中图分类号：S532；S143.7+1　　文献标识码：A　　文章编号：1672-3635(2006)02-081-05

马铃薯硫素吸收规律的初步研究

冯　琰[1]，蒙美莲[1*]，尚国斌[2]，穆青坡[1]

（1.内蒙古农业大学，内蒙古　呼和浩特　010019；2.内蒙古武川县财政局，内蒙古　武川　011700）

摘　要：通过田间试验和室内测定分析，研究了马铃薯硫素吸收规律。结果表明：马铃薯全生育期内各器官含硫量始终以叶片最高，茎秆其次，块茎最低；全株硫的累积吸收量随生育进程的推进呈二次曲线变化，在淀粉积累期硫素累积量达到最大值；块茎形成至块茎增长期是马铃薯一生中硫素吸收速率最快、吸收数量最多的时期；生育期间硫素在马铃薯各器官的分配随着生长中心的转移，发生相应的变化，块茎增长期之前叶片中分配最多，其次为茎秆，块茎中最少，之后则是块茎中最多，茎秆其次，叶片中最少；硫在叶片中的分配率随生育进程逐渐降低，块茎中硫的分配率则为直线增长，茎秆中硫的分配率变化表现为单峰曲线，峰值出现在块茎形成期。本试验产量水平下，每生产500 kg块茎需要吸收硫0.13 kg。

关键词：马铃薯；硫素；吸收；分配

硫素是继氮、磷、钾之后的植物必需的第四大营养元素，它在植物的生命活动中起着重要的作用[1]。硫是作物体内蛋白质特别是含硫氨基酸（胱氨酸、半胱氨酸及蛋氨酸）的组成成分，对植物体的结构、光合碳代谢和氮代谢具有重要影响，与氮在蛋白质合成中相互依赖。硫还与辅酶、硫代葡萄糖甙、叶绿素等关系密切，也参与光合、呼吸、生物固氮、脂类合成等代谢活动[2-4]。充足的硫营养不仅可增强植物的抗旱、抗寒性，提高水分利用率，而且可增加作物产量，提高作物品质。相反，如作物缺硫，体内许多代谢失衡，生长就会受阻。

同其他作物一样，马铃薯的生长和产量品质的形成需要全营养的供应。随着马铃薯生产水平的不断提高和氮、磷、钾三要素施用量的不断增加，土壤中微量元素的缺乏日益显现出来，土壤中各种养分的不平衡已成为马铃薯产量提高的重要限制因素之一。中微量元素的施用已被提到议事日程上来。

目前，作物缺硫现象遍及许多国家和地区，这不但影响作物的产量，也影响到作物对氮、磷、钾的平衡吸收和作物的品质。因此有关硫营养诊断及硫对植物生理代谢影响方面的研究也相继开展。Karlen等1988年曾就春玉米对硫的吸收与积累进行了研究，崔彦宏、张桂银、高炳德等也对玉米硫的吸收与再分配进行了研究[5-9]，吴静、刘宝存、刘冬碧等对小麦和油菜硫的吸收及在体内的分布规律作了研究[10-11]。但有关于马铃薯对硫的吸收分配规律研究还少见报道。本试验通过研究马铃薯硫素的吸收积累、分配规律，探明马铃薯硫营养特性，为马铃薯生产中硫素营养诊断和硫肥的合理施用提供科学依据和技术支撑。

1　材料与方法

1.1　供试品种

以紫花白品种为试验材料。

1.2　试验时间及地点

本试验于2004年在内蒙古农业大学教学农场进行。供试土壤耕层0～20 cm，有机质含量2.38%，全氮量0.131%，碱解氮105 mg·kg^{-1}，速效磷64.45 mg·kg^{-1}，速效钾114.08 mg·kg^{-1}，全硫24.15 mg·kg^{-1}，pH=6.0。

1.3　田间设置

采用等行距种植，行距60 cm，株距29 cm，

收稿日期：2005-12-02

基金项目：内蒙古自治区自然科学基金项目(20001303)资助

作者简介：冯琰(1972-)，女，内蒙古农业大学在读硕士生，研究方向为马铃薯栽培生理。

* 通讯作者：E-mail：mmeilian@mail.china.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

密度 57 000 株·hm^{-2}，小区面积 50 m^2，重复 3 次。播种时一次性施种肥尿素 112.5 kg·hm^{-2}，磷酸二铵 300 kg·hm^{-2} 于播种沟内，块茎形成期追施尿素 150 kg·667 m^{-2}，并人工起垄。其他栽培管理与一般大田相同。

