

不同马铃薯品种铜素的吸收、积累和分配

杜祥备¹，习敏¹，刘美英²，张胜^{1*}，蒙美莲¹

(1. 内蒙古农业大学农学院，内蒙古 呼和浩特 010019；2. 内蒙古农业大学生态环境学院，内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要：以紫花白、陇薯 3 号、大西洋为材料，对不同马铃薯品种的铜素吸收、积累、分配规律进行了研究。结果表明，生育期间马铃薯全株平均铜含量为 11.62 mg/kg。叶片中铜素累积吸收量陇薯 3 号呈 S 型曲线变化，紫花白、大西洋呈抛物线趋势变化；茎中表现为紫花白、陇薯 3 号呈渐增趋势，大西洋则变化平稳；全株和块茎中的铜素累积吸收量随生育进程的推进逐渐增加。各器官铜素累积吸收量均表现为陇薯 3 号 > 紫花白 > 大西洋。淀粉积累期是吸铜最多、最快的时期。全生育期平均，铜在叶、茎、块茎中的分布分别为 28.44%~39.23%、10.67%~18.68%、42.10%~60.89%。收获时马铃薯体内的铜素运转率为 77.85%~94.61%。每生产 1 000 kg 鲜块茎平均吸收铜 3.83 g，消耗系数平均为 0.0015，生产效率平均为 265.21。

关键词：马铃薯；铜素；吸收；积累；分配

Absorption, Accumulation and Distribution of Copper in Different Potato Varieties

DU Xiangbei¹, XI Min¹, LIU Meiyang², ZHANG Sheng^{1*}, MENG Meilian¹

(1. Collage of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China 2. Collage of Ecology and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: The absorption, accumulation and distribution of copper (Cu) in different potato varieties (Zihuabai, Longshu 3 and Atlantic) were studied. The average copper content in the whole plant of three varieties was 11.62 mg/kg. With the growth stage advancing, the amount of Cu uptake in the leaves of Longshu 3 was accumulated in a S-curve pattern, while the Cu in the leaves of Zihuabai and Atlantic was accumulated in a parabolic curve pattern. The amount of Cu uptake in the stems of Atlantic was changed a little bit, but for Zihuabai and Longshu 3, it was increased gradually. The amount of Cu uptake by the whole plants and tubers was increased as growth stage advanced. Accumulated absorption of Cu in various organs was all in the order: Longshu 3 > Zihuabai > Atlantic. Starch accumulation stage was the stage where the largest amount of copper uptake and the fastest absorption rate occurred. On an average, Cu distribution in leaves, stems and tubers during the whole growth period of potato was 28.44% - 39.23%, 10.67% - 18.68%, 42.10% - 60.89%, respectively. Furthermore, the translocation rate of leaves and stems was 77.85%-94.61% at harvest. The uptake amount of Cu was 3.83 g for per 1 000 kg yield. The productivity was 265.21 and the consumption coefficient was 0.0015.

Key Words: potato; copper; absorption; accumulation; distribution

铜(Cu)是植物必需的微量金属元素，它在作物的光合作用、叶绿素合成及抗逆性的提高方面起着非常重要的作用^[1]，且与马铃薯的产量和品质密切相关。一些研究者研究了铜对马铃薯生长、

光合及产量形成的影响效应，表明铜具有降低马铃薯株高、增加茎粗、提高体内营养水平的作用，叶面喷施铜肥可以增加叶绿素含量、提高光合速率而最终提高产量，并改变产量性状，提高商品薯率和

