

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2013)02-0065-07

栽培生理

不同降水年型对马铃薯水分利用效率 及水分生产潜力开发的影响 ——以武川县为例

张璐阳^{1,2}, 潘志华^{2,3*}, 孙彦坤¹

(1. 东北农业大学资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193;
3. 农业部呼和浩特重点野外科学观测试验站, 内蒙古 武川 011705)

摘 要: 基于田间试验数据, 研究降水对武川县马铃薯水分利用效率及水分生产潜力的影响, 为农牧交错带马铃薯产业可持续发展与生态建设提供科学依据。试验采用由低到高 11 个不同肥力梯度处理, 测量马铃薯每个生育期内耗水量及产量, 应用农业生态区域法计算当地马铃薯水分生产潜力。研究表明: 丰水年(2008)旱平地马铃薯水分利用效率平均值为 $48.3 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{mm}$, 而旱坡地只有 $36.8 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{mm}$, 平地水分利用效率是坡地的 1.3 倍。枯水年(2009)旱平地水分利用效率平均为 $33.3 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{mm}$, 旱坡地平均为 $22.1 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{mm}$, 平地水分利用效率是坡地的 1.5 倍。2008 年马铃薯水分生产潜力为 5079.8 kg/hm^2 (干物质), 2009 年为 4146.8 kg/hm^2 (干物质)。丰水年旱平地马铃薯平均开发度为 76%, 旱坡地为 46%。合理配合水肥及田间管理, 会使武川县马铃薯生产具有一定的提高潜力。

关键词: 马铃薯; 水分生产潜力; 水分利用效率

Effects on Water Use Efficiency of Potato and Development of Water Potential Productivity in Different Precipitation Years ——A Case of Wuchuan County

ZHANG Luyang^{1,2}, PAN Zhihua^{2,3*}, SUN Yankun¹

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 3. Key Ecological and Environmental Scientific Experiment and Field Observation Station for the Chinese Ministry of Agriculture, Wuchuan, Inner Mongolia 011705, China)

Abstract: Impacts of precipitation on water use efficiency (WUE) and water potential productivity of potato were studied via field trial in Wuchuan County to provide a scientific base for sustainable development and eco-regional agricultural building. Water consumption of potato in each growth period was measured in 11 different fertility treatments and water potential productivity was calculated by using agro-ecological zone method recommended by FAO. The results showed that different topography and soil fertility levels had significant effects on WUE and water potential productivity development degree. In 2008 (wet year), the mean value of the WUE of potato in arid flat field was $48.3 \text{ kg/ha} \cdot \text{mm}$, while in arid sloping field was $36.8 \text{ kg/ha} \cdot \text{mm}$, the WUE in flat field being 1.3 times more than in sloping area. And in 2009 (dry year), the mean value of WUE of potato in arid flat field was $33.3 \text{ kg/ha} \cdot \text{mm}$, while in arid sloping field was $22.1 \text{ kg/ha} \cdot \text{mm}$, WUE in flat field being 1.5 times more than in sloping area. The water potential productivity of potato was 5079.8 kg/ha (dry matter) and 4146.8 kg/ha (dry matter) in 2008 and 2009, respectively. In 2008, the averaged development degrees were 76% and 46% in flat and slope field, respectively. It is suggested that fertilizer application and field management should be carried out reasonably in order to increase the production of potato in Wuchuan County.

Key Words: potato ,water potential productivity ,water use efficiency

收稿日期: 2012-12-24

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD09B02); 国家重大科学研究计划“973”项目(2012CB956204); 国家自然科学基金项目(41271110)。

作者简介: 张璐阳(1986-), 女, 助教, 在读博士, 主要研究方向为农业气象。

* 通信作者(Corresponding author): 潘志华, 教授, 从事全球气候变化与旱地农业、生态恢复与重建研究, E-mail: panzhihua@cau.edu.cn。

