

# 小管出流条件下土壤水分对树莓果实品质的影响

李 波, 赵 莹, 王铁良, 马世林, 孙 健, 沈亚西

(沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110161)

**摘要:** 在滑动式防雨棚下的测坑中进行了小管出流条件下土壤水分对树莓生产的影响试验, 对比分析树莓可溶性固形物、可溶性蛋白质、有机酸、维生素 C、可溶性糖、超氧化物歧化酶(SOD)、糖酸比 6 种品质指标的同时, 采用主成分分析的方法综合评价了小管出流条件下不同水分处理对树莓果实品质的影响。结果表明: 在树莓整个生育期内当土壤水分控制在田间持水量的 50%~60% 时, 树莓果实品质最佳。

**关键词:** 小管出流; 树莓; 果实品质; 主成分分析

**中图分类号:** S 663.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2011)14-0005-04

树莓是蔷薇科悬钩子属多年生灌木型果树, 已经逐渐发展成为第三代新兴水果<sup>[1]</sup>。大量研究表明<sup>[2-6]</sup>, 灌溉增加了作物的产量, 却同时降低了果实糖、有机酸等可溶性物的含量以及干物质的含量; 田义、刘海涛等研究了水分对番茄果实品质的影响; 刘明池等研究了不同灌溉时期对树莓果实品质和产量的影响。目前, 土壤水分对树莓果实品质影响的研究国内还未见报道。该试验研究了小管出流条件下土壤水分对树莓的果实品质的

影响, 以期对树莓灌溉制度的确定提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

田间试验于 2010 年 5 月 8 日至 10 月 16 日在沈阳农业大学水利学院综合试验场中滑动式防雨棚下的测坑中进行, 树莓生长中的水量完全可控。供试土壤为重壤土, 供试土壤的基本理化性质如表 1 所示。供试作物为树莓, 移栽时为 2 a 生, 品种为“秋福”。

### 1.2 试验设计

采用重力式小管出流灌水方式。试验共设置 4 个水平: 对照处理(CK)、高水处理、中水处理和低水处理。各处理土壤含水率控制下限分别为 80%~90% $\theta_f$ , 70%~80% $\theta_f$ , 60%~70% $\theta_f$ , 50%~60% $\theta_f$ , 其中 $\theta_f$

第一作者简介: 李波(1969), 女, 博士, 副教授, 现从事温室节水灌溉技术和理论的研究工作。E-mail: shenyaxi@163.com。

基金项目: 沈阳市科技局农业攻关资助项目(F10-092-3-00)。

收稿日期: 2011-04-11

## Research on the Effect of Low Temperature on Respiratory Rate and Antioxidant Enzymes Activities in ‘Hanfu’ Apple Flower Buds

MA Huai-yu, LIU Guo-cheng, LV De-guo, QIN Si-jun

(Horticultural College, Shenyang Agricultural University, Research Institute for Breeding and Physiology-Ecology of Northern Fruit, Shenyang, Liaoning 110161)

**Abstract:** In order to research the response characteristics of respiratory rate and antioxidant enzymes activities in apical flower buds and lateral flower buds under low temperature treatment ( $-25$ ,  $-30$ ,  $-35$  and  $-40$  °C), ‘Hanfu’ apple flower buds were used as materials. The results showed that the respiratory rate of apical flower buds increased firstly and decreased sharply to the lowest point at  $-30$  °C which was lower than that of lateral flower buds, and then kept at a relative low level although it increased slightly. In contrast, respiratory rate of lateral flower buds decreased firstly to the lowest point at  $-30$  °C and increased sharply to peak at  $-35$  °C, and then decreased again. In both apical flower buds and lateral flower buds, SOD activity displayed fast increasing trend when temperature went down from  $-10$  °C to  $-25$  °C, and then SOD activity in apical flower buds decreased sharply and kept at a relatively low level, while SOD activity in lateral flower buds only decreased slightly and kept at a relatively high level. POD activity in apical flower buds changed in zigzag mode, appeared peaks at  $-25$  °C and  $-35$  °C; however, POD activity in lateral flower buds decreased firstly and increasing subsequently to the peak at  $-35$  °C which was higher than that of apical flower buds, and then decreased again. CAT activity in apical flower buds increased firstly to the peak at  $-25$  °C and decreased subsequently, in contrast, CAT activity in lateral flower buds was changing zigzag with peaks at  $-25$  °C and  $-35$  °C. The increasing ranges of POD and CAT activity in lateral flower buds were obvious higher than that of apical flower buds additionally. It was hypothesized that higher respiratory rate and ability of eliminating ROS in lateral flower buds were contributed to alleviating oxidative stress induced by cold temperature.

