

外源钙对石榴发育过程中叶片和果皮中矿质元素含量的影响

杨雪梅,尹燕雷*,冯立娟,武 冲,唐海霞,焦其庆

(山东省果树研究所,山东泰安 271000)

摘 要:【目的】钙是植物生长发育中的必需大量元素之一,适时为果树补钙能促进钾、磷酸盐和硝态氮的吸收。通过外源钙喷施,研究外源钙对石榴叶片及果皮中几种必需营养元素的影响,比较整个发育期外源钙对这些元素含量变化的影响,为生产追肥提供部分理论依据。【方法】以‘泰山红’石榴为试材,于盛花期后第28天开始,分别喷施不同质量浓度(1,5,10 g·L⁻¹)的硝酸钙溶液,每28 d喷施1次,喷施后次日分别采集叶片和果实,对其K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn 7种元素含量进行测定。比较不同质量浓度的外施钙源对石榴发育期内叶片及果皮中矿质元素含量的影响。【结果】高质量浓度外源钙在盛花期后28~56 d能显著增加石榴叶片中K元素含量,但中、低浓度的外源钙对石榴发育期内叶片K元素无显著促进作用;外源钙能显著增加石榴叶片和果皮中Ca元素含量,且随外源钙质量浓度的增加,叶片中Ca含量相应增加;外源钙在一定程度上增加了石榴叶片和果皮中Mg元素含量,以高质量浓度(10 g·L⁻¹)外源硝酸钙对叶片发育期内Mg元素含量影响最为显著,而中等质量浓度5 g·L⁻¹对石榴果皮中Mg元素含量影响较大;中等质量浓度5 g·L⁻¹外源钙有利于增加石榴叶片中Mn元素含量;中、高质量浓度的外源钙改变石榴叶片发育期内Fe元素含量变化曲线,使Fe元素含量整个发育期内呈直线升高,显著增加了石榴发育后期叶片中Fe元素含量,而对果皮中Fe元素含量影响不显著;外源钙一定程度上降低了石榴叶片中Cu元素含量。【结论】在一定质量浓度范围(1~10 g·L⁻¹)内,叶面喷施钙肥可提高叶片、果皮的Ca含量,对叶片K、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量有一定的促进或拮抗作用,且因喷施浓度及喷施时期不同而作用不同。

关键词: 石榴;外源钙;矿质元素

中图分类号: S665.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2017)Suppl.-111-08

Effects of exogenous calcium on mineral contents in pomegranate leaves and pericarp during fruit development

YANG Xuemei, YIN Yanlei*, FENG Lijuan, WU Chong, TANG Haixia, JIAO Qiqing

(Shandong Institute of Pomology, Tai'an 271000, Shandong, China)

Abstract: 【Objective】Calcium is one of the essential macronutrients for plants and functions in signal transduction and constituent of the cell wall. Add exogenous calcium timely can promote the absorption of potassium, phosphate and nitrate during plant growth and development. In this study, exogenous calcium were sprayed on pomegranate leaf and pericarp to find the effects of exogenous calcium on contents of the other several essential nutrients, during the whole development period. Then provide some theoretical basis for production of fertilizer. 【Methods】‘Taishanhong’ pomegranate trees were sprayed with different concentration (1, 5, 10 g·L⁻¹) of calcium nitrate solution in the 4th weeks after full blooming for the first time, then once every 4 weeks. Both the leaves and fruits were sampled to detect contents of potassium, calcium, magnesium, iron, manganese, copper and zinc, respectively. Effects of different exogenous calci-

收稿日期:2017-08-10 接受日期:2017-08-30

基金项目:山东省农业科学院青年基金(2016YQN26);山东省星火科技示范项目(2015XH002);山东省农业重大应用技术创新项目“北方石榴增产高效栽培技术研究”

作者简介:杨雪梅,女,助理研究员,硕士,主要从事石榴栽培及采后贮藏保鲜研究。E-mail: qdyxm1216@163.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: yylei66@sina.com

um concentration on the leaves and pericarps were compared with the control which sprayed with water only during the growth period. 【Results】Exogenous calcium can significantly increase the calcium content in both of the leaves and pericarps, the calcium content increase with the exogenous calcium concentration in a certain concentration extent. Exogenous calcium increased magnesium content in pomegranate leaves and pericarps, and the higher concentration of $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ exogenous calcium nitrate had the most significant influence on magnesium content in leaf in all the growth period, while the medium concentration $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ had more remarkable impact on magnesium content in the pericarps. Medium and higher concentration of exogenous calcium changed the curves of iron content in pomegranate leaves during the growth period, iron contents presented a tendency of straight climb with the growth period, iron contents increase significantly in the pomegranate leaf in later developmental stages, and it had no significant effect on the peel. Exogenous calcium reduced copper contents to a certain extent in pomegranate leaves. 【Conclusion】Effects of exogenous calcium were different on the element contents of pomegranate leaves and pericarps, with the concentration of exogenous calcium changed the influences were different in a certain concentration range ($1\text{--}10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$). Foliar spraying calcium fertilizer improved the calcium content in the leaf and fruit skin, it also had certain promotion or antagonism effect to the potassium, magnesium, iron, manganese, copper, zinc contents. It played different roles in pomegranate leaves and pericarps with different spraying concentration and spraying period.

