

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2022)06-0517-13

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2022.06.005

土壤肥料

硝酸钾浓度对盆栽马铃薯生长发育、淀粉及可溶性糖含量的影响

王艺涵¹, 蒙美莲^{2*}, 贺学勤¹, 王永锋¹, 苏日古嘎², 邬春雨³

(1. 内蒙古农业大学园艺与植物保护学院, 内蒙古 呼和浩特 010000; 2. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010000;

3. 内蒙古薯都裕农种业有限公司, 内蒙古 乌兰察布 012100)

摘要: 马铃薯为喜钾作物, 钾元素是直接影响马铃薯块茎产量和品质的主要因素之一。钾肥(硝酸钾)的合理施用对于马铃薯生长发育起着至关重要的作用。为探究钾肥对马铃薯生长发育及生产的影响, 获得适合的马铃薯钾肥施用浓度, 试验以‘冀张薯12号’马铃薯为供试材料, 在盆栽条件下, 采用钾肥浓度分别为20, 30和40 mmol/L进行浇灌下, 对马铃薯生长发育指标及各器官淀粉和可溶性糖含量进行测定。同一生长期, 钾肥浓度为30 mmol/L下的植株生长状况最佳, 块茎质量最好, 钾肥浓度30 mmol/L下的叶片与块茎中可溶性糖和淀粉含量整体高于20 mmol/L。钾肥浓度为30 mmol/L时最终产量高于20 mmol/L, 但当钾肥浓度达到40 mmol/L时, 块茎中可溶性糖及淀粉含量不再增加, 也不再增产。因此当钾肥浓度为30 mmol/L, 对马铃薯生长发育的促进作用最好, 为最适宜的钾肥浓度。

关键词: 马铃薯; 钾肥; 生长发育; 淀粉; 可溶性糖

Effects of Potassium Nitrate Concentration on the Growth and Development of Potatoes and Their Starch and Soluble Sugar Content

WANG Yihan¹, MENG Meilian^{2*}, HE Xueqin¹, WANG Yongfeng¹, SU Riguga², WU Chunyu³

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010000, China;

2. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010000, China;

3. Inner Mongolia Potato Capital Yu Nong Seed Co., Ltd., Ulanqab, Inner Mongolia 012100, China)

Abstract: Potato is a potassium-loving crop and potassium is one of the main factors directly affecting the yield and quality of potato tubers. The proper application of potash (potassium nitrate) plays a vital role in the growth and development of potatoes. In this experiment, to investigate the effect of potassium fertilizer on potato growth and production and obtain suitable potassium fertilizer application concentration for potato, the growth and development indexes of potato and the starch and soluble sugar contents of various organs were measured under potted conditions with potassium fertilizer concentrations of 20, 30 and 40 mmol/L, respectively, using 'Jizhangshu 12' potato as the test material. In the same growth period, plants with potassium fertilizer concentration of 30 mmol/L had the best growth

收稿日期: 2022-11-16

基金项目: 国家马铃薯现代农业产业技术体系建设专项项目(CARS-09-P10)。

作者简介: 王艺涵(1997-), 男, 硕士研究生, 从事园艺学遗传育种研究。

*通信作者(Corresponding author): 蒙美莲, 教授, 主要从事马铃薯栽培生理研究, E-mail: mmeilian@126.com。

condition and the best potato tuber quality, and the soluble sugar and starch contents in both leaves and tubers with potassium fertilizer concentration of 30 mmol/L were higher than those of 20 mmol/L. The final yield at potassium fertilizer concentration of 30 mmol/L was more than that of 20 mmol/L; however when potassium fertilizer concentration reached 40 mmol/L, the soluble sugar and starch contents in tubers did not increase and the yield did not increase either. Therefore, the best promotion of potato growth and development is achieved at a potassium concentration of 30 mmol/L, which is the suitable potassium fertilizer concentration.

Key Words: potato; potassium fertilizer; growth and development; starch; soluble sugar

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是一年生草本植物, 茄科茄属^[1]。近年来中国马铃薯播种面积和总产量均居于世界第一^[2]。钾(K)元素是马铃薯必需的营养元素, 直接影响马铃薯产量和品质^[3,4]。钾肥的种类有很多, 北方地区常见的有氯化钾、硫酸钾和硝酸钾。氯离子会影响马铃薯对氮的吸收, 硫酸盐会造成马铃薯叶间坏死, 而硝酸钾对马铃薯的增产幅度则较大^[5], 因此硝酸钾是马铃薯理想的含钾肥料^[6]。

钾肥的合理施用, 不仅可以改善马铃薯长势, 同时有利于马铃薯各部分营养元素(氮、磷、钾)和干物质的累积, 可使马铃薯淀粉含量及产量增加^[7]。赵亮等^[8]试验发现, 硫酸钾施用量 $<240\text{ kg/hm}^2$ 时马铃薯块茎产量、株高、茎粗、地上部干重、单株块茎重和叶面积随着钾肥施用量的增加呈现由低到高的变化趋势。周芳等^[9,10]试验表明, 不同钾肥品种均提高了马铃薯的产量, 并增加平均块茎重和商品薯率。徐宁等^[11]在哈尔滨市阿城区进行试验, 结果表明底肥施用硝酸钾 380 kg/hm^2 对干物质含量和全粉产量提升具有显著作用。亦有研究表明马铃薯产量和淀粉含量随着钾肥用量的增加而增加, 但当钾肥用量增加到一定程度后再增加钾肥的施用量则两者均相应递减^[12,13]。陈功楷等^[14]试验表明, 浙江省温州市瓯海区马铃薯的最适钾肥施用量为硫酸钾 375 kg/hm^2 。牟百川等^[15]在贵州省铜仁市的研究表明, 钾肥用量为硫酸钾($\text{K}_2\text{O } 60\%$) 450 kg/hm^2 时, 马铃薯增产最明显。刘效瑞等^[16]在定西县西川的定西地区旱农中心微域试验场, 试验表明施用硝酸钾 90 kg/hm^2 的处理对马铃薯增产效果最好。中国寒冷的北方地区, 不同钾肥施用量对马铃薯产量、品质及土壤营养成分影响的相关研究较少, 更鲜有对盆栽马铃薯钾肥施用量的探究。本试验通过探究不同

浓度钾肥对盆栽‘冀张薯12号’马铃薯生长发育的影响以及不同浓度钾肥对马铃薯可溶性糖和淀粉含量的影响, 旨在找到盆栽条件下最适宜的钾肥施用浓度, 为今后提高马铃薯产量及肥料利用率、减少浪费提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

马铃薯品种‘冀张薯12号’原原种(已进行脱毒处理), 重量约3 g, 购自武川县塞丰马铃薯种业有限公司。

1.2 试验设计及方法

盆栽试验于2020年6~10月在内蒙古农业大学马铃薯研究室大棚中进行, 采用单因素完全随机区组设计, 专用套盆栽培。每个套盆装基质(蛭石:珍珠岩=1:5)10 L, 于6月12日播种, 每盆播3粒微型薯。采用MS培养基中的大量、微量、铁盐配方作为营养液, 采用硝酸钾(KNO_3)作为钾肥来源, 设置3个硝酸钾浓度水平, 分别为: 20, 30和40 mmol/L, 钾(K_2O)浓度为1.893, 2.904和3.914 g/L, 每个处理设30组重复, 共90盆马铃薯。待马铃薯7月4日出苗后, 用K肥浓度不同的改良MS营养液浇灌, 每盆马铃薯浇施1 L营养液, 之后每3 d浇1次, 每次给每盆马铃薯浇等体积营养液, 保证生长期间基质含水量始终维持在70%~75%, 至8月18日共浇营养液14次。此时马铃薯茎叶出现衰老现象, 之后便不再浇施营养液, 改为浇水, 使马铃薯基质含水量在60%~65%, 直至试验结束。

