

马红叶¹, 黄伟¹, 冉娜², 罗孝明¹, 杨仕品¹, 李荣飞¹, 乔荣¹, 万明长¹, 李飞²
(1. 贵州省农业科学院园艺研究所/贵州省园艺工程技术研究中心, 贵州贵阳 550006;
doi:10. 15889/j. issn. 1002 - 1302. 2025. 06. 023

叶面喷施抗蒸腾剂对猕猴桃植株生长发育及生理特性的影响

马红叶¹, 黄伟¹, 冉娜², 罗孝明¹, 杨仕品¹, 李荣飞¹, 乔荣¹, 万明长¹, 李飞²

(1. 贵州省农业科学院园艺研究所/贵州省园艺工程技术研究中心, 贵州贵阳 550006;

2. 贵州师范学院, 贵州贵阳 550018)

摘要:以红阳猕猴桃为试验材料, 于 2023 年 3 月 30 日(盛花期前 2 d)喷施抗蒸腾剂后, 测定叶片光合指标、气孔特性、生理指标; 4 月 13 日(花后 7 d)第 2 次喷施抗蒸腾剂; 4 月 27 日测定生长指标; 8 月 30 日采收后, 测定果实品质。结果表明, 在气孔、光合特性方面, 3 个抗蒸腾剂处理均显著降低了猕猴桃叶片的气孔长度、宽度及气孔张开长度和宽度; 喷施抗蒸腾剂后 2~8 d, 叶片气孔导度、蒸腾速率均显著低于 CK(ZW_{400} 处理后 8 d 时除外), 表现为 $CK > ZW_{400} > ZW_{500} > ZW_{600}$ 。喷施抗蒸腾剂后 2~11 d, 3 个抗蒸腾剂处理的猕猴桃叶片胞间 CO_2 浓度较 CK 显著降低(处理后 8 d 的 ZW_{400} 处理除外), 并且随着喷施浓度的降低而减少。低浓度 ZW_{600} 处理的叶片净光合速率显著降低(处理后 14 d 时除外), 但中、高浓度的 ZW_{400} 、 ZW_{500} 处理与 CK 间的差异不显著(ZW_{500} 处理后 5 d 时、 ZW_{400} 处理后 8 d 时除外)。在抗氧化系统方面, 中、高量抗蒸腾剂的 ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理叶片的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性在处理期间始终高于 CK(喷施抗蒸腾剂后 11 d 时除外), CAT 活性在喷施抗蒸腾剂后 2~5 d 高于 CK。 ZW_{600} 处理叶片的 SOD、POD、过氧化氢酶(CAT)活性在处理中后期(8~14 d)均低于 CK。3 个抗蒸腾剂处理的叶片丙二醛(MDA)含量在喷施抗蒸腾剂后 2~8 d 与 CK 间的差异不显著; 在处理 11~14 d, 中、高量抗蒸腾剂处理(ZW_{500} 、 ZW_{400})的 MDA 含量显著低于 CK。中、高量抗蒸腾剂处理(ZW_{500} 、 ZW_{400})的游离脯氨酸含量在喷施抗蒸腾剂后 5~8 d 显著高于 CK, 可溶性糖、可溶性蛋白含量在采样期间始终显著低于 CK。在植株生长、果实品质方面, 喷施抗蒸腾剂除了可以提高猕猴桃叶片含水量、坐果率外, 未对植株生长发育、果实品质产生显著影响。综上所述, 花期喷施抗蒸腾剂可显著减小猕猴桃叶片的气孔张开宽度、开张长度, 降低气孔导度和蒸腾速率, 减少水分散失, 维持叶片含水量, 提高坐果率; 提高抗氧化酶活性, 降低猕猴桃植株的 MDA、可溶性糖、可溶性蛋白含量, 提高猕猴桃抵御高温干旱的能力, 以盛花期前 2 d 按 2.0~2.5 mL/L 浓度进行喷施的效果最佳, 前后喷施间隔 14 d 以上为佳。

关键词:抗蒸腾剂; 猕猴桃; 光合特性; 气孔特性; 抗氧化酶; 渗透调节物质

中图分类号:S663.404 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)06-0181-10

适宜的气候条件(温度 16~25 ℃, 湿度 55% 以上)是猕猴桃正常授粉、受精的重要保障, 但是全球气候变暖及春季高温干旱天气频发, 给猕猴桃授粉、受精带来不利影响^[1]。红阳猕猴桃主产区之一

的贵州省水城县每年都有春旱发生, 春旱也是水城县危害最严重的天气。据统计, 近 60 年来水城县平均每年发生春旱时间为 66 d, 最长达 92 d, 并且每 10 年平均增加 7.6 d^[2]。有研究认为, 猕猴桃花期白天温度若超过 30 ℃, 晚上温度若超过 15 ℃, 日均温若超过 22 ℃, 且环境湿度低于 40% 时, 便属于高温干旱气候^[3]。红阳猕猴桃在水城县 3 月底至 4 月初开花, 开花期高温干旱, 导致蒸腾旺盛、含水量下降, 花期缩短、授粉和受精不良、落花落果多, 减产严重。因此, 针对猕猴桃花期高温干旱的情况, 研究降低猕猴桃无效耗水、增强猕猴桃植株抗高温干旱的能力、提升坐果率的调控技术措施具有重要意义。

抗蒸腾剂是降低植物蒸腾作用、减少水分损失的一类化学物质的总称, 可以通过调节叶片气孔开

收稿日期: 2024-11-05

基金项目: 贵州省科技支撑计划[编号: 黔科合支撑(2022)一般 115、黔科合支撑(2024)一般 170]; 贵州省精品水果产业技术体系项目(编号: GZCYTX2022); 贵州省科技计划[编号: 黔科合企(2022)005-H-12]; 贵州省农业科学院省财政科研专项[编号: 黔农科种质资源(2023)17 号]。

作者简介: 马红叶(1989—), 女, 河北邢台人, 硕士, 助理研究员, 主要从事果树种质资源与遗传育种研究。E-mail: 653751327@qq.com。

通信作者: 黄伟, 硕士, 副研究员, 主要从事果树种质资源与遗传育种研究。E-mail: chianc-qhw@163.com。

闭、控制与外界环境的水分及气体交换、反射太阳辐射以降低叶温等途径,调控植物光合作用和蒸腾作用,影响植物生长甚至抗逆性^[4-6]。目前,抗蒸腾剂已被成功应用于农业、林业、草业相关领域中^[7-9],但是有关高温干旱条件下抗蒸腾剂对猕猴桃应用效果的相关研究还较少,关于抗蒸腾剂对猕猴桃花期授粉效果的影响也未知。本研究以红阳猕猴桃为试验材料,开展代谢型抗蒸腾剂喷施试验,探究高温干旱气候下抗蒸腾剂对猕猴桃植株光合、生理、生长及果实品质的影响,以期为提高红阳猕猴桃花期抗高温、抗干旱能力并提升猕猴桃在高温干旱气候下的坐果率、产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验地点位于贵州省六盘水市水城县(105.002°E,26.38°N)。试验材料为红阳猕猴桃,砧木为美味猕猴桃,采用 8 年生嫁接苗,棚架式,一枝两蔓树形,株行距为 2 m×3 m,土壤肥力中等,进行规范化田间管理。试验所用代谢型抗蒸腾剂为中威抗蒸(腐殖酸含量≥40 g/L),由河南中威高科技化工有限公司生产。

