

含钼袋控复混缓释肥对土壤酶活性及桃树植株生长的影响

郜怀峰, 肖元松, 彭福田, 张亚飞, 王国栋, 孙希武, 贺月

(山东农业大学园艺科学与工程学院, 作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘要: 以2年生“瑞蟠21/毛桃”为试材, 通过调控袋控复混缓释肥钼元素含量(0 g/袋: 普通袋控复混缓释肥; 0.1 g/袋: 含钼袋控复混缓释肥), 探究含钼袋控复混缓释肥对盆栽桃树土壤酶活性、养分吸收及植株生长的影响。结果表明, 与普通袋控复混缓释肥相比, 含钼袋控复混缓释肥处理显著提高土壤中蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性, 施肥后30、60天分别提高6.99%、7.61%、12.27%、22.86%和6.31%、11.58%、9.05%、32.14%, 且差异显著; 含钼袋控复混缓释肥处理提高土壤中全钼含量, 增加侧根数量, 与普通袋控复混缓释肥相比, 根系活力、总根长、总表面积和总体积分别提高7.88%、6.12%、3.95%和9.19%; 根冠比提高6.92%, 干物质总量提高9.99%。与普通袋控复混缓释肥处理相比, 含钼袋控复混缓释肥处理植株叶、侧枝和根部全钼、全氮和全磷含量显著提高, 但全钾含量无显著差异, 并提高叶、侧枝和根部钙、镁、锌和硼等元素含量; 显著提高桃树叶片叶绿素含量和净光合速率。研究表明, 含钼袋控复混缓释肥可提高土壤酶活性和桃幼树根系活力, 增加侧根数量, 提高根冠比, 并提高植株叶片净光合效率, 促进桃树对氮、磷、硼和锌等元素的吸收, 从而促进桃树植株的形态建成。

关键词: 桃; 钼; 袋控缓释肥; 根系; 养分吸收

中图分类号: S154.2; S662.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)02-0220-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.02.035

Effects of Molybdenum Bag-controlled Release Fertilizer on Soil Enzyme Activity and Growth of Peach

GAO Huaifeng, XIAO Yuansong, PENG Futian, ZHANG Yafei,

WANG Guodong, SUN Xiwu, HE Yue

(State Key Laboratory of Crop Biology, College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

Abstract: Taking the two year old “Rui pan 21/peaches” as test materials, the effects of molybdenum bag-controlled release fertilizer on soil enzyme activity, nutrient absorption and plant growth of potted peach tree were investigated by regulating the content of molybdenum in bag-controlled release fertilizer (0 g/bag; ordinary bag-controlled release fertilizer, 0.1 g/bag; molybdenum containing bag-controlled release fertilizer). The results showed that compared with ordinary bag-controlled release fertilizer, the activity of soil sucrose enzyme, urease, phosphatase and catalase in the soil treated by molybdenum containing bag-controlled release fertilizer increased by 6.99%, 7.61%, 12.27% and 22.86% after 30 days of fertilization, respectively, and increased by 6.31%, 11.58%, 9.05% and 32.41% after 60 days after fertilization, respectively, and the differences were significant. The molybdenum containing bag-controlled release fertilizer treatment increased the content of molybdenum in the soil and the number of lateral roots, the root activity, total root length, total surface area and total volume increased by 7.88%, 6.12%, 3.90% and 9.19%, respectively. The root shoot ratio increased by 6.92%, and the total dry matter increased by 9.99% compared with ordinary bag-controlled release fertilizer treatment. Compared with ordinary bag-controlled release fertilizer, the content of molybdenum ion, total nitrogen and total phosphorus in the leave, lateral branch and roots of the

收稿日期: 2018-07-20

资助项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-30-2-02); 山东省自然科学基金项目(ZR2017BC017); 山东省“双一流”建设奖补资金项目(SYL2017YSTD10)

第一作者: 郜怀峰(1992—), 男, 山东单县人, 硕士研究生, 主要从事果树栽培生理与生态研究。E-mail: gaohuaifeng1992@163.com

通信作者: 彭福田(1969—), 男, 山东莒南人, 教授, 主要从事果树栽培生理与生态研究。E-mail: pft@sdau.edu.cn

肖元松(1986—), 男, 山东平原人, 讲师, 主要从事果树栽培生理与生态研究。E-mail: ysxiao@sdau.edu.cn

plant treated with molybdenum bag-controlled release fertilizer increased significantly, while the total potassium content in the plant increased slightly, and the difference was not significant. The content of calcium, magnesium, zinc and boron in leave, branches and roots also increased. The chlorophyll content and net photosynthetic rate of peach trees treated with molybdenum containing bag-controlled release fertilizer significantly increased. The study showed that, molybdenum containing bag-controlled release fertilizer could increase soil enzyme activity and root activity of peach saplings, and increase number of lateral roots, root shoot ratio and net photosynthetic efficiency of plant leaves, promote the absorption of nitrogen and phosphorus, thus promoting peach tree plant morphological construction.

