

# 根域容积对甜瓜生理特性、果实产量和品质的影响

王伟娟 黄远 汪力威 许全宝 别之龙

华中农业大学园艺林学学院/园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070

**摘要** 以伊丽莎白 239 为试材,研究了 14 (CK)、8、5 L 三种栽培容器对甜瓜有关生理参数、果实产量和品质的影响。结果表明:与对照相比,随着栽培盆容积的减小,叶绿素含量、光合速率、叶片含水量、单果质量、果实可滴定酸和蔗糖含量显著降低,糖酸比和口感显著增加。8 L 和 5 L 容器栽培下单果质量分别降低了 14% 和 20%。与对照相比,8 L 容器栽培下果实维生素 C、果糖和葡萄糖含量显著增加,可溶性固形物和总可溶性糖含量无显著变化;5 L 容器栽培明显延迟了结实花的开放和果实发育期,降低了可溶性固形物和总可溶性糖的含量。以上结果说明,适当的根域限制(8 L)可以改善甜瓜果实品质。然而,本研究 8 L 和 5 L 栽培容器处理均显著降低了果实产量,因此,甜瓜最适的栽培盆容积还需进一步研究。

**关键词** 甜瓜; 根域容积; 产量; 品质; 生理特性

**中图分类号** S 652.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)06-0027-05

根域限制(root restriction)是将根系分布限制在较小的区域内,通过控制根系的生长,来调节地上部营养生长和果实品质的一种栽培方式。前人在葡萄、枇杷等果树上的研究表明,根域限制能显著提高果实的品质,但在一定程度上降低了果实的产量<sup>[1]</sup>。甜瓜是一种重要的园艺作物,苗期根域限制试验表明,当甜瓜苗龄小于 32 d 时,其单株叶数、叶面积和叶绿素含量在不同根域限制处理间没有显著差异,当苗龄大于 32 d 时,根域限制降低了甜瓜叶片的光合速率,抑制了植株的生长<sup>[2]</sup>。甜瓜生产上常常使用不同大小的栽培盆进行无土栽培,然而,关于整个生育期根域限制下栽培盆的规格对甜瓜产量和品质的影响鲜有报道。本研究预备试验发现,14 L 容器栽培中,基质整体从盆中取出后,基质底部和边缘仅有少量侧根出现。

因此,本研究以 14 L 基质栽培盆为对照,进行了不同规格的栽培盆(14、8、5 L)试验,探讨根域限制对甜瓜有关生理参数、产量和品质的影响,旨在为根域限制下甜瓜栽培盆体积的选择提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与处理

材料在华中农业大学国家蔬菜改良中心华中分中心塑料大棚内进行培养。甜瓜(*Cucumis melo* L.)品种为伊丽莎白 239(购自杭州三雄种苗有限公司),2009 年 7 月 30 日播种,幼苗 3 叶 1 心时(8 月 17 日),选取生长一致的幼苗分别移栽到装有基质( $V_{\text{泥炭}} : V_{\text{蛭石}} : V_{\text{珍珠岩}} = 1 : 1 : 1$ )、容积 14 L(设为 CK,规格为 32 cm × 20 cm × 26 cm)、8 L(规格为 28 cm × 18 cm × 21 cm)和 5 L(规格为 24 cm × 16 cm × 17 cm)的 3 种栽培盆中,每盆基质实际用量分别为 13、7 L 和 4 L。每盆定植 1 株,株距为 64 cm × 80 cm。试验采用随机区组设计,每处理 3 次重复,每重复种植 45 株,采用滴灌系统进行供液,营养液采用日本园试通用配方。吊蔓栽培,人工授粉,使第 10~15 节子蔓上的结实花座果,第 10 节以下子蔓提前打掉。定果后每株留 1 个瓜,其他栽培管理按常规方法进行。果实成熟后,每重复选择授粉日期相同、座果节位和大小一致、果皮光滑无裂痕的 4 个果实,去籽,取果肉中部组织各 200 g 用液氮

