

赵年武,郭连云,赵恒和. 高寒半干旱地区马铃薯生育期气候因子变化规律及其影响[J]. 干旱气象, 2015, 33(6): 1024-1030, [ZHAO Nianwu, GUO Lianyun, ZHAO Henghe. Variation Characteristics of Climate Factors During Potato Growth Period and Their Effect on Yield in the Alpine Semiarid Zone[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(6): 1024-1030], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-06-1024

高寒半干旱地区马铃薯生育期气候因子 变化规律及其影响

赵年武, 郭连云, 赵恒和

(青海省海南州气象局, 青海 共和 813099)

摘 要:利用青海共和地区 2003~2013 年连续 11 a 的马铃薯生育期(4~9 月)观测资料和 1961~2013 年 4~9 月地面平行观测气象资料,采用气候倾向率、相关分析、积分回归等方法,对共和地区马铃薯生育期主要气候因子的变化规律及其对马铃薯生长的影响进行分析。结果表明,近 53 a 来青海共和地区马铃薯生育期平均气温、 ≥ 0 °C 积温呈极显著上升趋势,降水量、日照时数则表现为不显著下降趋势。热量和日照时数是影响该区马铃薯生长发育的主要气象因子。其中温度对马铃薯产量的影响是出苗前期为正效应,现蕾至开花期为最大正效应,成熟期为最大负效应;降水对其产量的影响是现蕾前期为正效应,现蕾后期至成熟期 8 月中旬为最大负效应,9 月为最大正效应;日照时数对产量的影响是播种期为负效应,现蕾至开花期为正效应,成熟期为最大负效应。

关键词:马铃薯;生育期;气候因子及其影响;高寒半干旱区

文章编号:1006-7639(2015)-06-1024-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-06-1024

中图分类号:S532;S162.5

文献标识码:A

引 言

马铃薯(*Solanum tuberosum*)是世界上继小麦、水稻和玉米之后的第四大作物,而中国是世界上马铃薯播种面积和总产量最大的国家,发展和研究马铃薯生产具有重要的现实意义^[1]。马铃薯性喜冷凉、短日照和较大日较差,且耐旱、耐瘠,其产量高低及质量优劣除受自身品种特性影响外,还受诸如土壤、气候等环境条件影响,其中气象条件对其种植地区、产量和质量影响较显著^[2],故不同气候区影响其生长发育及产量形成的关键气象因子不同^[3-7]。马铃薯是青海共和地区重要的特色作物和优势作物,其播种面积仅次于小麦、油菜而位居第三,近年来建立了优质马铃薯种植基地。由于青海共和地区地处青藏高原东北部,太阳辐射强、气候冷凉、温度日较差大,适合马铃薯生长。然而,共和地区的气候条件除高寒冷凉之外,还有干旱的特征。本文通过 2003~2013 年在共和县恰卜恰地区开展的马铃薯种植试验,研究马铃薯生育期主要气候因子变化规

律及其对马铃薯生长的影响,以期为共和高寒半干旱地区合理利用气候资源、趋利避害、发展马铃薯产业提供科学依据。

1 研究区概况及资料

1.1 研究区概况

青海共和县隶属青海省海南藏族自治州,地处青藏高原东北角,北靠青海湖,南临黄河,东以日月山与东部农业区为界,西与青海青南藏区毗连,东西长 221.5 km,南北宽 155.4 km,总面积 1.73×10^4 km²,地形由西北向东南倾斜,平均海拔 3 200 m。全县共有天然草场 128.2 万 hm²,其中可利用草场 121.9 万 hm²,占草场总面积的 95%;耕地面积 3.06 万 hm²,其中马铃薯种植面积 360 hm²(为水浇地)。该区属高原大陆性气候,四季不明,昼夜温差大,年平均气温 0.7~6.3 °C,年降水 250~420 mm,年蒸发量 1 400~2 400 mm,无霜期平均 88 d。