1.4 取样和测定方法

全生育期取样 6 次，分别在 6 月 13 日（苗期），7 月 1 日（块茎形成期），7 月 22 日（块茎增长初期），8 月 8 日（块茎增长期），8 月 29 日（淀粉积累期），9 月 18 日（成熟期）。每次小区取样 3~5 株，带回室内洗净晾干，分器官称量鲜重，并分别取各器官鲜样 100 g，风干后于 80℃温度下烘干至恒重测定干重。

硫的测定：采用 HNO_3-$HClO_4$ 消煮，$BaSO_4$ 比浊法。

2 结果与分析

2.1 生育期间马铃薯各器官硫素浓度的动态变化规律

图 1 结果表明，在整个生育期间马铃薯各器官硫素浓度始终以叶片最高，其次为茎秆，块茎中最低。各器官硫素浓度变化表现为：随着生育进程的推移，叶片硫素浓度呈单峰曲线变化，峰值出现在块茎形成期。全生育期内叶片硫素浓度变化在 0.209%~0.277%之间。

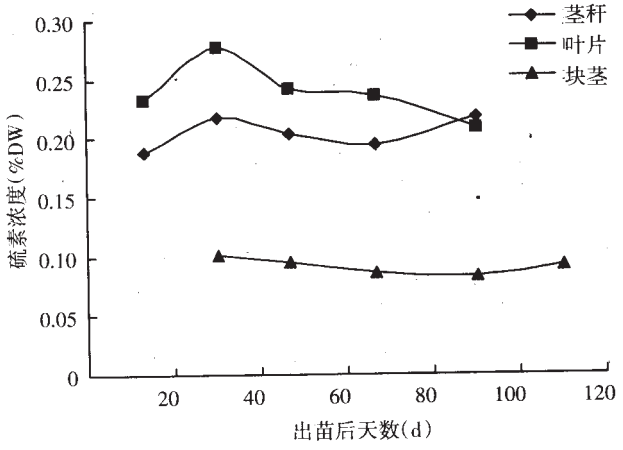

图 1　马铃薯生育期间各器官硫素浓度的动态变化

茎秆硫素浓度则随生育进程的推移呈低—高—低—高的变化趋势，即块茎形成期出现一峰值，以后平缓下降，至块茎膨大期硫素浓度仅高于苗期而低于其它各时期，淀粉积累期硫素浓度又有所回升。全生育期内茎秆硫素浓度变化在 0.188%~0.218%之间。

块茎中硫素浓度在全生育期内变化平缓，随生育进程推进逐渐降低，收获时又略有增加。全生育期内块茎中硫素浓度变化在 0.083%~0.101%之间。

2.2 马铃薯各时期硫的累积吸收量动态变化

2.2.1 马铃薯不同生育时期硫素累积进程

马铃薯对硫素吸收累积量（y）随出苗后天数（x）的变化符合二次曲线，其方程为：

$$y=-0.0030x^2+0.5014x-5.7684,\quad R^2=0.9661$$

马铃薯苗期植株较小，硫素吸收量较少，之后随着茎叶的生长和块茎的形成，养分需要量也迅速增加，至块茎增长期硫素累积吸收量已达全生育期的近 2/3，在淀粉积累期硫素累积量达到最大值，以后硫的吸收出现负值（图 2）。

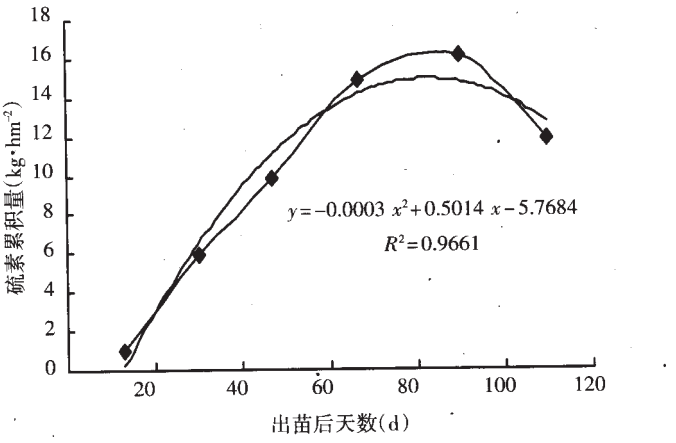

图 2　马铃薯生育期间硫素累积进程

表 1 结果表明，硫素的吸收早于干物质的积累。块茎增长期硫素累积吸收量已达全生育期的近 2/3，而此时干物质的积累量只达最大值的 40.6%。由此说明，养分的吸收是干物质积累的基础。

