

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2020)05-0275-06

土壤肥料

基施锌肥对马铃薯锌含量及块茎品质的影响

杜平, 张海清, 李磊, 赵竹青, 刘新伟*

(华中农业大学资源与环境学院/农业农村部马铃薯生物学与生物技术重点实验室, 湖北 武汉 430070)

摘要: 锌是影响人类健康的重要元素。马铃薯作为世界第四大粮食作物, 提高其块茎锌含量对于改善人体健康具有重要意义。以马铃薯品种‘大西洋’为试验材料, 通过盆栽试验, 研究基施锌肥对马铃薯锌含量及块茎主要营养品质的影响。施用锌肥可提高马铃薯各器官锌含量及全株锌累积量, 成熟期锌处理(Zn)下马铃薯块茎锌含量及全株锌累积量分别为 17.50 mg/kg 和 3.07 mg/株, 相比对照(CK)分别提高了 57.66% 和 169.30%。施锌增加了锌在根中的累积分配比例, 降低了锌在块茎中的累积分配比例。Zn 处理下块茎还原糖、淀粉、游离氨基酸、维生素 C 及粗蛋白含量分别比 CK 处理增加了 38.46%、9.33%、25.97%、16.86%、16.17%, 可溶性糖含量与 CK 无显著差异, 硝酸盐含量比 CK 降低了 15.08%。总的来看, 基施锌肥在强化块茎锌营养及改善块茎品质方面有着显著效果。

关键词: 锌累积; 锌转移分配; 品质

Effect of Soil Application of Zinc on Zinc Content and Tuber Quality of Potato

DU Ping, ZHANG Haiqing, LI Lei, ZHAO Zhuqing, LIU Xinwei*

(College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Potato Biology and Biotechnology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: Zinc is an important element affecting human health. As the fourth major food crop in the world, increasing the content of zinc in potato tuber is very important for improvement of human health. The effects of zinc fertilizer on zinc content and tuber quality of potato were studied in a pot experiment with potato variety 'Atlantic' as plant materials. Application of zinc fertilizer increased the zinc concentration in different organs of potato and the zinc accumulation of the whole plant. The zinc concentration in the tubers of Zn treatment after harvest was 17.50 mg/kg, which was 57.66% higher than that of the control treatment, and the zinc accumulation of the whole plant was 3.07 mg/plant, 169.30% higher than that of the control. Zinc fertilizer increased the cumulative distribution ratio of zinc in the roots, but decreased the cumulative distribution ratio of zinc in the tubers. The potato tuber reducing sugar, starch, free amino acid, vitamin C and crude protein contents of Zn treatment were 38.46%, 9.33%, 25.97%, 16.86% and 16.17% higher than that of the control, respectively. However, the soluble sugar content of Zn treatment showed no significant difference compared with the control, and the nitrate content was 15.08% less than that of the control. In general, soil application of zinc fertilizer has a significant effect on strengthening zinc nutrition and improving tuber quality.

Key Words: zinc accumulation; zinc transfer distribution; quality

收稿日期: 2020-05-11

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD020080104); 中央高校基本科研业务费专项基金(2662018PY002)。

作者简介: 杜平(1996-), 男, 硕士研究生, 从事马铃薯施肥技术研究。

*通信作者(Corresponding author): 刘新伟, 讲师, 主要从事马铃薯施肥与品质研究, E-mail: lxw2016@mail.hzau.edu.cn。

锌(Zn)是人类及动植物正常生长发育所必需的微量营养元素^[1]。人体缺锌会导致免疫力下降, 消化功能、生殖功能及视觉功能障碍, 并引发一系列疾病^[2]。目前, 锌缺乏是世界性的公共营养问题。据统计, 全世界范围内将近30亿人存在不同程度的缺锌问题^[3], 在中国, 有将近1亿人缺锌^[4], 而人体76%的锌来源于植物性食品^[5], 因此, 增加农作物可食部位的锌浓度, 通过植物食品供锌被认为是解决人体缺锌问题的重要途径^[6,7]。施用锌肥是目前提高作物锌含量的一种简单而有效的方法, 大大提高了粮食和营养安全。马铃薯是仅次于小麦、水稻、玉米的世界第四大粮食作物, 产量高且营养丰富, 在人们的饮食中发挥着重要作用^[8,9], 通过基施锌肥能否有效提高马铃薯块茎锌含量以及基施锌肥对块茎营养品质的影响值得探讨。本研究通过盆栽试验, 探究基施锌肥对马铃薯锌含量、锌积累分配及块茎主要营养品质的影响, 为高品质富锌马铃薯生产提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为‘大西洋’原种。

