

“一带一路”沿线国家粮食发展潜力分析

孙致陆, 李先德

(中国农业科学院 农业经济与发展研究所, 北京 100081)



摘要 以小麦、稻谷和玉米三大主粮为例并结合 FAOSTAT 数据库 2013 年数据, 利用 GAEZ v3.0 方法测算了“一带一路”沿线国家粮食发展潜力。结果表明:“一带一路”沿线国家中, 印度和俄罗斯粮食发展潜力位处前两位, 乌克兰、泰国、土耳其、罗马尼亚、伊朗、巴基斯坦、哈萨克斯坦等国也具有较强粮食发展潜力。从总体上看, “一带一路”沿线国家的粮食发展潜力约在 3.82~4.10 亿吨之间, 发展潜力幅度在 40.34%~43.29% 之间; 小麦发展潜力约在 1.92~2.18 亿吨之间, 发展潜力幅度在 59.63%~67.62% 之间; 稻谷发展潜力约在 0.88~0.92 亿吨之间, 发展潜力幅度在 19.41%~20.36% 之间; 玉米发展潜力约在 1.00~1.04 亿吨之间, 发展潜力幅度在 58.30%~60.88% 之间。

关键词 “一带一路”沿线国家; 粮食; 发展潜力; 小麦; 稻谷; 玉米

中图分类号: F 316.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-3456(2017)01-0032-12

DOI 编码: 10.13300/j.cnki.hnwkxb.2017.01.005

到 21 世纪中叶, 世界人口预计将增长到 85 亿至 100 亿, 而全球粮食总产量要比当前增加 70%~100% 才能满足那时人们生活的需求^[1]。要实现这一目标, 世界粮食主产国需大幅提高粮食产量。扩大种植面积和提高单产, 是提高粮食总产量的两个主要途径。根据 FAOSTAT 数据库数据, 1961—2012 年, 世界耕地面积增加了约 1.19 亿公顷, 但主要来自热带地区森林的砍伐; 这些新开垦耕地对世界粮食总产量增加的实际贡献并不大, 但却带来了非常严重的生态环境问题^[2]。因此, 未来全球只依靠增加耕地面积来增加粮食总产量的可能性已非常小, 未来世界粮食产量增加将主要依靠单产的进一步提高。然而, 在世界很多主要粮食产地, 粮食单产增长较为缓慢, 甚至出现了下降^[3], 这给未来保障全球粮食安全带来了非常严峻的挑战。粮食安全的基础是粮食综合生产能力, 粮食安全问题的核心是粮食综合生产能力的安全^[4-5]。粮食综合生产能力反映了一定时期的一定地区, 在一定经济技术条件下, 由各生产要素综合投入所形成的, 可稳定达到一定产量的粮食产出能力, 其具体包括耕地保护能力、生产技术水平、政策保障能力、科技服务能力和抵御自然灾害能力^[6-10], 其形成是耕地、资本、劳动力、技术等各种生产要素及其影响因素合力推动的结果^[11-12], 它是粮食作物或粮食作物组合所能达到的最高产量^[13], 也即粮食生产潜力。粮食现实产量可理解为耕地的现实粮食生产力, 通过对耕地的粮食生产潜力与粮食现实产量的比较分析, 可以判断耕地的粮食产量能否进一步提高以及提高幅度, 即粮食产量的提升潜力状况, 也即粮食发展潜力。

2013 年 9 月和 10 月, 国家主席习近平在出访中亚和东南亚国家期间先后提出共建“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”(下文简称“一带一路”沿线国家)的重大倡议, 得到国际社会高度关注。根据 FAOSTAT 数据库数据, 以小麦、稻谷和玉米三大主粮为例, 从收获面积看, “一带一路”沿线国家粮食收获面积总体上持续扩大, 2000 年为 2.43 亿公顷, 此后总体上持续波动变化, 2007 年起

收稿日期: 2016-07-14

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程“国外农业经济与政策”(ASTIP-IAED-2016-06)。

作者简介: 孙致陆(1983-), 男, 助理研究员, 博士; 研究方向: 农产品市场与贸易。

通讯作者: 李先德(1964-), 男, 研究员, 博士; 研究方向: 农产品市场与贸易。

以增为主,且一直高于 2.50 亿公顷,2013 年扩大至 2.72 亿公顷,比 2000 年增加了 0.29 亿公顷;“一带一路”沿线国家粮食收获面积占世界粮食收获面积的比重先增后降,且持续高于 47%,2000 年为 47.93%,2002 年提高至 48.54%,此后稳中有降,到 2013 年为 47.75%;2013 年,“一带一路”沿线国家小麦、稻谷和玉米收获面积分别占世界小麦、稻谷和玉米收获面积的 54.15%、69.18%和 21.06%,分别比 2000 年提高了 3.59、0.82 和 0.24 个百分点。从产量看,“一带一路”沿线国家粮食产量进一步增长,2000 年为 6.50 亿吨,2001 年提高至 7.02 亿吨,2002—2003 年小幅下降,2004 年以来则以增为主,2013 年提高至 9.47 亿吨,比 2000 年增加了 2.97 亿吨;“一带一路”沿线国家粮食产量占世界粮食产量的比重稳中有增,2000 年为 36.59%,2013 年提高至 38.27%,比 2000 年增加了 1.68 个百分点;2013 年,“一带一路”沿线国家小麦、稻谷和玉米产量分别占世界小麦、稻谷和玉米产量的 45.04%、61.26%和 16.78%,分别比 2000 年提高了 4.76、4.20 和 4.52 个百分点。可见,“一带一路”沿线国家是世界粮食重要产区。那么,“一带一路”沿线国家主要粮食作物到底是否能继续增产?增产空间又有多大?定量研究“一带一路”沿线国家粮食发展潜力,能有效回答这些问题,并揭示其未来粮食增产情况;同时,分析“一带一路”沿线国家粮食发展潜力的区域分布情况,还能有效识别“一带一路”沿线哪些国家和地区更容易提升粮食产量。因此,研究“一带一路”沿线国家粮食发展潜力具有较为重要的现实意义。

