

马铃薯磷素的吸收、积累和分配规律

高聚林¹, 刘克礼¹, 张宝林², 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: 磷元素在马铃薯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。在块茎增长初期, 叶片、地上茎和块茎中的磷素浓度均为一生中的最高值, 此时是马铃薯对磷需求最多的时期, 块茎形成后, 则大量的磷 (P_2O_5) 向块茎转移。马铃薯对磷素 (P_2O_5) 吸收速率较低。在整个生育期内吸收速率呈单峰曲线变化, 峰值出现在块茎增长期。

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) 04-199-05

1 前言

马铃薯各器官中磷素的浓度、对磷的吸收速率及磷的积累量均小; 但缺磷会抑制侧芽的生长及叶片的伸展, 叶片生长的干物质分配减少^[1], 磷过多则会加速叶片的老化。磷在植株体内最易流动, 生育后期大量转移到块茎后可能产生源限制^[2,3]。因此, 尽管马铃薯对磷的需求量少, 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问题对实现高产优化栽培具有重要意义。

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)	追氮肥量 (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。

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、

收稿日期: 2003-05-20

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。

各器官干重。

采用钒钼黄比色法测定全磷^[5]。

3 结果与分析

3.1 不同密度与施肥处理下马铃薯各器官磷素浓度的变化

马铃薯各器官磷的浓度为同器官氮浓度的 1/10 以下, 在叶片、地上茎和块茎中磷浓度的变化

趋势相似 (表 2、图 1)。

由表 2、图 1 可见, 磷素在各器官的浓度呈单峰曲线变化, 峰值均出现在块茎生长期, 而后逐渐下降直到收获期。各器官中磷素浓度以块茎变化幅度最小, 当块茎形成后, 磷素浓度一直较高。保证块茎增长对磷素的需求, 是使马铃薯植株良好发育和获得高产的前提。

表 2 不同密度与施肥处理下马铃薯各器官内磷 (P₂O₅) 的含量的变化 (%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	0.302	0.438	0.560	0.322	0.289	0.191
	低密度	0.223	0.341	0.441	0.310	0.320	0.271
	高施磷	0.309	0.429	0.543	0.378	0.305	0.206
	未施磷	0.252	0.308	0.482	0.345	0.306	0.212
	高施钾	0.297	0.397	0.533	0.374	0.324	0.224
	未施钾	0.241	0.320	0.470	0.302	0.273	0.176
	高施种氮	0.296	0.367	0.537	0.375	0.319	0.197
	未施种氮	0.276	0.304	0.458	0.305	0.268	0.207
	高追氮	0.290	0.348	0.530	0.382	0.320	0.230
	未追氮	0.294	0.348	0.487	0.338	0.275	0.193
	因素中量 (适量) 组合	0.296	0.347	0.521	0.360	0.311	0.219
	未施肥 (CK)	0.201	0.259	0.396	0.285	0.259	0.175
地上茎	高密度	0.413	0.338	0.487	0.285	0.247	0.149
	低密度	0.383	0.305	0.415	0.279	0.297	0.173
	高施磷	0.435	0.346	0.480	0.328	0.264	0.151
	未施磷	0.385	0.325	0.409	0.261	0.217	0.154
	高施钾	0.431	0.375	0.540	0.346	0.298	0.183
	未施钾	0.389	0.328	0.404	0.274	0.233	0.160
	高施种氮	0.428	0.354	0.430	0.274	0.232	0.164
	未施种氮	0.395	0.326	0.383	0.265	0.245	0.170
	高追氮	0.408	0.342	0.432	0.304	0.272	0.176
	未追氮	0.409	0.329	0.392	0.275	0.252	0.164
	因素中量 (适量) 组合	0.408	0.330	0.420	0.291	0.266	0.171
	未施肥 (CK)	0.379	0.278	0.376	0.253	0.213	0.134
块茎	高密度		0.385	0.421	0.372	0.334	0.320
	低密度		0.368	0.405	0.363	0.340	0.330
	高施磷		0.383	0.449	0.383	0.354	0.347
	未施磷		0.377	0.405	0.360	0.330	0.307
	高施钾		0.384	0.452	0.390	0.350	0.338
	未施钾		0.370	0.403	0.362	0.330	0.319
	高施种氮		0.380	0.418	0.386	0.335	0.330
	未施种氮		0.364	0.400	0.360	0.330	0.313
	高追氮		0.372	0.413	0.373	0.342	0.337
	未追氮		0.368	0.395	0.356	0.321	0.308
	因素中量 (适量) 组合		0.377	0.409	0.368	0.333	0.329
	未施肥 (CK)		0.349	0.385	0.345	0.317	0.296

