

郭伟, 阳伏林, 张荣, 等. 晋西北地区马铃薯生态需水量对气候变化的响应[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 516-520, [GUO Wei, YANG Fulin, ZHANG Rong, et al. Change Trend of Ecological Water Requirement of Potatoes and Its Response to Climate Warming in Northwestern of Shanxi Province [J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(4): 516-520], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-04-0516

晋西北地区马铃薯生态需水量对气候变化的响应

郭伟¹, 阳伏林², 张荣³, 赵丽平¹, 郝振荣⁴

(1. 山西省气象科学研究所, 山西 太原 030002; 2. 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, 甘肃 兰州 730020; 3. 山西省气象局, 山西 太原 030002; 4. 山西省气象信息中心, 山西 太原 030002)

摘要: 基于晋西北地区8个地面气象站1960~2010年的气象资料及马铃薯生育期平均资料, 运用P-M公式, 计算了马铃薯生态需水量, 分析了生态需水量的时间演变特征及其对气候变化的响应。结果表明: 晋西北地区马铃薯生态需水量整体上呈显著下降趋势, 但不同时段下降幅度差异较大; 风速和日照时数的变化对马铃薯生态需水量的影响最为突出。气候变暖对该地区马铃薯生态需水量的影响表明, 气温的升高会增加马铃薯的需水量, 且不同地区需水量的增幅不尽相同, 气候变暖对寒冷地区马铃薯需水量的影响更加显著。

关键词: 马铃薯; 生态需水量; P-M公式; 气候变化

文章编号: 1006-7639(2014)-04-0516-05 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-04-0516

中图分类号: S532

文献标识码: A

引言

气候变化导致的干旱等气象灾害对我国农业生产和水资源平衡的影响非常显著^[1-4]。气候变暖会改变我国除青藏高原和东北北部以外其他所有地区的种植制度, “三熟制”的北界会从长江流域北移到黄河流域^[5]; 同时, 气候变化引起的不均匀增温, 会使得农业生产的不稳定性增加^[6]。在我国, 气候变暖对水资源最显著的影响将发生在黄淮流域, 这些地区水资源供需的短缺会显著增加^[7], 并且干旱化的趋势仍将继续, 对生态系统和可持续发展产生不利影响^[8]。

农作物生态需水量是农田水分循环系统中最重要的因素之一, 需水量的值可以运用 Penman - Monteith 公式计算得到, 该方法在农业生态及气象上都有广泛应用^[9-11]。作物需水量与气候条件关系密切, 研究气候变化对我国不同地区作物生态需水的影响, 能更深入地了解农作物的水分利用情况, 从而有助于对水资源的综合合理利用。

马铃薯是世界性作物, 面积和产量仅次于水稻、小麦和玉米^[12]。目前, 关于马铃薯的研究多集中在

生理特征、育种方式、及产量等方面^[13-14], 然而, 关于气候变化对马铃薯生长影响的研究相对较少^[15]。晋西北地区位于华北西部的黄土高原东翼, 地处干旱半干旱气候带, 平均海拔1200 m, 长期以来干旱少雨、空气干燥、蒸发量大, 素有“十年九旱”之说^[16], 水分短缺是造成该地区马铃薯单产不高、总产不稳的主要因素。本文通过对马铃薯生态需水量的计算, 结合当地气候变化特征, 研究马铃薯生态需水量对气候变化的响应机制, 为该地区马铃薯的生产及水分利用提供一定的科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料

根据马铃薯种植面积及地理因素, 选取了大同农业气候区(大同、朔州)、晋西北高原农业气候区(五寨、右玉)、晋西丘陵农业气候区(离石、石楼)和恒山五台山农业气候区(繁峙、五台)为研究区域。8个观测站点1960~2010年的气象日资料来自于山西省气象信息中心, 气象要素包括平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数、相对湿度和风速等。晋西北地区马铃薯生长期资料来自于山西省气