1.2 资料来源

利用 2003~2013 年青海共和县恰卜恰地区连

续进行的马铃薯生长发育及产量形成观测试验资料(来源于海南州农林科学研究所),观测要素包括发育期、生长高度、密度、茎和块茎的生长量、干物质和产量等,马铃薯生长发育期取4个重复(即选取4个代表点进行观测)。气候观测资料来源于青海共和县气象局(位于恰卜恰镇),包括1961~2013年逐月气温、降水量、日照时数等,统计了稳定 ≥ 0 °C积温。多年平均采用1981~2010年的30 a平均值,生长季为4~9月。

2 研究方法

2.1 相关分析法

采用相关分析法^[8]进行气候因子与马铃薯各生育期的关系分析。生育期日期均采用 Julian 日换算方法,即将生育期出现日期转换为距离1月1日的实际日数^[9]。由于样本量 < 30 ,故用计算无偏相关系数加以校正^[10]。

2.2 气象产量的计算

根据马铃薯产量影响因子的变化特点,可把马铃薯产量分解为趋势产量和波动产量,前者的变化主要是由社会经济因子造成的,后者则主要取决于气候因子。研究作物产量与气象条件之间的关系时,必须从实际产量中去掉人为因素影响部分。产量分离的方法很多,如滑动平均法、重心描述法、直线法、正交多项式法等,本文采用正交多项式方法^[11]拟合趋势产量,5次多项式的趋势产量拟合公式为:

$$y_t = 2\,737.1t - 604.7t^2 + 15.3t^3 + 6.4t^4 - 0.4t^5 \quad (1)$$

其中, t 为时间序列(2003~2013年), $t = 1, 2, 3 \dots 11$ 。经计算, $R^2 = 0.948$, $F = 41.2$,远大于临界值 $F_{0.01} = 7.79$,说明拟合效果非常好。

由上式可计算逐年波动产量,表达式如下:

$$y = y_t + \hat{y}_i + e \quad (2)$$

其中, y 是马铃薯产量, y_t 是趋势产量, \hat{y} 是气象产量, e 为随机产量(实际计算中一般不考虑)。为了形成可以比较的平稳序列,采用相对变换的处理方法,求取相对气象产量 \hat{y}' ,即:

$$\hat{y}' = \hat{y}/y_t = y/y_t - 1 \quad (3)$$

另外,气象要素的趋势变化采用一次线性方程进行拟合^[10],并用线性相关系数 r 判断变化趋势是否显著。为探讨气象要素对马铃薯产量形成的影响,引入积分回归模式^[12]对青海共和地区马铃薯全生育期4月下旬至9月下旬按旬划分的16个时段分别计算生育期各旬的气象要素对产量形成的影响。

3 结果与分析

3.1 马铃薯生长季气候变化特征

3.1.1 气温变化

气温是影响马铃薯生长发育的重要指标之一。图1是青海共和地区1961~2013年马铃薯生长季平均气温变化曲线。可以看出,近53 a青海共和地区的气温在波动中呈极显著升温趋势,气候倾向率为 0.40 °C/10 a,相关系数为 0.80 ($P < 0.001$),最高值出现在2013年,为 13.8 °C,最低值出现在1976年,为 10.6 °C,生长季平均气温的年极差达 3.2 °C。从年代际变化来看(表1),马铃薯生长季多

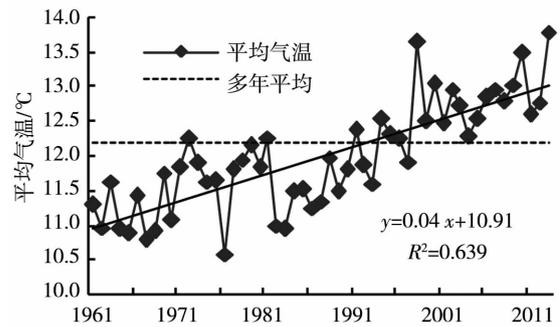


图1 青海共和地区马铃薯生长季气温年变化及趋势
Fig.1 The annual change of mean temperature during growth period of potato from 1961 to 2013 in Gonghe of Qinghai Province

