

中亚地区粮食生产潜力及发展潜力分析 ——基于GAEZ方法

廖梦婷, 魏 凤

(西北农林科技大学经济管理学院, 杨凌 712100)

摘要: 中亚地区因特殊的地理位置和高粮食生产能力, 对维护世界粮食安全意义重大, 发掘中亚地区粮食生产潜力有助于全球粮食危机缓解。采用GAEZ方法, 结合联合国粮农组织数据库, 定量分析了中亚地区5个国家、9种粮食作物的潜在单产及潜在面积, 并通过控制粮食单产和生产面积的变化提出三种假设, 测算出不同假设下中亚地区的粮食生产潜力、发展潜力和发展潜力幅度。结果表明: 中亚地区的哈萨克斯坦粮食生产潜力和发展潜力大; 小麦、大麦产量有较大提升空间, 高粱、黑麦、谷子、燕麦、荞麦产量提升空间小且潜力集中在哈萨克斯坦, 但高粱的发展潜力幅度很大。

关键词: 生产潜力; 发展潜力; 粮食; 中亚地区

世界人口数量上升、粮食价格高涨、环境恶化以及自然灾害的频发, 致使全世界范围内粮食安全问题进一步凸显, 缓解粮食危机成为全世界共同关注的焦点。中亚地区(狭义, 仅指中亚五国, 即乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦和哈萨克斯坦, 以下分别简称乌、土、塔、吉、哈)由于其较高的粮食生产能力和重要的地理位置, 对维护世界粮食安全具有重大意义。一方面中亚地区粮食生产能力强, 特别是哈萨克斯坦, 是世界第六大粮食出口国和第二大小麦面粉出口国。另一方面该地区位于亚欧大陆的结合部, 是亚欧大陆互通的核心要道, 也是“丝绸之路经济带”的重要交通枢纽, 通过对接“一带一路”, 中亚国家可以将粮食运往非洲、拉丁美洲的缺粮国家, 从而缓解世界粮食危机。

中亚地区疆域辽阔, 有丰富的耕地资源, 尤其是咸海流域有着0.59亿 hm^2 适耕土地。但因当地人口密集程度低, 耕地严重闲置, 大量适耕土地未被有效利用, 故有巨大的耕地资源潜力。且中亚地区粮食生产大多“靠天吃饭”, 生产投入水平低, 部分粮食作物单产提升空间大。因此, 该地区具有巨大的粮食生产潜力。对中亚地区粮食生产潜力、发展潜力及发展潜力幅度进行定量分析, 一方面能够估计中亚地区各种类粮食的潜在单产及潜在面积, 把握该地区粮食生产提升空间, 预测其对世界粮食安全的贡献程度; 另一方面也可为中国在丝绸之路经济带建设中开展与中亚地区的粮食贸易与合作提供基础数据和资料。

从已有研究看, 中亚地区粮食生产方面的研究包括粮食生产现状分析、粮食生产时空格局分析、粮食生产制约因素分析以及对粮食产业发展趋势的探究等方面^[1-3]。粮食生产潜力方面的研究十分丰富, 大致可分为定性和定量两类。定性研究主要通过分析粮食

收稿日期: 2019-08-01; 修订日期: 2019-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(71673222); 教育部人文社科基金项目(15XJA790005)

作者简介: 廖梦婷(1995-), 女, 四川成都人, 硕士, 研究方向为农业经济管理。E-mail: 335378208@qq.com

通讯作者: 魏凤(1965-), 女, 陕西宝鸡人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为农业经济理论与政策、农业组织与市场。E-mail: weifeng@nwsuaf.edu.cn

生产过程中自然、社会等各类影响因素从而判定生产潜力的高低^[4,5]。定量研究包括高产农户法^[6]、高产记录法^[7]、田间试验法^[8]、趋势分析法^[9-11]和作物模型模拟法^[12-16]。其中作物模型模拟法应用最为广泛,不仅可以考虑气候因素定量测算作物生长潜力,还能与计算机技术、地理信息技术(GIS)等其他技术结合^[17,18]。GAEZ方法就是作物模型模拟法中较为全面的方法之一。针对中亚地区粮食生产潜力的定量分析较少,仅在研究“一带一路”沿线国家粮食生产潜力时对哈萨克斯坦有所提及,而多数研究是基于中亚地缘特性及耕地资源开发潜力等方面作的定性判断^[19-22]。综上,学界关于中亚地区粮食生产潜力的研究存在两点不足:一是专门针对中亚地区粮食生产潜力的定量研究不足;二是现有研究涉及的粮食种类多是小麦、玉米、大豆、水稻等,对中亚地区产量较高的黑麦、大麦等作物生产潜力研究不足。

基于此,本文将采用较为全面的GAEZ方法,结合联合国粮农组织数据库定量分析中亚地区5个国家、9种粮食作物的潜在单产及潜在面积,并通过控制粮食单产和生产面积的变化提出三种假设,测算不同假设下的粮食生产潜力、发展潜力和发展潜力幅度,探究中国与中亚地区开展粮食安全合作的可能性,为中国和中亚地区粮食安全合作提供科学支撑。

1 研究方法及参数设定

GAEZ方法是联合国粮农组织和国际应用系统分析研究所共同研发的大尺度土地生产力评估方法。该方法根据气候条件估算某种作物种植的气候适宜性,再针对适宜种植的作物采用逐级限制法计算得出其农业生产潜力。

本文采用上述方法,根据中亚实际情况,在GAEZ v3.0数据库中分别对地区、作物类型、投入水平、时期、水供给、CO₂施肥效应、土地覆盖类型等参数进行设定,具体如下:

