

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2021)05-0424-08

土壤肥料

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.05.006

不同基因型马铃薯钾素吸收与利用效率的差异

罗 兰¹, 邓振鹏^{2,3}, 吕长文^{2,3*}

(1. 中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714; 2. 西南大学农学与生物科技学院, 重庆 400714;

3. 薯类生物学与遗传育种重庆市重点实验室, 重庆 400715)

摘 要: 马铃薯是典型的喜钾作物, 钾肥施用量对于马铃薯产量具有较大影响, 钾高效品种的利用不仅可减少钾肥的用量, 还可提高肥料的利用效率从而减少农田生态环境的污染。为此, 研究采用二因素裂区试验设计, 设低钾水平(75 kg/hm²)和高钾水平(300 kg/hm²), 选用20份西南地区代表性马铃薯品种(系)为材料, 对其开展了钾素吸收和利用效率研究, 并对其进行了聚类分析。结果表明, 参试品种(系)在两个钾素水平下钾素吸收和利用效率的相关参数存在显著差异; 钾素吸收效率在低钾水平下与植株含钾量呈极显著正相关, 在高钾水平下与块茎含钾量呈显著正相关; 钾素利用效率在低钾水平下与植株含钾量呈极显著负相关($r_{K75} = -0.523^{**}$); 基于钾素营养效率可将20个马铃薯品种分为4类, 其中双高效型代表性品种(系)有‘黔芋6号’和‘378711.7’, 双低效型有‘08CA0710’和‘09307-830’, 高钾高效型有‘米拉’‘中薯19’, 低钾高效型有‘华渝5号’‘郑薯5号’。两钾素水平下的单株块茎产量的变异系数较大, 可以作为评价钾素利用效率的首选指标。

关键词: 马铃薯; 基因型; 钾素吸收效率; 钾素利用效率; 评价方法

Variation in Potassium Uptake and Utilization Efficiency of Different Potato Varieties

LUO Lan¹, DENG Zhenpeng^{2,3}, LU Changwen^{2,3*}

(1. Chongqing Green and Intelligent Technology Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China;

2. College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400714, China;

3. Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement for Tuber and Root Crops in Chongqing, Chongqing 400715, China)

Abstract: Potato is one of the potassium loving crops and the potassium is essential to the development of potato yield. Highly efficient utilization of potassium for potato not only decreases the consumption of potassium fertilizer, but also lift the fertilizer use efficiency and protect the agricultural eco-system. The split plot design was employed in the experiment with two potassium nutrition levels (75 and 300 kg/ha) and 20 potato varieties (lines) to study their potassium uptake and utilization efficiency and classify them. The indicators related to potassium uptake and utilization efficiency of potato varieties were significantly different at two potassium levels. Potassium uptake efficiency was highly significantly positively correlated with plant potassium content at low potassium level, and significantly positively correlated with tuber potassium content at high potassium level. The potassium utilization efficiency was highly significantly negatively correlated with plant potassium content at low potassium level ($r_{K75} = -0.523^{**}$). Based on the

收稿日期: 2021-10-08

基金项目: 重庆市科技局, 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项重点项目(cstc2019jscx-gksbX0157); 国家重点研发计划项目(2018YFE0127900)。

作者简介: 罗兰(1982-), 女, 实验师, 长期从事植物生理生化测试与分析。

*通信作者(Corresponding author): 吕长文, 副教授, 从事作物生理与薯类作物高产高效栽培技术研究, E-mail: lvchgwn@swu.edu.cn。

potassium nutrient efficiency of potato, 20 varieties (lines) were classified into four types. 'Qianyu 6' and '378711.7' were the representative double-efficient varieties, '08CA0710' and '09307-830' were the double-inefficient varieties, 'Mira' and 'Zhongshu 19' belonged to the high-potassium-efficient type, and 'Huayu 5' and 'Zhengshu 5' belonged to the low-potassium-efficient type. The coefficient of variation of tuber yield per plant under two potassium levels was large, which could be used as the preferred index to evaluate the potassium utilization efficiency.