Keywords: peach; molybdenum; bag-controlled release fertilizer; root system; nutrient absorption

化学肥料长期施用已显现出肥效下降^[1]、土壤板结酸化、土壤微生物数量和活性降低及水源污染^[2]等生态环境问题,减少化肥施用量,提高肥料利用率是农业生产面临的重要问题之一。肥料的缓控释技术能够控制养分释放,稳定养分供应,较好地解决施用速效肥料所产生的问题^[3]。袋控缓释肥料改变了以往的设计思路,根据果树树体较大的特点,用控释袋控制养分释放,达到供肥和养分需求相一致,成本低,工艺简单,更有利于大面积推广应用^[4]。

钼是高等植物正常生长发育和生理代谢所必需的微量元素之一,其作用主要通过含钼酶来实现^[5]。钼酶是植物体氮代谢、嘌呤代谢和激素生物合成的关键酶,催化碳、氮和硫循环中的氧化还原反应^[6-7]。土壤中,Mo主要以钼酸根离子(MoO_4^{2-})的形式存在,其可利用性在高浓度的土壤氮素水平、低温以及低的土壤pH(<5.5)下较低^[8]。世界上很多地方土壤中的有效Mo含量不能满足植物正常生长发育所需,我国有大约4 400多万 hm^2 耕地缺钼,西北、华北地区虽然钼的有效性较高,但由于黄土母质自身钼的含量很低,所以有效钼含量并不高;而我国南方地区多为酸性土壤,因此有效钼含量非常低^[9],其缺乏的症状表现为钼酶活性降低、氮饥饿反应、茎和叶发育受阻、种子发育不良及坐果率降低等^[10-11],生长在有效Mo含量低的酸性黄棕壤上的冬小麦等作物出现了严重的缺Mo症状,产量减少^[12]。

钼可以促进氮、磷、钾的吸收^[13-14]及一些中微量元素如钙、镁、硼的吸收,提高肥料利用率^[9]。但近年来,不当的农业措施及化肥大量施用等原因造成当前山东省多数果园发生不同程度的土壤酸化现象,降低肥料利用率,造成环境污染,而钼在强酸性条件下易与土壤中的游离铁、铝生成沉淀^[15]造成有效钼含量降低,进而影响肥料的吸收利用效率。因此,在提高作物产量和品质的前提下,减少肥料施用量,提高肥料利用率,对农业可持续发展具有重要意义。前人已经对含铁^[16]、含锌^[17]、含硼等袋控缓释肥做了试验研

究,但含钼袋控缓释肥施用效果未见报道。本试验把袋控缓释技术应用于肥料的制作,研究含钼袋控复混缓释肥在桃幼树上的应用效果,以期袋控缓释肥肥料芯合理配比提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验于2017年在山东农业大学试验基地进行,采用盆栽试验,供试桃品种为2年生桃品种“瑞蟠21/毛桃”(Prunus persica (Carr.) Franch.)嫁接苗。盆栽用土为棕壤土,采集0—20 cm表层园土,自然风干后去除植物残体和石块,过筛后备用。供试土壤基本理化性状为:pH 6.75,碱解氮含量45.71 mg/kg,速效磷含量36.53 mg/kg,速效钾含量82.54 mg/kg,有机质含量10.61 g/kg,全钼含量0.52 mg/kg。供试化肥为普通尿素(全N含量46%)、磷酸氢二铵(P_2O_5 46%,全N含量18%)、硫酸钾(K_2O 含量50%)、钼酸钠(Mo 含量37%)、甲酸钙(Ca 含量30.83%)、硫酸镁(Mg 含量9.88%)、硫酸锌(Zn 含量22.79%)、EDTA—铁(Fe 含量12.99%)和硼砂(B 含量11.30%)。选取生长势基本一致(嫁接口上部2 cm处直径1 cm,株高1 m)、无病虫害的桃苗50株,试验以盆栽方式栽植于盆中,每盆1株。盆规格为:直径50 cm,高45 cm,每盆装土60 kg。

试验于2017年4—10月进行,共设2个处理:BCRF(普通袋控复混缓释肥2袋,每袋20 g复混肥)和BCRF+Mo(含钼袋控复混缓释肥2袋,每袋复混肥20 g+0.27 g钼酸钠),每5株为1个小区,5次重复。复混肥每20 g含N 2.71 g,含 P_2O_5 1.35 g,含 K_2O 2.71 g,含Ca 0.79 g,含Mg 0.26 g,含Fe 0.1 g,含Zn 0.1 g,含B 0.1 g,混匀后借用工业流水线做成袋,袋的正反面均打有微孔,微孔直径0.2 mm,微孔间距0.5 cm,袋宽7 cm,袋长10 cm。2017年3月27日在盆中定植桃树幼苗,栽后正常管理,待桃树正常生长后于5月1日进行施肥试验。从5月1日开