1.3 取样时期及方法

出苗后每天提起套盆内盆, 观察匍匐茎和块茎发育状况。根据匍匐茎和块茎发育状况进行不定期

取样。从匍匐茎顶端出现明显膨大(直径大于0.2 cm)开始第1次(7月19日)取样。每个处理取3盆重复, 随后每3 d取样1次进行测量, 分别于7月19日, 7月22日, 7月25日连取3次, 之后分别于7月29日, 8月13日和9月4日测量取样。共计取样6次。最后于10月19日收获每个处理剩余的12盆马铃薯(每个处理设3组重复, 每个重复为4盆马铃薯)块茎分重量测产: 将单个块茎按照重量分为块茎重量<30 g、30 g≤块茎重量<60 g、块茎重量≥60 g 3个等级, 分别统计各个分级的块茎数量与重量, 统计最终产量。每次取样时将植株从套盆中取出, 测量株高、茎粗, 随后洗净基质, 擦干水分。统计复叶叶片数、匍匐茎数以及块茎数量, 并将叶、茎、根、匍匐茎和块茎分开, 用于各项指标的测量。

1.4 测定指标及其方法

株高: 测量植株根颈部到顶部之间的距离(cm)。

茎粗: 游标卡尺测量茎基部(mm)。

叶片数: 收集取样植株复叶叶片, 统计计算每盆马铃薯单株的平均复叶叶片数。

匍匐茎和块茎个数: 收集取样植株的匍匐茎和块茎, 统计计算每盆马铃薯单株的平均个数。

块茎大小: 游标卡尺法, 测定纵径。并对测量出的最大马铃薯块茎拍照。

各器官鲜、干重: 称重法测量鲜重。取鲜样100 g于65℃烘干至恒重(鲜样少于100 g时, 取全部), 称干重。根据干鲜重计算干物质含量:

总干重 = 鲜重 × 干物质含量。

干样用于可溶性糖和淀粉含量的测定。分别提取1 g干样样品中淀粉和可溶性糖。采用蒽酮比色法测量可溶性糖含量^[17]; 高氯酸-蒽酮比色法测量淀粉含量^[18]。马铃薯各器官中的可溶性糖含量计算公式为:

可溶性糖含量 = 烘干样品中测定的可溶性糖含量/烘干样品的重量。

马铃薯各器官中的淀粉含量计算公式为:

淀粉含量 = 烘干样品中测定的淀粉含量/烘干样品的重量。

所有测量指标均为单株平均指标。

1.5 数据分析

采用Excel 2016和SPSS 17.0中文版进行数据整理和统计分析。多重比较采用最小显著差数(Least significant difference, LSD)法。

2 结果与分析

2.1 不同钾肥浓度对植株和块茎生长的影响

2.1.1 不同钾肥浓度对马铃薯株高、茎粗和叶片数的影响

在同一时期内, 从株高、茎粗、叶片数看, 在钾肥浓度30 mmol/L时植株生长最好。随时间推移, 各处理的株高持续增加, 各处理株高差异显著(7月22日除外), 7月25日及之后, 钾肥浓度30 mmol/L显著高于20与40 mmol/L(8月13日除外)。株高7月19日钾肥浓度20 mmol/L>40 mmol/L, 但增长幅度20 mmol/L<40 mmol/L, 从8月13日开始40 mmol/L>20 mmol/L。茎粗除7月22日与8月13日, 钾肥浓度30 mmol/L显著高于20 mmol/L外, 其余时间无显著差异。叶片数随着时间推移, 呈现出先增加后减少的趋势。叶片数在7月22日, 7月29日和9月4日钾肥浓度30 mmol/L显著高于20与40 mmol/L, 其他时间无显著差异(表1)。

2.1.2 不同钾肥浓度对马铃薯匍匐茎和块茎数量的影响

在同一时期内, 匍匐茎数量总体表现为钾肥浓度30 mmol/L多于20 mmol/L, 具体表现为, 除7月25日和7月29日各处理之间无显著差异外, 其余时间钾肥浓度30 mmol/L匍匐茎数量均多于20 mmol/L。块茎数量总体表现为钾肥浓度30 mmol/L多于20和40 mmol/L, 在7月19日钾肥浓度30 mmol/L>40 mmol/L>20 mmol/L, 7月22日30 mmol/L>40 mmol/L, 7月29日30 mmol/L>40和20 mmol/L, 8月13日和9月4日30 mmol/L>20 mmol/L。块茎数量从7月19日到7月22日呈现快速增加, 20和30 mmol/L下的增加速度高于40 mmol/L下的增加速度, 随后增长缓慢(表2)。

2.1.3 不同钾肥浓度对马铃薯块茎大小的影响

从马铃薯块茎平均直径看, 不同时期马铃薯块茎平均直径差异不显著(7月29日除外), 随着钾

肥浓度增加，块茎膨大的晚，但发育速度快。从块茎直径范围来看，30 mmol/L 下的膨大速度加快，但从9月4日的块茎大小范围看，最大块茎出现在20 mmol/L，30和40 mmol/L下的最大和最小块茎差异不明显(表3)。结合马铃薯块茎直径，可看出钾肥浓度越大，开始膨大的时间越晚，但膨大速度越快。

表1 不同K肥浓度下马铃薯株高、茎粗和叶片数的变化

Table 1 Changes in plant height, stem diameter and leaf number of potato at different K fertilizer concentrations									
日期(D/M) Date	株高(cm) Plant height			茎粗(mm) Stem diameter			叶片数(片/株) Leaf number (pcs/plant)		
	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L
19/07	63.33 ± 4.92 a	65.59 ± 4.85 a	55.10 ± 20.44 b	6.20 ± 0.42 a	6.30 ± 0.40 a	6.22 ± 0.48 a	11.3 ± 1.2 a	11.8 ± 1.9 a	11.1 ± 1.1 a
22/07	64.78 ± 3.87 a	67.11 ± 6.11 a	62.22 ± 4.41 a	6.30 ± 0.66 b	6.80 ± 1.24 a	6.18 ± 0.57 b	11.4 ± 1.5 b	12.3 ± 2.5 a	11.2 ± 1.0 b
25/07	67.11 ± 7.47 b	73.00 ± 5.74 a	66.56 ± 4.95 b	6.80 ± 1.32 a	7.00 ± 0.64 a	6.65 ± 0.69 a	13.3 ± 1.3 a	13.6 ± 1.5 a	13.1 ± 1.3 a
29/07	71.60 ± 11.50 b	77.50 ± 8.31 a	72.80 ± 10.50 b	6.90 ± 1.14 a	7.20 ± 0.54 a	6.87 ± 1.41 a	14.0 ± 2.1 b	15.5 ± 2.4 a	14.5 ± 1.8 b
13/08	92.60 ± 13.52 b	107.10 ± 7.31 a	106.80 ± 7.11 a	7.50 ± 1.47 b	8.10 ± 0.59 a	8.01 ± 0.86 a	18.3 ± 1.3 a	19.3 ± 3.5 a	18.7 ± 2.2 a
04/09	135.00 ± 16.22 c	153.00 ± 14.51 a	142.00 ± 20.13 b	8.30 ± 0.57 a	8.80 ± 0.44 a	8.51 ± 0.35 a	17.1 ± 1.1 b	18.7 ± 2.1 a	17.2 ± 2.8 b

注：数据表示为平均值±标准差。同行同一性状处理平均值标有不同字母表示差异显著($P < 0.05$)，多重比较采用最小显著差数(Least significant difference, LSD)法。下同。

Note: Data are presented as mean ± standard deviation. Treatment means of trait in the same row with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$) as tested using least significant difference (LSD) method. The same below.

