

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.01.004

刘家友, 杨国宝, 王齐龙, 等. 减氮配施中微量元素肥对冬瓜产量和品质的影响. 土壤, 2023, 55(1): 30–36.

减氮配施中微量元素肥对冬瓜产量和品质的影响^①

刘家友¹, 杨国宝¹, 王齐龙¹, 李学文¹, 萧洪东¹, 施卫明^{2*}, 喻敏^{1*}

(1 佛山科学技术学院国际膜生物学与环境研究中心, 广东佛山 528000; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要: 以铁柱冬瓜为试验材料, 采用随机区组田间小区试验, 设置 CK(不施氮肥)、T1(习惯施肥)、T2(习惯施肥基础上减氮 30%)、T3(减氮 30%+配施硼钼肥)、T4(减氮 30%+配施钙镁肥)和 T5(减氮 30%+配施钙镁硼钼肥)6 种处理, 在广东佛山市三水区连续开展两年田间试验, 旨在探究减氮配施中微量元素肥对冬瓜产量及品质的影响。结果表明, 与 T1 相比, T2 的冬瓜产量下降了 8.76%, 但未达到显著水平; 与 T2 相比, T4 和 T5 处理显著增加冬瓜产量, 分别提高了 21.3% 和 32.2%, 且 T5 处理下的冬瓜产量超过了 T1; 品质结果显示, T5 处理提高了 50.0% 的 VC 含量, 且与 T1 相比降低了 34.2% 亚硝酸盐含量; 减施 30% 氮肥基础上配施钙镁肥的土壤 pH 显著提高, 配施硼钼肥的土壤 B 含量得到显著提高, 配施中微量肥处理的冬瓜植株中 Ca 和 Mo 含量较 T2 均有所提高。综上所述, 在华南热带地区冬瓜种植过程中, 减氮配施中微肥可保证冬瓜品质和产量, 其中中微量肥配施处理的效果最好。上述结果为广东地区露地蔬菜化肥氮的科学减施提供了科学依据。

关键词: 氮肥; 中微量肥; 冬瓜; 产量; 品质

中图分类号: S14 **文献标志码:** A

Effects of Combined Application of Medium and Trace Fertilizers on Yield and Quality of Wax Gourd

LIU Jiayou¹, YANG Guobao¹, WANG Qilong¹, LI Xuwen¹, XIAO Hongdong¹, SHI Weiming^{2*}, YU Min^{1*}

(1 *International Center for Membrane Biology and Environment, Foshan University, Foshan, Guangdong 528000, China*; 2 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Abstract: This study is to explore the effects and mechanisms of nitrogen (N) reduction on the yield and quality of wax gourd and provide a scientific basis for the scientific reduction of chemical fertilizer for outdoor vegetables in Guangdong. A randomized block field plot experiment was conducted in Sanshui District of Foshan, Guangdong Province for two consecutive years with Tiezhu wax gourd under six treatments: CK, no nitrogen (N) fertilizer; T1, conventional fertilization; T2, N fertilizer reduced by 30%; T3, B and Mo fertilizers combined with N fertilizer reduced by 30%; T4, Ca and Mg fertilizers combined with N fertilizer reduced by 30%; T5, Ca, Mg, B and Mo fertilizers combined with N fertilizer reduced by 30%. The results show that wax gourd yield is decreased insignificantly by 8.76% under T2 compared with T1, and increased significantly by 21.3% and 32.2% ($P<0.05$) under T4 and T5 compared with T2, respectively, wax gourd yield under T5 is higher than T1. VC content in wax gourd is increased by 50.0% under T5 while its N content in wax gourd is decreased by 34.2% compared with T1. On the basis of reducing 30% N fertilizer, soil pH is significantly increased with application of Ca and Mg fertilizers, soil B content is increased significantly with the application of B and Mo fertilizers ($P<0.05$), the contents of Ca and Mo in wax gourd are higher in the treatments with medium and trace fertilizers than T2. In conclusion, in tropical South China, reducing N and applying medium and trace fertilizers can ensure the quality and yield of wax gourd, and combined application of medium and trace fertilizers has the best effect. The results provide a scientific basis for the scientific reduction of nitrogen fertilizer application in open-field vegetables in Guangdong.

