

吴争光, 吴光星, 刘艺凝, 等. 施用硼锌钼肥对蓝莓果实品质及矿质元素含量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(2): 48-53.  
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.02.006

## 施用硼锌钼肥对蓝莓果实品质及矿质元素含量的影响

吴争光<sup>1,2</sup>, 吴光星<sup>1,2</sup>, 刘艺凝<sup>3</sup>, 秦晓明<sup>3</sup>, 郑小妹<sup>3</sup>, 孙学成<sup>3</sup>

1. 中工武大设计集团有限公司, 武汉 430223; 2. 湖北省精准农业工程技术研究中心, 武汉 430070;  
3. 华中农业大学微量元素研究中心, 武汉 430070

**摘要** 为探究土壤硼锌钼水平对蓝莓果实品质的影响, 选取微量元素长期定位试验中常规施肥(CK)、硼肥(B)、锌肥(Zn)和钼肥(Mo)4个处理, 分析不同施肥处理蓝莓果实品质指标及矿质元素含量的变化。结果显示: 施用硼、锌、钼肥处理后蓝莓果实可滴定酸含量下降, 果实固酸比相对对照(CK)分别增加了26.28%、14.73%、27.56%; 施用硼、锌、钼肥处理蓝莓果实中氮磷钾含量及其累积量显著增加, 推测施用硼锌钼肥有利于植株氮磷钾养分向果实转移; 施锌和施硼处理后蓝莓果实锌累积量较对照分别提高28.95%和21.88%; 硼、锌、钼处理蓝莓果实钼累积量较对照分别增加了49.37%、58.86%、245.57%; 主成分及综合评价分析结果显示, 各处理间蓝莓果实品质的综合得分为Mo>Zn>B>CK。结果表明, 施用微量元素硼、锌、钼后果实综合品质得到提升, 其中施钼对蓝莓果实品质提升效果最佳。

**关键词** 蓝莓; 微量元素; 果实品质; 矿质元素; 主成分分析

**中图分类号** S143.7; S663 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)02-0048-06

蓝莓(*Vaccinium* spp.)是杜鹃花科越橘属植物, 是当前全球第二大浆果, 因其果实为悦目蓝色且口感细腻、酸甜可口而广受人们喜爱<sup>[1]</sup>。蓝莓果实含有丰富的锌、铁等微量元素和食用纤维、蛋白质、氨基酸、维生素、花青素等化合物, 具有较高的营养价值和药用价值<sup>[2]</sup>。因此, 蓝莓被联合国粮农组织列为人类五大健康食品之一。在国际市场上, 70%的蓝莓以鲜果形式销售, 果实的色泽、果型、酸甜度等果实品质是决定市场竞争的重要因素<sup>[3]</sup>。

蓝莓为多年生低灌木植物, 长期生长在固定位置, 而植株生长发育消耗土壤大量养分, 易导致土壤养分失衡。硼锌钼是植物生长不可或缺的微量元素, 虽然含量较低, 但对植物的生长和发育起着重要作用<sup>[4-5]</sup>, 如促进花粉萌发<sup>[6]</sup>、增强植物光合作用、参与固氮酶及硝酸还原酶等酶的合成和催化<sup>[7]</sup>、促进氮磷的吸收与利用<sup>[8-9]</sup>、增强植物的抗逆性等。前人在苹果<sup>[10]</sup>、梨<sup>[11]</sup>、柑橘<sup>[12]</sup>等水果上的研究均表明施用硼锌钼等微量元素后, 果实可溶性糖、维生素含量显著增加。目前关于蓝莓长势、品质及产量的研究多

集中于氮磷钾肥<sup>[13-14]</sup>、有机肥<sup>[15]</sup>的施用, 而硼钼锌肥对蓝莓果实品质的作用及果实中矿质养分的差异尚不清楚。因此, 本研究通过长期定位试验探究硼、锌、钼对蓝莓品质及矿质元素含量的影响, 为种植蓝莓合理施用微量元素肥料和提升果实品质提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本试验在湖北省武汉市华中农业大学微量元素长期定位试验田(30°28'25"N, 114°20'50"E)进行, 试验土壤均为黄棕壤。长期定位试验始于2008年, 设置9个处理, 每个处理3个重复, 共27个小区, 采用随机区组试验设计, 小区面积为36 m<sup>2</sup>。

