

基于 GIS 技术的祖厉河流域粮食产量 及粮食安全分析

许宝泉^{1,2}, 梁长利¹, 舒庆¹, 施为群¹, 孙国钧¹

(1. 江西理工大学, 江西 赣州 341000; 2. 江西矿业环境污染控制重点实验室, 江西 赣州 341000)

摘要: 借助 3S(RS、GIS、GPS)技术, 在地处干旱、半干旱黄土高原、水资源是土地生产力限制因子的祖厉河流域, 建立了流域粮食单产 10 年平均值的产量估算限制因子回归模型。通过将该模型与 GIS 耦合, 模拟了全流域粮食产量的空间分布, 以乡镇为离散单位, 统计分析了流域粮食总产量和人均粮食产量及其空间分布, 分析了流域粮食供需现状以及粮食安全问题。结果表明: 祖厉河流域主要以雨养农业为主(旱地面积占总耕地的 92.74%), 由于水资源短缺, 旱地粮食产量普遍偏低, 单产在 $630.1 \sim 1\,231.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间, 仅有水浇地单产的 $1/4 \sim 1/5$, 而且空间分布不均匀; 灌区粮食产量较高, 可达 $3\,750 \sim 5\,250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 全流域粮食总产量 $4.17 \times 10^8 \text{ t}$, 人均粮食产量 $481.94 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1}$, 粮食产量能够满足流域人口需要。虽然人均粮食产量小于 $395 \text{ kg} \cdot \text{人}^{-1}$ 的乡镇有 16 个, 占全流域的 25.4%, 但可以通过流域内部粮食调配, 实现供需平衡。

关键词: 粮食产量; 粮食安全; GIS; 黄土高原; 祖厉河流域

中图分类号: F307.11 **文献标志码:** A

Analysis of grain production and food security based on GIS in Zuli river basin, Gansu Province, China

XU Bao-quan^{1,2}, LIANG Chang-li¹, SHU Qing¹, SHI Wei-qun¹, SUN Guo-jun¹

(1. Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China;

2. Jiangxi Key Laboratory of Mine Environmental Pollution Control, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

Abstract: In the present study, a limiting factor regression model of the grain production was established based on the characteristics of water resource that are the key limiting factors for the cropping system in Zuli river basin with the aid of 3S (RS, GIS, GPS) technology. The spatial distribution of grain production throughout the basin was simulated by the model coupling with GIS. According to the statistical analysis of the total grain output and per capita grain yield from each villages and towns which were considered as discrete units, the present situation of grain demand and supply and food security was also discussed. The results showed that because dry farmland accounted for 92.74% of the total cropland area, the rainfed agriculture was the mainly type of farms in Zuli river basin, and the grain yield per unit area in dry farmland was only about $630.1 \sim 1\,231.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, which was only about $1/4 \sim 1/5$ of that in irrigated cropland (about $3\,750 \sim 5\,250 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$). Furthermore, the grain yield was uneven in spatial distribution. And our research also indicated that total grain output of the whole basin was about 4.17×10^8 tons, and the grain yield per capita was 481.94 kg , implying that the total grain output of the whole basin could satisfy the consumption need of population under the existing condition. Although there were 16 villages and towns, accounting for 25.4% of those in the whole basin, where grain yield per capita was less than 395 kg , through internal grain allocation inside the basin, the balance of food supply and demand in basin could be achieved.

Keywords: grain yield; food security; GIS; Loess Plateau; Zuli river basin

在全球气候变化背景下, 粮食安全问题成为讨论的热点^[1,5-7], 中国人口将近占世界 1/4, 其粮食

安全更是世界关心的焦点^[5]。虽然目前中国粮食自给率达到 95% 以上^[1], 但随着人口增加, 城镇化不

断发展,人与环境资源的矛盾日益加剧,中国粮食安全问题仍将面临诸多挑战^[2]。祖厉河流域地处干旱半干旱黄土高原沟壑区,是甘肃省东部重要的农业区,农业生产受水资源制约,土地生产力低下,是我国最贫穷地区之一,对其粮食供需水平分析,可以从典型地区层面上对我国粮食安全现状有进一步的了解^[6-7]。