本试验马铃薯在产量 61 776 kg·hm^{-2} 左右时，每生产 500 kg 块茎需吸收硫 0.13 kg，硫的生产效率为 3846 kg·hm^{-2}。

2.2.2 马铃薯阶段吸硫量的动态变化

由表 2 可见，马铃薯一生中随着茎叶和块茎的生长，各时期在吸硫数量上基本表现为 M'形曲线的变化规律。峰值分别出现在苗期到块茎形成期和块茎增长期。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1　马铃薯不同生育时期硫素累积进程

生育时期（出苗后天数 d）	干物质（kg·hm⁻²）	干物质积累状况		硫素积累状况	
		积累量（kg·hm⁻²）	积累量（%）	积累量（kg·hm⁻²）	积累量（%）
苗期（13 d）	469.11	469.11	3.39	1.03	6.38
块茎形成期（30 d）	2641.38	2641.38	19.11	5.86	36.38
块茎增长初期（47 d）	5611.65	5611.65	40.60	9.88	61.36
块茎增长期（67 d）	10799.79	10799.79	78.14	14.84	92.22
淀粉积累期（90 d）	13821.36	13821.36	100.00	16.10	100.00
成熟期（110 d）	12932.73	12932.73	93.57	11.80	73.31

表 2　马铃薯不同生育期间阶段吸硫量的变化

生育阶段	阶段吸硫量（kg·hm⁻²）	占吸硫量（%）
苗期（0~13 d）	1.03	6.37
苗期至块茎形成期（13~30 d）	4.83	29.99
块茎形成期至块茎增长初期（30~47 d）	4.02	24.96
块茎增长初期至块茎增长期（47~67 d）	4.97	30.88
块茎增长期至淀粉积累期（67~90 d）	1.25	7.79
淀粉积累期至成熟期（90~110 d）	-4.30	-26.7

马铃薯苗期植株生长量小，吸硫少，在出苗后 13 d 内吸硫量只占总吸硫量的 6.37%；之后由于茎叶的迅速生长和块茎的形成，要求有大量的养分供应，吸硫数量也迅速增多，苗期至块茎形成期的阶段吸硫量便达到第一个峰值；之后由于块茎的大量形成，使生长中心由单纯的茎叶生长转入茎叶生长和块茎生长同时并进阶段，消耗的养分增多，使植株生长出现暂时的停顿状态，从而使吸硫量较前有所减少；进入块茎增长期后，茎叶和块茎生长都达到了一生中最旺盛的阶段，阶段吸硫量也最多，占吸硫总量的 30.88%；块茎增长期至淀粉积累期，由于茎叶生长缓慢乃至停止，块茎膨大过程结束，转入以块茎中淀粉积累为主的阶段，此时阶段吸硫量只占总吸硫量的 7.79%；进入淀粉积累期后由于叶片的枯萎脱落，硫的吸收出现负吸收现象。

2.3　生育期间马铃薯硫素吸收速率的动态变化

生育期间马铃薯对硫的吸收速率呈单峰曲线变化，峰值出现在块茎形成期（图 3）。整个生育期间马铃薯每天每公顷吸硫量变化在 0.06~0.28 kg 之间。

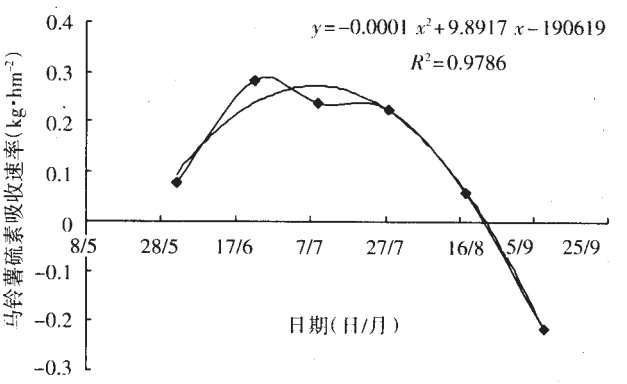

图 3　生育期间马铃薯硫素吸收速率的动态变化

马铃薯出苗后，由于茎叶等器官的建成及生长发育对硫的需求量不断增加，硫的吸收速率迅速增大，到块茎形成期便进入吸收高峰，此时吸收速率达 4.98 mg（株·d）⁻¹，平均每天每公顷吸收 0.28 kg，是苗期的 3.6 倍，是淀粉积累期的 4.8 倍。到块茎增长期仍保持较高的吸收速率。块茎增长期后，由于各器官生长变慢，转入块茎中淀粉的积累，对硫的需要量逐渐减少，硫的吸收速率直线下降，到出苗后 90 d 左右，马铃薯对硫的吸收基本停止。这是因为硫是马铃薯植株体内蛋白质特别是含硫氨基酸的重要组成成分，对马铃薯的形态建成、光合碳代谢和氮代谢具有重要影响，与氮在蛋白质合成中相互依赖。因此马铃薯茎叶的分化建成及生长和块