一、研究方法 with 数据说明

1. 研究方法 with 模型

国内外已有定量研究粮食生产潜力的文献所采用的研究方法总体上可以分为 4 种^[10]:第一种方法是模型模拟法,该方法是定量分析粮食生产潜力的最常用方法,它通过选择合理的作物生长发育模型,结合多年的气象数据及栽培管理措施(如品种信息、播种时间、密度等),通过对作物生育期内光合与呼吸作用等生理过程的模拟,来估算田块、区域或国家层面上的产量潜力^[14-15];该方法采用的模型具体可以分为 3 类^[16]:机制法模型,该类模型又称潜力衰减模型,是从作物截光特征和光合作用出发,依据作物能量转化及生长过程,从光照限制,到温度限制,再到水分限制的逐步“衰减”来估算其生产潜力,如光温阶乘模型、Wagenigen 模型、全球农业生态区域(global agro-ecological zone, GAEZ)方法等;作物模型,该类模型以气候因素为基础,通过对与作物生长相关的参数的设定,模拟作物整个生长过程并估算作物生产潜力,如 SUCROS 模型、CERES 模型、EPIC 模型等;经验公式模型,该类模型通过对作物产量数据、气象观测数据等历史资料的统计分析,归纳总结作物生产潜力及影响其变化的环境因素,进而计算作物生产潜力,如 Gessner-Lieth 模型、Miani 模型、Chikugo 模型等。第二种方法是高产纪录法,是农户在专家的指导下,在较好的地块上,不计水肥投入所能实现的最大产量,比较接近最大产量潜力,它代表了该地区作物目前的最高产量^[17]。第三种方法是田间试验产量法,该方法也是量化分析作物产量潜力的一种常用方法,其中,试验产量是指在未经特定选择的试验田块中直接获得的产量,是在优化的管理措施下所达到的产量^[14]。第四种方法是高产农户法,其中,高产农户是指在大量农户中产量较高的那部分农户所达到的产量水平,一般按照产量前 5%~10%农户计算^[18]。比较上述定量测算粮食生产潜力的四种方法可知,模型模拟法较好地考虑了作物生长发育过程以及栽培管理措施之间的交互作用,但由于品种以及栽培管理措施的多样性,不同情景下的模拟结果可能会存在较大差异;对于高产纪录法,由于对特定田块(土壤条件)的选择性和不计成本及环境承载的投入,因此该方法不具有普遍性,在反映地区整体代表性上有一定局限性;对于田间试验产量法,由于土壤、气候差异、投入差异、技术、管理等方面的差异,田间试验所能达到的产量也会不同;对于高产农户法,由于受到投入成本、技术条件等的限制,高产农户的产量通常要低于模型模拟产量和高产纪录产量^[10]。因此,经过综合比较,本文接下来采用模型模拟法中的 GAEZ 方法来分析“一带一路”

沿线国家^①的粮食发展潜力。

土地和水资源的质量与可获得性以及相关社会经济与制度因素,对于粮食安全都是必不可少的。某种作物的生产潜力描述了在一定的农业气候、土壤与地形条件以及农业投入与管理水平下,该种作物所能达到的产量上限^[19],它是影响和决定粮食安全的最重要因素之一。为了评价土地资源及其生产潜力,联合国粮农组织(FAO)和国际应用系统分析研究所(IIASA)合作开发了 GAEZ 方法,它的提出是基于 1978 年起用于评估农业生产潜力和生产能力以及实际单产、潜在单产和单产差距的 FAO 土地评价框架。农业生态区域(AEZ)被定义为具有相似土壤、土地和气候特征的同类持续利用的土地^[20]。GAEZ 方法利用土地资源,评估了一定农业生态背景下、采用特定管理方式和投入水平时所有可能的土地利用方式,并量化了作物的预期产量^[21]。依靠详尽的土地资源数据以及对其生物物理限制和作物生产潜力的评估,GAEZ 方法使得合理的土地利用规划成为了可能^[22]。

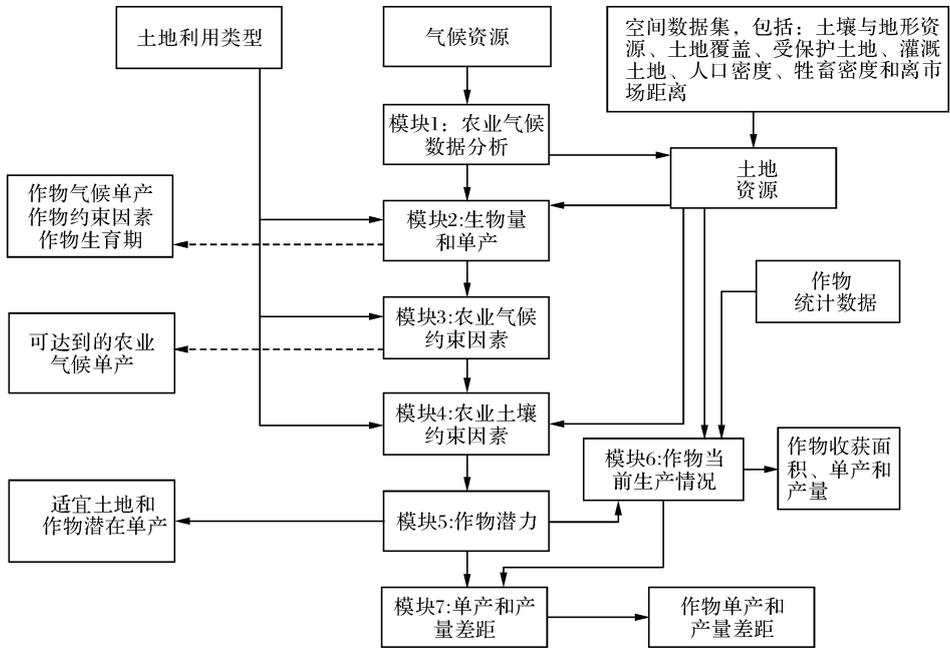


图 1 GAZE 方法的分析模块结构^[19]

在过去的几十年中,FAO 和 IIASA 合作对 GAEZ 方法进行了持续更新和完善。信息技术的日新月异,产生了大量详尽且海量的全球数据库资源,这也使得 GAEZ 评估在 2000 年首次得以实现,此后,FAO 和 IIASA 每隔若干年开展一次 GAEZ 评估。2000 年,FAO 和 IIASA 合作开发了 GAEZ v1.0 CD-ROM,2002 年合作开发了 GAEZ v2.0 CD-ROM,2012 年合作开发了 GAEZ v3.0,2013 年以来又正在合作开发 GAEZ v4.0。GAEZ 方法的整体结构与数据分析流程如图 1 所示。具体来看,利用 GAEZ 方法进行评估时,具体包括了以下 7 个分析模块^[19]:①农业气候数据分析与常见农业气候指标汇编;②特定作物农业气候评估与有限水资源下潜在生物量及单产测算;③农业气候约束引起的单产下降;④土壤和地形约束引起的单产下降;⑤将前述四个模块得到的结果整合到特定作物栅格单元数据库中;⑥根据主要粮食和纤维作物 2000 年和 2005 年相关统计数据(来源于 FAOSTAT 数据库和 FAO Study AT 2015/30)估算谷物等 23 种主要作物的实际单产和产量;⑦比较分析主要作物的潜在单产及产量与实际单产及产量的差距。其中,根据模块①至模块⑤,可以估算得到主要作物的