Key Words: potato; genotype; potassium uptake efficiency; potassium utilization efficiency; evaluation method

钾(K^+)是所有生物体内最重要的阳离子营养元素, 其在细胞水平含量较高(通常约 100 mmol/L), 并且受到高度调节^[1]。 K^+ 影响植物生长发育多个方面, 例如植物生长、生物和非生物胁迫耐受以及植物器官的运动^[2-4]。缺钾的作物更容易遭受这些不利因素的侵袭, 而合理施用钾肥可以减少不利环境对作物产量的影响。钾素还是许多植物主要功能的必需元素, 包括酶的激活、蛋白质的合成和植物的光合作用等^[5]。中国是世界上最大的马铃薯生产国, 马铃薯产量约占世界马铃薯总产量的 1/4。近年来, 由于受到马铃薯食用消费需求和工业加工需求强劲增长的刺激, 以及政府政策的有力支持, 中国马铃薯种植面积和产量增长迅速。2019 年中国马铃薯种植面积达到 491 万 hm^2 , 总产量达到 9 188 万 t, 是仅次于水稻、小麦和玉米的第四大粮食作物, 同时也是大宗蔬菜及重要的食品工业加工原料^[6]。同时马铃薯作为喜钾作物, 其产量依赖钾肥的施用量^[7]。根据殷文等^[8]试验结果, 施钾量在 0~365.85 kg/hm^2 时, 马铃薯产量随着钾肥施用量的增加而增加。中国农业生产中普遍存在的问题之一是土壤中可供利用的钾元素日益减少。目前现有的耕地中普遍都存在钾元素缺乏的状况, 缺钾一般性土壤(即速效钾在 50~70 mg/kg)和缺钾严重土壤(即速效钾小于 50 mg/kg)面积大约有 23 万 hm^2 , 占中国耕地面积比重的 23%, 其中中国南方严重缺钾的土壤面积达到 9.3 万 hm^2 ^[9]。另一方面, 在马铃薯的栽培过程中钾肥不合理和大量施用, 则造成钾素流失严重和环境污染。因此, 在马铃薯的生产过程中, 明确不同品种的钾素利用效率类型, 利用其自身对钾素的需求特点和产量目标确定钾肥的施用量是提高钾肥利用效率和促进农业可持续发展的途径之一。研究表明, 植物的钾素吸收和利用效率方面在同

一作物不同品种间存在较大差异, 如水稻^[10-12]、小麦^[13-15]、玉米^[16]、烟草^[17]等均表现出这一特点。刘芳等^[18]从单株鲜薯重、钾素经济利用效率及品质对 7 个常用马铃薯品种对低钾胁迫的反应进行研究, 结果表明不同品种对低钾胁迫的反应也明显不同。

结合不同马铃薯品种对钾素的响应能力及在低钾水平下的产量, 合理选择作物品种和施钾水平可以提高钾肥经济效益, 同时通过挖掘植物本身的钾素营养效率潜力, 培育钾高效品种是有效提高钾素利用效率的重要方式之一。但如何准确和快速地鉴定与评价不同马铃薯材料对钾素吸收利用效率, 方法不一。许多科研工作者选择在作物苗期的钾素效率差异作为筛选评价的方法, 但是苗期的试验结果与收获期的结果有一定差异^[19]。田间试验筛选耐低钾基因型的方法是最直接、最客观的筛选方法, 但是由于工作量大、周期长、筛选效率低, 难以实现快速高效的筛选。在室内进行的水培试验, 能通过人工控制植物生长的温度、光照等条件, 而且不受季节的限制, 但也存在不同生态条件下钾素利用效率鉴定结果吻合较差等问题。

在研究植物营养方面, 前人多采用苗期营养性状指标来评价不同品种营养效率的差异^[19], 但不同品种在整个生育期的钾营养特性差异较大, 同一品种生育前期和生育后期的表现可能不一致^[14]。为贴近实际大田生产, 本试验采用成熟期的营养性状指标来衡量马铃薯钾素营养吸收与利用效率。采用蛭石盆栽试验, 拟在低钾和高钾两个水平下研究 20 个不同马铃薯品种(系)在收获期钾素营养效率的差异。本研究探讨了不同马铃薯品种(系)钾素的吸收和利用效率的差异, 对不同马铃薯品种(系)钾素利用类型进行了划分, 旨在为马

