

马铃薯钾素的吸收、积累和分配规律

刘克礼¹, 张宝林², 高聚林¹, 盛晋华¹

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古师范大学, 呼和浩特 010021)

摘要: 马铃薯各器官中钾素 (K₂O) 浓度始终以茎秆中最高, 表明作为运输器官的地上茎需要更多的钾离子。马铃薯对钾素 (K₂O) 的吸收速率呈双峰曲线变化, 峰值分别出现在块茎增长初期和淀粉积累期, 且以淀粉积累期的吸收速率为最高, 这与块茎的生育代谢规律一致。降低密度、增施氮、磷、钾肥可提高各器官中钾的含量和钾的积累量, 尤其是增施磷肥。马铃薯钾素 (K₂O) 积累量在淀粉积累期达到峰值, 在块茎形成期以前, 叶片中钾素 (K₂O) 的分配率最高; 块茎形成后, 地上茎中的 K₂O 的分配率始终高于叶片, 这有利于保持地上茎的高效运输、直立与抗性; 块茎形成后, K₂O 的分配率逐渐增加, 对于块茎体积的增长和淀粉的积累具有重要意义。

关键词: 马铃薯; 钾; 吸收; 积累; 分配

中图分类号: S532

文献标识码: A

文章编号: 1672-3635 (2003) 04-204-05

1 前言

马铃薯是需钾较多作物。钾不仅影响马铃薯叶的伸展、叶片的叶绿素含量和光合效率以及叶片的兴衰, 还可影响光合产物的运输、块茎中淀粉的积累以及产量的高低^[1,2]。因此, 钾素营养对于马铃薯生产具有重要作用。本文系统地研究了马铃薯钾的吸收、积累和分配规律, 可做为马铃薯的高产优化栽培钾素施用的参考。

2 材料与方法

2.1 供试品种

本试验以脱毒薯底西芮 (Desiree) 为试验材料。

2.2 试验地点

本试验于 1996~1997 年在内蒙古农业大学教学农场进行, 土壤为壤土, 耕作层 0~20 cm 土壤有机质含量为 2.38%, 全氮量为 0.132%, 碱解氮为 104 mg/kg, 速效磷为 42 mg/kg, 速效钾为 151 mg/kg, pH 为 7.7。

2.3 试验设计

试验分别选取密度、施磷量、施钾量、种氮肥量及追氮量五项农艺措施作五因素三水平处理, 以未施肥区为对照, 共 12 个处理, 随机排列, 重复两次。试验处理及水平见表 1。

表 1 五因素试验处理及水平

处 理	密度 (株/667m ²)	施磷量 (P ₂ O ₅ kg/667m ²)	施钾量 (K ₂ O kg/667m ²)	种氮肥量 (纯 N kg/667m ²)	追氮量 (纯 N kg/667m ²)
高密度	6500	10	8	4	2
低密度	2500	10	8	4	2
高施磷	4500	20	8	4	2
未施磷	4500	0	8	4	2
高施钾	4500	10	16	4	2
未施钾	4500	10	0	4	2
高施种氮	4500	10	8	8	2
未施种氮	4500	10	8	0	2
高追氮	4500	10	8	4	4
未追氮	4500	10	8	4	0
因素中量(适 量)组合*	4500	10	8	4	2
未施肥(CK)	4500	0	0	0	0

* 根据前人和作者研究及高产栽培实践确定的适宜用量做为中量处理。

收稿日期: 2003-05-20

作者简介: 刘克礼 (1937-), 男, 教授, 主要从事作物生理生态及决策系统研究

每小区 15 行, 行距 50 cm, 小区面积 37.5 m², 每小区除去各二个边行外, 5 行留作测产, 6 行作为

取样区, 磷、钾及种氮肥在播种时一次性侧深施, 追肥于 6 月 24 日进行, 其它管理与大田相同。

2.3 取样及测定方法

在苗期、块茎形成期、块茎增长初期、块茎增长后期、淀粉积累期和成熟收获期分别取样, 带回室内洗净凉干, 分器官称取鲜重, 再取小样于 80 °C 下烘至恒重后称取干重, 分别计算全株干重、各器官干重。