1.2 试验设计

选取处于同一等高线、地势平坦、植株生长量较一致的地块作为试验小区,每个处理设 15 株树,每个处理之间间隔 1 行。2 种抗蒸腾剂的处理时间

为 2023 年 3 月 30 日(距盛花期 2 d)、4 月 13 日(花后 7 d),共 2 次。CK 喷施清水,试验组设置如下:处理 1(ZW₄₀₀),喷施中威 2.5 mL/L;处理 2(ZW₅₀₀),喷施中威 2 mL/L;处理 3(ZW₆₀₀),喷施中威 1.5 mL/L。于 19:00 之后,对叶片进行正、反面喷施,以叶面轻微滴水为宜。每次重复喷施 2 次,以确保所喷液体充分覆盖叶片表面。

1.3 采样时间与方法

光合、生理指标的测定,电镜扫描采样日期的标注及田间温、湿度情况见图 1。

叶片采样。于 3 月 30 日首次喷施抗蒸腾剂,在喷施后 2 d(4 月 1 日)、5 d(4 月 4 日)、8 d(4 月 7 日)、11 d(4 月 10 日)、14 d(4 月 13 日),各处理随机选取 3 株猕猴桃,选取每个植株东、西、南、北 4 个方位结果母枝中部的短结果枝,用从基部向上第 4 张长势良好的健康叶片测定光合指标,并做标记。采集相同位置的叶片,用液氮速冻后于 -80 ℃ 保存,用于生理指标的测定。喷施后 7 d(4 月 6 日),用相同方法选取叶片,用于扫描电镜观察。

生长指标的测定。参照叶片光合选择方法,于 4 月 27 日(果实膨大期)测定梢粗、叶片长、叶片宽、叶片厚、叶片含水量等生长指标。

果实采样。于 8 月 30 日(成熟期)进行采收,各处理随机选择 3 株猕猴桃,选取每个植株东、西、南、北 4 个方位结果母枝中部的短结果枝果实,用塑料袋密封后,在室温下放至软熟后测定其内在品质。

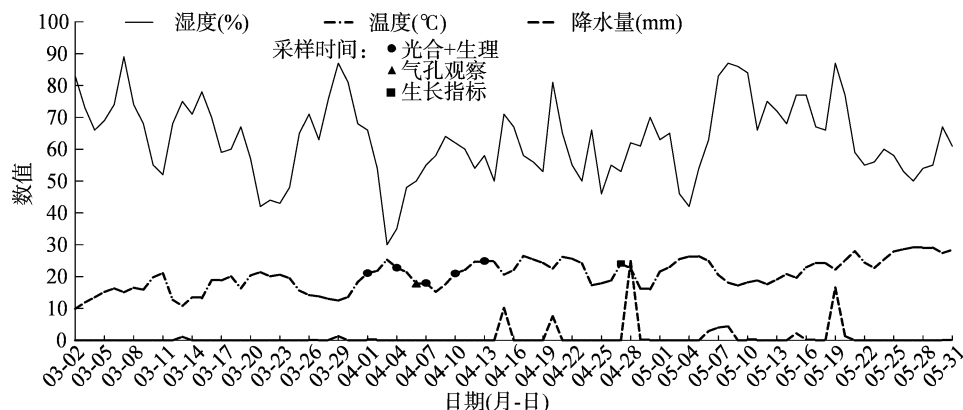


图1 试验地日平均温度、平均湿度、降水量以及采样日期

1.4 测定指标及方法

1.4.1 光合特性 首次喷施后 2、5、8、11、14 d,于晴天的 09:00—11:00 采用 LI-6400 型光合仪测定蒸腾速率(T_r)、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间二氧化碳浓度(C_i)。每个处理测定 9 张叶片,重复测定 3 次,取平均值。

1.4.2 叶绿素含量 叶绿素含量的测定采用丙酮-乙醇混合浸提法(体积比 1:1)^[10],每个处理取 9 张叶片,混合后测定,共设 3 次重复。

1.4.3 叶片抗氧化酶活性 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法,过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚

法,过氧化氢酶(CAT)活性的测定采用紫外分光光度法^[11],共设3次重复。

1.4.4 丙二醛(MDA)含量 采用硫代巴比妥酸法^[11]测定MDA含量,设3次重复。

1.4.5 渗透调节物质含量 游离脯氨酸含量采用茚三酮比色法测定,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定,可溶性糖含量采用蒽酮试剂法^[11]测定。每个指标设3次重复。

1.4.6 叶片含水量 采集结果母枝中部结果枝从下往上数第3~4张叶,每个处理采集9张叶片,去除主脉,并称鲜重,然后在干燥箱中于105℃烘12h,称重后再烘2h,直至恒重,最后测定干重。叶片含水量=(叶片鲜重-叶片干重)/叶片鲜重×100%。

1.4.7 果实品质 每个处理选取15个果子,纵径、横径用游标卡尺测量;单果重用电子秤测量;可溶性固形物含量用ATAGO-PAL型号手持式折光仪测定;可滴定酸含量用NaOH滴定法测定,以柠檬酸含量计;可溶性糖含量采用蒽酮试剂法^[11]测定。每个指标重复测定3次。

1.4.8 扫描电镜观察 采取喷施抗蒸腾剂后7d的叶片,去除主叶脉,取两侧完好无机械伤的部分,用刀片将其切成5mm×5mm的小方块,再将其放入装有4%戊二醛(pH值为6.8)的50mL离心管中固定。用0.1mol/L、pH值为6.8的磷酸盐缓冲溶液清洗3次,每次15min。分别用30%、50%、70%、90%乙醇脱水1次,每次15min,再用100%乙醇脱水2次,每次15min,最后用乙酸异戊酯置换15min。用Quorum K850临界点干燥仪干燥样品,用Hitachi MC1000离子溅射仪进行喷金,在Hitachi SU8100扫描电子显微镜下进行观察和拍照。

1.5 数据处理

用Office 2010处理数据,用DPS 19.0进行单因素方差分析($\alpha=0.05$,Duncan's法),用Excel 2010进行绘图。

2 结果与分析

2.1 抗蒸腾剂对猕猴桃植株光合特性、叶绿素含量及叶片水分含量的影响

由图2-A可知,喷施抗蒸腾剂后2d,3个抗蒸腾剂处理的气孔导度与CK相比均显著下降,ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀处理的降幅分别为49.41%、43.69%、34.48%。喷施抗蒸腾剂后5d,3个抗蒸腾剂处理的叶片气孔导度仍显著低于CK,降幅由高

到低分别为ZW₆₀₀(41.18%)、ZW₅₀₀(33.35%)、ZW₄₀₀(29.41%)。喷施抗蒸腾剂后8d,除ZW₄₀₀处理与CK差异不显著外,ZW₆₀₀、ZW₅₀₀处理均可显著降低叶片的气孔导度,降幅分别为32%、10.67%。喷施抗蒸腾剂后11d,ZW₆₀₀处理的叶片气孔导度显著低于CK,ZW₅₀₀处理的叶片气孔导度恢复到与CK差异不显著的水平,而ZW₄₀₀处理的叶片气孔导度则显著高于CK。喷施抗蒸腾剂后14d,ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀处理的气孔导度均高于CK,其中ZW₄₀₀处理与CK间的差异达到显著水平。

