

DOI: 10.5846/stxb201304110671

肖国举, 仇正跻, 张峰举, 马飞, 姚玉璧, 张强, 王润元. 增温对西北半干旱区马铃薯产量和品质的影响. 生态学报, 2015, 35(3): 830-836.

Xiao G J, Qiu Z J, Zhang F J, Ma F, Yao Y B, Zhang Q, Wang R Y. Influence of increased temperature on the potato yield and quality in a semiarid district of Northwest China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 830-836.

增温对西北半干旱区马铃薯产量和品质的影响

肖国举^{1,*}, 仇正跻², 张峰举¹, 马飞¹, 姚玉璧³, 张强³, 王润元³

1 宁夏大学新技术应用研究开发中心, 银川 750021

2 宁夏六盘山花卉研究所, 隆德 756302

3 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 兰州 730020

摘要:过去 50 年, 西北半干旱区干旱化趋势明显加强, 对作物生产产生了明显影响。未来 50 年全球气候继续变暖, 直接影响农业生产, 必将对粮食安全提出新的挑战。采用红外线辐射器田间增温模拟实验研究表明, 随着温度升高马铃薯播种—出苗—现蕾—开花—成熟各生长阶段天数都发生变化。增温 0.5—2.5 °C, 马铃薯播种—出苗、出苗—现蕾阶段分别缩短 1—4 d、1—2 d, 现蕾—开花、开花—成熟阶段分别延长 1—2 d、1—10 d, 马铃薯播种—成熟全生育期延长 1—5 d。伴随温度升高, 马铃薯全生长期有所延长, 特别是盛花期至茎叶枯萎阶段延长明显, 这将有利于防止茎叶早衰和淀粉的积累。增温显著减少了每株薯块量、提高了每块薯重, 马铃薯产量总体呈现递增趋势, 但差异不显著。增温 1.5—2.5 °C, 马铃薯增产 1.0%—3.5%。增温 0.5—2.0 °C, 马铃薯干物质含量从 22.4% 增加到 24.5%, 淀粉含量从 72.1% 增加到 74.4%, 粗蛋白含量从 1.82% 减少到 1.52%, 还原糖含量从 0.24% 减少到 0.22%, 表明增温有利于马铃薯干物质和淀粉的积累, 不利于粗蛋白和还原糖的形成。

关键词:气候变暖; 马铃薯; 产量; 品质; 半干旱区

Influence of increased temperature on the potato yield and quality in a semiarid district of Northwest China

XIAO Guojun^{1,*}, QIU Zhengji², ZHANG Fengju¹, MA Fei¹, YAO Yubi³, ZHANG Qiang³, WANG Runyuan³

1 Ningxia University New Technology Application Research and Development Center, Yinchuan 750021, China

2 Ningxia Liupanshan Flower Research Institute, Longde 756302, China

3 China Meteorological Administration Lanzhou Arid Weather Research Institute, Gansu Provincial Arid Climate Change and Disaster Control Key Laboratory, Lanzhou 730020, China

Abstract: Climate change is predicted to increase both drought frequency and duration. Arid and semiarid regions, which account for 45% of the global land area, support 38% of the global population, but are regions that have very fragile ecological and water resource systems. Over the past 100 years, the global mean temperature increase for arid regions was 0.94°C/100a, which is higher than the average global mean temperature increase of 0.74°C/100a. Over this period, global arid and semiarid regions have become drier and drier. About 10%—20% of the global arid and semiarid land has become seriously degraded, the area of extremely arid land has doubled and the total area of land classed as arid is nearly 30%. Large scale droughts have recently occurred in North America, Africa, Europe, South America and Australia, resulting in major changes to terrestrial ecosystems, the carbon balance and food security. The continuous aridification over 30 years of the semiarid region of North China has led to serious environmental degradation and a lack of water resources, which has seriously restricted sustainable regional development. The semiarid area in Northwest China is also sensitive to climate change. Over the past 50 years, the air temperature has risen and rainfall has fallen, which have caused the climate to

基金项目:国家自然科学基金项目(41165009); 国家公益性气象行业科研专项(GYHY201106029-03); 国家重大科学研究计划(2012CB955304)

