

改革开放以来中国粮食生产空间重构

张秋梦¹, 杨方社¹, 李 飞^{1,2}

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 陕西省地表过程与环境承载力重点实验室, 西安 710127)

摘要: 粮食生产空间重构不仅事关我国粮食安全, 而且深刻影响着区域经济发展与生态保护。从数量、生产潜力和空间格局三个维度出发, 采用GAEZ模型、景观格局指数与重心迁移模型探讨了1980—2018年中国粮食生产空间重构。研究表明: (1) 就数量来看, 南减北增, 总量基本持衡, 但其内部转换频繁。粮食生产空间转出面积已达6458万 hm^2 , 其中退耕还林还草与建设用地扩张占到90%左右; 粮食生产空间转入面积为6680万 hm^2 , 毁林垦草占到75%。(2) 从生产潜力上看, 其总量整体呈下降趋势, 同时表现出由东向西降低的梯度差异。生产潜力总量减少主要是由退耕还林还草与城市扩张所导致, 使得中低潜力、中潜力与中高潜力等级的粮食生产空间减少。而增加的主要原因是毁林垦草, 使得中潜力与中高潜力等级的粮食生产空间大量增加。(3) 由于人类活动的加剧, 空间格局发生了显著变化。粮食生产空间的规模逐渐变小, 形状趋于复杂, 相隔距离逐渐变远。同时, 粮食生产空间的数量重心整体向南运动, 但迁移距离不大。而生产潜力重心不断向东北移动, 迁移幅度相对较大。研究结果丰富了土地系统研究体系, 为保障粮食安全及实现粮食生产空间的可持续集约化发展提供依据。

关键词: 粮食生产空间; 生产潜力; 空间格局

城乡发展空间(即建设用地)、生态服务空间(即林草地、水域与未利用地)与粮食生产空间(即耕地)是从功能空间角度对土地利用的再认识。粮食生产与粮食安全是关乎国计民生的重大问题, 保障粮食生产, 稳定粮食安全对于促进国家经济持续发展与维护社会稳定具有重要意义。尤其在中国, 粮食安全对国家安全具有极端重要性^[1]。在当前世界人口的持续增长、人均耕地占有量减少与人均收入提高的背景下, 全球粮食需求正在迅速增加。同时按照目前生活水平, 农业生产至少需要100%的增长才能满足2005—2050年间全球粮食需求^[2]。而中国依靠世界7%的耕地成功养活着占世界22%的人口, 此外, 中国耕地流失占世界流失总量的四分之一, 因此仍不清楚中国未来是否有足够的资源保持粮食的自给自足^[3]。粮食生产空间是城乡发展空间与生态服务空间联系的纽带。粮食生产空间的利用以及与其他土地利用的转换, 会改变粮食生产空间的物质流与能量流, 影响地球系统的气候、水文、生物地球循环等变化过程^[4,5], 对生态服务空间有着重要影响。同时, 随着经济快速增长与人口急剧增加, 粮食生产空间与城乡发展空间矛盾日益加深。总之, 改革开放以来, 建设用地扩张、退耕还林还草与毁林垦草等导致我国粮食生产空间在数量、生产潜力与空间格局上都发生了显著变化。

目前全国粮食生产空间仍继续坚守着“18亿亩耕地红线”, 数量变化不是很明显,

收稿日期: 2020-08-10; 修订日期: 2020-10-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41701094)

作者简介: 张秋梦(1995-), 女, 四川宜宾人, 硕士, 主要从事粮食生产空间重构研究。

E-mail: zhangqm123@163.com

通讯作者: 李飞(1989-), 男, 河南开封人, 博士, 副教授, 主要从事土地系统变化及效应研究。

E-mail: lifei@nwu.edu.cn

但是在空间上的重构显著,而对其重构过程,尤其是生产潜力和格局重构的过程研究还不清晰。大多学者已经对粮食生产空间的数量变化做了广泛且深入的研究,主要通过用途转移、集约度变化等方面来对其进行详细阐述^[6-12]。目前国内研究主要采用经验公式法、趋势外推法与潜力递减法,来探讨粮食生产空间的生产潜力变化以及土地利用变化对其影响^[13,14]。如邓祥征等^[15]得出1986—2000年中国粮食生产空间的生产潜力平均下降了2.2%,其减少的地区集中分布在自然资源优越的华南与东南沿海地区;Yan等^[16]得出中国20世纪90年代生产潜力总量增加了696万t,主要是北方地区增加,南方地区减少;闫慧敏等^[17]得到全国生产潜力由1990—2010年的增加(101.97万t/年)转变为21世纪初的减少(91.93万t/年),主要是由于粮食生产空间与城乡生产空间、生态服务空间转变的矛盾引起的。当前大多使用地理信息图谱、格网计算、景观生态指数、重心迁移等方法来研究粮食生产空间格局变化特征,但更多关注粮食生产空间面积变化的空间异质性与景观格局的变化规律^[18-21],对其质量的空间变化研究有限。

鉴于此,本文整合土地利用数据和其他自然地理数据,从数量、生产潜力与空间格局三个维度,分析改革开放以来(1980—2018年)中国粮食生产空间的时空变化特征,并探索粮食生产空间重构过程(建设用地扩张、退耕还林还草、毁林垦草)产生的影响。为研究人类活动对粮食生产空间的干预过程、保证粮食生产空间可持续集约化发展及保障中国粮食安全提供理论支撑^[22,23]。

1 研究方法与数据来源

1.1 数据来源

研究所用数据包括土地利用/土地覆盖数据、气象数据、土壤数据与地形高程数据。

土地利用/土地覆盖数据包含1980年、1990年、2000年、2010年和2018年五期,来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)的全国1:10万比例尺土地利用数据库。该数据集是以Landsat TM/ETM遥感影像为主要数据源,通过人工目视解译生成,再由ArcGIS处理,获得1 km×1 km的土地利用栅格数据。土地利用分类系统采用“中国科学院土地资源分类系统”的一级分类,分为耕地、林地、草地、水域、建设用地与未利用地六类,其综合评价精度达到90%以上^[7,24,25]。本文将以粮食生产为主要功能的耕地作为粮食生产空间,以经济发展为主要功能的建设用地作为城乡发展空间,以生态服务为主要功能的林地、草地、水域等作为生态服务空间。