1.2 试验设计

试验于2019年在华中农业大学资源与环境学院盆栽场进行。每盆装土12 kg, 加0.5 kg蛭石混匀, 设2个处理, 即施锌肥处理(Zn)和不施锌肥处理(CK), 锌肥采用7水硫酸锌($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 用量为15 mg/kg土(以Zn计), 与土壤和蛭石充分混匀后放入盆中, 每处理重复6次。氮、磷、钾肥作为底肥一次性施入, 处理间肥底一致, 氮用量为5.05 g, $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=1:0.6:1.3$, 氮肥用尿素(N, 46%), 磷肥用磷酸三铵(N, 21%; P_2O_5 , 35%), 钾肥用硫酸钾(K_2O , 54%)。盆上沿留5 cm距离, 播种2个种薯, 深度10 cm。1月23日播种, 3月1日出苗, 6月20日收获。供试土壤基本理化状况为pH 5.41, 有机质7.58 g/kg, 碱解氮35.61 mg/kg, 有效磷8.62 mg/kg, 速效钾193.48 mg/kg, 有效锌2.58 mg/kg。

1.3 测定项目及方法

分别在出苗后25 d(苗期)、出苗后50 d(块茎膨大期)、出苗后111 d(成熟期)采集样品, 每次4株/

处理, 测定相关指标。

干物质: 105 °C杀青30 min, 降温至65 °C烘干至恒重, 冷却后称重; 锌含量: $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 消煮, 原子吸收分光光度法测定^[10]; 还原糖: 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定; 水溶性总糖: 蒽酮比色法测定; 淀粉: HCl 水解-3, 5-二硝基水杨酸比色法测定; 游离氨基酸: 茚三酮比色法测定; 维生素C: 2, 6-二氯酚酚滴定法测定; 硝酸盐: 紫外分光光度法测定^[11]; 粗蛋白: 凯氏定氮法测定^[10]。

1.4 数据分析

1.4.1 计算公式

器官锌积累量(mg) = 器官锌含量(mg/kg) × 器官干物质质量(kg); 全株锌积累量(mg) = 地上部(茎和叶)锌积累量(mg) + 地下部(根和块茎)锌积累量(mg); 各器官锌分配率(%) = 各器官锌积累量(mg) / 全株锌积累量(mg) × 100; 转运系数(根-茎叶) = 地上部(茎叶)锌含量(mg/kg) / 根系锌含量(mg/kg), 转运系数(茎叶-块茎) = 块茎锌含量(mg/kg) / 地上部(茎叶)锌含量(mg/kg)。

1.4.2 数据处理

用SPSS 20.0软件对试验数据进行统计分析, LSD法检验处理间差异显著性, 用Excel 2013制作图表。

2 结果与分析

2.1 施锌对马铃薯各部位锌含量及锌素累积分配的影响

2.1.1 施锌对马铃薯不同生育期各器官锌含量的影响

施锌显著提高了马铃薯不同器官的锌浓度, 且随着生育期的推进, 马铃薯各器官锌浓度呈现先上升后下降的总体趋势(表1)。出苗后25 d, Zn处理叶、茎及根中锌含量显著高于CK。在块茎膨大期, Zn处理的效果进一步显现, 叶、茎、根和块茎中锌浓度分别比CK处理高出70.24, 110.56, 89.50和13.38 mg/kg, 至成熟期时, 这种增幅有所下降, 但收获后2种处理块茎中的锌浓度仍表现出显著差异, Zn处理比CK处理高57.66%。在整个生育期内, 马铃薯各器官锌浓度大小顺序为茎 > 根 > 叶 > 块茎, Zn处理下马铃薯块茎锌含量增幅最低。