图2-B显示,叶片蒸腾速率对抗蒸腾剂的响应比较迅速,在喷施抗蒸腾剂后2d,处理ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀的叶片蒸腾速率分别较CK显著下降32.89%、30.02%、26.52%,并且处理浓度越低,降低幅度越大。喷施抗蒸腾剂后5d,ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀处理的叶片蒸腾速率仍显著低于CK($P<0.05$),分别较CK降低了41.67%、33.18%、22.33%。喷施抗蒸腾剂后8d,ZW₄₀₀处理与CK间的差异不显著,其余2个处理的叶片蒸腾速率均显著低于CK,ZW₆₀₀、ZW₅₀₀处理的降幅分别为34.42%、15.40%。喷施抗蒸腾剂后11d与喷施抗蒸腾剂后8d的效果相同,即除ZW₄₀₀处理与CK差异不显著外,其余各处理叶片的蒸腾速率均显著低于CK,ZW₆₀₀、ZW₅₀₀处理的降幅分别为41.28%、28.59%。喷施抗蒸腾剂后14d,ZW₅₀₀处理与CK间的差异不显著,ZW₄₀₀处理的叶片蒸腾速率显著高于CK,ZW₆₀₀处理的叶片蒸腾速率仍低于CK。

由图2-C可知,猕猴桃叶片胞间CO₂浓度在不同处理、不同时期的响应不同。喷施抗蒸腾剂后2d,3个处理均可显著降低叶片的胞间CO₂浓度,较CK的降低幅度由高到底为ZW₆₀₀(17.23%)、ZW₅₀₀(13.04%)、ZW₄₀₀(8.27%)。喷施抗蒸腾剂后5d,3个抗蒸腾剂处理亦可显著降低叶片胞间CO₂浓度,ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀处理的叶片胞间CO₂浓度较CK分别降低了47.92%、38.29%、33.24μmol/(m²·s)。喷施抗蒸腾剂后8d,ZW₅₀₀、ZW₄₀₀处理的叶片胞间CO₂浓度分别略低于、略高于CK,但均与CK之间的差异不显著,ZW₆₀₀处理仍表现为显著降低的状态。喷施抗蒸腾剂后11d,各蒸腾剂处理的叶片胞间CO₂浓度较CK显著降低,降低幅度由大到小为ZW₆₀₀(10.79%)、ZW₅₀₀(7.38%)、ZW₄₀₀(3.19%)。喷施抗蒸腾剂后14d,处理ZW₄₀₀的叶片胞间CO₂浓度显著高于CK,ZW₆₀₀、ZW₅₀₀处理的叶片胞间

CO₂ 浓度与 CK 间的差异不显著。

由图 2-D 可知, 喷施抗蒸腾剂后 2 d, 低浓度处理(ZW₆₀₀)的叶片净光合速率较 CK 显著下降, ZW₅₀₀、ZW₄₀₀ 处理的叶片净光合速率虽然较 CK 有所降低, 但与 CK 间的差异均未达到显著水平, 3 个抗蒸腾剂处理之间差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 5 d, ZW₆₀₀、ZW₅₀₀ 处理的叶片净光合速率显著低于 CK, ZW₄₀₀ 处理的叶片净光合速率与 CK 间的差异不显著, 3 个抗蒸腾剂处理之间的差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 8 d, ZW₆₀₀、ZW₄₀₀ 处理的叶片净光合速率显著低于 CK, ZW₅₀₀ 处理的叶片净光合速率与 CK 之间的差异不显著, 3 个抗蒸腾剂处理的净光合速率由大到小为 ZW₅₀₀ > ZW₄₀₀ > ZW₆₀₀。喷施抗蒸腾剂后 11 d, 除 ZW₆₀₀ 处理的叶片净光合速率显著低于 CK 外, ZW₅₀₀、ZW₄₀₀ 处理的叶片净光合速率与 CK 之间的差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 14 d, 3 个抗蒸腾剂处理的叶片净光合速率均高于 CK, 其中 ZW₅₀₀ 处理与 CK 间的差异达到显著水平。

由图 2-E 可见, 猕猴桃叶片的叶绿素含量在采样时间段内呈升高趋势。喷施抗蒸腾剂后 2 d, ZW₆₀₀ (1.82 mg/g)、ZW₅₀₀ (1.60 mg/g)、ZW₄₀₀ (1.90 mg/g) 处理的叶绿素含量显著低于 CK (2.12 mg/g)。喷施抗蒸腾剂后 5 d, 3 个抗蒸腾剂处理的叶片叶绿素

含量仍显著小于 CK, ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀ 处理分别比 CK 减少 5.29%、6.27%、10.39%。处理后 8 d, 3 个抗蒸腾剂处理的叶绿素含量均显著低于 CK, 其中 ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀ 处理的叶绿素含量分别比 CK 低 4.92%、8.14%、12.12%。处理后 11 d, 除 ZW₆₀₀ 处理的叶绿素含量 (2.82 mg/g) 与 CK (2.85 mg/g) 之间的差异不显著外, 其他 2 个处理 ZW₄₀₀ (2.60 mg/g)、ZW₅₀₀ (2.59 mg/g) 的叶绿素含量均显著低于 CK。喷施抗蒸腾剂后 14 d, 3 个抗蒸腾剂处理的叶绿素含量均与 CK 之间差异不显著。

由图 2-F 可知, 处理期间, 3 个抗蒸腾剂处理的叶片含水量始终显著高于 CK, 大体呈先下降后上升再略有下降的趋势。喷施抗蒸腾剂后 2 d, ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀ 处理的叶片含水量分别为 81.13%、82.38%、82.71%, 分别比 CK (78.11%) 高 3.01%、4.27%、4.60 百分点。喷施抗蒸腾剂后 5 d, ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀ 处理的叶片含水量分别比 CK 高 2.19%、2.94%、3.04 百分点。喷施抗蒸腾剂后 8 d, 叶片含水量与 CK 的变化趋势相同, 即较喷施抗蒸腾剂 5 d 时显著下降, ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀ 处理的叶片含水量分别比 CK 高 1.85%、3.59%、4.26 百分点。喷施抗蒸腾剂后 11 d, 叶片含水量较喷施抗蒸腾剂 8 d 时上升, ZW₆₀₀、ZW₅₀₀、ZW₄₀₀ 处理的叶片含水量分别比 CK 高