气象数据为中国790多个气象站点观测数据,由中国气象科学数据共享服务网(<https://data.cma.cn>)提供,包括1980—2018年逐月的降雨量、降水天数、最高气温、最低气温、10 m高度处的风速、相对湿度以及太阳辐射总量,其中2016年与2017年的太阳辐射总量是基于Angstrom-Prescott公式^[26](简称A-P公式)计算而来的,气象数据中少量缺测值使用多元线性回归来补全。考虑到地形差异,采用Anusplin插值模型^[27]对气象数据进行了空间插值,再利用ArcGIS与ENVI处理气象数据,最终得到全国10 km×10 km的逐月气象要素空间栅格数据,以此作为气候生产潜力计算的气候条件基础。

土壤数据来自于中国科学院资源与环境科学数据中心1:100万的全国土壤数据集(<http://www.resdc.cn>),包括土壤类型、土壤深度、土壤持水力和土壤成分等属性^[28]。

地形高程数据来源于美国奋进号航天飞机的雷达地形测绘使命(Shuttle Radar Topography Mission, SRTM)系统提供的数字高程模型(DEM)数据,所用空间分辨率为90 m^[29]。

1.2 研究方法

1.2.1 全球农业生态区模型(GAEZ)

采用GAEZ模型估算粮食生产潜力。GAEZ模型是由联合国粮农组织（FAO）和国际应用系统分析研究所（IIASA）共同研发的大尺度土地生产力模型，它集成了潜在的生产力衰减模型和气候因素集成模型^[30-32]。GAEZ模型先是根据气候条件估算种植某种作物的气候适宜性，再利用经验公式对适宜种植的作物采取逐级限制法来计算作物生产潜力（图1）^[33]。GAEZ模型包含灌溉和雨养两种模拟情景。雨养条件下仅考虑降水对作物产量的影响，而灌溉条件下则假设水分充足，即不考虑水分对作物的影响。本文研究区是整个中国，因而直接采用雨养情境下的粮食生产潜力。计算过程中主要考虑了水稻、小麦和玉米三种作物。这三种作物是中国的主要粮食作物，其产量约占中国粮食总产量的90%左右（来自《2019年中国统计年鉴》）。

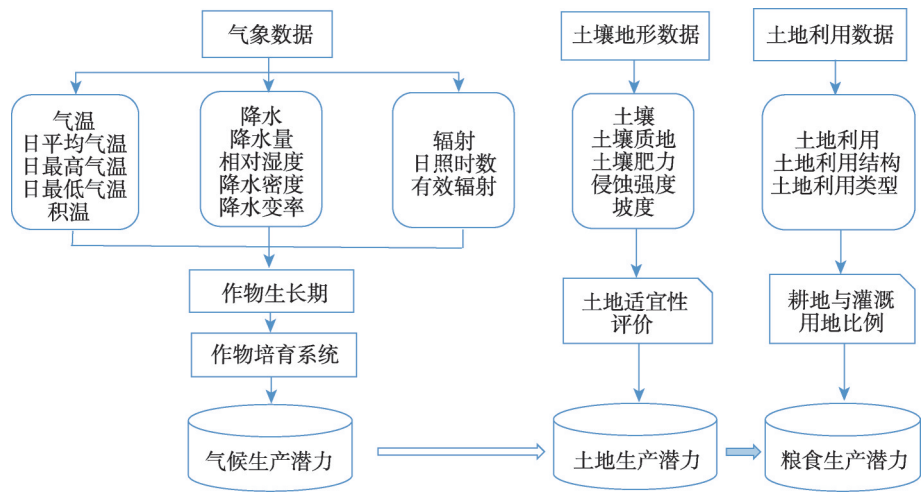


图1 GAEZ模型结构
Fig. 1 Organization of GAEZ model

1.2.2 景观格局指数

景观格局是指构成景观的生态系统或土地利用/覆被类型的形状、比例和空间配置^[34]。景观格局指数是能高度浓缩景观格局信息，并综合反映其结构组成和空间配置方面特征的定量指标^[34]。为了掌握粮食生产空间格局变化情况，本文在景观类型层次上选择了面积加权平均斑块面积（Area-weight mean patch size, AREA_AM）、面积加权平均斑块分维数（Area-weight mean patch fractal dimension, FRAC_AM）、面积加权平均几何最邻近距离（Area-weight mean Euclidean nearest neighbor distance, ENN_AM）。AREA_AM反映斑块大小，其值越大，说明景观的破碎化程度越小；FRAC_AM数值一般不超过1.5，反映斑块的形状复杂度，在一定程度上也反映人类活动对景观结构的影响。一般而言，受人类活动干扰小的自然景观的分维数值高，而受人类活动影响大的景观分维数值低；ENN_AM用来衡量斑块间的聚集程度，其值越大，说明斑块相对分散，景观的破碎化程度越大^[35,36]。文章采用Fragstats 4.2软件的移动窗口法^[37]，以10 km为半径的方形窗口进行运算。

1.2.3 重心迁移模型

重心模型是研究区域发展过程中要素空间变动的重要分析工具^[38]。重心迁移可较好

地了解某一要素在空间演变过程中的时空聚集和迁移特征。粮食生产空间变化可以通过重心迁移过程来描述其总体变化趋势和空间变化特征。其计算公式如下^[38]：

$$X_{ii} = \frac{\sum_{t=1}^n x_i A_t}{\sum_{t=1}^n A_t} \quad (1)$$

$$Y_{ii} = \frac{\sum_{t=1}^n y_i A_t}{\sum_{t=1}^n A_t} \quad (2)$$

式中： X_{ii} 与 Y_{ii} 分别是区域 i 第 t 年土地利用类型面积重心的横纵坐标； A_t 为区域 i 第 t 年的面积（ km^2 ）； x_i 与 y_i 为区域 i 的几何重心经纬度。

区域重心空间区位年际移动距离的测度一般是用如下公式^[38]：

$$D_{t-p} = C \times \left[(Y_t - Y_p)^2 + (X_t - X_p)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

式中： D 是两个不同年份间重心移动的距离（ km ）； t 与 p 分别代表两个不同年份； (X_t, Y_t) 、 (X_p, Y_p) 分别代表第 t 年和第 p 年的区域重心所在空间的地理坐标； C 为常数，取值111.11，转换后的重心迁移距离单位为 km 。