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

茎的形成膨大与硫营养有密切的关系。

马铃薯对硫素的吸收速率（y）随出苗后天数（x）的变化符合二次曲线。其方程为：

$y=-0.0001x^2+9.8917x-190619$，$R^2=0.9786$

2.4　生育期间硫素在马铃薯各器官的分配

全生育期内随着生长中心的转移，硫在马铃薯各器官中的分配也发生相应的变化。表 3 结果表明，苗期硫全部分配在茎叶中，且以叶片分配为主，达 73.74%。叶片中高的硫素分配率有利于叶细胞的分裂和叶面积的迅速扩大，迅速建成强大的同化体系，且有利于维持其较高的光合活性；块茎形成至块茎增长期，是茎叶生长的旺盛时期，硫在各器官的分配仍以叶片为主，其次为茎秆，块茎中分配最少；进入块茎增长期后，随着块茎的膨大，块茎中硫的分配比例也相应增多，至出苗后 67 d 时，块茎中硫的分配达 36.54%，超过了茎秆的 31.88%和叶片的 31.58%；到淀粉积累期，块茎中硫的分配比例已达 53.38%，大于茎叶中硫的分配比例之和。

表 3　生育期间硫素在马铃薯各器官中的分配　（%）

器官	生育时期					
	苗期（13 d）	块茎形成期（30 d）	块茎增长初期（47 d）	块茎增长期（67 d）	淀粉积累期（90 d）	成熟期（110 d）
茎秆	26.26	39.22	34.38	31.88	29.51	0.00
叶片	73.74	52.63	45.70	31.58	17.11	0.00
块茎	0.00	8.15	19.92	36.54	53.38	100.00

马铃薯在整个生育期间，叶片中硫的分配率以苗期最高，此时 73.74%以上的硫分配到叶片，用于光合系统叶片的迅速建成，此后随着生育进程的推移，叶片中硫素的分配逐渐下降，到淀粉积累期分配在叶片中的硫最少，只有 17.11%；茎秆中硫的分配率变化幅度小，呈单峰曲线变化，峰值出现在块茎形成期；块茎中硫的分配率与叶片相反，呈逐渐增加的变化趋势（表 3）。即块茎形成时硫在块茎中的分配率最低，以后随着生育的推进，块茎中硫的分配率逐渐增加，到成熟期达到最大。实验结果还表明，叶片和块茎中硫的分配率变化幅度大，而茎秆中硫的分配率变化幅度小。

3　结　论

全生育期马铃薯各器官含硫量以叶片最高，茎秆其次，块茎最低。叶片含硫量随生育进程的推移基本呈单峰曲线变化，峰值出现在块茎形成期。茎秆含硫量随生育进程的推移呈低—高—低—高的变化趋势，块茎形成期出现一峰值，以后含硫量下降，至块茎膨大期达最小值，块茎膨大期至淀粉积累期含硫量又有所回升，含硫量达 0.2167%。块茎中含硫量在整个生育期内变化平缓，呈倒抛物线变化，随生育进程推进逐渐降低，收获时又略有增加。

生育期间马铃薯硫素累积吸收量（y）随出苗后的天数（x）的变化符合二次曲线，至块茎增长期硫素累积吸收量已达全生育期的近 2/3，在淀粉积累期硫素累积量达到最大值。且硫素的吸收早于干物质的积累。说明养分的吸收是干物质积累的基础。

马铃薯生育期间阶段吸硫量以块茎形成期至块茎增长期最多，占吸硫总量的 85.84%，幼苗期和淀粉积累期吸收量少，收获时的阶段吸收量由于茎叶的枯萎脱落还出现负值。

生育期间马铃薯对硫素的吸收速率（y）随出苗后天数（x）的变化符合二次曲线，峰值出现在块茎形成期。但直到块茎增长期仍保持较高的吸收速率。整个生育期间马铃薯每天每公顷吸硫量变化在 0.06~0.28 kg 之间。

生育期间硫在马铃薯各器官的分配苗期至块茎增长期以叶片为主，其次是茎秆，块茎增长期以后则是以块茎为主，其次是茎秆，叶片中分配的最少。整个生育期间叶片中硫的分配比例呈逐渐减小的变化趋势，茎秆中硫的分配比例呈单峰曲线变化，峰值出现在块茎形成期，块茎中硫的分配比例则呈逐渐增加的变化趋势。

