

不同浓度的NaCl处理对葡萄果实品质形成的影响

孙红, 岳倩宇, 相广庆, 翟衡, 姚玉新*

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, 农业部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 山东泰安271018

摘要: 本文测定了不同浓度的盐(NaCl)长期喷施叶片对葡萄果实品质形成的影响。各浓度的盐处理均大幅度提高了果实Na⁺含量。低浓度(20 mmol·L⁻¹)和中浓度(50 mmol·L⁻¹)的盐对果实生长未造成显著影响, 而高浓度(100和150 mmol·L⁻¹)的盐在发育后期利于单果重增加。中、低浓度, 尤其是50 mmol·L⁻¹的盐促进了花青素积累, 提高了果实可溶性固形物含量和发育后期的固酸比; 而高浓度的盐不利于着色和可溶性固形物含量积累, 对果实酸度影响不大, 降低了固酸比。不同浓度的盐处理均显著降低了果实总的香气种类和浓度; 果实中酯类物质对盐敏感, 盐处理提高了(*E*)-2-己烯-1-醇和(*E*)-4-己烯-1-醇的含量。总之, 盐处理不利于果实香气的形成; 中、低浓度, 尤其是50 mmol·L⁻¹的盐有利于着色和糖酸积累, 高盐则不利于品质形成, 原因之一在于影响了叶片功能。

关键词: ‘巨峰’葡萄; NaCl处理; 叶面喷施; 不同发育阶段; 果实品质

盐碱、低温、干旱等非生物胁迫影响了果树的生长、发育和产量。为了应对这些胁迫因子果树在长期进化过程中形成了各种防御机制, 其中一个重要机制就是积累防御性次生代谢物质和渗透调节物质; 这些物质本身为果实品质的重要组成部分(Ramakrishna和Ravishankar 2011)。因此, 适度的胁迫处理能改善果实品质。盐能提高番茄的糖、酸、氨基酸、番茄红素和各种抗氧化物质的含量, 提高其营养价值, 使其更具消费吸引力(Krauss等2006; Lu等2010); 叶面喷施稀释的海水能够提高‘富士’苹果的花青素和可溶性固形物含量, 在不影响产量的情况下提高果实品质(Zheng等2013); 此外, 适度的盐处理也能提高草莓的果实品质(Galli等2016)。基于盐对果实品质的调节, Keutgen和Pawelzik (2008)、薛志忠等(2017)提出在适宜的盐逆境环境及相配套的栽培技术保证下, 盐处理可用于改善风味、提高一些次生代谢物的积累; 尤其是, 通过适度、甚至较高浓度的盐处理来提高番茄果实品质已在番茄水培体系中得到广泛应用(Sato等2006)。

但是, 过高浓度的盐处理会导致电解质渗漏, 降低叶绿素和类胡萝卜素的含量, 致使蛋白质降解, 进而导致营养缺乏、离子紊乱和生长失调, 严重情况下会导致植株死亡(Rahimi和Biglarifard 2011)。在葡萄上研究发现, 随着叶面喷施海水频率的增加, 叶片开始黄化、脱落, 果实可溶性固形物和花青素含量下降(Song和Ryou 2008)。因此, 处理浓度和频率是利用盐来改善果实品质需要控

制的两个重要环节。本文主要评价不同浓度的盐处理对不同发育阶段果实品质指标的影响, 动态检测盐处理对果实品质形成的影响, 以期通过长期叶面喷施NaCl提高葡萄果实品质提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点

试验基地位于东经117.0°、北纬36.7°, 属于暖温带半湿润性季风气候; 年平均气温为12.9°C, 10°C以上积温4 213°C, 年平均降水量约700 mm, 年平均日照数2 627 h。

1.2 试验材料与处理

试验试材为8年生‘巨峰’(‘Kyoho’)葡萄(*Vitis vinifera* L. × *Vitis labrusca* L.)。NaCl叶片喷施浓度为0、20、50、100和150 mmol·L⁻¹, 第一次喷施时间为花后50 d, 以后每隔7 d喷施一次, 共5次; 每个浓度处理30棵树, 每10棵构成1个重复, 共3个重复。于花后50、60、70、85、90和105 d分别取样, 叶片用于测定离子、叶绿素和电导率, 果实用于测定品质指标。果实取样方式为: 每棵树随机取3个果穗, 每穗分别从果肩、果中和果梢各取3个果粒, 最后混合后用于测定。

