

王森,张山清,刘纪疆,等.基于 GIS 的呼图壁县制种玉米精细化气候区划[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(4):130-137.  
doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.04.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



# 基于 GIS 的呼图壁县制种玉米精细化气候区划

王 森<sup>1</sup>,张山清<sup>1</sup>,刘纪疆<sup>1</sup>,李战超<sup>1</sup>,叶尔克江·霍依哈孜<sup>2\*</sup>

(1.新疆农业气象台,新疆 乌鲁木齐 830002;2.昌吉州气象局,新疆 昌吉 831100)

**摘要:**利用呼图壁县及周边 15 个气象站 1961—2018 年气候资料和台站地理信息数据,应用地理信息系统(ArcGIS10.0)空间分析技术将新疆 1:50 000 DEM 数据转成分辨率为(100 m×100 m)的数字高程,并提取对应站点上的经度、纬度、海拔高度、坡度、坡向等,通过地统计回归和反距离权重等方法构建 $\geq 10$  °C积温、无霜期、7 月平均气温、 $\geq 35$  °C高温日数等指标因子与地理因子的空间分析推算模型,获取制种玉米各区划指标因子的空间分布模拟值,并将实际值与模拟值之残差部分进行空间内插订正,结合制种玉米区划指标等级,最终得到制种玉米适宜种植精细化区划。区划结果表明,呼图壁全县划分为最适宜区、适宜区、次适宜区、风险区和不适宜区。最适宜种植区分布在呼图壁县北部平原地带,包括呼图壁县、十里店镇、五工台镇、园户村镇和大丰镇等广大区域;适宜区分布在中部平原地带,包括独山子乡、龙王庙村、宁州户村、二十里店村等区域;次适宜种植区靠近丘陵、低山地带,包括石梯子乡。

**关键词:**GIS;精细化气候区划;制种玉米;呼图壁

中图分类号:S162.2

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2021)04-0130-08

新疆呼图壁县是天山北坡经济带的核心区域,是国家重要玉米制种基地。2013 年呼图壁县被确定为国家级玉米杂交制种基地,被农业部列为国家农业综合执法规范化建设示范县。近年来,呼图壁县制种玉米面积逐年增加,至 2017 年,制种玉米种植面积达 10 000 hm<sup>2</sup>,占呼图壁县商品玉米总面积的 92.7%。但由于呼图壁县地形地貌复杂,地势高差悬殊,最大高差可达 4 600 m,从而导致该地气候类型多样,制种玉米种植区的气候区域各异。此外,制种玉米规模不断扩大,品种类型增多,不同品种的气候适应性存在差异。种植区域布局的不合理不仅会影响种子的产量和品质,而且增大了生产风险。为了充

分合理利用呼图壁县气候资源,因地制宜地发展制种玉米产业,使呼图壁县制种玉米生产持续丰产稳产和优质高效,有必要利用地理信息系统(GIS)等新技术新方法对当地制种玉米种植布局进行精细化气候适宜性区划研究,为相关部门指导农业生产提供科学参考依据。

国内外学者利用 GIS 技术在气候资源区划、作物区划、灾害区划等方面开展了大量研究。如 Bazgeer<sup>[1]</sup>等开展了伊朗库尔德斯坦省干旱地区小麦的气候区划,Inthavong<sup>[2]</sup>、Patel<sup>[3]</sup>等采用 GIS 技术、AEZ 法对大田作物和甘蔗进行了气候适宜分区,周治国<sup>[4]</sup>等构建了基于 GIS 的作物生产管理信息系统,何燕<sup>[5]</sup>、涂方旭<sup>[6]</sup>、魏兴萍<sup>[7]</sup>等采用 GIS 技术对广西陆稻、重庆水稻的合理布局进行气候区划研究,何燕<sup>[8-10]</sup>等利用 GIS 技术对广西早稻和晚稻的低温冷害和寒露风灾害区划进行研究;魏丽<sup>[11]</sup>等在 GIS 系统支持下以稳定通过 10~20 °C 的有效积温和早稻抽穗—灌浆成熟期日平均气温 $\geq 27$  °C 的天数作为气候区划指标,对江西省优质早稻试用种植区进行划

收稿日期:2020-12-30;修回日期:2021-03-20

基金项目:新疆气象局面上项目(MS201911、MS202006);国家自然科学基金(41975146)