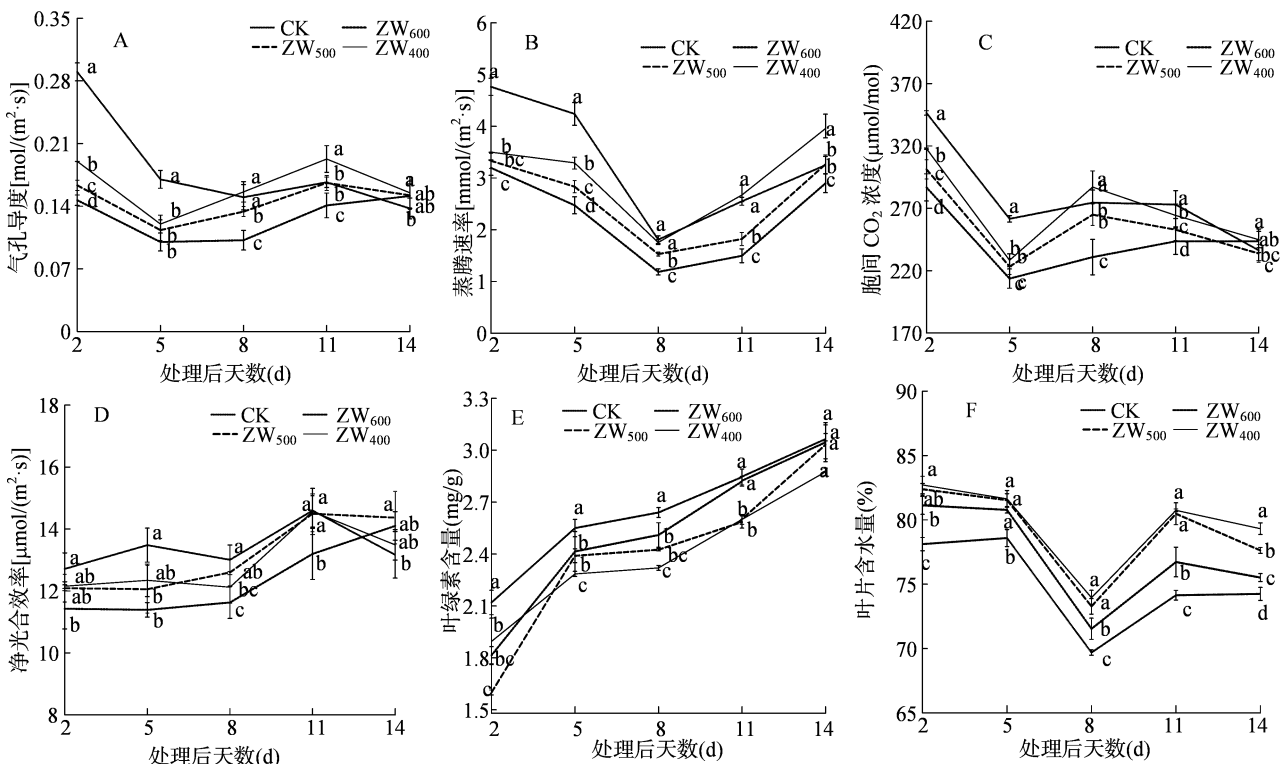


图2 叶面喷施抗蒸腾剂对猕猴桃叶片气孔导度、蒸腾速率、胞间 CO₂ 浓度、净光合效率、叶绿素含量、叶片含水量的影响

2.58、6.33、6.60 百分点。处理 14 d 时, ZW_{600} 、 ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理的叶片含水量分别比 CK 显著高 1.27、3.38、5.06 百分点。

2.2 抗蒸腾剂对猕猴桃叶片气孔张开大小的影响

由图 3、图 4 可知, 喷施抗蒸腾剂能够显著降低猕猴桃叶片的气孔大小。与 CK 相比, 3 个抗蒸腾剂处理均显著降低了猕猴桃叶片气孔长度, 各处理的降幅由高到低为 ZW_{600} (70.25%)、 ZW_{500} (67.11%)、 ZW_{400} (61.76%)。与 CK 相比, 抗蒸腾剂处理均显著降低了叶片气孔宽度, 降低幅度由高

到低为 ZW_{600} (71.59%)、 ZW_{500} (70.46%)、 ZW_{400} (69.41%)。喷施抗蒸腾剂亦可显著降低猕猴桃叶片的气孔张开程度。与 CK 相比, 各抗蒸腾剂处理均可显著降低猕猴桃叶片的气孔张开长度, 降低幅度由高到低为 ZW_{600} (69.73%)、 ZW_{500} (68.92%)、 ZW_{400} (67.71%)。叶片气孔张开宽度的降低幅度由高到低为 ZW_{600} (68.77%)、 ZW_{500} (66.60%)、 ZW_{400} (65.27%)。由此可见, 喷施抗蒸腾剂可显著降低猕猴桃叶片的气孔张开程度, 减少猕猴桃植株的水分散失。

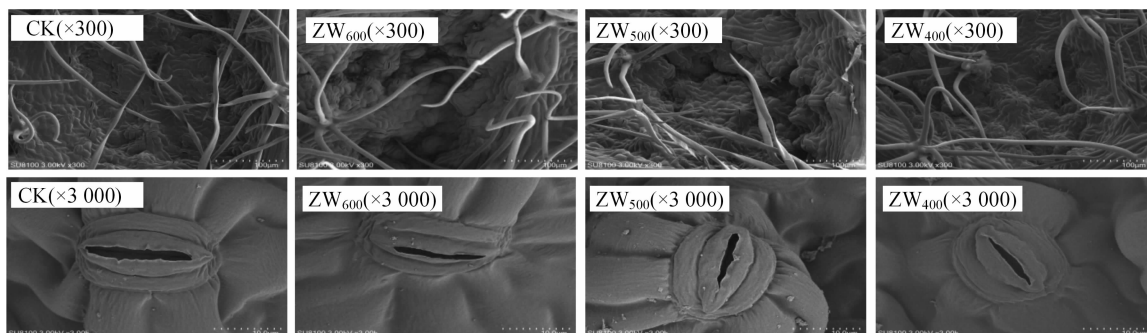


图3 各处理下猕猴桃叶片气孔电子显微结构

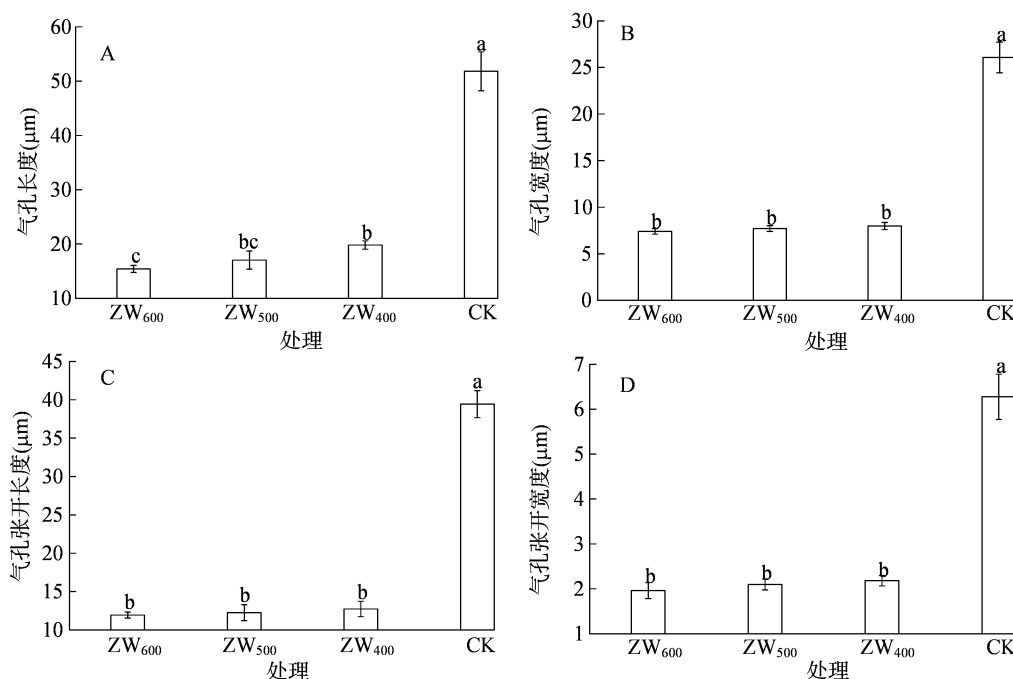


图4 叶面喷施抗蒸腾剂对猕猴桃叶片气孔张开长度和宽度的影响

2.3 抗蒸腾剂对猕猴桃叶片抗氧化系统、丙二醛及渗透调节物质含量的影响

2.3.1 抗蒸腾剂对猕猴桃叶片抗氧化系统的影响

由图 5-A 可知, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的 SOD 活性始终高于 CK, ZW_{600} 处理猕猴桃叶片的 SOD 活性除喷施抗蒸腾剂后 2~5 d 外均低于 CK。喷施抗