表1 青海共和地区马铃薯生长季年代际气象要素值

Tab.1 Decadal average values of climatic factors during growth period of potato from 1961 to 2013

要素	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代	2011~2013年	多年平均
气温/°C	11.2	11.8	11.5	12.4	12.8	13.1	12.2
降水/mm	287.6	279.3	311.0	275.3	278.4	286.2	288.2
日照时数/h	1 505.6	1 493.3	1 459.8	1 515.2	1 487.3	1 462.5	1 487.4
≥ 0 °C积温/°C·d	2 052.6	2 145.3	2 110.4	2 267.9	2 380.4	2 395.4	2 252.9

年平均气温为 12.2 °C,1960 ~ 1980 年代均低于多年平均值,属于气温偏低期;2000 年以后气温高于平均值,呈现出气温快速升高趋势。其中 2003 ~ 2013 年生长季平均气温以 0.81 °C/10 a 的速率显著增温,线性相关系数为 0.622 ($P < 0.05$),即近 11 a 来增温 0.89 °C。

3.1.2 降水量变化

降水与马铃薯生长关系密切,年内特别是生长季的有效降水对马铃薯的产量起重要作用。近 53 a 来,青海共和地区生长季降水量呈不显著的波动下降趋势,气候倾向率为 -3.3 mm/10 a(图 2)。其中 1967 年降水量最大,为 495.4 mm,2009 年最少,仅为 129.6 mm,降水量年极差达 365.8 mm。降水量的年代际变化显示(表 1),1980 年代降水量最多为 311.0 mm,其它年代降水量均低于多年平均值,其中 1990 年代降水量最少为 275.3 mm。通过计算,2003 ~ 2013 年间马铃薯生长季降水量以每年 3.2 mm 的速率减少,线性相关系数为 0.156 ($P > 0.10$),近 11 a 来降水减少 35.0 mm。

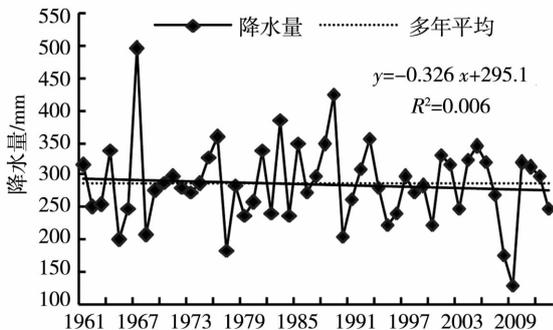


图 2 青海共和地区马铃薯生长季降水量年变化及趋势
Fig. 2 The annual change of precipitation during growth period of potato from 1961 to 2013 in Gonghe of Qinghai Province

3.1.3 日照时数变化

日照是植物光合作用的条件之一,其强弱直接影响马铃薯光合作用的效率,进而影响其生长发育。近 53 a 来,青海共和地区马铃薯生长季日照时数整体呈不显著减少趋势,其气候倾向率为 -3.4 h/10 a,且年际波动较大,最高值出现在 1962 年,为 1696.7 h,最低值出现在 2009 年,为 1349.8 h,年日照时数极差达 346.9 h(图 3)。由表 1 可知,1960、1970、1990 年代均略高于多年平均值,其余年代日照时数略低于多年平均值。通过计算,青海共和地区 2003 ~ 2013 年间马铃薯生长季日照时数以每年 7.1 h 的速率减少,线性相关系数为 0.350 ($P > 0.10$),近 11 a 来减少 77.7 h。