收稿日期: 2012-08-31

基金项目: 国家西甜瓜产业技术体系(CARS-26-16)、武汉市学科带头人计划项目(200951830556)和武汉市科技供需对接计划项目(201250824269)

王伟娟,硕士研究生。研究方向: 甜瓜设施栽培。E-mail: wangweijuan610@126.com

通讯作者: 别之龙,教授。研究方向: 瓜类作物嫁接与设施蔬菜栽培。E-mail: biezl001@yahoo.com.cn

冷冻后,放入 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱,用于测定可溶性糖含量及蔗糖代谢酶活性。

## 1.2 试验方法

在结果初期选择晴朗的上午(9月20日),自09:00—11:00,采用Li-6400(Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)光合仪测定从上往下第1片完全展开叶的光合速率,测定时光照强度设置为 $800\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ , $\text{CO}_2$ 浓度 $360\text{ }\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;采用SPAD-502叶绿素计(Minolta Camera Co. Ltd., Japan)测定叶片的SPAD值;取座果节位叶片,称鲜质量,105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青30 min,75 $^{\circ}\text{C}$ 烘干后称干质量,叶片含水量=(鲜质量-干质量)/鲜质量 $\times 100\%$ 。单果质量在果实成熟时称量。

试验期间调查结实花开放时间(播种到第10~15节上的子蔓第1结实花开放所需要的时间)和果实发育期(授粉到果实成熟所需要的时间)。采用WYT-4型手持折光仪测定可溶性固形物含量;氢氧化钠滴定法测定可滴定酸含量,以柠檬酸的百分含量表示;2,6-二氯酚靛酚滴定法测定果实中维生素C含量<sup>[3]</sup>;口感测试参考Ekaterini等<sup>[4]</sup>和Silveira等<sup>[5]</sup>的方法。

蔗糖、葡萄糖和果糖含量的测定参照Bartolozzi等<sup>[6]</sup>的方法,略作修改。取甜瓜果肉5 g,80%甲醇10 mL提取,75 $^{\circ}\text{C}$ 浸提20 min,6 000 r/min离心,收集上清液,残渣用15 mL 80%甲醇萃取2次。合并上清液,定容至50 mL。取0.5 mL于真空浓缩仪(Lyolab 3000, Heto, Heto-Holten A/S, Allerød, Denmark)浓缩干燥,沉淀用0.8 mL盐酸羟胺溶解,75 $^{\circ}\text{C}$ 反应60 min,依次加入0.4 mL六甲基二

硅烷和0.2 mL三甲基氯硅烷,75 $^{\circ}\text{C}$ 反应2 h,取0.5 mL上清液供色谱上机用。色谱条件:气相色谱仪,型号Agilent 6890 N(Agilent, USA)。工作条件:HP-5色谱柱(5%-Phenyl-methyl polysiloxane, 30 m $\times$ 25  $\mu\text{m}\times$ 0.1  $\mu\text{m}$ ),样口温度270 $^{\circ}\text{C}$ ;高纯度的氮气作载气,流量45 mL/min,进样量1  $\mu\text{L}$ ,分流比30:1。升温程序:初温130 $^{\circ}\text{C}$ ,以8 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至152 $^{\circ}\text{C}$ ,12 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至176 $^{\circ}\text{C}$ ,16 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至198 $^{\circ}\text{C}$ ,停留2 min,并以20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至238 $^{\circ}\text{C}$ ,24 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至280 $^{\circ}\text{C}$ ,并在280 $^{\circ}\text{C}$ 停留4 min。

蔗糖磷酸合成酶(SPS)、蔗糖合成酶(SS,合成与分解方向)、酸性转化酶(IA)、中性转化酶(NI)活性的测定参照Lowell等<sup>[7]</sup>和Hubbard等<sup>[8]</sup>的方法。

