

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.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.05.015

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

亢艳莉^{1,2}, 申双和¹, 张学艺², 刘 静², 郭晓雷²

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 宁夏气象局/中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室/宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002)

摘要: 了解气候变化背景下, 宁夏南部山区马铃薯的产量变化与气象要素之间的关系, 以及马铃薯的水分供需特征, 为该地区马铃薯的种植提供科学依据。结果表明, 近 55 年来, 在马铃薯生育期内宁夏南部山区气温显著升高, 不利于未来马铃薯产业的发展。8 月中旬的旬平均气温、7 月下旬的旬平均最高气温、7 月上旬的旬平均最低气温以及 7 月的月平均最高气温是产量形成的限制因子, 均与马铃薯气象产量呈显著负相关。7 月中旬是马铃薯需水的关键期, 其降水量与气象产量关系密切。除 8 月第 4 候外, 宁夏南部山区的马铃薯从 5 月下旬到 8 月下旬均处于水分亏缺状态, 有灌溉条件的地区应适时进行灌溉。

关键词: 气候变化; 马铃薯; 产量; 水分差额

中图分类号: S161; S532 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)05-1056-06

Effect of climate change on potato yield of Ningxia southern mountainous area and analysis of characteristics of water supply and demand in potato

KANG Yan-li^{1,2}, SHEN Shuang-he¹, ZHANG Xue-yi², LIU Jing², GUO Xiao-lei²

(1. *Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China*; 2. *Ningxia Bureau of Meteorology/Key Laboratory of Characteristic Agrometeorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management in Arid Regions, CMA/Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction of Ningxia, Yinchuan 750002, China*)

Abstract: To provide a scientific guidance for potato planting industry in Ningxia southern mountainous area, we explored the relationship between yield and meteorological factors and characteristics of water supply and demand in potato. Past 55 years, the temperature in the potato growth period was significantly elevated in Ningxia southern mountainous area, which would provide an adverse impact on the development of potato industry. These factors, such as average temperature in mid-August, average maximum temperature in late July, average minimum temperature in early July and the highest monthly average temperature in July, had significant negative correlation with potato meteorological yield. Mid-July was the critical period of water requirement of potato, and the precipitation was closely related to meteorological yield. The potatoes in southern mountainous of Ningxia were in the condition of water deficit from late May to late August in addition to the August

4th hou, so irrigation area should be timely irrigated.

Key words: climate change; potato; yield; moisture balance

收稿日期: 2017-05-01

基金项目: 中国气象局气候变化专项项目 (CCSF201415); 宁夏气象局气象科技创新领军人才项目; 宁夏气象局 2017 年度创新团队科技创新项目

作者简介: 亢艳莉 (1979-), 女, 宁夏银川人, 本科, 应用气象工程师, 主要从事农业气候资源等方面的研究。(Tel) 13895473033; (E-mail) 33597588@qq.com

通讯作者: 申双和, (E-mail) yqzhr@nuist.edu.cn

马铃薯是宁夏南部山区的主栽作物之一, 也是主要的经济作物之一。随着精深加工产业的发展, 马铃薯的经济效益不断提升, 宁夏南部山区黄土旱塬上的“救命蛋”变成了农民脱贫增收的“金蛋蛋”。

近 55 年来,宁夏南部山区马铃薯的种植面积从 1960 年的约 $1.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 扩大到 2015 年的约 $1.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$,总产由 $2.7 \times 10^4 \text{ t}$ 增加到近 $3.0 \times 10^5 \text{ t}$ 。

马铃薯在农业生产中占据着重要地位,中国专家围绕马铃薯的生产技术、生理特性和生物学特性等^[1-11]多个方面展开研究,多位专家的研究涉及到气候和气象因子。肖国举等^[12]的研究结果表明,增温显著减少了每株马铃薯的薯块量,提高了每块薯质量,马铃薯产量总体呈递增趋势,但差异不显著。姚玉璧等^[13]围绕气候变暖对半干旱区马铃薯产量的影响展开了研究,结果表明,气候变暖对西北半干旱地区马铃薯的生产形成了负面影响。孙芳等^[14-15]研究了宁夏气候的变化及其对马铃薯生产的影响,并基于 DSSAT 模型探讨了宁夏马铃薯生产的适应对策。李剑萍等^[16]将 DSSAT 马铃薯模拟模型与 PRECIS 区域气候模式相嵌套,模拟了未来气候情景下宁夏马铃薯产量的变化,分析影响未来马铃薯产量变化的主要原因。耿秀华等^[17]重点研究了西吉县气候变化对马铃薯产量的影响。