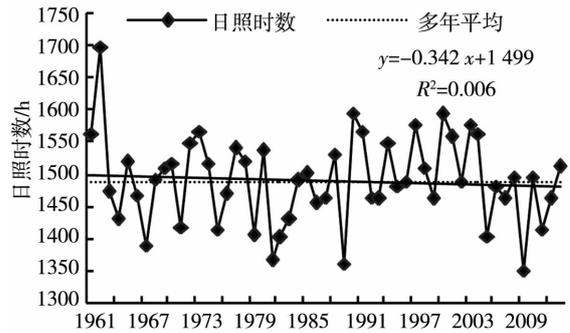


图 3 青海共和地区马铃薯生长季日照时数年变化及趋势
Fig. 3 The annual change of sunshine duration during growth period of potato from 1961 to 2013 in Gonghe of Qinghai Province

3.1.4 积温变化

积温是作物生长发育的重要指标之一,积温的增加将对生长季的延长及植物生长起到显著促进作用。图 4 显示,近 53 a 青海共和地区马铃薯生长季 ≥ 0 °C 积温呈极显著增加趋势,气候倾向率为 76.8 °C · d/10 a(通过了 0.001 显著性检验),且年际变化振幅很大,最高值出现在 2013 年,为 2529.7 °C · d,最低值出现在 1976 年,为 1947.0 °C · d,年极差达 582.7 °C · d。另外表 1 显示,生长季多年平均 ≥ 0 °C 积温为 2252.9 °C · d,1960 ~ 1980 年代均低于平均值,属于积温偏低期;而 1990 年代至今积温呈现出快速增多趋势。通过计算,青海共和地区 2003 ~ 2013 年马铃薯生长季 ≥ 0 °C 积温呈显著增温的趋势,以每年 11.97 °C · d 的速率增温 ($P < 0.01$),即近 11 a 来增温 131.7 °C · d。

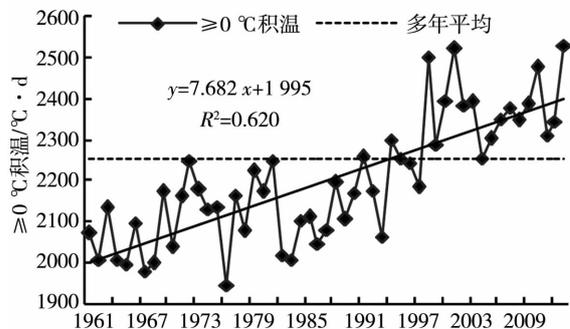


图 4 青海共和地区马铃薯生长季积温年变化及趋势
Fig. 4 The annual change of accumulated temperature more than 0 °C during growth period of potato from 1961 to 2013 in Gonghe of Qinghai Province

3.2 马铃薯生育期及与气象因子的关系

青海共和地区马铃薯一般在 4 月中下旬播种,平均播种日期为 4 月 21 日,最早 4 月 17 日,最晚 4

月26日;出苗期在5月下旬至6月上旬,平均日期为6月2日,最早5月26日,最晚6月10日;现蕾期在6月中旬至7月上旬,平均日期为6月24日,最早6月17日,最晚7月6日;开花期在7月上中旬,平均日期7月11日,最早7月6日,最晚8月1日;成熟期在9月中下旬,平均日期为9月27日,最早9月8日,最晚10月16日;可收期在10月上中旬。播种至成熟约需137~178 d,平均为158.6 d。

表2是马铃薯生育期与气象因子的相关分析。可见,青海共和地区马铃薯出苗期与5月日照时数具有较大的正相关,但未通过 $\alpha=0.10$ 信度检验;现蕾期与6月平均气温、日照时数、 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温呈显著正相关,与4月降水量呈显著负相关;开花期与6月平均气温、 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温呈显著正相关;成熟期与4月和8月日照时数、6月平均气温和 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温呈显著负相关,与5月日照时数呈极显著正相关。

表2 青海共和地区马铃薯生育期与气象因子的相关分析

Tab.2 The correlation coefficients between the growing periods and climatic factors in Gonghe of Qinghai

