

旱作马铃薯钾素的吸收、积累和分配规律

盛晋华¹, 刘克礼¹, 高聚林¹, 任珂², 隋启君², 姜波²

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018; 2. 呼盟农业科学研究所, 扎兰屯 021100)

摘要: 马铃薯各器官钾素浓度随生长发育进程均呈现递减变化, 且地上茎中钾素浓度始终高于叶片和块茎, 而块茎和叶片的钾素浓度差异较小。钾素 (K_2O) 的吸收速率呈单峰曲线变化, 在种植密度适宜、氮磷钾适量配施下, 最高吸收速率可达 $130.81 \text{ mg}/(\text{株}\cdot\text{d})$, 峰值出现在出苗后 47 d 左右; 钾素 (K_2O) 积累量随生长发育进程呈三次曲线变化, 在优化栽培条件下, 每生产 500 kg 块茎需吸收钾素 (K_2O) 4.49 kg; 成熟期钾素在叶片、地上茎、块茎中的分配率分别为 $10\% \sim 20\%$ 、 $10\% \sim 20\%$ 、 $60\% \sim 70\%$ 。

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) 06-331-05

1 前言

马铃薯是需钾较多的作物, 传统的栽培缺乏钾肥施用技术, 已不适宜马铃薯高产高效栽培的要求。前人研究表明, 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。本文面向我区马铃薯旱作主产区, 系统地研究了旱作条件下, 马铃薯对钾素的吸收、积累和分配规律, 旨在旱作马铃薯的高产优化栽培提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 试验地点

试验于 1997~1998 年在内蒙古扎兰屯市呼盟农科所试验地进行。土壤为黑钙土, 耕层 0~20 cm 有机质含量 4.68%, 碱解氮 211 mg/kg 土, 速效磷 22.2 mg/kg 土, 速效钾 129.1 mg/kg 土, pH

值 6.16。播前施腐熟羊粪肥 $1.5 \text{ t}/667 \text{ m}^2$ 。

2.2 供试品种

本试验以脱毒薯克新 1 号为试验材料。

2.3 试验设计

试验分别选取施磷量、施钾量、施氮量、密度四项主要农艺栽培措施作五因素三水平处理, 以未施肥区为对照, 共 10 个处理, 两次重复, 随机区组排列, 实施方案的结构矩阵编码水平及实际值 (表 1)。行距 60 cm, 小区面积 100 m^2 , 垄作种植, 肥料在播种时 (4 月 29 日) 开沟一次性深施并与种薯分开, 6 月 4 日出苗。

表 1 试验处理变量值 ($\text{kg}/667 \text{ m}^2$, $\text{株}/667 \text{ m}^2$)

处理	施磷肥量 (纯 P_2O_5)	施钾肥量 (纯 K_2O)	施氮肥量 (纯 N)	密度 ($\times 10^4$)
高密度	10	15	6	6500
低密度	10	15	6	2500
高施磷量	20	15	6	4000
未施磷肥	0	15	6	4000
高施钾量	10	30	6	4000
未施钾肥	10	0	6	4000
高施氮量	10	15	12	4000
未施氮肥	10	15	0	4000
因素中量组合	10	15	6	4000
未施肥 (CK)	0	0	0	4000

收稿日期: 2003-04-20

基金项目: 内蒙古自治区科技厅“九五”重大科技攻关项目 (960101)

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

2.4 取样测定方法

取样时间: 在马铃薯生育期间, 分别在幼苗期(6月13日)、块茎形成期(6月24日)、块茎增长始期(7月4日)、块茎增长长期(7月14日)、块茎快速增长长期(7月28日)、淀粉积累期(8月16日)和成熟期(9月10日)取样7次。

