

基于GIS的陕北农作物适宜性 精细化评价及布局研究

张静怡¹,王双银¹,王正中^{1,2},马冠华¹

(1.西北农林科技大学水利与建筑工程学院,陕西 杨凌 712100;

2.西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室,陕西 杨凌 712100)

摘要:研究农作物布局可为区域农业发展提供科学依据,对促进乡村振兴和区域高质量发展具有重要意义。以陕北地区为研究区域,以谷子、马铃薯、苹果3种农作物为研究对象,选取8个主要的水土光热条件因子,基于层次分析法构建了主要农作物水土光热条件适宜性评价体系,建立了作物综合适宜度评价模型,计算了500 m×500 m单元的适宜度及空间分布,采用自然断点法研究了3种作物的空间精准布局。结果表明:3种作物的适宜度均在0.78以上,均值表现为谷子>苹果>马铃薯。谷子适宜度从东南向西北递减,最适宜区在东南沿黄地区;马铃薯适宜度从西南向东北递减,最适宜区域主要分布在山区;苹果适宜度从北向南升高,最适宜区域主要在东南部地区。西部白于山区和东南部黄龙山区海拔较高的地区宜种植马铃薯和苹果,东部沿黄地区宜种植谷子和苹果。在精细化布局中,谷子主要位于东部的大部分县区和南部的北洛河流域,马铃薯主要位于西部以及北部地区的河流周围,苹果主要分布在南部山区以及中部和北部的部分县区。

关键词:农作物;适宜性;作物布局;GIS;陕北地区

中图分类号:S162.3 **文献标志码:**A

Fine evaluation and layout of crop suitability in Northern Shaanxi based on GIS

ZHANG Jingyi¹, WANG Shuangyin¹, WANG Zhengzhong^{1,2}, MA Guanhua¹

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Key Laboratory of Agriculture Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Studying the distribution of characteristic crops can provide a scientific basis for regional agricultural development and it has a great significance to promote rural revitalization and regional high-quality development. In this study, taking Northern Shaanxi as the research area and millet, potato and apple as the research object, eight main soil and water photothermal condition factors were selected. The soil and water photothermal condition suitability evaluation system of characteristic crops was constructed based on the analytic hierarchy process. The comprehensive suitability evaluation model of crops was constructed, the suitability and spatial distribution of 500 m×500 m units were calculated, and the spatial distribution of characteristic crops was studied by natural breakpoint method. The results showed that the suitability of the three crops was more than 0.78, and the average value was millet > apple > potato. The suitability of millet decreased from southeast to northwest, and the most suitable area was in the southeast along the Yellow River. The suitability of potato decreased from southwest to northeast, and the most suitable area was mainly distributed in mountainous areas. The apple increased from north to south, and the most suitable area was mainly in the southeast. Potato and apple should be planted in the western

收稿日期:2022-03-16

修回日期:2022-06-15

基金项目:陕西水利科技计划项目(2019slkj-03);西北农林科技大学科技发展基金(A2990215215)

作者简介:张静怡(1997-),女,河南浞池人,硕士研究生,研究方向为水资源可持续利用与保护。E-mail:zjy97@nwfau.edu.cn

通信作者:王双银(1969-),男,甘肃镇原人,副教授,主要从事水文极值事件和水资源配置方面的研究。E-mail:wshy0806@nwsuaf.edu.cn;

王正中(1963-),男,陕西彬县人,教授,主要从事水工程安全与灾害防控方面的研究。E-mail:wangzz0910@163.com

Baiyu mountain area and Huanglong mountain area in the southeast, and millet and apple should be planted in the eastern area along the Yellow River. In the fine layout, millet was mainly located in most counties in the east and Beiluo River basin in the south while potatoes were mainly located around rivers in the west and north and apples were mainly distributed in the mountains in the south and some counties in the middle and north.

Keywords: crop; suitability; crop layout; GIS; Northern Shaanxi

在农业资源环境约束越来越紧的背景下,研究区域农作物与水土光热等自然资源禀赋条件之间的关系,可为农作物的优势挖掘提供科学依据,是特色农业产业链延伸和农业结构战略调整的基础,有利于推动农村产业兴旺和农村经济繁荣,对促进乡村振兴和区域高质量可持续发展具有重要意义^[1-3]。

近年来,依据农业发展需求对作物适宜性评价研究不断发展,Patanè 等^[4]选取蓖麻生长的关键光热因素为影响因子在西西里岛范围进行区划分析;Nabati 等^[5]基于 GIS 分析气候特征、地形、土壤和土地利用情况,在伊朗半干旱区域范围内对鹰嘴豆进行适宜区的划分;de Oliveira Aparecido 等^[6]利用气温和降雨量对巴西竹子适宜性区域进行分类;李超等^[7]采用 GIS 技术对县域内气象、土壤和地形数据进行处理得到玉米适宜性评价结果。综合来看,自然资源条件是评价作物适宜性的基础和关键性因素,针对区域多种作物适宜性定量分析和综合布局研究较少^[8-11]。目前我国农业发展转型需要更多作物综合适宜性的研究成果作为科学依据,尤其是地处黄土高原地带的陕北地区地形破碎,水资源紧缺,不适合大规模耕种,因此在当地开展农作物区域综合布局研究尤为重要。

