

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.22292

田蕊, 汪亮, 杨威, 宋书洁, 牛育华, 邹养军, 马锋旺, 李明军, 马百全. 外源施加腐殖酸液态膜对苹果光合特性和果实品质的影响[J]. 植物科学学报, 2023, 41(5): 668-676

Tian R, Wang L, Yang W, Song SJ, Niu YH, Zou YJ, Ma FW, Li MJ, Ma BQ. Effects of exogenous application of humic acid liquid film on photosynthetic characteristics and fruit quality of *Malus domestica* Borkh. [J]. *Plant Science Journal*, 2023, 41(5): 668-676

外源施加腐殖酸液态膜对苹果光合特性和果实品质的影响

田蕊¹, 汪亮¹, 杨威¹, 宋书洁¹, 牛育华², 邹养军¹,
马锋旺¹, 李明军¹, 马百全^{1*}

(1. 西北农林科技大学园艺学院, 旱区作物逆境生物学国家重点实验室/陕西省苹果重点实验室, 陕西杨凌 712100;

2. 陕西科技大学化学与化工学院, 西安 710021)

摘要: 以苹果 (*Malus domestica* Borkh.) 品种‘玉华早富’ (‘YH’) 和‘秦脆’ (‘QC’) 为材料, 设置每 15 d、30 d 喷施 1 次腐殖酸液态膜以及非套袋 3 个处理, 通过测定不同处理下苹果叶片的光合特性、果实色差与质地特性、可溶性固形物、可滴定酸及果实中糖酸含量相关基因的相对表达量, 分析比较外源施加腐殖酸液态膜对苹果叶片光合指标和果实品质指标的影响。结果显示, 与对照相比, 喷施腐殖酸液态膜处理可提高苹果叶片的光合特性, 改善苹果果实的着色, 使果实中可溶性固形物含量增加、可滴定酸含量降低、提高固酸比, 且果实中糖含量相关基因 *MdTST1*、*MdTST2*、*MdERDL6-1* 相对表达量升高, 酸含量相关基因 *MdMa1*、*MdMa10*、*MdMDH5*、*MdWRKY126* 相对表达量降低。其中每 15 d 喷施 1 次腐殖酸液态膜处理作用最显著。研究结果表明, 喷施腐殖酸液态膜处理能提高苹果的光合特性, 促进树体生长发育, 改善果实品质, 提高果实风味。

关键词: 苹果; 腐殖酸液态膜; 光合特性; 果实品质

中图分类号: Q945

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2023)05-0668-09

Effects of exogenous application of humic acid liquid film on photosynthetic characteristics and fruit quality of *Malus domestica* Borkh.

Tian Rui¹, Wang Liang¹, Yang Wei¹, Song Shu-Jie¹, Niu Yu-Hua², Zou Yang-Jun¹,
Ma Feng-Wang¹, Li Ming-Jun¹, Ma Bai-Quan^{1*}

(1. State Key Laboratory of Crop Stress Biology in Arid Regions/Shaanxi Provincial Key Laboratory of Apple, College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: Two apple (*Malus domestica* Borkh.) varieties ‘YH’ and ‘QC’ were chosen as materials and two treatments of spraying humic acid liquid film on 15 d and 30 d and non-bagging were used to investigate the

收稿日期: 2022-11-22, 修回日期: 2022-12-16。

基金项目: 西北农林科技大学试验示范站(基地)科技创新与成果转化项目(TGZX2021-39); 陕西省乡村振兴科技专项(2022FP-10); 咸阳市农业科技计划项目(2021ZDYF-NY-0013); 陕西省教育厅服务地方专项(22JC015)。

This work was supported by grants from the Science and Technology Innovation and Achievement Transformation Project of Northwest A & F University Experimental Demonstration Station (Base) (TGZX2021-39), Shaanxi Rural Revitalization Science and Technology Project (2022FP-10), Xianyang Agricultural Science and Technology Plan Project (2021ZDYF-NY-0013), and Shaanxi Provincial Department of Education Service Local Special Project (22JC015).

作者简介: 田蕊 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向为苹果免套袋栽培 (E-mail: tianrui@nwfau.edu.cn)。

* 通讯作者 (Author for correspondence. bqma87@nwsuaf.edu.cn)。

effects of exogenous application of humic acid liquid film on photosynthetic indexes of apple leaves, fruit color difference and texture characteristics, soluble solids, titratable acid and expression level of genes related to sugar and acid content in fruits. The results showed that compared with the control, spraying humic acid liquid film treatment increased the photosynthetic characteristics of leaves, improved the coloring of fruits, increased the soluble solids content in fruits, decreased the titratable acid content, and increased the solid-acid ratio. The relative expression levels of sugar content-related genes *MdTST1*, *MdTST2*, and *MdERDL6-1* increased, and the relative expression levels of acid content-related genes *MdMa1*, *MdMa10*, *MdMDH5*, and *MdWRKY126* decreased. Among them, the effect of spraying humic acid liquid film on 15 d was the most significant. The results showed that spraying humic acid liquid film treatment could improve the photosynthetic characteristics of apples, promote the growth and development of trees, improve fruit quality and improve fruit flavor.