收稿日期：2011-01-11

基金项目：现代农业产业(马铃薯)技术体系建设专项资金资助(nycytx-15, gwzj-21)。

作者简介：杜祥备(1987-)，男，硕士研究生，主要从事马铃薯栽培营养生理研究。

*通信作者(Corresponding author)：张胜，教授，主要从事马铃薯栽培生理研究，E-mail: nmndzs@126.com。

淀粉含量^[2-4]。

有关玉米、小麦、芋等作物的需铜特性及铜吸收积累规律已有较多报道, 王征帆等^[5]研究重金属铜元素在玉米体内污染累积时发现, 在玉米各部位的累积迁移顺序为: 根 > 茎节 > 茎 > 籽实 > 叶。王小丽^[6]研究发现, 小麦各器官中平均铜含量高低顺序为茎鞘 > 颖壳 > 叶片 > 籽粒。宋春凤和徐坤^[7]对芋头铜的吸收和分配规律进行了研究。白艳姝^[8]对水浇地马铃薯(紫花白)铜素吸收规律进行了研究。有关马铃薯铜素吸收分配规律的研究报道较少, 特别是不同马铃薯品种铜素吸收分配规律的研究还尚未见报道。因此, 系统研究马铃薯不同品种铜素吸收、分配和运转规律, 阐明不同品种的铜营养特性及差异, 对丰富马铃薯栽培生理理论及为优质高产栽培施肥提供科学依据具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 田间试验

田间试验于 2008 年在内蒙古武川县上秃亥乡三间房村内蒙古农牧业科学院旱作试验中心进行。供试品种紫花白、陇薯 3 号、大西洋。供试土壤为沙壤土, 前茬作物为油菜。供试土壤耕层 0~20 cm, 有机质含量 2.6 g / kg、全氮 1.12 g / kg、碱解氮 94.14 mg / kg、全磷 0.42 g / kg、速效磷 47.10 mg / kg、速效钾 114.08 mg / kg、pH 值为 7.77。

试验处理: 不施肥对照(CK); 有机肥区(M), 施优质羊厩肥 22.5 t / hm²; 氮磷肥区(NP), 施 N 120 kg / hm²、P₂O₅ 90 kg / hm²; 有机肥与氮磷肥配

合区(M + NP), 优质羊厩肥 22.5 t / hm², 施 N 120 kg / hm²、P₂O₅ 90 kg / hm²。品种为主区, 施肥处理为副区, 随机排列, 2 次重复, 共 24 个小区。小区行长 6 m, 行距 50 cm, 株距均为 40 cm, 面积 24 m²。所施肥料为有机肥含 N 0.68%、含 P₂O₅ 0.37%, 尿素含 N 46%, 磷酸二铵含 N 18%、P₂O₅ 46%, 全部于播种时底施。马铃薯生长期只利用自然降水不进行灌溉, 其它管理同大田生产。

1.2 样品采集与测定

生育期间分别在苗期(6 月 27 日)、块茎形成期(7 月 17 日)、块茎增长期(8 月 2 日、8 月 18 日)、淀粉积累期(9 月 2 日、9 月 19 日)共取样 6 次, 每次各小区选择代表性的植株 3 株(苗期 5 株)。各小区样株按叶、茎、块茎分器官称量鲜重, 并分别取各器官鲜样 100 g, 在 105 °C 下杀青 30 min, 在 80 °C 下烘干至恒重, 分别计干重并保存干样备用。

