

西藏日喀则地区马铃薯气候适宜度模型 分析及其时空变化特征研究

珠杰桑布¹, 张存杰², 王兴³, 白玛德吉¹, 尼玛拉姆¹

(1. 西藏自治区南木林县气象局, 西藏 日喀则 857000; 2. 国家气候中心, 北京 100089;

3. 西藏自治区气象灾害防御技术中心, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 基于日喀则地区7个国家气象站1980—2021年逐日气象数据, 分析构建了高原马铃薯气温(T)、光照(S)、水分(W)、气候(C)适宜度评价模型并对其时空变化特征进行分析, 结果发现: 近42年日喀则地区 S 平均值为0.82, 呈逐年弱下降趋势, T 、 W 、 C 适宜度平均值分别为0.79、0.64、0.61, 均呈逐年上升趋势; 马铃薯全生育期的光热资源都在最合理区域(S 、 $T \geq 0.7$), 满足了其长发育需求。 W 在播种~出苗期($W=0.62$)、开花~成熟期($W=0.44$)呈现较低水平, 是制约日喀则地区马铃薯生长发育的最主要因素; T 、 S 空间分布较均匀, 且呈现自西向东、自南北向中递增趋势, W 空间分布不均匀。桑珠孜区—南木林县一带地区为马铃薯综合气候适宜度高值区($C>0.6$), 适宜大力发展马铃薯产业。由本文建立的日尺度气候适宜度评价模型得出的年际变化和区域特征结果与实际情况比较一致, 为了解气候变化下日喀则马铃薯生长发育适宜度的时空变化提供依据。

关键词: 马铃薯; 气候适宜度; 时空变化; 模型; 日喀则地区

中图分类号: S162.3; S532 **文献标志码:** A

Analysis of potato climate suitability model and its temporal and spatial variation characteristics in Shigatse, Tibet

ZHUJIE Sangbu¹, ZHANG Cunjie², WANG Xing³, BAI Madeji¹, Nimalamu¹

(1. Meteorological Bureau of Namulin County, Shigatse, Tibet 857000, China;

2. National Climate Center, Beijing 100089, China;

3. Meteorological Disaster Prevention Technology Center of Tibet Autonomous Region, Lhasa, Tibet 850000, China)

Abstract: Based on the daily meteorological data of seven national meteorological stations in Shigatse from 1980 to 2021, the suitability evaluation models of temperature (T), light (S), water (W) and climate (C) of potato in the plateau were analyzed and constructed, and their spatial and temporal variation characteristics were analyzed. The results showed that the average value of S in Shigatse in recent 42 years was 0.82, showing a weak downward trend year by year. The average values of T , W and C suitability were 0.79, 0.64 and 0.61, respectively, showing an upward trend year by year; The light and heat resources in the whole growth period of potato were in the most reasonable area (S , $T \geq 0.7$), meeting the growth and development needs of potato. W was at a low level from sowing to emergence ($W=0.62$) and from flowering to maturity ($W=0.44$), which was the main factor restricting the growth and development of potato in Shigatse area. The spatial distribution of T and S were relatively uniform and presented an increasing trend from west to east, from south to middle and from north to middle, while the spatial distribution of W was uneven. Sangzhu District in Namulin county was a high value area of potato comprehensive climate suitability ($C>0.6$) and suitable for vigorously developing potato industry. The interannual change and regional characteristics obtained from the daily scale climate suitability evaluation model established in this paper are consistent with the actual situation, providing a basis for understanding the temporal and spatial changes of po-

tato growth and development suitability in Shigatse under climate change.

Keywords: potato; climate suitability; temporal and spatial changes; model; Shigatse region

近年来,马铃薯在西藏自治区日喀则地区的种植面积、总产和单产逐年增加,截止 2017 年,日喀则地区马铃薯种植面积达 9 920 hm²,总产量达 26.94 万 t,占西藏全区马铃薯种植面积和总产量的 60% 以上^[1]。日喀则地区是西藏的马铃薯主产区^[2],对该地区马铃薯的相关研究以地方资源调查、农业产业化、品种甄选及引进、筛选试验等为主要方向^[2-5],而马铃薯各生育期关键气象因子对其生长、发育等方面的影响鲜有报道,尤其对马铃薯气候适宜度模型建立方面的研究更少,与国内主流研究差距较大。在日喀则地区农业产业化、品种甄选和管理较为稳定的形势下,本文着重借助国内外最新研究成果“马铃薯气候适宜度评价模型分析”^[7-15]以及基于 GIS 气候精细化区划^[15-16]等技术支持,遵循引进再创新和指标参数本地化的思路,以西藏日喀则地区为研究对象,拟在建立高原马铃薯各生育期适宜气象指标的基础上,通过综合光、温、水对高原马铃薯的共同影响,计算出当地气温适宜度、日照适宜度和水分适宜度,进而建立高原马铃薯气候适宜度评价模型,并对高原马铃薯种植区域近 42 年来年际变化、空间分布、不同生育期阶段所呈现的气候适宜度数据进行分析,提出针对性的决策建议,以期为科学指导西藏自治区马铃薯生产、产业体系建设、产田改良等提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