本试验选取其中4个处理, 分别为常规施肥处理(CK)及常规施肥处理基础上施硼(B)、施锌(Zn)和施钼(Mo)处理。常规施肥只施用氮磷钾肥, 不施用微量元素, 每年氮磷钾纯养分施用量分别为N 120 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 80 kg/hm<sup>2</sup>和K<sub>2</sub>O 80 kg/hm<sup>2</sup>, 分别以尿

收稿日期: 2021-11-18

基金项目: 湖北省重点研发计划项目(2020BCB061)

吴争光, E-mail: 369713162@qq.com

通信作者: 孙学成, E-mail: sxccn@mail.hzau.edu.cn

素、过磷酸钙和氯化钾形式施入。

施硼处理以硼砂形式施入, 每年施用量为 15.00 kg/hm<sup>2</sup>; 施锌处理以七水硫酸锌形式施入, 每年施用量为 30.00 kg/hm<sup>2</sup>; 施钼处理以钼酸铵形式施入, 每年施用量为 0.75 kg/hm<sup>2</sup>。

连续施用 5 a 土壤有效态硼、锌、钼含量达到中等或偏高范围后暂停施用, 后续种植小麦、玉米等作物, 于 2020 年 11 月改种蓝莓, 在每个小区共种植 10 株蓝莓, 蓝莓移栽前 4 个处理的土壤基本理化性状如表 1 所示。蓝莓行距 2.0 m, 株距 1.5 m, 供试蓝莓品

种为莱格西, 苗龄 3 a, 移栽后其他田间管理措施均一致。

土壤基本养分的测定方法为: pH(土水比为 1: 2.5) 采用 pH 计(型号 Seven2Go, METTLER TOLEDO)测定; 有机质采用重铬酸钾容量法; 碱解氮采用 NaOH 扩散法; 速效磷采用 NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼蓝比色法; 速效钾采用 NH<sub>4</sub>OAc 浸提-火焰光度计法; 有效钼采用草酸-草酸铵(pH 3.3)浸提, 电感耦合等离子体质谱仪测定; 有效硼采用沸水浸提-姜黄素比色法; 有效锌采用 DTPA 浸提-AAS 法<sup>[16]</sup>。

表 1 各处理土壤基本理化性状

Table 1 Soil basic physical and chemical properties of each treatment

处理 Treatment	碱解氮/ (mg/kg) Alkali-hydrolyzable nitrogen	速效磷/ (mg/kg) Available phosphorus	速效钾/ (mg/kg) Available potassium	pH	有机质/(g/kg) Soil organic matter	有效硼/ (mg/kg) Available boron	有效锌/ (mg/kg) Available zinc	有效钼/ (mg/kg) Available molybdenum
CK	63.26	56.96	206.63	5.11	18.21	0.77	1.70	0.30
B	76.77	84.25	340.87	4.54	19.13	1.11	1.77	0.27
Zn	87.23	34.37	370.07	4.62	20.91	0.87	2.99	0.33
Mo	76.20	76.51	335.52	4.73	22.07	0.86	2.01	1.48

## 1.2 样品采集与测定

叶片样品和果实样品采集于 2021 年 6 月 10 日。分别从东南西北 4 个方向, 采集每株树体中部当年生枝条上完全展开的叶片 10~15 片、果实 20~30 个, 混合同一小区样品, 制备叶片和果实的混合样。取下样品迅速带回实验室, 用去离子水清洗干净并擦干, 一部分蓝莓果实鲜样用匀浆机打碎, 在 -18 °C 保存, 用于花青素的测定; 另一部分果实用于保存干样, 叶片样品和果实干样样品使用去离子水清洗干净后, 在 105 °C 下杀青 30 min, 55 °C 烘干至恒质量, 测其干质量, 磨样机粉碎后置于自封袋保存, 留作矿质养分测定。