收稿日期:2013-04-11; **网络出版日期:**2014-04-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaoguoju1972@163.com

become warmer and drier. A series of changes, including higher temperatures, increased drought and warmer winters, have significantly influenced crop production. Over the next 50 years, the global climate will continue to warm, which will directly affect agriculture and may have an impact on grain safety. The global annual potato yield is 320 million tons, next only to wheat, corn and rice, which makes potato the fourth largest crop in the world. The annual potato yield in China is 80 million tons. The climatic, biological and soil environment in the semiarid area of loess plateau in Northwest China is very suitable for potato growing and is the main potato production area in China. Potato can grow over a range of temperatures. Some studies have shown that a low temperatures increase the formation and accumulation of dry matter in potato stems and tubers. High temperatures, over the longer term, increase the number of small tubers, decrease the tuber specific weight, reduce the amount of dry matter transferred to the tuber and influence potato quality. This study investigated whether climate change will negatively influence the yield and quality of potatoes grown in semiarid areas of Northwest China. An experimental study based on simulated farm warming using infrared radiators showed that potato growth stage lengths, such as: sowing-seedling, emergence-bud and emergence-blooming-maturity, changed as the temperature increased. If the temperature increased by 0.5—2.5 °C, then the sowing-seedling emergence and the seedling emergence-bud emergence growth stages were shortened by 1—4 d and 1—2 d, respectively, the bud emergence-blooming and the blooming-maturity growth stages were prolonged by 1—2 d and 1—10 d, respectively, and the whole growing period from sowing to maturity was prolonged by 1—5 d. The whole growing period, especially the fully blooming to stem and leaf senescence stage, was prolonged as the temperature increased and this was advantageous as it prevented the early senescence of stems and leaves and increased the accumulation of starch. Warming significantly decreased the number of potatoes produced by each plant, but increased the weight of each potato. Thus overall potato yield increased, but not significantly. If the temperature increased by 1.5—2.5 °C, then potato yield improved by 1.0%—3.5%. The dry matter, starch and vitamin C contents increased as the temperature rose, but the protein and reducing sugar contents significantly decreased. The results suggested that warming may not have an effect on potato yield, but may have a significant influence on potato quality. When the temperature was increased by 1.5—2.5°C, the potato yield improved by 1.0%—3.5% and when the temperature was increased by 0.5—2.0°C, the potato dry matter content increased to 24.5% from 22.4%, the starch content was reduced to 1.52% from 1.82% and the reducing sugar content fell to 0.22% from 0.24%. This means that increasing temperatures improve potato dry matter accumulation and starch content but reduce the formation of crude protein and reducing sugar.

Key Words: climate warming; potato; yield; quality; semiarid district

全世界 2/3 以上的国家种植马铃薯 (*Solanumtuberosum* L.), 年产量达 3.2 亿 t, 仅次于小麦、玉米、水稻, 是世界第 4 大粮食作物^[1]。我国马铃薯种植面积 530 多万 hm², 年产量 8000 万 t, 居世界前列^[2]。地处西北的甘肃、陕西、宁夏、青海等黄土高原半干旱区, 气候生态, 土壤环境与马铃薯原产地南美安第斯山区有相近之处, 非常适宜马铃薯的生长发育, 是我国主要的马铃薯产区之一。2010 年, 西北黄土高原半干旱区被列入我国战略性国土空间开发《全国主体功能区规划》的马铃薯重要产业带^[3]。

西北半干旱区属于典型的气候变化敏感区。近 50 年来, 气温显著上升, 降水明显减少, 干燥度指数显著增加, 气候暖干化趋势明显^[4]。极端高温和低温事件发生显著变化, 干旱灾害事件发生频率提高, 冰雹、雷暴暴洪、干热风危害呈现增加趋势。气候经历了高温、干旱、暖冬等一系列变化, 对粮食安全产生了重大影响。未来 50 年全球气候继续变暖, 直接影响农业生产, 必将对粮食安全提出新的挑战^[5]。

马铃薯属喜温凉、不耐高温作物, 气候变暖是否会对西北半干旱区马铃薯产量和品质带来一些不利影响? 姚玉璧等利用西北半干旱区农业气象观测资料研究表明, 马铃薯产量形成对气温变化十分敏感, 春秋季气温增高有利于马铃薯生长发育及产量形成, 而夏季气温增高导致马铃薯生育脆弱性增加^[6]。陆景陵认为马铃薯是喜温凉作物, 较低的温度有利于马铃薯块茎干物质的形成和积累。如果长期高温会导致单株小块茎增多、块茎比重下降、干物质向块茎中转移受阻, 影响马铃薯的品质^[7]。本文采用田间增温模拟试验, 开展气候变暖对马铃薯产量和品质的影响研究, 为西北半干旱区应对气候变化发展马铃薯产业提供理论参考依据。