表1 锌处理对不同生育期内马铃薯各器官锌浓度的影响(mg/kg)
Table 1 Effects of zinc treatment on zinc concentration in organs of potato at different growing stages

器官 Organ	处理 Treatment	出苗后天数(d) Days after emergence		
		25	50	111
叶 Leaf	CK	36.00 ± 3.61 b	32.14 ± 1.23 b	19.95 ± 0.96 b
	Zn	47.69 ± 2.48 a	102.38 ± 1.93 a	55.08 ± 0.74 a
茎 Stem	CK	64.28 ± 1.47 b	76.34 ± 0.54 b	60.63 ± 2.20 b
	Zn	87.51 ± 2.27 a	186.90 ± 0.43 a	197.39 ± 6.28 a
根 Root	CK	36.31 ± 2.55 b	34.98 ± 4.07 b	28.77 ± 3.46 b
	Zn	72.90 ± 5.11 a	124.48 ± 5.81 a	112.16 ± 1.03 a
块茎 Tuber	CK	—	17.04 ± 0.33 b	11.10 ± 0.69 b
	Zn	—	30.42 ± 1.19 a	17.50 ± 2.26 a

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异达0.05显著水平。下同。
Note: Treatment means followed by different small letters in the same column is different at 0.05 level of probability. The same below.

2.1.2 施锌对马铃薯植株锌素积累量的影响

全生育期内，马铃薯植株全株锌累积量随马铃薯正常生长而逐渐上升，苗期Zn处理全株锌累积量显著高于CK，且随着生育期推进，Zn处理锌累积量

增幅大于CK(图1)。在苗期、块茎膨大期和成熟期Zn处理全株锌累积量依次为0.65，2.10和3.07 mg/株，分别较CK增加44.44%、100.00%和169.30%，表明施锌显著提高了马铃薯全株锌累积量。

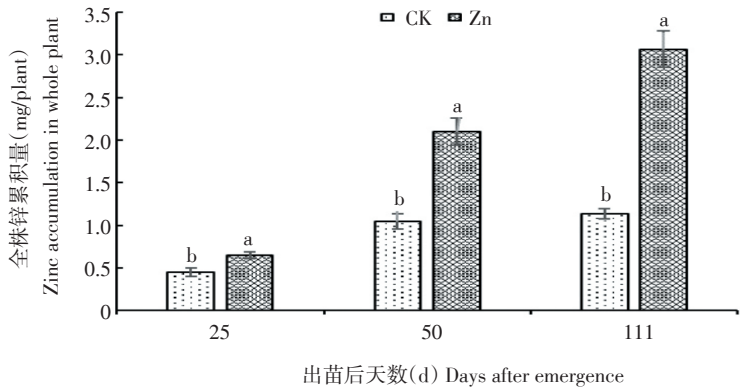


图1 马铃薯全株锌素积累量随出苗后天数的变化
Figure 1 Change of zinc accumulation in potato plant with days after emergence

2.1.3 施锌对马铃薯各生育期不同器官锌素分配的影响

马铃薯茎叶和根中的锌累积分配比例随生育期的推进而逐渐降低，块茎中的锌累积分配比例逐渐增加，Zn处理降低了块茎锌分配比例(图2)。在施锌与不施锌两种情况下，根向茎叶的锌转运系数均大于茎叶向块茎的锌转运系数(表2)，相差2倍以上，说明锌主要集中在马铃薯地

上部器官中。另外，在不同生育期内，施锌明显降低了根向茎叶以及茎叶向块茎的锌转运系数，使锌的再分配受到抑制，导致锌在马铃薯根中积累，块茎锌分配率下降，但随着生长中心由茎叶向块茎转移，锌在根中的分配比例呈下降趋势，在块茎中的分配比例呈上升趋势，到成熟期Zn处理和CK处理块茎锌分配比例分别为25.58%和42.66%。

