

无纺布限根栽培对西瓜果实发育及其营养品质的影响

武衍 陈佩 王灿磊 段朝瑞 孙宇飞 封耀花 王依冬 刘冬 冷平*

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193)

摘要 以“香秀”西瓜(*Citrullus lanatus* Thunb.)为材料,研究了无纺布根域限制对西瓜果实品质的影响。结果表明:与对照组相比,根域限制处理适度提高了果实迅速膨大时期地上部光合速率,显著改善了果实的品质。根域限制处理组果实的可溶性固形物含量、出汁率、Vc含量和类黄酮含量均与对照组之间达到了极显著或显著差异的水平。高效液相色谱法分析显示,处理组与对照组西瓜果实有机酸中的草酸、苹果酸和柠檬酸含量以及酚类物质中的儿茶素和绿原酸的含量之间达到了极显著差异水平。但根域限制处理在西瓜果实的发育、果实最大横径、平均单果重、可滴定酸含量和番茄红素含量方面与对照组之间差异不显著。

关键词 西瓜; 根域限制; 果实品质; 有机酸; 酚类物质; 光合作用

中图分类号 S 651

文章编号 1007-4333(2013)02-0045-05

文献标志码 A

Effect of nonwoven faribic root restriction on watermelon quality

WU Yan, CHEN Pei, WANG Can-lei, DUAN Chao-rui, SUN Yu-fei,

FENG Yao-hua, WANG Yi-dong, LIU Dong, LENG Ping*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract *Citrullus lanatus* Thunb. was used for studying the effect of root restriction to the fruit quality. Root restriction increased the photosynthetic rate at the fruit rapid-expanding stage and improved fruit quality, in terms of soluble solid content, juice yield, content of Vitamin c and flavonoid. The content of organic acid (oxalic acid, citric acid and malic acid) and polyphenol (catechin and chlorogenic acid) of root restriction increased significantly. There was no significantly difference in fruit development, longitudinal diameter, mean fruit weight, content of titrable acids and lycopene between non-root restriction and root restriction.

Key words fruit quality; root restriction; watermelon; organic acid; phenolic compounds; photosynthesis

随着城市化进程的加快,部分地区环境条件恶化,农业从业者如何有效的利用日趋紧张的土地资源已经成为一个亟待解决的问题。另外,某些农作物在种植过程中所出现的连作障碍也给土地资源的高效利用带来了一定的困难。而限根栽培能够在某种程度上克服上述问题,提高土地资源的利用率。限根栽培就是利用一些物理或生态的方法将植物根系控制在一定的空间或体积中,通过控制根系的生长来改变其分布和生长,减少生长冗余,提高经济系数的一种栽培方式^[1]。根域限制栽培不受土壤条件的限制,如在一些地下水位高、土壤盐渍化严重的地

区,也可以利用根域限制的栽培方式,实现高产优质栽培。此外,由于根域限制的容积小使根系分布在已知的范围内,所以施用有机肥彻底改良土壤成为可能,有利于实现真正的有机栽培。

根域限制的主要方式有垄式、箱筐式和坑式。垄式适合在冬季没有土壤结冻的温暖区域使用,但是夏季土壤温度和水份均不稳定。箱筐式由于易于移动,适合在设施栽培条件下使用。与垄式和箱筐式相比,坑式中根域的水份温度变化幅度小,适合在北方寒冷的地区应用^[2]。Imai等^[3]对葡萄进行限根栽培发现果树生长受到抑制,坐果率明显提高,果

收稿日期: 2012-07-12

基金项目: 北京市科委重大资助项目(D0706002000091); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目

第一作者: 武衍, 硕士研究生, E-mail: wuyan.2945@163.com

通讯作者: 冷平, 教授, 主要从事果实发育生物学及采后处理技术, E-mail: pleng@cau.edu.cn

实品质得到改善。这与 Webster 等^[4]对樱桃的限根栽培结果相似,同时对桃和柑橘等^[2]园艺作物的限根栽培也使果实品质得到明显改善。

为研究限根栽培对西瓜果实发育及其营养品质的影响,本试验以西瓜为试材,采用文献^[13]的方法,完成了本研究。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与栽培条件

试验于 2011 年在中国农业大学作物科技园内进行。

试验材料为中国农业科学院蔬菜花卉研究所培育的小型西瓜品种“香秀”(Citrullus lanatus Thunb.)。在 3 月中旬进行种子催芽(28 ℃)然后采用营养钵播种育苗,等幼苗高度达到 15 cm 左右时移栽到试验地。移栽日期为 5 月 10 日。