本研究基于自然资源条件中水土光热因素,运用 GIS 技术对陕北地区谷子、马铃薯、苹果 3 种主要农作物的适宜性进行 500 m×500 m 精细化计算分析和定量评价,以期获得各作物的适宜度空间分布和精细化布局结果。研究可为该地区农业布局结构调整提供科学依据,并丰富农业区划理论。

1 研究方法

1.1 研究区概况

陕北地区地处陕西省北部,包括陕西省榆林市和延安市的 25 个县(区),地处黄河中游黄土高原中心地带,属我国九大农业区中的黄土高原区,横跨中温带和暖温带两大季风气候区,位于 35°21′~39°34′N、107°15′~111°15′E,总面积 7.995×10⁴ km²。东部以黄河为界并与吕梁山脉相望,西北部的白于山是无定河、延河、北洛河的河源区,西南部的子午岭是泾河和北洛河的分水岭;南部排列着一

系列以灰岩为主的石质山区,俗称“北山”,是陕北黄土高原与关中盆地的分界。区内地势西北高、东南低。长城以北为毛乌素沙漠,以沙丘为主,零星分布内陆海子和盐碱滩地;长城以南以原、梁、峁、沟壑地貌为主。

陕北地区 2020 年总人口约 568 万,其中农村人口占 38.66%,农业生产发展对于当地具有重要意义。农业常用耕地面积 1.05×10⁶ hm²,其中具备灌溉条件的耕地仅占总面积的 17.65%,农业生产以旱作物为主,主要农作物有玉米、谷子、糜子、马铃薯、大枣和苹果等^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 层次分析法 层次分析法是一种层次权重决策分析方法。首先建立层次结构模型,采用 9 标度对各因素重要性进行比较打分并构造判断矩阵,再计算矩阵的特征值 λ 、一致性指标 CI 和一致性比率 CR ,通过一致性检验后得到权重,具体参见文献^[13]。

1.2.2 适宜度模型 在农业生产中,作物生长条件的最适值大多情况下不是一个数值而是一个区间范围;当现实条件因子的数值低于或高于此范围时便会对作物生长状况产生不同程度的不利影响^[14]。

假定影响某作物的自然因子有 n 个,用 x_i 表示现实条件的第 i 个因子实测值,用 $x_{i\min}^0$ 和 $x_{i\max}^0$ 分别代表第 i 个因子最适范围的最小值和最大值,那么可构建出第 i 个自然条件影响因子的适宜度 NF_i 计算模型:

$$NF_i = \begin{cases} x_i/x_{i\min}^0, & x_i < x_{i\min}^0; \\ 1, & x_{i\min}^0 \leq x_i \leq x_{i\max}^0; \\ x_{i\max}^0/x_i, & x_i > x_{i\max}^0 \end{cases} \quad (1)$$

多因子的综合适宜度 NF 采用加权平均模型计算:

$$NF = \sum_{i=1}^n \omega_i \times NF_i \quad (2)$$

式中, ω_i 为第 i 个自然条件因子的权重。

1.2.3 基于 ArcGIS 技术的数据处理 反距离加权插值法是 GIS 插值处理的主要方法之一,该方法允许数据各向异性,计算速度快易于实现。其原理是通过各已知点与预测位置的距离确定各已知点的影响程度,距离越近则程度越大,从而插值计算得到预测位置的数值^[15]。

自然断点法即自然断点分级法,运用聚类的思维,最大限度地扩大数据各等级之间的差异,缩小各等级内的差异^[16]。在 ArcGIS 工具中的自然断点算法作为栅格重分类工具,计算效率高^[17]。

1.3 数据来源

陕北地区 DEM30 m×30 m 分辨率数据来源于地理空间数据云网站 (<http://www.gscloud.cn>);各气象站点(图 1)1981—2010 年逐日的平均气温、降水量、日照时长、最高气温、最低气温从中国气象数据网 (<https://data.cma.cn>) 获取;太阳辐射数据来自于“NASA POWER | Data Access Viewer” (<https://power.larc.nasa.gov>);土地覆盖遥感监测数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn>)。

2 作物适宜性评价体系

结合陕北两市乡村振兴规划中对粮食作物、经济作物及特色发展的指标,选取谷子、马铃薯和苹果 3

种主要农作物作为研究对象。针对农业自然条件中的水土光热因素选取坡度、坡向及生育期降水量、日照时长、太阳辐射、平均气温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 7 个影响因子,由于生育期温度日较差对苹果品质影响较大,因此对苹果增加了 6—9 月温度日较差这一影响因子。

依据层次分析法原理和计算步骤,设置调查问卷请从事农业研究的教授和生产实践的技术人员打分,确立了陕北作物适宜性评价层次矩阵,检验一致性比率 CR 均小于 0.1,最终确定评价指标权重见表 1。从各作物权重可以看出,谷子的适宜性主要受降水量、积温和平均气温影响,马铃薯主要受到积温、平均气温和降水量影响,而苹果的适宜性主要受到降水量、平均气温和 6—9 月温度日较差的影响。据此构建的陕北作物适宜性评价体系详见表 1。

