

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2023)04-0360-07

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2023.04.008

马铃薯矿质营养研究进展

潘 擎¹, 冯国惠^{2*}

(1. 黑龙江省庆丰农场有限公司, 黑龙江 鸡西 158305; 2. 北大荒信息有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要: 矿质营养元素是马铃薯生长发育中必不可少的物质, 更是其生命活动的基础。氮磷钾和一些中微量元素对马铃薯的产量和品质形成起到极其重要的作用。文章综述了马铃薯在生长发育过程中对矿质营养元素的需求和对矿质营养元素的吸收、转移规律, 分析了土壤条件、生长发育时期和水肥管理三大因素对矿质营养的影响, 并通过阐述矿质营养的生理生化作用, 总结其对马铃薯的根、茎、叶生长、产量和品质的影响。最后提出存在问题和对未来研究的展望, 旨在为马铃薯矿质营养研究和有效栽培管理提供参考。

关键词: 马铃薯; 矿质营养; 吸收; 生长; 产量

Research Progress in Mineral Nutrition of Potato

PAN Qing¹, FENG Guohui^{2*}

(1. Qingfeng Farm Co., Ltd., Jixi, Heilongjiang 158305, China; 2. Beidahuang Information Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: Mineral nutrients are essential substances for potato growth and development, and they are the basis of its life activities. Nitrogen, phosphorus, potassium and some medium and trace elements play an extremely important role in the formation of potato yield and quality. In this review, the demand, absorption and transfer of mineral nutrients in potato growth and development were summarized, and the effects of soil conditions, growth stage and water and fertilizer management on mineral nutrition were analyzed. By expounding the physiological and biochemical functions of mineral nutrition, the effects of minerals on the growth of potato roots, stems and leaves, yield and quality were summarized. Finally, the existing problems and the prospect of future research were put forward, aiming at providing reference for the study of mineral nutrition and effective cultivation management of potato.

Key Words: potato; mineral nutrition; absorption; growth; yield

马铃薯是仅次于玉米、小麦、水稻的世界第四大粮食作物, 在粮食安全方面发挥着重要作用^[1]。然而, 随着种植规模的迅速扩增, 对栽培管理水平的要求也有所提高, 中国马铃薯产业的快速发展亟需科学合理的生产管理技术。其中, 矿质营养的吸

收、利用、管理是极其重要的研究内容, 对平衡马铃薯矿质营养、提高块茎产量品质和保护生态环境均具有重要意义。王晓军等^[2]通过长期轮作与施肥调整了土壤养分含量, 同时提高了马铃薯的块茎产量; 王秀娟等^[3]研究表明, 增施中微量元素, 马铃

收稿日期: 2023-05-28

基金项目: 黑龙江省重点研发计划项目(2022ZX01A25); 科技部科技创新新一代人工智能2030重大专项(2021ZD0110900)。

作者简介: 潘擎(1988-), 男, 农艺师, 主要从事农业生产管理, 新技术引进、示范、培训、推广工作。

*通信作者(Corresponding author): 冯国惠, 高级农艺师, 研究方向为智慧农业, E-mail: 305429901@qq.com。

薯植株长势增强,产量也增加,同时发现Ca、Mg肥能够促进植株对N的吸收,Mg肥降低对K的吸收,而Ca肥降低对P的吸收,说明中微量元素不仅影响马铃薯的产量,还对养分含量有一定影响。另外,马艳和王小仲^[4]研究发现,氮磷钾配施对马铃薯具有明显的增产作用;李凯等^[5]研究发现,叶面喷施Fe、Zn、Mn微肥不仅增加植株的株高、单株块茎重和商品薯率,还增加了块茎中的淀粉、还原糖、维生素C含量以及Fe、Zn、Mn微量元素的积累量。一系列研究均证实了生产中矿质营养元素对马铃薯养分含量、产量和品质的重要作用。