限根材料为日本 HASEGAKU 工业有限公司生产的专门用于设施园艺作物的黑色无纺布,其规格,型号及特性见参考文献^[13]。

1.2 试验方法

试验分为 2 个处理,其一为限根组(RR, root restriction),其二为对照组(CK, check)。每组设置 5 个重复。限根组处理方法为挖深 30 cm,宽 50 cm 的丰产长型沟,底部和两壁铺上无纺布,然后用过筛后混有有机质的细土回填,对照组不铺无纺布。2 个处理组均做高 10 cm 的龟背垄,表面铺盖白色透明塑料薄膜。根据西瓜生长发育特点,均留单蔓,选取第二朵雌花授粉留果,具体见文献^[13]。

光合速率的测定:在果实迅速膨大期,选择晴朗无风的天气进行光合速率日变化的测定。仪器型号为 LI-6400(LI-6400、LI-COR、Inc.、Lincoln、NE 和 USA),测定离生长点 5~6 片的完好无损叶片,5 次重复。

果实横纵径:在对照组和限根组中分别选取 5 个果实进行标记,授粉后每隔 5 d,用游标卡尺测量一次果实横纵径。

单果重:从授粉至采收(花后 27 d)每隔 5 d,用电子秤(Hangping YN1202N)称量单果重,每次取样作 5 次重复。

糖度测定:用 ATAGO(N-1E)折糖仪(Atago Co. Ltd, Tokyo 和 Japan)测定果心糖度和果皮内侧糖度,以 oBrix 计,3 次重复。

可滴定酸测定:用酸碱滴定法^[5]测定可滴定酸

(titratable acid, TA)含量,以 % 计,3 次重复。

出汁率测定:方法见文献^[13]。

Vc 含量的测定采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[6],3 次重复。

类黄酮含量的提取与测定:参照徐雅琴^[7]的方法,采用超声波法提取。以芦丁为标准品,采用紫外分光光度法测定(SP-1900UV),3 次重复。

番茄红素含量测定:采用 GB/T 14215-2008 方法^[8]测定,3 次重复。

有机酸含量的测定:采用高效液相色谱法(Agilent 1200),以新鲜西瓜汁为材料,色谱条件为:C18 柱,流动相是 0.01 mol/L 磷酸二氢钠-磷酸缓冲液(PH2.4),流速 0.5 mL/min,进样体积 10 uL,检验波长 210 nm,3 次重复。

多酚类物质含量的测定:用安捷伦高效液相色谱测定,参照孙承锋^[9]的方法,3 次重复。

1.3 数据处理

试验所有数据用 Excel 计算和做图,采用 t-test 对试验数据进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 对西瓜植株光合速率的影响

图 1 所示的是在果实迅速膨大期,西瓜植株的光合速率对根域限制的响应。从中可以看出,一天之中,上午 9:00 左右西瓜植株的光合速率最高,其他时间段光合能力下降,在 17:00 时达到最小值。并且,限根组西瓜植株的光合速率一直高于对照组,但在 13:00 和 17:00 时两者的光合速率值基本无差异。限根组及对照组在 13:00 和 15:00 处的误差值较大,这与当时日照情况有关。

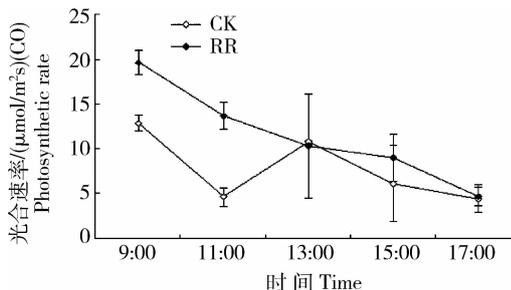


图 1 根域限制对光合速率的影响

Fig. 1 Effect of root restriction on the photosynthesis rate

2.2 对西瓜果实发育和大小影响

表 1 所示是无纺 布限根栽培对西瓜果实发育过

程中最大纵径以及平均单果重的影响。从中可以看出,在西瓜果实发育的过程中,限根组果实的最大横径和平均单果重均略高于对照组。在西瓜采收期

(花后 27 d),与对照组相比,限根组西瓜的最大横径和纵经分别增加了 6.26 和 3.89 mm 和平均单果重增加 76.5 g,但在数理统计上,差异不显著。

表 1 根域限制对西瓜果实发育的影响

Table 1 Effect of root restriction on fruit exterior quality

处理 Treatment	最大横径/mm Maximal diameter	最大纵径/mm Maximal longitudinalis	平均果重/g Mean fruit weight
对照 CK	119.35	131.07	993.69
限根 RR	125.61	134.96	1 070.19

