

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

姚玉璧^{1,2}, 王润元¹, 赵 鸿¹, 王瑞君³

(1. 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
中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省定西市气象局,
甘肃 定西 743000; 3. 黄河水利委员会宁夏水文水资源局巴彦高勒蒸发实验站, 内蒙古 磴口 015200)

摘 要: 利用黄土高原不同海拔高度马铃薯生长发育定位观测资料 and 对应平行气象观测资料, 分析气候变化对马铃薯生长发育敏感性的影响, 以及马铃薯生育脆弱性变化特征。结果表明, 研究区域降水量年际变化呈下降趋势, 降水量变化曲线线性拟合倾向率在马铃薯生长期 5—10 月绝对值最大, 表现为高海拔区大于低海拔区的特征。气温年际变化呈上升趋势, 气温变化曲线线性拟合倾向率表现为高海拔区小于低海拔区的特征。作物生长期干燥指数呈显著上升趋势, 干燥指数变化曲线线性拟合倾向率也表现为高海拔区小于低海拔区的特征, 20 世纪 90 年代后干燥指数明显上升, 气候趋于暖干化。影响马铃薯生长发育的主导气象因子是气温, 气候变暖, 气温增高, 导致马铃薯生育前期的营养生长期缩短, 而生殖生长期延长, 全生育期延长。块茎膨大期气温增高导致马铃薯生育脆弱性增加, 马铃薯对气温变化的敏感性和气温增高导致马铃薯生育脆弱性均随海拔增高而降低。开花期降水减少导致马铃薯生长发育及产量形成的脆弱性增加, 此时段以干旱为主的气象灾害频率的增加使马铃薯生育脆弱性增加, 马铃薯对降水量变化的敏感性和降水量减少导致马铃薯生育脆弱性却随海拔增高而降低。

关键词: 黄土高原; 气候变化; 马铃薯; 生育; 脆弱性

中图分类号: P464; S162.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)02-0052-07

Impacts of climatic change on potato growth vulnerability at different elevation in the Loess Plateau of Gansu

YAO Yu-bi^{1,2}, WANG Run-yuan¹, ZHAO Hong¹

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, China Meteorological Administration, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China;
2. Meteorological Bureau of Dingxi of Gansu Province, Dingxi, Gansu 743000, China;
3. Evaporation Experimental Station of Bayangaole, Hydrology and Water Resources Bureau of the Ningxia - Inner Mongolia Reach, Yellow River Conservancy Committee, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: Based on potato growth data and parallel observation meteorological data at different elevation in the Loess Plateau, the impacts of climate changing on potato growth and the characteristics of potato growth vulnerability variation had been analyzed. The results showed that precipitation turned to be a descending trend and the absolute value of fitting trend rate reached the maximum in May to October. The phenomenon appeared more obvious at higher elevation area than that of lower elevation area. It also indicated that the temperature turned to be an increasing trend and value of fitting trend rate in higher elevation was under that in lower elevation. The aridity index increased obviously from year to year, especially in 1990s and climate turned to be hot - drying. The temperature is the main meteorological factors that influenced the potato growth. Because of climate changing, the vegetation growth period was shortened, the reproductive growth period was delayed and the whole growth period extended. The vulnerability of potato increased in tuber expands period when higher temperature met. The temperature sensibility of potatoes decreased and vulnerability decreased with the elevation lifting. The vulnerability of potato production forming increased in flowering period when the precipitation decreased. The drought disaster added the risk rate of potato growing in that period. The vulnerability that caused by pre-

收稿日期: 2012-08-19

基金项目: 国家重大科学研究计划(2012CB955304); 国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106029、GYHY200806021); 国家自然科学基金重点项目(40830957); 中国气象局气候变化专项(CCSF201207); 干旱气象科学研究基金项目(IAM201111)

作者简介: 姚玉璧(1962—), 男, 甘肃通渭人, 研究员级高级工程师, 主要从事气候变化对农业的影响研究。E-mail: yaoyubi@163.com。

precipitation sensibility of potatoes and precipitation decreasing reduced with elevation lifting too.

