

叶面喷施氨基酸和微量元素对金银花 生长发育和质量的影响

崔志伟, 王康才*, 邱佳妹, 朱美瑛, 张 鹏

(南京农业大学 园艺学院, 南京 210095)

摘 要:以2年生金银花为试验材料,采用叶面喷施法,研究不同浓度的苯丙氨酸(Phe)、酪氨酸(Lyr)以及锌(Zn^{2+})、铜(Cu^{2+})对金银花生长发育和质量的影响。结果显示:(1)喷施不同浓度的Phe、Lyr以及 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 对叶面积无明显影响;不同处理的叶绿素含量随喷施次数的增加而出现不同程度的下降,喷施浓度适宜则有助于叶绿素的合成;喷施一定浓度的Phe、Lyr以及 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 可增加花蕾重量,如经1 000 mg/g Phe处理后的花蕾鲜重与干重较对照增加了20.1%和51.4%。(2)不同浓度的Phe、Lyr可显著影响碳代谢,但对氮代谢影响不明显; Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 对碳氮代谢产物影响较明显,如喷施10 mg/L的 $CuSO_4$ 及 $ZnSO_4$ 可提高可溶性糖及淀粉含量。(3)除 Zn^{2+} 处理后的花蕾类黄酮含量显著低于对照外,其他处理较CK无显著差异;花蕾总黄酮含量均显著低于对照,但绿原酸含量均高于对照。(4)叶片中离子含量受喷施次数及浓度影响较明显,除30 mg/L $CuSO_4$ 处理外,其它处理的花蕾中 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 含量均显著低于对照。研究表明,在金银花的第一茬花抽枝初期喷施适宜浓度的Phe、Lyr(如1 000 mg/g Phe、2 000 mg/g Lyr)以及 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} (如50 mg/L $ZnSO_4$ 、10 mg/L $CuSO_4$)可改善金银花的生长发育,并提高产量和质量。

关键词:金银花;微量元素;氨基酸;生长;质量

中图分类号: Q945.79

文献标志码: A

Effect of Spraying Micronutrient and Amino Acids on Growth and Quality of *Lonicera japonica* Thunb

CUI Zhiwei, WANG Kangcai*, QIU Jiamei, ZHU Meiyong, ZHANG Peng

(College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: To study the growth and quality under Phe, Lyr, Zn^{2+} and Cu^{2+} with different concentrations, which were controlled by foliage spray, we selected 2-year-old *Lonicera japonica* as the material. The results showed that: (1) Spraying the Phe, Lyr, Zn^{2+} and Cu^{2+} with different concentrations has no appreciable effect on leaf area. When increasing spraying time, the content of chlorophyll under different treatments appeared some decline in resistance. The proper concentration is helpful for the synthesis of chlorophyll. Spraying the Phe, Lyr, Zn^{2+} and Cu^{2+} with certain concentration can increase the weight of flower. For example, the flowers, fresh and dry weight increased 20.1% and 51.4% than control after 1 000 mg/g Phe treatment. (2) By spraying the Phe, Lyr with different concentrations can affect the C-metabolism remarkable, but made opposite effect on N-metabolism. Zn^{2+} and Cu^{2+} can exert obvious influence on carbon and nitrogen metabolism. For example, $CuSO_4$ and $ZnSO_4$ with 10 mg/L can raise the content of starch and sol-

收稿日期: 2013-11-01; 修改稿收到日期: 2014-02-07

基金项目: 江苏省镇江市农业项目支持(R0201100292)

作者简介: 崔志伟(1988—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事药用植物栽培与生理研究。E-mail: cuizhiwei1988@163.com

* 通信作者: 王康才, 教授, 硕士生导师, 主要从事药用植物栽培与生理研究。E-mail: wangkc@njau.edu.cn

uble carbohydrate. (3) There was no significant difference between the content of flavonoids in flower than control except Zn^{2+} . All of the content of total flavonoids was lower than that of control, but the chlorogenic acid was opposite. (4) The spraying time or concentration have more influence on the ion content of leaf. The Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} content of flower was significantly lower than that of control except 30 mg/L CuSO_4 treatment. It can be inferred that spraying the Phe, Lyr (For 1 000 mg/g Phe, 2 000 mg/g Lyr), Zn and Cu (For 50 mg/L ZnSO_4 , 10 mg/L CuSO_4) with proper concentration can improve the growth of *L. japonica*, and increase the quality and yield on the branch initial stage of the first florescence of *L. japonica*.

