

甘肃省河东地区玉米种植适宜性评价和区划

许小明,徐玉霞,董奇,秦少伟,霍轩琳

(宝鸡文理学院/陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室,陕西宝鸡721013)

摘要:利用1951—2015年甘肃省河东地区17个典型测站气候资料,采用均值法并运用Origin8.0软件对其近65年来年平均气温、4—9月份玉米生育期平均降水量、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温总量和年平均无霜期日数的空间分布特征进行了分析,结合温度、无霜期日数和生育期降水数据对不同测站玉米种植适宜性予以评价。通过对影响研究区玉米种植适宜性主要气候因子分析,并借助GIS空间分析技术得出河东地区玉米种植适宜性区划等级结果。结果表明:(1)研究区玉米种植适宜性等级总体表征为东高西低。(2)最适宜区范围最小,密集分布在平凉市和庆阳市南部区域,为正宁县、宁县、泾川县、灵台县、崇信县和庆阳市区。(3)适宜区主要分布在陇东黄土高原大部、陇南秦巴山区(两当县除外)以及临夏回族自治州大部分地区。(4)次适宜区集中分布在陇中黄土高原,另有零星分布如环县、两当县、和政县和康乐县。(5)不适宜区主要分布在甘南高原。

关键词:玉米种植;气候因子;适宜性评价;区划;河东地区;甘肃省

中图分类号:S162.2;S513 **文献标志码:**A

Suitability evaluation and regionalization of maize planting in Hedong Area of Gansu Province

XU Xiao-ming, XU Yu-xia, DONG Qi, QIN Shao-wei, HUO Xuan-lin

(Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating of Shaanxi Province,

Baoji University of Arts and Sciences, Baoji, Shaanxi 721013, China)

Abstract: Based on data from 17 typical weather stations from 1951 to 2015 in Hedong area of Gansu Province, spatial distribution characteristics of average temperature in the past 65 years, average precipitation of growth period of maize in 4~9 month, total amount of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature and the annual average number of frost-free days were analyzed by using mean value method via Origin8.0 software. The suitability of maize planting in different stations was evaluated according to the temperature, the number of frost-free days and precipitation data during growth period. Combining the analysis of the main climatic factors affecting the suitability of maize planting in the study area with GIS spatial analysis technology, maize planting suitability regionalization in Hedong area were obtained. The results showed following: (1) The overall characterization of the suitability of maize planting in the study area decreased from East to West. (2) The most suitable area was the smallest and densely distributed in the southern region of Pingliang city and Qingyang city, including Zhengning County, Ningxian County, Jingchuan County, Lingtai County, Chongxin County and Qingyang city. (3) The suitable areas were mainly distributed in the large part of Longdong Loess Plateau, Qin Ba mountain area in Longnan (except Liangdang County) and most of Linxia Hui Autonomous Prefecture. (4) The sub-suitable areas were concentrated in the Loess Plateau of Longzhong, and sporadic distribution such as Huan County, Liangdang County, Hezheng County and Kangle County. (5) The unsuitable area was mainly distributed in the Gannan Plateau.

Keywords: maize planting; climatic factor; suitability evaluation; regionalization; Hedong area; Gansu Province

收稿日期:2017-03-14

修回日期:2018-01-14

基金项目:国家自然科学基金(41071359);陕西省重点实验室项目“全球气候变化下陕西省旱涝灾害风险评估及区划研究”(16JS005);陕西省社会科学基金“后退耕时代陕西省退耕还林工程效益评价及其影响研究”(2015D057);陕西省重点学科自然地理学资助项目。

作者简介:许小明(1990—),男,在读硕士,主要从事区域综合防灾减灾研究。E-mail:1559668557@qq.com。

通信作者:徐玉霞(1978—),女,副教授,主要从事自然地理及区域防灾减灾研究。E-mail:453452166@qq.com。

甘肃省河东地区作为西北地区重要的农业产地,玉米是该区第二大粮食作物。据统计,2013年播种面积为 $3.82 \times 10^5 \text{ hm}^2$,约占全省玉米播种面积的80%,产量约占全省玉米总产量的67%,除陇南白龙江河谷川塬为夏玉米产地,其它都为春播玉米产区^[1]。目前,甘肃省平均玉米单产稳定在 $5\ 500 \sim 6\ 000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,陇东和陇南地区玉米单产较陇中地区偏高,影响玉米产量的主要因素除地区气候条件和农业种植技术外,玉米对区域环境的生态适宜性也与产量存在一定的关系^[2]。河东地区雨养农业区玉米产量很大程度上受制于局地气候条件,多雨湿润年农业丰产,少雨干旱年农业歉收,因此气候波动影响下的玉米种植适宜性评价对指导当地农业生产活动具有重要意义。