作者简介:王森(1990—),男,工程师,主要从事农业气象灾害研究。  
E-mail:wang\_sen90@126.com

通信作者:叶尔克江·霍依哈孜(1979—),女(哈萨克族),工程师,主要从事应用气象研究。E-mail:erke-ap@sohu.com

分和评价;张山清等利用 GIS 技术研究分析了气候变化背景下新疆红枣<sup>[12]</sup>、杏子<sup>[13]</sup>、苹果<sup>[14]</sup>、棉花<sup>[15]</sup>和酿酒葡萄<sup>[16]</sup>等气候适宜性区划及其影响。而有关县级制种玉米的气候适宜性区划目前未见报道,因此,本研究采用新疆呼图壁县及周边 15 个气象站近 58 a 的气候资料数据和 1:50 000 新疆呼图壁县基础地理信息数据,通过数理统计回归分析,采用 GIS 技术进行气候资源的细网格推算,在分析呼图壁县气候资源空间分布的基础上,结合制种玉米气候区划指标等级,获得呼图壁制种玉米气候适宜性区划,对指导制种玉米生产合理利用气候资源和更科学地规划优化生产布局,以及促进呼图壁县制种玉米粮食生产稳产优质高效发展具有重要的现实意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域和数据来源

呼图壁县位于天山北坡中段,准噶尔盆地南缘,地处 43°16'~45°20'N、86°05'~87°07'26"E。东与昌吉市接壤,西与玛纳斯县毗邻,南以天山分水线与巴音郭楞蒙古自治州和静县为界,北同塔城地区和布克赛尔蒙古自治县相连。南北长 227 km,东西最大宽度达 48 km,总面积为 9 721 km<sup>2</sup>。呼图壁县(南部山区,中部平原,北部沙漠)地势南高北低,自东南向西北倾斜(图 1)。属温带大陆性干旱半干旱气候,近 58 a 平均气温为 7.3 ℃,稳定通过 10 ℃的积温为 3 685 ℃·d,年降水量为 184 mm,无霜期平均为 181 d;7 月平均气温为 25.7 ℃,≥35 ℃高温日数平均为 7.2 d。

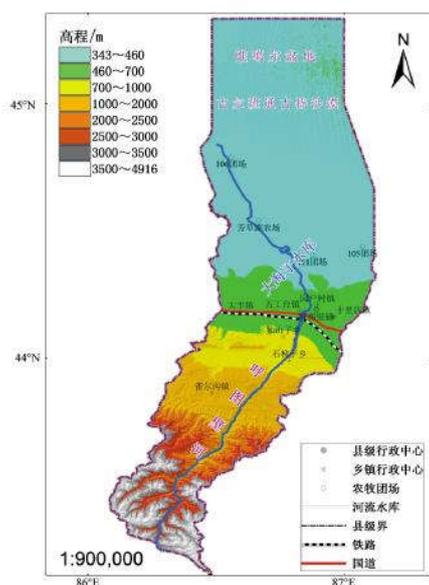


图 1 呼图壁县高程图和研究站点分布

气象资料为呼图壁县和周边气象站点 15 个气象站 1961—2018 年的地面气象观测资料,研究站点包括,呼图壁县、乌苏、炮台、沙湾、乌兰乌苏、莫索湾、石河子、玛纳斯、米泉、蔡家湖、昌吉、小渠子、大西沟、阜康、乌鲁木齐。观测资料包括历年逐日气温(平均气温和日最高气温、日最低气温)、日照时数、降水量、无霜期等,由新疆气象信息中心提供。制种玉米气候区划指标来源于文献资料。

地理信息资料采用新疆测绘地理信息局提供的 1:50 000 呼图壁县基础地理背景数据,包含乡镇级、乡镇级以下行政点、公路、河流和数字高程模型(DEM)等。

呼图壁制种玉米生产数据包括产量、面积来自于呼图壁县统计局,生育期等资料由呼图壁县气象局提供。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 气象影响系数的计算方法<sup>[17]</sup>

为客观准确定量评价制种玉米生育期旬平均气温、旬降水量对产量的影响,采用积分回归分析原理计算逐旬气象要素影响系数。

$$Y_w = C + \int_0^{\tau} a_{T_j}(t) T_j(t) dt + \int_0^{\tau} a_{P_j}(t) P_j(t) dt \quad (1)$$

其中, $Y_w$ 为制种玉米气象产量, $C$ 为积分常数, $a_{T_j}(t)$ 和 $a_{P_j}(t)$ 分别为有效积温和标准化降水量随着时间 $t$ 演变对产量影响的连续函数,表示 $t$ 到 $t+dt$ 时段内有效积温 $T_j(t)$ 和标准化降水量 $P_j(t)$ 变化值对制种玉米产量形成的影响效应,即气象要素值每变化一个单位对制种玉米产量影响的平均增量; $j=1,2,3 \dots$ ; $\tau$ 为玉米生育期逐旬时段。

$$Y_{w_i} = C + \int_0^{\tau} a_{ij}(t) I_j(t) dt \quad (2)$$

式中, $Y_{w_i}$ 为温度和降水各自影响的玉米产量; $I_j(t)$ 为标准化有效积温和降水量, $C$ 为积分常数。

#### 1.2.2 空间插值方法

运用 GIS 空间分析法<sup>[8-16]</sup>,将 1:50 000 的数字高程 DEM 数据通过重采样获得分辨率 100 m×100 m 的数字高程,再通过表面分析提取经度、纬度、海拔高度,建立气候要素与地理因子细网格推算模型,获得空间格点模拟值,再将实际值与模拟值的残差部分采用反距离加权空间内插进行订正,最终得到各气候要素空间分布值。

