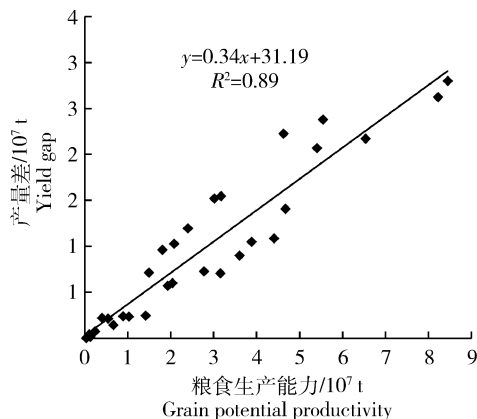


图4 各省级行政区耕地粮食产量差与生产能力的关系

Fig. 4 Relationship between yield gap and grain potential productivity of cultivated land in each province

## 2.2 中国耕地粮食单产能力的空间分异

### 2.2.1 耕地粮食单产能力的省际差异

图5可知,中国耕地粮食单产能力的空间变化规律是由南向北呈递增趋势。总体上看,从西北向东南延伸的青海省、四川省、重庆市、湖北省、贵州省、广西壮族自治区、广东省、海南省和福建省9个省区的耕地粮食单产能力最低,均低于  $6\,992$   $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。其中青海省主要是由于降水量的限制,导致单产能力较低;广西壮族自治区和四川省等省区则主要是由于复种指数较高,生育期较短导致耕地粮食单产能力较小;对于广东省和海南省,经济发达,城镇化发展可能会占用优质耕地,耕地质量下降,因此粮食单产能力较低。中国的黄淮海地区以及东部沿海的部分省市耕地粮食单产能力较高,其耕地粮食单产能力为  $6\,993 \sim 9\,217$   $\text{kg}/\text{hm}^2$ ;因为这些省市位于中国的第三阶梯,地势平缓,降雨丰沛,气温适宜,有利于作物的生长。而新疆维吾尔自治区和内蒙古自治区地区的耕地粮食单产能力最高,均高于  $9\,217$   $\text{kg}/\text{hm}^2$ ;这表明虽然这些地区处于干旱半干旱地区,水热条件不足,但若加强道路和灌溉设施配套建设,其灌溉耕地的单产能力可以在一定程度上提高。可见,耕