地区气候资源分布、变化特征、适宜程度与农业生产布局关系一直备受关注^[3-6]。目前,有关玉米种植气候适宜性评估和种植区划方面的研究成果较多,国内刘丹、石淑芹、董博、肖玮钰、侯越、王路明等学者通过建立适宜性评价指标体系,运用数学方法并基于GIS空间分析技术对黑龙江省、吉林省、镇原县、西北地区、赤峰市、定边县等地玉米种植适宜性进行了等级区划分析^[2,7-12]。但多数研究选取的评价因子较少,其研究结论存在一定的局限性。本文基于农作物对气候适宜性评价理论,通过对影响研究区玉米种植适宜性主要气候因子分析,结合温度、无霜期日数和生育期降水数据并借助GIS空间分析技术得出河东地区玉米种植适宜性区划等级结果,以实现河东地区玉米种植适宜性较为合理的评价。

1 研究区概况

甘肃省河东地区地处黄土高原西部与青藏高原东北缘的结合部,界于东经 $100^{\circ}45' \sim 108^{\circ}42'$ 、北纬 $32^{\circ}35' \sim 37^{\circ}15'$ 之间,地理位置独特,是关中平原通往青藏高原、河西走廊、新疆乃至中亚地区的交通要道。地势总体表征为西高东低,地貌环境复杂多样,涵盖甘南高原、临夏—兰州黄河谷地、陇东黄土高原和陇南秦巴山区。本区河流水系主要有黄河、渭河、洮河、白龙江、泾河等,多年平均降水量在 $200 \sim 1\ 000 \text{ mm}$ 之间,从西北向东南方向递增,干湿地带性呈梯度变化,自北向南依次为半干旱、半湿润和湿润气候区^[13]。受东亚季风环流年际、季节波动影响,该区降水量存在显著的周期性振荡,干旱、洪涝等气象灾害发生频次总体增加^[14]。甘肃省河东地区为半干旱半湿润雨养农业区,近年来研究区玉米种植范围呈现逐渐扩大态势。受区域自然

地理环境条件差异影响,玉米种植适宜程度迥异^[15]。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

(1) 研究区17个典型气象测站1951~2015年近65年的月平均气温($^{\circ}\text{C}$)、4—9月年平均降水总量(mm)、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温总量($^{\circ}\text{C}$)和年平均无霜期日数(d)数据来自中国气象科学数据共享网(<http://data.cma.cn/>),由于部分气象测站建站时间较晚,所取数据存在一定程度缺损,个别年份缺失数据通过插补获得。

(2) 研究区DEM数字高程图出自地理国情监测云平台(<http://www.dsac.cn/>),并借助GIS软件提取获得,行政底图来自国家地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/>)。

(3) 研究区春播玉米生育期、所需温度、水分条件源自实地调查以及通过查阅相关资料获取^[9,15-19]。

2.2 研究方法

本文采用均值法并利用Origin 8.0软件分析该区17个典型气象测站近65a的年平均气温、4—9月份玉米生育期平均降水量、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温总量和年平均无霜期日数的空间分布特征,结合温度、无霜期日数和生育期降水数据对不同测站玉米种植适宜性予以评价。通过对影响研究区玉米种植适宜性主要气候指标分析,结合实地调查资料并借助GIS空间分析技术得出河东地区玉米种植适宜性区划等级结果。

3 河东地区自然环境条件分析

3.1 地形地貌特征

研究区处于青藏高原东北缘山区、秦岭纬向构造体系及六盘山构造带结合部,总体地势表现为西高东低,地形地貌复杂多样。辖区内甘南高原位于地势第一级阶梯青藏高原东北边缘,平均海拔在 $3\ 000 \text{ m}$ 左右,多有河流发源;临夏—兰州黄河谷地海拔较低,在 $1\ 520 \sim 2\ 000 \text{ m}$ 之间;陇东黄土高原海拔较低,大致为 $1\ 000 \sim 1\ 800 \text{ m}$,地表支离破碎,塬、梁、峁等地形兼备;陇南秦巴山区以山地、丘陵、河谷等地貌发育为主,总体海拔较低,文县白龙江河谷段海拔降至 500 m 。

3.2 年平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和年平均无霜期日数分析

通过对研究区17个测站自1951—2015年近65年来年平均气温进行分析,依据图2(a)可得,不同

测站年平均气温分布迥异。经计算,武都测站年平均气温最高,为 14.81℃;其次为天水、麦积、兰州、靖远、崆峒、庆阳、环县、临洮、临夏、榆中、会宁、岷县测站,其年平均气温为 5.92℃~11.02℃;华家岭、玛曲、郎木寺、合作测站年平均气温整体偏低,为 1.21℃~3.73℃,尤其以郎木寺最低。

