

基于细网格的山西省马铃薯种植气候区划

徐玲玲¹, 毛留喜¹, 马雅丽²

(1.国家气象中心,北京 100081;2.山西省气候中心,山西 太原 030006)

摘要:为了给山西省在气候变化背景下合理利用气候资源、调整马铃薯种植品种布局提供科学依据,利用山西省 109 个气象站近 30 a(1981–2010 年)逐日气象观测数据,结合马铃薯传统种植区 7 个代表性县(区)多年的产量和发育期资料,通过相关性分析筛选出影响马铃薯产量形成的关键气候因子,确定以结薯期平均最低气温、结薯期降水量、淀粉积累期平均最低气温作为山西省马铃薯种植气候区划指标。基于 GIS 技术将所有气候要素插值为 1 km×1 km 的细网格,采用专家打分法按适宜、次适宜和不适宜 3 个等级制作了山西省马铃薯种植气候区划图,该区划结果较为客观地反映了山西省马铃薯种植状况。

关键词:马铃薯;气候区划;细网格;山西省

中图分类号:S162.2 **文献标志码:**A

Climatic regionalization for potato planting in Shanxi Province based on fine gridding

XU Ling-ling¹, MAO Liu-xi¹, MA Ya-li²

(1.National Meteorological Center, Beijing 100081; 2. Shanxi Climate Center, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

Abstract: Based on the daily meteorological data of 109 weather stations in Shanxi Province from 1981 to 2010 as well as years of potato yield and growth data in 7 traditional representative counties (District), key climatic factors affecting potato yield were selected by correlation analysis. The factors, the average minimum air temperature on tuber formation stage, accumulated precipitation on tuber formation stage and average minimum air temperature on starch, accumulation stage were determined as the climatic regionalization indexes for potato planting in Shanxi Province. Based on the GIS technology, the meteorological elements were interpolated into a fine grid of 1km×1km. The climatic regionalization map of potato planting in Shanxi Province was made according to the suitable area, sub-suitable area and unsuitable area for potato planting by using expert scoring method. The findings could objectively reflect the status of potato planting in Shanxi Province and provide scientific basis for the rational use of climate resources and the adjustment of potato planting layout under the climate change background.

Keywords: potato; climatic regionalization; fine gridding; Shanxi Province

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)原产于南美洲秘鲁、智利一带的高山冷凉区,属低纬度高山植物,长期引种适应的结果形成马铃薯喜冷凉、短日照和温差大的生长习性^[1]。由于马铃薯具有营养丰富、粮菜饲兼用、加工用途多、增产增收潜力大等诸多优点,目前已成为世界 5 大粮食作物之一。山西省是我国马铃薯的传统种植区,常年种植面积和总产量分别占全国马铃薯播种面积和总产量的 7% 和

5%^[2];“十二五”期间山西省马铃薯年均播种面积为 21.3 万 hm^2 ,2014 年总产量达到 330 万 t 以上^[3],成为仅次于玉米、小麦的第 3 大粮食作物。根据影响马铃薯产量的关键气候因子开展气候种植区划对充分地利用山西省气候资源、优化全省马铃薯种植品种布局具有重要意义。

