

川西北地区青贮玉米种植气候区划

程明军¹, 王福增², 唐玮琦³, 李 杨⁴, 王 敏⁵,
伍文丹³, 严东海³, 袁淑杰⁶

(1. 西南民族大学青藏高原研究院, 成都 610041; 2. 成都信息工程大学电子工程学院, 成都 610225;

3. 四川省草业技术研究推广中心, 成都 610041; 4. 绵阳师范学院, 绵阳 621000;

5. 四川省甘孜藏族自治州气象局, 四川 康定 626000; 6. 成都信息工程大学大气科学学院, 成都 610225)

摘 要: 本文收集 1991–2020 年川西北地区 32 个国家常规地面观测站气象观测数据, 在分析川西北地区玉米种植区域的气候资源变化趋势的基础上, 结合不同熟期玉米最适种植气候参数, 利用反距离权重法和层次分析法对该地区的早、中、晚熟玉米种植进行农业气候区划。通过层次分析法对 4 种区划因子赋值并计算得到权重向量分别为 0.56、0.26、0.12、0.06, 根据权重向量计算川西北地区不同熟期的玉米种植气候区划数值。泸定区划数值最高, 为 3039.4; 石渠区划数值最低, 为 145.4, 表明泸定一线最适宜玉米种植, 石渠一线最不适宜玉米种植。川西北适宜不同熟期的玉米种植区域主要集中在川西北地区的东部、东南部及中部部分区域。

关键词: 青贮玉米; 区划数值; 活动积温

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Climatic Division of Silage Maize Planting in Northwest Sichuan

CHENG Ming-jun¹, WANG Fu-zeng², TANG Wei-qi³, LI Yang⁴, WANG Min⁵,

WU Wen-dan³, YAN Dong-hai³, YUAN Shu-jie⁶

(1. Institute of Qinghai-Tibetan Plateau, Southwest Minzu University, Chengdu 610041; 2. School of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Engineering, Chengdu 610225; 3. Grassland Technology Research and Extension Center of Sichuan Province, Chengdu 610041; 4. Mianyang Teachers' College, Mianyang 621000; 5. Tibetan Autonomous Prefecture of Garze Sub-administration of Sichuan Meteorological Administration, Kangding 626000; 6. CAS, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: The meteorological observation data were collected from 32 national conventional ground observation stations in northwestern Sichuan from 1991 to 2020. Based on the analysis of the changing trends of climate resources in the maize planting area of northwestern Sichuan, and considering the optimal planting climate parameters of different ripe maize, the agricultural climate regionalization of early, medium and late ripe maize planting in this area was carried out by using the inverse distance weighting method and analytic hierarchy process. The four regionalization factors were assigned and calculated through the analytic hierarchy process and weight vectors were taken as 0.56, 0.26, 0.12 and 0.06, respectively. According to weight vectors, the climate regionalization of the maize planting with different maturity in Northwestern Sichuan were calculated. The Luding regionalization value was the highest at 3039.4, and the Shiqu regionalization value was the lowest at 145.4, indicating that the Luding line is the most suitable for maize planting, while the Shiqu line is the least suitable for maize planting. The suitable maize planting areas of different ripeness in Northwest Sichuan are mainly concentrated in the east, southeast, and central parts of the region.

Key words: Silage maize; Division value; Activity accumulated temperature

录用日期: 2022-11-30

基金项目: 四川优质饲草节粮增效生产技术示范推广(G2023186002L)、西藏农牧区耐高寒优质饲用作物引种评价及高效生产关键技术研究示范(2023YFQ0049)、四川省科技四川饲草创新团队、四川省饲草育种攻关团队

作者简介: 程明军(1987-), 山东莱州人, 博士, 正高级畜牧师, 从事饲草育种及栽培利用技术示范推广。

E-mail: cmj013678@126.com

川西北高原位于青藏高原东南缘,是全国5大牧区和重要的生态功能区之一,草牧业是该区域的支柱产业,是农牧民重要的经济来源。川西北大部分地区气候环境恶劣,导致多数优质高产饲草品种无法在该区域种植,草牧业发展滞后。引进适应该区域气候环境的高产优质饲草,建立人工饲草基地,是保障川西北高原草牧业的可持续发展重要途径^[1]。