1 马铃薯对矿质营养的需求

1.1 马铃薯生长发育对矿质元素的需求

马铃薯是高产作物,矿质营养成分在产量的形成过程中起到非常重要的作用。植株生长发育主要靠吸收矿物质、水分、同化二氧化碳转换为有机物。马铃薯对矿质营养元素的需求种类繁多,包括C、H、O、N、P、K、Ca、Mg、S、Fe、Zn、Mn、B等,其中C、H、O的主要来源为叶片的光合作用,而N、P、K、Ca、Mg、S、Fe、Zn、Mn、B等主要来源则是通过根系从土壤中吸收。马铃薯的整个生长期对N、K的需求量是最大的,其次是P、Ca、Mg^[6],这些矿质元素除了靠土壤提供外,还需要靠基肥和追肥补给。其他中量和微量营养元素在马铃薯的生长和生命活动中,都是不可或缺、也不能相互替代的。各类矿质营养元素通过提高光合生产率,参与并促进光合产物的合成、运转、分配等生理生化过程,从而对产量形成起到重要作用。

1.2 马铃薯缺素植株的症状表现

矿质元素对马铃薯植株生长的影响很大,必需元素中缺乏任何一种都会引起生长失调,导致减产,降低品质。如缺N导致植株矮小、茎秆纤细、叶片黄化和枯死;缺P导致顶端生长停滞、植株僵立、基部小叶褪绿变褐、慢慢枯萎脱落;缺K导致植株叶面粗糙皱缩、叶脉下陷、叶片暗绿、叶脉间有青铜色斑点;缺Ca导致幼叶黄化、叶片窄小、严重时顶芽或腋芽坏死;缺Mg导致叶片变黄变褐、叶肉变厚变脆,严重时向上卷曲、脱落;缺S

导致植株生长缓慢、叶片叶脉黄化,与缺N相似,但不提前干枯脱落;缺Fe导致叶脉深绿而脉间黄化,严重时叶片变白,出现坏死斑点逐渐扩大,直至叶片枯死脱落;缺Zn导致顶端叶片直立、叶片小且叶缘上卷、叶片有灰褐色斑点,严重时节间变短,植株矮化枯死;缺Mn导致叶片失绿出现杂色斑点,叶脉仍绿,直至斑点枯死脱落产生残缺叶片;缺B导致幼叶叶缘黄化、主茎和侧芽生长点坏死、节间缩短,全株呈矮丛状。

2 马铃薯对矿质营养的吸收和转移

2.1 马铃薯对矿质营养的吸收

矿质养分通过扩散或者质流到达根表,被根吸收,根作为三大营养器官之一,可以从土壤中吸收养分和水分^[7]。马铃薯作为块茎类繁殖作物,其生长初期对矿质营养的吸收不仅仅通过根,母薯内的养分转移也是很重要的一部分。马铃薯苗期,因根系还没有伸长无法从环境中获取养分,母薯的营养转移便成为其生长的唯一营养供应源^[8],所以母薯的大小直接影响着马铃薯的出苗和长势。高航等^[9]研究马铃薯母薯等级对植株生长势和结薯大小分布的影响,结果表明母薯越大,出苗越早,出苗率越高,且植株的长势好、产量高;李勇^[10]探讨原种块茎大小对马铃薯农艺性状的影响时表明,块茎越大,保苗率和株高、茎粗值越高。同样杨昌达等^[11]、郭华春^[12]、付一程^[13]的相关研究,都验证了母薯存在对植株进行养分转移的现象。

植物根系矿质营养的吸收主要是受到截获、质流、扩散等共同影响,是根系表面与土壤的相互作用,根系长度、重量、分布等指标决定着对养分的吸收能力^[14]。马铃薯是一种浅根作物,根系分布浅,根系密度也相对低,马铃薯的匍匐根也分布在土壤表层,所以土壤肥力对其吸收养分的能力影响较大。化肥可以为马铃薯提供充足的N、P、K大量元素,而中微量元素常常需要采取施用农家肥或者有机肥方法加以补充,这样才有利于改善土壤状况,促进根系对中微量元素的吸收。