2 结果分析

2.1 粮食生产空间数量重构

根据1980年、1990年、2000年、2010年和2018年五期土地利用分布数据，了解土地利用结构的数量变化（图2）。在整个研究时段，生态服务空间的面积占比是最高的，是土地利用的主要组成。生态服务空间的数量整体是呈减少态势，变化幅度为1.5%；其次是粮食生产空间，占比保持在18%以上，总体上呈微增态势；最后是城乡发展空间，面积占比小，整体上为增加态势，且2000年后增长明显。近40年粮食生产空间的数量总体变化不大，一方面与我国本身是传统农业大国有关系，注重农业发展，另一方面与我国实施的耕地总量动态平衡政策、耕地“占一补一”政策等有关。

1980—2018年粮食生产空间的数量基本持衡，但其内部转换及地理分布变化显著。中国粮食生产空间转换为其他土地利用面积约达6458万 hm^2 ，占到1980年粮食生产空间的总面积的36.6%，占比稍高，其显示在研究期间粮食生产空间以年均0.94%的速度转换成其他地类，其速度远低于欧洲、美国等发达国家经济快速发展的时期^[39]。退耕还林还草、毁林垦草与建设用地扩张的面积都随时间推移而不断增大（图3）。其中退耕还林还草占到粮食生产空间转出面积的65%，集中分布在云南、内蒙古、湖南、陕西、四

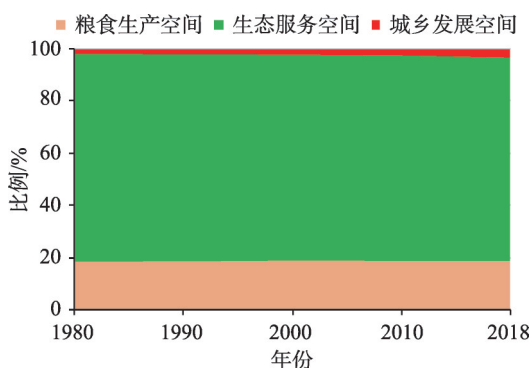


图2 1980—2018年中国土地利用结构变化

Fig. 2 The change of land use structure in China from 1980 to 2018

川、甘肃、贵州、广西等地区（表1）。2000年以后各地区退耕还林还草数量都有所增加，具体是由21世纪前的3703万hm²增加到21世纪后的4461万hm²，特别是云南、广西与西北地区2000年以后增幅明显，积极响应国家“退耕还林还草”号召；建设用地扩张次之，占到25%，主要集中分布在经济发达与人口密集的山东、河南、河北、江苏、安徽等省份，并且这些地区是我国优质粮食生产空间的集中

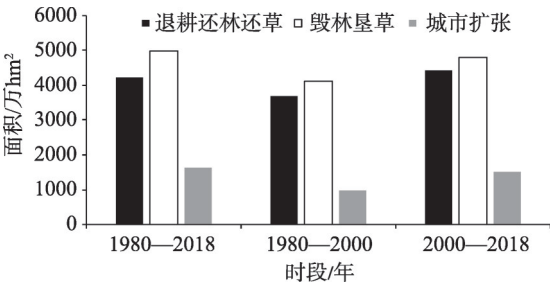


图3 1980—2018年中国粮食生产空间转换面积
Fig. 3 Grain production space conversion area in China from 1980 to 2018

表1 1980—2018年中国粮食生产空间转换的区域差异

	1980—2018年			1980—2000年			2000—2018年		
	毁林垦草	退耕还林还草	建设用地扩张	毁林垦草	退耕还林还草	建设用地扩张	毁林垦草	退耕还林还草	建设用地扩张
黑龙江	36965	11665	6657	32274	14070	5674	25317	18017	7251
吉林	16909	10927	5267	6694	2058	1067	13548	12161	5270
辽宁	14795	14172	6949	11803	8981	4390	15587	17785	6985
内蒙古	50852	32465	5715	46022	35587	4301	44865	36617	5363
甘肃	25166	26349	2601	26497	27111	1703	24515	26399	2628
宁夏	6294	5232	1128	1974	191	65	5338	5943	1185
新疆	34353	8102	3296	12351	8016	1051	28055	6610	3170
青海	3641	2924	379	467	19	38	3343	3044	376
西藏	5975	2812	80	2686	2733	40	6233	3101	62
四川	27917	27844	4393	30318	30067	1975	31107	31422	3969
广西	21792	21415	3305	1537	2078	617	21686	21783	2993
贵州	23239	22900	943	29213	28987	199	29186	29196	836
云南	33278	33747	2480	1392	1489	327	33376	33732	2270
重庆	13151	12762	1507	12337	12380	338	11788	11338	1430
陕西	25703	28871	3423	29754	29581	2088	28291	317173	3232
山西	17372	17628	5117	21137	20700	2773	20378	21120	5132
河南	5542	5763	16144	7558	7228	13351	7065	7193	16291
湖北	12007	12478	5816	16508	16526	3388	16153	16723	5287
湖南	28446	29093	2596	27466	27763	1361	28601	28900	2449
江西	17030	16787	3117	20026	20032	1512	18283	18033	2896
安徽	6205	6344	11853	7541	7584	8867	6306	6471	11312
北京	636	1168	2040	771	907	1276	639	1012	1552
天津	178	255	1529	201	233	950	197	249	1605
河北	12034	13125	15300	13816	13758	9725	9643	10653	13066
山东	9717	5933	19158	9493	9369	13200	8296	4486	17148
江苏	1477	1244	15100	1689	1607	9620	1466	1294	14261
上海	36	85	2127	69	70	958	52	83	1621
浙江	6047	7445	5359	8256	9678	2150	7813	8015	4810
福建	11046	10900	2217	13256	13222	1023	12868	12858	1941
广东	14479	14860	6394	14831	15248	3406	15549	15698	5131
海南	2593	2657	546	3624	3686	340	3308	3327	524
台湾	573	584	717	27	32	177	555	555	594

区,人地矛盾突出。具体来看,建设用地扩张由21世纪前的981万 hm^2 增加到21世纪后的1530万 hm^2 ,人口与经济的迅速增长使得粮食生产空间不得不被占用来满足社会快速发展的需要,尤以发达的东部沿海地区增长最为明显。同时,其他土地利用转为粮食生产空间的面积达6680万 hm^2 ,与1980年粮食生产空间的总面积相比占到38%,以年均0.97%的速度转变成粮食生产空间,表示其转入速度略高于转出速度。其中毁林垦草是新增粮食生产空间的主力,占比达75%,其主要分布区与退耕还林还草空间分布基本重合,再加上新疆与黑龙江。毁林垦草从21世纪前的4131万 hm^2 增加到21世纪后的4799万 hm^2 ,仍以西北地区增幅明显。从上述数据可看出,退耕还林还草、建设用地扩张与毁林垦草是导致粮食生产空间的数量变化与内部转换的主要土地利用活动。