青贮玉米具有产草量高、营养价丰富、适口性好、消化吸收率高等特点,若进行青贮发酵,则可最大限度保存营养物质,能够长期保存,是牲畜养殖的重要饲料来源之一^[2]。程明军等^[3]在川西北炉霍县引种评价了25个抗寒、短生育期、高产优质的青贮玉米品种,筛选出最适合炉霍地区3 100 m海拔生长的雅玉158、雅玉2号、玉草3号等8个品种,干草产量达到14.00 t/hm²以上。姚明久等^[4]在道孚县引进5个青贮玉米品种,筛选出最适合该区域种植的玉草3号品种,鲜重产量高达77.81 t/hm²。目前,川西北地区青贮玉米的种植面积和产量正在快速增长,同时,四川也将青贮玉米高原种植作为2022年省级主推技术发布,研究青贮玉米种植利用技术在川西北高原拥有广阔的应用前景和现实意义^[5]。

光照、热量、降水等气候要素发生变化,必然导致农作物生产条件与生产水平发生改变,最终影响作物的生产与品质^[6]。玉米属于C₄作物,其光合生理特征使其可能会招致增温带来的生育期缩短、产量降低等不利影响^[7]。川西北地区地形以山地丘陵为主,地势起伏大,气候条件多样,但由于缺少对川西北气象数据全面地收集和分析,导致川西北地区适合青贮玉米种植的区域整体规划缺乏,农牧民种植青贮玉米还存在一定的盲目性。为合理布局川西北地区不同熟期青贮玉米品种种植区域,本文收集32个国家级常规地面观测站在1991–2020年间采集的川西北地区气象观测数据,通过分析近30年来川

西北地区气候的变化,利用反距离权重法和层次分析法,对川西北地区不同熟期青贮玉米种植区域进行农业气候区划,合理布局川西北地区青贮玉米种植区划,为该区域青贮玉米种植提供参考。

1 研究方法

1.1 资料来源

本研究所用气象资料来源于四川省气象局,主要包括1991–2020年川西北地区32个国家级常规地面观测站(石渠、若尔盖、九寨沟、德格、甘孜、白玉、色达、炉霍、壤塘、道孚、金川、阿坝、马尔康、红原、小金、茂县、松潘、汶川、理县、黑水、巴塘、新龙、理塘、丹巴、雅江、稻城、泸定、康定、得荣、乡城、木里、九龙)逐日日平均气温和降水量,川西北地区坡度来自DEM高程数据(<http://www.gscloud.cn/>)。

1.2 研究方法

1.2.1 活动积温及持续日数

本研究应用5日滑动平均法,计算活动积温及持续日数。

1.2.2 层次分析法

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)计算步骤如下:

(1)构造两两对比重要程度的矩阵 x_i

对 n 个因素(指标)的重要程度进行比较,得到重要程度的赋值 D_{ij} 。 D_{ij} 的取值这里采用7标度,具体划分和含义见表1。

(2)计算特征向量

方根法精度高于和积法,因此本研究采用方根法进行计算得出权重向量。

1.2.3 川西北地区玉米种植气候区划指标

玉米品种熟期可分为极早熟、早熟、中熟和晚熟4种类型。表2为川西北地区不同熟期玉米品种种植气候区划指标^[8–12]。

表1 重要程度的赋值情况 D_{ij}

Table 1 The assignment of importance levels D_{ij}

xi 较 xj 的重要程度 Importance of xi compared to xj	很不重要 Very unimportant	不重要 Unimportant	稍不重要 Slightly unimportant	同等重要 Equally important	稍微重要 Slightly important	明显重要 Obviously important	强烈重要 Strongly important
D_{ij}	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7

1.3 数据处理与分析

分别统计川西北地区32个国家级地面常规气象观测站1991–2020年气象资料、坡度数据,利用

Origin 软件绘制资源时间变化图,利用 ArcGIS10.6 软件中的反距离权重法绘制气候区划图。

表2 玉米种植气候指标
Table 2 Maize of planting climate indicators

区划因子 Zoning factor	适宜区 Suitable area					次适宜区 Sub-suitable area					不适宜区 Unsuitable area				
	极早熟 Extremely early maturity	早熟 Early maturity	中熟 Mid mature	晚熟 Late-maturing	极早熟 Extremely early maturity	早熟 Early maturity	中熟 Mid mature	晚熟 Late-maturing	极早熟 Extremely early maturity	早熟 Early maturity	中熟 Mid mature	晚熟 Late-maturing	极早熟 Extremely early maturity	早熟 Early maturity	中熟 Mid mature
	≥1 857	≥2 064	≥2 385	≥2 912	1 651 ~ 1 857	300 ~ 400	350 ~ 500	350 ~ 800	≤1 651	≤1 949	≤2 155	≤2 683	≤1 651	≤1 949	≤2 155
≥10℃活动积温(℃·d)	≥1 857	≥2 064	≥2 385	≥2 912	1 651 ~ 1 857	300 ~ 400	350 ~ 500	350 ~ 800	≤1 651	≤1 949	≤2 155	≤2 683	≤1 651	≤1 949	≤2 155
4 ~ 11月降水量(mm)	≥350	≥400	≥500	≥800	300 ~ 350	300 ~ 400	350 ~ 500	350 ~ 800	≤300	≤300	≤350	≤350	≤300	≤300	≤350
活动积温≥10℃持续日数(d)	≥81	≥94	≥117	≥127	72 ~ 81	81 ~ 94	94 ~ 117	117 ~ 127	≤72	≤81	≤94	≤117	≤72	≤81	≤94
坡度(°)	≤15	≤15	≤15	≤15	15 ~ 25	15 ~ 25	15 ~ 25	15 ~ 25	≥25	≥25	≥25	≥25	≥25	≥25	≥25