由于式(1)不能用于计算坡度和坡向的适宜度,结合文献^[18-22],确定 3 种作物在不同坡度和坡向情况下的适宜度,详见表 2 和表 3。

表 1 作物适宜性评价体系

Table 1 Suitability evaluation system of characteristic crops

因素 Factor	因子 Index	谷子 Millet		马铃薯 Potato		苹果 Apple	
		权重 Weight	适宜区间 Suitable interval	权重 Weight	适宜区间 Suitable interval	权重 Weight	适宜区间 Suitable interval
水 Water	降水量/mm Precipitation amount	0.3816	500~550	0.1344	550~600	0.3477	650~800
土 Soil	坡度 Slope/ $^\circ$	0.0293	0~5	0.0338	0~5	0.0351	5~10
	坡向 Aspect	0.0293	南 South	0.0338	南 South	0.0284	南 South
光 Light	日照时长/h Sunshine duration	0.1219	1000~1200	0.0545	900~1200	0.1269	1400~1800
	太阳辐射/($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) Amount of solar radiation	0.0584	2900~3000	0.0361	2800~3000	0.0300	3400~3600
热 Heat	日平均气温/ $^\circ\text{C}$ Average daily temperature	0.1346	20~22	0.2571	17~21	0.2057	14~18
	$\geq 10^\circ\text{C}$ 积温/ $^\circ\text{C}$ Accumulated value of temperature $\geq 10^\circ\text{C}$	0.2449	3100~3300	0.4503	2000~2200	0.0638	3200~3500
	6—9 月温度日较差/ $^\circ\text{C}$ Daily range of temperature from June to September					0.1615	10~13

注:各作物影响因子的最适宜值区间引自文献^[18-22]。

Note: the most suitable range of crop influencing factors is cited from the literature ^[18-22].

表 2 坡度适宜度赋值

Table 2 NF_i value of slope

坡度 Slope	NF_i		
	谷子 Millet	马铃薯 Potato	苹果 Apple
0°~5°	1.0	1.0	0.8
5°~10°	0.8	0.8	1.0
10°~15°	0.6	0.6	0.6
15°~25°	0.4	0.4	0.4
>25°	0	0	0

表 3 坡向适宜度赋值

Table 3 NF_i value of aspect

坡向 Aspect	NF_i
南 South	1.0
平 Flat	0.9
西南、东南 Southwest, Southeast	0.8
东、西 East, West	0.6
西北、东北 Northwest, Northeast	0.4
北 North	0.2

3 结果与分析

3.1 数据处理

运用 GIS 技术中的“创建渔网”将陕北地区矢量图划分为 500 m×500 m 的“陕北渔网”,并对点和面进行“连接”建立起定点定位的栅格单元。首先需要排除水域、沙漠、城乡居民区和坡度大于 25°等不能进行评价的栅格单元^[23-24]。通过 GIS 技术对陕北地区 DEM 图采用“投影变换”,并用坡度、坡向构造工具得到坡度和坡向,利用“渔网提取”对坡度和土地覆盖栅格数据进行“渔网提取”,得出评价区域范围(面积 $6.22 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占总面积的 77.8%)的评价单元 248958 个(见图 2)。

在确定可评价区域范围后,对平均气温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、降水量建立多元线性回归方程并用 GIS 中的

属性表“字段计算器”计算后提取得到“陕北渔网”对应栅格单元数值;日照时长、太阳辐射和温度日较差采用“反距离权重插值法”分析得出“陕北渔网”对应的精细化栅格单元数值。

3.2 作物适宜度

通过分析计算,评价区域每一个栅单元 3 种作物的适宜度都在 0.70 以上。谷子的适宜度在 0.8299 ~ 0.9955 之间(均值 0.9070),大体呈现出从东南向西北逐渐降低的空间分布特点,但东南部黄龙山区最低,且与周围区域的适宜度反差强烈(图 3a)。马铃薯的适宜度在 0.7057 ~ 0.8933 之间(均值 0.7855),且对海拔较为敏感;东南部黄龙山区、西南部子午岭和西部白于山区的适宜度最大,而东部沿黄地区的适宜度整体较低,表现出从西南向东北逐渐降低的分布特点(图 3b)。苹果的适宜度在 0.7162

