

黑龙江省松嫩平原马铃薯气候适宜性分析

王萍, 宫丽娟, 曲辉辉, 吕佳佳, 李秀芬, 闫平*

(黑龙江省气象科学研究所/中国气象局东北地区生态气象创新开放实验室/黑龙江省气象院士工作站, 哈尔滨 150030)

摘要: 基于1971~2017年黑龙江省松嫩平原40站的逐日气象观测数据及马铃薯发育期观测数据, 计算松嫩平原温度、降水、日照及综合气候适宜度, 并分析其时空分布特征, 揭示其变化规律, 以为马铃薯生产提供科学依据。结果表明: 1971~2017年松嫩平原马铃薯各生育阶段温度适宜度分布规律不同, 从播种至可收期各生育阶段的平均温度适宜度在0.93以上, 且年际间变化微小; 降水适宜度地区差异较大、年际间变化剧烈, 47年间播种-出苗期、花序形成-开花期为微弱上升趋势, 出苗-分枝期、分枝-花序形成期、开花-可收期为略下降趋势; 日照适宜度自西北向东南逐渐下降, 年际间差异较小, 且均呈现略下降的趋势; 马铃薯生长发育的大部分时期气候适宜度自西向东逐渐升高, 松嫩平原西部气候适宜度较低, 基本在0.80以下, 而松嫩平原东部气候适宜度相对较高, 在0.8以上。松嫩平原的东部和北部相对于西部来说更适宜马铃薯的生长, 且影响气候适宜度的主要因子为降水。

关键词: 松嫩平原; 马铃薯; 气候适宜度; 时空变化; 气候变化

中图分类号: S532

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2021)03-0095-05

Climatic Suitability Analysis of Potato in Songnen Plain

WANG Ping, GONG Lijuan, QU Huihui, LYU Jiajia, LI Xiufen, YAN Ping*

(Heilongjiang Province Institute of Meteorological Science/Innovation and Opening laboratory of Regional Eco-Meteorology in Northeast China/Meteorological Academician Workstation of Heilongjiang Province, Harbin 150030, China)

Abstract: Based on the data of temperature, precipitation, sunshine and growth period of potato in Songnen Plain of Heilongjiang Province from 1971 to 2017 and the potato growth period observation data, the paper calculated the temperature, precipitation, sunshine and comprehensive climate suitability in the Songnen Plain of Heilongjiang Province, analyzed the temporal and spatial distribution characteristics, and revealed the variation rules, in order to provide a scientific basis for potato production. The results showed that from 1971 to 2017, the distribution of potato temperature suitability at each growth stage in Songnen Plain was different. The average temperature suitability at each growth stage from sowing to harvest stage was above 0.93, and the interannual change was slight. Precipitation suitability varies greatly among regions and between years. The sunshine suitability decreased gradually from northwest to southeast, with little inter-annual difference, and all showed a slightly decreasing trend. In most periods of potato growth and development, the climate suitability increased gradually from west to east. The western part of Songnen Plain had a low climate suitability, which was basically below 0.80, while the eastern part of Songnen Plain had a relatively high climate suitability, which was above 0.8. The eastern and northern parts of Songnen Plain are more suitable for potato growth than those in the west, and precipitation is the main factor affecting climate suitability.

Key words: Songnen plain; Potato; Climatic suitability; Spatiotemporal change; Climate change

黑龙江省马铃薯种植已有100多年的历史, 具有适宜种植马铃薯的自然优势和生产基础, 黑

龙江省地处中高纬度, 属大陆季风气候^[1], 土壤有机质含量丰富, 其中多为黑土、黑钙土和草甸土, 适宜马铃薯种植, 松嫩平原位于黑龙江省西部, 夏季气候温热, 降水集中, 雨热同季, 光照时间长^[2-3], 适宜马铃薯生长, 加之地势平坦、土地连片, 十分适合于马铃薯大面积、机械化、标准化作业。松嫩平原作为黑龙江省马铃薯的主产区, 其马铃薯种植面积占黑龙江省马铃薯总种植面积的