**Key words:** ‘Hanfu’ apple; flower buds; cold tolerance; respiratory rate; antioxidant enzymes; reactive oxygen

为田间持水量, 试验测定  $\theta_f = 40.36\%$ 。每个处理设 3 次重复, 共 12 个测坑, 各小区随机布置, 每个测坑面积

为  $1.3 \text{ m} \times 1.7 \text{ m}$ 。处理之间随机排列。行距  $2.5 \text{ m}$ , 株距  $40 \text{ cm}$ 。

表 1 供试土壤化学性质

Table 1 Chemical properties of experimental soil								g/ kg
全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾	有机质	pH	
Total N	Total P	Total K	Alkal-hydrolysable N	Available P	Available K	Organic matter		
2.27	1.76	39.84	61.69	93.39	291.71	18.5	6.45	

灌水量根据土壤含水率由式(1)确定。

$$M = (\theta_{max} - \theta_{min}) \times S \times H \times k \quad (1)$$

其中 M 为 1 次灌水量, 单位  $\text{m}^3$ ;  $\theta_{max}$ 、 $\theta_{min}$  分别为土壤水分控制上、下限(体积含水率); S 为各处理小区面积, 单位  $\text{m}^2$ ; H 为计划湿润层深度, 单位 m; k 为湿润比。小管出流时取  $k = 0.9$ 。

### 1.3 试验方法

利用时域反射仪测定土壤水分。在树莓的全生育期内记录各处理的灌水量、灌水时间, 测定树莓的株高、茎粗、叶面积和产量。采用钼蓝比色法测定树莓果实中维生素 C 含量; 采用蒽酮法测定可溶性糖含量; 采用酸碱滴定法测定有机酸含量; 用阿贝折光仪测定可溶性固形物的含量; 采用 NBT(氮蓝四唑)光还原法测定 SOD(超氧化物歧化酶)含量; 采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白含量。

表 2 不同水分处理树莓品质的比较

Table 2 Comparison of different soil water on fruit quality of raspberry							
处理	可溶性糖	可溶性蛋白	有机酸	SOD	维生素 C	可溶性固形物	糖酸比
Treatment	Soluble sugar %	Soluble protein/ mg · g <sup>-1</sup>	Organic acid/ %	(FW) · h <sup>-1</sup>	Vitamin C/ mg · g <sup>-1</sup>	Soluble solid/ %	Sugar-acid rate
CK	5.50aA	0.480aA	0.704aA	13.073aA	66.12aA	5.40bBC	6.70
处理 1	7.41aA	0.445aA	0.670aA	13.036aA	31.38bB	6.25abA	11.76
处理 2	6.95aA	0.471aA	0.628aA	12.964aAB	33.53bB	6.90aA	8.01
处理 3	5.80aA	0.420aA	0.662aA	12.726bB	47.00bB	5.25bC	8.50

注: 经 Duncan 检验, 大、小写字母表示 1% 和 5% 差异显著水平

Note: After Duncan tests, the capital and small letters indicate significantly different of 1% and 5% levels, respectively.

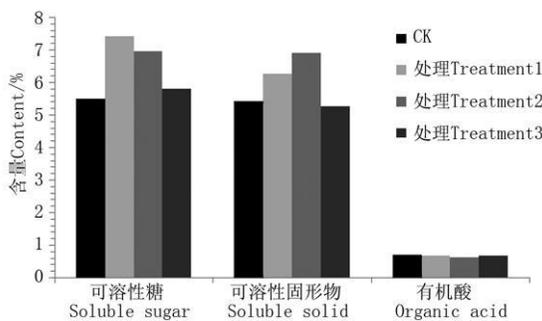


图 1 不同水分处理糖、固形物、有机酸对比

Fig. 1 Comparison of different soil water on sugar, solids, organic acids of raspberry