2 川西北地区玉米种植的农业气候资源变化分析

2.1 热量资源分析

从图1可以看出,川西北地区1991–2020年4~11月的平均气温在 7.68°C ~ 10.11°C ,最高值出现在2019年,最低值出现在1992年。从年代变化来看,川西北地区30年平均气温为 8.93°C ,1990年代略低于平均值,2000年代与平均值持平,2010年代明显高于平均值。近30年平均气温呈显著增温的趋势,

增温率为每10年增加 0.55°C 。

川西北地区1991–2020年4~11月 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温在 $2\,440.42^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ~ $3\,007.13^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,最高值出现在2015年,最低值出现在1997年。从年代变化来看,川西北地区30年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温平均值为 $2\,747.12^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,1990年代低于平均值,2000年代与平均值相差不大,2010年代高于平均值。近30年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温呈显著增温的趋势,增温率为每年增加 $13.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

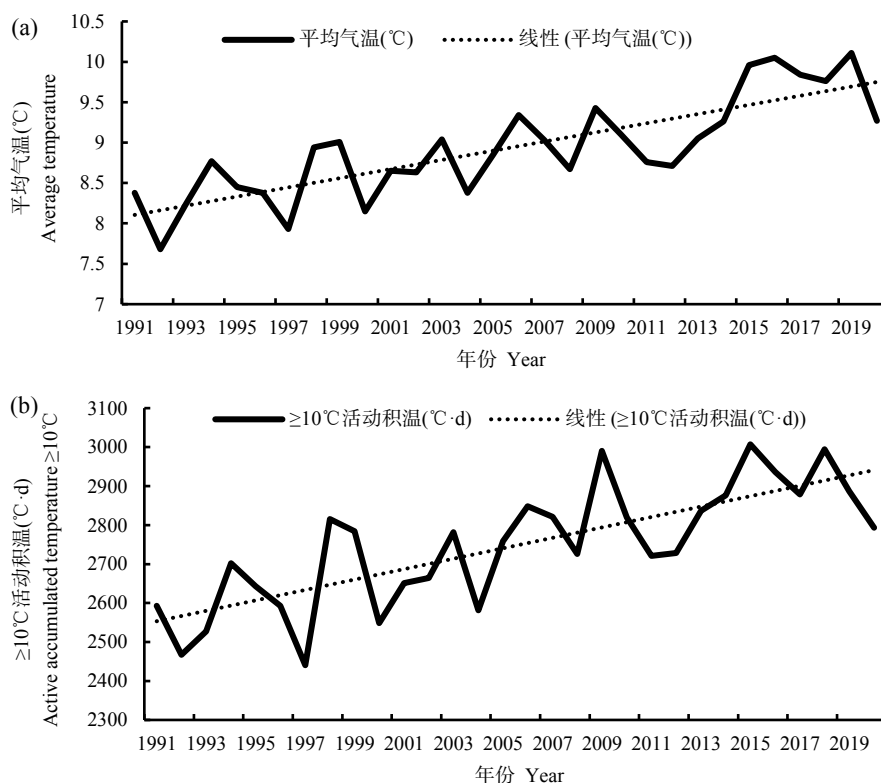


图1 川西北地区热量资源时间变化

Fig.1 Time variation map of heat resources in Northwest Sichuan

2.2 降水资源分析

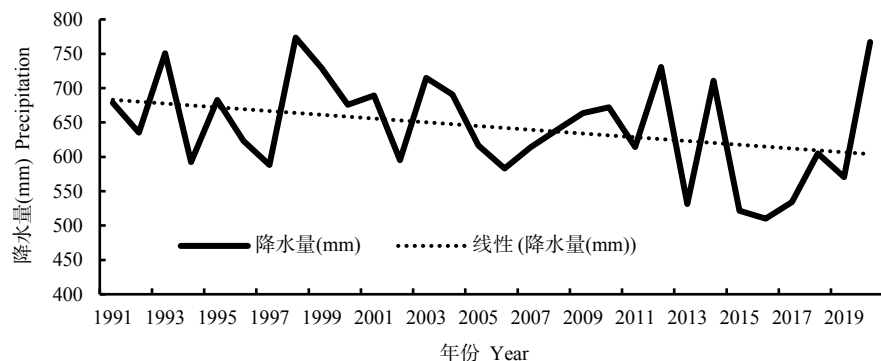


图2 川西北地区降水资源时间变化

Fig.2 Time variation map of precipitation resources in Northwest Sichuan