表2 不同K肥浓度下马铃薯匍匐茎和块茎数量的变化

Table 2 Changes in stolon number and tuber number of potato at different K fertilizer concentrations						
日期(D/M) Date	匍匐茎数量(个/株) Stolon number (No./plant)			块茎数量(个/株) Tuber number (No./plant)		
	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L
19/07	5.1 ± 2.8 b	6.0 ± 2.1 a	4.9 ± 2.6 b	7.3 ± 1.5 c	9.0 ± 5.0 a	8.3 ± 3.1 b
22/07	5.5 ± 2.9 b	7.1 ± 2.4 a	6.9 ± 1.4 a	13.6 ± 5.5 a	13.6 ± 3.8 a	10.7 ± 4.2 b
25/07	5.7 ± 1.5 a	5.1 ± 1.8 a	5.2 ± 0.8 a	12.3 ± 4.0 a	12.6 ± 3.1 a	13.0 ± 3.6 a
29/07	6.1 ± 1.7 a	6.0 ± 1.8 a	6.5 ± 1.4 a	11.6 ± 3.5 b	14.6 ± 4.9 a	12.7 ± 6.5 b
13/08	7.1 ± 0.7 b	8.0 ± 1.6 a	7.3 ± 2.0 ab	14.3 ± 3.5 b	16.3 ± 1.5 a	16.3 ± 3.1 a
04/09	8.5 ± 2.2 b	10.0 ± 3.8 a	9.6 ± 2.7 a	13.6 ± 6.0 b	18.6 ± 7.4 a	18.0 ± 2.7 a

表3 不同K肥浓度下马铃薯块茎平均直径与直径范围

Table 3 Average tuber diameter and diameter range of potato at different K fertilizer concentrations						
日期(D/M) Date	平均直径(cm) Average diameter			直径范围(cm) Diameter range		
	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L
19/07	1.69 ± 0.52 a	1.72 ± 0.38 a	1.49 ± 0.26 a	0.32~2.77	0.27~2.50	0.24~2.11
22/07	1.88 ± 0.59 a	1.78 ± 0.62 a	1.75 ± 0.49 a	0.31~3.51	0.28~2.99	0.29~2.34
25/07	2.13 ± 0.79 a	2.07 ± 0.57 a	1.92 ± 0.66 a	0.38~3.67	0.57~3.30	0.40~3.12
29/07	2.25 ± 0.67 b	2.95 ± 0.68 a	2.11 ± 0.72 b	0.31~4.08	0.27~3.88	0.37~3.71
13/08	3.33 ± 1.24 a	3.45 ± 1.57 a	3.33 ± 1.08 a	0.38~5.33	0.28~6.68	0.32~4.86
04/09	5.16 ± 1.83 a	5.28 ± 1.48 a	5.28 ± 1.49 a	0.54~8.37	0.51~7.88	0.50~8.01

2.1.4 不同钾肥浓度对马铃薯块茎外观品质的影响

随着时间变化, 马铃薯块茎由圆形向椭圆形变化。8月13日, 块茎明显开始变大, 特别是钾肥浓度 30 mmol/L 的马铃薯块茎增大幅度最大, 块茎直径明显大于 20 和 40 mmol/L, 钾肥浓度 40 与

20 mmol/L 的块茎表皮明显出现褶皱。9月4日, 3种钾肥浓度下马铃薯最大块茎直径之间差距不大, 钾肥浓度 30 mmol/L 下的马铃薯块茎较 20 和 40 mmol/L 表皮更光滑, 钾肥浓度 40 mmol/L 块茎出现病斑(图1)。

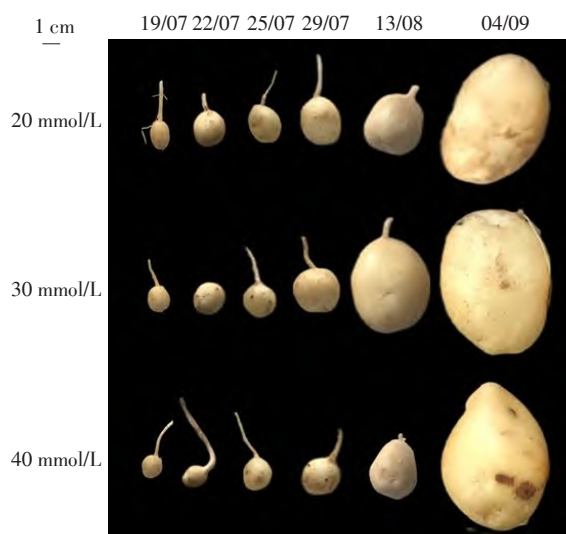


图1 不同K肥浓度下最大直径马铃薯块茎

Figure 1 Maximum tuber diameter of potato at different K fertilizer concentrations

2.2 不同钾肥浓度对马铃薯各器官鲜、干重及干物质含量的影响

2.2.1 不同钾肥浓度对叶片鲜、干重的影响

叶片鲜重、干重均呈现先上升后不变的趋势。具体表现为叶片鲜重、干重同一时期, 除8月13日外, 钾肥浓度 30 mmol/L 均大于 40 mmol/L; 7月22日, 7月29日, 9月4日钾肥浓度 30 mmol/L 大于 20 mmol/L。在8月13日之前叶片鲜重一直增加, 8月13日之后叶片鲜重不再增加; 叶片干重在7月29日之前持续增加, 7月29日之后不再增加(图2)。

2.2.2 不同钾肥浓度对茎鲜、干重的影响

茎鲜重、干重表现为随着时间推移呈先增加后降低的规律。茎鲜重增幅由慢变快, 钾肥浓度越大, 增幅越大。7月19日, 30 mmol/L 下茎鲜重显著高于 40 mmol/L。7月22日和25日, 30 mmol/L 下茎鲜重显著高于 20 和 40 mmol/L。7月29日开始, 30 和 40 mmol/L 之间茎鲜重差异不显著, 但显

著高于 20 mmol/L。茎干重增幅较为平稳, 到8月13日达到最高, 之后开始减少, 在7月29日前(除7月22日)30 mmol/L 显著高于 20 和 40 mmol/L, 7月29日开始 30 和 40 mmol/L 之间差异不显著, 但大于 20 mmol/L(图3)。

2.2.3 不同钾肥浓度对根鲜、干重的影响

同一时间, 根鲜重表现为各处理随时间变化持续增加, 且随着钾肥浓度增大鲜重增幅逐渐增大, 7月25日及之前 30 mmol/L 的根鲜重显著高于 20 mmol/L(7月22日除外)和 40 mmol/L, 7月29日开始钾肥浓度 30 mmol/L 显著高于 20 mmol/L。根干重表现为7月19日和8月13日, 钾肥浓度 30 mmol/L 高于 20 和 40 mmol/L, 除7月22日钾肥浓度 30 mmol/L 大于 40 mmol/L 外, 其余时间均表现为钾肥浓度 30 mmol/L 大于 20 mmol/L(图4)。