日喀则地区地处西藏自治区西南部(82°00′~90°20′E,27°23′~31°49′N),平均海拔 4 200 m,但各地海拔落差较大,呈北高南低、西高东低态势。该地区属于高原温带半干旱季风气候,年平均气温 6.0℃,年平均日照时数约 3 000 h,年平均降水 450 mm,并且分布不均,雨季集中在每年 7—9 月份,属于较为典型的旱作农业区域。

1.2 资料来源

选取马铃薯主产区 6 个国家基本(准)观测站、1 个国家气象观测站 1980—2021 年马铃薯播种~成熟期(4 月 20 日—10 月 20 日)的逐日最高气温、最低气温、平均气温、降水量、日照时数、相对湿度、平均风速数据及风标高度、经纬度、海拔等要素,以及西藏全境行政矢量边界(1:10000)、DEM 数字高程(1:50000)等基本的地形资源数据,通过 GIS 将日

喀则地区从全区地理信息数据中裁剪出来,作为区域规划的基本资料(图 1,见 190 页)。

1.3 研究方法

1.3.1 气温适宜度 最新研究表明^[8-14],利用 Beta 函数可以很好地揭示作物生长与气温的关系,因此本文气温适宜度计算采用公式如下:

$$T = \left[\frac{(t - t_l)(t_h - t)}{(t_0 - t_l)(t_h - t_0)^B} \right]^B \tag{1}$$

$$B = \frac{(t_h - t_0)}{(t_0 - t_l)} \tag{2}$$

其中, T 为马铃薯某个生育期的气温适宜度, t 为马铃薯某个发育期实际的平均气温, t_l 、 t_h 和 t_0 分别为马铃薯某个发育期的下限气温、上限气温和适宜气温。根据日喀则市农科所提供的日喀则地区马铃薯三基点 10 cm 地温(表 1),通过对 1980—2021 年日喀则地区 10 cm 地温和平均气温逐日资料进行统计学回归,建立地气温关系模型(图 2)得出回归方程:

$$y = 0.8292x - 1.2733, \quad R^2 = 1 \tag{3}$$

式中, y 为平均气温, x 为 10 cm 地温,以此作为依据,分析拟合得出了日喀则地区马铃薯各发育期三基点气温,用于计算气温适宜度。

表 1 日喀则地区马铃薯不同生育期内三基点地温/℃

Table 1 Three fundamental points of ground temperatures at different growth stages of potatoes in Shigaze

生育期 Growth stage	下限地温 Lower	上限地温 Upper	最适宜地温 Optimum
播种~出苗 Seeding~Emergence	2	29	17
出苗~开花 Emergence~Flowering	7	38	19
开花~终花 Flowering~Final flowering	7	38	19
终花~成熟 Final flowering~Ripening	2	29	17

1.3.2 日照适宜度 将日照百分率达 70% 的日照时数作为标准,根据马树庆^[6]的方法,研究马铃薯的日照适宜度,计算公式如下:

$$S = \begin{cases} \frac{s}{s_0} & s < s_0 \\ 1 & s \geq s_0 \end{cases} \tag{4}$$

式中, S 为马铃薯某生育期日照适宜度, s 为各生育期的实际日照时数(h), s_0 为日照百分率为 70% 的日照时数(h)。

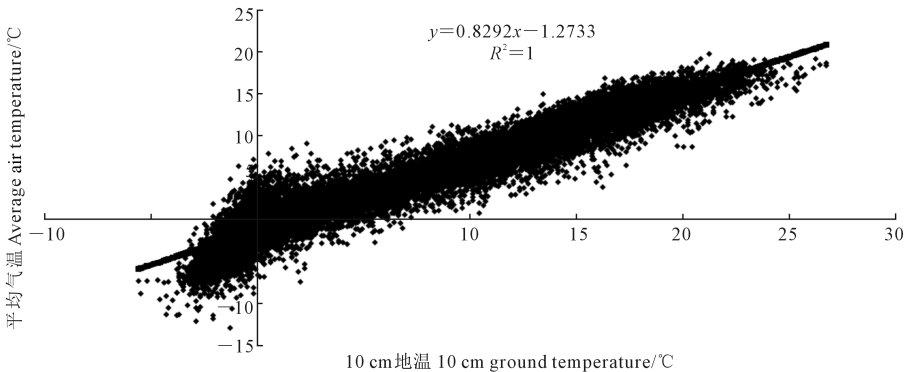


图 2 1980—2021 年日喀则地区马铃薯生育期 10 cm 地温和平均气温拟合

Fig.2 Fitting of ground temperature at 10 cm and average air temperature during potato growth period in Shigaze from 1980 to 2021

