

## 商品有机肥施用量对冬作马铃薯硅营养特性的影响

代啟贵<sup>1</sup>, 张帆<sup>1</sup>, 曹先维<sup>2</sup>, 张新明<sup>1\*</sup>

(1. 华南农业大学资源环境学院, 广东广州 510642; 2. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642)

**摘要** [目的]研究商品有机肥对冬作马铃薯硅营养特性的影响,为广东省冬作马铃薯生产过程中硅肥的合理施用提供技术支持。[方法]以无肥和不施有机肥处理为对照,设5个有机肥用量处理(OM1~OM5:3 000~15 000 kg/hm<sup>2</sup>),完全随机区组设计,重复3次;并在关键生育时期取样测定马铃薯植株茎叶和块茎的全硅量。[结果]苗齐后随着生育时期的推进,各处理马铃薯全硅浓度变化表现为茎叶硅浓度总体呈下降趋势,块茎的变化处理间不同,总体下降,处理OM3浓度在0.25~0.93 g/kg;硅积累量的变化表现为茎叶呈先上升后下降的趋势,块茎硅积累量不断上升;硅分配率的变化表现为茎叶先下降后趋于平稳,块茎呈先升高后平稳的趋势,齐苗后27 d硅分配率表现为块茎>茎叶。[结论]随着有机肥施用量增加,冬作马铃薯植株中的硅积累量增加;随着冬作马铃薯生育进程的推进,硅逐渐向块茎转移,说明硅在冬作马铃薯体内具有一定的移动性。

**关键词** 冬作马铃薯;商品有机肥;硅;营养特性**中图分类号** S158.3;S131;S532 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)31-0138-05**Influence of Commercial Organic Fertilizer Application Dosages on Silicon Nutrition Characteristics of Winter Potato Production**DAI Qi-gui<sup>1</sup>, ZHANG Fan<sup>1</sup>, CAO Xian-wei<sup>2</sup> et al (1. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642; 2. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642)

**Abstract** [Objective] To study the influence of the dosages of commercial organic fertilizer on the silicon nutrition characteristics of winter potato, in order to provide technical support for the rational application of silicate fertilizers in the actual production process of winter potato in Guangdong Province. [Method] Five dosages of commercial organic fertilizer (OM1-OM5: 3 000 to 15 000 kg/hm<sup>2</sup>) were designed, with CK (no fertilizer) and CF (only chemical fertilizer without commercial fertilizers) as the control treatments, complete random block design method was used and three replicates for each treatment. Then in the critical growth stages, total silicon contents of leaf-stem and tuber samples were measured. [Result] With the development of the growth period after seedling emergence, the change of the total silicon concentration of potato was as follows: the stems and leaves showed a downward trend, the potato tuber showed different trend in different treatments and was overall decline, and the concentration range of OM3 was 0.25-0.93 g/kg. The change of silicon accumulation was as follows: the stems and leaves first increased and then decreased, and tuber increased. The change of silicon distribution rate was as follows: stems and leaves descend first and then tend to smooth, but tubers increased. The distribution of silicon elements in the tuber was larger than that of the stem and leaf after 27 days of emergence. [Conclusion] With the increase of commercial organic fertilizer, the silicon accumulation amounts increase in winter potato plants. Silicon nutrient would move towards tubers from leaves and stems with the growth process, which show that silicon nutrient is mobile in the winter potato plants.

**Key words** Winter potato (*Solanum tuberosum* L.); Commercial organic fertilizer; Silicon element; Nutrition characteristics

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L) 是仅次于玉米、小麦、水稻之后的世界第四大粮食作物,在粮食安全方面发挥重要的作用<sup>[1]</sup>。我国马铃薯种植面积与总产已位居全球第一,且在南方稻区和干旱、半干旱地区,种植面积仍有增加的潜力,具有广阔的发展空间,特别是南方冬作马铃薯,其产量效益更高,在南方冬季农业中越来越重要<sup>[2-3]</sup>。广东地处热带、南亚热带地区,冬季气候资源优越,光温水条件好,自然灾害较少,发展冬作马铃薯生产潜力大,市场前景好,产业效益高。

硅在地壳中含量位居第二位,尽管尚未被列为植物生长的必需营养元素,但在促进植物生长发育和营养吸收、提高植物对非生物逆境胁迫和生物逆境胁迫的抗性等方面均具有重要作用<sup>[4]</sup>。硅能增加植物对生物和非生物胁迫的抗性。马铃薯吸收积累硅量很低,在不理想的生长条件下很容易造成产量损失,因此,施硅肥可能有助于马铃薯的改良。研究表明,在施硅肥的情况下,马铃薯块茎成熟时间会推迟<sup>[5]</sup>。Gomes 等<sup>[6]</sup>研究表明,施硅肥可以使马铃薯叶片损伤的数量