1 试验设计与方法

1.1 试验基地概况

试验基地设在西北半干旱区固原农业气象试验站,海拔 1896.7m。1960—2009 年,年均气温范围在 6.3—10.2℃ 之间,多年年均气温 7.9℃。近 50 年气温明显增加,特别是 1998 年以后,增温幅度明显加快(图 1)。1960—2009 年,年降雨量范围在 282.1—765.7 mm 之间,多年年均降雨量 450.0 mm。主要种植作物有小麦、马铃薯、地膜玉米等,作物种植一年一熟,属于典型的黄土高原半干旱雨养农业区。

1.2 田间增温试验设计

采用大田红外线辐射器增温法^[8],开展增温对马铃薯产量和品质的影响研究。依据 2009 年 12 月哥本哈根联合国气候变化大会提出未来 50 年全球升温幅度控制在 2.0℃ 内^[9],本研究设计增温 0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5℃ 6 个处理。

2012 年 4 月 15 日布设田间试验,并进行人工播种马铃薯,马铃薯品种选用宁薯 4 号。选用田间试验小区面积 8 m²(2 m×4 m),小区间距 3.0m。每个试验小区设 3 个红外线辐射器增温管,调整支架高度保持红外线辐射器增温管距离作物冠层高度 1.2 m。红外线辐射器增温管功率依据增温要求和当地气候情况确定。试验采用红外线辐射器增温管功率分别为 200、400、600、800、1000 W。增温时间为马铃薯全生育期(播种—收获)白天晚上持续增温。

试验田土壤为黄绵土,土层深厚,耕性良好,土壤有机质 8.6 g/kg,全氮 0.43 g/kg,全磷 0.68 g/kg,全钾 19.6 g/kg。试验田前茬作物为玉米,2011 年秋季深翻 25 cm,然后将农家肥 22.5 t/hm²、尿素 15 kg/hm²、普钙 40 kg/hm²一次性均匀施于地表,再深翻 20 cm,保证与土壤充分混匀。马铃薯现蕾期追施尿素 220 kg/hm²。试验不采取灌溉,自然降雨能够保证就地入渗。试验田四周用围栏保护,防止动物进入。

1.3 测定项目与方法

人工收获马铃薯,测定小区实际产量,即收获后称重并记录产量。马铃薯种植密度、单株薯块数、单个薯块重,均按小区实际面积进行测定。记录马铃薯播种—出苗、出苗—现蕾、现蕾—开花、开花—成熟等不同阶段以及全生育期天数。马铃薯物候期按中国气象局农业气象观测规范执行。

测定薯块淀粉、粗蛋白质、干物质、还原糖和维生素 C 含量。干物质含量测定采用烘干前后称重法(%),淀粉含量测定采用碘比色法(%),蛋白质含量测定采用凯氏定氮法消化、蒸馏、滴定以含氮量乘 6.25 计算(%),还原糖含量测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色定糖法(%),维生素 C 含量采用 2,6-二氯靛酚滴定法(mg/100g)^[10]。样品均采用鲜样,一个星期内测试完毕。

1.4 温度监测与数据处理

在马铃薯全生育期增温时间内,每个试验小区安装温度自动检测装置,利用传感器监测试验小区内距离地面或马铃薯冠层 10、20、30 cm 的气温,20 min 记录 1 次,并自动输出储存于记录仪中(CampbellAR5,误差为 ±0.1℃)。增温与马铃薯产量、品质之间的数据关系,用 Microsoft Excel 2003 软件进行处理和作图。

2 结果与分析

2.1 增温对生育期的影响

从增温与马铃薯不同生育阶段天数的关系来看(图 2),随着温度升高,马铃薯播种—出苗、出苗—现蕾、现蕾—开花、开花—成熟各生长阶段天数都有所变化。一般情况,土壤温度升高,播种—出苗需要时间有所缩