蒸腾剂后 2 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的 SOD 活性分别比 CK 显著高 27.36%、38.05%, ZW_{600} 处理猕猴桃叶片的 SOD 活性比 CK 高 4.54%, 但差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 5 d, 3 个抗蒸腾剂处理均显著提高了猕猴桃叶片的 SOD 活性, ZW_{400} 、 ZW_{500} 、 ZW_{600} 处理分别比 CK 高 40.67%、37.49%、

19.08%。喷施抗蒸腾剂后 8 d, 除 ZW_{600} 处理猕猴桃叶片的 SOD 活性与 CK 相比显著降低外, 另外 2 个处理均与 CK 差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 11 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的 SOD 活性分别比 CK 显著高 12.92%、21.45%。 ZW_{600} 处理猕猴桃叶片的 SOD 活性略低于 CK, 但差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 14 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的 SOD 活性仍显著高于 CK, 分别比 CK 高 31.53%、39.45%, ZW_{600} 处理猕猴桃叶片的 SOD 活性比 CK 显著低 18.12%。

由图 5-B 可知, 喷施抗蒸腾剂后 2 d, ZW_{600} 处理猕猴桃叶片的 POD 活性比 CK 显著高 14.53%, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的 POD 活性与 CK 差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 5 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理的猕猴桃叶片 POD 活性分别比 CK 显著提高了 18.80%、60.90%, 且 2 个处理之间的差异显著, ZW_{600} 比 CK 低 9.59%, 差异显著 ($P < 0.05$)。喷施抗蒸腾剂后 8 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的 POD 活性分别比 CK 高 26.76%、32.39%, 与 CK 之间差异显著, 但是 2 个处理之间的差异不显著, ZW_{600} 处理猕猴桃叶片的 POD 活性与 CK 相比差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 11 d, 3 个抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的 POD 活性均小于 CK, 降幅由低到高为 ZW_{400} (10.39%)、 ZW_{500} (14.29%)、 ZW_{600}

(33.77%)。喷施抗蒸腾剂后 14 d, 3 个抗蒸腾剂处理的猕猴桃叶片的 POD 活性均显著高于 CK, 酶活性排序为 $ZW_{500} > ZW_{400} > ZW_{600}$ 。

由图 5-C 可知, 抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的 CAT 活性与 CK 的变化趋势相同, 大体呈“W”形, 在处理 8 d 时达到峰值。喷施抗蒸腾剂后 2 d, 3 个抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的 CAT 活性均高于 CK, 其中 ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的 CAT 活性与 CK 间的差异达到显著水平, 分别比 CK 高 69.57%、21.74%。喷施抗蒸腾剂后 5 d, 3 个抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的 CAT 活性仍高于 CK, 其中 ZW_{600} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的 CAT 活性分别比 CK 高 97.92%、25.00%, 且差异显著, 而 ZW_{500} 处理猕猴桃叶片的 CAT 活性与 CK 间的差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 8 d, 各处理猕猴桃叶片的 CAT 活性均达到峰值, 其中 ZW_{500} 处理猕猴桃叶片的 CAT 活性显著高于 CK, ZW_{600} 、 ZW_{400} 猕猴桃叶片的 CAT 活性与 CK 之间的差异不显著。处理 11 d 时, 3 个抗蒸腾剂处理的猕猴桃叶片 CAT 活性均显著低于 CK, 降幅由小到大为 ZW_{500} (21.57%)、 ZW_{400} (23.53%)、 ZW_{600} (34.64%)。处理 14 d, 3 个抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的 CAT 活性仍低于 CK, 其中 ZW_{600} 、 ZW_{400} 猕猴桃叶片的 CAT 活性与 CK 间的差异达到显著水平, 分别比 CK 低 10.00%、22.50%。

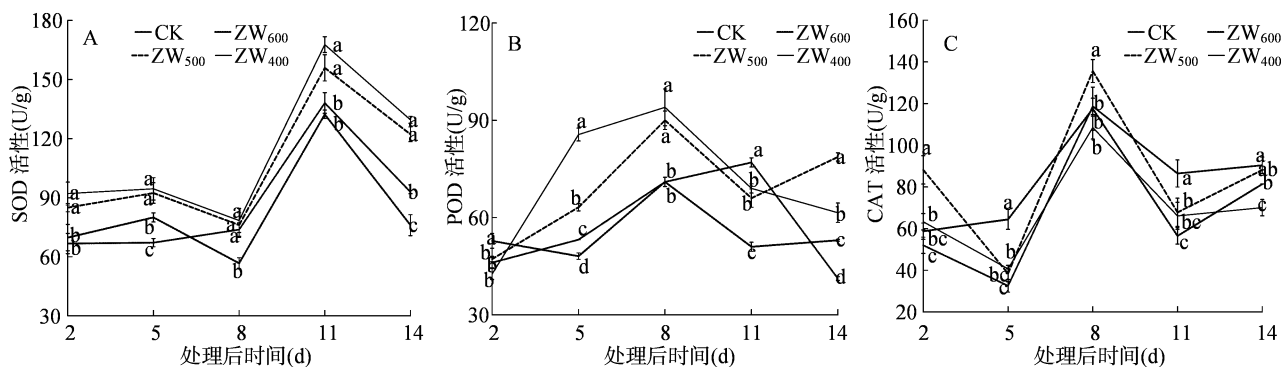


图5 叶面喷施抗蒸腾剂对猕猴桃叶片 SOD、POD、CAT 活性的影响

2.3.2 抗蒸腾剂对猕猴桃叶片丙二醛及渗透调节物质含量的影响 由图 6-A 可知, 处理期间, 猕猴桃叶片的 MDA 含量呈现缓慢下降到急剧下降再上升的变化趋势。喷施抗蒸腾剂后 2~8 d, 3 个抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的 MDA 含量略低于 CK, 但是差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 11 d, 3 个抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的 MDA 含量与 CK 相比均显著下降, 各处理的降幅由高到低依次为 ZW_{500} (43.24%)、 ZW_{400} (41.89%)、 ZW_{600} (37.84%), 但

是 3 个处理之间的差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 14 d, ZW_{600} 、 ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片 MDA 含量较喷施抗蒸腾剂 11 d 时有所上升, 其中 ZW_{600} 处理与 CK 间的差异不显著, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理显著低于 CK, 猕猴桃叶片中的 MDA 含量由低到高为 ZW_{500} ($6.97 \mu\text{mol/g}$) < ZW_{400} ($7.61 \mu\text{mol/g}$) < ZW_{600} ($8.77 \mu\text{mol/g}$) < CK ($8.90 \mu\text{mol/g}$)。