粮食产量是粮食安全分析的基础数据,粮食产量预测估算已有许多方法^[1-7],研究者构建了许多很有价值的理论假说和预测模型,大体可分为 4 类^[8]:气候生产力模型、投入产出模型、多元回归和因子分析模型、遥感技术预测模型等,近年来又出现了 BP 神经网络技术和 GM(1, N) 灰色预测模型^[10]等;国外有一些成熟的模拟农业系统的模型也可以用于评价生产潜力^[2],近年来随着 3S(遥感、地理信息和全球定位技术)技术的发展,许多研究者都尝试将产量模型与 GIS 相耦合,实现宏观尺度上的粮食产量分析^[17]。不同预测方法的原理和出发点不同,选择的模型参数不同,分析精度也不一样;另外,大多数模型需要参数较多,许多参数的获得较困难,并考虑到区域气候、社会、经济和技术水平的差异,使模型具有一定的区域特点,模型推广运用受到一定限制。因此,目前还没有一种普遍适用和被人们接受的成熟模型方法来估算粮食产量。本研究主要目的是讨论流域粮食供需平衡和粮食安全,侧重的是流域粮食产量状况,因此在野外调查获取的实际粮食产量数据基础上,结合祖厉河流域水分条件为土地生产力主要限制因素这一特点,建立了多年平均粮食产量与多年平均年降水量的限制因子回归模型,并借助 GIS 和遥感技术对流域粮食总产量、人均粮食产量及其空间分布进行研究。研究结果有助于我们在流域尺度上对粮食生产和粮食安全空间特征做进一步的了解,为流域农业生产规划提供科学依据。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

祖厉河是黄河上游右岸的一级分支,位于甘肃省中部,地处东经 104°12' ~ 105°33',北纬 35°18' ~ 36°34',流域面积 10 653 km²。东临宁夏回族自治区的西吉、海原县,西靠榆中、临洮县,南部和东南部与陇西、渭源、通渭县相连,北部与靖远县接壤。地跨兰州、定西和白银三地(市)和宁夏的固原地区,行政上隶属甘肃省定西、会宁两县的绝大部分区域以及靖远、榆中、陇西、通渭、西吉、海原的小部分地区(见

图 1)。全流域人口总数 942 255 人(2008 年),平均人口密度 93.8 人·km⁻²。

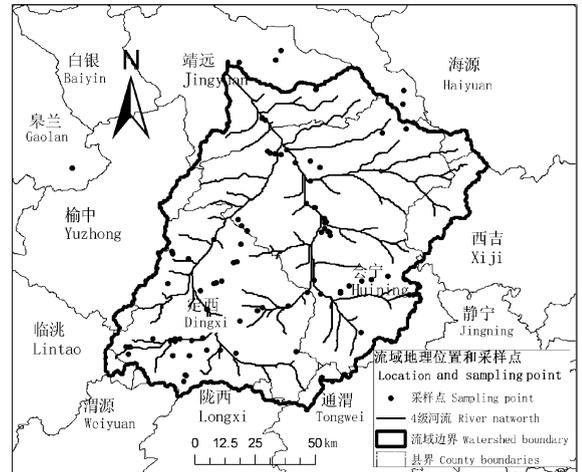


图 1 采样点分布

Fig. 1 Locations of Zuli river basin and sampling points

祖厉河流域属于典型的干旱、半干旱黄土高原梁峁沟壑区,耕作历史悠久,主要以雨养农业为主,旱地面积占总耕地面积 92%,垦殖率在 18% ~ 60% 之间,人均耕地面积 0.2 hm²,主要分布在中南部;北部干旱少雨,以灌溉农业为主,灌溉水源为黄河水,西南部台塬地区有部分井灌区分布。农作物主要以小麦、马铃薯、玉米、豌豆和少量的油料作物为主;灌溉区主要以经济作物为主,如瓜类、蔬菜等。