采用火焰光度计法测定全钾^[3]。

3 结果与分析

3.1 不同密度与施肥量处理下马铃薯各器官钾 (K₂O) 的含量

马铃薯不同生育时期各器官钾浓度变化 (表 2, 图 1)。由表 2、图 1 可见, 地上茎中钾浓度始终高于叶片和块茎, 而块茎和叶片的钾浓度差异较

表 2 不同密度与施肥量处理下马铃薯各器官钾素 (K₂O) 含量的变化 (%干重基础)

器官	处理	苗期 (10)	块茎形成期 (19)	块茎增长初期 (35)	块茎增长后期 (55)	淀粉积累期 (75)	成熟期 (103)
叶片	高密度	5.359	5.376	4.382	2.779	3.644	1.890
	低密度	5.282	5.016	3.602	2.734	3.787	2.254
	高施磷	5.334	5.457	3.980	2.723	3.661	2.167
	未施磷	5.184	4.998	3.728	2.618	3.245	1.761
	高施钾	5.499	5.597	4.193	3.035	3.556	1.981
	未施钾	5.110	5.215	3.738	3.678	3.182	1.943
	高施种氮	5.397	5.334	3.913	2.909	3.444	2.146
	未施种氮	5.047	5.002	3.801	2.629	3.360	2.125
	高追氮	5.320	5.051	4.522	2.744	3.574	2.111
	未追氮	5.159	4.932	3.654	2.657	3.252	1.848
	因素中量 (适量) 组合	5.324	5.079	3.843	2.702	3.339	1.883
	未施肥 (CK)	5.012	4.809	3.560	2.524	3.052	1.677
地上茎	高密度	8.974	10.021	7.567	3.784	3.829	2.527
	低密度	8.390	8.915	7.060	4.169	4.435	2.951
	高施磷	8.817	10.199	7.956	4.365	5.534	2.548
	未施磷	8.467	9.149	6.598	3.679	3.910	2.737
	高施钾	9.174	10.703	8.292	4.771	4.263	3.042
	未施钾	8.250	9.667	6.895	3.721	3.924	2.611
	高施种氮	8.782	9.954	7.448	4.260	4.179	3.119
	未施种氮	8.369	9.426	6.916	3.962	3.920	2.622
	高追氮	8.733	9.853	8.138	4.680	4.365	3.378
	未追氮	8.691	9.811	6.797	3.952	3.871	2.629
	因素中量 (适量) 组合	8.740	9.814	7.210	4.197	4.162	2.909
	未施肥 (CK)	8.488	8.589	6.465	3.644	3.794	2.405
块茎	高密度		5.205	3.773	3.269	2.573	1.974
	低密度		4.557	3.241	2.923	2.674	2.142
	高施磷		6.272	3.717	3.420	2.933	2.174
	未施磷		4.652	3.385	3.115	2.569	2.086
	高施钾		5.380	3.738	3.385	2.657	2.188
	未施钾		4.389	3.287	3.108	2.538	2.016
	高施种氮		5.348	3.483	3.339	2.685	2.034
	未施种氮		4.484	3.360	3.112	2.517	1.964
	高追氮		5.075	3.399	3.581	2.755	2.230
	未追氮		5.065	3.374	3.164	2.520	2.244
	因素中量 (适量) 组合		5.065	3.406	3.217	2.587	2.048
	未施肥 (CK)		4.365	3.220	2.881	2.457	1.960

注: 表头中括弧内数字为出苗后天数 (下同)

小。叶片中的钾浓度以苗期最高, 此后持续下降, 到淀粉积累期又有所回升; 地上茎的钾浓度以块茎形成期为最高, 其后持续下降; 而块茎中的钾浓度以其形成始期为最高, 以后持续下降直至收获。