### 1.4 数据分析

试验数据统计分析软件为 Excel、Spss(18.0)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土壤水分对树莓果实品质指标的影响分析

2.1.1 可溶性糖 在作物的碳素营养中, 营养物质主要是指可溶性糖和淀粉。糖类作为呼吸基质, 为作物的各种合成过程和生命活动提供了所需的能量。由于碳水化合物具有这些重要的作用, 所以是营养中最基本的物质, 也是需要量最多的一类<sup>[7]</sup>, 因此也是保证果实品质的重要条件。不同水分处理条件下树莓果实可溶性糖含量见表 2。随着灌水控制下限的不断提高, 树莓中可溶性糖含量逐渐减少, 因此亏缺灌溉有利于树莓果实中可溶性糖的提高。经方差分析, 对照处理和 1、2、3 之间可溶性糖差异不显著。不同水分处理可溶性糖对比如图 1 所示, 可知处理 1 可溶性糖含量最高。

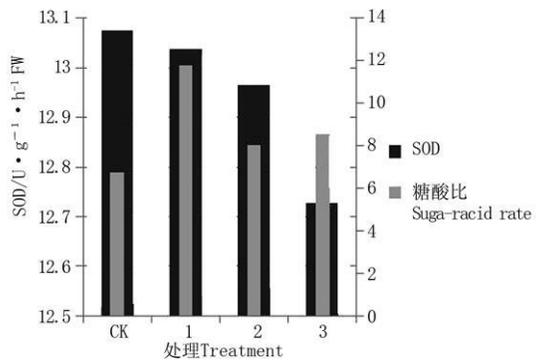


图 2 不同水分处理 SOD、糖酸比对比

Fig. 2 Comparison of different soil water on SOD, sugar-acid proportion of raspberry

2.1.2 可溶性蛋白 可溶性蛋白质含量是重要的生理生化指标, 大多数是参与各种代谢的酶类<sup>[8]</sup>。不同水分处理树莓果实可溶性蛋白含量见表 2。不同水分处理树莓果实可溶性蛋白含量的大小排列顺序为: 对

照处理 CK > 处理 2 > 处理 1 > 处理 3; 在亏缺水分处理下, 水分控制下限为 60%~70% 的处理可溶性蛋白含量较高。在 5% 显著水平下, 对照、处理 1、2、3 之间可溶性蛋白含量差异不显著。

2.1.3 有机酸 有机酸广泛地存在于植物中,它们在新陈代谢中占有重要地位,在呼吸作用中,它是碳水化合物代谢的中间产物,又是三大物质代谢的重要联接者<sup>[8]</sup>。有机酸和可溶性糖常共同影响着果实的风味,有机酸在果实中的总含量通常随着作物体生长期延长而不断提高,故测定果实中有机酸的含量,可以鉴别其品质的变化<sup>[5]</sup>。有机酸种类很多,该试验以树莓果实中的有机酸折算成柠檬酸来表达,不同水分处理树莓果实中的有机酸含量如表2所示,在5%显著水平下,对照处理、处理1、2、3之间有机酸含量差异不显著。不同水分处理有机酸对比如图1所示,有机酸含量大小排列顺序为:对照处理(CK) > 处理1 > 处理3 > 处理2。

2.1.4 SOD 超氧化物歧化酶是生物体内普遍存在的参与氧代谢的一种金属酶。该酶与植物的衰老及抗逆性密切相关,是植物体内重要的保护酶之一,因此SOD活性的测定在研究植物衰老及抗逆机制中有着重要的意义<sup>[7]</sup>。不同水分处理树莓果实SOD含量见表2,可以看出对照处理、处理1、处理2与处理3达到1%极显著水平;对照处理、处理1、处理2处理之间差异不显著。不同水分处理SOD值对比见图2,由图2可看出,SOD含量大小排列顺序为:对照处理(CK) > 处理1 > 处理2 > 处理3。从上述不同水分处理树莓果实SOD含量比较分析可以看出,水分亏缺有利于SOD含量的提高。

2.1.5 维生素C 维生素C(又称抗坏血酸)是植物材料中普遍存在的一类酸性、还原性物质,也是维持人类健康所必需的维生素类物质之一。维生素C含量的多少与果蔬的品质、营养价值、抗病及抗衰老能力直接相关<sup>[7]</sup>。不同水分处理树莓维生素C含量见表2。可以看出,随着土壤含水率控制下限的不断提高,树莓果实