铜含量的测定: HNO₃-HClO₄ 消煮-TAS-986 原子吸收分光光度法测定。

1.3 数据分析

将各处理测定结果用 Excel 进行数据处理, 绘制不同品种马铃薯铜素含量变化动态曲线、累积吸收量动态等。

2 结果与分析

2.1 马铃薯不同品种各器官铜素含量变化

由图 1 可以看出, 不同品种叶片中铜素含量表现不同, 紫花白从苗期到块茎形成期略有降低, 块茎形成期以后缓慢提高, 至块茎增长后期达最大值,

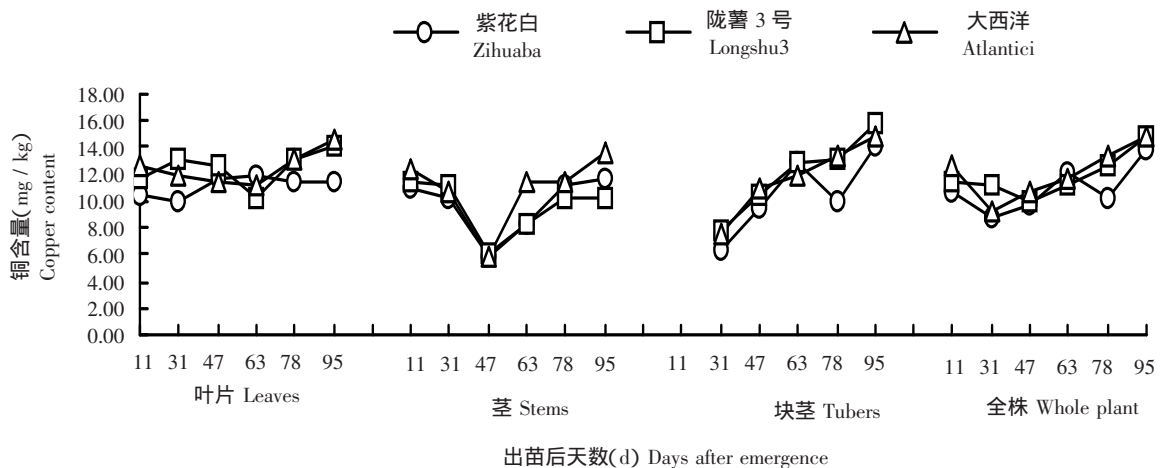


图 1 马铃薯不同品种各器官铜素含量动态变化

Figure 1 Change of copper content in various organs of different potato varieties

以后保持平稳变化；陇薯 3 号与紫花白相反，呈现先升后降再升的变化趋势，块茎增长初期最低，收获期最高；而大西洋呈先降后升变化趋势，块茎增长末期最低，收获期最高。叶片中铜含量大小为陇薯 3 号 > 大西洋 > 紫花白，变幅为 9.95~14.50 mg/kg，平均为 12.06 mg/kg。茎中铜含量均呈 V 型曲线变化，块茎增长初期最低，收获期最高，表现为大西洋 > 紫花白 > 陇薯 3 号，全期平均茎中铜含量为 10.08 mg/kg。3 品种块茎铜含量均在成熟时达最高值，以陇薯 3 号 > 大西洋 > 紫花白，变幅为 6.35~15.82 mg/kg，全期平均为 11.46 mg/kg。各品种全株铜含量均呈先降后升的 V 型曲线变化，紫花白、大西洋块茎形成期含量最低，陇薯 3 号块茎增长初期最低。全生育期全株平均铜含量为大西洋(12.08 mg/kg) > 陇薯 3 号(11.89 mg/kg) > 紫花白(10.90 mg/kg)，平均为 11.62 mg/kg。

2.2 马铃薯不同品种各器官铜素累积吸收量动态

由图 2 可以看出，全生育期马铃薯不同品种叶片和茎秆中铜素累积吸收量变化幅度较小。叶片铜素最大积累量分别为：陇薯 3 号 0.36mg/株、紫花白 0.16mg/株、大西洋 0.12mg/株，茎中铜最大积累量为陇薯 3 号 0.28mg/株、紫花白 0.10 mg/株、大西洋 0.04 mg/株，出现时间为：95、78、63 d，均比叶片晚了一个时期。块茎和全株铜累积吸收量均随块茎干物重的增加而增加，前期增长缓慢，后期增长迅速，成熟时达到最大值。成熟期铜素积累量块茎分别为陇薯 3 号 2.16 mg/株、紫花白 1.75 mg/株、大西洋 1.69 mg/株，全株为陇薯 3 号 2.78 mg/株、紫花白 1.97 mg/株、大西洋 1.79 mg/株。可见，马铃薯铜素的营养期是整个生育期。不同品种比较，全株和各器官铜素累积吸收量均表现为陇薯 3 号 > 紫花白 > 大西洋，不同器官表现为：块茎 > 叶片 > 茎。