2.2 马铃薯对矿质营养的转移

矿质营养元素在马铃薯体内的运输形式主要是

无机离子的转移和同化有机物后的运输。转移方向一般是从吸收部位运输到利用部位、从贮藏部位运输到生长部位、从衰老部位运输到幼嫩部位^[15]。已经参与到生命活动中的矿质营养元素,有的可以重复利用,如N、P、K、Mg、Cu、Zn;有的可重复利用但利用率较低,如S、Mn、Mo;还有一部分是不可重复利用的,如B、Ca、Fe。可重复利用的矿质元素在植株体内可从老叶转到幼叶上、从衰老器官转到休眠芽和根茎上、从营养器官转到种子上等。各种矿质营养元素不仅可以在植物体内转移,同时还能够排出体外,随着雨水和结露被淋洗到土壤中^[16]。

3 影响马铃薯矿质营养的因素

3.1 土壤条件

土壤的温度、通气状况、pH和土壤溶液浓度均是马铃薯根系吸收矿质营养的影响因素。土壤温度影响酶的活性、原生质胶体黏性和透性以及根尖的木栓化程度,所以在一定范围内,土壤温度越高,根系吸收矿质营养的速度会越快,但温度过高会导致速度下降。土壤的通气状况直接影响马铃薯植株根系的呼吸作用,通气良好的土壤氧气充足、二氧化碳少,能够增强根系对矿质营养的吸收。土壤pH对植株矿质营养的间接吸收影响较大,如碱性土壤中Fe、Ca、Mg、Cu、Zn元素容易形成不溶性化合物,无法被吸收;而酸性土壤中 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等溶解性增强,流失严重;另外在强酸性土壤中,常常会因一些金属元素溶解度增大,导致数量过多引起中毒现象。马铃薯一般喜欢偏酸性土壤,最适pH为5.0~5.5^[17]。土壤溶液浓度对植株矿质营养元素的影响主要是根系对离子的吸收,这里存在一个离子载体的饱和效应,当土壤溶液浓度低于平衡浓度时,随浓度的增加吸收矿质元素的速度将增加,达到平衡浓度不再增加,而浓度过高则会引起反渗透,植物体水分反渗透到土壤,引起植株死亡。

3.2 生长发育时期

马铃薯各生育时期,因生长发育阶段的不同,所需养分量也不相同。苗期马铃薯体内的营养成

分吸收主要用于茎叶生长,促使植株早生快发,养分吸收以氮磷为主;生育中后期开始控制地上部的营养生长,生长中心转移到块茎,各类矿质营养元素也将集中向块茎转移,此时要控氮追钾,补充中微量元素,以促进块茎的形成和膨大。孙磊等^[18]在肥力中等的土壤上种植马铃薯,其中2/3氮肥基施,1/3氮肥在块茎增长初期追施的处理,有利于养分在块茎中分配,获得了最高的块茎产量;张琼等^[19]在马铃薯不同生育时期追施钾肥进行增产效果分析,结果表明现蕾初期追肥效果最佳;李凯等^[5]在马铃薯苗期和块茎膨大期叶面喷施Fe、Zn、Mn微肥,结果显示促进了植株生长发育和块茎形成。诸如此类的研究均验证了各生育时期对不同矿质养分的需求差异,且直接影响产量。

3.3 水肥管理

“水促肥,肥调水”。水分不仅影响马铃薯植株体对矿质营养元素的吸收,还影响着营养元素在体内的转移和分配。水分在土壤中是营养元素的载体,充足的水分是土壤有效养分数量和迁移速率的保障,适宜的土壤水分状况促进作物对养分的吸收^[20]。Mengel和Von Braunschweig^[21]的研究发现,作物吸钾量随灌水量的增加有明显增加趋势;陈瑞英等^[22]在不同水氮条件下马铃薯产量和氮肥利用特性的研究中发现,相同氮肥条件下,不同灌溉定额对马铃薯产量影响较大,产量随着灌水量的增加而不断增大。