Keywords: Loess Plateau of Gansu; climate changing; potato; growth; vulnerability

气候系统的变暖是不争的事实,人为增暖可能已对许多自然和生物系统产生了可辨别的影响^[1]。几乎可以确定,偏暖环境下农业产量降低,病虫害多发^[2-3]。大气中 CO₂ 浓度的升高、气候变暖以及区域性降雨量的变化是目前研究全球气候变化对农业生产影响最为重要的因素。西北黄土高原是东南湿润季风气候向西北内陆干旱气候过渡带,也是暖温带阔叶落叶林向典型草原和荒漠草原过渡的地带。是典型的气候变化敏感地带,也是生态和农业脆弱地区,由气候变暖所造成的各方面损失也更加巨大。气候变暖通过对农业气候条件的改变将影响农作物生长、病虫害发生、种植面积、气候生产力、产量和品质等^[4-5]。在人们为减缓气候变化所做的努力还不能很快见效的情况下,寻求适应气候变化的农业生产方式、减少气候变化造成的农业损失、积极利用气候变化对农业带来的机遇,对于气候变化下农业生产对策的制定具有重要意义^[6]。

马铃薯是我国最有发展前景的高产经济作物之一,同时也是十大热门营养健康食品之一。全世界有 2/3 以上的国家种植马铃薯,全球马铃薯种植面积约 1950 万 hm²,年产量超过 3.2 亿 t,仅次于小麦、玉米、水稻,居第四位。马铃薯营养丰富,素有“地下苹果”、“第二面包”之称,是世界粮食市场的主要食品。中国马铃薯种植面积 533 万 hm²,年产量 8000 万 t,均居世界前列。马铃薯生产对保证国家粮食安全有重要作用。黄土高原是我国马铃薯主产区之一,该区域属雨养农业区,作物对气候变化的响应既敏感又脆弱,马铃薯生长发育对气象条件的依赖性极强,气象条件对其生长发育影响大^[7-8]。

脆弱性是指气候变化,包括气候变率和极端气候事件对该系统造成的不利影响的程度,是系统内的气候变率特征、幅度和变化速率及其敏感性和适应能力的函数^[9]。马铃薯对气候变化的脆弱性是指气候变化(包括气候变率和极端气候事件)对马铃薯生产造成的不利影响的程度,决定于马铃薯对气候变化的敏感程度及其适应气候变化的综合能力^[10]。

黄土高原不同海拔高度气候变化对马铃薯脆弱性影响的研究尚不多见,对这一问题还没有形成比较系统而完整的科学认识^[11],本文分析了黄土高原气候变化及其对马铃薯生长发育、块茎形成和产量脆弱性的影响,期望为发展马铃薯产业提供科学依

据。

1 研究方法与资料

1.1 研究方法

试验在甘肃省岷县农业气象观测站(该站海拔高度 2 315.0 m。年平均气温 5.8℃;年降水量 560.8 mm)和甘肃省通渭农业气象观测站(该站海拔高度 1 768.2 m。年平均气温 6.8℃;年降水量 392.3 mm)进行。

1989—2008 年连续 20 a 进行了马铃薯生长发育及产量形成定位观测试验;试验取样地段与大田相连,未灌溉,品种及耕作管理措施与大田相同。观测方法按照中国气象局农业气象观测规范,在马铃薯生长发育期取 4 个重复,观测发育期、生长高度、密度、叶面积,叶片、叶柄、茎和块茎的生长量、干物质和产量等要素。两站试验取样地段毗邻地面气象观测场,符合农业气象平行观测要求,故同期对比观测气象资料分别为地面气象观测资料。

气候分析资料为两站 1959—2008 年地面气象观测资料。

1.2 统计计算方法

气候要素的趋势系数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,可以从气候趋势系数求出气候倾向率^[12],单位为每 10 a 某要素单位。

作物生长季干燥指数^[8](G) 公式如下:

$$G = \frac{C \sum T_{5-10}}{R}$$

式中: $\sum T_{5-10}$ 为作物生长季(5—10 月) $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温; C 为海拔高度订正系数; $C \sum T_{5-10}$ 表示蒸发力。 R 为同期降水量。 G 越大说明越干燥,反之越湿润。

马铃薯产量形成与气象要素间的积分回归模式为:

$$Y = c_0 + \int_0^t a(t)x(t)dt$$

式中: Y 为产量要素的拟合值; c_0 为积分常量; $x(t)$ 为气象要素; $a(t)$ 为影响函数或偏回归系数,其值可以鉴别作物生长期不同时段气象条件对作物生长发育及产量形成的贡献^[13]。

用 Excel 2003 软件进行相关分析、回归分析和曲线的作图。

2 结果与分析

2.1 气候变化特征

2.1.1 降水量变化 1959—2008 年,岷县、通渭降水量年际变化均呈下降趋势(见图 1),降水量变化曲线线性拟合倾向率分别为 $-16.577\text{ mm}\cdot10\text{a}^{-1}$ (R^2