较少。王利勇等<sup>[7]</sup>研究发现喷施叶面肥(B、Si、复硝酚钠)显著提高了马铃薯产量和品质以及淀粉、蛋白质和总糖含量,其中硅肥在提高马铃薯产量和品质上的效果最明显。研究发现土壤施硅肥和喷施硅叶面肥增加马铃薯中脯氨酸含量和过氧化氢酶(CAT)活性,使块茎干重增加,且减少水胁迫下马铃薯中的过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)浓度。叶面施硅还可以增加超氧化物歧化酶(SOD)的活性。在水分胁迫条件下,土壤施硅或者叶面喷施硅肥马铃薯生长、叶绿素 a 和类胡萝卜素的浓度、叶绿素 a/b、块茎产量均与无水分胁迫的马铃薯接近<sup>[8]</sup>。Carlosac 等<sup>[9]</sup>研究表明,施加硅可以降低叶片中的总糖和可溶性蛋白浓度,减少了茎秆倒伏,增加了块茎平均质量,从而提高了块茎产量。Talebi 等<sup>[10]</sup>研究显示,喷施 5 mmol/L 硅酸钾可以使马铃薯叶片叶绿素 b 和可溶性糖含量显著增加。

近年来,关于冬作马铃薯氮磷钾等必需矿质营养特性及肥效研究较多<sup>[11-15]</sup>,但对硅营养特性的研究鲜见报道。为掌握硅在冬作马铃薯上吸收积累和分配特征,笔者研究商品有机肥施用量对冬作马铃薯硅营养特性的影响,旨在为硅肥在冬作马铃薯主产区的应用与推广提供技术支持。

**1 材料与方法****1.1 试验地概况** 试验地位于惠东县平海镇径口村国家马**基金项目** 农业部“现代农业产业(马铃薯)技术体系(国家马铃薯产业技术体系广州综合试验站)团队项目(CARS-9-ES14)。**作者简介** 代啟贵(1989—),男,河南信阳人,硕士研究生,研究方向:养分资源管理与新肥料研制。\*通讯作者,副教授,博士,硕士生导师,从事养分资源管理与安全农产品研究。**收稿日期** 2018-05-23;修回日期 2018-06-07

铃薯产业技术体系广州综合试验站试验地。供试土壤为轻壤质水稻土,基础土壤样品:碱解氮(N)91.6 mg/kg,速效磷(P)89.2 mg/kg,速效钾(K)102.4 mg/kg,前茬水稻。

**1.2 试验材料** 供试肥料包括马铃薯肥(15-8-22)和商品有机肥(N 11.94 g/kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 17.65 g/kg, K<sub>2</sub>O 9.20 g/kg)。供试马铃薯品种和种薯:费乌瑞它,一级脱毒种薯。

**1.3 试验方法** 采用完全随机区组设计,共7个处理,3个重复,共21个小区,每个小区3垄,每个试验小区面积为3.3 m×6.0 m=19.8 m<sup>2</sup>。3垄中1垄作为采样区,另外2垄作为测产区。每小区间设置0.7 m的隔离垄,防止肥料随雨水渗透至相邻小区,影响试验结果。

除CK处理外,各处理的缓控释肥用量相同,均为1 500 kg/hm<sup>2</sup>。不同处理商品有机肥施用量:15 000 kg/hm<sup>2</sup>(OM1)、12 000 kg/hm<sup>2</sup>(OM2)、9 000 kg/hm<sup>2</sup>(OM3)、6 000 kg/hm<sup>2</sup>(OM4)、3 000 kg/hm<sup>2</sup>(OM5)、0(CF)、0(CK)。马铃薯田NPK化肥养分施用量折算为(N 225 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg/hm<sup>2</sup>和K<sub>2</sub>O 330 kg/hm<sup>2</sup>,35%控释氮+65%速效氮,磷和钾均为速效养分。

试验在2016年11月10日布置,大田管理主要参考历年操作,不同之处在于一次性施用基肥,无追肥。采取稻草覆盖种植模式。

**1.4 田间管理** 实行稻草覆盖高垄双行栽培,具体方法:①2016年11月12日整地、施肥,垄高20 cm左右,垄宽85 cm,垄间沟宽20 cm,清理干净垄沟并平整垄面。从垄中开约10 cm深的沟,将有机肥和基肥分小区均匀撒入沟中,覆土,平整垄面。②2016年11月13日播种,垄两侧播种,播种方法为“品”字形错株穴播,每垄均匀播种50株,密度为75 758 棵/hm<sup>2</sup>,播种后垄面覆盖稻草,盖土压住,防止稻草被吹走。③2016年12月26日覆土,采用覆土机作业,覆土厚度7~9 cm。④2017年3月26日收获,分小区进行测产分级,统计各小区测产垄的商品薯、小薯、病薯、烂薯,商品薯的标准:单个薯≥75 g,无畸形,无病,无虫蛀,无裂口等;次

品薯的标准:单个薯小于75 g,烂薯,裂薯和畸形薯。其他管理同大田。

## 1.5 样品采集、处理与分析方法

**1.5.1 样品采集与处理。**植株样品采集与处理:分别于齐苗(出苗率80%)后3、15、27、39、51和63 d采样,采样时,在每个小区的取样垄选取有代表性的3株作为取样植株;取回室内进行清洗、晾干,然后将每个小区的3株植株的块茎、叶和茎分离,然后按部位汇总称重,且均匀取样(≤300 g),分器官装在信封并置于烘箱中105℃下杀青30 min,之后调烘箱温度至75℃烘至恒重,称量各样品干重,粉碎,后放于塑料封口袋中做好标记,按处理类别保存供分析测定。收获时选取有代表性块茎作为收获样品,测定硅元素含量。