收稿日期: 2019-01-28

基金项目: 中国气象局东北地区生态气象创新开放实验室基金项目(stqx201807)

作者简介: 王萍(1976-), 女, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为应用气象。

通讯作者: 闫平, 女, 硕士, 高级工程师, E-mail: di-chun@163.com

60%以上,“克山土豆”“讷河土豆”全国闻名,“黑河土豆”远销海外^[4-5]。因此,在全球气候变化背景下,研究松嫩平原马铃薯关键生育期生长发育气候适宜程度对于指导农业生产具有重大意义。

目前气候变化对作物影响方面的研究很多,如区域气候变化规律^[6-7]及在其变化背景下气候生产潜力的评价^[8-12]。在气候变化背景下,对作物适宜程度及规律的研究逐渐增加,如侯英雨、易灵伟等^[13-14]构建了气候适宜度模型,分别建立了东北春玉米发育期模拟模型、湖北中稻的产量预报模型。李秀芬、宫丽娟等^[15-16]利用东北地区逐日气象资料、玉米产量资料和生育期资料,建立东北地区玉米生长发育期气象条件适宜程度诊断模型。国内大多是对主要粮食作物玉米、大豆等大宗作物的生育期气候适宜度进行评价,对马铃薯等小宗作物发育期气候适宜度研究较少。姚玉璧、高永刚等^[17-19]分析气候变化对马铃薯生长发育的影响以及马铃薯块茎生长与气象条件的关系。亢艳莉、宋学锋等^[20-21]分析了宁夏南部山区马铃薯的产量变化与气象要素之间的关系及马铃薯的水分供需特征。金林雪等^[22]采用气候适宜度评估模型,对内蒙古马铃薯开花-可收期气候适宜度的空间特征及变化趋势进行分析。罗清、池再香等^[23-24]也对马铃薯生育期气候因子变化规律进行研究。本文以黑龙江松嫩平原马铃薯为研究对象,利用1971年以来农业气象观测资料,分析了马铃薯关键生育期温度、降水、日照及综合气候适宜度,研究其变化规律。为黑龙江省特色农业气象服务提供科技支撑,进而为马铃薯生产提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

松嫩平原位于黑龙江省西部,属大陆性季风气候,四季分明,冬季漫长,气候寒冷干燥,夏季温暖、湿润,雨热同季,春秋时间短,气候变化强烈, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在2 000~3 000 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ^[25-26],地势平坦,是黑龙江省两大平原之一。

1.2 数据来源

本文选取黑龙江省松嫩平原40个气象台站1971~2017年逐日平均气温、最高气温、最低气温、风速、水气压、降水量、日照时数及马铃薯发育期资料,资料来源于黑龙江省气象数据中心。

1.3 研究方法

1.3.1 温度适宜度

温度适宜度采用下式计算:

$$F(t) = \frac{(t - t_l)(t_h - t)^B}{(t_0 - t_l)(t_h - t_0)^B}$$

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

式中:F(t)为温度适宜度,t为日平均气温($^{\circ}\text{C}$), t_l 、 t_h 、 t_0 分别为各发育期所需的下限温度、上限温度和适宜温度,在以往研究基础上^[27-28],结合松嫩平原马铃薯生长的温度范围,得出其取值(表1),当 $t \leq t_l$ 或当 $t \geq t_h$ 时,F(t)为0,当 $t = t_0$ 时,F(t)为1,当 $t_l < t < t_h$,F(t)在0和1之间。

表1 松嫩平原马铃薯各发育期下限、上限及适宜日均温度 $^{\circ}\text{C}$

	播种- 出苗	出苗- 分枝	分枝- 花序形成	花序形成- 开花	开花- 可收
t_l	2	7	7	7	2
t_h	28	30	30	30	30
t_0	18	20	20	20	18