2.3 对西瓜果实风味品质的影响

西瓜果实的风味品质对根域限制响应明显。表 2 所示,根域限制提高了果实的果心糖度和边缘糖度,其均值分别为 11.51% 和 9.11%,较对照组分别提高 0.98% 和 0.73%。分别与对照组呈现极显著差异和不显著差异。

根域限制对西瓜果实的可滴定酸含量的影响不大,本研究结果与之前的结果^[13]相似。

西瓜果实的出汁率受到根域限制的影响,限根组的出汁率最高值达到了 75.38%,比对照组提高 2.25%,并且试验数据表明 2 个处理组之间存在着显著的差异。

如表 3 所示,根域限制影响了西瓜果实有机酸的含量。从表 3 中我们可以看出,根域限制显著地提高了有机酸中草酸、苹果酸和柠檬酸的含量,这 3 种有机酸的含量大约为对照组果实的 2~5 倍。

表 2 根域限制对西瓜果实风味的影响

Table 2 Effect of root restriction on fruit flavoured quality %

处理 Treatment	果心糖度 Central SSC	边缘糖度 Fringe SSC	可滴定酸含量 TA	出汁率 Juice yield
对照 CK	10.53	8.38	0.14	73.13
限根 RR	11.51**	9.11*	0.12	75.38*

注: * 为 *t* 检验,与对照组比较, $P < 0.05$; ** 为 *t* 检验,与对照组比较, $P < 0.01$,下同。

表 3 根域限制对西瓜果实有机酸含量的影响

Table 3 Effect of root restriction on organic acid content g/L

处理 Treatment	草酸 Oxalic acid	酒石酸 Tartaric acid	苹果酸 Malic acid	柠檬酸 Critic acid
对照 CK	0.14	0.43	0.60	0.27
限根 RR	0.71**	0.73	1.36**	0.76**

2.4 对西瓜功能性物质含量的影响

根域限制对西瓜功能性物质含量的影响如表 3 和 4 所示。根域限制明显提高了西瓜果实中 Vc 含量,为对照组的 1.4 倍,2 组之间达显著差异水平。根域限制增加了西瓜果实番茄红素和类黄酮含量,与对照组相比,分别显著提高了 4.64% 和 11.40%,

本研究结果与之前的结果^[13]基本一致。

根域限制对西瓜多酚类物质含量的影响也非常明显(表 4),限根组西瓜果实的儿茶素、表儿茶素和绿原酸的含量分别比对照组提高了 137.29%、34.48% 和 103.21%,其中 2 组之间儿茶素和绿原酸的含量达到了极显著差异水平。

表4 根域限制对西瓜功能性物质的影响

Table 4 Effect of root restriction on functional materials content

处理 Treatment	Vc/(mg/100 g) Vc	番茄红素/(mg/100 g) Lycopene	类黄酮/(μ g/g) Flavonoid
对照 CK	5.24	3.02	3.42
限根 RR	7.11*	3.16	3.81*

表5 根域限制对多酚的影响

Table 5 Effect of root restriction on polyphenol content

mg/100 g

处理 Treatment	儿茶素 Catechin	表儿茶素 Epicatechin	绿原酸 Chlorogenic acid
对照 CK	0.59	0.58	1.87
限根 RR	1.40**	0.78*	3.80**

3 讨论

3.1 对叶片光合速率及果实重量的影响

植物通过光合作用合成碳水化合物,积累干物质,光合作用是形成生物学产量和经济学产量的基础。Kharkina T G等^[10]在黄瓜上的研究发现根域限制对黄瓜的光合作用几乎没有影响,但马慧丽等^[11]对限根栽培的寒富苹果的光合作用的研究表明极度限根会降低光合速率。Liu A等在西瓜上的研究结果表明,较小体积的根域限制可以明显地降低西瓜植株的叶片数、叶片叶面积和地上部干重^[12]。本试验中,根域限制抑制了西瓜植株直根系的纵向生长^[13],果实迅速膨大时期限根组西瓜植株的光合速率要高于对照组,说明本试验控根规模较适合于碳水化合物的形成,使限根组果实的重量有所增加这对于果实品质的提高具有重要的作用,并为西瓜采用根域限制配合密植的栽培方式提供了依据。

3.2 对西瓜果实品质的影响

根域限制能够对果实品质产生影响是由于这种栽培方式对根系的发育能够进行有效地控制。本研究及之前的结果^[13]说明,根限栽培由于阻碍直根系生长,促进侧根的生长发育,而有利于吸收养分,并益于地上部的光合作用,从而提高了果品的营养品质和功能性成分,增加了果品的附加价值。另外,由于根域限制的根系集中在地表下25 cm内的耕作层,土壤水迅速降低,避免了土壤水分含量高所造成的枝叶徒长、坐果率低等缺点。可提高光合产物利