近年来,针对马铃薯气候种植区划开展的研究已有很多^[4–8]。王连喜等^[4]基于气温、日照时数和

降水量资料对宁夏马铃薯种植进行了气候分区。孙文堂等^[5]利用小网格资源推算法和气候要素地理推算模型开展了内蒙古乌盟马铃薯适宜种植气候和风险区划。唐红艳等^[6]确定了内蒙古兴安盟地区马铃薯种植综合气候区划指标,并依托 GIS 技术划分了马铃薯适宜、次适宜及不适宜种植区。苗百岭等^[7]分区域筛选了影响马铃薯产量的关键气象因子,并以生长季平均温差、降雨量为区划指标制作了内蒙古阴山旱作区马铃薯气候区划图。目前,山西省马铃薯种植气候区划多为传统气候分区法^[8-9],基于站点资料开展的气候区划无法全面客观地反映山西较为复杂的地形影响,结果局限性较大^[10]。因此,本研究以山西省 109 个气象观测站近 30 a (1981–2010 年)逐日气象数据为基础,利用 GIS 技术将气候要素插值为空间分辨率为 1 km 的细网格。然后基于马铃薯传统种植区 7 个代表性县(区)多年产量资料与主要气候因子的相关性分析,筛选出影响马铃薯产量的关键气候因子,以此为基础确定马铃薯种植气候区划指标,并按适宜、次适宜和不适宜 3 个等级进行山西省马铃薯种植气候区划,以期对山西省优化马铃薯种植品种布局、提高马铃薯产量和质量提供理论依据和参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源

气象资料为山西省 109 个气象观测站近 30 a (1981–2010 年)的逐日气象资料,包括日最高温度、日最低温度、日平均温度、逐日降水、日照时数以及日平均风速等要素,由中国气象局国家信息中心提供。地理信息数据采用国家基础地理信息中心提供的 1:25 万山西省基础地理数据和数字高程模型(DEM)数据。为了实现精细化区划,利用 GIS 技术根据站点经度、纬度、高程、坡度和坡向等将所有气候要素进行面上推算,插值成 1 km×1 km 的细网格,在此基础上进行数字地形定量分类技术研究,具体推算模型及方法见参考文献[11]。

选择山西省马铃薯常年播种面积占各县(区)粮食播种总面积的比重超过 15%^[2]的右玉县、左云县、奇岚县、河曲县、保德县以及大同市新荣区和朔州市平鲁区作为代表性县(区),马铃薯产量资料序列为 1981–2013 年,发育期资料序列为 1983–2010 年,并按照《农业气象观测规范》分为播种、出苗、分枝、花序形成、开花、成熟,上述资料均来源于山西省气候中心。

1.2 研究方法

1.2.1 发育期资料的处理 通过统计 7 个代表性县(区)多年发育期资料,得到马铃薯不同发育时段的平均日期。平均播种期为 5 月 10 日,出苗为 6 月 6 日,分枝为 6 月 23 日,花序形成为 7 月 6 日,开花为 7 月 19 日,成熟为 9 月 13 日。为了便于分析,将马铃薯生育期简单划分为 4 个发育时段:5 月上旬至 6 月上旬为发芽期,6 月中旬至 6 月下旬为幼苗期,7 月上旬至 8 月上旬为块茎形成、增长期(结薯期),8 月中旬至 9 月上旬为淀粉积累期。

1.2.2 产量资料的处理 利用 7 个代表性县(区)1981–2013 年的马铃薯单产资料,将马铃薯实际产量分解为趋势产量和气象产量,即

$$Y = Y_t + Y_w \quad (1)$$

式中, Y 为马铃薯单产($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), Y_t 是反映历史时期生产力发展水平的长周期产量分量,称为趋势产量; Y_w 是受以气象要素为主的短周期变化因子影响的产量分量,称为气象产量。本文采用直线滑动平均模拟的方法获得马铃薯趋势产量 Y_t ,滑动步长取 4。

为了消除地区间生产水平差异的影响,用气象产量除以趋势产量,得到相对气象产量 Y'_w ,即

$$Y'_w = (Y - Y_t) / Y_t \quad (2)$$

式中, Y'_w 为相对气象产量,不受时间与空间影响,更具有可比性和分析性。

1.2.3 气象资料的处理 按照马铃薯划分的 4 个发育时段,分别统计 7 个代表性县(区)1981–2013 年逐年不同发育时段的平均气温 T 、平均最高气温 $T_{\max}$ 、平均最低气温 $T_{\min}$ 、气温日较差 T_d 、降水量 P 、日照时数 S 和平均风速 W 。其中, T 、 $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$ 、 T_d 、 W 为不同发育时段逐日气象要素的平均值, P 和 S 为累加值。

