

旱作马铃薯氮素的吸收、积累和分配规律

刘克礼¹，高聚林¹，任珂²，盛晋华¹，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：马铃薯植株体内氮素浓度的高低与其生长势的强弱密切相关，本研究结果表明，叶片、地上茎、块茎中氮素浓度的变化幅度分别为 2%~5%、1%~4%、1%~3%；成熟期氮素在叶片、地上茎、块茎中的分配率分别为 30%左右、10%~15%、50%~60%。马铃薯对氮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 51 d 左右），最高吸收速率平均可达 99.96 mg/(株·d)，每生产 500 kg 块茎需吸收氮素 3.02 kg。

关键词：马铃薯；氮素；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) 06-321-05

1 前言

氮素是影响马铃薯生长发育的三要素之一，马铃薯的叶片数、叶片的大小以及叶片中的叶绿素含量，均随施氮量的增加而增加，单位叶面积的含氮量与叶片的光合功能呈线性关系，良好的氮素营养可延缓叶片的衰老。随着产量水平的提高，作物对氮素的吸收量增加。因此，科学适量地供应氮素对于马铃薯地上部的生长和获得块茎的高产是必须的^[1~3]。本文针对我区旱作马铃薯栽培的营养、需肥规律研究的不足，面向马铃薯旱作主产区，系统地研究了旱作栽培条件下马铃薯在整个生育期间氮素的吸收、积累、分配和转移情况，旨在为指导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

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

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 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，其实施方案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

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)、块茎增长期(7月14日)、块茎快速增长期(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, 用扩散法测定全氮。

3 结果与分析

3.1 马铃薯各器官氮素浓度的变化

不同施肥与密度处理下马铃薯各器官氮素浓度的变化(表2、图1)。

植株氮素含量在全生育期间动态变化为: 叶片和地上茎随生长发育进程呈递减变化, 而块茎在增长始期由低向高达到一低峰后逐渐降低。在整个生育期内, 马铃薯各器官氮素含量始终表现为叶片>地上茎>块茎。叶片、地上茎、块茎中氮素浓度的变化幅度分别为2%~5%、1%~4%、1%~3%。

马铃薯各器官氮素浓度因不同施肥与密度处理而异, 在全生育期间始终以中密度和氮磷钾适量配施处理氮素浓度较高, 说明群体规模适宜, 氮磷钾适量配施促进了植株对氮的吸收, 因而提高了体内的氮素浓度。为此, 在马铃薯高产栽培实践中, 必须注重氮、磷、钾的适量与配合施用, 使之既能满足块茎的形成与生长的需要, 又可防止植株生长过旺或发生早衰。

表2 不同栽培措施下马铃薯各器官内氮的含量变化 (%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	4.46	3.86	3.56	3.41	3.18	2.83	2.12
低密度	4.58	3.76	3.61	3.40	3.26	2.95	2.22
高施磷量	4.62	3.79	3.54	3.41	3.18	2.91	2.19
未施磷肥	4.47	3.77	3.56	3.38	3.12	2.76	2.29
高施钾量	4.63	3.78	3.59	3.43	3.18	3.01	2.27
未施钾肥	4.57	3.80	3.56	3.36	3.22	2.86	2.15
高施氮量	4.52	3.88	3.59	3.41	3.17	2.95	2.22
未施氮肥	4.41	3.82	3.56	3.36	3.12	2.76	2.10
因素中量组合	4.57	3.83	3.56	3.40	3.20	3.05	2.30
未施肥(CK)	4.50	3.88	3.54	3.41	3.08	2.71	2.12
地上茎							
高密度	3.79	3.35	3.04	2.38	1.91	1.52	1.06
低密度	3.89	3.25	3.07	2.39	1.97	1.76	1.29
高施磷量	3.93	3.35	2.98	2.34	2.04	1.60	1.15
未施磷肥	3.80	3.24	3.04	2.43	2.01	1.66	1.37
高施钾量	3.94	3.35	3.04	2.48	2.06	1.85	1.34
未施钾肥	3.88	3.32	3.01	2.50	1.92	1.54	1.09
高施氮量	3.82	3.50	2.96	2.50	2.04	1.63	1.15
未施氮肥	3.63	3.26	2.97	2.42	1.87	1.47	1.08
因素中量组合	3.88	3.33	3.09	2.47	2.06	1.74	1.25
未施肥(CK)	3.83	3.35	3.04	2.37	1.66	1.39	1.09
块茎							
高密度		2.08	2.64	2.58	1.61	1.43	1.05
低密度		2.14	2.75	2.59	1.74	1.55	1.15
高施磷量		2.14	2.78	2.59	1.75	1.52	1.12
未施磷肥		2.17	2.63	2.46	1.58	1.37	1.09
高施钾量		2.11	2.80	2.61	1.77	1.62	1.20
未施钾肥		2.02	2.73	2.54	1.69	1.47	1.08
高施氮量		2.12	2.76	2.59	1.75	1.56	1.15
未施氮肥		2.07	2.63	2.46	1.58	1.37	1.08
因素中量组合		2.18	2.77	2.58	1.74	1.66	1.23
未施肥(CK)		2.11	2.66	2.49	1.63	1.32	1.11