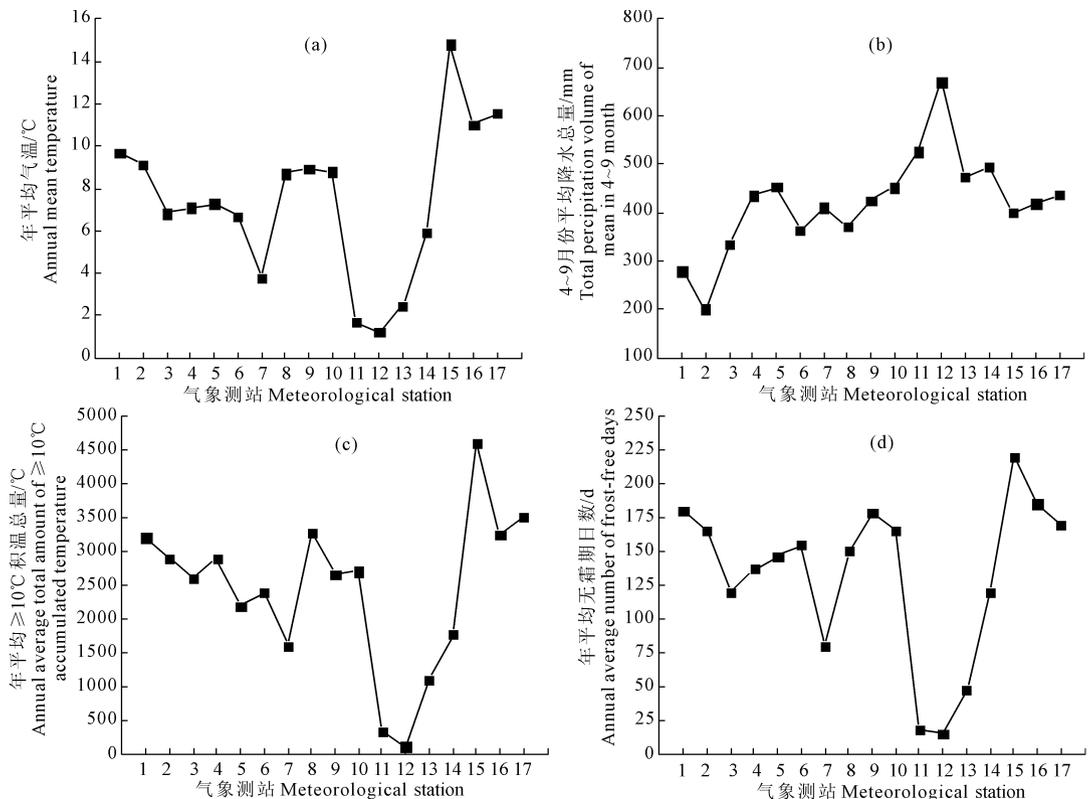
从图 1(见 234 页彩图)和图 2(c)可知,河东地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温差异显著,甘南高原地区最低,陇南河谷地带积温最高,其它地区居中,兰州市、靖远县因位于黄河谷地积温较周围地区偏高。玛曲、郎木寺、合作等地 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温最低,在 1500℃ 以下;其次为岷县、临洮、临夏、华家岭、会宁、榆中测站, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在 1 500℃~2 500℃ 之间;庆阳、崆峒 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 2 500℃~3 000℃,兰州、靖远、天水、麦积、环县测站 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 3 000℃~3 500℃;武都测站活动积温最高,为 4 500℃~5 000℃。根据 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温指标将研究区划分为亚热带($>4 500^{\circ}\text{C}$)、暖温带(3 400℃~4 500℃)、中温带(1 600℃~3 400℃)和寒温带($<1 600^{\circ}\text{C}$)。

依据图 2(d)析知,河东地区年平均无霜期日数

以武都测站最多,在 220 d 以上,玛曲、郎木寺测站最少,基本无相对无霜期。根据玉米生育期最低天数(≥ 100 d)要求,将研究区 17 个气象测站按照年平均无霜期天数划分为两类:无霜期 <100 d 的测站区不能种植玉米,为玛曲、郎木寺、合作和华家岭测站;根据 ≥ 100 d 的测站无霜期日数迥异程度和早、中、晚熟制玉米品种所需无霜期总天数差异化特征,将其划分为早熟玉米(100 d $<$ 无霜期天数 ≤ 120 d)和中晚熟玉米(无霜期天数 ≥ 120 d)测站区,分别为岷县和除岷县、玛曲、郎木寺、合作、华家岭测站之外的其它测站。