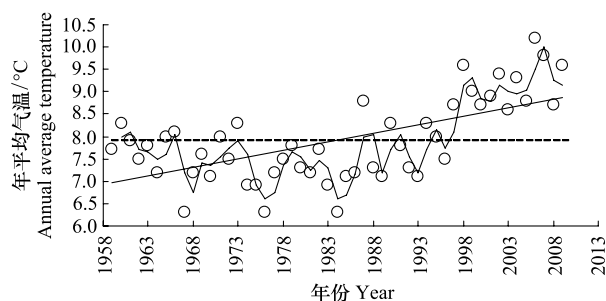


图 1 1960—2009 年半干旱区固原气温变化趋势

Fig.1 Temperature trends in semiarid area of Guyuan from 1960 to 2009

短。增温 0.5—2.5 ℃,马铃薯出苗时间缩短 1—4 d。马铃薯出苗—现蕾阶段,幼苗生长的适宜温度为 18—20 ℃,这一阶段马铃薯幼苗生长对温度比较敏感。增温 0.5—2.5 ℃,马铃薯出苗—现蕾阶段缩短 1—2 d。马铃薯现蕾—开花阶段是决定块茎大小和产量高低的关键时期。增温 0.5—2.5 ℃,马铃薯现蕾—开花阶段延长 1—2 d。马铃薯盛花期至茎叶枯萎期是淀粉积累的重要时期。增温 0.5—2.5 ℃,马铃薯开花—熟阶段延长 1—10 d。总之,随着温度升高,马铃薯播种—出苗—现蕾阶段生长天数有所缩短,而现蕾—开花—成熟阶段生长期有所延长,有利于延长茎叶早衰和生长时间,提高马铃薯产量。从图 2 看,增温 0.5—2.5 ℃,马铃薯播种—成熟全生育期延长 1—5 d。

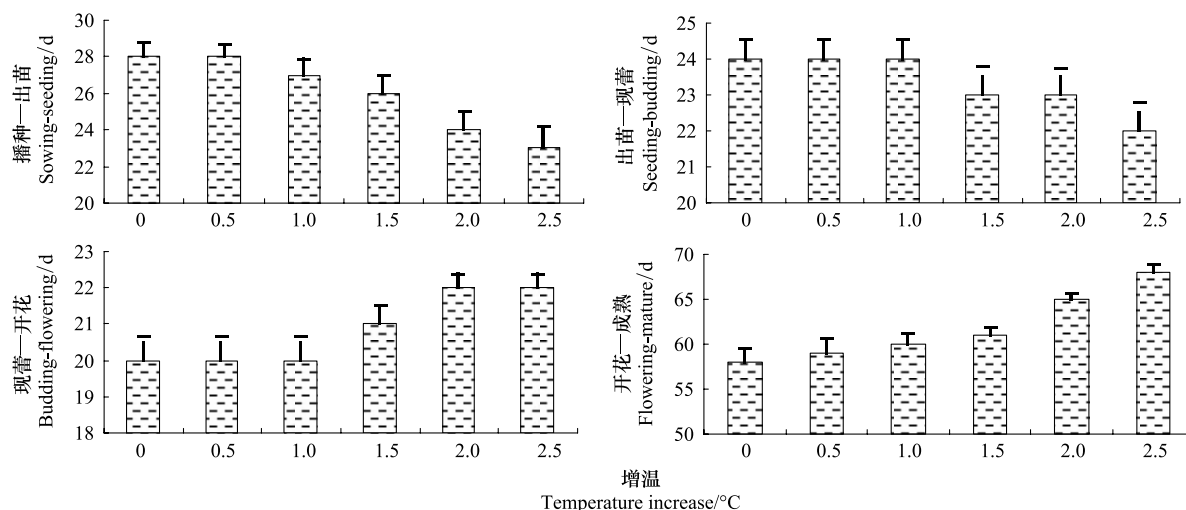


图 2 增温对马铃薯播种-成熟生育阶段天数的影响

Fig.2 Impact of temperature increase on the days of potato from sowing to mature stage

从增温与马铃薯播种—收获全生长期天数的关系看(图 3),增温越高,马铃薯全生长期所需要的时间越长。马铃薯全生育期(y)与增温(x)之间存在 $y = 0.5714x^2 + 0.4571x + 130.29$ ($R^2 = 0.8665$, $P < 0.01$),表明随着温度升高,马铃薯全生长期有所延长,特别是盛花期至茎叶枯萎阶段的延长,有利于防止茎叶早衰,促进淀粉积累。

2.2 增温对产量的影响

从表 1 看,增温总体有利于提高马铃薯产量。增温 1.5—2.5 ℃,马铃薯增产 1.0%—3.5%。马铃薯产量由收获株数、每株薯块数、每块薯重决定。试验研究表明,增温对马铃薯每株薯块数、每块薯重产生了明显的影响。从图 4 看,随着增温越高,马铃薯每株薯块数明显下降,但每块薯重明显增加。增温 1.0—2.5 ℃,马铃薯每株薯块数减少 0.6—2.0 块,每块薯增加 30—58.2 g。