始每月取盆中 0—20 cm 土壤进行测定,同时测定植株其他生理指标。

1.2 测定方法

1.2.1 叶片叶绿素和净光合速率测定 于 5 月 10 日、6 月 10 日、7 月 10 日和 8 月 10 日 4 个时期在每株桃幼树均匀选取高度和方位相同的 10 片功能叶进行标记,测定叶绿素 SPAD 值 (SPAD-502 叶绿素计测定);于 5 月 12 日、6 月 14 日、7 月 11 日和 8 月 13 日 (晴朗无风的上午) 测定叶片净光合速率 (英国 PP System 公司生产的 CIRAS-3 便携式光合作用测定系统测定)。

1.2.2 土壤酶活性和土壤钼含量测定 于施肥后 30 天 (6 月 1 日) 和 60 天 (7 月 1 日) 采取盆内 0—20 cm 土样混合后,测定土壤酶活。土壤蔗糖酶活性采用 3,5—二硝基水杨酸比色法测定;土壤过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定;土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法测定;土壤中磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定^[18]。同时于每月 1 号采取盆内 0—20 cm 土样混合后,用 ICP-MS 测定土壤全钼含量。每个处理 3 次重复,结果取其平均值。

1.2.3 植株解析样品测定 桃幼树新梢停长后 (10 月 5 日),每个处理选取 3 株,破坏性整株取样,采用水冲土洗根法将植株从土壤中完整冲出,将根系冲洗干净,使用专业版 Win RHIZO 根系分析系统测定根系构型参数,整株解析分为细根 (直径 ≤ 2 mm)、粗根 (直径 > 2 mm)、主干、侧枝和叶 5 部分。样品按清水 $\rightarrow$ 洗涤剂 $\rightarrow$ 清水 $\rightarrow$ 0.1% 盐酸 $\rightarrow$ 3 次去离子水顺序冲洗

后,在 105 $^{\circ}\text{C}$ 下杀青 30 min,随后在 80 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重,采用电子天平称量各器官的干物质量,然后采用不锈钢粉碎机分别粉碎,过 80 目筛后放入封口塑料袋中保存于干燥处备用。植株样品全氮含量采用凯氏定氮法测定;全磷含量采用钒钼黄比色法测定;全钾含量采用火焰光度计测定;植株全钙含量采用硝酸高氯酸消煮—原子吸收分光光度计法测定;镁、铜、铁、锌、硼含量采用 ICP-MS 测定,每处理 3 次重复,结果取其平均值。

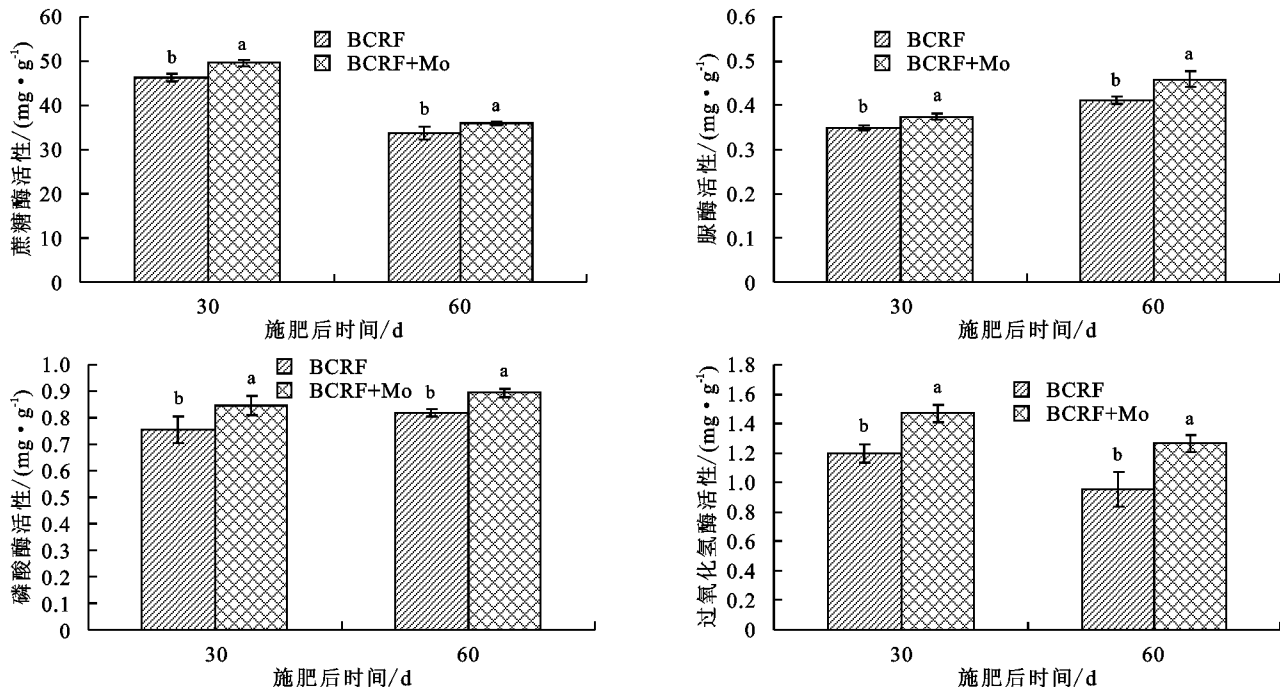
1.3 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2007 软件进行图表绘制,采用 DPS 软件对数据进行单因素方差分析及最小显著差异性检验 (Duncan's 新复极差法, $P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