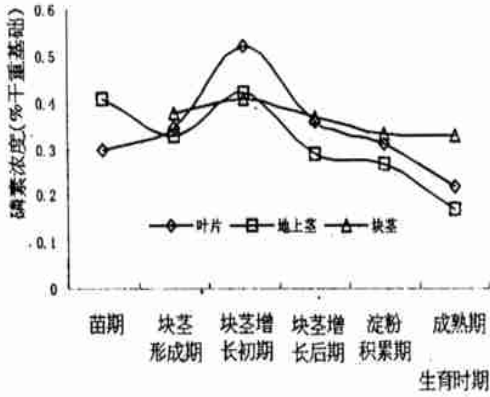


图1 因素中量(适量)组合处理下马铃薯不同器官内磷素浓度的变化

不同密度与施肥处理对马铃薯各器官磷素浓度的影响不同。高密群体生育前期具有较高的磷浓度, 而生育后期由于叶片的早衰, 各器官中磷浓度显著降低, 不施肥处理与此相似; 而低密群体与其相反, 因生育后期有充足的发展空间和养分供应, 因而各器官磷浓度较高。增施氮、磷、钾肥均可提高各器官内磷的浓度, 而增施钾肥对地上茎中磷的浓度影响最大, 增施磷、钾肥可明显提高块茎中磷的浓度。本试验结果表明, 在块茎增长初期, 以叶片磷浓度为 0.521%, 地上茎和块茎中磷浓度分别为 0.420% 和 0.409% 时, 块茎产量最高。

3.2 不同密度与施肥量处理下马铃薯磷 (P₂O₅) 吸收速率的变化

不同密度与施肥处理下, 马铃薯磷 (P₂O₅) 吸收速率均呈单峰曲线变化, 峰值出现在块茎增长后期(表 3、图 2)。马铃薯虽对磷素 (P₂O₅) 吸收速率较低, 但在整个生育期间, 对磷 (P₂O₅) 的吸收持续进行着。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和生存空间, 个体生长量较大, 生长势较强, 对 P₂O₅ 的吸收速率远高于高密群体; 增施氮、磷、钾肥, 在增加马铃薯植株体内 P₂O₅ 的浓度的同时, 也提高了马铃薯对 P₂O₅ 的吸收速率。

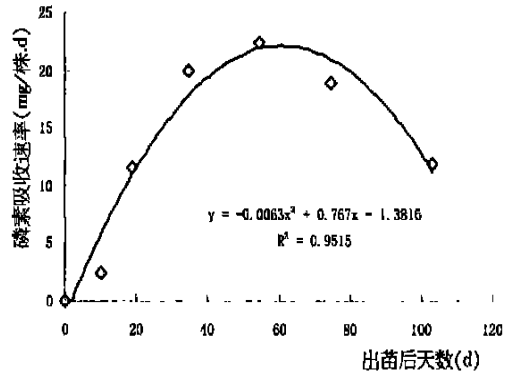


图2 因素中量(适量)组合处理下马铃薯磷素吸收速率的变化

表3 不同施肥与密度处理下马铃薯磷素 (P₂O₅) 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~ 成熟期 (76~103)
高密度	2.29	10.95	16.63	18.07	12.09	10.29
低密度	2.70	13.06	24.48	27.71	34.73	18.65
高施磷	2.04	12.76	21.18	25.58	21.11	12.50
未施磷	1.94	10.65	15.47	23.60	13.20	13.87
高施钾	2.06	11.94	20.12	28.54	14.00	11.32
未施钾	1.94	10.60	16.47	24.12	14.68	11.54
高施种氮	2.26	12.36	21.11	24.38	20.75	12.32
未施种氮	2.08	10.52	16.81	17.71	13.33	10.46
高追氮	2.53	11.37	20.76	24.20	20.23	13.10
未追氮	2.39	10.75	15.28	20.16	15.18	11.62
因素中量(适量)组合	2.39	11.57	19.88	22.33	18.96	11.90
未施肥(CK)	1.92	10.43	12.46	15.68	10.80	7.21