1.2.4 马铃薯区划指标的筛选 采用相关分析法,通过计算 7 个代表性县(区)1981–2013 年马铃薯产量与不同发育时段气候要素(T 、 $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$ 、 T_d 、 W 、 P 、 S)的线性相关系数,并进行不同显著性水平($\alpha = 0.01$ 和 0.05)的显著性检验,筛选出影响该地区马铃薯产量的关键气候因子和关键发育时段。根据筛选的关键气候因子确定山西省马铃薯种植气候区划指标。

1.2.5 数据处理软件 利用 Excel 和 SPSS 19.0 进行相关性分析和不同显著性水平下的显著性检验。基于插值后的 1 km×1 km 气候要素细网格数据和 ArcGIS 9.3 软件,绘制山西省马铃薯种植气候区划图。

2 结果与分析

2.1 马铃薯种植气候区划指标的选取

表 1 为 7 个代表性县(区)1981–2013 年马铃薯产量与发芽期、幼苗期、结薯期及淀粉积累期这 4 个发育时段不同气候要素(T 、 $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$ 、 T_d 、 P 、 S 和 W)通过显著性检验的气候因子及相关系数统计表。共有 5 个气候因子与马铃薯产量在不同显著性水平(0.01/0.05)上(双侧)显著相关,分别是:发芽期平均最高气温、结薯期平均最低气温和降水量、淀粉

积累期平均最低气温和平均风速;相关系数主要分布在 0.367–0.548。从出现的频次看,淀粉积累期平均最低气温出现的次数最多(7 次),其次为结薯期平均最低气温和降水量(3 次);而发芽期平均最高气温、淀粉积累期平均风速仅出现 1–2 次。由此推断,尽管不同区域显著影响马铃薯产量的气候因子略有差异,但结薯期平均最低气温、结薯期降水量、淀粉积累期平均最低气温应该是影响马铃薯产量的关键气候因子,将其确定为马铃薯种植气候区划指标。

表 1 山西省 7 个代表性县(区)与马铃薯产量显著相关的气候因子及相关系数 R 统计表

Table 1 The significantly correlated climate factors and their correlation coefficients with potato yield of 7 representative counties in Shanxi Province

地区 County	发芽期 $T_{\max}$ Germination period $T_{\max}$	结薯期 $T_{\min}$ Tuber formation stage $T_{\min}$	结薯期 P Tuber formation stage P	淀粉积累期 $T_{\min}$ Starch accumulation stage $T_{\min}$	淀粉积累期 W Starch accumulation stage W
右玉县 Youyu County			0.455 **	0.463 **	0.461 **
左云县 Zuoyun County				0.382 *	0.371 *
大同新荣区 Xinrong District, Datong				0.367 *	
朔州平鲁区 Pinglu District, Shuozhou	0.381 *	0.478 **	0.458 *	0.368 *	
奇岚县 Qilan County		0.548 *		0.436 *	
河曲县 Hequ County				0.505 **	
保德县 Baode County		0.510 **	0.437 *	0.462 **	

注: ** 为 0.01 水平上(双侧)显著相关, * 为 0.05 水平上(双侧)显著相关。
Notes: ** was significantly correlated on 0.01 levels (bilateral), * was significantly correlated on 0.05 level (bilateral).

2.2 马铃薯种植气候区划指标的等级划分

2.2.1 降水量对马铃薯产量的影响 以右玉县为例,分析结薯期降水量对马铃薯产量的影响。如图 1 所示,马铃薯产量随结薯期降水量的增加表现为向下的抛物线型。当降水量小于 150 mm 时,马铃薯产量与降水量总体正相关,降水量增多利于马铃薯产量的提高,但降水量不足 100 mm 会导致马铃薯明显减产。当降水量在 150~200 mm 之间时,马铃薯产量仍以增产为主,但降水量大于 200 mm 后马铃薯转为减产。结薯期对水分条件的要求较高,干旱胁迫不利于块茎形成和增大,降水过多也容易造成薯块腐烂、加重病害的发生,最终导致马铃薯减产。