中维生素C的含量总体上呈现出上升的趋势。这表明高水处理并没有影响维生素C在果实中的形成。处理1、处理2、处理3各处理与对照处理间树莓维生素C含量差异达到1%极显著水平,而处理1、处理2、处理3间差异不显著。

2.1.6 可溶性固形物 不同水分处理树莓果实中可溶性固形物的含量测定结果如表1所示。处理1、处理2分别与处理3、对照处理之间树莓果实中可溶性固形物的含量达到了1%极显著水平,处理1与处理2、处理3与对照处理差异均不显著。从图1可以看出,不同水分处理树莓果实可溶性固形物含量的大小排列顺序为:处理2 > 处理1 > 对照处理(CK) > 处理3,因此水分亏缺处理有利于树莓果实中可溶性固形物的形成。

2.1.7 糖酸比 果实的风味品质不仅受糖分的影响,也受酸度的影响,即决定于果实中可溶性糖与有机酸含量的比值。表1为不同水分处理树莓果实的糖酸比值。不同水分处理糖酸比对比值如图2所示,处理1的糖酸比最大。

## 2.2 主成分分析对树莓果实品质的评价

主成分分析又称主分量分析,是由皮尔逊于1901年首先引入,后来由霍特林于1933年进行了发展。主成分分析是一种通过降维技术把多个变量化为少数几个主成分(即综合变量)的多元统计方法,这些主成分能够反映原始变量的大部分信息,通常表示为原始变量的线性组合,为使得这些主成分所包含的信息互不重叠,要求各主成分之间互不相关<sup>[9]</sup>。

主成分分析的各项评价指标如表3所示;对原始数据进行标准化,得到的标准化矩阵如表4所示;求标准化矩阵的相关系数矩阵如表5所示;求其特征值和特征向量,并计算累积贡献率,结果如表6所示。

表3 树莓果实品质评价指标值

Table 3 Excellent volume of the raspberry's fruit evaluation

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar X1	可溶性蛋白 Soluble protein X2	有机酸 Organic acid X3	SOD X4	维生素C Vitamin C X5	可溶性固形物 Soluble solid X6	糖酸比 Sugar-acid rate X7
CK	5.50	0.480	0.704	13.073	66.12	5.40	6.7
T1	7.41	0.445	0.670	13.036	31.38	6.25	11.76
T2	6.95	0.471	0.628	12.964	33.53	6.90	8.01
T3	5.80	0.420	0.662	12.726	47.00	5.25	8.5

表4 标准化矩阵

Table 4 Standard matrix

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar X1	可溶性蛋白 Soluble protein X2	有机酸 Organic acid X3	SOD X4	维生素C Vitamin C X5	可溶性固形物 Soluble solid X6	糖酸比 Sugar-acid rate X7
CK	-1.004	0.960	1.218	0.791	1.352	-0.713	-0.950
T1	1.092	-0.332	0.128	0.553	-0.821	0.389	1.403
T2	0.587	0.627	-1.218	0.091	-0.687	1.232	-0.341
T3	-0.675	-1.255	-0.128	-1.435	0.156	-0.907	-0.113

表 5 相关系数矩阵

Table 5 Correlation matrix

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	有机酸 Organic acid	SOD	维生素 C Vitamin C	可溶性固形物 Soluble solid	糖酸比 Sugar-acid rate
可溶性糖 Soluble sugar	1.000	-0.037	-0.570	0.278	-0.921	0.825	0.787
可溶性蛋白 Soluble protein	-0.037	1.000	0.174	0.811	0.315	0.366	-0.483
有机酸 Organic acid	-0.570	0.174	1.000	0.369	0.786	-0.734	-0.183
SOD	0.278	0.811	0.369	1.000	0.109	0.356	0.052
维生素 C Vitamin C	-0.921	0.315	0.786	0.109	1.000	-0.757	-0.740
可溶性固形物 Soluble solid	0.825	0.366	-0.734	0.356	-0.757	1.000	0.302
糖酸比 Sugar-acid rate	0.787	-0.483	-0.183	0.052	-0.740	0.302	1.000