2.2 粮食生产空间生产潜力重构

为揭示近40年中国粮食生产空间的生产潜力变化,计算出1980—2018年气候条件下粮食生产潜力的平均值,再计算出各年份粮食生产空间的生产潜力。由于粮食生产空间的生产潜力范围跨度大,将其分为由低到高的等级:低潜力、中低潜力、中潜力、中高潜力与高潜力(表2)^[40]。近40年不同生产潜力等级的粮食生产空间均有所变化,但其所占面积依次是高潜力>中高潜力>低潜力>中潜力>中低潜力。其中高潜力等级的粮食生产空间减少幅度大,达265.6万 hm^2 ,中高潜力与低潜力等级的粮食生产空间主要呈增加态势,中潜力与中低潜力等级的粮食生产空间变化不大。

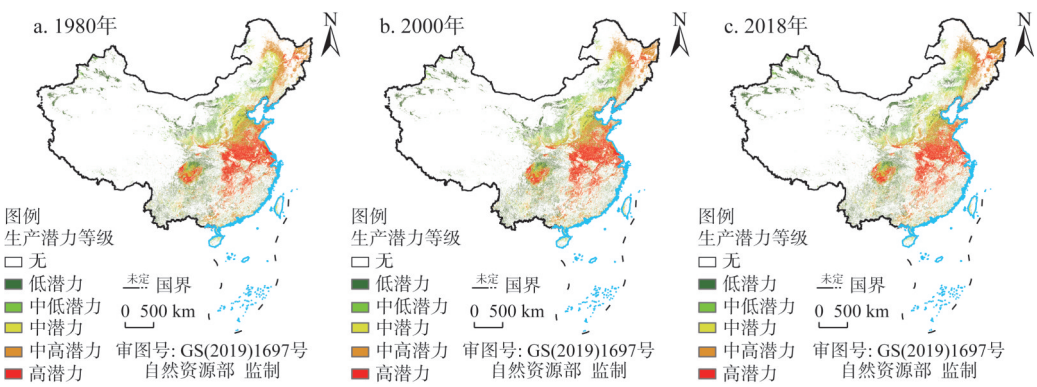
表2 粮食生产空间生产潜力的分类表

Table 2 Grain production space's production potential classification table

耕地生产潜力/(kg/hm^2)	耕地分类
< 2000	低潜力
2000~4000	中低潜力
4000~6000	中潜力
6000~8000	中高潜力
> 8000	高潜力

中国近40年粮食生产空间的生产潜力平均值约为5414 kg/hm^2 ,同时生产潜力总量由1980年的9.62亿t下降到9.53亿t,从总体上看呈下降趋势;粮食生产空间的生产潜力分布总体呈现东部高西部低,由东向西表现出较明显的梯度差异(图4),这主要是由于全国粮食生产空间的地理分布不均,东部地形平坦、土壤肥沃、水热条件优越,而西部地区地形复杂且地势较高、土壤贫瘠、水热条件差^[40]。从全国粮食生产潜力的区域分异看,虽然40年间变幅大,但上海、江苏、山东、河南、安徽等东部地区仍是我国生产潜力的高值区,同时这些地区也是中国人口密集、经济发展极快的地区,因而成为人地矛盾最突出的区域;西藏、青海、新疆、宁夏、甘肃等西部地区变化幅度小,但却是生产潜力的低值区,主要是由于可耕作面积小,自然灾害频发,水热等自然条件恶劣,人烟稀少(图5)。值得一提的是,这些地区的生产潜力在微弱地增加,但仍较低。

近40年土地利用变化整体使得粮食生产空间的生产潜力总量减少,全国粮食生产空间转出损失的生产潜力总量,比新增粮食生产空间的生产潜力总量约高3.5%。因退耕还林还草与建设用地扩张损失的生产潜力总量,分别约为减少总量的50%和38.5%,是致使粮食生产空间的生产潜力总量下降的主要土地利用活动。特别的是,由于2000年以后退耕还林还草政策实施,以及城市化不断发展导致建设用地仍以更快的速度侵占粮食生产空间,粮食生产空间的生产潜力总量由增加转变为减少。退耕还林还草主要造成中低潜力、中潜力与中高潜力等级的粮食生产空间流失,各自约占到粮食生产空间流失的17.5%、29.1%与42.7%;建设用地扩张主要使得中潜力与中高潜力等级的粮食生产空间



注：本图基于自然资源部标准地图服务下载的标准地图制作，底图无修改，下同。

图4 1980—2018年中国不同生产潜力等级的粮食生产空间的区域差异

Fig. 4 The regional differences of grain production space's different production potential level of China in 1980-2018

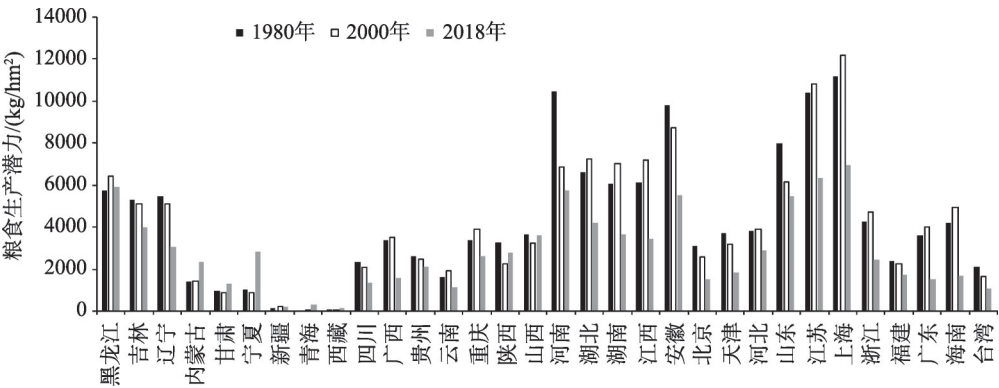


图5 1980—2018年中国粮食生产潜力的区域差异

Fig. 5 The regional differences of grain production potential of China in 1980-2018