气候要素与当地的经度、纬度、海拔等地理因子有着密切关系,区划指标与地理因子的关系模型可表示为:

$$y=f(\varphi, \lambda, h)+\varepsilon \quad (3)$$

式中,  $y$  为气候区划指标;  $\varphi, \lambda, h$  分别代表纬度、经度、海拔高度; 函数  $f(\varphi, \lambda, h)$  称为区划指标的气候学方程;  $\varepsilon$  为残差项, 称为综合地理残差。可认为  $\varphi, \lambda, h$  所拟合的气候学方程差部分即:

$$\varepsilon = y - f(\varphi, \lambda, h) \quad (4)$$

### 1.2.3 区划指标权重的确定

基于 *yaahp* 软件利用层次分析法<sup>[18-21]</sup>来确定影响制种玉米各区划指标因子的权重系数。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 是一种定性与定量相结合的方法, 能把定性因素定量化, 将人的主观判断用数学表达处理, 并能在一定程度上检验和减少主观影响, 使评价更趋于科学化。具体步骤: 首先, 建立层次结构模型; 其次, 通过元素之间的成对比较和比较尺度构造判断矩阵; 然后根据判断矩阵计算各指标相对权重, 并做一致性检验; 最后, 计算合成权重。

## 2 制种玉米生长与气象条件的关系

### 2.1 光照条件

制种玉米是喜光短日照作物, 具有光饱和点较高、光补偿点较低的特点, 其光能利用率高, 有利于干物质积累。呼图壁县光照资源丰富, 制种玉米生长发育期间日照时数约 1 723.6 h, 日照百分率在 64%~72%, 光照条件完全能够满足制种玉米生长发育和产量形成的需求。尤其在吐丝期后, 玉米相继进入灌浆、乳熟和成熟期, 是玉米干物质积累的关键期, 该时期日照百分率持续高达 72%, 对提高光合强度、延长玉米灌浆时间、增加千粒重十分有利。

### 2.2 温度条件

制种玉米是喜温作物。适播期温度以 10~12 °C 为宜; 出苗期下限温度为 6~10 °C, 最适温度为 18~20 °C, 但玉米幼苗期耐寒力较强, 一般可经受短时间的 -2~-3 °C 的霜冻, 只要加强管理, 仍可恢复生长; 拔节至抽雄期要求气温稳定在 18 °C 以上, 适宜温度为 24~26 °C; 玉米抽雄至开花期的适宜温度为 25~26 °C, 高于 27 °C, 导致受精不全, 缺粒秃尖; 灌浆至成熟的下限温度为 15~17 °C, 最适温度为 22~24 °C, 日较差大有利于养分的积累, 气温低于 18 °C 或高于 26 °C 都不利于干物质的积累和运输; 当气温降至 20 °C 籽粒灌浆缓慢, 降至 18 °C 灌浆速度显著减慢, 当降至 16 °C, 灌浆停止。呼图壁县制种玉米各生育期多年平均出现日期及相应实际温度与适宜温度的对比见表 1。从各生育期温度条件来看, 呼图壁

表 1 呼图壁县制种玉米物候期的实际温度与适宜温度对照

发育期	普遍期	实际温度/°C	适宜温度/°C
播种期	4月28日	15.7	10~12
出苗期	5月8日	17.7	18~20
三叶期	5月16日	19.9	
七叶期	6月1日	23.4	
拔节期	6月25日	26.5	24~26
抽雄期—开花期	7月17—20日	26.9	25~26
吐丝期	7月24日	26.1	22~24
乳熟期	8月14日	25.1	
成熟期	9月12日	20.6	

县制种玉米各生育期基本都在最适温度范围内。

由积分回归公式(1)、(2)计算得出, 从玉米各生长发育关键期气温对产量的影响系数(图 2)可以看出, 玉米生长期逐旬平均气温对产量影响系数的分布呈“M”型分布。播种、出苗至幼苗期的 4 月下旬—5 月中旬气温对产量的影响为正效应, 影响系数为 11~31 kg/(hm<sup>2</sup>·°C), 即气温高有利于玉米播种、出苗和幼苗生长。从拔节期的 6 月中下旬至开花吐丝期的 7 月中下旬, 气温对产量的影响为持续的负效应, 影响系数为 -0.1~-88 kg/(hm<sup>2</sup>·°C), 这主要是因为玉米拔节期至开花期的 6 月中下旬—7 月中下旬平均气温一般在 22~26 °C, 在此适宜温度范围内玉米才能正常生长发育, 若气温偏高, 会加剧土壤干旱, 对其生长不利。从实际温度与适宜温度对比分析可看出(表 1), 玉米从拔节、孕穗、抽雄、开花和吐丝期的 6 月中下旬—7 月中下旬是一年中气温最高的时段, 呼图壁县玉米关键发育期间的平均气温均在 26 °C 以上, 若气温偏高或日最高气温 ≥ 35 °C 以上, 可严重影响玉米开花、授粉, 导致产量降低。玉米乳熟和成熟期的 8 月中旬气温下降较快, 对玉米成熟不利, 若此期间气温偏高, 则对提高玉米产量十分有利, 该期间各旬气温对产量的影响系数为 14~81 kg/(hm<sup>2</sup>·°C)。综合以上分析成果和相关前人研究成果<sup>[23-27]</sup>, 温度和产量关系密切, 其中 7 月平均气温和 ≥ 35 °C 以上的高温日数是影响玉米产量的关键因子, 如果 7 月平均气温稍低和 ≥ 35 °C 日数少, 将有利于玉米增产。