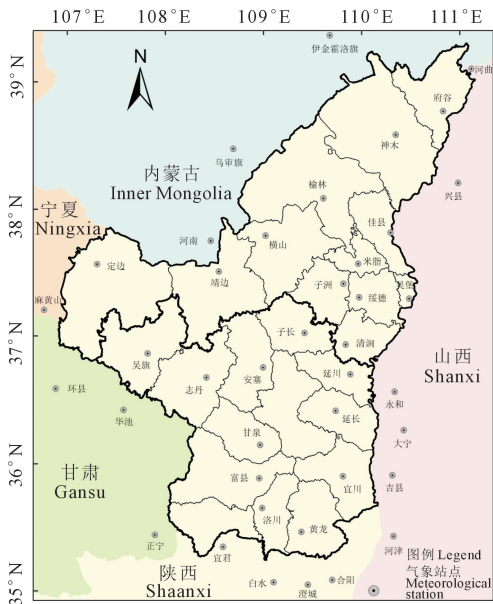


图 1 气象站点分布示意图

Fig.1 Distribution map of meteorological stations

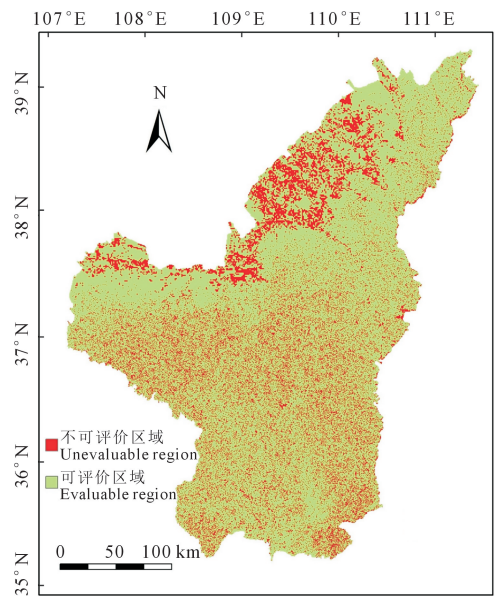


图 2 陕北地区评价区域

Fig.2 Evaluable land in Northern Shaanxi

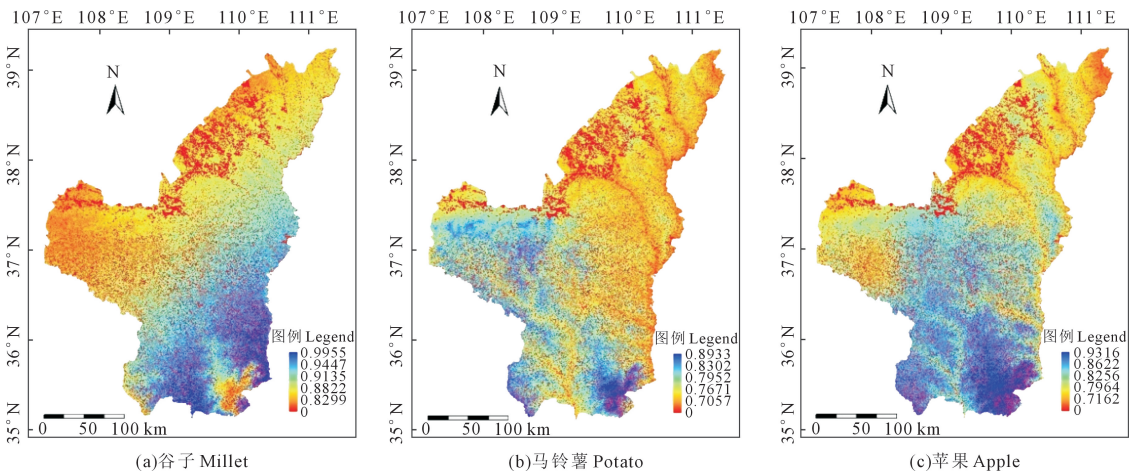


图 3 作物适宜度空间分布

Fig.3 Spatial distribution of crop NF

~0.9316 之间(均值 0.8267),适宜度最高的部分位于东南部的黄龙山区和西南部的子午岭山区,中部的大部分地区适宜度略低于南部,西部和北部的数值最低,呈现出南部高于北部的特点(图 3c)。

综合 3 种作物的适宜度空间分布特点可以看出,虽然南部均为各作物的适宜度最高的区域,但 3 种作物的适宜度之间仍存在差异,谷子的适宜度明显比马铃薯和苹果大。从单因素看,评价区内谷子对影响因素中的因子计算出的适宜度高,尤其是水因子中的降水量对谷子表现出的适宜度较马铃薯和苹果数值较高。虽然谷子受降水的影响较大,但是其需水量是 3 种主要农作物中最小的,谷子以其耐旱的特性在 3 种作物中优势突出。东南部的黄龙山区降水量较多,马铃薯和苹果在此处适宜度较高,也反映出水因子是陕北地区农业发展的最主要制约因素。但在此处谷子适宜度较低,这是因为黄龙山地区虽雨水较多但温度较低,光热条件不满足谷子的生长需求,却能满足马铃薯和苹果的需水情况。从分布趋势来看,谷子适宜度分布从东南到西北逐渐减小,随地形地势变化不明显;而马铃薯和苹果分布与地形和流域分布有相似之处,两者在南部适宜度分布特点是山区的适宜度较高、位于地势较低的北洛河流域一带适宜度较低。

3.3 作物适宜性评价

利用自然断点法分别对各作物的适宜度进行聚类分析,最终划分为 1 级、2 级、3 级和 4 级四个等级,各作物分级情况具体见表 4。

从表 4 可以看出,各个作物中的适宜度 1 级占比最大的是谷子,表现出谷子在研究区域内优越的适宜性;2 级和 3 级综合占比最大的是苹果;各作物中 3 级均占比最高的是马铃薯且面积最大。