样品处理方法: 每次每小区取5株, 将植株按器官分别处理, 分为叶片、地上茎、块茎称鲜重, 定量留取小样, 烘干称重, 然后粉碎, 供分析测定。

植株氮、磷、钾含量测定采用浓硫酸苯酚-H₂O₂ 消煮法提取, 用火焰光度计法测定全钾。

3 结果与分析

3.1 马铃薯各器官钾(K₂O)的含量

不同密度与施肥量处理下, 马铃薯生育期间各器官钾素浓度变化(表2, 图1)。

由表2、图1可见, 不同密度与施肥量处理下, 马铃薯各器官钾素浓度随生长发育进程均呈现递减变化, 且地上茎中钾素浓度始终高于叶片和块茎, 而块茎和叶片的钾素浓度差异较小。高密度群体, 叶片和块茎中钾素含量在生育早期较高, 生育后期较低, 地上茎中钾素含量变化与此相反, 适量增施氮、磷、钾肥可提高各器官中钾素含量, 尤其是增施钾肥效果明显。因此, 在高产栽培条件下, 必须适量供应钾素, 以满足马铃薯生长发育对钾素的需求。

表2 不同密度与施肥量处理下马铃薯各器官钾(K₂O)的含量(‰干重基础)

处 理	出苗后天数 (d)						
	幼苗期 (9)	块茎形成期 (21)	块茎增长始期 (30)	块茎增长长期 (40)	块茎快速增长长期 (54)	淀粉积累期 (75)	成熟期 (98)
叶片							
高密度	5.59	4.89	3.75	3.54	2.33	1.82	1.56
低密度	5.05	4.31	4.00	3.85	2.67	2.08	1.76
高施磷量	5.22	4.40	4.11	3.81	2.49	1.99	1.74
未施磷肥	5.24	4.37	3.94	3.62	2.18	1.74	1.52
高施钾量	5.28	4.47	4.33	3.86	2.63	2.12	1.88
未施钾肥	5.37	4.24	3.90	3.61	2.59	2.09	1.86
高施氮量	5.26	4.23	3.79	3.30	2.29	1.86	1.67
未施氮肥	5.40	4.62	3.71	3.10	2.18	1.76	1.57
因素中量组合	5.33	4.52	3.86	3.69	2.59	2.09	1.85
未施肥 (CK)	4.97	4.22	4.01	3.53	2.31	1.84	1.62
地上茎							
高密度	9.56	7.56	7.05	6.25	4.02	2.43	1.25
低密度	10.61	7.74	7.02	5.24	3.26	2.10	1.27
高施磷量	10.43	7.60	7.11	5.59	3.08	2.11	1.45
未施磷肥	9.52	7.49	7.50	5.63	3.53	2.27	1.37
高施钾量	9.32	7.20	7.22	6.10	3.99	2.88	2.16
未施钾肥	9.88	6.97	6.34	5.19	2.77	2.05	1.61
高施氮量	11.04	7.23	6.54	5.14	2.76	2.08	1.68
未施氮肥	8.40	6.48	5.85	4.36	2.56	1.72	1.14
因素中量组合	9.57	7.56	7.46	6.49	4.34	2.86	1.83
未施肥 (CK)	9.49	7.29	6.41	5.10	3.46	2.42	1.52
块茎							
高密度		5.12	3.94	3.24	2.44	1.74	1.29
低密度		4.87	3.75	3.61	2.62	2.04	1.55
高施磷量		4.52	3.66	3.54	2.60	1.85	1.37
未施磷肥		4.41	3.38	3.55	2.64	1.94	1.29
高施钾量		5.41	3.99	3.43	2.50	1.69	1.14
未施钾肥		4.27	3.33	2.81	2.14	1.66	1.11
高施氮量		4.21	3.37	3.15	2.38	1.83	1.44
未施氮肥		4.41	3.35	3.06	2.11	1.60	1.31
因素中量组合		4.90	3.64	3.51	2.55	2.15	1.80
未施肥 (CK)		4.47	3.49	3.57	2.48	1.78	1.32