Key words: *Malus domestica*; Humic acid liquid film; Photosynthetic characteristics; Fruit quality

苹果 (*Malus domestica* Borkh.) 在我国水果生产中占有主要地位^[1,2]。但是苹果生产销售中存在的一些问题制约着我国苹果产业的发展。一是套袋苹果内在品质降低, 苹果套袋劳动力需求大, 增加了生产成本, 而且废弃果袋污染环境^[3]。二是非套袋苹果外观较差, 经济价值低, 苹果非套袋栽培技术有待进一步完善^[4]。因此, 非套袋栽培生产会成为苹果产业未来主要的发展方向^[5,6]。非套袋栽培并不是简单地对苹果不套袋, 而是通过选育新品种、研究新技术, 使果面色泽鲜艳、品质安全营养, 同时还能降低生产成本, 减少资源浪费。腐殖酸液态膜具有一定的韧性和弹性, 可随着果实的成长而膨大, 其主要由 A 剂和 B 剂组成。A 剂是由矿源腐殖酸、天然多糖类物质等组成的天然大分子腐植酸型成膜有机材料; B 剂是具有营养活性的含钙无机物。二者通过一定喷洒程序和方式, 在苹果表面形成一种遮光性好、延展性强、透气性优良的保护膜, 如给苹果敷上了一层营养丰富、活性较强的面膜, 从而促进果实生长发育、提高果实着色和果实品质。另外, 腐殖酸液态膜每月喷洒 1~2 次, 不需额外增加劳动力成本, 与传统套袋技术相比, 劳动力成本下降。因此, 本研究旨在探明外源施加腐殖酸液态膜对苹果品质的影响, 使非套袋苹果达到套袋的品质, 在一定程度上解决套袋问题。通过分析比较非套袋处理和 15、30 d 喷施腐殖酸液态膜处理后苹果叶片的光合特性、果实外观品质及内在品质等, 明确外源施加腐殖酸液态膜对苹果品质的影响, 以期为苹果的非套袋栽培研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验地概况

实验地位于陕西省延安市洛川苹果试验站, 地处渭北黄土高原沟壑区, 属北温带大陆性湿润易干旱季风气候, 年均气温 9.2℃, 平均海拔 1 100 m, 平均日照时数 2 551 h, 日照充足, 昼夜温差大, 年总辐射量 55.4 kJ/cm², 无霜期 167 d, 年平均降水量 622 mm, 雨热同季。

1.2 实验材料

实验品种‘玉华早富’(‘YH’)树龄 10 年, ‘秦脆’(‘QC’)树龄 6 年。树形均为纺锤形, 南北行向日常管理良好, 品种间长势基本一致。

腐殖酸液态膜: 分为 A 剂与 B 剂。A 剂为成膜主剂, 呈黑棕色腐殖酸胶体溶液; B 剂为交联剂, 具有交联作用的营养试剂。先喷 A 剂于果面, 立刻喷施 B 剂, 在 5~10 s 内即可在果面形成一层液态膜。在进行液态膜喷施时确保对树体整体喷施, 喷施至大部分叶尖有液滴落下即可。

1.3 实验设计

实验设置 3 个处理: 15 d 喷施腐殖酸液态膜 (15 d)、30 d 喷施腐殖酸液态膜 (30 d) 和非套袋 (CK) 处理。每个处理选择生长健壮、树势相近的 6 棵苹果树 (共重复 3 次, 两棵树一个重复)。

喷施腐殖酸液态膜处理: 5 月上旬统一疏果后, 5 月 20 日开始第 1 次喷施腐殖酸液态膜, 直接使用原液, 先喷 A 剂于果面, 立刻喷施 B 剂。15 d 喷施腐殖酸液态膜处理, 每隔 15 d 喷施 1 次, 30 d

喷施腐殖酸液态膜处理每隔 30 d 喷施 1 次; CK 进行常规管理。

1.4 果实采集

‘玉华早富’、‘秦脆’均在 9 月下旬采收, 每个处理在每个重复的树冠中部 4 个方向采摘, 选择基本一致的果实, 每个重复取 20 个果实, 每个处理共采摘 60 个, 采集后使用两层泡沫包装, 迅速运回实验室, 供后续果实品质的测定。

1.5 测定方法

1.5.1 叶片光合特性测定

叶片的光合指标的测定选择在实验地天气晴朗的 2021 年 7 月 26 日早上 8:30–11:00 进行。采用光合测定仪 Li-6800 (LI-COR, 美国), 选择 15 d 喷施腐殖酸液态膜、30 d 喷施腐殖酸液态膜和 CK 的实验树, 采每个品种不同处理的 6 棵树上的同一方位同一高度各 4 片发育完好的完全叶, 测定叶片的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率。

1.5.2 叶绿体色素含量测定

于 2021 年 7 月 26 日, 选择 15、30 d 喷施腐殖酸液态膜和不喷施腐殖酸液态膜的实验树, 采每个品种不同处理的 6 棵树上的同一方位同一高度各 4 片发育完好的完全叶, 装入密封袋, 放置于装有冰袋的保温箱及时带回实验室。用分光光度法测定叶绿素 a、b 的含量, 并计算叶绿素含量^[7]。

1.5.3 果实外观品质的测定

用色差仪 (CHROMA METER CR-400, 柯尼卡美能达控股株式会社, 日本) 分别测苹果四周的 L*、a*、b* 值 (L* 为亮度, a* 为从红色到绿色的范围, b* 为从黄色到蓝色的范围)。