土壤样品采集与处理:整地前采用“S”型采样方法采集0~20 cm土层的基础混合土壤样品,经风干,过2.000和0.149 mm筛,保存于密封袋中,供分析。

**1.5.2 样品分析。**土壤样品:土壤质地、碱解氮、速效磷和速效钾;植物样品:全硅。分析方法参照《土壤农化分析》<sup>[16]</sup>。

**1.6 数据分析** 采用DPS 14.0统计软件<sup>[17]</sup>和Excel 2007对相关数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

**2.1 商品有机肥施用量对马铃薯全硅浓度的影响** 由表1可知,商品有机肥茎叶硅浓度为1.73~4.77 g/kg。齐苗后3 d,各处理的茎叶硅浓度无显著差异。齐苗后15 d,OM1处理的茎叶浓度最高,与其他处理差异显著,且与OM4、OM5和CF处理存在显著差异。齐苗后39 d,各处理茎叶全硅浓度表现为OM3>OM2>OM5>CK>OM1>OM4>CF,处理OM3和OM2与其他处理存在显著差异,且与CF和CK处理差异显著。齐苗后51~63 d,各处理之间差异不显著。

对于同一处理不同时期,齐苗后27~51 d,各处理在生育中期均出现一个小峰值,处理OM1~OM5茎叶硅浓度的小峰值均出现在齐苗后39 d,CF处理的小峰值出现在齐苗后51 d,而CK处理的小峰值出现在齐苗后27 d。

表1 商品有机肥施用量对马铃薯茎叶硅浓度的影响

Table 1 The effects of commercial organic fertilizer dosages on the silicon contents in leaves-stems

g/kg

处理 Treatment	齐苗天数 Full stand days//d					
	3	15	27	39	51	63
OM1	4.12±0.03 a	2.97±0.15 a	2.14±0.37 b	2.50±0.06 ab	2.24±0.09 a	2.04±0.22 a
OM2	3.57±0.28 a	2.67±0.35 ab	2.14±0.34 b	2.82±0.22 a	2.13±0.20 a	1.91±0.20 a
OM3	4.30±0.72 a	2.43±0.20 abc	2.17±0.24 b	2.88±0.19 a	2.29±0.08 a	2.45±0.06 a
OM4	4.16±0.07 a	2.18±0.11 bc	1.73±0.13 b	2.42±0.10 ab	2.03±0.17 a	2.22±0.23 a
OM5	3.94±0.38 a	2.11±0.25 bc	1.91±0.14 b	2.63±0.14 ab	2.06±0.24 a	2.27±0.16 a
CF	4.77±0.33 a	1.79±0.08 c	1.69±0.15 b	2.18±0.11 b	2.27±0.20 a	2.18±0.23 a
CK	4.22±0.21 a	2.24±0.33 abc	3.26±0.24 a	2.60±0.21 ab	2.05±0.22 a	1.91±0.38 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

由表2可知,马铃薯块茎硅浓度为0.45~1.01 g/kg。齐苗后15 d,处理OM3的块茎硅浓度达最高0.93 g/kg,且与同时期其他处理差异显著。齐苗后51 d,处理OM4的块茎硅浓度达同时期最大值,且与OM2、OM3和CF处理的块茎浓

度差异显著。齐苗63 d后,各处理马铃薯块茎硅浓度表现为OM5>CK>OM4>OM3>OM1>CF>OM2。

从同一处理不同时期看,齐苗后15~63 d,OM1、OM3和OM5处理的块茎浓度最大值出现在齐苗后15 d,OM2、CF和

CK5 处理的块茎浓度最大值出现在齐苗后 27 d,OM4 处理的块茎浓度一直递减。最大值出现在齐苗后 39 d。处理 OM5 在整个生长时期,块

表 2 商品有机肥施用量对马铃薯块茎硅浓度的影响

Table 2 The effects of commercial organic fertilizer dosages on the silicon contents in tubers

g/kg

处理 Treatment	齐苗天数 Full stand days//d					
	3	15	27	39	51	63
OM1	0.99±0.01 a	0.64±0.10 b	0.31±0.16 b	0.61±0.01 a	0.28±0.01 b	0.26±0.02 bc
OM2	0.77±0.12 a	0.49±0.04 b	0.72±0.04 a	0.59±0.08 a	0.30±0.03 b	0.25±0.04 c
OM4	0.69±0.06 a	0.50±0.05 b	0.49±0.03 ab	0.56±0.10 a	0.37±0.02 ab	0.31±0.04 abc
OM5	0.78±0.15 a	0.63±0.05 b	0.57±0.14 ab	0.47±0.02 ab	0.42±0.05 a	0.36±0.02 a
CF	1.01±0.26 a	0.29±0.03 c	0.48±0.06 ab	0.45±0.15 ab	0.32±0.02 b	0.26±0.02 bc
CK	0.65±0.14 ab	0.25±0.01 c	0.61±0.12 ab	0.29±0.03 b	0.35±0.03 ab	0.35±0.03 ab

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)

Note:Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

由表 3 可知,各处理全株硅浓度为 0.46~4.34 g/kg,各处理整体呈全株硅浓度随生长时期的推进而呈下降趋势(中间个别时期浓度会小幅回升再下降)。齐苗后 63 d,各处理全株硅浓度表现为 OM5>CK>OM4>OM3>OM1>CF>OM2,其中 OM5 处理达到这一时期的最大值,OM5 处理的全株硅浓