2.2.4 不同钾肥浓度对匍匐茎鲜、干重的影响

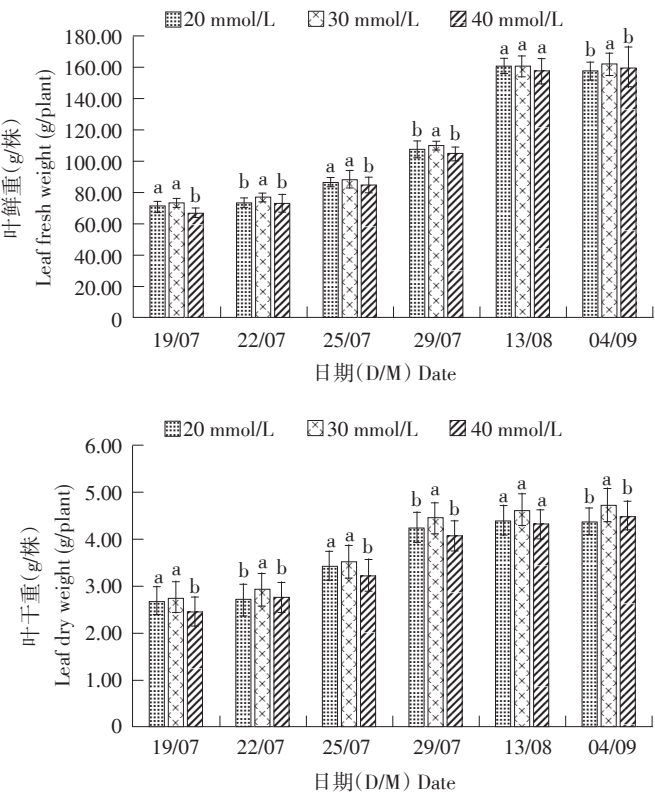
在取样前期, 钾肥浓度 40 mmol/L 匍匐茎鲜重

大, 在取样后期, 钾肥浓度 30 mmol/L 匍匐茎鲜重大。具体表现为 7 月 19 日和 7 月 29 日钾肥浓度 40 mmol/L 显著高于 20 和 30 mmol/L, 8 月 13 日开始表现为钾肥浓度 30 mmol/L 大于 20 和 40 mmol/L。匍匐茎干重钾肥浓度 30 mmol/L 总体最高, 具体表现为 7 月 22 日、8 月 13 日、9 月 4 日钾肥浓度 30 mmol/L 显著高于 20 和 40 mmol/L, 但 7 月 29 日钾肥浓度 40 mmol/L 匍匐茎干重高于 20 和 30 mmol/L(图 5)。

2.2.5 不同钾肥浓度对块茎鲜、干重及干物质含量的影响

从马铃薯块茎鲜重、干重看, 随着时间变化, 增长幅度逐渐加大, 从 7 月 29 日开始, 块茎鲜重、干重增幅明显提升; 钾肥浓度 40 mmol/L 增幅高于 20 mmol/L。具体表现为, 马铃薯块茎鲜重

在 7 月 19 日 30 与 20 mmol/L 显著高于 40 mmol/L, 7 月 25 日 30 mmol/L 高于 40 mmol/L。块茎干重 7 月 22 日与 25 日钾肥浓度 30 mmol/L 高于 20 mmol/L (7 月 22 日除外) 和 40 mmol/L, 9 月 4 日钾肥浓度 30 mmol/L 高于 20 mmol/L。干物质含量表现为随着时间变化逐渐增加, 钾肥浓度为 40 mmol/L 时, 干物质含量增加幅度大于 20 mmol/L。具体表现为, 7 月 19 日钾肥浓度 30 与 20 mmol/L 显著高于 40 mmol/L, 7 月 22 日钾肥浓度 30 mmol/L 高于 20 与 40 mmol/L。7 月 25 日钾肥浓度 30 mmol/L 高于 20 mmol/L。7 月 29 日至 8 月 13 日, 钾肥浓度 30 与 40 mmol/L 高于 20 mmol/L, 前二者无显著差异。9 月 4 日时, 干物质含量表现为钾肥浓度 30 mmol/L > 40 mmol/L > 20 mmol/L(图 6)。



注: 误差线表示样本标准差。多重比较采用最小显著差数(Least significant difference, LSD)法, 不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Error bar represents standard deviation of sample. Treatment means with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$) as tested using least significant difference (LSD) method. The same below.

图2 不同K肥浓度下马铃薯叶片鲜重及干重的变化

Figure 2 Changes in leaf fresh weight and dry weight of potato at different K fertilizer concentrations

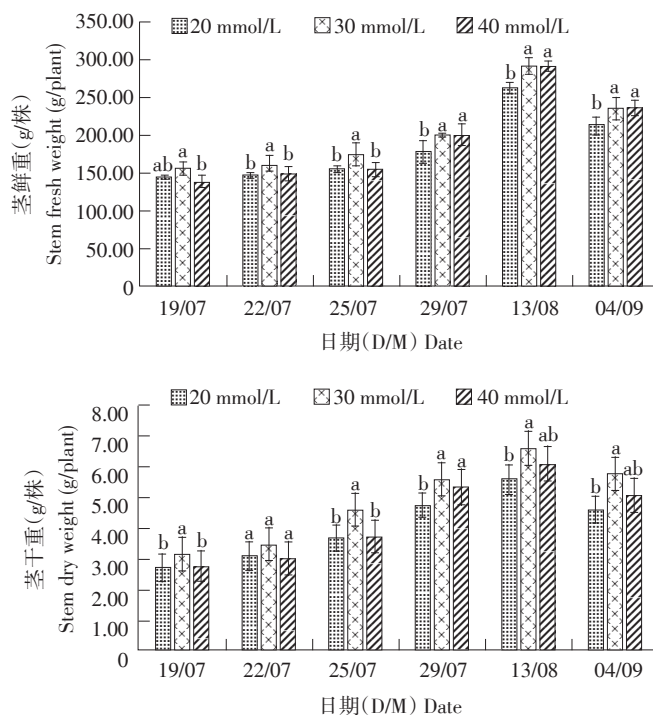


图3 不同K肥浓度下马铃薯茎鲜重及干重的变化

Figure 3 Changes in stem fresh weight and dry weight of potato at different K fertilizer concentrations

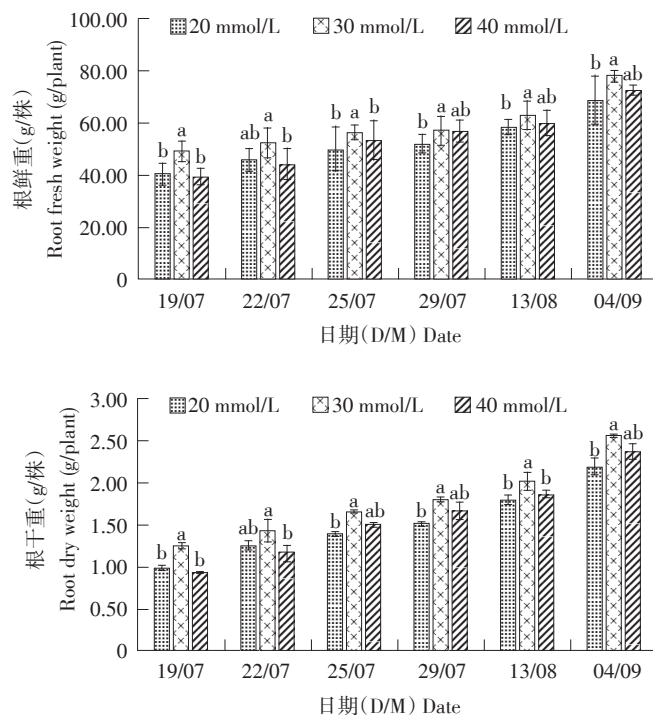


图4 不同K肥浓度下马铃薯根鲜重及干重的变化

Figure 4 Changes in root fresh weight and dry weight of potato at different K fertilizer concentrations