用率,提高果品品质。谢兆森等^[16]采用无纺布对葡萄的限根栽培试验表明限根栽培可使果实的糖分积累、V_c含量提高,而使有机酸含量下降。朱莉娜等报道,限根栽培的葡萄果实中苹果酸和酒石酸等有机酸的含量下降,而果皮中的花青素和果实糖度增加。

根域限制显著提高了西瓜果实的可溶性固形物含量、果肉出汁率、类黄酮含量和酚类物质含量等,提高了果实的风味品质和功能性物质含量,与前人研究基本一致。这主要是因为根域限制后,西瓜植株生理代谢旺盛,库强增加,促进了光合产物在果实内的积累,从而提高了果实的品质。这和前人在葡萄^[3]、苹果^[14]、柑橘^[2]和樱桃^[4]上研究发现根域限制可以提高果实品质的结果基本一致。

4 结论

根域限制虽然对西瓜果实单果重没有明显的提高,但是在配合密植栽培方面潜力很大。图1表明,根域限制栽培方法在单位土地面积上叶片的光合作用比对照有一定提高,为根域限制配合密植的栽培方式的可能性提供了依据。二者结合有可能既可以提高果实的风味品质和功能品质,也能提高产量。这将是今后的研究想要搞清楚的问题。

前人利用限根栽培技术在西瓜^[13]、葡萄^[3]、桃^[4]和番茄^[15]上已经取得了一定的成果,但由于这些研究所采用的限根方法各种各样,效果也不一样。本试验采用黑色无纺布为限根材料,进一步探究无纺布限根栽培技术对西瓜果实发育和品质的影响,

为合理利用土地资源以及为园艺作物的高效生产提供依据。

根域限制有利于果实发育及其营养品质的提高, 该种栽培方式为设施中改善西瓜等瓜果类园艺产品品质提供了技术途径。

参 考 文 献

- [1] Erez A, Yablowitz, Nir G, et al. Container grown peach orchards[J]. *Acta Hort*, 1989, 254: 231-236
- [2] 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
- [3] Imai S, Okamoto G, Endo M. Effect of dense planting and root system control on attaining greater early production and fruit stability of tetraploid grapes[J]. *Bull Hiroshima Fruit Tree Expt Sta*, 1987, 12: 1-9
- [4] Webster A D, Atkison J C, Vaughan J S. Controlling the shoot growth and cropping of sweet cherry trees using root pruning or root restriction techniques[J]. *Acta Hort*, 1997, 451: 643-649
- [5] 汪沛洪. 基础生物化学实验指导[M]. 西安: 陕西科技出版社, 1985
- [6] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [7] 徐雅琴, 张睿, 付红, 等. 红树莓中黄酮类物质超声波提取及纯化的研究[J]. *食品工业科技*, 2007(4): 130-132
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T14215—2008, 番茄酱罐头[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008
- [9] 孙承锋, 姜竹茂, 杨建荣, 等. 反相高效液相色谱法测定苹果多酚的含量[J]. *食品工业科技*, 2006, 27(4): 185-187, 191
- [10] Kharkina T G, Rosenqvist E, Ottosen C, et al. Effects of root restriction on the growth and physiology of cucumber plants[J]. *Physiologia Plantarum*, 1999, 105(3): 434-441
- [11] 马慧丽, 吕德国, 秦嗣军, 等. 寒富苹果不同限根栽培植株的光合特性比较[J]. *沈阳农业大学学报*, 2007, 38(6): 792-795
- [12] Liu A, Latimer J G. Root cell volume in the planter flat affects watermelon seedling development and fruit yield[J]. *Hort Science*, 1995, 30(2): 242-246
- [13] 王灿磊, 孙亮, 冷平, 等. 无纺布限根栽培对西瓜根域温度、植株生长和果实品质的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2011, 16(3): 81-86
- [14] Yakushiji, Nonami, Fukuyama, et al. Sugar accumulation enhanced by osmoregulation in *Satsuma Mandarin* fruit[J]. *Amer Soc Hort Sci*, 1996, 121: 466-472
- [15] Shi Kai, Ding Xiaotao, Dong Dekun, et al. Root restriction induced limitation to photosynthesis in tomato leaves[J]. *Hort Science*, 2008, 117: 197-202
- [16] 谢兆森, 许文平, 王世平. 根域限制对葡萄果实发育动态、膨压和动力学参数的影响[C]//中国园艺学会第八届青年学术讨论会暨现代园艺论坛论文集. 上海: 上海交通大学出版社, 2008: 212-215

责任编辑: 王燕华