Key words: *Lonicera japonica*; micronutrient; amino acid; growth; quality

金银花为忍冬科忍冬属 (*Lonicera japonica* Thunb.) 的干燥花蕾或待初开的花^[1], 具有抑菌、消炎等多种生物活性, 自古被誉为清热解毒的良药。金银花属于中国大宗药材之一, 社会和经济效益显著, 种植规模逐年扩大, 提高与稳定金银花的产量和质量已成为目前研究热点。

微量元素和氨基酸类物质在药用植物次生代谢产物合成与积累过程中起到重要作用。微量元素可作为某些有机合成反应的催化剂或参与植物有效成分的结构功能而影响植物化学成分的形成和积累, 从而最终影响药材的药理活性及药材内在质量^[2]。如黄鹏等^[3]研究发现, 喷施适宜浓度的 Zn、B、Mn 肥可改善兰州百合叶片的抗旱生理指标, 有助于干物质的积累, 提高鳞茎产量。氨基酸类肥料易于被植物吸收, 受外界环境的影响较小, 可增强植物代谢功能, 提高药材产量和质量, 同时, 氨基酸也是许多次生代谢物的前体物质^[4]。如龚加顺等^[5]发现, 在白花曼陀罗 (*Datura stramonium* L.) 细胞培养合成生物碱的过程中添加少量苯丙氨酸 (0.015%) 有助于生物碱的合成。但是, 目前关于氨基酸和微量元素对金银花生长发育影响的相关报道较少, 本实验采用叶面喷施方法, 研究 Zn、Cu 和苯丙氨酸 (Phe)、酪氨酸 (Lyr) 对金银花生长发育和产量品质的影响, 以期能够为金银花生长发育调控提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验选在江苏省镇江市三明生物工程中药材种植基地进行。试验材料为引自山东临沂的药用金银花品种‘九丰一号’ (*Lonicera japonica* jiufeng No. 1.), 经南京农业大学中药材研究所王康才教授鉴定为忍冬科忍冬属忍冬 (*Lonicera japonica* Thunb.)。试验用苯丙氨酸、酪氨酸 (纯度 $\geq 99\%$, 上海楷洋生物技术有限公司), 以及硫酸铜 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)、硫酸锌 ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (纯度 $\geq 99\%$, 广东陇西化工厂) 等试剂均为分析纯。

1.2 方法

1.2.1 实验设计 选用 2 年生、长势一致的金银花植株, 在第一茬花的抽枝初期 (4 月 25 号), 地上部喷施浓度为 500、1 000、2 000 mg/g 的苯丙氨酸 (分别用 P_1 、 P_2 、 P_3 表示) 和酪氨酸 (分别用 L_1 、 L_2 、 L_3 表示); Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 处理浓度梯度分别为 10、30、50 mg/L (分别用 C_1 、 C_2 、 C_3 , Z_1 、 Z_2 、 Z_3 表示), 并计算出施用量。以喷施清水作为对照 (CK), 共 13 个处理, 每个处理 3 次重复, 随机区组排列, 各小区植株数量为 6 棵, 株距均 1 m, 行距为 1.5 m。喷施时间选在 16:00 后进行, 以叶片正反两面全部湿润且无滴下为宜, 每隔 7 d 喷施 1 次, 共喷施 3 次。各处理生长期管理措施保持一致。

1.2.2 测定项目及方法 分别选取不同喷施时期、发育完全的新生叶片测定叶绿素含量及叶面积; 在第三次喷施结束 7 d 后采摘大白针花蕾, 选取部分花蕾用于测定长度、重量及折干率, 将剩余花蕾 105 °C 杀青 5 min, 置于 40 °C 烘干后, 磨碎过 80 目筛, 用于测定碳氮代谢物、金属离子及成分含量。

(1) 生理指标 采用 95% 乙醇提取法测定并计算叶片单位鲜重的叶绿素 a、b 含量^[6]。使用 Li-3000C 型激光叶面积仪测定叶面积, 以新生枝条第 1 节处的对生叶片为测定对象。随机采取 100 个充分生长发育的大白针花蕾, 测定其长度、鲜重和干重。可溶性糖及淀粉含量采用蒽酮-硫酸法测定^[6], 并作适当修改。总氮含量采用凯式定氮法测定^[7]。还原糖含量参照李合生的 3, 5-二硝基水杨酸 (DNS) 测定法^[6], 并作适当修改。

(2) 总黄酮及类黄酮含量 以芦丁 (中国药品生物制品研究所, 生产批号 0080-9705) 为标准品, 采用硝酸铝-亚硝酸钠比色法^[6], 波长为 510 nm, 利用 UV-1200 型紫外可见分光光度计测定样品中总黄酮的含量。参照 Jia 等^[8]的方法并作适当修改, 采用 NaNO_2 - $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 比色法测定样品中类黄酮含量。

(3) 绿原酸含量 以绿原酸 (纯度 99%, 中国

药品检验所,生产批号 0753-9607)为标准品,采用 HPLC 法测定样品中绿原酸含量^[1]。实验仪器为安捷伦 LC-20AT 高效液相色谱仪;色谱条件:elite C₁₈ 柱(4.6 mm×250 mm,5 μm),流动相为乙腈:0.4%磷酸(13:87),检测波长 327 nm,流速 1 mL/min,柱温 30 ℃。