在气候变化的背景下,气象因子对宁夏南部山区马铃薯生产的影响也发生了变化,利用历史气候资料分析气象因子对马铃薯产量、需水量和水分盈亏量的影响,有助于深入了解气候变化对马铃薯生产的影响,为指导农业生产提供科学依据^[18-19]。胡琦等^[20]分析了内蒙古降水量分布及其对马铃薯灌溉需水量的影响。陈秋帆等^[21]研究了云南春作马铃薯的作物系数及需水规律,但是针对宁夏南部山区马铃薯需水规律分析的报道较少。本研究拟利用 1961-2015 年宁夏固原国家基准气候站的历史资料,分析宁夏南部山区马铃薯产量与气象要素之间的关系以及马铃薯水分供需特征,以期为该地区马铃薯生产获得充足的水资源和稳定的产量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

固原市国家基准气候站统计的宁夏南部山区 1961-2015 年的最高气温、最低气温、降水量、风速、日照时数等逐日气象观测资料和台站的纬度、海拔高度、作物生育期等基础数据来源于宁夏气象局信息中心。

固原地区马铃薯产量资料来源于《宁夏统计年

鉴》。

宁夏南部山区马铃薯的生育期从 4 月下旬播种开始到 9 月底成熟结束,本研究中马铃薯生育期的统计时段为 1961-2015 年的 4 月 21 日至 9 月 30 日。

1.2 计算方法

1.2.1 作物需水量的计算 采用联合国粮食与农业组织 (FAO) 推荐的 Penman-Monteith 公式和作物系数 K_c 法^[22]计算作物需水量,计算公式为:

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (1)$$

式中, ET_c 为作物需水量, K_c 为综合作物系数, K_c 与作物的种类、品种、生育期和群体叶面积指数等因素有关,是作物自身生物学特性的反映,本研究采用的 K_c 是联合国粮食及农业组织推荐的作物系数修正值, ET_0 为参考作物蒸散量,其计算公式为:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900.000}{T + 273.000} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1.000 + 0.340 U_2)} \quad (2)$$

式中, Δ 为饱和水汽压-温度曲线上的斜率 ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$), R_n 为输入冠层的净辐射 [$\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$], G 为土壤热通量 [$\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$], γ 为湿度计常数 ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$), T 为平均气温 ($^\circ\text{C}$), 按最高气温和最低气温的算术平均值计算, U_2 为 2 m 高处风速 (m/s), 文中采用订正系数法将观测站 10 m 测风数据换算为 2 m 高处风速, e_a 为日平均饱和水汽压 (kPa), 采用 WMO 1996 饱和水汽压公式计算所得, e_d 为实际水汽压 (kPa)。

1.2.2 趋势产量分离 在作物产量与气候因子关系的长时间序列观测统计研究中,一般把作物产量分解为趋势产量、气候产量和随机误差 3 部分。趋势产量是反映历史时期生产力发展水平的长周期产量分量,气候产量是受短周期变化因子(以气候要素为主)影响的波动产量分量,随机误差对产量分量影响的量级较小,可忽略不计^[23]。因此,从实际产量中扣除趋势产量,就得到了气象产量。本研究采用三次多项式进行趋势产量拟合,然后从实际产量中扣除趋势产量,得到气象产量。

1.3 统计分析

使用 Excel 2010 软件计算不同作物的需水量,运用 SPSS 20.0 软件进行三次多项式趋势产量的拟合,并分析生育期内马铃薯每月气象因子、每旬气象因子和每候气象因子与气象产量之间的关系。

2 结果与分析

2.1 气象因子的变化特征

表 1 显示,宁夏南部山区马铃薯生育期内平均气温、最高气温和最低气温下的气候趋势系数均为正值,且通过了 0.01 水平的显著性检验,说明不同年份间马铃薯生育期内平均气温、最高气温和最低