3.3 年平均降水量及 4—9 月年平均降水总量特征分析

年平均降水量是反映一地气候的重要衡量指标之一,生育期降水量指大田农作物从播种出苗到成熟收获的整个生长发育阶段来自大气的降水总量^[20],因不同农作物生育期时间长短迥异,故所需水分条件存在差异。河东地区属北方旱作春播玉米区,玉米生育期主要在 4—9 月,因此,本文主要考虑该阶段的降水量分布特征(表 1)。



1-兰州市;2-靖远县;3-榆中县;4-临夏市;5-临洮县;6-会宁县;7-华家岭;8-环县;9-崆峒区;10-庆阳市;11-玛曲县;12-郎木寺;13-合作县;14-岷县;15-武都县;16-天水市;17-麦积区

1-Lanzhou City;2-Jingyuan County;3-Yuzhong County;4-Linxia City;5-Lintao County;6-Huining County;7-Huajialing;8-Huan County;9-Kongtong County;10-Qingyang City;11-Muqu County;12-Langmusi;13-Hezuo County;14-Min County;15-Wudu County;16-Tianshui City;17-Maiji District

图 2 1951—2015 年河东地区 17 个典型气象测站年平均气温(°C)、4~9 月份年平均降水总量(mm)、年平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温总量(°C)和年平均无霜期日数(d)

Fig.2 Annual mean temperature(°C), total precipitation volume of annual mean in 4~9 month(mm), annual average total amount of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature(°C) and the annual average number of frost-free days(d) about 17 typical meteorological stations in Hedong area of Gansu Province from 1951 to 2015

表 1 甘肃省河东地区春播玉米生育期

Table 1 Growth period of spring-sown corn in Hedong area of Gansu Province

时间 Time	4 月 April		5 月 May		6 月 June		7 月 July		8 月 August		9 月 September
	中下旬 Middle and last	上旬 Early	中旬 Middle	下旬 Last	中旬 Middle	上旬 Early	中旬 Middle	下旬 Last	下旬 Last	中旬 Middle	
生育期 Growth period	播种 Sow	出苗 Emergence	三叶 Three leaves	七叶 Seven leaves	拔节 Jointing	抽雄 Tassel	—	开花 Bloom	乳熟 Milking maturity	成熟 Mature	

从图 1(见 234 页彩图)年等降水量线可得,河东地区年平均降水量在空间分布上从东南向西北方向递减。其中,陇南武都测站及其附近秦巴山区、河谷地带降水量最高,超过 800 mm,为湿润气候区;天水、麦积、玛曲、郎木寺测站年平均降水量为 600~800 mm,属半湿润向湿润气候过渡区;庆阳、崆峒、会宁、华家岭、临洮、临夏、合作、岷县测站年平均降水量在 400~600 mm 之间,属典型半湿润气候区;兰州、靖远、榆中、环县测站年平均降水量为 200~400 mm,属半干旱气候区。

通过对研究区 17 个测站 1951—2015 年近 65 年来 4—9 月平均降水总量进行分析,依据图 2(b)并经计算可知,郎木寺近 65 年来 4—9 月平均降水总量最高,为 670.26 mm,靖远测站最低,为 200.64 mm。其中,玉米生育期降水量 ≥ 400 mm 的测站包括临夏、临洮、华家岭、崆峒、庆阳、玛曲、郎木寺、合作、岷县、武都、天水、麦积,降水量在 300~400 mm 的测站有榆中、会宁、环县,降水量 < 300 mm 的测站为兰州和靖远。

4 玉米种植适宜性分析

依据满足玉米生育阶段所需热量和水分条件并参照相关研究成果^[4,6,12,21],认为玉米生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温超过 2 000 $^{\circ}\text{C}$ 、降水量 ≥ 400 mm 是保障玉米植株健康生育、粮食高产稳产的基本条件。相反,地区玉米生育期温度偏低($\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温低于 2 000 $^{\circ}\text{C}$)和降水量偏少(< 400 mm)都会严重制约玉米正常生育。

根据图 2 中分析结果并结合玉米生育期基本温度、降水条件得出,河东地区 17 个气象测站玉米种植适宜性程度差异明显。按照该区玉米种植适宜程度高低将其划分为 4 个等级,其中最适宜级 1 个测站(庆阳市),适宜级 6 个(崆峒区、天水市、麦积区、临夏市、临洮县、武都区),次适宜级 7 个(环县、岷县、会宁县、华家岭、榆中县、靖远县、兰州市),不适宜级 3 个(玛曲县、合作县、郎木寺)。作为能够