1.3.3 水分适宜度 用日喀则地区马铃薯的理论需水量作为衡量水分最适宜标准,采用郭伟等^[17]和陈玉明等^[18]研究方法计算马铃薯的水分适宜度,公式如下:

$$W = \begin{cases} 1 - \frac{|\Delta CWDI|}{ET_c} & R > ET_c \\ 1 & R \geq ET_c \end{cases} \quad (5)$$

$$CWDI = r - ET_c \quad (6)$$

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (7)$$

式中, W 为马铃薯某生育期水分适宜度, r 、 ET_c 、 $CWDI$ 、 ET_0 则分别为对应时间段的降水量、马铃薯需水量、马铃薯田间水分亏缺值和作物潜在蒸散量, K_c 为马铃薯不同生育期的作物系数,本文根据王彦平等、连彩云等研究成果^[12,19] 结合了FAO确定的马铃薯的作物系数 K_c 值,制定日喀则地区马铃薯作物系数值如表 2,潜在蒸散量 ET_0 采用 Penman - Monteith 公式计算得出。

1.3.4 气候适宜度 在建立单一的气温、水分、日照适宜度评价模型后,利用赵峰等^[13]研究方法,得出马铃薯综合气候适宜度模型,计算公式如下:

$$C = \sqrt[3]{T \times W \times S} \quad (7)$$

式中, C 为马铃薯某生育期的综合气候适宜度, T 、 W 、 S 分别为气温、水分、日照适宜度。

2 马铃薯气候适宜度的时空变化特征

2.1 马铃薯各气候适宜度年际变化特征

图 3 为 1980—2021 年日喀则地区马铃薯全生育期各气候因素适宜度年际变化,由图 3 可知,马铃薯全生育期气温适宜度为 0.69 (1986 年) ~ 0.89 (1998 年),日照适宜度为 0.77 (2000 年) ~ 0.91 (1982 年),水分适宜度为 0.47 (1982 年) ~ 0.77 (2016 年),综合气候适宜度为 0.52 (1992 年) ~ 0.72

表 2 日喀则地区马铃薯不同生育期作物系数 K_c

Table 2 Crop coefficients of potato at different growth stages in Shigatse area

生育期 Growth stage	具体时段 Time period	作物系数 K_c Crop coefficient
播种~出苗 Seeding~Emergence	4月下旬—6月上旬 Late April~Early June	0.19
出苗~开花 Emergence~Flowering	6月中旬—7月上旬 Middle June~Early July	0.42
开花~终花 Flowering~Final flowering	7月中旬—8月上旬 Middle July~Early August	0.87
终花~成熟 Final flowering~Ripening	8月中旬—10月中旬 Middle August~Middle October	0.75

(2016 年),近 42 年各气候要素适宜度年际间震荡显著,总体变化趋势较明显,决定系数 R^2 均未通过显著性试验,除了日照适宜度呈弱下降趋势外 $[-0.009 \cdot (10a)^{-1}]$,其余均呈上升趋势,且上升速率不同,水分适宜度上升速率最快,为 $0.032 \cdot (10a)^{-1}$,气温适宜度较慢,为 $0.017 \cdot (10a)^{-1}$ 。可以看出,在日喀则地区水热条件是影响马铃薯适宜度的主要因子,日照条件虽呈现弱下降趋势但总体充足。同时还可以看出,综合气候适宜度、水分适宜度最高值年份同为 2016 年,充分反映了水分适宜度的决定性作用。从 1980 年起以 10 a 为周期分析各适宜度平均值的变化态势,发现气温适宜度呈阶梯式上升,1980 年代最低,在近 10 年处最高,近 42 年处在最适宜范畴;日照适宜度 1980 年代最高,此后呈不断降低趋势,近 20 年下降趋势较为平稳,近 42 年仍处在最适宜范畴;水分适宜度 1980 年代最低,此后缓慢上升,至 2000 年代最高,并处在适宜范畴;综合适宜度 1980—1990 年代为低值期,此后升高至 2000 年代最高,并稳定处在适宜范畴。各适宜度的各类气候变化系数见表 3,由表 3 可知,水分、综合气候适宜度日标准差分别达 0.4162、0.3218,变

异系数达 0.6520、0.5272,说明两者数据离散程度较大,不稳定性较高。相比之下,气温、日照适宜度数据变化程度较小、稳定性较好。综合来看,日喀则地区马铃薯的整个生育期内光热资源基本都在最适宜范畴,能够适应马铃薯生长与发育所需。由此得出,水分是马铃薯生长发育的重要影响因子,年际间波动性大,且近 42 年适宜度都较低,水分条件直接决定综合气候适宜度的高低。