Key words: Pomegranate; Exogenous calcium; Mineral nutrients elements

石榴(*Punica granatum* L.)为石榴科石榴属落叶灌木或小乔木,原产古代波斯,即现在的伊朗、阿富汗,苏联的高加索等地^[1]。石榴果实营养丰富,含有多种人体所需的营养成分,同时富含酚类化合物等生物活性物质,具有抗氧化、预防心脑血管疾病、抗癌、抗菌、抗感染、抗糖尿病等诸多治疗功效,是一种重要的功能型水果^[2],市场发展前景广阔,石榴的种植面积也在逐年扩大。目前,我国石榴栽培管理相对粗放,对石榴栽培方面的研究多集中于其抗氧化活性成分的提取、分离等及其保健功能的开发利用^[3-4],而对石榴栽培技术方面的研究甚少。钙(Ca)元素是植物的必需大量元素之一,对植物生长发育具有重要生理功能,同时也是植物细胞偶联胞外信号与胞内生理生化反应的胞内第二信使,参与调控植物生长发育^[4-5]。钙也是构成细胞壁的一种元素,其主要功能是结合到细胞壁中胶层的结构中,成为细胞间起黏接作用的果胶酸钙,参与和调节细胞壁合成、降解有关酶的活性^[6]。Ca很难在韧皮部运输,由蒸腾液流从木质部到达旺盛生长的枝梢、幼叶、花、果实及顶端分生组织,钙到达后多数变得稳定,几乎不发生再分配与运输^[7]。有研究表明Ca对苹果品质的影响远比N、P、K、Mg重要^[8-9]。许多果实的生理失调症状都与缺钙有密切关系。石榴果实属于浆果,生

长发育期及采前遇雨均易裂果。理论上,果实可以同时通过叶片和果实的气孔和皮孔吸收一部分外源钙。土壤中钙元素亏缺所造成的植物生理失调可以通过外源钙来弥补。在石榴上外源钙能否影响其他营养元素的吸收利用尚未有相关研究。荔枝上的研究表明,质量浓度低于 $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CaCl_2 溶液处理几乎不能增加果皮细胞壁结构钙,仅在 $5\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下才明显提高果皮结构钙;而 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 在浓度高于 $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时便可增加2个荔枝品种果皮结构钙,增加幅度高于同浓度的 CaCl_2 ,表明硝酸根离子的存在有利于钙向细胞壁沉着^[10-11]。故笔者采用外源 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$,旨在分析外源钙对石榴发育期内叶片及果皮中各元素含量的变化及影响,明确钙与几种元素的互作关系,为石榴栽培追肥提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 材料

试验于2015年7—10月进行采样,供试‘泰山红’石榴叶片和果实均采自山东省果树研究所试验苗圃,树体生长、立地条件和栽培管理水平基本一致。于花后第28天开始每28 d分别喷施不同浓度的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (硝酸钙)溶液,直至果实完全成熟。 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 溶液喷施质量浓度分别为T1, $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; T2,

$5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$; T3, $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。每个质量浓度喷施5株,以喷水为对照。喷施后次日分别采摘叶片和果实,叶片选择树冠外围枝条上第3~7节的功能叶,采后带回实验室流水冲洗后,再用去离子水冲洗,用纱布吸干水分,置于烘箱中 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青30 min后,于 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒质量备用。果实选取树冠外围大小较为一致的果实,每次取4~5个果实,清洗吸干水分后,用不锈钢刀将果皮剥下,烘干方法同叶片。烘干后的叶片和果皮经粉碎过60目筛后备用。

1.2 试验仪器与试剂

原子吸收分光光度计TAS-990(北京普析通用仪器有限责任公司),火焰光度计FP640(上海仪电分析仪器有限公司),CEM Mars 6高通量密闭微波消解系统(美国CEM公司),LCT理化分析型超纯水机(济南立纯水处理设备有限公司)。K、Ca、Mg标准溶液均为 $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (上海阿拉丁生化科技股份有限公司),Fe、Mn、Cu、Zn标准溶液浓度均为 $1\text{ }000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (国家有色金属及电子材料测试中心),试验所用浓硝酸、盐酸和双氧水均为优级纯,所用水均为超纯水。

1.3 方法

1.3.1 标准工作曲线系列溶液配制 分别准确称取样品200 mg加入消解管中,加入浓硝酸4 mL,盖上盖子反应过夜,翌日再加入2 mL双氧水,置于密闭微波消解系统,进行消解。消解分2个阶段进行:第1阶段温度在4 min内升到 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持2 min;第2阶段6 min内温度从 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保持30 min。取出消解后的样品准确定容至50 mL。

测定时用空气- C_2H_2 气火焰,乙炔压力调节为 $0.05\sim 0.1\text{ MPa}$ 。每个元素测定前寻峰,分别制作标准曲线,每次测定记录3次取平均值。植物组织中矿质元素(Ca、Mg、Fe、Cu、Mn、Zn)含量可按式计算:

$$\omega/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})=(C\times D\times V)/m$$

式中,C为从标准工作曲线直接读出的质量浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$;D为稀释倍数;V为样品消解后定容体积;m为消解样品质量0.2 g。

