

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2019)04-0243-06

综 述

甘肃省马铃薯铁锌生物强化研究进展

赵贵宾¹, 朱永永^{1*}, 熊春蓉¹, 岳 云¹, 赵小文¹, 边彩燕¹, 罗 磊²
(1. 甘肃省农业技术推广总站, 甘肃 兰州 730020; 2. 定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000)

摘 要:“隐性饥饿”, 即铁、锌等微量元素缺乏症, 已成为困扰中国居民的首要营养不良问题。提高马铃薯块茎铁、锌含量对于改善中国西部居民的营养状况具有重要的意义。探讨了甘肃省马铃薯铁锌生物强化研究进展, 着重介绍了筛选甘肃省主产区马铃薯主推品种并开展铁锌含量测定, 分析马铃薯主产区土壤铁锌含量状况, 明确微量元素增施对马铃薯块茎铁、锌含量的影响和制订栽培技术标准等方面开展的工作。

关键词: 生物强化; 马铃薯; 铁; 锌; 甘肃省

Progress in Iron and Zinc Biofortified Potato in Gansu Province

ZHAO Guibin¹, ZHU Yongyong^{1*}, XIONG Chunrong¹, YUE Yun¹, ZHAO Xiaowen¹, BIAN Caiyan¹, LUO Lei²

(1. Gansu General Agro-technology Extension Station, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2. Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi, Gansu 743000, China)

Abstract: The deficiency of trace elements, such as iron and zinc, is called "hidden hunger". It becomes the primary malnutrition problem that plagues Chinese residents. It is of great significance to enhance the contents of iron and zinc in potato tubers to improve the nutritional status of the residents in western China. In this review, the research progress of iron and zinc biofortified potato in Gansu Province was discussed. Emphasis was placed on introduction and selection of main potato varieties in main production areas and the determination of iron and zinc contents, analysis of iron and zinc contents in soil, clarification of the influences of micronutrient fertilizers on contents of iron and zinc in potato and formulation of technical standards for cultivation.

Key Words: biofortification; potato; iron; zinc; Gansu Province

马铃薯是甘肃省三大粮食作物之一, 也是助推甘肃省精准脱贫的六大特色产业之一。进入21世纪的前十年, 全省种植面积和总产量快速增长, 面积由2000年的41.7万hm²增加到2010年的64.5万hm², 年均增长2.27万hm²; 鲜薯总产量由2000年的525万t增加到2010年的926万t, 年均增长40.1万t。2010年以后, 面积和总产相对稳定下

来, 常年种植面积66.7万hm²左右, 鲜薯总产量1000万t以上。2017年种植面积为72.2万hm², 位列全国第3, 鲜薯总产量为1300万t, 位居全国第2。近年来, 甘肃省马铃薯种植规模逐年扩大, 区域优势逐步显现, 种植效益明显提升, 产业化格局已经形成。

通过对甘肃省马铃薯主栽品种、施肥技术、栽

收稿日期: 2018-05-22

基金项目: 2014年农业生物技术研发项目(GNSW-2014-25); 2015年农业生物技术研发项目(GNSW-2015-30); HarvestPlus Program (2014H8326.GGS)。

作者简介: 赵贵宾(1963-), 男, 推广研究员, 主要从事旱作农业、马铃薯栽培技术与示范推广。

*通信作者(Corresponding author): 朱永永, 硕士, 推广研究员, 主要从事马铃薯栽培技术与示范推广, E-mail: gsnjznxt@163.com。

培模式的筛选、创新和集成, 提高马铃薯块茎中铁、锌等微量元素含量, 改善营养品质, 适应现代膳食结构需求, 增加人体对必需微量营养元素的摄入量, 预防微量营养元素缺乏问题, 推进马铃薯高品质、高效益、高营养相统一, 提升甘肃省马铃薯整体效益, 是未来甘肃省马铃薯产业发展的方向。