反映河东地区自然地理环境条件的 17 个典型气象测站,对其玉米种植适宜性评价能够窥测该区整体玉米适宜程度状况。

根据图 1(见 234 页彩图)河东地区地形特征、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、年等降水量线分布趋势和图 2 对 17 个测站近 65 年年平均气温、4—9 月份玉米生育期平均降水总量、年平均无霜期日数及玉米种植适宜性分析结果,并参照各区(县)玉米生育期基本温度、降水条件,运用 GIS 空间分析技术,按照自然断点法对研究区玉米种植适宜性进行等级区划,分为最适宜区、适宜区、次适宜区和不适宜区 4 个等级(图 3)。

从图 3 可知,河东地区玉米种植最适宜区范围狭小,密集分布在平凉市和庆阳市南部区域,为正宁县、宁县、泾川县、灵台县、崇信县和庆阳市区。该区域自然环境条件优越,地貌类型以黄土塬为主,海拔较低,地理位置偏东,受东南太平洋暖湿气流影响,温度条件较好(年平均气温为 8.7 $^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温超过 3 000 $^{\circ}\text{C}$),降水量适宜(年平均玉米生育期降水量为 450 mm 左右),属典型暖温带半湿润气候区,旱涝灾害发生频次较少,优越的自然环境条件能够保障玉米高产稳产。

玉米种植适宜区主要分布在陇东黄土高原大部、陇南秦巴山区(两当县除外)和临夏回族自治州大部分地区。该区海拔适中(800~1 800 m 之间),自然环境条件较好,属中温带、暖温带半湿润气候区。陇东黄土高原和陇南秦巴山区地处迎风坡,降水量较多(500~700 mm),河流水系较发育,且靠近关中平原与陕南汉水谷地,海拔较低,热量充足,能够较好满足玉米生育期所需水分、热量条件。西部临夏回族自治州因地处甘南高原与黄土高原结合部,海拔较高,热量较陇东地区低, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 2 200 $^{\circ}\text{C}$ ~2500 $^{\circ}\text{C}$ 左右,但仍能满足玉米生育阶段所需热量,夏季甘南高原季节性冰雪融水为本区玉米种植提供充沛灌溉水源,因其温度较低,减少了田间土壤水分蒸散量,对玉米种植比较有利。

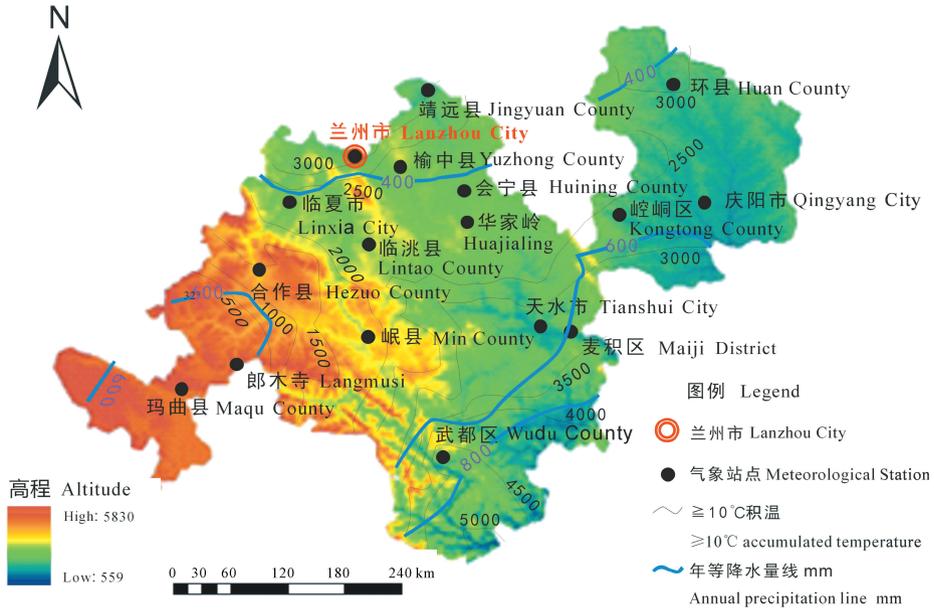


图 1 河东地区地形地貌特征、气象站点分布、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温曲线及年等降水量线

Fig.1 Topography and landform character, distribution of meteorological stations, curve of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature and annual precipitation line in Hedong area