(1) 地区。按研究范围选择“乌兹别克斯坦”“土库曼斯坦”“塔吉克斯坦”“吉尔吉斯斯坦”和“哈萨克斯坦”。

(2) 作物类型。剔除在中亚地区不具气候适宜性的旱地水稻和糜子,选择数据库中剩余所有粮食作物,即作物类型设定为小麦、玉米、湿地水稻、高粱、大麦、谷子、黑麦、荞麦和燕麦共9种作物。

(3) 投入水平。数据库中投入水平选项分高、中、低三种,分别表示先进、改进后和落后的管理模式。当前中亚地区的粮食生产仍较为粗放,虽然农业科技提高和政府支持的增加逐步改进,但短期内无法达到高投入水平,因此投入水平设定为“中等”。

(4) 时期。数据库中的时期选项包括未来期、基期和历史期。未来期包括2020s(2011—2040年)、2050s(2041—2070年)和2080s(2071—2100年);基期为1961—1990年平均数据;历史期包括1961—1990年的30年平均数据和1961—2000年历年数据。因较长期的气候难以估计,且科技发展十分迅速,故时期设定为较短期的未来,即“2020s”。

(5) 水供给。为全面探究不同水供给状态下粮食作物生产潜力,选择数据库中所有水供给状态,即水供给状态设定为“雨养”和“灌溉”。

(6) CO₂施肥效应。CO₂施肥效应是指CO₂浓度的增加有促进作物生长的作用,通过合理密植、浇灌施粪等方式均能增加CO₂浓度,故CO₂施肥效应设定为“有”。

(7) 土地覆盖类型。由于水供给状态设定为灌溉和雨养两种,则灌溉条件下选择“灌溉耕作用地”,雨养条件下选择“雨养耕作用地”。

粮食生产潜力是指在耕地、技术、劳动力、资本等各种生产要素的影响下,粮食作物或粮食作物组合所能达到的最高产量;而粮食发展潜力则是指粮食产量的提升空间,通过比较耕地粮食生产潜力和粮食实际产量,可以判断耕地的粮食产量能否进一步提高及提高的幅度^[20]。根据模型输出结果可得到中亚地区粮食生产潜力数据,结合联合国粮农组织数据库中中亚地区粮食实际单产和生产面积,并通过控制粮食单产和生产面积的变化提出三种假设,定量测算不同假设下的粮食生产潜力、发展潜力和发展潜力幅度(图1),具体如下:

(1) 生产面积不变假设。基于当前粮食生产面积不变,只考虑单产增加对粮食产量增长的提升程度,具体计算公式为:

$$Q_{a1} = y_{\alpha} \times S_{\beta} \times MCI \quad (1)$$

$$Q_{b1} = Q_{a1} - y_{\beta} \times S_{\beta} \times MCI \quad (2)$$

$$R_{b1} = Q_{b1} \div (y_{\beta} \times S_{\beta} \times MCI) \times 100\% \quad (3)$$

式中: Q_{a1} 和 Q_{b1} 分别指假设生产面积不变时的粮食生产潜力和发展潜力 (t); y_{α} 和 y_{β} 分别指潜在粮食单产和实际单产 (t/hm^2); S_{β} 指实际粮食生产面积 (hm^2); MCI 指粮食复种指数,因中亚地区粮食一年内在同一地块种植的平均次数基本为1,故本文中 MCI 的均取值为1; R_{b1} 指假设生产面积不变时的粮食发展潜力幅度。

(2) 单产不变假设。基于当前粮食单产不变,只考虑扩大粮食种植面积对粮食产量增长的提升程度,具体计算公式为:

$$Q_{a2} = y_{\beta} \times S_{\gamma} \times MCI \quad (4)$$

$$Q_{b2} = y_{\beta} \times S_{\alpha} \times MCI \quad (5)$$

$$R_{b2} = Q_{b2} \div (y_{\beta} \times S_{\beta} \times MCI) \times 100\% \quad (6)$$

式中: Q_{a2} 和 Q_{b2} 分别指假设单产不变时的粮食生产潜力和发展潜力 (t); S_{γ} 指粮食可耕地面积 (hm^2); S_{α} 指潜在粮食耕地面积 (hm^2); R_{b2} 指假设单产不变时的粮食发展潜力幅度。

(3) 单产和生产面积均改变假设。假设粮食单产和生产面积均增加,计算公式为:

$$Q_{a3} = y_{\alpha} \times S_{\gamma} \times MCI \quad (7)$$

$$Q_{b3} = Q_{a3} - y_{\beta} \times S_{\beta} \times MCI \quad (8)$$

$$R_{b3} = Q_{b3} \div (y_{\beta} \times S_{\beta} \times MCI) \times 100\% \quad (9)$$

式中: Q_{a3} 和 Q_{b3} 分别指假设单产和生产面积均改变时的粮食生产潜力和发展潜力 (t);

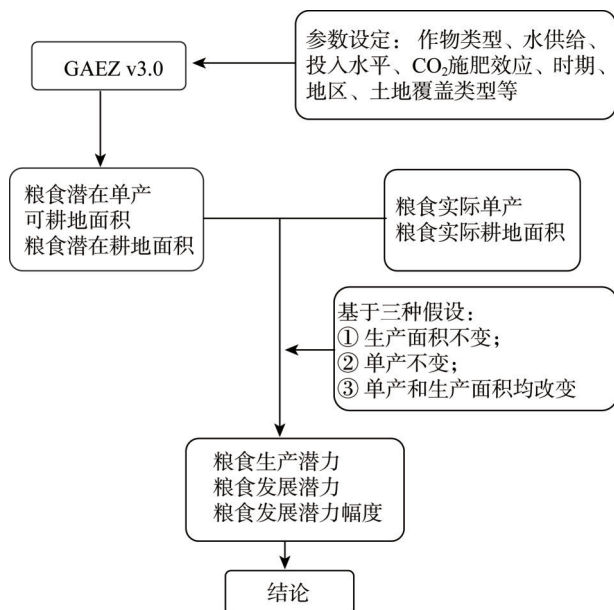


图1 分析框架

Fig. 1 Analysis framework

R_{b3} 指假设单产和生产面积均改变时的粮食发展潜力幅度。

因潜在耕地并不仅仅只种植单种作物，故在计算各种类粮食作物潜在耕地面积和可耕地面积时按照现有种植面积占耕地面积的比例进行推算^[21]。且为减少自然灾害等偶然因素的影响，中亚地区粮食实际生产数据均采用联合国粮农组织数据库中2015—2017年平均数据。

