

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2015)02-0080-05

## 苗期水分亏缺对马铃薯产量形成的影响

乌兰<sup>1</sup>, 石晓华<sup>2</sup>, 杨海鹰<sup>2</sup>, 秦永林<sup>1</sup>, 贾立国<sup>1</sup>, 樊明寿<sup>1\*</sup>

(1. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古自治区马铃薯繁育中心, 内蒙古 呼和浩特 010031)

**摘要:**以费乌瑞它和克新1号为试验材料,通过在马铃薯苗期设置重度水分亏缺(最大田间持水量的35%)、轻度水分亏缺(最大田间持水量的50%)和充分灌溉(最大田间持水量的65%)3个水分处理,其他时期均充分灌溉,研究了马铃薯苗期不同水分亏缺对产量形成的影响。结果表明,2品种生育前期的叶面积指数、干物质积累量随苗期水分亏缺程度的增加而逐渐降低,而复水后,从出苗后22 d至收获的叶面积指数与干物质积累一直表现为:轻度水分亏缺>充分灌溉>重度水分亏缺,意味着一定程度的水分亏缺后,马铃薯存在明显的复水补偿效应。收获时2品种的块茎产量依次为:轻度水分亏缺>充分灌溉>重度水分亏缺,其中,轻度水分亏缺处理的商品率均高于其他2个处理,而单株结薯数表现为:充分灌溉>轻度水分亏缺>重度水分亏缺,说明适度的水分亏缺通过控制结薯数与增加块茎重量产生增产效应。

**关键词:**马铃薯;水分亏缺;叶面积指数;干物质积累;产量形成

## Effects of Water Deficiency at Seedling Stage on Potato Yield Formation

WU Lan<sup>1</sup>, SHI Xiaohua<sup>2</sup>, YANG Haiying<sup>2</sup>, QIN Yonglin<sup>1</sup>, JIA Ligu<sup>1</sup>, FAN Mingshou<sup>1\*</sup>

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China;

2. Inner Mongolia Seed Potato Propagation Center, Hohhot, Inner Mongolia 010031, China)

**Abstract:** By using cvs 'Favorita' and 'Kexin 1' as materials, the effects of water deficit at seedling stage on potato yield formation was investigated. Three different water treatments were set up at the seedling stage, which were severe water deficit (35% of the maximum field capacity), moderate water deficit (50% of the maximum field capacity) and full irrigation (65% of the maximum field capacity), but at other growth period of potatoes, full irrigation was maintained for all the treatments. The results showed that the leaf area index and dry matter accumulation during early developmental stage of potatoes were decreased significantly with seedling water deficit. However, after rehydration, the leaf area index and dry matter accumulation exhibited the following trend: moderate water deficit (50%) > full irrigation (65%) > severe water deficit (35%), which maintained from the twenty two days after emergence to harvest. It means that potato has the compensating effect at the later developmental stage while experienced water deficit at the seedling stage and rehydrated later on. The tuber yield for the two cultivars at harvest was in order as: moderate water deficit > full irrigation > severe water deficit. The marketable tuber percentage under seedling moderate water deficit was significantly higher than other two treatments. However, the tuber number per plant manifested as: full irrigation > moderate water deficit > severe water deficit. It demonstrates that the effect of yield promotion under seedling moderate water deficit was attributed to the increase in tuber weight instead of tuber number.

**Key Words:** potato; water deficit; leaf area index; dry matter accumulation; yield formation

收稿日期: 2014-11-10

基金项目: 公益性行业科研专项“黄土高原雨养农田水分高效利用技术与示范——内蒙古雨养农田马铃薯水分高效利用技术与示范(201303104)”、国家自然科学基金“脱落酸对于旱条件下马铃薯块茎形成的调控(31460321)”、公益性行业科研专项“马铃薯滴灌条件下需水需肥规律研究与示范(201203012-4-2)”支持。

