

微肥对植物生长作用及施用技术的研究进展

马琦琦^{1,2}, 李丽君^{2*}, 王斌², 霍晓兰², 刘平²

(1. 山西大学生命科学学院, 山西太原 030006; 2. 山西农业大学资源环境学院, 山西省土壤环境与养分资源重点实验室, 山西太原 030031)

摘要 随着粮食作物生产过程中人们愈加重视氮、磷、钾大量元素肥料的施用, 致使大量元素化肥施用量居高不下, 导致土壤中的微量元素不断被消耗。因此, 微量元素逐渐成为制约粮食产量与品质的重要因素。为了研究不同微量元素在作物生长发育过程中发挥的作用, 探索微量元素对作物生长生理及营养品质方面的影响, 同时研究不同微肥在作物种植中的施用方法与施用量, 从而提高作物产量与品质, 为人体增加营养物质。总结近十年不同微量元素对作物生长发育影响的研究以及微肥施用的具体方法, 研究结果表明, 微量元素对作物的生长生理和营养品质有一定的促进作用。微量元素的施用可以有效地提高作物产量、生物量、茎粗、株高, 增加叶绿素含量, 提高光合作用, 提高抗氧化酶活性, 也可以增加作物中的蛋白量、可溶性糖、淀粉、维生素等营养物质浓度。植物对微量元素的需求量少, 微肥的施用应控制好用量和浓度, 主要施用方式有土壤基施、浸种拌种和叶面喷施, 也可以与大量元素和有机肥配合施用, 以达到增产增收、提高作物品质的效果。对前人的研究结果进行总结概括, 可为农业生产中合理施用微量元素肥料、扩大微量元素对作物的施用范围、提高粮食产量与品质提供借鉴与参考。

关键词 微量元素; 生长发育; 施用技术; 营养品质

中图分类号 S-1 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)13-0004-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.13.002



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Progress on the Effects of Micro-fertilizers on Plant Growth and Application Techniques

MA Qi-qi^{1,2}, LI Li-jun², WANG Bin² et al (1. College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006; 2. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Key Laboratory of Soil Environment and Nutrient Resources of Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi 030031)

Abstract As people pay more attention to the application of N, P, K bulk element fertilizer in the production of food crops, the application amount of NPK bulk element fertilizer remains high, resulting in constant consumption of trace elements in soil. Therefore, trace elements gradually become an important factor restricting grain yield and quality. In order to understand the role of different trace elements in the process of crop growth and development, explored the effects of trace elements on crop growth physiology and nutritional quality, and studied the application methods and dosage of different trace fertilizers in crop planting, so as to improve crop yield and quality and increase nutrients for human body. This paper analyzed and summarized the effects of different trace elements on crop growth and development and the specific methods of micro fertilizer application in recent ten years. The results show that trace elements can promote the growth physiology and nutritional quality of crops. The application of trace elements can effectively improve crop yield, biomass, stem diameter and plant height, increase chlorophyll content, photosynthesis and antioxidant enzyme activity, and also increase the amount of protein, soluble sugar, starch, vitamins and other nutrients in crops. The demand of plants for trace elements and the amount and concentration of micro fertilizer should be controlled. The main application methods included soil base application, seed soaking and dressing and foliar spraying. It can also be applied in combination with a large number of elements and organic fertilizer, so as to increase production and income and improve crop quality. Expounded and summarized on the basis of previous studies, were advantageous to apply trace elements correctly and reasonably in the future, and the scope of crops applying trace elements should be expanded. The research results provided reference for micro fertilizer to be better used in crop planting and production, and improved grain yield and quality.

Key words Trace elements; Growth and development; Application technology; Nutritional quality

作物对微量元素的需求很少, 往往只需补充一小部分, 就可以提高与改善植物的产量与品质。土壤缺乏某些微量元素时, 无法满足植物生长对微量元素的需求, 导致植物生长缓慢、产量低和品质差。当微量元素满足植物生长发育的需求时, 会促进代谢, 同时促进植物对大量元素的吸收利用, 使植物生长良好。微量元素可以改善细胞原生质的胶体化学性质, 增强作物的抗逆性^[1]。土壤中微量元素不能满足植物生长需求时, 可以通过施用微量元素肥料(简称“微肥”)的方式来补充。微肥是一种含单一或多种微量元素的肥料, 可以通过不同施用方式来给植物补充。微量元素肥料有多