2.2.2 温度对马铃薯产量的影响 以朔州市平鲁区为例,分析结薯期和淀粉积累期平均最低气温对马铃薯产量的影响。如图 2 所示,无论是结薯期还是淀粉积累期,二者均表现为负相关,即平均最低气温越低,越利于马铃薯产量的形成。马铃薯是喜

凉作物,气温过高不利于马铃薯的生长发育,平均最低气温越低代表昼夜温差越大,越有利于马铃薯生长期的延长和淀粉的充分积累,进而促进马铃薯产量的增加。

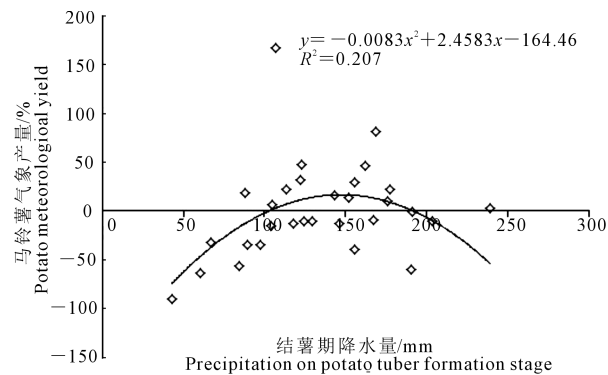


图 1 结薯期降水量对马铃薯产量的影响(以右玉县为例)
Fig.1 Relationship between precipitation and potato yield on tuber formation stage (Youyu County)

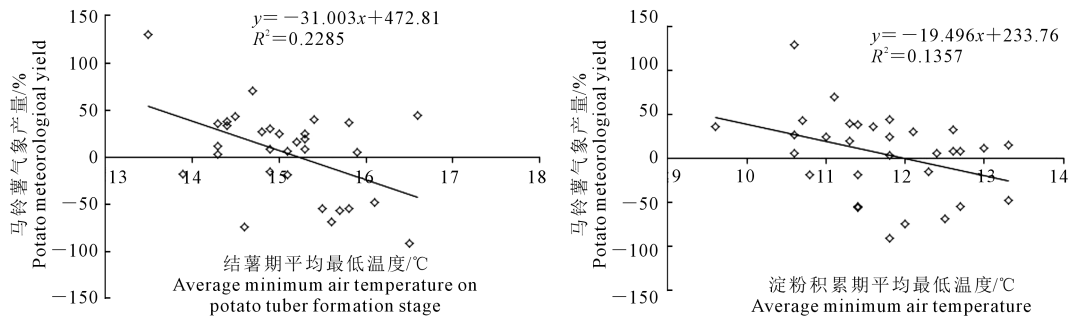


图 2 结薯期和淀粉积累期平均最低气温对马铃薯产量的影响 (以朔州市平鲁区为例)
Fig.2 Relationship between average minimum temperature and potato yield on tuber formation stage and starch accumulation stage (Pinglu District of Shuozhou City)

2.2.3 马铃薯种植气候区划指标的等级划分 综合考虑 2.2.1 和 2.2.2 的分析结果,对结薯期平均最低气温、结薯期降水量、淀粉积累期平均最低气温这 3 个区划指标给出等级划分,依次划分适宜种植区、次适宜种植区和不适宜种植区(表 2)。