地单产能力与耕地资源的自然禀赋状况有关,同时受城镇化进程的影响很大。

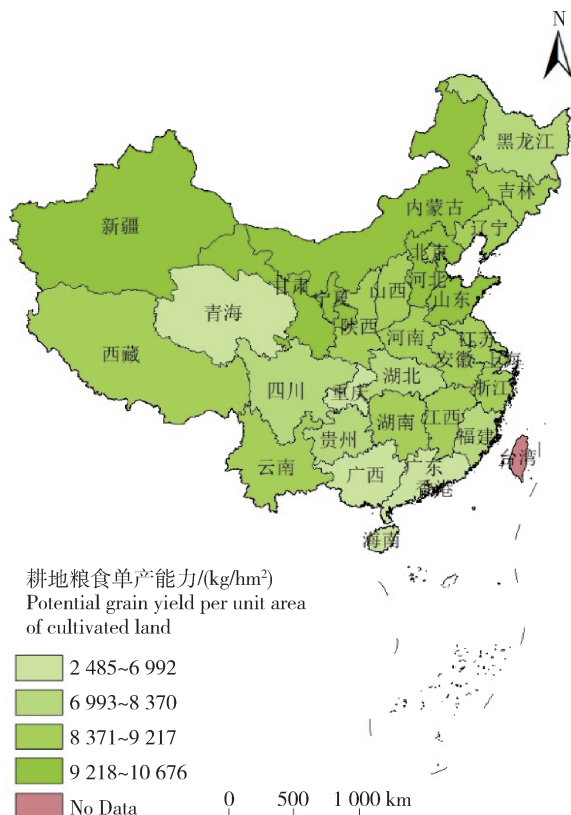


图5 中国耕地粮食单产能力图

Fig. 5 Potential productivity per unit area of cultivated land in China

### 2.2.2 耕地粮食单产差的省际差异

中国耕地粮食单产能力与其单位面积耕地粮食增产潜力表现出较相似的空间变化趋势(图6),两者的线性相关分析图,相关系数为0.46。图7所示,耕地粮食单产差(单位面积增产潜力)较大的省市自治区是江西省、天津市、云南省、甘肃省、内蒙古自治区、湖南省、河北省、福建省、浙江省、山西省、宁夏回族自治区、贵州省和陕西省等,均高于  $2\,981$   $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。这些省市自治区受耕地质量、降水条件、耕地集约化水平等方面的限制较大,粮食现实单产与单产能力差距明显。如处于西北地区的部分省区水资源紧缺,灌溉耕地的灌溉保证率低;贵州省、云南省的耕地土壤贫瘠,养分与水分的供应不足<sup>[18]</sup>。

### 2.3 耕地生产能力开发率的省际差异

中国粮食生产能力的平均开发率是0.63,高于该平均水平的省市自治区包括黑龙江省、吉林省、辽宁省、山东省、江苏省、河南省、安徽省、湖北省、重庆

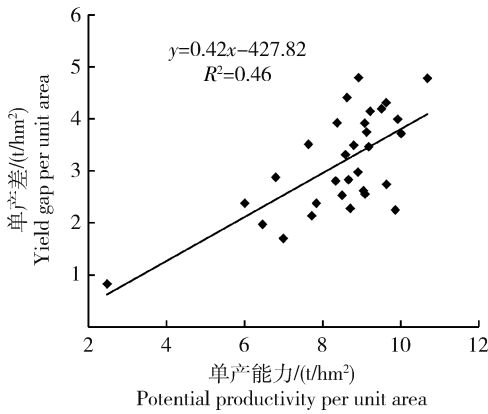


图 6 各省级行政区耕地粮食单产差与单产能力关系

Fig. 6 Relationship of potential productivity and yield gap per unit area of cultivated land in each province

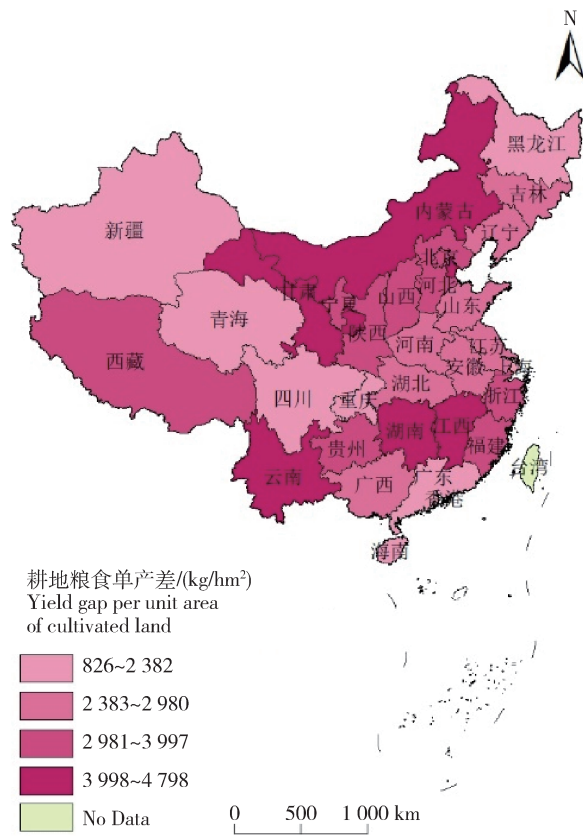


图 7 中国耕地粮食单产差图

Fig. 7 Yield gap per unit area of cultivated land in China

市、四川省、广东省、海南省、新疆维吾尔自治区，耕地开发率范围是 0.64~0.77；低于该平均水平的省市自治区包括内蒙古自治区、甘肃省、宁夏回族自治区、山西省、陕西省、北京市、河北省、青海省、西藏自治区、云南省、贵州省、湖南省、广西壮族自治区、江西省、福建省和浙江省，其耕地开发率范围是