由图 1 可知,BCRF+Mo 处理的土壤酶活性显著高于 BCRF 处理。与 BCRF 处理相比,BCRF+Mo 处理的土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性在施肥后 30 天 (6 月 1 日) 和 60 天 (7 月 1 日) 分别提高 6.99%, 7.61%, 12.27%, 22.86% 和 6.31%, 11.58%, 9.05%, 32.14%, 且差异显著。土壤脲酶活性、磷酸酶活性与桃树生长期关系密切,特别是根系对养分的吸收有很大关系,过氧化氢酶活性与植株代谢强度及抗寒、抗病能力相关。由此可见,BCRF+Mo 处理显著提高土壤酶活性,有利于酶代谢活动增强,改善土壤养分供应状况。



注:图中不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。下同。

图 1 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

2.2 不同施肥处理对土壤全钼含量的影响

从图 2 可以看出,土壤全钼含量在桃树生长期间呈显著下降趋势,到 8 月下降趋势减缓,趋于稳定。BCRF+Mo 处理土壤全钼含量呈先上升后下降趋势,与 BCRF 处理相比,显著提高土壤的全钼含量,在 6 月 1 日、7 月 1 日、8 月 1 日和 9 月 1 日比 BCRF 处理分别提高 9.88%,16.42%,6.98%和 16.20%,且差异显著。BCRF+Mo 处理在植株整个生长期,提高土壤全钼含量,更有利于桃树对钼元素的吸收利用。

2.3 不同施肥处理对桃树根系生长的影响

由表 1 可知,BCRF+Mo 处理桃树植株根系活力、总根长和总体积显著增加;BCRF+Mo 处理比 BCRF

处理的根系活力提高 7.88%,总根长增加 6.12%,总表面积增加 3.95%,总体积增加 9.19%。表明 BCRF+Mo 处理显著促进侧根的生长,增加侧根密度,提高根系活力和根系生物量,从而有利于植株对于各元素的吸收。

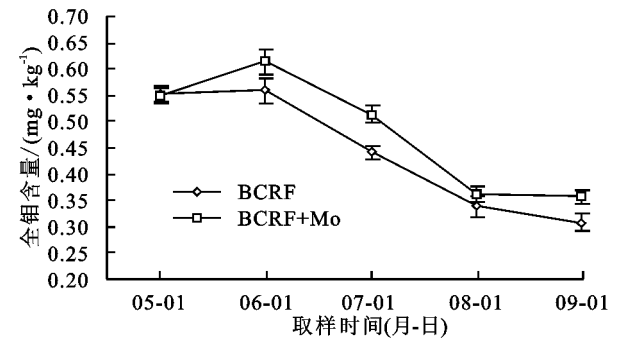


图 2 不同施肥处理对土壤全钼含量的影响

表 1 不同施肥处理桃树根系相关参数

处理	根系活力/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)	总根长/ cm	总表面积/ cm^2	平均直径/ mm	总体积/ cm^3
BCRF	135.33±3.06b	27265.75±702.07b	7057.45±192.21a	0.710±0.005a	127.21±3.88b
BCRF+Mo	146.00±2.00a	28934.54±189.81a	7335.89±95.68a	0.718±0.005a	138.91±3.77a

注:表中数据为平均值±标准差;同列数据后不同小写字母表示处理间差异达 5%显著水平。下同。

2.4 不同施肥处理对桃树叶绿素及净光合作用影响

植物叶片的叶绿素含量对植物进行光合作用和生成有机化合物具有重要作用,其含量能够在一定程度上反映植株的生长发育状况。对盆栽嫁接桃幼苗的施肥试验表明,桃幼树的叶绿素含量和净光合速率在 5—8 月呈上升趋势(图 3),BCRF+Mo 处理桃幼树叶片 SPAD 值和净光合速率显著高于 BCRF 处理。

与 BCRF 处理相比,5 月 10 日、6 月 10 日、7 月 10 日和 8 月 10 日 4 个时间点 SPAD 值和净光合速率分别提高 6.82%,9.54%,6.98%,8.28%和 2.93%,8.58%,6.20%,8.74%,且差异显著。这与叶片中全钼含量和氮素含量的水平一致。表明 BCRF+Mo 处理能提高桃树叶片的叶绿素含量及净光合速率,对植物有机物的积累和生长有利。