## 1.3 数据处理

数据统计分析在SAS 8.0软件上进行,采用邓肯氏新复极差法进行多重比较。

# 2 结果与分析

## 2.1 根域限制对甜瓜相关生理参数和单果质量的影响

如表1所示,与14 L容器栽培相比,8 L和5 L容器栽培显著降低了叶绿素的含量、叶片含水量和单果质量;8 L容器栽培对光合速率、结实花开放时间、果实发育期没有显著影响,5 L容器栽培显著降低了光合速率,延迟了第1结实花的开放时间和果实发育期;5 L容器栽培结实花开放时间延长了5 d,果实发育期延长了3 d;8 L和5 L容器栽培下单果质量的降低幅度分别为14%和20%。

表1 根域限制对甜瓜叶片相关生理参数和果实产量的影响<sup>1)</sup>

Table 1 Effects of root restriction on leaf physiological parameters and fruit yield of melon

容器体积/L Volume	叶绿素含量 (SPAD值) SPAD value	光合速率/ ( $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ) Photosynthetic rate	叶片含水量/% Leaf water content	第1结实花 开放时间/d First fertile flower flowering time	果实发育期/d Fruit development period	单果质量/g Single fruit weight
14(CK)	42.86 $\pm$ 0.28 a	19.33 $\pm$ 0.19 a	89.30 $\pm$ 0.26 a	42	31	761.06 $\pm$ 4.67 a
8	41.06 $\pm$ 0.46 b	18.99 $\pm$ 0.19 ab	88.08 $\pm$ 0.23 b	42	31	652.80 $\pm$ 9.24 b
5	40.58 $\pm$ 0.46 b	17.97 $\pm$ 0.11 b	86.59 $\pm$ 0.05 c	47	34	611.06 $\pm$ 2.87 c

1)数据为同一处理3次重复的平均值 $\pm$ 标准误,经邓肯氏新复极差测验,不同小写字母表示 $P<0.05$ 显著水平。下同。果实发育期指从授粉开始到果实成熟的时间。Data presented in the table are mean values $\pm$ SE of three repetitions in the same treatments. The different small letters indicate significant differences at  $P<0.05$  level by Duncan's multiple-range test. The same as bellow. The fruit development period; the time from pollination to fruit ripening.

## 2.2 根域限制对甜瓜果实可溶性糖含量的影响

如表2所示,与14 L容器栽培相比,8 L容器栽培下果实果糖和葡萄糖的含量显著增加,蔗糖含量

显著降低,总可溶性糖含量无显著差异;5 L容器栽培下果实果糖含量显著增加,葡萄糖含量无显著差异,蔗糖和总可溶性糖含量显著降低;8 L和5 L容

表 2 根域限制对甜瓜可溶性糖含量的影响

Table 2 Effects of root restriction on the soluble sugar content of melon

%

容器体积/L Volume	果糖 Fructose	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	总可溶性糖 Total soluble sugar
14 (CK)	3.53±0.04 b	2.90±0.03 b	7.77±0.20 a	14.22±0.27 a
8	3.94±0.05 a	3.18±0.03 a	7.12±0.05 b	14.24±0.11 a
5	3.88±0.06 a	2.84±0.08 b	6.89±0.02 b	13.61±0.13 b

器栽培下甜瓜果实蔗糖含量分别降低了 8% 和 11%；5 L 容器栽培下总可溶性糖含量降低了 4%。

2.3 根域限制对甜瓜果实品质的影响

如表 3 所示,与 14 L 容器栽培相比,8 L 容器栽培下甜瓜果实可滴定酸含量显著降低、维生素 C 含

量、糖酸比和口感显著提高,可溶性固形物含量无显著变化;5 L 容器栽培下维生素 C、可溶性固形物和可滴定酸含量显著降低,糖酸比和口感显著提高;8 L 和 5 L 容器栽培下甜瓜果实糖酸比分别增加了 43% 和 80%。

表 3 根域限制对甜瓜果实品质的影响

Table 3 Effects of root restriction on the fruit quality of melon

容器体积/L Volume	维生素 C 含量(FW)/ (mg/100 g) Vc	可溶性固形物/% Total soluble solids	可滴定酸/% Titratable Acidity	糖酸比 <sup>1)</sup> Soluble sugar/Acid	口感 <sup>2)</sup> Taste
14 (CK)	10.15±0.00 b	15.34±0.12 a	0.11±0.01 a	127.92±6.99 c	3.67±0.17 c
8	11.38±0.08 a	15.48±0.06 a	0.08±0.00 b	182.51±5.37 b	4.44±0.16 a
5	9.15±0.05 c	14.66±0.06 b	0.06±0.00 c	230.15±4.43 a	4.00±0.18 b