马铃薯是内蒙古种植最广泛的作物, 常年种植面积稳定在 67 万 hm^2 以上, 总产鲜薯稳定保持在 1 000 万 $\text{t}^{[1]}$ 。武川县的马铃薯是全国马铃薯中的上品, 曾作为北京奥运会和上海世博会的指定产品。武川县地处北方农牧交错带的中段, 属于阴山北麓丘陵区, 是我国典型的半干旱偏旱农业区、生态脆弱带及北方重要的生态屏障^[2]。当地农业生产对水分的需求和生态环境水分的保持博弈明显。基于水分与农业生产关系的研究一直是农牧交错带地区的研究重点。一些研究者做了有关农牧交错带的土壤水分情况的研究^[3-5], 说明水分是制约当地农业发展的重要因素之一。陈阜等^[6]以及冷石林^[7]在研究武川旱农区水分生产潜力时, 运用不同方法对各种气象因素与生产关系、作物生产潜力测算进行了综合性的深入研究, 计算结果为近期约有 20% 的潜力, 远期约有 1 倍的潜力。信乃诤^[8]在 2002 年发表著作中计算了北方农牧交错带主要作物的水分生产潜力情况, 半干旱偏旱区的马铃薯水分生产潜力理论值为 4 339.5 kg/hm^2 , 高产典型达到 3 525.0 kg/hm^2 , 大田平均产量为 2 175.0 kg/hm^2 (产量为 1:5 折粮), 大田潜力开发度为 50.2%。

本研究以田间试验为基础, 研究不同施肥水平, 不同地形对马铃薯产量、水分利用效率的影响, 通过对比不同降水条件下马铃薯的水分生产潜力, 分析当地马铃薯水分生产潜力开发程度, 并提出适合当地的施肥方式。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验于 2008 年和 2009 年在武川县 (41°N , 111°E) 内的国家农业部呼和浩特农牧交错带生态环境重点野外科学观测试验站进行, 分别在旱平地 and 旱坡地两种地形进行试验。试验采用的马铃薯品种为‘紫花白’。在马铃薯肥力梯度试验中, 设计 11 个不同的肥力梯度, 其中 1 组为空白对照组, 不施肥; 5 组为 N:P 为 2:1 递增, 5 组为 N:P 为 1:1 递增, 具体施肥量见表 1。武川县土壤为栗钙土, 大部分地区土壤钾素含量较高, 供钾能力较强^[9], 故肥力梯度中没有设计加入钾肥。每个小区长 10 m, 宽 3 m, 面积 30 m^2 。每种肥力梯度有 3 次重复。每个生育期应用土钻烘干法测量 0~100 cm 内土壤水分情况。

表 1 肥力梯度试验设计 (kg/hm^2)

Table 1 Fertility gradient experimental design (kg/ha)

编号 Number	处理 Treatment	化肥实物用量 Fertilizer		养分含量 Nutrient content	
		尿素 Urea	三料磷 Triple superphosphate	N	P_2O_5
1	N_0P_0	0	0	0	0
2	$\text{N}_1\text{P}_{0.5}$	97.5	49.5	45.0	22.5
3	N_2P_1	195.0	97.5	90.0	45.0
4	$\text{N}_3\text{P}_{1.5}$	294.0	147.0	135.0	67.5
5	N_4P_2	391.5	195.0	180.0	90.0
6	$\text{N}_5\text{P}_{2.5}$	489.0	244.5	225.0	112.5
7	N_1P_1	97.5	97.5	45.0	45.0
8	N_2P_2	195.0	195.0	90.0	90.0
9	N_3P_3	294.0	294.0	135.0	135.0
10	N_4P_4	391.5	391.5	180.0	180.0
11	N_5P_5	489.0	489.0	225.0	225.0

1.2 试验方法

作物耗水量 (ET_a) 的计算是基于从播种到收获期间 0~100 cm 土层深度的土壤储水量 (SWS) 的变化, 再加上此期间的降水量减去径流和渗漏。作物耗水量 (ET_a)^[10] 可以用下式表示:

$$ET_a = SWS_s - SWS_h + P - R$$

SWS_s 和 SWS_h 分别为播种和收获时的土壤储水量; P 为生长季的降雨量; R 为径流和渗透总量, 根据赵凌玉等^[11]的研究结果, 武川试验区地下水位均在 7 m 以下, 深层渗漏量可忽略不计。由于每次降水量小, 强降雨次数少, 径流量也可忽略不计, 所以 R 值为零。