为综合分析各作物适宜性,依据单作物适宜度数值和分级,对陕北地区各作物评价级别中的 1 级

地区进行识别,将不同作物的重合部分合理划分,形成陕北主要农作物最适种植区域图(图 4a,见 230 页)。同时,将各作物评价级别中的 1、2、3 级作为作物布局的主要等级类型,协调各作物的空间分布关系,形成主要农作物布局图(图 4b,见 230 页)。

依据划分方法可知某地区作物种类越多则表明此地作物分布重合度越高,意味着对当地作物整体生长条件满足程度越好,从布局结果可以得出陕北地区水土光热条件基本能满足 3 种作物生长需求。

由作物最适种植区域分布结果可以看出,作物适宜性较好的区域零散分布于研究区域的西部,集中分布在研究区域的东南部。西部的适宜性较好的作物是马铃薯,且该作物主要位于白于山地区的定边县和靖边县;东部沿黄地区分布的作物为谷子;南部比其他地区的作物分布多样性更强,其中表现最明显的是黄龙山地区,虽然此处的光热条件不如陕北地区北部,但由于降水量相比于北部地区稍高,所以主要农作物适宜性最好的区域集中于此处。

由陕北主要农作物布局图(图 4)可以看出,作物重合度最高的区域位于研究区域的中部和南部的大部分以及东北部的小部分,其面积占研究区域面积的一半以上且分布比较集中。东南部黄龙山区有一小部分区域的布局作物为马铃薯和苹果,该区域与周围的差异表现为谷子在此区域内的适宜性较低,而与此区域相邻的区域谷子适宜性明显提升。结合地势地形,此区域位置与黄龙山地势相对较高的地区位置相一致,也充分表明了作物谷子适宜度在山区的适宜性较差。西部布局作物面积最小的是马铃薯,主要分布在吴起县境内,其周围的布局作物是马铃薯和苹果。东部沿黄地区布局作物是谷子和苹果,分布形状呈锯齿状且边界凸出部

表 4 作物适宜性等级划分

Table 4 Classification of suitability degree of crops

适宜性等级 Suitability grade	因素 Factor	作物 Crop		
		谷子 Millet	马铃薯 Potato	苹果 Apple
1 级 Level 1	适宜度 <i>NF</i>	0.9447~0.9955	0.8302~0.8933	0.8622~0.9316
	栅格单元/个 Grid	26889	10515	29019
	面积 Area/km ²	6719	2623	7249
2 级 Level 2	适宜度 <i>NF</i>	0.9135~0.9447	0.7952~0.8302	0.8256~0.8622
	栅格单元/个 Grid	70920	72841	91665
	面积 Area/km ²	17733	18213	22916
3 级 Level 3	适宜度 <i>NF</i>	0.8822~0.9135	0.7671~0.7952	0.7964~0.8256
	栅格单元/个 Grid	100422	105003	93353
	面积 Area/km ²	25084	26248	23335
4 级 Level 4	适宜度 <i>NF</i>	0.8299~0.8822	0.7057~0.7671	0.7162~0.7964
	栅格单元/个 Grid	50727	60599	34921
	面积 Area/km ²	12689	15141	8725

分与河流走向特点接近。研究区东北角的小范围布局作物为谷子。西北部是作物的不适宜区,因为此处不可种植区域分布广泛且相连。

3.4 作物精细化布局

为更有力地指导农业生产,依据作物适宜性等等级情况比较3种主要农作物的优势(当等级相同时选取适宜度较大的作物),形成了主要农作物精细化布局,结果见表5和图5。

从流域来看,位于研究区域东北部的清水川、孤山川、窟野河和秃尾河流域附近优势作物主要是谷子;在清水川和孤山川中间的地区以及窟野河流域附近是马铃薯在北部地区主要分布区域。黄河沿岸地区及其支流,包括延河、无定河全流域所在区域的优势作物均为谷子。榆溪河全流域的优势作物以谷子和马铃薯为主,在无定河上游左岸部分与榆溪河右岸之间的地区马铃薯和苹果分布较多。北洛河流域的上游地区,定边县和吴起县境内的优

势作物是马铃薯,志丹县境内的优势作物是苹果;中游地区的优势作物是谷子且该作物分布情况与河流及其支流的分布相同。整体来看,谷子主要分布在研究区域南部的北洛河流域和东部的黄河沿岸地区;马铃薯集中分布在西部的白于山区,在北部的县(区)内分布在河流周围;苹果主要分布在东南部的黄龙山区、西南部的子午岭山区、中部及北部的部分县区。

4 讨论

论文以通过GIS技术对研究区内3种作物适宜性进行500 m×500 m精细化栅格单元划分并进行研究,得到各作物适宜性空间分布情况及布局。本研究未考虑土壤类型、土壤肥力和灌溉补水等因子,一方面是由于评价范围内土壤以黑垆土为主,土地改良面积少,耕地上的土壤肥力空间差异不大,对3种作物的适应性影响较为一致;另一方面是