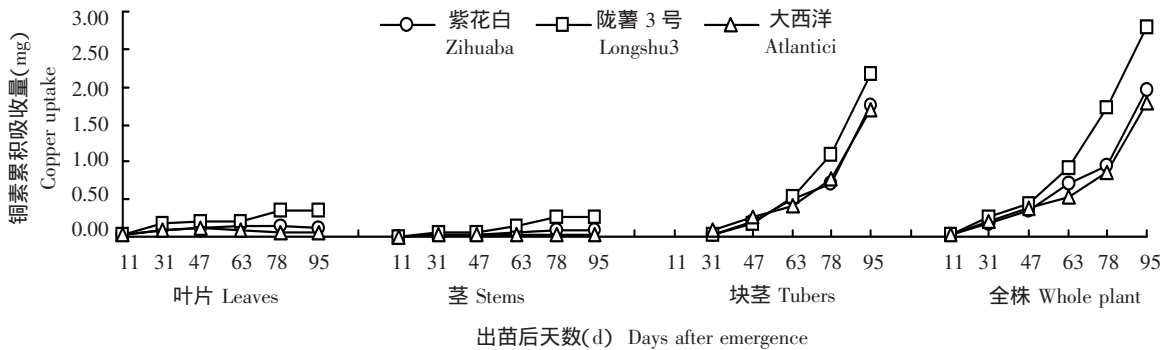


图 2 不同马铃薯品种铜素累积吸收量变化动态

Figure 2 Change of copper uptake of different potato varieties

2.3 马铃薯不同品种铜素阶段吸收量、吸收速率和吸收百分率动态变化

由表 1 可看出，生育期间马铃薯不同品种铜素阶段吸收量、吸收速率和吸收百分率表现出不同的变化趋势。随生育期的推进，陇薯 3 号阶段吸铜量、吸铜速率和吸铜百分率增长较快，紫花白和大西洋则相对缓慢。苗期植株生长缓慢，干物质积累较少，各品种阶段吸铜量、吸铜速率和吸铜百分率都较低；块茎形成期至块茎增长期，生长中心由茎叶生长为主转向茎叶和块茎生长同时并进阶段，消耗的养分增多，阶段吸铜量、吸铜速率和吸铜百分率不断增加，块茎增长期大西洋、陇薯 3 号、紫花白的吸铜百分率分别到了 18.67%、22.67%、28.06%；淀粉积累期，块茎中干物重持续增加，吸铜速率和吸

铜百分率均达到最高值。淀粉积累期持续 31 d，占全生育期的 32%，大西洋、陇薯 3 号、紫花白的吸铜百分率分别达到了 69.66%、67.40%、63.23%，是马铃薯铜素营养的最快吸收期，此期陇薯 3 号的阶段吸铜量为 1.87 mg/株，吸铜速率为 0.055~0.062 mg/d·株，紫花白分别为 1.45 mg/株、0.015~0.060 mg/d·株，大西洋为 1.25 mg/株，吸铜速率为 0.021~0.054 mg/d·株，均达到一生中的最高值。全生育期内平均吸铜速率以陇薯 3 号最快 0.029 mg/d·株，紫花白次之 0.020 mg/d·株，大西洋最小 0.018 mg/d·株。

2.4 马铃薯不同品种体内铜素分布

从表 2 可以看出，马铃薯不同品种生育期间铜素分布规律相近。苗期和块茎形成期主要分布在叶

中, 此后随着生育进程的推进, 铜素也随着生长中心由叶和茎向块茎转移。出苗后 11 d 左右马铃薯植株体内的铜全部分布在叶和茎中, 且以叶中分配为主, 占 69.14%~71.55%。块茎形成期是马铃薯地上茎叶和地下块茎并进生长时期, 铜素分布开始逐步从茎叶转移到了块茎。从出苗后 31 d 开始马铃

薯植株各器官均有铜素的分布, 但是该期是茎叶生长的旺盛时期, 铜在各器官的分配仍以叶片为主。块茎增长期, 块茎成为生长中心, 块茎体积不断膨大, 大量铜素不断转移到块茎中, 块茎铜素分配比例越来越高。淀粉累积期茎叶生长逐步停止、枯萎脱落, 而块茎养分、干物重继续积累增加, 此期铜