① 本文将“一带一路”沿线国家界定为 64 个国家,包括:印度尼西亚、马来西亚、菲律宾、新加坡、泰国、文莱、越南、老挝、缅甸、柬埔寨、东帝汶、尼泊尔、不丹、印度、巴基斯坦、孟加拉国、斯里兰卡、马尔代夫、阿富汗、哈萨克斯坦、土库曼斯坦、吉尔吉斯斯坦、乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦、伊朗、伊拉克、格鲁吉亚、亚美尼亚、阿塞拜疆、土耳其、叙利亚、约旦、以色列、巴勒斯坦、沙特阿拉伯、巴林、卡塔尔、也门、阿曼、阿联酋、科威特、黎巴嫩、阿尔巴尼亚、波黑、保加利亚、克罗地亚、捷克、爱沙尼亚、匈牙利、拉脱维亚、立陶宛、马其顿、黑山、罗马尼亚、波兰、塞尔维亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、俄罗斯、白俄罗斯、乌克兰、摩尔多瓦、蒙古和埃及。

潜在单产及其在不同适宜土地上的分布情况^①。

从作物学的角度看,GAEZ 方法较为全面地考虑了影响作物生长的主要气候因素(辐射、温度、降水等),并根据作物本身特点,对不同作物的生物量生产率、生育期划分、叶面积指数、收获指数、缺水敏感性等进行了大量基于长期试验数据的订正。GAEZ 方法以标准作物的生物量和生物量总量为基础,然后依次进行温度订正、叶面积订正、净生物量订正和收获指数订正,这些订正过程都与具体的作物种类有关,并且分生育期进行,以此来确定受气候、辐射和气温支配的某种已经适宜的作物的最高产量^[16]。具体来看,GAEZ 方法首先计算光温生产潜力,以标准作物的生物量总量 Y_0 为基础,不同作物在不同温度条件下的生物量生产率 y_m 也有所不同(标准作物的 $y_m = 20$ 千克/公顷·时),其计算公式如下:

当 $y_m \geq 20$ 千克/公顷·时时,

$$Y_{mp} = \sum_{i=1}^n \{CL_i \times CN_i \times HI_i \times G_i \times [F_i \times (0.8 + 0.01y_{mi}) \times Y_{0i} + (1 - F_i) \times (0.5 + 0.25y_{mi}) \times y_{ci}]\} \quad (1)$$

当 $y_m < 20$ 千克/公顷·时时,

$$Y_{mp} = \sum_{i=1}^n \{CL_i \times CN_i \times HI_i \times G_i \times [F_i \times (0.5 + 0.025y_{mi}) \times Y_{0i} + (1 - F_i) \times 0.05y_{mi} \times y_{ci}]\} \quad (2)$$

式(1)(2)中, Y_0 为标准作物生物量总量(千克/公顷·天); y_m 为全晴天既定点标准作物的总生物量产量(千克/公顷·天); y_c 为不同作物在不同温度条件下的生物量生产率; CL 为作物在不同生育期的叶面积订正系数,一般取值在 0.5~0.6 之间; CN 为净生物量订正系数,指作物在呼吸耗损后,净生物量占总光合作用产物的比率,当平均温度 $> 20^\circ\text{C}$ 时,取值 0.5,当平均温度 $\leq 20^\circ\text{C}$,取值 0.6; HI 为收获指数,指灌溉条件下作物收获部分(果实部分)的净重量占生物量总净重量的比率,粮食作物的 HI 一般取值在 0.35~0.5 之间; G 为生长期长度。

其次,计算雨养条件下作物由于缺水减产后的产量,计算公式为:

$$Y = Y_{mp} \times [1 - K_r \times (1 - ET_a / ET_m)] \quad (3)$$

式(3)中, K_r 为产量反映系数,用以描述不同生育期作物对缺水的敏感性,粮食作物不同时期的 K_r 值在 0.2~2.3 之间; ET_m 为作物的最大蒸散量,由标准蒸散量 ET_0 和作物生育期蒸散系数 K_c 共同决定; ET_a 为作物的实际蒸散量,由土壤有效水分系数 SAD 、土壤实际含水量 ST 和系数 p (作物类型和最大蒸散量的函数)共同决定,其上限是最大蒸散量,当 $ET_a = ET_m$ 时,作物获得最高产量,当 $ET_a < ET_m$ 时,作物将因缺水而减产。

2. 数据说明

目前,GAEZ 方法已在世界各地得到了较为广泛的应用。随着 GAEZ 方法的持续完善与升级,其关注的议题、数据库规模、分析结果等都在成倍增长。GAEZ 方法的整个数据库及其分析结果总体上可分为以下 5 个主要方面^[23]:①土地和水资源(包括土壤资源、地形资源、土地覆盖情况、土地受保护状况和相关社会经济及人口数据);②农业气候资源(包括 7 种观测气候指标数据^②);③适宜性和主要农作物潜在单产(具体是基于历史、基准和未来气候条件以及可选的 3 类投入/管理水平下的 280 种作物/土地利用类型^③,主要农作物涵盖了 11 个作物大类、49 种作物和 92 个作物类别^④);④主要农作物的实际单产和产量;⑤主要农作物的单产和产量差距(具体是以主要农作物的实际单产和产量分别与潜在单产和产量的比率及差值的形式来表示)。GAEZ 方法运行所需主要数据指标及其数

① 土地适宜性包括 5 种类型:非常适宜(very suitable, VS)、适宜(suitable, S)、中度适宜(moderately suitable, MS)、勉强适宜(marginally suitable, mS)和不适宜(not suitable, NS)。

② 7 种观测气候指标包括:平均气温、昼夜温差、日照百分率、10 米高度风速、相对湿度、雨天天数和降水量。

③ 3 类投入/管理水平包括:低水平投入(假定为传统管理模式)、中等水平投入(假定为改进后的管理模式)和高水平投入(假定为先进管理模式);关于 280 种作物/土地利用类型,参见^[22]。

④ 11 个作物大类包括:生物能源作物、谷物、纤维作物、饲料作物、水果、茶和咖啡及烟草、油料作物、豆类作物、根及块茎类作物、糖料作物和蔬菜;关于 49 种作物和 92 个作物类别,参见^[22]。

据来源如表 1 所示。

二、参数设定与结果分析

1. 参数设定

利用 GAEZ v3.0 方法并结合 FAOSTAT 数据库数据分析“一带一路”沿线国家粮食发展潜力,分析过程中各个参数的设定如下。

表 1 GAEZ 方法运行的主要基础数据指标及其数据来源和研究机构^[19]