矿质元素的测定: 蓝莓叶片与果实样品预处理。称取一定量烘干研磨成粉的叶片与果实进行消化。其中, 大量元素 N、P、K 采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消化, 锌、钼采用 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>(4:1) 消化后用 1% 的稀硝酸定容后经 0.45 μm 水相滤膜过滤, 获得待测液。全量锌含量使用原子吸收分光光度计测定, 钼含量使用 ICP-MS(电感耦合等离子体质谱仪)测定, 全氮和全磷含量采用流动分析仪测定, 全钾含量采用火焰光度法进行测定<sup>[16]</sup>。

营养品质的测定: 蓝莓果实中的维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定<sup>[17]</sup>, 果实可溶性固形物(TSS)使用手持糖度计(日本, PAL-1)测定, 花

青素的测定采用高效液相色谱法<sup>[18]</sup>。其他指标计算公式如下:

$$\text{纵横比} = \text{果实纵径} / \text{果实横径} \quad (1)$$

$$\text{固酸比} = \text{可溶性固形物含量} / \text{可滴定酸含量} \quad (2)$$

$$\text{含水率} = \text{果肉烘干前质量} / \text{果肉烘干后质量} \times 100\% \quad (3)$$

## 1.3 数据处理

采用 Excel 2016 与 SPSS 20.0 软件进行数据处理和分析, 显著性差异分析通过 Duncan-test 法进行检测, 主成分分析运用累计方差贡献率在 80% 以上的前  $k$  个主成分取代原有指标, 利用 Origin 2019 软件进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 施用硼锌钼肥对蓝莓果实品质的影响

不同微量元素处理显著影响了蓝莓果实可溶性固形物、可滴定酸、固酸比、维生素 C、花青素和含水率(表 2)。与常规施肥(CK)相比, B、Zn 和 Mo 处理蓝莓果实可滴定酸含量显著降低, 下降幅度分别为 22.22%、20.63%、23.81%; B、Zn 和 Mo 处理提高了果实的固酸比, 上升幅度为 26.28%、14.73%、27.56%。与对照(CK)相比, 施钼显著增加果实维生素 C 和花青素含量, 分别提高 122.97% 和 62.89%。总体上, 施用硼锌钼肥能大幅度降低蓝莓果实可滴定酸含量, 增加果实固酸比, 提高果实风味。

表2 施用硼锌钼肥处理蓝莓果实品质指标的差异

Table 2 Difference in blueberry fruit quality between boron, zinc and molybdenum fertilization

处理 Treatment	纵横比 Aspect ratio	单果质量/g Single fruit weight	可溶性固形物/% Total soluble solid	可滴定酸/% Titratable acid	固酸比 Solid-to-acid ratio	维生素C/ (mg/100 g) Vitamin C	花青素/ (mg/100 g) Anthocyanin	含水率/% Moisture content
CK	0.78a	1.26a	9.79a	0.63a	15.6b	7.40b	51.2b	71.0c
B	0.79a	1.23a	9.45ab	0.49b	19.7a	6.65b	50.4b	63.0d
Zn	0.76a	1.49a	9.13b	0.50b	17.9ab	7.60b	52.8b	86.0a
Mo	0.68a	1.36a	9.50ab	0.48b	19.9a	16.50a	83.4a	77.0b

注:不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ );下同。Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments ( $P<0.05$ ); the same as below.

## 2.2 施用硼锌钼肥对蓝莓果实氮磷钾含量及其累积量的影响

施用硼锌钼肥显著提高了蓝莓果实和叶片中的氮、磷、钾含量(表3)。与对照(CK)处理相比,B、Zn和Mo处理果实氮含量分别增加35.00%、36.67%、31.67%,果实磷含量分别增加16.67%、25.00%、16.67%,果实钾含量分别增加29.55%、31.82%、20.45%。与对照相比,B、Zn和Mo处理果实氮累积量分别增加42.79%、96.39%、69.75%,果实磷累积量分别增加23.26%、63.57%、49.61%,果实钾累积量

表3 硼锌钼对蓝莓果实氮磷钾含量及其累积量的影响

Table 3 Effect of boron, zinc and molybdenum on N, P, K content and accumulation of blueberry