1 开展生物强化的背景

1.1 隐性饥饿的危害

蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、矿物质和膳食纤维是人体营养的六大要素^[1]。其中, 微量元素是核心^[2]。世界卫生组织和联合国粮食及农业组织把膳食中微量元素缺乏称为“隐性饥饿”^[3]。如果必需微量营养元素长期摄入不足, 人体就会出现发育不良、体力下降等各种健康问题, 甚至引发疾病^[4]。“隐性饥饿”普遍存在于发达国家和发展中国家, 也同样存在于城市和农村。2014年联合国粮食及农业组织明确指出, 全球约有20亿人正遭受“隐性饥饿”的困扰^[3]。中国近3亿人处于“隐性饥饿”状态^[5]。

1.2 铁锌与人体健康的关系

1.2.1 铁与人体健康的关系

铁是人体内含量最高的微量元素, 成年人体内含铁为3~5 g^[6]。铁的生理功能一是参与体内氧的转运、交换和组织呼吸过程, 二是维持正常造血功能, 三是增强免疫功能^[7]。若膳食中长期供铁不足, 首先在婴幼儿、孕妇中引起缺铁性贫血, 影响机体免疫力^[8-10]。

1.2.2 锌与人体健康的关系

锌是人体必需的微量营养元素。正常成年人体内锌含量为2~3 g, 仅次于铁位居第2位^[11-13]。一般来讲, 中度或重度锌缺乏会影响正常的生长发育、生殖功能、免疫功能、消化功能、皮肤功能、视觉功能和衰老功能^[14,15]。锌缺乏已经成为发展中国家疾病和死亡的第5大诱因^[16,17]。如何合理和安全的补充锌已经引起了科学家的广泛关注^[18]。

因此, 以提高马铃薯铁锌含量为目标的铁锌生物强化意义重大。

1.3 生物强化的概念

生物强化是利用现代生物技术手段, 提高植物对矿物质的吸收、转移和代谢的功能, 从而在主要

谷物中, 产生更高的对人类营养健康有利的微量营养元素^[19,20]。目前, 生物强化主要有以下2种途径, 一是通过育种方法提高农作物中微量营养元素的含量^[21]。二是通过施肥技术的提升、栽培模式的改进等来提高农作物中微量营养元素含量^[22-25]。

2 国内外生物强化研究现状

2.1 国际生物强化研究现状

国际上早在1994年就开始了相关研究, 并于2002年启动了国际生物强化项目。经过多年发展, 已选育出多个富含铁、锌和维生素A的作物新品种, 并在世界上很多个国家开始种植, 取得了明显进展^[26,27]。

2.2 中国生物强化研究现状

中国生物强化项目于2004年在中国农业科学院正式启动, 目标是预防中国人群中(尤其是贫困地区)广泛存在的铁、锌、维生素A等微量营养的缺乏, 改善目标地区的农业种植结构和饮食结构, 最终实现改善当地贫困人群微量营养元素缺乏的状况^[28,29]。目前, 育成的中国生物强化作物已经开始在部分区域种植, 水稻有‘中广香1号’, 小麦有‘中优9507’和‘京冬8号’, 甘薯有‘岩薯5号’和‘徐薯22-5’^[30-35]。

3 铁锌对马铃薯生长发育的影响

3.1 铁对马铃薯生长发育的影响

铁是马铃薯需求量最大的微量元素^[36]。在马铃薯的生长发育中起到非常重要的作用, 是参与光合作用和叶绿素合成的必需元素^[37,38], 同时铁还参与细胞内的氧化还原反应、电子传递等重要的生理过程^[39]。

铁充足时促进马铃薯对氮、磷的吸收, 铁不足或过量, 都会造成马铃薯块茎淀粉含量减小, 糖含量下降。马铃薯缺铁时症状从幼苗开始, 主要表现为幼苗及叶脉黄化, 生长细弱, 影响作物产量和品质^[40]。据研究, 块茎中铁的积累量自块茎形成期开始持续增加, 增加速率最快的时期是块茎增长期末, 到成熟期达最大值^[41]。