生育期	气象因子	4月	5月	6月	7月	8月	9月
出苗期	气温	0.082	-0.244	-	-	-	-
	降水	-0.318	-0.114	-	-	-	-
	日照时数	0.053	0.505	-	-	-	-
	$\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温	0.156	-0.198	-	-	-	-
现蕾期	气温	0.361	0.165	0.544*	-	-	-
	降水	-0.628**	-0.499	-0.011	-	-	-
	日照时数	0.357	-0.204	0.522*	-	-	-
	$\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温	0.374	0.191	0.552*	-	-	-
开花期	气温	0.029	-0.189	0.730**	-	-	-
	降水	-0.140	-0.100	0.132	-	-	-
	日照时数	0.117	-0.370	0.471	-	-	-
	$\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温	0.042	-0.178	0.731**	-	-	-
成熟期	气温	-0.419	0.150	-0.579*	-0.206	-0.351	-
	降水	-0.001	-0.444	-0.053	-0.012	0.310	-
	日照时数	-0.607**	0.738***	-0.020	0.240	-0.583*	-
	$\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温	-0.412	0.139	-0.582*	-0.203	-0.357	-

注: *、**、*** 分别表示通过0.10、0.05、0.01 信度水平检验

从表3可以看出,青海共和地区马铃薯播种至出苗期间隔日数与5月日照时数呈正相关($P < 0.10$),即5月日照时数增加,播种至出苗期间隔延长。这是由于春季当地降水少,易形成土壤干旱,日照时数增加会加速土壤水分的蒸发,引起出苗缓慢,生育期缓慢;出苗至现蕾期间隔日数与6月气温、 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温呈显著正相关($P < 0.05$)。进入6月后,该地降水虽然逐渐增多,但降水变率大,总体偏少,尚不能满足生育期生长发育需求,加之气温波动大,易受晚霜冻影响,发育期相应延长;现蕾至开花期间隔日数与6月平均气温、 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温呈显著正相关($P < 0.10$);开花至成熟期间隔日数与4月和8月日照时数、6月和8月平均气温、6月和8月 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温

呈显著负相关($P < 0.10$),与5月日照时数呈极显著正相关($P < 0.05$),6月热量增多和8月光照增加,开花至成熟期缩短。影响成熟期的主要气象因素是8月的降水,降水越多,成熟期延长;气温高、累积积温越多相应加速物质积累,生育期缩短。可见,影响共和地区马铃薯生长发育的主导气象因子是热量和光照,气温升高,积温增多,日照时数延长,导致马铃薯生育期的变化。

3.3 马铃薯产量形成的敏感性

3.3.1 气温的影响

从图5可以看出,旬平均气温对马铃薯产量形成的影响曲线呈“双峰双谷型”。马铃薯播种前期4月至播种期5月上旬、现蕾期6月中旬至开花期8月

表3 青海共和地区马铃薯生育期间隔日数与气象因子的相关分析

Tab.3 The correlation coefficients between the days of growing periods and climatic factors in Gonghe of Qinghai

生育期	气象要素	4月	5月	6月	7月	8月	9月
播种—出苗	气温	-0.184	0.173	-	-	-	-
	降水	-0.294	-0.433	-	-	-	-
	日照时数	-0.326	0.573 *	-	-	-	-
	≥0 °C 积温	-0.126	0.221	-	-	-	-
出苗—现蕾	气温	0.247	0.248	0.702 **	-	-	-
	降水	-0.352	-0.343	0.046	-	-	-
	日照时数	0.258	-0.406	0.338	-	-	-
	≥0 °C 积温	0.222	0.247	0.697 **	-	-	-
现蕾—开花	气温	-0.372	-0.483	0.542 *	-	-	-
	降水	0.514	0.422	0.221	-	-	-
	日照时数	-0.230	-0.349	0.139	-	-	-
	≥0 °C 积温	-0.367	-0.495	0.535 *	-	-	-
开花—成熟	气温	-0.323	0.199	-0.759 ***	-0.260	-0.573 *	-
	降水	0.064	-0.283	-0.101	-0.078	0.406	-
	日照时数	-0.505 *	0.713 **	-0.236	0.203	-0.742 ***	-
	≥0 °C 积温	-0.324	0.185	-0.762 ***	-0.264	-0.584 *	-