(4) 离子含量 用 ICP-AES 法^[7]测定 Cu、Zn、Fe 等离子含量。在内插管中依次加入 0.1 g 样品与 2 mL 硝酸,置 Milesyone Ethos T 微波消解系统中进行消煮,待样品冷却后用去离子水定容至 25 mL,作为待测液。各元素标准液浓度均为 1 000 mg/L,标线与样品离子含量均采用 Perkin Elmer Optima 2100 dv 电感耦合等离子发射光谱仪进行测定。

1.3 数据处理

实验数据用 SPSS 16.0 进行方差分析,Excel 统计并制图。

2 结果与分析

2.1 喷施氨基酸和微量元素对金银花生长发育的影响

2.1.1 叶面积和叶绿素含量 叶片是植物进行光合作用的主要场所,其面积大小关系到植物的光合效率,进而影响到植物的生长状态。由图 1 可知,喷施一定浓度的 Phe(1 000 mg/L)以及 Cu²⁺(10 mg/L)、Zn²⁺(10 mg/L、30 mg/L)有助于增加金银花叶面积,并以处理 P₂ 效果最明显,它比对照(CK)增加了 13.2%;当喷施高浓度的 Lyr(1 000 mg/L)以及 CuSO₄(30 mg/L、50 mg/L)时,处理金银花叶面积较对照有所降低,可能是由于溶液浓度过高产生了毒害作用。但是所有喷施处理的叶面积均与 CK 无显著差异($P>0.05$)。

叶绿素在光合作用中起着吸收光能的作用,其含量的多少直接影响到植物光合作用的强弱。本实验结果表明,喷施不同浓度的 Zn²⁺、Cu²⁺ 和 Phe、Lyr 对金银花的叶绿素含量均有显著影响(图 2)。其中,第一次处理后,除处理 Z₁ 显著低于对照外,其它处理后的金银花叶绿素含量较 CK 都有不同程度的增加,并大多达到显著水平;随着浓度的升高,各处理对叶绿素含量的影响呈现出正效应,并以不同浓度的 Zn²⁺ 处理之间增加趋势最明显。第二次喷施后,各处理间叶绿素含量差异仍达显著水平,但处理 L₃、Z₁、C₁、C₃ 的含量显著低于对照,且叶绿素含量随着 Phe、Lyr 浓度的升高呈现负效应;当 Zn²⁺、Cu²⁺ 浓度为 30 mg/L 时,叶绿素含量达到最高值,

浓度继续升高则叶绿素含量呈现下降趋势。第三次喷施后,除处理 L₁ 外,各处理下的金银花叶绿素含量均显著低于对照,且多数处理值较第二次处理结果显著下降。以上结果表明,喷施 Zn²⁺、Cu²⁺ 以及 Phe、Lyr 次数过多会对金银花叶绿素含量产生抑制作用;喷施溶液浓度适宜则有助于金银花叶片中叶绿素的合成。

2.1.2 产量指标 花蕾是金银花的主要药用部位,是生产中调控的重点。表 1 显示,喷施不同浓度 Zn²⁺、Cu²⁺ 和 Phe、Lyr 对金银花花蕾长度无显著影响;除处理 C₁ 花蕾鲜重和处理 C₁、L₁、L₂、C₃ 干重外,其他处理的花蕾鲜重和干重较对照均有不同程度增加,并以处理 P₂ 效果最明显,分别比对照显著增加了 20.1%和 51.4%。在本实验设置的浓度范围内,Lyr 与 Zn 处理下的花蕾重量与浓度间呈现正效应,而 Cu²⁺ 与 Phe 处理以中等浓度的效果更明显。另外,不同浓度的 Zn²⁺、Cu²⁺ 和 Phe、Lyr 处理间折干率除 P₂ 显著较高、Z₃ 显著降低外,其余处理与对照均无显著差异。总之,喷施一定浓度的 Zn²⁺、Cu²⁺ 和 Phe、Lyr 可增加花蕾重量,达到增产目的。

2.2 喷施氨基酸、微量元素对金银花幼苗碳氮代谢的影响

碳、氮代谢是植物体内最主要的两大代谢过程,两者之间存在着代谢和能量的竞争作用,因此调节

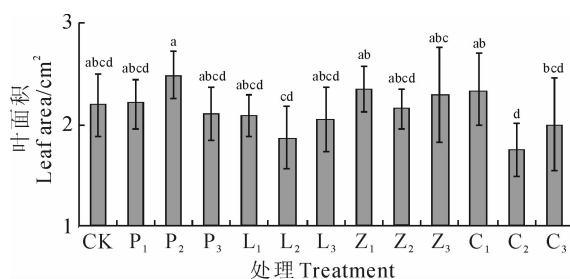


图 1 氨基酸和微量元素处理下金银花叶面积的变化
CK 为对照(清水);P₁、P₂、P₃ 分别表示喷施 500、1 000、2 000 mg/g 的苯丙氨酸溶液;L₁、L₂、L₃ 分别表示喷施 500、1 000、2 000 mg/g 的酪氨酸溶液;C₁、C₂、C₃ 分别表示喷施 10、30、50 mg/L Cu²⁺ 溶液;Z₁、Z₂、Z₃ 分别表示喷施 10、30、50 mg/L Zn²⁺ 溶液;不同字母表示处理间差异达到 0.05 显著水平;下同

