

李建,苑文华,丁洁,等.山东省春季马铃薯播种至出苗期水热特征分析[J].海洋气象学报,2021,41(4):109-117.
LI Jian, YUAN Wenhua, DING Jie, et al. Analysis on the characteristics of water and heat from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province[J]. Journal of Marine Meteorology, 2021, 41(4): 109-117. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.04.011. (in Chinese)

山东省春季马铃薯播种至出苗期水热特征分析

李建^{1,2}, 苑文华^{1,2}, 丁洁^{1,2}, 慈航^{1,2}

(1.山东省气象防灾减灾重点实验室, 山东 济南 250031; 2.枣庄市气象台, 山东 枣庄 277800)

摘要: 基于山东省1980—2020年117个气象台站的地面观测资料, 依据春季马铃薯播种期, 通过积温法推算出苗期, 分析山东省春季马铃薯播种至出苗期水分条件和热量条件的变化特征。结果表明: 1980—2020年山东省春季马铃薯播种至出苗期平均日数为39.5 d, 10 a倾向率为-1.8 d; 降水量平均为16.5 mm, 10 a倾向率为-3.1 mm; 相对湿润度指数平均值为-0.48, 10 a倾向率为-0.09; 平均气温为8.9 °C, 10 a倾向率为0.6 °C; 温度适宜度平均为0.54, 10 a倾向率为0.07。综上所述, 山东省春季马铃薯播种至出苗阶段水分条件呈现减少的趋势, 应增加田间灌水; 热量条件呈现增加的趋势, 有利于增加种植面积。

关键词: 马铃薯; 出苗期; 水分; 热量

中图分类号: P49 文献标志码: A 文章编号: 2096-3599(2021)04-0109-09

DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.04.011

Analysis on the characteristics of water and heat from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province

LI Jian^{1,2}, YUAN Wenhua^{1,2}, DING Jie^{1,2}, CI Hang^{1,2}

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong, Jinan 250031 China; 2. Zaozhuang Meteorological Observatory, Zaozhuang 277800, China)

Abstract Based on the ground observations at 117 meteorological stations from 1980 to 2020 and the planting date of spring potatoes in Shandong province, the date of emergence is calculated by accumulated temperature. The variation of water and heat during the stage from sowing to emergence is analyzed. The results shows that the mean number of days of the stage, the precipitation, the relative moisture index, the average air temperature and temperature suitability of the area from 1980 to 2020 are 39.5 d, 16.5 mm, -0.48, 8.9 °C, 0.54, respectively. And the corresponding ten-year propensity rates of these elements are -1.8 d, -3.1 mm, -0.09, 0.6 °C, 0.07, respectively. Since the water conditions shows a decreasing trend, the field irrigation should be strengthened in the stage. Heat conditions shows an increasing trend, which is beneficial to increase planting area.

Key words potato; period of emergence; water; heat

收稿日期: 2021-04-06; 修订日期: 2021-08-27

基金项目: 山东省预报员专项(SDYBY2018-07)

第一作者: 李建, 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事农业气象和数值预报研究, 2681440454@qq.com。

通信作者: 慈航, 男, 硕士, 工程师, 主要从事短期预报、气象数据统计与分析、环境科学与资源利用研究, loveyezi1986@163.com。

引言

中国马铃薯种植面积及产量占全球的 20%~25%^[1-2],但是马铃薯产品的国际竞争力相比于主要出口国仍较弱,市场占有率最高仅 2.25%^[3],发展马铃薯产业对促进国家粮食安全具有重要意义^[4]。研究^[5-7]表明马铃薯的生长情况受光照、温度、降水等气象条件影响,如温度升高会缩短马铃薯生育期^[8],适宜种植的区域也随着气候变化而改变^[9],而霜冻、旱灾和涝灾则会降低马铃薯产量^[7,10-11]。马铃薯出苗情况对马铃薯后期产量至关重要,研究^[12-13]表明马铃薯在该时段提高土壤温度能加快马铃薯出苗,增加马铃薯的出苗率,而降水量增加对马铃薯具有负效应^[14],但水分严重亏缺时,根系生长素降低,脱落酸增加,影响出苗^[15]。山东省作为农业大省,马铃薯成为当地重要的经济作物,马铃薯种植面积达 14 万 hm^2 ,种植面积和产量不断提升^[16],作为中原二季作区具有明显的自然优势和种植收益优势^[5]。目前,针对马铃薯特定生育期,尤其是播种至出苗期的气候资源变化的研究鲜见报道。马铃薯播种至出苗期的气象条件对其出苗率影响重大,因此研究山东省春季马铃薯播种至出苗期的水热条件变化,可以为该地区马铃薯种植管理以及降低气象灾害风险提供依据,从而对提高马铃薯产量具有重要意义。

1 资料与方法

1.1 数据来源

所用气象数据选自山东省 117 个国家级气象观测站(图 1)1980—2020 年逐日气候资料,气象要素包括日平均气温、日最高气温、日最低气温、月平均气温、日降水量等数据。

1.2 研究方法

1.2.1 播种期的确定

山东省春季马铃薯种植面积较广,各地播种时间不一,根据参考文献^[12,17-25]结合实地调查,将山东省春季马铃薯分为鲁南、鲁中、鲁西北和半岛 4 个种植区(图 1),各区域播种日期如表 1 所示,并按区域内平均状况下播期进行统计。