近几十年来, 呼图壁县气温呈较明显的上升趋势<sup>[22]</sup>, 这对制种玉米生产既有利也有弊, 有利的方面

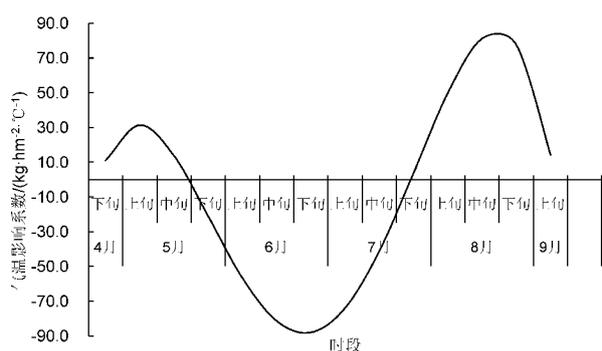


图2 玉米生长季各旬平均气温对产量影响系数的变化

主要是,无霜期延长、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温增多、玉米生长季延长,扩大了适合种植制种玉米的区域,玉米灌浆、乳熟和成熟期的热量条件明显改善,对提高玉米产量较有利。不利的方面表现在,盛夏气温升高将对玉米开花、授粉造成危害,果穗的缺粒秃尖率增加,同时也会加剧干旱,不利于提高产量。因此,及时采取趋利避害的应对措施,如适时早播、调整玉米种植布局、培育或引进推广抗逆性强、高产优质的玉米品种、推广应用高效节水灌溉技术等,提高应对气候变化的能力,促进玉米生产的持续稳定高产。

### 2.3 降水条件

玉米生长季内需水量较大,玉米营养生长期土壤水分占田间持水量的60%~70%为宜,花期以70%~80%为宜。呼图壁县制种玉米整个生长季内的需水量约为580~680 mm,而同期降水量只有80~220 mm,仅为玉米需水量的10%~35%,因此,必须补充灌溉才能获得高产。

尽管呼图壁县玉米生长发育、产量形成对水分条件的需求主要依赖于灌溉,降水对其影响不大,但相关分析表明近58 a呼图壁县玉米气候产量与生长季内降水量的相关关系大多为不显著的正相关,且不同时段降水量对最终产量的影响具有较明显的差异。由积分回归计算出的呼图壁县玉米生长季内逐旬降水量对玉米产量影响系数的变化情况可以看出,总体呈“U”型分布(图3)。播种至出苗期的4月下旬—5月上旬降水量对产量的影响为负效应,影响系数为0~-12 kg/(hm<sup>2</sup>·mm),即该时段降水量偏多将对玉米产量造成不利影响,而三叶至乳熟期的5月中旬—8月中旬,降水量对产量的影响为正效应,影响系数为1~16 kg/(hm<sup>2</sup>·mm)。该时期是玉米生长过程中耗水最多的时期,期间降水量偏多,一方面能增加玉米所需水分的补给。更重要的是,能有效

增加农业灌溉的水资源量,有利于满足玉米对水分的需求。另外,玉米开花至吐丝期正值高温期,降水增多可降低气温、增加空气相对湿度,对玉米开花、授粉有利,所以玉米开花灌浆期降水量也是关键气候因子。玉米乳熟至成熟期的8月中下旬—9月上旬对水分的要求逐渐减少,该时期若降水偏多,将导致玉米贪青晚熟。另外,降水偏多会导致气温偏低,对玉米成熟造成不利影响。