每个处理随机选取 20 个果实, 用电子天平称量记录果实单果重。

纵径与横径的比值称为果型指数, 采用数显游标卡尺测量同一果实的最大纵径和最大横径。

1.5.4 果实内在品质测定

果实可溶性固形物含量用手持糖度仪测定, 每个处理随机选择 5 个果实, 每个果实取 3 份果肉组织样品, 每份果肉组织样品重复 3 次, 取平均值。

果实酸度的测量使用 GMK-835 F 型果实酸度仪, 用上述测定可溶性固形物的 5 个果实测定

果实酸度, 每个果实取 3 份果肉组织样品, 每份样品重复 3 次, 取平均值。

计算可溶性固形物含量与酸含量的比值。

每个处理分 3 组选取 15 个果实。使用质构仪 (SMS PLUS, 英国) 测定每个果实 4 个面的果皮硬度、果皮延展性、果肉硬度和果肉脆度。

1.5.5 果肉 RNA 提取及基因表达量分析

采用田伟等^[8]改良的 CTAB 法, 提取苹果果肉 RNA, 并反转录为 cDNA。在 NCBI 网站 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) 上查询糖含量和酸度调控相关候选基因, 并参考 Zhu 等^[9] 和 Zhang 等^[10] 报道基因实时荧光定量 PCR 引物, 进行实时荧光定量实验。反应体系为 20 μ L, 包括: SYBR Premix Ex Taq TM II (TaKaRa) 10 μ L, cDNA 模板 2 μ L, 上、下游引物各 0.8 μ L, ddH₂O 6.4 μ L。每份样品设 3 个生物学重复。以 *MdActin* 作内参基因。

1.6 数据处理

采用 Excel 2007 软件进行数据处理, Origin 2019 软件绘图, 利用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析, 采用 Duncan 方法进行多重比较 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 施加腐殖酸液态膜对苹果叶片光合特性的影响

2.1.1 施加腐殖酸液态膜对苹果光合作用的影响

本研究发现 (表 1), 与对照处理相比, ‘秦脆’ (‘QC’, 15 d) 和 ‘玉华早富’ (‘YH’, 15 d) 叶片的净光合速率分别显著提高 63.28%、68.33%; 气孔导度分别显著提高 62.50%、63.63%; 胞间 CO₂ 浓度分别降低 6.04%、6.64%; 蒸腾速率分别提高 42.14%、35.99%。‘QC’ (30 d) 叶片的净光合速率显著提高 33.52%; 气孔导度显著提高 37.50%; 胞间 CO₂ 浓度降低 0.83%; 蒸腾速率显著提高 27.68%。‘YH’ (30 d) 叶片的净光合速率显著提高 29.71%; 气孔导度提高 21.39%; 胞间 CO₂ 浓度无显著变化; 蒸腾速率提高 19.11%。与 30 d 喷施腐殖酸液态膜处理相比, ‘QC’ (15 d)、‘YH’ (15 d) 处理后叶片的净光合速率分别提高 22.29%、40.39%, 气孔导度分别提高 18.18%、20.00%; 胞间 CO₂ 浓度分别降低 5.26%、6.66%; 蒸腾速率分别提高 11.33%、14.29%。

表 1 施加腐殖酸液态膜对苹果叶片光合作用的影响

Table 1 Effects of humic acid liquid film spraying on photosynthetic characteristics of *Malus domestica* leaves

品种 Variety	处理 Treatment	净光合速率 $P_n / \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	气孔导度 $G_s / \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	胞间 CO_2 浓度 $C_i / \mu\text{mol/mol}$	蒸腾速率 $T_r / \text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
‘秦脆’	CK	12.23 ± 0.47c	0.16 ± 0.03b	259.77 ± 11.19a	4.01 ± 0.52b
	15 d	19.97 ± 0.64a	0.26 ± 0.02a	244.08 ± 16.34a	5.70 ± 0.34a
	30 d	16.33 ± 0.86b	0.22 ± 0.02a	257.62 ± 4.09a	5.12 ± 0.27a
‘玉华早富’	CK	10.20 ± 0.43c	0.11 ± 0.02b	241.26 ± 12.57a	3.14 ± 0.38b
	15 d	17.17 ± 0.30a	0.18 ± 0.01a	225.24 ± 5.45a	4.27 ± 0.28a
	30 d	13.23 ± 0.72b	0.15 ± 0.02ab	241.30 ± 12.02a	3.74 ± 0.24ab

注：数据均为平均值 ± 标准误。同列不同小写字母表示处理间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下同。

Notes: All data are average values ± SD. Values with different lower case letters indicate significant difference at $P < 0.05$ level. Same below.

由上可知，喷施腐殖酸液态膜可提高叶片的光合作用，且 15 d 喷施腐殖酸液态膜处理效果最显著。

2.1.2 施加腐殖酸液态膜对苹果叶片叶绿素含量的影响

与对照处理相比，‘QC’（15 d）、‘YH’（15 d）处理的叶绿素 a 含量分别显著提高 35.94%、

23.15%；叶绿素 b 含量分别提高 19.69%、31.25%；叶绿素含量分别显著提高 36.64%、25.06%；‘QC’（30 d）和‘YH’（30 d）处理的叶绿素 a 含量分别显著提高 15.68% 和 10.93%；叶绿素 b 含量分别提高 7.87% 和 14.58%；叶绿素含量分别显著提高 15.84% 和 11.79%（表 2）。

表 2 施加腐殖酸液态膜对苹果叶片叶绿素含量的影响

Table 2 Effects of humic acid liquid film spraying on chlorophyll content in *Malus domestica* leaves

品种 Variety	处理 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a / mg/g	叶绿素 b Chlorophyll b / mg/g	叶绿素 Chlorophyll / mg/g
‘秦脆’	CK	3.06 ± 0.22c	1.27 ± 0.20a	4.23 ± 0.22c
	15 d	4.16 ± 0.10a	1.52 ± 0.08a	5.78 ± 0.14a
	30 d	3.54 ± 0.08b	1.37 ± 0.14a	4.90 ± 0.06b
‘玉华早富’	CK	3.11 ± 0.09c	0.96 ± 0.19a	4.07 ± 0.19c
	15 d	3.83 ± 0.05a	1.26 ± 0.11a	5.09 ± 0.11a
	30 d	3.45 ± 0.07b	1.10 ± 0.06a	4.55 ± 0.13b