1)糖酸比为本文表 2 总可溶性糖含量与表 3 可滴定酸含量的比值 The soluble sugar/acid was calculated according to the soluble sugar content in Table 2 and titratable acidity content in Table 3; 2)口感测试评定分为 5 个等级:1 分=不可食用,2 分=差,3 分=适中,4 分=好,5 分=非常好 Taste test evaluation was divided into 5 grades;1=Can not edible,2=Bad,3=Moderate,4=Good,5=Very good.

2.4 根域限制对甜瓜果实蔗糖代谢酶活性的影响

如表 4 所示,与 14 L 容器栽培相比,8 L 容器栽培未显著影响果实酸性转化酶、中性转化酶和蔗糖磷酸合成酶活性,显著增加了蔗糖合成酶-分解方向的活性,降低了蔗糖合成酶-合成方向的活性;5 L 容器栽培显著增加了果实酸性转化酶和蔗

糖合成酶-分解方向的活性,降低了蔗糖合成酶-合成方向和蔗糖磷酸合成酶的活性,中性转化酶活性无显著差异;8 L 和 5 L 容器栽培下甜瓜果实蔗糖合成酶-合成方向的活性分别降低了 21% 和 14%;5 L 容器栽培下蔗糖磷酸合成酶活性降低了 17%。

表 4 根域限制对甜瓜果实蔗糖代谢酶活性的影响

Table 4 Effects of root restriction on the enzymes activities of sucrose metabolism of melon

μmol/(h·mg)

容器体积/L Volume	酸性转化酶 Acid invertase	中性转化酶 Neutral invertase	蔗糖合成酶-分解方向 Sucrose synthase cleavage	蔗糖合成酶-合成方向 Sucrose synthase synthetic	蔗糖磷酸合成酶 Sucrose phosphate synthase
14 (CK)	9.65±0.23 b	6.08±0.50 a	3.68±0.17 b	270.38±8.80 a	610.88±5.33 a
8	8.76±0.24 b	6.22±0.29 a	5.79±0.55 a	212.26±4.98 c	573.74±19.62 a
5	19.10±0.44 a	5.67±0.32 a	5.71±0.03 a	232.81±1.67 b	507.14±12.40 b

3 讨论

3.1 根域限制降低甜瓜产量的原因

光合作用是植物生长发育的基础,是作物形成生物学产量和经济产量的基础,它的强度不仅与叶片的生理状况有关,还与根系的发育密切相关。叶绿素是植物进行光合作用的主要色素,是绿色叶片进行光合作用时捕获光能的重要物质。前人研究发现栽培容积的减小降低植物的光合速率和抑制植株的生长<sup>[2,9]</sup>。Shi 等<sup>[10]</sup>研究表明,根域限制通过降低叶片的水势来降低番茄的光合速率。因此,本试验

中根域限制下单果质量降低的原因可归结为植株光合速率下降、叶绿素含量和叶片含水量的降低。另外,根域限制还抑制了植株根系的生长,根系活力降低导致根系水分和养分吸收不足,从而影响植株的正常生长<sup>[11-12]</sup>,本试验发现严重的根域限制(5 L 容器栽培)显著延迟了结实花开放时间和果实成熟时间,但是适度的根域限制(8 L)没有影响,说明甜瓜植株能适应一定程度的根域限制。