2 结果分析

2.1 粮食潜在单产及潜在耕地面积

2.1.1 潜在单产

GAEZ v3.0数据库将土地按照适宜耕种程度划分为不适宜(NS)、非常勉强适宜(vmS)、勉强适宜(mS)、中等适宜(MS)、适宜(S)和非常适宜(VS)等^①，在输出数据结果时会出现“VS+S+MS+mS”“VS+S+MS”和“VS+S”三种土地适宜性组合形式，且潜在粮食单产存在“灌溉”和“雨养”两种水供给状态，为使潜在粮食单产结果更贴合实际，本文采用加权平均^②方法，计算两种水供给状态下“VS+S+MS+mS”组合结果，从而得出中亚地区潜在粮食单产。

中亚地区吉、塔、乌三国潜在粮食单产总体较高，哈国因雨养耕地面积远多于灌溉耕地面积，潜在单产较低。从粮食种类看，中亚五国小麦潜在单产为3.50 t/hm²，其中吉、塔两国潜在单产均高于4 t/hm²，而哈国却低于2 t/hm²；湿地水稻潜在单产为4.36 t/hm²，仅乌国低于4 t/hm²；高粱、玉米潜在单产分别为4.97 t/hm²和5.69 t/hm²，乌国玉米潜在单产高达6.96 t/hm²；大麦潜在单产为3.31 t/hm²，除哈国为1.51 t/hm²，其余四国均高于3 t/hm²；谷子潜在单产为2.63 t/hm²，仅吉国在3 t/hm²以上；黑麦、燕麦平均潜在单产分别为2.01 t/hm²和1.94 t/hm²；荞麦潜在单产均较低，平均仅为0.79 t/hm²（表1）。

此外表1还体现了水供给是中亚地区粮食单产重要的影响因素之一。各类粮食作物潜在单产在灌溉条件下远高于在雨养状态时，玉米、高粱受水供给影响程度尤其大，以玉米、高粱潜在单产最高的乌国为例，其灌溉玉米潜在单产约为雨养玉米的4.5倍，灌溉高粱潜在单产约为雨养高粱的3.2倍。但荞麦受水供给影响较小，吉国灌溉荞麦潜在单产甚至低于雨养荞麦。

2.1.2 潜在耕地面积

本文视“mS”等级以上土地为可耕地，则根据估算结果，中亚地区共有可耕地8248.20万hm²，其中耕种适宜性指数大于70%的土地不到10%，“mS”等级土地占到了68.74%。从国家看，哈国共有可耕地7137.84万hm²，占中亚总体的85%以上，其余四国可耕地远少于哈国，且吉、土、乌三国无“VS”等级土地。但乌国“MS”等级土地面积大于“mS”等级土地，原因可能是咸海流域分布乌国全境，水资源相对丰富。潜在耕地面积为可耕地与现有耕地面积之差，可得中亚地区潜在粮食耕地面积为4472.90万hm²，其中哈国占93.86%，吉、塔、土、乌分别仅占1.84%、2.02%、0.19%和2.08%（表2）。

① 适宜耕种程度按照由耕种适宜性指数进行划分，耕种适宜性指数在0~25%为不适宜(NS)、25%~40%为非常勉强适宜(vmS)、40%~55%为勉强适宜(mS)、55%~70%为中等适宜(MS)、70%~85%为适宜(S)、大于85%为非常适宜(VS)。

② $y = (y_1 \times s_1 + y_2 \times s_2) \div (s_1 + s_2)$ 。式中： y 表示粮食总体潜在单产(t/hm²)； y_1 、 y_2 分别表示雨养和灌溉条件下的潜在单产(t/hm²)； s_1 、 s_2 分别表示雨养耕地面积和灌溉耕地面积(hm²)。

表1 中亚地区粮食潜在单产
Table 1 Potential yield per unit area in Central Asia (t/hm²)

国家	水供给	小麦	湿地水稻	玉米	大麦	高粱	黑麦	谷子	燕麦	荞麦
哈萨克斯坦	雨养	1.575	1.904	1.961	1.407	2.655	1.399	1.702	1.124	0.545
	灌溉	3.086	4.962	6.438	2.839	5.728	1.788	3.351	1.905	0.700
	总体	1.685	4.866	2.481	1.508	2.869	1.427	1.823	1.181	0.565
吉尔吉斯斯坦	雨养	3.097	1.785	2.109	2.762	2.690	1.995	1.825	1.706	1.016
	灌溉	4.851	4.461	6.979	4.339	6.258	2.591	4.076	2.586	1.008
	总体	4.422	4.461	6.067	3.953	5.381	2.444	3.627	2.369	1.001
塔吉克斯坦	雨养	3.696	2.033	2.123	3.522	2.425	2.151	1.702	1.919	0.943
	灌溉	4.393	4.343	7.736	4.180	6.404	2.355	2.907	2.325	0.824
	总体	4.164	4.343	6.236	3.964	5.175	2.288	2.574	2.192	0.860
土库曼斯坦	雨养	2.012	1.798	1.243	1.890	1.695	1.334	0.995	1.309	0.591
	灌溉	3.446	4.283	6.950	3.542	5.874	1.956	2.308	1.961	0.726
	总体	3.377	4.281	6.718	3.328	5.515	1.899	2.253	1.901	0.714
乌兹别克斯坦	雨养	2.649	1.803	1.685	2.574	2.060	1.545	1.302	1.360	0.652
	灌溉	4.051	3.855	7.556	3.995	6.509	2.083	3.076	2.154	0.791
	总体	3.865	3.853	6.955	3.803	5.911	2.008	2.884	2.040	0.784