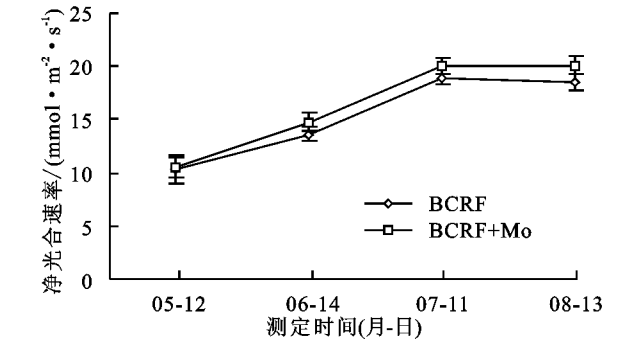
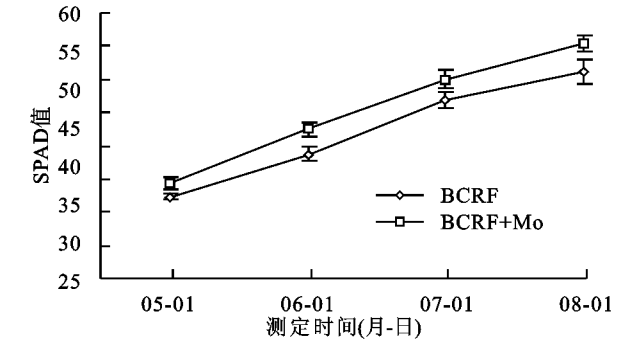


图 3 不同施肥处理对叶片叶绿素及光合作用的影响

2.5 不同施肥处理对桃树各器官全钼含量的影响

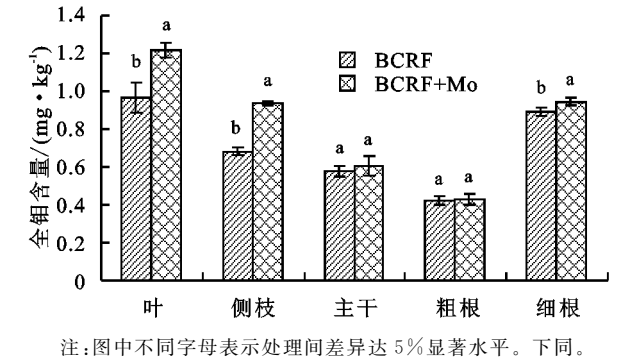
对桃树植株进行解析,分析各器官的全钼含量。由图 4 可知,BCRF+Mo 处理桃树植株各器官全钼含量显著高于 BCRF 处理,与土壤中全钼含量呈正相关关系。桃树植株各器官全钼含量总趋势为叶>侧枝>细根>主枝>粗根。与 BCRF 相比,BCRF+Mo 处理显著增加各器官全钼含量,其中叶和侧枝差异最为显著,叶、侧枝、主干、细根和粗根的全钼含量分别提高 26.25%,37.68%,4.85%,1.43%和 6.08%。钼能提高植株叶片的光合作用,促进氮磷等养分的吸收,BCRF+Mo 处理

显著提高植株叶片和侧枝全钼含量,且与桃叶片叶绿素含量和净光合速率提高密切相关,细根部位全钼含量的提高对增强根系活力有利。

2.6 不同施肥处理对桃树各器官全氮、全磷和全钾含量的影响

由图 5 可知,BCRF+Mo 处理桃树植株各器官氮磷含量显著高于 BCRF 处理。桃树植株各器官全氮含量表现为叶>细根>侧枝>粗根>细根,全磷含量表现为细根>粗根>叶>侧枝>主干,全钾含量表现为叶>侧枝>细根>粗根>主干。与 BCRF 处理相比,BCRF+

Mo 处理各器官全氮含量分别提高 9.90%,10.85%,4.23%,3.02%,8.14%,在叶、侧枝、细根部位差异显著;全磷含量分别提高 7.62%,2.93%,2.94%,6.10%,5.99%,在叶、侧枝、细根部位差异显著。BCRF+Mo 处理植株全钾含量略有提高,但无显著差异。说明 BCRF+Mo 处理能够显著促进桃树对氮、磷的吸收及转运,但对钾的吸收没有太大影响。



注:图中不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。下同。

图 4 不同施肥处理对植株各器官全铝含量的影响

2.7 不同施肥处理对植株中微量元素吸收的影响

由表 2 可知,通过对不同施肥处理各器官元素含量分析,BCRF+Mo 处理显著提高叶片及根部各元素的含量。与 BCRF 处理相比,BCRF+Mo 处理叶片镁、铁、锌和硼分别提高 4.45%,7.31%,11.53%和 4.52%,且差异显著;粗根部位钙、镁、锌和硼分别提高 20.18%,5.08%,10.10%和 4.37%,且差异显著;细根部位钙、镁、铁、锌和硼分别提高 4.66%,20.55%,8.33%,7.54%和 6.63%,且差异显著。铝与这些矿质元素存在一定的关系,铝能显著促进镁、硼和锌元素的吸收,桃树植株各器官镁和硼含量明显提高;钙