种类别, 常见的施用方法有土壤施用、处理种子和叶面喷施。微肥施用量也各不相同, 需要根据不同的作物与土壤质地, 选择适宜的施用方法。因此, 研究微量元素对作物生长发育的影响以及明确施用技术, 对促进植物的生长发育, 提高产量与品质有着积极意义。

该研究对铁、锰、锌、铜、硼、钼、氯几种植物生长发育所需要的微量元素依次展开论述, 通过分析近 10 年微量元素在作物中的研究试验, 总结了常见微肥种类、施用方法以及不同微肥对常见农作物生长特性及营养品质的影响。同时发现除施用单一微量元素肥料外, 微量元素与大量元素或有机肥料配施的研究较少, 目前关于锰、铜、钼、氯的研究还比较薄弱。近 5 年有关微量元素的研究显著增多, 前人关于微量元素应用于玉米、小麦的研究较多, 对其他作物的研究有待增加。该研究旨在为进一步扩大微肥在农业上的施用范围, 提高农产品产量与品质提供理论依据。

基金项目 山西省科技成果转化引导专项项目(201904D131054); 山西省农业科学院农业科技创新研究课题项目(YCX2018D2T01); 山西省专利推广实施资助专项项目(2019043); 科技部重点研发项目(2016YFD0800105-5)。

作者简介 马琦琦(1996—), 女, 山西吕梁人, 硕士研究生, 研究方向: 养分资源高效利用。* 通信作者, 研究员, 博士, 从事养分资源高效利用研究。

收稿日期 2021-09-17

1 微量元素在植物生长发育中的作用

1.1 铁对植物生长发育的作用 铁是细胞色素和非血红素铁蛋白的组成元素,因此铁能参与植物的光合和呼吸过程^[2]。植物叶片中铁元素营养浓度的正常含量为 50~100 mg/kg,若含量为 30~40 mg/kg 时,可能出现缺铁症状^[3]。铁参与植物叶绿素的形成,很难在植物内部转移。因此缺铁的失绿现象先出现在幼叶中,当铁长期缺乏时,叶脉也会失去绿色,出现整个白化叶。胥亚玲等^[4]研究发现,用土施结合叶面喷施的方法施用铁肥时,籽粒中的铁含量增加最多。施铁肥可以有效提高作物籽粒铁含量^[5],提高籽粒中粗蛋白与粗纤维含量,增强作物品质^[6]。兴荣荣^[7]进行了锌铁微肥对冬小麦产量与品质影响的研究,研究数据显示,施用锌铁肥之后的叶片 SPAD 值增高,增加了净光合速率;通过锌铁微肥配施能够增加冬小麦的产量。

1.2 锰对植物生长发育的作用 锰参与植物中蛋白质、无机酸的代谢以及光合作用中二氧化碳的同化、碳水化合物的分解等过程^[3]。锰可以促进种子的发芽,还有利于植物结实。植物缺锰时叶绿素结构被破坏,抑制光合作用,叶片常有黄色斑点,叶卷曲,花色不良,开花结果减少^[3,8]。锰胁迫对富硒水稻的生长及硒、锰含量的影响试验结果表明,高浓度锰胁迫下的富硒水稻 SPAD 值均比非富硒水稻高^[9]。硫酸锰可以提高马铃薯脱毒苗的株高、茎叶及根的鲜重、干重,植株中的可溶性糖和淀粉含量也明显提高^[10]。微量元素锰可以提高种子的萌发指数,提高对软腐病菌的抑制率,降低病菌内的 SOD、CAT、POD 活性^[11]。

1.3 锌对植物生长发育的作用 锌是多种酶的组成成分,植物生长素的合成离不开锌^[1]。锌是植物必需的微量元素之一,一般植物叶片中的锌正常含量为 10~125 mg/kg。植物缺锌时,茎节缩短,植株变矮,叶片呈小且群生的状态,叶脉变黄^[3]。对谷子叶面喷施锌肥后,谷子的产量得到了提高,作物蛋白含量、可溶性糖和部分氨基酸含量得到提高^[12-13]。当锌肥浓度的逐渐增高,植株各部分器官中锌含量总体上呈增高趋势,叶片是锌含量最多的器官,其次为籽粒。锌肥可影响小麦生理特性以及籽粒品质^[7],施用锌肥后,发现小麦叶片 SPAD 值高于对照组的值,同时增加了小麦产量和穗粒数,提高了蛋白质和沉降值等品质指标。施用锌肥可以提高小麦叶片碳酸酐酶(CA)活性^[14]。邢艳丽^[15]研究锌肥对谷子农艺性状及产量的影响并得到以下结果:拔节期抽穗期喷硫酸锌后净光合速率提高,谷子株高、叶面积都增加,茎粗在不同浓度下无显著变化。