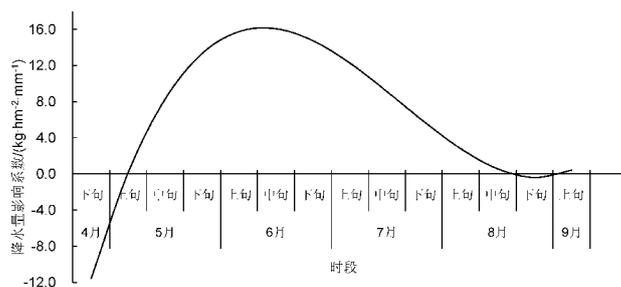


图3 玉米生长季各旬降水量对产量影响系数的变化

## 3 制种玉米气候区划

### 3.1 气候区划指标

呼图壁县光照充足,又有较稳定的灌溉水资源,因此,玉米的种植布局主要取决于热量条件。例如:呼图壁县春季气温回升不稳,若玉米过早播种,可能会因为土壤温度低,发生烂种,甚至遭受终霜危害,导致重播;若播种过晚,易遭秋季初霜冻的危害,导致玉米成熟度低。此外,在玉米抽雄、吐丝和灌浆成熟期间,若遇干热风,玉米将出现干梢,影响玉米产量。因此,根据玉米产量和温度之间的关系,找出影响玉米生长发育及产量形成的关键因子是: $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、无霜期、7月平均气温、7月 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温日数,与前人<sup>[22-26]</sup>结论基本相同。在这4个因子中,以 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、无霜期作为划分制种玉米种植区的一级区划指标,以7月平均气温和 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温日作为二级区划指标,判别玉米抽穗至开花期的热量条件,区划指标见表2,各级区划指标区间值来源于文献<sup>[23-27]</sup>。

### 3.2 各区划指标空间分布特征

#### 3.2.1 各指标因子推算模型

呼图壁地形地貌复杂,南北纬度跨度大,经度、纬度、地形、地貌、地势等地理环境及下垫面特性明显不同,导致当地气候差异十分明显。为了客观描述制种玉米种植布局气候区划指标因子在呼图壁县的实际分布情况,应用GIS技术和数理统计方法建立基于地理信息的气候区划指标因子的空间分析模

表2 呼图壁县制种玉米精细化农业气候区划指标

区划	≥10℃积温/ (℃·d)	7月平均 气温/℃	无霜 期/d	≥35℃高温 日数/d
最适宜区	3 400~3 700	25~26	≥175	17~20
适宜区	3 000~3 400	23~25	165~175	14~17
次适宜区	2 600~3 000	20~23	155~165	11~14
风险区	2 200~2 600	18~20	135~155	5~11
不适宜区	<2 200, >3 700	<18, >26	<135	<5, >20

型,并以此模拟推算区划指标因子在无测站地区的分布状况。

利用呼图壁县及周边气象站点的气象数据(≥10℃积温、无霜期、7月平均气温、7月≥35℃高温日数等)和对应站点经度、纬度、海拔等地理数据,建立对应的气候区划指标因子的空间模拟推算模型(表3)。

表3 制种玉米气候区划指标因子的空间模拟推算模型

区划指标	空间模拟分析模型	相关系数	P值	权重系数
≥10℃积温	$y = -26.8\lambda - 109.28\varphi - 1.31h - 11440.2$	0.98	P<0.001	0.35
无霜期	$y = -4.09\lambda - 31.49\varphi - 0.064h + 1963.06$	0.97	P<0.001	0.25
7月平均气温	$y = -0.02\lambda - 1.16\varphi - 0.007h + 82.57$	0.99	P<0.001	0.25
7月≥35℃高温日数	$y = 3.69\lambda + 24.57\varphi + 0.002h - 1388.87$	0.87	P<0.001	0.15

### 3.2.2 各指标因子空间分布特征

由图4可知,≥10℃积温为3700℃·d以上,主要位于海拔高度<460m的呼图壁县北部古尔班通古特沙漠边广大区域,包括106团场、芳草湖农场、111团场、105团场,热量条件十分丰富。≥10℃积温为3400~3700℃·d,主要位于海拔高度450~700m的呼图壁县北部平原地带,包括呼图壁县、十里店镇、五工台镇、园户村镇和大丰镇等广大区域。≥10℃积温为3000~3400℃·d,主要位于海拔高度700~1000m的呼图壁县中部平原地带,包括独山子乡、石梯子乡等区域。≥10℃积温为2600~3000℃·d,主要位于海拔高度900~1100m的丘陵、低山地带,包括雀尔沟镇等。≥10℃积温为2200~2600℃·d,主要位于海拔高度1000~1400m的中低山地带,包括雀尔沟镇北部中山带。≥10℃积温<2200℃·d,主要位于在呼图壁县南部海拔高度1400m以上的中、高山地带,该区因地势高,气

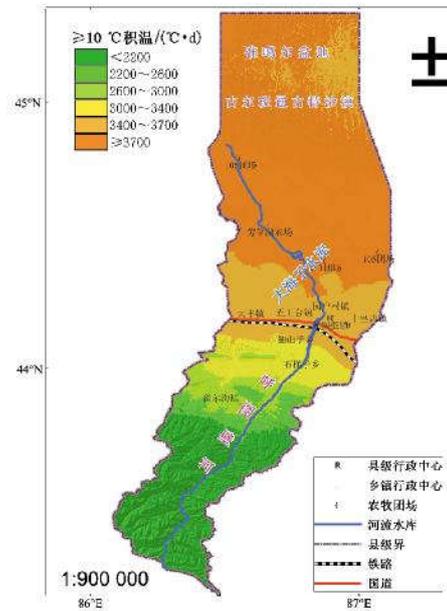


图4 ≥10℃积温空间分布

温较低。

由图5、图6、图7可知,无霜期、7月平均气温、7月≥35℃高温日数,这3个指标因子和≥10℃积温的空间分布情况基本类似。

## 4 结论与讨论

由于制种玉米对温度、水等要求较高,在地处于干旱地区的呼图壁县,没有灌溉条件的地区就无法种植。考虑到当地具有充足的灌溉条件,因此,在制作制种玉米气候区划时,不考虑水分条件的限制,仅从