由图 6-B 可知, 喷施抗蒸腾剂后, 猕猴桃叶片的游离脯氨酸含量呈先升高后降低的变化趋势, 并

且猕猴桃叶片中的游离脯氨酸含量整体上随着抗蒸腾剂处理浓度的增加而增加, ZW_{600} 处理猕猴桃叶片的游离脯氨酸含量始终低于 CK。喷施抗蒸腾剂后 2 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的游离脯氨酸含量与 CK 之间的差异不显著, ZW_{600} 处理猕猴桃叶片的游离脯氨酸含量较 CK 显著降低, 降低幅度为 8.76%。喷施抗蒸腾剂后 5 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的游离脯氨酸含量较 CK 显著升高, 增幅分别为 7.60%、11.24%, ZW_{600} 处理较 CK 显著降低, 降幅为 4.33%。喷施抗蒸腾剂后 8 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片中的游离脯氨酸含量仍显著高于 CK, 分别增加了 5.38%、13.27%, ZW_{600} 处理猕猴桃叶片中的游离脯氨酸含量仍显著低于 CK, 降幅为 5.92%。喷施抗蒸腾剂后 11 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片中的游离脯氨酸含量降低到与 CK 差异不显著的水平, ZW_{600} 处理猕猴桃叶片中的游离脯氨酸含量仍旧显著比 CK 低 7.07%。喷施抗蒸腾剂后 14 d, 3 个抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的游离脯氨酸含量均显著低于 CK, 含量由高到低依次为 ZW_{500} (113.24 $\mu\text{g/g}$)、 ZW_{400} (113.01 $\mu\text{g/g}$)、 ZW_{600} (110.17 $\mu\text{g/g}$)。

由图 6-C 可知, 与 CK 相比, 喷施抗蒸腾剂可以降低猕猴桃叶片中的可溶性糖含量。喷施抗蒸腾剂后 2 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的可溶性糖含量分别比 CK 显著降低 6.91、6.69 mg/g, 而低浓度 ZW_{600} 处理与 CK 间的差异不显著。喷施抗蒸

腾剂后 5 d, 3 个抗蒸腾剂处理的猕猴桃叶片可溶性糖含量持续降低, 与 CK 间的差异均达到显著水平, 降幅由高到低为 ZW_{400} (42.87%)、 ZW_{500} (41.35%)、 ZW_{600} (33.27%)。处理 8、11、14 d 时, 3 个抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的可溶性糖含量与处理 5 d 相比略有上升, 但各处理均显著低于 CK。 ZW_{600} 、 ZW_{500} 、 ZW_{400} 猕猴桃叶片的可溶性糖含量在处理 8 d 时分别比对照低 12.65%、34.58%、31.80%, 处理 11 d 时分别比 CK 低 17.01%、28.08%、27.23%, 处理 14 d 时分别比对照低 16.68%、19.37%、26.17%。

由图 6-D 可知, 在 3 个抗蒸腾剂处理中, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的可溶性蛋白含量在采样期间始终显著低于 CK。喷施抗蒸腾剂后 2 d, 相比于 CK, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理可以显著降低猕猴桃叶片的可溶性蛋白含量, 分别比 CK 低 7.64%、9.82%, 处理 ZW_{600} 能够显著提高猕猴桃叶片的可溶性蛋白含量, 比 CK 提高了 4.85%。喷施抗蒸腾剂后 5 d, ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理猕猴桃叶片的可溶性蛋白含量分别比 CK 低 8.84%、12.12%, ZW_{600} 处理猕猴桃叶片的可溶性蛋白含量与 CK 相比虽有降低, 但是差异不显著。喷施抗蒸腾剂后 8 d, 3 个抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的可溶性蛋白含量均显著低于 CK, 降幅由高到低为 ZW_{400} (20.76%)、 ZW_{500} (15.72%)、 ZW_{600} (15.19%)。喷施抗蒸腾剂后 11 d, 3 个抗蒸腾剂处理猕猴桃叶片的可溶性蛋白含量与 CK 相比显著降

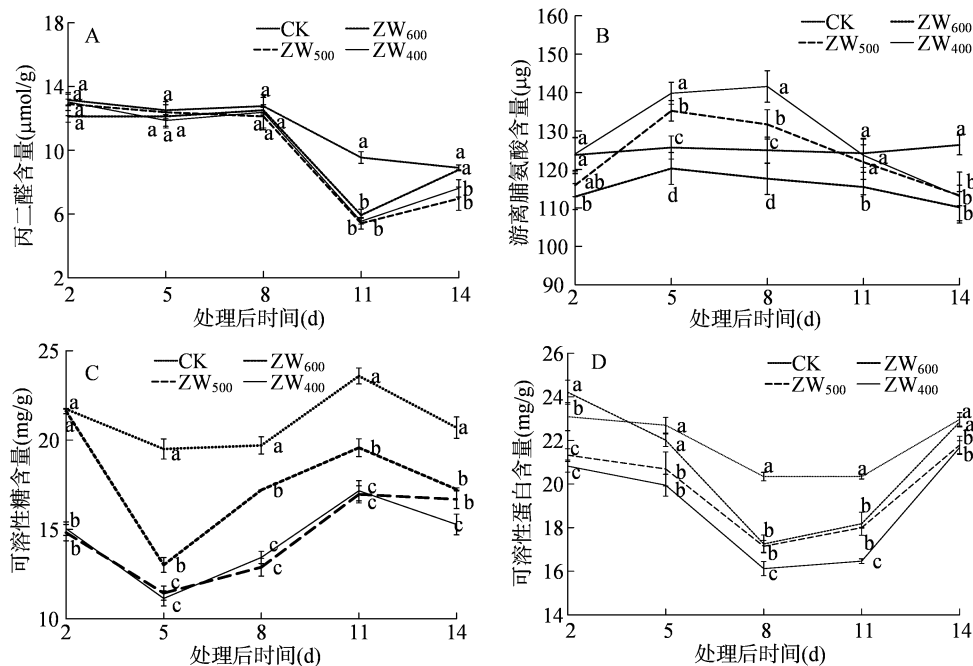


图6 叶面喷施抗蒸腾剂对猕猴桃叶片丙二醛、游离脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白含量的影响

低,降幅由高到低为 ZW₄₀₀ (19.07%)、ZW₅₀₀ (11.52%)、ZW₆₀₀ (10.63%)。喷施抗蒸腾剂后 14 d,除低浓度 ZW₆₀₀处理猕猴桃叶片的可溶性蛋白含量与 CK 差异不显著外,其他 2 个处理均可显著降低猕猴桃叶片的可溶性蛋白含量,降幅由高到低为 ZW₄₀₀ (5.61%)、ZW₅₀₀ (5.12%)。

2.4 抗蒸腾剂对猕猴桃植株生长发育的影响

由表 1 可知,3 个抗蒸腾剂处理的猕猴桃梢粗介于 8.16~8.45 cm 之间,与 CK (8.39 cm) 之间差异不显著。用抗蒸腾剂处理后,猕猴桃叶片长介于 12.05~12.37 cm 之间,叶片宽介于 15.49~16.10 cm 之间,与 CK 间的差异均未达到显著水平。