1.2 数据来源

1.2.1 粮食产量调查 祖厉河流域农作物品种较多,但小麦是流域普遍种植的作物类型,在整个流域中有较强的可比性,因此我们选择小麦作为粮食产量估算的基准。粮食产量的调查主要采用问卷方式,通过定点调查并结合 GPS 定位,可获得特定位点近 10 年粮食单产数据,一个调查区域调查田块数 3 ~ 5 块,然后权衡分析,剔除可信度小的数据,再对剩余数据取平均值,为特定区域的粮食单产。历年来统计年鉴粮食产量做参考。调查于 2006 年 6 月 28 日—7 月 13 日进行,共取样点 144 个(见图 1);其中选取 114 个点建立回归模型,另外任意选取 13 点用于模型检验。

土地利用/土地覆盖空间数据是利用 2006 年 6 月 31 日 Landdat5 TM 遥感影像,通过几何校正、大气校正过程,结合 NDVI 植被指数和地面调查等方法,通过监督分类获得土地利用/土地覆盖数据层,提取的土地利用类型有农田(水浇地、旱地)、林地、草地、城镇用地、道路等,本文将水浇地、旱地农田单独提

取出来,计算垦殖率、人均耕地、粮食单产、人均粮食产量等经济数据。所有数据都输入 ArcGIS 9.3 属性表中进行空间分析。

1.2.2 降水量插值 流域降水量用流域内及附近 36 个气象站点近 40 年(1970—2006 年)降水量年平均值,在 ArcGIS 9.3 中插值获得降水量空间分布 Grid 数据层。

1.2.3 粮食模型建立 流域光热资源充足, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $2\ 200^{\circ}\text{C} \sim 3\ 500^{\circ}\text{C}$, 年日照时数 $2\ 000 \sim 2\ 800\ \text{h}$, 年总辐射量 $5\ 300 \sim 5\ 800\ \text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, 作物光热生产潜力大于 $6\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 但干旱少雨, 多年平均降水量 $239 \sim 490\ \text{mm}$, 水资源短缺极大地限制了光热条件的发挥^[12-13]。根据祖厉河流域这一农业气候特点, 本文提出了粮食产量的限制因子回归模型, 该模型是在现场调查获得的实际粮食产量基础上, 将调查的多年粮食平均单产与相应区域的多年平均降水量进行回归分析(图 2), 建立如下回归模型:

$$Y = 3.1495P - 255.35 \quad (1)$$

表 1 粮食产量与降水量相关性分析

Table 1 Correlation coefficients between crop yield and precipitation

模型 Model	非标准系数 Unstandardized coefficients		标准系数 Standardized coefficients	t 值 t value	显著性 Sig.
	B	Std. Error	Beta		
常数项 Constant	-255.348	35.225		-7.249	0.000
降水量 Precipitation	3.150	0.087	0.988	36.245	0.000

1.2.4 粮食产量空间插值 利用(1)式,在 ArcGIS 9.3 的 GIRD 模块中进行重采样运算,建立粮食产量的空间分布数据,再用旱地矢量图层切割,即获得旱地粮食产量 Coverage 数据层。灌溉区粮食产量相对稳定,单产量基本稳定在 $555 \sim 7\ 300\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 取平均值 $6\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 可以直接对调查的数据进行插值,再用水浇地图层切割,即可获得灌区多年平均粮食产量 Coverage 数据层。然后将两者融合,即获得流域全部粮食产量的空间分布数据层(图 4)。

1.2.5 粮食总产量和人均产量统计 图 3 数据层中粮食单产的单位为 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 本文采用的像元 (pix) 大小为 $100\ \text{m} \times 100\ \text{m}$, 正好是 $1\ \text{hm}^2$ 面积, 亦即像元粮食产量 ($\text{kg}\cdot\text{pix}^{-1}$) 等于粮食单产量 ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。本文以乡(镇)为单位分析粮食空间分布, 因此,首先在 GIS 中将图 3 数据层用乡镇行政区边界离散为 54 个子区,再利用 ArcGIS 9.3 下的地理统计模块对子区域数据进行统计,获得以乡镇为单位的粮食总产量,结合统计年鉴人口数量,获得人均粮食产量,用于粮食安全空间特征分析。