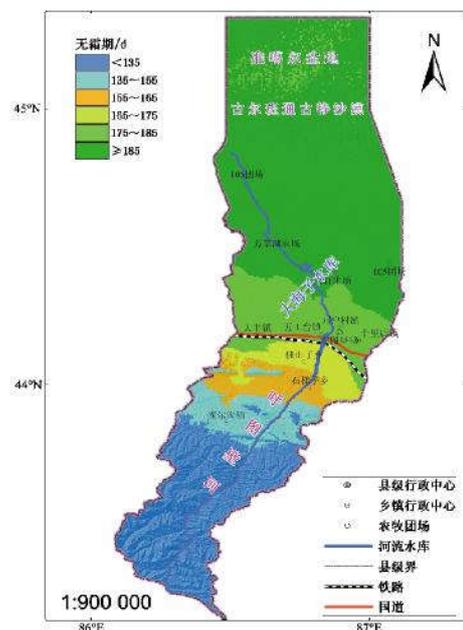


图5 无霜期空间分布

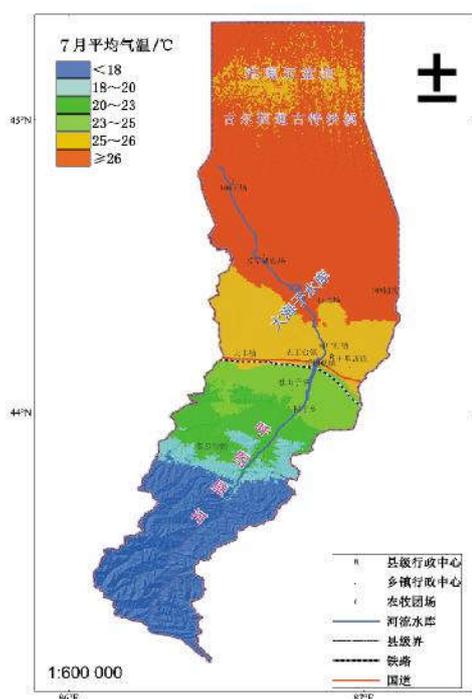


图 6 7 月平均气温空间分布

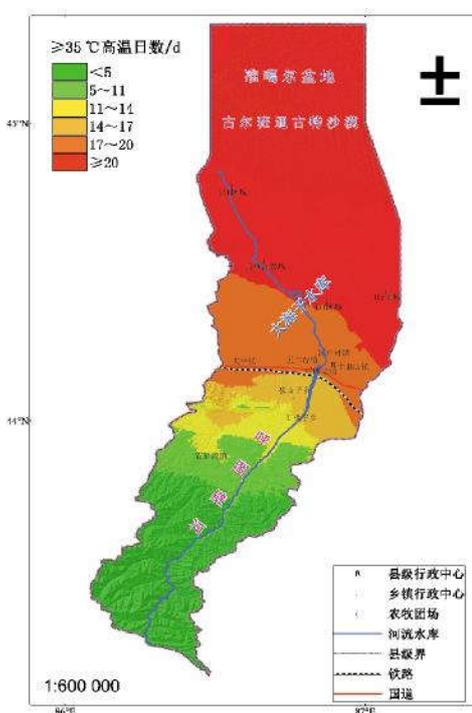


图 7  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  日数空间分布

光、热气候因素来综合分析,制种玉米种植气候区划场见图 8。

(1)最适宜区。在满足水分需要的灌溉条件下,该区域位于海拔高度 450~600 m 的呼图壁县北部平原地带,包括:呼图壁县、十里店镇、五工台镇、园户村镇和大丰镇等广大区域。热量条件  $\geq 10^{\circ}\text{C}$

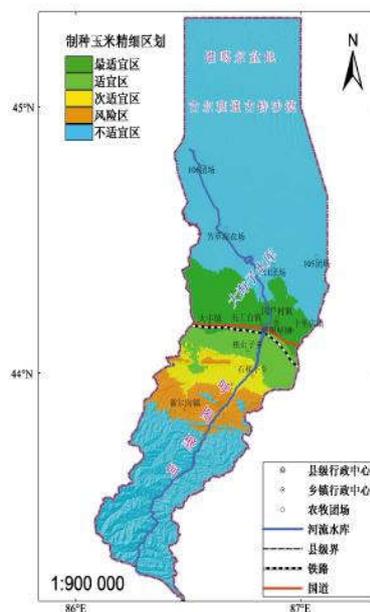


图 8 呼图壁县制种玉米种植气候区划

积温为 3 400~3 700  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,无霜期为 175~180 d,热量条件可满足中熟玉米的种植,7 月平均气温在 25~26  $^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  高温日数  $< 17$  d,气候条件对中熟玉米生长发育较有利,是呼图壁县玉米生产潜力最高、玉米种植最理想的区域之一。