长期施用化肥会破坏土壤状况,补充有机肥能恢复和维持土壤的有机状态,所以有机肥配合化肥施用可有效提高土壤养分有效性,增加植株对矿质营养元素的吸收和利用。任珂等^[23]研究表明无机肥对土壤中氮磷钾含量影响较大,而有机肥对马铃薯植株体内的氮磷钾含量影响较大,说明了有机肥的施用能够增加马铃薯植株对矿质元素的吸收与利用;付强等^[24]研究表明,有机肥等氮替代25%~50%的化肥提高了马铃薯植株的氮素吸收量及块茎产量;秦永林等^[25]研究表明,适当的有机肥替代化肥比例可以促进马铃薯-小麦轮作体系经济器官对钾的吸收率,同时具有增产作用。另外

有研究表明, 氮钾互作可改善“源与库”的关系, 进而提高马铃薯的产量^[26]。合理施用氮钾肥是马铃薯高产优质栽培中的主要措施, 适宜的氮钾配比可加快植株生长, 调控植株对营养元素的利用, 促进光合产物向块茎中转移, 从而加快块茎膨大, 最终使马铃薯达到高产优质的效果。

4 矿质营养对马铃薯生长发育的影响

4.1 矿质营养对马铃薯生理生化的影响

矿质营养元素在马铃薯体内的生理生化作用, 归纳起来主要有以下几个方面。

(1) 组成植物体内的有机物。如 N、S、P, N 是蛋白质、核酸、磷脂、叶绿素及各种酶、维生素、内源激素、生物碱的必要组分; S 是构成硫氨基酸和蛋白质的基本元素, 也是生物素、硫胺素焦磷酸、铁氧还蛋白、辅酶 A 的重要成分; P 则是构成大分子物质的结构组分, 磷酸属于桥键物, 把各种结构单元连接到复杂或大分子的结构上, 形成含 P 有机化合物如核酸、磷脂、核苷酸、三磷酸腺苷, 在植物代谢过程中有重要作用。

(2) 与植物体内的醇基酯化。如 P、B, 形成磷酸酯与硼酸酯, 磷酸酯对代谢物质的活化及能量的转换起着重要作用, 硼酸酯有利于物质运输^[27]。

(3) 作为酶的辅助因子, 使酶形成适宜的结构而表现出催化作用。建立细胞与组织液的渗透势, 控制生物膜的透性与电势, 以及对细胞内外的离子起到平衡作用等。如 K、Mg、Ca、Mn、Cl^[28]。

(4) 以一种螯合的形式存在, 对植物体内氧化还原反应和电子传递起一定的作用, 如 Fe、Cu、Zn、Mn、Mo。

(5) 参与植物体重要生理活动。如 Fe、Zn、Ca, Fe 是固氮酶的组成部分, 在生物固氮中起重要作用; Zn 参与植物生殖器官的发育和受精过程; Ca²⁺作为体内重要的第二信使, 在植物细胞信号转导中起到核心作用。

4.2 矿质营养对马铃薯根茎叶生长的影响

氮磷钾作为马铃薯吸收量最多的矿质营养, 主要促进根系发育、茎叶和块茎的生长。生育早期有充足的氮, 可增强植株的抗旱性, 提高出苗率; 充

足的磷又能够促进植株匍匐茎的产生, 为块茎形成做准备; 而钾可以延缓叶片衰老, 延长熟期, 促进块茎膨大。三种大量营养元素均对植株的叶面积、株高、茎粗和根影响显著。董文等^[29]通过施氮水平对冬播马铃薯植株生长的影响研究发现, 施氮量与株高和茎粗呈显著或极显著的正相关关系; 高炳德^[30]研究表明, 在一定范围内, 叶面积系数与施氮量呈正相关关系; 王天等^[31]研究磷肥用量对马铃薯植株生长发育和根系形态的影响, 发现适量磷肥促进了马铃薯株高、茎粗和匍匐茎的增加, 促进根系的总根长、根表面积、根体积、根直径和根尖数的增加; 汤立阳^[32]研究结果表明, 施硫酸钾肥和氯化钾肥都可以提高马铃薯的株高、茎粗和主茎数; 赵阳^[33]研究表明, 适量钾素可以使马铃薯幼苗的株高、根茎叶的干重、根长、根表面积、根投影面积、根体积、根尖数、根分枝和根交叉数表现出明显增高。