水分利用效率的计算^[12]:

$$WUE = Y/ET_a$$

式中: WUE 为水分利用效率 ($\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{mm}$), Y 为作物经济产量 (kg/hm^2); ET_a 为作物生育期耗水量 (mm)。

本研究应用 FAO 农业生态区域法计算马铃薯生产潜力, 首先计算马铃薯的光温生产潜力, 再订正马铃薯的水分生产潜力。采用 Kassam^[13] 农业生态区域法计算内蒙古武川地区马铃薯光温生产潜力及光温水生产潜力。

光温生产潜力 Y_T 计算公式为:

$$Y_T = CL \times CN \times CH \times G \times Y$$

式中: CL 为叶面积订正系数; CN 为净干物质生产量订正系数; CH 为经济系数; G 为生育期天

数; Y 为标准作物干物质生产率($\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$)。

各计算步骤如下:

(1) 标准作物干物质 Y 生产率($\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$)的计算:

$$Y = F(0.5 + 0.025 Y_m) Y_0 + (1 - F)(0.05 Y_m) Y_c$$

① Y_m 为不同作物种类、生长期不同白天平均温度条件下的作物生产率, 可根据作物生育期间内白天平均温度(TD)和作物种类, 查表得出^[14]:

$$TD = T + 0.25(T_{\max} - T_{\min})$$

式中: T 为作物生育期间的日平均气温; $T_{\max}$ 为作物生育期间的最高气温平均值; $T_{\min}$ 为作物生育期间的最低气温平均值。

② F 为生育期间白天天空云量覆盖度:

$$F = (R_{se} - 0.5 R_g) / 0.8 R_{se}$$

式中: R_{se} 为晴天最大入射有效短波辐射($\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$), 可根据站点纬度查表; R_g 为实测入射短波辐射($\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$), 可由下式求得:

$$R_g = (0.25 + 0.5 n/N) \times R_a \times 247$$

式中: n/N 为日照百分率; R_a 为大气顶的太阳辐射, 单位用蒸发的水分毫米数表示, 可由台站的地理纬度从表中用内插法求出; 247 为由 R_a 的毫米单位, 换算成 $\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ 的单位换算系数。

③ Y_0 为生育期间完全阴天时, 标准作物总干物质生产率, 单位 $\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$ 。

④ Y_c 为生育期间完全晴天时, 标准作物总干物质生产率。单位 $\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{d}$ 。

(2) 叶面积系数订正(CL)

可查表得, 本文取 $CL = 0.5$ 。

(3) 净干物质生产量的订正系数(CN)

$$CN = 0.72 / (1 + 0.25 C_i \times G)$$

式中: G 为生育期日数; C_i 为维持呼吸订正系数, 决定于日平均气温:

$$C_i = C_{30}(0.044 + 0.0119 T + 0.00107 T^2)$$

式中: T 为生育期间日平均气温; C_{30} 为温度为 30°C 时的维持呼吸, 对于豆科作物 $C_{30} = 0.0283$, 非豆科作物 $C_{30} = 0.0108$ 。

(4) 收获部分的干物质订正(CH)

马铃薯的 CH 约在 $0.55 \sim 0.65$ 之间, 本文取 $CH = 0.65$ 。

订正马铃薯水分生产潜力: 根据水分数据和订正系数再计算不同年份马铃薯水分生产潜力。

计算作物各旬需水量 ET_m ($\text{mm}/\text{旬}$) 公式为:

$$ET_m = K_c \times PE$$

K_c 为作物需水系数, 其随作物的生长而变化, 根据 Doorenbos^[14] 等的研究, 给出马铃薯不同生育阶段 K_c 值的范围, 即起始期、生长期、中期、后期、收获期的 K_c 值分别为 $0.4 \sim 0.5$ 、 $0.1 \sim 1.15$ 、 $1.05 \sim 1.2$ 、 $0.85 \sim 0.95$ 、 $0.7 \sim 0.75$ 。