处理 Treatment	含量/% Content			单果累积量/mg Per fruit accumulation		
	N	P	K	N	P	K
CK	0.60b	0.12c	0.44c	6.38d	1.29d	5.02c
B	0.81a	0.14ab	0.57a	9.11c	1.59c	6.33b
Zn	0.82a	0.15a	0.58a	12.53a	2.11a	8.23a
Mo	0.79a	0.14ab	0.53b	10.83b	1.93b	7.96a

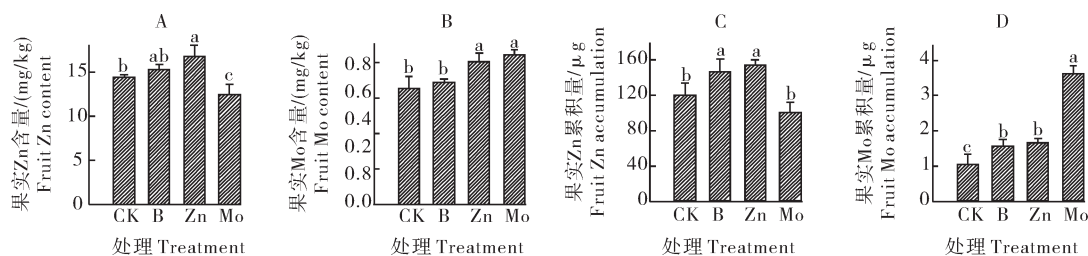


图1 硼、锌、钼对蓝莓果实中锌、钼含量(A,B)及其累积量(C,D)的影响

Fig. 1 Effects of B, Zn, Mo on Zn and Mo content (A, B) and its accumulation (C, D) in blueberry fruits

## 2.4 蓝莓果实品质的综合指标评价

对蓝莓的可滴定酸( $X_1$ )、可溶性固形物( $X_2$ )、固酸比( $X_3$ )、纵横比( $X_4$ )、含水率( $X_5$ )、单果质量( $X_6$ )、维生素C( $X_7$ )、花青素( $X_8$ )、果实Zn含量( $X_9$ )、果实

量分别增加26.10%、63.94%、58.57%。总体上看,施用微量元素B、Zn和Mo有利于提升蓝莓果实氮、磷、钾的营养水平。

## 2.3 施用硼锌钼肥对蓝莓果实锌、钼含量及其累积量的影响

不同微量元素施肥处理对蓝莓果实中锌、钼含量和累积量存在差异(图1)。与对照(CK)相比,施锌(Zn)显著增加蓝莓果实Zn含量和累积量,提高幅度分别为16.44%、28.95%;施硼(B)显著增加了果实Zn累积量,上升幅度达21.88%;施钼(Mo)显著降低了果实Zn含量和累积量,下降幅度分别为13.72%和16.30%。蓝莓果实和叶片钼含量主要受到土壤有效钼和土壤有效锌含量的影响,与对照相比,施锌(Zn)和施钼(Mo)处理果实钼含量均显著升高,分别增加了22.84%和28.43%;B、Zn、Mo处理蓝莓果实钼累积量均显著高于对照,分别增加49.37%、58.86%、245.57%(图1)。因此,施用硼锌钼肥可大幅影响蓝莓果实中锌、钼的含量及其累积量,从而影响果实的生长发育和矿质营养品质。

Mo含量( $X_{10}$ )等10个指标进行主成分分析,如表4所示,共提取到3个主成分,其中纵横比、维生素C、花青素、果实Mo含量在主成分1中表现出较高的载荷,可溶性固形物、含水率、单果质量、果实Zn含量在主