铃薯高效育种提供新思路。

1 材料与方法

试验于2017~2018年在西南大学农学与生物

科技学院(重庆市)薯类作物研究所网室内进行。

1.1 试供品种

试验选择的20份材料主要为西南地区主推马铃薯品种(系), 品种(系)名称及来源见表1。

表1 供试马铃薯品种(系)
Table 1 Potato varieties (lines) used in experiment

代号 No.	品种(系) Variety (line)	来源 Source	代号 No.	品种(系) Variety (line)	来源 Source
1	378711.7	重庆	11	S03-0452	云南
2	049565	重庆	12	丽薯6号	云南
3	09307-830	重庆	13	安龙5号	贵州
4	2014X3-1	重庆	14	黔芋6号	贵州
5	B20-7	重庆	15	08CA0710	湖北
6	C19	重庆	16	恩薯78-11	湖北
7	S21	重庆	17	中薯19号	北京
8	华渝5号	重庆	18	郑薯5号	河南
9	川芋117	四川	19	早大白	辽宁
10	凉薯2号	四川	20	米拉	国外引进

1.2 试验设计

将约50 g的马铃薯种薯放置在20℃左右的条件下打破休眠, 然后种植在装满蛭石的长方形盆内, 盆栽种植容器为长55 cm, 宽15 cm, 高17 cm的聚乙烯塑料盆。每盆定植5株。每盆施用的钾肥为硫酸钾(K_2O 50%)(用量按下述中低钾和高钾处理进行), 施过磷酸钙(P_2O_5 12%) 80 kg/hm², 尿素(N 46.3%) 225 kg/hm², 各种肥料按塑料盆面积(55 cm × 15 cm)成比例用量以基肥施入。试验采用裂区试验设计, 钾素营养水平为主区, 设低钾素(75 kg/hm²)和高钾素(300 kg/hm²)2个水平; 品种为副区, 共20水平(表1), 3次重复, 每重复3盆。该盆栽试验于2019年9月10日种植, 于同年12月5日收获, 其他措施同一般高产田管理。

1.3 测定项目及分类方法

收获时测定单株马铃薯产量(g)和植株鲜重, 然后在105℃杀青30 min, 后调至75℃烘至恒重测

定块茎和植株干重。将干样用打粉器磨成粉末后过80目筛, 用乙酸铵浸提-原子吸收分光光度计法测定钾含量^[20]。

钾素吸收和利用效率的相关指标按如下公式计算:

植株钾素积累量(Plant K accumulation, mg) = 植株干物重 × 含钾量^[21];

钾素吸收效率(K uptake efficiency, %) = 钾素吸收总量/介质中供钾量 × 100^[22];

钾素利用效率(K utilization efficiency, %) = 块茎干重/总钾素吸收量^[23];

钾素收获指数(K harvest index, %) = 块茎钾含量/总钾素吸收量。

1.4 数据统计与分析

采用Excel 2016进行数据处理, 利用SPSS 21.0进行方差分析和相关分析, 采用Duncan检测进行多重比较, 聚类分析参考唐忠厚等^[24]的方法

进行。

2 结果与分析

2.1 不同马铃薯品种(系)钾素营养特性

方差分析结果表明, 品种间在产量、植株含钾量、块茎含钾量、钾素吸收效率、钾素利用效率以及钾素收获指数差异极显著; 钾水平间在钾素利用效率差异显著, 其他性状差异极显著; 品种×钾水平互作效应在所研究的所有性状均极显著(表2)。高钾水平下, 马铃薯的产量、块茎含钾量、钾素利用效率和钾素收获指数都有所提高, 而植株含钾量和钾素吸收效率则随着钾素水平的升高而降低。在低钾素水平下, 马铃薯单株产量变幅为65.00~515.00 g, 平均值为219.58 g; 而在高钾素水平的单株产量变幅为50.00~630.00 g, 平均值为262.42 g。而钾素吸收效率则随着施钾水平的提高而降低, 在低钾水平下变幅为48.59%~268.83%, 平均值为136.12%, 在高钾水平下的变幅为9.49%~95.83%, 平均值为37.57%。