和铁元素含量在叶片及根部有明显提高。这些矿质元素含量的升高对叶片叶绿素含量和光合作用的提高有利,能有效提高根系活力,改善植物营养状况,对桃树生长发育具有重要影响。

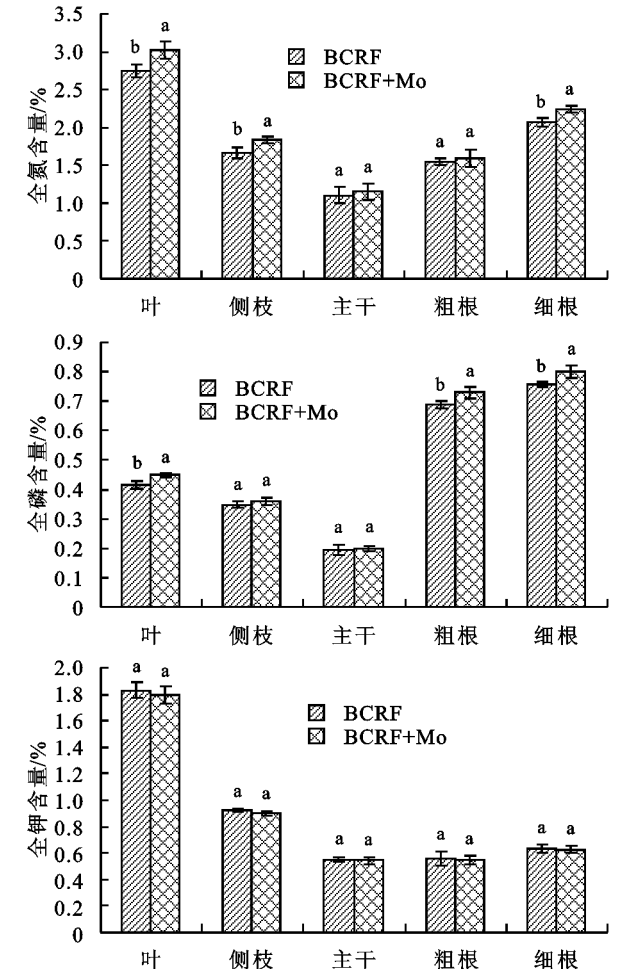


图 5 不同施肥处理对植株各器官氮磷钾含量的影响

表 2 不同施肥处理对桃树各元素含量的影响

桃树器官	处理	钙/%	镁/%	铁/(mg·kg ⁻¹)	锌/(mg·kg ⁻¹)	硼/(mg·kg ⁻¹)
叶	BCRF	2.977±0.159a	0.292±0.006b	19.568±0.241b	9.760±0.075b	20.803±0.294b
	BCRF+Mo	3.000±0.226a	0.305±0.007a	20.998±0.466a	10.885±0.387a	21.744±0.271a
侧枝	BCRF	0.530±0.031a	0.087±0.001b	7.495±0.928a	15.538±0.036b	15.312±0.562b
	BCRF+Mo	0.530±0.003a	0.095±0.004a	7.632±0.644a	16.145±0.236a	16.305±0.088a
主干	BCRF	0.341±0.019a	0.058±0.001b	7.349±0.464a	9.481±0.335b	9.538±0.203a
	BCRF+Mo	0.313±0.013b	0.064±0.002a	7.558±0.375a	10.301±0.313a	9.670±0.325a
粗根	BCRF	0.560±0.050b	0.059±0.001b	48.073±2.788a	8.527±0.315b	23.660±0.556b
	BCRF+Mo	0.673±0.046a	0.062±0.006a	48.889±5.104a	9.388±0.366a	24.693±0.262a
细根	BCRF	1.372±0.040b	0.073±0.003b	78.111±1.284b	12.489±0.521b	19.241±0.634b
	BCRF+Mo	1.436±0.013a	0.088±0.007a	84.615±4.067a	13.431±0.065a	20.517±0.369a

2.8 不同施肥处理对桃树干物质积累的影响

由表 3 可知,BCRF+Mo 处理能显著增加桃树植株干物质积累量和根冠比。对植株各器官干重分析可知,BCRF+Mo 处理显著增加粗根、细根、侧枝和叶片的干重,比 BCRF 处理分别提高 9.82%,32.30%,11.53%和

14.81%,总干重提高 9.99%。BCRF+Mo 处理根冠比显著提高,比 BCRF 处理提高 6.92%。表明 BCRF+Mo 处理显著增加桃树植株根部的干物重,特别是细根的干物量,促进植株地下部的发生,提高植株根冠比,促进地上部侧枝和叶片的生长。

表 3 不同施肥处理对桃树干物质积累量的影响

处理	粗根/g	细根/g	主干/g	侧枝/g	叶/g	总干重/g	根冠比
BCRF	124.72±6.85b	31.07±1.15b	86.49±2.02a	54.03±2.21b	78.02±4.67b	374.32±9.80b	0.713±0.014b
BCRF+Mo	136.96±7.42a	41.11±3.89a	83.80±11.19ab	60.26±2.50a	89.57±5.37a	411.70±16.01a	0.762±0.016a