1.3.2 钾(K)元素含量测定 K元素含量采用火焰光度法测定,以 $15\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 的K标准溶液为100%,以对照调0所测K浓度为C。植物组织中K元素含量可按式计算:

$$\text{K元素含量}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})=C\times 15/100\times D\times V/m$$

式中,C为从标准工作曲线直接读出的浓度/%;D为稀释倍数;V为样品消解后定容体积;m为消解样品质量0.2 g。

1.4 数据分析

试验数据分析采用Excel 2010进行数据分析,采用IBM SPSS Statistics19进行相关性统计分析。

2 结果与分析

2.1 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中K元素含量的影响

如图1-A所示,‘泰山红’石榴对照和处理叶片中K元素含量均呈类似“S”型曲线变化。其中,对照叶片中K元素含量在生长发育中期,即花后第84天时达最高,之后逐渐降低;而 $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理K元素含量在花后28~56 d呈降低趋势之后逐渐升高,2者分别于第112天和第84天时达最高值,而 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理则于花后第56天时K含量达最高值,之后逐渐降低。表明外源钙一定程度上影响石榴叶片对K元素的吸收,低浓度的外源钙使K元素的吸收高峰推迟,中等浓度外源钙使K元素的含量降低,高浓度的外源钙使K元素吸收高峰提前,后期K元素含量显著降低,总体上降低了叶片对K元素的吸收。

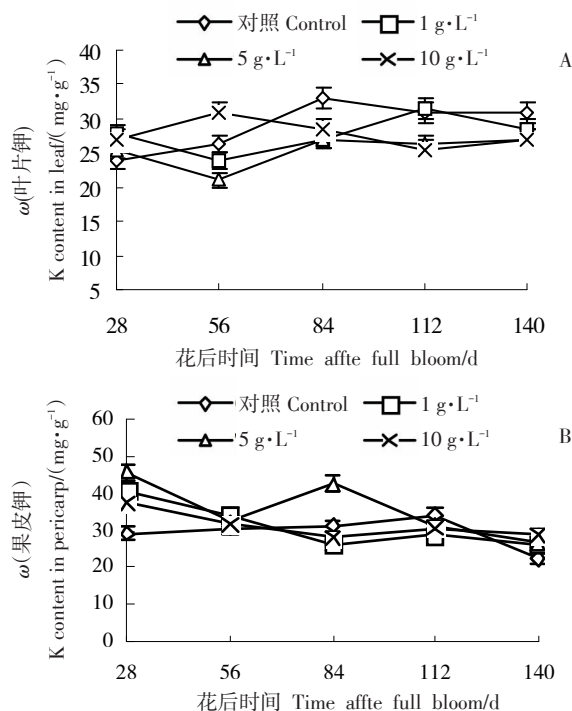


图1 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中K元素含量的影响

Fig. 1 Effects of exogenous calcium on potassium content of pomegranate leaf and pericarp during the growth period

如图 1-B 所示,‘泰山红’石榴果皮中 K 元素含量在整个发育过程中均呈逐渐降低趋势,其中 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理在整个石榴生长发育期内呈“S”型曲线,花后第 84 天出现含量高峰;而对照石榴果皮中 K 元素含量在花后第 28~112 天呈缓慢上升趋势。其中,花后第 28 天 3 种处理石榴果皮中 K 元素含量均显著高于对照,之后至花后第 56 天,处理石榴中 K 元素含量均迅速降低,表明外源钙一定程度上影响石榴果皮中 K 元素的含量,外源钙喷施初期能促进 K 元素的吸收且以中等浓度 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 的促进作用最为显著,低浓度和高浓度外源钙抑制‘泰山红’石榴发育中期(花后 84~112 d)K 元素的吸收。

2.2 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中 Ca 元素含量的影响

如图 2-A 所示,‘泰山红’石榴叶片中 Ca 元素含量在整个发育期内呈逐渐增加的趋势,其中 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理叶片中 Ca 含量显著高于对照和 $1, 5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理, $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理叶片中 Ca 元素含量变化曲线与对照一致,而 $5, 10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 两处理 Ca 元素含量变化曲线一致。表明石榴叶片中 Ca 元素在生长发育期内不断积累,外源钙能提高‘泰山红’石榴叶片中的 Ca 含量,且随着外施浓度的提高,钙含量显著增加。

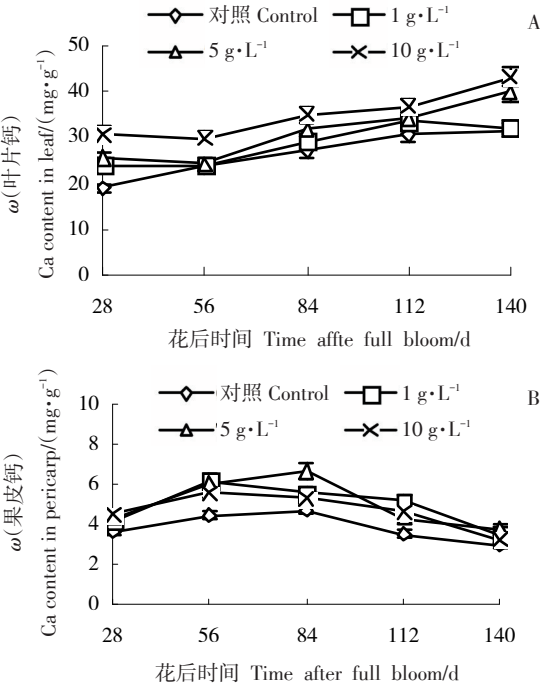


图 2 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中 Ca 元素含量的影响

Fig. 2 Effects of exogenous calcium on calcium content of pomegranate leaf and pericarp during the growth period