$=0.0659$, $P<0.10$)和 $-16.112\text{ mm}\cdot10\text{a}^{-1}$ ($R^2=0.0608$, $P<0.10$)。

就年代际降水距平百分率而言,20 世纪 60 年代均偏多最大,80 年代次之,其余年代略偏多,90 年代偏少(见表 1)。

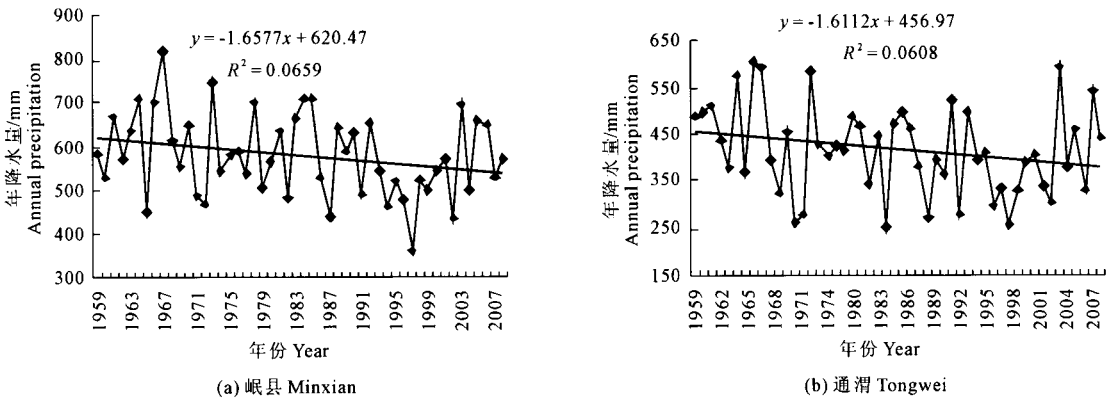


图 1 研究区降水量变化曲线
Fig.1 Annual Precipitation change Curve in the study area

表 1 研究区各年代降水距平百分率、气温距平

Table 1 Every decadal anomaly percent of precipitation and temperature departure in the study area

要素 Factor	区域 Region	1959—1960 年	60 年代 1960s	70 年代 1970s	80 年代 1980s	90 年代 1990s	2001—2008 年
降水距平百分率 Anomaly percent of precipitation/%	岷县 Minxian	-0.6	13.4	2.0	7.5	-9.5	2.8
	通渭 Tongwei	26.1	18.5	4.6	3.6	-8.2	8.0
气温距平 temperature departure/℃	岷县 Minxian	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2	0.3	0.7
	通渭 Tongwei	0.0	-0.4	-0.3	-0.3	0.4	0.7

按上年 12 月—当年 2 月为冬季、3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季划分,由表 2 研究区各季节降水量倾向率可见,降水量在马铃薯生长季的 5—10 月递减率最大,递减率岷县、通渭分别

为 -14.4 、 $-12.5\text{ mm}\cdot10\text{a}^{-1}$;秋季次之,其余季节未通过信度检验。

可见,研究区域降水量在作物生长季 5~10 月明显减少。

表 2 研究区各季节降水量、气温倾向率

Table 2 The ration of trend precipitation and temperature in seasons in the study area

要素 Factor	区域 Region	全年 Year	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	作物生长季(5—10 月) Growth period
降水量 Precipitation /($\text{mm}\cdot10\text{a}^{-1}$)	岷县 Minxian	-16.577^{Δ}	-5.620	-3.415	-7.854^{Δ}	0.414	-14.442^{Δ}
	通渭 Tongwei	-16.112^{Δ}	-4.995	-2.474	-9.096^{Δ}	0.511	-12.502
气温 temperature /($^{\circ}\text{C}\cdot10\text{a}^{-1}$)	岷县 Minxian	0.235 $\star$	0.177 $\blacktriangle$	0.202 $\star$	0.219 $\star$	0.327 $\star$	0.203 $\star$
	通渭 Tongwei	0.251 $\star$	0.232 $\star$	0.176 $\star$	0.243 $\star$	0.341 $\star$	0.208 $\star$

Δ : $P<0.10$, $\blacktriangle$: $P<0.05$, $\star$: $P<0.01$.