1.4 铜对植物生长发育的作用 铜是植物生长发育所必需的微量元素,它在植物体内参与光合作用,参与植物的氧化还原反应,促进碳水化合物与蛋白质的合成与代谢,提高植物抗寒、抗旱等抗逆能力^[1]。正常植物叶片中铜的含量一般为 4~12 mg/kg, <3 mg/kg 时为缺铜^[3]。植物缺铜时,植株生长瘦弱,叶黑绿,新叶发黄,先从嫩叶叶尖起有坏死斑点,后沿叶缘扩展到叶基部,叶卷皱或畸形。当植物缺铜过多时,叶片脱落^[2]。王钰博等^[16-18]研究发现,低浓度铜可提高作物

产量,而高浓度铜对作物产量则产生抑制作用,且铜胁迫对生物量的影响大于产量,对根部的影响大于地上部。

1.5 硼对植物生长发育的作用 硼作为植物必需的微量元素,能促进碳水化合物运输,促进根的生长发育,还能提高植物的抗逆性^[1]。植物缺硼时常表现为子叶不能正常发育,生育期推迟,雌雄花蕊发育不良,不能正常授粉,最后枯萎不结实,从而影响产量。在谷子灌浆期喷施硼肥,发现硼能提高植物叶绿素含量,提高光合速率^[19]。喷施硼肥增强了谷子灌浆期硝酸还原酶的活性,提高了可溶性糖和可溶性蛋白的含量,从而促进了谷子灌浆期碳水化合物的合成,同时也促进了碳水化合物转化成蛋白质。硼酸浓度为 0.3 mg/mL 时处理效果最为明显,当浓度高于此浓度时各项生理指标开始呈下降趋势,直到产生胁迫抑制谷子生长发育。硼通常集中在植物的茎尖、根尖、叶片和花器官中,能促进花粉萌发和花粉管的伸长,因而对作物受精有着重要的影响^[20]。

1.6 钼对植物生长发育的作用 钼是豆类作物固氮酶的组成部分,参与共生性生物固氮与蛋白质的合成,钼肥充足能大大提高固氮能力,提高蛋白质含量^[1]。植物的正常含钼量为 0.05~0.15 mg/kg^[3]。植物缺钼时植株会非常矮小,叶片失绿,叶边缘枯黄,叶片变得萎蔫,不开花或花很早就落。小麦种子用钼肥处理可以显著提高小麦越冬前的根系生长和花前叶面积,增加干物质累积,提高叶绿素总含量,提高小麦种植的出苗率,增加单位面积穗数,提高产量^[21]。商靓婷^[22]研究钼肥对白芨生长发育的影响,结果表明施用适量钼肥能促进白芨对营养元素 N、P 的吸收,增加茎高、鲜重以及多糖含量。杨洪雷^[23]研究表明,施用低浓度的钼肥可以显著提高叶中脯氨酸含量,提高干旱胁迫下植物可溶性蛋白含量。

1.7 氯对植物生长发育的作用 氯元素可以调节植物叶片的渗透压,调节气孔开闭,影响植物的生长发育。当植物缺氯时,叶片对 CO₂ 利用率降低,叶片小,发黄,根和茎的生长也会受到抑制,影响植物对环境的适应作用。氯能提高作物的抗逆性。有研究得出氯降低小麦全蚀病的发病率^[24]。施用低浓度氯肥有利于提高出苗率,延长作物生长周期,增加株高、叶面积并提高 SOD 活性,而较高的外源氯则相反^[25];施用氯肥可提高柑橘产量,增加柑橘中维生素 C 含量^[26]。施用氯肥可以增加水稻幼苗的鲜重,增加根长^[27]。