作者简介: 乌兰(1989-),女,硕士研究生,主要从事马铃薯水分管理研究。

\*通信作者(Corresponding author): 樊明寿,男,教授,博士生导师,主要从事马铃薯营养生理及养分管理的研究, E-mail: fmswh@126.com。

马铃薯是目前最具有发展潜力的经济作物之一。中国马铃薯的播种面积和总产量居全世界首位, 但单产水平却居全世界第91位<sup>[1]</sup>。内蒙古自治区是全国马铃薯种植面积和总产量最大的省区之一, 但是单产却一直低于全国平均水平。在众多影响马铃薯产量的因子当中, 水分不足是最根本的一个限制因素, 而水资源短缺是内蒙古长期面临的问题, 所以高效的水分管理在马铃薯生产上势在必行。

水分亏缺导致农作物产量减少超过了所有其他非生物胁迫影响的总和<sup>[2-4]</sup>。Hsiao<sup>[5]</sup>把水分亏缺程度分为轻度、中度和重度3个等级。作物在发生水分亏缺后均做出一定的响应来适应逆境胁迫, 如水分亏缺后复水可以使植物产生补偿效应<sup>[6]</sup>。非充分灌溉方式不仅节约水资源也可以达到增产或稳产的目的<sup>[7]</sup>。石晓华<sup>[8]</sup>研究了马铃薯不同生育时期水分亏缺对产量的影响, 结果表明, 与充分灌溉相比, 苗期水分亏缺表现出正效应, 而块茎形成期水分亏缺和块茎膨大期水分亏缺均表现出负效应。本研究的目的是通过田间试验, 进一步检验苗期不同水分亏缺对马铃薯产量效应影响, 并深入分析其机理, 为挖掘马铃薯高效利用水分的潜力奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于2014年在内蒙古乌兰察布市察右中旗防雨棚内进行。该区域处中温带大陆性季风气候, 历年平均气温1.3℃, 平均降雨量为304 mm, 无霜期100 d左右。供试马铃薯品种为‘费乌瑞它’与‘克新1号’, 均由内蒙古马铃薯种薯繁育中心提供。供试土壤为栗钙土, 0~40 cm土壤基础养分为: 全氮0.72 g/kg、有效磷38.48 mg/kg、速效钾193.70 mg/kg、有机质15.59 g/kg、pH值8.57。土壤其他性状见表1。

表1 试验区土壤基本性状

Table 1 Properties of experimental field soil

土层深度(cm) Depth	容重(g/cm <sup>3</sup> ) Bulk density	最大田间持水量(%) Maximum field capacity
0~20	1.47	23.94
20~40	1.50	18.85
40~60	1.58	13.24

### 1.2 试验设计

试验在2014年5月15日进行播种。苗期设置3个不同水分亏缺处理, 亏缺梯度分别为最大田间持水量的35%(浮动范围: 33%~37%), 50%(浮动范围: 48%~52%)及65%(浮动范围: 63%~67%), 分别代表重度亏缺、轻度亏缺、充分灌溉。每隔3 d监测一次土壤含水量, 当土壤相对含水量达到设定的土壤含水量浮动下限时进行灌水, 到达浮动上限时停止灌水。在块茎形成期(‘克新1号’7月19日; ‘费乌瑞它’7月10日), 块茎膨大期(‘克新1号’8月9日; ‘费乌瑞它’7月25日)以及淀粉积累期(‘克新1号’8月19日; ‘费乌瑞它’8月9日)分别按优化的土壤相对含水量下限进行灌水。各处理均采用人工起垄种植, 垄高30 cm, 行距75 cm, 株距25 cm, 种植密度为 $5.3 \times 10^4$  株/hm<sup>2</sup>。供试肥料为尿素(N含量46%)、过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量16%)、硫酸钾(K<sub>2</sub>O含量50%)。3个处理均施纯氮535.65 kg/hm<sup>2</sup>、纯磷375 kg/hm<sup>2</sup>、纯钾750 kg/hm<sup>2</sup>。其中基施纯氮46.8 kg/hm<sup>2</sup>、基施纯磷75 kg/hm<sup>2</sup>、基施纯钾62.4 kg/hm<sup>2</sup>。追施纯氮488.85 kg/hm<sup>2</sup>、追施纯磷300 kg/hm<sup>2</sup>、追施纯钾687.6 kg/hm<sup>2</sup>。试验采用微喷带进行灌溉, 微喷带壁厚0.3 mm, 喷洒宽幅7 m, 出水量1.08 m<sup>3</sup>/h·10m。