表 1 抗蒸腾剂对猕猴桃开花坐果期植株生长发育的影响

处理	梢粗 (cm)	叶片长 (cm)	叶片宽 (cm)	叶片厚 (mm)	叶片含水量 (%)	坐果率 (%)
CK	8.39±0.73a	12.45±1.07a	15.05±1.33a	0.52±0.04a	75.23±1.06c	77.41±4.89b
ZW ₆₀₀	8.16±0.69a	12.05±0.45a	15.75±0.65a	0.51±0.03a	77.21±0.12b	79.12±6.09ab
ZW ₅₀₀	8.45±0.81a	12.30±1.00a	16.10±1.43a	0.52±0.03a	78.71±0.97a	79.80±7.05ab
ZW ₄₀₀	8.35±0.65a	12.37±1.14a	15.49±1.03a	0.53±0.04a	79.25±0.65a	80.94±5.45a

注:指标重复测定 3 次,结果以平均值±标准差表示;同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平存在显著性差异。下表同。

2.5 抗蒸腾剂对猕猴桃果实品质的影响

由表 2 可知,3 个抗蒸腾剂处理的猕猴桃果实纵径介于 60.26~60.83 mm 之间,横径介于 53.25~53.73 mm 之间,果实纵、横径均与 CK 之间差异不显著。用抗蒸腾剂处理后,果实单果重比 CK (90.05 g)略有增加,介于 92.59~93.49 g 之间,但与 CK 间的差异均未达到显著水平。抗蒸腾剂处理

抗蒸腾剂处理猕猴桃的叶片厚度介于 0.51~0.53 mm 之间,与 CK (0.52 mm) 之间差异不显著。以上结果表明,在猕猴桃开花坐果期喷施代谢型抗蒸腾剂中威不会对猕猴桃梢粗、叶片长、叶片宽、叶片厚产生显著影响。但是,喷施抗蒸腾剂能提高猕猴桃的叶片含水量,ZW₄₀₀、ZW₅₀₀、ZW₆₀₀处理猕猴桃的叶片含水量分别较 CK 显著提高 5.34%、4.63%、2.63%。3 个抗蒸腾剂处理的坐果率均高于 CK,其中 ZW₄₀₀处理的坐果率与 CK 间的差异达到显著水平,增幅为 4.56%。ZW₆₀₀、ZW₅₀₀处理猕猴桃的坐果率虽略高于 CK,但差异不显著。

猕猴桃果实的可溶性固形物含量介于 18.95%~19.28% 之间,与 CK (18.73%) 间差异不显著。抗蒸腾剂处理后,猕猴桃果实的可滴定酸含量介于 1.05%~1.06% 之间,与 CK (1.09%) 相比略有降低,但是差异不显著。3 个抗蒸腾剂处理的猕猴桃果实可溶性糖含量介于 9.5%~9.76% 之间,与 CK (9.52%) 之间差异不显著。

表 2 叶面喷施抗蒸腾剂对猕猴桃果实品质的影响

处理	纵径 (mm)	横径 (mm)	单果重 (g)	可溶性固形物含量 (%)	可滴定酸含量 (%)	可溶性糖含量 (%)
CK	59.83±5.53a	51.36±1.96a	90.05±1.88a	18.73±0.56a	1.09±0.04a	9.52±0.71a
ZW ₆₀₀	60.26±4.23a	53.39±1.59a	92.59±1.28a	18.95±0.46a	1.05±0.04a	9.50±0.88a
ZW ₅₀₀	60.78±4.48a	53.25±3.14a	93.22±0.31a	19.00±0.47a	1.06±0.06a	9.56±0.40a
ZW ₄₀₀	60.83±4.06a	53.73±1.34a	93.49±0.58a	19.28±0.59a	1.06±0.06a	9.76±0.32a

3 讨论

3.1 抗蒸腾剂对猕猴桃叶片气孔和光合的影响

气孔是植物与外界气体交换的通道,可通过开合调控植物的光合与蒸腾作用,进而影响植物生长、产量及抗逆性^[12-14]。研究显示,喷施抗蒸腾剂可减小葡萄、小麦气孔的开张度,降低气孔导度和蒸腾速率,提高抗旱能力^[15-17]。本试验的扫描电镜结果显示,3 个抗蒸腾剂处理均显著降低了猕猴桃

叶片气孔长度、宽度及气孔张开长度、宽度,使气孔张开程度缩小。3 个抗蒸腾剂处理的气孔导度、蒸腾速率在喷施后的 2~8 d 内均显著低于 CK (ZW₄₀₀处理后 8 d 除外),表现为 CK>ZW₄₀₀>ZW₅₀₀>ZW₆₀₀。这与 Iriti 等对大豆叶面施用壳聚糖抗蒸腾剂导致气孔关闭、蒸腾减少的结果^[18]一致。本试验中,喷施 3 个抗蒸腾剂处理 2~11 d 后,叶片胞间 CO₂ 浓度较 CK 显著降低 (ZW₄₀₀处理 8 d 时除外),且随着喷施浓度的降低而减少,表现为 ZW₄₀₀>

$ZW_{500} > ZW_{600}$, 这与喷施抗蒸腾剂导致叶片张开程度、气孔导度降低有关^[19]。叶片气孔导度、蒸腾速率、胞间 CO_2 浓度的降低最终导致叶片净光合速率降低, 其中低浓度 ZW_{600} 处理的叶片净光合速率较 CK 显著降低(处理 14 d 除外), 而中、高浓度 ZW_{400} 、 ZW_{500} 处理的叶片净光合速率与 CK 差异不显著(ZW_{400} 在处理 8 d、 ZW_{500} 在处理 5 d 除外), 这可能与中、高浓度处理比低浓度处理维持了更高的气孔导度、蒸腾速率有关, 也可能与抗蒸腾剂本身含有的营养物质缓解了对净光合速率的不利影响有关^[4, 20-21]。喷施抗蒸腾剂后 14 d 后, 中、高浓度 ZW_{400} 、 ZW_{500} 处理叶片的气孔导度、蒸腾速率、净光合速率均恢复到高于或与 CK 差异不显著的水平。由此可知, 中威抗蒸腾剂在猕猴桃上喷施的有效时间为 14 d 以内。3 个抗蒸腾剂处理的叶片叶绿素含量与 CK 变化趋势一致, 均随处理时间的延长而增长, 这与开花期猕猴桃叶片仍处于生长阶段、叶片逐渐趋于成熟有关^[22]。与 CK 相比, 喷施抗蒸腾剂处理降低了猕猴桃的无效耗水量, 维持了较高的叶片含水量, 这有助于猕猴桃在高温干旱下维持正常的生理活动, 增强猕猴桃植株抗高温、干旱的能力^[23]。叶片含水量在处理 8 d 降到最低值, 可能与处理后 7 d(4 月 6 日)授粉全部结束, 猕猴桃处于受精坐果期, 因此子房需水量大有关。