1.3.2 水分适宜度

水分适宜度计算公式为:

$$F(r) = \begin{cases} 1 - \frac{|\Delta W|}{W} & R < W_0 \\ 1 & R \geq W_0 \end{cases}$$

$$\Delta W = R - W$$

$$W = K_c \times ET_0$$

式中:F(r)为降水适宜度, ΔW 为农田水分盈亏值;R为降水量;W为理论需水量; K_c 为马铃薯作物系数,根据王彦平、连彩云等研究成果^[28-29],马铃薯作物系数在播种至出苗期为0.19,出苗至花序形成期为0.42,花序形成至开花期为0.87,开花至可收期为0.94; ET_0 为时段潜在蒸散量,用FAO推荐的P-M公式计算^[30-31]。

1.3.3 日照适宜度

根据金林雪、王彦平等研究成果^[22,28],把日照时数达可照时数的70%作为临界值 s_0 ,当实际日照时数 $\geq s_0$ 时,日照适宜度为1;当实际日照时数 $< s_0$ 时,日照适宜度则用实际日照时数与0.7个天文日长的比值表示。

$$F(s) = \begin{cases} \frac{s}{s_0} & x < s_0 \\ 1 & x \geq s_0 \end{cases}$$

式中:F(s)为日照适宜度,s为实际日照时数, s_0 为某时段与马铃薯有关的70%可照时数。

1.3.4 气候适宜度

气候适宜度能够综合体现温度、水、光对马铃

薯各生育阶段生长发育的综合影响,采用下式计算^[22,32]:

$$F = \sqrt[3]{F(t) \times F(r) \times F(s)}$$

式中:F为气候适宜度,F(t)为温度适宜度,F(r)为降水适宜度,F(s)为日照适宜度。

1.3.5 马铃薯发育期

松嫩平原4个马铃薯观测站1987~2017年马铃薯平均发育期见表2,计算不同站点不同生育阶段马铃薯气候适宜度时,没有马铃薯发育期观测的站点采用临近站点的发育期资料。

表2 松嫩平原1987~2017年马铃薯发育期

	日/月					
	播种	出苗	分枝	花序形成	开花	可收
嫩江	9/5	5/6	14/6	28/6	6/7	10/9
克山	8/5	6/6	21/6	28/6	7/7	4/9
拜泉	6/5	2/6	17/6	28/6	6/7	17/9
海伦	5/5	31/5	16/6	30/6	5/7	12/9

2 结果与分析

2.1 马铃薯各生育阶段温度适宜度时空分布特征

1971~2017年松嫩平原马铃薯从播种至可收期各生育阶段的平均温度适宜度在0.93以上(表3),且年际间变化微小,说明在松嫩平原温度条件不是制约马铃薯生长的气象条件,它基本能够满足马铃薯生长发育的需要。以播种-出苗期为例,平均温度适宜度为0.95,最低值出现在1984年,为0.89,最高值出现在2013年,为0.99,与最低年份相差0.10。

表3 松嫩平原1971~2017年马铃薯各发育阶段平均气候适宜度

	播种-出苗	出苗-分枝	分枝-花序形成	花序形成-开花	开花-可收
温度适宜度	0.95	0.96	0.95	0.93	0.96
降水适宜度	0.83	0.75	0.75	0.60	0.85
日照适宜度	0.80	0.77	0.76	0.75	0.80
气候适宜度	0.83	0.77	0.78	0.64	0.86

1971~2017年松嫩平原马铃薯各生育阶段温度适宜度分布规律不同,播种-出苗期呈西高东低的趋势,各地温度适宜度均在0.90以上,其中西部在0.95以上,东部、北部在0.90~0.94之间;出苗-分枝期呈南高北低的趋势,北部在0.90~0.94之间,南部在0.95~0.98之间;分枝-花序形成期与花序形成-开花期为西部低东部高,温度适宜