注：根据GAEZ v3.0数据库整理计算。

表2 中亚地区粮食潜在耕地分布情况
Table 2 Distribution of potential cultivated land in Central Asia (万hm²)

国家	适宜性指数				可耕地面积	现有耕地面积	潜在耕地面积
	VS	S	MS	mS			
哈萨克斯坦	98.63	460.69	1281.07	5297.45	7137.84	2939.50	4198.34
吉尔吉斯斯坦	0	54.94	54.79	101.38	211.11	128.80	82.31
塔吉克斯坦	0.67	33.64	49.56	79.53	163.40	73.00	90.40
土库曼斯坦	0	0.69	27.46	27.46	202.64	194.00	8.64
乌兹别克斯坦	0	129.31	239.95	163.95	533.21	440.00	93.21
总计	99.30	679.27	1652.83	5669.77	8248.20	3775.30	4472.90

注：根据GAEZv 3.0数据库和联合国粮农组织数据库整理计算得到，下同。其中现有耕地面积为2016年数据，潜在耕地面积=可耕地面积-现有耕地面积。

2.2 粮食潜力

结合上述潜在单产和生产面积分析结果和中亚地区实际粮食生产数据，基于前文提出的三种假设，定量测算中亚地区粮食生产潜力、发展潜力及其幅度。

2.2.1 生产面积不变假设

若生产面积不变，哈国粮食生产潜力在中亚地区中最大，所有粮食作物中仅湿地水稻和玉米未排在第一位，其余四国粮食生产潜力远低于哈国。从粮食种类看，小麦生产潜力最大，为3311.74万t，其中哈国小麦潜在产量占60%以上；湿地水稻生产潜力为144.60万t，但吉国、塔国该作物潜在产量占比分别仅为3.00%和3.80%；玉米生产潜力为157.57万t，其中吉国占比最大，接近40%；大麦生产潜力为453.61万t，在所有种类粮食中居第二位，哈国大麦潜在产量约为土国的61.05倍；其他粮食作物潜在产量均较低，且主要集中在哈国（表3）。

表3 生产面积不变假设下中亚地区粮食生产潜力^③

Table 3 The grain production potential in Central Asia under the assumption of constant production area

粮食种类	哈萨克斯坦		吉尔吉斯斯坦		塔吉克斯坦		土库曼斯坦		乌兹别克斯坦	
	生产潜力 /万t	排名	生产潜力 /万t	排名	生产潜力 /万t	排名	生产潜力 /万t	排名	生产潜力 /万t	排名
小麦	2013.85	1	120.51	5	122.00	4	501.34	3	554.03	2
湿地水稻	48.27	2	4.34	5	5.50	4	58.99	1	27.50	3
玉米	33.87	2	61.77	1	10.91	5	24.50	4	26.53	3
大麦	301.60	1	72.64	2	30.61	4	4.94	5	43.82	3
高粱	1.50	1	0.03	3	0.01	4	0	5	0.45	2
黑麦	5.00	1	0.10	3	0.01	4	0	5	0.15	2
谷子	8.54	1	0.01	3	0.01	4	0	5	0.28	2
燕麦	24.70	1	0.27	3	0.54	2	—	—	—	—
荞麦	5.69	1	0.71	2	—	—	—	—	—	—

中亚地区粮食发展潜力国家排名由高到低依次为哈国、吉国、塔国、土国、乌国。从粮食种类看，小麦发展潜力为1012.35万t，以哈国小麦产量提升空间为最大，占55.61%；湿地水稻发展潜力为49.83万t，该作物潜力产量土国占90%以上；玉米发展潜力为19.53万t，仅土国有提升空间；大麦发展潜力为77.93万t，主要集中在吉国和乌国，两国潜力产量占比之和在75%以上；高粱、黑麦、谷子发展潜力分别仅为1.16万t、1.06万t和4.17万t；燕麦仅塔国具有发展潜力，为0.23万t；荞麦在该假设下无产量提升空间（表4）。

表4 生产面积不变假设下中亚地区粮食发展潜力

Table 4 The grain development potential in Central Asia under the assumption of constant production area

粮食种类	哈萨克斯坦		吉尔吉斯斯坦		塔吉克斯坦		土库曼斯坦		乌兹别克斯坦	
	发展潜力 /万t	排名	发展潜力 /万t	排名	发展潜力 /万t	排名	发展潜力 /万t	排名	发展潜力 /万t	排名
小麦	562.92	1	54.91	3	32.07	4	362.44	2	—	—
湿地水稻	2.94	2	0.91	4	—	—	45.98	1	—	—
玉米	—	—	—	—	—	—	19.53	1	—	—
大麦	—	—	32.34	1	16.41	3	2.82	4	26.36	2
高粱	1.14	1	0.02	2	0	3	—	—	—	—
黑麦	1.06	1	—	—	0	2	—	—	—	—
谷子	4.15	1	0.01	2	0.01	3	—	—	—	—
燕麦	—	—	—	—	0.23	1	—	—	—	—
荞麦	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

中亚地区粮食发展潜力幅度国家排名由高到低依次为土国、塔国、哈国、吉国、乌国。从粮食种类看，小麦发展潜力幅度为104.77%，其中土国高达260.92%，远大于其他国家；湿地水稻发展潜力幅度为128.77%，但哈、吉两国该作物发展潜力幅度均低于30%；玉米仅土国有产量提升空间，提升幅度为392.88%；大麦、高粱发展潜力幅度分别