表5 优势作物分布

Table 5 Distribution of dominant crop

优势作物 Dominant crop	县(区) County	乡(镇) Town
谷子 Millet	米脂县、佳县、子洲县、吴堡县、绥德县、清涧县、延长县、延川县、宜川县、宝塔区、洛川县、黄陵县、富县、甘泉县 Mizhi, Jiaxian, Zizhou, Wubu, Suide, Qingjian, Yanchang, Yanchuan, Yichuan, Baota, Luochuan, Huangling, Fuxian, Ganquan	全部乡(镇) All towns
	神木市 Shenmu	万镇镇、贺家川镇、沙峁镇、马镇 Wanzhen, Hejiachuan, Shamao, Mazhen
	榆阳区 Yuyang	镇川镇、上盐湾镇、鱼河峁镇、牛家梁镇、鱼河镇 Zhenchuan, Shangyanwan, Yuhemao, Niujiiliang, Yuhe
	横山区 Hengshan	响水镇、党岔镇、武镇、高镇、殿市镇、横山镇、魏家楼乡、石湾镇 Xiangshui, Dangcha, Wuzhen, Gaozhen, Dianshi, Hengshan, Weijialou, Shiwan
马铃薯 Potato	府谷县 Fugu	武家庄镇、府谷镇、孤山镇、清水镇、皇甫镇、麻镇 Wujiazhuang, Fugu, Gushan, Qingshui, Huangfu, Mazhen
	定边县、吴起县 Dingbian, Wuqi	全部乡(镇) All towns
	靖边县 Jingbian	中山涧镇、王渠则镇、东坑镇、席麻湾镇 Zhongshanjian, Wangquze, Dongkeng, Ximawan
	府谷县 Fugu	庙沟门镇、哈镇、木瓜镇 Miaogoumen, Hazhen, Mugua
	榆阳区 Yuyang	牛家梁镇、芹河镇、红石桥乡 Niujiiliang, Qinhe, Hongshiqiao
苹果 Apple	神木市 Shenmu	神木镇 Shenmu
	志丹县 Zhidan	顺宁镇、金丁镇、义正镇 Shunning, Jinding, Yizheng
	黄龙县、志丹县、安塞区、横山区、靖边县、神木市、榆阳区 Huanglong, Zhidan, Ansai, Hengshan, Jingbian, Shenmu, Yuyang	全部乡(镇) All towns
	宜川县 Yichuan	英旺乡、集义镇 Yingwang, Jiyi
	宝塔区 Baota	南泥湾镇、临镇 Nanniwan, Lin
	富县 Fuxian	直罗镇、张家湾镇 Zhiluo, Zhangjiawan
	甘泉县 Ganquan	桥镇乡、下寺湾镇、道镇、劳山乡 Qiaozhen, Xiasiwan, Dao, Laoshan
子长市 Zichang	李家岔镇、安定镇、河峪岔镇、余家坪镇 Lijiacha, Anding, Heyucha, Yujiaping	
黄陵县 Huangling	双龙湾镇、店头镇 Shuanglongwan, Diantou	