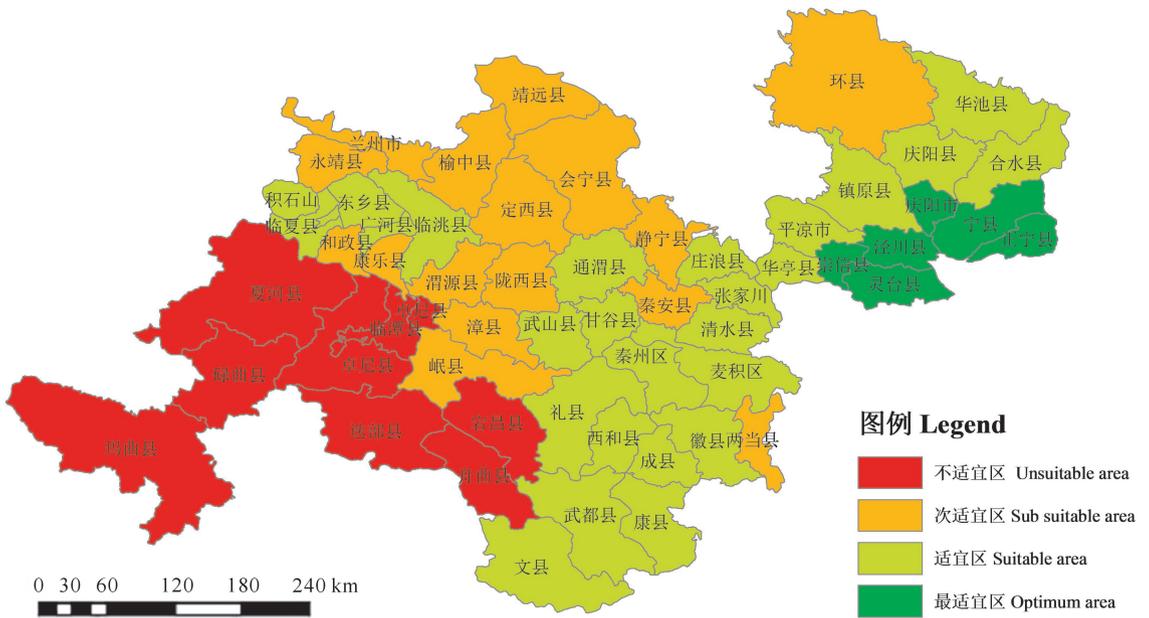


图 3 河东地区玉米种植适宜性等级区划

Fig.3 Graded regionalization on suitability of maize planting in Hedong area

玉米种植次适宜区集中分布在陇中黄土高原、另有零星分布如环县、两当县、和政县、康乐县。陇中黄土高原 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在 $2\ 000^{\circ}\text{C} \sim 2\ 500^{\circ}\text{C}$ 之间,温度条件能够满足玉米生育期热量需求,年平均降水量为 $300 \sim 500\ \text{mm}$,玉米生育期(4—9月)平均降水总量为 $250 \sim 400\ \text{mm}$,低于玉米高产稳产生育期所需基本水分临界值。作为受季风气候影响的尾闾区,因大气环流和地区降水年际波动影响,农业气象灾害频发,据历史资料统计,该区干旱灾害发生

频率较高^[13],因此农户种植玉米存在较大风险。环县地处陇东黄土高原北部,年平均降水量小于 $400\ \text{mm}$,受水分条件限制,不能满足玉米正常生育所需水分需求,两当县位于秦岭腹地,和政县和康乐县地处青藏高原东北缘中山地带,海拔较高,热量不足,早霜时间较早(9月份),晚霜时间较晚(5月份), $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温偏低,为 $1\ 500^{\circ}\text{C} \sim 2\ 000^{\circ}\text{C}$,玉米生育期易出现低温冷害现象。

玉米种植不适宜区主要分布在甘南高原。甘

南高原平均海拔 3 000 m 左右, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温低于 1 500 $^{\circ}\text{C}$, 热量条件明显不足, 尚难满足玉米生育期温度需求, 因此该区不适宜种植玉米。