收稿 2017-10-20 修定 2017-12-13

资助 山东省自然科学基金(ZR2015CM014)和国家葡萄产业技术体系建设项目(CARS-30)。

* 通讯作者(yaoyx@sdau.edu.cn)。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 Na⁺和Cl⁻含量测定

果肉组织于70°C干燥48 h, 研磨后与硝酸和硫酸(4:1, V/V)混合提取, 过滤, 稀释, Na⁺含量用原子吸收分光光度计(Perkin Elmer AA300, PerkinElmer Inc., Waltham, MA, USA)测定; Cl⁻利用银离子滴定法, 即在稀释液中加入3滴8% K₂CrO₄, 然后利用0.05 mol·L⁻¹ AgNO₃滴定。

1.3.2 果实可溶性固形物(total soluble solid, TSS)、可滴定酸、花青苷相对含量的测定

果肉混合, 研磨, 112×g离心15 min, 收集上清液, 测定TSS和可滴定酸含量。TSS利用数显折射仪测定。可滴定酸利用酸碱滴定: 取5 mL上清, 用0.1 mol·L⁻¹ NaOH溶液滴定至pH为8.3, 结果转化为酒石酸等量物。取0.5 g研磨的果皮, 与10 mL、1%的HCl充分混合, 黑暗提取24 h, 13 000×g离心5 min, 取上清液, 参照Neff和Chory (1998)的方法测定相对花青苷含量, 利用紫外分光光度计(SHIMADZU UV-2450, Kyoton, Japan)测定530和657 nm吸光值, 花青苷相对含量利用以下公式计算 $OD=A_{530}-0.25\times A_{657}$ 。

1.3.3 香气成分提取与测定

挥发性香气物质利用顶空固相萃取进行提取, 萃取前将50/30 μm的DVB/CAR/PDMS (Supelco, Bellafonte, PA, USA)的萃取头在气质联用仪上老化处理1 h, 然后取30 g匀浆的果肉放入带盖的玻璃瓶中, 同时加入10 μL、0.4 g·L⁻¹的3-壬酮作为内标, 密封玻璃瓶。将萃取头插在玻璃瓶盖上, 35°C吸附40 min, 然后插入色谱仪进样口, 于250°C解析5 min。

气质联用仪为GC/MS QP2100 Plus (Shimadzu, Kyoto, Japan), 配备TurboMatrix顶空进样器、HS40 Trap (Perkin Elmer, Norwalk, CT, USA)和RTX-5毛细管(30 cm×0.25 mm×0.25 μm) (Shimadzu, Kyoto, Japan)。进样口250°C; 程序升温条件为30°C保持3 min, 以3°C·min⁻¹升至50°C, 然后以10°C·min⁻¹升至2 303°C; 载气为氦气, 流速为0.8 mL·min⁻¹; 不分流进样; 电离方式EI (70 eV), 离子源温度250°C, 质量扫描范围45~450 amu, 发射电流100 μA。

1.3.4 叶绿素和相对电导率测定

参照赵世杰等(2002)的方法, 取叶片, 去叶脉, 混匀后称取0.3 g, 置于50 mL的试管中, 加入96%的

乙醇, 室温黑暗提取48 h, 期间多次混匀, 用紫外分光光度计测定663nm和645nm下的吸光值, 然后计算总叶绿素含量(C_T), 计算公式 $C_T=20.19\times D_{645}+8.05\times D_{663}$ 。

电导率的测定参照赵世杰等(2002)方法。

1.3.5 统计分析

数据方差和差异显著性分析利用DPS7.05, 显著性分析利用Duncan's新复极差法, 测试水平为5%。

2 实验结果

2.1 不同浓度的NaCl处理对葡萄果实Na⁺、Cl⁻含量及果实表型的影响

四个浓度(20、50、100、150 mmol·L⁻¹)的NaCl处理均能显著提高果实中的Na⁺含量, 并且盐浓度和果实Na⁺含量呈正相关; 在花后60 d, 四个处理分别使果实Na⁺比对照增加了0.6、0.74、2.36和4.01倍; 在花后85 d, 增加幅度最大, 分别为对照的2.34、5.44、7.24和8.62倍。停止处理后, 在花后105 d Na⁺含量下降(图1-A)。相比之下, NaCl处理对果实Cl⁻含量的影响较小; 在花后85和90 d, 四种处理均显著提高了Cl⁻含量, 增量在0.33~0.52倍; 在其他时期, 不同浓度的NaCl处理对Cl⁻含量产生了不同程度的影响(图1-B)。