0.49~0.63(图 8)。生产能力开发率高的省市大致可以分为三类：一是东南沿海省份，如：广东省和海南省；二是东北三省、长江流域流经的省市和黄河中下游段的省份，如：黑龙江省、吉林省、辽宁省、四川省、重庆市、山东省、江苏省、河南省、安徽省和湖北省等；三是青海省、西藏自治区和新疆维吾尔自治区。其中东南沿海地区的省市经济发达，注重耕地质量建设，资金与技术投入多<sup>[20]</sup>；而东北三省及长江、黄河中下游段的省份耕地质量较好，农业生产配套技术发展较成熟，再加上农民因其他就业出路少，种粮积极性高，更愿在土地上投入较多的劳力与资金<sup>[19]</sup>；而总体自然条件差的新疆维吾尔自治区和西藏自治区耕地粮食生产能力开发程度高有以下几方面原因，一是退耕还林退掉了大量劣质耕地，现有耕地大多分布在自然条件相对较好的河谷、湖滨和盆地<sup>[21]</sup>，二是可能是存在一定数量的报产量不报面积的边角碎块耕地<sup>[22]</sup>；三是，由于新疆维吾尔自治区和西藏自治区复种指数几乎为 1，长生育期导致耕地生产能力开发率较高。

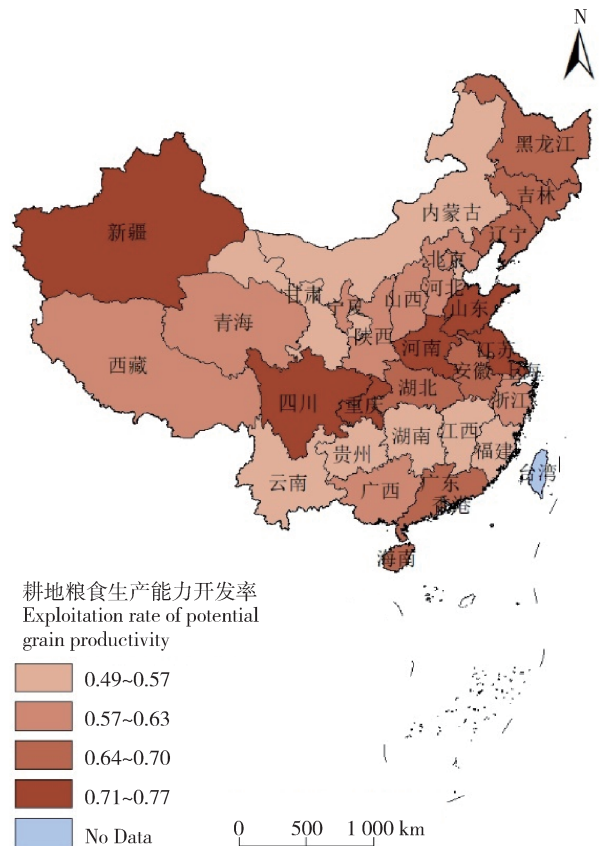


图 8 中国耕地粮食生产能力开发率图

Fig. 8 National rate of potential grain productivity exploitation

相反,粮食生产能力开发率低的省市自治区可分为两类:一是位于耕地质量差的中国北部和云贵高原的省市自治区,二是东南沿海的浙江省、江西省和福建省。耕地质量差的地区,主要受到经济条件的限制,政府的农业公共设施投入能力和农民个人的化肥、灌溉等投入能力均有限,土地经营粗放,粮食生产的投入管理水平低<sup>[22]</sup>,因此其耕地生产能力的开发程度低。这些省市自治区不论是耕地质量还是资金、技术投入水平都有一定的提升空间,但值得注意的是,耕地质量大多有坡度、土层厚度与灌溉条件方面的限制,其改造难度大且改造成本高。如位于黄土高原、云贵高原的省市自治区水土流失和土壤侵蚀严重<sup>[21]</sup>,其中云南省和贵州省甚至出现了山地石化,通过坡耕地治理、土壤培肥提高单产的难度很大;对于位于东南沿海生产能力开发率较低的省市自治区,拥有优越的地理条件,经济发达,耕地粮食的单产能力水平居中国中上游水平,应加大粮食生产开发的力度,增加农田水利设施投入,提高耕地粮食产量。