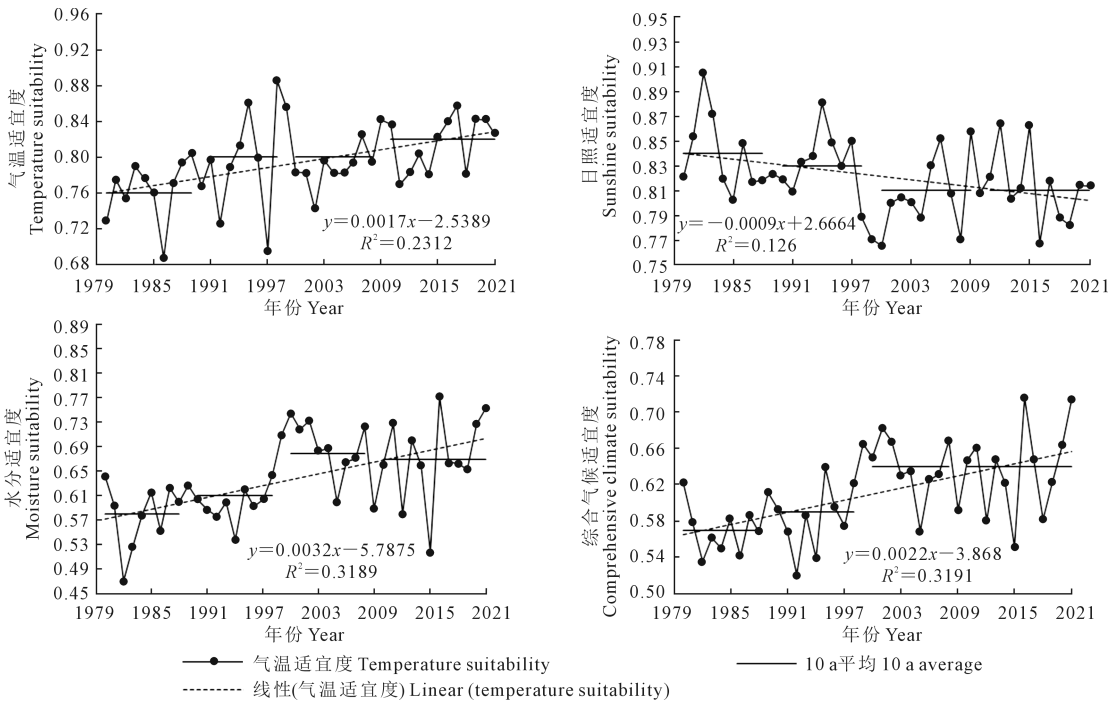


图 3 1980—2021 年日喀则地区马铃薯全生育期各气候因素适宜度年际变化
Fig.3 Interannual change of suitability of various climatic factors during the whole growth period of potato in Shigatse area from 1980 to 2021

表 3 1980—2021 年日喀则地区马铃薯各气候因素适宜度的年际气候倾向率、日标准差和日变异系数				
Table 3 Interannual climate tendency rate, daily standard deviation and daily variation coefficient of suitability of potato climate factors in Shigatse from 1980 to 2021				
适宜度 Suitability	倾向率 (10a) ⁻¹ Tendency rate	R ²	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
气温 Temperature	0.017	0.0380	0.2530	0.3187
日照 Sunshine	-0.009	0.4118	0.1937	0.2354
水分 Moisture	0.032	0.0898	0.4162	0.6520
综合气候 Comprehensive climate	0.022	0.0292	0.3218	0.5272

注:表中加粗部分为变化趋势不一致、变率较大的数值。
Note: The bold part in the table is the value with inconsistent change trend and large change rate.

2.2 马铃薯不同生育阶段气候适宜度
图 4 为 1980—2021 年日喀则地区 4 月下旬至 10 月中旬(全生育期)各气候适宜度的 42 a 平均值变化趋势。由图 4 可知,气温、水分适宜度在马铃薯全生育期呈现“低—高—低”而日照适宜度呈现“高—低—高”的趋势。水分适宜度、气温适宜度与综合气候适宜度变化趋势呈现高度契合,两者综合相关系数分别为 0.8782(水分-综合气候)、0.8934

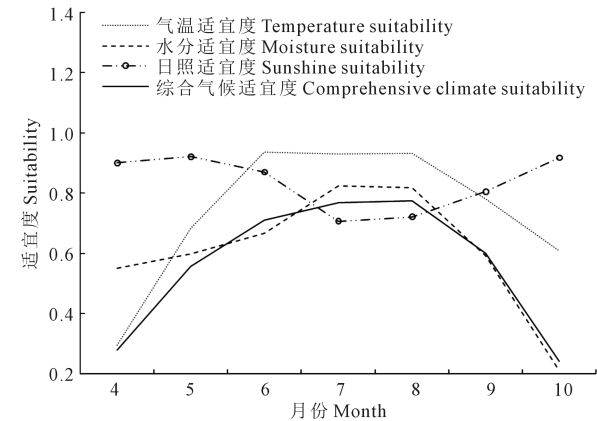


图 4 1980—2021 年日喀则地区马铃薯生育期各气候因素适宜度平均值变化趋势
Fig.4 Variation trend of average value of climatic suitability during potato growth period in Shigatse area from 1980 to 2021

(气温-综合气候),表现为高度相关(0.8~1.0)。可以看出,水分、气温是主导综合气候适宜度的重要因子。7月初至8月下旬综合气候适宜度达到最高,尽管在此期间日照适宜度处于下降期。