2 微肥施用技术

微肥对植物的生长发育起着重要的作用,但根据不同的需要选用不同的施用方法才能更有利于植物生长。微肥施用方法主要有土壤施肥、种子处理和根外追肥等^[28]。

2.1 土壤施肥 土壤施肥主要是作为基肥施入土壤中,一般是在播种前翻土均匀施入,也可与氮、磷、钾等大量元素肥料混合一起均匀施入土中。生产中常用的铁肥为硫酸亚铁,将铁肥与有机肥按照 1:10~1:20 的比例混合施用^[29]。锰肥应用普遍的是硫酸锰,作为底肥用硫酸锰 15.0~37.5 kg/hm²。锌肥应用最多的是硫酸锌,作为底肥用硫酸锌 15~30 kg/hm²。常用的铜肥是硫酸铜,作为基肥用 15~

30 kg/hm² 即可^[30]。硼肥应用普遍的有硼砂和硼酸,作为底肥用硼砂 7.5~15.0 kg/hm²。钼肥中应用比较广泛有钼酸铵和钼酸钠,钼肥作为底肥可与非酸性常量元素化肥混用^[29]。氯肥应用最多的是氯化铁,与磷肥、微肥、有机肥混配施用效果更好,一次用量不能超过含氯量 100~150 kg/hm²。

2.2 种子处理 种子处理是指在播种前进行浸种或拌种,种子处理可以节省用肥量,因此它是一种经济适用方法。铁肥浸种浓度一般为 0.05%~0.10%,浸泡时间一般为 6~12 h;拌种时种子用肥量是 4 g/kg,通常先配浓度为 5%的微肥水溶液,喷向种子再闷 10 h 左右。锰肥浸种时用浓度为 0.05%~0.10%的硫酸锰溶液浸泡 12~24 h^[30];拌种的锰肥使用量为 4~8 g/kg。一般锌肥浸种应配置浓度为 0.02%~0.10%的硫酸锌水溶液,浸种时间大约 12 h;锌肥拌种时的用量为 5~6 g/kg^[30]。铜肥浸种浓度一般为 0.01~0.05%,浸泡 24 h。硼肥浸种浓度一般为 0.2%~0.5%,浸种时间是 4~6 h;硼肥拌种可以用 4 g/kg 的硼砂。钼肥浸种时常用钼酸铵溶液,配置浓度为 0.05~0.10%,时间一般为 12 h;钼肥拌种可以用 2~6 g/kg 的钼酸钠。方法是先用热水溶解,然后再用冷水稀释至所需体积^[30]。

2.3 根外追肥 根外追肥通常指将微肥配成一定浓度的水溶液,在合适的时期对作物叶片进行喷施,一般喷 1~3 次。铁肥喷施一般浓度为 0.05%~3.00%^[30],每隔 7~10 d 喷施 1 次。一般作物喷施的锰肥浓度为 0.05~0.10%,果树喷施锰肥浓度为 0.3~0.4%^[29],一般喷 1~2 次即可。锌肥一般喷施 0.15%~0.30%硫酸锌溶液,效果较好。通常配制硫酸铜溶液用于叶面喷施,配置浓度 0.02%~0.10%为宜。喷施硼肥时通常配置浓度为 0.1%~0.5%的硼砂水溶液,在晴天下午 4:00 后进行叶面喷施^[30]。钼肥叶面喷施 0.01%~0.10%的钼酸铵溶液,喷施 1~2 次。氯肥进行叶面喷施时常用氯化铁水溶液。

2.4 施用微肥的注意事项 在微肥施用过程中,有一些需要注意的地方。植物生长发育对微量元素的需求很少,施用过量易导致毒害作用发生,影响作物正常生长,污染土壤与环境。因此,一定要控制施用浓度与用量,防止微肥用量过多。根据作物生长需要,确定微肥的种类及用量,施用时设置不同的微肥浓度梯度,根据作物的生长生理和营养指标确定合理的施用量以及施用浓度。微肥可以作为单一肥源,也可以与大量元素肥料和有机肥配合施用,达到更好的增产效果,在微肥缺乏的土壤中尤其要注意加大有机肥的施用量。通过测定土壤微量元素含量,确定该地区土壤微量元素的丰缺度,有针对性地施用所缺少的微量元素,才能达到增产、提高品质的效果。

3 展望

微量元素对植物的生长发育有着多方面的影响,微量元素对植物的作用不容忽视。微量元素可以提高作物的生长、生理及营养品质方面的指标。当植物缺少某种微量元素时,会表现出相应的症状,影响植物的生长发育及籽粒品质。微