注: 表头中括弧内数字为出苗后天数。

在因素中量(适量)组合处理下, 马铃薯植株个体对 P_2O_5 的吸收速率的变化符合二次曲线, 其方程如图2所列。由方程可得, 磷素 (P_2O_5) 的最大吸收速率为 $22 \text{ mg/株} \cdot \text{d}$ 左右, 峰值出现在出苗后 61 d 左右。

3.3 不同密度与施肥处理下马铃薯磷素 (P_2O_5) 积累量的变化

马铃薯植株体内磷素 (P_2O_5) 的积累量的变化与氮、钾不同, 在整个生育期间一直呈上升趋势(表4、图3), 在成熟期达最高, 如前所述, 马铃薯对磷素的吸收在整个生育期间一直进行着, 也说明磷素在植株体内易流动, 不因叶片的大量脱落而降低。

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 (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	22	116	371	716	904	1179
低密度	26	138	513	1043	1707	1838
高施磷	19	129	453	943	1347	1681
未施磷	19	110	347	798	1051	1422
高施钾	20	122	430	976	1244	1547
未施钾	19	110	362	823	1016	1202
高施种氮	22	128	451	917	1314	1644
未施种氮	20	110	368	708	1147	1304
高追氮	24	122	510	929	1316	1544
未追氮	23	096	329	715	1005	1335
因素中量 (适量) 组合	23	122	427	854	1216	1535
未施肥 (CK)	18	108	299	643	849	1104

注: 表头中括弧内数字为出苗后天数。

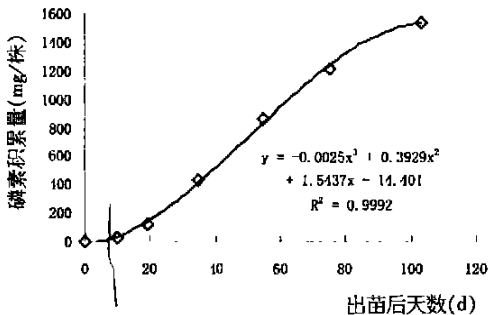


图3 因素中量(适量)组合处理下马铃薯磷素积累量的变化

由表4可见, 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、氮磷钾肥施用量的增加而增加。本试验结果表明, 马铃薯在因素中量组合处理下, 其单产最高为 3060 kg/667m^2 , 因而每生产 500 kg 块茎需吸收磷素 0.96 kg 。在因素中量组合处理下, 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(见图3)。

3.4 因素中量组合处理下磷素 (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)。

表5 因素中量组合处理下磷素 (P_2O_5) 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	67.88	54.28	49.46	29.89	19.17	5.84
地上茎	32.12	28.40	39.39	34.16	27.30	10.73
块茎	17.33	13.14	35.95	53.53	83.43	