如图 2-B 所示,石榴果皮中 Ca 元素含量在整个发育期内呈先升高后降低的趋势,其中整个发育过程中对照果皮中 Ca 元素含量均显著低于 3 个处理; 3 个处理果皮中 Ca 元素含量均有不同程度的增加,其中 $1, 10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理果皮中 Ca 元素含量高峰均出现于花后第 56 天,之后逐渐降低,这与对照果皮中 Ca 元素含量变化趋势一致;而 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理于花后第 84 天果皮中 Ca 元素含量达峰值,此含量峰值显著高于对照和 $1, 10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理,之后第 84~112 天期间 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理果皮中 Ca 元素含量迅速降低,其 Ca 元素含量水平与对照及其他处理无显著差异。表明‘泰山红’石榴果皮中 Ca 元素的吸收受外施 Ca 浓度的影响,在一定浓度范围内,外施 Ca 浓度越高其含量越高,但浓度过高不利于 Ca 的吸收,试验中 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的 Ca 浓度能增加果皮对 Ca 的吸收峰值,并延迟该峰值出现的时间,而 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理则不能,表明外施浓度过高一定程度上抑制了石榴果皮吸收 Ca 元素。

2.3 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中 Mg 元素含量的影响

如图 3-A 所示,‘泰山红’石榴对照和 $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 叶片中 Mg 元素含量在整个发育期内呈先升高后降低的趋势, $5, 10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理 Mg 元素含量在整个发育期

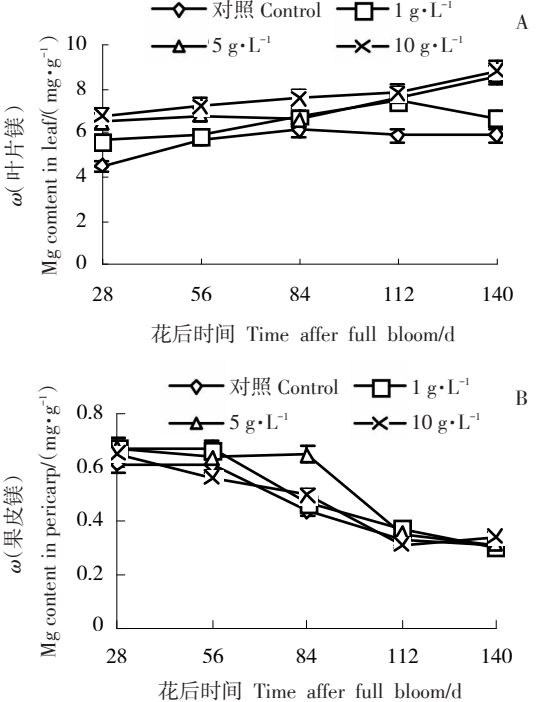


图 3 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中 Mg 元素含量的影响

Fig. 3 Effects of exogenous calcium on magnesium content of pomegranate leaf and pericarp during the growth period

内基本呈增加趋势。对照石榴叶片中Mg元素含量在花后第28天显著低于3个处理叶片中的含量,至花后第56天迅速升高至与 $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理相当水平,而此时 5 、 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理叶片中Mg含量显著高于 $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和对照;第84~112天对照石榴叶片中Mg元素含量略有降低,至采收前即花后第140天,3个处理石榴叶片中Mg含量均高于对照,其中以 5 、 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 叶片中Mg含量与对照相比差异最显著。表明外施Ca源一定程度上能增加石榴叶片中Mg元素的含量,且Mg元素含量随外源钙浓度的增加而增加。

如图3-B所示,‘泰山红’石榴果实发育过程中果皮中Mg元素含量呈逐渐降低的趋势,其中对照和 1 、 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 2个处理果皮中Mg元素含量在整个果实发育期内变化趋势一致,花后28~56 d果皮中Mg元素含量较高,56~112 d 3者中Mg元素含量下降迅速,第112~140天3者含量变化平稳,均维持在较低水平,且其含量无显著差异;而 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理在花后第28~84天果皮中Mg元素含量稳定在较高水平,第84~112天其含量迅速降低,至112~140 d Mg元素含量趋于定值降至最低。表明中等浓度的外源Ca一定程度上能使‘泰山红’石榴果实发育前、中期果皮中Mg元素含量维持在较高水平,但浓度过高或过低均无显著影响。