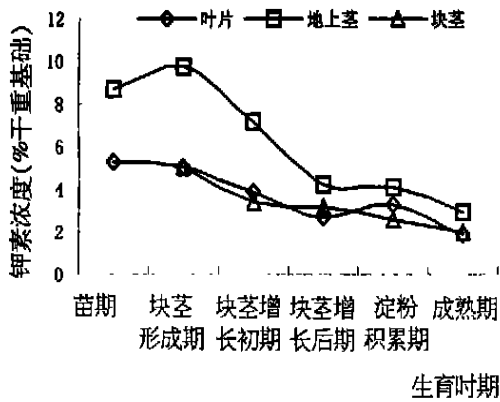


图1 因素中量组合处理下马铃薯不同器官内钾素浓度的变化

高密度群体, 生育早期各器官中钾含量较高, 而低密群体生育后期各器官中钾含量较高。适量施用氮、磷、钾肥可提高各器官中钾的含量, 尤其是增施钾肥, 可明显提高茎叶中钾的含量。

3.2 不同密度与施肥处理下马铃薯钾素 (K₂O) 吸收速率的变化

由表3、图2可见, 马铃薯对钾素 (K₂O) 的吸收速率呈双峰曲线变化, 峰值分别出现在块茎增

长初期和淀粉积累初期, 且以淀粉积累初期的峰值为最高, 淀粉积累期以后, 钾 (K₂O) 的吸收速率迅速下降, 直至成熟期。钾在马铃薯植株体内与光合产物的运输密切相关, 在块茎增长初期和淀粉积累期均有大量的光合产物转运到块茎中, 供块茎的建成和贮藏物质的积累; 特别是淀粉积累期, 钾离子能激活淀粉合成酶, 因而植株对钾的吸收速率最高。不同密度和施肥处理下, 低密群体由于个体拥有较大的营养面积, 因而吸收速率较高, 增施氮、磷、钾肥也提高了马铃薯对钾的吸收。在因素中量组合处理下, 马铃薯对钾素 (K₂O) 的最高吸收速率可达 149.73 mg/株·d, 峰值出现在出苗后 75 d 左右。

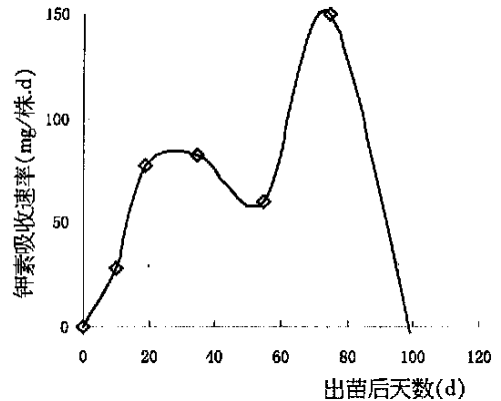


图2 因素中量组合处理下马铃薯钾素吸收速率的变化

表3 不同施肥与密度处理下马铃薯 K₂O 吸收速率的变化 (mg/株·d)

处 理	苗期 (0~10)	苗期~ 块茎形成期 (11~19)	块茎形成期~ 块茎增长初期 (20~35)	块茎增长初期~ 块茎增长后期 (36~55)	块茎增长后期~ 淀粉积累期 (56~75)	淀粉积累期~ 成熟期 (76~103)
高密度	28.39	82.04	79.94	55.20	123.55	-31.25
低密度	30.42	98.46	166.04	103.32	275.42	-106.89
高施磷	33.85	77.49	117.39	61.74	180.95	-5.79
未施磷	29.30	60.80	77.98	55.06	116.80	-12.89
高施钾	28.42	79.00	115.57	87.64	154.56	-26.64
未施钾	25.10	70.53	77.14	51.38	135.98	-25.75
高施种氮	21.63	77.60	103.67	82.46	136.15	-15.50
未施种氮	22.93	69.16	75.36	56.70	152.36	-14.75
高追氮	25.34	74.20	91.98	81.45	80.89	-24.00
未追氮	25.24	66.78	80.75	58.84	116.59	-25.00
因素中量 (适量) 组合	28.18	77.14	82.95	60.66	149.73	-27.89
未施肥 (CK)	17.08	59.61	68.57	47.78	81.55	-8.25

3.3 不同施肥与密度处理下马铃薯钾素 (K₂O) 积累量的动态变化

由表 4、图 3 可见, 马铃薯植株钾素的积累量, 在苗期至块茎形成期增长缓慢, 从块茎形成到淀粉积累期增长较快, 并在淀粉积累期达到峰值, 此后钾素随着叶片的衰老、脱落而流失, 使其积累量下降。