Key words: Nitrogen; Medium and trace fertilizer; Wax gourd; Yield; Quality

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0201203)资助。

* 通讯作者(wmshi@issas.ac.cn; yumin@fosu.edu.cn)

作者简介: 刘家友(1980—), 男, 四川新都人, 博士, 讲师, 主要从事植物营养生理研究。E-mail: ljiaoyou@fosu.edu.cn

近二十年来我国农业生产中化肥的滥用严重影响着生态环境,成为可持续发展农业的绊脚石,引起了国家的高度重视,科学施肥已经成为农业生产的迫切需求。氮(N)作为生物体内蛋白质、叶绿素、酶和一些重要有机化合物的组分,对茎叶的生长和果实的发育有重要作用,是与产量最密切的营养元素。氮肥的使用是多数农作物增产增收的主要手段,目前,氮肥消费主要以玉米、小麦、水稻、蔬菜和果树为主,占全国氮肥用量的 70.0% 以上,其中蔬菜占 18.8%^[1]。氮肥可促进叶片生长和提高光合作用效率,进而提高干物质的生产和积累^[2]。然而,在蔬菜生产中,氮肥施用存在盲目和过量的现象,这不仅增加农业生产成本,破坏土壤结构和生态平衡^[3],还造成严重的面源污染^[3-5]。更重要的是,氮肥的大量施用并未使得作物产量和品质得到保障^[6],所以减少对氮肥的施用变得刻不容缓。但是,氮肥施用不足也会降低作物的产量和品质。因此,需要在减氮的同时,完善和丰富施肥结构,达到氮肥减施不减产和增效的目标。研究表明,减氮条件下,配施中微量肥可保证作物产量和改善蔬菜品质,还能够提高减氮空间和提高氮肥利用率^[3, 7-8]。

钙镁硼钼是多种酶的重要组成成分,参与作物多种生长代谢过程。研究表明,当土壤中某种微量元素缺乏时,会降低作物的产量和品质。但过量中微量元素,又会造成肥料的浪费及肥害,因此,合理施用中微肥尤为重要。焦加斌等^[9]研究了减肥加镁对冬瓜产量及果实品质的影响,结果表明加镁处理可增加冬瓜中部横径、下部横径、单果质量和产量,但未对冬瓜果实内部可溶性固形物含量造成明显影响。吴一群等^[10]研究不同镁水平对无限生长型番茄果实品质与产量的影响,结果表明,缺镁显著降低果实的产量和品质,高镁处理果实的产量和品质则略有下降。王荣萍等^[11]报道,镁、钼及其配合施用 3 个处理的苦瓜产量均比对照显著增产,其中以镁处理增产效果最好。而硼处理的苦瓜产量则比对照有所下降。同时,各处理下果实硝酸盐含量均较对照有明显下降,其中以硼和钼处理下降幅最大。可溶性糖和 VC 含量都明显上升,说明中微量元素的施用也改善了果实的品质。但是,有关减氮条件下配施中微量肥对蔬菜减氮增效和增产提质的研究报道很少,而涉及广东地标产品佛山三水黑皮冬瓜合理减施增效的相关研究更加少见。

冬瓜是双子叶植物葫芦科冬瓜属的一年生草本植物,果实为瓠果。“三水黑皮冬瓜”是在 20 世纪 70 年代由三水原产冬瓜与广东东莞冬瓜杂交而成,

已经有 30 多年的历史,是佛山市三水区最具特色的农产品,种植面积每年均稳定在 0.400 万 hm^2 左右,总产量约 25.0 t,全年产值达 1.20 亿元以上^[12]。但近年来由于长期连作和不科学的施肥,严重影响黑皮冬瓜的产量和收益,致使农民种植积极性受挫,最终导致冬瓜种植面积锐减^[13]。本文以国家地理标志农产品三水黑皮冬瓜为试验材料,在减氮 30% 的条件下配施钙镁硼钼肥,研究减氮配施中微量元素肥对冬瓜产量和品质的影响,为佛山地区特色黑皮冬瓜种植的科学施肥提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2019—2020 两年间在广东省佛山市三水区大塘镇六一生态园洲尾村开展。该地区地势平坦,属亚热带季风区,四季分明;风向随季节变化,冬半年以偏北风为主,夏半年以东南风为主;境内雨量充沛,年降水量 1 873 mm;气候温和,年平均温度为 21.2 $^{\circ}\text{C}$;日照充足,年平均日照总时数达 1 898.6 h。冬瓜种植前土壤理化性状见表 1。

表 1 冬瓜种植前土壤理化性状
Table 1 Soil properties of before wax gourd planting

有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	全磷 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	pH
7.73	5.45	105	5.35	12.6	5.65

1.2 试验材料

供试作物:试验所选材料为铁柱冬瓜,从播种至收获春季 125 d,秋季 95 d。

供试肥料:大量元素肥料为复合肥, N、P、K 比例为 15 : 15 : 15 硫酸钾型,含硝态氮。中微量元素肥料为钙肥(CaCO_3)、镁肥(MgSO_4)、硼肥(H_3BO_3)、钼肥(Na_2MoO_4)。

1.3 试验方案

该试验是为期两年的田间试验,设置 6 种处理,每种处理 3 次重复,共 18 个小区。试验小区采用随机分组设计,单个小区面积为 30 m^2 ,植株种植间距为 0.7 m,于 2019 年和 2020 年共种植 2 次。