3 讨论

有研究^[19]发现,连续施钼影响番茄成熟期根区土壤细菌的多样性、种群相对丰度及相关功能基因的丰度,影响土壤酶活性^[20]。土壤酶活性在一定程度上能够反映不同施肥处理之间的差异,因此土壤酶可作为施肥管理方式、评价土壤肥力和土壤生态环境质量的生物学指标之一^[21]。脲酶是对尿素转化起关键作用的酶,其活性可以用来表示土壤供氮能力;磷酸酶与磷素转化密切相关,是土壤磷素肥力的指标;过氧化氢酶则与植物的代谢强度及抗寒、抗病能力有一定关系。本试验发现,含钼袋控复混缓释肥处理使土壤全钼含量显著增加,并提高土壤酶活性。土壤酶活性的提高与土壤养分的有效性密切相关,能改善土壤养分供应状况,提高肥料利用率^[22],这可能是含钼袋控复混缓释肥处理能改变根系的分泌特性,进而引起土壤微生物种群结构及多种酶活性和养分有效性发生变化^[23],为桃树的生长发育提供良好的环境。进一步研究发现,含钼袋控复混缓释肥处理显著提高桃树根系活力,促进侧根的发生,提高根系量和根冠比,植株的干物质积累量显著提高,这可能是钼改善土壤环境、提高根系活力、促进植株对于各营养元素吸收利用等共同作用的结果。

前人^[13-14,24]研究表明,钼与氮、磷、镁和硼等元素之间存在显著的协同作用。本研究发现,含钼袋控复混缓释肥处理显著促进植株对于氮、磷、钙、镁、锌和硼等元素的吸收,植株叶、侧枝和根器官各元素含量显著提高。这是由于钼是植物体内硝酸还原酶(NR)和亚硫酸盐氧化酶(SO)等含钼酶的重要组成部分。硝酸还原酶是氮同化的关键酶,对高等植物的氮代谢具有重要作用^[25],亚硫酸盐氧化酶能够氧化亚硫酸盐转化为硫酸盐,在植物硫代谢和维持叶片硫平衡中起重要作用^[26]。在根系吸收过程中,磷与钼表现为协同作用,磷酸根能促进钼的吸收和转移,钼也能促进磷酸根的吸收^[27,10]。钼和钾的营养关系比较复杂,当供应铵态氮时,钼、钾表现出拮抗作用,而氮源为硝态氮时,施钼则促进钾的吸收,两者表现出协同效应^[28]。钼与其他的矿质元素如镁、锌、硼、铁和锰等存在一定的关系,钼能促进铁、镁和硼离子等养分的吸收,减轻过量的锰和锌等元素对作物的毒害,各种元素间的作用在植物体内和土壤环境中都存在,会

改变植物的营养状况^[29]。因此,合理施用钼肥,控制和改善钼与其他元素之间的相互作用关系,在生产实践上是很重要的^[30]。

缺钼会导致植物体的叶绿素含量降低,叶绿体变形,基粒发育不良,叶绿体数目减少、体积变小,基粒数目减少^[31],从而使叶片向生殖器官运输的光合产物减少,导致碳水化合物代谢失调,最终引起作物籽粒中淀粉和糖类含量下降^[32-33]。本研究发现,含钼袋控复混缓释肥处理显著提高桃树叶片叶绿素含量,增强净光合速率,这可能是因为钼使植株叶绿素的含量增加,钼浓度与其叶绿素含量在一定范围内呈正相关关系^[34];钼还参与碳的代谢过程,从而使植物光合作用增强 10%~30%^[35]。然而,含钼袋控复混缓释肥对于田间生产上的相关农艺性状和产量的影响,以及促进作物生长发育的机理,尚有待进一步深入研究。

4 结论

含钼袋控复混缓释肥可提高土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性和桃幼树根系活力,提高侧根数量,增加植株根部生物量,提高根冠比;并提高植株叶片叶绿素含量和净光合速率,促进桃树对氮、磷、硼和锌等元素的吸收,提高桃树植株的生物量,从而促进桃树植株的形态建成。

参考文献:

[1] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.

[2] 李东坡,武志杰. 化学肥料的土壤生态环境效应[J]. 应用生态学报,2008,19(5):1158-1165.

[3] Weinbaum S A, Johnson R S, Dejong T M. Causes and consequences of over fertilization in orchards[J]. Hort-technology,1992,2(1):112-121.

[4] 彭福田,彭勇,周鹏,等. 肥料袋控缓释对沾化冬枣氮素利用率与生长结果的影响[J]. 园艺学报,2006,33(2):223-228.

[5] 武松伟,胡承孝,谭启玲,等. 钼与植物抗寒性研究进展[J]. 湖北农业科学,2016,55(1):13-17.

[6] Zastocka E Z, Lips H S. Plant molybdoenzymes and their response to stress[J]. Acta physiologiae Plantarum,2013,5(4):437-452.