度与其他处理之间均存在差异,且与 OM1、OM2 和 CF 处理差异显著。齐苗后 27~63 d,处理 OM1、OM3、OM4、OM5 和 CF 的马铃薯全株硅浓度的峰值均出现在齐苗后 39 d,而处理 OM2 和 CK 的全株硅浓度的峰值出现在齐苗后 27 d。

表 3 商品有机肥施用量对马铃薯全株硅浓度的影响

Table 3 The effects of commercial organic fertilizer dosages on the silicon contents in the whole plant

g/kg

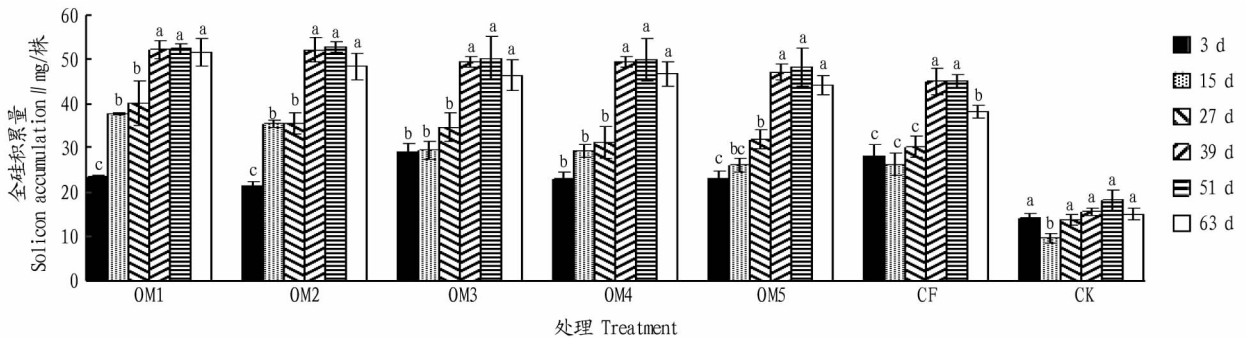
处理 Treatment	齐苗天数 Full stand days//d					
	3	15	27	39	51	63
OM1	3.8±0.05 ab	1.75±0.17 ab	0.95±0.14 ab	1.06±0.01 a	0.55±0.02 b	0.49±0.02 b
OM2	3.36±0.29 b	1.55±0.17 ab	1.23±0.11 a	1.08±0.08 a	0.57±0.03 b	0.46±0.03 b
OM3	3.15±0.50 b	1.86±0.11 a	0.94±0.08 ab	0.94±0.1 ab	0.60±0.03 b	0.51±0.06 ab
OM4	3.68±0.09 ab	1.32±0.10 bc	0.94±0.14 ab	0.98±0.12 a	0.68±0.04 ab	0.58±0.06 ab
OM5	3.35±0.32 b	1.46±0.19 ab	0.84±0.09 b	0.88±0.02 ab	0.75±0.06 a	0.66±0.02 a
CF	4.34±0.37 a	0.89±0.05 d	0.75±0.06 b	0.8±0.16 ab	0.62±0.02 b	0.48±0.01 b
CK	3.02±0.01 b	0.93±0.09 cd	1.22±0.02 a	0.67±0.03 b	0.66±0.05 ab	0.61±0.07 ab

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)

Note:Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

2.2 商品有机肥施用量对马铃薯茎叶全硅积累量的影响 由图 1 可知,茎叶全硅积累量呈先上升后下降的单峰曲线变化,各处理茎叶硅积累量为 9.65~53.03 mg/株,各处理的峰值均出现在齐苗后 51 d。从同一处理不同时期看,齐苗后 39~

63 d 各处理茎叶硅积累量均无差异。齐苗后 27~39 d,齐苗后 39 d 均高于齐苗后 27 d 的茎叶全硅积累量,且均达显著差异(CK 除外)。齐苗后 51~63 d,各处理均呈下降趋势,其中 CF 处理齐苗后 63 d 全硅积累量与齐苗后 51 d 有显著差异。



注:不同小写字母表示不同时期间差异显著(P<0.05)

Note:Different lowercases in the same column stand for significant differences between different stages at 0.05 level

图 1 同一处理不同时期马铃薯茎叶全硅积累量的变化

Fig 1 Changes of total silicon accumulation amounts of potato leaves-stems at different growth stages with the same treatment

由表 4 可知,齐苗后 51 d,各施肥处理与空白处理 CK 有显著差异,各施肥处理之间无显著差异。齐苗后 63 d,各处理茎叶全硅积累量表现为 OM1>OM2>OM4>OM3>OM5>CF>

CK,处理 OM1、OM2 和 OM4 与其他处理的茎叶硅积累量有差异,且与 CF 和 CK 差异显著。

表 4 同一时期不同处理间马铃薯茎叶全硅积累量的变化

Table 4 Changes of the silicon accumulation amounts in potato leaves-stems in the same growth period