PE 为可能蒸散值, 根据 FAO 的 Penman-Monteith 公式确定:

$$PE = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

作物实际耗水量 ET_d ($\text{mm}/\text{旬}$) 由试验确定。

计算作物不同生育阶段产量降低率(U) 公式为:

$$U = K_y (1 - ET_d / ET_m)$$

式中: K_y 为产量反应系数, 由文献^[15] 提供。

计算各生育阶段产量指数(I_y), 公式为:

$$I_{y1} = (1 - U_1) \times 100\%$$

$$I_{y2} = (1 - U_2) \times 100\%$$

$$I_{y3} = (1 - U_3) \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 降水情况分析

根据 1961~2009 年的降水资料分析, 武川县多年平均降水量为 345.3 mm 。2008 年全年降水量为 419.4 mm , 5~9 月份生长季降水量为 343.5 mm 。2008 年降水量大于多年平均降水量 10% ^[16], 可以认为是丰水年。2009 年降水量为 287.1 mm , 其中 5~9 月份生长季降水量为 243.2 mm 。2009 年降水量小于多年平均降水量 10% , 可以认为是枯水年。

2.2 马铃薯产量、作物耗水量、水分利用效率分析

如表 2 和表 3 所示, 随着施肥量的不断增加, 马铃薯的产量随之提高, 但施肥量最多的小区并不是产量最高的小区。在 2008 年旱平地产量最高的处理是 N_4P_2 达到 $22\ 310 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 比不施肥的对照组增产 51% ; 旱坡地产量最高的处理是 N_2P_1 , 为 $13\ 871 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 比对照组增产 20% 。由于 2009 年是干旱年份, 生长季降水量偏少, 严重影响了马铃薯的出苗情况, 造成了生育期的拖后。旱坡地马铃薯由于出苗过晚导致到 9 月份下霜的时候不能完成完整的生育期, 不仅产量受到严重影响, 而且影响马铃薯的品质。旱平地由于地势较低, 是曾经干涸的河床, 土壤质地较好, 利于储水, 影响稍小。旱平地产量最高的处理是 N_2P_2 为 $11\ 033 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 产量

最小的是 $N_3P_{2.5}$ 为 $7\,253\text{ kg/hm}^2$, 比对照组产量还要少, 此年水分条件的不足, 高肥量反而降低水分利用, 不能增产。旱坡地最高产量为 N_2P_1 达到 $6\,163\text{ kg/hm}^2$, 最小值出现在 N_3P_5 为 $4\,817\text{ kg/hm}^2$ 。总体来看, 在降雨量充足的年型中, $N:P$ 为 $1:1$ 时, 产量平均好于比例为 $1:0.5$ 的情况, 但最高产处理却出自比例为 $1:0.5$ 。而在降雨量偏少的年份, 这一现象不明显。中高肥力的处理一般会有相对稳定的产量和较高的水分利用效率, 比如 N_2P_1 、 N_4P_2 、 N_2P_2 、 N_3P_3 这几个处理下的产量相对比较稳定, 水肥的配比较为协调。但不同降水年型下, 情况会略有变化。

旱平地马铃薯的水分利用效率明显高于旱坡地, 2008 年, 旱平地马铃薯水分利用效率平均值为 $48.3\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}$, 而旱坡地只有 $36.8\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}$, 平地水分利用效率是坡地的 1.3 倍。旱平地水分利用效率最高值出现在 N_5P_5 处理, 为 $55.9\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}$ 。坡地最高值出现在对照小区, 为 $44.3\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}$ 。2009 年, 普遍情况都有下滑, 但平地还是优于坡地的情况。旱平地水分利用效率平均为 $33.3\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}$, 旱坡地平均为 $22.1\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}$, 平地水分利用效率是坡地的 1.5 倍。旱平地水分利用效率最高值出现在 N_3P_3 处理, 为 $38.2\text{ kg/hm}^2\cdot\text{mm}$ 。坡地最高值出现在