气温的升高趋势显著。其中,最高气温 10 年升高了 0.230 0℃,最低气温 10 年升高了 0.491 0℃。近 55 年来,马铃薯生育期内降水总量呈增加趋势,气候趋势系数通过了 0.10 水平的显著性检验,降水总量 10 年增加 14.586 0 mm。马铃薯生育期内日照时数气候趋势系数也为正值,呈增加的趋势,但没有通过显著性检验。

表 1 马铃薯生育期内主要气象因子的气候趋势系数和气候倾向率

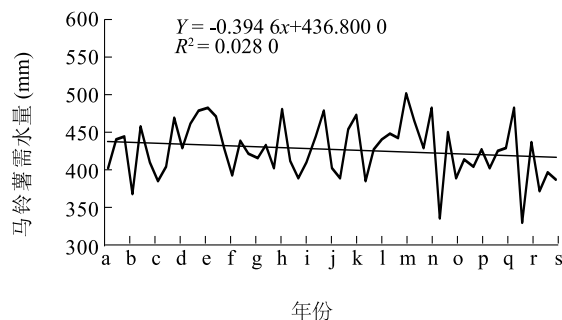
Table 1 Climate tendency coefficients and climatic trend rate of main meteorological factors in potato growth period

指标	最高气温	平均气温	最低气温	降水总量	日照时数
气候趋势系数	0.441 0 ***	0.767 3 ***	0.790 9 ***	0.243 9 *	0.169 4
气候倾向率	0.230 0(℃,10 年)	0.389 0(℃,10 年)	0.491 0(℃,10 年)	14.586 0(mm,10 年)	9.151 0(h,10 年)

*、**、*** 分别表示不同年份的气象要素在 0.10、0.05、0.01 水平上差异显著。

2.2 马铃薯需水量的变化特征

图 1 反映了近 55 年宁夏南部山区马铃薯需水量的变化情况,马铃薯需水量的年际变化较大,在 300 mm 到 500 mm 之间浮动,并总体呈减少趋势。这一趋势的形成主要是受品种更替影响,一方面抗旱品种本身需水量少,另一方面马铃薯新品种的生育期较短。



a:1961 年;b:1964 年;c:1967 年;d:1970 年;e:1973 年;f:1976 年;g:1979 年;h:1982 年;i:1985 年;j:1988 年;k:1991 年;l:1994 年;m:1997 年;n:2000 年;o:2003 年;p:2006 年;q:2009 年;r:2012 年;s:2015 年。

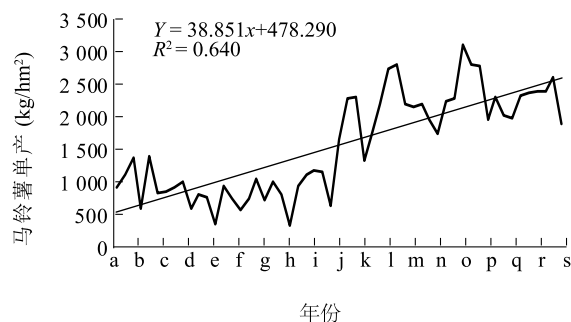
图 1 近 55 年宁夏南部山区马铃薯需水量变化

Fig.1 Changes of potato water requirement in Ningxia southern mountainous area in recent 55 years

2.3 马铃薯产量的年变化

马铃薯产量的年际变化较大,受品种和种植技术等多因素的影响,1961–2015 年宁夏南部山区马

铃薯的单产显著提高,从 1 000 kg/hm² 增加到 2 500 kg/hm² (图 2)。



a:1961 年;b:1964 年;c:1967 年;d:1970 年;e:1973 年;f:1976 年;g:1979 年;h:1982 年;i:1985 年;j:1988 年;k:1991 年;l:1994 年;m:1997 年;n:2000 年;o:2003 年;p:2006 年;q:2009 年;r:2012 年;s:2015 年。

图 2 近 55 年宁夏南部山区马铃薯产量变化

Fig.2 Changes of potato yield in Ningxia southern mountainous area in recent 55 years