3.2 锌对马铃薯生长发育的影响

锌也是马铃薯生长必需的微量元素之一^[42]。不仅是高等植物体内酶的金属组分, 还是酶在调节机制及结构功能方面的辅助因子, 参与作物体内激素代谢、呼吸作用、光合作用等生理过程, 以及蛋白

质、核酸等物质的合成^[43]。

在生产中,合理的施用锌肥,能显著提高农产品中的锌含量^[44],增强了马铃薯对不良环境的抵抗力,提高了马铃薯的抗旱性^[45],促进了马铃薯叶片中叶绿素的合成^[46]。同时施加锌肥对马铃薯的淀粉、维生素C、可溶性蛋白、锌含量都有不同程度的影响^[47-49],主要表现在,施用适量的锌肥可以提高马铃薯的产量,增加块茎中淀粉、维生素C、可溶性蛋白以及锌的含量,但是锌肥施用量不是越多越好^[50-52]。

4 甘肃省马铃薯铁锌生物强化研究进展

为了填补国内在马铃薯铁锌生物强化研究领域的空白,提升甘肃省马铃薯营养品质,2013年甘肃

省马铃薯铁锌生物强化项目正式启动,近年来主要开展了以下几方面的工作。

4.1 筛选出富铁锌马铃薯品种

据分析,马铃薯资源材料块茎铁含量在11~30 mg/kg,锌含量在8~25 mg/kg^[53]。对甘肃省马铃薯主产区采集的10个马铃薯品种进行了铁锌元素含量分析,可以看出不同品种铁锌元素含量差异较大,图1显示,铁含量排在前三位的是‘黑美人’、‘青薯168’、‘甘引1号’,含量分别达到87.80, 71.10和69.54 mg/kg;图2可以看出,锌含量排在前三位的品种依次是‘陇薯6号’、‘黑美人’、‘青薯168’,含量分别达到28.96, 25.64和24.06 mg/kg。