1.2.2 出苗期的确定

利用积温法推算马铃薯出苗期的方法已经得到业内人士的广泛应用^[6,26],结合马铃薯生长特性、马铃薯实地观察及前人^[12]对马铃薯生长研究,总结

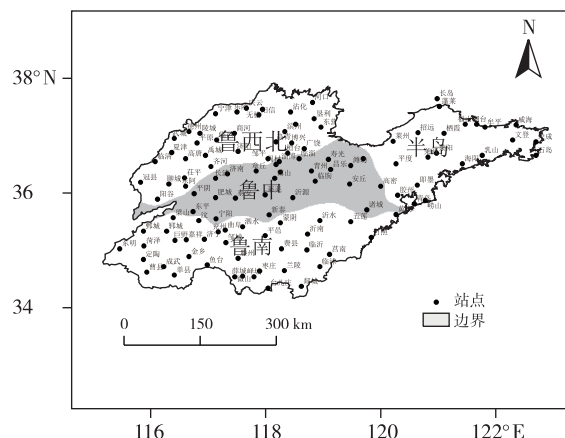


图 1 山东省 117 个国家级气象观测站分布
Fig.1 Distribution of 117 meteorological stations in Shandong province

出山东省马铃薯播种至出苗期 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温为 $350^\circ\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$ 左右。因此本文以此为指标,推算各种植区代表气象站点历年出苗日,按照 $\geq 80\%$ 站点数保证率计算确定各种植区的出苗日期(表 2)。

表 1 山东省春季马铃薯播种日期

Table 1 Sowing date of spring potato in Shandong province

区域	播种日期
鲁南	2月中旬至2月下旬
鲁中	2月下旬至3月上旬
鲁西北	3月上旬至3月中旬
半岛	3月中旬至3月下旬

表 2 山东省春季马铃薯出苗日期

Table 2 Emergence date of spring potato in Shandong province

区域	出苗日期
鲁南	4月10—16日
鲁中	4月14—16日
鲁西北	4月17—18日
半岛	4月28—30日

1.2.3 数据统计

按照 1.2.1 节和 1.2.2 节确定的各种植区的播种与出苗日期,分别统计各代表站点历年播种至出苗天数、总降水量及平均气温等。

1.2.4 温度适宜度

以往研究^[27]表明,Beta 函数能反映作物生长和温度的关系,具有普适性,本文采用该方法进行温度适宜度函数的建立。温度适宜度计算如下:

$$F(t) = \frac{(t - t_1)(t_2 - t)^{\frac{(t_2 - t_0)}{(t_0 - t_1)}}}{(t_0 - t_1)(t_2 - t_0)^{\frac{(t_2 - t_0)}{(t_0 - t_1)}}} \quad (1)$$

式中： $F(t)$ 表示温度适宜度； t_1 、 t_0 、 t_2 (单位： $^{\circ}\text{C}$) 分别表示为马铃薯播种至出苗期内的最低温度、最适温度、最高温度，根据前人^[28]研究，马铃薯播种至出苗期最低温度、最适温度、最高温度分别为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ； t (单位： $^{\circ}\text{C}$) 表示播种至出苗期内的平均气温。

1.2.5 干旱等级

相对湿润度指数 (relative moisture index, RMI) 可以反映作物生长季节大气中的水分平衡特征，适用于作物生长季节月以上尺度的干旱监测与评估，本文采用气象行业标准^[29]中相对湿润度指数划分干旱等级，如表 3 所示。

表 3 相对湿润度干旱等级划分表

Table 3 Relative humidity drought classification

等级	类型	相对湿润度指数
1	无旱	$I_{\text{RM}} > -0.40$
2	轻旱	$-0.65 < I_{\text{RM}} \leq -0.40$
3	中旱	$-0.80 < I_{\text{RM}} \leq -0.65$
4	重旱	$-0.95 < I_{\text{RM}} \leq -0.80$
5	特旱	$I_{\text{RM}} \leq -0.95$

相对湿润度指数为某时段的降水量与同时段内潜在蒸散量之差再除以同时段内潜在蒸散量得到的指数，计算方法^[29]如下：

$$I_{\text{RM}} = \frac{P - E_p}{E_p} \quad (2)$$

式中： I_{RM} 表示某时段相对湿润度； P 表示某时段的降水量 (单位： mm)； E_p 表示某时段的潜在蒸散量 (potential evapotranspiration, PET)，用 Thornthwaite 方法计算 (单位： mm)。

$$E_p = 16.0 \times \left(\frac{10 t_i}{I_H} \right)^A \quad (3)$$

式中： E_p 表示潜在蒸散量，指月的潜在蒸散量 (单位： $\text{mm} \cdot \text{月}^{-1}$)； t_i 表示月平均气温 (单位： $^{\circ}\text{C}$)； I_H 表示年热量指数； A 表示常数。

各月热量指数 I_i 的计算公式如下：

$$I_i = \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1.514} \quad (4)$$

年热量指数 I_H 计算公式如下：

$$I_H = \sum_{i=1}^{12} I_i = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1.514} \quad (5)$$

常数 A 计算公式如下：

$$A = 6.75 \times 10^{-7} I_H^3 - 7.71 \times 10^{-5} I_H^2 + 1.792 \times 10^{-2} I_H + 0.49 \quad (6)$$

当月平均气温 $t \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，月热量指数 $I_H = 0$ ，潜在蒸散量 $E_p = 0\text{ mm} \cdot \text{月}^{-1}$ 。