2.4 马铃薯气象产量与气象要素的关系

固原国家基准气候站马铃薯生育期观测资料显示,该地区马铃薯 4 月下旬播种,5 月下旬出苗,6 月中下旬分枝,7 月上旬形成花序,7 月中旬开花,9 月下旬收获。本研究统计了马铃薯生育期内每候、每旬和每月的气象要素与气象产量之间的关系。

2.4.1 气象产量与候气象要素的关系 表 2 显示,

候平均气温:8月第3候的候平均气温与气象产量呈负相关,此时正值马铃薯生殖生长期,薯块进入快速生长阶段,对温度要求比较严格,温度过高马铃薯生殖生长就会受到抑制,对产量影响较大。因此,8月11日至15日是宁夏南部山区马铃薯生长发育的温度敏感期。

候平均最高气温:5月第6候的候平均最高气温与气象产量呈正相关,即马铃薯出苗期候平均最高气温与气象产量正相关,分析其原因主要是苗期温度较高,利于形成壮苗,利于提高产量。8月第3候的候平均最高气温与气象产量呈负相关,这一结果与候平均气温的结果一致。

候平均最低气温:在马铃薯生育期的多数时段内,候平均最低气温与气象产量呈负相关,在7月第1候内二者呈显著负相关。分析其原因主要是在马铃薯花序形成期的最低温度越低,对花序生长影响越大,降低花粉育性,从而影响产量。

候降水总量:4月第6候和5月第2候的降水量与气象产量呈正相关,此时正值马铃薯出苗期,薯块自身的水分不足以维持萌芽出苗,需要吸收土壤中的水分。由于宁夏南部山区历年春季降水量较少,此时的降水量对出苗影响很大,从而也直接影响到产量。5月第5候正值苗期,宁夏南部山区降水量开始增多,但此时过多的降水反而会妨碍根系发育,降低后期的抗旱能力,与气象产量呈负相关。7月第2候是马铃薯开花期,降水量与产量呈正相关,此时如果降水量少,土壤中水分不足,马铃薯地上部分的发育就会受到阻碍,花蕾数量减少,导致产量降低。

候日照总时数:宁夏南部山区马铃薯在8月第4候,即结薯期中期,日照时数与产量呈正相关,此时的日照时数越长,越有利于养分的积累和薯块的形成,从而增加产量。

2.4.2 气象产量与旬气象要素的关系 从每旬气象要素与气象产量的相关性结果(表3)来看,马铃薯生育期内旬气温要素的取值总体在马铃薯适宜的生长范围内,与气象产量相关性不大,但8月中旬旬平均气温、7月下旬旬平均最高气温和7月上旬旬平均最低气温均与气象产量呈负相关,对产量的形成产生不利影响。对于旬降水总量而言,7月中旬的旬降水总量与气象产量呈显著正相关。5月下旬的旬日照总时数与气象产量呈显著正相关,此时正值马铃薯苗期,充足的日照利于形成壮苗,从而促进产量的增加。

表2 马铃薯生育期内每候气象要素与气象产量的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of meteorological elements each five days and meteorological yield in potato growth period