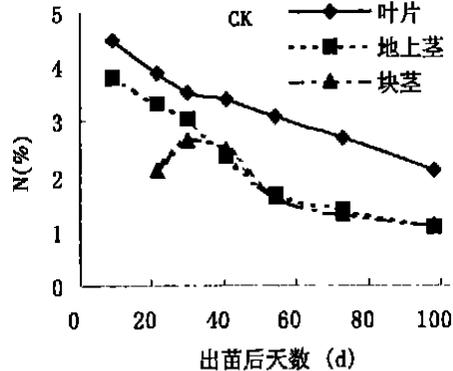
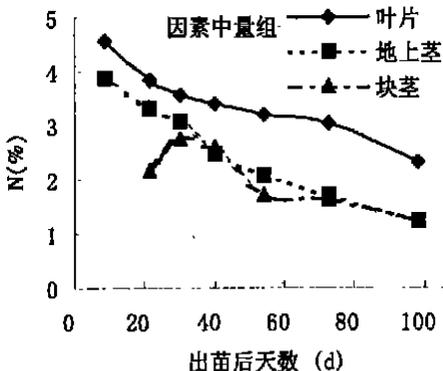


图1 马铃薯不同器官内氮素浓度的变化

3.2 马铃薯氮素吸收速率的变化

不同密度与施肥处理下马铃薯氮素吸收速率变化 (表 3、图 2)。

马铃薯对氮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 41~54 d)。马铃薯出苗后, 由于各器官建成及生长发育对氮的需求量不断增加, 氮的吸收速率逐渐加

快, 特别是块茎形成和块茎增长期间, 由于旺盛的细胞分裂和块茎的迅速建成, 氮的吸收速率增加, 并达到峰值, 而此后由于块茎增长趋慢, 转入淀粉积累期, 对氮的需求量逐渐减少, 氮的吸收速率随之逐渐下降。由此可见, 马铃薯对氮的吸收与营养生长和块茎的增长密切相关。而植株发生早衰, 主要由于生长后期氮素营养不足, 过早地停止生长。

表 3 不同施肥与密度处理下马铃薯氮吸收速率的变化

g/(株·d)

处理	出苗后天数 (d)						
	幼苗期 (0~9)	块茎形成期 (10~20)	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	0.0417	0.0400	0.0532	0.0679	0.0979	0.0464	0.0019
低密度	0.0358	0.0515	0.0686	0.1079	0.1442	0.0816	0.0079
高施磷量	0.0317	0.0502	0.0590	0.0876	0.1330	0.0837	0.0068
未施磷肥	0.0407	0.0525	0.0644	0.0926	0.1048	0.0446	0.0031
高施钾量	0.0437	0.0473	0.0548	0.0907	0.1228	0.0767	0.0097
未施钾肥	0.0324	0.0499	0.0602	0.0805	0.1188	0.0581	0.0019
高施氮量	0.0419	0.0479	0.0632	0.0972	0.1267	0.0726	0.0040
未施氮肥	0.0368	0.0440	0.0534	0.0750	0.0930	0.0454	0.0033
因素中量组合	0.0416	0.0453	0.0637	0.0885	0.1239	0.0981	0.0125
未施肥 (CK)	0.0384	0.0412	0.0530	0.0678	0.0844	0.0389	0.0077