从图2可以看出,川西北地区1991–2020年4~11月累积降水量平均值在510.10~773.57 mm,最高值出现在1998年,最低值出现在2016年。从年代变化来看,川西北地区30年降水量平均值为643.50 mm,1990年代明显高于平均值,2000年代与平均值相差不大,2010年代低于平均值。近30年累积降水量呈显著降低的趋势,减少速率为每年2.73 mm。

2.3 活动积温≥10℃持续日数分析

从图3可以看出,川西北地区1991–2020年4~11月活动积温≥10℃持续日数平均值在156~190 d,最高值出现在2015年,最低值出现在1997年。从年代变化来看,川西北地区30年活动积温≥10℃持续日数平均值为174 d,1990年代低于平均值,2000年代与平均值相差不大,2010年代高于平均值。近30年活动积温≥10℃持续日数呈显著增加的趋势,增加速率为每年0.68 d。

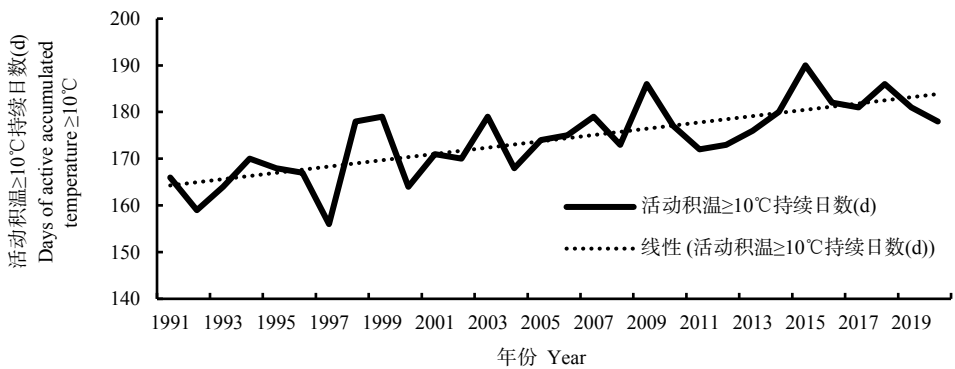


图3 川西北地区活动积温≥10℃持续日数时间变化

Fig.3 Time variation map of days of active accumulated temperature ≥10℃ in Northwest Sichuan

3 川西北地区玉米气候区划及实际面积

根据层次分析法对≥10℃活动积温、4~11月降水量、活动积温≥10℃持续日数和坡度4种区划因子进行赋值(表3),计算得到川西北地区气候区划因子

权重向量。

根据权重向量,计算川西北地区不同熟期的玉米种植气候区划数值,ArcGIS栅格重分类和栅格转面得到川西高原玉米气候区划矢量图,计算得到各品种各区划的实际面积(表4)。

表3 川西北地区四种气候区划因子赋值及权重向量

Table 3 Assignment and weight vector of four climate division factors in Northwest Sichuan

区划因子 Zoning factor	≥10℃活动积温(℃) Active accumulated temperature ≥10℃	4~11月降水量(mm) Precipitation from April to November	活动积温≥10℃持续日数(d) Days of active accumulated temperature ≥10℃	坡度(°) Slope
≥10℃活动积温(℃·d)	1	1/3	1/5	1/7
4~11月降水量(mm)	3	1	1/3	1/5
活动积温≥10℃持续日数(d)	5	3	1	1/3
坡度(°)	7	5	3	1
权重向量	0.56	0.26	0.12	0.06