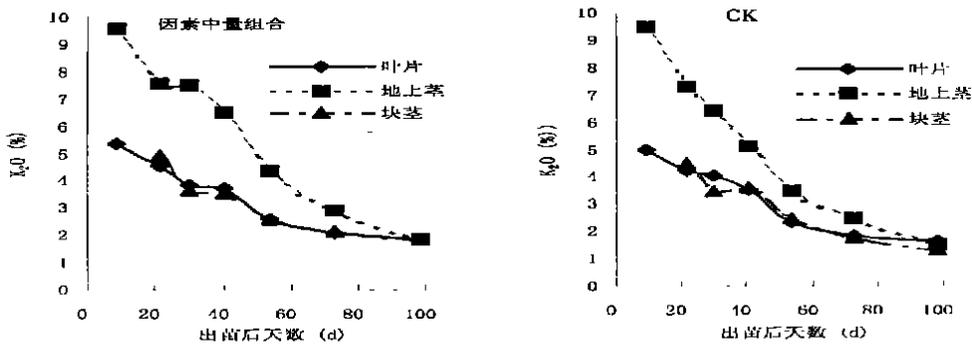


图1 马铃薯各器官钾素含量

3.2 马铃薯钾素(K₂O)吸收速率的变化

由表3及图2可见, 不同密度与施肥处理下, 马铃薯对钾素(K₂O)的吸收速率呈单峰曲线变

化, 峰值出现在块茎增长长期, 进入淀粉积累期后, 钾(K₂O)的吸收速率迅速下降, 至成熟期有一定量的钾素外渗并随叶片的脱落而出现“流失”。

马铃薯钾素 (K₂O) 吸收速率的变化与块茎的形成与代谢规律一致。因为钾在马铃薯植株体内与光合产物的运输相关, 在块茎增长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, 因而植株对钾的吸收速率最高。不同密度和施肥处理下, 随着密度增大个体营

养面积减少, 吸收速率降低, 适量增施氮、磷、钾肥提高了马铃薯对钾素的吸收速率。在种植密度适宜、氮磷钾适量配施下, 马铃薯对钾素 (K₂O) 的最高吸收速率可达 130.81 mg/(株·d), 峰值出现在出苗后 47 d 左右 ($y = -0.000055x^2 + 0.0052x + 0.0079$ $R^2 = 0.9671$)。

表 3 不同施肥与密度处理下马铃薯 K₂O 吸收速率的变化 g/(株·d)

处理	出苗后天数 (d)						
	幼苗期 (0~9)	块茎形成期 (10~21)	块茎增长始期 (21~30)	块茎增长期 (31~40)	块茎快速增长期 (41~54)	淀粉积累期 (55~75)	成熟期 (76~98)
高密度	0.0677	0.0586	0.0692	0.0980	0.1023	0.0100	-0.0342
低密度	0.0515	0.0819	0.1048	0.1475	0.1438	0.0557	-0.0515
高施磷量	0.0463	0.0775	0.1003	0.1197	0.1098	0.0582	-0.0454
未施磷肥	0.0607	0.0853	0.0998	0.1273	0.0942	0.0195	-0.0535
高施钾量	0.0637	0.0796	0.0913	0.1207	0.1207	0.0209	-0.0447
未施钾肥	0.0477	0.0701	0.0824	0.0936	0.1005	0.0423	-0.0409
高施氮量	0.0668	0.0658	0.0877	0.1088	0.0998	0.0550	-0.0316
未施氮肥	0.0542	0.0541	0.0693	0.0798	0.0814	0.0282	-0.0194
因素中量组合	0.0614	0.0799	0.0972	0.1314	0.1297	0.0753	-0.0394
未施肥 (CK)	0.0547	0.0602	0.0716	0.0922	0.0926	0.0239	-0.0301