以铁柱冬瓜为试验材料,设置 CK(不施氮肥)、T1(广东地区农户传统施肥量)、T2(在传统施肥量基础上氮肥减施 30%)、T3(在氮肥减施 30% 基础上配施硼钼肥)、T4(在氮肥减施 30% 基础上配施钙镁肥)、T5(在氮肥减施 30% 基础上配施钙镁硼钼肥) 6 种处理。正常施肥处理复合肥施用量 375 kg/hm^2 ,复合肥

减施 30% 处理施用复合肥 262.5 kg/hm², 减施处理组补齐磷钾(减施处理氮用量 2.625 kg, 磷钾用量均为 3.75 kg)。中量元素钙肥: CaCO₃ 750 kg/hm²; 镁肥: MgSO₄ 75 kg/hm², 基施。微量元素肥料硼肥: 0.2% H₃BO₃ 12 kg/hm²; 钼肥: 0.05% Na₂MoO₄ 3 kg/hm², 喷施。2019 年分两次施肥, 2019 年 5 月 27 日第一次施肥(总施肥量的 1/3), 2019 年 6 月 17 日第二次施肥(总施肥量的 2/3), 2019 年 7 月 15—17 日收获。2020 年分两次施肥, 2020 年 5 月 23 日第一次施肥(总施肥量的 1/3), 2020 年 6 月 16 日第二次施肥(总施肥量的 2/3), 2020 年 7 月 27—29 日收获。

1.4 试验方法

1.4.1 冬瓜产量和品质的分析 收获时, 记录每个小区内冬瓜单重及个数, 结合小区面积换算出冬瓜产量。将采收的冬瓜随机取样, 洗净切块后, 在榨汁机中打碎制样。取制好的样品, 用饱和硼砂溶液提取亚硝酸盐, 接着用亚铁氰化钾和硫酸锌沉淀蛋白质, 除去上层脂肪后过滤, 最后取滤液加 0.4% 对氨基苯磺酸溶液和 0.2% 盐酸萘乙二胺溶液, 定容并摇匀在 538 nm 波长处进行亚硝酸盐的测定^[14]; 先用草酸提取维生素 C, 接着用 2,6-二氯酚靛酚溶液滴定提取液至出现微红色且 15 s 不褪色为止, 记下染料的用量, 最后用公式计算出 VC 含量^[14]; pH 电位法进行总酸度的测定; 采用可持式折光仪进行可溶性固形物的测定。

1.4.2 冬瓜植物样品和土壤样品中元素含量的分析

收获前, 对冬瓜进行随机取样, 将整株冬瓜植物样品分成茎、叶和果实 3 个部分, 清洗干净后, 放进烘箱制成干样待测; 对收获前的冬瓜土壤进行取样, 每个小区取 3 个位点, 混匀后自然风干, 待到完全风

干后过筛制成干样待测。用电极法测定土壤 pH^[15]; 将土壤和植物干样消煮后, 使用 ICP-OES 测定钙和硼含量^[16], 使用 ICP-MS 测定钼含量^[17]。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 和 SPSS 软件对获得的数据进行均值、标准差、差异显著性分析, 基于 LSD 法用于不同处理间差异性检验($P < 0.05$)。

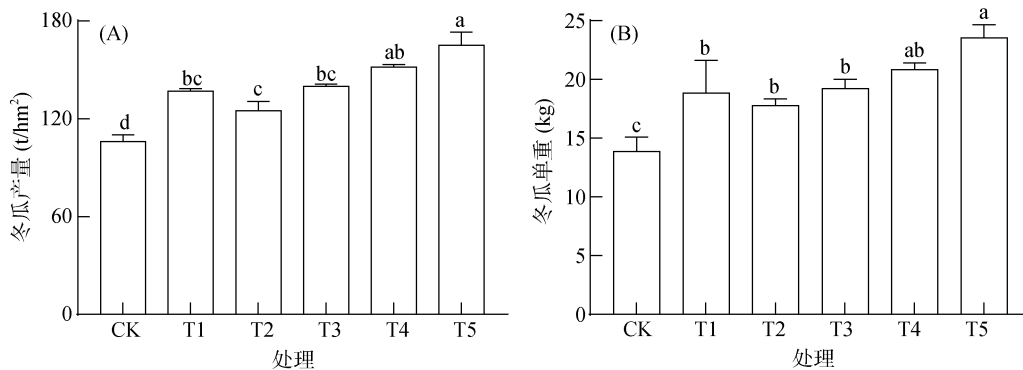
2 结果与分析

2.1 减氮配施中微量肥对冬瓜产量的影响

由图 1A 看出, T2 冬瓜产量比 T1 降低了 8.76%, 但差异不显著。配施中微量肥处理的产量均比 T1、T2 有所提高, 其中 T4 和 T5 产量比 T2 分别提高了 21.3% 和 32.2%; T5 比 T1 产量提高了 20.6%, 差异显著($P < 0.05$)。图 1B 显示, 配施中微量肥的各个处理冬瓜的单重均高于 T1 和 T2, 其中 T5 的单重提升最多, 且产量最高, 达到 165 t/hm², 配施效果最好。