表 2 2008 年平地、坡地各小区马铃薯耗水量、产量和水分利用效率情况

Table 2 Water consumption, production and WUE of potato in flat land and sloping field in 2008

编号 Number	处理 Treatment	旱平地马铃薯 Flat ground grown potato			旱坡地马铃薯 Sloping grown potato		
		全生育期耗水(mm) Water consumption	产量(kg/hm ²) Yield	水分利用效率 (kg/hm ² ·mm) WUE	全生育期耗水(mm) Water consumption	产量(kg/hm ²) Yield	水分利用效率 (kg/hm ² ·mm) WUE
1	N_0P_0	358.1	14711	41.1	260.3	11531	44.3
2	$N_1P_{0.5}$	383.6	16220	42.3	326.9	12600	38.5
3	N_2P_1	395.3	18090	45.8	322.0	13871	43.1
4	$N_3P_{1.5}$	407.5	21380	52.5	318.9	11130	34.9
5	N_4P_2	431.1	22310	51.8	311.0	10271	33.0
6	$N_5P_{2.5}$	405.0	18000	44.4	319.9	10670	33.4
7	N_1P_1	397.4	17600	44.3	282.6	11330	40.1
8	N_2P_2	389.0	18890	48.6	316.8	12600	39.8
9	N_3P_3	397.8	20760	52.2	350.5	11670	33.3
10	N_4P_4	406.5	21420	52.7	359.2	11201	31.2
11	N_5P_5	393.5	22001	55.9	337.1	11130	33.0

表 3 2009 年平地、坡地各小区马铃薯耗水量、产量和水分利用效率情况

Table 3 Water consumption, production and WUE of potato in flat land and sloping field in 2009

编号 Number	处理 Treatment	旱平地马铃薯 Flat ground grown potato			旱坡地马铃薯 Sloping grown potato		
		全生育期耗水(mm) Water consumption	产量(kg/hm ²) Yield	水分利用效率 (kg/hm ² ·mm) WUE	全生育期耗水(mm) Water consumption	产量(kg/hm ²) Yield	水分利用效率 (kg/hm ² ·mm) WUE
1	N_0P_0	289.0	7733	26.8	221.5	5233	23.6
2	$N_1P_{0.5}$	245.3	7987	32.6	220.4	5570	25.3
3	N_2P_1	268.1	9053	33.8	281.6	6163	21.9
4	$N_3P_{1.5}$	311.2	10833	34.8	240.7	5703	23.7
5	N_4P_2	288.3	8633	29.9	304.8	5460	17.9
6	$N_5P_{2.5}$	235.3	7253	30.8	242.1	5300	21.9
7	N_1P_1	271.4	9067	33.4	230.3	5627	24.4
8	N_2P_2	301.3	11033	36.6	277.5	5957	21.5
9	N_3P_3	271.9	10400	38.2	242.3	5633	23.2
10	N_4P_4	256.0	9150	35.7	265.7	5170	19.5
11	N_5P_5	221.3	7467	33.7	235.4	4817	20.5

N_1P_{05} 为 $25.3 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{mm}$ 。

2.3 不同降水年型马铃薯水分生产潜力分析

首先计算马铃薯不同年份的光温生产潜力。计算参数和计算结果见表 4、表 5 和表 6。

在光温生产潜力基础上, 利用水分数据和订正

系数再计算不同年份马铃薯水分生产潜力。根据作物所生长发育进程, 将马铃薯全生育期分成播种—幼苗、块茎形成期和块茎膨大—淀粉积累三个阶段, 先计算作物不同生育阶段产量降低率(U)。 I_{yi} , U_i ($i = 1, 2, 3$)分别为对应营养生长阶段、生殖生长阶段