低密群体, 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, 因此对氮的吸收速率高于高密群体。增施氮、磷、钾肥, 由于促进了植株的生长, 对氮的吸收速率也有所提高。氮磷钾适量配施处理, 马铃薯对氮素的最高吸收速率平均可达 99.96 mg/(株·d), 峰值出现在出苗后 51 d 左右 ($y = -0.000044x^2 + 0.0045x - 0.0151$ $R^2 = 0.8189^{**}$)。

期植株体内氮素的积累量缓慢增长, 进入块茎增长期呈直线增长, 到淀粉积累期达到峰值, 此后随着叶片的衰老、脱落, 发生氮素的转移和流失, 使氮的积累量有所下降。

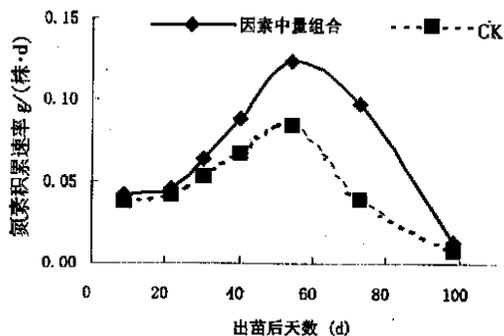


图 2 马铃薯氮素吸收率的变化

3.3 马铃薯氮素积累量的动态变化

不同施肥与密度处理下马铃薯氮素积累量的动态变化 (表 4、图 3)。

不同处理下, 随密度的增大, 氮素积累量呈递减趋势, 这是因为随密度的增大, 单株营养面积降低, 养分竞争加剧, 同时不良的通风透光条件影响了马铃薯的正常生长发育而使养分吸收量降低。增施氮、磷、钾肥, 马铃薯体内氮的积累量均有所增加。增施氮肥, 增加了植株对氮的吸收量, 根系吸收的氮素用于合成叶绿素或以游离氨基酸贮存起来, 从而提高了全株的氮素积累量。在种植密度适

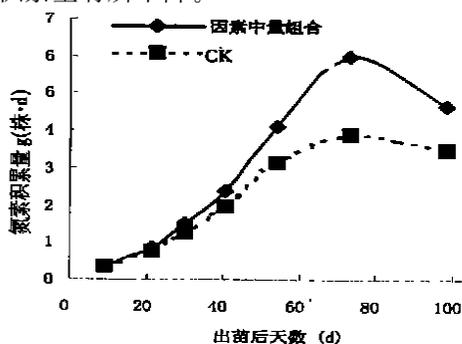


图 3 马铃薯氮素积累量的动态变化

由表 4 及图 3 可见, 马铃薯在苗期至块茎形成

表4 不同施肥与密度处理下马铃薯氮素积累量的动态变化

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)	块茎增长长期 (40)	块茎快速增长长期 (54)	淀粉积累期 (75)	成熟期 (98)
高密度	0.38	0.79	1.32	2.00	3.37	4.25	3.45
低密度	0.32	0.89	1.57	2.65	4.67	6.22	5.02
高施磷量	0.29	0.84	1.43	2.30	4.17	5.76	4.47
未施磷肥	0.37	0.94	1.59	2.51	3.98	4.83	4.12
高施钾量	0.39	0.91	1.46	2.37	4.09	5.54	4.51
未施钾肥	0.29	0.84	1.44	2.25	3.91	5.01	3.99
高施氮量	0.38	0.90	1.54	2.51	4.28	5.66	4.46
未施氮肥	0.33	0.72	1.33	2.08	3.38	4.24	3.52
因素中量组合	0.37	0.87	1.51	2.39	4.13	5.99	4.68
未施肥 (CK)	0.35	0.76	1.29	1.97	3.15	3.89	3.49