表 6 主成分提取

Table 6 Total variance explained

主成分因子 Principal component	特征值 Eigen value	贡献率 Contribution rate/ %	累计贡献率 Add up contribution rate/ %
1	3.728	53.261	53.261
2	2.148	30.682	83.943
3	1.124	16.057	100.000

根据求得的累计贡献率或特征值大于 1 的原则, 需要提取 3 个主成分, 即

$$Y_1 = 0.496X_1 - 0.097X_2 - 0.397X_3 + 0.011X_4 - 0.513X_5 + 0.429X_6 + 0.374X_7,$$

$$Y_2 = 0.133X_1 + 0.654X_2 + 0.116X_3 + 0.635X_4 + 0.093X_5 + 0.326X_6 - 0.148X_7,$$

$$Y_3 = 0.198X_1 - 0.201X_2 + 0.585X_3 + 0.344X_4 + 0.006X_5 - 0.275X_6 + 0.620X_7.$$

综合第 1、第 2、第 3 主成分基本能反映树莓果实品质的情况, 并对其按综合主成分值进行排序, 评价结果见表 7。从表 7 可知, 处理 1 的树莓果实品质最好。即处理 1 的土壤水分条件有利于树莓果实综合品质的提高。

表 7 综合评价结果

Table 7 The result of comprehensive evaluation

处理 Treatment	Y1	Y2	Y3	Y	排名
CK	-2.421	1.172	0.208	-0.897	3
T1	1.642	0.136	1.306	1.127	1
T2	1.468	0.794	-1.245	0.826	2
T3	-0.689	-2.102	-0.269	-1.056	4

### 3 结论

通过在小管出流条件下树莓栽培的试验, 对不同水分处理条件下树莓果实可溶性糖、可溶性蛋白、有机酸、维生素 C、可溶性固形物、SOD、糖酸比等品质指标进行综合评价, 表明土壤水分下限控制在 50%~60% 时树莓果实品质最佳。

#### 参考文献

[1] 王彦辉, 张清华. 树莓优良品种与栽培技术[M]. 北京: 金盾出版社, 2003.

[2] Phene C J, Huttmacher R B, Davis K R, et al. Water-fertilizer management of processing tomatoes[J]. Acta Horticulturae, 1990, 277: 137-193.

[3] Yrisarry J J, Prieto Losada M H, A Rodriguez del Rincon. Response of processing tomato to three different levels of water and nitrogen applications[J]. Acta Hort, 1999, 335: 149-153.

[4] 田义, 张玉龙, 虞娜, 等. 温室地下滴灌灌水控制下限对番茄生长发育、果实品质和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 88-92.

[5] 刘海涛, 齐红岩, 刘洋, 等. 不同水分亏缺程度对番茄生长发育、产量和果实品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 414-418.

[6] 刘明池, 张慎好, 刘向莉. 亏缺灌溉时期对树莓果实品质和产量的影响[J]. 农业工程学报(增刊), 2005(12): 92-95.

[7] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[8] 郝建军, 康宗利, 于洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

[9] 谢中华. MATLAB 统计分析与应用: 40 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.

[10] 吴正超, 刘小虎, 韩晓日. 不同施肥处理对树莓果实产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2010(12): 9-12.

(该文作者还有周罕琳, 王斌, 单位同第一作者)

## Effect of Soil Water on Raspberry Fruit Quality Under Irrigation Method with Small Tube

LI Bo, ZHAO Ying, WANG Tie-liang, MA Shi-lin, SUN Jian, SHEN Ya-xi, ZHOU Han-lin, WANG Bin  
(College of Water Resource Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

**Abstract:** Experiment of effect of soil water on raspberry was conducted in the measuring pits under the proof-rain cover. Irrigation method with small tube of 4 mm diameter was used in the test. This paper comparatively analyzed the raspberry fruit quality of soluble solids, soluble protein, organic acid, vitamin C, soluble sugar, superoxide dismutase (SOD), sugar-acid proportions. Meanwhile, principal component analysis was applied to comprehensively analyze and evaluate these quality indicators. The results showed that, raspberry fruit quality was the best if soil water was kept between 50%~60% of field capacity during the whole growth period.

**Key words:** irrigation with small tube; raspberry; fruit quality; principal component analysis