

旱作马铃薯磷素的吸收、积累和分配规律

高聚林¹, 刘克礼¹, 盛晋华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: 磷元素在植株体内的流动性较大, 磷营养水平与块茎膨大密切相关, 块茎是磷素的最终贮存库。叶片、地上茎、块茎中磷素浓度的变化幅度分别为 0.28%~0.51%、0.26%~0.58%、0.33%~0.49%, 成熟期磷素在叶片、地上茎、块茎中的分配率分别为 15%~20%、10%~15%、70%~75%。马铃薯对磷素的吸收速率在整个生育期间呈单峰曲线变化, 峰值出现在块茎快速增长期(出苗后 50 d 左右), 最高吸收速率可达 19.2 mg/(株·d), 每生产 500 kg 块茎需吸收磷素 0.80 kg。

关键词: 马铃薯; 磷; 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) 06-326-05

1 前言

马铃薯各器官中磷素的浓度、吸收速率及积累量均较小, 但缺磷会抑制侧芽的生长及叶片的伸展, 叶片生长的干物质向块茎中的分配减少, 磷过多则会加速叶片的衰老。磷在植株体内最易流动, 生育后期大量转移到块茎中。马铃薯对磷素的需求量虽少, 但磷素对其生长发育, 特别是光合源的建成影响较大, 研究马铃薯磷素营养的吸收、分配转移规律, 对实现高产优化栽培具有重要意义^[1~3]。本文面向我区马铃薯旱作主产区, 系统地研究了旱作马铃薯在整个生育期间, 磷素的吸收、积累、分配和转移情况, 旨在为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 0~20cm 有机质含量 4.68%, 碱解氮 211mg/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 t/667m²。

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 m², 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 (kg/667m², 株/667m²)

处理	施磷肥量 (纯 P ₂ O ₅)	施钾肥量 (纯 K ₂ O)	施氮肥量 (纯 N)	密度 (×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: 高聚林(1964-), 男, 教授、博士, 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, 采用钒钼黄比色法测全磷。

3 结果与分析

3.1 马铃薯各器官磷素浓度的变化

不同密度与施肥处理下马铃薯各器官磷素浓度的变化 (表2、图1)。

由表2、图1可见, 马铃薯叶片和块茎中磷浓度的变化均呈单峰曲线变化, 峰值均出现在块茎增长长期, 而地上茎呈逐渐下降趋势。叶片、地上茎、块茎中磷素浓度变化幅度分别 0.28%~0.51%、0.26%~0.58%、0.33%~0.49%。保证块茎增长长期磷素的供应, 是使马铃薯群体具有良好的发展动态和获得高产的前提。

不同密度与施肥处理对马铃薯各器官磷素浓度有一定的影响。在种植密度适宜、氮磷钾适量配施下, 叶片和块茎在全生育期具有较高的磷浓度, 而地上茎中磷浓度居中, 块茎产量最高。

表2 不同密度与施肥处理下旱作马铃薯各器官内磷(P₂O₅)的含量的变化 (%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	0.32	0.44	0.45	0.49	0.44	0.46	0.32
低密度	0.35	0.43	0.44	0.48	0.45	0.41	0.28
高施磷量	0.36	0.40	0.41	0.45	0.45	0.41	0.30
未施磷肥	0.36	0.43	0.44	0.49	0.50	0.47	0.34
高施钾量	0.39	0.49	0.50	0.50	0.45	0.44	0.34
未施钾肥	0.33	0.41	0.42	0.46	0.46	0.44	0.34
高施氮量	0.36	0.47	0.48	0.51	0.51	0.50	0.39
未施氮肥	0.31	0.45	0.46	0.47	0.48	0.46	0.33
因素中量组合	0.36	0.46	0.47	0.46	0.48	0.45	0.35
未施肥 (CK)	0.31	0.40	0.41	0.43	0.45	0.47	0.36
地上茎							
高密度	0.46	0.39	0.40	0.43	0.37	0.38	0.28
低密度	0.52	0.43	0.44	0.44	0.43	0.42	0.33
高施磷量	0.56	0.45	0.46	0.50	0.45	0.46	0.35
未施磷肥	0.58	0.44	0.45	0.48	0.46	0.44	0.32
高施钾量	0.46	0.38	0.39	0.42	0.40	0.37	0.26
未施钾肥	0.53	0.48	0.49	0.49	0.38	0.37	0.27
高施氮量	0.54	0.42	0.43	0.50	0.42	0.42	0.32
未施氮肥	0.52	0.48	0.49	0.45	0.41	0.41	0.29
因素中量组合	0.50	0.46	0.47	0.48	0.43	0.41	0.29
未施肥 (CK)	0.47	0.42	0.43	0.47	0.41	0.43	0.28
块茎							
高密度		0.35	0.36	0.42	0.42	0.39	0.33
低密度		0.33	0.34	0.40	0.43	0.41	0.40
高施磷量		0.34	0.35	0.42	0.42	0.39	0.35
未施磷肥		0.40	0.41	0.49	0.47	0.47	0.46
高施钾量		0.40	0.41	0.46	0.44	0.44	0.43
未施钾肥		0.42	0.43	0.49	0.45	0.42	0.38
高施氮量		0.38	0.39	0.44	0.44	0.42	0.38
未施氮肥		0.39	0.40	0.44	0.43	0.41	0.37
因素中量组合		0.42	0.43	0.49	0.48	0.43	0.40
未施肥 (CK)		0.34	0.35	0.43	0.42	0.43	0.37