成分2中表现出较高的载荷,可滴定酸、固酸比在主成分3中表现出较高的载荷。3个主成分贡献率分别为52.20%、30.66%、17.14%,累计贡献率为100%。

表4 蓝莓各指标主成分特征值、贡献率、  
累计贡献率及特征向量

项目 Item	PC1	PC2	PC3
可滴定酸 Titratable acid	-0.68	-0.24	0.69
可溶性固形物 Total soluble solid	-0.43	-0.85	0.31
固酸比 Solid-to-acid ratio	0.63	-0.10	-0.77
纵横比 Aspect ratio	-0.93	0.29	-0.24
含水率 Moisture content	0.55	0.62	0.56
单果质量 Single fruit weight	0.60	0.72	0.35
维生素C Vitamin C	0.87	-0.47	0.13
花青素 Anthocyanidin	0.88	-0.47	0.08
果实Zn含量 Fruit Zn content	-0.45	0.89	-0.13
果实Mo含量 Fruit Mo content	0.96	0.25	0.12
特征值 Eigenvalue	5.22	3.07	1.71
贡献率/% Contribution rate	52.20	30.66	17.14
累计贡献率/% Accumulative contribution rate	52.20	82.86	100.00

根据载荷矩阵和特征值算得每个指标的系数,得到蓝莓3个主成分的函数表达式:

$$Y_1 = -0.30X_1 - 0.19X_2 + 0.27X_3 - 0.41X_4 + 0.25X_5 + 0.26X_6 + 0.38X_7 + 0.39X_8 - 0.20X_9 + 0.42X_{10},$$

$$Y_2 = -0.14X_1 - 0.48X_2 - 0.06X_3 + 0.16X_4 + 0.36X_5 + 0.41X_6 - 0.27X_7 - 0.27X_8 + 0.51X_9 + 0.15X_{10},$$

$$Y_3 = 0.53X_1 + 0.24X_2 - 0.59X_3 - 0.18X_4 + 0.43X_5 + 0.27X_6 + 0.10X_7 + 0.06X_8 - 0.10X_9 + 0.09X_{10}.$$

计算得到各处理的主成分得分和综合得分(表5),由表5可知,4组处理排序高低结果为Mo>Zn>B>CK,其中Mo处理的得分为1.16,Zn、B与CK的得分别为1.14、-1.08、-1.22。因此,施钼(Mo)处理蓝莓的品质相对较优。

表5 各处理主成分综合得分

处理 Treatment	PC1	PC2	PC3	综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking
CK	-2.21	-0.95	1.32	-1.22	4
B	-1.33	-0.24	-1.80	-1.08	3
Zn	0.61	2.54	0.38	1.14	2
Mo	2.94	-1.35	0.10	1.16	1

### 3 讨论

大量研究表明,微量元素与作物生长发育和品质密切相关。施用硼肥能通过影响植物吲哚乙酸(IAA)等激素代谢进而调控营养元素氮磷钾的吸收与利用,促进植株生长<sup>[19-20]</sup>,同时可提高杨梅果实可溶性固形物含量和糖含量<sup>[21]</sup>。锌作为多种酶的组分,可通过多种途径影响氮磷钾的吸收,进而增加果实产量并改善黄瓜、苹果等果实的品质<sup>[22]</sup>;通过叶面喷施锌肥,可显著增加树莓果实中维生素C含量及单果质量<sup>[23]</sup>。钼作为硝酸还原酶、固氮酶、醛氧化酶等多种酶类的组分,可直接促进氮的吸收和代谢,间接影响磷、钾等元素的吸收和利用,进而改善蔬菜的产量和品质<sup>[24]</sup>。

本试验中,常规施肥处理土壤有效硼、有效锌和有效钼含量分别为0.77、1.70和0.30 mg/kg,土壤有效态均属于中等或偏高的范围,此条件下继续施用硼锌钼肥是否会对农产品品质产生影响尚不清楚,但从试验结果看,施用硼锌钼肥能大幅度降低蓝莓果实可滴定酸,增加果实固酸比,提高果实风味,而施钼处理蓝莓果实固酸比、维生素C含量和花青素含量均最高,说明在一定范围内,随着土壤有效态养分B、Zn和Mo含量的提高,果实品质固酸比、维生素C和花青素含量仍有提升空间,但各种微量元素的土壤有效态养分含量与作物品质之间的量化模型尚需进一步研究。