表 4 有关 2008 年光温生产潜力计算参数

Table 4 Parameters related to light-temperature potential productivity in 2008

月份 Month	项目 Item						
	$n/N(\%)$	$R_d(\text{mm}/\text{cm}^2 \cdot \text{d})$	$R_w(\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d})$	$Y_d(\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{d})$	$Y_c(\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{d})$	$R_g(\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d})$	F
5	69.1	16.30	1657.5	245.2	482.1	2397.84	0.35
6	45.2	17.28	1766.5	269.7	508.9	2031.91	0.53
7	57.8	16.68	1728.8	264.5	499.6	2221.01	0.45
8	56.0	15.06	1544.6	239.9	456.5	1970.80	0.45
9	75.6	12.37	1247.4	199.8	389.8	1918.35	0.29

表 5 有关 2009 年光温生产潜力计算参数

Table 5 Parameters related to light-temperature potential productivity in 2009

月份 Month	项目 Item						
	$n/N(\%)$	$R_d(\text{mm}/\text{cm}^2 \cdot \text{d})$	$R_w(\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d})$	$Y_d(\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{d})$	$Y_c(\text{kg}/\text{hm}^2 \cdot \text{d})$	$R_g(\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d})$	F
5	75.71	16.30	1657.5	245.2	482.1	2530.53	0.30
6	77.79	17.28	1766.5	269.7	508.9	2727.04	0.29
7	66.04	16.68	1728.8	264.5	499.6	2390.44	0.39
8	68.10	15.06	1544.6	239.9	456.5	2196.54	0.36
9	36.34	12.37	1247.4	199.8	389.8	1318.94	0.59

表 6 马铃薯光温生产潜力计算

Table 6 Potato light-temperature potential productivity

年份 Year	项目 Item	CL	CN	CH	G	Y	Y_T
2008	值	0.50	0.61	0.65	121	375.03	9071.00
2009	值	0.50	0.62	0.65	120	381.67	9643.79

与成熟阶段的产量指数和产量降低率。逐步订正得到不同年型马铃薯水分生产潜力。参数及计算结果见表 7、表 8。根据 FAO 农业生态区域法计算的马铃薯光温生产潜力和水分生产潜力结果为马铃薯的干物质重量, 马铃薯干物质约占 20%。

2008 年为丰水年, 水分生产潜力颇高, 达到 $5\,079.8 \text{ kg/hm}^2$ (干物质), 2009 年为枯水年水分生产潜力为 $4\,146.8 \text{ kg/hm}^2$ (干物质)。此地降水变率明显影响水分生产潜力。根据武川县统计局提供的统计年鉴, 从 2000~2008 年马铃薯的产量资料分析可知,

其平均值为 $11\,494.5 \text{ kg/hm}^2$, 而 2008 年田间试验数据的最高产量达 $22\,309.5 \text{ kg/hm}^2$ 。近年武川县的马铃薯产量平均情况仅为试验最佳产量的 51.5%, 说明目前其平均生产潜力开发程度尚较低, 开发潜力空间大。而试验最佳产量跟水分生产潜力又有一定差距。2008 年水分生产潜力为 $5\,079.8 \text{ kg/hm}^2$ (干物质)。而最高产量是旱平地 N_4P_2 处理干重约为 $4\,461.9 \text{ kg/hm}^2$, 达到当年水分生产潜力的 87.8%。2009 年水分生产潜力为 $4\,146.8 \text{ kg/hm}^2$ (干物质)。产量最佳的是旱平地 N_2P_2 处理, 干重约为 $2\,206.7 \text{ kg/hm}^2$,

表 7 2008 年马铃薯各生育期参数值和水分生产潜力 Y_w 计算Table 7 Parameters of potato growth period and climatic potential productivity Y_w in 2008