1.2.6 Mann-Kendall (M-K) 非参数检验法

M-K 突变检验法适用于非参数的趋势检验，该方法的好处是样本不用满足一定分布，受干扰少，计算容易，目前气象领域已广泛地使用该方法^[30-33]63-65。本文使用 M-K 突变检验法对山东省春季马铃薯播种至出苗期天数的多年变化做突变分析，计算参数 UF 和 UB ，在给定的显著水平 $\alpha = 0.05$ 下，即 $U_{0.05} = \pm 1.96$ ， $UF > 0$ ，表示序列呈上升趋势， $UF < 0$ ，表示序列呈下降趋势。若 UF 和 UB 两条曲线在置信区有交点，即为突变点，交点对应的时间为突变开始时间^[31]。

1.2.7 气候倾向率

气候要素的趋势变化采用一次线性方程表示，其斜率的 10 a 变化称为气候倾向率^[33]37-40，可以由气候趋势系数求出，单位为每 10 a 某要素单位。

1.2.8 小波分析

小波变换具有多分辨率的特点，通过将时间序列分解可以得到时间的波动模式，即周期变化动态，小波分析在气象领域已经得到广泛应用^[33-36]99-103。本文选取 Morlet 小波作为母小波做连续小波变换，对时间序列进行周期特征提取。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010 和 MATLAB 2019a 进行数据分析和处理，采用 ArcMap 10.2 进行反距离加权插值法 (inverse distance weight, IDW) 对数据进行空间插值，像元大小为 $0.015^{\circ} \times 0.015^{\circ}$ 。

2 结果与分析

2.1 春季马铃薯播种至出苗期天数的时空变化

2.1.1 春季马铃薯播种至出苗期天数年际变化

图 2 为山东省春季马铃薯播种至出苗期平均天数年际变化，平均值为 39.5 d ，最大值出现在 1980 年，为 47.7 d ，最小值出现在 2014 年，为 32.3 d 。1980—2020 年山东省春季马铃薯播种至出苗期的日数呈缩短的趋势，平均每 10 a 缩短 1.8 d 。

图 3 为 1980—2020 年山东省春季马铃薯播种至出苗期平均天数的 M-K 突变分析，可以看出，

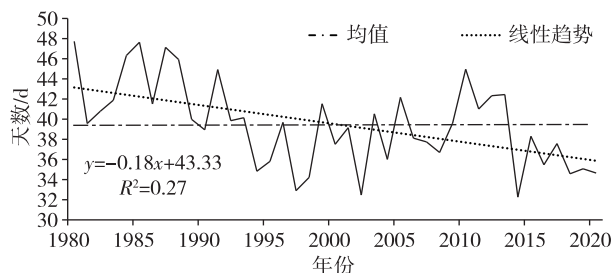


图2 1980—2020年山东省春季马铃薯播种至出苗期天数年际变化

Fig.2 Inter-annual variations of the number of days from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province from 1980 to 2020

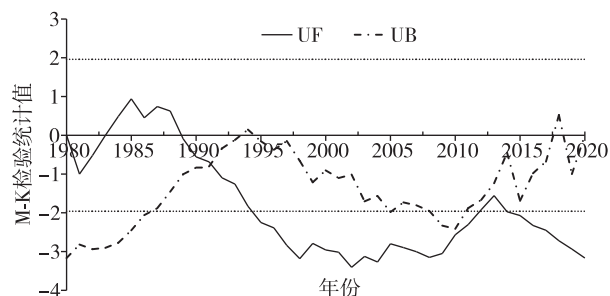


图3 山东省春季马铃薯播种至出苗期天数的 M-K 突变分析

Fig.3 M-K mutation analysis of the number of days from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province

1983—1988年, $UF > 0$, 表明该时段播种至出苗期之间的发育期时间呈现延长的趋势, 1989年以来 $UF < 0$, 说明发育期呈缩短的趋势。UF 和 UB 曲线有唯一的交点, 且该交点在 $-1.96 \sim 1.96$ 之间, 说明发育期变化存在突变点, 通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验, 突变年份在 1992 年, 突变前 (1980—1991 年) 发育期均值为 43.5 d, 突变后 (1992—2020 年) 发育期均值为 37.8 d, 发育期突变后比突变前缩短了 5.7 d。

图 4a 为山东省春季马铃薯播种至出苗期天数的小波系数实部等值线图。当小波系数实部值为正时, 代表发育期延长的时期; 为负值时, 代表发育期缩短的时期。从图中可以看出, 山东省春季马铃薯发育期呈现多时间尺度周期特征, 存在 2~3 a、6~8 a、14~16 a、18~23 a 和 25~30 a 的周期变化规律。其中 25~30 a 尺度上出现发育期延长和缩短交替的两次震荡, 近 40 a 来表现稳定; 18~23 a 尺度在

1990 年开始建立, 1997 年以来表现稳定; 14~16 a 尺度 2000 年以后交替变化比 1980—2000 年更频繁; 6~8 a 时间尺度在 1980—2000 年变化稳定, 2000 年以后周期变化逐渐消失; 2~3 a 尺度的周期变化整个研究期间表现稳定。

图 4b 为山东省春季马铃薯播种至出苗期天数的小波功率谱, 其中倒锥线为影响锥。该锥线以下表明此部分小波功率谱图受到边缘效应的影响, 表现出的周期特征存在较大不确定性。在图中, 还有两个闭合的等值线 (图中粗实线), 最上部分的等值线的区域对应周期特征为 2~3 a 和 3~4 a, 对应时间段分别为 1995—2015 年和 1980—2000 年。