果实中矿质养分的含量也是影响农产品矿质营养的重要因素<sup>[25]</sup>,锌、钼均是人体必需的微量元素,按照中国居民膳食营养素参考摄入量建议,成人每日锌、钼适宜摄入量分别为12.5 mg、100 μg<sup>[26]</sup>,本试验中蓝莓果实锌含量范围为11.31~18.21 mg/kg,钼含量范围为0.61~0.88 mg/kg,与对照相比,施锌处理蓝莓果实Zn含量增加了16.44%,而施锌(Zn)和施钼(Mo)处理果实钼含量分别增加了22.84%和28.43%。按照中国营养学会推荐每天200~350 g水果的摄入量<sup>[26]</sup>,食用本试验中各处理蓝莓100 g,每天可以补充锌1.13~1.82 mg和钼61.2~88.3 μg,锌、钼元素的摄入分别能达到适宜摄入量的15%、75%左右,根据水果在饮食结构中的占比,各微量元素处理蓝莓果实锌、钼含量都处于对人体安全有益的范围内,可更好满足人体对微量元素锌和钼的需求。

为进一步分析各微量元素处理对蓝莓品质影响,我们运用基于主成分分析的综合得分法对蓝莓

品质进行了评价,根据得分排名可知,各种微量元素处理果实品质的总体表现为 $Mo > Zn > B$ ,说明在本试验条件下,施钼(Mo)、施锌(Zn)和施硼(B)处理均改善了蓝莓果实矿质营养水平,同时提高了果实固酸比、维生素C和花青素含量,但以施钼处理对蓝莓果实品质提升效果更佳。