式中, Y 为多年粮食平均单位面积产量 ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); P 为年平均降水量 (mm)

由图 2 和表 1 可以看出,祖厉河流域旱地粮食产量与相应区域的多年平均降水量有极显著的相关性,相关系数 $R = 0.9762$, $P < 0.01$ 。模型检验采用真实值和模拟值的相关分析和成对样品的 t 检验方法。

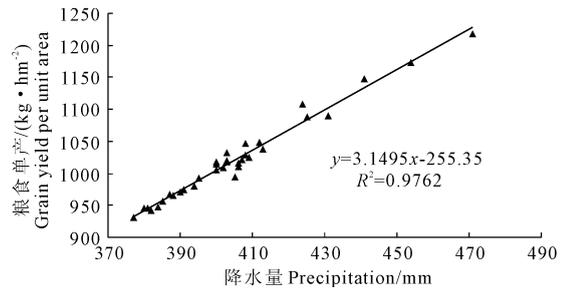


图 2 旱地单产与降水量回归曲线

Fig. 2 Regression relationship between unit grain yield of rianfed cropland and precipitation

2 结果与讨论

2.1 粮食产量模型验证

从粮食产量 Coverage 数据层中可以查得对应采样点上的预测值,与实测值的比较见图 3。通过配对样本的 T 检验结果可以看出,两组数据具有明显的线性相关性, $R^2 = 0.990$, $P < 0.01$, T 检验结果表明,实测值和预测值无显著差异 ($P = 0.200 > 0.05$) (表 2), 即二者相符。

与官方统计数据比较,模型预测结果与实际也基本符合:以 2006 年会宁、定西两县的粮食总产量合计为例,该年份年降水量与多年平均降水量接近(如华家岭当年降水量 $499.3\ \text{mm}$, 多年平均降水量 $490.5\ \text{mm}$; 榆中当年降水 $384.4\ \text{mm}$, 多年平均 $391.01\ \text{mm}$), 当年两县的粮食总产量统计数据为 $3.40 \times 10^8\ \text{t}$, 本研究统计得两县粮食总产量为 $3.67 \times 10^8\ \text{t}$, 预测值高于统计值 7.4% , 其原因主要是:本研究假设所有耕地均用于种植粮食作物,而实际农业生产中,部分耕地用于其它经济作物如蔬菜、瓜果等种植,即