依据西藏日喀则地区马铃薯多年种植历史,4月下旬至6月下旬为播种~出苗期,7月上旬至8月下旬为出苗~开花期,9月上旬至10月下旬为开花~成熟期,采用1980—2021资料计算近42年不同生育期的各气候因素适宜度的平均值及变异系数(表4)。研究得出,气温适宜度平均值在各生育期都达到最适宜,相对而言,在播种~出苗期、开花~成熟期适宜度较低,且变异系数最大,说明在此阶段气温波动大,对马铃薯出苗、成熟、收获影响较大。日照适宜度平均值在各个生育阶段都达到最适宜,相对而言,出苗~开花期适宜度较低,且变异系数最大,这是由于此阶段多阴雨天气,光照较不稳定,对马铃薯出苗和开花有一定影响。水分适宜度平均值在播种~出苗期、开花~成熟期较低,且变异系数最大,水分条件极不稳定,在不考虑灌溉条件下,这两个时期自然降水无法保证马铃薯生长所需水分,作物水分亏缺大,是日喀则地区马铃薯水分供需矛盾最突出的时期;出苗~开花期达到最适宜,这个时期与雨季重叠,自然降水一般可以满足马铃薯生长发育所需水分。整体而言,制约日喀则地区马铃薯生长发育的主要因素是水分条件。从生育期层面分析,播种~出苗期气温偏低且多变、雨季未至但光照充足,整体综合气候适宜度偏低;出苗~开花期处在雨季,相对寡照,气温适宜,整体综合气候适宜度为最适宜;开花~成熟期处在降温少雨期,日照较充足,整体综合气候适宜度偏低。

表 4 1980—2021 年日喀则地区马铃薯各生育期气候适宜度及变异系数

各生育阶段 Growth stage	气温适宜度 Temperature suitability		日照适宜度 Sunshine suitability		水分适宜度 Moisture suitability		综合气候适宜度 Comprehensive climate suitability	
	平均值 Average	变异系数 Variation	平均值 Average	变异系数 Variation	平均值 Average	变异系数 Variation	平均值 Average	变异系数 Variation
播种~出苗 Seeding~Emergence	0.73 *	0.43	0.90 *	0.16	0.62 **	0.68	0.58 ***	0.60
出苗~开花 Emergence~Flowering	0.93 *	0.08	0.71 *	0.29	0.82 *	0.37	0.77 *	0.22
开花~成熟 Flowering~Ripening	0.71 *	0.32	0.85 *	0.21	0.44 ***	0.98	0.46 ***	0.74

注:****,不适宜(<0.4);***,较适宜(0.4~0.6);**,适宜(0.6~0.7);*,最适宜(>0.7)。
Note:****:Unsuitable(<0.4);***:A little suitable(0.4~0.6);**:Suitable(0.6~0.7);*:Most suitable(>0.7).

2.3 气候适宜度空间变化特征

分别计算1980—2021年日喀则地区所有国家基本气象站马铃薯各气候适宜度42a平均值,通过GIS克里金插值方法对气候适宜度、数字高程进行拟合,以便实现对马铃薯气候适宜度的高分辨率空间插值计算。从图5a看出,日喀则地区马铃薯气温适宜度呈现自西向东、自南北向中部递增趋势,气温适宜度最高区在拉孜县-桑珠孜区-南木林县南部-江孜县-仁布县等地区及临近地区,最低区在亚东县帕里-聂拉木县等南部边缘地区。从图5b看出,日喀则地区马铃薯日照适宜度最高区在定日县-桑珠孜区-南木林县南部-江孜县-仁布县等地区及临近地区,最低区在亚东县帕里一带-聂拉木及临近县。从图5c看出,日喀则地区马铃薯水分适宜度分布不均匀,最高区在亚东县帕里一带-聂拉木县等南部边缘地区,最低值区在定日县及临近地区。从图5d看出,结合光照、气温、水分条件来看,综合气候适宜度的最适宜区位于桑珠孜区-南木林县一带,较适宜区在拉孜县-江孜县-聂拉木等大部主要农区,较不适宜区位于定日县及临近地区,不适宜区位于亚东县帕里临近地区。

2.4 基于马铃薯适宜度时空特征的对策建议

2.4.1 中东部地区适合大力发展马铃薯产业,但需做好播种~出苗期的田间管理工作 桑珠孜区-南木林县南木林南部一带是马铃薯综合气候适宜度高值区(最适区),这个区域相对其他区域而言,日照充分、气温适当、水分较足,3种因子综合起来最适合马铃薯生长,可以较大力度发展马铃薯产业,但在播种~出苗期水分适宜度仍较低,考虑是否需要采用渗水地膜技术以增加土壤水分含量,同时也要重视对马铃薯生长发育后期晚疫病的监测防治工作。