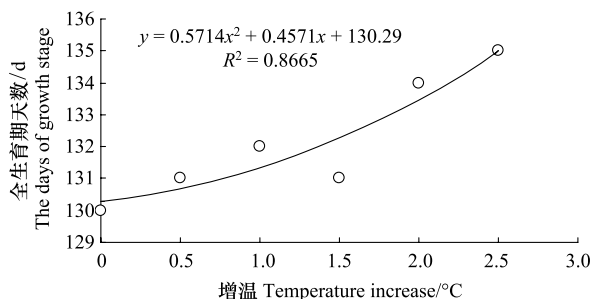


图 3 增温对马铃薯全生育期天数的影响

Fig.3 Impact of temperature increase on the days of the growth stage of potato

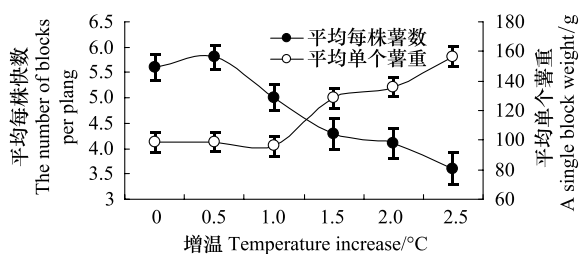


图 4 增温与马铃薯每株块数和单个薯重的关系

Fig.4 Impact of rising temperature on the number of blocks per plant and a single block weight of potato

表 1 增温对马铃薯产量及产量组成的影响

Table 1 Impact of temperature increase on the yields of potato and yield compositions

增温 Temperature increase/℃	收获株数 Harvest/ (万株/hm ²)	平均每株薯块数 The number of blocks per plant	平均每块薯重 A single potato weight/g	实际产量 Actual output/ (t/hm ²)	增产 Increased/ %
0	5.25a	5.6a	98.3a	2.86a	/
0.5	5.25a	5.8a	98.5a	2.86a	/
1.0	5.25a	5.0a	96.0a	2.87a	/
1.5	5.25a	4.3b	128.3b	2.89a	1.0
2.0	5.25a	4.1b	135.8b	2.94a	2.8
2.5	5.25a	3.6b	156.5c	2.96a	3.5

每列中字母代表在 5% 下差异显著, a 相对于 b 有显著性差异

2.3 增温对品质的影响

马铃薯块茎品质主要取决于块茎中干物质、淀粉、蛋白质、糖类和维生素等物质的含量。从图 5 看,随着温度升高,马铃薯块茎中干物质和淀粉呈明显的增加趋势,粗蛋白质和还原糖呈明显的减少趋势,维生素 C 呈先增加后减少趋势。马铃薯干物质(y)与增温(x)之间存在 $y = 0.1714x^2 + 0.7771x + 22.406$ ($R^2 = 0.8753$, $P < 0.01$),马铃薯淀粉(y)与增温(x)之间存在 $y = 0.8114x^2 - 0.2549x + 71.956$ ($R^2 = 0.8495$, $P < 0.01$)。增温 0.5—2.0 ℃,马铃薯干物质含量从 22.4% 增加到 24.5%,淀粉含量从 72.1% 增加到 74.4%,表明增温有利于马铃薯干物质和淀粉的积累。但是,马铃薯粗蛋白质(y)与增温(x)之间存在 $y = 0.1288x^2 - 0.4071x + 1.8203$ ($R^2 = 0.9999$, $P < 0.01$),马铃薯还原糖(y)与增温(x)之间存在 $y = 0.0117x^2 - 0.0304x + 0.2427$ ($R^2 = 0.6577$, $P < 0.01$)关系,增温 0.5—2.0 ℃,马铃薯粗蛋白含量从 1.82% 减少到 1.52%,还原糖含量从 0.24% 减少到 0.22%,表明增温对马铃薯粗蛋白和还原糖产生不利影响。马铃薯维生素 C(y)与增温(x)之间存在 $y = -1.0429x^2 + 2.7077x + 8.4846$ ($R^2 = 0.6684$)关系,表明随着温度升高,马铃薯维生素 C 含量呈明显增加趋势,但是当增温超过 1.5 ℃ 时,对维生素 C 含量也产生不利影响。