候期	候平均气温	候平均最高气温	候平均最低气温	候降水总量	候日照总时数
4月第5候	-0.203	-0.248	-0.083	-0.038	-0.188
4月第6候	0.139	0.085	0.184	0.365**	-0.150
5月第1候	-0.072	-0.077	-0.055	0.030	0.049
5月第2候	0.028	0.048	-0.006	0.268*	0.097
5月第3候	0.130	0.078	0.169	0.124	-0.092
5月第4候	-0.070	-0.128	0.027	0.181	-1.116
5月第5候	0.002	-0.030	-0.160	-0.303*	0.109
5月第6候	0.190	0.297*	-0.047	-0.119	0.258
6月第1候	0.117	0.128	0.071	-0.123	0.125
6月第2候	-0.071	-0.113	0.000	0.149	-0.115
6月第3候	0.035	0.094	-0.049	0.009	0.155
6月第4候	0.074	0.134	-0.051	-0.105	0.218
6月第5候	-0.013	0.032	-0.066	0.004	0.017
6月第6候	-0.078	0.049	-0.205	0.196	0.092
7月第1候	-0.230	-0.100	-0.286*	0.015	-0.021
7月第2候	-0.142	-0.089	-0.159	0.281*	0.036
7月第3候	-0.096	-0.122	0.002	0.150	0.070
7月第4候	-0.190	-0.208	-0.069	0.221	-0.020
7月第5候	-0.050	-0.189	0.164	-0.026	-0.198
7月第6候	-0.132	-0.223	0.020	0.077	-0.134
8月第1候	-0.176	-0.123	-0.184	0.152	-0.044
8月第2候	-0.192	-0.199	-0.070	0.085	-0.142
8月第3候	-0.295*	-0.285*	-0.197	-0.107	-0.130
8月第4候	-0.107	0.010	-0.198	-0.159	0.314*
8月第5候	0.043	0.029	0.039	0.016	0.015
8月第6候	0.050	-0.047	0.172	0.136	-0.120
9月第1候	0.114	0.060	0.120	-0.210	-0.010
9月第2候	0.122	0.134	0.035	-0.137	0.096
9月第3候	0.222	0.249	0.054	-0.098	0.141
9月第4候	0.022	-0.001	0.045	0.054	-0.202
9月第5候	0.162	0.175	-0.005	-0.095	0.115
9月第6候	-0.039	0.055	-0.151	-0.087	0.036

*、**、*** 分别表示候气象要素与气象产量在 0.10、0.05、0.01 水平上显著相关。

表 3 马铃薯生育期内旬气象要素与气象产量的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of meteorological elements each ten days and meteorological yield in potato growth period

旬期	旬平均气温	旬平均最高气温	旬平均最低气温	旬降水总量	旬日照总时数
4 月中旬	-0.083	-0.124	-0.008	0.022	-0.233
4 月下旬	-0.021	-0.088	0.076	0.248	-0.223
5 月上旬	-0.034	-0.020	-0.042	0.061	0.105
5 月中旬	0.045	-0.028	0.122	0.091	-0.151
5 月下旬	0.063	0.184	-0.113	-0.254	0.289 *
6 月上旬	0.039	0.022	0.044	0.131	0.013
6 月中旬	0.065	0.146	-0.057	-0.122	0.250
6 月下旬	-0.053	0.053	-0.157	0.089	0.076
7 月上旬	-0.217	-0.116	-0.267 *	0.197	0.009
7 月中旬	-0.156	-0.191	-0.040	0.280 *	0.039
7 月下旬	-0.119	-0.284 *	0.097	-0.007	-0.258
8 月上旬	-0.244	-0.208	-0.152	0.200	-0.121
8 月中旬	-0.274 *	-0.186	-0.244	-0.149	0.121
8 月下旬	0.057	-0.014	0.133	0.231	-0.067
9 月上旬	0.149	0.126	0.100	-0.207	0.057
9 月中旬	0.148	0.149	0.060	-0.024	-0.036
9 月下旬	0.066	0.131	-0.090	-0.143	0.092

*、**、*** 分别表示旬气象要素与气象产量在 0.10、0.05、0.01 水平上显著相关。

2.4.3 气象产量与月气象要素的关系 由于时间跨度大,取其平均值后,月气象要素与气象产量之间的相关性不强。表 4 显示,月平均气温、月平均最低气温和月降水总量与气象产量不显著相关,7 月的

月平均最高气温对气象产量影响较大,温度越高,产量越低。4 月份的日照总时数与气象产量呈显著负相关,主要是因为日照时数越长,马铃薯萌芽越快,而萌芽过快不利于形成壮苗,进而影响产量。