2.2 减氮配施中微量肥对冬瓜品质的影响

由图 2 得出, 减氮情况下, 与 T1 相比, 添加中微量肥处理的冬瓜品质指标有所改善。T2 比 T1 亚硝酸盐含量降低近一半, T4 比 T2 亚硝酸盐含量降低 33%, 减施及添加中微肥处理的亚硝酸盐含量均低于 T1(图 2A)。相比于 T1 处理, T2 处理下的 VC 含量降低了 9.31%; T3 和 T4 的 VC 含量比 T2 分别提高了 0.220 倍和 0.340 倍; T5 的 VC 含量最高, 达到了 352 mg/kg, 较 T2 和 T1 分别提高了 0.460 倍和 0.330 倍(图 2B)。但是, 添加中微肥处理的冬瓜可溶性固形物和总酸度, 与未添加处理相比, 没有明显变化(图 2C、2D)。



(图中小写字母不同表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平, 下同)

图 1 减氮配施中微量肥对冬瓜产量和单重的影响

Fig. 1 Effects of nitrogen reduction combined with medium and trace fertilizers on yield and single weight of wax gourd

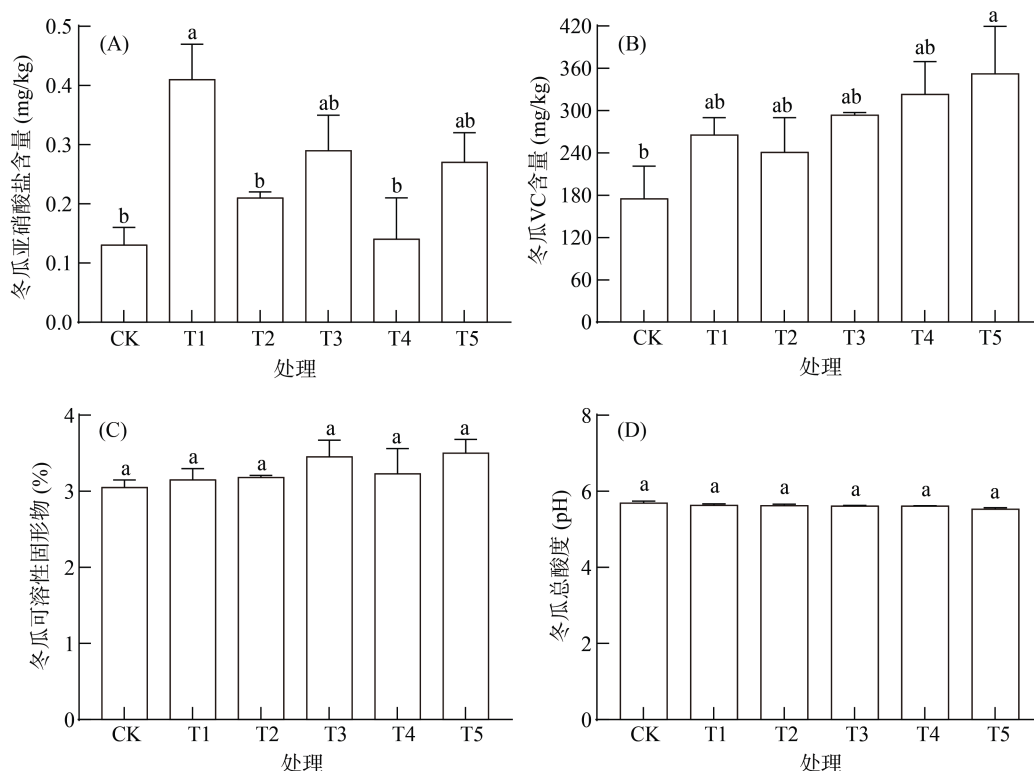


图 2 减氮配施中微量肥对冬瓜品质的影响

Fig. 2 Effects of nitrogen reduction combined with medium and trace fertilizers on quality of wax gourd

2.3 减氮配施中微量肥对土壤 pH 的影响

图 3 的结果表明，随着施氮量的增加，土壤 pH 逐渐降低，T1 比 T2 和 CK 的 pH 分别降低 0.530 和 0.700 单位，而配施中微量元素肥料的 T4 和 T5 的 pH 比 T2 分别提高了 0.510 和 0.520 单位，差异显著 ($P<0.05$)。