[7] Hille R, Nishino T, Bittner F. Molybdenum enzymes in higher organisms[J]. Coordination Chemistry Reviews,

- 2011, 255(9/10):1179-1205.
- [8] Nie Z J, Hu C X, Liu H E, et al. Differential expression of molybdenum transport and assimilation genes between two winter wheat cultivars (*Triticum aestivum*) [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2014, 82(3):27-33.
- [9] 杨文杰, 詹俊义, 袁溢, 等. 氨基酸络合钼肥对大豆幼苗生长发育的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12):98-101.
- [10] Kaiser B N, Gridley K L, Brady J N, et al. The role of molybdenum in agricultural plant production[J]. Annals of Botany, 2005, 96(5):745-754.
- [11] 巫飞飞, 沈知临, 蔡永萍, 等. 拟南芥 Mo 敏感变异株的筛选和表型分析[J]. 植物生理学报, 2015, 51(2):171-177.
- [12] Yu M, Hu C X, Sun X C, et al. Influences of Mo on nitrate reductase, glutamine synthetase and nitrogen accumulation and utilization in Mo-efficient and Mo-inefficient winter wheat cultivars[J]. Agriculture Sciences in China, 2010, 9(3):355-361.
- [13] Zhu Y G, Smith S E. Seed phosphorus (P) content affects growth, and P uptake of wheat plants and their association with arbuscular mycorrhizal (AM) fungi [J]. Plant and Soil, 2001, 231(1):105-112.
- [14] Villora G, Moreno D A, Romero L. Potassium supply influences molybdenum, nitrate, and nitrate reductase activity in eggplant [J]. Journal of Plant Nutrition, 2003, 26(3):659-669.
- [15] 龚子同, 黄标, 欧阳洮. 我国土壤地球化学及其在农业生产中的意义[J]. 地理科学, 1998, 18(1):1-9.
- [16] 张华美, 彭福田, 房龙, 等. EDTA-铁袋控缓释对桃幼苗补铁效果的研究[J]. 山东农业科学, 2013(9):70-74.
- [17] 王苗苗, 彭福田, 颜克发, 等. 硫酸锌袋控缓释对桃幼树锌素营养状况的影响[J]. 山东农业科学, 2012(10):66-69.
- [18] 关萌松. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986:260-360.
- [19] 刘培杰. 连续施钼对土壤微生物多样性及化学计量特征的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [20] 蒋惠名. 硼、锌、钼及其配合施用对蔬菜养分利用及菜地土壤肥力及酶活性的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [21] 邱现奎, 董元杰, 万勇善, 等. 不同施肥处理对土壤养分含量及土壤酶活性的影响[J]. 土壤, 2010, 42(2):249-255.
- [22] 蒋晓梅, 彭福田, 张江红, 等. 肥料袋控缓释对桃树土壤酶活性及植株生长的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(1):279-284.
- [23] 刘淑英. 不同施肥对西北半干旱区土壤脲酶和土壤氮素的影响及其相关性[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1):219-223.
- [24] 张纪利, 杨梅林, 罗红香, 等. 土壤钼素营养状况及钼在烟草上的应用研究进展[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(4):96-100.
- [25] Mende R R. Metabolism of molybdenum[J]. Metallomics and the Cell, 2013, 12:503-528.
- [26] Brychkova G, Grishkevich V, Fluhr R, et al. An essential role for tomato sulfite oxidase and enzymes of the sulfite network in maintaining leaf sulfite homeostasis[J]. Plant Physiology, 2013, 161(1):148-164.
- [27] 刘鹏, 杨玉爱. 土壤中的钼及其植物效应的研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2001, 20(4):280-282.
- [28] 常连生, 戴良香, 李娜. 钼酸铵浸种对不同氮源下鲜食油菜产量、品质及对氮磷钾吸收的影响[J]. 河北职业技术学院学报, 2003, 17(3):11-15.
- [29] 吴广亮. 镁、锌、钼对银杏生长及叶品质的效应研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [30] 徐根娣, 刘鹏, 任玲玲. 钼在植物体内生理功能的研究综述[J]. 浙江师范大学学报, 2001, 24(3):292-297.
- [31] 韦莉萍, 李杨瑞, 韦飞燕, 等. 钼对甘蔗光合生理特性的影响[J]. 南方农业学报, 2007, 38(6):613-617.
- [32] Barabas N K, Omarov R T, Erdei L, et al. Distribution of the Mo-enzymes aldehyde oxidase, xanthine dehydrogenase and nitrate reductase in maize (*Zea mays* L.) nodal roots as affected by nitrogen and salinity[J]. Plant Science, 2000, 155(1):49-58.
- [33] Li W X, Wang Z Y, Mi G H, et al. Molybdenum deficiency in winter wheat seedlings as enhanced by freezing temperature[J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(8):1195-1203.
- [34] 吴明才, 肖昌珍. 大豆钼素研究[J]. 大豆科学, 1994, 13(3):245-251.
- [35] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 北京: 农业大学出版社, 1994:13-76.