2.2 不同浓度的NaCl处理对葡萄果实大小、花青苷、可溶性固形物和酸含量的影响

盐处理在不同发育阶段对果实大小产生了不同影响; 在花后60和70 d, 不同浓度的NaCl处理均不利于果实生长, 尤其是在花后70 d, 差异达到显著水平, 并且果实大小与盐浓度呈反比。相比之下, 在花后85和90 d, 20和50 mmol·L⁻¹的NaCl处理未对单果重造成显著性影响, 而100和150 mmol·L⁻¹趋向于提高单果重; 在花后105 d (成熟期), 150 mmol·L⁻¹的NaCl处理较对照显著提高了单果重(图2-A)。

在花后60和70 d, 不同浓度的NaCl处理均未对花青苷含量产生显著性影响。从花后85 d至成熟, 20和50 mmol·L⁻¹的NaCl显著促进了花青苷积累; 在花后90 d, 提高幅度分别达到20%和29.7%。相比之下, 100和150 mmol·L⁻¹ NaCl处理不利于着色, 在花后105 d, 比对照下降了13.1%和15.8% (图2-B)。

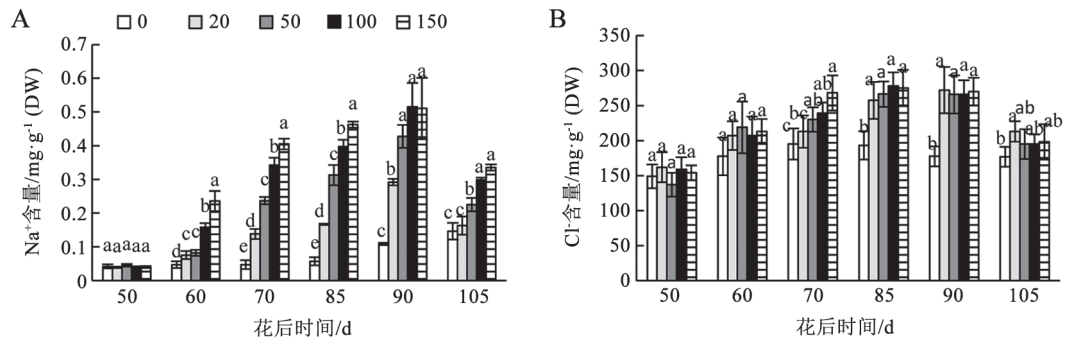


图1 不同浓度的NaCl处理对葡萄果实中Na⁺和Cl⁻含量的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of NaCl treatment on Na⁺ and Cl⁻ contents in grape berry

图例中0、20、50、100和150表示NaCl喷施浓度(mmol·L⁻¹), 图中同一取样时间不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同。