流失，各自约占到粮食生产空间减少的27.9%与49.2%。毁林垦草使得新增加的生产潜力总量约为增加总量的65.4%，是生产潜力总量增加的重要的土地利用活动，这主要造成中潜力与中高潜力等级的粮食生产空间增加，各自约占到粮食生产空间增加的24.4%和53%（表3）。

2.3 粮食生产空间格局重构

所有的景观格局指数在不同的研究目标下都有其自身的限制，目前还没有一个综合的理论能够解释各指数在不同情境下的反映，也难以对每个指数可能应用的领域制定一个具有综合性与经验性的解释^[41]。因而通过研究发现建立指标与土地利用类型空间格局的对应关系，剔除存在明显相关性、算数平均得到的以及没有合理分异性指标，最终在面积、形状与分布的几何特征中分别选出AREA_AM、FRAC_AM与ENN_AM对粮食生产空间格局进行分析^[35]。

了解粮食生产空间的景观格局演变不仅可以掌握粮食生产空间格局情况，也能反映出人类活动对其影响程度（图6）。研究表明，从水平上看，自20世纪80年代后AREA_AM值普遍下降，表明粮食生产空间的平均规模在变小，变得越来越破碎化，其中东

表3 1980—2018年中国粮食生产空间变化导致的不同生产潜力等级的粮食生产空间变化

Table 3 The area change of grain production space's different production potential based on grain production potential change of China in 1980-2018 (万hm²)

	1980—2018年			1980—2000年			2000—2018年		
	退耕还林 还草	建设用地 扩张	毁林垦草	退耕还林 还草	建设用地 扩张	毁林垦草	退耕还林 还草	建设用地 扩张	毁林垦草
低潜力	15.56	4.04	52.59	14.85	1.75	24.51	12.61	3.74	39.39
中低潜力	38.7	8.03	66.56	43.14	3.84	52.88	28.94	7.9	47.3
中潜力	64.45	25.43	154.72	85.73	20.48	141.27	79.43	25.77	109.06
中高潜力	94.54	44.89	336.1	130.41	38.08	301.19	143.32	46.66	224.5
高潜力	7.93	8.88	23.54	10.33	7.54	29.51	11.17	9.09	13.69

部与南部变化明显；从空间上看，近40年AREA_AM高值区主要分布在东北三省、河北、山东、江苏、河南、安徽、湖北东部、四川东部、重庆西部与新疆西部，这些地区粮食生产空间的面积保存相对完整，破碎化程度相对较低。除新疆外，其余省市是我国传统农业大省，由于适宜的自然条件加上悠久的种粮历史，面积相对完好。而新疆绿洲地区则是受人类活动影响相对较小，AREA_AM值高；FRAC_AM数值范围在1~1.18，但变化的相对幅度不大，远未达到1.5的上限，说明粮食生产空间形状复杂；ENN_AM低值区集中在河北、山东、江苏、河南、安徽、四川东部与重庆西部，与AREA_AM高值区大部分重合，表明这些地区粮食生产空间分布相对集中，同时自21世纪起，这些地区ENN_AM值呈增加态势，表明人类活动影响加强，基础设施的大量投入使得粮食生产空间被分割严重，分布距离逐渐变远。自改革开放以来，人类活动加强使得粮食生产空间内部变化越来越复杂，导致粮食生产空间破碎化加剧，形状趋于复杂化，空间分布结构趋于不稳定，生态环境被严重损坏。

图7是以10年为一个刻度计算粮食生产空间的数量（图7a）与生产潜力（图7b）重心迁移过程，其迁移轨迹较好地反映了中国1980—2018年粮食生产空间的数量与生产潜力的空间演变过程。整体上看粮食生产空间的数量重心向南运动，但迁移距离为12.78 km，浮动不大。虽近年来通过对北方地区毁林开荒等举措来扩大粮食生产空间，但自然资源优越的南方地区一直是中国粮食生产空间的集中区，与图6结果一致；粮食生产空间的生产潜力重心不断向东北移动，迁移距离为82.74 km，迁移幅度相对较大。南方地区建设用地侵占粮食生产空间的速度持续加快，生产潜力损失加重，导致中潜力与中高生产潜力等级的粮食生产空间不断减少。粮食生产空间的数量重心与生产潜力重心的迁移方向相反，说明粮食生产空间的数量与生产潜力耦合程度低，会对我国未来粮食安全造成威胁。

3 结论与讨论

自改革开放以来，受国家区域发展战略、经济快速增长、城市化发展与土地利用政策等多重因素的影响，土地利用由20世纪80年代的人类活动主导下的粮食生产空间被开垦、城乡发展空间扩大的开发模式向21世纪开发与生态保护并重的发展方式转变。国家尺度土地利用变化遥感信息可以揭示中国粮食生产空间数量变化的时空特征，其数据可靠性已经通过大量野外调查数据进行了检验^[17]。全球农业生态区模型估算结果是综合考