2.1.2 气温变化 岷县气温年际变化呈显著上升趋势,气温变化曲线线性拟合倾向率为 $0.235^{\circ}\text{C}\cdot$

10a^{-1} ($R^2=0.443$, $P<0.01$)(见图 2a)。气温 Cubic 函数呈先降后升型,方程为 $y=-0.00001x^3+$

$0.0019x^2 - 0.0465x - 0.0152$,其线性化后的复相关系数 $R = 0.764$,通过 $\alpha = 0.001$ 检验。对 Cubic 函数求一阶导数,令 $dy/dx = 0$,求得 1973 年为气温 Cubic 函数最小值即转折点,1973 年后气温 Cubic 函数上升。

通渭气温年际变化也呈显著上升趋势,气温变化曲线线性拟合倾向率为 $0.251^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R^2 = 0.438$, $P < 0.01$) (见图 2b)。气温 Cubic 函数呈先降

后升型,方程为 $y = -0.00004x^3 + 0.0038x^2 - 0.0854x + 0.0714$,其线性化后的复相关系数 $R = 0.772$,通过 $\alpha = 0.001$ 检验。对 Cubic 函数求一阶导数,令 $dy/dx = 0$,求得 1974 年为气温 Cubic 函数最小值即转折点,1974 年后气温 Cubic 函数上升。

年平均气温距平 20 世纪 90 年代前为负距平,90 年代及其后为正距平,且 2001—2008 年气温距平最大,为 0.7°C 。

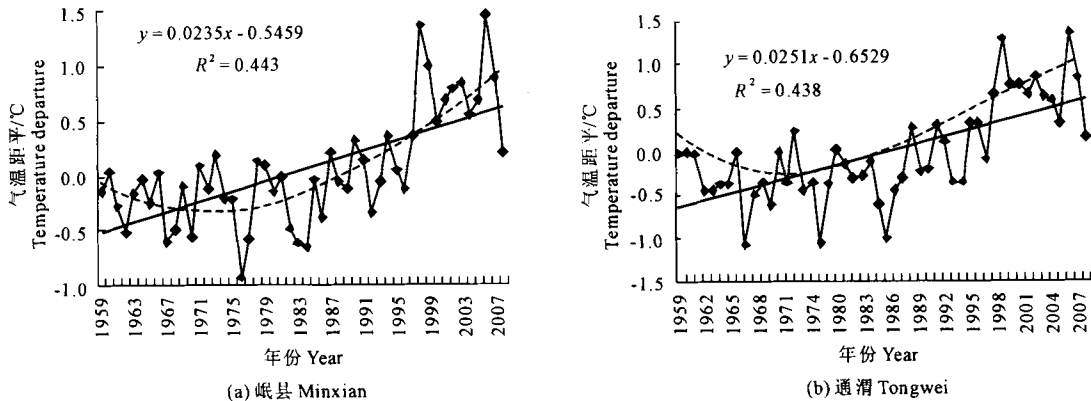


图 2 研究区气温距平年际变化曲线

Fig.2 Interannual change curve of temperature departure in the study area

由表 2 研究区各季节气温倾向率可见,冬季气温增加倾向率最大,岷县、通渭分别达 $0.327^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 、 $0.341^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$,秋季次之,其余季节较小。马铃薯生长季 5—10 月气温显著增暖,倾向率岷县、通渭分别为 $0.203^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 、 $0.208^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。

2.1.3 作物生长季干燥指数变化 研究区域作物

生长季干燥指数变化呈显著上升趋势(见图 3),干燥指数变化曲线线性拟合倾向率岷县、通渭分别为 $0.077 \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R^2 = 0.116$, $P < 0.05$)、 $0.108 \cdot 10\text{a}^{-1}$ ($R^2 = 0.056$, $P < 0.10$)。