实际粮食种植面积较小,故预测值偏大。

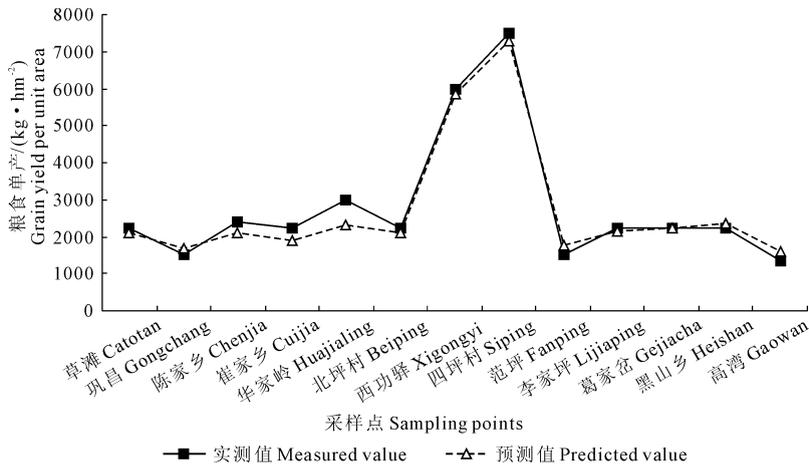


图 3 粮食平均单产实测值与预测值比较

Fig.3 Comparison of predicted and measured value of per unit grain yield

表 2 实测值与预测值成对样品的 *T* 检验结果

Table 2 Tests for paired samples between measured value and predicted value

均值 Mean	标准偏差 Std. deviation	标准误差 Std. error mean	95% 置信度 95% Confidence Interval of the difference		<i>T</i> 值 <i>t</i> value	自由度 <i>df</i>	显著性 (双尾检验) Sig. (2-tailed)
			下限 Lower	上线 Upper			
			配对样本差值 Paired differences				
99.115	263.473	73.074	-60.100	258.330	1.356	12	0.200

2.2 粮食生产力空间分布

图 4 中蓝色区域为灌区,产量较高,一般可达 $3\ 750 \sim 5\ 250\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 主要分布在流域北部河谷和台塬黄灌区,包括流域入口处的靖远县与会宁县部分乡镇,流域上游西南部的山前冲积、洪积扇阶地井灌区,包括定西市内官营等乡镇;沿河谷两侧及中部山区为雨养农业,耕地以山坡旱地为主,粮食单产 $630.1 \sim 1\ 231.5\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 只有灌区的 $1/4 \sim 1/5$, 且空间分布不均匀,呈由南向北、由高海拔向低海拔逐渐降低的趋势。研究表明^[14], 祖厉河流域春小麦的光温生产力潜势为 $7\ 436 \sim 9\ 127\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。从流域粮食单产水平看,水浇地产量接近潜势水平,而旱地远低于作物的生产潜势,由此可知,在流域光热相对充足的情况下,水资源是土地生产潜力的限制因子,因此,提高水资源利用率是提高粮食产量的有效途径。

2.3 粮食产量与粮食安全分析

流域的各乡镇粮食总产量和人均产量的空间分布极不均匀,就总产量而言(图 5A),单产较高的乡镇总产量也较高,如北部河谷黄灌区和西南部乡镇台塬河谷井灌区,分乡镇粮食总产量可达 $8.76 \times 10^6 \sim 1.99 \times 10^7\ \text{t}$, 有些乡镇虽然为雨养农业区,如中部汉家岔乡为旱塬,但地势平坦,垦殖率最大(60%),

粮食总产量也达 $1.97 \times 10^7\ \text{t}$; 而其他的雨养农业区粮食单产普遍偏低,总产量也较少,在 $5.48 \times 10^6\ \text{t}$ 以下。

人均粮食产量的空间分布略有不同(图 5B),一般说粮食总产量高的地区,人均产量也较高,但又与人口密度有很大关系。例如北部地区的几个乡镇主要为水浇地,粮食产量较高,且人口密度($29 \sim 98\ \text{人} \cdot \text{km}^{-2}$)较低,人均耕地面积多($5\ 000 \sim 14\ 800\ \text{m}^2 \cdot \text{人}^{-1}$),所以人均粮食产量高,可达到 $600 \sim 1\ 200\ \text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$; 而西南部的内官营一带虽为井灌区,但人口密度较大($128 \sim 259\ \text{人} \cdot \text{km}^{-2}$),人均耕地少($1\ 267 \sim 3\ 867\ \text{m}^2 \cdot \text{人}^{-1}$),粮食产量只有 $158 \sim 300\ \text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$ 。旱地人均粮食产量普遍较低,大多在 $300 \sim 500\ \text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$ 。相对而言,川区人均产量较山区为高,但地处南部华家岭山区的几个乡(如新添堡、党家岷、侯家川等),降水量较多(500 mm 左右),单产高,人口密度小,人均产量也较高($557 \sim 651\ \text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$)。参考唐华俊^[14]对中国人膳食平衡粮食需要量划分标准,可将流域乡镇粗略划分为三类:人均粮食占有量小于 $375\ \text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$ 的乡镇,为需外援型,共 16 个,占全流域 25.4%,主要为城镇化地区,非农业人口多,例如岷口($189 \sim 241\ \text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$),属于定西市区和工业区,桃花乡、丁家沟($133 \sim 260\ \text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$)为会宁县城区;人