5 结论与讨论

5.1 讨论

5.1.1 温度条件与玉米种植适宜性关系 温度条件从根本上决定了地区作物栽培范围、熟制、品种选择和粮食产量, 年平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和无霜期日数是构成对玉米种植具有重要影响程度的因子。一般来说, 中晚熟玉米品种所需活动积温为 2 300 $^{\circ}\text{C}$ ~ 2 600 $^{\circ}\text{C}$ 、无霜期日数 ≥ 120 d, 河东地区如陇南秦巴中低山区、陇东黄土高原区热量条件完全满足玉米生育期需要。陇中黄土高原区及青藏高原东北缘向黄土高原过渡区(如岷县、漳县、和政、康乐、渭源等地)因海拔较高, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 2 000 $^{\circ}\text{C}$ ~ 2 500 $^{\circ}\text{C}$ 、无霜期为 100 ~ 120 d, 为避免低温霜冻灾害发生, 本区适宜种植早熟玉米品种。近年来, 随着全球气候逐渐变暖, 地区热量增加, 另外伴随着玉米种植技术措施的改善, 如在晚霜冻前播种、玉米育苗移栽和地膜覆盖技术, 该区大部分农户改种中熟玉米品种。甘南高原因温度条件限制不适宜种植玉米。作为喜温又对温度敏感的玉米作物, 不同生育期、不同品种对温度要求存在差异。和政县、康乐县、临夏等冷凉地区可通过采取地膜覆盖技术提高地表积温总量, 以防御冷害和降低霜冻灾害的发生频率^[19]。陇南地区水热组合条件好, 但受夏季高温灼热影响, 在一定程度上影响了春播玉米的品质和产量, 如果考虑最热月平均温度和极端高温对玉米植株生育的影响, 则更能够较好地反映地区玉米种植的气候适宜性, 这也是未来研究中应关注的问题。

5.1.2 水分条件与玉米种植适宜性关系 玉米生育期降水量多少对地区玉米种植及产量丰歉至关重要, 根据玉米生育期所需水分条件要求, 最适降水量为 400 ~ 640 mm, 低于 400 mm 或高于 640 mm 均会影响玉米产量和品质。陇东黄土高原区(环县除外)和陇南秦巴山区降水条件能够满足玉米生育期水分需要, 地区玉米种植适宜度较高。陇中黄土高原区年平均降水量为 400 ~ 600 mm, 玉米生育期(4—9月)降水总量在 300 ~ 400 mm 左右, 满足玉米生育期水分条件需求尚存在一定亏欠。近年来, 随着农业生产技术的改进和农田水利设施的兴建, 该区玉米种植范围呈扩大趋势, 如定西市采取集雨补灌措施并规模化推广全膜双垄沟播玉米种植技

术^[17], 有效减少了土壤水分蒸散量和促使玉米植株对水分利用效率得到提高。另外推广早熟抗旱玉米品种, 因其熟期短, 需水量较少, 在一定程度上能够较好地适应当地的气候条件^[22]。陇东黄土高原北部、陇中黄土高原东部及陇南地区热量资源丰富, 受华西秋雨影响, 9、10月降水较多, 可通过推迟玉米播种期以充分利用多雨时段的水分, 从而实现玉米增产稳产。兰州市和靖远县因水分条件不足, 玉米种植区仅分布在黄河河谷地带, 以灌溉农业为主。陇中黄土高原区因地处半湿润与半干旱区过渡带, 干湿度地带分异年际变化较大, 该区应根据不同玉米品种、熟制对水分条件的适宜性差异, 对春播玉米面积予以适当增减调整, 以适应气候变化。此外, 受东亚季风环流年际、季节波动影响, 近年来该区干旱、洪涝等气象灾害发生频次增加, 对当地玉米种植带来不利影响^[23]。

5.2 结论

甘肃省河东地区玉米种植适宜性评价和区划研究结果表明:

(1) 年平均气温、玉米生育期平均降水总量、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温总量和年平均无霜期日数是影响地区玉米种植适宜程度的 4 个主导气候因子。依据玉米生育期温度、无霜期和降水指标, 将河东地区玉米种植按照适宜程度高低划分为 4 个等级, 依次为最适宜区、适宜区、次适宜区和不适宜区。

(2) 研究区玉米种植适宜性等级总体表征为东高西低, 最适宜区范围最小, 密集分布在平凉市和庆阳市南部区域, 为正宁县、宁县、泾川县、灵台县、崇信县和庆阳市区; 适宜区主要分布在陇东黄土高原大部、陇南秦巴山区(两当县除外)以及临夏回族自治州大部分地区; 次适宜区集中分布在陇中黄土高原, 另有零星分布如环县、两当县、和政县、康乐县; 不适宜区主要分布在甘南高原。

参考文献:

- [1] 尹宪志. 人工防霜冻技术研究[M]. 北京: 气象出版社, 2014: 50-51.
- [2] 刘丹, 杜春英, 于成龙. 黑龙江省玉米的生态适宜性评价及种植区划[J]. 玉米科学, 2009, 17(5): 160-163.
- [3] Wang R Y, Zhang Q, Wang Y, et al. Response of corn to climate warming in arid areas in Northwest China[J]. Acta Bot Sin, 2004, 46(12): 1387-1392.
- [4] 何奇瑾, 周广胜. 我国玉米种植区分布的气候适宜性[J]. 科学通报, 2012, 57(4): 267-275.
- [5] 赵一飞. 近 50 年来甘肃河东地区农业气候资源变化及其对农牧业的影响[D]. 兰州: 西北师范大学, 2013.