注: *、**、*** 分别表示通过0.10、0.05、0.01 信度水平检验

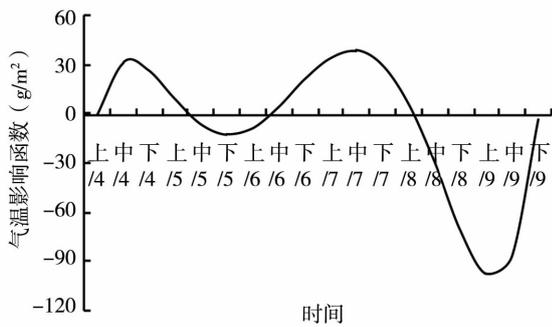


图5 马铃薯产量与旬气温要素积分回归曲线

Fig.5 The integral regression curve between potato yield and ten-day average temperature in Gonghe of Qinghai

上旬,气温对产量的影响呈正效应,表明这些时段热量不足,气温不能满足马铃薯生长的需求。其中,播种前期和播种期气温每升高1 °C,产量增加10.4 ~ 31.8 g · m⁻²;现蕾期6月中旬至开花期8月上旬,气温对产量的影响正效应最大,曲线最大峰值出现在7月中旬,表明马铃薯从现蕾至开花阶段热量不足,温度每升高1 °C,产量增加4.5 ~ 39.1 g · m⁻²。5月中旬至6月上旬为出苗期,此阶段气温对产量的影响为负效应,表明此阶段热量充足,旬平均气温

每升高1 °C,产量降低5.5 ~ 12.3 g · m⁻²;开花后期至成熟期(8月上旬至9月下旬),产量对气温变化十分敏感,旬平均气温每升高1 °C,产量降低3.2 ~ 97.0 g · m⁻²。

3.3.2 降水的影响

由图6看出,4月上旬至6月中旬以及9月的降水量对马铃薯产量形成具有正效应,其中9月下旬的正效应最大,表明这一时期偏多的降水能显著地增加马铃薯产量。4月上旬至6月中旬降水量每

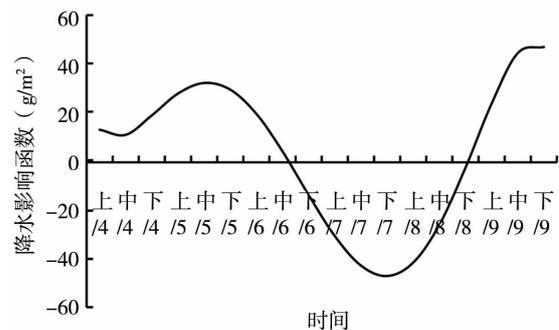


图6 马铃薯产量与旬降水量积分回归曲线

Fig.6 The integral regression curve between potato yield and ten-day accumulative precipitation in Gonghe of Qinghai

增加 1 mm,产量则增加 4.7 ~ 32.8 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$; 生长季正效应最大的 9 月降水量每增加 1 mm,产量增加 24.3 ~ 47.6 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。而 6 月下旬至 8 月下旬的降水量对马铃薯产量形成的影响则表现为负效应,其中 7 月中旬至 8 月下旬期间负效应最大,降水量每减少 1 mm,产量则增加 2.0 ~ 46.4 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