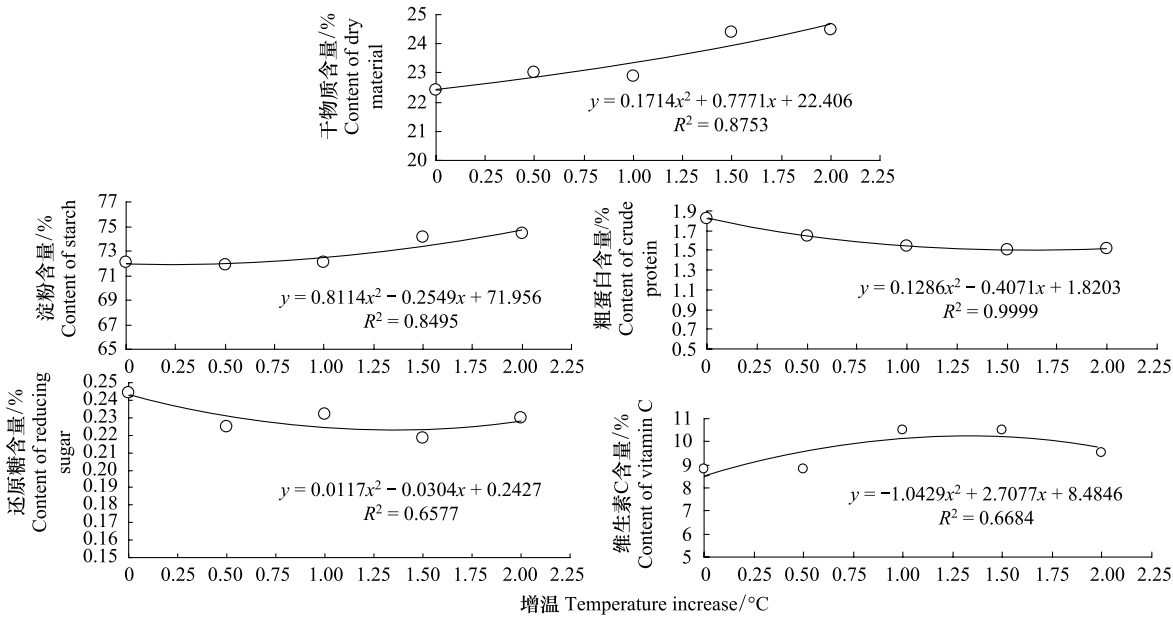


图 5 增温对马铃薯块茎主要成分含量的影响

Fig.5 Impact of temperature increase on the main component content of potato blocks

3 讨论

气候变暖加速了植物蒸腾,必将对西北半干旱区作物生产造成严重影响。众所周知,高温条件可降低作

物光合酶活性,破坏叶绿体结构并引起气孔关闭,从而影响作物光合作用。作物在高温条件下呼吸强度增强,消耗明显增多,从而使净光合积累减少。马铃薯播种—出苗阶段,根系形成和芽生长,是马铃薯结薯及获得高产的基础。一般情况,土壤温度升高,播种—出苗需要时间越短。出苗—现蕾阶段,马铃薯已形成的根系从土壤中不断吸收水分和养分供给幼苗生长,同时种薯内的养分仍继续发挥作用。马铃薯出苗一个月左右开始现蕾,与此同时匍匐茎的顶端开始膨大形成小块茎。现蕾期后 15 d 左右开始开花,开花期块茎膨大速度很快^[11]。姚玉壁研究表明,西北半干旱区马铃薯茎块膨大期的气温敏感期一般在 7 月份,成熟期对气温变化敏感性也显著提高^[3]。因此,现蕾—开花这一阶段是决定块茎大小和产量高低的关键时期。马铃薯盛花期至茎叶枯萎即进入成熟期,这一阶段是淀粉积累的中心时期,如果延长生育时间,可以延长茎叶早衰和生长时间^[12]。

20 世纪 80 年代以来,西北半干旱区马铃薯播种至出苗期的间隔日数每 10a 缩短 1—2 d,花序形成至可收期和全生育期的间隔日数均每 10a 延长 9—10 d。气候变暖导致马铃薯生育前期的营养生长阶段缩短、生殖生长阶段和全生育期延长^[13]。马铃薯播种后 105d 开始,块茎由缓慢生长转为迅速生长阶段,播种后第 127 天,块茎生长速度最大可达 $117.6 \text{ g/m}^2\text{d}$;播种后 149 d 开始,块茎生长从迅速生长又转为缓慢生长,迅速生长期为 44 d^[14]。马铃薯现蕾期以后是决定块茎大小和产量高低的关键时期,特别是马铃薯盛花期至茎叶枯萎即进入成熟期,是淀粉积累的最重要时期,延长茎叶早衰和生长时间,有利于淀粉的积累。本研究结果表明,随着温度升高,马铃薯播种—出苗—现蕾—开花—成熟各生长阶段天数都有所变化。随着温度升高,马铃薯播种—出苗—现蕾阶段生长天数有所缩短,而现蕾—开花—成熟阶段生长期有所延长,播种—成熟全生长期有所延长,特别是盛花期至茎叶枯萎阶段延长,有利于防止茎叶早衰和淀粉的积累。