2.2 马铃薯钾素营养效率参数间的相互关系

不同供钾水平下马铃薯钾素营养效率参数间相

关性分析结果见表3。在低钾水平下, 钾素总吸收量与植株含钾量和块茎含钾量呈极显著正相关, 相关系数分别为0.444**和0.823**, 而在高钾水平下, 植株含钾量与钾素总吸收量呈极显著负相关, 与块茎含钾量呈显著正相关, 相关系数为-0.668**和0.264**。钾素利用效率在低钾条件下与植株含钾量($r_{k75} = -0.523^{**}$)呈极显著负相关, 在高钾条件下($r_{k300} = 0.410^{**}$)呈极显著正相关, 由此表明低钾条件下茎叶钾含量越大的品种钾素利用效率越低。

2.3 不同基因型马铃薯在不同供钾水平下的产量差异

各品种(系)在不同施钾水平下的产量存在显著差异。低钾水平下, ‘黔芋6号’‘川芋117’‘378711.7’和‘郑薯5号’的单株平均产量高于300 g, 而在高钾水平下, 单株产量高于300 g的有9个品种, 其中‘S21’‘米拉’和‘黔芋6号’的平均单株产量在400 g以上。若以单株相对产量作为评价钾胁迫的敏感程度, 据此可知耐低钾能力最强的品系是‘C19’, 其次为‘华渝5号’‘丽薯6号’和‘郑薯5号’; 而对钾最敏感的品种是‘米拉’, ‘S21’‘S03-0452’和‘安龙5号’较敏感(表4)。

表2 马铃薯品种(系)钾吸收和利用差异

Table 2 Variation of potassium uptake and utilization efficiency in potato varieties (lines)

参数 Parameter		产量(g/株) Yield (g/plant)	植株含钾量 (g/株) Plant K content (g/plant)	块茎含钾量 (g/株) Tuber K content (g/plant)	钾素吸收效率 (%) Plant K uptake efficiency	钾素利用效率 (%) K utilization efficiency	钾素收获指数 (%) K harvest index
范围 Range	低钾 K75	65.00~515.00	0.14~1.95	0.46~3.46	48.59~268.83	8.48~27.13	30.84~92.22
	高钾 K300	50.00~630.00	0.03~1.86	0.54~5.73	9.49~95.83	6.73~25.02	44.69~96.73
平均数 Average	低钾 K75	219.58	0.75	1.52	136.12	17.20	66.98
	高钾 K300	262.42	0.61	1.90	37.57	17.91	75.19
变异系数 (%) CV	低钾 K75	42.59	60.84	48.73	40.69	20.23	49.70
	高钾 K300	53.01	65.47	55.01	48.02	22.40	46.65
均方 Mean squares	品种	**	**	**	**	**	**
	钾水平	**	**	**	**	*	**
	品种×钾水平	**	**	**	**	**	**

注: *表示0.05水平显著, **表示0.01水平显著。下同。

Note: * significance at the 0.05 level; ** significance at the 0.01 level. The same below.

表3 马铃薯钾素营养效率指标相关性

Table 3 Correlations between parameters related with potassium use efficiency in potato

参数 Parameter	钾水平 K level	产量 Yield	植株含钾量 Plant K content	块茎含钾量 Tuber K content	钾素总吸收量 Total K uptake	钾素吸收效率 Plant K uptake efficiency	钾素利用效率 Plant K utilization efficiency
植株含钾量 Plant K content	低钾 K75	0.205					
	高钾 K300	-0.028					
块茎含钾量 Tuber K content	低钾 K75	0.138	0.176				
	高钾 K300	-0.050	0.179				
钾素总吸收量 Total K uptake	低钾 K75	0.164	0.444**	0.823**			
	高钾 K300	-0.106	-0.668**	0.264*			
钾素吸收效率 Plant K uptake efficiency	低钾 K75	0.007	0.529**	0.205	0.256*		
	高钾 K300	0.047	0.208	0.300*	-0.568**		
钾素利用效率 Plant K utilization efficiency	低钾 K75	-0.025	-0.523**	0.118	-0.098	-0.081	
	高钾 K300	-0.170	0.410**	0.334**	-0.044	-0.072	
钾素收获指数 N harvest index	低钾 K75	-0.078	-0.755**	0.383**	0.039	-0.342**	0.650**
	高钾 K300	-0.019	-0.036	0.327*	-0.302*	0.913**	-0.191