综上所述,耕地生产潜力的开发应充分考虑当地的自然资源条件和生态环境特征,因地制宜,实现粮食生产能力开发和生态环境保护之间的平衡。具体来看,河北省作为粮食主产区,面临着过度开采地下水灌溉形成的“漏斗”危机,“漏斗区”如何节水保粮是实现粮食生产绿色增效发展的关键;而内蒙古自治区、西藏自治区和青海省等生态脆弱区,面临着过度开垦草地等生态用地的困境,过度开发粮食生产潜力会加剧生态环境恶化;宁夏回族自治区、甘肃省和陕西省等水资源匮乏地区,农业用水粗放,大型的能源化工基地的建设增加当地的用水压力,如何协调农业-能源-水资源的纽带关系是平衡粮食生产和生态环境的重点;广西壮族自治区、贵州省和云南省,虽然降水充沛,但因地形地貌崎岖水资源利用率低,当地可以利用气候优势,在缓坡丘陵区种植茶树、花卉,发展特色农业。

### 3 结论与讨论

本研究以中国31个省(自治区、直辖市)为研究单元,利用粮食作物审定品种的区域试验产量,计算2012—2016年中国最新科技水平下的耕地生产能力。中国耕地总生产能力为 $8.46 \times 10^8$  t,中国耕地的实际产量是 $5.48 \times 10^8$  t,差值达 $2.98 \times 10^8$  t,中国耕地生产能力开发率为0.63。表明在该科技水

平下,中国耕地粮食产量仍具有较大的增长空间,其耕地潜力有待进一步挖掘。

总体来看,中国耕地粮食生产能力和产量差较高的地区集中分布在黄淮海地区、东北地区和长江中下游地区,且呈现由北向南、由沿海向内陆递减的趋势。中国耕地粮食单产能力由南向北递增,在一定程度上与耕地资源的自然禀赋状况有关,同时受城镇化建设占用优质耕地的影响。耕地粮食单产差高的省市自治区大多位于中国南部以及北部,主要与耕地质量、降水条件和土壤养分等自然因素和耕地集约利用等投入要素有关。

具体来看,耕地粮食生产能力和产量差较高的省市自治区是黑龙江省、河南省、山东省、河北省、吉林省、安徽省、内蒙古自治区、江苏省、湖南省、四川省、辽宁省、湖北省、云南省和江西省,其耕地粮食生产能力均高于中国平均水平( $2.73 \times 10^7$  t),其粮食生产能力之和为 $6.74 \times 10^8$  t,占中国粮食总生产能力的79.62%,其产量差范围是 $0.71 \times 10^7 \sim 2.81 \times 10^7$  t。这些省级行政区有一定质量和数量的耕地,既是中国粮食生产能力主要集中的省市自治区,又是挖掘生产潜力的重要省市自治区,应作为未来耕地保护和农田建设的重点对象。

同时,耕地生产潜力的开发应该充分考虑当地的自然资源条件和生态环境特征,实现生产能力开发和生态环境保护之间的平衡。对于耕地生产能力开发率低的东南沿海地区,如,江西省、福建省和浙江省等省市自治区,建议加大农田基础设施建设,进一步提高耕地的生产能力;对于粮食主产区河北省,需对地下水超采进行综合治理,提高水资源利用率,实现节水保粮;对于水风险过高的西北地区,如,宁夏回族自治区、甘肃省和陕西省等,需要协调农业-能源-水资源的纽带关系,实现绿色可持续发展;对于地形地貌崎岖的广西壮族自治区、贵州省和云南省,可以利用气候优势,在缓坡丘陵区种植茶树、花卉,发展特色农业;对于过度开垦草地等生态用地的生态脆弱区,如,内蒙古自治区、西藏自治区和青海省等,不建议过度开发粮食生产潜力。