Fig. 1 The leaf area of *L. japonica* spraying with micronutrient and amino acids

CK is control(water);P₁,P₂,P₃ stand for spraying with 500,1 000, 2 000 mg/g Phe solution;L₁,L₂,L₃ stand for spraying with 500, 1 000,2 000 mg/g Lyr solution;C₁,C₂,C₃ stand for spraying with 10, 30,50 mg/L Cu²⁺ solution;Z₁,Z₂,Z₃ stand for spraying with 10,30, 50 mg/L Zn²⁺ solution,respectively;Different letters at same sampling date mean significant differences at 0.05 level;The same as below

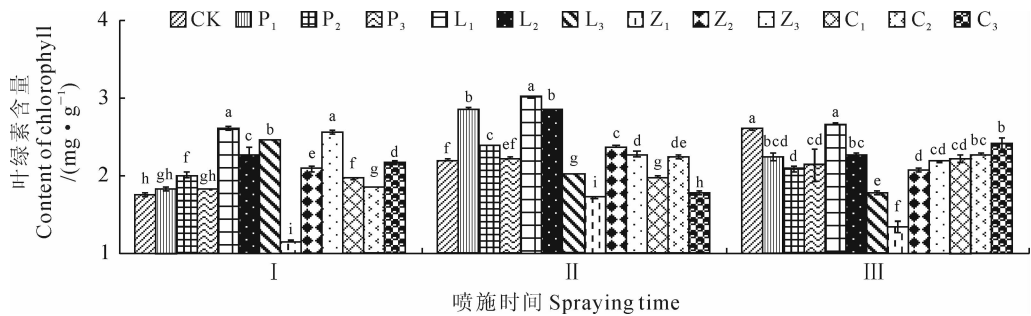


图 2 氨基酸、微量元素处理下金银花叶片总叶绿素含量的动态变化
I、II、III 分别表示喷施时间；下同

Fig. 2 The dynamic influence of chlorophyll content in leaves of *L. japonica* spraying with micronutrient and amino acids

I, II, III represent the spraying time, The same as below

表 1 氨基酸和微量元素处理下金银花花蕾生长的变化

Table 1 The growth of flowers of *L. japonica* spraying with micronutrient and amino acids

处理 Treatment	花蕾长度 Flower length /cm	百蕾重 Weight of 100 flowers/g		折干率 Drying rate /%
		鲜重 Fresh	干重 Dry	
CK	5.17±0.41 a	10.25±0.04 hi	1.75±0.07 de	17.08 b
P ₁	5.18±0.32 a	13.22±0.06 b	2.29±0.04 b	17.33 b
P ₂	5.10±0.76 a	14.31±0.17 a	2.65±0.16 a	18.51 a
P ₃	4.90±0.36 a	12.13±0.06 d	2.04±0.01 c	16.78 bc
L ₁	5.05±0.42 a	10.37±0.03 hi	1.72±0.01 de	16.54 bc
L ₂	5.30±0.51 a	10.82±0.06 fg	1.79±0.01 de	16.58 bc
L ₃	4.50±0.17 a	11.08±0.09 ef	1.85±0.06 d	16.70 bc
Z ₁	4.98±0.59 a	11.21±0.03 e	1.86±0.01 d	16.55 bc
Z ₂	4.89±0.51 a	12.53±0.12 c	2.10±0.04 c	16.77 bc
Z ₃	5.12±0.14 a	13.29±0.42 b	2.13±0.15 c	15.99 c
C ₁	4.81±0.47 a	9.95±0.09 i	1.67±0.03 e	16.78 bc
C ₂	5.27±0.14 a	10.69±0.25 g	1.83±0.04 d	17.08 b
C ₃	5.00±0.81 a	10.58±0.09 gh	1.75±0.03 de	16.55 bc

二者之间的关系,从而避免或减弱二者之间的竞争,使同化力在其间协调分配,这对于植物体内碳、氮物质代谢平衡以及作物产量和品质的形成有着十分重要的意义。试验结果表明(表 2),喷施不同浓度的 Phe、Lyr 以及 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 可显著影响金银花碳氮代谢。其中,随着喷施 Phe 浓度的上升,金银花幼苗可溶性糖含量也随之升高;但在喷施 Lyr、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 处理中,金银花幼苗可溶性糖含量随着处理液浓度的上升却整体出现下降趋势,但总体仍高于对照且多达到显著水平,尤其以处理 C₁ 增幅较大,比对照显著增加了 48.5%。同时,所有处理的金银花幼苗还原糖含量随着处理液浓度上升而增加,且除 P₁、Z₁~Z₃ 处理外,其余处理都显著高于对照,并以处理 C₃ 含量最高,较对照显著增加了 49.6%。另外,喷施 Phe 与 Lyr 的金银花植株总氮含量虽比对