表4 川西北地区玉米种植气候指标区划实际面积

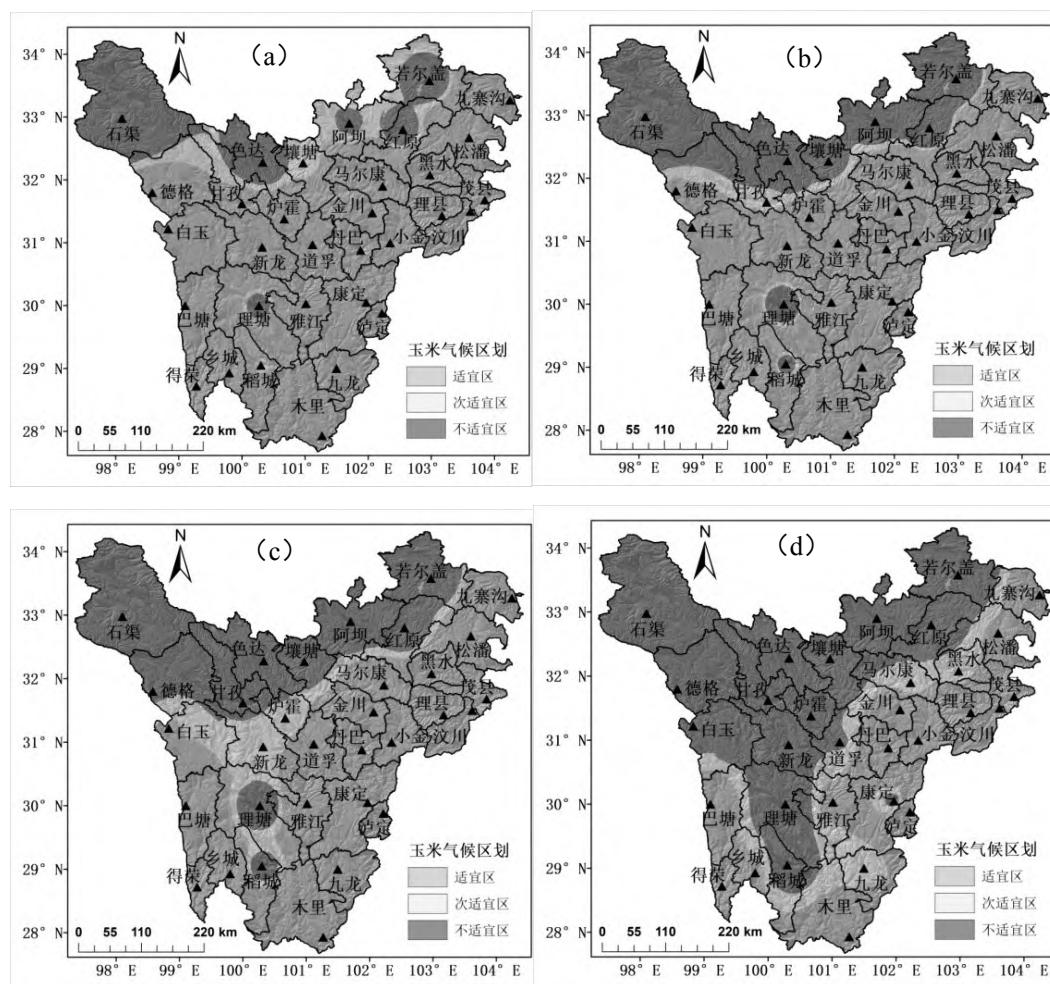
Table 4 The actual area of maize planting climate index zoning in Northwest Sichuan

10⁴ km²

熟期 Ripeness	适宜区 Suitable area	次适宜区 Sub-suitable area	不适宜区 Unsuitable area
极早熟	18.18	2.18	4.30
早熟	16.67	1.08	6.92
中熟	13.15	2.86	8.66
晚熟	7.94	3.60	13.12

图4表明,川西北地区绝大部分地区均适宜种植玉米极早熟品种,位于泸定、得荣和丹巴一线;少部分地区为次适宜区,位于稻城、壤塘一线;少部分地区不适宜种植极早熟品种的玉米,位于阿坝、理塘、红原、若尔盖、色达和石渠六地。适宜区实际面

积为 $18.18 \times 10^4 \text{ km}^2$,占川西南地区总面积的73.7%;次适宜区面积为 $2.18 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总面积的8.8%;不适宜区面积为 $4.30 \times 10^4 \text{ km}^2$,占川西南地区总面积的17.5%。



注:(a)极早熟品种;(b)早熟品种;(c)中熟品种;(d)晚熟品种。

Note: (a) Extremely early maturity variety; (b) Early maturity variety; (c) Middle maturity variety; (d) Late maturity variety.