③ 表中“—”可能有两种情况：一是单位面积产量潜力值小于实际值。由于单位面积产量潜力值是在参数设定条件下通过估算得出，部分数据出现小于实际值的情况，故不予测算；二是联合国粮农组织数据库中生产面积实际值缺乏或为0，下同。

为119.92%、239.10%；黑麦发展潜力幅度不足30%；塔国燕麦发展潜力约为其实际燕麦产量的0.72倍（表5）。

表5 生产面积不变假设下中亚地区粮食发展潜力幅度

Table 5 The grain development potential range of Central Asia under the assumption of constant production area

粮食种类	哈萨克斯坦		吉尔吉斯斯坦		塔吉克斯坦		土库曼斯坦		乌兹别克斯坦	
	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名
小麦	38.80	3	83.71	2	35.66	4	260.92	1	—	—
湿地水稻	6.49	3	26.33	2	—	—	353.50	1	—	—
玉米	—	—	—	—	—	—	392.88	1	—	—
大麦	—	—	80.26	4	115.63	3	132.89	2	150.91	1
高粱	322.53	1	175.57	3	219.18	2	—	—	—	—
黑麦	26.92	2	—	—	27.65	1	—	—	—	—
谷子	94.28	1	67.14	3	68.24	2	—	—	—	—
燕麦	—	—	—	—	72.15	1	—	—	—	—
荞麦	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

2.2.2 单产不变假设

若单产不变，哈国是中亚地区粮食生产潜力最大的国家，各种类粮食作物生产潜力均排名第一，其后依次为乌国、吉国、塔国，土国，该四国粮食生产潜力远低于哈国。从粮食种类看，小麦生产潜力最大，为4962.35万t，其中73.50%在哈国；湿地水稻和玉米生产潜力分别为189.30万t和392.92万t，但吉国湿地水稻和土国玉米潜在产量均不足6万t；大麦生产潜力在所有种类粮食中居第二位，为834.96万t，其中潜在产量最大的哈国占84.60%，而最小的土国占比不到0.03%；其余粮食作物生产潜力集中于哈国，但总体均低于100万t，尤其是谷子和高粱，生产潜力分别仅为7.64万t和2.09万t（表6）。

表6 单产不变假设下中亚地区粮食生产潜力

Table 6 The grain production potential in Central Asia under the assumption of constant yield per unit area

粮食种类	哈萨克斯坦		吉尔吉斯斯坦		塔吉克斯坦		土库曼斯坦		乌兹别克斯坦	
	生产潜力 /万t	排名	生产潜力 /万t	排名	生产潜力 /万t	排名	生产潜力 /万t	排名	生产潜力 /万t	排名
小麦	3647.56	1	106.69	5	204.38	3	189.77	4	813.95	2
湿地水稻	104.65	1	5.73	5	22.60	3	13.92	4	42.40	2
玉米	182.78	1	106.12	2	45.24	4	5.23	5	53.55	3
大麦	706.45	1	66.36	2	31.93	3	2.09	5	28.13	4
高粱	1.13	1	0.03	2	0	4	—	—	0.93	2
黑麦	9.84	1	0.16	3	0.02	4	—	—	0.79	2
谷子	7.48	1	0	4	0.01	3	—	—	0.15	2
燕麦	70.08	1	0.40	3	0.72	2	—	—	—	—
荞麦	26.16	1	0.01	2	—	—	—	—	—	—

中亚地区粮食发展潜力国家排名由高到低依次为哈国、乌国、吉国、塔国、土国，且哈国各种类粮食作物潜力产量均居榜首。从粮食种类看，小麦发展潜力最大，总体达2450.48万t，其中哈国占87.55%；玉米发展潜力为183.49万t，但土国仅为0.22万t；大麦发展潜力464.07万t，而土国大麦潜力产量占比不到0.02%；湿地水稻发展潜力为

84.04万t，其中哈国占比达73.02%；其余粮食作物发展潜力均偏低，尤其是高粱，仅为0.84万t，基本不具有发展潜力；哈国这五种粮食作物发展潜力在整个中亚地区占比极大，平均为92.27%（表7）。

表7 单产不变假设下中亚地区粮食发展潜力

Table 7 The grain development potential in Central Asia under the assumption of constant yield per unit area										
粮食种类	哈萨克斯坦		吉尔吉斯斯坦		塔吉克斯坦		土库曼斯坦		乌兹别克斯坦	
	发展潜力 /万t	排名	发展潜力 /万t	排名	发展潜力 /万t	排名	发展潜力 /万t	排名	发展潜力 /万t	排名
小麦	2145.43	1	41.60	4	113.07	3	8.09	5	142.29	2
湿地水稻	61.55	1	2.24	4	12.50	2	0.59	5	7.41	3
玉米	107.51	1	41.37	2	25.03	3	0.22	5	9.36	4
大麦	415.52	1	25.87	2	17.67	3	0.09	5	4.92	4
高粱	0.67	1	0.01	3	0	4	—	—	0.16	2
黑麦	5.79	1	0.06	3	0.01	4	—	—	0.14	2
谷子	4.40	1	0.01	3	0.01	4	—	—	0.67	2
燕麦	41.22	1	0.16	2	0.40	3	—	—	—	—
荞麦	15.39	1	0	2	—	—	—	—	—	—

中亚地区粮食发展潜力幅度最大的是哈国，各粮食作物发展潜力幅度均在135%以上，其后依次为塔国、吉国、乌国、土国。从粮食种类来看，小麦、湿地水稻、玉米、大麦发展潜力幅度均在70%左右，且土国该四类作物发展潜力幅度极小，均不超过6%；高粱发展潜力幅度为112.42%，但乌国低于25%；黑麦、谷子、燕麦发展潜力幅度分别为77.58%、96.68%和109.11%，哈、吉、塔三国之间吉国发展潜力幅度相对较小；荞麦发展潜力幅度为69.84%，但吉国仅为0.18%（表8）。