照有一定程度的提高,但均未达到显著水平($P>0.05$);而喷施 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 对植株总氮含量影响较明显,在 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 浓度较低时,总氮含量较 CK 维持在同一水平;两者浓度为 50 mg/L 时总氮含量达到最高值,分别较对照显著提高了 81.9%与 22.6%。此外,在喷施氨基酸处理中,除 P₂ 与 L₃ 处理可显著增加金银花植株淀粉含量外,其他处理较 CK 差异不显著或略低于对照;与 CK 相比,低浓度的 Zn^{2+} (10 mg/L)、 Cu^{2+} (10 mg/L) 可一定程度提高淀粉含量,但随着浓度的升高,淀粉含量呈现下降趋势。总体来看,喷施微量元素对植物碳氮代谢的影响要大于氨基酸。以上结果说明,喷施 Phe、Lyr 可显著影响碳代谢,且不同浓度处理之间差异较显著;对氮代谢影响则不明显。喷施 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 均可显著影响碳氮代谢,且随着浓度的升高,可溶性糖及淀粉含量

逐渐降低;还原糖及总氮含量则呈相反趋势。

2.3 喷施氨基酸、微量元素对金银花品质的影响

2.3.1 花蕾中类黄酮、总黄酮及绿原酸含量 表 3 显示,低浓度的 Phe(P₁)、Lyr(L₁)以及 Cu²⁺(C₁)处理下金银花类黄酮含量均显著高于对照,但随着三者处理浓度的升高,类黄酮含量整体呈下降趋势;Zn²⁺处理下的类黄酮含量均低于对照,但不同浓度处理间差异不显著。同时,随着处理液浓度的增加,Phe 与 Cu²⁺处理的总黄酮含量呈递减趋势,Lyr 与 Zn²⁺处理则呈现递增趋势,但所有处理均显著低于对照值,并以 Z₃ 处理降幅最小(24.3%),处理 L₁ 降幅最大(84.4%)。即所有处理均显著抑制金银花总黄酮含量。另外,绿原酸也是金银花的主要药用成分,除 P₃、L₁ 处理与对照无显著差异外,其余处理绿原酸含量均不同程度显著高于对照。当 Lyr 与 Zn²⁺ 浓度越高,其处理的绿原酸含量整体呈现上升趋势,尤其是 L₃ 较对照增加了 26.3%;Phe 与 Cu²⁺ 处理的绿原酸含量随处理液浓度增加呈现降低趋势,但仍多显著高于对照。由此可知,不同类型以及浓度的氨基酸和微量元素对金银花植株主要活性成分含量的影响作用机制并不一样。

2.3.2 叶片和花蕾离子含量 研究结果(表 4)表明,喷施不同浓度的微量元素对忍冬花蕾及叶片中金属离子含量有显著的影响。除处理 Z₃、C₁ 外,叶片中的 Zn²⁺ 含量随喷施次数的增加而出现不同程度的降低;且在第一次喷施(C₃ 处理)和第三次喷施(Z₁、C₁ 处理)时叶片中 Zn²⁺ 含量明显高于同期对照,尤其以处理 C₁ 增幅最大,较对照显著增加了 46.1%。同时,叶片 Cu²⁺ 含量随 ZnSO₄ 喷施次数

的增加而升高,但受 CuSO₄ 处理的影响无明显规律;CuSO₄ 处理的植株在第一、二次喷施后的 Cu²⁺ 含量显著高于同时期对照,其他处理较 CK 变化不大或略有降低。另外,Fe²⁺ 含量在第一次喷施时期内受 C₂ 处理影响较明显,比对照增加了 1.56 倍,其他处理与 CK 无显著差异(P>0.05);第二、三次喷施后 Fe²⁺ 含量分别随 ZnSO₄、CuSO₄ 浓度的升高而降低,但所有处理均显著高于对照值。

除处理 C₂ 外,其他处理下的花蕾 Zn²⁺ 含量均低于对照值,但不同处理之间差异并不显著。与 CK 相比,各处理花蕾中 Fe²⁺、Cu²⁺ 含量均低于对照且全部达到显著水平(P<0.05),随着 ZnSO₄ 浓度上升,花蕾中的 Fe²⁺ 含量逐渐升高;与 CuSO₄ 浓