由上可知，喷施腐殖酸液态膜显著增加苹果叶片的叶绿素含量，其中 15 d 喷施腐殖酸液态膜处理效果最显著。

2.2 施加腐殖酸液态膜对苹果果实外观品质的影响

2.2.1 施加腐殖酸液态膜对苹果果实着色的影响

两个品种各处理的亮度值（ L^* ）与对照处理相

比显著提高（表 3），其中‘QC’（15 d）和‘YH’（15 d）处理的亮度值（ L^* ）最高，分别为 53.19 和 51.10；其次是 30 d 喷施腐殖酸液态膜处理；‘QC’（15 d）和‘YH’（15 d）处理的红色饱和度（ a^* ）分别显著提高 13.67%、19.68%，‘QC’（30 d）和‘YH’（30 d）处理提高 1.19%、5.81%；

表 3 施加腐殖酸液态膜对苹果果实着色的影响

Table 3 Effects of humic acid liquid film spraying on *Malus domestica* fruit color

品种 Variety	处理 Treatment	色差 Chromatic aberration		
		亮度值 Lightness (L^*)	红色饱和度 Redness (a^*)	黄色饱和度 Yellowness (b^*)
‘秦脆’	CK	43.18 ± 1.29c	20.02 ± 0.93b	21.62 ± 0.94b
	15 d	53.19 ± 1.19a	22.75 ± 0.89a	26.93 ± 0.70a
	30 d	48.31 ± 0.83b	20.26 ± 1.23b	25.51 ± 0.77a
‘玉华早富’	CK	46.45 ± 1.32b	15.14 ± 1.46b	15.63 ± 0.57a
	15 d	51.10 ± 0.82a	18.12 ± 1.66a	15.47 ± 0.55a
	30 d	47.06 ± 0.83b	16.02 ± 0.68b	15.02 ± 0.50a

‘QC’（15 d）的黄色饱和度（b*）显著提高，为 26.93，而‘YH’（15 d）和‘YH’（30 d）处理的黄色饱和度则略有降低。

综上，喷施腐殖酸液态膜使果实着色更加鲜亮和鲜红，提高果实的外观品质。其中 15 d 喷施腐殖酸液态膜处理果实着色效果最好。

2.2.2 施加腐殖酸液态膜对苹果单果重、纵横径及果形指数的影响

与对照处理相比，‘QC’（15 d）和‘YH’（15 d）处理的单果重分别显著增加 11.54%、20.20%，‘QC’（30 d）和‘YH’（30 d）处理的单果重分

别显著增加 4.64%、8.25%。‘QC’（15 d）、‘YH’（15 d）处理的纵径显著增加 6.29%、7.62%，‘QC’（30 d）处理的纵径略有增加，‘YH’（30 d）处理的纵径显著增加 4.45%。‘QC’（15 d）和‘YH’（15 d）处理的横径分别显著增加 5.62%、6.31%，‘QC’（30 d）处理的横径增加 1.51%，‘YH’（30 d）处理显著增加 3.76%。各处理的果型指数之间无显著差异（表 4）。

综上可知，喷施腐殖酸液态膜处理能增加果实的单果重与纵横径，其中 15 d 喷施腐殖酸液态膜处理效果最显著。

表 4 施加腐殖酸液态膜对苹果大小及果型指数的影响
Table 4 Effects of humic acid liquid film spraying on *Malus domestica* size and fruit shape

品种 Variety	处理 Treatment	单果重 Single fruit weight / g	纵径 Longitudinal diameter / mm	横径 Transverse diameter / mm	果型指数 Fruit shape index
‘秦脆’	CK	331.00 ± 4.66c	73.12 ± 1.28b	84.92 ± 1.01b	0.86 ± 0.01a
	15 d	369.20 ± 5.42a	77.72 ± 1.13a	89.69 ± 0.87a	0.87 ± 0.01a
	30 d	346.36 ± 4.62b	73.66 ± 1.02b	86.20 ± 0.94b	0.86 ± 0.01a
‘玉华早富’	CK	234.78 ± 16.42b	68.48 ± 1.42b	81.57 ± 1.80b	0.84 ± 0.01a
	15 d	282.20 ± 5.97a	73.70 ± 1.27a	86.72 ± 0.82a	0.85 ± 0.01a
	30 d	254.16 ± 3.10b	71.53 ± 1.78a	84.64 ± 1.43a	0.85 ± 0.01a

2.3 施加腐殖酸液态膜对苹果内在品质的影响

2.3.1 施加腐殖酸液态膜对苹果果实硬度和质地特性的影响

本研究发现（表 5），‘秦脆’各处理的果实硬度和质地特性整体上无显著差异，与‘QC’（CK）相比，各处理的果皮硬度略高，果肉硬度略低，但无显著差异；‘QC’（15 d）和‘YH’（15 d）的果皮延展性提高 0.82%、1.42%；‘QC’（30 d）的果肉脆度最高为 4.19 kg/sec。‘玉华早富’中，与‘YH’（CK）处理相比，各处理的果皮硬度、果皮延展性、果肉硬度、果肉脆度都无显著差异；‘YH’（15 d）和‘YH’（30 d）的果皮

硬度降低 9.78%、8.81%；果皮延展性方面，‘YH’（15 d）和‘YH’（30 d）处理升高 3.57%、0.38%。

综上，两个品种各处理的果实硬度和质地特性无显著差异，可能是由于短期的腐殖酸液态膜喷施对果实硬度和质地特性影响较小。

2.3.2 施加腐殖酸液态膜对苹果可溶性固形物和酸度的影响

‘秦脆’和‘玉华早富’中（表 6），与对照处理相比，‘QC’（15 d）和‘YH’（15 d）处理的可溶性固形物含量显著提高 5.86%、12.58%，‘QC’（30 d）、‘YH’（30 d）处理的可溶性固形物含量提高 0.63%、3.62%；‘QC’（15 d）和