20 世纪 90 年代后干燥指数明显上升,气候趋于暖干化。

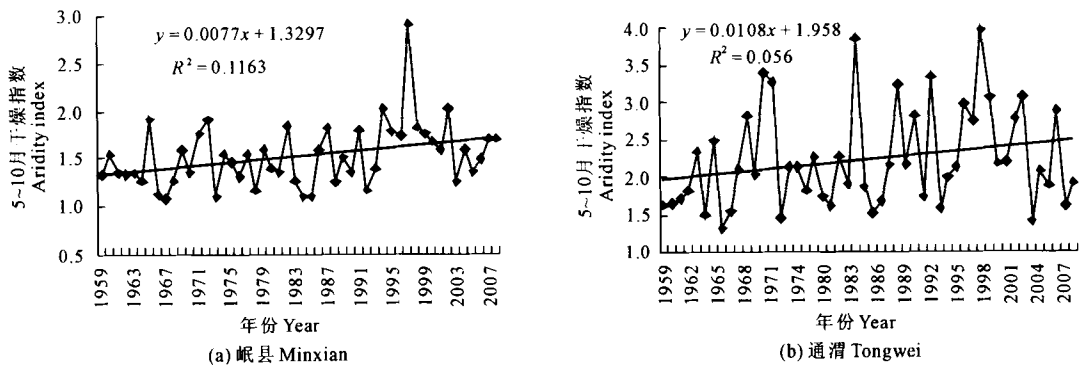


图 3 研究区干燥指数年际变化曲线

Fig.3 Interannual change curve of aridity index in the study area

2.2 马铃薯生长发育期生态气候条件

研究区域岷县马铃薯一般在 4 月中下旬播种,出苗期在 5 月中下旬,分枝期在 6 月上旬,花序形成期在 6 月中下旬,开花期在 7 月上旬,可收期在 9 月中下旬。播种到可收约需 150 ~ 168 d,需 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 $2000^{\circ}\text{C} \sim 2300^{\circ}\text{C}$,需降水量 400 ~ 500 mm,需日照时数 900 ~ 1100 h。

研究区域通渭马铃薯一般在 5 月上中旬播种,出苗期在 6 月上中旬,分枝期在 6 月下旬,花序形成期在 7 月上中旬,开花期在 7 月中下旬,可收期在 10 月上中旬。播种到可收约需 140 ~ 160d,需 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 $2100 \sim 2400^{\circ}\text{C}$,需降水量 300 ~ 400mm,需日照时数 800 ~ 1100h。

2.2.1 马铃薯生长发育期年际变化 岷县花序形

成期与 4—6 月平均气温呈负相关, $r = -0.317$, 通过 $\alpha = 0.10$ 检验。即 4—6 月气温增高, 花序形成期提前。开花期与 4—7 月平均气温也呈负相关, $r = -0.421$, 也通过 $\alpha = 0.10$ 检验。即 4—7 月气温增高, 开花期提前。马铃薯出苗期、分支期、可收期呈波动提前趋势, 但年际变化曲线线性拟合趋势未通过信度检验。

岷县由于影响马铃薯花序形成、开花期的主导气象因子是气温, 气候变暖, 气温增高, 导致马铃薯花序形成期每 10a 提前 8~9 d、开花期每 10a 提前 4~5 d, 开花期延长。而在马铃薯生长发育前期的出苗期、分枝期受气温和降水的共同影响发育期呈波动变化。

通渭播种至出苗期间隔日数与 5—6 月降水量呈负相关 ($r = -0.69, P < 0.01$), 即 4—6 月降水增加, 播种至出苗期缩短; 其与 4 月平均气温呈正相关, 但未通过 $\alpha = 0.10$ 检验。花序形成至可收期间隔日数与 5—10 月平均气温呈正相关 ($r = 0.41, P < 0.05$), 即 5—10 月平均气温增高, 花序形成至可收期延长; 其与 9 月降水量也呈正相关 ($r = 0.57, P < 0.01$), 即 9 月降水增加, 花序形成至可收期延长。全生育期与 5—10 月平均气温呈正相关 ($r = 0.61, P < 0.01$), 即 5—10 月平均气温增高, 全生育期延长; 其与 5—6 月降水量呈负相关 ($r = 0.48, P < 0.05$), 即 5—6 月降水减少, 全生育期延长。马铃薯出苗—分支期、分枝—花序形成期呈波动变化, 线性拟合趋势未通过信度检验(图略)。

由此可见, 影响马铃薯生长发育的主导气象因子是气温, 气候变暖, 气温增高, 导致马铃薯生育前期的营养生长阶段缩短, 而生殖生长阶段延长, 全生育期延长。

2.2.2 马铃薯产量和无霜期的关系 研究区域无霜期的变化影响马铃薯生长发育及产量形成。将研究区域马铃薯产量资料和无霜期资料进行均一化处理, 以便消除量纲, 互相比。可见, 马铃薯产量和无霜期变化趋势呈同相位分布, 即无霜期长产量高, 反之亦然。但两者的相关系数未通过信度检验。

2.3 马铃薯产量形成的敏感性及脆弱性

2.3.1 热量的影响及敏感性 由于气候变暖, 除采收期外, 其余时段热量充足(图 4), 块茎膨大期产量形成对气温变化十分敏感, 旬平均气温每升高 1°C , 马铃薯产量降低 $100 \sim 200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 敏感期约 30~35 d。块茎膨大期气温增高导致马铃薯生育脆弱性增加。采收期热量不足, 气温对马铃薯产量形成成为正效应, 且影响量较大, 旬平均气温每升高 1°C , 马铃薯产量可增加 $100 \sim 200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