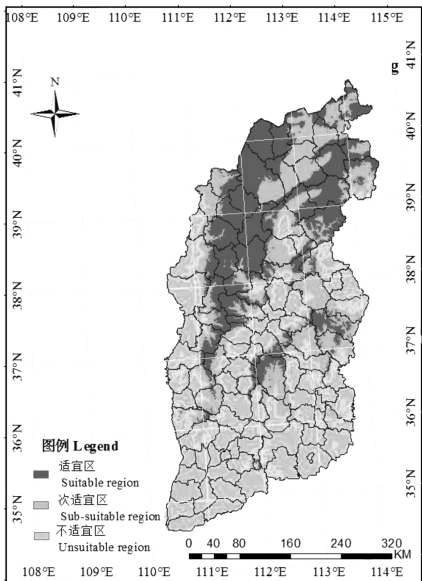
2.3 马铃薯种植气候区划结果与分析

基于插值后的 1 km×1 km 气候要素细网格数据,采用专家打分法按照表 2 中的马铃薯种植气候区划

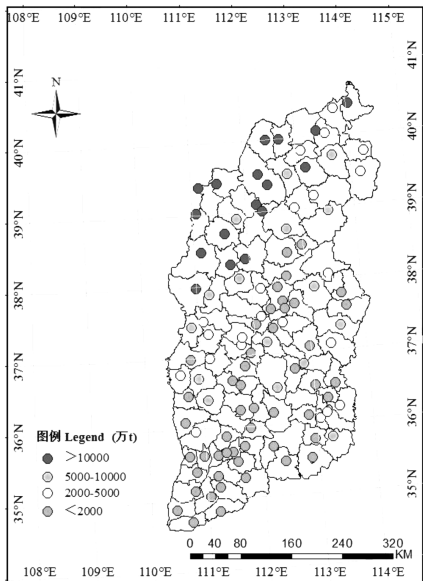
指标进行分级打分,即给每一个分级指标都赋予一定的分值。如 7 月上旬至 8 月上旬结薯期平均最低气温,≤15℃时赋予 3 分,15~17℃时赋予 2 分,>17℃时赋予 1 分,其它指标的打分标准以此类推。最后根据 3 个指标叠加后总分数的大小,按照 7~9 分、4~6 分、0~3 分依次划分为马铃薯种植的适宜区、次适宜区和不适宜区,并为不同的区域赋予不同的颜色,制作了山西省马铃薯种植气候适宜性区划图(图 3a)。

表 2 山西省马铃薯种植气候区划指标等级划分

适宜等级 Suitability grade	结薯期平均最低气温 Average minimum air temperature on potato tuber formation stage/℃	结薯期降水量 Accumulated precipitation on potato tuber formation stage/mm	淀粉积累期平均最低气温 Average minimum air temperature on potato starch accumulation stage/℃
适宜种植区 Suitable region	≤15	130~170	≤11
次适宜种植区 Sub-suitable region	15~17	100~130 或 170~200	11~14
不适宜种植区 Unsuitable region	>17	<100 或 >200	>14



(a)山西省马铃薯种植气候适应性区划图
The climatic regionalization for potato
planting of Shanxi Province



(b)2014年山西省各县(区)马铃薯总产
Total potato production in various counties
(districts) of Shanxi Province in 2014

图 3 山西省马铃薯种植气候适宜性区划结果及检验

Fig.3 The climatic regionalization for potato planting and it's test in Shanxi Province

2.3.1 适宜和较适宜种植区 如图 3(a)所示,山西省适宜和较适宜种植马铃薯的区域主要分布在雁北和东西山区(吕梁山、五台山、太行山)的丘陵地带,两个等级面积占全省总面积的 57.9%。该区域大多在海拔 1 200 m 以上,年均气温 6℃左右,无霜期 100~140 d,气候冷凉,光照充足,昼夜温差大,年降雨量 400~500 mm,且集中在 7~9 月^[12],水热条件非常适合马铃薯块茎膨大和淀粉积累。具体来看,适宜种植区主要分布在吕梁山区域及其以北的高寒山区、恒山及五台山区域及其南部部分地区、太岳山区域、太行山西北部部分地区等;面积占全省总面积的 26.5%。较适宜种植区主要分布在大同市及其南部的大同盆地、恒山以东部分地区、忻定盆地西部地区、忻州、晋中东部、太行山西南部部分地区、太岳山东南地区、长治部分地区、临汾西北部等;面积占全省总面积的 31.4%。

由于山西省适宜和较适宜马铃薯种植的区域主要分布在山坡丘陵地区,生产的灌溉条件较差,干旱是制约马铃薯生产的主要因素。这些地区应注意以抗旱为中心的“选用优种、脱毒种薯、整薯播种、催芽晒种、一晚四深”^[13]五项配套技术综合运用,以促进马铃薯的增产增效。