4.2 初步划定富铁富锌土壤区域

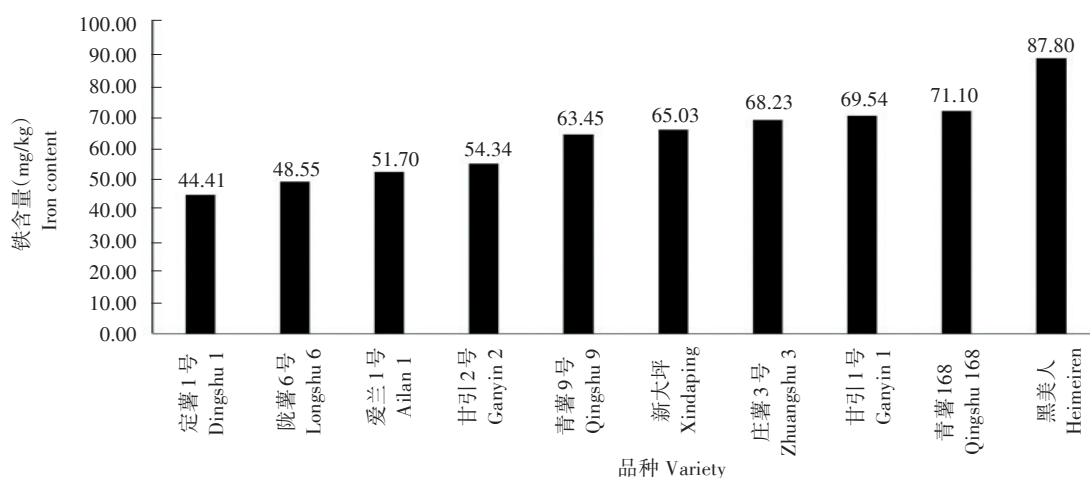


图1 甘肃省马铃薯主栽品种铁元素含量

Figure 1 Contents of iron (Fe) in main potato varieties in Gansu Province

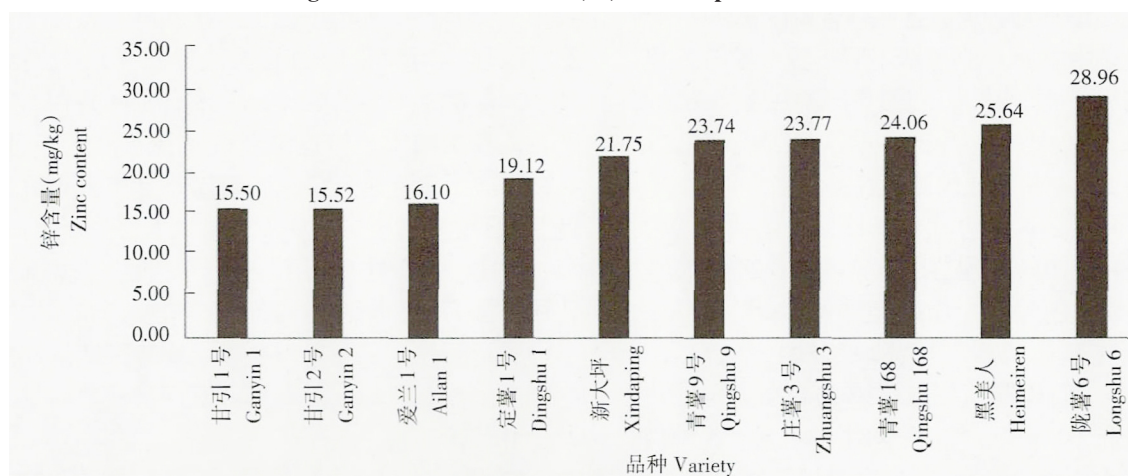


图2 甘肃省马铃薯主栽品种锌元素含量

Figure 2 Contents of zinc (Zn) in main potato varieties in Gansu Province

表1 马铃薯种植区土壤微量元素铁锌缺乏状况

Table 1 Fe and Zn deficiency status of soil microelements in potato planting areas

县(区) County (district)	样本数(No.) Sample number	有效态铁 Available Fe		有效态锌 Available Zn	
		临界值(mg/kg)	低于临界值所占比例(%)	临界值(mg/kg)	低于临界值所占比例(%)
		Critical value	Proportion below critical value	Critical value	Proportion below critical value
环县 Huan County	32	4.5	100	0.5	96.9
庄浪县 Zhuanglang County	47	4.5	97.9	0.5	51.1
安定区 Anding District	98	4.5	100	0.5	59.2
古浪县 Gulang County	21	4.5	81.0	0.5	28.6

通过对甘肃省马铃薯主产区环县、庄浪县、安定区和古浪县4个县(区)采集的土样分析,参考甘肃微量元素普查资料,探究甘肃马铃薯不同种植区土壤中微量元素的含量,为推进马铃薯铁锌生物强化工作提供科学依据。

从表1可以看出,马铃薯种植区土壤微量元素中,有效态铁含量比临界值低的土样数占的比例很大,其中环县和安定区土壤比临界值低的土样数占100%,其次是庄浪县和古浪县,分别占97.9%和81.0%,土壤中有效态铁的缺乏与土壤呈碱性有关;环县土壤中有效态锌的含量比临界值低的土样数占的比例较大,为96.9%,其次为安定区和庄浪县,分别占59.2%和51.1%,而古浪县占的比例较小为28.6%。从以上分析可以看出,种植区土壤中有效态铁、锌都存在不同程度的缺乏现象。