## 参考文献 References

- [1] 苏上,王丽金,王贺新,等.蓝莓产业发展现状与趋势[J].高科技与产业化,2014(4):76-80.SU S, WANG L J, WANG H X, et al. Development status and trend of blueberry industry[J]. High-technology & industrialization, 2014(4): 76-80 (in Chinese).
- [2] 刘薇,王君,刘德明,等.分光光度法测定蓝莓果中维生素C的含量[J].湖南农业科学,2013(2):35-36.LIU W, WANG J, LIU D M, et al. Determination of vitamin C in blueberry fruit by spectrophotometry [J]. Hunan agricultural sciences, 2013(2):35-36(in Chinese).
- [3] 周龙,汤利,杨德荣,等.叶面喷施生物调节剂对水晶柚果实品质的影响[J].热带作物学报,2021,42(5):1361-1370. ZHOU L, TANG L, YANG D R, et al. Effects of biological regulator spraying on the leaf on crystal pomelo fruit quality [J]. Chinese journal of tropical crops, 2021, 42(5): 1361-1370 (in Chinese with English abstract).
- [4] DAVINDER D, MIRZA A, KUMAR A, et al. Impact of zinc and boron on growth, yield and quality of kinnow (*Citrus deliciosa* X *Citrus nobilis*) in sub-tropical conditions of punjab[J]. Journal of pure and applied microbiology, 2017, 11(2): 1135-1139.
- [5] CLARKSON D T, HANSON J B. The mineral nutrition of higher plants[J]. Annual review of plant physiology, 1980, 31: 239-298.
- [6] ABD-ALLAH A S E. Effect of spraying some macro and micro nutrients on fruit set, yield and fruit quality of Washington navel orange trees [J]. Journal of applied sciences research, 2006, 2(11): 1059-1063.
- [7] 孙学成,胡承孝.高等植物含钼酶与钼营养[J].植物生理学通讯,2005,41(3):395-399. SUN X C, HU C X. Molybdoenzymes and molybdenum nutrition in higher plants [J]. Plant physiology communications, 2005, 41(3): 395-399 (in Chinese).
- [8] 李俊丽,钱干,李海星,等.氮锌配施对水稻生长、产量和养分吸收分配的影响[J].华中农业大学学报,2021,40(3):159-167. LI J L, QIAN G, LI H X, et al. Effects of combined application of nitrogen and zinc on growth, yield, nutrient absorption and distribution of rice [J]. Journal of Huzhong Agricultural University, 2021, 40(3): 159-167 (in Chinese with English abstract).
- [9] 杜平,赵竹青,宋波涛,等.马铃薯锌营养特性及锌生物强化技术研究进展[J].华中农业大学学报,2021,40(4):36-43. DU P, ZHAO Z Q, SONG B T, et al. Advances on nutritional characteristics of zinc and zinc biofortification in potato [J]. Journal of Huzhong Agricultural University, 2021, 40(4): 36-43 (in Chinese with English abstract).
- [10] 于波,秦嗣军,吕德国.锌对苹果果实膨大期叶片 $^{13}C$ 光合产物合成及向果实转移分配的影响[J].应用生态学报,2021,32(6):2007-2013. YU B, QIN S J, LÜ D G. Effects of zinc levels on synthesis and translocation of  $^{13}C$ -photoassimilates in leaves to fruit of apple during fruit expanding stage [J]. Chinese journal of applied ecology, 2021, 32(6): 2007-2013 (in Chinese with English abstract).
- [11] 沙守峰,李俊才,王家珍,等.叶面喷施钙肥和锌肥对‘早金酥’梨果实糖酸含量的影响[J].果树学报,2018,35(S1):109-113. SHA S F, LI J C, WANG J Z, et al. Effect of foliar application of calcium and zinc fertilizers on sugar and acid content of ‘Zaojinsu’ pear fruits [J]. Journal of fruit science, 2018, 35(S1): 109-113 (in Chinese with English abstract).
- [12] 陈大超,张跃强,甘涛,等.有机肥施用量及深度对柑橘产量和品质的影响[J].中国土壤与肥料,2018(4):143-147. CHEN D C, ZHANG Y Q, GAN T, et al. The response of *Citrus* yield and quality to application of organic fertilizer with different depths and rates [J]. Soil and fertilizer sciences in China, 2018(4): 143-147 (in Chinese with English abstract).
- [13] 刘怀伟,谭启玲,陈敏,等.磷减量配施锌肥对瑯溪蜜柚果实产量和品质的影响[J].华中农业大学学报,2021,40(1):70-76. LIU H W, TAN Q L, CHEN M, et al. Effects of phosphorus reduction combined with zinc foliar fertilizer on yield and quality of Guanxi pomelo fruit [J]. Journal of Huzhong Agricultural University, 2021, 40(1): 70-76 (in Chinese with English abstract).
- [14] 庞薇,侯智霞,李国雷,等.氮肥对蓝莓树体生长及果实品质的影响[J].中国农学通报,2012,28(13):225-229. PANG W, HOU Z X, LI G L, et al. The effect of N application on the growth and fruit quality of blueberry [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2012, 28(13): 225-229 (in Chinese with English abstract).
- [15] 陈冰,张广娜,王芸,等.不同有机肥对蓝莓园土壤理化性质及蓝莓光合特性的影响[J].中国果菜,2021,41(6):149-154. CHEN B, ZHANG G N, WANG Y, et al. Effects of organic fertilizers on soil physicochemical properties and blueberry photosynthetic characteristics [J]. China fruit & vegetable, 2021, 41(6): 149-154 (in Chinese with English abstract).
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000. BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000 (in Chinese).
- [17] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000. LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese).
- [18] 杨雅涵,李建宾,和加卫,等.不同蓝莓品种果实花青素苷研究[J].西南农业学报,2020,33(8):1769-1777. YANG Y H, LI J B, HE J W, et al. Content of anthocyanins in fruits of different blueberry varieties [J]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2020, 33(8): 1769-1777 (in Chinese with English abstract).
- [19] 曾紫君,曾钰,闫磊,等.低硼和高硼胁迫对棉花幼苗生长与脯氨酸代谢的影响[J].作物学报,2021,47(8):1616-1623. ZENG Z J, ZENG Y, YAN L, et al. Effects of boron deficiency/toxicity on the growth and proline metabolism of cotton seedlings [J]. Acta agronomica sinica, 2021, 47(8): 1616-1623 (in Chinese with English abstract).
- [20] 刘磊超,姜存仓,刘桂东,等.硼在植物体内的生理效应及其对几种重要代谢产物影响的研究进展[J].中国农学通报,2014,30