表 5 施加腐殖酸液态膜对苹果果实硬度和质地特性的影响
Table 5 Effects of humic acid liquid film spraying on apple fruit firmness and texture properties

品种 Variety	处理 Treatment	果皮硬度 Pericarp hardness (N)	果皮延展性 Pericarp ductility / mm	果肉硬度 Pulp hardness / kg/cm ²	果肉脆度 Pulp brittleness / kg/sec
‘秦脆’	CK	5.85 ± 0.60a	93.36 ± 2.41a	0.25 ± 0.02a	4.01 ± 0.11a
	15 d	6.20 ± 0.70a	94.13 ± 1.94a	0.22 ± 0.01b	4.07 ± 0.07a
	30 d	6.51 ± 0.28a	94.69 ± 1.02a	0.24 ± 0.01a	4.19 ± 0.13a
‘玉华早富’	CK	6.13 ± 0.61a	102.55 ± 2.41a	0.21 ± 0.01a	3.58 ± 0.02a
	15 d	5.53 ± 0.19a	106.21 ± 2.50a	0.21 ± 0.01a	3.57 ± 0.03a
	30 d	5.59 ± 0.23a	102.94 ± 1.00a	0.22 ± 0.01a	3.64 ± 0.03a

‘YH’ (15 d) 处理的可滴定酸含量显著降低 11.53%、12.00%；‘QC’ (30 d) 和 ‘YH’ (30 d) 处理的可滴定酸含量降低 3.85%、8.00%；‘QC’ (15 d)、‘YH’ (15 d) 处理的固酸比显著增加 17.98%、22.35%，‘QC’ (30 d)、‘YH’ (30 d) 处理的固酸比增加 5.41%、10.57%。

表 6 施加腐殖酸液态膜对苹果可溶性固形物与可滴定酸的影响
Table 6 Effects of humic acid liquid film spraying on *Malus domestica* soluble solids and titratable acids

品种 Variety	处理 Treatment	可溶性固形物 Soluble solids / %	可滴定酸 Titratable acid / %	固酸比 Solid-acid ratio
‘秦脆’	CK	12.62 ± 0.25b	0.26 ± 0.01a	48.95 ± 0.66b
	15 d	13.36 ± 0.26a	0.23 ± 0.01b	57.75 ± 1.98a
	30 d	12.70 ± 0.16b	0.25 ± 0.02ab	51.60 ± 3.22b
‘玉华早富’	CK	11.60 ± 0.25c	0.25 ± 0.01a	46.52 ± 1.40c
	15 d	13.06 ± 0.34a	0.22 ± 0.01b	56.92 ± 1.81a
	30 d	12.02 ± 0.10b	0.23 ± 0.01ab	51.44 ± 0.86b

综上，喷施腐殖酸液态膜能增加果实可溶性固形物含量，降低可滴定酸含量，提高固酸比。腐殖酸液态膜的施加，促进果实品质的提升。

2.4 施加腐殖酸液态膜对苹果中糖酸含量相关基因相对表达量的影响

2.4.1 施加腐殖酸液态膜对苹果糖含量相关基因相对表达量的影响

‘秦脆’中 (图 1)，与对照处理相比，‘QC’ (15 d) 和 ‘QC’ (30 d) 处理中 *MdTST1* 基因的相对表达量分别提高 3.36 和 2.17 倍，差异显著；‘QC’ (15 d) 中 *MdTST2*、*MdERDL6-1* 基因的相对表达量分别是 ‘QC’ (CK) 的 3.31 和 2.94 倍，差异显著；‘QC’ (30 d) 处理中 *MdTST2*、*MdERDL6-1* 基因的相对表达量是 ‘QC’ (CK)

的 1.51 和 1.14 倍。‘玉华早富’中 (图 1)，与 ‘YH’ (CK) 处理相比，‘YH’ (15 d) 中 *MdTST1*、*MdTST2*、*MdERDL6-1* 基因的相对表达量分别提高 0.71、1.71 和 3.27 倍，差异显著；‘YH’ (30 d) 处理中的 *MdTST1*、*MdERDL6-1* 基因的相对表达量分别提高 0.18 和 0.37 倍；*MdTST2* 基因的表达量提高 1.89 倍，差异显著。