项目 Item	播种至幼苗				块茎形成期				块茎膨大至淀粉积累				
	Sowing to seedling				Tuber initiation stage				Tuber enlargement to starch accumulation stage				
	5 月		6 月		7 月				8 月			9 月	
	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬
PE (mm)	33.30	71.14	42.70	25.30	34.70	44.80	27.00	42.90	27.80	15.10	30.80	26.30	17.60
K _c	0.40	0.50	0.70	0.80	1.00	1.10	1.20	1.00	1.00	0.90	0.80	0.75	0.75
ET _m (mm)	13.30	35.6	29.90	20.30	34.70	49.30	32.40	42.90	27.80	13.60	24.60	19.70	13.20
ET _a (mm)	73.50				121.60				83.60				
ET _m (mm)	99.10				159.30				98.90				
K _y	0.50				0.90				0.75				
U	0.13				0.21				0.12				
I	0.87				0.64				0.56				
Y _w	5079.8 kg/hm ²												

表 8 2009 年马铃薯各生育期参数值和水分生产潜力 Y_w 计算表Table 8 Parameters of potato growth period and climatic potential productivity Y_w in 2009

项目 Item	播种至幼苗				块茎形成期				块茎膨大至淀粉积累				
	Sowing to seedling			Tuber initiation stage				Tuber enlargement to starch accumulation stage					
	5 月		6 月	7 月				8 月			9 月		
	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	
PE (mm)	37.00	46.50	39.30	48.90	69.90	46.50	40.30	38.70	28.80	33.50	31.00	15.10	
K _c	0.40	0.50	0.70	0.80	1.00	1.10	1.20	1.00	0.90	0.80	0.80	0.70	
ET _m (mm)	14.80	23.25	27.51	39.12	69.90	51.15	48.36	38.70	25.92	26.80	24.80	10.57	
ET _a (mm)	47.00				125.90				79.10				
ET _m (mm)	104.70				208.10				88.10				
K _y	0.50				0.90				0.75				
U	0.28				0.36				0.08				
I	0.72				0.47				0.43				
Y _w	4146.8 kg/hm ²												

达到水分生产潜力的 53%。在枯水年, 合理配比施肥, 加强田间管理显得更为重要。

表 9 为试验田不同处理的降水潜力开发程度。可以看出, 2008 年旱平地 N_4P_2 处理开发度最高, 可达 88%。说明当土壤条件良好, 水肥管理适当的情况下, 达到高产并不是遥不可及的。但坡地最高仅有 55%, 差距明显。2009 年, 产量整体下滑, 两种地形的开发度都较低, 但平地整体依然好于坡地。

3 讨 论

本研究以武川县为例, 从田间尺度研究了马铃薯水分利用效率及水分生产潜力开发情况。结果表

明, 丰水年(2008)旱平地马铃薯水分利用效率平均值为 48.3 kg/hm²·mm, 而旱坡地只有 36.8 kg/hm²·mm, 平地水分利用效率是坡地的 1.3 倍。枯水年(2009)旱平地水分利用效率平均为 33.3 kg/hm²·mm, 旱坡地平均为 22.1 kg/hm²·mm, 平地水分利用效率是坡地的 1.5 倍。2008 年马铃薯水分生产潜力为 5 079.8 kg/hm², 2009 年为 4 146.8 kg/hm²。旱平地马铃薯开发度最高达到 76%, 旱坡地马铃薯开发度为 46%。

2008 年旱平地 N_4P_2 处理产量最大, 达到当年水分生产潜力的 87.8%。2009 年旱平地 N_2P_2 处理产量最大, 水分生产潜力开放度为 53%。对比前人研究数据^[8], 当时的开发度为一倍左右, 也就是近些年实

表 9 不同地形、肥力马铃薯水分生产潜力开发程度

Table 9 Potato climatic potential productivity exploitation of different topographies and different fertilities