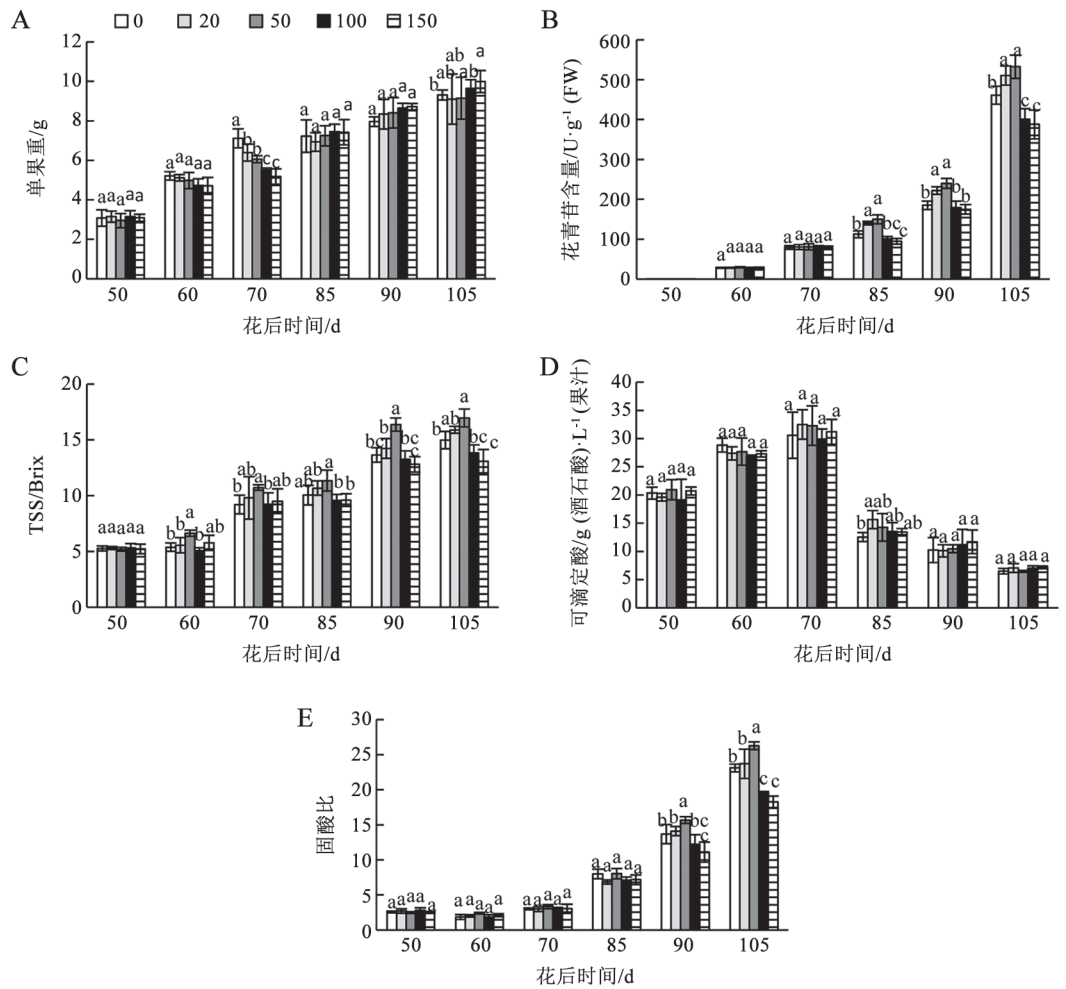


图2 不同浓度的NaCl处理对葡萄果实单果重、花青苷、可溶性固形物、酸含量及固酸比的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of NaCl treatment on single berry weight, anthocyanin, TSS, acidity and the ratio of TSS to acidity in grape berry

20 mmol·L⁻¹的NaCl处理在成熟期显著提高了TSS含量, 比对照提高0.92 Brix; 50 mmol·L⁻¹ NaCl

除花后85 d外在其他时期均显著提高了TSS含量, 在花后90和105 d, 比对照分别提高了1.72和1.92

Brix。相比之下, 100和150 mmol·L⁻¹ NaCl处理不利于果实TSS积累, 150 mmol·L⁻¹ NaCl处理显著降低了成熟果实的TSS含量(图2-C)。相比之下, 除了在花后85 d 20 mmol·L⁻¹ NaCl处理显著提高了可滴定酸含量外, 在其他时期各种浓度的盐对可滴定酸均未造成显著影响(图2-D)。总体上看, 50 mmol·L⁻¹ NaCl处理有利于提高固酸比, 而100和150 mmol·L⁻¹ NaCl降低了固酸比(图2-E)。

2.3 不同浓度的NaCl处理对葡萄果实香气的影响

香气种类和浓度随着果实成熟逐渐增加。香气对盐处理非常敏感, 总体上不同浓度的盐处理在各个发育时期均显著降低了果实香气种类和浓度, 并且在花后90和105 d香气种类和浓度与盐浓度呈负相关。对成熟期(花后105 d)果实而言, 20 mmol·L⁻¹ NaCl处理使香气种类和浓度分别下降了23.7%和25.4%; 150 mmol·L⁻¹ NaCl处理使香气种类和浓度分别下降了44.7%和53.7% (图3-A和B)。

为了进一步分析香气物质对盐处理的响应, 检测了成熟期含量最高的10种香气物质对不同浓度盐处理的响应(图4)。邻苯二甲酸二乙酯为‘巨峰’果实成熟期含量最高的香气物质, 存在于果实发育的各个时期, 但在转色后浓度明显升高; 在各个时期, 不同浓度的盐处理均降低了该物质含量。邻苯二甲酸二丁酯从花后60 d开始检测到, 其余4种酯类均在花后85 d开始出现, 除奎酸乙酯随成熟下降外其他均为成熟诱导; 与对照相比, 不同浓度的NaCl均降低了上述香气物质的含量。可见酯类物质对盐比较敏感。己-2-烯醛主要存在于转色和成熟果实中, 盐处理未对该物质产生负面影响, 且在花后60、70和90 d均明显提高了该物质含