由上可知，喷施腐殖酸液态膜处理使果实中糖含量相关基因相对表达量上升，其中 15 d 喷施腐殖酸液态膜处理上升倍数最大。

2.4.2 施加腐殖酸液态膜对苹果酸含量相关基因相对表达量的影响

‘秦脆’中，与对照处理相比 (图 2)，‘QC’ (15 d) 处理的 *MdMA1*、*MdMA10*、*MdMDH5* 基

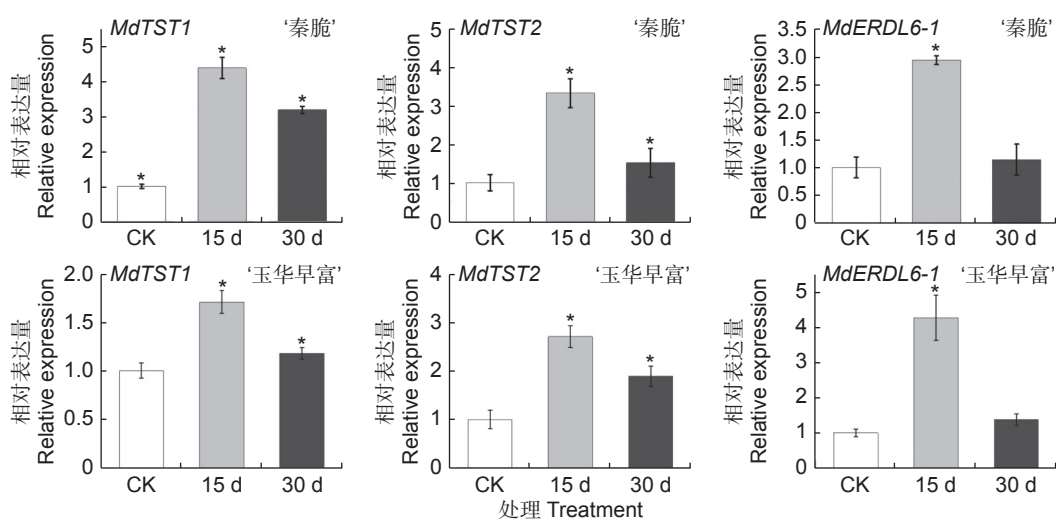


图 1 苹果中糖含量相关基因相对表达量

Fig. 1 Relative expression levels of genes related to sugar content in *Malus domestica*

* 表示处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。

* Indicates significant difference between treatments at level of $P < 0.05$. Same below.

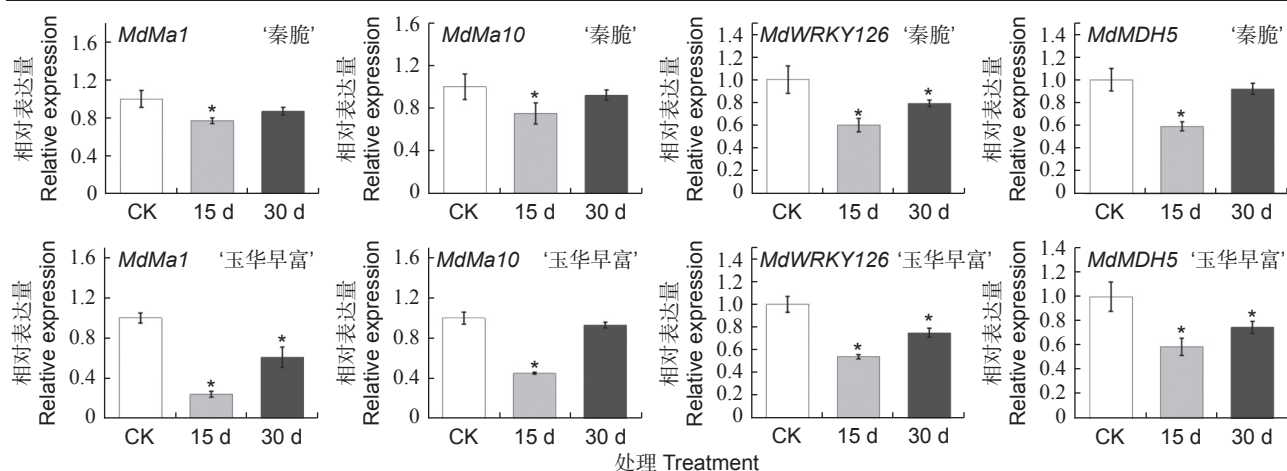


图 2 苹果中酸含量相关基因相对表达量
Fig. 2 Relative expression levels of genes related to acid content in apples

因的相对表达量分别降低 0.23、0.25 和 0.41 倍，差异显著；‘QC’（30 d）处理中 *MdMA1*、*MdMA10*、*MdMDH5* 基因的相对表达量分别降低 0.13、0.08、0.08 倍；其中‘QC’（15 d）处理中 4 个基因的相对表达量均最低。‘玉华早富’中，与对照处理相比，‘YH’（15 d）处理中 *MdMA1*、*MdMA10*、*MdMDH5* 基因的相对表达量分别降低 0.76、0.55 和 0.41 倍，差异显著；‘YH’（30 d）处理中，*MdMA1* 基因的相对表达量降低 0.39 倍，差异显著；*MdMA10* 基因的相对表达量降低 0.07 倍；*MdMDH5* 基因的相对表达量降低 0.25 倍，差异显著；*MdWRKY126* 基因的相对表达量降低 0.18 倍。

由上可知，喷施腐殖酸液态膜处理使果实中酸度相关基因相对表达量下调，其中 15 d 喷施腐殖酸液态膜处理下调倍数最大。

3 讨论

果树叶面积增大、叶绿素含量增加、叶片光合速率提高，能够促进果树光合作用^[11]，促进果树树体和果实的生长发育，从而提高单位面积产量^[12]。前人研究认为，喷施生物膜能显著提高果树的叶面积和叶绿素含量，从而提高果实产量^[13-15]。本研究中喷施腐殖酸液态膜能增加苹果叶片的叶绿素含量，提高叶片光合作用，其中 15 d 喷施腐殖酸液态膜处理效果最好，这与前人研究结果一致，说明腐殖酸液态膜的喷施可以提高树体光合特性，有利于树体生长发育。

吕骄阳^[16]的研究表明，果实光合能力占果实光合产物较低，且套袋降低了果实调运养分的能力，不利于果实生长，导致单果重变小。杜研等^[17]研究发现，套袋对富士苹果果实的果形指数无显著影响。田燕莉^[18]的研究发现，苹果套袋能增加果皮中花青苷的含量，促进果实着色使苹果色泽鲜艳。也有研究发现，套袋在改善果面颜色的同时，也会导致病虫害的发生，影响果实内在品质及外观品质^[19-22]。本研究比较对照处理、15 d 喷施腐殖酸液态膜、30 d 喷施腐殖酸液态膜对苹果着色、单果重和果形指数的影响，结果显示了喷施腐殖酸液态膜使果实更加鲜亮鲜红，提高了果实外观品质；喷施腐殖酸液态膜处理的果实单果重高于对照处理，其中 15 d 喷施腐殖酸液态膜处理效果最显著。这一结果与前人研究一致，说明外源施加腐殖酸液态膜能够改善果实的外观品质，提高苹果产量。