2.4 不同马铃薯钾素营养效率的评价与聚类

以两个钾素水平的相对产量和低钾水平下马铃薯产量为聚类参数,通过双高效型、低钾高效型、高钾高效型和双低效型四分聚类法分析可知(图1),供试品种的钾素营养效率存在明显的基因型差异。其中,第一类高钾高效型,包括‘米拉’‘中薯19号’‘恩薯78-11’‘S03-0452’‘早大白’‘S21’‘安龙5号’‘049565’和‘2014X3-1’9个品种(系),在四种类型中占比最多;第二类为双低效型,分别是‘08CA0710’‘09307-830’‘B20-7’和‘凉薯2号’;第三类为双高效型,在4种类型中占比最少,仅有‘黔芋6号’‘川芋117’和‘378711.7’。第四类为低钾高效型,包括‘华渝5号’‘郑薯5号’‘丽薯6号’和‘C19’。

2.5 不同钾素营养效率马铃薯吸收和利用效率的差异

不同钾素营养效率类型品种其营养效率参数存在明显差异。在低钾水平和高钾水平下,由上述方法筛选的双高效型品种‘黔芋6号’‘378711.7’的产量、块茎钾积累量、钾素吸收效率均高于或

显著高于双低效品种‘08CA0710’‘09307-830’。从数值看,各类型马铃薯品种在低钾水平和高钾水平下植株钾积累量均低于块茎钾积累量,同时在低钾水平下的钾素吸收效率高于高钾水平下钾素吸收效率。但是双低效型品种在低钾水平下的钾素吸收效率低于或显著低于其他3种类型(表5)。

3 讨论

土壤中的大部分钾以固定或以结晶的形式存在,植物可利用的有效钾含量很低^[25]。同时土壤中其他组分也会限制钾的吸收,如高浓度的 Na^+ 和 NH_4^+ 可抑制根系对钾的吸收^[26-28],土壤含水量也影响植物对钾的获取。因此,在外界钾含量不足条件下,植物的生长发育显著受阻。本试验结果显示,供试马铃薯品种在不同钾素水平下的钾素吸收与利用效率等相关指标存在显著差异(表2),说明供试马铃薯品种在钾素营养利用方面存在较大遗传差异,这与其他作物在钾素吸收与利用方面相似^[10-17]。韩新爱等^[29]研究表明,在所有参试马铃薯品种中,有24个品种单株产量在低

表 4 不同施钾水平下马铃薯品种(系)产量差异

Table 4 Yield differences of potato varieties (lines) under different potassium application levels

品种(系) Variety (line)	低钾水平单株产量 (g/株) Yield at low K level (g/plant)	高钾水平单株产量 (g/株) Yield at high K level (g/plant)	单株相对产量 Relative yield per plant
378711.7	306.67 abc	278.33 abcd	110.18
049565	173.33 abc	246.67 abcd	70.27
08CA0710	100.00 bc	91.67 d	109.09
09307-830	96.67 c	80.00 d	120.83
2014X3-1	228.33 abc	335.00 abcd	68.16
B20-7	135.00 bc	133.33 bcd	101.25
C19	226.67 abc	136.67 bcd	165.85
S03-0452	193.33 abc	393.33 ab	49.15
S21	203.33 abc	420.00 a	48.41
安龙5号 Anlong 5	230.00 abc	393.33 ab	58.47
川芋117 Chuanyu 117	321.67 ab	301.67 abcd	106.63
恩薯78-11 Enshu 78-11	183.33 abc	246.67 abcd	74.32
华渝5号 Huayu 5	273.33 abc	178.33 abcd	153.27
丽薯6号 Lishu 6	211.67 abc	141.67 bcd	149.41
凉薯2号 Liangshu 2	135.00 bc	100.00 cd	135.00
米拉 Mira	195.00 abc	423.33 a	46.06
黔芋6号 Qianyu 6	368.33 a	411.67 a	89.47
早大白 Zaodabai	266.67 abc	361.67 abc	73.73
郑薯5号 Zhengshu 5	301.67 abc	206.67 abcd	145.97
中薯19号 Zhongshu 19	241.67 abc	368.33 ab	65.61