图4 川西北地区玉米气候区划图

Fig.4 Climatic zoning map of maize in Northwest Sichuan

川西北地区大部分地区均适宜种植玉米早熟品种,位于木里、汶川和九寨沟一线;少部分地区为次适宜区,位于甘孜一线;少部分地区不适宜种植早熟品种的玉米,位于西北部,即稻城、壤塘和阿坝一带。适宜区实际面积为 $16.67 \times 10^4 \text{ km}^2$,占川西南地区总面积的67.6%;次适宜区面积为 $1.08 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总面积的4.4%;不适宜区面积为 $6.92 \times 10^4 \text{ km}^2$,占川西南地区总面积的28.0%。

川西北地区部分地区适宜种植玉米中熟品种,位于巴塘、金川和小金一线;部分地区为次适宜区,位于康定、新龙和炉霍一线;大部分地区不适宜种植

中熟品种的玉米,位于西北部,即德格、甘孜、稻城一带。适宜区实际面积为 $13.15 \times 10^4 \text{ km}^2$,占川西南地区总面积的53.3%;次适宜区面积为 $2.86 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总面积的11.6%;不适宜区面积为 $8.66 \times 10^4 \text{ km}^2$,占川西南地区总面积的35.1%。

川西北地区少部分地区适宜种植玉米晚熟品种,位于理县、茂县和雅江一线;部分地区为次适宜区,位于黑水、九龙和马尔康一线;绝大部分地区不适宜种植晚熟品种的玉米,位于西北部,即道孚、白玉、康定、新龙、炉霍一带。适宜区实际面积为 $7.94 \times 10^4 \text{ km}^2$,占川西南地区总面积的32.2%;次适宜区面

积为 $3.60 \times 10^4 \text{ km}^2$; 不适宜区面积为 $13.12 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占川西南地区总面积的 53.2%。

4 结论与讨论

饲草是草食畜牧业发展的基础^[13]。随着川西北草食畜牧业的发展, 天然草地退化形势严峻, 生态恢复和人工草地建植亟待进行^[14]。玉米是目前世界上种植面积最大的农作物, 植株高大、叶片茂盛、生物产量高、茎叶富含糖、蛋白、优质纤维以及微量元素, 是牛羊等草食牲畜最佳的饲料, 具有“粮、经、饲”三元价值^[15, 16]。引种青贮玉米品种, 保障草原牧区饲草供给, 能够推进牧区草原利用方式转变, 缓解草原载畜压力, 修复草地退化沙化, 巩固草原保护建设成果, 支撑草原绿色循环可持续发展。

玉米喜温, 不耐低温, 全生育期对外界环境有一定要求。张秋英等^[17]研究认为, 热量多且雨量充沛的年份有利于玉米产量潜力的挖掘。研究发现, 玉米种子在 $20.0^\circ\text{C} \sim 35.0^\circ\text{C}$ 发芽指数和活力指数最高; 当温度低于 5°C 种子无法萌出, 影响玉米产量^[18-20]。张元红等^[21]研究发现, 干旱年型玉米产量性状显著低于平水年与丰水年, 且平水年和丰水年玉米产量稳定性更高。近 30 年来, 川西北地区玉米种植区域玉米种植农业气候资源变化特点为平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温均呈显著增加趋势, 平均气温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的日数呈显著增加趋势, 以玉米生长期累积降水量为表征的降水资源呈显著降低趋势, 但降水量最低区域仍然能够满足玉米生长所需。从总体来说, 近年来川西北地区整体热量资源和降水资源条件适宜, 为川西北种植青贮玉米提供了条件, 对延长青贮玉米生长季, 扩大青贮玉米种植区域, 调整不同熟期青贮玉米种植, 进一步提高青贮玉米产量, 进而缓解川西北草原载畜压力, 促进草牧业的发展提供了可能。

气候变化对作物种植制度、生产结构和区域布局都有较大的影响^[22]。本研究利用 1991–2020 年川西北地区 32 个国家常规地面观测站逐日日平均气温和降水量以及川西北地区坡度, 根据对玉米种植气候区划具有影响的 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温、4~11 月降水量、活动积温 $\geq 10^\circ\text{C}$ 持续日数和坡度 4 种区划因子对川西北地区早、中、晚熟玉米进行农业气候区划。区划结果表明, 适宜玉米种植区域主要集中在川西北地区东北部、中东部、西南部。其中, 川西北地区绝大部分地区均适宜种植玉米极早熟品种, 位于泸定、得荣和丹巴一线, 实际面积为 $18.18 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占川西南地区总面积的 73.7%; 大部分地区均适宜种植玉米早熟品种, 位于木里、汶川和九寨沟一线, 实

际面积为 $16.67 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占川西南地区总面积的 67.6%; 部分地区适宜种植玉米中熟品种, 位于巴塘、金川和小金一线, 实际面积为 $13.15 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占川西南地区总面积的 53.3%; 少部分地区适宜种植玉米晚熟品种, 位于理县、茂县和雅江一线, 实际面积为 $7.94 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占川西南地区总面积的 32.2%。