收稿日期: 2013-09-03; 改回日期: 2013-11-07

基金项目: 兰州干旱气象研究所科研项目(KYS2012BSKY01, KYS2011BSKY02)、甘肃省自然科学基金项目(1208RJYA025)和山西省气象局课题(SXKYBQH20127416)共同资助

作者简介: 郭伟(1986-), 山西寿阳人, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事农业气象方面的研究. Email: guoweixixi@163.com

候中心,统计了其近10 a 播种期、成熟期数据,得出马铃薯一般在4月中旬播种,9月底左右收获,生长季主要集中在春夏季节。

1.2 计算方法

采用联合国粮农组织(FAO)推荐的计算参考作物蒸散量的标准方法 Penman - Monteith 公式来计算马铃薯生态需水量,其公式如下:

$$ET_m = K_c \cdot ET_0 \quad (1)$$

式(1)中, ET_m 为作物生态需水量, K_c 为作物系数, ET_0 为参考作物蒸散量。

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + r \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

式(2)中, ET_0 : 参考作物蒸散量, 单位为 $mm \cdot d^{-1}$; Δ : 饱和水汽压与空气温度关系曲线的斜率, 单位为 $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$; R_n : 地表净辐射, 单位为 $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$; G : 土壤热通量, 单位为 $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$; T : 2 m 高处的日平均气温, 单位为 $^\circ C$; U_2 : 地面以上 2 m 高处的风速, 单位为 $m \cdot s^{-1}$; e_s : 饱和水汽压, 单位为 kPa ; e_a : 实际水汽压, 单位为 kPa ; r : 干湿表常数, 单位为 $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ 。其中地表净辐射、土壤热通量等均可通过基本气象要素计算得出^[9-11]。作物系数 (K_c) 与

作物生育阶段有关,根据马铃薯的需水规律,将其划分为3个生长阶段,即初期阶段(出苗期)、发育阶段(生育期)和后期阶段(收获期)^[9,14]。根据FAO确定的马铃薯3个生长阶段的 K_c 值分别为:0.4、1.15 和 0.75。

2 结果分析

2.1 晋西北地区马铃薯生态需水量的变化特征

为了直观地体现晋西北地区马铃薯生态需水量的变化趋势,图1给出了晋西北地区8个气象站马铃薯生态需水量的平均值。可以看出,近51 a来晋西北地区马铃薯生态需水量呈减少趋势,马铃薯多年平均需水量为501 mm,最大值为552 mm,出现在1965年,最小值为463 mm,出现在2008年。需水量极大值出现的年份一般与降雨量较小的年份相对应,如1962年(377 mm)、1965年(247 mm)等,这与李春强等^[10]的研究结果相似。另外,从图1还可以看出,马铃薯生态需水量每10 a平均下降量为13 mm,然而,不同时期生态需水量的变化特征不同,大致可划分为3个阶段:1970年代中期以前,生态需水量基本保持不变,每10 a需水量下降仅为0.4 mm;1970年代中期到1980年代中期,需水量出现较大降幅,每10 a下降为43 mm($p < 0.003$);1980年代中后期至今,需水量的下降趋势有所缓和,每10 a下降为7.4 mm($p < 0.02$)。