4.3 研究提出增加马铃薯块茎铁锌含量的技术

在微肥施用方面,要根据不同土壤环境及气候条件确定施肥方法,如在石灰性土壤中缺铁、锌,以基肥施入可能大量被固定,难以起到应有的效果,而浸种或叶面喷施效果则更好。

通过不同增施微肥方式对马铃薯块茎铁、锌含量的影响研究得出,在现蕾期分别喷施0.2%的硫酸锌、硫酸亚铁、硫酸锰,开花期喷施0.2%的硫酸亚铁,硫酸锰作基肥施入可提高块茎铁含量,提高2.0~9.0 mg/kg,而现蕾期喷施0.2%的硫酸锌可使块茎锌含量提高2.2 mg/kg^[54]。喷施时,将上述各种微肥按0.2%的水溶液(按化合物的含量计算)配制成液肥,分别喷施在马铃薯植株叶面,喷施前不添加表面活性剂。

4.4 制订马铃薯富铁富锌栽培技术标准

制订富铁富锌马铃薯栽培技术标准对提升马铃薯营养品质具有重要的指导意义,将为富铁富锌马铃薯大面积推广提供技术支撑。于2016年分别制订了《无公害富铁马铃薯栽培技术规程》^[55]和《旱作区无公害富锌马铃薯栽培技术规程》^[56],2016年12月13日由甘肃省质量技术监督局发布,2017年1月15日实施。

5 展望

通过近几年的研究发现,做好马铃薯铁锌生物强化,既要选择富元素土壤优势区域,又要选择铁锌含量高的品种,更要在分析当地土壤微量元素铁锌含量的基础上有针对性的推广强化栽培技术,多措并举才能实现目标。

马铃薯铁锌生物强化工作在甘肃省还处于初步发展阶段,可以借鉴的相关经验几乎没有。现阶段,有含量相对高的品种,但没有专用品种,研究出农艺技术措施,但还没有区域技术模式。因此,根据目前的研究进展情况,对未来甘肃省马铃薯铁锌生物强化项目的发展应该注重以下三个方面。

(1)进一步增加科研投入。一方面应该加强专用品种选育工作,筛选马铃薯铁锌微量营养元素生物强化的新品种;另一方面要确定优势区域集成推广生物强化技术措施,提高富铁富锌马铃薯产量,扩大食用人群。

(2)进一步加强宣传推广。马铃薯铁锌生物强化技术的成功离不开有效的宣传培训与示范推广,未来甘肃省马铃薯铁锌生物强化要重视推广阶段的工

作, 结合信息化技术与现代传媒技术手段, 提高消费者的接受水平和普及率。

(3)进一步强化交流合作。吸收和借鉴生物强化在其他国家开展的经验, 通过育种来增加马铃薯块茎中铁和锌的含量^[53], 实时做好国际比较和信息跟踪, 这对于提升甘肃省马铃薯生物强化工作尤为重要。要继续加强与国际研究机构的交流合作, 充分借鉴已有的研究成果和成功经验, 指导开展工作。同时, 还应加强与省内教学科研单位合作, 组织各方力量, 形成工作合力, 共同开展工作。