表 3 氨基酸、微量元素对金银花花蕾活性成分含量的影响

Table 3 Effects of micronutrient and amino acids on ingredients content of flower			
处理 Treatment	类黄酮 Flavonoid /(mg·g ⁻¹)	总黄酮 Total flavonoid /(mg·g ⁻¹)	绿原酸 Chlorogenic acid/%
CK	3.63±0.23 b	27.31±0.34 a	3.23 g
P ₁	5.56±0.91 a	19.47±1.19 b	3.82c
P ₂	3.72±1.71 b	13.07±0.11 ef	3.64 d
P ₃	3.15±0.45 bc	9.98±0.51gh	3.17 g
L ₁	5.73±1.14 a	4.27±0.06 j	3.26 g
L ₂	2.19±0.68 bc	9.54±0.11 h	3.67 d
L ₃	3.72±0.11 b	15.05±0.288 de	4.08 a
Z ₁	1.62±0.11 c	6.12±0.06 i	3.44 f
Z ₂	1.79±0.34 c	16.85±1.02 cd	3.56 e
Z ₃	1.70±0.23 c	20.67±1.31 b	4.04 a
C ₁	6.13±0.34 a	18.66±2.33 bc	3.92 b
C ₂	2.91±0.11 bc	12.07±0.4 cfg	3.75 c
C ₃	3.15±0.23 bc	11.67±0.51 fgh	3.45 f

表 2 氨基酸和微量元素处理下碳氮代谢物的变化

Table 2 The influence of carbonoxide metabolites spraying with micronutrient and amino acids

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar/(mg·g ⁻¹)	还原糖 Reducing sugar/(mg·g ⁻¹)	总氮 Total nitrogen/%	淀粉 Starch/(mg·g ⁻¹)
CK	20.35±0.06 j	15.77±0.03 i	1.77 c	4.46±0.09 c
P ₁	20.63±0.37 j	12.86±0.06 j	1.77 c	4.01±0.05 de
P ₂	21.51±0.04 h	23.41±0.12 b	1.91 bc	5.56±0.25 a
P ₃	25.33±0.05 d	20.15±0.07 h	1.86 c	3.84±0.12 def
L ₁	28.30±0.09 b	20.34±0.02 g	1.92 bc	4.49±0.19 c
L ₂	22.60±0.18 g	21.53±0.07 e	1.97 bc	3.68±0.12 f
L ₃	23.87±0.08 f	22.10±0.03 d	1.84 c	5.47±0.01 a
Z ₁	21.61±0.1 h	6.14±0.03 m	1.88 c	5.46±0.27 a
Z ₂	20.42±0.02 i	8.88±0.03 l	2.03 b	5.05±0.37 b
Z ₃	19.98±0.06 k	11.20±0.08 k	3.22 a	4.03±0.03 d
C ₁	30.21±0.08 a	20.8±0.08 f	1.79 c	4.49±0.42 c
C ₂	27.38±0.37 c	22.36±0.19 c	1.81 c	4.43±0.03 c
C ₃	24.75±0.14 e	23.59±0.05 a	2.17 b	3.71±0.25 ef

表 4 微量元素对叶片及花蕾中 Cu、Zn、Fe 离子含量的影响
Table 4 Effects of micronutrient on Cu,Zn and Fe of flower and leaf

处理 Treatment	叶片 Leaf/(mg · g ⁻¹)									花蕾 Flower/(mg · g ⁻¹)		
	Zn			Fe			Cu			Zn	Fe	Cu
	I	Ⅱ	Ⅲ	I	Ⅱ	Ⅲ	I	Ⅱ	Ⅲ			
CK	1.88 b	1.53 ab	1.28 c	19.69 bc	19.9 d	9.11 e	0.91 b	0.89 cd	1.00 ab	1.24 b	17.10 a	1.82 a
Z ₁	1.83 b	1.59 a	1.53 b	22.82 b	28.29 b	12.31 c	0.77 d	0.89 bc	1.04 a	1.07 c	10.32 e	1.44 b
Z ₂	1.65 c	1.54 ab	1.05 d	15.70 c	29.27 b	11.64 d	0.81 c	0.79 d	0.93 c	1.10 c	10.05 e	1.38 c
Z ₃	1.17 d	1.14 c	1.28 c	17.48 bc	24.28 c	7.36 f	0.70 d	0.70 e	0.71 d	1.15 c	15.17 b	1.30 cd
C ₁	1.18 d	1.01 d	1.87 a	18.46 bc	18.09 e	19.32 a	1.01 a	0.83 d	0.95 b	1.12 c	12.49 c	1.27 de
C ₂	1.15 d	1.01 d	0.61f	58.53 a	19.68 d	15.61 b	1.02 a	0.94 b	0.83 c	1.80 a	11.37 d	1.16 e
C ₃	1.95 a	1.45 b	0.87 e	17.24 bc	33.96 a	12.46 c	0.88 bc	1.24 a	0.85 c	1.13 c	8.03 f	0.81 f

度则呈反向关系,Cu²⁺ 含量随 ZnSO₄、CuSO₄ 浓度的升高而逐渐降低。因此,除喷施 30 mg/L 的 Cu-SO₄ 可提高花蕾中 Zn²⁺ 含量外,其它处理均会不同程度地降低花蕾中的 Zn²⁺、Cu²⁺、Fe²⁺ 含量。