量。角鲨烯仅在转色后对照果实中检测到, 在盐处理的各阶段果实中均检测不到。相比之下, 盐提高了(*E*)-2-己烯-1-醇和(*E*)-4-己烯-1-醇的含量。

2.4 不同浓度的NaCl处理对葡萄叶片叶绿素含量和相对电导率的影响

为了检测盐处理是否通过影响叶片功能而影响了品质形成, 测定了盐和对照条件下叶片叶绿素含量和相对电导率(图5)。20和50 mmol·L⁻¹ NaCl处理未对叶绿素含量产生不利影响; 尤其是在花后90 d, 上述两个浓度的盐处理均显著提高了叶绿素含量; 在花后105 d, 仅20 mmol·L⁻¹ NaCl处理提高了叶绿素含量。相比之下, 100和150 mmol·L⁻¹ NaCl处理从花后70 d开始显著降低了叶绿素含量(图5-A)。

相对电导率大小直接反应了盐处理对叶片的伤害程度。与对照相比, 150 mmol·L⁻¹ NaCl处理从花后70 d开始显著增加了叶片电导率; 50和100 mmol·L⁻¹ NaCl处理从花后85 d开始显著提高了电导率; 总体上20和50 mmol·L⁻¹ NaCl处理对叶片电导率未产生显著性影响(图5-B)。

以上可见高浓度的盐对叶片造成明显伤害, 降低了叶绿素含量, 影响了碳水化合物积累, 进而影响了果实品质。

3 讨论

本文主要评价了叶面喷施不同浓度的NaCl对葡萄果实品质的影响, 从处理方式上看, 叶面喷施可最大程度减少NaCl对土壤盐渍化的影响; 即使海水灌溉处理, 在自然降水淋溶下连续三年(每年4次)的海水处理对土壤总盐量、比重等理化性状未

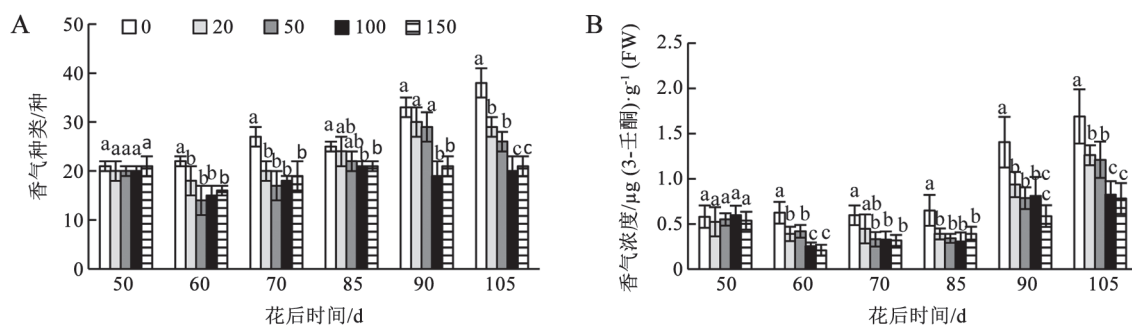


图3 不同浓度的盐处理对葡萄果实香气总种类和浓度的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of salt treatment on aroma variety and concentration in grape berry