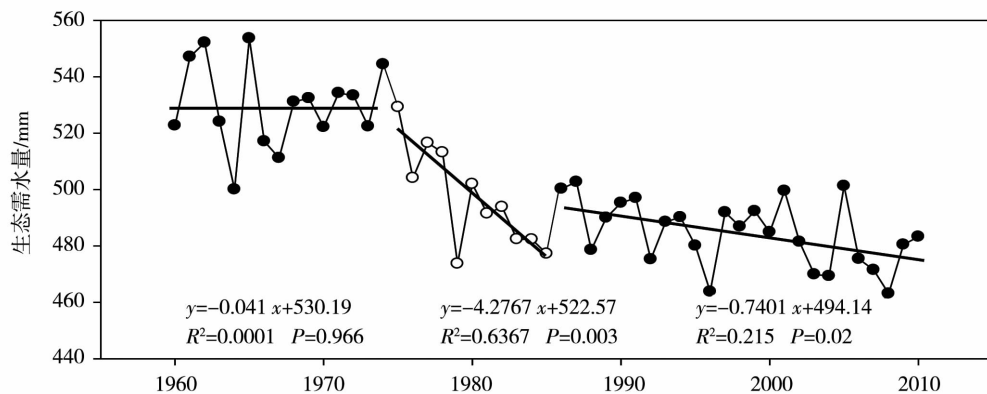


图1 1961~2010年晋西北地区马铃薯生态需水量的变化特征
Fig. 1 Annual variation of ecological water requirement of potatoes in north-western Shanxi Province during 1961-2010

图2为马铃薯生长季生态需水量的变化。可以清楚地看出,晋西北地区马铃薯生长季内月均生态需水量分布呈较典型的抛物线型。其中,在春末夏初的马铃薯生长发育的关键期(5~7月)达到全年的最高值;而生长初期的4月和生长季即将结束的9月需水量较小。因此,5~7月的降雨量对马铃薯

的生长至关重要。

2.2 关键气象因子的变化特征

为了解马铃薯需水量的变化原因及其对气象要素变化的响应机制,分析了晋西北地区马铃薯生长季(4~9月)关键气象因子的变化特征(图3)。从图3a可以看出,近51 a间晋西北地区平均气温显

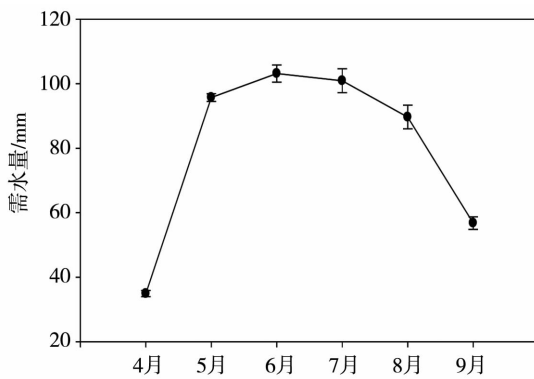


图2 近51 a晋西北地区马铃薯生长季月均生态需水量变化特征

Fig. 2 Monthly variation of ecological water requirement of potatoes in north-western Shanxi Province in recent 51 years

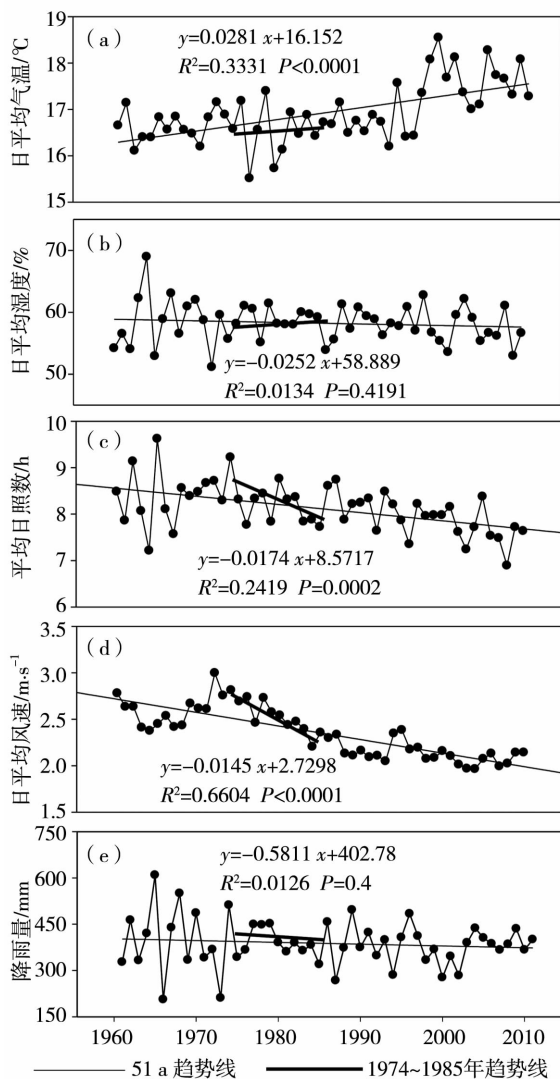


图3 1961~2010年4~9月晋西北地区关键气象因子的变化特征

Fig. 3 Annual variation of meteorological factors from April to September in north-western Shanxi Province during 1961-2010