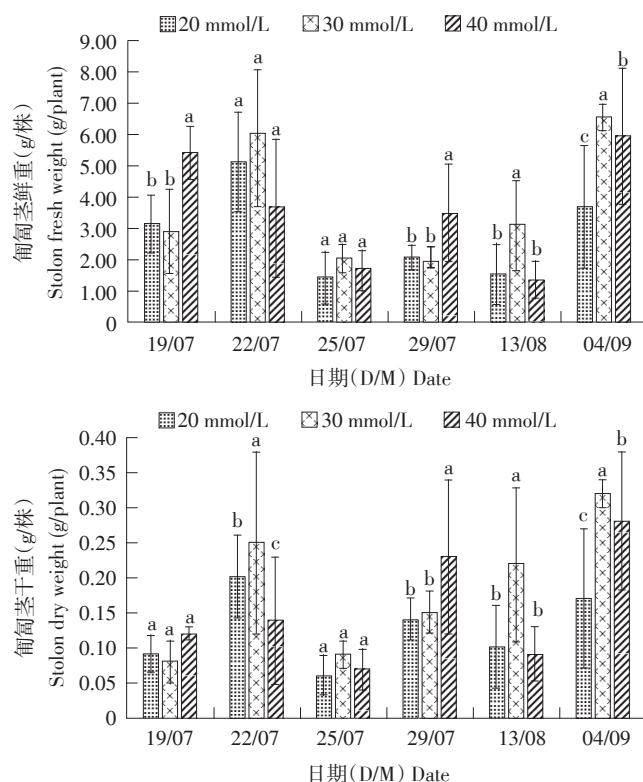


图5 不同K肥浓度下马铃薯匍匐茎鲜重及干重的变化

Figure 5 Changes in stolon fresh weight and dry weight of potato at different K fertilizer concentrations

2.3 钾浓度对各器官可溶性糖含量的影响

茎叶中可溶性糖含量[1 g干物质中可溶性糖所占比例(%DW)]均表现为取样前期(7月29日之前)30 mmol/L高于20和40 mmol/L, 根中可溶性糖取样前期钾肥浓度30 mmol/L>20 mmol/L。具体表现为, 叶中可溶性糖含量均呈现先增加后减少的现象, 7月29日前钾肥浓度30 mmol/L>40和20 mmol/L, 7月29日及之后各处理间差异不显著。茎和根中的可溶性糖含量一直增加, 但增幅逐渐放缓。茎中的可溶性糖含量表现为钾肥浓度8月13日之前30 mmol/L>40和20 mmol/L, 8月13日及之后各处理之间无显著差异。根中可溶性糖含量7月29日之前钾肥30 mmol/L显著高于20 mmol/L, 7月29日开始各处理之间差异不显著(表4)。

8月13日之前, 匍匐茎中可溶性糖含量一直上升。7月19日和7月22日处理间差异不显著; 7月25日表现为30 mmol/L显著高于20 mmol/L; 7月29日

表现为20 mmol/L>30和40 mmol/L, 30和40 mmol/L之间无显著差异。8月13日匍匐茎中可溶性糖含量20 mmol/L显著高于30和40 mmol/L, 且可溶性糖含量开始减少。不同时期块茎中可溶性糖含量钾肥浓度30 mmol/L大于20 mmol/L(7月19日除外)。7月19日和25日, 块茎中可溶性糖含量30 mmol/L显著高于40 mmol/L。9月4日各处理块茎中可溶性糖含量锐减, 20 mmol/L减少幅度最大(表5)。

2.4 钾浓度对各器官淀粉含量的影响

随时间变化, 叶、茎、根中淀粉含量[1 g干物质中淀粉所占比例(%DW)]积累速度由快转慢。同一时期, 叶中淀粉含量表现为除7月19日和9月4日外, 钾肥浓度30与40 mmol/L显著高于20 mmol/L; 茎中淀粉含量除7月25日钾肥浓度30和40 mmol/L显著高于20 mmol/L外, 其余时间茎中淀粉含量无显著差异; 根中淀粉含量除7月19日钾肥浓度30 mmol/L显著高于20和40 mmol/L外, 其余时间

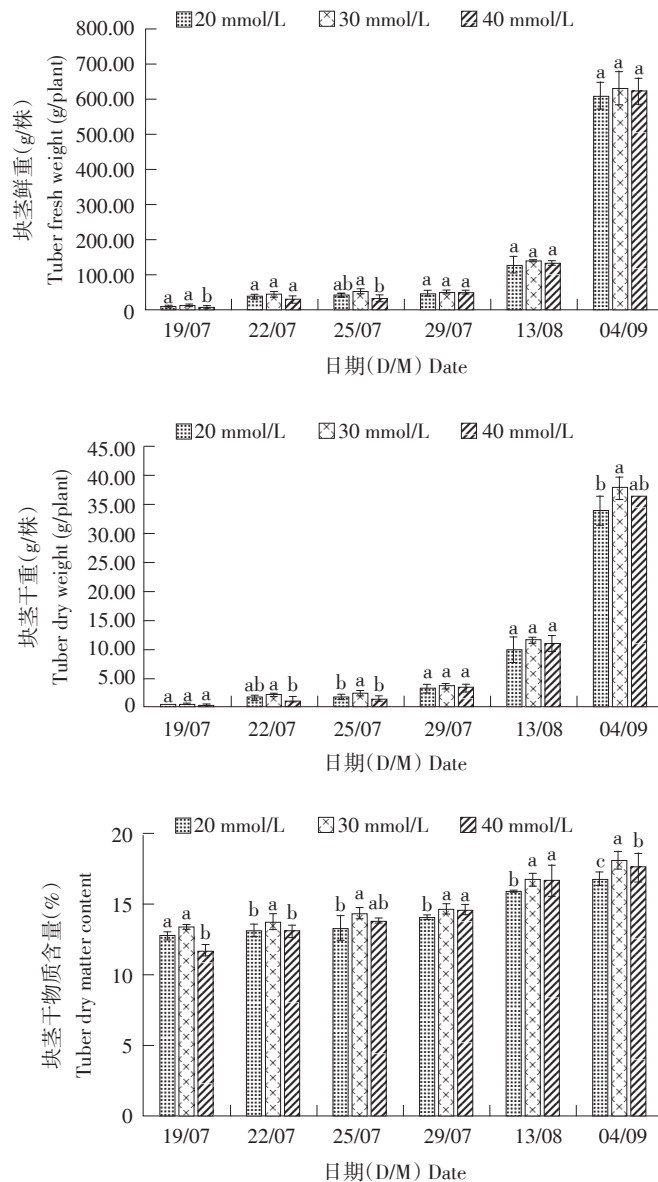


图6 不同K肥浓度下马铃薯块茎鲜重、干重及干物质含量的变化

Figure 6 Changes in tuber fresh weight, dry weight and dry matter content of potato at different K fertilizer concentrations

根中淀粉含量无显著差异(表6)。

匍匐茎中淀粉含量9月4日之前,除7月19日钾肥浓度20和30 mmol/L显著高于40 mmol/L外,其余各时期各处理之间无显著差异。9月4日匍匐茎中淀粉含量明显增加,钾肥浓度20 mmol/L显著高于30和40 mmol/L。块茎中淀粉含量持续增加。7月19日