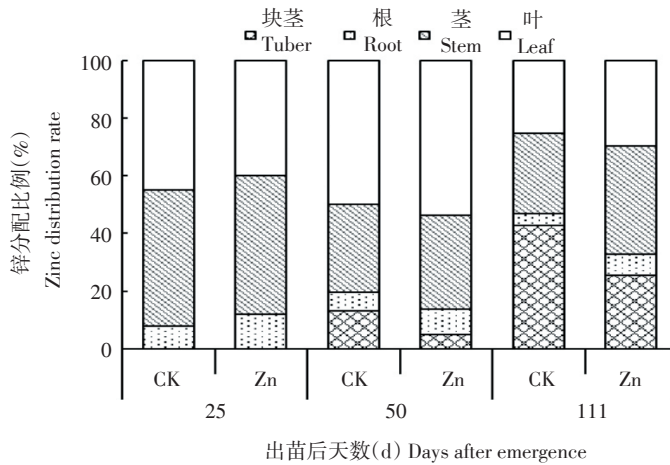


图2 马铃薯同一器官中锌素分配随出苗后天数的变化

Figure 2 Change of zinc distribution in the same organ of potato with days after emergence

表2 锌处理对不同生育期内马铃薯锌转运系数的影响

Table 2 Effects of zinc treatment on translocation factor of zinc in potato at different growth stages

转运系数 Translocation factor	处理 Treatment	出苗后天数(d) Days after emergence		
		20	50	111
根-茎叶 Root-stem and leaf	CK	1.26 ± 0.04 a	1.18 ± 0.07 a	1.09 ± 0.11 a
	Zn	0.87 ± 0.05 b	0.86 ± 0.02 b	0.83 ± 0.05 b
茎叶-块茎 Stem and leaf-tuber	CK	—	0.41 ± 0.01 a	0.36 ± 0.02 a
	Zn	—	0.25 ± 0.01 b	0.20 ± 0.03 b

2.2 施锌对马铃薯块茎品质的影响

收获后对马铃薯块茎主要品质指标进行测定分析, 结果表明(表3), Zn处理显著提高了马铃薯块茎中还原糖、淀粉、游离氨基酸、维生素C及粗蛋白含量, 分别比CK处理高38.46%, 9.33%,

25.97%, 16.86%, 16.17%, 并显著降低了块茎中硝酸盐含量, Zn处理硝酸盐含量比CK处理低15.08%, 2种处理可溶性糖含量无显著差异。整体来看, 基施锌肥对改善马铃薯块茎营养品质有积极作用。

表3 施锌对马铃薯块茎营养品质的影响

Table 3 Effects of zinc application on nutritional quality of potato tubers

处理 Treatment	还原糖(%) Reducing sugar	可溶性糖(%) Soluble sugar	淀粉(%) Starch	游离氨基酸(%) Free amino acid	维生素C(mg/kg) Vitamin C	粗蛋白(%) Protein	硝酸盐(mg/kg) Nitrate
CK	0.13 ± 0.01 b	0.67 ± 0.13 a	15.75 ± 0.12 b	0.077 ± 0.01 b	129.69 ± 1.07 b	1.67 ± 0.03 b	132.50 ± 4.80 a
Zn	0.18 ± 0.01 a	0.75 ± 0.05 a	17.22 ± 0.48 a	0.097 ± 0.01 a	151.56 ± 1.26 a	1.94 ± 0.05 a	112.52 ± 5.03 b

3 讨 论

目前, 锌缺乏问题在世界范围内普遍存在并引起了广泛关注^[12], 作物缺锌与人体缺锌存在直接联

系^[13]。马铃薯作为世界上产量最大的非谷物类粮食作物, 是人们的重要食物来源之一^[8], 探讨提高其块茎锌含量及改善品质的有效措施有其必要的研究意义。施锌是提高农作物可食部位锌含量的一种有效

农艺措施,目前已证实,施锌可提高小麦和水稻籽粒中的锌含量,并提高了籽粒中锌的生物有效性,有利于人体吸收利用^[14-16]。为填补中国在马铃薯锌生物强化研究领域的空白,甘肃省于2013年启动了马铃薯锌生物强化项目,目前已取得一系列重要成果^[17]。前人研究指出,马铃薯对锌具有一定的富集能力,但锌富集能力很低,这可能是由马铃薯的遗传特性和生理特性决定的^[18],在整个生育期内,马铃薯茎中锌含量最高,其次是叶,块茎锌含量最低^[19],本研究表明基施锌肥可明显提高马铃薯各器官锌浓度及全株锌累积量,各器官锌浓度大小顺序为茎>根>叶>块茎,Zn处理下块茎锌浓度比CK提高了57.66%,Kromann等^[20]的研究结果也显示,基施锌肥使马铃薯块茎锌浓度提高了91.30%,但施锌降低了锌在块茎中的累积分配比例,这与候叔音^[21]、孙小龙等^[22]进行马铃薯“拌种+喷施”锌肥的研究结果一致。马振勇等^[23]对马铃薯进行浇灌及喷施锌肥的研究结果也表明,施锌肥增加了锌素在茎和根中的分配比例,降低了锌素在块茎中的分配比例。