宜、氮磷钾适量配施条件下, 马铃薯植株体内氮素的积累量 (y) 随出苗后天数 (x) 的变化符合三次曲线:

$$y = -0.00003x^3 + 0.0048x^2 - 0.0979x + 0.9716 \quad R^2=0.997$$

在种植密度适宜、氮磷钾适量配施条件下, 根据测产结果每生产 500 kg 块茎需吸收氮素 3.02 kg。

3.4 氮素在马铃薯各器官内的分配

随着生育进程的推移, 马铃薯吸收的氮素在各器官内的分配状况 (表 5、图 4)。

氮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。氮素在叶片中的分配率以苗期为最高, 70%以上的氮分配到叶片, 用于光合系统的迅速建成, 此后随着生育过程的推移, 氮素在叶片中的分配不断地下降。成熟期, 由于叶片的衰老和脱落, 氮素在叶片中的分配率降低到 30%左右。氮素在地上茎中的分配率整个生育期间则呈单峰曲线变化: 即从幼苗期的 20%~25%缓慢上升到块茎形成期的 30%~40%, 此后逐渐下降到成熟期的 10%~15%, 这说明块茎形成期, 也正值地上茎的旺盛生长、伸长期, 此时地上茎对氮有较大的需求量。块茎形成进入增长长期后, 氮素在块茎中的分配率一直呈上升趋势, 大量的氮素转移到块茎中, 用于块茎的建成和营养物质的贮存, 到成熟期, 大约有 50%~60%的氮素最终贮存在块茎中。降低密度, 增施氮磷钾肥提高了氮素在各器官中的分配率, 即提高了生育前期在叶片和地上茎、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, 氮素在各器官中的分配相对均衡, 利于各器官的协调生长和生长中心的适时转移, 提高块茎产量。

表5 氮素在马铃薯各器官的分配率 (%)

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)
叶片							
高密度	70.95	67.95	56.46	46.24	42.60	34.70	31.97
低密度	79.33	68.18	56.17	42.63	39.92	29.37	26.69
高施磷量	78.42	67.90	54.76	46.40	41.18	32.15	28.05
未施磷肥	76.04	63.57	51.26	44.28	42.65	35.88	32.80
高施钾量	74.35	59.88	55.02	42.79	39.38	29.09	27.18
未施钾肥	78.30	68.28	50.79	42.63	39.05	31.57	29.00
高施氮量	74.99	61.13	53.42	42.33	41.52	32.33	29.41
未施氮肥	77.12	62.61	45.78	38.23	37.88	31.87	27.65
因素中量组合	76.04	57.55	49.78	44.37	42.46	30.41	28.15
未施肥 (CK)	76.77	59.47	52.34	43.78	41.66	34.83	29.48
地上茎							
高密度	29.05	28.81	27.75	22.46	19.09	13.12	10.60
低密度	20.67	29.68	33.76	23.01	21.13	14.72	14.74
高施磷量	21.58	29.95	33.54	24.96	23.82	14.06	12.39
未施磷肥	23.96	34.11	31.21	24.59	24.21	16.46	14.81
高施钾量	25.65	36.34	32.56	23.76	19.80	14.08	13.10
未施钾肥	21.70	29.44	27.74	23.19	19.17	12.87	11.88
高施氮量	25.01	36.05	30.36	23.85	20.76	12.98	13.01
未施氮肥	22.88	30.15	24.95	21.52	19.66	12.91	10.42
因素中量组合	23.96	38.29	35.58	24.93	23.97	14.31	12.66
未施肥 (CK)	23.23	33.12	29.44	22.53	17.60	12.66	10.38
块茎							
高密度		3.25	15.79	31.30	38.32	52.19	57.43
低密度		2.14	10.07	34.36	38.96	55.91	58.58
高施磷量		2.14	11.70	28.64	34.99	53.79	59.57
未施磷肥		2.32	17.53	31.13	33.13	47.65	52.39
高施钾量		3.79	12.42	33.45	40.82	56.83	59.73
未施钾肥		2.29	21.46	34.17	41.78	55.57	59.13
高施氮量		2.82	16.22	33.82	37.72	54.69	57.58
未施氮肥		7.24	29.27	40.25	42.46	55.23	61.93
因素中量组合		4.16	14.64	30.70	33.56	55.29	59.19
未施肥 (CK)		7.41	18.22	33.69	40.73	52.51	60.14