编号 Number	处理 Treatment	2008		2009	
		旱平地开发度 Exploitation of flat field	旱坡地开发度 Exploitation of sloping field	旱平地开发度 Exploitation of flat field	旱坡地开发度 Exploitation of sloping field
1	N ₀ P ₀	0.58	0.45	0.37	0.25
2	N ₁ P _{0.5}	0.64	0.50	0.39	0.27
3	N ₂ P ₁	0.71	0.55	0.44	0.30
4	N ₃ P _{1.5}	0.84	0.44	0.52	0.28
5	N ₄ P ₂	0.88	0.40	0.42	0.26
6	N ₅ P _{2.5}	0.71	0.42	0.35	0.26
7	N ₁ P ₁	0.69	0.45	0.44	0.27
8	N ₂ P ₂	0.74	0.50	0.53	0.29
9	N ₃ P ₃	0.82	0.46	0.50	0.27
10	N ₄ P ₄	0.84	0.44	0.44	0.25
11	N ₅ P ₅	0.87	0.44	0.36	0.23

际生产发展达到了一个平台期,虽然对比试验田还有客观的发展潜力,笔者认为可能除了改进生产方式外,还需加强政策上的扶持等。

结合田间试验和理论分析,对武川县当地马铃薯种植提出一些建议。(1)在地势低洼、有灌溉条件的地区,氮肥和磷肥施肥可以尝试 N₃P_{1.5} 和 N₃P₃ 两种处理方式,得到稳定高产的概率最高,水分利用效率也较高。具体化肥施用量分别为尿素 294 kg/hm²,三料磷 147 kg/hm²;尿素 294 kg/hm²,三料磷 294 kg/hm²。(2)在地势较高的坡地情况,氮肥和磷肥施肥可以尝试 N₂P₁ 和 N₂P₂ 两种处理方式,得到稳定高产的概率最高,水分利用效率也较高。具体化肥施用量分别为尿素 195 kg/hm²,三料磷 97.5 kg/hm²;尿素 195 kg/hm²,三料磷 195 kg/hm²。(3)与2002年生产数据及生产潜力计算对比,10年内,武川地区马铃薯实际产量提高不明显,当地平均产量仅能达到水分生产潜力的一半,而试验田地,在水肥合理搭配情况下产量能够达到水分生产潜力的70%到80%,因此加强实际生产的科学管理还是有很大提高空间的。

[参 考 文 献]

[1] 王国英. 内蒙古自治区马铃薯种植面积稳定在 1000 万亩以上 [EB/OL]. (2012-08-15) [2012-11-26]. http://www.gov.cn/gzdt/2012-08/15/content_2204509.htm.

[2] 方精云. 全球生态学——气候变化与响应[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[3] 杨秀春, 徐斌, 严平, 等. 农牧交错带不同农田耕作模式土壤水分特征对比研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 125-129.

[4] 马月存, 秦红灵, 高旺盛, 等. 农牧交错带不同耕作方式土壤水分动态变化特征[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2523-2530.

[5] 王立为, 潘志华, 高西宁, 等. 不同施肥水平对旱地马铃薯水分利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(2): 54-58.

[6] 陈阜, 龙牧华. 武川旱农试区农田水分生产潜力研究[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(4): 14-18.

[7] 冷石林. 北方旱农地区自然降水生产潜力的适度开发对策[J]. 中国农业气象, 1997, 18(6): 30-33.

[8] 信乃谏. 中国北方旱区农业研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.

[9] 黄绍文, 金继运, 程明芳, 等. 北方主要土壤对当季作物的供钾能力[J]. 土壤肥料, 1999(3): 3-7.

[10] 熊顺贵. 基础土壤学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.

[11] 赵凌玉, 潘志华, 安萍莉, 等. 北方农牧交错带作物耗水特征及其与气温和降水的关系[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 401-408.

[12] Cayci G, Heng L K, Öztürk H S, et al. Crop yield and water use efficiency in semi-arid region of Turkey [J]. Soil and Tillage Research, 2009, 103(1): 65-72.

[13] Kassam A H. Net biomass and yields of crops [R]. Agro-ecological Zones Project. AGL-FAO, Rome, 1977.

[14] Doorenbos J, Pruitt W O. Guidelines for predicting crop water requirements [M]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy, 1977.

[15] 曲曼丽. 农业气候实习指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991.

[16] 张皓, 冯利平. 近 50 年华北地区降水量时空变化特征研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2): 270-279.