著升高($p < 0.0001$), 气温增幅为 $0.57\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ a}$ 。其中, 1974~1985年, 气温增幅较缓($p = 0.83$), 显著性不明显; 此后, 气温显著升高, 增温明显; 晋西北地区空气湿度呈不明显的减少趋势($p = 0.42$) (图3b)。图3c和3d显示, 平均风速($p < 0.0001$)和日照时数($p = 0.0002$)均显著减少, 其中变化最大的时段出现在1974~1985年, 变化幅度高于51 a的变化率, 这可能是影响20世纪70年代中期到80年代中期马铃薯需水量变化的主要原因。从图3e可以看出, 晋西北地区降雨量未发生显著变化($p = 0.4$), 而1974~1985年期间, 降雨量有下降趋势, 但表现的并不明显。

2.3 生态需水量与气象因子的相关性

为进一步说明马铃薯生态需水量与气象因子的关系, 对晋西北地区1960~2010年间的生态需水量和同期气象要素(降水量、气温、日照时数、相对湿度、风速)进行了相关性分析(表1)。由此发现, 马铃薯生态需水量与环境气象要素有密切的关系。其中, 生态需水量同日平均风速、日照时数呈显著正相关关系, 与日平均相对湿度、平均气温、降雨量呈负相关关系, 但与日平均气温和降雨量的负相关关系不显著。因此, 生态需水量的下降主要是由风速、日照时数的变化共同作用引起的。

表1 生态需水量与气象因子的相关系数

Tab. 1 The correlation coefficients between meteorological factors and ecological water requirement

	日平均 气温	日平均 风速	日降 雨量	日照 时数	日平均 湿度
需水量	-0.265	0.703 **	-0.111	0.724 **	-0.296 *
P	0.06	<0.001	0.439	<0.001	0.035

*表示在0.05水平上显著; **表示在0.01水平上显著

2.4 马铃薯生态需水量对未来气候变化的响应

根据气候变化国家评估报告B2情景模式, 中国在21世纪20年代、50年代和80年代平均气温在1990年的基础上, 分别升高约 $1.2\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $2.2\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $3.2\text{ }^\circ\text{C}$ ^[17]。为了解马铃薯需水量对未来气候的响应规律, 使用了增量情景法, 即在各气象站历年逐月的平均气象数据基础上, 将马铃薯生长期温度分别增加 $1.2\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $2.2\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $3.2\text{ }^\circ\text{C}$, 其他气象要素保持不变, 逐年计算其生态需水量, 最后取多年平均值作为对气候变化的响应结果。

为了更为细致地探讨马铃薯需水量对气候变化的响应, 根据温度梯度将研究区分为4个部分(图

4),分别计算增温对各区域马铃薯生态需水量的影响。由图4可以看出,随着气温的升高,4个区域的需水量均有不同程度的增加。另外,生态需水量的变化随着该区域气温的增加而减小,即气温较高的区域,增温引起的需水量变化较小;气温较低的区域,增温引起的生态需水量变化较大。随着增温幅度的不断增加,这种趋势更加明显。因此,未来气候变化可能对北方山区、低温地区的影响更大。