图 5 为小波全谱图, 由短划线与小波功率谱曲线的关系可以看出, 当短划线小于小波功率谱曲线时, 表明该区段对应的周期特征达到 0.05 水平的显

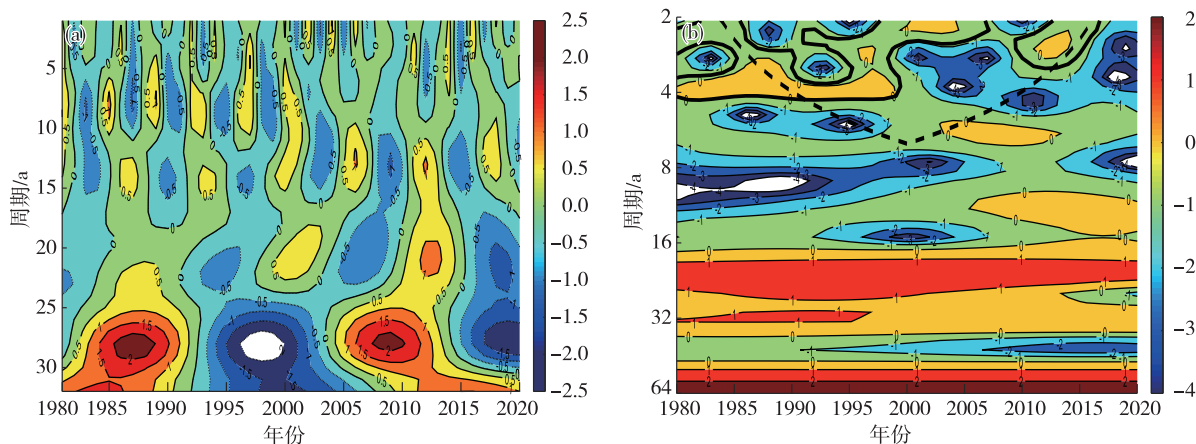


图4 山东省春季马铃薯播种至出苗期天数的小波系数实部等值线(a; 色阶: 小波系数实部值)和小波功率谱(b; 色阶: 功率谱密度, 单位: dB; 短划线部分的倒锥为影响锥; 实粗线为 0.05 显著水平线)

Fig.4 Real part contour map of wavelet coefficients of the number of days from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province (a; color scale: real part of wavelet coefficients) and wavelet power spectrum (b; color scale: power spectral density, units: dB; dash for cone of influence; solid thick line for 0.05 significant importance level)

显著性检验。因此,从图中可以看出,通过显著性检验的周期为 3~4 a。

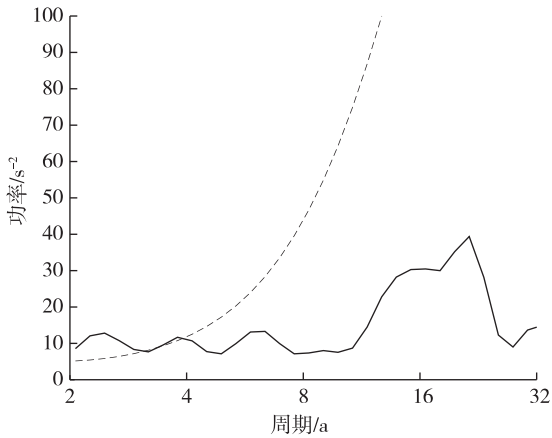


图 5 山东省春季马铃薯播种至出苗期天数的小波全谱(实线)及 0.05 显著性水平线(短划线)

Fig.5 Wavelet full spectrum map (solid line) and 0.05 significant importance level (dashed line) of the number of days from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province

2.1.2 春季马铃薯播种至出苗期天数的空间变化分析

山东省各气象站点春季马铃薯播种至出苗期天数分布(图 6a)表现为鲁西北和半岛地区时间较短,而鲁中和鲁南地区时间较长,这与鲁中和鲁南地区播种时间早、气温低有关。整个山东省春季马铃薯播种至出苗期天数平均值为 39.5 d,最短为 27.5 d,出现在齐河,最长为 53.6 d,出现在日照。由气候倾向率分布(图 6b)可以看出,全省气候倾向率大部分地区为负值,说明马铃薯播种至出苗期天数呈现缩短的趋势,平均每 10 a 缩短 1.8 d,莒南和

微山缩短的速度最快,平均每 10 a 缩短 4.0 d。

2.2 春季马铃薯播种至出苗期水分条件分析

2.2.1 春季马铃薯播种至出苗期累积降水量年际变化

研究^[8]表明马铃薯播种至出苗期需水量占整个生育期总耗水量的 10%~15%,期间降水量不足 55 mm 或超过 140 mm 均会导致马铃薯根、茎、叶发育不良,造成减产。图 7 为山东省春季马铃薯播种至出苗期平均累积降水量年际变化,平均值为 16.5 mm,最高降水量为 44.8 mm,发生在 1991 年,最少降水量为 1.3 mm,发生在 2014 年。春季马铃薯播种至出苗期累积降水量呈波动下降的趋势,平均每 10 a 下降 3.1 mm。

2.2.2 春季马铃薯播种至出苗期相对湿度指数变化

图 8 为山东省春季马铃薯播种至出苗期平均相对湿度指数年际变化,平均值为-0.48,呈波动下降趋势,平均每 10 a 下降 0.09,最低值为-0.95,发生在 2014 年;发育期突变前相对湿度指数平均值为-0.33,突变后为-0.55。