各浓度差异不显著,其余各时期钾肥浓度30 mmol/L显著高于20 mmol/L(9月4日除外),7月22日与25日钾肥浓度30 mmol/L显著高于40 mmol/L(表7)。

2.5 钾浓度对块茎最终产量的影响

单株平均块茎数表现为各处理之间钾肥浓度40与30 mmol/L大于20 mmol/L。平均重量表现为

30 mmol/L>20 mmol/L, 与 40 mmol/L 差异不显著(表8)。将块茎进行分级, 单薯重量<30 g时, 块茎个数表现为 30 mmol/L 高于 20 和 40 mmol/L, 重量表现为 30 与 20 mmol/L>40 mmol/L; 单薯重量在 30~60 g, 块茎数量钾肥浓度 20 与 40 mmol/L 高于 30 mmol/L, 重量差异不显著; 单薯重量>60 g时, 块茎个数差异不显著, 重量表现为 30 mmol/L>20 mmol/L, 与 40 mmol/L 差异不显著(表9)。

表 4 不同 K 肥浓度下马铃薯叶片、茎、根中可溶性糖含量的变化
Table 4 Changes in soluble sugar content in leaf, stem and root of potato at different K fertilizer concentrations

日期 (D/M) Date	叶中可溶性糖(%DW) Soluble sugar in leaf			茎中可溶性糖(%DW) Soluble sugar in stem			根中可溶性糖(%DW) Soluble sugar in root		
	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L
19/07	12.58 ± 0.15 c	16.54 ± 1.62 a	15.62 ± 0.34 b	5.19 ± 0.17 c	6.22 ± 0.17 a	5.71 ± 0.17 b	8.96 ± 0.55 b	10.31 ± 0.19 a	10.13 ± 0.19 a
22/07	14.29 ± 0.81 b	17.85 ± 1.62 a	16.57 ± 1.25 b	17.53 ± 0.87 b	20.58 ± 0.60 a	18.85 ± 0.61 b	13.44 ± 1.43 b	14.94 ± 0.43 a	13.92 ± 1.48 ab
25/07	16.23 ± 0.51 b	18.15 ± 1.62 a	17.96 ± 0.56 b	22.73 ± 0.62 b	25.30 ± 0.55 a	23.33 ± 0.88 b	15.91 ± 0.71 b	17.74 ± 0.45 a	17.03 ± 1.33 ab
29/07	17.06 ± 1.64 a	18.50 ± 1.62 a	18.21 ± 0.55 a	20.40 ± 1.71 b	27.96 ± 1.79 a	21.62 ± 1.87 b	16.02 ± 2.81 a	17.57 ± 1.85 a	17.41 ± 1.07 a
13/08	20.32 ± 0.64 a	20.29 ± 1.62 a	21.43 ± 1.76 a	32.90 ± 2.29 a	34.18 ± 2.60 a	33.16 ± 1.54 a	17.50 ± 1.16 a	19.40 ± 1.09 a	19.05 ± 1.24 a
04/09	12.58 ± 0.15 a	13.28 ± 1.62 a	13.45 ± 4.35 a	42.68 ± 4.24 a	44.97 ± 5.69 a	43.63 ± 4.28 a	25.47 ± 4.57 a	28.42 ± 1.46 a	27.80 ± 0.82 a

表 5 不同 K 肥浓度下马铃薯匍匐茎、块茎中可溶性糖含量的变化
Table 5 Changes in soluble sugar content in stolon and tuber of potato at different K fertilizer concentrations

日期 (D/M) Date	匍匐茎中可溶性糖(%DW) Soluble sugar in stolon			块茎中可溶性糖(%DW) Soluble sugar in tuber		
	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L
19/07	25.61 ± 6.84 a	25.15 ± 7.28 a	25.82 ± 4.66 a	15.22 ± 1.23 ab	16.11 ± 1.61 a	12.73 ± 1.04 b
22/07	27.13 ± 2.90 a	27.71 ± 2.54 a	26.21 ± 3.39 a	16.51 ± 0.94 b	18.81 ± 0.33 a	18.51 ± 0.33 a
25/07	30.70 ± 3.67 b	34.56 ± 7.89 a	30.95 ± 7.33 ab	19.96 ± 0.46 b	22.69 ± 0.12 a	20.38 ± 1.84 b
29/07	48.07 ± 17.55 a	36.88 ± 10.60 b	36.32 ± 5.16 b	21.54 ± 4.49 b	23.06 ± 6.48 a	22.22 ± 1.45 a
13/08	43.22 ± 7.61 a	36.72 ± 3.56 b	38.48 ± 11.30 b	22.19 ± 2.72 b	24.75 ± 2.83 a	26.15 ± 1.32 a
04/09	28.33 ± 3.32 a	28.64 ± 1.19 a	27.86 ± 1.62 a	12.78 ± 1.33 b	18.80 ± 2.33 a	16.82 ± 0.59 ab

表 6 不同 K 肥浓度下马铃薯叶片、茎、根中淀粉含量的变化
Table 6 Changes in starch content in leaf, stem and root of potato at different K fertilizer concentrations

日期 (D/M) Date	叶中淀粉(%DW) Starch in leaf			茎中淀粉(%DW) Starch in stem			根中淀粉(%DW) Starch in root		
	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L
19/07	6.36 ± 0.83 b	7.62 ± 0.29 a	6.71 ± 0.37 ab	6.93 ± 1.46 a	7.44 ± 0.36 a	7.21 ± 0.78 a	13.48 ± 1.15 b	15.67 ± 0.89 a	13.60 ± 0.60 b
22/07	7.71 ± 0.50 b	11.19 ± 0.43 a	10.59 ± 1.77 a	7.09 ± 0.78 a	8.08 ± 0.72 a	7.56 ± 0.53 a	16.12 ± 1.18 a	18.08 ± 0.52 a	16.43 ± 1.00 a
25/07	9.50 ± 0.87 b	12.20 ± 0.61 a	11.26 ± 0.62 a	9.17 ± 0.79 b	11.24 ± 0.32 a	11.00 ± 0.51 a	17.28 ± 1.31 a	18.59 ± 0.41 a	18.25 ± 0.33 a
29/07	10.54 ± 2.56 b	13.22 ± 0.65 a	12.31 ± 0.60 a	12.41 ± 1.33 a	13.64 ± 0.46 a	13.28 ± 0.92 a	17.58 ± 1.59 a	19.04 ± 1.05 a	18.92 ± 2.33 a
13/08	11.70 ± 0.87 b	14.20 ± 0.61 a	13.66 ± 0.40 a	13.29 ± 0.81 a	14.03 ± 0.43 a	13.51 ± 0.47 a	18.01 ± 1.39 a	19.81 ± 0.84 a	19.50 ± 0.98 a
04/09	14.29 ± 0.54 a	15.40 ± 0.85 a	15.04 ± 0.46 a	14.96 ± 2.04 a	18.73 ± 2.53 a	16.93 ± 1.31 a	23.08 ± 1.28 a	24.93 ± 0.31 a	24.82 ± 0.38 a

表7 不同K肥浓度下马铃薯匍匐茎、块茎中淀粉含量的变化

Table 7 Changes in starch content in stolon and tuber of potato at different K fertilizer concentrations