糖作为果实品质的核心，直接影响着果实的甜度等风味品质，可溶性糖在果实中的大量积累主要由液泡中糖转运蛋白调控，苹果液泡膜糖外排蛋白 ERDL6 家族和内吸蛋白 TST 家族的多个成员均在果实中高表达^[23]。研究发现，在苹果果实中，韧皮部中的糖经一系列过程被卸载到薄壁细胞中，这些糖类物质一部分用于细胞能量的消耗和碳骨架构建，另一部分则被液泡膜糖转运蛋白 MdTST 转运至液泡中储存起来，而 MdERDL6 介导外排的 Glc 能够作为一种信号来增加 *MdTST1* 和 *MdTST2* 基因的表达，从而使液泡中的糖大量积

累^[9]。苹果酸作为苹果果实中的主要有机酸,是水果感官品质的一个重要指标,它与可溶性糖一起影响着水果风味。苹果酸的数量性状位点 *Ma* 被定位到 16 号连锁群上的一个区域,占苹果果实酸度变化的 17%~42%。其中位于第 16 染色体上的 *Ma1* 基因被认为是控制苹果果实酸度的主效基因^[24, 25];此外,果实酸度相关基因 *MdWRKY126* 直接结合苹果酸代谢基因 *MdMDH5* 的启动子,激活其表达,从而增加苹果果实的酸度^[10, 26, 27]。苹果套袋后抑制光合同化物向果实内的转化与运输,降低果实的可溶性固形物含量^[28-30]。研究表明,套纸袋降低苹果果实糖含量^[31-33],使果实风味变淡。本研究比较对照处理及 15、30 d 喷施腐殖酸液态膜处理的糖酸含量相关基因的相对表达量、可溶性固形物含量与可滴定酸含量的变化情况,发现喷施腐殖酸液态膜处理使果实中糖含量相关基因 *MdTST1*、*MdTST2*、*MdERDL6-1* 相对表达量上调,可溶性固形物含量增加,均高于对照处理;酸含量相关基因 *MdMa1*、*MdMa10*、*MdMDH5*、*MdWRKY126* 相对表达量下调,可滴定酸含量降低,均低于对照处理。这说明喷施腐殖酸液态膜使糖含量相关基因上调表达,酸含量相关基因下调表达,从而使得果实中可溶性固形物含量增加,酸度降低,改善了果实风味。

参考文献:

- [1] 赵德英,程存刚,仇贵生,董雅凤,张彩霞,等. 苹果高质量发展技术创新途径[J]. 中国果树, 2021(8): 1-5.
Zhao DY, Cheng CG, Qiu GS, Dong YF, Zhang CX, et al. Technological innovation approach of high quality development in apple industry[J]. *China Fruits*, 2021(8): 1-5.
- [2] 孙建设,马宝焜,章文才. 富士苹果果皮色泽形成的需光特性研究[J]. 园艺学报, 2000, 27(3): 213-215.
Sun JS, Ma BK, Zhang WC. The study on the characters of needed light in the coloration of 'Fuji' apple skin[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2000, 27(3): 213-215.
- [3] 杨少华,王丽,穆春,王翔,何静辉,等. 蔗糖调节拟南芥花青素的生物合成[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2011, 27(4): 364-369.
Yang SH, Wang L, Mu C, Wang X, He JH, et al. Anthocyanin biosynthesis regulated by sucrose in *Arabidopsis thaliana* seedling[J]. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2011, 27(4): 364-369.
- [4] 高华君,王少敏,王江勇. 套袋对苹果果皮花青苷合成及着色的影响[J]. 果树学报, 2006, 23(5): 750-755.
Gao HJ, Wang SM, Wang JY. Effect of bagging on anthocyanin biosynthesis and pigmentation in apple skin[J]. *Journal of Fruit Trees*, 2006, 23(5): 750-755.
- [5] 吴瑞雪. 对苹果无袋化栽培的思考[J]. 南方农业, 2021, 15(18): 22-23.
- [6] 陈玉兆. 生物保护膜在苹果生产上的应用[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017: 9-24.
- [7] 高俊山,蔡永萍. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2018: 1-10.
- [8] 田伟,田义轲,王彩虹,宋伟,李节法. 苹果组织总RNA提取方法的比较研究[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2010, 27(2): 122-125.
- [9] Zhu LC, Li BY, Wu LM, Li HX, Wang ZY, et al. MdERDL6-mediated glucose efflux to the cytosol promotes sugar accumulation in the vacuole through up-regulating TSTs in apple and tomato[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2021, 118(1): e2022788118.
- [10] Zhang LH, Ma BQ, Wang CZ, Chen XY, Ruan YL, et al. MdWRKY126 modulates malate accumulation in apple fruit by regulating cytosolic malate dehydrogenase (*MdMDH5*) [J]. *Plant Physiol*, 2022, 188(4): 2059-2072.
- [11] Gasic K, Hernandez A, Korban SS. RNA extraction from different apple tissues rich in polyphenols and polysaccharides for cDNA library construction[J]. *Plant Mol Biol Rep*, 2004, 22(4): 437-438.
- [12] 王贵平,薛晓敏,赵红强,陈汝,韩雪平,王金政. '富士'苹果不套袋与套袋密度对树体光合特性的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38(13): 54-59.
Wang GP, Xue XM, Zhao HQ, Chen R, Han XP, Wang JZ. Effects of no-bagging and bagging density on photosynthetic characteristics of 'Fuji' apple trees[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(13): 54-59.
- [13] 李明霞,白岗栓,闫亚丹,耿桂俊,杜社妮. 山地苹果树更新修剪对树体营养及生长的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(1): 139-144.
Li MX, Bai GS, Yan YD, Geng GJ, Du SN. Effects of renewal pruning on mountain apple tree's nutrition and growth[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(1): 139-144.
- [14] 岳正洋. 不套袋栽培对苹果果实品质及耐贮性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021: 10-17.
- [15] 张瑞芳. 不套袋对苹果品质的影响及果锈产生主要因素分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019: 12-22.
- [16] 吕娇阳. 不套袋富士系苹果品种筛选及无袋栽培技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018: 11-24.
- [17] 杜研,李建贵,王海儒,努尔尼萨,牛真真. 富士苹果果形偏斜的影响因素研究[J]. 新疆农业大学学报, 2013, 36(1): 42-45.
Du Y, Li JG, Wang HR, Nuernisa, Niu ZZ. A study on