山东省各气象站点春季马铃薯播种至出苗期干旱等级分布(图 9a)表现为鲁西北北部和半岛大部地区有中度干旱,其他地区以轻度干旱或者没有旱情。由气候倾向率分布(图 9b)来看,山东省春季马铃薯播种至出苗期相对湿度指数整体呈下降趋势,平均每 10 a 下降 0.09,鲁南西部和鲁中西部地区下降较快,相对湿度指数每 10 a 下降超过 0.10,区域内下降速度最快的为东平,平均每 10 a 下降 0.18。

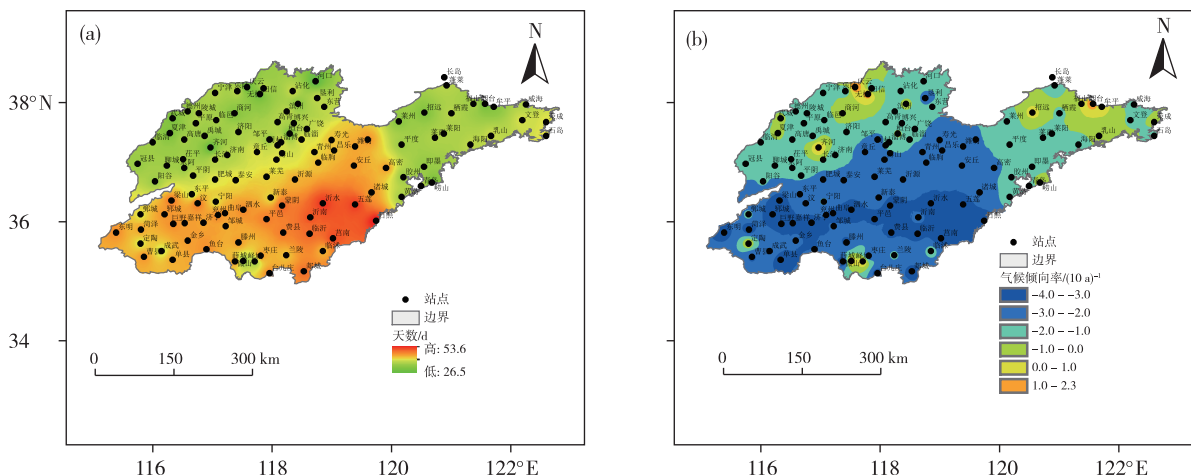


图 6 山东省春季马铃薯播种至出苗期天数(a;色阶,单位:d)及气候倾向率(b;色阶,单位:(10 a)⁻¹)分布

Fig.6 Distribution of the number of days from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province (a; color scale, units: d) and the climate tendency rate (b; color scale, units: (10 a)⁻¹)

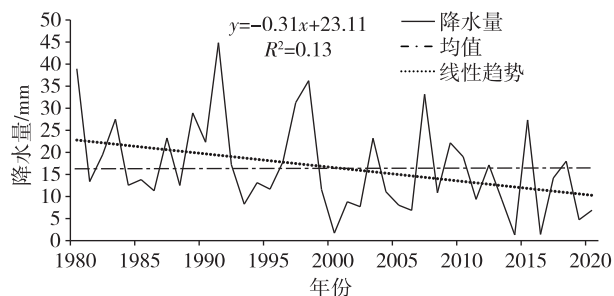


图7 山东省春季马铃薯播种至出苗期累积降水量年际变化

Fig.7 Inter-annual variations of accumulated precipitation from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province

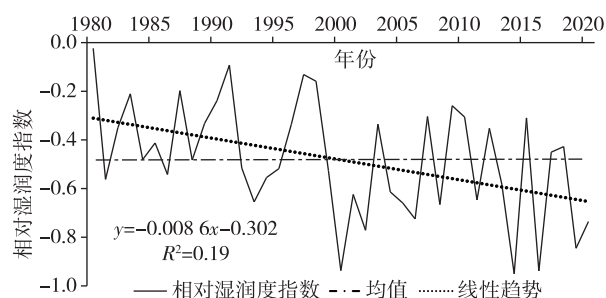


图8 山东省春季马铃薯播种至出苗期相对湿度指数年际变化

Fig.8 Inter-annual variations of relative moisture index from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province

2.3 春季马铃薯播种至出苗期热量条件分析

2.3.1 春季马铃薯播种至出苗期气温变化

已有研究^[37]表明,马铃薯产量与播种至出苗期

平均气温呈抛物线关系,当平均气温超过 15 ℃,产量随着温度升高而降低,因此分析播种至出苗期气温变化具有重要意义。图 10 为山东省春季马铃薯播种至出苗期平均气温年际变化,平均气温为 8.9 ℃,最高气温为 11.6 ℃,出现在 2014 年,最低气温为 6.6 ℃,出现在 1996 年,最高气温比最低气温高出 5 ℃,气温整体呈波动上升的趋势,平均每 10 a 增加 0.6 ℃。由图 11 可知,播种至出苗期天数与平均气温呈负相关关系,相关系数为 -0.99,通过 $\alpha = 0.01$ 显著性 t 检验。

2.3.2 春季马铃薯播种至出苗期温度适宜度变化

图 12 为山东省春季马铃薯播种至出苗期平均温度适宜度年际变化,整体上呈波动上升的趋势,平均每 10 a 增加 0.07,平均值为 0.54,最低值为 0.19,发生在 1996 年,最高值为 0.81,发生在 2014 年。