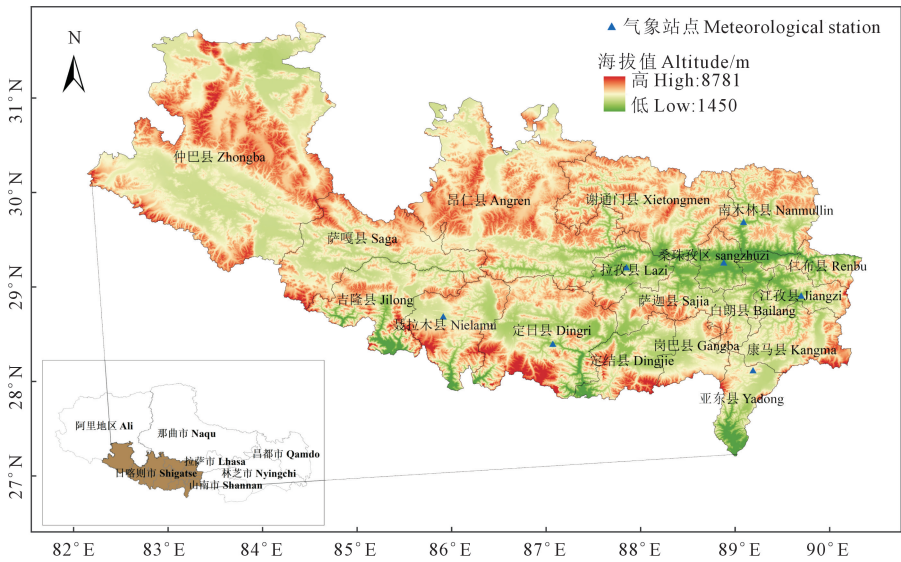


图 1 研究位置示意图
Fig.1 Location of the study area

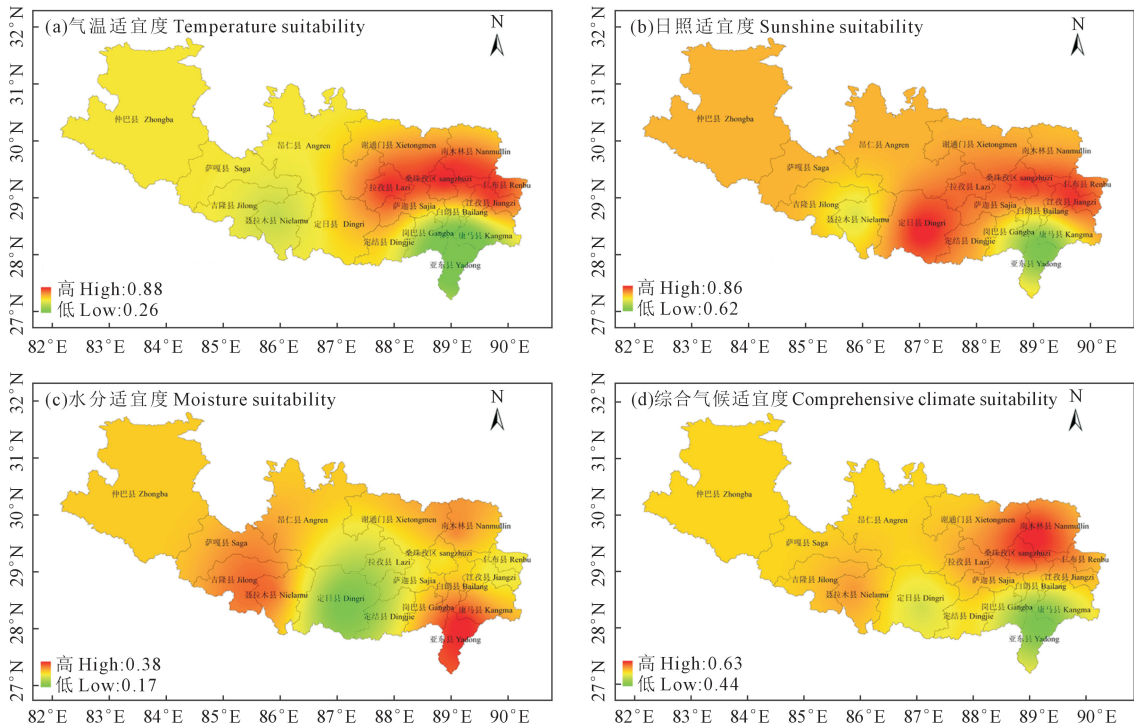


图 5 1980—2021 年日喀则地区马铃薯气候适宜度空间分布
Fig.5 Spatial distribution of potato climatic suitability in Shigatse area from 1980 to 2021

2.4.2 其余地区建议采用渗水地膜等技术以应对气候变化。拉孜县-江孜县等大部主要农区马铃薯气候资源略差,主要是由于该区域虽光热资源较丰富,但汛期短促、降雨日偏少,直接影响马铃薯生长发育所需水分要求。建议该区域马铃薯稀植或采用渗水地膜技术,保证马铃薯水分需求,避免降水波动带来不利影响。亚东县帕里临近地区及日喀

则西北部高海拔地区并不适宜种植马铃薯,因该区域气候条件无法满足马铃薯生长要求。
2.4.3 品种甄选也能较好应对气候适宜度偏低的地区。如定日县虽水热条件较差,气候适宜度偏低,但当地通过多次筛选试验、品种甄选,最终采用‘艾玛二号’、彩色马铃薯等品种进行种植,取得了可观的产量。

3 结论和讨论

3.1 马铃薯各气候适宜度年际间变化特征分析

近 42 年日喀则地区马铃薯各气候因素适宜度年际间虽波动显著,但变化态势较明显,除日照适宜度呈弱下降趋势外,气温、水分、综合气候适宜度均呈弱上升趋势,上升速率为 $0.01 \sim 0.03 \cdot (10a)^{-1}$ 。这可能与全球变暖大背景下,日喀则地区呈现出“暖湿化”的气候变化特点有关,即马铃薯生育期内水热条件呈现一定的好转态势,综合考虑,日喀则地区光热资源基本都在最适宜范畴($S、T \geq 0.7$),能够满足马铃薯生长与发育所需,但水分适宜度较低且年际间波动性大。