- affecting factors of fruit shape of Fuji apple[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2013, 36 (1): 42–45.
- [18] 田燕莉. 套袋对红富士苹果果实品质的影响分析[J]. 农家参谋, 2019(18): 4.
- [19] 高小芳. 套袋对红富士苹果果实品质的影响[J]. 农业开发与装备, 2017(10): 97.
- [20] Bal E. Effect of postharvest aminoethoxyvinylglycine (AVG) application on fruit quality of Asian pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Hosui) during cold storage[J]. *Erwerbs-Obstbau*, 2020, 62 (1): 69–75.
- [21] 卜万锁, 牛自勉, 赵红钰. 套袋处理对苹果芳香物质含量及果实品质的影响[J]. 中国农业科学, 1998(6): 88–90.
Bu WS, Niu ZM, Zhao HY. Effect of fruit-bagging treatment on the content of volatile aroma compounds and flesh quality of apple[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1998 (6): 88–90.
- [22] Kwon JG, Yoo J, Kwon HW, Kim DH, Cho YJ, *et al.* Effect of preharvest aminoethoxyvinylglycine (AVG) on fruit quality attributes ‘Formosa’ plum stored at ambient temperature[J]. *Korean J Food Preserv*, 2019, 26 (7): 723–729.
- [23] Cheng JT, Wen SY, Xiao S, Lu BY, Ma MR, Bie ZL. Over-expression of the tonoplast sugar transporter CmTST2 in melon fruit increases sugar accumulation[J]. *J Exp Bot*, 2018, 69 (3): 511–523.
- [24] Wang ZY, Liang YH, Jin YR, Tong XL, Wei XY, *et al.* Ectopic expression of apple hexose transporter MdHT2.2 reduced the salt tolerance of tomato seedlings with decreased ROS-scavenging ability[J]. *Plant Physiol Biochem*, 2020, 156: 504–513.
- [25] 马百全. 苹果资源果实糖酸性状评估及酸度性状的候选基因关联分析[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016: 3–9.
- [26] Liao L, Zhang WH, Zhang B, Fang T, Wang XF, *et al.* Unraveling a genetic roadmap for improved taste in the domesticated apple[J]. *Mol Plant*, 2021, 14 (9): 1454–1471.
- [27] 赵海亮, 左璐, 侯雷平, 刘柯辉, 刘勤, 等. 叶面施用色氨酸对番茄果实品质的改良效应[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, 41(4): 68–75.
- Zhao HL, Zuo L, Hou LP, Liu KH, Liu Q, *et al.* Effects of foliar application of tryptophan on fruit quality of tomato[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2021, 41 (4): 68–75.
- [28] Ginzberg I, Fogelman E, Rosenthal L, Stern RA. Maintenance of high epidermal cell density and reduced calyx-end cracking in developing ‘Pink Lady’ apples treated with a combination of cytokinin 6-benzyladenine and gibberellins A4 + A7[J]. *Sci Hortic*, 2014, 165: 324–330.
- [29] Jia ZY, Wang Y, Wang L, Zheng YH, Jin P. Amino acid metabolomic analysis involved in flavor quality and cold tolerance in peach fruit treated with exogenous glycine betaine[J]. *Food Res Int*, 2022, 157: 111204.
- [30] 党纳, 翟丙年, 巩庆利, 赵志远, 刘艳妮, 李展飞. 新型苹果品质改良剂的作用效果研究[J]. 北方园艺, 2016(17): 5–11.
Dang N, Zhai BN, Gong QL, Zhao ZY, Liu YN, Li ZF. Study on the effect of new type apple quality improving agent[J]. *Northern Horticulture*, 2016 (17): 5–11.
- [31] 李翠红, 张永茂, 陈大鹏, 冯毓琴, 慕钰文. 套袋和非套袋对“红富士”苹果耐贮性和安全性的影响[J]. 北方园艺, 2014(22): 143–146.
Li CH, Zhang YM, Chen DP, Feng YQ, Mu YW. Effect of storability and safety in ‘Red Fuji’ apple fruits by bagging and non-bagging [J]. *Northern Horticulture*, 2014(22): 143–146.
- [32] Wójcik P, Filipczak J, Wójcik M. Effects of prebloom sprays of tryptophan and zinc on calcium nutrition, yielding and fruit quality of ‘Elstar’ apple trees[J]. *Sci Hortic*, 2019, 246: 212–216.
- [33] Winisdorffer G, Musse M, Quellec S, Barbacci A, Gall SL, *et al.* Analysis of the dynamic mechanical properties of apple tissue and relationships with the intracellular water status, gas distribution, histological properties and chemical composition[J]. *Postharvest Biol Technol*, 2015, 104: 1–16.

(责任编辑: 周媛)