2.4 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中Fe元素含量的影响

如图4-A表明,‘泰山红’石榴叶片中Fe元素含量在整个发育期内,对照和 $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理叶片发育趋势一致,呈先升高后降低的趋势,2者均在花后第84天含量达峰值,但对照叶片中Fe元素含量峰值显著高于 $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理;而 5 、 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 两处理叶片中Fe含量在整个发育期内均呈逐渐升高的趋势,2者均在生长末期含量达到最高,除花后第56天含量差异显著外,其他时期差异均不显著。表明不同浓度的外源钙处理对石榴叶片Fe元素含量影响有差异,低浓度的钙使石榴叶片生长发育中期Fe元素含量降低,对其发育前期和发育末期Fe元素含量无显著影响;而中、高浓度外源钙一定程度上降低了石榴叶片生长发育前期Fe元素含量,使石榴叶片生长发育后期Fe元素含量显著提高。

如图4-B所示,对照和3个处理‘泰山红’石榴果皮中Fe元素含量在整个发育期内变化趋势一致,Fe元素含量在整个发育期内变化幅度小,其含量均

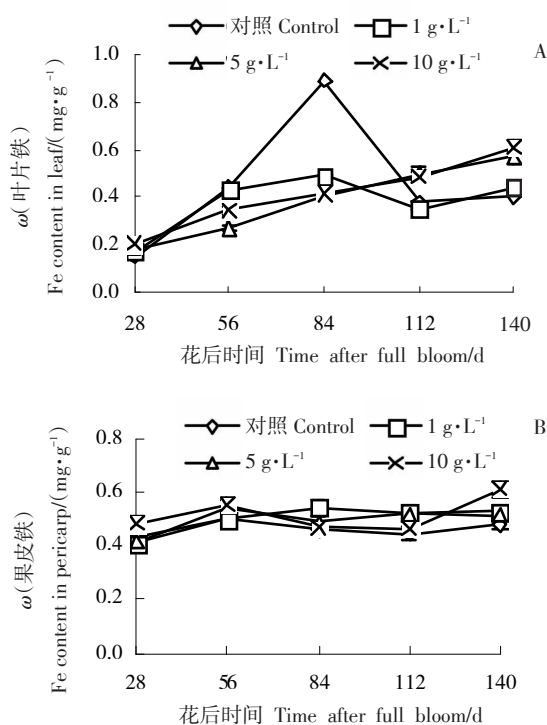


图4 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中Fe元素含量的影响

Fig. 4 Effects of exogenous calcium on iron content of pomegranate leaf and pericarp during the growth period

为 $0.4\sim0.6\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。3个处理对石榴果皮中Fe元素含量作用不显著,仅在采收前, $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理果皮中Fe元素含量显著高于对照和 1 、 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。表明外源钙对石榴果皮中Fe元素含量影响较小,仅在高浓度外源钙作用下能提高石榴果皮中发育后期的Fe元素含量。

2.5 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中Mn元素含量的影响

如图5-A所示, $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理‘泰山红’石榴叶片发育期内,Mn元素含量变化幅度较小,对照和 5 、 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理Mn元素含量均呈“W”型变化趋势。即果实发育初期和末期含量相对较高,中期含量相对较低;以 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理叶片中Mn元素含量最高,显著高于 1 、 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和对照。表明外源钙对石榴叶片Mn元素的吸收有影响,一定范围内外源钙能促进石榴叶片对Mn元素的吸收,但浓度过高、过低均不利于Mn元素的吸收,只有适宜的外源钙浓度(本试验浓度 $5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)才能使Mn元素含量达最高。

如图5-B所示,‘泰山红’石榴果皮中Mn元素含量呈类似“S”型变化趋势,对照和 $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理变化趋势一致, 5 、 $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ Mn元素含量变化趋势一致。对

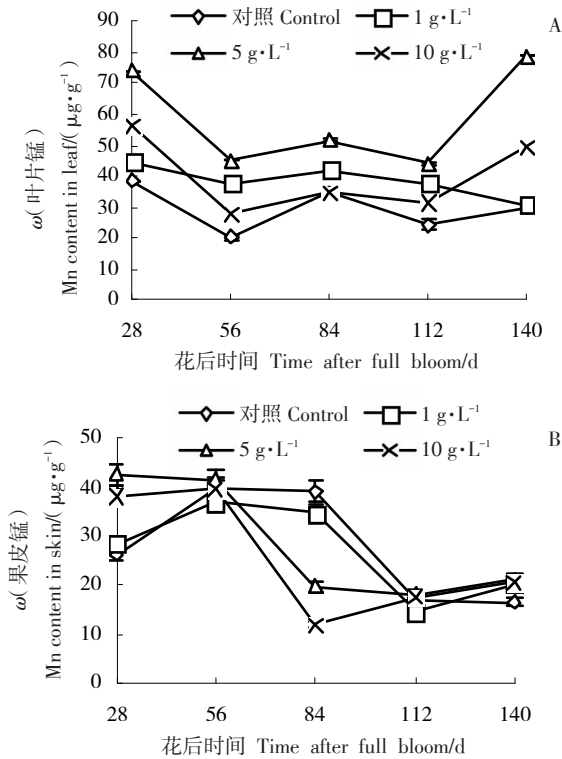


图 5 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中 Mn 元素含量的影响

Fig. 5 Effects of exogenous calcium on manganese content of pomegranate leaf and pericarp during the growth period