日期 (D/M) Date	匍匐茎中淀粉(%DW) Starch in stolon			块茎中淀粉(%DW) Starch in tuber		
	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L	20 mmol/L	30 mmol/L	40 mmol/L
19/07	29.57 ± 4.74 a	29.07 ± 6.34 a	24.69 ± 1.08 b	17.28 ± 1.31 a	18.59 ± 0.41 a	18.25 ± 0.33 a
22/07	27.56 ± 1.73 a	27.16 ± 0.69 a	27.94 ± 1.88 a	31.84 ± 0.84 b	34.01 ± 2.23 a	28.86 ± 0.47 b
25/07	27.20 ± 0.83 a	29.88 ± 3.09 a	27.29 ± 3.82 a	36.90 ± 2.75 b	42.93 ± 6.82 a	36.96 ± 5.47 b
29/07	27.93 ± 3.34 a	27.87 ± 1.72 a	29.12 ± 2.24 a	47.46 ± 2.69 b	52.83 ± 1.89 a	53.31 ± 1.35 a
13/08	30.47 ± 1.97 a	28.61 ± 1.82 a	29.39 ± 1.80 a	56.83 ± 8.99 b	59.13 ± 3.61 a	60.02 ± 7.45 a
04/09	45.93 ± 10.20 a	42.73 ± 6.73 b	43.45 ± 7.46 b	69.69 ± 0.91 a	72.02 ± 1.72 a	73.93 ± 3.56 a

表8 不同K肥浓度下马铃薯块茎最终产量的变化

Table 8 Changes in final tuber yield of potato at different K fertilizer concentrations

性状 Characteristic	K 肥浓度(mmol/L) K fertilizer concentration		
	20	30	40
单株平均块茎数(个/株) Tuber number (No./plant)	11.9 ± 1.1 b	12.5 ± 5.7 a	13.6 ± 5.1 a
平均重量(g/株) Tuber yield (g/plant)	856.43 ± 88.17 b	1 177.59 ± 37.97 a	1 140.70 ± 235.98 ab

表9 不同K肥浓度下马铃薯块茎最终产量分级统计

Table 9 Final tuber yield grading statistics of potato at different K fertilizer concentrations

分级 Grading	K 肥浓度(mmol/L) K fertilizer concentration					
	20		30		40	
	数量(No.) Number	重量(g/株) Weight (g/plant)	数量(No.) Number	重量(g/株) Weight (g/plant)	数量(No.) Number	重量(g/株) Weight (g/plant)
块茎重量(<30 g) Tuber weight (<30 g)	2.3 ± 0.7 b	41.82 ± 11.15 a	4.0 ± 2.3 a	46.04 ± 15.31 a	2.4 ± 1.1 b	22.01 ± 15.21 b
块茎重量(30~60 g) Tuber weight (30~60 g)	2.9 ± 0.7 a	127.87 ± 37.94 a	1.8 ± 1.6 b	82.80 ± 73.78 a	3.4 ± 2.4 a	163.45 ± 127.33 a
块茎重量(>60 g) Tuber weight (>60 g)	6.8 ± 1.3 a	686.74 ± 113.27 b	6.8 ± 2.0 a	1 048.75 ± 112.27 a	7.8 ± 2.0 a	855.24 ± 179.91 ab

3 讨 论

马铃薯是中国重要的粮食作物。钾元素对马铃薯的生长是必不可少的, 钾离子在马铃薯植株体内参与一系列生理生化过程。增加钾肥(K₂O)施用量, 在一定程度上可以提高单株鲜薯产量、单株商品薯产量和商品薯率^[19]。马铃薯株高、茎粗、叶片数表征农作物生长发育状况, 是衡量其长势

的重要形态指标^[20]。Adhikari 和 Karki^[21]发现, 增加土壤钾肥的施用量会促进马铃薯植株的茎叶生长, 但过量施肥会降低马铃薯产量。张皓等^[22]试验表明, 当钾肥(硫酸钾)浓度 525 kg/hm²时, 马铃薯淀粉含量、产量急剧减少。本试验盆栽条件下, 当钾肥浓度为 30 mmol/L 时, 马铃薯长势均优于 20 和 40 mmol/L(表 1)。随着钾肥浓度的增加植株生长情况呈现出前期弱后期强的特点, 这可能是由

于出苗到块茎生长初期吸收养分较少, 到生育中期, 特别是块茎迅速膨大期是需肥高峰, 养分不足导致^[23]。匍匐茎和块茎的形成是马铃薯产量形成的前提条件和基础。施用钾肥促进作用明显, 其不但增加匍匐茎的数量, 还促进了匍匐茎向块茎发育^[24]。本试验表明, 当钾肥浓度为 30 mmol/L 时, 多个时期匍匐茎数量高于 20 mmol/L, 与 40 mmol/L (7月19日除外) 无显著差异, 但数据波动较大 (表2), 可能是因为盆栽条件下较高的基质温度降低了匍匐茎的数量^[25]。钾对马铃薯产量的影响主要是通过结薯个数增多和大中薯率提高来实现的^[26]。从本试验结果来看, 块茎数量总体表现为钾肥浓度 30 mmol/L 多于 20 和 40 mmol/L, 7月25日后同一时期钾肥浓度 30 mmol/L > 20 mmol/L (表2)。导致这一现象的原因极有可能是过高的钾浓度对盆栽马铃薯根系产生胁迫作用削弱了钾肥浓度对块茎数量的影响^[27]; 本试验中钾肥浓度越大, 开始膨大的时间越晚, 但膨大速度越快 (表3)。钾肥浓度为 30 mmol/L 时块茎外观品质最好 (图1)。

王丽丽^[28]、张炜^[29]研究表明, 随着施钾量增加地上部干重、地下部干物质含量出现了由低到高的变化趋势。本试验中, 根茎叶的鲜重与干重 (图2、图3、图4) 总体表现为各时期钾肥浓度 30 mmol/L 高于 20 mmol/L, 从取样中期开始钾肥浓度 40 与 20 mmol/L 差异不显著 (茎鲜重除外); 钾肥浓度 40 mmol/L 干重与鲜重增幅大于 20 mmol/L。匍匐茎的干重与鲜重 (图5) 由于受温度影响程度大, 出现数据波动的情况。马铃薯块茎的鲜重与干重是衡量马铃薯块茎质量的重要指标。一般来说, 这两个变量呈正相关。干重与鲜重的比值称为干物质含量。施钾在决定马铃薯块茎干物质含量方面具有重要作用^[30]。本试验中马铃薯块茎鲜重、干重与干物质含量 (图6) 总体表现为钾肥浓度 30 mmol/L 高于 20 和 40 mmol/L, 干重在 7月25日和9月4日 30 mmol/L 高于 20 mmol/L, 7月22日和25日 30 mmol/L 高于 40 mmol/L, 其余时间差异不显著; 鲜重在取样前期 (7月19日和7月25日), 钾肥浓度 30 与 20 mmol/L (7月25日除外) 高于 40 mmol/L, 在取样后期 (7月29日及之后) 钾肥浓度 20, 30 与 40 mmol/L 差异不显

著; 干物质含量 7月22日及之后钾肥浓度为 30 mmol/L 显著高于 20 mmol/L, 钾肥浓度为 40 mmol/L 时, 干物质含量增加幅度大于 20 mmol/L。