【参 考 文 献】

- [1] 宫振沛. 人体健康与营养平衡 [J]. 广东微量元素科学, 2002, 9 (11): 64-70.
- [2] 冯宗榴, 李增禧, 宫振沛. 营养·微量元素与人体健康 [J]. 广东微量元素科学, 1999, 6(1): 15-17.
- [3] 久牧. 均衡营养拒绝“隐性饥饿” [J]. 中国食品药品监管, 2015 (12): 67-72.
- [4] 邓爱华. 生物强化应对“隐性饥饿”——访中国农科院生物技术研究所有研究员张春义 [J]. 科技潮, 2010(10): 34-37.
- [5] 文琴, 张春义. 满足健康需求的营养型农业与营养分子育种 [J]. 中国科学, 2015, 60(36): 3543-3548.
- [6] 刘志成, 于守祥. 营养与食品卫生学 [M]. 2版. 北京: 人民卫生出版社, 1987: 33, 38.
- [7] 徐素萍. 微量元素铁与人体健康的关系 [J]. 中国食物与营养, 2007(12): 51-54.
- [8] Scrimshaw Nevin S, 沈铁夫. 铁缺乏对机体功能的影响 [J]. 营养学报, 1984, 6(3): 269-284.
- [9] 孔宪玲, 肖生平, 黄晓红. 缺铁性贫血对患儿免疫功能的影响 [J]. 现代医院, 2012(6): 67-68.
- [10] 汤鸣. 新生儿肺炎血中元素含量的变化 [J]. 广东微量元素科学, 1996, 3(8): 60-61.
- [11] 胡焰, 韩光宇, 王健. 微量元素锌与人体健康初探 [J]. 当代医学, 2011, 17(31): 152-153.
- [12] Tai C H, Killilea D W, Shenvi S V, *et al.* Acute changes in cellular zinc alters zinc uptake rates prior to zinc transporter gene expression in Jurkat cells [J]. *Biology of Metals*, 2015, 28(6): 987-996.
- [13] Disilvestro R A, Koch E, Rakes L. Moderately high dose zinc gluconate or zinc glycinate: effects on plasma zinc and erythrocyte superoxide dismutase activities in young adult women [J]. *Biological Trace Element Research*, 2015, 168(1): 11-14.
- [14] 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.
- [15] Nriagu J. Zinc deficiency in human health [M]. *Encyclopedia of Environmental Health*. Holland: Elsevier Science and Technology, 2011: 789-800.
- [16] 张得雯, 王瑞智, 王娜, 等. 宁夏富锌水稻种质资源筛选及子粒锌含量的相关分析 [J]. 湖北农业科学, 2016, 55(3): 554-563.
- [17] White P J, Broadley M R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets—iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine [J]. *New Phytologist*, 2009, 182(1): 49-84.
- [18] 王丕玉, 刘海潮. 锌失衡与人体健康 [J]. 中国食物与营养, 2007 (7): 50-51.
- [19] 贾峰, 张莉, 管军军, 等. 生物强化食物优点和缺点的研究 [C]//第十四届国际谷物科技与面包大会暨国际油料与油脂发展论坛, 2012.
- [20] 林黎, 曾果, 兰真, 等. 生物强化及其营养改善研究进展 [J]. 现代预防医学, 2011, 38(12): 2240-2242.
- [21] 张春义, 王磊. 生物强化在中国 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009.
- [22] Rengel Z, Batten G D, Crowley D E. Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops [J]. *Field Crops Research*, 1999(60): 29-40.
- [23] Rengel Z, Graham R D. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil. II. Grain yield [J]. *Plant and Soil*, 1995, 173(2): 267-274.
- [24] Yilmaz A, Ekiz H, Torun B, *et al.* Different zinc application methods on grain yield, and zinc concentrations in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1997, 20(4): 461-471.
- [25] Cakmak I, Horst W J, Schenk M K, *et al.* Plant nutrition research: priorities to meet human needs for food in sustainable ways [J]. *Plant and Soil*, 2002, 247(1): 3-24.
- [26] 郝元峰, 张勇, 何中虎. 作物锌生物强化研究进展 [J]. 生命科学, 2015, 27(8): 1047-1054.
- [27] 范云六. 以生物强化应对隐性饥饿 [J]. 生物产业技术, 2007, 25(3): 1.
- [28] 李路平, 张金磊. 中国生物强化项目的成本收益和成本有效性