照和 1 g·L⁻¹ 处理在花后第 28 天果皮中 Mn 元素含量显著低于 5、10 g·L⁻¹ 处理, 28~56 d 迅速升高, 达含量高峰, 56~84 d Mn 元素含量略有下降, 但仍维持在较高水平, 之后迅速降低, 至第 112 天对照和 3 个处理 Mn 元素含量无显著差异, 第 140 天 3 个处理果皮中 Mn 元素含量均显著高于对照。表明外源钙一定程度上能降低石榴发育前期果皮中 Mn 元素含量, 随外施钙浓度的增大, Mn 元素含量降低, 至采前 5、10 g·L⁻¹ 处理果皮中 Mn 元素含量显著高于对照。

2.6 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中 Zn 元素含量的影响

如图 6-A 所示‘泰山红’石榴叶片中 Zn 含量, 除 5 g·L⁻¹ 处理外, 均呈先升高后降低的趋势, 其中对照叶片中 Zn 元素含量在花后第 56~84 天迅速升高, 之后 84~112 d 迅速降低; 1、10 g·L⁻¹ 处理叶片在花后第 28~58 天 Zn 元素含量迅速升高, 第 56~84 天 Zn 元素含量迅速降低, 之后第 84~140 天含量较稳定; 5 g·L⁻¹ 处理叶片中 Zn 元素含量在整个发育期内变化幅度较小, 呈逐渐升高的趋势。表明高浓度 (10 g·L⁻¹) 或低浓度 (1 g·L⁻¹) 的外源钙一定程度上使石榴叶片中

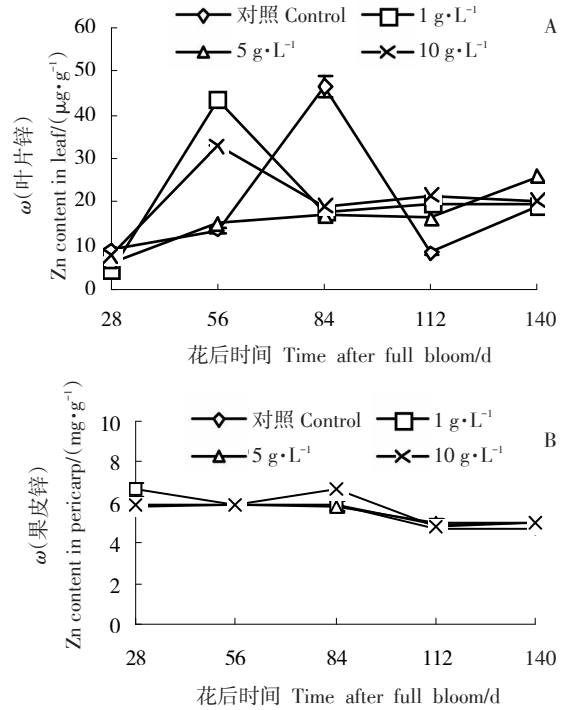


图 6 外源钙对石榴发育期内叶片和果皮中 Zn 元素含量的影响

Fig. 6 Effects of exogenous calcium on zinc content of pomegranate leaf and pericarp during the growth period

Zn 元素含量高峰提前, 而中等浓度的外源钙 (5 g·L⁻¹) 使整个生长发育期内叶片中 Zn 含量稳定在一定水平。

如图 6-B 所示, ‘泰山红’石榴对照和 3 个处理果皮中 Zn 元素含量均较低, 整个发育期内变化幅度较小, 对照和 1、10 g·L⁻¹ 处理果皮中 Zn 元素含量均呈缓慢降低趋势, 2 者含量变化曲线一致, 且 Zn 元素含量均无显著差异。表明外源钙对‘泰山红’石榴果实生长发长期果皮中 Zn 元素含量影响较小。

2.7 外源钙对石榴发育期内叶片中 Cu 元素含量的影响

如图 7 所示, 对照和 3 个处理‘泰山红’石榴叶片中 Cu 元素含量均呈先升高后降低的趋势。对照叶片中 Cu 元素含量在花后第 56~84 天迅速增加, 之后逐渐降低; 1 g·L⁻¹ 处理在花后 56~112 d 迅速增加, 之后迅速降低; 5 g·L⁻¹ 处理石榴叶片中 Cu 元素含量在花后第 28~84 天变化平稳, 在 84~112 d 含量增加较快, 之后降低; 10 g·L⁻¹ 处理石榴叶片 Cu 元素含量基本维持在固定值, 整个发育期内变化不显著。表明外源钙在一定程度上降低了果实发育前期叶片对 Cu 元素的吸收, 且浓度越大, 果实发育期内叶片中 Cu

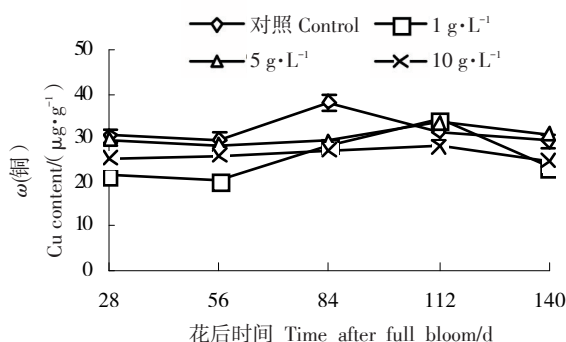


图7 外源钙对石榴发育期内叶片中Cu元素含量的影响

Fig. 7 Effects of exogenous calcium on copper content of pomegranate leaf during the growth