农业气候区划是根据农业对气候的特定要求, 做出能够阐明气候与农业生产关系的一种区域空间上的分类^[23], 对于指导农业生产、提高农业气候资源的有效利用率以及指导农业合理布局等方面有着很强的现实意义和指导意义^[24]。在川西北地区开展农业气候区划有助于更好地摸清气候变化对青贮玉米生产的影响程度, 科学规划早、中、晚熟玉米种植区域, 有助于明确青贮玉米引种目标、降低引种风险, 优化青贮玉米种植品种, 带动草牧业增产增效、农牧民致富增收, 促进畜牧产业的稳定发展。

川西北气温承逐年上升趋势, 降水量承逐年下降趋势, 逐年上升的温度为青贮玉米种植提供了适宜的条件。适宜不同熟期的玉米种植区域主要集中在川西北地区的东部、东南部及中部部分地方, 其中泸定一线最适宜玉米种植, 石渠一线最不宜玉米种植。整体而言, 随着向川西北地区的西北部接近, 更适宜种植熟期较早的玉米品种。

参考文献:

- [1] 程明军, 侯众, 杨世荣, 等. 浅析高原藏区建立青贮饲料生产基地的意义[J]. 四川畜牧兽医, 2019, 46(5): 13–15.
CHENG M J, HOU Z, YANG S R, et al. Analysis on the construction of silage production base in Plateau Tibetan area[J]. Sichuan Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2019, 46(5): 13–15. (in Chinese)
- [2] 苏天增, 侯乐新, 张玉强, 等. 青贮玉米高产群体生理特性及其对密度的响应[J]. 华北农学报, 2019, 34(2): 132–137.
SU T Z, HOU L X, ZHANG Y Q, et al. Physiological characteristics of high-yield silage maize and its response to density[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2019, 34(2): 132–137. (in Chinese)
- [3] 程明军, 刘志华, 严东海, 等. 四川高原藏区不同播种方式下 25 个饲用型玉米品种的评价与筛选[J]. 草原与草坪, 2020, 40(1): 92–99.
CHENG M J, LIU Z H, YAN D H, et al. Evaluation and screening of 25 forage maize varieties under different sowing methods in Tibetan Plateau of Sichuan province[J]. Grassland and Lawn, 2020, 40(1): 92–99. (in Chinese)
- [4] 姚明久, 崔阔澍, 唐玮琦, 等. 川西北高原不同种植密度对青贮玉米生物产量及部分农艺性状的影响[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2022, 48(1): 1–7.
YAO M J, CUI K S, TANG W Q, et al. Effects of different planting densities on biological yield and some agronomic traits of silage maize in northwest Sichuan Plateau[J]. Journal of Southwest Univer-