随密度的增大, 马铃薯钾素的积累量呈递减的趋势。增施氮、磷、钾肥, 马铃薯体内钾素的积累量均有所增加, 尤其是增施磷肥, 明显提高生长早期马铃薯植株体内钾素的积累量。在因素中量组合处理下, 马铃薯植株体内钾素的积累量 (Y) 与出苗后天数 (X) 关系符合三次曲线变化 (图 3)。

表 4 不同施肥与密度处理下马铃薯 K₂O 积累量的动态变化 (mg/株)

处 理	苗期 (10)	块茎形成期 (19)	块茎增长初期 (35)	块茎增长后期 (55)	淀粉积累期 (75)	成熟期 (103)
高密度	254	1022	2303	3238	5709	4834
低密度	305	1190	3847	5915	11421	8428
高施磷	340	1036	2916	4148	7768	7606
未施磷	294	840	2090	3189	5527	5166
高施钾	200	837	2685	4438	7277	6531
未施钾	210	921	2310	3168	5887	5166
高施种氮	217	823	2482	4134	6857	6423
未施种氮	228	928	1932	3486	5103	4690
高追氮	252	921	2394	4022	6899	6227
未追氮	252	854	2212	3476	5807	5107
因素中量 (适量) 组合	326	1057	2384	3511	6507	5726
未施肥 (CK)	256	791	1890	3098	4729	4498

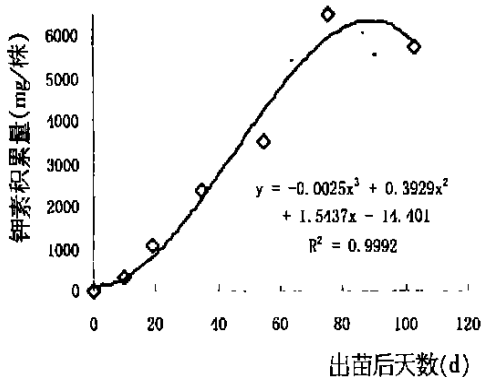


图 3 因素中量组合处理下马铃薯钾素积累量的变化

在因素中量组合处理下, 马铃薯单产最高为 3060 kg/667m², 因而每生产 500 kg 块茎需吸收钾素 (K₂O) 4.10 kg。

3.4 在适宜栽培条件下钾素 (K₂O) 在马铃薯各器官的分配

随着马铃薯生育进程的推移, 马铃薯吸收的钾素在各器官内的分配不断地发生变化 (表 5、图 4)。

钾素在叶片中的分配率以苗期为最高, 此时约 65% 左右的钾素分配到叶片, 之后随着生育期的推移, 不断地下降。到成熟期, 由于叶片的衰老和脱落, 只有 4% 左右的 K₂O 滞留在叶片中。地上茎中钾素分配率在整个生育期间的变化呈单峰曲线变化: 苗期至块茎增长初期, 钾素的分配率呈上升趋势, 到块茎增长初期达到峰值, 此后又逐渐下降。块茎形成以后, 钾素在块茎中的分配率一直呈上升趋势, 说明有大量的钾素运到块茎中用于块茎的生长和淀粉的合成, 到成熟期, 68% 的钾素 (K₂O) 转移到块茎中。

表 5 在适宜 (中量组合) 栽培条件下钾素在马铃薯各器官的分配 (%)

器官	苗期 (10)	块茎形成期 (19)	块茎增长初期 (35)	块茎增长后期 (55)	淀粉积累期 (75)	成熟期 (103)
叶片	65.76	44.45	32.22	21.75	16.63	4.34
地上茎	34.24	44.21	59.73	47.77	40.72	27.48
块茎		11.34	8.05	29.47	39.65	68.18