另外, 在海拔较低的通渭, 出苗至分枝期马铃薯对气温变化十分敏感, 旬平均气温每升高 1°C , 影响产量降低 $200 \sim 300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 敏感期约 30~40 d。马铃薯分枝以后, 地上部分很快形成花序, 之后就进入开花期, 地下茎块也开始膨大, 此期间, 马铃薯需要凉爽气候, 气温过高, 地上茎节间距伸长, 叶片变小, 影响对光能的吸收利用, 地下块茎随之退化, 而成畸形, 产量降低。

出苗至分枝期, 在海拔较高的岷县, 此时段马铃薯对气温变化敏感性较弱, 气温对马铃薯生长影响较小。而在海拔较低的通渭, 马铃薯对气温变化十分敏感。究其原因, 一是马铃薯喜温凉气候, 低海拔区气温偏高对其生长发育不利; 二是低海拔区气温偏高, 蒸发加快, 往往造成土壤水分不足, 水分胁迫影响作物生长发育, 导致作物生育脆弱性增加。

由此可知, 马铃薯对气温变化的敏感性和气温增高导致马铃薯生育脆弱性均随海拔增高而降低。

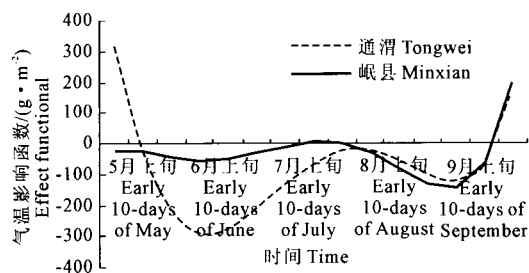


图 4 马铃薯产量与旬气温要素积分回归曲线

Fig.4 Curve of integral regression between potato yields and ten-days period average temperature

2.3.2 降水量的影响及敏感性 马铃薯发育在分枝~开花期对降水量变化十分敏感(图 5), 旬降水量每增加 1 mm, 马铃薯产量可增加 $100 \sim 300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 敏感期约 30~40 d。开花期降水减少导致马铃薯生长发育及产量形成的脆弱性增加。此时段以干旱为主的气象灾害频率的增加使马铃薯生育脆弱性增加。低海拔区敏感性大于高海拔区, 之后影响减弱, 在马铃薯块茎膨大后期降水量的影响进入第二个敏感时段, 高海拔区岷县旬降水量每增加 1 mm, 马铃薯产量可增加 $50 \sim 100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; 而低海拔区通渭在马铃薯块茎膨大期降水量为负效应, 旬降水量每增加 1 mm, 马铃薯产量降低 $100 \sim 200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; 敏感期约 20~30 d。

6—7 月为马铃薯主要营养及生殖生长期, 对水分的变化十分敏感。马铃薯块茎膨大后期(8 月以后), 过多的降水反会引起湿腐病, 造成茎块腐烂而减产。

由此可见, 马铃薯对降水量变化的敏感性和降水

量减少导致马铃薯生育脆弱性也随海拔增高而降低。

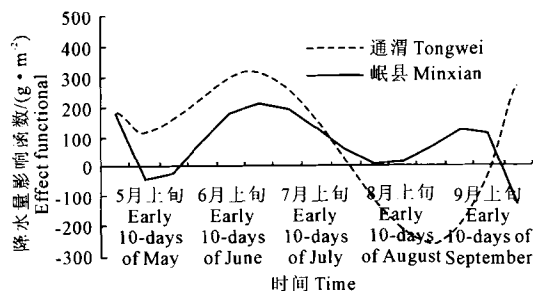


图 5 马铃薯产量与旬降水量积分回归曲线

Fig.5 Curve of integral regression between potato yields and ten-days period average precipitation

2.3.3 光照的影响及敏感性 高海拔区岷县花序形成期到块茎膨大前期、块茎膨大后期日照时数对马铃薯影响为正效应(图 6);其中花序形成期旬日照时数每增加 1 h,马铃薯产量增加 300 ~ 400 g·m⁻²,敏感期约 20 ~ 30 d。而低海拔区通渭块茎膨大期日照时数对马铃薯产量形成也为正效应;旬日照时数每增加 1 h,马铃薯产量增加 100 ~ 200 kg·hm⁻²,敏感期约 20 ~ 30 d。其余时段日照充足。

一般而言,在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,随着光照强度增强,光合强度逐渐提高,对作物干物质积累为正效应。但当某一时段光照时数增多时,相应时段常常出现气温升高、降水减少的状况,作物在高温条件、水分不足条件下呼吸强度增强,消耗明显增多,而使净光合积累减少。由于气温升高和水分不足影响产量形成,故出现在部分时段日照时数对马铃薯产量形成负效应的现象。