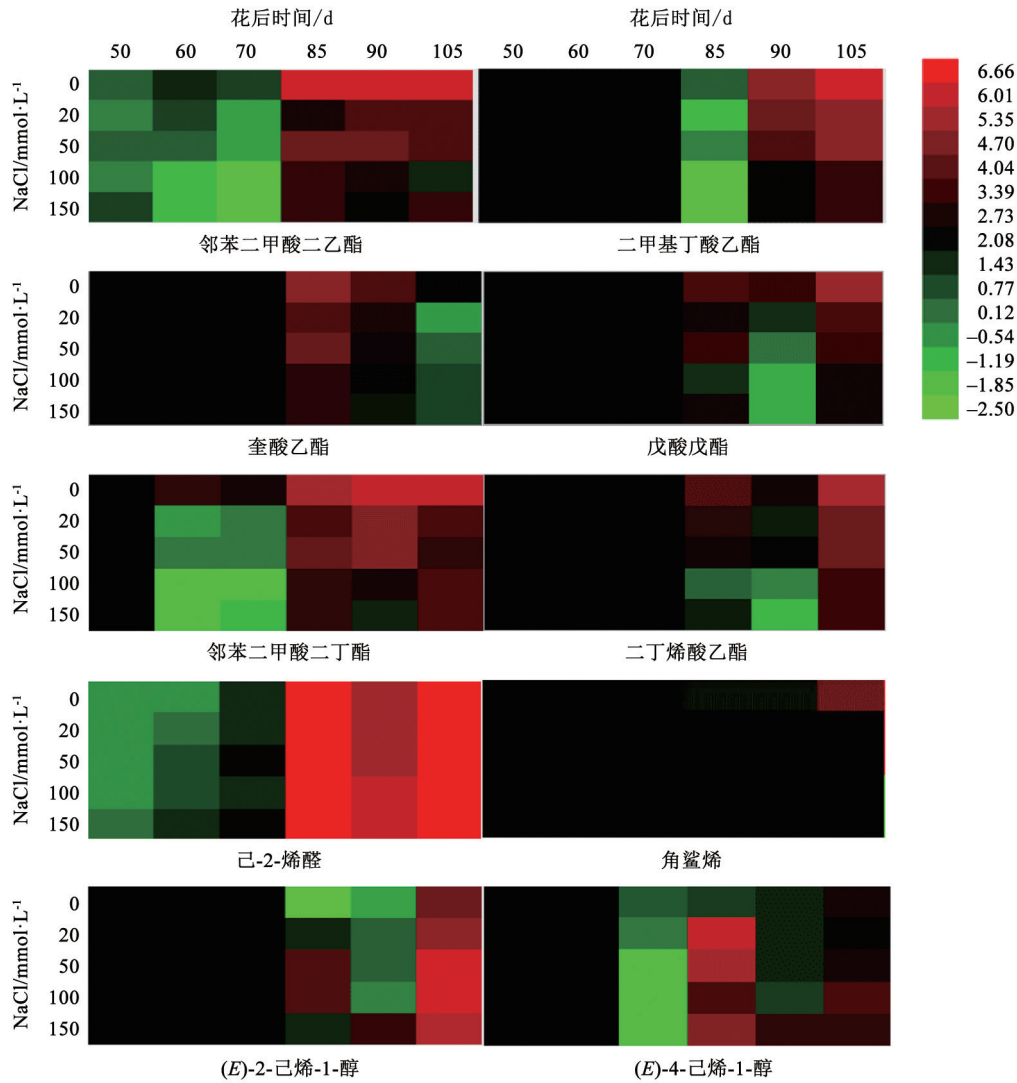


图4 不同浓度的NaCl处理对葡萄果实10种主要香气物质浓度变化的影响

Fig.4 Effects of different concentrations of NaCl treatment on the concentrations of 10 primary aroma volatiles in grape berry
热图数据计算方式: 以对照样品发育前期首次检测到的数值为基值, 其他香气数值均和基值相比, 然后取log₂值。

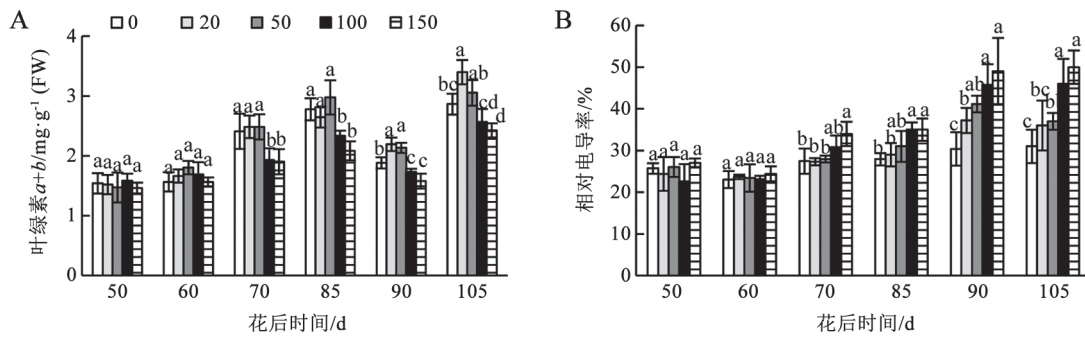


图5 不同浓度的NaCl处理对葡萄叶片叶绿素和电导率的影响

Fig.5 Effects of different concentrations of salt treatment on chlorophyll content and electrolyte leakage in grape leaves