表 4 马铃薯生育期内月气象要素与气象产量的相关系数

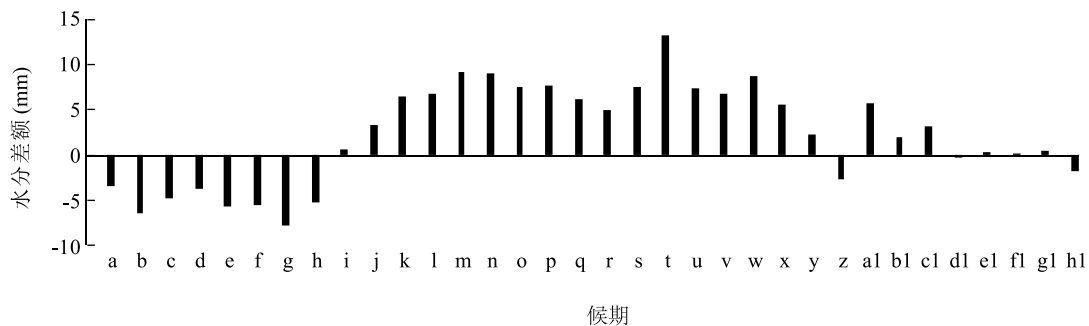
Table 4 Correlation coefficients of meteorological elements each month and meteorological yield in potato growth period

月份	月平均气温	月平均最高气温	月平均最低气温	月降水总量	月日照总时数
4 月	-0.174	-0.239	-0.057	0.128	-0.398 **
5 月	0.029	0.057	-0.011	-0.103	0.148
6 月	0.025	0.120	-0.060	0.031	0.200
7 月	-0.223	-0.284 *	-0.082	0.229	-0.096
8 月	-0.210	-0.205	-0.127	0.122	-0.053
9 月	0.183	0.217	0.033	-0.186	0.078

*、**、*** 分别表示月气象要素与气象产量在 0.10、0.05、0.01 水平上显著相关。

2.5 马铃薯生育期内的水分差额

利用马铃薯发育期候降水量资料,结合候需水量,测算马铃薯生育期内的水分差额。图 3 显示,马铃薯播种期至出苗期的降水量能够满足作物生长所需,进入 5 月下旬,随着马铃薯植株需水量的增大,水分亏缺差额逐渐增大,在开花期前后达到最大值。历年 8 月第 4 候固原地区降水量充足,马铃薯生长所需的水分得以保证,8 月下旬水分亏缺差额增大,自 9 月上旬开始,随着马铃薯需水量的逐渐减小和秋季降水量的增加,水分亏缺额逐渐减小。



a:4月3候;b:4月4候;c:4月5候;d:4月6候;e:5月1候;f:5月2候;g:5月3候;h:5月4候;i:5月5候;j:5月6候;k:6月1候;l:6月2候;m:6月3候;n:6月4候;o:6月5候;p:6月6候;q:7月1候;r:7月2候;s:7月3候;t:7月4候;u:7月5候;v:7月6候;w:8月1候;x:8月2候;y:8月3候;z:8月4候;a1:8月5候;b1:8月6候;c1:9月1候;d1:9月2候;e1:9月3候;f1:9月4候;g1:9月5候;h1:9月6候。

图 3 近 55 年宁夏南部山区马铃薯生育期内每候水分差额

Fig.3 Changes of potato water balance in Ningxia southern mountainous area in recent 55 years

3 讨论

2012年开始,宁夏南部山区开始实施巩固退耕还林成果基本口粮田水浇地项目,水浇地面积不断扩大。当地主要采取沟灌方式进行灌溉,灌溉水利系数只有0.4左右^[24],用水量大且灌溉次数多,大大增加了农业成本。经过测算,建议宁夏南部山区在全生育期进行2次灌溉,第一次灌溉在6月10日至20日之间进行,灌溉量约为230 t/hm²,第二次灌溉在7月15日至25日之间进行,灌溉量约为335 t/hm²。

马铃薯地膜覆盖技术是旱作节水的主要措施,秋季覆膜可以减少土壤中水分的蒸发量,借秋雨抗春旱^[25-26],从而更加合理、高效地利用降水。同时,适时推迟播期可以将马铃薯的发育期延后,从而避开7月份高温对马铃薯产量的影响。因此,采取秋季覆膜并适时迟播,对宁夏南部山区马铃薯的生产更为有利。

由于缺乏田间试验,灌溉量和灌溉日期的选择仍停留在理论层面,与秋季覆膜技术相匹配的播种日期也没有试验结论支持,如果能解决上述问题,将对宁夏南部山区马铃薯生产有更强的实际指导意义,这也是需要后续深入研究的工作。

参考文献:

- [1] 张平良,郭天文,李书田,等.不同覆盖种植方式与平衡施肥对马铃薯产量及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(1):50-54.
- [2] 吴巧玉,夏锦慧,何天久.不同氮钾水平对马铃薯干物质积累和产量的影响[J].江苏农业科学,2015,43(11):116-118.
- [3] 秦玉芝,覃丽,何长征,等.遮光处理对马铃薯农艺性状和产量的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2017,43(1):1-6.
- [4] 许娟,郑虚,闫海峰,等.不同马铃薯品种苗期叶片对低温胁迫的生理响应[J].南方农业学报,2016,47(11):1837-1943.
- [5] 梁锦秀,郭鑫年,张国辉,等.宁南旱地垄覆沟作对土壤水分及马铃薯产量的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(7):67-72.
- [6] 朱新鹏,孙敏,高天丽.不同条件下不同品种马铃薯PPO、POD活性[J].江苏农业科学,2015,43(8):97-99.
- [7] 季彦林,王旺田,王蒂,等.不同光质对马铃薯块茎糖苷生物碱积累的诱导效应[J].江苏农业学报,2010,26(1):40-45.

- [8] 王平,沈学善,屈会娟,等.灌水时期对川中丘陵区旱地紫色马铃薯产量和花青素含量的影响[J].中国农学通报,2017,33(1):11-17.
- [9] 董道峰,陈广侠,马蕾,等.氮肥与多效唑促控结合对马铃薯生理特性及产量的影响[J].山东农业科学,2015,47(7):62-67,73.
- [10] 何虎翼,谭冠宁,何新民,等.63份马铃薯品种(系)资源农艺性状的主成分与聚类分析[J].江苏农业学报,2017,33(1):27-33.
- [11] 王晓斌,胡开明,范阿琪,等.作物抗旱基因研究进展及在马铃薯抗旱种质创新中的应用[J].干旱地区农业研究,2017,35(1):248-257.
- [12] 肖国举,仇正跻,张峰举,等.增温对西北半干旱区马铃薯产量和品质的影响[J].生态学报,2015,35(3):830-836.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 孙芳,林而达,李剑萍,等.基于DSSAT模型的宁夏马铃薯生产的适应对策[J].中国农业气象,2008,29(2):127-129.
- [16] 李剑萍,杨侃,曹宁,等.气候变化情景下宁夏马铃薯单产变化模拟[J].中国农业气象,2009,30(3):407-412.
- [17] 耿秀华,王连喜,张学艺,等.西吉气候变化及其对马铃薯产量的影响[J].广东农业科学,2011,38(22):4-8.
- [18] 张顺谦,邓彪,杨云洁.四川旱地作物水分盈亏变化及其与气候变化的关系[J].农业工程学报,2012,28(10):105-111.
- [19] 王宏,谭国明,孙庆川,等.承德春玉米需水量变化及其与气象因子的关系[J].气象与环境学报,2012,28(4):69-72.
- [20] 胡琦,潘学标,邵长秀,等.内蒙古降水量分布及其对马铃薯灌溉需水量的影响[J].中国农业气象,2013,34(4):419-424.
- [21] 陈秋帆,陈劲松,代兴梅,等.云南春作马铃薯作物系数及需水规律研究[J].湖北农业科学,2016,55(3):564-566.
- [22] 环海军,杨再强,刘岩,等.鲁中地区夏玉米水分盈亏及灌溉需水量的时空变化特征[J].江苏农业科学,2016,44(3):342-347.
- [23] 房世波.分离趋势产量和气候产量的方法探讨[J].自然灾害学报,2011,20(6):13-18.
- [24] 张军明.宁南山区马铃薯灌溉技术研究[J].水利技术监督,2014,22(6):53-56.
- [25] 尹存宝,吕英,郜彦茹,等.覆膜马铃薯栽培技术是发展旱作节水、节肥的有效增产措施[J].内蒙古农业科技,2014(12):135-136.
- [26] 孙发国,丁良全,马宗仁,等.宁夏中部干旱地区秋覆膜马铃薯栽培技术[J].甘肃农业科技,2008(4):52-53.

(责任编辑:王妮)