中微量元素对马铃薯根茎叶的生长发育同样影响很大。研究表明, Ca 可以增加马铃薯叶片中的叶绿素和类胡萝卜素的含量^[34], 增加生物量^[35], 延缓植株衰老^[36]; Mg 可以促进根系的形态建成, 增加根冠比^[37]; S 可以提高马铃薯单株叶面积, 增加叶绿素含量^[38]; 缺 Fe 幼叶会失绿, 而充足的 Fe 可以增加植株的株高和茎粗^[5]; Zn 能促使叶面积增大、促进根系生长, 增加根系活力^[39]; B 能够促进植株体内的糖类代谢, 避免碳水化合物积累, 影响植株生长^[40]; Mn 能够增加植株叶片酶活性、产量以及可溶性蛋白、有机酸、维生素 C 和淀粉含量等^[41]。

4.3 矿质营养对马铃薯产量和品质的影响

马铃薯为喜肥作物, 对于矿质营养的反应很敏感。虽然马铃薯的产量和品质主要由品种本身的遗传特性所决定, 但其生长发育中矿质营养的供应同样十分重要^[42], 如单株结薯数、单薯重以及块茎中的蛋白质、维生素 C、淀粉和还原糖含量, 都会随矿质元素供应水平的变化而变化。

诸多研究表明, 氮营养过多、过少都会通过影响植株的营养生长而影响块茎的形成^[43]。适量磷钾对块茎的形成均有良好的促进作用, 磷可以促进根

系发育, 增强植株抗逆性, 提高抗病能力; K能够促进植株的光合作用和淀粉合成, 最主要可促进叶片碳水化合物向块茎中的运输, 起到增产提质的作用^[44]。伍壮生^[45]研究氮磷钾肥对马铃薯单株产量的影响, 结果表明贡献最大的是K肥, 其次是N肥, P肥影响不显著; 而马铃薯的单薯重同样受K肥影响最大, 其次是P肥, N肥影响最小, 且N、P肥之间存在明显的交互作用。吴琪滢等^[46]对马铃薯产量品质与氮磷钾吸收利用的关系研究中发现, 较高的氮磷钾养分吸收量能保障较高的马铃薯块茎产量和淀粉产量, 而较高的氮磷钾养分含量可显著提高块茎中维生素C和蛋白质的含量。

尽管马铃薯对中微量元素的需求量很少, 但在提高产量和品质方面中微量元素却发挥重要作用。罗爱花等^[47]研究发现, 大中微量元素(NPK + Fe + Mn + Cu + Zn + Mg + S)配施能够增加马铃薯块茎的干物质、粗淀粉积累、维生素C和粗蛋白含量, 实现马铃薯的稳产优质; 吴俊兰等^[48]早在1990年就报道了微量元素Zn对马铃薯产量和品质的影响, 种薯拌种和叶面喷施Zn肥均可明显提高干物质, 改善品质, 提高块茎中的淀粉和维生素C含量, 降低单宁含量; 田种存和张洋^[49]研究发现, 施用B、Zn不仅可以明显提高马铃薯株高、单株结薯数、大中薯数、单株产量和总产量, 还能提高马铃薯块茎中淀粉和蛋白质含量; 党宏波^[50]研究了Ca、Mg元素对马铃薯产量与品质的影响, 结果增施Ca、Mg肥均可显著提高干物质含量, 增加单株薯重和块茎产量, 同时有效降低疮痂病的发病率, 增强马铃薯皮的抗机械损伤能力; 安珍等^[51]研究表明, 增施Fe肥可提高马铃薯块茎中的淀粉、还原糖、维生素C和蛋白质含量。