造成显著影响,总盐量仅增长0.01个单位(王杨等2016)。因此,叶面喷施NaCl不会导致土壤盐渍化。

植物对盐的响应存在两个阶段:一为渗透响应,在盐处理后几小时植物便可产生渗透响应,渗透调节不利于植物生长,能降低植物生长速度、减少叶片膨大和根系数量等(Roy等2014);二为离子响应,在盐胁迫几天或几周后产生离子效应,主要表现为离子积累浓度过高导致毒害作用(Munns和Tester 2008)。本研究中,100和150 mmol·L⁻¹ NaCl处理导致电导率大幅提高和叶绿素含量下降,暗示已经产生毒害作用;但在果实发育后期两种处理增加了单果重,可能在于Na⁺和Cl⁻产生的渗透调节,促进了水分吸收,促进细胞膨大和生长(Cramer等2007)。

本研究中,20和50 mmol·L⁻¹ NaCl处理显著提高了果皮花青苷含量。作为黄酮类物质,花青素能响应包括盐胁迫在内的各种非生物胁迫(Treutter 2006);并且在葡萄上也发现着色关键调控基因MYB、bHLH和WDR等均响应非生物胁迫(Matus等2010)。以上研究表明盐响应途径和花青素代谢途径可能存在交叉点。TSS主要包含可溶性糖,一定程度上决定了果实的风味,尤其是固酸比通常作为评价果实风味的重要指标。本研究中,轻、中度盐处理,尤其是50 mmol·L⁻¹的盐处理显著增加了固酸比,表明提高了果实风味;相比之下,高盐处理降低固酸比和果实风味。盐处理对碳水化合物的影响原因可能在于以下几个方面:一为渗透调节,盐积累促进了可溶性糖等渗透调节物质的积累(Cramer等2007);二为适度的盐处理通过提高蔗糖、淀粉代谢相关基因的表达和酶活性来提高糖积累(Lu等2010);三为盐影响了光合作用,前人研究也证实了中等浓度盐处理可以增加杨树和葡萄的光合作用,而高盐降低了它们的光合作用(Chen等2009; Walker等2002);适度海水处理促进植株根系活力及根系长度及侧根数量,提高保护酶活性和叶绿素含量。

香气是果实品质基本组分之一,葡萄香气包含了酯类、醇类、萜烯类和酮类等。‘巨峰’葡萄主要香气为酯类。目前关于盐对葡萄香气的影响少有报道。本研究首次发现绝大部分香气物质对不同浓度的盐均较敏感,这可能成为通过叶面喷

施提高葡萄品质的限制因素之一。但本研究也发现了己-2-烯醛等几种物质受盐诱导;相似的,研究发现在番茄上己烯醛受冷胁迫诱导(Domínguez等2010);暗示这些物质可能参与了抗逆响应。相比之下,王杨(2016)发现长期10%海水浇灌能显著增加‘赤霞珠’葡萄的挥发性香气,主要增加的是1-己醇和顺-2-己烯-1-醇。表明根系和叶片对盐可能具有不同的响应途径。

总之,长期叶面喷施NaCl能显著提高果实Na⁺积累,中、低浓度的盐,尤其是50 mmol·L⁻¹的盐处理能显著提高花青素、TSS和固酸比;高浓度的盐不利于品质形成,原因之一在于对叶片造成伤害。‘巨峰’葡萄果实香气种类和浓度对各种浓度的盐处理均较为敏感。

参考文献(References)

- Chen W, Zhou D, Guo W, et al (2009). Effects of salt stress on growth, photosynthesis and solute accumulation in three poplar cultivars. *Photosynthetica*, 47 (3): 415–421
- Cramer GR, Ergül A, Grimplet J, et al (2007). Water and salinity stress in grapevines: early and late changes in transcript and metabolite profiles. *Funct Integr Genomics*, 7: 111–134
- Domínguez T, Hernández ML, Pennycooke JC, et al (2010). Increasing omega-3 desaturase expression in tomato results in altered aroma profile and enhanced resistance to cold stress. *Plant Physiol*, 153: 655–665
- Galli V, da Silva Messias R, Perin EC, et al (2016). Mild salt stress improves strawberry fruit quality. *LWT Food Sci Technol*, 73: 693–699
- Keutgen AJ, Pawelzik E (2008). Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food Chem*, 107: 1413–1420
- Krauss S, Schnitzler WH, Grassmann J, et al (2006). The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *J Agric Food Chem*, 54: 441–448
- Lu SW, Li TL, Jiang J (2010). Effects of salinity on sucrose metabolism during tomato fruit development. *Afr J Biotechnol*, 9 (6): 842–849
- Matus JT, Poupin MJ, Cañón P, et al (2010). Isolation of WDR and bHLH genes related to flavonoid synthesis in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Plant Mol Biol*, 72: 607–620
- Munns R, Tester T (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev Plant Biol*, 59: 651–681
- Neff MM, Chory J (1998). Genetic interactions between phytochrome A, phytochrome B, and cryptochrome 1 during