块茎中干物质、淀粉、蛋白质、糖类和维生素 C 等物质含量的高低是确定马铃薯品质的重要指标。淀粉是衡量马铃薯品质的主要指标之一,淀粉结构松散、结合力弱,含有天然磷酸基团,具有糊化温度低、糊浆透明度高、粘性强的优点^[15]。马铃薯块茎蛋白质含量已经成为衡量马铃薯品质的一项重要指标。马铃薯块茎中粗蛋白质包括游离氨基酸和酰胺酸^[16],蛋白质大部分可溶于水,所含必需氨基酸种类齐全,属于完全蛋白质,且各种氨基酸的比例与人体需要基本相符,容易吸收和利用。马铃薯加工过程中,块茎中的还原糖会与含氮化合物的 α -氨基酸之间发生非酶促褐变的美拉德反应,致使薯条(片)表面颜色加深变为棕褐色^[17]。还原糖含量的高低成为影响炸条(片)颜色最重要的因素,是衡量马铃薯能否作为加工原料最为严格的指标。马铃薯块茎中含有丰富的维生素类物质,其中维生素 C 含量最高,以还原型抗坏血酸和氧化型脱氢抗坏血酸 2 种形式存在^[18]。维生素 C 是很好的抗氧化剂,能有效去除自由基,对人体健康十分有益。本研究表明随着温度升高,马铃薯块茎中干物质和淀粉呈明显的增加趋势,但粗蛋白质和还原糖呈明显的减少趋势,维生素 C 呈先增加后减少趋势。增温 $0.5\text{—}2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,马铃薯干物质含量从 22.4% 增加到 24.5%,淀粉含量从 72.1% 增加到 74.4%,表明增温有利于马铃薯干物质和淀粉的积累。增温 $0.5\text{—}2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,马铃薯粗蛋白含量从 1.82% 下降到 1.52%,还原糖含量从 0.24% 下降到 0.22%,表明增温对马铃薯粗蛋白和还原糖的形成产生不利影响。增温 $<1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,马铃薯维生素 C 含量呈增加趋势,但是当增温 $>1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,马铃薯维生素 C 含量呈减少趋势,说明增温对维生素 C 含量也产生不利影响。

西北黄土高原半干旱区,气候变化扩大了马铃薯种植区域。气候变暖使西北半干旱区作物潜在生长季有所延长,有利于马铃薯的后期生长。气候变化导致西北半干旱区马铃薯种植最适宜区缩小,适宜种植区缩小,次适宜区扩大,可种植区扩大。总体看马铃薯种植范围由南向北或由低海拔向高海拔扩展,种植区域扩大^[19]。马铃薯适宜种植区高度提高 100—200 m,种植高度上限可达海拔 3000 m 左右。例如,宁夏固原中南部属于马铃薯适宜区和较适宜区,近 20 年种植面积不断扩大。甘肃中东部马铃薯适宜种植区海拔高度提高 100—200 m^[20]。因此,西北半干旱区在发展马铃薯产业的同时,综合考虑气候变化对马铃薯产量与品质的影响,合理布局马铃薯产业带。