元素含量越低。

3 讨论

石榴果实整个生长发育期可分为幼果期、果实膨大期、果实转色期和成熟期4个时期。试验表明石榴不同生长发育期叶片和果实对7种元素的吸收利用不同。叶片中除Ca、Mg、Zn、Cu含量显著高于同期果皮中该元素含量,K、Fe、Mn 3种元素在果皮中含量与叶片中各元素的含量水平相当。

石榴不同发育期叶片中,Ca、Mg元素含量逐渐增加,且随着外源钙浓度的增加,钙含量显著增加。试验中测得石榴叶片中Ca元素在发育期内不断积累,外源钙能显著提高‘泰山红’石榴叶片和果皮中的Ca含量,且随着外施浓度的提高,钙含量显著增加。笔者课题组前期试验也表明,抗裂果的‘泰山红’石榴果皮中钙含量显著高于易裂果的‘三白甜’石榴^[12],这与在荔枝上的研究:抗裂的荔枝品种‘怀枝’果皮细胞壁的Ca含量比易裂的‘糯米糍’高,其细胞壁结合外源钙的能力也强于后者^[13-14]相一致,石榴上不同品种果皮结合外源钙的差异尚需进一步研究。

K和Mg均是植物生长发育必需的重要大量元素,在植物生长发育过程中起着重要的作用。前者在植物体内以离子形态存在,其作用主要是促进光合作用和碳水化合物的代谢、促进氮素的代谢、提高植物水分利用率及抗逆性;后者是叶绿素的组成部分,也是许多酶的活化剂,与碳水化合物的代谢、磷酸化作用、脱羧作用关系密切。汝学娟等^[15]对番茄裂果试验表明,K、Ca、Mg含量高,番茄果实裂果率降低,K、Ca、Mg含量与裂果率呈极显著负相关。

本试验中外源钙对石榴不同发育期内叶片及果实中K和Mg元素含量影响不同,在采收前外源钙降低了叶片中K元素含量,而增加了果皮中K元素含量;中等浓度的外源钙对增加石榴叶片和果皮中的Mg元素含量有一定作用。李华东等^[16]发现在一定质量浓度范围(0.5~3.5 g·L⁻¹)内,叶面喷施钙肥可提高籽果叶片、果皮、果肉及果核的Ca含量,对叶片K、Mg含量有一定的拮抗作用,从而降低叶片K、Mg含量,但对果实K、Mg含量总体影响不显著。与对照相比,叶面喷施硝酸钙可明显提高果实糖酸比,降低可滴定酸含量;同时叶面喷施硝酸钙可显著提高果实维生素C含量,降低贮藏期果实发病率,但对籽果果实可溶性固形物、可溶性糖含量及产量均无显著影响。而外源钙对石榴果实品质的影响尚需进一步研究。

Fe、Mn、Cu、Zn是植物生长发育必需的4种微量元素,微量元素在植物体内含量虽少,但对植物的生长发育有着重要的作用,是植物体内具有较强专一性酶或辅酶的组成部分,在作物生长发育过程中不可或缺、无法代替。因此当任何一种微量元素不足时,植物的生长发育将会受到明显的抑制,致使果实品质下降^[17]。本试验中外源钙对4种微量元素在叶片和果皮中含量的影响不同,但在石榴发育后期外源钙总体增加了石榴叶片和果皮中Fe和Mn元素的含量,而对采前叶片和果皮中Zn元素含量无显著影响,采前叶片中Cu元素含量受外施钙源浓度影响,中等浓度外源钙使叶片中Cu元素含量略高于对照,而高浓度和低浓度均降低了‘泰山红’石榴采前叶片中Cu元素含量。Ca元素与4种微量元素在植物体内的互作关系尚需进一步研究。

温明霞等^[18]通过在锦橙不同生长期进行树体补钙表明,锦橙生长期喷钙能提高果实钙含量和果实中抗氧化酶活性,降低细胞壁水解酶、过氧化物酶活性,减轻脂质过氧化程度,延缓果胶的分解转化速度,可溶性果胶的含量明显降低,从而维持果皮具有一定的强度,延缓了果实的衰老,降低烂果的发生率,延长了果实的贮藏保鲜期。幼果期喷钙在提高果实Ca含量、延长贮藏期等方面的效果较好,其次是果实膨大期喷钙,成熟期喷钙效果最差。刘鸿洲等^[19]对荔枝果实采后钙处理的研究也表明,纤维素酶、果胶酶和多聚半乳糖醛酸酶活性受到了抑制。石榴成熟期易裂果,外施钙源对石榴裂果生理如细

胞壁代谢相关酶的影响将在后续试验中继续研究。

参考文献 References:

- [1] 李保印. 石榴[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 3-4.
LI Baoyin. Pomegranate [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2004: 3-4.
- [2] 韩玲玲, 苑兆和, 冯立娟, 杨尚尚, 朱峰. 不同石榴品种果实成熟期酚类物质组分与含量分析[J]. 果树学报, 2013, 30(1): 99-104.
HAN Lingling, YUAN Zhaohe, FENG Lijuan, YANG Shangshang, ZHU Feng. Analyse on polyphenol composition and contents of different pomegranate cultivars at fruit maturation stage [J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30 (1): 99-104.
- [3] SELCUK N, ERKAN M. Changes in antioxidant activity and post-harvest quality of sweet pomegranates cv. Hicrannar under modified atmosphere packaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 92 (1): 29-36.
- [4] SELCUK N, ERKAN M. Changes in phenolic compounds and antioxidant activity of sour-sweet pomegranates 'Hicaznar' during long-term storage under modified atmosphere packaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 109(9): 30-39.
- [5] 陈立松, 刘星辉. Ca^{2+} 与果树抗逆性的关系[J]. 亚热带植物科学, 2001(4): 61-67.
CHEN Lisong, LIU Xinghui. Relationship between Ca^{2+} and stress-resistance of fruit tree[J]. Subtropical Plant Science, 2001 (4): 61-67.
- [6] 陈立松, 刘星辉. 植物体内 Ca^{2+} 信使系统及其与抗逆性的关系[J]. 福建农业大学学报, 1997, 26(3): 291-297.
CHEN Lisong, LIU Xinghui. Relationship between Ca^{2+} and stress-resistance of fruit tree [J]. Journal of Fujian Agricultural University, 1997, 26(3): 291-297.
- [7] GRAZIANO Z, ILARIA M. Calcium physiology and metabolism in fruit tree [J]. Acta Horticulturae, 1995, 383: 15-23.
- [8] 张承林. 果实品质与钙素营养[J]. 果树科学, 1996, 13(2): 119-123.
ZHANG Chenglin. Fruit quality and calcium nutrition[J]. Journal of Fruit Science, 1996, 13(2): 119-123.
- [9] BRAMLAGE W J, DRAKE M, BAKER J H. Changes in calcium level in apple cortex tissue shortly before harvest and during post-harvest storage[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 1979, 10(1/2): 417-426.
- [10] 钟伟良, 袁炜群, 黄旭明, 王惠聪, 李建国, 张承林. 荔枝果皮对外源钙和蔗糖吸收及向细胞壁沉着的研究[J]. 果树学报, 2006, 23(3): 350-354.
ZHONG Weiliang, YUAN Weiqun, HUANG Xuming, WANG Huicong, LI Jianguo, ZHANG Chenglin. A study on the absorption of exogenous calcium and sucrose and their deposit on to the cell walls in litchi pericarp[J]. Journal of Fruit Science, 2006, 23(3): 350-354.
- [11] HUANG X M, WANG H C, LI J G. An overview of calcium's role in lychee fruit cracking [J]. Acta Horticulturae, 2005, 665: 231-240.
- [12] 杨雪梅, 尹燕雷, 冯立娟, 武冲, 王菲. 石榴果实发育期内 6 种矿质元素含量变化[J]. 山东农业科学, 2017, 49(1): 59-64.
YANG Xuemei, YIN Yanlei, FENG Lijuan, WU Chong, WANG Fei. Content changes of six kinds of mineral elements in pomegranate fruit during development period [J]. Journal of Shandong Agricultural Science, 2017, 49(1): 59-64.
- [13] HUANG X M, YUAN W Q, WANG H C. Early calcium accumulation may play a role in spongy tissue formation in litchi pericarp [J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2004, 79 (6): 947-952.
- [14] HUANG X M, WANG H C, GAO F F. A comparative study of the pericarp of litchi cultivars susceptible and resistant to fruit cracking[J]. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 1999, 74(3): 351-354.
- [15] 汝学娟, 郑阳, 杨琦凤, 潘光辉. 矿质元素致番茄裂果的影响机理研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(1): 259-262.
RU Xuejuan, ZHENG Yang, YANG Qifeng, PAN Guanghui. Effects of different mineral elements on tomato fruit cracking[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(1): 259-262.
- [16] 李华东, 白亭玉, 郑妍, 林电. 叶施硝酸钙对芒果钾、钙、镁含量及品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(3): 63-68.
LI Huadong, BAI Tingyu, ZHENG Yan, LIN Dian. Effects of spraying calcium nitrate on potassium, calcium and magnesium contents and quality of mango[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2016, 44(3): 63-68.
- [17] 叶胜兰. Fe、Zn 对山地梨枣生长特性、产量品质及微量元素含量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
YE Shenglang. Effect of iron, zinc fertilizers on rowth, quality and the content of microelement on pear-jujube of in the loess plateau[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2013.
- [18] 温明霞, 石孝均. 生长期喷钙提高锦橙果实品质及延长贮藏期[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 274-281.
WEN Mingxia, SHI Xiaojun. Improve fruit quality and prolong storage time of Jincheng orange by calcium sprayed ingrowth period[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2013, 29(5): 274-281.
- [19] 刘鸿洲, 尤瑞琛, 黄维南. 荔枝果实采后钙处理对三种酶活性的影响[J]. 亚热带植物通讯, 1996, 25(2): 1-5.
LIU Hongzhou, YOU Ruishen, HUANG Weinan. Effects of postharvest calcium treatments to litchee fruits on the activities of three kinds of enzymes[J]. Subtropical Plant Science, 1996, 25 (2): 1-5.