数据指标		数据来源和研究机构
农业气候指标	观测气候指标	指标:平均气温(°C)、昼夜温差(°C)、日照百分率(%),10 米高度风速(米/秒)、相对湿度(%)和雨天数(天) 数据来源:CRU CL 2.0 和 CRU TS 2.1 研究机构:Climate Research Unit of University of East Anglia
	气候变化模拟	指标:降水量(毫米) 数据来源:VASCLimO(Variability Analysis of Surface Climate Observations)version 1.1 研究机构:German Weather Service, Global Precipitation Climatology Centre 和 Johann Wolfgang Goethe-University Frankfurt, Institute for Atmosphere and Environment-Working Group for Climatology
土壤数据		可供选择的 4 种模拟气候变化的 General Circulation Models(GCMs)及其研究机构: 1)CSIRO(Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia) 2)CGCM2(Canadian General Circulation Model) 3)ECHAM4(Max-Planck-Institute for Meteorology, Germany) 4)HadCM3(Hadley Centre, UK Meteorological Office)
高程数据及派生地形坡度与坡向数据		数据来源:Harmonized World Soil Database(HWSD)version 1.1 研究机构:The Land Use Change and Agriculture Program of IIASA(LUC)和 FAO
土地覆盖情况数据		The Shuttle Radar Topography Mission(SRTM)
土地受保护状况数据		Global Land Cover(GLC)2000、IFPRI Agricultural Extent Database、The Global Forest Resources Assessment 2000 and 2005、Digital Global Map of Irrigated Areas(GMIA)version 4.01、IUCN-WCMC、LANDSCAN 2003、LandScanTM Global Population Database 和 UN 2000 年人口数据
行政区划情况数据		World Database of Protected Areas Annual Release 2009(WDPA 2009)和 European Union NATURA 2000 network
		The Global Administrative Unit Layers(GAUL)

(1)作物类型(crop)。按照本文对粮食的界定,分别选定了小麦、稻谷和玉米。对于稻谷,GAEZ v3.0 进行了分类,分别是水地稻谷和旱地稻谷,本文分别选定了水地稻谷和旱地稻谷,并对所得到的面积和潜在产量分别进行加总,进而得到稻谷合计的面积和潜在产量。

(2)水供给(water supply)。本文分别选定了雨养(rain-fed)和灌溉(irrigation)两种水供给状态,并根据各自的输出结果,分别对面积和潜在产量进行加总,进而计算得到小麦、稻谷和玉米的总体潜在单产。

(3)投入水平(input level)。本文在 3 种投入水平中选定了表示先进管理模式的高投入水平,以切实分析“一带一路”沿线国家粮食发展潜力。在高投入水平下,农作体系及管理均主要以市场为中心,管理目标是产品商业化;生产过程中,播种的是改良后的高产品种,实现了完全机械化且劳动密集型很低,使用最优的肥料以及虫害、病害和杂草化学控制技术^[24]。

(4)CO₂施肥效应(CO₂ fertilization)。在可见光照射下,作物可以进行光合作用,具体是利用叶绿素将 CO₂ 和水转化为有机物并存储能量,促进自身生长,实际上相当于对作物的生长发育进行了施肥。因此,本文在分析过程中均选定了存在 CO₂ 施肥效应。

(5)时期(time period)。GAEZ v3.0 方法给定了 3 类时期,分别是:历史(historical)、基准(baseline)和未来(future)。其中,历史时期包括了从 1961 年到 2000 年的历年;基准时期反映了 1961—

1990 年的平均气候条件;未来时期包括了根据 4 种大气循环模型(General Circulation Models)分别模拟得到的 3 个时期的平均气候条件:2020s(对应于 2011—2040 年)、2050s(对应于 2041—2070 年)和 2080s(对应于 2071—2100 年)。本文立足于未来的角度来分析“一带一路”沿线国家的粮食发展潜力,选择 GCM2(Canadian General Circulation Model)的 CCCma CGCM2 A2 来进行模拟分析,然后分别选定 2020s、2050s 和 2080s,并进行比较。

(6)地域(geographic areas)。GAEZ v3.0 方法的研究地域包括了全球绝大多数国家或地区^①。本文按照前文对“一带一路”沿线国家范围的界定来选定分析的地域,其中,新加坡、文莱、马尔代夫、巴勒斯坦和巴林这 5 个国家并未包括在 GAEZ v3.0 方法的研究地域中,但结合前文对“一带一路”沿线国家粮食生产现状的分析可知,对其他 59 个国家的分析结果能基本上代表“一带一路”沿线国家的总体状况。

(7)土地覆盖类型(land cover class)。GAEZ v3.0 方法按土地覆盖状况的不同将土地划分为 11 种类型,分别是:耕作用地(cultivated land)、建筑用地(built-up land)、森林(forest land)、草地与林地(grassland and woodland)、荒地(barren and sparsely vegetated land)、内陆水体(inland water bodies)、雨养耕作用地(rain-fed cultivated land)、灌溉耕作用地(irrigated cultivated land)、大面积森林(“large area” forest land)、大面积草地(“large area” grassland)和全部土地(total land)。为了与对水供给所做设定相对应,本文在雨养和灌溉两种水供给状态下分别选定了雨养耕作用地和灌溉耕作用地来进行分析。

(8)保护类型(protection class)。GAEZ v3.0 方法按保护程度的不同将土地划分为 4 种类型,分别是:不受保护(not protected)、非农用途保护(protected (no agricultural use))、有限农业用途保护(protected (limited agricultural use))和全部土地(total land)。考虑到已经对土地覆盖类型进行了设定,本文选定了其中的全部土地。

(9)适宜性类型(suitability class)。按照适宜性类型的不同,GAEZ v3.0 方法最后输出了三种组合形式的结果:“VS+S”、“VS+S+MS”和“VS+S+MS+mS”。为使分析结果能尽可能反映研究地区全部耕地的粮食生产情况,本文接下来将根据输出结果“VS+S+MS+mS”进行分析。

2. 结果分析

本文基于上述参数设定,首先,利用 GAEZ v3.0 方法测算得到“一带一路”沿线 59 个国家的小麦、稻谷和玉米分别在 2020s、2050s 和 2080s 的 3 组潜在单产数据;其次,结合 FAOSTAT 数据库中 2013 年各国小麦、稻谷和玉米的实际单产数据,分别计算得到各国小麦、稻谷和玉米的单产差距,具体只计算同时有潜在单产数据和 2013 年实际单产数据且前者高于后者的国家;再次,根据单产差距数据,结合 FAOSTAT 数据库中 2013 年各国小麦、稻谷和玉米的实际收获面积数据,分别进一步计算得到各国小麦、稻谷和玉米的发展潜力;最后,汇总计算得到各国的粮食发展潜力以及“一带一路”沿线国家的粮食发展潜力。