3.3.3 日照时数的影响

图 7 是日照时数对马铃薯产量形成的影响曲线。可以看出,日照时数对马铃薯产量形成的影响与气温、降水不同,无论是正效应还是负效应均没有气温和降水的影响幅度大。4 月上、中旬的日照时数呈正效应,其中 4 月上旬影响最大,此阶段日照时数每增加 1 h,产量则增加 7.1 ~ 31.8 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$; 6 月上旬至 7 月下旬是次高值,日照时数每增加 1 h,产量增加 1.4 ~ 6.5 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。4 月下旬至 5 月中旬播种期的日照时数为较小的负效应; 8 月上旬后日照时数的负效应迅速增大,9 月下旬负效应达到最大。此时期,日照时数每减少 1 h,产量则增加 2.0 ~ 45.1 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

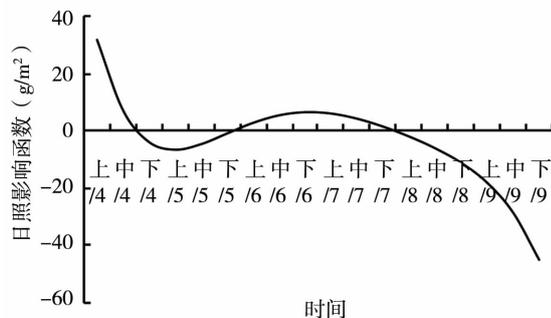


图 7 马铃薯产量与旬日照时数积分回归曲线
Fig. 7 The integral regression curve between potato yield and ten-day sunshine duration in Gonghe of Qinghai

相关研究^[13]认为,当其它生态气候条件适宜时,在作物光补偿点和光饱和点区间内,随着光照强度的增强,光合作用的强度逐渐提高,对作物干物质的积累表现为正效应。然而当某一时段光照时数增多时,常常出现气温升高、降水减少的状况,作物在高温、水分不足条件下的呼吸强度增强,能量消耗明显增多,进而使净光合积累减少,故出现部分时段日照时数对马铃薯产量形成的负效应现象。

4 结论与讨论

(1) 近 53 a 来,青海共和地区马铃薯生长季平均气温呈极显著的波动升温趋势,尤其是 1990 年代

以后气温快速升高,整个时段的气候倾向率为 0.40 $^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$; ≥ 0 $^{\circ}\text{C}$ 积温也呈极显著增加趋势,气候倾向率为 76.8 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}/10 \text{ a}$; 生长季降水量和日照时数均呈不显著下降趋势。受全球气候变暖影响,该地区呈现出暖干化趋势^[14-15]。

(2) 青海共和地区马铃薯出苗期与 5 月日照时数具有较大的正相关; 现蕾期与热量因子呈显著正相关,而与 4 月降水量呈显著负相关,播种前期降水量增多能促进马铃薯现蕾期提前; 开花期与 6 月热量因子呈显著正相关; 成熟期与 4 月和 8 月日照时数、6 月热量因子呈显著负相关,而与 5 月日照时数呈极显著正相关。

(3) 青海共和地区马铃薯播种至出苗期间隔日数与 5 月日照时数呈正相关,即 5 月日照时数增加,播种至出苗期延长; 出苗至现蕾、现蕾至开花期间隔日数与 6 月热量因子呈显著正相关,即 6 月平均气温升高、 ≥ 0 $^{\circ}\text{C}$ 积温增多,出苗至现蕾期、现蕾至开花期延长; 开花至成熟期间隔日数与 4 月、8 月日照时数和 6 月、8 月热量因子呈显著负相关,而与 5 月日照时数呈极显著正相关。

(4) 马铃薯出苗后,由于降水日渐增多,热量对其产量的影响较敏感。现蕾后,地上部分很快形成花序而进入开花期,地下块茎也开始膨大,加之进入汛期,降水逐渐增多,降水能满足其生长需求,此时的热量对产量形成呈较强的正效应。进入 8 月以后,马铃薯处于生长后期,特别是淀粉积累期,气温下降缓慢,昼夜温差大,有利于生长期的延长和淀粉的充分积累,进而促进产量增加。