试验采用单因素随机区组设计, 小区面积52.5 m<sup>2</sup>, 行长5 m, 每小区14行。各处理随机排列, 重复3次。为消除小区间的水分干扰, 小区间设1 m隔离行。具体试验设计见表2。

### 1.3 取样及测定

土壤取样: 苗期、块茎形成期、块茎膨大期以及淀粉积累期在喷头正下方采集0~60 cm深度的土样, 每小区3钻, 每20 cm分为一层。出苗后每3 d监测一次。土壤含水量的测定采用烘干称重法, 土壤容重的测定采用环刀法。

植株取样: ‘克新1号’分别于出苗9, 25, 42, 56和83 d进行植株取样; ‘费乌瑞它’分别于出苗7, 22, 37, 52和63 d进行植株取样。每小区取3株, 每个处理重复3次。

叶面积: 采用打孔法, 根据打孔叶片面积的干重与叶片总干重折算整株植株叶面积。叶面积指数(LAI)=绿叶叶片总面积/土地面积。

块茎个数: 每次取样时各处理均直接观察并记录块茎个数。

表2 喷灌马铃薯各生育时期水分处理

Table 2 Sprinkler irrigation treatments in different stages of potato

处理 Treatment	土壤相对含水量(%) Soil water content			
	苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber initiation	块茎膨大期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation
重度水分亏缺 Severe water deficit	35	70	75	60
轻度水分亏缺 Moderate water deficit	50	70	75	60
充分灌溉 Full irrigation	65	70	75	60

块茎重量：取样后将块茎洗净擦干用百分之一电子天平称重，并记录薯重。

产量测产：‘克新1号’于9月13日收获，‘费乌瑞它’于8月17日收获测产。每小区随机取整段马铃薯2 m<sup>2</sup>进行，然后折算成单位面积产量。单薯重量小于50 g定为小薯，大于50 g小于150 g定为中薯，大于150 g定为商品薯，并计算商品薯率。

#### 1.4 数据统计与分析

试验数据采用SPSS 18.0和Excel软件统计分析，采用LSD法进行平均数间多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 苗期不同水分亏缺程度对马铃薯叶面积指数(LAI)的影响

从图1可以看出，‘费乌瑞它’在出苗后7 d时，苗期保持65%相对含水量处理的植株叶面积指数显著高于其他2个处理，而35%和50%相对含水

量处理的叶面积指数没有显著差异。在出苗后22 d时，叶面积指数随着水分亏缺梯度的增加而减小，35%相对含水量处理的叶面积指数显著低于50%和65%相对含水量处理，65%相对含水量处理的叶面积指数最高。出苗后37 d时50%相对含水量处理的叶面积指数不仅高于35%相对含水量处理，而且高于65%相对含水量处理，一直持续到收获，该处理的叶面积指数显著高于其他2个处理。而65%相对含水量处理的叶面积指数仍比35%相对含水量处理的叶面积指数高。但是，到出苗后52 d时，35%相对含水量处理的叶面积指数的增长速率高于其他2个处理。

图2是‘克新1号’在出苗后不同时间的叶面积指数。出苗后9 d时50%相对含水量处理和65%相对含水量处理的叶面积指数显著高于35%相对含水量处理。到了出苗后42 d，35%和50%2个苗期水分亏缺处理的叶面积指数均高出了苗期保持65%相对含水