(1)“一带一路”沿线主要国家粮食潜在单产及单产差距。从小麦看,根据表 2 可知,“一带一路”沿线国家小麦潜在单产位处前列的主要是波黑、克罗地亚、波兰、斯洛文尼亚、白俄罗斯、塞尔维亚、斯洛伐克、罗马尼亚、亚美尼亚、黑山等欧洲东南部国家。从主要国家看,波黑的小麦潜在单产在 8.841~8.986 吨/公顷之间,克罗地亚在 8.521~8.717 吨/公顷之间,波兰在 8.538~8.702 吨/公顷之间,白俄罗斯在 8.353~8.639 吨/公顷之间,斯洛文尼亚在 8.195~8.536 吨/公顷之间。根据表 3 可知,“一带一路”沿线国家小麦潜在单产与 2013 年实际单产差距位处前列的也主要是白俄罗斯、亚美尼亚、格鲁吉亚、波黑、黑山、波兰、罗马尼亚、斯洛文尼亚等欧洲东南部国家。从主要国家来看,白俄罗斯的小麦单产差距在 5.291~5.577 吨/公顷之间,格鲁吉亚在 4.961~5.455 吨/公顷之间,亚美尼亚在 4.918~5.109 吨/公顷之间,波黑在 4.769~5.066 吨/公顷之间,黑山在 4.662~4.776 吨/公顷之间。

^① GAZE v3.0 研究地域覆盖的具体国家或地区,参见^[22]。

表 2 “一带一路”沿线小麦潜在单产前十位国家

吨/公顷

2020s		2050s		2080s	
国家	潜在单产	国家	潜在单产	国家	潜在单产
波黑	8.690	波黑	8.841	波黑	8.986
克罗地亚	8.643	波兰	8.702	克罗地亚	8.717
波兰	8.538	白俄罗斯	8.639	波兰	8.641
斯洛文尼亚	8.536	克罗地亚	8.521	白俄罗斯	8.562
白俄罗斯	8.353	斯洛文尼亚	8.195	斯洛文尼亚	8.366
塞尔维亚	8.318	塞尔维亚	8.057	亚美尼亚	8.236
罗马尼亚	8.161	亚美尼亚	8.046	斯洛伐克	7.818
亚美尼亚	8.139	斯洛伐克	7.993	塞尔维亚	7.813
斯洛伐克	7.964	罗马尼亚	7.732	罗马尼亚	7.759
阿拉伯联合酋长国	7.932	黑山	7.537	黑山	7.651

注:数据根据 GAZE v3.0 输出结果整理。

表 3 “一带一路”沿线小麦潜在单产与 2013 年实际单产差距前十位国家

吨/公顷

2020s		2050s		2080s	
国家	单产差距	国家	单产差距	国家	单产差距
格鲁吉亚	5.455	白俄罗斯	5.577	白俄罗斯	5.500
白俄罗斯	5.291	格鲁吉亚	5.220	亚美尼亚	5.109
亚美尼亚	5.012	波黑	4.921	波黑	5.066
波黑	4.769	亚美尼亚	4.918	格鲁吉亚	4.961
摩尔多瓦	4.767	黑山	4.662	黑山	4.776
黑山	4.716	波兰	4.272	摩尔多瓦	4.501
罗马尼亚	4.682	罗马尼亚	4.254	罗马尼亚	4.280
吉尔吉斯斯坦	4.246	马其顿	3.932	波兰	4.211
斯洛文尼亚	4.183	摩尔多瓦	3.873	斯洛文尼亚	4.013
波兰	4.108	斯洛文尼亚	3.842	克罗地亚	3.833

注:数据根据 GAZE v3.0 输出结果和 FAOSTAT 数据库数据整理计算得到。

从稻谷看,根据表 4 可知,“一带一路”沿线国家稻谷潜在单产位处前列的主要是哈萨克斯坦、土库曼斯坦、塔吉克斯坦等中亚国家以及匈牙利、保加利亚、埃及、土耳其、马其顿等国家。从主要国家看,哈萨克斯坦的稻谷潜在单产在 7.812~8.145 吨/公顷之间,土库曼斯坦在 6.738~7.059 吨/公顷之间,匈牙利在 7.024~7.881 吨/公顷之间,埃及在 6.907~7.123 吨/公顷之间,土耳其在 6.768~7.408 吨/公顷之间。根据表 5 可知,“一带一路”沿线国家稻谷潜在单产与 2013 年实际单产差距位处前列的主要是哈萨克斯坦、土库曼斯坦、塔吉克斯坦等中亚国家以及匈牙利、亚美尼亚、阿富汗等国家。从主要国家来看,土库曼斯坦的稻谷单产差距在 4.571~4.892 吨/公顷之间,哈萨克斯坦在 3.961~4.294 吨/公顷之间,亚美尼亚在 3.104~4.048 吨/公顷之间,匈牙利在 3.104~3.961 吨/公顷之间,吉尔吉斯斯坦在 3.266~3.375 吨/公顷之间。

从玉米看,根据表 6 可知,“一带一路”沿线国家玉米潜在单产位处前列的主要是埃及和约旦、卡塔尔、黎巴嫩等西亚国家及土库曼斯坦、乌兹别克斯坦等中亚国家,还包括斯洛文尼亚等国家。从主要国家看,埃及的玉米潜在单产在 11.691~11.720 吨/公顷之间,约旦在 10.256~10.875 吨/公顷之间,土库曼斯坦在 9.957~10.890 吨/公顷之间,乌兹别克斯坦在 9.936~10.471 吨/公顷之间,斯洛文尼亚在 9.401~10.021 吨/公顷之间。根据表 7 可知,“一带一路”沿线国家玉米潜在单产与 2013 年实际单产差距位处前列的主要是土库曼斯坦、黎巴嫩、东帝汶、也门、尼泊尔、印度、阿富汗、格鲁吉亚等

国家。从主要国家看,土库曼斯坦的玉米单产差距在 8.840~9.773 吨/公顷之间,黎巴嫩在 6.373~6.685 吨/公顷之间,东帝汶在 6.466~6.912 吨/公顷之间,也门在 5.975~6.422 吨/公顷之间,阿富汗在 5.468~5.975 吨/公顷之间,印度在 5.743~5.792 吨/公顷之间。