3.2 马铃薯不同生育阶段气候适宜度分析

马铃薯全生育期水分、气温适宜度与综合气候适宜度变化趋势呈现高度契合,表现为高度相关($0.8 < r < 1.0$)。可以看出,日喀则地区水热条件是影响马铃薯适宜度的主要因子。在马铃薯不同生育时期日照适宜度、气温适宜度 42 a 平均值都较高,水分适宜度平均值在播种~出苗期、开花~成熟期较低,且气候变异系数最大,水分条件不稳定,在不考虑灌溉条件下,这两个时期自然降水无法保证马铃薯生长所需水分,作物水分亏缺大,是日喀则地区马铃薯水分供需矛盾最突出的时期;说明水分条件是制约日喀则地区马铃薯生长发育的最主要原因。综合光照、气温、水分条件来看,播种~出苗期、开花~成熟期是气候条件对马铃薯生长发育影响最突出的时期。

3.3 气候适宜度空间变化特征分析

日喀则地区马铃薯气温、日照适宜度空间分布较均匀且呈现自西向东、自南北向中部递增趋势,水分适宜度空间分布不均。综合气候适宜度的最适宜区位于桑珠孜区-南木林县一带,而南木林县等地出产的‘艾玛’马铃薯采取无公害栽培,具有个大、皮薄、淀粉含量高等特点,驰名西藏自治区,这除了与该地区土质、种植方式有关,还与其气候条件高度相关,气候适宜度和马铃薯生长发育存在正相关,因此能够促进其产量和品质的提升;较适宜区在拉孜县-江孜县-聂拉木县等大部分农区,这些地区气候条件基本可满足马铃薯生长所需;较不适宜区位于定日县及临近地区;不适宜区位于亚东县帕里临近地区,光热条件无法满足马铃薯生长所需。

3.4 讨 论

本文建立的日尺度气候适宜度评价模型得出的年际变化和区域特征,结果与实际情况比较一致,可为了解气候变化下日喀则地区马铃薯生长发育适宜度的时空变化提供依据,也可以为科学生产马铃薯提供客观的理论依据。本研究具有一定的局限性,首先,仅将日照、水分、温度等气象资料具备 42 a 序列资料的基准(本)站作为主要研究对象,通过建立气候适宜度模型得到其总体变化趋势和空间分布,未考虑日喀则西北部高海拔区序列较短的站点资料;其次没有考虑马铃薯栽培技术、品种差别、病虫害等诸多因素对马铃薯生长发育的影响,只从气象视角进行了适应度评估;此外本文给出的马铃薯全生育期水分适宜度结果与国内其他马铃薯气候适宜度评价模型分析^[7-15]相比偏低,可能的原因为播种~出苗期、开花~成熟期采用潜在蒸散量计算的作物正常生长需水量作为马铃薯水分适宜条件标准过高,播种~出苗期马铃薯茎叶生长量不大,对水分的需求量仅占全生育期的 15%^[12],采用 0~10 cm 土层土壤相对湿度更为准确,但目前日喀则地区土壤水分站过少,因此本文根据王彦平、连彩云等研究成果^[12,19]结合了 FAO 所确定的马铃薯的作物系数 K_c 值,制定日喀则地区马铃薯作物系数值,得出的结果与事实更为符合。未来将进一步研究将土地利用数据叠加到马铃薯种植气候适宜度区划图上,能够更好展现适宜马铃薯种植区域内实际可以用于耕种的土地,以期对马铃薯产业调整、合理种植布局提供更加准确的理论指导。

参 考 文 献:

[1] 西藏年鉴编辑委员会.西藏年鉴(2013)[M].拉萨:西藏人民出版社,2014: 102-103.
Tibet Yearbook Editorial Committee. Tibet Yearbook (2013) [M]. Lhasa: The Tibet people's Publishing House, 2014: 102-103.
[2] 桑德杰布. 从“艾玛土豆”初探西藏农业产业化发展现状——基于西藏艾玛乡的调查研究[J]. 中国藏学, 2014, (2): 117-124.
SANG D J B. On the development status of agricultural industrialization in Tibet from “Emma potato” — based on the investigation of Emma Township in Tibet Chinese Tibetology [J]. China Tibetology, 2014, (2): 117-124.
[3] 谢婉,扎西普尺,张延丽,等. 日喀则地区马铃薯生产现状及发展对策[J]. 中国马铃薯, 2016, 30(4): 248-252.
XIE W, ZA X P C, ZHANG Y L, et al. Potato production status and development strategies in Shigatse district [J]. Chinese Potato Journal, 2016, 30(4): 248-252.

[4] 杨利,扎西普尺,杨喜珍,等. 日喀则市马铃薯新品种引种比较试验[J]. 中国马铃薯, 2016, 30(3): 129-134.
YANG L, ZA X P C, YANG X Z, et al.A comparative experiment of newly introduced potato varieties in Shigatse city[J]. Chinese Potato Journal, 2016, 30(3): 129-134.