肥因其吸收率高、速溶、见效快等优点而被熟知,广泛应用于农业生产中。但目前的研究仍存在不足,今后应加强以下几方面的研究:①加强微量元素与大量元素或有机肥料配施的研究。②目前关于锰、铜、钼、氯的研究相对薄弱,该 4 种微量元素的作用有待进一步研究。③应扩大微量元素在作物上的应用范围。结合微量元素的作用和施用技术,有利于高效地提高作物产量与品质,使微量元素更广泛地应用于农业生产中。

参考文献

- [1] 刘桂兰. 微量元素对植物生长发育的作用[J]. 现代农村科技, 2009(3): 55.
- [2] 胡丽娜. 微量元素对植物的作用[J]. 现代农业, 2014(7): 25.
- [3] 沈惠国. 土壤微量元素对植物的影响[J]. 林业科技情报, 2010, 42(4): 12~14.
- [4] 咎亚玲, 王朝辉, 毛晖, 等. 施用硒、锌、铁对玉米和大豆产量与营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 252~256.
- [5] 宋志均, 周其军, 董军红, 等. 叶面喷施微肥对小麦产量、籽粒及干物质的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(13): 173~174, 189.
- [6] MUGENZI INNOCENT. 锌铁喷施对夏玉米生物学特性及营养品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [7] 兴荣荣. 锌铁微肥对冬小麦产量与品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [8] 杨丽丽. 铁、锰、锌缺乏下马铃薯试管苗差异蛋白质组分析[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- [9] 张玉洁. 锰胁迫对富硒水稻的生长及硒、锰含量的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019.
- [10] 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.
- [11] 李俊杰. 锌锰硼硒对芥菜软腐病菌抑制作用及对芥菜的影响研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
- [12] 李雅静, 田伯红, 刘全凤, 等. 谷子叶面喷施绿色锌肥增产效果试验[J]. 现代农村科技, 2016(5): 49~50.
- [13] 宗叙芳. 谷子锌肥肥效试验研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2011.
- [14] 张盼盼. 氮锌施用对小麦矿质元素积累分配和籽粒品质的调控效应[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017.
- [15] 邢艳丽. 叶面喷施硫酸锌对张杂谷 10 号农艺性状及产量的影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2019.
- [16] 王钰博, 宋熙临, 何欣, 等. 铜对植物生长及叶组分的影响研究[J]. 沈阳理工大学学报, 2020, 39(5): 41~45.
- [17] 向魏. 铜胁迫对亚麻萌发、产量及生理特性影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [18] 袁长凯. 铜胁迫对陆地棉抗氧化代谢和产量品质的影响及其在体内的分布[D]. 南昌: 江西农业大学, 2020.
- [19] 郭俊. 灌溉期喷施硼和锌对谷子生理特性及产量影响[D]. 太谷: 山西农业大学, 2014.
- [20] 寇娇娇, 王道丽, 杨秋莲. 浅述硼对植物生长发育的重要性[J]. 河南农业, 2020(22): 18.
- [21] 刘春奎. 钼锌配施对冬小麦的作用及其机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [22] 商靓婷. 硼、钼添加对白芨生长及多糖累积的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2020.
- [23] 杨洪雷. 叶面喷施 Zn 和 Mo 盐溶液对干旱胁迫下桑树生长和生理的影响[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2020.
- [24] 刘春生, 李西双. 氯对植物的营养功效、毒害及含氯化肥的合理施用[J]. 山东农业大学学报, 1996, 27(1): 118~122.
- [25] 辜涛. 外源施氯对魔芋生长发育影响[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [26] 朱琰珠. 施用含氯肥料对柑橘产量品质及土壤氯离子残留的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
- [27] 熊健, 周明园, 汪晓丽, 等. 氯对水稻幼苗根系生长和形态特征的影响[J]. 分子植物育种, 2019, 17(22): 7476~7481.
- [28] 张红军. 微肥施用技术浅谈[J]. 农家参谋(种业大观), 2014(9): 54.
- [29] 吴永丽, 马鹏, 王恒华. 临沭县土壤微量元素含量状况及施用技术[J]. 现代农村科技, 2020(5): 51~52.
- [30] 郑艾宝. 微肥施用技术[J]. 河北农业, 2019(9): 33~34.