锌在作物品质形成过程中也发挥着重要作用,其参与植物呼吸作用及多种物质代谢过程,并通过酶的作用对植物碳氮代谢等产生相当广泛的影响^[24]。有研究表明,采用适量浓度硫酸锌浸种能够促进马铃薯植株生长发育、提升食用品质和商品品质^[25]。在马铃薯生育期内施用锌肥能够增加马铃薯块茎中维生素C、游离氨基酸、可溶性糖、蛋白质及淀粉含量,降低马铃薯块茎中还原糖含量^[26-28],这对提升马铃薯块茎品质指标十分有利。本研究中,Zn处理下马铃薯块茎淀粉、游离氨基酸、维生素C及粗蛋白含量均较CK显著提高,硝酸盐较CK显著下降,但Zn处理还原糖含量较CK提高了38.46%。王延明^[29]通过马铃薯喷施锌肥的研究结果也表明,施锌提高了马铃薯块茎还原糖含量。马光恕等^[30]研究认为,施锌会提高马铃薯叶片中蔗糖磷酸合成酶、蔗糖转化酶以及块茎蔗糖转化酶和蔗糖合成酶的活性,促进马铃薯叶片和块茎中蔗糖、还原糖的合成,这可能是施锌提高了马铃薯块茎还原糖含量的重要原因。此外,目前施锌处理下马铃薯品质变化研究结果不尽一致,还可能与品种、锌肥用量、施锌方式等因素有关。

综上所述,基施锌肥可有效提高马铃薯块茎锌含量并改善其营养品质。

[参 考 文 献]

- [1] 杨系玲,杨克军,李佐同,等. 锌对不同基因型玉米幼苗光合特性及锌积累的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(3): 571-579.
- [2] 黄秋婵,韦友欢,石景芳. 微量元素锌对人体健康的生理效应及其防治途径[J]. 微量元素与健康研究, 2009, 26(1): 68-70.
- [3] Muller O. Malnutrition and health in developing countries [J]. Canadian Medical Association Journal, 2005, 173(3): 279-286.
- [4] Ma G, Jin Y, Li Y, *et al.* Iron and zinc deficiencies in China: what is a feasible and cost-effective strategy? [J]. Public Health Nutrition, 2008, 11(6): 632-638.
- [5] 高世泉,杨静,杨宇艳. 不同补锌方法对儿童体质量、身高、智商的影响[J]. 临床军医杂志, 2015, 43(10): 1095-1097.
- [6] 姜雯,赵明,樊堂群,等. 粮食作物锌的吸收运转分配和改善子粒锌含量的理论与技术途径[J]. 中国土壤与肥料, 2006(4): 10-15.
- [7] 张庆,贾一磊,杨连新,等. 臭氧浓度升高和叶面施锌对小麦籽粒产量、锌浓度及有效性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(4): 728-736.
- [8] Arun K B, Chandran J, Dhanya R, *et al.* A comparative evaluation of antioxidant and antidiabetic potential of peel from young and matured potato [J]. Food Bioscience, 2015, 9(4): 36-46.
- [9] Singh J, Kaur L, Moughan P J. Importance of chemistry, technology and nutrition in potato processing [J]. Food Chemistry, 2012, 133(4): 1091.
- [10] 鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 王学奎,黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [12] Cakmak I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? [J]. Plant and Soil, 2008, 302(1-2): 1-17.
- [13] Singh M V. Micronutrient nutritional problems in soils of India and improvement for human and animal health [J]. Indian Journal of Fertilisers, 2010, 5(4): 11-16, 19-26, 56.
- [14] Zhang Y Q, Deng Y, Chen R Y, *et al.* The reduction in zinc concentration of wheat grain upon increased phosphorus-fertilization and its mitigation by foliar zinc application [J]. Plant and Soil, 2012, 361(1-2): 143-152.