马铃薯对日照时数变化的敏感性和日照时数减少导致马铃薯生育脆弱性均随海拔增高而增加。

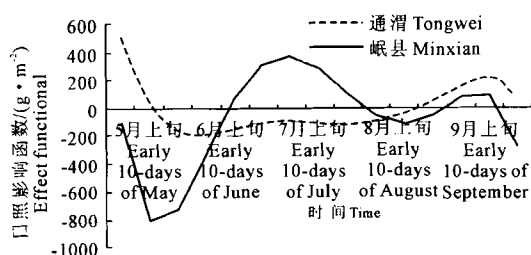


图 6 马铃薯产量与旬日照时数积分回归曲线

Fig.6 Curve of integral regression between potato yields and ten-days period average sunshine hour

2.4 马铃薯产量气候模型

分析马铃薯生长关键时段、关键气象因子对其产量的影响,依据积分回归及相关分析结果,建立马铃薯产量气候模型(岷县):

$$Y = 111749.7 - 49.605 \Sigma T + 71.889 R$$

$$(F = 2.885, P < 0.10)$$

式中, Y 为马铃薯产量; ΣT 为马铃薯生育期 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温; R 为马铃薯生育期降水量。

通渭马铃薯产量气候模型:

$$Y = 13229.91 - 645.63 T_{6-8} + 13.62 R_6$$

$$(F = 5.01, P < 0.05)$$

式中, Y 为马铃薯产量; T_{6-8} 为夏季(6—8 月)平均气温; R_6 为 6 月降水量。

3 结 论

1) 1959—2008 年,研究区域降水量年际变化呈下降趋势,岷县、通渭降水量变化曲线线性拟合倾向率分别为 -16.577 、 $-16.112 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。降水在马铃薯生长期 5—10 月递减率绝对值最大,岷县、通渭年降水量递减率分别为 -14.442 、 $-12.502 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$;递减率绝对值表现为高海拔区大于低海拔区的特征。气温年际变化趋势呈显著上升趋势,岷县、通渭气温变化曲线线性拟合倾向率分别为 $0.235^\circ\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 、 $0.251^\circ\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$,冬季增温最大、秋季次之,马铃薯生长期增温极显著。气温递增率表现为高海拔区小于低海拔区的特征。1973—1974 年之后气温持续上升。作物生长期干燥指数变化呈显著上升趋势,干燥指数变化曲线线性拟合倾向率岷县、通渭分别为 $0.077 \cdot 10\text{a}^{-1}$ 、 $0.108 \cdot 10\text{a}^{-1}$,干燥指数递增率也表现为高海拔区小于低海拔区的特征。20 世纪 90 年代后干燥指数明显上升,气候趋于暖干化。历年无霜期 80 年代前呈减少趋势,之后呈增加趋势。

2) 马铃薯生长发育受气候变暖,气温增高的影响,马铃薯花序形成期每 10 a 提前 8 ~ 9 d,开花期每 10 a 提前 4 ~ 5 d,花序形成—可收期延长。影响马铃薯生长发育的主导气象因子是气温,气候变暖,气温增高,导致马铃薯生育前期的营养生长阶段缩短,而生殖生长阶段延长,全生育期延长。

3) 由于气候变暖,除采收期外,其余时段热量充足,气温对马铃薯产量形成负效应,块茎膨大期产量形成对气温变化十分敏感,块茎膨大期气温增高导致马铃薯生育脆弱性增加,马铃薯对气温变化的敏感性和气温增高导致马铃薯生育脆弱性均随海拔增高而降低。降水量对马铃薯产量形成的影响除块茎膨大期为负效应外,其余时段降水量对马铃薯产量形成均为正效应,在马铃薯分枝—开花期产量形成对降水量变化十分敏感,开花期降水减少导致马铃薯生长发育及产量形成的脆弱性增加,此时段以干旱为主的气象灾害频率的增加使马铃薯生育脆弱性增加,马铃薯对降水量变化的敏感性和降水量

减少导致马铃薯生育脆弱性也随海拔增高而降低。马铃薯对日照时数变化的敏感性和日照时数减少导致马铃薯生育脆弱性均随海拔增高而增加。

4) 在气候变暖的背景下,气象条件对马铃薯生长发育和产量形成影响的不确定性增加,影响增大。马铃薯对气候变化的敏感性和马铃薯生育脆弱性均增加。

参 考 文 献:

- [1] IPCC. Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [3] IPCC: Summary for Policymakers. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation[C]//A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2012:1-19.
- [4] 张 强,邓振镛,赵映东,等.全球气候变化对我国西北地区农

业的影响[J].生态学报,2008,28(3):1210-1218.