山东省各气象站点春季马铃薯播种至出苗期温度适宜度空间分布(图 13a)表现为半岛、鲁西北、鲁中西部地区温度适宜度较高,鲁南和鲁中东部地区较低,鲁南、鲁中、鲁西北和半岛温度适宜度均值分别为 0.41、0.54、0.62 和 0.65,全省温度适宜度平均为 0.54。由气候倾向率分布(图 13b)可以看出,温度适宜度的气候倾向率全省均大于 0,说明山东省春季马铃薯播种至出苗期温度适宜度在增加,全省气候倾向率平均每 10 a 增加 0.07,鲁南南部和鲁西北东北部地区 10 a 倾向率均大于 0.10,高于省内其他区域,半岛地区 10 a 气候倾向率较低,低于 0.05。

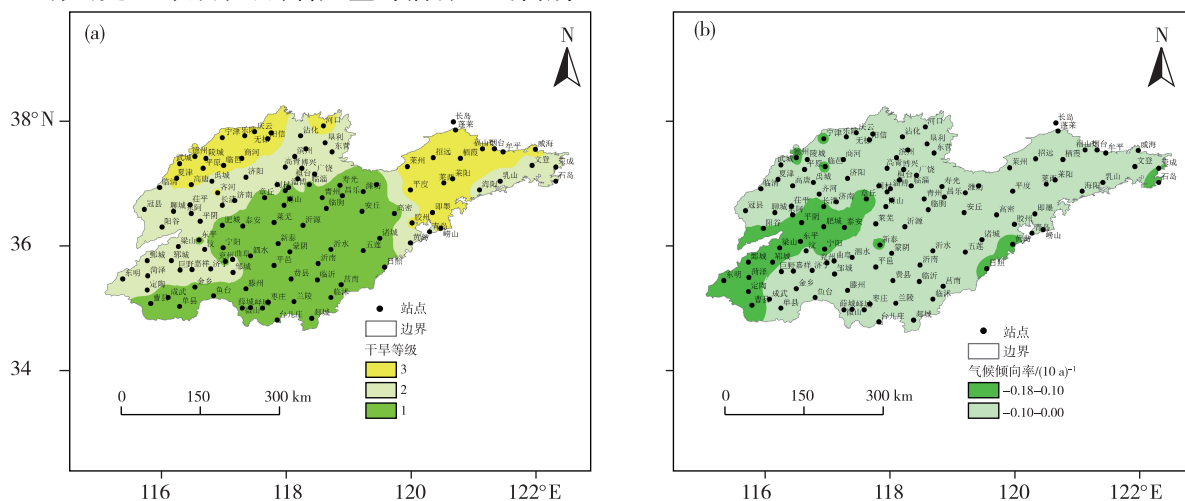


图9 山东省春季马铃薯播种至出苗期干旱等级(a;色阶)分布及相对湿度指数气候倾向率(b;色阶,单位:(10 a)⁻¹)分布

Fig.9 Distribution of drought degrees (a; color scale) and climate tendency rate of relative moisture index (b; color scale, units: (10 a)⁻¹) from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province

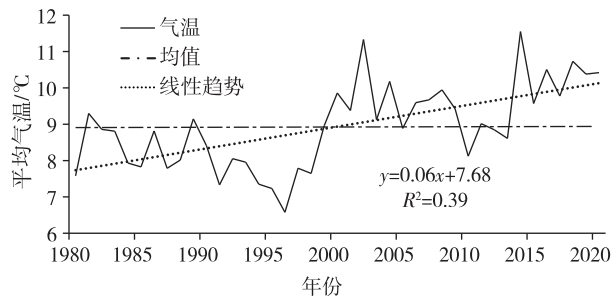


图10 山东省春季马铃薯播种至出苗期平均气温年际变化

Fig.10 Inter-annual variations of average air temperature from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province

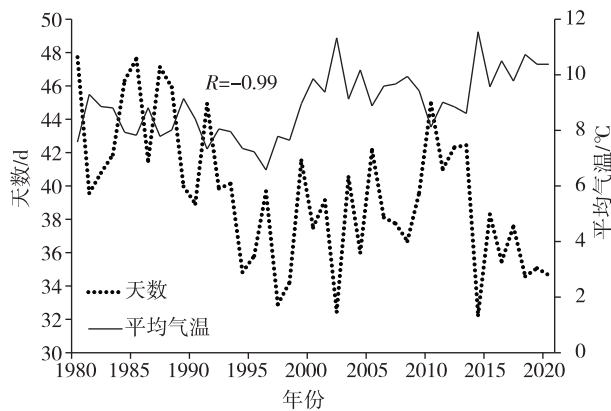


图11 山东省春季马铃薯播种至出苗期天数与平均气温年际变化

Fig.11 Inter-annual variations of the number of days and the average air temperature from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province

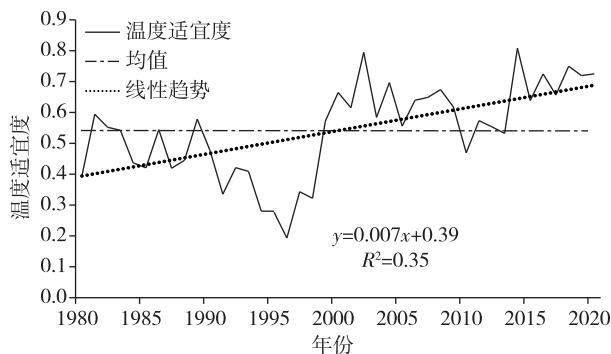


图12 山东省春季马铃薯播种至出苗期温度适宜度年际变化

Fig.12 Inter-annual variations of the temperature suitability from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province