mg/株

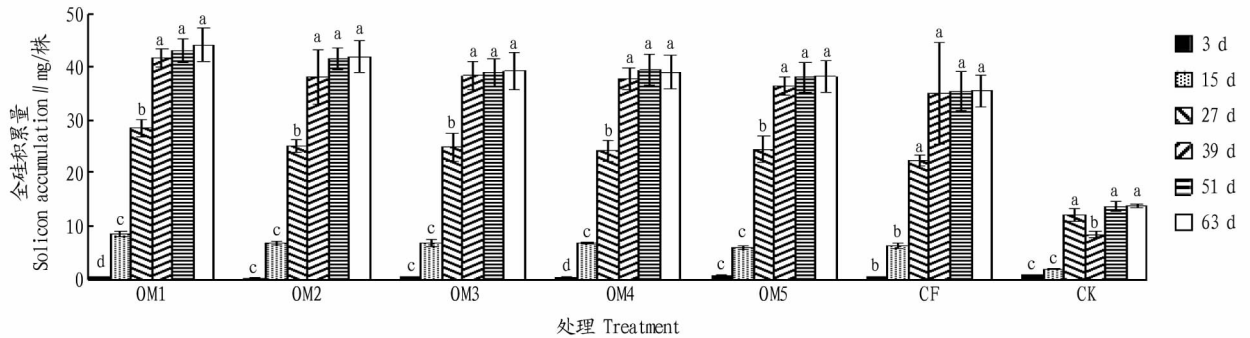
处理 Treatment	齐苗后天数 Full stand days//d					
	3	15	27	39	51	63
OM1	23.64±0.18 b	37.84±1.90 a	40.26±5.06 a	52.46±2.04 a	52.62±1.08 a	51.77±3.15 a
OM2	21.60±0.85 b	35.62±1.46 a	35.60±2.43 a	52.33±2.84 a	53.03±1.16 a	48.60±2.97 a
OM3	29.27±1.96 a	29.58±0.82 b	34.82±3.33 a	49.63±1.12 ab	50.43±4.98 a	46.51±3.51 ab
OM4	23.12±1.48 b	29.50±1.51 b	31.44±3.60 a	49.62±1.18 ab	50.08±4.88 a	46.86±2.75 a
OM5	23.30±1.60 b	26.20±0.96 b	32.00±2.16 a	47.25±1.79 ab	48.43±4.26 a	44.25±2.16 ab
CF	28.32±2.50 a	26.43±1.13 b	30.34±2.39 a	45.19±2.95 b	45.36±1.43 a	38.35±1.42 b
CK	14.29±1.02 c	9.65±0.70 c	13.84±1.30 b	15.65±0.82 c	18.34±2.25 b	15.11±1.33 c

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

由图 2 可知, 块茎全硅积累量随着生育期的推进而不断上升, 块茎全硅积累量为 0.42~44.22 mg/株。从同一处理不同时期看, 各处理齐苗后 27 d 的块茎全硅积累量高于齐苗后 15 d 的块茎全硅积累量, 且差异显著; OM1~OM5 处理齐苗

后 39 d 的块茎全硅积累量高于齐苗后 27 d 的块茎全硅积累量, 且差异显著。OM1~CF 6 个施肥处理在齐苗后 39~63 d, 块茎全硅积累量均有小幅增加 (OM4 处理齐苗后 51~63 d 除外), 但 3 个时期的块茎积累量无显著差异。

注: 不同小写字母表示不同时期间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different stages at 0.05 level

图 2 同一处理不同时期马铃薯块茎全硅积累量的变化

Fig. 2 Changes of total silicon accumulation amounts of potato tubers at different growth stages with the same treatment

由表 5 可知, 齐苗后 15 d, OM1 处理高于其他处理, 且有显著差异。齐苗后 63 d 后, 块茎全硅积累量表现为 OM1 > OM2 > OM3 > OM4 > OM5 > CF > CK, 处理 OM1~CF 的块茎硅积

量与 CK 有显著差异, OM1 和 OM2 施肥处理的块茎硅积累量最高, 且与处理 OM5、CF 和 CK 存在显著差异。

表 5 同一时期不同处理马铃薯块茎全硅积累量的变化

Table 5 Changes of the silicon accumulation amounts at tubers at the same growth period

mg/株

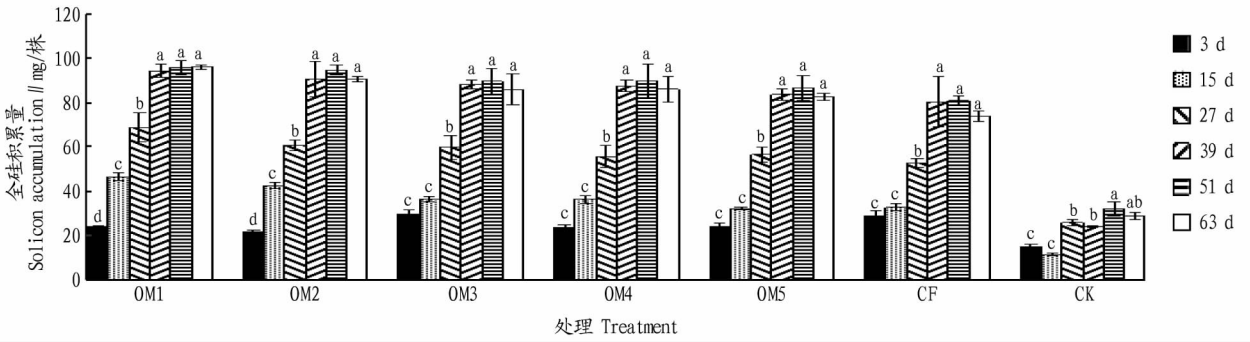
处理 Treatment	齐苗后天数 Full stand days//d					
	3	15	27	39	51	63
OM1	0.67±0.10 bc	8.73±0.44 a	28.59±1.64 a	41.81±1.69 a	43.07±2.21 a	44.22±3.11 a
OM2	0.42±0.12 c	7.07±0.35 b	25.25±1.21 a	38.18±5.18 a	41.63±2.08 a	42.01±2.96 a
OM3	0.68±0.06 bc	7.00±0.70 b	25.02±2.58 a	38.48±2.62 a	39.12±2.55 a	39.34±3.51 a
OM4	0.62±0.04 bc	7.04±0.24 b	24.39±1.95 a	37.86±1.98 a	39.49±2.88 a	39.12±3.09 a
OM5	0.96±0.07 a	6.24±0.36 b	24.63±2.43 a	36.50±1.66 a	38.12±2.86 a	38.30±2.98 a
CF	0.71±0.06 b	6.52±0.48 b	22.53±1.01 a	35.14±9.59 a	35.50±3.68 a	35.60±2.99 a
CK	1.02±0.10 a	2.12±0.07 c	12.31±1.15 b	8.61±0.57 b	13.88±0.97 b	14.05±0.29 b