表 4 “一带一路”沿线稻谷潜在单产前十位国家

吨/公顷

2020s		2050s		2080s	
国家	潜在单产	国家	潜在单产	国家	潜在单产
哈萨克斯坦	7.812	哈萨克斯坦	8.129	哈萨克斯坦	8.145
土库曼斯坦	7.059	保加利亚	7.430	匈牙利	7.881
匈牙利	7.024	匈牙利	7.335	保加利亚	7.784
埃及	6.907	土耳其	7.080	马其顿	7.553
塔吉克斯坦	6.857	马其顿	7.078	土耳其	7.408
土耳其	6.768	埃及	6.971	埃及	7.123
保加利亚	6.717	土库曼斯坦	6.960	吉尔吉斯斯坦	6.818
吉尔吉斯斯坦	6.709	塔吉克斯坦	6.849	土库曼斯坦	6.738
马其顿	6.588	乌兹别克斯坦	6.762	塔吉克斯坦	6.578
乌兹别克斯坦	6.101	乌克兰	6.120	俄罗斯	6.539

注:数据根据 GAZE v3.0 输出结果整理。

表 5 “一带一路”沿线稻谷潜在单产与 2013 年实际单产差距前十位国家

吨/公顷

2020s		2050s		2080s	
国家	单产差距	国家	单产差距	国家	单产差距
土库曼斯坦	4.892	土库曼斯坦	4.793	土库曼斯坦	4.571
哈萨克斯坦	3.961	哈萨克斯坦	4.278	哈萨克斯坦	4.294
吉尔吉斯斯坦	3.266	亚美尼亚	3.605	亚美尼亚	4.048
匈牙利	3.104	匈牙利	3.415	匈牙利	3.961
亚美尼亚	3.007	吉尔吉斯斯坦	3.318	吉尔吉斯斯坦	3.375
柬埔寨	2.756	阿富汗	2.766	阿富汗	2.789
阿富汗	2.660	柬埔寨	2.745	柬埔寨	2.731
尼泊尔	2.260	尼泊尔	2.295	尼泊尔	2.336
泰国	1.770	保加利亚	1.940	保加利亚	2.294
巴基斯坦	1.619	巴基斯坦	1.662	巴基斯坦	1.642

注:数据根据 GAZE v3.0 输出结果和 FAOSTAT 数据库数据整理计算得到。

表 6 “一带一路”沿线玉米潜在单产前十位国家

吨/公顷

2020s		2050s		2080s	
国家	潜在单产	国家	潜在单产	国家	潜在单产
埃及	11.691	埃及	11.712	埃及	11.720
土库曼斯坦	10.890	约旦	10.875	约旦	10.256
乌兹别克斯坦	10.471	土库曼斯坦	10.436	斯洛文尼亚	10.021
约旦	10.427	乌兹别克斯坦	10.390	土库曼斯坦	9.957
卡塔尔	10.083	黎巴嫩	10.018	乌兹别克斯坦	9.936
黎巴嫩	9.706	卡塔尔	10.000	黎巴嫩	9.886
塔吉克斯坦	9.559	斯洛文尼亚	9.771	吉尔吉斯斯坦	9.526
阿塞拜疆	9.470	塔吉克斯坦	9.513	卡塔尔	9.500
斯洛文尼亚	9.401	阿塞拜疆	9.492	阿塞拜疆	9.422
尼泊尔	9.386	吉尔吉斯斯坦	9.249	阿尔巴尼亚	9.407

注:数据根据 GAZE v3.0 输出结果整理。

表 7 “一带一路”沿线玉米潜在单产与 2013 年实际单产差距前十位国家

吨/公顷

2020s		2050s		2080s	
国家	单产差距	国家	单产差距	国家	单产差距
土库曼斯坦	9.773	土库曼斯坦	9.319	土库曼斯坦	8.840
尼泊尔	7.033	黎巴嫩	6.685	东帝汶	6.912
东帝汶	6.466	东帝汶	6.673	黎巴嫩	6.553
黎巴嫩	6.373	也门	6.103	也门	6.422
阿富汗	5.975	尼泊尔	6.097	尼泊尔	6.263
也门	5.935	阿富汗	5.908	印度	5.792
格鲁吉亚	5.767	印度	5.743	格鲁吉亚	5.498
印度	5.747	格鲁吉亚	5.522	阿富汗	5.468
叙利亚	4.125	斯洛文尼亚	4.357	斯洛文尼亚	4.607
阿塞拜疆	4.080	叙利亚	4.311	叙利亚	4.580

注:数据根据 GAZE v3.0 输出结果和 FAOSTAT 数据库数据整理计算得到。

(2)“一带一路”沿线主要国家粮食发展潜力。从小麦看,根据表 8 可知,“一带一路”沿线国家小麦发展潜力位处前列的主要是俄罗斯、乌克兰、土耳其、哈萨克斯坦和伊朗,此外还包括罗马尼亚、波兰、巴基斯坦、阿富汗、白俄罗斯等国家。从主要国家看,俄罗斯的小麦发展潜力最大,且在 6 325.82~7 375.44 万吨之间;乌克兰和土耳其的小麦发展潜力分别位处第二位和第三位,且分别在 2 032.39~2 507.44 万吨之间及 1 772.98~2 036.36 万吨之间;小麦发展潜力在 1 000 万吨以上的国家还包括哈萨克斯坦和伊朗,且分别在 1 115.40~1 736.56 万吨之间及 1 552.42~1 931.52 万吨之间。

表 8 “一带一路”沿线小麦发展潜力前十位国家

万吨

2020s		2050s		2080s	
国家	发展潜力	国家	发展潜力	国家	发展潜力
俄罗斯	7 319.41	俄罗斯	6 325.82	俄罗斯	7 375.44
乌克兰	2 507.44	乌克兰	2 032.39	乌克兰	2 385.42
土耳其	1 772.98	土耳其	1 932.10	土耳其	2 036.26
哈萨克斯坦	1 736.56	伊朗	1 931.52	伊朗	1 759.90
伊朗	1 552.42	哈萨克斯坦	1 115.40	哈萨克斯坦	1 554.06
罗马尼亚	982.06	波兰	913.25	波兰	900.15
波兰	878.04	罗马尼亚	892.17	罗马尼亚	897.76
巴基斯坦	794.42	阿富汗	676.86	阿富汗	585.97
阿富汗	692.39	白俄罗斯	382.82	白俄罗斯	377.51
伊拉克	577.04	伊拉克	369.32	保加利亚	322.22

注:数据根据 GAZE v3.0 输出结果和 FAOSTAT 数据库数据整理计算得到。

从稻谷看,根据表 9 可知,“一带一路”沿线国家稻谷发展潜力位处前列的主要是印度、孟加拉国、巴基斯坦、斯里兰卡等南亚国家以及泰国、柬埔寨、缅甸、菲律宾等东南亚国家。从主要国家看,印度的稻谷发展潜力最大,且在 2 749.71~2 985.40 万吨之间;泰国和孟加拉国分别位处第二位和第三位,且分别在 1 455.19~2 189.40 万吨之间以及 954.05~1 021.59 万吨之间;稻谷发展潜力在 700 万吨以上的国家还包括柬埔寨和缅甸,且分别在 846.54~854.27 万吨之间以及 774.75~834.98 万吨之间。