3 结论与讨论

山东省春季马铃薯播种至出苗期的天数呈现鲁中和鲁南时间长,而鲁西北和半岛地区时间短的空间分布特征,全省平均值为39.5 d,整体呈现缩短的趋势,平均每10 a缩短1.8 d,年际变化中存在突变,突变年份为1992年;从周期上看,播种至出苗期的天数存在明显的周期变化,其中3~4 a的时间尺度通过了0.05水平显著性检验。

山东省春季马铃薯播种至出苗期降水量平均值为16.5 mm,研究^[8]表明,马铃薯播种至出苗期降水量小于55 mm不能满足该期间马铃薯生长需求,说明该发育期内水分不足,全省降水量平均每10 a下降3.1 mm,说明水分条件呈减少的趋势。由相对湿润度指数看,鲁西北北部和半岛大部地区有中度干旱,整个研究区相对湿润度指数呈下降趋势,平均每10 a下降0.09,鲁西地区下降速度快于其他地区。同时有研究^[14-15]表明,播种至出苗期水分不足不仅影响出苗,而且会降低产量,因此在山东省春季马铃薯播种至出苗期应该增加田间灌水,加强田间水肥管理。

山东省春季马铃薯播种至出苗期平均气温在6.6~11.6 °C之间,平均值为8.9 °C;平均气温自1980年以来呈现增加的趋势,平均每10 a增加0.6 °C。本文通过分析发现播种至出苗期的天数与气温有显著负相关关系,相关系数为-0.99,说明播种至出苗期气温升高是造成播种至出苗期时间缩短的主要因素,这与前人研究^[38-39]结论相似;山东省春季马铃薯在播种至出苗期时段内的温度适宜度呈增加的趋势,平均每10 a增加0.07,说明该时段内的热量条件呈现利好的趋势,适合马铃薯生长的区域在增加,可以适当扩大种植面积。

综上所述,山东省春季马铃薯播种至出苗期水分条件呈现减少的趋势,应增加田间灌水,尤其是鲁西北和半岛等水分减少较快的地区;该时段内全省热量条件呈现利好的趋势,适宜扩大种植面积。

参考文献:

[1] 关佳晨,蔡海龙.我国马铃薯生产格局变化特征及原因分析[J].中国农业资源与区划,2019,40(3):92-100.
 [2] 刘洋,高明杰,罗其友,等.世界马铃薯消费基本态势及特点[J].世界农业,2014(5):119-124,216.
 [3] 张玉胜,刘洋,高明杰,等.中国马铃薯产品国际竞争力比较分析[J].农业展望,2020,16(9):101-106.

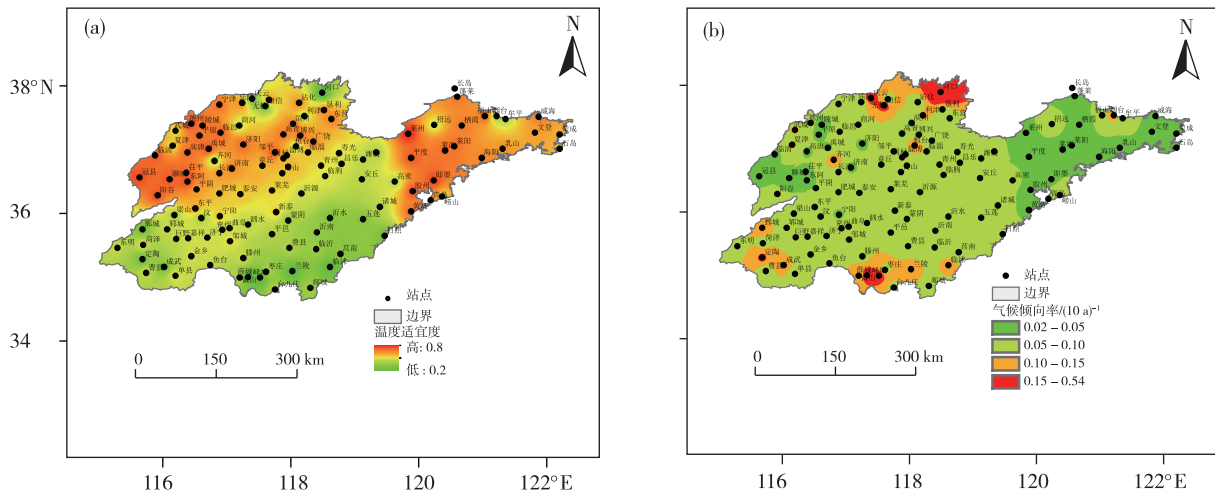


图 13 山东省春季马铃薯播种至出苗期温度适宜度(a;色阶)及气候倾向率(b;色阶,单位: $(10\text{ a})^{-1}$)分布

Fig.13 Temperature suitability (a; color scale) and its climate tendency rate (b; color scale, units: $(10\text{ a})^{-1}$) from sowing to emergence of spring potatoes in Shandong province