- 分析以生物强化富铁小麦为例[J]. 生物技术进展, 2016, 6(6): 414-421.
- [29] 佚名. HarvestPlus—中国项目简介[J]. 中国农业科技导报, 2009 (1): 6.
- [30] 中国作物营养强化网. 隐性饥饿[EB/OL]. <http://www.harvestplus-china.org/plus/list.php?tid=21>.
- [31] 张勇, 王德森, 张艳, 等. 北方冬麦区小麦品种籽粒主要矿物质元素含量分布及其相关性分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1871-1876.
- [32] Tang J, Zou C, He Z, *et al.* Mineral element distributions in milling fractions of Chinese wheats[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48 (3): 821-828.
- [33] 岳向峰, 张健, 黄承钰. 生物强化谷物铁营养状况评价及品种筛选[J]. 现代预防医学, 2008, 35(5): 862-865.
- [34] 雷激, 黄承钰, 张勇, 等. 体外消化/Caco-2细胞方法评价富铁小麦生物利用率[J]. 卫生研究, 2009, 38(2): 166-168.
- [35] 白琳, 张勇, 黄承钰, 等. 不同小麦面粉铁和锌吸收率的分析比较[J]. 卫生研究, 2010, 39(3): 386-389.
- [36] 曹恭, 梁鸣早. 铁-平衡栽培体系中植物必需的微量元素[J]. 中国土壤与肥料, 2003(4): 46-47.
- [37] 杜长玉, 高明旭, 刘全贵. 不同微肥在马铃薯上应用效果的研究[J]. 北方农业学报, 2000(1): 20-21.
- [38] 韦建玉, 金亚波, 杨启港, 等. 植物铁营养研究进展: 铁运输与铁有关的分子生物学基础[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(33): 10589-10595.
- [39] 刘正辉, 刘大钧. 小麦铁锌营养品质研究进展[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(1): 172-175.
- [40] 王静钢, 李寿如, 高晶, 等. 不同营养液的使用对马铃薯原种生产的影响[J]. 中国马铃薯, 2007, 21(1): 24-25.
- [41] 卢建武. 马铃薯新大坪的干物质和养分积累与分配规律研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [42] 赵娜, 张振洲, 贾景丽, 等. 硫酸锌浸种对马铃薯生长发育及产量的影响[J]. 杂粮作物, 2010(3): 202-205.
- [43] 张福锁. 锌在植物细胞原生质膜稳定性方面的作用[J]. 土壤学报, 1993, 30(s1): 104-110.
- [44] 陈光财. 水稻耐低锌与籽粒富锌基因型农艺性状和生理特性的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [45] 赵兴杰, 韩旭平, 程升. 干旱条件下膜下滴灌施锌对马铃薯的促进效应[J]. 山西农业科学, 2017, 45(1): 63-66.
- [46] 马振勇, 杜虎林, 刘荣国. 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.
- [47] 范士杰, 雷尊国, 吴文平. 镁、锌、硼元素对马铃薯产量的影响[J]. 种子, 2008, 27(10): 104-105.
- [48] 王仕琨. 马铃薯施锌和硼效应的试验[J]. 马铃薯杂志, 1990, 4 (2): 94-96.
- [49] Chaudhary D S. Zinc and phosphorus interaction on growth and nutrient uptake by wheat[J]. Annals of Arid Zone, 1985, 24(1): 31-38.
- [50] 徐绍成, 熊贤志. 不同锌肥施用量对马铃薯产量及品质的影响[J]. 农技服务, 2017, 34(3): 16-17.
- [51] 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.
- [52] 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.
- [53] Bobierbale M, Burgos G, Amoros W, *et al.* Progress on iron and zinc biofortification of potato [C]//Qu D. Develop together for a better future—2015 Beijing World Potato Congress. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 156-158.
- [54] 罗磊, 李亚杰, 黄凯, 等. 不同增施微肥方式对马铃薯块茎产量和Zn、Fe含量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(2): 152-156.
- [55] 甘肃省农牧厅. DB62/T 2748-2016无公害富铁马铃薯栽培技术规程[EB/OL]. (2016-12-13)[2017-01-15]. <http://www.gsdfbz.cn/theme/default/standardPublishDetail2368#pdfView>.
- [56] 甘肃省农牧厅. DB62/T 2747-2016旱作区无公害富锌马铃薯栽培技术规程[EB/OL]. (2016-12-13)[2017-01-15]. <http://www.gsdfbz.cn/theme/default/standardPublishDetail2367#pdfView>.