5 存在问题及展望

近年来, 有关于马铃薯矿质营养的研究虽然已经取得了可观的进展, 但仍然存在许多问题需要解决。如: (1)对马铃薯生长发育中必需的大量元素相关研究较多, 但不够深入, 诸多研究者对植株氮磷钾吸收利用的影响因素、栽培管理措施的有效性(包括氮磷钾配比施肥、施肥时期、施肥

方式以及轮作、间套作等)以及氮磷钾对植株产量品质的影响等, 均展开了相对系统的研究, 但部分结论有差异, 缺少有力的事实论证。对于中微量矿质营养元素的研究更是浅尝辄止, 经查阅国内文献显示仅有学者通过施用中微肥研究其对马铃薯生长发育的影响, 而对于中微量元素的吸收规律、影响因素以及元素间的相互作用等均几乎为空白, 所以需要加强此方面的研究。(2)矿质营养元素在植物体内不仅单独发挥作用, 他们还存在着协同或拮抗等复杂的相互作用。如有研究表明, 低浓度Ca促进植株对K的吸收, 而高浓度K则降低植株Mg的含量^[52]。深入研究各营养元素间的互作效应可以掌握其对马铃薯生长发育的影响规律, 从而提高肥效, 降低生产经济成本, 对马铃薯产业发展意义重大。因此马铃薯矿质营养的交互作用研究需要进一步加强。(3)提高化肥利用效率, 有助于马铃薯矿质营养元素的吸收利用。尽管目前有机肥无机肥配施、测土配方施肥、水肥耦合、新型肥料施用、轮作套种等技术在马铃薯生产上均有应用, 但技术体系还需要进一步优化, 在技术推广、成本降低、实施程度提高等方面也需要继续加强。

【参 考 文 献】

- [1] 李扬, 王靖, 唐建昭, 等. 中国马铃薯主产区生产特点、限制因子和对策分析[J]. 中国马铃薯, 2020, 34(6): 374-382.
- [2] 王晓军, 孙玉琴, 杨军学, 等. 长期轮作与施肥对马铃薯土壤养分和产量的影响[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(3): 42-46.
- [3] 王秀娟, 娄春荣, 董环, 等. 中微量元素对马铃薯产量和养分吸收的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(1): 93-94.
- [4] 马艳, 王小仲. 氮磷钾配施对马铃薯产量的影响[J]. 农技服务, 2022, 39(6): 31-33.
- [5] 李凯, 张国辉, 郭志乾, 等. 叶面喷施铁锌锰微肥对马铃薯生长、品质与产量的影响[J]. 作物研究, 2018, 32(1): 28-30, 34.
- [6] 张西露. 冬闲田马铃薯需肥规律与肥料效应研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [7] 申建波, 张福锁, 毛达如. 植物矿质营养的生态意义—II. 植物对矿质养分的吸收、利用和分配[J]. 生态农业研究, 1997(2):