### 参考文献 References

- [1] 张彪,刁承泰. 基于农用地分等理论的耕地生产潜力研究[J]. 农机化研究, 2012, 34(4): 1-7  
Zhang B, Diao C T. Research on potential grain productivity

- based on farmland classification theory [J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2012, 34(4): 1-7 (in Chinese)
- [2] 陈志刚, 曲福田, 韩立, 高艳梅. 工业化、城镇化进程中的农村土地问题:特征、诱因与解决路径[J]. 经济体制改革, 2010(5): 93-98  
Cheng Z G, Qu F T, Han L, Gao Y M. Analysis of the rural land questions in the process of industrialization and urbanization [J]. *Economic Reform*, 2010(5): 93-98 (in Chinese)
- [3] 张郁, 刘洁, 杨青山. 黑龙江垦区农业生产与面源污染的脱钩分析与调控模拟[J]. 经济地理, 2017, 37(6): 177-182  
Zhang Y, Liu J, Yang Q S. Decoupling analysis and regulation simulation of agricultural production and non-point source pollution in Heilongjiang reclamation area [J]. *Economic Geography*, 2017, 37(6): 117-182 (in Chinese)
- [4] 柳荻, 胡振通, 靳乐山. 华北地下水超采区农户对休耕政策的满意度及其影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(1): 22-27  
Liu D, Hu Z T, Jin L S. Analysis of satisfaction and influencing factors of farmers' following policy in northern groundwater over-exploitation area [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, 32(1): 22-27 (in Chinese)
- [5] 孙蕊, 孙萍, 吴金希. 我国耕地占补平衡政策研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(1): 331-332  
Sun R, Sun P, Wu J X. Summary of study on China's cultivated land requisition-compensation balance policy [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(1): 331-332 (in Chinese)
- [6] 程朋, 崔鹏艳. 耕地占补平衡在土地资源优化中的分析与应用[J]. 科技创新与应用, 2019(3): 174-175  
Chen P, Cui P Y. Analysis and application of cultivated land occupation and compensation balance in land resource optimization [J]. *Technology Innovation and Application*, 2019(3): 174-175 (in Chinese)
- [7] 地质装备编辑部. 2016 中国国土资源公报发布[J]. 地质装备, 2017, 18(4): 3-4  
Equipment for Geotechnical Engineering. 2016 China land and resources bulletin released [J]. *Geological Equipment*, 2017, 18(4): 3-4 (in Chinese)
- [8] 郎文聚. 调查评价耕地质量确保粮食安全[N]. 中国自然资源报, 2019-03-07(5)  
Xun W J. Investigation and evaluation of cultivated Land quality to ensure food security [N]. *China Natural Resources News*, 2019-03-07(5) (in Chinese)
- [9] 张凤荣, 张晋科, 张迪, 吴初国, 徐艳. 1996—2004 年中国耕地的粮食生产能力变化研究[J]. 中国土地科学, 2006, 20(2): 9-10  
Zhang F R, Zhang J K, Zhang D, Wu C G, Xu Y. Change of potential grain productivity of cultivated land from 1996 to 2004 in China [J]. *China Land Science*, 2006, 20(2): 9-10 (in Chinese)
- [10] 谢俊奇, 蔡玉梅, 郑振源, 林培. 基于改进的农业生态区法的中国耕地粮食生产潜力评价[J]. 中国土地科学, 2004, 18(4): 31-37  
Xie J Q, Cai Y M, Zheng Z Y, Lin P. AEZ-based assessment for food productivity potential of cultivated land in China [J]. *China Land Science*, 2004, 18(4): 31-37 (in Chinese)
- [11] 张晋科, 张凤荣, 张迪, 吴初国, 安萍莉. 2004 年中国耕地的粮食生产能力研究[J]. 资源科学, 2006, 28(3): 45-46  
Zhang J K, Zhang F R, Zhang D, Wu G C, An L P. The capacity of grain production on arable land in 2004 in China [J]. *Source Science*, 2006, 28(3): 45-46 (in Chinese)
- [12] 党安荣, 阎守邕, 周艺. 地理信息系统支持下的中国粮食生产潜力研究[J]. 遥感学报, 1999, 3(3): 225-229  
Dang A R, Yan S Y, Zhou Y. A GIS based study on the potential grain productivity of China [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1999, 3(3): 225-229 (in Chinese)
- [13] 戚世钧, 牛彦绍. 中国粮食生产潜力及未来粮食生产研究[J]. 郑州粮食学院学报, 2000, 21(1): 13-17  
Qi S J, Niu Y S. Study on the production potentiality and the future grain production of Chinese cereals and grains [J]. *Journal of Zhengzhou Grain College*, 2000, 21(1): 13-17 (in Chinese)
- [14] 卢布, 吴凯, 陈印军, 肖碧林, 陈学渊, 王小平, 王勇, 万富世. 2020 年我国区域粮食生产潜力及实现途径[J]. 中国软科学, 2009(S1): 188-192  
Lu B, Wu K, Chen Y J, Xiao B L, Chen X Y, Wang X P, Wang Y, Wan F S. Grain product potentials and implementing routes of China's grain eco-regions in 2020 [J]. *China Soft Science*, 2009(S1): 188-192 (in Chinese)
- [15] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京市: 中国统计出版社, 2016  
National Bureau of Statistics. *China Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016 (in Chinese)
- [16] 杜莲英, 王秀芬. 基于县域的吉林粮食生产及作物结构变化分析[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(3): 31-37  
Du L Y, Wang X F. Study on the change of grain production and the crop structure of Jilin production at county level [J]. *Journal of Chian Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(3): 31-37 (in Chinese)