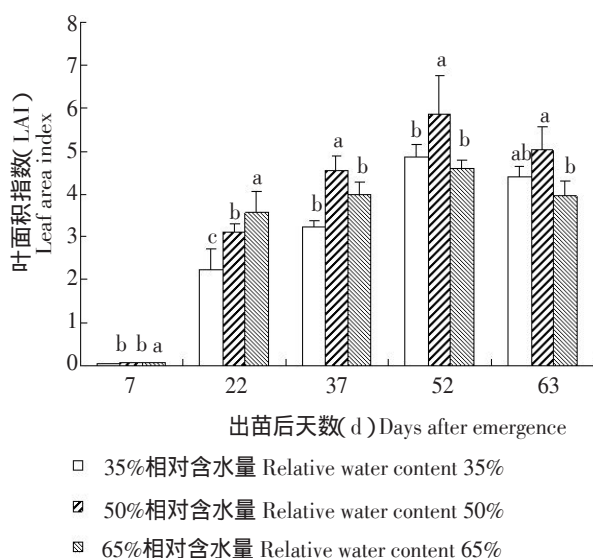


图1 不同处理 费乌瑞它 全生育期叶面积指数变化

Figure 1 Effect of water deficit degrees on leaf area index of potato cultivar 'Favorita'

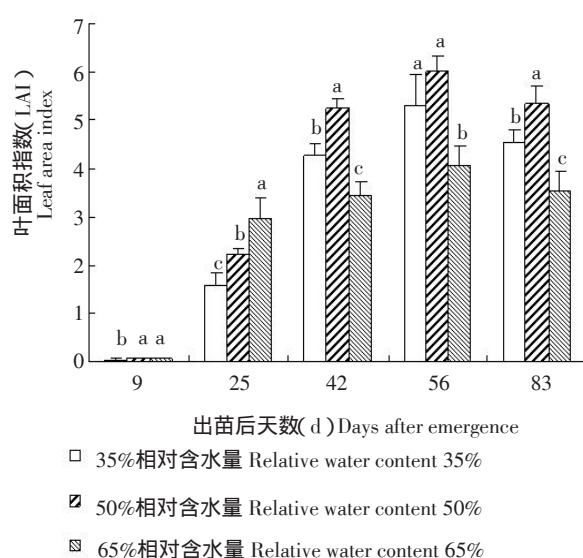


图2 不同处理 克新1号 全生育期叶面积指数变化

Figure 2 Effect of water deficit degrees on leaf area index of potato cultivar 'Kexin 1'

量的充分灌溉处理。该趋势一直保持至收获。

## 2.2 苗期不同水分亏缺程度对马铃薯干物质积累量的影响

图3表明 费乌瑞它 '品种从出苗后7 d到出苗后22 d期间, 整株干物质积累量均随着水分亏缺梯度的增加而减少。但从出苗后22 d到出苗后37 d时, 50%相对含水量处理的干物质积累量超过了65%相对含水量

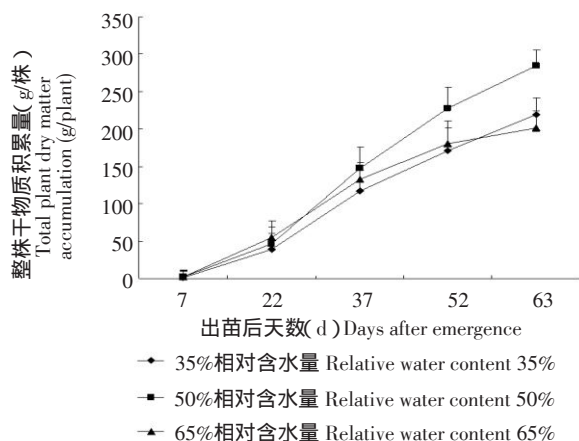


图3 不同处理 费乌瑞它 整株干物质积累量变化  
Figure 3 Effect of water deficit degrees on plant dry matter accumulation of potato cultivar 'Favorita'