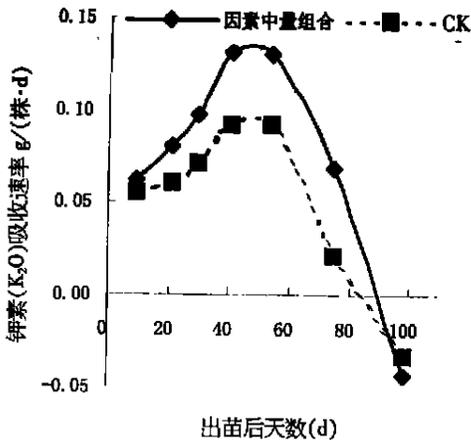


图 2 马铃薯钾素吸收速率变化

3.3 马铃薯钾素 (K₂O) 积累量的动态变化

不同施肥与密度处理下, 马铃薯钾素 (K₂O) 积累量的动态变化 (表 4、图 3)。

由表 4 及图 3 可见, 马铃薯植株钾素 (K₂O) 的积累量, 在幼苗期和块茎形成期因植株较小而积累量少, 从块茎增长期开始, 钾素积累量直线升高, 并在淀粉积累期达到峰值, 此后随着叶片的衰老、脱落, 发生 K₂O 的转移和流失, 使 K₂O 的积累量有所下降。

积累量呈递减的趋势。适量增施氮、磷、钾肥, 马铃薯植株钾素 (K₂O) 的积累量增加。在种植密度适宜、氮磷钾适量配施下, 马铃薯植株体内钾素 (K₂O) 的积累量 (y) 与出苗后天数 (x) 的关系符合三次曲线变化:

$$y = -0.00003x^3 + 0.0034x^2 - 0.0064x + 0.336$$

$$R^2 = 0.9995$$

根据测产结果, 马铃薯在适宜栽培条件下, 每生产 500 kg 块茎需吸收钾素 (K₂O) 4.49 kg。

表 4 不同施肥与密度处理下马铃薯 K₂O 积累量的动态变化 g/(株·d)

处理	出苗后天数 (d)						
	幼苗期 (9)	块茎形成 期 (21)	块茎增长 始期 (30)	块茎增长 期 (40)	块茎快速增 长期 (54)	淀粉积累 期 (75)	成熟期 (98)
高密度	0.61	1.25	1.95	2.93	4.36	4.55	3.69
低密度	0.46	1.36	2.41	3.89	5.90	6.96	5.66
高施磷量	0.42	1.27	2.27	3.47	5.01	6.11	4.97
未施磷肥	0.55	1.48	2.48	3.76	5.07	5.45	4.10
高施钾量	0.57	1.45	2.36	3.57	5.26	5.66	4.53
未施钾肥	0.43	1.20	2.02	2.96	4.37	5.17	4.14
高施氮量	0.60	1.33	2.20	3.29	4.69	5.73	4.93
未施氮肥	0.49	1.08	1.78	2.57	3.71	4.25	3.76
因素中量组合	0.55	1.43	2.40	3.72	5.53	6.96	5.97
未施肥 (CK)	0.49	1.15	1.87	2.79	4.09	4.54	3.78

随密度的增大, 马铃薯植株体钾素 (K₂O) 的

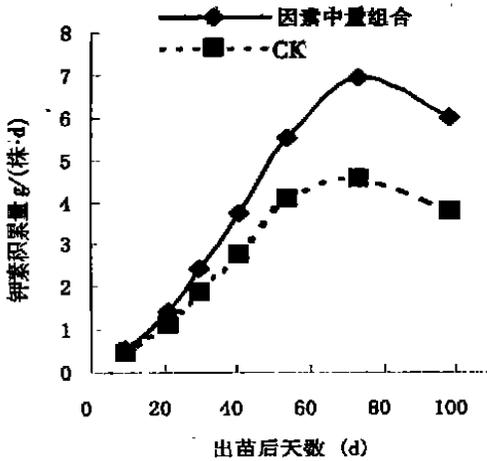


图 3 马铃薯钾素 (K₂O) 积累量变化

3.4 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 (K₂O) 在各器官内的分配随生长中心的转移而