度在0.87~0.98之间变化;开花-可收期西南部低,东部和北部高,且均在0.92以上。

2.2 马铃薯各生育阶段降水适宜度时空分布特征

松嫩平原马铃薯各生育阶段降水适宜度在近47年间变化较大,其中播种-出苗期为0.25~1.00,出苗-分枝期为0.06~1.00,分枝-花序形成期为0.18~1.00,花序形成-开花期为0.06~1.00,开花-可收期为0.55~1.00。以花序形成-开花期为例,平均为0.60,最小值出现在2006年,为0.06,最大值出现在2013年,为1.00,与2006年相差0.94,说明其年际间变化剧烈。播种-出苗期、花序形成-开花期为微弱上升趋势,说明此时期多年降水变化对马铃薯生长发育是一个正效应,出苗-分枝期、分枝-花序形成期、开花-可收期呈略下降趋势,说明多年的降水变化在此时期对马铃薯的生长发育是一个负效应。

降水适宜度地区差异较大,播种-出苗期、出苗-分枝期、分枝-花序形成期、开花-可收期分布规律基本一致,呈现自西向东逐渐升高的趋势,而花序形成-开花期为西北和东南高、中部低。以上规律的出现主要由于松嫩平原降水地域差异较大,降水量呈现自东向西逐渐减少的趋势,西部生长季降水常年不足400mm,因此其降水适宜度低,而东部降水在450mm以上,降水适宜度相对偏高。播种-出苗期各地降水适宜度0.66~0.93,西部在0.8以下,东部为0.80~0.94;出苗-分枝期降水适宜度在0.64~0.84之间变化,低值区出现在西部和北部,在0.75以下,南部和东部为高值区,在0.75~0.84之间;分枝-花序形成期为西部低、东部和北部高,在0.57~0.87之间;花序形成-开花期降水适宜度为0.51~0.71,低值区集中在中部,高值区集中在北部和南部;开花-可收期西部低,东部和北部高,且在0.65以上。

2.3 马铃薯各生育阶段日照适宜度时空分布特征

1971~2017年松嫩平原马铃薯各生育阶段平均日照适宜度为0.75~0.80,年际间差异较小,且均呈现略下降趋势,说明日照多年的变化对马铃薯生长发育为微弱负效应。播种-出苗期,平均日照适宜度为0.80,各地在0.52~1.00之间变化,最低值出现在2014年,最高值出现在1985年;出苗-分枝期平均日照适宜度为0.77,最低值出现在1983年,为0.44,最高值出现在1994年,为0.99,与最低年份相差0.55;分枝-花序形成期日照适宜度为0.52~0.96,花序形成-开花期为0.17~0.99,开花-可收期为0.62~0.94。

各阶段日照适宜度空间分布规律基本一致,都是自西北向东南逐渐下降的趋势,且日照适宜度均在0.67以上,播种-出苗期平均为0.83,低值区出现在东南部,即哈尔滨地区大部在0.80以下,而西部和北部大部地区均在0.80以上;出苗-分枝期日照适宜度在0.69~0.84之间变化,地区差异明显偏小。分枝-花序形成期、花序形成-开花期、开花-可收期大部地区日照适宜度在0.67~0.87之间变化,且呈现西部和北部高、东部和南部低的趋势。

2.4 马铃薯各生育阶段气候适宜度时空分布特征

2.4.1 时间分布

不同年份不同生育阶段气候适宜度变化规律不同,播种-出苗期总体呈在波动中维持平稳的趋势,花序形成-开花期为微弱上升,而其他生育阶段为略下降的趋势,其中播种-出苗期在0.47~0.93之间变化,出苗至分枝期为0.26~0.92,分枝-花序形成期为0.36~0.88,花序形成-开花期为0.12~0.88,开花-可收期为0.77~0.91。出苗-分枝期和花序形成-开花期年际间变化较大,播种-出苗期和分枝-花序形成期次之,开花-可收期年际间差距较小,以出苗至分枝期和开花-可收期为例,出苗-分枝期平均气候适宜度为0.77,最低值出现在2004年,为0.26,最高值出现在1985年,为0.92,与最低年份差值0.66;开花-可收期平均气候适宜度为0.86,最低值出现在2007年,为0.77,最高值出现在1985年,为0.91,与最低年份差值0.14。