- (6):268-272.LIU L C,JIANG C C,LIU G D,et al.The progress of physiological effect of boron in plants and its impact on several important metabolites[J].Chinese agricultural science bulletin, 2014,30(6):268-272(in Chinese with English abstract).
- [21] 倪海枝,陈方永,王引,等.土施硫、硼肥对‘东魁’杨梅生长、果实品质及产量的影响[J].中国果树,2020(2):87-90.NI H Z,CHEN F Y,WANG Y,et al.Effects of soil sulfur and borax fertilizer on the growth, fruit quality and yield of ‘Dongkui’ bayberry[J].China fruits, 2020(2):87-90(in Chinese with English abstract).
- [22] 于波,秦嗣军,吕德国.锌对苹果果实膨大期叶片<sup>13</sup>C光合产物合成及向果实转移分配的影响[J].应用生态学报,2021,32(6):2007-2013.YU B,QIN S J,LÜ D G.Effects of zinc levels on synthesis and translocation of <sup>13</sup>C-photoassimilates in leaves to fruit of apple during fruit expanding stage [J].Chinese journal of applied ecology, 2021, 32 (6) : 2007-2013 (in Chinese with English abstract).
- [23] 张辰.根外施肥对树莓生长和果实品质及产量的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2020.ZHANG C.Effects of foliage fertilization on growth, fruit quality and yield of raspberry [D].Shenyang:Shenyang Agricultural University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [24] 刘利,张蕊,杨超,等.叶面喷施钼肥对草莓幼苗氮代谢关键酶活性与<sup>15</sup>N吸收、分配及利用的影响[J].植物生理学报,2016,52(7):1035-1044.LIU L,ZHANG R,YANG C,et al.Effect of sodium molybdate foliar sprays on key enzymes activities of nitrogen metabolism and <sup>15</sup>N absorption, distribution and utilization of strawberry seedlings[J].Plant physiology journal, 2016,52(7):1035-1044(in Chinese with English abstract).
- [25] 张亚琴,雷飞益,陈雨,等.锌硼钼配施对川白芷药材农艺性状与产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(3):769-778.ZHANG Y Q,LEI F Y,CHEN Y,et al.Effect of combined fertilization of zinc,boron and molybdenum on agronomic traits and yield of *Angelica dahurica*[J].Journal of plant nutrition and fertilizers, 2018, 24 (3) : 769-778 (in Chinese with English abstract).
- [26] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量:简要本[M].北京:中国轻工业出版社,2001.Chinese Society of Nutrition. Reference intake of dietary nutrients for Chinese residents: a brief edition[M].Beijing:China Light Industry Press, 2001(in Chinese).

## Effects of boron, zinc, and molybdenum on fruit quality and mineral nutrition content of blueberry

WU Zhengguang<sup>1,2</sup>, WU Guangxing<sup>1,2</sup>, LIU Yining<sup>3</sup>, QIN Xiaoming<sup>3</sup>, ZHENG Xiaomei<sup>3</sup>, SUN Xuecheng<sup>3</sup>

1. CEWUD Group Limited Company, Wuhan 430223, China;

2. Hubei Precision Agriculture Engineering Technology Research Center, Wuhan 430070, China;

3. Microelement Research Center of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** To explore the differential effects of boron (B), zinc (Zn), and molybdenum (Mo) on fruit quality and mineral nutrients content of the blueberry, four treatments including conventional fertilizer (CK), B, Zn and Mo fertilizer were conducted in a long-term position experiment of trace elements. The results suggested that the application of B, Zn and Mo could significantly reduce the titratable acid content of blueberry fruits, resulted in the increases of solid acid ratio of fruit by 26.28%, 14.73%, and 27.56% compared with the control, respectively. The application of B, Zn and Mo significantly increased the content and accumulation of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) in blueberry fruits, indicated that the B, Zn, and Mo were beneficial to the transfer of N, P, and K elements from plants to fruits. In addition, Zn and B treatments increased Zn accumulation by 28.95% and 21.88%, respectively. Besides, B, Zn, and Mo treatments increased Mo accumulation by 49.37%, 58.86%, and 245.57%, respectively. Generally, the comprehensive score of blueberry fruit quality among all treatments was Mo>Zn>B>CK by principal component analysis, indicated that application of B, Zn, and Mo could improve the comprehensive quality of blueberry fruit, especially the Mo application.

**Keywords** blueberry; microelement; fruit quality; mineral elements; principal component analysis

(责任编辑:赵琳琳)