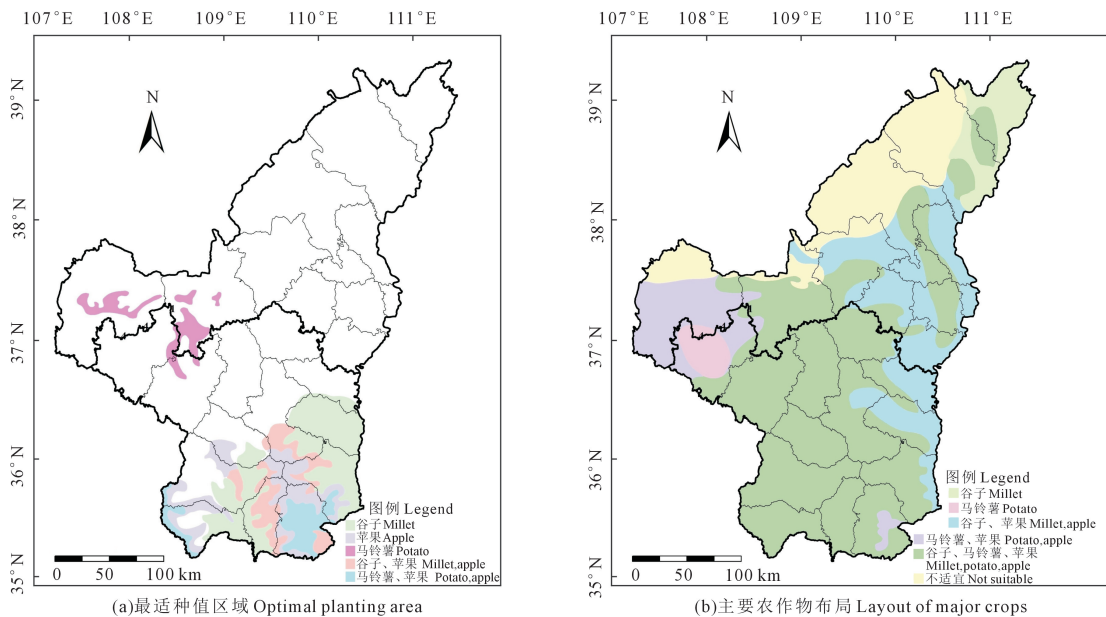


图 4 陕北主要农作物布局
Fig.4 Distribution of main crops in Northern Shaanxi

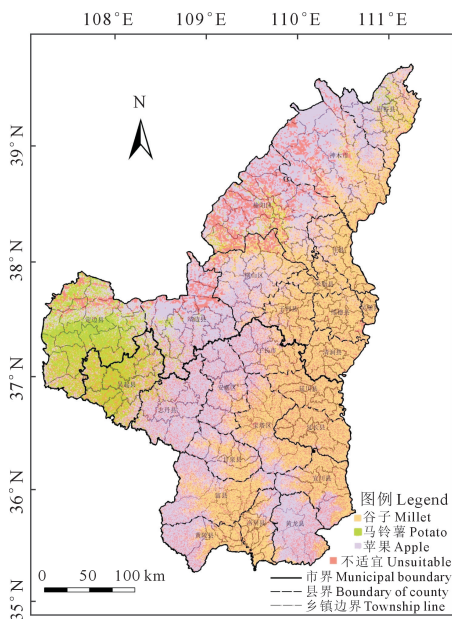


图 5 陕北主要农作物精细化布局
Fig.5 Fine layout of main crops in Northern Shaanxi

由于研究区内现状灌溉面积仅占常用耕地面积的 17.65%，仅为评价面积的 3%，整个研究区仍以雨养农业为主。后续将以本次布局成果为基础，以区域可利用水资源量为约束，对农业水资源配置和灌区规划建设进行研究。

该研究为分析作物布局将 3 种作物适宜性等级均划分为 4 级，由于作物之间适宜度数值差距大，导致等级划分结果中谷子的 1、2 级均高于马铃薯的 1 级数值。文中的等级划分避免了不同作物适宜度差距大无法比较，缩小各作物适宜性差距；虽然适

用于本研究，但对此仍需进一步研究。

5 结 论

1) 陕北 3 种主要农作物生长受降水和温度影响程度较大，水资源是陕北地区农业发展的关键制约性因素。

2) 3 种作物的适宜度均值从大到小依次是谷子、苹果、马铃薯。其中谷子整体适宜度最高，由东南到西北逐渐减小；马铃薯适宜度较高地区分散且主要分布在海拔较高的白于山区、子午岭山区、黄龙山区。苹果的适宜度跨度最大为 0.2154，其优势区主要在南部，呈现出从南向北依次减小的趋势。

3) 在自然条件情况下，主要农作物布局中最适宜区域分布面积约为研究区域面积的 1/4，主要位于东部沿黄地区，南部的黄龙山区，子午岭山区，以及西部的白于山区，其中黄龙山地区作物种植的适宜性最强。

4) 主要农作物精细化布局中，谷子主要位于东部的县区和南部的北洛河流域地区；马铃薯主要位于西部的定边县，在北部的榆阳区、神木市和府谷县内主要分布在河流周围；苹果主要分布在南部黄龙山区、子午岭山区以及中部和北部的部分县区。

参 考 文 献:

[1] 李靖,张正尧,毛翔飞,等. 我国农业生产布局评价及优化建议——基于资源环境承载力的分析[J]. 农业经济问题, 2016, 37 (3): 26-33, 110.
LI J, ZHANG Z Y, MAO X F, et al. Evaluation and suggestions about China agricultural layout based on resources and ecological load[J].