- 13-16.
- [8] 宫占元. 植物生长调节剂对马铃薯匍匐茎生理代谢及产量的影响 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2011, 23(4): 7-10.
- [9] 高航, 张雁, 高玉亮, 等. 马铃薯母薯等级对植株生长势和结薯大小分布的影响 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43(35): 16-17, 38.
- [10] 李勇. 原原种的块茎大小对马铃薯的农艺性状、繁殖系数和产量的影响 [J]. 中国马铃薯, 2014, 28(1): 21-26.
- [11] 杨昌达, 熊继文, 刘振业, 等. 脱毒马铃薯原原种薯大小对产量影响研究 [J]. 耕作与栽培, 2004(6): 20-21, 50.
- [12] 郭华春. 微型种薯大小对马铃薯生长及产量的影响 [J]. 种子, 2004(7): 69-70.
- [13] 付一程. 原原种种薯大小与种植密度对马铃薯生长发育和产量形成的影响 [D]. 成都: 四川农业大学, 2012.
- [14] 乌兰. 基于马铃薯根系时空分布的水分管理 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2022.
- [15] 刘源. 低氮胁迫下两种生态型野大豆和大豆幼苗叶片养分再利用比较研究 [D]. 长春: 东北师范大学, 2023.
- [16] 曾广文. 植物生理学 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1991.
- [17] 邓明华. 土壤条件对马铃薯种植的影响分析 [J]. 农业开发与装备, 2016(5): 136.
- [18] 孙磊, 谷浏涟, 刘向梅, 等. 氮肥施用时期对马铃薯氮素积累与分配的影响 [J]. 中国马铃薯, 2011, 25(6): 350-355.
- [19] 张琼, 屠年忠, 董云忠. 马铃薯不同生育时期追施钾肥增产效果分析 [J]. 云南农业, 2009(2): 32-33.
- [20] 李生秀, 李世清, 高亚军, 等. 水分对作物吸收养分的影响 [M]// 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术. 北京: 中国农业科技出版社, 1995.
- [21] Mengel K, Von Braunschweig L C. The effect of soil moisture upon availability of potassium and its influence on the growth of young maize plant [J]. Soil Science, 1972, 114: 142-148.
- [22] 陈瑞英, 蒙美莲, 梁海强, 等. 不同水氮条件下马铃薯产量和氮肥利用特性的研究 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(3): 196-201.
- [23] 任珂, 张晓莉, 李秀, 等. 有机肥和无机肥对马铃薯养分吸收及产量的影响 [J]. 中国马铃薯, 2019, 33(6): 359-363.
- [24] 付强, 张平良, 刘晓伟, 等. 有机肥替代部分化肥对半干旱区马铃薯产量、水分和氮素利用率的影响 [J/OL]. 中国土壤与肥料: 1-9[2023-08-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20230724.1935.006.html>.
- [25] 秦永林, 石晓华, 贾立国, 等. 有机肥替代化肥对马铃薯-小麦轮作体系产量及钾肥利用率的影响 [J]. 北方农业学报, 2019, 47(4): 47-51.
- [26] 孙鑫. 钾肥种类和灌水量对陕北滴灌马铃薯生长和水肥利用的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [27] 张江林. 钾素营养增强水稻抵抗叶鞘腐败病的生理机制 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [28] 王浩宇. 外源 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 对盐胁迫下大苞萱草的缓解效应 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2022.
- [29] 董文, 范祺祺, 叶亦心, 等. 施氮和施钾水平对冬播马铃薯生长及产量的影响 [J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2021, 47(4): 392-398.
- [30] 高炳德. 马铃薯产量形成与环境条件的关系—灌水对产量形成和氮磷钾吸收的影响 [J]. 中国马铃薯, 1987, 1(1): 29-33.
- [31] 王天, 张舒涵, 闫士朋, 等. 干旱胁迫和磷肥用量对马铃薯根系形态及生理特征的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(1): 117-124.
- [32] 汤立阳. 钾素对马铃薯生长、产量及品质的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [33] 赵阳. 钾素对马铃薯幼苗生理特性及钾转运体 KUP6 和 KUP7 基因表达量的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- [34] 李文霞, 张昕, 石瑛, 等. 外源钙对马铃薯形态、生理、产量与品质性状的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(7): 1-8.
- [35] 唐彩梅, 张小静, 袁安明, 等. 滴施 Ca 、 Zn 肥对马铃薯生长、产量及品质的影响 [J]. 中国瓜菜, 2023, 36(1): 19-25.
- [36] 蒲文泽, 蒲转芳, 李亚杰, 等. 土壤中施加硫酸钙对马铃薯生长发育及产量、品质的影响 [J]. 农业科技与信息, 2023(5): 104-109.
- [37] 卜文宣, 贾立国, 樊明寿. 镁元素营养研究现状及其在马铃薯生产上的展望 [J]. 北方农业学报, 2020, 48(3): 92-96.
- [38] 刘坤, 贾立国, 秦永林, 等. 马铃薯硫素营养研究进展 [J]. 中国蔬菜, 2021(8): 33-38.
- [39] 杜平. 外源锌对马铃薯生长及块茎锌含量的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2021.
- [40] 陈苏日娜. 氮、锌、锰、硼对马铃薯脱毒苗生长及其糖含量的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- [41] 焦淑娟, 董强, 卢婷婷, 等. 叶面喷施 MnSO_4 对马铃薯植株叶片生理特性和块茎品质的影响 [J]. 分子植物育种, 2021, 19(4): 1304-1311.
- [42] 何天久, 李其义, 吴巧玉, 等. 氮磷钾对马铃薯产量和品质影响