(5) 出苗至现蕾期后,是马铃薯营养生长和生殖生长并进阶段,这一时期不需要过多的水分,否则易造成地上部分徒长,影响养分向块茎转移积累。4 ~ 6 月中旬和 9 月是马铃薯对降水的敏感期,特别是 9 月结薯中后期和淀粉积累期,降水量在一定程度上不能满足需要,故对产量的影响最大,此时若遇干旱可造成严重减产。6 月中旬至 8 月中旬马铃薯开花至成熟期,是淀粉积累初期,降水过多不但不会促进产量增加,反而常造成薯块腐烂,加重病害的发生,从而造成减产。

(6) 5 月中旬至 6 月上旬马铃薯出苗期,气温和日照时数对其产量形成表现为负效应,降水则表现为正效应,此时段温度有盈余,但降水却不足。说明马铃薯出苗期气温的升高会加剧蒸发,使土壤变干,从而加重了马铃薯水分胁迫,进而影响其产量。8 月上旬后的日照时数对其产量形成影响为负效应,表明该时期马铃薯进入淀粉积累后期和成熟期,短

日照有利于光合产物向块茎输送。

参考文献:

- [1] 林叶春,胡跃高,曾昭海. 不同节水措施对马铃薯生长及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(1):54-60.
- [2] 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):158-161.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 孙俊,魏广洪,王卫东,等. 西吉县马铃薯种植业农业气候区划[J]. 中国马铃薯,2008,22(2):111-114.
- [6] 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.
- [7] 赵鸿,王润元,王鹤龄,等. 半干旱雨养区苗期土壤温湿度增加对马铃薯生物量积累的影响[J]. 干旱气象,2013,31(2):290-297.
- [8] 荣廷昭,李晚忱. 田间试验与统计分析[M]. 成都:四川大学出版社,2001. 148-203.
- [9] 竺可桢,宛敏渭. 物候学(增订版)[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [10] 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. 37-59.
- [11] 尹东. 农业产量预报技术的研究和应用[J]. 干旱气象,2007,25(2):12-16.
- [12] 白永飞,许志信. 降水量的季节分配对羊草草原群落地上部生物量影响的数学模型[J]. 草业学报,1997,6(2):1-6.
- [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] 张强,张存杰,白虎志,等. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响—总体暖干化,局部出现暖湿现象[J]. 干旱气象,2010,28(1):1-7.
- [15] 王楠,李栋梁,张杰. 青藏高原气温变化的研究进展[J]. 干旱气象,2010,28(3):265-270.

Variation Characteristics of Climate Factors During Potato Growth Period and Their Effect on Yield in the Alpine Semiarid Zone

ZHAO Nianwu, GUO Lianyun, ZHAO Henghe

(Hainan Meteorological Station of Qinghai Province, Gonghe 813099, China)

Abstract: Based on the ecological observational data during growth period (April to September) of potato from 2003 to 2013 and the corresponding period meteorological data from 1961 to 2013 in Gonghe of Qinghai Province, the variation characteristics of climatic factors including temperature, precipitation, sunshine duration and accumulative temperature more than 0 °C during growth period of potato from 1961 to 2013 and their effects on potato yield during 2003-2013 were analyzed by using the climatic tendency, correlation analysis and integral regression methods. The results showed that the annual mean temperature and accumulative temperature more than 0 °C during growth period of potato in Gonghe of Qinghai increased significantly in the recent 53 years, while the annual precipitation and sunshine duration decreased non-significantly. Heat and light played important role on potato yield, and the effects of temperature on potato yield were positive in the early seedling and budding to flowering stages, especially it was maximum in budding to flowering stage, while that was most negative in maturity period. The precipitation had positive effects on potato yield in the early budding stage and September, particularly in September, while it was most negative effect in the later budding to maturity (mid August) stage. The sunshine hours had negative effects on potato yield in sowing and maturity periods, particularly in maturity period, while it was positive effect in budding to flowering stage.

Key words: potato; growth period; effect; climate factors and their effect; the alpine semiarid zone