[5] 穷吉,扎西普尺,赵江涛,等. 脱毒马铃薯微型薯种植密度与原种产量及结薯性状的试验研究[J]. 西藏农业科技, 2020, 42(2): 7-10.
QIONG J, ZA X P C, ZHAO J T, et al.Effects of different planting density on yield of first original seed and tuber traits in virus-free potato minitubers[J]. Tibet Journal of Agricultural Sciences, 2020, 42(2): 7-10.

[6] 马树庆.吉林省农业气候研究[M].北京:气象出版社,1996: 33.
MA S Q.Research on agricultural climate in Jilin Province [M]. Beijing:China Meteorological Press,1996: 33.

[7] 王春玲,李宏宇,曾剑,等. 黄土高原半干旱区马铃薯气候适宜度模拟及其时空变化特征[J]. 干旱气象, 2017, 35(5): 751-760.
WANG C L, LI H Y, ZENG J, et al. Spatial and temporal changes of climatic suitability of potato in semi-arid region of Loess Plateau[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(5): 751-760.

[8] 李阳,刘静,马力文,等. 宁夏中南部山区马铃薯气候适宜度时空变化特征[J]. 干旱气象, 2020, 38(6): 1001-1008.
LI Y, LIU J, MA L W, et al. Temporal-Spatial characteristics of climate suitability of potato in mountainous area of central and southern Ningxia[J]. Journal of Arid Meteorology, 2020, 38(6): 1001-1008.

[9] 王彦平,阴秀霞,乌尼尔,等. 乌兰察布地区马铃薯气候适宜度模型研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(13): 126-130.
WANG Y P, YIN X X, WU N E, et al. Climatic suitability model for potato in Wulanchabu [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(13): 126-130.

[10] 李树岩,彭记永,刘荣花. 基于气候适宜度的河南夏玉米发育期预报模型[J]. 中国农业气象, 2013, 34(5): 576-581.
LI S Y, PENG J Y, LIU R H. Prediction model of summer maize developmental stages based on climatic suitability in Henan Province [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2013, 34(5): 576-581.

[11] 李昊宇,王建林,郑昌玲,等. 气候适宜度在华北冬小麦发育期预报中的应用[J]. 气象, 2012, 38(12): 1554-1559.
LIH Y, WANG J L, ZHENG C L, et al. The development period prediction of winter wheat based on climatic suitability in north China [J]. Meteorological Monthly, 2012, 38(12): 1554-1559.

[12] 王彦平,候琼,宋卫土,等. 气候适宜度在内蒙古东北部马铃薯发育期预报中的应用[J]. 中国农业气象, 2015, 31(3): 216-220.
WANG Y P, HOU Q, SONG W S, et al.The development period prediction of potato based on climate suitability in the northeastern Inner Mongolia[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2015, 31(3): 216-220.

[13] 赵峰,千怀遂,焦士兴.农作物气候适宜度模型研究[J].资源科学, 2003,25(6):77-81.
ZHAO F, QIAN H S, JIAO S X. Study on climate suitability model of agricultural crops[J]. Resource science, 2003,25(6): 77-81.

[14] 王萍,宫丽娟,曲辉辉,等. 黑龙江省松嫩平原马铃薯气候适宜性分析[J]. 东北农业科学, 2021, 46(3): 95-99.
WANG P, GONG L J, QU H H, et al. Climatic suitability analysis of potato in Songnen plain [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2021, 46(3): 95-99.

[15] 陈彦,李欢欢,郑秀丽,等. 基于 GIS 技术福州市马铃薯种植气候适宜性精细化区划[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(5): 27-28, 30.
CHEN Y, LI H H, ZHENG X L, et al. Fine division of climate suitability for potato planting in Fuzhou city based on GIS technology[J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 2021, 11(5): 27-28, 30.

[16] 袁雷,刘依兰. 基于 GIS 和气候-土地利用信息的西藏青稞种植适宜性区划[J]. 中国农学通报, 2017, 33(17): 92-97.
YUAN L, LIU Y L. Suitability regionalization for highland barley in Tibet based on climate, land use information and GIS [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(17): 92-97.

[17] 郭伟,阳伏林,张荣,等. 晋西北地区马铃薯生态需水量对气候变化的响应[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 516-520.
GUO W, YANG F L, ZHANG R, et al. Change trend of ecological water requirement of potatoes and its response to climate warming in northwestern of Shanxi Province [J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(4): 516-520.

[18] 陈玉明,郭国双,王广兴,等.中国主要作物需水量与灌溉[M].北京:水利电力出版社,1995.
CHEN Y M, GUO GS, WANG G X, et al. Main crop water requirement and irrigation of China[M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press,1995.

[19] 连彩云,马忠明,吕晓东,等. 河西绿洲灌区主要作物需水量及作物系数试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(5): 136-139.
LIAN C Y, MA Z M, LV X D, et al.Research on main crops water requirement and crop coefficient in oasis irrigation region[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(5): 136-139.