- [5] 邓振镛,张 强,蒲金涌,等.气候变暖对中国西北地区农作物种植的影响[J].生态学报,2008,28(8):3760-3768.
- [6] 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):287-295.
- [7] 李壁成,安 韶.黄土高原马铃薯产业化开发的潜力、市场与对策[J].水土保持研究,2005,12(3):150-153.
- [8] 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):101-108.
- [9] Watson R T, Zinyowera M C, Moss R H. The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability[M]. UK: Cambridge University Press, 1997:1-18.
- [10] 姚玉璧,董安祥,王润元,等.西北半干旱区气候变化对马铃薯生长脆弱性的影响[J].地球科学进展,2007,22(Suppl.):48-54.
- [11] 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.
- [12] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:175-181.
- [13] 冯定原.农业气象预报和情报方法[M].北京:气象出版社,1988:101-120.

(上接第 41 页)

本试验采用“3414”试验方案,进行了氮、磷、钾肥料效应研究,试验表明:14 个处理中以 $N_2P_2K_2$ 处理的产量最高,产量为 $8066.79 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$;用二次回归分析,得出氮磷钾的肥料效应函数方程为: $Y = 4659.93 + 79.56N - 5.06N^2 + 101.7P - 33.81P^2 + 286.4K - 10.28K^2 + 24.87NP + 2.66NK - 12.97PK$;通过模型寻优得出“新饲玉 11 号”的最佳施肥量为 667m^2 施 N 21 kg, P_2O_5 5 kg, K_2O 22 kg,在此配方组合下能够获得最佳产量 $7692.96 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 。因此,在高肥料投入时,要想获得高产优质的青贮玉米,必须做到科学合理的施用肥料,只有合理搭配氮、磷、钾的比例,才能获得玉米的高产。

参 考 文 献:

- [1] 许启凤.优质、高产玉米新品种农大 108 的选育与推广[J].中国农业大学学报,2003,8(1):25-26.
- [2] 梁晓玲.特早熟优质蛋白玉米杂交种新玉 10[J].新疆农业科学,1999,(2):82-83.
- [3] 杜 雄,边秀举,刘梦星,等.磷素营养对青饲玉米产量品质形成与肥水利用效果的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(3):484-489.
- [4] 杜 雄,张立峰,李会彬,等.钾素营养对饲用玉米养分吸收动态及产量品质形成的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13

(3):393-397.

- [5] 迟凤琴,苏 俊.高中超等氮磷钾配施对青贮玉米生物产量和营养品质的影响[J].中国土壤与肥料,2007,(6):42-43.
- [6] 陆裕珍,罗大贤,唐正平,等.玉米氮磷钾最佳施用量及肥料利用率研究[J].农技服务,2011,28(8):1141-1142.
- [7] 战秀梅,邹殿博,韩晓日,等.不同施肥处理对春玉米氮素累积特性的影响[J].沈阳农业大学学报,2010,41(5):545-549.
- [8] 战秀梅,韩晓日,王 帅,等.应用“3414”肥料试验模型求解春玉米施肥参数的研究[J].河南农业科学,2009,12(1):51-54.
- [9] 农业部种植业管理司,全国农业技术推广服务中心.测土配方施肥技术问答[M].北京:中国农业出版社,2005:39-41.
- [10] 王兴仁,陈新平,张福锁,等.施肥模型在我国推荐施肥中的应用[J].植物营养与肥料学报,1998,4(1):67-74.
- [11] Cerrato M E, Blackmer A M. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer[J]. Agron J, 1990, 82(1): 138-143.
- [12] 陈新平.小麦-玉米轮作制中氮肥效应模型的选择——经济和环境效益分析[J].土壤学报,2000,37(3):346-353.
- [13] 季彪俊.影响水稻产量因子的研究[J].西南农业大学学报,2005,27(5):579-583.
- [14] 王圣瑞,陈新平,高祥照,等.“3414”肥料试验模型拟合的探讨[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):409-412.
- [15] 李会合,王正银.不同施肥对酸性菜园土壤莴笋产量和叶片氮代谢的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2008,30(11):98-103.
- [16] 腾树川.玉米施用氮磷钾肥与产量形成的关系经验浅析[J].耕作与栽培,2002,(2):40-41.