3 讨 论

3.1 微量元素、氨基酸对金银花生长发育的影响

锌、铜是一些酶的重要组成部分,如绿色植物的光合作用必须要有含锌的碳酸酐酶参与。本实验结果表明,前期喷施适宜浓度的 Zn²⁺ 与 Cu²⁺ 可提高叶片中叶绿素含量,这与王腾飞^[9]在桑树上的研究结论相似;后期处理的叶片中叶绿素含量有所下降,可能原因是由于锌、铜过量在植物体内富集造成的重金属毒害,如在 Cu²⁺ 浓度为 210 mg/L 时,发芽 22 d 的卷心菜叶绿素 a、b 分别下降 82% 和 86%^[10];低含量锌(100 mg/kg)可提高小麦幼苗叶绿素含量,但高含量(≥500 mg/kg)锌处理对小麦叶绿素的代谢有毒害作用^[11]。叶面喷施适宜浓度的 Zn²⁺ 与 Cu²⁺ 可提高花蕾鲜重和干重,笔者认为可能是 Zn²⁺ 与 Cu²⁺ 通过加强光合作用,将更多的光合产物输送至花蕾,这与路喆等^[12]在兰州百合上的研究结论相似。此外,锌、铜还可改善糖代谢,与其他有机物形成络合物从而影响到碳水化合物的合成和运输,如表 2 所示,当溶液浓度升高时,还原糖及全氮含量也随之上升,而淀粉、可溶性糖则呈下降趋势,但张木等^[13]发现在同氮水平下喷施 Zn 有助于小白菜可溶性糖含量的升高,与本实验结果相反,其原因可能与两种植物的生理机制不同相关。

植物能吸收利用氨基酸,但氨基酸对植物的效应则因氨基酸和植物种类不同而异。张夫道等^[14]研究发现蛋氨酸、苯丙氨酸对水稻生长有明显的抑制作用。但在本实验中,喷施适宜浓度的苯丙氨酸、

酪氨酸可提高叶绿素含量,与李朝海等^[15]、吴玉群等^[16]在玉米上的研究结果一致。喷施苯丙氨酸(2 000 mg/L)和酪氨酸(1 000 mg/L)可分别提高可溶性糖和全氮含量,笔者认为可能是氨基酸通过三羧酸循环、糖酵解和其它代谢途径形成有机酸、糖等产物,最后转化为蛋白质等植物的组成部分,影响金银花的碳氮循环^[17]。

3.2 微量元素、氨基酸对金银花质量的影响

绿原酸与黄酮类物质是金银花的主要次生代谢产物,两者含量的高低是评价金银花质量的重要标准。绿原酸属于苯丙素类化合物,是由莽草酸途径经生物转化得来^[18],该途径又是形成咖啡酸,类黄酮和木质素等多种抗菌物质的主要途径,其终产物为苯丙氨酸和酪氨酸,苯丙氨酸解氨酶(PAL)是植物苯丙烷类物质代谢的关键酶^[19-20],因此,喷施苯丙氨酸和酪氨酸必然会对绿原酸以及黄酮类物质产生影响。实验结果表明,适宜浓度的氨基酸可提高黄酮类化合物的含量,但浓度过高时(如 P₃)则会出现负效应,可能由于酶促反应中反应底物过量而引发对某些酶的反馈抑制。叶面喷施酪氨酸和苯丙氨酸对金银花黄酮类物质含量的作用与王丽娟等^[21]在槐米上的研究结论有一定的出入。总之,在生产中选择氨基酸类叶面肥调控植株生长时,要注意选择合适的喷施浓度,以防出现负效应。

铜、锌是药用植物次生代谢过程中比较重要的营养元素,通过试验结果发现,高浓度 Zn(50 mg/L)与低浓度 Cu(10 mg/L)处理可显著提高花蕾中总黄酮和绿原酸的含量,低 Cu 还可提高类黄酮含量,Zn 处理差异不明显。汪斌等发现外源铜、锌会影响丹参体内多酚氧化酶及过氧化物酶的活性,从而影响丹参体内酚类物质转化成萜醌类物质,即影响丹参酮类物质的累积^[22]。关于铜、锌对植物体黄酮、绿

原酸合成代谢影响的机理,可能与调控碳、氮代谢有关:一方面,铜、锌可促进植物体内的碳、氮代谢,并为酚类物质次生代谢过程提供更多底物,从而来调控植物体内黄酮和绿原酸的合成代谢;另一方面,铜、锌有可能会通过调节酚类化合物的合成代谢过程中几个关键酶如苯丙氨酸转氨酶(PAL)、查耳酮合成酶(CHS)的活性,从而调控植物体中黄酮和绿原酸的合成代谢途径与这些次生代谢产物的含量,但其详细的作用机理仍需进一步的研究。此外,通过对花蕾中铜、锌离子含量测定,发现各处理之间的

差异不显著,但均显著低于对照,且 Fe 离子明显低于对照值,这表明铜、锌离子可能对花蕾中 Fe 离子有一定程度的负作用。当 Cu 浓度为 20 mg/L 时,锌离子含量显著高于对照,表明铜离子可能促进了金银花对锌元素的吸收,但这与汤璐等^[23]的研究结论并不一致。