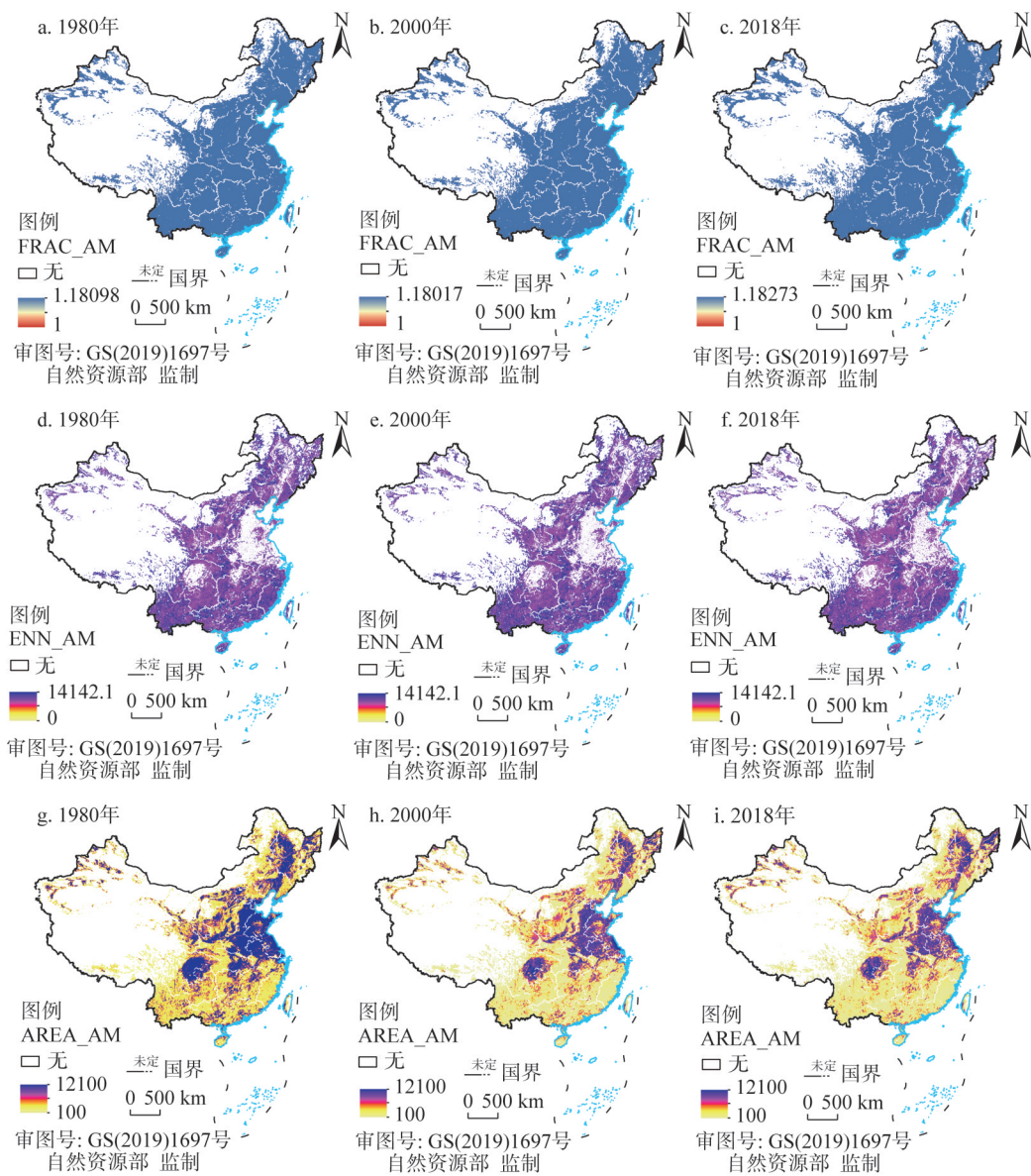


图6 1980—2018年中国粮食生产空间的景观格局分布

Fig. 6 Landscape pattern distribution of grain production space of China from 1980 to 2018

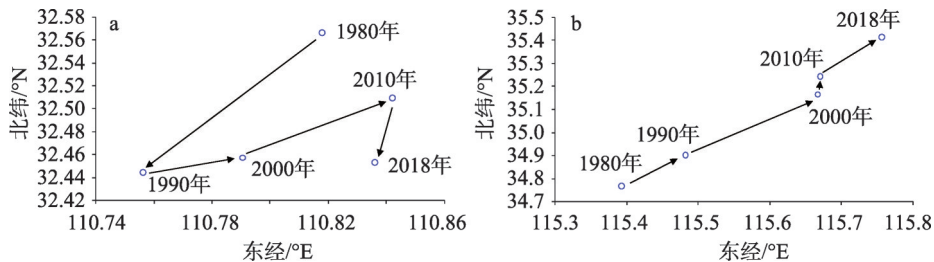


图7 1980—2018年中国粮食生产空间数量与生产潜力迁移轨迹

Fig. 7 Sketch of movement of area and productivity potential of grain production space of China from 1980 to 2018

除了影响作物生长的十余项自然要素,计算过程较为严谨且适合宏观尺度的研究。为消除气候波动对粮食生产空间的生产潜力影响,本文采用GAEZ模型估算结果的多年平均值表征平均气候状态下的粮食生产潜力,再计算出粮食生产空间的生产潜力变化。空间格局分析有利于发现潜在且有意义的规律,并帮助分析产生空间格局的机制^[42],研究选取景观格局指数与重心迁移模型来进行粮食生产空间格局重构。从数量、生产潜力与空间格局三个维度出发,分析改革开放以来中国粮食生产空间重构,研究结果表明:(1)就数量而言,南减北增,总量基本持衡,但其内部转换频繁。粮食生产空间转换为其他土地利用面积约达6458万hm²,其中退耕还林还草与建设用地扩张占到粮食生产空间转出面积的90%左右;其他土地生产空间转为粮食生产空间达6680万hm²,毁林垦草占到新增粮食生产空间的3/4。(2)从整体上看,全国粮食生产空间的生产潜力总量呈下降趋势,并且空间分布上呈现东部高西部低,由东向西表现出明显的梯度差异。退耕还林还草与城市扩张损失的生产潜力总量占到总量减少的90%左右,主要使得中低潜力、中潜力与中高潜力等级的粮食生产空间大量减少。而粮食生产空间的生产潜力总量增加主要是毁林垦草所导致,使得中潜力与中高潜力等级的粮食生产空间大量增加。(3)由于人类活动的加剧,中国粮食生产空间格局发生了显著变化。粮食生产空间的规模逐渐变小,形状趋于复杂,相隔距离逐渐变远。同时,从整体上看,粮食生产空间的数量重心向南运动,但迁移距离不大,处在ENN_AM低值区和AREA_AM高值区的重合区域(河北、山东、江苏、河南、安徽、四川东部与重庆西部),为我国传统农业大省,粮食生产空间分布集中。粮食生产空间生产潜力重心不断向东北移动,迁移幅度相对较大(82.74 km),主要是南部地区建设用地扩张严重,大量占用中潜力、中高潜力与高潜力等级的粮食生产空间,而东北地区黑土资源肥沃。

中国近40年粮食生产空间的数量变化不大,但粮食生产空间内部转换频繁,这一结论与国内学者探讨粮食生产空间的时空变化的研究结论一致^[5-9];中国粮食生产空间的生产潜力总量整体下降,具体来看生产潜力总量由2000年前的增加转变为2000年以后的减少状态,其中退耕还林还草、建设用地占用与毁林垦草是导致粮食生产空间生产潜力变化的主要土地利用活动,这一结论与闫慧敏等^[17]分析城市化发展与生态退耕对中国粮食生产空间的生产力变化规律一致;受人类活动影响剧烈,全国粮食生产空间破碎化加剧,形状趋于复杂化,空间分布结构趋于不稳定,此结论与鞠洪润^[41]分析1980s末—2010年粮食生产空间的空间格局演变特征得出结论基本一致。相较于国家尺度下的粮食生产空间的数量研究,其生产潜力、空间格局研究较少。本文所得结论真实且多方面揭示了中国近40年粮食生产空间重构,丰富了土地系统研究体系,为保障国家粮食安全与实现粮食生产空间可持续集约化发展提供依据。同时,结论表明在维持粮食生产空间的数量的同时,合理地提高粮食生产空间的生产力也是有必要的。