3.2 适当程度的根域限制可以改善甜瓜果实的品质

甜瓜的品质除外观固有特征外,还取决于果肉

中糖、有机酸、芳香物质等有机成分合理的配比而形成的风味<sup>[13]</sup>。Vc 对人体具有保健作用,是衡量品质的重要因素之一,易受栽培措施的影响,适度的减小栽培盆体积,Vc 含量增加(8 L 容器栽培),反之,过度的限制(5 L 容器栽培)将引起果实中 Vc 含量降低。果实的品质主要受到糖、酸的组成和含量的影响,进而影响口感<sup>[14]</sup>。本研究发现,甜瓜的口感变化趋势与糖酸比一致,事实上根域限制没有直接增加可溶性糖的含量,而是通过降低可滴定酸的含量来增加糖酸比。在葡萄上的研究发现,根域限制增加了果实中可滴定酸和可溶性糖的含量<sup>[9,12]</sup>。这种差异可能与不同的根域限制程度或试验材料有关。本试验中,8 L 容器栽培下果实中总糖含量与对照相比无显著性差异,但是各种糖分含量发生了改变,蔗糖含量的降低伴随果糖和葡萄糖含量的增加。5 L 容器栽培下总可溶性糖含量显著降低。Xie 等<sup>[9]</sup>发现随着葡萄根系生长范围的减小,葡萄糖、果糖和总可溶性糖含量增加,蔗糖含量无显著变化。不同的根域限制程度或作物种类可能是导致这种差异的原因。

### 3.3 根域限制条件下甜瓜果实蔗糖含量降低与酶活性的关系

酸性转化酶(AI)、中性转化酶(NI)、蔗糖合成酶(SS)和蔗糖磷酸合成酶(SPS)与蔗糖代谢有关,果实中蔗糖、葡萄糖和果糖的含量主要是由这 4 种酶共同作用来决定的<sup>[15]</sup>。AI 和 NI 是蔗糖的分解酶,将蔗糖分解为葡萄糖和果糖;SS 是一种存在于细胞质中的可溶性酶,SS 具有 2 种类型,分别可以通过对蔗糖的合成或分解来调节蔗糖向果实的运入及分配方向<sup>[16]</sup>;SPS 广泛存在于植物的细胞质中,是一种低丰度的可溶性酶,SPS 在蔗糖合成中具有重要作用。本研究中,8 L 容器栽培下,SS 分解方向活性的增加和合成方向活性的降低,是蔗糖含量降低的主要原因;5 L 容器栽培下,AI、SS 分解方向活性的增加,SS 合成方向和 SPS 活性的降低,是蔗糖含量降低的主要原因,说明不同根域限制条件下甜瓜果实蔗糖含量降低的原因有所不同。前人对根域限制下蔗糖代谢酶活性也进行了研究,Xie 等<sup>[9]</sup>发现葡萄栽培盆容积减小后,酸性转化酶(AI)是导致糖分差异的关键酶。Shi 等<sup>[17]</sup>发现番茄根域限制下,蔗糖合成酶(SS)途径替代了 AI 途径。本试验中根域限制下蔗糖含量降低的原因与葡萄和番茄上的研究结果具有差异,可能与根域限制程度和作物

种类不同有关。

综上所述,5 L 容器栽培下,单瓜质量、果实维生素 C、可滴定酸和可溶性糖含量显著降低、开花授粉和果实发育期明显延迟。8 L 容器栽培下果实维生素 C 含量、糖酸比和口感明显提高。因此,适当对甜瓜进行根域限制,可以显著提高果实的品质。然而,8 L 容器栽培下单果质量显著降低,单果质量决定产量,因此,甜瓜最适的栽培盆容积还需进一步研究。