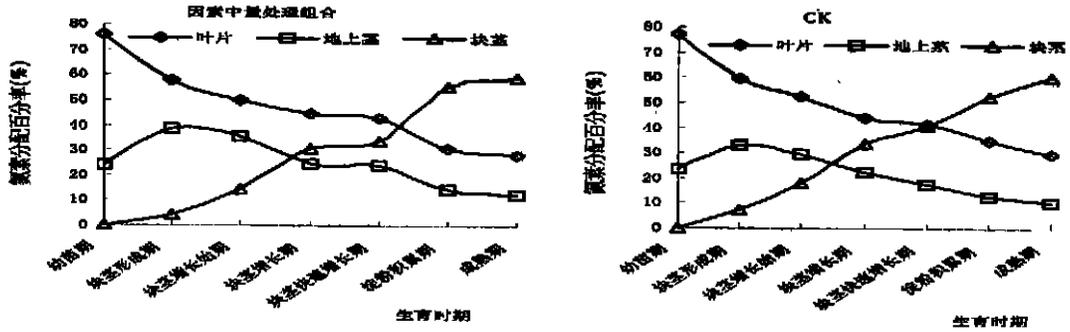


表4 马铃薯氮素分配率的变化

4 结论

a. 马铃薯叶片、地上茎中氮素浓度呈现由高到低的变化趋势, 而块茎在增长始期达到高峰后逐渐降低。叶片、地上茎、块茎中氮素浓度的变化幅度分别为 2%~5%、1%~4%、1%~3%, 且在整个生育期内, 始终表现为叶片>地上茎>块茎。

b. 马铃薯对氮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 51 d 左右), 最高吸收速率平均可达 99.96 mg/株·d。因此, 马铃薯对氮的吸收速率与营养器官和块茎的旺盛生长密切相关。

c. 马铃薯植株体内氮素的积累, 幼苗期缓慢, 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。在适宜的栽培条件下, 每生产 500 kg 块茎需吸收氮素 3.02 kg。

d. 氮素在叶片中的分配率以苗期为最高(70%以上), 此后随着生育进程的推移, 不断地下降至成熟期的 30%左右; 氮素在地上茎中的分配, 在生育期间呈单峰曲线变化, 即幼苗期的 20%~25%, 块茎形成期达到 30%~40%的峰值后, 逐渐下降到成熟期的 10%~15%, 氮素在块茎的分配率一直呈上升趋势, 到成熟期大约有 50%~60%的氮素最终贮存在块茎中。

参 考 文 献

- [1] 汪定淮, 刘尚义. 作物养分平衡与高产栽培兼论作物栽培科学的现代化 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1994, 90-223.
- [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.
- [3] 哈里斯 P M 著. 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.

NITROGEN ABSORPTION, ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF POTATO UNDER DRY FARMING

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

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

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

ABSTRACT: The N content in potato was closely correlated with growth vigor. The N content in leaves, above ground stems and tubers ranged 2%~5%, 1%~4%, and 1%~3%, respectively; during the maturing stage, N distribution in leaves, above ground stems and tubers was about 30%, 10%~15%, and 50%~60%, respectively. Change of N absorption velocity of potato was a curve of single peak during growing stage, and its peak emerged in tuber fast growth stage (about 51 days after emergence), the maximal absorption velocity almost being 99.96 mg/plant·d. The experiment also showed that 3.02 kg N was required when 500 kg potatoes were produced.

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