本文深入探究了中国粮食生产空间重构,但仍存在一些不确定性。粮食生产空间是指以粮食生产为主要功能的土地系统。虽然粮食生产空间与耕地之间并非一一对应的关系,但由于本文所采用的是土地利用数据,共分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6个一级土地利用类型。其中,耕地的主要功能为粮食生产,因而将耕地归类为粮食生产空间,这与现实情形有所差异,导致本文结果可能存在某些偏差。拟在今后的研究中采用更为精确的分类方法以划分粮食生产空间、城乡发展空间和生态服务空间。

参考文献(References):

- [1] 刘超, 霍永伟, 许月卿, 等. 生态退耕前后张家口市耕地变化及影响因素识别. 自然资源学报, 2018, 33(10): 1806-1820. [LIU C, HUO Y W, XU Y Q, et al. Changes in cultivated land and influencing factors before and after the implementation of grain for green project in Zhangjiakou city. Journal of Natural Resources, 2018, 33(10): 1806-1820.]
- [2] TILMAN D, BALZER C, HILL J, et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. PNAS, 2011, 108(50): 20260-20264.
- [3] BREN D A C, REITSMA F, BAIOCCHI G, et al. Future urban land expansion and implications for global croplands. PNAS, 2017, 114(34): 8939-8944.
- [4] FOLEY J A, DEFRIES R, ASNER G P, et al. Global consequences of land use. Science, 2005, 309(5734): 570-574.
- [5] 陈军. 基于 GlobeLand 30 的全球耕地利用格局变化研究. 中国农业科学, 2018, 51(6): 1089-1090. [CHEN J. Farming the spatio-temporal changes in global cultivated land using GlobaLand 30. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(6): 1089-1090.]
- [6] 张国平, 刘纪远, 纪增祥. 近 10 年来中国耕地资源的时空变化分析. 地理学报, 2003, 58(3): 323-332. [ZHANG G P, LIU J Y, JI Z X. Spatial-temporal changes of cropland in China for the past 10 years based on remote sensing. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(3): 323-332.]
- [7] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12. [LIU J Y, ZHANG Z X, ZHUANG D F, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s. Geographical Research, 2003, 22(1): 1-12.]
- [8] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. 地理学报, 2014, 69(1): 3-13. [LIU J Y, KUANG W H, ZHANG Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3-13.]
- [9] DENG X Z, HUANG J K, ROZELLE S, et al. Cultivated land conversion and potential agriculture productivity in China. Land Use Policy, 2006, 23(4): 372-384.
- [10] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010—2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802. [LIU J Y, NING J, KUANG W H, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(5): 789-802.]
- [11] 程维明, 高晓雨, 马廷, 等. 基于地貌分区的 1990—2015 年中国耕地时空特征变化分析. 地理学报, 2018, 73(9): 1613-1629. [CHENG W M, GAO X Y, MA T, et al. Spatial-temporal distribution of cropland in China based on geomorphologic regionalization during 1990-2015. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(9): 1613-1629.]
- [12] 石淑芹, 陈佑启, 姚艳敏, 等. 东北地区耕地变化对粮食生产能力的影响评价. 地理学报, 2008, 63(6): 574-586. [SHI S Q, CHEN Y Q, YAO Y M, et al. Impact assessment of cultivated land change upon grain production capacity in Northeast China. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(6): 574-586.]
- [13] 李相玺, 尹忠东, 何长高. 土地生产潜力研究综述. 水土保持学报, 2001, 15(5): 33-36. [LI X X, YIN Z D, HE C G. Review on the study of land potential productivity. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(5): 33-36.]
- [14] 潘佩佩, 杨桂山, 苏伟忠. 土地利用变化对生产力的影响研究进展. 地理科学进展, 2012, 31(5): 539-550. [PAN P P, YANG G S, SU W Z. Progress on effects of land use change on land productivity. Progress in Geography, 2012, 31(5): 539-550.]
- [15] 邓祥征, 黄季焜, ROZELLE S. 中国耕地变化及其对生物生产力的影响: 兼谈中国的粮食安全. 中国软科学, 2005, (5): 65-70. [DENG X Z, HUANG J K, ROZELLE S. Changes of cultivated land and its impacts on agricultural bioproductivity in China: Implications on national grain security. China Soft Science, 2005, (5): 65-70.]
- [16] YAN H M, LIU J Y, HUANG H Q, et al. Assessing the consequence of land use change on agricultural productivity in China. Global and Planetary Change, 2009, 67(1-2): 13-19.
- [17] 闫慧敏, 刘纪远, 黄河清, 等. 城市化和退耕还林还草对中国耕地生产力的影响. 地理学报, 2012, 67(5): 579-588. [YAN H M, LIU J Y, HUANG H Q, et al. Impact of cropland transformation on agricultural production under urbanization and grain for green project in China. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(5): 579-588.]
- [18] 曲胜秋, 刘艳芳, 银超慧, 等. 1990—2015 年福建省耕地变化的空间格局分析. 中国生态农业学报, 2020, 28(4): 587-598. [QU Q Y, LIU Y F, YIN C H, et al. Spatial pattern of cultivated land change in Fujian province from 1990 to 2015. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 48(4): 587-598.]
- [19] 关兴良, 方创琳, 鲁莎莎. 中国耕地变化的空间格局与重心曲线动态分析. 自然资源学报, 2010, 25(12): 1997-2006. [GUAN X L, FANG C L, LU S S. Analysis of spatial distribution and gravity centers curve dynamics cultivated land changes in China. Journal of Natural Resources, 2010, 25(12): 1997-2006.]