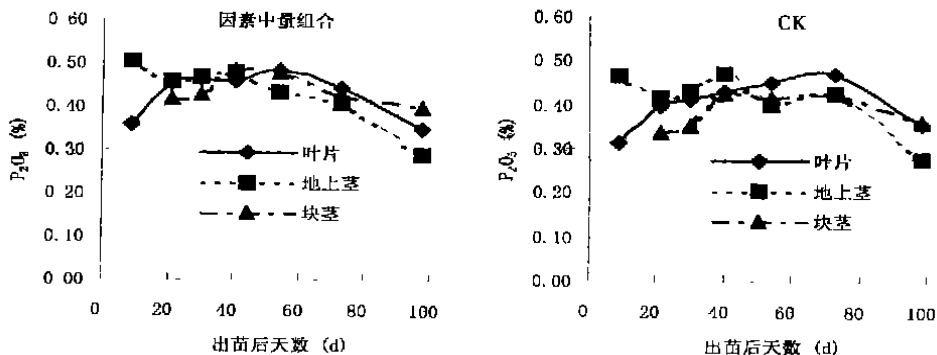


图1 旱作马铃薯不同器官内磷含量的变化

3.2 马铃薯磷 (P₂O₅) 吸收速率的变化

由表3、图2可见, 不同密度与施肥处理下, 马铃薯磷素 (P₂O₅) 吸收速率均呈单峰曲线变化,

峰值出现在块茎快速增长长期 (出苗后的41~54 d)。由此说明, 马铃薯对磷素 (P₂O₅) 的需求量虽低, 但幼苗的生长发育、块茎的形成、块茎体积的增长

乃至淀粉的积累都需吸收一定量的磷素。低密群体中, 由于个体拥有较大的营养面积, 个体生长量较大, 生长势较强, 对 P_2O_5 的吸收速率远远高于高密群体, 增施氮、磷、钾肥, 在增加马铃薯植株体内 P_2O_5 的浓度的同时, 也提高了马铃薯对 P_2O_5 的吸收速率。

在种植密度适宜、氮磷钾适量配施 (因素中量组合) 条件下, 马铃薯植株个体对 P_2O_5 的吸收速率 (y) 与出苗后天数 (x) 的关系符合二次曲线, 其方程为: $y = -0.000012x^2 + 0.0012x - 0.0108$ $R^2 = 0.773^{**}$, 磷素 (P_2O_5) 的最大吸收速率为 $19.2 \text{ mg}/(\text{株}\cdot\text{d})$, 峰值出现在出苗后 50 d 左右。