注: 同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

由图 3 可知, 各处理所有时期全株全硅积累量为 11.76~95.99 mg/株。从同一处理不同时期看, 各处理的全株全硅积累量 (OM1 除外) 均呈先升高后降低的趋势, OM1 处理的全株全硅积累量一直递增。齐苗后 3~39 d, 处理 OM1 和 OM2 后一个采样时期的全株全硅积累量均高于前一时期, 且

有显著差异。齐苗后 15~39 d, 处理 OM3、OM4、OM5 和 CF 后一个采样时期的全株全硅积累量均高于前一时期, 且有显著差异。齐苗后 39~63 d, 同处理 (CK 除外) 3 个采样时期的全株全硅积累之间无显著差异。



注:不同小写字母表示不同时期差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different stages at 0.05 level

图3 同一处理不同时期马铃薯全株全硅积累量的变化

Fig. 3 Changes of total silicon accumulation amounts of potato plants at different growth stages with the same treatment

由表6可知,齐苗后15 d,OM1和OM2处理高于其他处理的全株全硅积累量,且有显著差异。齐苗后27 d,处理OM1全株全磷积累量高于其他处理,且与处理CF和CK差异显著。齐苗后39~51 d,除CK外各施肥处理之间均无显

著差异。齐苗后63 d,各处理全株全硅积累量表现为OM1>OM2>OM4>OM3>OM5>CF>CK,处理OM1全株全硅积累量与处理CF和CK差异显著。

表6 同一时期不同处理马铃薯全株全硅积累量的变化

Table 6 Changes of the silicon accumulation amounts in potato plants at the same growth period

处理 Treatment	齐苗后天数 Full stand days//d					
	3	15	27	39	51	63
OM1	24.31±0.22 bc	46.57±1.78 a	68.85±6.66 a	94.27±3.11 a	95.69±3.10 a	95.99±0.96 a
OM2	22.02±0.77 c	42.69±1.37 a	60.86±2.45 ab	90.51±8.02 a	94.66±2.19 a	90.61±1.28 ab
OM3	29.95±2.00 a	36.57±1.26 b	59.84±5.28 ab	88.11±1.94 a	89.56±5.84 a	85.85±7.00 ab
OM4	23.75±1.51 c	36.54±1.75 b	55.83±4.88 ab	87.48±2.45 a	89.57±7.68 a	85.98±5.73 ab
OM5	24.26±1.61 bc	32.44±0.59 b	56.63±3.29 ab	83.75±2.59 a	86.55±5.55 a	82.55±1.45 bc
CF	29.03±2.44 ab	32.95±1.59 b	52.88±1.96 b	80.33±11.22 a	80.86±2.25 a	73.95±2.34 c
CK	15.30±1.04 d	11.76±0.73 c	26.15±1.38 c	24.27±0.51 b	32.21±3.21 b	29.16±1.50 d

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences between different treatments at 0.05 level

2.3 商品有机肥施用量对马铃薯全硅分配率的影响 由图4可知,随着马铃薯生育期的推进,马铃薯茎叶全硅分配率逐渐降低,块茎全硅积累量占比则逐渐上升。齐苗后3 d茎叶全硅积累量占93.40%~98.09%,随着生育期的推进,马铃薯

叶片发黄脱落,齐苗后63 d,茎叶全硅积累量占比为51.82%~54.50%。而块茎全硅积累量占比从齐苗后3 d的1.91%~6.67%,到齐苗后63 d的45.50%~48.18%,块茎全硅积累量占总积累量比例表现为CK>CF>OM5>OM2>OM1>OM3>OM4。