- [20] 张海燕, 樊江文, 邵全琴. 2000—2010年中国退牧还草工程区土地利用/覆被变化. 地理科学进展, 2015, 34(7): 840-853. [ZHANG H Y, FAN J W, SHAO Q Q. Land use/land cover change in the grassland restoration program areas in China, 2000-2010. Progress in Geography, 2015, 34(7): 840-853.]
- [21] 李广东, 戚伟. 中国建设用地扩张对景观格局演化的影响. 地理学报, 2019, 74(12): 2572-2591. [LI G D, QI W. Impacts of construction land expansion on landscape pattern evolution in China. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(12): 2572-2591.]
- [22] MWANGI H M, LARIU P, JULICH S, et al. Characterizing the intensity and dynamics of land-use change in the Mara River Basin, East Africa. Forests, 2018, 9(8): 1-17.
- [23] 龙禹桥, 吴文斌, 余强毅, 等. 耕地集约化利用研究进展评述. 自然资源学报, 2018, 33(2): 337-350. [LONG Y Q, WU W B, YU Q Y, et al. Recent study progresses in intensive use of cropland. Journal of Natural Resources, 2018, 33(2): 337-350.]
- [24] LIU J Y, LIU M L, DENG X Z, et al. The land use and land cover change database and its relative studies in China. Journal of Geographical Sciences, 2002, 12(3): 275-282.
- [25] LIU J Y, ZHANG Z X, XU X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(4): 483-494.
- [26] ALLEN R G, L PEREIRA L S, RAES D, et al. FAO irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998: 26-40.
- [27] HUTCHISON M F. ANUSPLIN Version 4.2 User Guide. Canberra: Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, 2002.
- [28] MASUTOMI Y, TAKAHASHI K, HARASAWA H, et al. Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models. Agriculture Ecosystems & Environment, 2009, 131(3): 281-291.
- [29] SHORTRIDGE A, MESSINA J. Spatial structure and landscape associations of SRTM error. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(6): 1576-1587.
- [30] FISCHER G, VELTHUIZEN, H V, SHAH M, et al. Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 2002.
- [31] FISCHER G, SHAH M, TUBIELLO F N, et al. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: An integrated assessment, 1990-2080. Philosophical Transaction of the Royal Society B: Biological Sciences, 2005, 360(1463): 2067-2087.
- [32] FISCHER G, SHAH M, VELTHUIZEN H, et al. Agro-ecological Zones Assessments. Oxford, UK: Eloss Publishers, 2006.
- [33] 葛亚宁, 刘洛, 徐新良, 等. 近50 a气候变化背景下我国玉米生产潜力时空演变特征. 自然资源学报, 2015, 30(5): 784-795. [GE Y N, LIU L, XU X L, et al. Temporal and spatial variations of Chinese maize production potential on the background of climate change during 1960-2010. Journal of Natural Resources, 2015, 30(5): 784-795.]
- [34] FU B J, SHI P J, LIU Y H, et al. Principle and Application of Landscape Ecology. Beijing: Science Press, 2011: 368-376.
- [35] 鞠洪润, 左丽君, 张增详, 等. 中国土地利用空间格局刻画方法研究. 地理学报, 2020, 75(1): 143-159. [JU H R, ZUO L J, ZHANG Z X, et al. Methods research on describing the spatial pattern of land use types in China. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(1): 143-159.]
- [36] BAKER W L, CAI Y M. The rule programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. Landscape Ecology, 1992, 7(4): 291-302.
- [37] MCGARIGAL K. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps-Help Manual. University of Massachusetts, Amherst. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>, 2014.
- [38] 刘彦随, 王介勇, 郭丽英. 中国粮食生产与耕地变化的时空动态. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4269-4274. [LIU Y S, WANG J Y, GUO L Y. The spatial-temporal changes of grain production and arable land in China. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(12): 4269-4274.]
- [39] RAMANKUTTY N, FOLEY J A, OLEJNICZAK N J. People on the land: Changes in global population and croplands during the 20th century. AMBIO, 2002, 31(3): 251-257.
- [40] 刘洛, 徐新良, 刘纪远, 等. 1990—2010年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响. 地理学报, 2014, 69(12): 1767-1778. [LIU L, XU X L, LIU J Y, et al. Impact of farmland changes on production potential in China during recent two decades. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(12): 1767-1778.]
- [41] 鞠洪润. 土地利用空间刻画方法及其在中国的应用. 北京: 中国科学院大学, 2018. [JU H R. Methods research on de-

scribing the spatial pattern of land use and its application in China. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2018.]

- [42] 王朗, 徐延达, 傅伯杰, 等. 半干旱区景观格局与生态水文过程研究进展. 地球科学进展, 2009, 24(11): 1238-1246.
[WANG L, XU Y D, FU B J, et al. Landscape pattern and eco-hydrological process. Advanced in Earth Science, 2009, 24(11): 1238-1246.]

The grain production space reconstruction in China since the reform and opening up

ZHANG Qiu-meng¹, YANG Fang-she¹, LI Fei^{1,2}

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Xi'an 710127, China)

Abstract: Grain production space reconstruction not only concerns China's food security, but also has a profound impact on regional economic development and ecological protection. From three dimensions of quantity, production potential and spatial pattern, the paper employs GAEZ (Global Agro-Ecological Zones) model, landscape pattern index and gravity center model to discuss the grain production space reconstruction of China from 1980 to 2018. Studies have shown that: (1) In terms of quantity, grain production space gradually decreases from south to north, and the total area remains almost unchanged, but it has frequent internal conversion. The grain production space has been transformed into other land use types, amounting to about 64.58 million hm^2 , of which the Grain for Green and construction land expansion account for roughly 90%. The other land use types have been converted into grain production space, reaching 66.8 million hm^2 , of which deforestation and grassland reclamation account for 75%. (2) From production potential, the total amount showed decreasing trends in the past 40 years, while the spatial distribution presents a pattern of "high in the east and low in the west", showing an obvious gradient difference from east to west. The decrease of total production potential of grain production space was mainly caused by the Grain for Green and construction land expansion, resulting in the decrease of grain production space with medium-low, medium and medium-high potential levels; However, its total increase was mainly attributed to the deforestation and grassland reclamation, leading to an increase of grain production space with medium and medium-high potential levels. (3) Due to the aggravation of human activities, the landscape pattern of China's grain production space has undergone significant changes since the 1980s. Its scale gradually decreased, the shape tended to be complex, and the distance gradually became far. Meanwhile, the quantity gravity center has moved southward, but not too far. The gravity center of its production potential has been moving to the northeast, with a distance of 82.74 km. This paper enriches the research setup of land system, and provides the basis for guaranteeing food security and realizing food production space's sustainable and intensive use.

Keywords: grain production space; production potential; spatial pattern