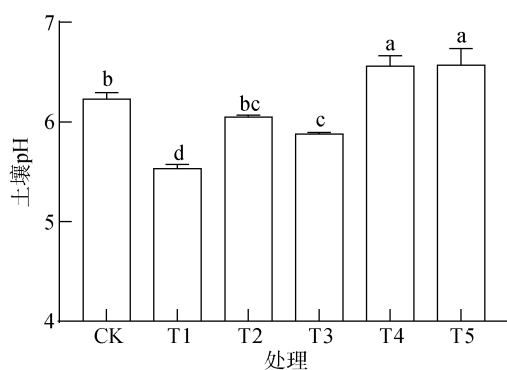


图 3 减氮配施中微量肥对土壤 pH 的影响

Fig. 3 Effects of nitrogen reduction combined with medium and trace fertilizers on soil pH

2.4 减氮配施中微量肥对土壤中全硼含量的影响

图 4 显示，配施微量元素肥后，土壤 B 含量较未配施处理有升高趋势，T3 和 T5 处理下的 B 含量比 T2 分别提高了 35.6% 和 26.5%，其中 T3 达到显

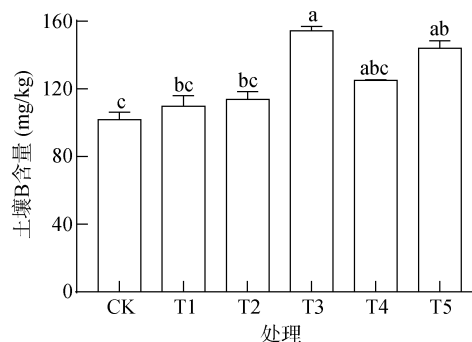


图 4 减氮配施中微量肥对土壤中全硼含量的影响

Fig. 4 Effects of nitrogen reduction combined with medium and trace fertilizers on soil total B content

著水平。

2.5 减氮配施中微量肥对植株中钙和钼含量的影响

由图 5 看出，所有取样部位中，冬瓜果实的不同处理之间 Ca 含量差异最显著，Ca 含量变化范围在 9.69 ~ 62.2 g/kg，T2 处理冬瓜果实中 Ca 含量比 T1 处理降低 10.9%，T4 和 T5 的冬瓜果实 Ca 含量分别比 T2 提高近 5.00 倍和 5.40 倍(图 5A)。T2 处理冬瓜茎 Ca 含量比 T1 提升了 8.74%，T5 和 T4 冬瓜茎 Ca 含量分别比 T2 提高了 0.330 倍、0.350 倍(图 5B)。不同取样部位中，Ca 含量最高的部位为冬瓜叶片，含

量范围达到了 44.9 ~ 66.4 g/kg, T3、T4 和 T5 处理冬瓜叶中 Ca 含量分别比 T2 处理显著提高 18.7%、19.6% 和 32.0%, T5 冬瓜叶 Ca 含量比 T1 显著提高 16.7%(图 5C)。

由图 6 看出, 冬瓜果实 Mo 含量 T2 比 T1 降低

9.09%, T5、T3 比 T2 显著提高近 4.60 倍(图 6A); 冬瓜茎 Mo 含量 T2 比 T1 下降 30%, T3、T5 比 T2 分别显著提高 0.720 倍、0.910 倍(图 6B); 冬瓜叶 Mo 含量 T2 比 T1 下降 36.3%, T3、T5 比 T2 分别显著提高近 12.0 倍、17.0 倍(图 6C)。

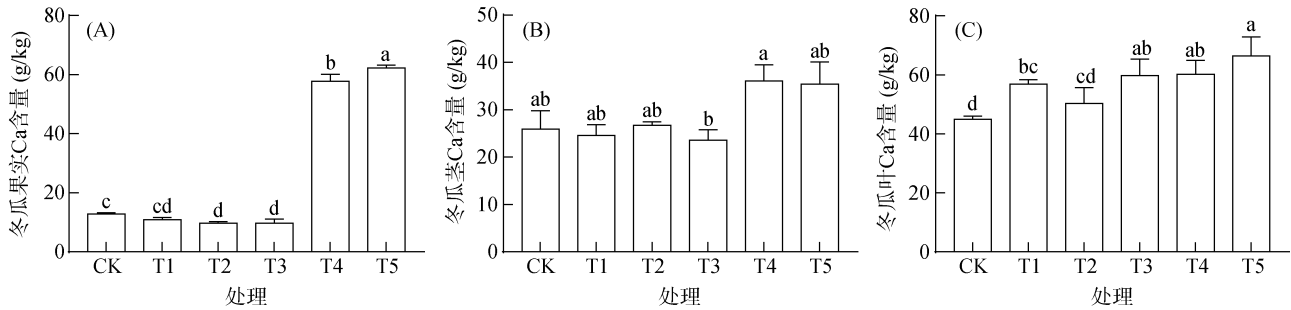


图 5 减氮配施中微量肥对植株中 Ca 含量的影响

Fig. 5 Effects of nitrogen reduction combined with medium and trace fertilizers on Ca content in plants