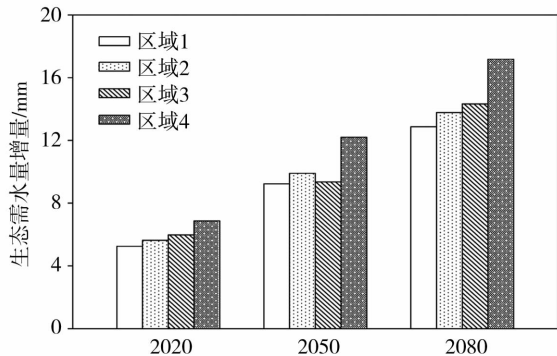


图4 不同情景下的气温增高对不同区域马铃薯生态需水量的影响

(注:区域1为离石和石楼,年平均气温为9.6℃;

区域2为繁峙,年平均气温为7.8℃;

区域3为大同、五台和朔州,年平均气温为7.2℃;

区域4为右玉和五寨,年平均气温为4.7℃)

Fig. 4 Effects of temperatures rising on ecological water requirement of potatoes in different regions

(Note: Region 1 is Lishi and Shilou with 9.6℃ annual average temperature; Region 2 is Fanshi with 7.8℃

annual average temperature; Region 3 is Datong, Shuozhou and Wutai with 7.2℃ annual average temperature; Region 4

is Youyu and Wuzai with 4.7℃ annual average temperature)

3 结语和讨论

(1)近51 a来,在晋西北地区气温不断升高的背景下,马铃薯生态需水量整体上呈现下降趋势,这与马鹏里^[9]、李春强^[10]等在其他省份开展的作物需水量的研究结果相似。然而,不同时期的变化特征有所差异:20世纪80年代前后,马铃薯生态需水量出现较大降幅,速率为-43 mm/10 a,其他时段减少较为缓慢。

(2)1974~1985年期间,晋西北地区平均气温、降水、空气相对湿度的变化趋势同1960~2010年整体变化趋势类似,而风速和日照时数较51 a整体下降趋势更加显著,这可能是马铃薯生态需水量此时期出现较大降幅的主要原因。

(3)气象因子对需水量的影响有2个方面。一

方面气温上升会增加潜在蒸散量,从而使马铃薯需水量增加;另一方面,日照时数、风速的减少会降低潜在蒸散量,从而使需水量减少。由于马铃薯生态需水量呈下降趋势,表明日照和风速对其影响更加显著。这在生态需水量和气象要素的相关分析中也有所证明。气温上升而蒸发下降的现象常被称作“蒸发悖论”^[18],这种情况在我国多地均有出现,如新疆地区、河北地区、泾河流域等^[19-21]。

(4)通过模拟升温对晋西北地区马铃薯生态需水量影响发现,气温升高会增加马铃薯的需水量,即剔除其他气象因子的作用后,气温对需水量的影响是正效应。气温上升会缩短作物的生育期^[22],从而使总需水量有所下降,但作物每天的水分需求可能会增加。总体来说,未来气温的上升可能会加剧该地区马铃薯生长季对水分的需求。而且,气候变暖对寒冷区域马铃薯需水量的影响更加显著。本研究对气候变化的模拟仅仅考虑了气温的升高,而气象环境实际上是一个综合的影响体,还需要在以后的工作中做深入的研究。

参考文献:

- [1] 宁惠芳,林婧婧,陈佩璇. 甘肃省气候暖干化与农业干旱灾害的联系[J]. 干旱气象,2010,21(2):198-201.
- [2] 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[J]. 干旱气象,2010,28(1):1-7.
- [3] 杨绚,李栋梁. 中国干旱气候分区及其降水量变化特征[J]. 干旱气象,2008,26(2):17-24.
- [4] 李维京,赵振国,李想,等. 中国北方干旱的气候特征及其成因的初步研究[J]. 干旱气象,2003,21(4):1-5.
- [5] 王馥棠. 近十年来我国气候变暖影响研究的若干进展[J]. 应用气象学报,2002,13(6):755-766.
- [6] Piao S L, Ciais P, Huang Y, et al The impacts of climate change on water resources and agriculture in China[J]. Nature, 2010,467(7311):43-51.
- [7] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近50年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,2005,63(6):942-956.
- [8] 王劲松,李耀辉,王润元,等. 我国气象干旱研究进展评述[J]. 干旱气象,2012,30(4):497-508.
- [9] 马鹏里,杨兴国,陈端生,等. 农作物需水量随气候变化的响应研究[J]. 西北植物学报,2006,26(2):348-353.
- [10] 李春强,李保国,洪克勤. 河北省近35年农作物需水量变化趋势分析[J]. 中国生态农业学报,2009,17(2):359-363.
- [11] 王鹤龄,王润元,张强,等. 气候变暖对甘肃省不同气候类型区主要作物需水量的影响[J]. 中国生态农业学报,2011,19(4):866-871.
- [12] 魏延安. 世界马铃薯产业发展现状及特点[J]. 世界农业,2005(3):29-32.
- [13] 金黎平,屈冬玉,谢开云,等. 我国马铃薯种质资源和育种技术研究进展[J]. 种子,2003,131(5):98-100.