- [4] 陈萌山,王小虎.中国马铃薯主食产业化发展与展望[J].农业经济问题,2015,36(12):4-11.
- [5] 杨亚东,罗其友,王道龙,等.中国马铃薯区域分布影响因素分析[J].中国农业资源与区划,2018,39(2):76-81.
- [6] 叶佩,刘可群,申双和,等.湖北省冬播马铃薯苗期冻害风险区划[J].中国农业气象,2020,41(3):162-172.
- [7] 方洁,陈家金.福建省春种马铃薯寒冻害风险区划[J].中国农业气象,2017,38(12):812-821.
- [8] 池再香,杜正静,杨再禹,等.贵州西部马铃薯生育期气候因子变化规律及其影响分析[J].中国农业气象,2012,33(3):417-423.
- [9] 沈平,陈荣,杜尧东,等.气候变化对广东冬种马铃薯种植气候区划的影响[J].广东气象,2020,42(2):52-57.
- [10] 李梦迪,杨媛媛,周平.马铃薯抗旱性研究进展[J].中国马铃薯,2020,34(5):304-308.
- [11] 张瑞玖,马恢,籍立杰,等.不同马铃薯品种抗旱性比较筛选试验研究[J].农业科技通讯,2016(2):49-51.
- [12] 秦丽娟,李海萍,刘秀,等.华北集约农区马铃薯地膜覆盖安全期的探讨[J].中国农业气象,2018,39(3):168-176.
- [13] 姚玉璧,王润元,邓振镛,等.黄土高原半干旱区气候变化及其对马铃薯生长发育的影响[J].应用生态学报,2010,21(2):379-385.
- [14] 姚玉璧,张秀云,卢汉威,等.气象条件对西北温凉半湿润区马铃薯块茎形成及产量的影响[J].中国农业气象,2009,30(2):208-211.
- [15] 王晓娇,蒙美莲,曹春梅,等.水分胁迫对马铃薯出苗期根系生理特性及内源激素 IAA、ABA 含量的影响[J].东北师大学报(自然科学版),2018,50(2):103-109.
- [16] 张广玲,刘树峰,吕钊钦,等.山东省马铃薯收获机械发展现状及趋势探讨[J].农机化研究,2015,37(11):264-268.
- [17] 栗慧卿,王永建,董道峰,等.马铃薯机械化生产技术规范:DB 37/T 3356—2018[S].北京:气象出版社,2018:1-2.
- [18] 刘玉芳,杨秀永.鲁西北地区棉薯间作高产高效栽培技术[J].长江蔬菜,2013(3):31-32.
- [19] 刘庆年,李红梅,曹洪涛.阿卡迪海藻精对马铃薯幼芽生长和薯块产量的影响[J].中国蔬菜,2008(2):31-32.
- [20] 马伟清,王培伦,杨元军,等.不同类型肥料对马铃薯产量及块茎品质的影响[J].山东农业科学,2010(3):59-60.
- [21] 刘芳,杨元军,董道峰,等.济南地区春马铃薯生长期蚜虫的消长规律研究[J].中国马铃薯,2012,26(1):40-42.
- [22] 桑卫民,李絮花.增效复混肥在马铃薯上的应用效果[J].山东农业科学,2020,52(12):75-78.
- [23] 刘中良,尹娟,高俊杰,等.膜上覆土对二季作春马铃薯生理特性及产量的影响[J].江苏农业科学,2017,45(3):61-63.
- [24] 张晋.莱芜市马铃薯早春种植丰产技术研究[J].吉林蔬菜,2014(5):4-5.
- [25] 叶巍,鲁文娟,陈洪江,等.胶东沿海地区露地春马铃薯不同播期对产量的影响[J].山东农业科学,2010(6):52-53.
- [26] 姚玉璧,张秀云,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.
- [27] 马树庆.吉林省农业气候研究[M].北京:气象出版社,1994.

- [28] 詹鑫.中国北方地区马铃薯气候适宜性及气候变化对其产量影响的研究[D].成都:四川农业大学,2018.
- [29] 张存杰,刘海波,宋艳玲,等.气象干旱等级:GB/T 20481—2017[S].北京:气象出版社,2017:7-8.
- [30] 王静,杨晓光,李勇,等.气候变化背景下中国农业气候资源变化Ⅵ:黑龙江省三江平原地区降水资源变化特征及其对春玉米生产的可能影响[J].应用生态学报,2011,22(6):1511-1522.
- [31] 李文科,杨霏云,王娜,等.山东省设施农业生产季连阴天时空演变特征及其影响[J].海洋气象学报,2020,40(3):136-142.
- [32] 董旭光,周强,刘焕彬,等.山东夏季极端热事件变化特征分析[J].海洋气象学报,2020,40(3):60-76.
- [33] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:63-65,37-40,99-103.
- [34] 张萍,徐峰,涂石飞,等.1979—2017年南海 SSTA 时空特征及其与沃克环流异常的相关[J].海洋气象学报,2019,39(1):15-25.
- [35] TORRENCE C G, COMPO G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1998, 79(1):61-78.
- [36] GRINSTED A, MOORE J C, JEVREJEVA S, et al. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series [J]. Nonlinear Proc Geoph, 2004, 11(5/6):561-566.
- [37] 吴炫柯,农柳蓬,刘永裕,等.马铃薯不同发育期适宜温度气象指标研究[J].江苏农业科学,2020,48(10):120-123.
- [38] 姚玉璧,王润元,赵鸿,等.甘肃黄土高原不同海拔气候变化对马铃薯生育脆弱性的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(2):52-58.
- [39] 王萍,李秀芬,杨晓强,等.气候变化对松嫩平原马铃薯生长发育及产量的影响[J].中国农学通报,2019,35(16):100-105.