总之,喷施适宜浓度的氨基酸及微量元素有助于增加金银花的成分含量,提高产量,且无需消耗大量的人力物力,可为生产实践提供借鉴。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中国药典(2010 版)[S]. 北京:中国医药科技出版社,2010:205.
- [2] 周长征. 中国细辛属植物分类及细辛道地药材的系统研究[D]. 北京:北京中医药大学,1994:127—128.
- [3] HUANG P(黄 鹏),ZHANG W T(张文涛),LU ZH(路 喆). Effect of foliage spraying of zinc, boron, manganese fertilizers on the accumulation and distribution of dry matter in *Lilium davidii* var. *unicolor*[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2010, **18**(2): 295—298(in Chinese).
- [4] SUN L Y(孙立影), YU ZH J(于志晶), LI H J(李海晶). Advances in secondary metabolites of medicinal plant[J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences* (吉林农业科学), 2009, **34**(4): 4—10(in Chinese).
- [5] GONG J SH(龚加顺), YANG ZH X(杨兆祥). Cell growth and alkaloid synthesis in suspension cultures of *Datura metel*[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs* (中草药), 2004, **35**(8): 936—939(in Chinese).
- [6] 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.
- [7] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1980:169—203.
- [8] JIA Z S, TANG M C. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on super-oxide radicals[J]. *Food Chemistry*, 1999, **64**(4): 555—559.
- [9] 王腾飞. 高 pH 值土壤上桑树铁锌铜营养研究[D]. 南宁:广西大学,2011.
- [10] PENELOPE A R, HELEN C H, KENNETH L. Steffen. Physiological responses of cabbage to incipient copper toxicity[J]. *J. Amer. Soc. Hor. Sci.*, 1989, **114**(1): 149—152.
- [11] YU G Y(余国莹), WU Y SH(吴玉树), WANG H X(王焕校). Effects of the differential cadmium compounds and their interaction on the wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1992, **12**(1): 93—96(in Chinese).
- [12] LU ZH(路 喆), HUANG P(黄 鹏), WANG Y ZH(王玉忠), et al. Effects of spraying boron, zinc, manganese fertilizer on accumulation and distribution of dry matter, yield and N P absorption of *Lilium davidii* var. *unicolor*[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China* (中国土壤与肥料), 2011, (1): 39—43(in Chinese).
- [13] ZHANG M(张 木), HU CH X(胡承孝), LIU J SH(刘金山), et al. Effects of spraying micronutrient and amino acids on yield and quality of Chinese cabbage at different nitrogen levels[J]. *Journal of Changjiang Vegetables* (长江蔬菜), 2011, (10): 53—58(in Chinese).
- [14] ZHANG F D(张夫道), SUN X(孙 羲). A study of nutrition of amino acids in rice seedlings[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 1984, **17**(5): 61—66(in Chinese).
- [15] LI CH H(李潮海), ZHOU SH L(周顺利), LI SH L(李胜利). Effects of seed dressing with chelate compound of amino acid with multi-component micronutrients on maize seedling growth[J]. *Maize Science* (玉米科学), 1996, **4**(4): 40—42(in Chinese).
- [16] WU Y Q(吴玉群), SHI ZH SH(史振声), LI R H(李荣华), et al. The effect of soaked seeds with liquid amino acid fertilizer on physiological index of sweet corn seedling[J]. *Maize Science* (玉米科学), 2005, **13**(3): 103—105(in Chinese).
- [17] 陆景陵. 植物营养学(上册, 第 2 版)[M]. 北京:中国农业出版社,1994:77—82.
- [18] ZHANG W F(张万锋). Determination and discussion on the biosynthesis of photogenic acid in the *Eucommia ulmoides* Oliver[J]. *Journal of Ankang University* (安康学院学报), 2008, **20**(5): 46—49(in Chinese).
- [19] SHEN Q R, XU G H. Foliar absorption and translocation of labeled urea-15N in corn and wheat[J]. *Acta Pathological Sinica*, 2001, **38**(1): 67—74.
- [20] WANG J W(王敬文), XUE Y L(薛应龙). Studies on plant phenylalanine ammonia-lyase[J]. *Plant Physiology Journal* (植物生理学报), 1981, **7**(4): 373—380(in Chinese).
- [21] WANG L J(王丽娟), XU ZH(许 昭), TANG Y H(唐玉海). Effects of phenylalanine and tyrosine on general flavonoids level in callus of *Sophora japonica* [J]. *Northwest Pharmaceutical Journal* (西北药学杂志), 2001, **16**(4): 153—154(in Chinese).
- [22] 汪 斌. 铜、锌对丹参的品质与安全的影响[D]. 南京:南京农业大学,2008.
- [23] TANG L(汤 璐), LIN J H(林江辉), et al. Effects of Cu, Zn and Se on contents of total flavonoid, chlorogenic acid and Se in the flower of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2009, **15**(6): 1 475—1 480(in Chinese).