注：同列数据采用Duncan多重比较，不同小写字母表示差异在0.05显著水平。下同。

Note: Values followed by lowercase letter within each column are significantly different at 0.05 level as tested using Duncan's multiple range test method. The same below.

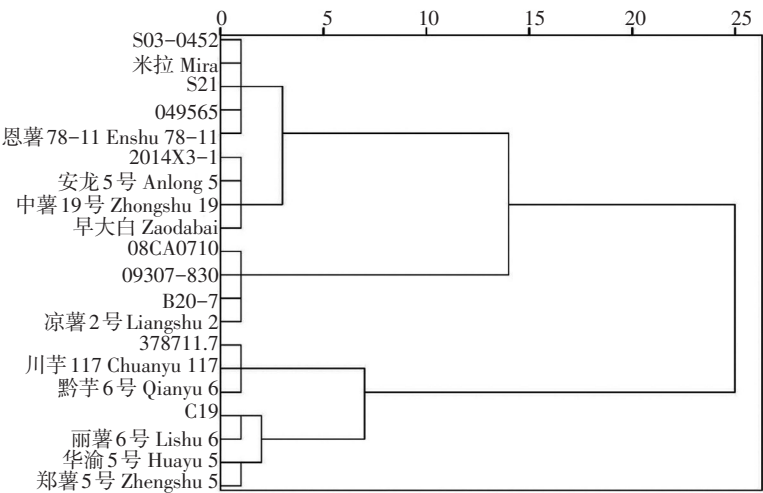


图 1 不同基因型马铃薯钾素营养效率的聚类分析

Figure 1 Cluster analysis of potassium nutrient efficiency in different potato genotypes

表5 不同钾素类型马铃薯品种(系)对钾素吸收和利用的差异

Table 5 Variation of K uptake efficiency and K utilization efficiency in different K utilization efficiency types of potato varieties (lines)

类型 Type	品种(系) Variety (line)	产量 Yield		植株钾积累量 Plant K accumulation		块茎钾积累量 Tuber K accumulation		钾素吸收效率 K uptake efficiency		钾素利用效率 K utilization efficiency	
		低钾 Low K level	高钾 High K level	低钾 Low K level	高钾 High K level	低钾 Low K level	高钾 High K level	低钾 Low K level	高钾 High K level	低钾 Low K level	高钾 High K level
双高效型 Efficient-efficient	黔芋6号	368.33 a	411.67 a	1.10 ab	0.71 b	2.38 a	2.28 ab	208.79 a	44.77 ab	16.67 a	21.98 ab
	378711.7	306.67 ab	278.33 bc	0.74 abc	0.45 bc	1.74 a	1.79 cd	148.38 ab	33.51 bc	21.39 a	21.15 ab
低钾高效型 Efficient-inefficient	华渝5号	273.33 ab	178.33 cd	0.39 c	0.22 c	2.15 a	1.16 de	152.18 ab	20.69 cd	19.11 a	20.44 ab
	丽薯6号	211.67 ab	141.67 d	0.61 bc	0.16 c	1.16 a	0.82 e	105.93 ab	14.71 c	17.09 a	20.69 ab
高钾高效型 Inefficient-efficient	S21	203.33 ab	420.00 a	0.54 bc	1.14 a	1.29 a	2.74 a	109.45 ab	58.24 a	18.84 a	18.25 b
	中薯19号	241.67 ab	368.33 ab	1.40 a	0.75 ab	1.91 a	2.52 ab	198.87 a	49.02 a	15.43 a	23.12 a
双低效型 Inefficient-inefficient	08CA0710	100.00 b	91.67 d	0.20 c	0.13 c	0.75 a	0.61 e	57.14 b	11.17 c	18.59 a	20.07 ab
	09307-830	96.67 b	80.00 d	0.27 c	0.46 bc	0.63 a	0.86 e	54.08 b	19.77 cd	22.30 a	11.17 c