表 3 不同施肥与密度处理下马铃薯磷素 (P_2O_5) 吸收速率的变化 $\text{g}/(\text{株}\cdot\text{d})$

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	0.0036	0.0054	0.0080	0.0142	0.0246	0.0111	0.0051
低密度	0.0032	0.0071	0.0097	0.0207	0.0364	0.0233	0.0098
高施磷量	0.0029	0.0064	0.0090	0.0185	0.0315	0.0210	0.0084
未施磷肥	0.0040	0.0073	0.0102	0.0219	0.0317	0.0211	0.0087
高施钾量	0.0040	0.0071	0.0085	0.0186	0.0297	0.0221	0.0102
未施钾肥	0.0028	0.0069	0.0099	0.0180	0.0301	0.0170	0.0077
高施氮量	0.0040	0.0068	0.0103	0.0207	0.0325	0.0199	0.0077
未施氮肥	0.0032	0.0060	0.0098	0.0151	0.0276	0.0121	0.0061
因素中量组合	0.0038	0.0072	0.0102	0.0183	0.0327	0.0219	0.0087
未施肥 (CK)	0.0031	0.0053	0.0076	0.0148	0.0246	0.0110	0.0069

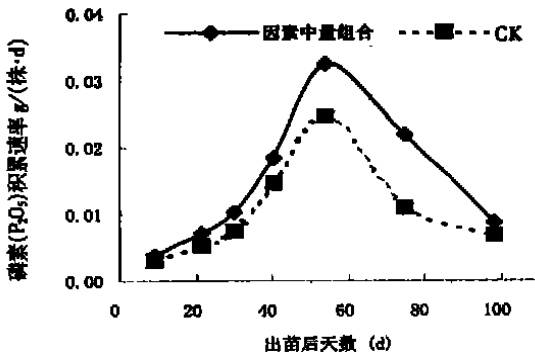


图 2 马铃薯磷素吸收速率变化

3.3 马铃薯磷素 (P_2O_5) 积累量的变化

不同密度与施肥处理下马铃薯磷素 (P_2O_5) 积累量的变化 (表 4、图 3)。

由表 4 可见, 马铃薯植株体内磷素 (P_2O_5) 积累量的变化, 在块茎增长长期 (出苗后 40 d) 之前增加缓慢, 进入块茎增长长期后直线增加, 在淀粉积累期达最高, 之后略有下降。在种植密度适宜、氮磷钾适量配施条件下, 马铃薯植株体内 P_2O_5 的积累量 (y) 与出苗后的天数 (x) 之间的关系符合三次曲线变化, 其回归方程为:

$$y = -0.000007x^3 + 0.001x^2 - 0.0232x + 0.1772, R^2 = 0.9967^{**}$$

表 4 不同施肥与密度处理下马铃薯磷素 (P_2O_5) 积累量的动态变化 $\text{g}/(\text{株}\cdot\text{d})$

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	0.0325	0.0921	0.1718	0.3136	0.6583	0.8853	0.8839
低密度	0.0286	0.1071	0.2042	0.4114	0.9213	1.3647	1.3535
高施磷量	0.0264	0.0966	0.1863	0.3710	0.8127	1.2111	1.1852
未施磷肥	0.0357	0.1164	0.2181	0.4375	0.8814	1.2828	1.2651
高施钾量	0.0362	0.1145	0.1993	0.3851	0.8004	1.2212	1.2501
未施钾肥	0.0253	0.1011	0.2002	0.3806	0.8020	1.1253	1.1405
高施氮量	0.0361	0.1109	0.2138	0.4212	0.8755	1.2537	1.2166
未施氮肥	0.0285	0.0944	0.1923	0.3434	0.7295	1.0123	0.9995
因素中量组合	0.0341	0.1129	0.2148	0.3980	0.8551	1.2718	1.2381
未施肥 (CK)	0.0283	0.0870	0.1633	0.3111	0.6561	0.9540	0.9596

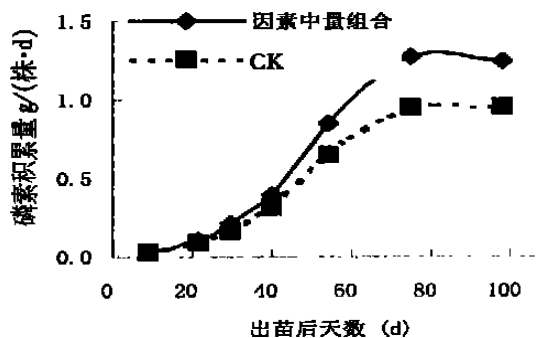


图 3 马铃薯磷素积累量变化

不同密度和施肥处理下, 马铃薯 P_2O_5 的积累量的变化, 随密度的降低而增加, 氮、磷、钾肥适量配施时, P_2O_5 的积累量增加。本试验结果表明, 马铃薯对磷的需求量较少。根据测产结果, 每生产 500 kg 块茎需吸收磷素 (P_2O_5) 0.80 kg。