- [17] 刘玉, 蒙达, 周艳兵, 高秉博. 京津冀地区粮食产量变化及其作物结构分析[J]. 经济地理, 2014, 34(8): 125-130  
Liu Y, Meng D, Zhou Y B, Gao B B. Analysis of grain yield changes and crop structure in Beijing-Tianjin-Hebei Region [J]. *Economic Geography*, 2014, 34 ( 8 ): 125-130 (in Chinese)
- [18] 李志红, 谢东辉. 影响我国气候旱区粮食生产能力的灰色关联分析[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(8): 124-129  
Li Z H, Xie D H. Grey correlation analysis of grain production capacity affecting China's climate and arid areas[J]. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(8): 124-129 (in Chinese)
- [19] 陈印军, 肖碧林, 方琳娜, 马宏岭, 杨瑞珍, 易小燕, 李倩倩. 中国耕地质量状况分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(17): 3561-3562  
Chen Y J, Xiao B L, Fang L N, Ma H L, Yang R L, Yi X Y, Li Q Q. The quality analysis of cultivated land in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(17): 3557-3564 (in Chinese)
- [20] 陈百明. 中国农业资源综合生产能力与人口承载能力[M]. 北京: 气象出版社, 2001  
Chen B M. *The Comprehensive Productivity and Population Carrying Capacity of Agricultural Resources in China* [M]. Beijing: Weather Press, 2001 (in Chinese)
- [21] 张凤荣. 中国土地资源及其可持续利用[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000  
Zhang F R. *Land Resources and Their Sustainable Utilization* [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2000 (in Chinese)
- [22] 姚慧敏, 张莉琴, 张凤荣, 孔祥斌, 安萍莉. 农用地分等中的土地利用系数计算[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 89-95  
Yao H M, Zhang L Q, Zhang F R, Kong X B, An L P. Calculation method of land use coefficient in agricultural land gradation[J]. *Resources Science*, 2004, 26 ( 4 ): 89-95 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