当马铃薯 667 m² 产量达到 61 776 kg 左右时，每生产 500 kg 块茎需吸收硫 0.13 kg，硫的生产效率为 3846 kg·667 m²。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[参 考 文 献]

[1] 谢瑞芝，董树亭，胡昌浩，等. 植物硫素营养研究进展 [J]. 中国农学通报，2004, 18(2) : 65-69.
[2] 张耀文，李殿荣，田建华，等. 油菜硫营养的研究现状 [J]. 中国油料作物学报，2002, 24(1) : 77-80.
[3] 曹恭，梁鸣早. 硫—平衡栽培体系中植物必需的中量元素 [J]. 土壤肥料，2003(1) : 1-4.
[4] 门福义，刘梦芸. 马铃薯栽培生理 [M]. 北京：中国农业出版社，1995: 190-191.
[5] 崔彦宏，张桂银，郭景伦，等. 高产夏玉米硫的吸收与再分配研究 [J]. 玉米科学，1993, 1(1) : 48-52.
[6] 高炳德，赵利梅，张胜，等. 公顷产量 12.75~15.67 t 春玉米硫、钙、镁吸收动态模型及分布运转规律的研究 [J]. 内蒙古农业大学学报，2000, 21(增刊) : 72-78.
[7] 刘开昌，胡昌浩，董树亭，等. 高油、高淀粉玉米吸硫特性及施硫对其产量、品质的影响 [J]. 西北植物学报，2002, 22(1) : 97-103.
[8] 王空军，胡昌浩，董树亭. 夏玉米硫素吸收与时空分布研究 [J]. 作物学报，2000, 26(6) : 899-904.
[9] 刘存辉，董树亭，胡昌浩. 硫素营养对高产夏玉米施用效应的研究 [J]. 山东农业大学学报：自然科学版，2001, 32(1) : 11-16.
[10] 吴 静，刘宝存，孙明德. 冬小麦对硫的吸收及在体内的分布规律 [J]. 华北农学报，2000, 15(3) : 103-108.
[11] 刘冬碧，陈防，鲁剑巍，等. 油菜干物质积累和养分钾、磷、硫吸收特点及施钾的影响 [J]. 中国油料作物学报，2001, 23(2) : 48-52.

A Study on the Sulphur Absorption of Potato

Feng Yan[1], Meng Meilian[1], Shang Guobin[2], Mu Qingpo[1]

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019, China;
2. Financial Bureau of Wuchuan County, Wuchuan, Inner Mongolia 011700, China)

Abstract: By analyzing the data derived from field test and the indoor test, the potato's sulphur absorption pattern was studied. During all the growth stages, the sulphur content in different potato organs was: leaves > stems > tubers. The accumulated sulphur that the whole potato plant absorbed showed as a curve of quadratic function with the growth stage advanced, and the maximum value appeared in the period of starch accumulating stage. The fastest rate and largest quantity of sulphur absorption occurred from the stage of tuber initiation to the stage of tuber bulking. During the whole process of growth period, the quantity of sulphur allocation in different organs of potato changed with the transfer of growth center. Before the period of tuber bulking, most sulphur allocated to the leaves, less the stems and least the tubers. After then, the most sulphur allocated to the tubers, less to the stems and least to the leaves. The percentage of sulphur allocation decreased gradually in the leaves as the growth period advanced, meanwhile it increased in the tubers which showed as a straight line. And the sulphur content showed as a curvilinear with unipeak in the stem, and the peak value presented in the stage of tuber initiation. In this study, the yield was low, and 0.13 kg sulphur was needed in order to produce 500 kg potato tubers.

Key Words: potato; sulphur; absorption; allocation

欢迎订阅《中国马铃薯》杂志

《中国马铃薯》杂志是由中国作物学会马铃薯专业委员会和东北农业大学主办的国内唯一马铃薯专业科技期刊。它以繁荣我国马铃薯事业为办刊宗旨，报道我国有关马铃薯的学术研究、科研成果，介绍本专业的实用技术及最新进展。该刊设有学术园地、研究简报、经验交流、综述、薯类加工、病害防治、知识介绍、新品种介绍等栏目。

本刊国内外公开发行，双月刊，大 16 开本，彩色封面，每期定价 6.00 元，全年 36.00 元，哈尔滨市邮局发行，全国各地邮局订阅，邮发代号：14-167。为了减少中间环节，读者可直接汇款至编辑部。本刊承揽广告业务，欢迎各界广为利用。

通讯地址：哈尔滨市东北农业大学《中国马铃薯》编辑部
邮　　编：150030　　电　话：0451-55190003　55190739(Fax)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net