2.4.2 空间分布

1971~2017年马铃薯各生育阶段不同站点气候适宜度不同,总体来说在马铃薯生长发育的大部时期,气候适宜度自西向东逐渐升高,即松嫩平原西部气候适宜度较低,基本在0.80以下,而东部气候适宜度相对较高,在0.8以上,这一分布规律与降水适宜度分布相似。播种-出苗期、出苗-分枝期、分枝-花序形成期分布规律基本一致,呈西北低东南高的趋势,花序形成-开花期为西北高东南低,开花-可收期东北高西南低。以分枝-花序形成期为例,松嫩平原西部气候适宜度为0.63~0.74,北部及东部为0.75~0.85。花序形成-开花期,西部为0.65~0.76,东部和北部为0.55~0.64,此时期与其他生育阶段分布规律相反,而西部常年降水偏少,此分布规律说明这一地区在此阶段的气候适宜度受降水影响较小。

3 结论与讨论

1971~2017年松嫩平原马铃薯从播种至可收期各生育阶段的平均温度适宜度在0.93以上,且年际间变化微小,各生育阶段不同地域空间分布不同,基本能够满足马铃薯生长发育的需要,说明在松嫩平原,温度条件不是制约马铃薯生长的气象条件。降水适宜度年际间变化剧烈、地区差异较大,播种-出苗期、出苗-分枝期、分枝-花序形成期、开花-可收期分布规律基本一致,呈现自西向东逐渐升高的趋势,而花序形成-开花期为西北和东南高、中部低。日照适宜度为0.75~0.80,自西北向东南逐渐下降,年际间差异较小,且均呈现略下降的趋势,说明日照多年的变化对马铃薯生长发育为微弱负效应。

马铃薯生长发育的大部时期气候适宜度自西向东逐渐升高;1971~2017年播种-出苗期总体呈在波动中维持平稳的趋势,花序形成-开花期为微弱上升,而出苗-分枝期、分枝-花序形成期、开花-可收期为略下降的趋势,说明气候变化对马铃薯各生育阶段的影响不同,气候变化对花序形成-开花期的影响是微弱的正效应,而出苗-分枝期、分枝-花序形成期、开花-可收期三个阶段气候变化对其影响是微弱的负效应,在一定程度上增加了马铃薯生产的风险。

从气候适宜度的时空分布规律可以看出,松嫩平原的东部和北部相对于西部来说更适宜马铃薯的生长,且影响气候适宜度的主要因子为降水。在马铃薯生长发育的大部时段,松嫩平原北部气候适宜度较高,而位于松嫩平原北部的讷河、克山等地出产的马铃薯闻名全国,其品质优、产量高,这除了与其土质有关,还与其气候条件密切相关,气候适宜度高,对马铃薯生长发育为正效应,因此能够促进其产量和品质的提升。

本文从温度、降水、日照和综合要素的气候适宜度对松嫩平原的马铃薯区域适宜性进行评价,对于了解松嫩平原马铃薯生长发育对气候变化的反应有重要作用,可以应用到马铃薯产量预报中,进而为马铃薯生产提供客观的理论依据。

参考文献:

- [1] 李帅,杜春英,姜丽霞,等.黑龙江农业气象应用服务手册[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2013:1-36
- [2] 孙玉亭,祖世亨,曹英,等.黑龙江省农业气候资源及其利用[M].北京:气象出版社,1986:5-30.
- [3] 杜春英,姜丽霞,李秀芬,等.寒地水稻冷害监测预警技术[M].北京:气象出版社,2017:29-41.
- [4] 马广鹏.黑龙江省马铃薯产业现状及发展对策分析[J].中