均 375 ~ 450 kg·人⁻¹ 乡镇,为自给自足型,共 14 个,占流域 22.2%;大于 450 kg·人⁻¹ 乡镇,为外销型,共 33 个,占流域 52.4%。所以,除了城镇化市镇,农村人口粮食供给基本能达到自给自足水平。统计表明,全流域粮食总产量为 4.17 × 10⁸ t,按现有人口数量计算,人均粮食产量 481.94 kg·人⁻¹,按照《国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020 年)》提出的人均年粮食消费量 395 kg 标准,流域现有粮食产量完全能够满足内部人口需要,虽然个别乡镇人均产量不足,但可以通过流域内部调配,达到粮食供需平衡,并可实现部分外销,亦即现有耕地面积和人口条件下,流域粮食供给是安全的。

3 结 论

1) 本研究根据祖厉河地处黄土高原干旱与半干旱区、农业生产受水资源制约之特点,建立限制因子回归模型。经检验,该模型预测值与实测值基本相符,能够很好地模拟流域粮食生产水平。由于采用了农田 10 年粮食产量平均值,平衡了流域粮食生产年际波动的影响,可以对流域粮食生产状况做综合评价,使粮食安全分析更接近实际情况。通过模型与 GIS 耦合,借助其空间分析技术,能够对流域粮食产量空间变异进行统计分析,利于流域尺度上粮食生产和安全管理与决策。

2) 祖厉河流域粮食产量存在空间分布的不均匀性:灌区粮食产量相对较高,单产在 3 750 ~ 5 250 kg·hm⁻²;而雨养农业区,粮食单产低,只有 630.1 ~ 1 231.5 kg·hm⁻²,是灌区的 1/4 ~ 1/5,远远没有达到该地区水热生产潜力水平。水资源是主要的制约因子,因此提高水资源利用率是提高粮食产量的有效途径,

3) 该地区人均粮食产量空间变异较大,人均粮食产量小于 375 kg·人⁻¹ 的乡镇占全流域 25.4%;人均 375 ~ 450 kg·人⁻¹ 的乡镇占流域的 22.2%;大于 450 kg·人⁻¹ 的乡镇占流域的 52.4%。全流域粮食总产量为 4.17 × 10⁸ t,人均粮食产量 481.94 kg·人⁻¹,粮食生产完全能够满足 395 kg·人⁻¹·a⁻¹ 的消费标准,粮食生产不足的乡镇也可以通过流域内部调配达到粮食供需平衡,因此流域现阶段粮食供给在现有条件下是安全的。