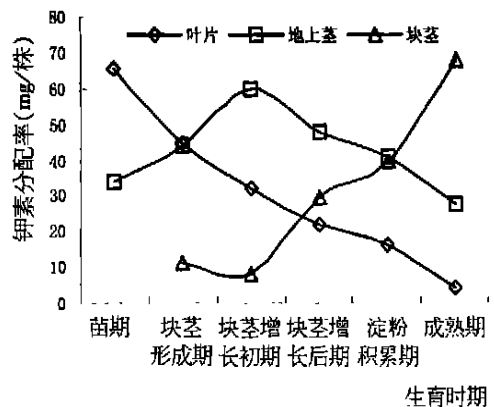


图 4 因素中量组合处理下马铃薯钾素分配率的变化

4 结论与讨论

a. 马铃薯植株钾素浓度始终以茎秆中最高, 这是作为运输器官的地上茎需要更多的钾离子, 以促进光合产物的运输和保持地上茎的直立与抗性。降低密度、增施氮、磷、钾肥可提高各器官中钾的含量, 尤其是增施钾肥, 可明显提高茎叶中的钾的浓度。

b. 马铃薯对钾素的吸收速率呈双峰曲线变化, 峰值分别出现在块茎增长初期和淀粉积累初期, 且以淀粉积累初期的峰值为最高。马铃薯对钾素吸收速率的变化与块茎的新陈代谢一致, 因钾在马铃薯植株体内与光合产物的运输密切相关, 在块茎增长初期和淀粉积累期均有大量的光合产物运输到块茎中, 供块茎的建成和贮藏物质的积累; 特别是淀粉积累期, 钾离子能激活淀粉合成酶, 因而植株对钾的吸收速率最高。

c. 马铃薯钾素积累量在苗期至块茎形成期缓慢增长, 块茎形成到淀粉积累期增长较快, 并在淀粉积累期达到峰值, 此后随着叶片的衰老、脱落, 钾素发生转移和流失, 使钾素的积累量有所下降。密度降低、增施氮、磷、钾肥, 马铃薯体内钾素的

积累量均有所增加, 尤其是增施磷肥, 明显提高生长早期马铃薯植株体内钾素的积累量。

d. 钾素在叶片中的分配率以苗期为最高, 此后随着生育期的推移, 不断地下降。地上茎中 K_2O 分配在整个生育期间呈单峰曲线变化, 峰值出现在块茎增长初期。块茎形成以后, 钾素在块茎的分配一直呈上升趋势, 说明大量的钾素运到块茎中用于块茎的建成与淀粉的合成, 到成熟期, 68% 的钾素转移到块茎中。

e. 在因素中量 (适量) 组合下, 马铃薯对钾素的最高吸收速率可达 $149.73 \text{ mg/株} \cdot \text{d}$, 峰值出现在出苗后 75 d 左右。马铃薯植株体内钾素的积累量与出苗后天数的关系符合三次曲线变化; 在适宜栽培条件下, 每生产 500 kg 块茎需吸收钾素 4.10 kg。

参 考 文 献

[1] [英] P. M. 哈里斯著, 蒋先明, 田玉丰, 赵越等译. 马铃薯改良的科学基础 [M]. 北京: 农业出版社, 1984, 155~185.
 [2] 严小龙, 张福锁著. 作物营养遗传学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997, 320~330.
 [3] 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990, 29~30.

THE PATTERNS OF POTASSIUM ABSORPTION, ACCUMULATION AND DISTRIBUTION IN POTATO

LIU Ke-li¹, ZHANG Bao-lin², GAO Ju-lin¹, SHENG Ji-hua¹

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;

2. Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010021, China)

ABSTRAT: The K_2O concentration in stems was highest among all of the organs, suggesting that the stems above ground functioned as the transportation organ and needed more potassium. The potassium absorption rate of potato was curvilinear with two peaks, which occurred at the tuber bulking and starch accumulation stage, respectively, with the maximum at the starch accumulation stage. This accorded with the tuber metabolism. Potassium concentration and accumulation can be improved by lowering plant density and increasing application of the nitrogen, potassium, and especially phosphorus fertilizers. Potassium accumulation reached the maximum at the starch accumulation stage. Potassium percentage in the leaves was higher before the tuber initiation stage. Afterwards, the potassium percentage in the above ground stems was higher than in the leaves, which benefit transportation, erection and disease resistance of the above ground stems. The potassium percentage in the tubers increased gradually after tuber formation, which have important meaning for increase in the tuber size and the accumulation of tuber starch.

KEY WORDS: potato; potassium; absorption; accumulation; distribution