(2)适宜区。在满足水分需要的灌溉条件下,该区域位于海拔高度 600~900 m 的呼图壁县中部平原地带,包括独山子乡、龙王庙村、宁州户村、二十里店村等区域。热量条件  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温为 3 000~3 400  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,无霜期为 165~175 d,热量条件可满足中早熟玉米的种植,但 7 月平均气温为 23~25  $^{\circ}\text{C}$ ,7 月日最高气温  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  日数为 14~17 d,高温对玉米开花授粉有一定的不利影响。

(3)次适宜种植区。在满足水分需要的灌溉条件下,该区域位于海拔高度 900~1 100 m 的丘陵、低山地带,包括石梯子乡。热量条件  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温为 2 600~3 000  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,无霜期为 155~165 d;7 月平均气温为 20~22  $^{\circ}\text{C}$ 。热量条件总体能够满足早中熟玉米的种植,但抽雄、开花期温度稍显不足。

(4)风险区。在满足水分需要的灌溉条件下,该区域位于海拔高度 1 100~1 400 m 的中低山地带,包括雀尔沟镇北部中山带。热量条件  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温为 2 200~2 600  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ,无霜期为 135~155 d;7 月平均气温为 18~20  $^{\circ}\text{C}$ ,热量条件仅能基本满足早熟玉米的种植,气候风险较大,稳产性低,热量较少的年份不宜种植。

(5)不宜种植区。呼图壁县玉米不宜种植区包含

2个分区,第一分区是在海拔高度<450 m的呼图壁县北部古尔班通古特沙漠边广大区域。热量条件十分丰富,≥10℃积温为3 700℃·d以上,无霜期为180 d以上。7月平均气温为27℃以上,7月≥35℃的高温日数多达22 d以上,高温热害严重,造成玉米受精不全、缺粒秃尖现象,严重影响玉米产量的形成,因此,不宜种植制种玉米。第二分区是位于呼图壁县南部海拔高度1 400 m以上的中、高山地带,该区域因地势高,气温较低,≥10℃积温一般不足2 200℃·d,7月平均气温低于18℃,无霜期多在135 d以下,热量条件难以满足玉米生长发育、产量形成的基本要求,因此,不宜种植制种玉米。

气候环境条件在影响制种玉米生长发育和产量的所有因素中是最重要的因素。因此,本文主要选择影响制种玉米生长发育及产量的重要气候因子作为区划指标,而实际上除了受气候条件影响以外,制种玉米种植还受土壤类型、土壤肥力等其他环境因素的影响,目前的制种玉米精细化区划研究中主要考虑制种玉米的气候条件,还没有把研究区域的土壤类型、土壤现状、土地利用状况等其他环境条件信息综合考虑进去。在制种玉米实际生产过程中,除了受气候、土壤等生态条件影响外,还受地形地貌、水域、山体、城市居民用地等多种条件的制约,并非气候条件适宜种植的地方就可用于制种玉米生产<sup>[14-16]</sup>。因此,研究制种玉米等农作物精细化气候区划时,结合当地实际情况,在充分运用GIS基础上,还应综合考虑气候条件、土壤类型、土壤肥力、土地利用规划状况等方面的精细化区划综合信息,开展农作物种植布局的综合区划研究,区划结果将会更加深化、细化,更为客观、准确和综合实用。关于这些方面的综合研究有待今后进一步探讨和不断完善。

参考文献:

[1] Bazgeer S, Khalili A. Agroclimatological zoning of wheat in dry land farming (a case study of Kurdistan Province) [J]. Singapore J Trop Geograp, 1998, 19: 39-50.  
 [2] Inthavong T V, Kam S P, Hoanh C T, et al. Implementing the FAO methodology for agroecological zoning for crop suitability in Laos: A GIS approach. Increased Lowland rice production in the Mekong Region [C]. Proceedings of an International Workshop, Vietiane, Laos, 2001: 292-300.  
 [3] Patel N R, Mandal U K, Pande L M. Agro-ecological zoning system: a remote sensing and GIS perspective [J]. Journal of Agrometeorology, 2000, 2: 1-13.  
 [4] 周治国, 曹卫星, 朱艳, 等. 基于GIS的作物生产管理信息