表8 单产不变假设下中亚地区粮食发展潜力幅度

Table 8 The grain development potential range in Central Asia under the assumption of constant yield per unit area										
粮食种类	哈萨克斯坦		吉尔吉斯斯坦		塔吉克斯坦		土库曼斯坦		乌兹别克斯坦	
	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名
小麦	147.87	1	63.42	3	125.73	2	5.82	5	21.37	4
湿地水稻	135.81	1	64.98	3	133.81	2	4.56	5	21.46	4
玉米	141.37	1	63.85	3	119.15	2	4.48	5	22.05	4
大麦	135.26	1	64.21	3	124.47	2	4.21	5	28.16	4
高粱	188.25	1	127.39	2	111.45	3	—	—	22.57	4
黑麦	147.00	1	56.23	3	82.56	2	—	—	24.52	4
谷子	170.14	1	58.49	3	136.14	2	—	—	21.95	4
燕麦	143.32	1	56.82	3	127.18	2	—	—	—	—
荞麦	139.50	1	0.18	2	—	—	—	—	—	—

2.2.3 单产与生产面积均改变假设

若单产与生产面积均改变，中亚地区哈国粮食生产潜力最大，仅玉米潜在产量未排首位，其后依次为土国、塔国、吉国、乌国。从粮食种类看，小麦、湿地水稻生产潜力分别为6898.32万t和228.89万t，均是哈国潜在产量占比最大而吉国最小；玉米生产潜力为265.28万t，仅吉国潜在产量在100万t以上；大麦生产潜力在所有种类粮食中

位居第二，为 957.52 万 t，其中哈、吉两国占比合计达 84.92%；其余粮食作物潜在产量不高，且平均有 96.11%在哈国（表 9）。

表 9 单产与生产面积均改变假设下中亚地区粮食生产潜力

Table 9 The grain production potential in Central Asia is assumed to change both the yield per unit area and the production area

粮食种类	哈萨克斯坦		吉尔吉斯斯坦		塔吉克斯坦		土库曼斯坦		乌兹别克斯坦	
	生产潜力 /万 t	排名	生产潜力 /万 t	排名	生产潜力 /万 t	排名	生产潜力 /万 t	排名	生产潜力 /万 t	排名
小麦	5062.72	1	196.01	5	277.27	4	684.91	2	677.41	3
湿地水稻	111.45	1	7.24	5	13.30	4	63.14	2	33.76	3
玉米	81.40	2	101.15	1	23.50	5	25.77	4	33.46	3
大麦	693.57	1	119.62	2	68.86	4	4.88	5	70.59	3
高粱	4.79	1	0.09	3	0.01	4	0	5	0.58	2
黑麦	12.49	1	0.14	3	0.02	4	0	5	0.20	2
谷子	24.71	1	0.02	4	0.03	3	0	5	0.35	2
燕麦	60.19	1	0.39	3	1.24	2	0	4	0	4
荞麦	13.50	1	0	2	0	3	0	3	0	3

中亚地区哈国粮食发展潜力仍最大，仅玉米潜力产量未排首位，塔国、吉国、土国分列第二位、第三位、第四位，乌国具有发展潜力的作物仅小麦和大麦。从粮食种类看，小麦发展潜力为 4487.26 万 t，但乌国仅 11.72 万 t；大麦发展潜力为 576.23 万 t，但土国仅 2.75 万 t；湿地水稻发展潜力为 124.00 万 t，其中哈国占 50%以上，吉、塔两国均低于 4 万 t；玉米发展潜力为 64.99 万 t，其中吉国占比为 55.93%，发展潜力最大；其余粮食作物发展潜力相对较小，且哈国占比平均高达 98.83%（表 10）。

表 10 单产与生产面积均改变假设下中亚地区粮食发展潜力

Table 10 The grain development potential in Central Asia is assumed to change both the yield per unit area and the production area

粮食种类	哈萨克斯坦		吉尔吉斯斯坦		塔吉克斯坦		土库曼斯坦		乌兹别克斯坦	
	发展潜力 /万 t	排名	发展潜力 /万 t	排名	发展潜力 /万 t	排名	发展潜力 /万 t	排名	发展潜力 /万 t	排名
小麦	3611.79	1	130.41	4	187.34	3	546.00	2	11.72	5
湿地水稻	66.12	1	3.80	4	3.95	3	50.13	2	—	—
玉米	5.35	3	36.35	1	2.49	4	20.80	2	—	—
大麦	386.37	1	79.32	2	54.66	3	2.75	5	53.13	4
高粱	4.44	1	0.08	2	0.01	3	—	—	—	—
黑麦	8.55	1	0.03	2	0.01	3	—	—	—	—
谷子	20.31	1	0.01	3	0.03	2	—	—	—	—
燕麦	31.43	1	0.11	2	0.93	3	—	—	—	—
荞麦	13.503	1	—	—	—	—	—	—	—	—

中亚地区粮食发展潜力幅度总体较大。哈、土、塔三国均有粮食作物发展潜力幅度排名第一。从粮食种类看，小麦发展潜力幅度为 210.18%，但乌国仅为 1.76%，其余四国均在 198%以上；湿地水稻发展潜力幅度为 171.04%，但塔国仅为 42.29%；玉米发展潜力幅度为 123.34%，但土国高达 418.65%，是最小的哈国的约 60 倍；大麦生产潜力幅度为 228.32%，其中塔、乌两国均在 300%以上；高粱发展潜力幅度极大，为 865.24%，哈国