- 国马铃薯,2012,26(4):247-250.
- [5] 郭玉锋,龙江雨,仲伟锋,等.黑龙江省马铃薯生产现状及发展对策[J].中国马铃薯,2010,24(4):252-254.
- [6] 郭佩佩,杨 东,王 慧,等.1960~2011年三江源地区气候变化及其对气候生产力的影响[J].生态学杂志,2013,32(10):2806-2814.
- [7] 王秀芬,杨艳昭,尤 飞,等.黑龙江省气候变化及其对玉米生产潜力的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(5):25-28.
- [8] 刘 江,潘宇弘,王平华,等.1966~2015年辽宁省玉米气候生产潜力的时空特征[J].生态学杂志,2018,37(11):3396-3406.
- [9] 孙彦坤,田宝星,高 见,等.气候变化对黑龙江省黑土区玉米气候生产潜力的影响[J].东北农业大学学报,2013,44(11):44-49.
- [10] 李秀芬,赵慧颖,朱海霞,等.黑龙江省玉米气候生产力演变及其对气候变化的响应[J].应用生态学报,2016,27(8):2561-2570.
- [11] 杨俊玲,梁凤霞,王晓腾.吉林地区气候变化对农业生产的影响[J].吉林农业科学,2012,37(2):55-58.
- [12] 梁烜赫,高华援,王 凤,等.不同播种期对马铃薯产量的影响[J].吉林农业科学,2009,34(1):50-51.
- [13] 侯英雨,张艳红,王良宇,等.东北地区春玉米气候适宜度模型[J].应用生态学报,2013,24(11):3207-3212.
- [14] 易灵伟,杨爱萍,刘文英,等.湖北中稻气候适宜度指标构建及其对产量影响的定量评估与应用[J].中国农学通报,2015,31(23):109-115.
- [15] 李秀芬,马树庆,宫丽娟,等.基于WOFOST的东北地区玉米生育期气象条件适宜度评价[J].中国农业气象,2013,34(1):43-49.
- [16] 宫丽娟,李宇光,王 萍,等.黑龙江省玉米气候适宜度变化分析[J].吉林农业科学,2012,37(5):75-80.
- [17] 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.
- [18] 高永刚,那济海,顾 红,等.黑龙江省马铃薯气候生产力特征及区划[J].中国农业气象,2007,28(3):275-280.
- [19] 姚玉璧,邓振镛,王润元,等.气候暖干化对甘肃马铃薯生产的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):16-20.
- [20] 亢艳莉,申双和,张学艺,等.气候变化对宁夏南部山区马铃薯产量的影响及马铃薯水分供需特征分析[J].江苏农业学报,2017,33(5):1056-1061.
- [21] 宋学锋,侯 琼.气候条件对马铃薯产量的影响[J].中国农业气象,2003,24(2):35-38.
- [22] 金林雪,李云鹏,李 丹,等.气候变化背景下内蒙古马铃薯关键生长期气候适宜性分析[J].中国生态农业学报,2018,26(1):38-48.
- [23] 罗 清.凉山州马铃薯发育期的气候生态模型研究[J].西南大学学报,2003,31(9):1-6.
- [24] 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.
- [25] 李 帅,杜春英,于成龙,等.黑龙江省农业与气候[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2012:5-30.
- [26] 杜春英,宫丽娟,张志国,等.黑龙江省热量资源变化及其对作物生产的影响[J].中国生态农业学报,2018,26(2):242-252.
- [27] 王春玲.气候变化对西北半干旱地区马铃薯生产影响的研究[D].南京:南京信息工程大学,2015.
- [28] 王彦平,侯 琼,宋卫士,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].中国农学通报,2015,31(3):216-220.
- [29] 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.
- [30] 侯英雨,王良宇,毛留喜,等.基于气候适宜度的东北地区春玉米发育期模拟模型[J].生态学杂志,2012,31(9):2431-2436.
- [31] 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.
- [32] 魏瑞江,宋迎波,王 鑫.基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法[J].应用气象学报,2009,20(5):622-627.

(责任编辑:王丝语)