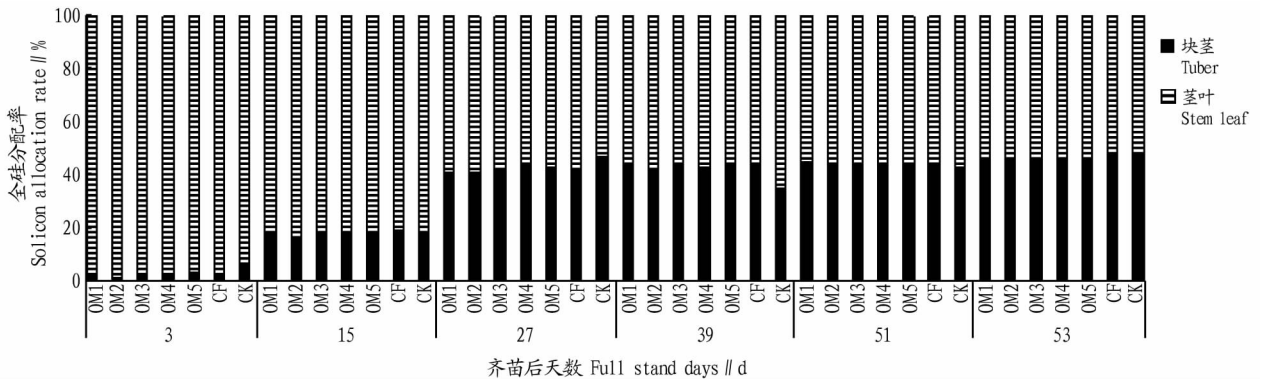


图4 商品有机肥施用量对马铃薯全硅分配率的影响

Fig. 4 The influence of commercial organic fertilizer dosages on silicon distribution rates in the whole potato plant

3 结论与讨论

该研究结果表明,商品有机肥茎叶硅浓度为1.73~4.77 g/kg。齐苗后3 d,各处理的茎叶硅浓度无显著差异。马铃薯块茎硅浓度为0.45~1.01 g/kg,各处理全株硅浓度为0.46~4.34 g/kg,各处理整体呈全株全硅浓度随着生长时期

的推进呈下降趋势。马铃薯各部位硅浓度表现为茎叶>全株>块茎,与李晓艳等<sup>[18]</sup>对番茄等植物全硅研究结果相近。

茎叶全硅积累量呈单峰曲线变化,各处理茎叶硅积累量为9.65~53.03 mg/株,各处理的峰值均出现在齐苗后51 d。

(下转第162页)

## 参考文献

- [1] MINN A J. Interferons and the immunogenic effects of cancer therapy[J]. Trends in immunology, 2015, 36(11): 725-737.
- [2] ALESSANDRINO F, TIRUMANI S H, KRAJEWSKI K M, et al. Imaging of hepatic toxicity of systemic therapy in a tertiary cancer centre: Chemotherapy, haematopoietic stem cell transplantation, molecular targeted therapies, and immune checkpoint inhibitors[J]. Clinical radiology, 2017, 72(7): 521-533.
- [3] MITROFANOVA I, ZAVYALOVA M, TELEGINA N, et al. Tumor-associated macrophages in human breast cancer parenchyma negatively correlate with lymphatic metastasis after neoadjuvant chemotherapy[J]. Immunobiology, 2017, 222(1): 101-109.
- [4] 严虹霞, 杜娟, 柴丽敏, 等. 不同免疫增强剂对肿瘤患者免疫功能的影响[J]. 中国医院药学杂志, 2017, 37(5): 454-458.
- [5] 曹海武, 赵晓红, 陆时运, 等. 恶性血液病患者化疗后并发感染与机体免疫功能及肠道微生物的关系[J]. 中国病原生物学杂志, 2017, 12(5): 456-459.
- [6] 黄相国, 沈裕虎. 麦绿素及麦绿素产品的开发前景[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(1): 79-80.
- [7] 李一卓. 麦绿素的生理功能及开发研究进展[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(3): 21-23.
- [8] 杜蓉, 王晓洁, 阮新, 等. 富锗大麦苗对小鼠免疫功能的调节[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 578-581.
- [9] 杜蓉, 王晓洁, 许清, 等. 富锗大麦苗体内外抗肿瘤作用[J]. 食品科学, 2010, 31(23): 371-374.
- [10] 肖颜颜, 王晓洁, 戴小曼, 等. 富硒大麦苗对小鼠免疫功能的调节[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 401-405.
- [11] 杜蓉, 王晓洁, 阮新, 等. 富锗大麦苗对小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 371-373.
- [12] 肖颜颜, 王晓洁, 高红月, 等. 富硒大麦苗对小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 2011, 27(2): 146-149.
- [13] 解卫海, 王晓洁, 肖颜颜, 等. 富硒大麦苗对小鼠酒精性胃溃疡的防治作用[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(12): 1321-1326.
- [14] 王晶, 闫训友, 王万雷, 等. 阿魏侧耳胞外多糖对荷瘤小鼠免疫能力的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 268-271.
- [15] 徐淑云. 药理学实验方法[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1982: 158-160.
- [16] 李启松, 崔玉宝. 炎症促进肿瘤发生发展的研究进展[J]. 医学综述, 2015, 21(16): 2918-2920.
- [17] 曾晓宁. 肥大细胞、嗜碱性粒细胞在过敏性疾病发病机制中的作用研究进展[J]. 医学研究生学报, 2010, 23(7): 764-766.
- [18] 王荣欣. 嗜酸性粒细胞增多综合症的临床特征及诊疗进展[J]. 重庆医学, 2014, 43(21): 2818-2820.
- [19] 步召胜. 茶叶功能成分的化学组成及研究[J]. 福建茶叶, 2016(10): 23-24.
- [20] 周健鹏. 荷叶化学成分和药理作用研究进展[J]. 天津药学, 2014, 26(2): 65-68.
- [21] 赖铃林, 彭小芳, 冷思念, 等. 中药桑叶药理作用的研究进展[J]. 安徽医药, 2016, 20(12): 2210-2214.
- [22] DURHAM J J, OGATA J, NAKAJIMA S, et al. Degradation of organophosphorus pesticides in aqueous extracts of young green barley leaves (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Journal of the science of food & agriculture, 1999, 79(10): 1311-1314.
- [23] LILAMAND M, KELLAIDITI E, GUYONNET S, et al. Flavonoids and arterial stiffness: Promising perspectives[J]. Nutrition, metabolism and cardiovascular diseases, 2014, 24(7): 698-704.
- [24] 凌美庭. 保健食品原料手册[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 2006: 333.
- [25] SICA A, ALLAVENA P, MANTOVANI A. Cancer related inflammation: The macrophage connection[J]. Cancer letters, 2008, 267(2): 204-215.
- [26] GRIVENNIKOV S I, GRETEN F R, KARIN M. Immunity, inflammation, and cancer[J]. Cell, 2010, 140(6): 883-899.
- [27] AGGARWAL B B, VIJAYALEKSHMI R V, SUNG B. Targeting inflammatory pathways for prevention and therapy of cancer: Short-term friend, long-term foe[J]. Clinical cancer research, 2009, 15(2): 425-430.