表 1 不同生育阶段马铃薯吸铜量、吸铜速率和吸铜百分率的变化

Table 1 Change of copper uptake, absorption rate and absorption percentage in various potato growth stages

项目 Item	品种 Variety	生育时期及出苗后天数(d) Growth stage and days after emergence					
		苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber formation	块茎增长期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation		
		0~11	12~31	32~47	48~63	64~78	79~95
全株累积吸铜量(mg/plant) Copper uptake of the whole plant	紫花白	0.03	0.17	0.37	0.73	0.96	1.97
	陇薯 3 号	0.04	0.28	0.46	0.91	1.73	2.78
	大西洋	0.03	0.21	0.40	0.54	0.86	1.79
阶段吸铜量(mg/plant) Stage absorption of copper	紫花白	0.04	0.14	0.20	0.36	0.23	1.02
	陇薯 3 号	0.03	0.24	0.18	0.45	0.82	1.05
	大西洋	0.03	0.17	0.19	0.14	0.32	0.93
吸铜速率(mg/d·plant) Rate of copper absorption	紫花白	0.0028	0.0071	0.0123	0.0224	0.0154	0.0599
	陇薯 3 号	0.0034	0.0120	0.0112	0.0282	0.0549	0.0619
	大西洋	0.0031	0.0087	0.0120	0.0089	0.0214	0.0544
吸铜百分率(%) Percentage of copper absorption	紫花白	1.80	7.17	9.95	18.11	11.67	51.56
	陇薯 3 号	1.16	8.59	6.46	16.21	29.61	37.79
	大西洋	1.50	9.76	10.72	7.95	17.97	51.69

表 2 马铃薯不同品种生育过程中铜素在体内分布动态变化(%)

Table 2 Change of copper distribution in various organs of different potato varieties(%)

品种 Variety	器官 Organ	生育时期及出苗后天数(d) Growth stage and days after emergence						全期平均(\bar{x}) Average over stages
		苗期 Seedling	块茎形成期 Tuber formation	块茎增长期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation			
		11	31	47	63	78	95	
紫花白 Zihuabai	叶片	71.55	55.07	37.42	21.78	15.79	6.65	34.71
	茎	28.45	20.93	7.80	7.20	10.31	4.58	13.21
	块茎	0.00	24.00	54.79	71.02	73.90	88.76	52.08
陇薯 3 号 Longshu3	叶片	69.38	62.14	45.71	24.49	21.43	12.22	39.23
	茎	30.62	23.55	15.40	16.94	15.61	9.93	18.68
	块茎	0.00	14.32	38.90	58.57	62.96	77.85	42.10
大西洋 Atlantic	叶片	69.14	43.05	29.97	16.52	8.10	3.88	28.44
	茎	30.86	15.87	6.02	6.76	3.01	1.51	10.67
	块茎	0.00	41.08	64.02	76.72	88.89	94.61	60.89

素主要分布于块茎中。在整个生育过程中, 马铃薯体内铜主要分布在叶和块茎中, 全生育期平均叶分布为 28.44%~39.23%, 茎分布为 10.67%~18.68%, 块茎分布为 42.10%~60.89%。块茎铜素运转率分别是: 紫花白 88.76%, 陇薯 3 号 77.85%, 大西洋 94.61%, 表现为大西洋 > 紫花白 > 陇薯 3 号, 说明铜素在大西洋和紫花白中移动性较大。

2.5 马铃薯不同品种铜素 1 000 kg 产量吸收量、消耗系数和生产效率

由表 3 可以看出, 不同品种 1 000 kg 块茎铜素吸收量与消耗系数高低顺序相同, 均为陇薯 3 号 > 大西洋 > 紫花白。铜素的生产效率顺序正好相反, 表现为紫花白 > 大西洋 > 陇薯 3 号。每生产 1 000 kg 块茎, 平均吸铜量为 3.83 g, 铜素生产效率为 265.21, 消耗系数为 0.0015。