系统[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 114-118.  
 [5] 何燕, 李政, 廖雪萍. 基于GIS的巴西陆稻IAPAR-9种植气候区划研究[J]. 应用气象学报, 2007, 18(2): 219-223.  
 [6] 涂方旭. 对广西水稻气候区划的探讨 [J]. 广西气象, 2006, 27(1): 33-36.  
 [7] 魏兴萍, 张艳军. 基于格网的重庆市水稻种植的农业区划 [J]. 现代农业科学, 2009, 16(6): 186-187.  
 [8] 何燕, 李政, 钟仕全, 等. 广西晚稻低温冷害空间分析模型构建及其区划[J]. 地理研究, 2010, (6): 1037-1044.  
 [9] 何燕, 李政, 徐世宏, 等. GIS支持下的广西早稻春季低温冷害区划研究[J]. 自然灾害学报, 2009, 10(5): 178-182.  
 [10] 何燕, 李政, 徐世宏, 等. GIS在水稻“寒露风”冷害监测预警中的应用[J]. 灾害学, 2012(1): 68-72.  
 [11] 魏丽, 殷剑敏, 王怀清. GIS支持下的江西省优质早稻种植气候区划[J]. 中国农业气象, 2002, 23(2): 27-31.  
 [12] 张山清, 普宗朝, 李景林, 等. 气候变化对新疆红枣种植气候区划的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(6): 713-721.  
 [13] 张山清, 吉春容, 普宗朝. 气候变暖对新疆杏种植气候适宜性的影响[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(9): 131-141.  
 [14] 张山清, 普宗朝, 李新建, 等. 气候变化对新疆苹果种植气候适宜性的影响 [J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(8): 255-264.  
 [15] 张山清, 普宗朝, 李景林, 等. 气候变暖背景下南疆棉花种植区划的变化[J]. 中国农业气象, 2015, 36(5): 594-601.  
 [16] 张山清, 普宗朝, 吉春容, 等. 气候变化对新疆酿酒葡萄种植气候区划的影响[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(9): 125-134.  
 [17] 罗蒋梅, 王建林, 申双和, 等. 影响冬小麦产量的气象要素定量评价模型 [J]. 南京气象学院学报, 2009, 32(1): 94-99.  
 [18] 王延慧, 张建涛, 叶文军, 等. 基于ArcGIS的新疆雷电灾害风险区划研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(6): 96-104.  
 [19] 张前东, 史春彦. 济南市长清区暴雨洪涝灾害风险区划 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(3): 64-69.  
 [20] 彭九慧, 王多, 赵岩, 等. 基于GIS的承德市冰雹灾害风险区划[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(1): 105-109.  
 [21] 扈海波, 王迎春, 熊亚军. 基于层次分析模型的北京雷电灾害风险评估[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(1): 104-109.  
 [22] 普宗朝, 张山清, 宾建华. 气候变暖对新疆乌鲁木齐地区棉花产量的影响——以玛纳斯、呼图壁县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(10): 28-35.  
 [23] 徐德源. 新疆农业气候资源及区划[M]. 北京: 气象出版社, 1989.  
 [24] 肖玮钰. 西北地区春玉米气候适宜性区划和干旱风险评

- 估[D].南京:南京信息工程大学,2013.
- [25] 张延菊.托里县早熟玉米气候适应性分析[J].农业与技术,2014(4):103.
- [26] 陈怀亮,张雪芬.玉米生产农业气象服务指南[M].北京:气象出版社,1999:31-35.
- [27] 唐红艳,牛宝亮.基于 GIS 技术的内蒙古兴安盟春玉米种植气候区划 [J]. 中国农学通报,2009,25 (23):447-450.

## Fine Climate Division of Maize Seed Production in Hutubi County Based on GIS

WANG Sen<sup>1</sup>, ZHANG Shanqing<sup>1</sup>, LIU Jijiang<sup>1</sup>, LI Zhanchao<sup>1</sup>, Erkejan HOYHAZI<sup>2</sup>

(1. Xinjiang Agro-meteorological Observatory, Urumqi 830002, China;

2. Changjizhou Meteorological Bureau, Changji 831100, China)

**Abstract** Based on the climate data and station geographic information data of Hutubi County and its surrounding 15 meteorological stations from 1961 to 2018, combined with geographic information system (arcgis10.0) technology, the 1:50000 DEM data was converted into digital elevation with resolution (100 m × 100 m). On the basis of comprehensive consideration of climate factors and terrain factors, such as longitude, latitude, altitude, etc, the spatial simulation model of index factors such as accumulated temperature  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , frost free period, average temperature in July and high temperature days ( $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) were constructed by inverse distance weight method. The spatial distribution of regionalization factors of maize seed production was calculated by fine grid, and the residual part was corrected by spatial interpolation. Finally, the refined climate regionalization of maize seed production was obtained. The results showed that the county was divided into five regions: the most suitable region, the suitable region, the sub suitable region, the risk region and the unsuitable region. The most suitable planting area was in northern plain of Hutubi county, including Hutubi county, Shilidian town, Wugongtai town, Yuanhu town and Dafeng town; the suitable planting area was in the central plain, including Dushanzi township, Longwangmiao village, ningzhouhu village and erlidian village; the sub suitable planting area was in the hilly and low mountain area, including Shitizi township.

**Key words** GIS; fine climate division; maize seed production; Hutubi