注: 表头中括弧内数字为出苗后天数。

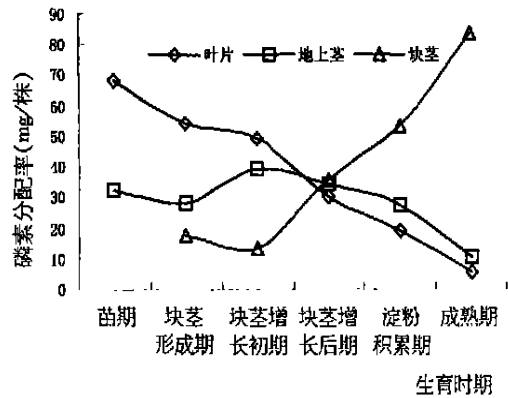


图4 因素中量(适量)组合处理下马铃薯磷素分配率的变化

磷素在马铃薯叶片中的分配率均以苗期为最高, 此后逐渐下降; 磷素在茎中的分配率在块茎增长初期略有上升, 此后缓慢下降。块茎中的磷素的分配在块茎形成后急剧上升。由此说明, 块茎形成以后, 就有大量的 P_2O_5 向块茎转移。在因素中量组合处理下, 马铃薯苗期 60% 以上的磷分配给叶片, 到成熟期, 只有 5% 左右仍保留在叶中, 其余部分转移到其它器官。地上茎中的磷在成熟期

保持在 10% 左右, 说明在马铃薯生育后期地上茎对产量仍有贡献。成熟期 83% 以上的 P_2O_5 分配到块茎, 说明磷在植株体内的流动性大, 块茎是磷素的最终贮存库。

4 结论与讨论

a. 马铃薯在块茎膨大初期, 叶片、地上茎和块茎中的磷浓度均为一生中的最高值, 是马铃薯对磷需求最多的时期, 此期磷素营养水平与块茎膨大密切相关。块茎形成后, 植株各器官以块茎的磷素浓度为最高, 表明磷素对碳水化合物向块茎转移贮存具有重要作用, 其因是它参与了淀粉酶类的活化。增施氮、磷、钾肥均可提高各器官内磷的浓度, 其中, 增施钾肥对地上茎中磷的浓度影响最大, 增施磷、钾肥可明显提高块茎中磷的浓度。保证对块茎长期充足的磷素供应, 是使马铃薯植株良好发育和获得高产的前提。在生产实践中, 磷肥应以底肥形式一次施足为宜。

b. 不同密度与施肥处理下, 马铃薯磷 (P_2O_5) 吸收速率均呈单峰曲线变化, 峰值出现在块茎生长期。马铃薯虽对磷 (P_2O_5) 的吸收速率较低, 但在整个生育期间对磷 (P_2O_5) 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、块茎体积的增长乃至淀粉的积累都是必须的。

c. 马铃薯植株体内磷 (P_2O_5) 的积累量在整

个生育期间一直呈上升趋势, 说明磷素在植株体内易流动, 不因叶片的大量脱落而降低。

d. 磷 (P_2O_5) 在马铃薯叶片和地上茎中的分配率均以苗期为最高, 此后逐渐下降; 而在块茎中的分配率则在块茎形成之后逐渐上升, 成熟时 83% 以上的 P_2O_5 分配到块茎, 块茎是磷素的最终贮存库。

e. 本试验结果表明, 在块茎增长初期, 以叶片磷浓度为 0.521%, 地上茎磷浓度为 0.420%, 块茎磷浓度为 0.409% 时, 块茎产量最高。在此条件下, 马铃薯植株个体对 P_2O_5 的吸收速率符合二次曲线变化, P_2O_5 的最大吸收速率为 22 mg/株·d 左右, 峰值出现在出苗后 61 d 左右, 每生产 500 kg 块茎需吸收 P_2O_5 0.96 kg。马铃薯植株体内 P_2O_5 的积累量与出苗后的天数之间符合三次曲线变化。

参 考 文 献

- [1] David A J McArthur and 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). *Plant Physiol*, 1993, 102: 771-782.
- [2] [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, 155-180.
- [4] 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, 325-335.
- [5] 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1990, 36-38.

THE PATTERNS OF PHOSPHORUS ABSORPTION, ACCUMULATION AND DISTRIBUTION IN POTATO

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

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

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

ABSTRACT: Phosphorus was easy to flow in potato plant and there was close correlation between phosphorus level and tuber bulking. Tuber is the final storeroom. Phosphorus concentration in leaves, above ground stems and tubers reached their maximal values in early tuber bulking stage when potato needed phosphorus most. Most of the phosphorus began to transfer into tubers after tuber formation. Phosphorus absorption rate was low and it was a curve with single peak, which appeared at the stage of tuber bulking.

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