## 2.3 苗期不同水分亏缺程度对马铃薯产量形成的影响

从表3可以看出, 苗期不同水分亏缺处理对马铃薯品种 费乌瑞它 '商品率有显著影响。50%相对含水量处理的商品率显著高于35%相对含水量处理和65%相对含水量处理。但65%相对含水量处理的单株结薯数显著高于35%相对含水量处理。50%相对含水量处理的单株结薯重显著高于65%相对含水量处理和35%相对含水量处理。而65%相对含水量处理的单株结薯重和35%相对含水量处理

量处理, 并持续到收获。但到了出苗后52 d时, 35%相对含水量处理的干物质积累速率迅速增加并逐渐接近65%相对含水量处理的干物质积累量。到出苗后63 d时35%相对含水量处理的干物质积累量超过了65%相对含水量处理的干物质积累量。

图4 克新1号 '的干物质积累量的变化趋势, 同 费乌瑞它 '的变化趋势较相似。

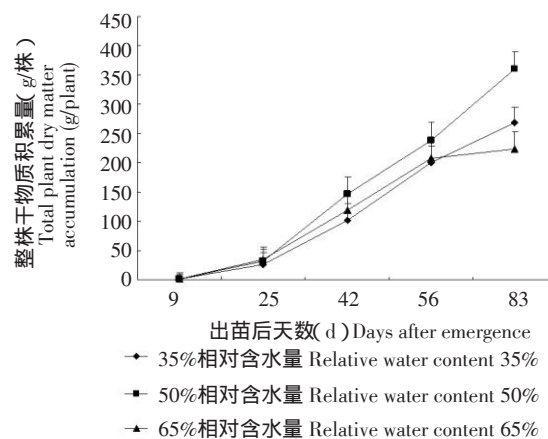


图4 不同处理 克新1号 整株干物质积累量变化  
Figure 4 Effect of water deficit degrees on plant dry matter accumulation of potato cultivar 'Kexin 1'

没有显著差异。50%相对含水量处理的产量显著高于35%相对含水量处理和65%相对含水量处理, 65%相对含水量处理的产量显著高于35%相对含水量处理。可见50%相对含水量处理显著提高产量是因为显著提高了大薯重和合理的控制了单株结薯数。

由表4可以看出, 50%相对含水量处理下 克新1号 '的商品率及单株结薯重均显著高于35%相对含水量处理和65%相对含水量处理, 从而显著地提高了产量。

表3 不同处理对 费乌瑞它 产量形成因子的影响

Table 3 Effect of water deficit degrees on yield characters of potato cultivar 'Favorita'

处理 Treatment	商品率(%) Marketable tuber percentage	单株结薯数(个) Tuber number/plant	单株结薯重(kg) Tuber weight/plant	产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield
重度水分亏缺 Severe water deficit	42.8 b	7.8 b	0.639 b	33 372 c
轻度水分亏缺 Moderate water deficit	72.9 a	9.2 ab	1.008 a	52 902 a
充分灌溉 Full irrigation	39.4 c	10.0 a	0.815 b	42 792 b

注: 不同小写字母表示同列数据在0.05水平上的差异显著性。下同。

Note: Different small letters in the same column mean significance at 0.05 level of probability. The same below.



表4 不同处理对 克新1号 产量形成因子的影响

Table 4 Effect of water deficient degrees on yield characters of potato cultivar 'Kexin 1'

处理 Treatment	商品率(%) Marketable tuber percentage	单株结薯数(个) Tuber number/plant	单株结薯重(kg) Tuber weight/plant	产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield
重度水分亏缺 Severe water deficit	68.2 b	5.8 b	0.913 b	47 918 b
轻度水分亏缺 Moderate water deficit	77.3 a	7.7 a	1.157 a	60 756 a
充分灌溉 Full irrigation	51.2 c	8.0 a	1.001 b	52 539 b