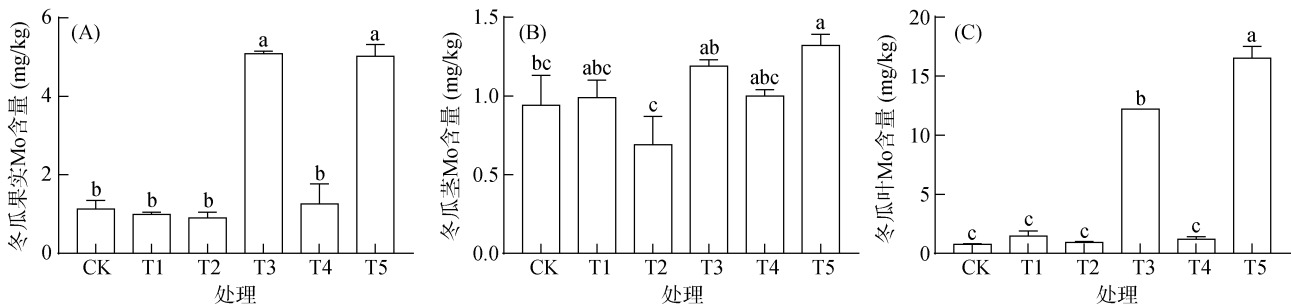


图 6 减氮配施中微量肥对植株中 Mo 含量的影响

Fig. 6 Effects of nitrogen reduction combined with medium and trace fertilizers on Mo content in plants

综上, 配施中微量肥可以改善植株中的 Ca 和 Mo 营养水平, Ca 含量在冬瓜果实中提升尤为明显, 而 Mo 含量在冬瓜果实和冬瓜叶中都有显著提高。

3 讨论

3.1 减氮以及配施中微量肥对冬瓜产量和品质的影响

蔬菜产量随化学氮肥用量的增加而增加, 但超过一定化学氮肥用量后, 产量反而下降。李丰等^[18]在芝麻施氮量对产量及氮肥利用率的影响研究中发现, 施氮量降低 40% 带来减产风险。李斌^[19]研究不同施肥量的氨基酸有机氮肥对油菜生长的影响发现, 施肥量减少 1/3, 产量也相应出现降低的现象。另外, 研究发现, 韭菜中可溶性糖、VC、可溶性蛋白质、可滴定酸含量等品质随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势^[20]。韩玲君^[21]也发现在一定范围内随氮肥用量的增加, 辣椒果实 VC 含量呈增加趋势。Ma 等^[22]在桃子中研究发现, 过量施氮增加或降低 VC 含量。

程晓彬等^[23]研究表明, 氮肥施用量在习惯氮肥用量的 70% ~ 80% 范围内, 随着施肥量的增加作物 VC 含量升高。

研究发现, 配施中微量元素肥对作物的生长发育和产量均有良好的表现^[24], 对甜瓜化肥减施 20% 时, 配施中微量元素肥和氨基酸叶面肥, 甜瓜单果质量、小区产量、横径、纵径、SPAD 值、甜瓜直径、中心和边缘可溶性固形物含量分别增加 25.1%、24.9%、7.34%、9.62%、1.76%、14.5% 和 4.00%。石如岳等^[25]在番茄研究中也指出, 施用中微量元素能够显著提高番茄果实单果质量和产量。亚硝酸盐对人体的毒害作用目前已有许多报道, 汤璐和汤英^[26]报道 Mo 在生物固氮和硝酸还原过程中起着不可代替的作用, 直接影响到作物的品质。VC 是一种还原剂, 能提高机体的免疫力, 对防癌和抗衰老具有重要的作用, 且能抑制亚硝胺的形成^[27]。林葆等^[28]在大白菜中研究发现, 施钙肥可以增加 VC 含量。

本研究产量结果显示, 减氮 30% 处理的冬瓜产

量比正常施肥处理降低了 8.76%，说明同样存在减肥减产的风险(图 1A)。在配施中微量肥后，中量肥处理和中微量肥处理的产量比减肥处理均显著提高。配施中微量肥的冬瓜单重均高于正常施肥处理和减氮肥处理，其中配施中微量肥的单重提升最多，中微量肥处理的冬瓜产量较正常施肥处理也有显著提高(图 1B)。这说明，仅仅简单地减施化肥氮，容易导致作物减产，但如果在减施氮肥的同时配施中微量元素肥料，则可以避免减施减产的风险，而且还有一定的增产效果。本研究品质结果显示，减肥处理的亚硝酸盐含量显著低于正常施肥处理，硼钼处理和钙镁硼钼处理冬瓜亚硝酸盐含量均高于减氮 30% 处理，但钙镁处理冬瓜亚硝酸盐含量低于减氮 30% 处理(图 2A)，与汤璐和汤英^[26]研究一致。冬瓜 VC 含量随着施肥量的增加而增加，钙镁处理和钙镁硼钼处理的冬瓜 VC 含量均高于减氮 30% 处理和正常施肥处理(图 2B)。说明，减施氮肥配施中微量元素肥料，还有改善冬瓜果实品质的效果。