钾胁迫一定程度下降低。本研究表明, 供试的20个马铃薯品种中有10个品种在低钾胁迫下的单株产量有不同程度的下降, 与韩新爱等^[29]研究结果基本一致。变异系数是衡量某一性状指标是否可以作为筛选评价的标准, 变异程度越大则说明指标的灵敏度越高^[30]。本研究表明, 两个钾素水平下的产量(CV_{K75} 42.59%和CV_{K300} 53.01%)、植株含钾量(CV_{K75} 60.84%和CV_{K300} 65.47%)、块茎含钾量(CV_{K75} 48.73%和CV_{K300} 55.01%)、钾素吸收效率(CV_{K75} 40.69%和CV_{K300} 48.02%)、钾素收获指数(CV_{K75} 49.70%和CV_{K300} 46.65%)在品种间均存在很大差异, 其中产量又是作物生产最终结果的体现, 因此产量可以作为马铃薯钾素效率评价的首选指标。但马铃薯钾高效的生理机制尚不清楚, 有待进一步深入研究。

前人对多种作物钾效率进行了研究, 但由于没有统一的钾效率定义和评价方法, 所以导致结论差异很大^[31]。选择适合钾胁迫强度、时期及鉴定方法是评价马铃薯耐低钾性的关键。本试验以两个钾素水平下的相对产量和低钾水平下马铃薯产量进行聚类分析, 对马铃薯品种的钾

素营养效率进行分类, 将20个马铃薯品种分为四类, 即高钾高效型、低钾高效型、双高效型和双低效型。刘芳等^[18]依据低钾胁迫下的单株鲜重钾素经济利用效率及相对单株鲜重和相对钾素经济利用效率对7个品种的耐低钾能力进行聚类分析, 结果表明‘米拉’在低钾胁迫下产量显著降低并被归类为中间型耐钾品种, 结果尽管有相似之处, 但在类型的命名方面有一定的差异。可见, 筛选钾素营养效率的评价方法不同, 结果也不同。此外, 筛选压力也对结果会有影响, 施钾量过高或过低即筛选压力过小或过大, 尽管不同基因型耐受与敏感程度不一样, 但最终表现为可能因不同品种表型差异较小, 进而影响筛选的准确性。因此, 建立有效的筛选技术体系进行广泛的种质资源筛选以获得理想的基因型材料是研究的关键所在。

[参 考 文 献]

- [1] Nieves-Cordones M, Martínez-Cordero M A, Martínez V, *et al.* An NH₄⁺-sensitive component dominates high-affinity K⁺ uptake in tomato plants [J]. Plant Science, 2007, 172(2): 273-280.