### 3 讨 论

作物在一定程度的水分亏缺下复水后具有补偿与超补偿效应<sup>[9,10]</sup>, 而 Wenkert 等<sup>[11]</sup>把这种水分胁迫后复水引起的生长反应称为“补偿生长”或者“贮藏生长”。试验采用2个马铃薯品种‘费乌瑞它’和‘克新1号’进行的研究结果均一致表明, 马铃薯苗期适度水分亏缺(保持相对含水量50%)后, 后期充分灌溉, 其产量高于整个生育期一直充分灌溉的处理(表3, 表4), 这充分证明马铃薯也存在“补偿生长”效应。这一效应的证明为马铃薯节水栽培措施的制定奠定了重要的理论基础。

试验进一步的研究发现, 苗期水分亏缺使马铃薯苗期叶面积指数与干物质积累均低于充分灌溉, 而复水后, 苗期轻度水分亏缺的处理(相对含水量50%)叶面积指数逐渐增加并超过充分灌溉处理, 这成为马铃薯干物质积累以及最终产量高于充分灌溉处理的根本基础。研究还发现, 虽然2个品种叶面积指数的变化趋势大致相同, 但‘克新1号’品种苗期水分亏缺的处理复水后, 叶面积指数迅速增加, 且2个水分亏缺处理均超过全生育期充分灌溉处理, 而对‘费乌瑞它’品种而言, 苗期重度水分亏缺处理的叶面积指数尽管在复水后增速加大, 但始终没有超过充分灌溉处理(图1, 图2)。这说明不同品种对水分亏缺的响应存在一定的差异, ‘克新1号’品种的“补偿效应”更加明显, 这点从产量结果也得到了印证。克新1号品种苗期重度水分亏缺处理的产量较充分灌溉处理相差无几, 而‘费乌瑞它’减少22%(表3, 表4)。

块茎的数量以及重量是马铃薯产量的构成因素。试验中, 苗期不同水分亏缺处理的马铃薯产量表现为50% > 65% > 35%; 商品率表现为50% >

35% > 65%; 单株结薯数表现为65% > 50% > 35%, 说明适度的水分亏缺减少了结薯数量从而使单个块茎的物质积累得以增加, 最终使块茎商品率增加。商品率的增加无疑增加了马铃薯的生产效益, 因此, 在无霜期较短的内蒙古阴山北麓地区, 急需建立完善与苗期适度的水分亏缺相配套的技术模式加以推广, 不仅有利于马铃薯生产中水资源的节约, 而且有利于经济效益的提高。

### [参 考 文 献]

- [1] 陈杨. 微垄覆膜侧播对旱作马铃薯产量和资源利用效率的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [2] 山仑. 植物水分利用效率和半干旱地区农业用水[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(1): 61-66.
- [3] Bray E A. Plant responses to water deficit[J]. Trends in Plant Science, 1997(2): 48-54.
- [4] 张宪政, 苏正淑. 作物水分亏缺伤害生理研究概况[J]. 沈阳农业大学学报, 1996, 27(1): 85-91.
- [5] Hsiao T C. Plant responses to water stress[J]. Annals Review Plant Physiology, 1973, 24: 519-570.
- [6] 赵丽英, 邓西平, 山仑. 水分亏缺下作物补偿效应类型及机制研究概述[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 523-526.
- [7] 康绍忠. 新的农业科技革命与21世纪我国节水农业的发展[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 11-17.
- [8] 石晓华. 非充分灌溉对滴灌马铃薯生长发育规律及养分利用效率的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [9] 山仑, 陈培元. 旱地农业生理生态基础[M]. 北京: 科学技术出版社, 1998: 1-17.
- [10] 陈晓远, 罗远培. 开花期复水对受旱冬小麦的补偿效应研究[J]. 作物学报, 2001, 27(4): 512-516.
- [11] Wenkert W, Lemon E R, Sinclair T R. Leaf elongation and turgor pressure in field-growth soybean[J]. Agronomy Journal, 1978, 70: 761-764.