- Issues in Agricultural Economy, 2016, 37(3): 26-33, 110.
- [2] 刘彦随,张紫雯,王介勇. 中国农业地域分异与现代农业区划方案[J]. 地理学报, 2018, 73(2): 203-219.
LIU Y S, ZHANG Z W, WANG J Y. Regional differentiation and comprehensive regionalization scheme of modern agriculture in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(2): 203-219.
- [3] 欧阳竹,邓祥征,孙志刚,等. 面向国民经济主战场的区域农业研究[J]. 地理学报, 2020, 75(12): 2636-2654.
OUYANG Z, DENG X Z, SUN Z G, et al. Regional agricultural research in contributing to National economic development [J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(12): 2636-2654.
- [4] PATANÈ C, COSENTINO S L, CORINZIA S A, et al. Photothermal zoning of castor (*Ricinus communis* L.) growing season in the semi-arid Mediterranean area [J]. Industrial Crops and Products, 2019, 142: 111837.
- [5] NABATI J, NEZAMI A, NEAMATOLLAHI E, et al. GIS-based agro-ecological zoning for crop suitability using fuzzy inference system in semi-arid regions[J]. Ecological Indicators, 2020, 117: 106646.
- [6] DE OLIVEIRA APARECIDO L E, DA SILVA CABRAL DE MORAES J R, DE SOUZA ROLIM G, et al. Neural networks in spatialization of meteorological elements and their application in the climatic agricultural zoning of bamboo[J]. International Journal of Biometeorology, 2018, 62(11): 1955-1962.
- [7] 李超,李文峰,赵耀,等. 基于 GIS 的云南山区玉米生态适宜性评价方法与应用[J]. 中国农业科学, 2019, 52(3): 445-454.
LI C, LI W F, ZHAO Y, et al. A method of ecological suitability evaluation and its application for maize planted in mountain farmland based on GIS (case study: Xundian county) [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(3): 445-454.
- [8] 陶红军,陈体珠. 农业区划理论和实践研究文献综述[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(2): 59-66.
TAO H J, CHEN T Z. Literature review on agricultural regionalization theory and practice research[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2014, 35(2): 59-66.
- [9] 马冠华,王双银,王正中. 基于光热地资源的特色农业精细区划指数模型——以韩城市花椒种植为例[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(4): 179-185, 218.
MA G H, WANG S Y, WANG Z Z. The high-precision regionalization index model of characteristic agriculture based on light, heat and land resource —taking the planting of Chinese prickly ash in Hancheng as an example[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(4): 179-185, 218.
- [10] 郭兆夏,梁轶,王景红,等. GIS 技术支持下的陕西核桃精细化气候适宜性区划[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 194-198.
GUO Z X, LIANG Y, WANG J H, et al. Climate regionalization for walnut plant in Shaanxi Province based on GIS[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(1): 194-198.
- [11] 王珊,廖桂堂,邓勇刚,等. GIS 支持下的玉米种植区土地生态适宜性评价[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(11): 174-182.
WANG S, LIAO G T, DENG Y G, et al. Evaluation of land ecological suitability in maize planting areas supported by GIS[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(11): 174-182.
- [12] 陕西年鉴编纂委员会. 陕西年鉴 2020[M]. 西安: 陕西年鉴编辑部, 2021: 406-434.
Shaanxi Yearbook Compilation Committee. Shaanxi yearbook[M]. Xi'an; Shaanxi Yearbook Editorial Department, 2021: 406-434.
- [13] MORALES F, DE VRIES W T. Establishment of land use suitability mapping criteria using Analytic Hierarchy Process(AHP) with practitioners and beneficiaries[J]. Land, 2021, 10(3): 235.
- [14] 于婧,聂艳,梁传丹. 基于 GIS 和 NFM 的耕地作物推荐种植研究——以江汉平原后湖农场为例[J]. 资源科学, 2010, 32(4): 724-730.
YU J, NIE Y, LIANG C D. Optimization of planting patterns based on GIS and the Niche-Fitness model: a case study on the Houhu farm areas in the Jiangnan plain[J]. Resources Science, 2010, 32(4): 724-730.
- [15] MASOUDI M. Estimation of the spatial climate comfort distribution using tourism climate index (TCI) and inverse distance weighting (IDW) (case study: Fars Province, Iran) [J]. Arabian Journal of Geosciences, 2021, 14(5): 363.
- [16] MOREIRA L L, DE BRITO M M, KOBAYAMA M. Effects of different normalization, aggregation, and classification methods on the construction of flood vulnerability indexes [J]. Water, 2021, 13(1): 98.
- [17] ANCHANG J Y, ANANGA E O, PU R L. An efficient unsupervised index based approach for mapping urban vegetation from IKONOS imagery [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016, 50: 211-220.
- [18] 于振文. 作物栽培学各论: 北方本[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 163-179.
YU Z W. Crop cultivation: northern ben[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 163-179.
- [19] 马兴祥,邓振镛,魏国,等. 甘肃省谷子气候生态适应性分析及适生种植区划[J]. 干旱气象, 2004, 22(3): 59-62.
MA X X, DENG Z Y, WEI Y G, et al. Study on ecoclimatic applicability and suitable planting division of millet in Gansu Province[J]. Arid Meteorology, 2004, 22(3): 59-62.
- [20] 朱娅秋,何英彬,焦伟华,等. 基于 GIS 的吉林省马铃薯种植气候适宜性精细化区划[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(7): 128-136.
ZHU Y Q, HE Y B, JIAO W H, et al. Regionalization of the climate suitability on potato cultivation in Jilin Province based on GIS[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42(7): 128-136.
- [21] 陆静,朱文哲,高志永. 陕北黄土丘陵区主要作物需水与降水耦合分析[J]. 节水灌溉, 2019, (12): 72-76.
LU J, ZHU W Z, GAO Z Y. Analysis of coupling degree between water demand of main crops and rainfall in loess hilly region of northern Shaanxi[J]. Water Saving Irrigation, 2019, (12): 72-76.
- [22] 邱美娟,刘布春,刘园,等. 中国北方苹果种植需水特征及降水适宜性[J]. 应用气象学报, 2021, 32(2): 175-187.
QIU M J, LIU B C, LIU Y, et al. Water requirement and precipitation suitability of apple planting in northern China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2021, 32(2): 175-187.
- [23] 李伶俐,李江文,钟守琴,等. 基于地形复杂度的重庆市耕地“宜机化”改造适宜性评价[J]. 中国生态农业学报, 2022, 30(2): 302-313.
LI L L, LI J W, ZHONG S Q, et al. Suitability evaluation of suitable-for-mechanization transformation of cultivated land based on topographic complexity in Chongqing, China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2022, 30(2): 302-313.
- [24] 侯淑涛,王语檬,张琪,等. 基于耕地质量评价的县域基本农田分区研究[J]. 东北农业大学学报, 2015, 45(10): 107-113.
HOU S T, WANG Y M, ZHANG Q, et al. Based on the cultivated land quality evaluation of county partition research of basic farmland [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2015, 45(10): 107-113.