- 的研究进展 [J]. 黑龙江农业科学, 2014(9): 140-144.
- [43] 王星. 氮磷钾运筹对马铃薯产量品质及相关生理特性的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2022.
- [44] 郭志平. 施用磷钾肥对马铃薯产量品质和相关生理指标的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [45] 伍壮生. 氮磷钾施肥水平对马铃薯产量及品质的影响 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2023.
- [46] 吴琪滢, 郭志乾, 李德明, 等. 马铃薯产量品质与氮磷钾吸收利用的关系 [J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(3): 521-529.
- [47] 罗爱花, 陆立银, 王一航. 大中微量元素配施对陇薯5号养分吸收及品质的影响 [J]. 长江蔬菜, 2011(6): 52-56.
- [48] 吴俊兰, 刘秀珍, 杨忠义, 等. 微量元素锌对马铃薯产量品质影响的初步研究 [J]. 山西农业大学学报, 1990(2): 140-142, 185-186.
- [49] 田种存, 张洋. 微量元素硼、锌对马铃薯产量和品质的影响 [J]. 广东农业科学, 2013, 40(7): 12-13, 21.
- [50] 党宏波. 钙、镁元素对马铃薯产量和品质的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [51] 安珍, 张茹艳, 周春涛, 等. 铁肥对马铃薯生理特性、产量及品质的影响 [J]. 江苏农业学报, 2022, 38(4): 931-938.
- [52] Koch M, Busse M, Naumann M, *et al.* Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and partitioning of photo assimilates in potato plants [J]. Physiologia Plantarum, 2019, 166(4): 921-935.

《中国马铃薯》简介

《中国马铃薯》创刊于1987年, 由中国作物学会马铃薯专业委员会创办, 是全国唯一的马铃薯专业科技期刊。创刊名为《马铃薯杂志》, 2000年更名为《中国马铃薯》。期刊现由东北农业大学主管主办, 中国作物学会马铃薯专业委员会为学术支撑。2020年被评为RCCSE中国核心学术期刊(A-), 中国农林核心期刊(2020版)B类, 2021年度中国农业期刊优秀期刊。2022年复合影响因子1.483, 综合影响因子0.922。

《中国马铃薯》以繁荣和推动我国的马铃薯事业, 促进马铃薯科研与生产结合, 尽快把科学技术转化为生产力为办刊宗旨, 积极报道国内外有关马铃薯作物的学术研究、科研动态和实用技术的最新进展。主要刊登与马铃薯作物有关的遗传育种、栽培生理、病虫害防治、土壤肥料、贮藏加工、综述、产业开发、品种介绍等领域的学术和技术论文。读者对象是从事马铃薯作物全产业链科学研究和技术研发的科技工作者、大专院校师生和具有同等水平的专业人士。

《中国马铃薯》被多个数据库或平台收录, 如: 中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)、CNKI中国期刊全文数据库(CJFD)、万方数据中国核心期刊数据库(遴选)、JST日本科学技术振兴机构数据库(日)(2022)、EBSCO数据库、中文科技期刊数据库、中国核心期刊(遴选)数据库、超星期刊域出版平台、博看网等。