- Arabidopsis* development. *Plant Physiol*, 118 (1): 27–35
- Rahimi A, Biglarifard A (2011). Influence of NaCl salinity and different substrates on plant growth, mineral nutrient assimilation and fruit yield of strawberry. *Not Bot Horti Agrobot*, 39 (2): 219–226
- Ramakrishna A, Ravishankar GA (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal Behav*, 6: 1720–1731
- Roy SJ, Negrao S, Tester M (2014). Salt resistant crop plants. *Curr Opin Biotechnol*, 26: 115–124
- Sato S, Sakaguchi S, Furukawa H, et al (2006). Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristic of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Sci Hortic*, 109: 248–253
- Song GC, Ryou MS (2008). Effects of seawater spraying and water washing on vine growth and fruit quality of ‘Campbell Early’ grapevines. *Hortic Environ Biotechnol*, 49 (6): 393–396
- Treutter D (2006). Significance of flavonoids in plant resistance: A review. *Environ Chem Lett*, 4: 147–157
- Walker RR, Blackmore DH, Clingeleffer PR, et al (2002). Effect of salinity and Ramsey rootstock on ion concentrations and carbon dioxide assimilation in leaves of drip irrigated, field-grown grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana). *Aust J Grape Wine Res*, 3: 66–74
- Wang Y (2016). The effect of continuous seawater irrigation on soil and fruit quality (dissertation). Taian, Shandong: Shandong Agricultural University (in Chinese with English abstract) [王杨(2016). 长期海水灌溉对赤霞珠果实品质及土壤性质的影响(学位论文). 山东泰安: 山东农业大学]
- Xue ZZ, Yang YH, Zhang W, et al (2017). Effects of salt stress on the quality of fruits and vegetables. *Mod Agric Sci Technol*, 12: 63–64 (in Chinese with English abstract) [薛志忠, 杨雅华, 张薇等(2017). 盐胁迫对果蔬作物品质的影响综述. *现代农业科技*, 12: 63–64]
- Zhao SJ, Shi GA, Dong XC (2002). *Technology of Plant Physiological Experimental*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press (in Chinese) [赵世杰, 史国安, 董新纯(2002). *植物生理学实验指导*. 北京: 中国农业科学技术出版社]
- Zheng WW, Chun IJ, Hong SB, et al (2013). Vegetative growth, mineral change, and fruit quality of ‘Fuji’ tree as affected by foliar seawater application. *Agric Water Manage*, 126: 97–103

Impacts of different concentrations of NaCl on formation of grape berry quality

SUN Hong, YUE Qian-Yu, XIANG Guang-Qing, ZHAI Heng, YAO Yu-Xin*

Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops in Huanghuai Region, Ministry of Agriculture, College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University / State Key Laboratory of Crop Biology, Taian, Shandong 271018, China

Abstract: The impacts of different concentrations of salt (NaCl) on grape berry quality were determined in this study. The content of fruit Na⁺ was largely increased by different concentrations of salt treatments. The low (20 mmol·L⁻¹) and medium (50 mmol·L⁻¹) concentrations of NaCl did not generate significant effects on single berry weight, while high (100 and 150 mmol·L⁻¹) concentrations of NaCl increased single berry weight at late developmental stages. Medium and low concentrations of salt, especially 50 mmol·L⁻¹, promoted the accumulation of anthocyanins and increased the TSS content and the ratio of sugar to acidity in the late fruit development; in contrast, the high-level salt treatment reduced pigmentation and the content of TSS, imparted slight effects on acidity, and decreased the ratios of TSS to acidity. Total aroma variety and concentration were significantly reduced by salt treatment and additionally, they showed the negative correlation to salt concentration. Esters were sensitive to salt but (*E*)-2-hexen-1-ol and (*E*)-4-hexen-1-ol were enhanced by salt. Taken together, fruit aromas were sensitive to salt treatment; 20 and especially 50 mmol·L⁻¹ NaCl favored pigmentation and sugar accumulation while high concentrations of salt produced adverse effects on quality via affecting the function of leaves.

Key words: ‘Kyoho’ grape; NaCl treatment; leaf spraying; different developmental stages; berry quality

Received 2017-10-20 Accepted 2017-12-13

This work was supported by Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2015CM014) and China’s Agricultural Research System (CARS-30).

*Corresponding author (yaoyx@sda.u.edu.cn).