### 参 考 文 献

- [1] 王世平,张才喜,罗菊花,等. 果树根域限制栽培研究进展[J]. 果树学报,2002,19(5):298-301.
- [2] 潘静娴,黄丹枫,王世平,等. 根域体积对甜瓜幼苗生长和光合特性的影响[J]. 西北植物学报 2001,21(4):637-643.
- [3] 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,2000:246-248.
- [4] EKATERINI T M, METAXIA K S. Response of squash (*Cucurbita* spp.) as rootstock for melon (*Cucumis melo* L.) [J]. *Scientia Horticulturae*,2000,83:353-362.
- [5] SILVEIRA A C, CONESA A, AGUAYO E, et al. Alternative sanitizers to chlorine for use on fresh-cut "Galia" (*Cucumis melo* var. *catalupensis*) melon [J]. *Journal of Food Science*, 2008,73:405-411.
- [6] BARTOLOZZI F, BERTAZZA G, BASSI D, et al. Simultaneous determination of soluble sugars and organic acids as their trimethylsilyl derivatives in apricot fruits by gas-liquid chromatography[J]. *Journal of Chromatography A*,1997,758:99-107.
- [7] LOWELL C A, TOMLINSON P T, KOCH K E. Sucrose-metabolizing enzymes in transport tissues and adjacent sink structures in developing citrus-fruit[J]. *Plant Physiology*,1989,90:1394-1402.
- [8] HUBBARD N L, HUBER S C, PHARR D M. Sucrose phosphate synthase and acid invertase as determinants of sucrose concentration in developing muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits[J]. *Plant Physiology*,1989,91:1527-1534.
- [9] XIE Z S, LI B, FORNEY C F, et al. Changes in sugar content and relative enzyme activity in grape berry in response to root restriction [J]. *Scientia Horticulturae*,2009,123:39-45.
- [10] SHI K, DING X T, DONG D K, et al. Root restriction-induced limitation to photosynthesis in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) leaves [J]. *Scientia Horticulturae*,2008,117:197-202.
- [11] PETERSON T A, REINSEL M D, KRIZEK D T. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. 'Better Bush') plant response to root restriction [J]. *Journal of Experimental Botany*,1991,42:1241-1249.
- [12] WANG S P, OKAMOTO G, KEN H, et al. Effect of restricted rooting volume on vine growth and berry development of Kyo-

- ho grapevines[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2001, 52: 248-253.
- [13] 许传强, 李天来, 齐红岩. 嫁接对网纹甜瓜果实发育、糖含量及蔗糖代谢相关酶活性的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(4): 773-778.
- [14] MALUNDO T M M, SHEWFELT R L, SCOTT J W. Flavour quality of fresh market tomato *Lycopersicon esculentum* Mill. as affected by sugar and acid levels[J]. Postharvest Biology and Technology, 1995, 6: 103-110.
- [15] 张永平, 乔永旭, 喻景权, 等. 园艺植物果实糖积累的研究进展[J]. 中国农业科学, 2008, 41(4): 1151-1157.
- [16] ECHT C S, CHOUREY P S. A comparison of two sucrose synthase isozymes from normal and *shrunk1* maize [J]. Plant Physiology, 1985, 79: 530-536.
- [17] SHI K, FU L J, DONG D K, et al. Decreased energy synthesis is partially compensated by a switch to sucrose synthase pathway of sucrose degradation in restricted root of tomato plants[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2008, 46: 1040-1044.

## Effects of root volume on physiological characteristics, fruit yield and quality of melon

WANG Wei-juan HUANG Yuan WANG Li-wei XU Quan-bao BIE Zhi-long

*College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University/  
Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education, Wuhan 430070, China*

**Abstract** Using melon cultivar ‘Elizabeth 239’ as material, effects of root volume [14 L (CK), 8 L, 5 L] on physiological characteristics, fruit yield and quality of melon were investigated. Results showed that the chlorophyll content, photosynthetic rate, leaf water content, single fruit weight, contents of titratable acidity and sucrose decreased significantly with the decrease of container volume when comparing with control (14 L) but the soluble sugar/acidity ratio and taste value increased significantly. Compared with control, the single fruit weight decreased by 14% and 20% under 8 L and 5 L container treatment, respectively. In addition, the 8 L container treatment significantly increased the contents of vitamin C, fructose and glucose whereas no significant changes of the contents of soluble solids and total soluble sugar were observed. Meanwhile, the 5 L container treatment obviously delayed the fertile flower flowering and fruit development date, and significantly decreased the contents of total soluble solids and soluble sugars. Results indicated that appropriate root volume restriction (8 L) could improve the fruit quality of melon. However, the treatment of 8 L and 5 L root volume container significantly decreased the fruit yield of melon. The most suitable container volume for melon cultivation needs further investigation.

**Key words** melon; root volume; yield; quality; physiological characteristics

(责任编辑:张志钰)