- sity for Nationalities(Natural Science Edition), 202, 48(1): 1-7. (in Chinese)
- [5] 何佳蕾,张 瑜,陈淑娟,等.不同青贮玉米品种在四川农区的筛选研究[J].草学,2021(3):21-27.
HE J L, ZHANG Y, CHEN S X, et al. Screening of different silage maize varieties in Sichuan agricultural area[J]. Grassland Science, 2021(3): 21-27. (in Chinese)
- [6] 初 征,郭建平,赵俊芳.东北地区未来气候变化对农业气候资源的影响[J].地理学报,2017,72(7):1248-1260.
CHU Z, GUO J P, ZHAO J F. Impacts of future climate change on agricultural climate resources in Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(7): 1248-1260. (in Chinese)
- [7] 金之庆,葛道阔.评价全球气候变化对我国玉米生产的可能影响[J].作物学报,1996(5):513.
JIN Z Q, GE D K. Evaluation of possible effects of global climate change on maize production in China[J]. Acta Agron Sin., 1996(5): 513. (in Chinese)
- [8] 韩湘玲,孔扬庄,赵明斋.华北平原地区玉米生产的气候适应性分析[J].天津农业科学,1981(2):17-24.
HAN X L, KONG Y Z, ZHAO M Z. Climate adaptation analysis of maize production in North China Plain[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 1981(2): 17-24. (in Chinese)
- [9] 李青松,方 华,郭玉伟,等.春播玉米品种熟期类型划分研究[J].河北农业科学,2010,14(9):8-11,25.
LI Q S, FANG H, GUO Y W, et al. Study on classification of mature Stage of spring sowing maize varieties[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2010, 14(9): 8-11, 25. (in Chinese)
- [10] 李若帆,申丽霞,兰印超.不同覆膜处理对土壤水分温度及春玉米产量的影响[J].中国农学通报,2014,30(6):209-214.
LI R F, SHEN L X, LAN Y C. Effects of different film mulching treatments on soil moisture temperature and spring maize yield[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(6): 209-214. (in Chinese)
- [11] 郭满平,刘生瑞,白宏鹏.不同覆膜栽培对玉米土壤水分温度及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(2):50-55.
GUO M P, LIU S R, BAI H P. Effects of different film mulching cultivation on soil water temperature and yield of maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(2): 50-55. (in Chinese)
- [12] 刘兴焱,王 男,谭福忠,等.玉米新品种克单12的特征特性及栽培技术[J].作物杂志,2005(3):52.
LIU X Y, WANG N, TAN F Z, et al. Characteristics and cultivation techniques of new maize variety Kedan 12[J]. Crops, 2005(3): 52. (in Chinese)
- [13] 钟 瑾,倪奎奎,杨军香,等.我国饲用草产品加工技术的现状及展望[J].科学通报,2018,63(17):1677-1685.
ZHONG J, NI K K, YANG J X, et al. Current situation and prospect of forage products processing technology in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2018, 63(17): 1677-1685. (in Chinese)
- [14] 邹君洪,刘 琳,唐川江,等.川西北天然草地野生饲用植物资源及饲用价值评价[J].草地学报,2020,28(2):461-467.
ZOU J H, LIU L, TANG C J, et al. Evaluation of wild forage plant resources and forage value in natural grassland of Northwest Sichuan[J]. Acta Agrestia Sinica, 2020, 28(2): 461-467. (in Chinese)
- [15] 张劲柏,李仁昆,高 飞,等.青贮玉米的经济位势[J].北京农业,2003(2):32.
ZHANG J B, LI R K, GAO F, et al. Economic potential of silage maize[J]. Beijing Agriculture, 2003(2): 32. (in Chinese)
- [16] 张瑞霞,刘景辉,牛 敏,等.不同收获期青贮玉米品种营养成分的积累与分配[J].玉米科学,2006,14(6):108-112,116.
ZHANG R X, LIU J H, NIU M, et al. Accumulation and distribution of nutrients in silage maize varieties at different harvest stages [J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(6): 108-112, 116. (in Chinese)
- [17] 张秋英,Herbert Stephen J, Hashemi A M. 美国东北部早熟和晚熟玉米杂交种年际间产量稳定性[J].农业系统科学与综合研究,2007,23(2):175-177,182.
ZHANG Q Y, HERBERT S J, HASHEMI A M. Interannual yield stability of early maturing and late maturing maize hybrids in north-eastern United States[J]. System Sciences and Integrated Research in Agriculture, 2007, 23(2): 175-177, 182. (in Chinese)
- [18] 谢 皓.玉米种子发芽与温度相关性的研究[J].种子,1998(2):14-16.
XIE H. Study on correlation between germination and temperature of maize seed[J]. Seed, 1998(2): 14-16. (in Chinese)
- [19] 张少斌,王 晶,张美华,等.低温冷害对辽宁主栽玉米品种萌发特性的影响[J].湖北农业科学,2016(1):34-36.
ZHANG S B, WANG J, ZHANG M H, et al. Effects of low temperature chilling injury on germination characteristics of main maize varieties in Liaoning province[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016 (1): 34-36. (in Chinese)
- [20] 郝 楠,王延波,李月明.温度对玉米种子萌发特性的影响[J].玉米科学,2013(4):59-63.
HAO N, WANG Y B, LI Y M. Effects of temperature on seed germination characteristics of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2013 (4): 59-63. (in Chinese)
- [21] 张元红,王 瑞,徐宗贵,等.不同降水年型下旱地玉米产量性状对种植密度和品种的影响[J].农业工程学报,2021,37(22):136-144.
ZHANG Y H, WANG R, XU Z G, et al. Response of yield traits to planting density and variety of maize in dryland under different precipitation year types[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(22): 136-144. (in Chinese)
- [22] 李祎君,王春乙.气候变化对我国农作物种植结构的影响[J].气候变化研究进展,2010,6(2):123-129.
LI Y J, WANG C Y. Impacts of climate change on the cropping structure of crops in China[J]. Advances in Climate Change Research, 2010, 6(2): 123-129. (in Chinese)
- [23] 李世奎.中国农业气候区划研究[J].中国农业资源与区划,1998(3):49-52.
LI S K. Study on regionalization of agricultural climate in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 1998(3): 49-52. (in Chinese)
- [24] 郑春雨.未来气候情景下农业气候生产潜力与评价区划方法研究[D].南京:南京信息工程大学,2009.

(责任编辑:栾天宇)