甚至达1252.34%；黑麦发展潜力幅度为110.29%，其中哈国远高于吉、塔两国；谷子发展潜力幅度为308.90%；燕麦发展潜力幅度为148.82%，但吉国较低；哈国荞麦潜力产量约为实际产量的0.22倍（表11）。

表 11 单产与生产面积均改变假设下中亚地区粮食发展潜力幅度

Table 11 The grain development potential range in Central Asia is assumed to change both the yield per unit area and the production area

粮食种类	哈萨克斯坦		吉尔吉斯斯坦		塔吉克斯坦		土库曼斯坦		乌兹别克斯坦	
	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名	潜力幅度/%	排名
小麦	248.93	2	198.81	4	208.32	3	393.07	1	1.76	5
湿地水稻	145.89	2	110.55	3	42.29	4	385.41	1	—	—
玉米	7.04	4	56.09	2	11.85	3	418.45	1	—	—
大麦	125.77	5	196.84	3	385.13	1	129.70	4	304.18	2
高粱	1252.34	1	800.38	2	543.00	3	—	—	—	—
黑麦	217.19	1	23.18	3	90.49	2	—	—	—	—
谷子	461.98	1	150.74	3	313.99	2	—	—	—	—
燕麦	109.29	2	41.43	3	295.73	1	—	—	—	—
荞麦	22.41	1	—	—	—	—	—	—	—	—

3 结论

综合分析，得到以下结论：（1）从潜在单产看，吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦粮食潜在粮食单产总体较高，但哈萨克斯坦较低。灌溉条件下各类粮食作物（除荞麦）潜在单产远高于雨养。（2）从潜在面积看，中亚地区有大面积可耕地，但大部分耕种适宜性指数不高，潜在耕地面积为4472.90万hm²，其中93.86%在哈萨克斯坦。（3）从国家看，哈萨克斯坦为中亚地区粮食生产潜力和发展潜力最大的国家。但发展潜力幅度最大的国家在不同假设下有所不同，假设生产面积不变时，土库曼斯坦粮食发展潜力幅度最大，假设单产不变时，哈萨克斯坦粮食发展潜力幅度最大，假设单产和生产面积均改变时中亚五国总体粮食发展潜力幅度较大。（4）从粮食种类看，中亚地区潜力最大的作物是小麦，其次为大麦，其余非主粮作物潜力均较低且集中在哈萨克斯坦，但高粱的发展潜力幅度很大。

高度集中的粮食进口来源市场和持续提高的粮食对外依存度使得中国的粮食进口存在较大风险，开拓新的粮食供应市场是必要的。充分利用国外资源和国际市场，有助于中国更好地实现粮食安全保障与生态环境保护的统一^[23]。鉴于此，本文建议中国可以在农业科技、农业投资等领域同中亚地区开展广泛的粮食合作，开发中亚地区粮食生产潜力，从而促进中国与中亚地区的粮食贸易，拓展中国粮食供应来源，降低中国粮食进口风险。具体如下：（1）扩大农业科技合作。中国可向中亚地区，特别是吉、塔两国输出优质种子资源、先进的田间管理经验、农业基础设施建设经验等，促进中亚地区粮食单产的提高。（2）加强农业基础设施投资。中国可加大对中亚地区的农业基础设施建设的资金支持、技术支持，促进该地区农业基础设施特别是水利灌溉基础设施的建设，改善中亚地区水利灌溉设施老化失修问题，扩大粮食灌溉面积，增加灌溉条件下的粮食单产。（3）推进海外耕地投资。中国可通过海外耕地投资的方式，促进中亚地区特别是哈、乌两国的潜在粮食耕地面积开发，减少耕地闲置现象，扩大粮食生产面积。（4）关

注潜力大的粮食作物。中国同中亚地区的粮食合作,应重点关注小麦、大麦等生产和发展潜力大的粮食作物以及高粱等发展潜力幅度较大的粮食作物。

参考文献(References):