3.2 配施中微量肥对冬瓜产量和品质增效的原因分析

张敏等^[29]研究发现 pH 与土壤钙的全量和有效态都呈极显著正相关。蔡跃庆^[30]研究发现增施土壤调理剂不仅能改善花生主要性状，显著提高花生产量，且能改良土壤酸化，显著提高花生收获后耕层土壤的 pH，比习惯施肥增加 0.360 单位。铝毒是酸性土壤(pH≤5)中限制作物生长和生产的主要制约因素，植物遭受铝毒的最初症状是抑制根系生长，进而抑制植株根系对水分和养分的吸收，降低作物产量^[31]。而硼可以缓解铝对植株根系毒害作用^[32]。本研究中，减氮配施钙镁处理和减氮配施钙镁硼钼处理的土壤 pH 比减肥处理分别显著提高了 0.510 和 0.520 个单位(图 3)；配施微量肥处理的土壤硼含量显著升高(图 4)。因此，我们推测，配施中微肥处理增加冬瓜产量的原因可能是土壤 pH 及硼含量的升高，缓解了酸性土壤铝毒对作物生长的抑制作用。

王红林等^[33]的研究结果得出，外源钙施用可不同程度提高火龙果幼苗中钙含量。段素梅等^[34]研究表明，大豆籽粒钼含量与钼肥施用量成正比。胡华锋等^[35]研究也表明，单施钼能显著提高苜蓿钼的含量和吸收量。柑橘砧木研究表明，缺钙破坏根系抗氧化酶系统以及降低细胞壁果胶含量，细胞壁丧失抵御钙胁迫的能力，导致细胞壁不能维持其正常功能，进而严重阻碍根系的生长^[36]。Zhang 等^[37]研究表明，施用钼提高小白菜叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、胡萝卜

素和总叶绿素含量，提高光合速率，作物产量显著提高。本研究结果显示，配施钙镁硼钼处理的冬瓜植株中钙和钼含量较正常施肥处理以及减氮 30% 处理均有所提高(图 5、6)，与上述研究报道结果一致。钙镁处理、钙镁硼钼处理的冬瓜产量和单果重均高于其他处理，配施钙镁硼钼肥对冬瓜有增产作用。其原因可能是施钙肥增加了冬瓜植株中的钙营养元素，施钼肥提高了冬瓜植株中的钼营养元素。因此，我们推测，植株钙和钼营养的改善可能也是配施中微量肥对冬瓜产量和品质增效的原因。

4 结论

在传统施肥量的基础上，减施 30% 氮肥用量带来减产和降质的风险。减氮配施中微量元素肥(钙镁硼钼)可通过提高土壤中的 pH 及硼含量，进而提高冬瓜植株中钙和钼的营养水平，最终促进冬瓜果实的产量和品质的提升。以上结果验证了减肥的可能性，并提供了减肥配施中微量元素肥技术在实践中的科学依据。

参考文献：

- [1] 栗铁申. 我国氮肥施用现状、问题和对策[J]. 农民科技培训, 2010(7): 23-24.
- [2] 马雪琴, 赵桂琴, 龚建军. 播期与氮肥对燕麦种子产量构成要素的影响[J]. 草业科学, 2010, 27(8): 88-92.
- [3] 武星魁, 施卫明, 徐永辉, 等. 长期不同化肥氮用量对设施菜地土壤氮素矿化和硝化作用的影响[J]. 土壤, 2021, 53(6): 1160-1166.
- [4] 殷培红, 耿润哲, 王萌, 等. 长江经济带农业面源污染治理中的关键问题及建议[J]. 环境与可持续发展, 2019, 44(2): 22-25.
- [5] Min J, Sun H J, Kronzucker H J, et al. Comprehensive assessment of the effects of nitrification inhibitor application on reactive nitrogen loss in intensive vegetable production systems[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2021, 307: 107227.
- [6] 祝海燕. 过量施肥对设施果菜类蔬菜的影响——以山东省寿光市为例[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(11): 50-52.
- [7] 闫良, 范中子. 微量元素肥在蔬菜上的应用[J]. 西北园艺(综合), 2017(4): 61.
- [8] 武星魁, 姜振萃, 陆志新, 等. 有机肥部分替代化肥氮对叶菜产量和环境效应的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(3): 349-356.
- [9] 焦加斌, 李金隆, 郑朝元, 等. 减肥加镁对冬瓜产量及果实品质的影响[J]. 广东农业科学, 2021, 48(9): 124-132.
- [10] 吴一群, 林琼, 陈子聪, 等. 不同镁水平对无限生长型番茄吸收镁及果实品质与产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(7): 54-56.
- [11] 王荣萍, 李淑仪, 廖新荣, 等. 镁硼钼营养对苦瓜品质及其产量影响的研究[J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1243-1245.