- [15] 张欣, 户少武, 章燕柳, 等. 叶面施锌对不同水稻品种稻米锌营养的影响及其机理 [J]. 农业环境科学学, 2019, 38(7): 1450-1458.
- [16] 刘琦, 王张民, 潘斐, 等. 大田条件下水稻锌营养强化方法探究及效果评估 [J]. 土壤, 2019, 51(1): 32-38.
- [17] 赵贵宾, 朱永永, 熊春蓉, 等. 甘肃省马铃薯铁锌生物强化研究进展 [J]. 中国马铃薯, 2019, 33(4): 243-248.
- [18] 康玉林, 黄新江, 徐雨昌. 马铃薯对锌元素的奢侈吸收 [J]. 中国马铃薯, 1992, 6(2): 72-75.
- [19] 郝智勇. 中微量元素在马铃薯生产上的应用 [J]. 中国马铃薯, 2017, 31(5): 307-311.
- [20] Kromann P, Valverde F, Alvarado S, *et al.* Can Andean potatoes be agronomically biofortified with iron and zinc fertilizers? [J]. Plant and Soil, 2017, 411(1-2): 121-138.
- [21] 侯叔音. 不同锌肥对旱作马铃薯产量形成及锌素吸收和积累的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- [22] 孙小龙, 王延明, 张春红, 等. 不同锌肥对旱作马铃薯植株锌的吸收、积累与分配的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3): 72-78.
- [23] 马振勇, 杜虎林, 刘荣国, 等. 施锌肥对旱作马铃薯植株锌含量及块茎品质的影响 [J]. 华北农学报, 2017, 32(1): 201-207.
- [24] 冯锋, 张福锁, 杨新泉. 植物营养研究: 进展与展望 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 321-326.
- [25] 贾景丽, 张振洲, 周芳, 等. 硫酸锌浸种对马铃薯产量和品质的影响研究 [J]. 中国马铃薯, 2010, 24(1): 18-21.
- [26] 马振勇, 杜虎林, 刘荣国, 等. 施锌肥对马铃薯干物质积累、生理特性及块茎营养品质的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 148-153.
- [27] 范士杰, 雷尊国, 吴文平. 镁、锌、硼元素对马铃薯费乌瑞它产量的影响 [J]. 种子, 2008(10): 104-105.
- [28] 马丽美. 不同马铃薯品种钾钙铁锌的吸收积累规律 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [29] 王延明. 锌肥用量及施用方法对马铃薯产量形成及营养品质的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014.
- [30] 马光恕, 廉华, 冯云霞, 等. 叶面喷施硫酸锌对马铃薯淀粉合成和积累的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2010(4): 46-52.

菲范让您的马铃薯更加优质高产

菲范登记证号: 农肥(2007)准字 0778 号 登记作物: 马铃薯、西瓜

1. 菲范 DELFAN, 原装进口。
2. 菲范 DELFAN, 是游离态氨基酸肥, 含有作物生长所需的高效游离态氨基酸、螯合态的微量元素、有机氮, 促进根系发育、马铃薯封垄、薯块膨大。
3. 菲范 DELFAN, 有效提高作物的抗逆性, 具有较强的双向内吸性, 可被根、茎、叶吸收, 并传导到作物的各个部位, 全面、迅速地补充营养元素。
4. 菲范 DELFAN, 有效增强作物的生长活力, 增加商品率, 增产增收!
5. 菲范 DELFAN, 见效快, 持效期长。

如果您想让马铃薯更加优质高产, 请联系我们:

AGROLEX AGROLEX 新加坡利农 植保专线: 13701052546

地址: 北京市朝阳区光华路甲8号和乔大厦B座511A

电话: (010) 65816128

微信号: AGROLEXGoodlife 公众关注: 新加坡利农 网址: www.agrolex.com.cn

打农药要加柔水通, 增产要用斯德考普, 植物能源来自菲范, 智慧植保助您优质高产!



智慧植保
更多应用技术
请扫二维码