表 9 “一带一路”沿线稻谷发展潜力前十位国家

万吨

2020s		2050s		2080s	
国家	发展潜力	国家	发展潜力	国家	发展潜力
印度	2 749.71	印度	2 985.40	印度	2 866.06
泰国	2 189.40	泰国	1 544.46	泰国	1 455.19
孟加拉国	954.05	孟加拉国	1 021.59	孟加拉国	982.88
柬埔寨	854.27	柬埔寨	850.86	柬埔寨	846.54
缅甸	810.60	缅甸	774.75	缅甸	834.98
菲律宾	476.03	菲律宾	542.17	菲律宾	571.86
巴基斯坦	451.63	巴基斯坦	463.64	巴基斯坦	457.88
尼泊尔	321.08	尼泊尔	326.03	尼泊尔	331.81
斯里兰卡	142.47	斯里兰卡	141.68	斯里兰卡	119.82
老挝	103.89	老挝	87.82	老挝	89.28

注：数据根据 GAZE v3.0 输出结果和 FAOSTAT 数据库数据整理计算得到。

从玉米看,根据表 10 可知,“一带一路”沿线国家玉米发展潜力最大的是印度,位处前列的其他国家还包括罗马尼亚、尼泊尔、菲律宾、巴基斯坦、泰国、埃及、塞尔维亚、乌克兰等。从主要国家看,印度的玉米发展潜力在 5 455.53~5 502.17 万吨之间,罗马尼亚在 732.97~818.11 万吨之间,尼泊尔在 518.06~597.55 万吨之间,菲律宾在 401.52~630.52 万吨之间,巴基斯坦在 404.77~436.12 万吨之间。

表 10 “一带一路”沿线玉米发展潜力前十位国家

万吨

2020s		2050s		2080s	
国家	发展潜力	国家	发展潜力	国家	发展潜力
印度	5 459.53	印度	5 455.77	印度	5 502.17
罗马尼亚	818.11	罗马尼亚	756.18	罗马尼亚	731.97
尼泊尔	597.55	尼泊尔	518.06	菲律宾	630.52
巴基斯坦	426.52	菲律宾	496.74	尼泊尔	532.16
菲律宾	401.50	巴基斯坦	436.12	巴基斯坦	404.77
泰国	311.44	泰国	345.12	泰国	349.90
埃及	296.82	埃及	298.37	埃及	299.02
塞尔维亚	261.92	塞尔维亚	193.22	缅甸	193.69
匈牙利	209.27	缅甸	190.94	乌克兰	156.50
缅甸	178.45	匈牙利	168.92	俄罗斯	147.16

注：数据根据 GAZE v3.0 输出结果和 FAOSTAT 数据库数据整理计算得到。

从粮食看,根据表 11 可知,在“一带一路”沿线国家中,印度和俄罗斯的粮食发展潜力位处前两列,乌克兰、泰国、土耳其、罗马尼亚、伊朗、巴基斯坦、哈萨克斯坦等国也具有较强的粮食发展潜力。从主要国家看,印度的粮食发展潜力在 8 209.25~8 441.17 万吨之间,俄罗斯在 6 386.72~7 552.69 万吨之间,乌克兰在 2 032.39~2 543.20 万吨之间,泰国在 1 805.20~2 500.94 万吨之间,土耳其在 1 772.98~2 036.26 万吨之间。

(3)“一带一路”沿线国家粮食发展潜力。根据表 12 可知,从总体上看,“一带一路”沿线国家的粮食发展潜力约在 3.82~4.10 亿吨之间,发展潜力幅度在 40.34%~43.29%之间。其中,小麦发展潜力约在 1.92~2.18 亿吨之间,发展潜力幅度在 59.63%~67.62%之间;稻谷发展潜力约在 0.88~0.92 亿吨之间,发展潜力幅度在 19.41%~20.36%之间;玉米发展潜力约在 1.00~1.04 亿吨之间,发展潜力幅度在 58.30%~60.88%之间。

表 11 “一带一路”沿线粮食发展潜力前十位国家

万吨

2020s		2050s		2080s	
国家	发展潜力	国家	发展潜力	国家	发展潜力
印度	8 209.25	印度	8 441.17	印度	8 368.23
俄罗斯	7 331.35	俄罗斯	6 386.72	俄罗斯	7 552.69
乌克兰	2 507.44	乌克兰	2 032.39	乌克兰	2 543.20
泰国	2 500.94	伊朗	1 962.88	土耳其	2 036.26
罗马尼亚	1 800.94	土耳其	1 960.86	伊朗	1 811.78
土耳其	1 772.98	泰国	1 889.69	泰国	1 805.20
哈萨克斯坦	1 771.97	罗马尼亚	1 649.85	罗马尼亚	1 631.57
巴基斯坦	1 672.57	巴基斯坦	1 191.91	哈萨克斯坦	1 623.17
伊朗	1 602.94	哈萨克斯坦	1 181.82	菲律宾	1 202.38
缅甸	997.12	菲律宾	1 038.91	缅甸	1 036.53

注:数据根据 GAZE v3.0 输出结果和 FAOSTAT 数据库数据整理计算得到。

表 12 “一带一路”沿线国家粮食发展潜力及幅度

2020s			2050s			2080s		
各品种及整体	发展潜力/万吨	发展潜力幅度/%	各品种及整体	发展潜力/万吨	发展潜力幅度/%	各品种及整体	发展潜力/万吨	发展潜力幅度/%
小麦	21 805.90	67.62	小麦	19 229.57	59.63	小麦	20 312.30	62.99
稻谷	9 239.02	20.36	稻谷	8 956.55	19.73	稻谷	8 809.74	19.41
玉米	9 956.66	58.30	玉米	10 022.68	58.68	玉米	10 398.56	60.88
粮食	41 001.58	43.29	粮食	38 208.80	40.34	粮食	39 520.60	41.73