- [14] 廖佳丽,徐福利,赵世伟. 不同保水剂对宁南山区马铃薯生长发育和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2009,18(1):238 - 242.
- [15] 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.
- [16] 程建业,任晓霞,赵晋,等. 山西朔州市近 55 a 气象干旱趋势及防御措施[J]. 干旱气象,2012,30(3):327 - 331.
- [17] 林而达,许吟隆,蒋金荷,等. 气候变化国家评估报告(II):气候变化的影响与适应[J]. 气候变化研究进展, 2006,2(2):51 - 56.
- [18] 韩松俊,王少丽,杨大文. 农业活动对中国区域“蒸发悖论”规律的影响[J]. 农业工程学报, 2010,10(26):1 - 8.
- [19] 韩军彩,张秉祥,高祺,等. 石家庄市蒸发皿蒸发量的变化特征及其影响因子分析[J]. 干旱气象, 2009,27(4):340 - 345.
- [20] 刘波,冯锦明,马柱国,等. 1960 - 2010 年新疆气候变化的基本特征[J]. 气候与环境研究, 2009,14(4):414 - 426.
- [21] 王佩,邱国玉,尹婧,等. 泾河流域温度与器皿蒸发量时空特征及变化趋势[J]. 干旱气象, 2008,26(1):17 - 22.
- [22] 白莉萍,林而达. CO₂ 浓度升高与气候变化对农业的影响研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2003,11(2):132 - 134.

Change Trend of Ecological Water Requirement of Potatoes and Its Response to Climate Warming in Northwestern of Shanxi Province

GUO Wei¹, YANG Fulin², ZHANG Rong³, ZHAO Liping¹, HAO Zhenrong⁴

(1. Shanxi Meteorological Science Institute, Taiyuan 030002, China; 2. Institute of Arid Meteorology of CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 3. Meteorological Bureau of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China; 4. Meteorological Information Center of Shanxi Province, Taiyuan 030002, China)

Abstract: Based on the daily data of average temperature, relative humidity, precipitation, wind speed and sunshine duration at 8 meteorological stations in northwestern of Shanxi Province during 1960 - 2010 and the growth period data of potatoes, the ecological water requirement of potatoes was calculated using Penman - Monteith equation modified by FAO, firstly. Then, the temporal changes of the ecological water requirement and its response to climate warming were analyzed. The results showed that the ecological water requirement of potatoes significantly decreased as a whole, while the declining rate in different period was different. The ecological water requirement of potatoes was closely related to local meteorological conditions. Compared with other meteorological elements, the variations of wind speed and sunshine duration had more important effects on ecological water requirement of potatoes in northwestern of Shanxi Province, i. e. the decline of wind speed and sunshine duration significantly reduced ecological water requirement of potatoes. The influence of climate warming on ecological water requirement of potatoes showed that the increasing temperature increased the water requirement of potatoes, the increase of water requirement in different regions was not completely equivalent, and the impact of climate warming on water requirement in cold regions was more obvious.

Key words: potatoes; ecological water requirement; Penman - Monteith; climate warming