发生变化 (表 5、图 4)。

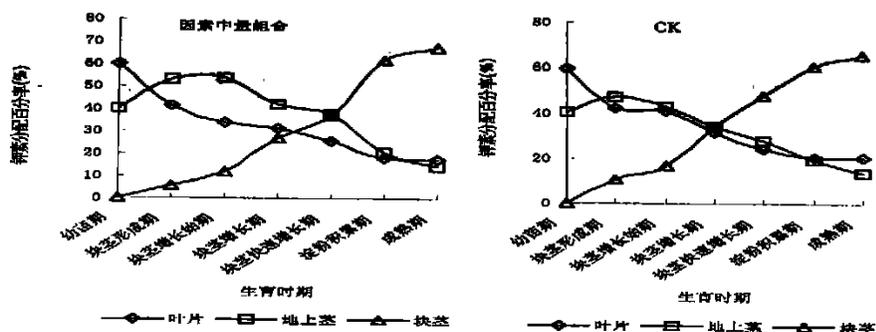
钾素在叶片中的分配率以幼苗期为最高, 其中 55%~60% 的钾素分配到叶片, 用于器官的迅速建成, 此后随着生育进程的推移, 不断地下降。成熟期, 由于叶片的衰老和脱落, 钾素在叶片中的分配率降低到 10%~20%, 整个生育期间钾素在地上茎中的分配率呈平缓的递减变化: 即从幼苗期的 40%~45% 缓慢下降到成熟期的 10%~20%, 块茎形成进入增长后期后, 钾素的分配率一直呈上升趋势, 大量的钾素转移到块茎中用于块茎的建成和贮存, 到成熟期, 大约有 60%~70% 的钾素最终贮存在块茎中。

随着种植密度的增加, 使生育后期钾素在叶片、地上茎中的分配率提高, 而块茎中的分配率降低, 氮磷钾肥适量配施有利于提高钾素在各器官中的分配率。

表 5 钾素在马铃薯各器官的分配

(%)

器官	处理	出苗后天数 (d)						
		幼苗期 (9)	块茎形成期 (21)	块茎增长始期 (30)	块茎增长后期 (40)	块茎快速增长期 (54)	淀粉积累期 (75)	成熟期 (98)
叶片	高密度	54.84	54.06	40.33	32.79	24.06	20.91	22.02
	低密度	60.83	50.80	40.65	32.89	25.90	18.52	18.80
	高施磷量	60.70	52.08	39.97	34.48	26.83	20.65	20.03
	未施磷肥	59.72	46.83	36.33	31.76	23.38	19.98	21.82
	高施钾量	58.27	44.65	41.13	31.98	25.38	20.10	22.44
	未施钾肥	62.52	53.29	39.69	34.81	28.14	22.40	24.26
	高施氮量	54.69	45.40	39.38	31.21	27.37	20.12	19.94
	未施氮肥	64.05	50.12	35.57	28.38	24.06	20.27	19.32
	因素中量组合	60.01	41.38	33.94	31.00	25.66	17.90	17.69
	未施肥 (CK)	59.54	42.38	40.84	31.89	24.05	20.25	20.72
地上茎	高密度	45.16	40.92	43.65	40.37	31.06	19.67	11.66
	低密度	39.17	46.02	50.40	34.40	27.73	15.70	11.21
	高施磷量	39.30	44.93	50.34	39.50	29.84	17.48	14.01
	未施磷肥	40.28	50.17	49.25	38.10	33.27	20.00	15.73
	高施钾量	41.73	49.22	47.90	38.77	29.81	21.50	21.04
	未施钾肥	37.48	43.33	41.63	36.57	24.68	16.64	17.02
	高施氮量	45.31	50.79	46.78	37.39	25.66	16.43	15.16
	未施氮肥	35.95	39.67	36.65	31.20	24.45	15.04	10.29
	因素中量组合	39.99	52.90	53.99	42.11	37.61	20.32	14.55
	未施肥 (CK)	40.46	47.32	42.72	34.10	28.19	18.94	13.38
地茎	高密度		5.02	16.02	26.85	44.87	59.42	66.32
	低密度		3.18	8.94	32.71	46.37	65.78	69.99
	高施磷量		2.99	9.69	26.02	43.33	61.87	65.96
	未施磷肥		3.00	14.41	30.14	43.34	60.02	62.45
	高施钾量		6.13	10.97	29.25	44.80	58.39	56.53
	未施钾肥		3.38	18.68	28.62	47.18	60.96	58.71
	高施氮量		3.81	13.84	31.39	46.97	63.44	64.90
	未施氮肥		10.21	27.78	40.41	51.48	64.70	70.40
	因素中量组合		5.71	12.07	26.89	36.73	61.78	67.76
	未施肥 (CK)		10.31	16.44	34.01	47.76	60.81	65.90