注:数据根据 GAZE v3.0 输出结果和 FAOSTAT 数据库数据整理计算得到;发展潜力幅度=(发展潜力÷2013 年实际产量)×100%。

三、结论与启示

1. 结 论

本文以小麦、稻谷和玉米三大主粮为例,利用 GAEZ v3.0 方法并结合 FAOSTAT 数据库 2013 年数据测算了“一带一路”沿线国家的粮食发展潜力。研究发现:(1)“一带一路”沿线国家中,印度和俄罗斯粮食发展潜力位处前两位,乌克兰、泰国、土耳其、罗马尼亚、伊朗、巴基斯坦、哈萨克斯坦等国也具有较强粮食发展潜力;从各粮食品种看,小麦发展潜力位处前列的主要是俄罗斯、乌克兰、土耳其、哈萨克斯坦、伊朗等国家,稻谷发展潜力位处前列的主要是印度、孟加拉国、巴基斯坦、斯里兰卡等南亚国家和泰国、柬埔寨、缅甸、菲律宾等东南亚国家,玉米发展潜力位处前列的主要是印度、尼泊尔、巴基斯坦等南亚国家和菲律宾、泰国等东南亚国家以及罗马尼亚、埃及、塞尔维亚等国家。(2)从总体上看,“一带一路”沿线国家的粮食发展潜力约在 3.82~4.10 亿吨之间,发展潜力幅度在 40.34%~43.29%之间;小麦发展潜力约在 1.92~2.18 亿吨之间,发展潜力幅度在 59.63%~67.62%之间;稻谷发展潜力约在 0.88~0.92 亿吨之间,发展潜力幅度在 19.41%~20.36%之间;玉米发展潜力约在 1.00~1.04 亿吨之间,发展潜力幅度在 58.30%~60.88%之间。

2. 启 示

正处于转型期的中国农业在当前及今后较长时期内将会持续面临农产品需求刚性增长与资源硬约束趋紧并存、农产品供求总量平衡与结构性紧缺并存、农业生产成本上升与比较效益不高并存、农村劳动力结构性短缺与家庭小规模经营并存、基础设施薄弱与自然灾害频发并存等严峻挑战^[25];此外,由于资源环境约束日趋突出,通过国内生产增加农产品有效供给的潜力有限,而消费需求在人口增加、城镇化、膳食结构升级等因素推动下已呈现刚性增长,产需的诸因素和特征决定了中国粮食等

农产品产需存在缺口且未来将呈不断扩大的趋势^[26]。因此,中国应在进一步提高国内粮食等农产品综合生产能力的同时,加强与“一带一路”沿线国家的农业经贸合作,加大对“一带一路”沿线国家农业“走出去”力度,通过签订农业技术合作项目、建立现代农业示范基地和农业技术示范中心、派遣农业专家、开展农业职业教育和技术培训等多种方式开展农业援助与合作,将中国农业的发展经验和先进技术装备推广到“一带一路”沿线国家,帮助其提升农业科技水平和增强农业综合生产能力,充分发挥其粮食发展潜力,这不仅有利于解决“一带一路”沿线国家粮食安全和农户增收问题,还能够扩大其粮食出口,增加全球供给,也对中国全面提升充分利用国内国际两个市场、两种资源的能力和切实保障“谷物基本自给、口粮绝对安全”的国家粮食安全战略目标的实现有利。

参 考 文 献

- [1] FAO,UN.How to feed the world in 2050[R].High-Level Expert Forum,Rome,2009.
- [2] DEFRIES R,ROSENZWEIG C.Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics[J].Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America,2010,107(46):19627-19632.
- [3] CASSMAN K G.Crop yield potential,yield trends,and global food security in a changing climate[M]//DANIEL H.Handbook of climate change and agro-ecosystems:impacts,adaptation,and mitigation.London:Imperial College Press,2010.
- [4] 余强毅,吴文斌,唐华俊,等.基于粮食生产能力的 APEC 地区粮食安全评价[J].中国农业科学,2011,44(13):2838-2848.
- [5] 李连英,郭锦塘,汪兴东,等.江西省粮食综合生产潜能及对策研究[J].农林经济管理学报,2015,14(1):62-67.
- [6] 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.
- [7] 姜爱林.关于粮食综合生产能力研究的几个问题[J].科学决策,2003(5):8-11.
- [8] 尹成杰.关于提高粮食综合生产能力的思考[J].农业经济问题,2005(1):5-10.
- [9] 马晓河,兰海涛.中国粮食综合生产能力与粮食安全[M].北京:经济科学出版社,2008.
- [10] 刘保花,陈新平,崔振岭,等.三大粮食作物产量潜力与产量差研究进展[J].中国生态农业学报,2015,23(5):525-534.
- [11] 马九杰,崔卫杰,朱信凯.农业自然灾害风险对粮食综合生产能力的的影响分析[J].农业经济问题,2005(4):14-17.
- [12] 肖腾蛟,赵慧峰,刘秀娟.基于因子分析的河北省农业综合生产能力评价[J].农机化研究,2014(7):35-38.
- [13] 张晋科,张凤荣,张琳,等.中国耕地的粮食生产能力与粮食产量对比研究[J].中国农业科学,2006,39(11):2278-2285.
- [14] LOBELL D B,CASSMAN K G,FIELD C B.Crop yield gaps:their importance,magnitudes and causes[J].Annual review of environment and resources,2009,34(1):179-204.
- [15] VAN-ITTESSUM M K,CASSMAN K G,GRASSINI P,et al.Yield gap analysis with local to global relevance:a review[J].Field crops research,2013,143(1):4-17.
- [16] 陈佑启,何英彬,余强毅.APEC 地区粮食生产能力与粮食安全研究[M].北京:中国农业科学技术出版社,2011.
- [17] MENG Q,HOU P,WU L,et al.Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China[J].Field crops research,2013,143(1):91-97.
- [18] AGGARWAL P K,HEBBAR K B,VENUGOPALAN M V,et al.Quantification of yield gaps in rain-fed rice,wheat,cotton and mustard in India[R].Global Theme on Agro-ecosystems Report,2008:43.
- [19] IIASA,FAO.Global agro-ecological zones model documentation[EB/OL].(2012-05-06)[2015-08-05].http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/GAEZv3.0/docs/GAEZ_Model_Documentation.pdf.
- [20] IIASA.Background of GAZE programme[EB/OL].(2012-05-06)[2015-07-06].<http://www.fao.org/nr/gaez/programme/en/>.
- [21] IIASA.Frequently asked questions[EB/OL].(2012-05-06)[2015-07-10].http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/gaez/docs/FAQ_EN.pdf.
- [22] IIASA.GAEZ definitions and variables[EB/OL].(2012-05-06)[2015-07-12].http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/gaez/docs/Definitions_EN.pdf.
- [23] IIASA.About GAZE[EB/OL].(2012-05-06)[2015-07-06].http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/gaez/docs/AboutHome_EN.pdf.
- [24] IIASA.User's guide of GAEZ v3.0[EB/OL].(2012-05-06)[2015-07-06].http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/GAEZv3.0/docs/GAEZ_User_Guide.pdf.
- [25] 韩长赋.全面实施新形势下国家粮食安全战略[J].求是,2014(19):27-30.
- [26] 倪洪兴.我国重要农产品产需与进口战略平衡研究[J].农业经济问题,2014(12):18-24.