(上接第142页)

块茎全硅积累量表现为随着生育期的推进而不断上升, 块茎全硅积累量为 0.42~44.22 mg/株。各处理所有时期全株全硅积累量为 11.76~95.99 mg/株, 全株全硅积累量呈先升高再降低的趋势, 且有机肥施加量越多, 各相应处理的全硅积累量越高。

齐苗后 3 d 茎叶全硅积累量占比为 93.40%~98.09%, 随着生育期的推进, 马铃薯叶片发黄脱落, 齐苗后 63 d, 茎叶全硅积累量占比为 51.82%~54.50%。而块茎全硅积累量占比从齐苗后 3 d 的 1.91%~6.67%, 到齐苗后 63 d 的 45.50%~48.18%。由于马铃薯和排硅作物番茄均是茄科植物, 与李换丽<sup>[9]</sup>的研究结果相符, 马铃薯各器官硅积累量也较少。由于马铃薯硅营养相关的研究较少, 因此对于全硅吸收分配规律还需要进一步探讨。

综上所述, 随着有机肥施用量增加, 冬作马铃薯植株中的硅积累量增加; 随着冬作马铃薯生育进程的推进, 硅逐渐向块茎转移, 说明硅在冬作马铃薯体内具有一定的移动性。硅在冬作马铃薯由茎叶转移块茎的机理有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 刘洋, 高明杰, 何威明, 等. 世界马铃薯生产发展基本态势及特点[J]. 中国农学通报, 2014, 30(20): 78-86.
- [2] 屈冬玉, 金黎平, 谢开云. 中国马铃薯产业 10 年回顾[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010.
- [3] 陈万明, 蔡瑞林, 林琳. 推进马铃薯主粮化的战略构想[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(1): 182-185.
- [4] IWASAKI K, MAIER P, FECHT M, et al. Effects of silicon supply on apoplastic manganese concentrations in leaves and their relation to manganese tolerance in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) [J]. Plant & soil, 2002, 238(2): 281-288.
- [5] VULAVALA V K R, ELBAUM R, YERMIYAHU U, et al. Silicon fertilization of potato: Expression of putative transporters and tuber skin quality [J]. Planta, 2016, 243(1): 217-229.
- [6] GOMES F B, MORAES J C, NERI D K P. Fertilization with silicon as resistance factor to pest insects and promoter of productivity in the potato crop in an organic system [J]. Ciência e agrotecnologia, 2009, 33(1): 18-23.
- [7] 王利勇, 汪强, 谭金芳, 等. 滴灌施肥与叶面喷施相结合供肥方式对马铃薯产量和品质的影响[J]. 江西农业学报, 2012, 24(5): 121-123.
- [8] PILON C, SORATTO R P, Broetto F, et al. Foliar or soil applications of silicon alleviate water-deficit stress of potato plants [J]. Agronomy journal, 2014, 106(6): 2325-2334.
- [9] CARLOSAC C, ADRIANOL P, LEANDROB L, et al. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato [J]. Crop science, 2009, 49(3): 949-954.
- [10] TALEBI S, MAJD A, MIRZAI M, et al. The study of nano-silica effects on qualitative and quantitative performance of potato [J]. Biological forum an international journal, 2015, 7(2): 1021-1026.
- [11] 曹先维, 汤丹峰, 陈洪, 等. 高产冬种马铃薯的钾素吸收、积累、分配特征研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(1): 33-36.
- [12] 汤丹峰, 张新明, 陈洪, 等. 冬种马铃薯的氮素吸收、积累、分配特征研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(6): 1041-1044.
- [13] 汤丹峰, 张新明, 陈洪, 等. 冬作马铃薯的磷素吸收、积累、分配特征研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(8): 1439-1443.
- [14] 张新明, 张洪秀, 李水源, 等. 恩平市典型种植户冬作马铃薯施肥状况调查分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(36): 22286-22288.
- [15] 陈健章, 张新明, 李水源, 等. 大西洋马铃薯冬作优质高产栽培关键技术[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(7): 47-48.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] TANG Q Y, ZHANG C X. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research [J]. Insect science, 2013, 20(2): 254-260.
- [18] 李晓艳, 孙立, 吴良欢. 不同吸硅型植物各器官硅素及氮、磷、钾素分布特征[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 193-198.
- [19] 李换丽. 硅对番茄幼苗抗盐性的影响及机理初探[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.