马铃薯营养丰富, 其中淀粉是衡量马铃薯品质的最重要指标, 淀粉含量的多少直接决定马铃薯品质的高低; 可溶性糖含量是影响马铃薯口感的主要因素, 可溶性糖含量高, 马铃薯的口感偏甜, 食用口感好。在马铃薯生长发育初期施钾肥可以促进马铃薯矿物质的吸收, 加快有机物的合成; 在块茎膨大期, 钾肥促进茎叶的光合作用, 进而加快马铃薯块茎的膨大以及淀粉等营养物质成分的累积^[31,32]。卢茗^[33]在马铃薯的营养品质分析结果显示, 钾肥显著提高马铃薯淀粉含量与可溶性糖含量。魏毅^[34]的研究中马铃薯可溶性糖含量随施钾量的增加呈先升高后降低的趋势, 而淀粉含量则随施钾量的增加而升高。本试验中, 根茎叶中可溶性糖含量 (表4), 在取样前期 (7月29日前) 整体钾肥浓度 30 mmol/L 显著大于 20 与 40 mmol/L (根除外)。块茎中可溶性糖含量 (表5) 各时期 30 mmol/L 均大于 20 mmol/L (7月19日除外), 有 2 个取样时期 30 mmol/L 大于 40 mmol/L。叶中淀粉含量 (表6) 各个时期钾肥浓度 30 mmol/L 显著大于 20 mmol/L (9月4日除外)。块茎中淀粉含量 (表7), 各个时期钾肥浓度为 30 mmol/L 显著高于 20 mmol/L (7月19日和9月4日除外), 部分时期显著高于 40 mmol/L (7月22日和7月25日)。因此, 当钾肥浓度为 30 mmol/L 时, ‘冀张薯12号’ 的生长情况最好, 叶片和块茎中可溶性糖与淀粉含量整体高于 20 mmol/L, 块茎质量最好, 产量高于 20 mmol/L (表8, 表9), 当钾肥浓度达到 40 mmol/L 时, 块茎中可溶性糖及淀粉含量不再增加, 产量也不在增产。综上所述, 对于 ‘冀张薯12号’ 盆栽马铃薯, 钾肥浓度为 30 mmol/L 时, 为最适宜的钾肥浓度。

[参 考 文 献]

- [1] 蒙美莲, 门福义, 陈有君, 等. 中国马铃薯栽培生理研究进展 [C]// 陈伊里, 屈冬玉. 中国马铃薯研究与产业开发. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2004: 56-65.

- [2] 张颖城, 李中慧, 王秀丽. 中国马铃薯主要品种特征与产业布局分析[J]. 中国马铃薯, 2022, 36(1): 78–85.
- [3] 华玉晨, 范书华, 董清山, 等. 水肥一体化条件下马铃薯钾肥的合理施用[J]. 中国马铃薯, 2021, 35(6): 554–561.
- [4] 罗兰, 邓振鹏, 吕长文. 不同基因型马铃薯钾素吸收与利用效率的差异[J]. 中国马铃薯, 2021, 35(5): 424–431.
- [5] 王小英, 方玉川, 高青青, 等. 不同钾肥品种对马铃薯农艺性状、产量和品质的影响[J]. 陕西农业科学, 2019, 65(11): 27–31.
- [6] 王方桃, 汪羞德. 马铃薯施用硝酸钾肥效试验[J]. 上海蔬菜, 1994(2): 41–42.
- [7] 王文丽, 马忠明, 李娟, 等. 不同钾肥用量对马铃薯产量、品质和效益的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(8): 130–134.
- [8] 赵亮, 贾永红, 魏龙基, 等. 钾肥不同施入量对马铃薯产量及经济性状的影响[J]. 农业科技通讯, 2017(8): 116–121.
- [9] 周芳, 张振洲, 贾景丽, 等. 不同钾肥品种及用量对马铃薯产量和品质的影响[J]. 中国马铃薯, 2013, 27(3): 158–161.
- [10] 周芳, 贾景丽, 刘兆财, 等. 钾肥对不同马铃薯品种产量和品质的影响[J]. 中国马铃薯, 2021, 35(4): 349–353.
- [11] 徐宁, 张洪亮, 张荣华, 等. 不同施肥处理对马铃薯品种大西洋产量及干物质含量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2019(7): 66–68.
- [12] 郑元红, 胡辉, 潘国元, 等. 有机肥与化肥对脱毒马铃薯补钾效果的研究[J]. 土壤肥料, 2006(1): 24–27, 43.
- [13] 黄继川, 彭智平, 于俊红, 等. 不同钾肥用量对冬种马铃薯产量、品质和钾肥利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(19): 167–171.
- [14] 陈功楷, 权伟, 朱建军. 不同钾肥量与密度对马铃薯产量及商品率的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(6): 166–169.
- [15] 牟百川, 刘梅, 安强. 德江县马铃薯威芋5号适宜施钾肥量初探[J]. 耕作与栽培, 2016(1): 46–47.
- [16] 刘效瑞, 韩傲仁, 梁淑珍, 等. 不同钾肥品种在半干旱区马铃薯上的应用效果[J]. 甘肃农业科技, 2001(10): 35–36.
- [17] 张以顺, 黄霞, 陈云凤. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [18] 黄光文, 沈玉平, 李常健. 甘薯淀粉含量测定的新方法[J]. 湖南农业科学, 2010(17): 109–111.
- [19] 张吉立, 焦峰, 张兴梅, 等. 不同施钾量对马铃薯养分吸收及产量、品质的影响[J]. 河南农业科学, 2013, 42(10): 19–22.
- [20] 尚文艳, 许志兴, 赵丽萍, 等. 定量氮磷肥条件下钾肥不同施用量对地膜马铃薯产量、干物质与淀粉含量的影响[J]. 中国马铃薯, 2016, 30(2): 99–104.
- [21] Adhikari B H, Karki K B. Effect of potassium on potato tuber production in acid soils of Malepatan, Pokhara [J]. Nepal Agriculture Research Journal, 2006, 7: 42–48.
- [22] 张皓, 周丽敏, 申双, 等. 不同钾肥施用量对马铃薯产量、品质及土壤质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(11): 116–119.
- [23] 张西露, 刘明月, 伍壮生, 等. 马铃薯对氮、磷、钾的吸收及分配规律研究进展[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(4): 237–241.
- [24] 祝海燕, 王海峰, 李春燕. 过量施用钾肥对寿光设施果菜类蔬菜的影响[J]. 中国蔬菜, 2015(11): 93–95.
- [25] Lemaga B. The relationship between the number of main stems and tuber yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) under the influence of different day length and soil temperature conditions [D]. Berlin: Fachbereich Internationale Agrarentwicklung. Institut für Nutzpflanzenforschung, 1986.
- [26] 刘进华, 王文章, 杨永宙, 等. 氮磷钾配方肥对马铃薯产量影响的实验研究[J]. 农业与技术, 2013, 33(11): 17.
- [27] Bista B, Bhandari D. Potassium fertilization in potato [J]. International Journal of Applied Sciences and Biotechnology, 2019, 7(2): 153–160.
- [28] 王丽丽. 施钾对膜下滴灌马铃薯产质量及钾素吸收利用的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [29] 张炜. 钾肥对马铃薯生长发育和淀粉加工特性的影响研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [30] 高伟勤, 刘春艳, 吴强盛. 钾胁迫对枳生长及根系激素和信号物质水平的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(8): 139–141.
- [31] 王国兴, 徐福利, 王渭玲, 等. 氮磷钾及有机肥对马铃薯生长发育和干物质积累的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(3): 106–111.
- [32] 郭岷江, 罗照霞, 吕汰, 等. 钾肥施用量对山旱地马铃薯产量和品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2021, 52(9): 68–73.
- [33] 卢茗. 钾肥施用量对马铃薯产量和品质的影响[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2022, 34(5): 44–47.
- [34] 魏毅. 钾肥施用量对马铃薯生长、产量和品质的影响[J]. 福建农业科技, 2021, 52(7): 35–39.