3.4 磷素 (P_2O_5) 在马铃薯各器官内的分配

随着生育进程的推移, 马铃薯吸收的磷素在各器官内的分配也不断发生变化 (表 5、图 4)。

磷素在马铃薯各器官内的分配, 随着生长中心的转移而发生变化。磷素在叶片中的分配率以苗期为最高, 约 60%~70% 的磷素分配到叶片, 用于光合系统的迅速建成, 此后随着生育期的推移, 不

表 5 磷素 (P_2O_5) 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)	块茎增长长期 (40)	块茎快速增长期 (54)	淀粉积累期 (75)	成熟期 (98)	
地上茎	叶片	高密度	59.58	66.58	55.11	42.02	30.33	26.86	19.14
	叶片	低密度	68.68	64.94	53.19	38.78	27.70	18.75	12.58
	叶片	高施磷量	66.92	62.12	48.85	38.08	29.93	21.50	14.61
	叶片	未施磷肥	62.44	59.34	46.67	37.03	30.84	22.94	16.00
	叶片	高施钾量	67.65	61.59	55.94	38.73	28.72	19.08	14.48
	叶片	未施钾肥	65.70	60.94	43.15	34.48	27.09	21.50	15.97
	叶片	高施氮量	63.08	60.71	51.72	37.48	32.46	24.63	18.91
	叶片	未施氮肥	61.93	55.94	40.83	32.22	27.03	22.22	15.40
	叶片	因素中量组合	65.83	52.96	45.88	36.14	30.97	20.94	16.14
	叶片	未施肥 (CK)	65.36	53.39	48.04	35.14	29.25	24.66	18.19
	地上茎	高密度	40.42	28.74	28.20	25.80	18.82	15.78	10.80
	地上茎	低密度	31.32	32.32	37.14	27.35	23.35	15.96	12.24
	地上茎	高施磷量	33.08	34.92	39.76	32.81	27.19	19.05	14.00
	地上茎	未施磷肥	37.56	37.20	33.37	27.59	25.10	16.62	11.93
地茎	地上茎	高密度	32.35	32.68	30.66	24.81	19.65	12.98	9.15
	地上茎	低密度	34.30	35.09	32.26	27.03	18.37	13.80	10.45
	地上茎	高施磷量	36.92	35.18	31.72	28.33	20.82	15.06	11.52
	地上茎	未施磷肥	38.07	33.70	28.37	24.22	19.79	15.21	9.90
	地上茎	高施钾量	34.17	40.83	38.10	29.10	24.31	15.97	11.14
	地上茎	未施钾肥	34.64	36.21	32.91	28.33	20.59	15.83	9.68
	地上茎	高施氮量	4.67	16.69	16.69	32.17	50.85	57.36	70.06
	地上茎	未施氮肥	2.74	9.67	9.67	33.87	48.95	65.29	75.18
	地上茎	因素中量组合	2.96	11.39	11.39	29.11	42.88	59.45	71.39
	地上茎	未施肥 (CK)	3.47	19.96	19.96	35.38	44.06	60.43	72.07
	地茎	高密度	5.73	13.40	13.40	36.46	51.63	67.94	76.37
	地茎	低密度	3.97	24.60	24.60	38.50	54.54	64.70	73.58
	地茎	高施磷量	4.11	16.56	16.56	34.19	46.71	60.31	69.58
	地茎	未施磷肥	10.36	30.80	30.80	43.56	53.18	62.56	74.70
地茎	高施钾量	6.21	16.02	16.02	34.76	44.72	63.09	72.71	
地茎	未施钾肥	10.40	19.05	19.05	36.53	50.16	59.51	72.13	
地茎	高施氮量								
地茎	未施氮肥								
地茎	因素中量组合								
地茎	未施肥 (CK)								