- [9] Patel N R, Parida B R, Venus V, et al. Analysis of agricultural drought using vegetation temperature condition index (CVTI) from Terra/MODIS satellite data.[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, 184(12): 7153-7163.
- [10] Peng J, Loew A, Zhang S Q, et al. Spatial downscaling of satellite soil moisture data using a vegetation temperature condition index[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015, 54(1): 558-566.
- [11] 陈鹤, 杨大文, 刘钰, 等. 集合卡尔曼滤波数据同化方法改进土壤水分模拟效果[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 99-104.
- [12] Nagarajan K, Judge J, Graham W D, et al. Particle filter-based assimilation algorithms for improved estimation of root-zone soil moisture under dynamic vegetation conditions[J]. Advances in Water Resources, 2011, 34(4): 433-447.
- [13] Rozenstein O, Qin Z, Derimian Y, et al. Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm[J]. Sensors, 2014, 14(4): 5768-5780.
- [14] 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感, 2004, 16(3): 28-32.
- [15] 宋挺, 段峥, 刘军志, 等. Landsat 8 数据地表温度反演算法对比[J]. 遥感学报, 2015, 19(3): 451-464.
- [16] 胡德勇, 乔琨, 王兴玲, 等. 单窗算法结合 Landsat8 热红外数据反演地表温度[J]. 遥感学报, 2015, 19(6): 964-976.
- [17] 王文佳, 冯浩, 宋献方. 基于 DSSAT 模型陕西杨凌不同降水年型冬小麦灌溉制度研究[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(4): 1-10.
- [18] 解毅, 王鹏新, 刘峻明, 等. 基于四维变分和集合卡尔曼滤波同化方法的冬小麦单产估测[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 187-195.
- [19] 解毅, 王鹏新, 王蕾, 等. 基于作物及遥感同化模型的小麦产量估测[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 179-186.
- [20] 赵海燕, 侯美亭, 王志伟. 利用 CERES-Wheat 模型分析冬小麦所需灌溉量的时空变化—以河南省为例[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(4): 125-133.

(上接第 235 页)

- [6] 何奇瑾. 我国玉米种植分布与气候关系研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2012.
- [7] 石淑芹, 陈佑启, 李正国, 等. 基于空间插值分析的指标空间化及吉林省玉米种植区划研究[J]. 地理科学, 2011, 31(4): 408-414.
- [8] 董博, 江晶, 郭天文, 等. 镇原县玉米生态适宜性评价及种植区划[J]. 土壤通报, 2013, 49(3): 526-531.
- [9] 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.
- [10] 王路明, 常庆瑞, 白雪娇. 基于 GIS 的陕西省定边县耕地种植玉米适宜性评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(3): 105-110, 117.
- [11] 侯越. 内蒙古赤峰市玉米种植适宜性评价研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [12] 贾超杰. 基于 GIS 的中国玉米种植区适宜等级划分及未来变化趋势[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- [13] 王莺, 王劲松, 姚玉璧. 甘肃省河东地区气象干旱灾害风险评估与区划[J]. 中国沙漠, 2014, 34(4): 1115-1124.
- [14] 李栋梁, 谢金南, 王蕾, 等. 甘肃河东年降水量的周期变化[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 295-303.
- [15] 姚小英, 蒲金涌, 姚茹莘, 等. 甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6242-6248.
- [16] 尹海霞, 张勃, 张建香, 等. 甘肃省河东地区春玉米气候因子及气候生产潜力时空变化[J]. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1504-1510.
- [17] 尹海霞, 张勃, 张建香, 等. 近 50 年来甘肃省河东地区春玉米干旱时空特征分析[J]. 资源科学, 2012, 34(12): 2347-2355.
- [18] 姚小英, 蒲金涌, 姚茹莘, 等. 甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6242-6248.
- [19] 刘明春, 邓振镛, 李巧珍, 等. 甘肃省玉米气候生态适应性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3): 112-117.
- [20] 俸玉端. 华北平原冬小麦生育期降水量、作物参考蒸散及干旱风险分析[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2015.
- [21] 王瑜莎. 气候变化背景下西北地区玉米干旱灾损评估技术研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [22] 黎裕, 王天宇, 刘成, 等. 玉米抗旱品种的筛选指标研究[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(3): 210-215.
- [23] 赵一飞, 张勃, 汪宝龙, 等. 近 54a 来甘肃省河东地区气候时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2012, 29(6): 956-964.