- [12] 聂呈荣, 潘国华, 伍倩慧, 等. 不同砧木嫁接对黑皮冬瓜的产量及营养品质的影响[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2017, 35(1): 40–45.
- [13] 伍倩慧, 司雨, 梁普兴, 等. 佛山市三水区黑皮冬瓜嫁接与栽培技术[J]. 现代农业科技, 2015(17): 102–103.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [15] 季天委. 肥料和土壤酸碱度测定方法探讨[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(4): 746–748.
- [16] 邓娟, 王延花, 孙菁, 等. ICP-OES 法测定两种喉毛花植物中 21 种矿质元素[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(5): 837–841, 803.
- [17] 王瑞敏. 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定植物中微量铅和镉[J]. 农业科技与装备, 2011(1): 32–34.
- [18] 李丰, 高桐梅, 苏小雨, 等. 施氮量和种植密度对芝麻光合速率、产量和氮肥利用率的影响[J]. 作物杂志, 2022(2): 215–221.
- [19] 李斌. 不同施肥量的氨基酸有机氮肥对油菜生长的影响[J]. 农业科技通讯, 2020(11): 153–155.
- [20] 张丽娟, 汪金山, 曲继松, 等. 不同氮素剂量对沙质土壤设施韭菜生长发育及品质的影响[J]. 北方园艺, 2021(22): 66–73.
- [21] 韩玲君. 氮、磷、钾肥对湖北省几种蔬菜产量影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [22] Ma Z S, Jia Y Y, Wang Y H, et al. Review on effects of nitrogen on the internal quality of peach fruit[J]. Agricultural Biotechnology, 2020, 9(1): 80–84, 100.
- [23] 程晓彬, 王金苗, 于江莲. 氮肥减量施用对小白菜生长的影响[J]. 现代园艺, 2019(21): 5–6.
- [24] 黄忠阳, 陈莉莉, 李伟明, 等. 化肥减施条件下配施中微量元素肥及氨基酸叶面肥对甜瓜产量及品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2020(2): 21–23.
- [25] 石如岳, 王冲, 杨俊雪, 等. 中微量元素对番茄产量和品质影响的整合分析[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(3): 66–71.
- [26] 汤璐, 汤英. 中、微量元素对主要农产品品质的影响综述[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(19): 61–63.
- [27] 肖时运, 刘强, 荣湘民, 等. 不同施氮水平对莴苣产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(6): 913–917.
- [28] 林葆, 朱海舟, 周卫. 硝酸钙对蔬菜产量与品质的影响[J]. 土壤肥料, 2000(2): 20–22, 26.
- [29] 张敏, 周莉, 曹建华, 等. 桂林毛村土壤钙、锌、铅有效性与 pH 关系初探[J]. 广西农业科学, 2008, 39(6): 796–799.
- [30] 蔡跃庆. 特贝钙土壤调理剂对花生产量及土壤 pH 值的影响[J]. 福建农业科技, 2019(1): 53–55.
- [31] de Sousa A, Saleh A M, Habeeb T H, et al. Silicon dioxide nanoparticles ameliorate the phytotoxic hazards of aluminum in maize grown on acidic soil[J]. Science of the Total Environment, 2019, 693: 133636.
- [32] Yu M, Shen R F, Xiao H D, et al. Boron alleviates aluminum toxicity in pea (*Pisum sativum*)[J]. Plant and Soil, 2009, 314(1): 87.
- [33] 王红林, 解璞, 马玉华, 等. 不同施钙方式对火龙果幼苗钙及其他矿质元素含量的影响[J]. 农技服务, 2019, 36(9): 7–13.
- [34] 段素梅, 黄义德, 杨安中, 等. 钼酸铵拌种和喷施对大豆产量、品质和籽粒钼含量的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(2): 181–184, 189.
- [35] 胡华锋, 介晓磊, 张炳运, 等. 锌、铁、钼配施对紫花苜蓿产草量及锌铁钼含量和吸收量的影响[J]. 草地学报, 2008, 16(4): 412–416.
- [36] 刘亚林, 闫磊, 曾钰, 等. 缺钙下枳根抗氧化系统及细胞壁果胶的变化[J]. 华中农业大学学报, 2020, 39(1): 61–66.
- [37] Zhang M, Hu C X, Sun X C, et al. Molybdenum affects photosynthesis and ionic homeostasis of Chinese cabbage under salinity stress[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2014, 45(20): 2660–2672.