- [2] Hastings, D F, Gutknecht J. Potassium and turgor pressure in plants [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1978, 73(2): 363–366.
- [3] Amtmann A, Hammond J P, Armengaud P, *et al.* Nutrient sensing and signalling in plants: potassium and phosphorus [J]. *Advances in Botanical Research*, 2005, 43: 209–257.
- [4] Schachtman D P, Shin R. Nutrient sensing and signaling: NPKS [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2007, 58(1): 47–69.
- [5] Clarkson D T, Hanson J B. The mineral nutrition of higher plants [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1980, 31(1): 239–298.
- [6] 关佳晨, 蔡海龙. 我国马铃薯生产格局变化特征及原因分析 [J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(3): 97–105.
- [7] 大崎玄佐雄, 滕丽雅. 马铃薯的生理营养与施肥 [J]. *中国马铃薯*, 1988, 2(1): 53–60.
- [8] 殷文, 孙春明, 马晓燕, 等. 钾肥不同用量对马铃薯产量及品质的效应 [J]. *土壤肥料*, 2005(4): 44–47.
- [9] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国化肥区划 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1986.
- [10] 刘亨官, 刘振兴, 刘放新. 水稻耐低钾品种(系)鉴定筛选及其吸钾特性的研究 [J]. *福建省农科院学报*, 1987(2): 10–17.
- [11] 安林昇, 倪晋山, 李共福. 耐低钾水稻的钾营养特性 [J]. *植物生理学通讯*, 1995, 31(4): 257–259.
- [12] 李共福, 谢少平. 水稻耐低钾能力及其鉴定法研究 [J]. *作物研究*, 1991, 5(1): 4–9.
- [13] 王旭东, 于振文, 王东. 钾对小麦茎和叶鞘碳水化合物含量及子粒淀粉积累的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(1): 57–62.
- [14] 邹春琴, 李振声, 李继云. 钾利用效率不同的小麦品种各生育期钾营养特点 [J]. *中国农业科学*, 2002(3): 340–344.
- [15] 韩燕来, 刘新红, 王宜伦, 等. 不同小麦品种钾素营养特性的差异 [J]. *麦类作物学报*, 2006, 26(1): 99–103.
- [16] 史振声. 不同施钾量对甜玉米茎秆含糖量的影响 [J]. *沈阳农业大学学报*, 1995, 26(1): 18–21.
- [17] 杨宇虹, 晋艳, 黄建国, 等. 长期施肥对植烟土壤微生物的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(5): 1186–1193.
- [18] 刘芳, 胡延玉, 倪苏, 等. 马铃薯品种对低钾胁迫的反应存在基因型差异 [C]//陈伊里, 屈冬玉. 马铃薯产业与东北振兴. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2005.
- [19] 赵春波, 宋述尧, 赵靖, 等. 北方地区不同黄瓜品种氮素吸收与利用效率的差异 [J]. *中国农业科学*, 2015, 48(8): 1569–1578.
- [20] 张雄. 原子吸收分光光度计测定土壤速效钾 [J]. *南方农业*, 2018, 12(35): 112, 114.
- [21] George M S, Lu G, Zhou W. Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) [J]. *Field Crops Research*, 2002, 77(1): 7–15.
- [22] Wang J D, Hou P, Zhu G P, *et al.* Potassium partitioning and redistribution as a function of K-use efficiency under K deficiency in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) [J]. *Field Crops Research*, 2017, 211: 147–154.
- [23] Siddiqi M Y, Glass A D M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1981, 4(3): 289–302.
- [24] 唐忠厚, 张允刚, 魏猛, 等. 耐低钾和钾高效型甘薯品种(系)的筛选及评价指标 [J]. *作物学报*, 2014, 40(3): 542–549.
- [25] Ashley M K, Grant M, Grabov A. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2006, 57(2): 425–436.
- [26] Qi Z, Spalding E P. Protection of plasma membrane K⁺ transport by the salt overly sensitive1 Na⁺-H⁺ antiporter during salinity stress [J]. *Plant Physiology*, 2004, 136(1): 2548–2555.
- [27] Chen G, Hu Q, Luo L E, *et al.* Rice potassium transporter OsHAK1 is essential for maintaining potassium-mediated growth and functions in salt tolerance over low and high potassium concentration ranges [J]. *Plant, Cell and Environment*, 2015, 38(12): 2747–2765.
- [28] Yang T, Zhang S, Hu Y, *et al.* The role of a potassium transporter OsHAK5 in potassium acquisition and transport from roots to shoots in rice at low potassium supply levels [J]. *Plant Physiology*, 2014, 166(2): 945–959.
- [29] 韩新爱, 杨先泉, 杨世民, 等. 不同马铃薯品种(系)钾营养特性的差异 [J]. *四川农业大学学报*, 2007, 25(4): 392–396.
- [30] 田晓莉, 王刚卫, 朱睿, 等. 棉花耐低钾基因型筛选条件和指标的研究 [J]. *作物学报*, 2008, 34(8): 1435–1443.
- [31] Clark R B, Duncan R R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding [J]. *Field Crops Research*, 1991, 27(3): 219–240.