4 结论

过去 50 年,西北半干旱区干旱化趋势明显加强,对作物生产产生了明显影响。未来 50 年全球气候继续变暖,直接影响农业生产,必将对粮食安全提出新的挑战。本研究采用红外线辐射器大田增温试验,研究气候变暖对西北半干旱区马铃薯产量和品质的影响。结果表明,随着温度升高,马铃薯播种—出苗、出苗—现蕾、现蕾—开花、开花—成熟各生长阶段天数都有所变化。增温 0.5—2.5 °C,马铃薯播种—出苗阶段缩短 1—4 d,出苗—现蕾阶段缩短 1—2 d,现蕾—开花阶段延长 1—2 d,开花—熟阶段延长 1—10 d,马铃薯播种—成熟全生育期延长 1—5 d。随着温度升高,马铃薯播种—出苗—现蕾阶段生长天数有所缩短,而现蕾—开花—成熟阶段生长期有所延长,播种—成熟全生长期有所延长,特别是盛花期至茎叶枯萎阶段延长,有利于防止茎叶早衰和淀粉的积累。增温总体有利于提高马铃薯产量,增温 1.5—2.5 °C,马铃薯增产 1.0%—3.5%。马铃薯块茎品质主要取决于块茎成分含量,包括干物质、淀粉、蛋白质、糖类和维生素等物质含量。随着温度升高,马铃薯干物质、淀粉与维生素 C 含量呈现增加趋势,但蛋白质与还原糖含量呈明显下降趋势。增温 0.5—2.0 °C,马铃薯干物质含量从 22.4% 增加到 24.5%,淀粉含量从 72.1% 增加到 74.4%,粗蛋白含量从 1.82% 减少到 1.52%,还原糖含量从 0.24% 减少到 0.22%,表明增温有利于马铃薯干物质和淀粉的积累,不利于粗蛋白和还原糖的形成,增温将对马铃薯品质产生重要影响。

参考文献 (References):

- [1] Xiao G J, Zhang Q, Xiong Y C, Yang X G, Yang Q G, Sun Z J. Effects of temperature increase on water use and crop yields in a pea-spring wheat-potato rotation. *Agricultural Water Management*, 2007, 91(1/3): 86-91.
- [2] 李壁成, 安韶山. 黄土高原马铃薯产业化开发的潜力、市场与对策. *水土保持研究*, 2005, 12(3): 150-153.
- [3] 姚玉璧, 王润元, 邓振镛, 韩树林, 邢托勤. 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. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 287-295.
- [4] 张强, 张存杰, 白虎志, 李林, 孙兰东, 刘德祥, 王劲松, 赵红岩. 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, 局部出现暖湿迹象. *干旱气象*, 2010, 28(1): 1-7.
- [5] Piao S L, Ciais P, Huang Y, Shen Z H, Peng S S, Li J S, Zhou L P, Liu H Y, Ma Y C, Ding Y H, Pierre F, Liu C Z, Tan K, Yu Y Q, Zhang T Y, Fan J Y. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 2010, 467(2): 42-51.
- [6] 姚玉璧, 张秀云, 卢汉威, 韩海辉, 李雪霞, 张树旺. 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. *中国农业气象*, 2009, 30(2): 208-211.
- [7] 陆景陵. *植物营养学*. 北京: 北京农业大学出版社, 1994.
- [8] 田云录, 郑建初, 张彬, 陈金, 董文军, 杨飞, 张卫建. 麦田开放式昼夜不同增温系统的设计及增温效果. *中国农业科学*, 2010, 43(18): 3724-3731.
- [9] 郑国光. 对哥本哈根气候变化大会之后我国应对气候变化新形势和新任务的思考. *气候变化研究进展*, 2010, 6(2): 79-82.
- [10] 张永成, 田丰. *马铃薯试验研究方法*. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [11] 王静, 吴建宏. 马铃薯块茎品质及其影响因素. *现代农业科技*, 2008, (16): 97-98.
- [12] 邓振镛, 张强, 蒲金涌, 刘德祥, 郭慧, 王全福, 赵鸿, 王鹤龄. 气候变暖对中国西北地区农作物种植的影响. *生态学报*, 2008, 28(8): 3760-3768.
- [13] 姚玉璧, 张秀云, 王润元, 邓振镛, 卢汉威. 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. *生态学报*, 2010, 30(1): 101-108.
- [14] 王润元, 肖国举, 王鹏祥, 陶健红, 姚玉璧. 中国西北地区农作物对气候变化的响应. 北京: 气象出版社, 2008: 41-236.
- [15] 谢庆华, 吴毅歆. 马铃薯品种营养成分分析测定. *云南师范大学学报: 自然科学版*, 2002, 22(2): 50-52.
- [16] 刘志诚. *营养与食品卫生学*. 北京: 人民卫生出版社, 1987.
- [17] 王春英, 陈伊里, 石瑛. 影响马铃薯油炸品质的研究进展. *中国马铃薯*, 2003, 17(4): 232-236.
- [18] 刘喜才, 张立娟, 张文英. *中国马铃薯种质资源描述规范和数据标准*. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [19] 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响. I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析. *中国农业科学*, 2010, 43(2): 329-336.
- [20] 张智, 林莉, 梁培. 宁夏气候变化及其对农业生产的影响. *中国农业气象*, 2008, 29(4): 402-405.