表 3 不同马铃薯品种铜素 1 000 kg 产量吸收量、消耗系数、生产效率

Table 3 Absorption amount, consumption coefficient, productivity of copper for producing 1 000 kg tubers in different potato varieties

品种 Variety	1 000 kg 产量(鲜)吸收量(g) Absorption for the yield of 1000 kg	消耗系数 Consumption coefficient	生产效率 Productivity
紫花白 Zihuabai	3.25	0.001489	308.08
陇薯 3 号 Longshu3	4.41	0.001535	226.72
大西洋 Atlantic	3.83	0.001440	260.82
平均 Average	3.83	0.001488	265.21

3 讨 论

生育期间马铃薯不同品种铜素含量存在着差异性, 全株铜含量均呈先降后升的趋势变化, 均在淀粉积累末期达到最高。各器官比较, 前期叶含量最高, 块茎次之, 茎最低, 块茎形成期以后块茎含量最高, 叶片次之、茎最低。全生育期全株平均铜含量为大西洋(12.08 mg/kg) > 陇薯 3 号(11.89 mg/kg) > 紫花白(10.90 mg/kg), 平均为 11.62 mg/kg。随生育期的推进, 陇薯 3 号茎、叶中铜素吸收量呈缓慢增加趋势, 而紫花白、大西洋变化平缓; 全株和块茎中铜吸收量随干物质积累而逐渐增加, 淀粉积累末期达到最大。各器官铜素吸收量均表现为陇薯 3 号 > 紫花白 > 大西洋。

阶段吸铜量、吸铜速率随生育时期的推进整体呈增加趋势, 淀粉积累期是马铃薯吸收铜素数量最多、速率最快的时期, 是马铃薯铜素养分最大效率期。生育期内平均吸铜速率陇薯 3 号最快 0.029 mg/d·株, 紫花白 0.020 mg/d·株, 大西洋最小 0.018 mg/d·株。铜在马铃薯体内的分配随生长中心的转移而发生相应的变化, 苗期和块茎形成期叶片中分布较多, 随着生育期的推进, 铜逐步向块

茎转移, 淀粉积累期铜素运转率为紫花白 88.76%、陇薯 3 号 77.85%、大西洋 94.61%。

马铃薯每生产 1 000 kg 块茎(鲜)平均需要铜 3.83 g, 铜的生产效率平均为 265.21, 消耗系数平均为 0.0015。与水浇地条件相比^[8], 紫花白与之研究结果相差不大, 陇薯 3 号和大西洋千公斤块茎铜素吸收量与消耗系数均有增加, 而生产效率降低了。

[参 考 文 献]

[1] 白宝璋, 田文勋, 赵景阳. 铜对马铃薯生物效应的研究[J]. 吉林农业科学, 1994(1): 54-58.
 [2] 郭洪芸, 傅连海, 刘刚. 叶面喷施 B、Cu 对马铃薯的影响[J]. 马铃薯杂志, 1999, 13(3): 131-132.
 [3] 杜长玉, 高明旭. 不同微肥在马铃薯上应用效果的研究[J]. 马铃薯杂志, 1999, 13(3): 141-144.
 [4] 刘效瑞, 王景才. B、Mo、Mn、Zn 在马铃薯上的应用效果研究[J]. 马铃薯杂志, 1996, 10(2): 108-109.
 [5] 王征帆, 陈养民, 段兴潮. 重金属 Cu 元素在玉米体内的迁移研究[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2006, 26(4): 297-299.
 [6] 王小丽. 小麦 Fe、Mn、Cu、Zn 分配特性研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2009.
 [7] 宋春风, 徐坤. 芋对铁锰铜锌吸收分配规律的研究[J]. 西北农业学报, 2004, 13(3): 114-117.
 [8] 白艳妹. 马铃薯养分吸收分配规律及施肥对营养品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.