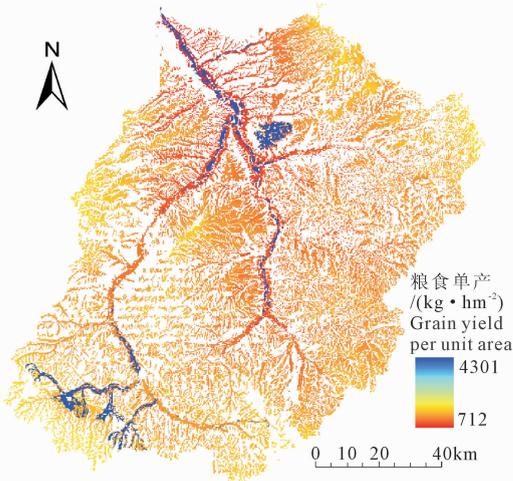


图 4 祖厉河流域小麦产量空间分布

Fig.4 Spatial distribution of wheat productivity in Zuli river

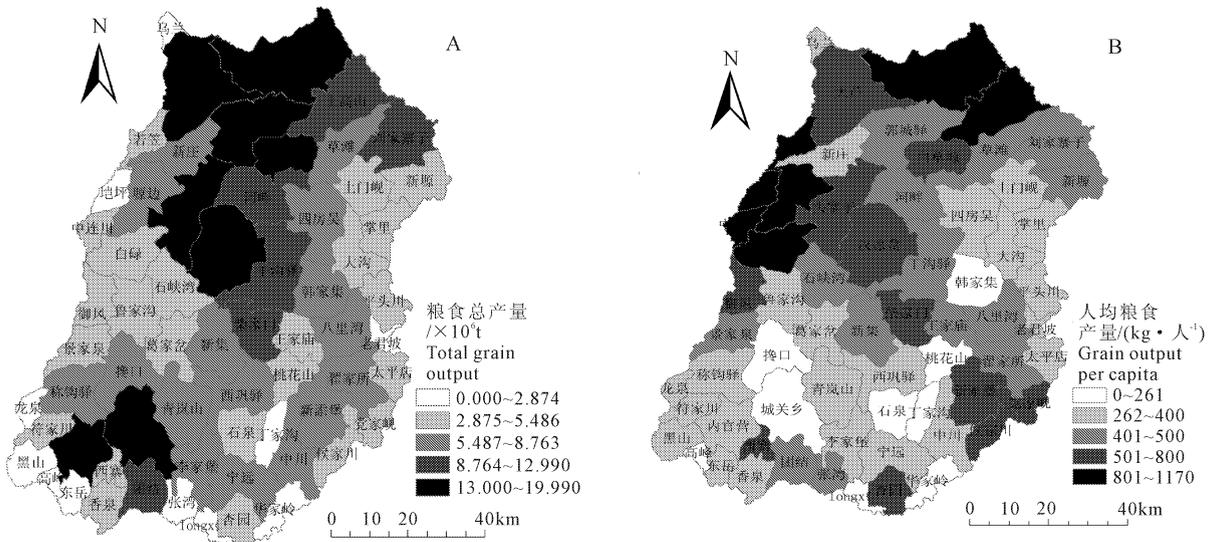


图 5 粮食总产量和人均粮食产量空间分布

Fig.5 Spatial distribution of total and per capita grain outputs

(下转第 274 页)

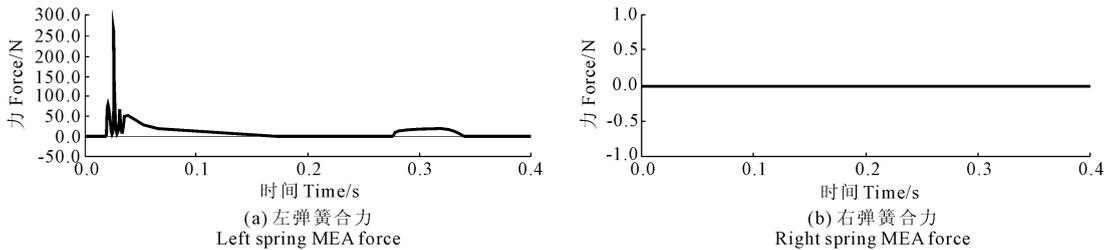


图 9 平行四杆机构成穴杆入土端对前后土壤的扰动力

Fig.9 Disturbing force of hole forming pole inserting soil point front and back with parallel four-bar mechanism

2) 三刚一柔成穴机构的成穴杆对前后土壤模型均有扰动,但扰动力均较小,而平行四杆机构只对前边的土壤模型有扰动,但扰动力是三刚一柔机构的大约 9.4 倍。

3) 在平行四杆机构的基础上设计的三刚一柔成穴机构具有成穴杆对土壤扰动较小,对地膜破坏较小,成穴杆不受力时又可恢复至垂直入土的状态,所设计的三刚一柔成穴机构较平行四杆机构对土壤扰动小。

参考文献:

- [1] 张德奇,廖允成,贾志宽.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-212.
- [2] 李宝筏.农业机械学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [3] 廖庆喜,黄海东,吴福通.我国玉米精密播种机械化的现状与发展趋势[J].农业装备技术,2006,(1):4-7.
- [4] 刘彩玲,宋建农,王继承.花生覆膜穴播机成穴机构研究[J].中国农业大学学报,2007,12(3):61-64.
- [5] 马建永,王少康,何瑞银,等.实现穴播的新型调速机构的研究[J].科学技术与工程,2012,12(17):4108-4110.
- [6] 马成林,李成华,于海业.打穴播种机研究的发展与现状[J].农业机械学报,1999,30(1):101-105.
- [7] 马旭,马成林,张守勤.地膜覆盖播种机成穴器的研究[J].农业机械学报,1989,12(4):20-27.
- [8] 杜瑞成,杨善东,郭志东,等.三种覆膜穴播成穴器方案设计与理论分析[J].山东理工大学学报,2003,17(2):15-18.
- [9] 刘军干,王天辰,阎发旭,等.直插式覆膜小麦穴播机的设计[J].农业工程学报,2001,17(5):55-57.
- [10] 赵建托,赵武云,任颜华,等.玉米全膜覆盖双垄沟播机直插式播种装置设计与仿真[J].农业机械学报,2010,41(10):40-43.
- [11] 赵武云,戴飞,杨杰,等.玉米全膜双垄沟插播式精量穴播机设计与试验[J].农业机械学报,2013,44(11):91-97.
- [12] 赵武云.ADAMS 基础与应用实例教程[M].北京:清华大学出版社,2012.

(上接第 269 页)

参考文献:

- [1] Elisabeth S, Evan D G. Fraser, et al. The socioeconomics of food crop production and climate change vulnerability: a global scale quantitative analysis of how grain crops are sensitive to drought[J]. Food Sec, 2012,4:163-179.
- [2] Peter H, Verburg A, Youqi C. Spatial explorations of land use change and grain production in China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, 82:333-354.
- [3] Wang Jing, Wang Enli, Luo Qunying, et al. Modelling the sensitivity of wheat growth and waterbalance to climate change in Southeast Australia[J]. Climatic Change, 2009,96:79-96.
- [4] Yang Yujian, Ruan Huaijun, Tang Yan, et al. Computer and Computing Technologies in Agriculture VII: Study on Conditional Autoregressive Model of Per Capita Grain Possession in Yellow River Delta, IFIP Advances in Information and Communication Technology, 2014, 419:109-116.
- [5] 周小萍,陈百明,汪鹏.中国未来粮食综合生产能力与粮食安全保障[J].北京师范大学学报:社会科学版,2006,198(6):134-140.
- [6] 卢李朋,张杰,张胜武,等.甘肃省粮食生产的多尺度及关联分析[J].干旱区地理,2014,(2):397-405.
- [7] 咎欣,李孟刚.我国欠发达地区粮食安全问题探讨—以西北地区甘肃省为例[J].中国流通经济,2010,(4):65-68.
- [8] 姚作芳,刘兴土,杨飞.几种方法在粮食总产量预测中的对比[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):264-268.
- [9] 和文超,师学义,邓青云,等.土地利用总体规划修编中粮食产量预测方法比较[J].农业工程学报,2011,27(12):348-352.
- [10] 苏博,刘鲁,杨方廷.GM(1,N)灰色系统与 BP 神经网络方法的粮食产量预测比较研究[J].中国农业大学学报,2006,11(4):99-104.
- [11] 邓宗兵,封永刚,张俊亮.中国粮食生产空间布局变迁的特征分析[J].经济地理,2013,33(5):117-123.
- [12] 程英,刘普幸,白杨,等.甘肃省粮食产量时空变化、驱动因子和趋势预测分析[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):225-229.
- [13] 陈昌毓.甘肃干旱半干旱地区降水特征及其对农业生产的影响[J].干旱区资源与环境,1995,(1):25-33.
- [14] 李军,王立祥,邵明安,等.黄土高原地区小麦生产潜力模拟研究[J].自然资源学报,2001,16(2):161-165.
- [15] 唐华俊,李哲敏.基于中国居民平衡膳食模式的人均粮食需求量研究[J].中国农业科学,2012,45(11):2315-2327.