图4 钾素 (K_2O) 在马铃薯各器官的分配率

4 结 论

a. 马铃薯各器官钾素浓度随生长发育进程均呈现递减变化, 且地上茎中钾素浓度始终高于叶片和块茎, 而块茎和叶片的钾素浓度差异较小。高密度群体, 叶片和块茎中钾素含量在生育早期较高, 生育后期较低, 地上茎中钾素含量变化与此相反, 适量增施氮、磷、钾肥可提高各器官中钾素含量, 尤其是增施钾肥效果明显。

b. 马铃薯对钾素的吸收速率呈单峰曲线变化, 在种植密度适宜、氮磷钾适量配施下, 最高吸收速率可达 $130.81 \text{ mg}/(\text{株}\cdot\text{d})$, 峰值出现在出苗后 47 d 左右。马铃薯钾素积累量随生长发育进程呈三次曲线变化, 即在幼苗期和块茎形成期积累量较少; 从块茎增长期开始, 钾素积累量直线升高, 并在淀粉积累期达到峰值; 此后随着叶片的衰老、脱落, 发生 K_2O 的流失, 使 K_2O 的积累量有所下降。在

适宜栽培条件下, 每生产 500 kg 块茎需吸收钾素 4.49 kg。

c. 钾素在叶片中的分配率以苗期为最高 (55%~60%), 此后随着生育进程的推移, 不断地下降至成熟期的 10%~20%; 钾素在地上茎中整个生育期间呈递减变化, 即幼苗期的 40%~45% 缓慢下降到成熟期的 10%~20%; 块茎形成进入增长期后, 钾素的分配率一直呈上升趋势, 大量的钾素转移到块茎中, 用于块茎的建成和贮存, 到成熟期, 大约有 60%~70% 的钾素最终贮存在块茎中。

参 考 文 献

- [1] 哈里斯 P M. 马铃薯改良的科学基础 [M]. 蒋先明, 译. 北京: 农业出版社, 1984, 79—316.
- [2] 严小龙, 张福锁. 作物营养遗传学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997, 86—246.

POTASSIUM ABSORPTION, ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF POTATO UNDER DRY FARMING

SHENG Jin-hua¹, LIU Ke-li¹, GAO Ju-lin¹, REN Ke², SUI Qi-jun², JIANG Bo²

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

2. Hulunbeir Agricultural Science Institute, Zhalantun 021100, China)

ABSTRACT: Change of K content in organs of potato gradually reduced along with growth process. K content in above ground stems was higher than in leaves and tubers during growing stage, and the difference between tubers and leaves was not significant. Change of K (K_2O) absorption velocity of potato was a single-peak curve during all stages, and its peak emerged at about 47 days after emergence, the maximal absorption velocity almost being $130.81 \text{ mg}/\text{plant}\cdot\text{d}$ under reasoning density, and N, P, and K applications. Change of K (K_2O) accumulation was a cubic curve, and 4.49 kg K (K_2O) was required when 500 kg potatoes were produced under optimum cultivation. K distribution in leaves, above ground stems and tubers in maturing stage was 10%~20%, 10%~20%, and 60%~70%, respectively.

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