2.3.2 不适宜种植区 不适宜种植马铃薯的区域主要分布在山西省中部和南部地区(图 3a),占全省总面积的 42.1%。该区域年均气温大于 8℃,无霜期 180~220 d,热量资源非常丰富,中南部地区降水量大于 500 mm,但夏季气温偏高是限制马铃薯生长发育和产量形成的主要原因。具体来看,不适宜种植区主要分布在吕梁山以西地区、忻定盆地、太原盆地、太岳山以西地区、临汾盆地、晋城大部以及运城盆地等地。当地宜选择马铃薯早熟和中早熟品种,利用春、秋两季的凉爽气候条件合理调整播期;或者将马铃薯与玉米、棉花等作物间作、套种,实现“粮棉不少收,多收一季薯”。

2.3.3 马铃薯种植气候区划结果检验 为了检验本研究区划结果是否合理,利用 2014 年山西省各县(区)马铃薯总产进行初步检验(图 3b)。从验证结果来看,图 3(a)、(b)两张图吻合度较高、本研究区划结果能够较客观真实地反映山西省马铃薯的种植状况。

3 讨 论

1)本文通过相关分析和显著性检验将结薯期

平均最低气温、结薯期降水量、淀粉积累期平均最低气温作为影响马铃薯产量的关键气候因子,与前人的研究结论基本一致。马铃薯是喜凉作物,当 10 cm 地温稳定通过 8℃,幼芽即可生长,发芽期对光照、水分需求较少。结薯期是营养生长与生殖生长并行的阶段,也是马铃薯生长最旺盛的时期,对水分需求较多,当土壤含水量小于 15%时块茎停止生长,因而水分状况是决定马铃薯是否高产的关键;同时气温对块茎的大小也具有决定性作用,平均气温在 18~21℃对块茎的形成和增长最为有利,超过 21℃块茎生长受到抑制,超过 25℃则基本停止生长^[14]。孙芳^[15]和姚玉壁等^[16]也认为气温对马铃薯产量形成为负效应,尤其是块茎增长期的产量形成对气温变化尤为敏感。高峰等^[17]认为马铃薯块茎增长期对水分需求达到最大,约占整个生育期需水量的 50%,但结薯后期水分过多易导致块茎腐烂。淀粉积累期马铃薯对水分需求总体较少,适当低温和较大的昼夜温差更利于马铃薯生长期的延长和淀粉的积累;温度过高会导致块茎生长缓慢或停止。朱赟赟等^[14]研究结果表明,宁夏北部淀粉积累期的气温对马铃薯产量的影响为负效应,9 月中旬气温每升高 1℃,产量降低达 61 kg·hm⁻²。

2)本文利用 GIS 技术将气候要素插值为 1 km×1 km 的细网格并进行马铃薯种植气候区划,能够直观地反映不同地理位置和海拔高度下各气候区划因子的变化特征,比传统气候区划更精细,区划结果更趋合理,对今后推广发展优质马铃薯及优化种植布局具有指导意义。但是,马铃薯种植不仅与气候条件密切相关,也受土壤条件、土地利用状况、经济因素等因素影响,本研究的区划结果只是针对于农业气候,与实际稍有一定的差距,有待今后不断修正与完善。

4 结 论

本研究利用山西省 109 个气象站近 30 a(1981~2010 年)的逐日气象数据,结合马铃薯传统种植区 7 个代表性县(区)多年的产量和发育期资料,确定结薯期平均最低气温、结薯期降水量、淀粉积累期平均最低气温为山西省马铃薯种植的气候区划指标。基于 GIS 技术将所有气候要素插值为 1 km×1 km 的细网格,采用专家打分法按适宜、次适宜和不适宜 3 个等级制作了山西省马铃薯种植气候区划

图。其中,适宜和较适宜种植马铃薯的区域主要分布在雁北和东西山区(吕梁山、五台山、太行山)的山坡丘陵地带,面积分别占全省总面积的 26.5%和 31.4%;不适宜种植区域主要分布在山西省中部和南部地区,占全省总面积的 42.1%,夏季气温偏高是限制该区域马铃薯生长发育和产量形成的主要原因。

参 考 文 献:

[1] 白美兰,侯琮,郝润全.乌兰察布盟地区马铃薯优良品种气候区划[J].中国农业气象,2005,26(1):20-23.