- [1] 李宁. 哈萨克斯坦粮食产业发展研究. 新疆: 新疆师范大学, 2011. [LI N. Research on the development of food industry in Kazakhstan. Xinjiang: Xinjiang Normal University, 2011.]
- [2] 于敏, 姜明伦, 柏娜, 等. 中国与中亚粮食合作: 机遇与挑战. 新疆农垦经济, 2017, (5): 1-4. [YU M, JIANG M L, BO N, et al. China and Central Asia food cooperation: Opportunities and challenges. Xinjiang State Farms Economy, 2017, (5): 1-4.]
- [3] 贾琨, 杨艳昭, 封志明. “一带一路”沿线国家粮食生产的时空格局分析. 自然资源学报, 2019, 34(6): 1135-1145. [JIA K, YANG Y Z, FENG Z M. Analysis of the temporal and spatial patterns of grain production in the countries along the Belt and Road Initiative. Journal of Natural Resources, 2019, 34(6): 1135-1145.]
- [4] 韩昌友. 荆州市粮食生产潜力分析及发展对策. 农村经济与科技, 2014, 25(8): 62-63. [HAN C Y. Analysis of grain production potential and development countermeasures in Jingzhou city. Rural Economy and Science-Technology, 2014, 25(8): 62-63.]
- [5] 程丹, 杨宇庭, 吕芳, 等. 山西省粮食增产潜力研究. 宁夏农林科技, 2015, 56(5): 48-50. [CHENG D, YANG Y T, LYU F, et al. Study on the potential of grain production increase in Shanxi province. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2015, 56(5): 48-50.]
- [6] 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. General Information, 2008: 43.
- [7] PATRIGNANI A, LOLLATO R P, OCHSNER T E, et al. Yield gap and production gap of rainfed winter wheat in the southern great plains. Agronomy Journal, 2014, 106(4): 1329.
- [8] LOBELL D B, CASSMAN K G, FIELD C B. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. Annual Review of Environment & Resources, 2009, 34(1): 179-204.
- [9] 魏秀玉. 河南省粮食生产潜力预测. 河南农业科学, 2015, 44(8): 46-49, 132. [WEI X Y. Forecast of grain production potential in Henan province. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2015, 44(8): 46-49, 132.]
- [10] 陈印军, 易小燕, 方琳娜, 等. 中国耕地资源与粮食增产潜力分析. 中国农业科学, 2016, 49(6): 1117-1131. [CHEN Y J, YI X Y, FANG L N, et al. Analysis on the potential of cultivated land resources and grain production in China. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(6): 1117-1131.]
- [11] 杨俊彦, 陈印军, 王琦琪. 东北三省区耕地资源与粮食生产潜力分析. 土壤通报, 2017, 48(5): 1055-1060. [YANG J Y, CHEN Y J, WANG Q Q. Analysis of cultivated land resources and food production potential in three provinces of Northeast China. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48(5): 1055-1060.]
- [12] LOOMIS R S, WILLIAMS W A. Maximum crop productivity: An estimate 1. Crop Science, 1963, 3(1): 67-72.
- [13] 于沪宁, 赵丰收. 光热资源和农作物的光热生产潜力: 以河北省栾城县为例. 气象学报, 1982, (3): 327-334. [YU H N, ZHAO F S. Photothermal resources and photothermal production potential of crops: A case study of Luancheng county, Hebei province. Acta Meteorologica Sinica, 1982, (3): 327-334.]
- [14] HANKS R J. Yield and Water-Use Relationships: An Overview. Limitations to efficient water use in crop production, 1983: 393-411.
- [15] 樱谷哲夫, 王学文. 作物蒸散的研究: 无水分亏缺条件下大豆田间蒸发与蒸腾的分别计算. 气象科技, 1988, (1): 74-79. [SAKURIYA TETSUO, WANG X W. Study on crop evapotranspiration: Calculation of soybean field evaporation and transpiration under water-free deficit. Meteorological Science and Technology, 1988, (1): 74-79.]
- [16] SLABBERS P J, HERRENDORF V S, STAPPER M. Evaluation of simplified water-crop yield models. Agricultural Water Management, 1979, 2(2): 95-129.
- [17] 党安荣, 阎守邕, 吴宏歧, 等. 基于 GIS 的中国土地生产潜力研究. 生态学报, 2000, 20(6): 910-915. [DANG A R, YAN S Y, WU H Q, et al. Research on China's land production potential based on GIS. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(6): 910-915.]
- [18] 李忠武, 蔡强国, MITCHELL S, 等. 基于 GIS 的黄土丘陵沟壑区作物生产潜力模拟研究. 生态学报, 2002, 22(3):

- 311-317. [LI Z W, CAI Q G, MITCHELL S, et al. Simulation of crop production potential based on GIS in Loess Hilly and Gully Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(3): 311-317.]
- [19] 徐海燕. 构建丝路粮食通道的若干思考. *国际问题研究*, 2016, (4): 66-74. [XU H Y. Thoughts on constructing silk road food channel. *International Studies*, 2016, (4): 66-74.]
- [20] 孙致陆, 李先德. “一带一路”沿线国家粮食发展潜力分析. *华中农业大学学报: 社会科学版*, 2017, (1): 32-43, 141. [SUN Z L, LI X D. Analysis of national food development potential along the Belt and Road Initiative. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2017, (1): 32-43, 141.]
- [21] 王兴华, 齐皓天, 韩啸, 等. “一带一路”沿线国家粮食生产潜力研究: 基于FAO-GAEZ模型. *西北工业大学学报: 社会科学版*, 2017, 37(3): 51-56. [WANG X H, QI H T, HAN X, et al. Study on the potential of grain production in countries along the Belt and Road Initiative: Based on the FAO-GAEZ model. *Journal of Northwestern Polytechnical University: Social Sciences*, 2017, 37(3): 51-56.]
- [22] 周曙东, 赵明正, 陈康, 等. 世界主要粮食出口国的粮食生产潜力分析. *农业经济问题*, 2015, 36(6): 91-104, 112. [ZHOU S D, ZHAO M Z, CHEN K, et al. Analysis of the potential of grain production in the world's major grain exporting countries. *Issues in Agricultural Economy*, 2015, 36(6): 91-104, 112.]
- [23] 辛翔飞, 王济民. 我国粮食自给水平目标设定: 研究综述与政策启示. *自然资源学报*, 2019, 34(11): 2257-2269. [XIN X F, WANG J M. Target setting of food self-sufficiency level in China: Literature review and policy enlightenment. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(11): 2257-2269.]

Analysis of grain production and development potentiality in Central Asia based on GAEZ method

LIAO Meng-ting, WEI Feng

(College of Economics and Management, Northwest Agriculture and Forestry University,
Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: Central Asia is of great significance for maintaining world food security because of its special geographical location and high grain production capacity. Exploring the potential of grain production in this region will help alleviate the global food crisis. In this paper, the GAEZ method, combined with the FAOSTAT database, is used to quantitatively analyze the potential yield per unit area and potential area of nine grain crops in the five Central Asian countries. And based on the assumption that the production area is a constant, the output per unit area is a constant, while the output per unit area and the production area are changed. In addition, the grain production potential, and the range of development potential in this region are measured. The results show that among the five countries, Kazakhstan has the greatest potential for grain production and development potential. In terms of crop types, wheat has the greatest potential for grain production and development potential, followed by barley; while oats, rye, sorghum, millet and buckwheat have the least grain production and development potential, and are concentrated in Kazakhstan. In addition, sorghum has the largest range of development potential in the whole region.

Keywords: production potential; development potential; grain; Central Asia