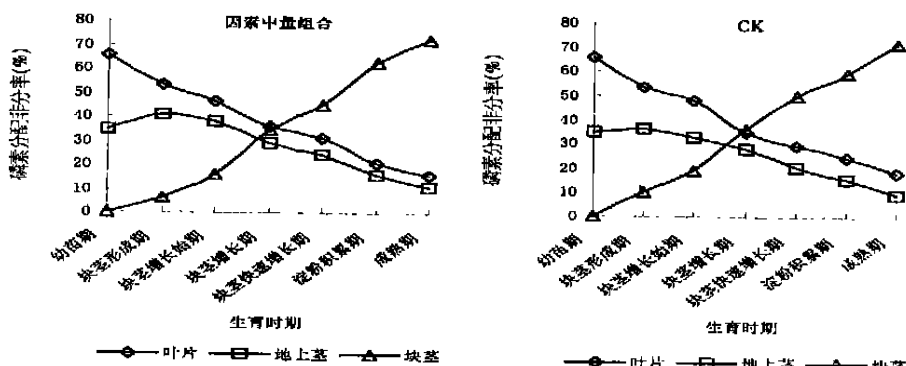


图 4 马铃薯磷素分配率的变化

断地下降, 成熟期, 由于叶片的衰老和脱落, 磷素在叶片中的分配率降低到 15%~20%左右; 磷素在地上茎中的分配率, 整个生育期间呈递减变化: 即从幼苗期和块茎形成期的 35%~40%逐渐下降到成熟期的 10%~15%; 块茎形成进入增长后期后, 磷素在块茎中的分配率一直呈上升趋势, 大量的磷素转移到块茎中用于块茎的建成和贮存, 到成熟期大约有 70%~75%的磷素最终贮存在块茎中。

降低密度、增施氮磷钾肥提高了磷素在各器官中的分配率, 即提高了生育前期在叶片、地上茎中、生育后期在块茎中的分配率。群体结构合理, 氮磷钾适量配施下, 磷素在各器官中的分配相对均衡, 利于生长中心的协调转移, 提高产量。

4 结 论

a. 马铃薯叶片和块茎中磷浓度的变化均呈单峰曲线变化, 峰值均出现在块茎增长期, 而地上茎呈逐渐下降趋势。叶片、地上茎、块茎中磷素浓度变化幅度分别 0.28%~0.51%、0.26%~0.58%、0.33%~0.49%。

b. 马铃薯对磷素的吸收速率在整个生育期间呈单峰曲线变化, 峰值出现在块茎快速增长期 (出苗后 50 d 左右), 最高吸收速率可达 19.2 mg/(株·d)。马铃薯磷素吸收速率较低, 但在整个生育期

间对磷的吸收一直进行着。由此表明, 磷对幼苗的生长发育、块茎的形成和增长乃至淀粉的积累都是必须的。

c. 马铃薯植株体内磷素的积累随着生育进程呈三次曲线变化, 即幼苗期积累缓慢, 块茎形成后直线增加, 到淀粉积累期达到峰值, 尔后逐渐下降。在适宜栽培条件下, 每生产 500 kg 块茎需吸收氮素 0.80 kg。

d. 磷素在叶片中的分配率以苗期为最高 (60%~70%), 此后随着生育进程的推移, 不断地下降至成熟期的 15%~20%。磷素在地上茎中的分配呈缓慢递减变化, 即由幼苗期和块茎形成期的 35%~40%逐渐下降到成熟期的 10%~15%; 块茎形成进入增长后期后, 磷素在块茎中的分配率一直呈上升趋势, 大量的磷素转移到块茎中, 用于块茎的建成和贮存; 到成熟期, 大约有 70%~75%的磷素最终贮存在块茎中。

参 考 文 献

[1] 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.
 [2] 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.
 [3] David A J McArthur, N Richard Knowles. Influence of species of Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus nutrition on growth, development and mineral nutrition of potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. Plant Physiol, 1993, 102: 771-782.

PHOSPHORUS ABSORPTION, ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF POTATO UNDER DRY FARMING

GAO Ju-lin¹, LIU Ke-li¹, SHENG Jin-hua¹, 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 P content was closely related with tuber growth, and tuber was the final sink of P. The P contents in leaves, above ground stems and tubers ranged 0.28%~0.51%, 0.26%~0.58%, and 0.33%~0.49%, respectively; P distribution in leaves, above ground stems and tubers during maturing stage was 15%~20%, 10%~15%, and 70%~75%, respectively. Change of P absorption velocity of potato was a single-peak curve during all stages, and its peak emerged in the tuber fast growth stage (about 50 days after emergence), the maximal absorption speed almost being 19.2 mg/plant·d. 0.80 kg P was required when 500 kg potato were produced.

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