[2] 金红梅,宗颖生.山西马铃薯产业发展状况的初步研究[J].中国农学通报,2008,24(8):526-528.

[3] 刘志宏,张剑民,张越,等.山西省马铃薯产业发展现状及制约因素研究[J].种子科技,2016,34(6):40-41.

[4] 王连喜,朱赞赞,李剑萍,等.宁夏马铃薯种植的气候分区和风险评估[J].中国农业气象,2011,32(1):100-105.

[5] 孙文堂,苗春生,沈建国,等.基于 GIS 的马铃薯种植气候区划及风险区划的研究[J].南京气象学院学报,2004,27(5):650-659.

[6] 唐红艳,牛宝亮,张福.基于 GIS 技术的马铃薯种植气候区划[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):158-162.

[7] 苗百岭,侯琮,梁存柱.基于 GIS 的阴山旱作区马铃薯种植农业

气候区划[J].应用生态学报,2015,26(1):278-282.

[8] 杜珍,白小东,齐海英,等.山西省马铃薯品种区划[C]//中国马铃薯学术研讨会与第 5 届世界马铃薯大会会议论文集,2004:366-368.

[9] 滕宗璠,张畅,王永智.我国马铃薯适宜种植地区的分析[J].中国农业科学,1989,22(2):35-44.

[10] 刘文平,武永利,赵永强,等.山西省主要优势作物的农业气候区划[J].干旱区资源与环境,2016,30(3):140-145.

[11] 毕宝贵,孙涵,毛留喜.中国精细化农业气候区划.方法与案例[M].北京:气象出版社,2015.

[12] 姬青云.山西省马铃薯产业发展现状[J].农业技术与装备,2007,(7):26-29.

[13] 朱国亮,康金梁.山西省马铃薯种植现状及发展对策分析[J].农业技术与装备,2012,(14):40-41.

[14] 朱赞赞,王连喜,李琪,等.气候因子对宁夏不同区域马铃薯气象产量的影响效应分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(6):89-95.

[15] 孙芳,林而达,武艳娟.宁夏气候变化及其对马铃薯生产的影响[J].中国农学通报,2008,24(4):465-471.

[16] 姚玉璧,张秀玉,王润元,等.西北温凉半湿润区气候变化对马铃薯生长发育的影响—以甘肃岷县为例[J].生态学报,2010,30(1):100-108.

[17] 高峰,杜佩,汪晓银.不同生长时期马铃薯产量与气象因子的关系研究[J].湖北工业大学学报,2011,26(3):14-16.

(上接第 250 页)

[23] 石崇,刘晓东.1947-2006 年东半球陆地干旱化特征——基于 SPEI 数据的分析[J].中国沙漠,2012,32(6):1691-1701.

[24] 王明田,张玉芳,马均,等.四川省盆地区玉米干旱灾害风险评估及区划[J].应用生态学报,2012,23(10):2803-2811.

[25] 刘定辉,陈尚洪,舒丽,等.四川盆地丘陵区秸秆还田少免耕对土壤水分特征的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):119-122.

[26] 国家气象中心. GB/T20481-2006 气象干旱等级[S].北京:中国标准出版社,2006.

[27] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007.

[28] 沈永平,王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J].冰川冻土,2013,35(5):1068-1076.

[29] 王东,张勃,安美玲,等.基于 SPEI 的西南地区近 53a 干旱时空特征分析[J].自然资源学报,2014,9(6):1004-1016.

[30] Monteith J L. Evaporation and environment[J], Symposium of the Society for Experimental Biology,1965,19:205-234.