3.2 抗蒸腾剂对抗氧化酶活性、丙二醛及渗透调节物质的影响

植物受到逆境胁迫(高温、干旱、低温、盐渍等)时, 体内会产生大量活性氧(ROS), 包括超氧阴离子自由基^[24]。超氧阴离子自由基的不断积累, 可引发脂质过氧化反应, 导致 MDA 含量升高^[25]。MDA 是脂质过氧化的产物, 其含量越高, 说明细胞膜所受损伤程度越大^[22, 26]。在植物抗氧化防御体系中, POD、CAT 与 SOD 协同作用, SOD 将超氧阴离子自由基歧化为 H_2O_2 后, POD、CAT 进一步催化 H_2O_2 , 产生无害的 O_2 、 H_2O ^[22, 27]。中、高量抗蒸腾剂 ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理的猕猴桃叶片 SOD 活性在处理期间始终高于 CK, POD 活性除喷施抗蒸腾剂后 2、11 d 外, 均高于 CK, CAT 活性在喷施抗蒸腾剂后 2~5 d 均高于 CK, 说明喷施中、高量抗蒸腾剂有助于猕猴桃抗氧化酶活性的提高, 帮助猕猴桃清除体内自由基, 防止 MDA 含量升高, 减轻活性氧伤害^[28]。不同酶活性在不同处理时间的变化不同, 可能与植株当时所处的环境条件及植株生长发育动

态有关^[29], 由于是大田试验, 所以大气环境、土壤水分存在动态变化, 具体影响机制有待进一步研究。除抗氧化酶系统外, 植物体也可通过调节体内游离脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白等渗透调节物质含量来应对逆境胁迫^[22]。游离脯氨酸积累是植物一种常见的抗逆反应, 可调节细胞渗透压、稳定蛋白质和膜结构、清除活性氧等^[24]。研究发现, 植物受到胁迫时, 抗氧化酶活性的提高有助于减少活性氧对细胞的伤害, 同时也可能促进游离脯氨酸的积累^[29]。在喷施抗蒸腾剂后 5~8 d, 本试验中、高量抗蒸腾剂 ZW_{500} 、 ZW_{400} 处理的游离脯氨酸含量显著高于 CK, 可能与 5~8 d 时 2 个处理具有较高的 SOD、POD 活性有关, 因为 SOD、POD 活性的增强维持了细胞内的氧化还原环境, 为脯氨酸的合成提供了相对稳定的环境。此外, SOD、POD 清除活性氧的过程可能会激发一系列信号转导, 间接诱导脯氨酸合成相关基因的表达, 从而增加游离脯氨酸含量^[22, 24, 29]。可溶性糖、可溶性蛋白在调节细胞渗透压、保护细胞膜等方面也同样发挥着作用^[20, 24]。本试验中、高量抗蒸腾剂处理 ZW_{500} 、 ZW_{400} 猕猴桃叶片的可溶性糖、可溶性蛋白含量在采样期间始终显著低于 CK, 表明喷施中、高量抗蒸腾剂后, 猕猴桃只依靠提高抗氧化酶活性、积累脯氨酸含量, 而不用通过提高可溶性糖、可溶性蛋白含量来提高细胞渗透压, 就能达到防止膜脂过氧化伤害、维持猕猴桃正常生理功能的目的。抗氧化酶和游离脯氨酸协同作用, 提高了猕猴桃的抗旱性。

3.3 抗蒸腾剂对猕猴桃生长及果实品质的影响

植物生长、形态指标反映了生物量的积累, 是植物生长能力和生长状况的代表性指标^[30]。在本试验中, 各抗蒸腾剂处理对猕猴桃梢粗、叶片长、叶片宽、叶片厚的影响不显著, 表明喷施抗蒸腾剂对猕猴桃开花坐果期的植株生长未产生抑制作用。植物叶片组织含水量可以反映植物在干旱胁迫下的水分亏缺状况, 能间接衡量植物的抗旱能力^[31]。陈怡昊等研究发现, 亏水灌溉条件下导致黄瓜的叶片组织含水量迅速下降, 叶片喷施 FA 抗蒸腾剂后, 能有效维持叶片内组织含水量^[31]。李茂松等研究冬小麦也得到了类似的结果^[32]。本试验中, 抗蒸腾剂能有效维持猕猴桃叶片含水量, 且含水量随处理浓度的升高而升高, 有助于维持猕猴桃在高温干旱气候下正常的生理活动, 提高抗旱性^[31]。Flora 等研究发现, 叶面喷施 2% 液体石蜡可降低甜橙蒸腾

速率,提高水分利用效率,有效减少日晒引起的果实掉落^[33]。本试验中,喷施“中威”抗蒸腾剂提高了猕猴桃的坐果率,可能是因为抗蒸腾剂维持了猕猴桃叶片较高的含水量,可为授粉、受精提供更充足的水分供应,以保证猕猴桃正常授粉、受精。研究发现,施用含有腐殖酸、黄腐酸成分的抗蒸腾剂可以改善作物品质,提高果实的商品率^[34]。例如,施用腐殖酸类抗蒸腾剂可以显著提升柠檬单果重、可食性、出汁率及维生素 C、总酸、总糖、总可溶性固形物含量^[35]。李婉平等研究发现,喷施 FA 旱地龙抗蒸腾剂可显著降低酿酒葡萄果实中总还原糖含量,提高总酸含量^[8]。在本试验中,喷施的中威抗蒸腾剂腐殖酸含量 ≥ 40 g/L,但各处理猕猴桃果实纵横径、单果重、可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖含量与 CK 间的差异均未达到显著水平,这可能与抗蒸腾剂处理在开花坐果期,离采收期时间间隔长、影响逐渐减弱有关。

4 结论

花期喷施抗蒸腾剂可显著减小猕猴桃叶片气孔张开宽度、张开长度,降低气孔导度和蒸腾速率,减少水分散失,维持叶片含水量,提高坐果率,提高抗氧化酶活性,降低猕猴桃植株 MDA、可溶性糖、可溶性蛋白含量,提高猕猴桃抵御高温干旱气候的能力。其中以盛花期前 2 d 用 2.0 ~ 2.5 mL/L 浓度喷施的效果最佳,前后 2 次喷施间隔 14 d 以上为好。

参考文献:

- [1] 池再香,罗培富,孙翔,等. 低温天气过程对贵州西部红心猕猴桃坐果率的影响调查[J]. 中国农业气象,2020,41(12):807-813.
- [2] 陈蕴,姚静,池再香. 气象灾害对六盘水市农业生产的影响[J]. 安徽农业科学,2016,44(35):191-192,219.
- [3] 邹秀琴,严旭丽,季伟灵. 高温干旱对山地猕猴桃生长发育的影响及其防御措施[J]. 现代园艺,2015(3):24-25.
- [4] Mphande W, Farrell A D, Kettlewell P S. Commercial uses of antitranspirants in crop production: a review [J]. Outlook on Agriculture,2023,52(1):3-10.
- [5] 白云岗. 极端干旱区成龄葡萄需水规律及微灌节水技术研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2011.
- [6] 陈怡昊,李波,王奇峰,等. FA 型抗蒸腾剂对温室黄瓜生长和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):131-134,142.
- [7] González-Santamaría R, Ruiz-González R, Nonell S, et al. Influence of foliar riboflavin applications to vineyard on grape amino acid content[J]. Food Chemistry,2018,240:601-606.
- [8] 李婉平,刘敏,王皆行,等. 炎热气候条件下抗蒸腾剂对酿酒葡萄光合特性与葡萄酒品质的影响[J]. 中国农业科学,2019,52(17):3008-3019.
- [9] Delfine S, Tognetti R, Desiderio E, et al. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2025(2):183-191.
- [10] 张宪政. 植物叶绿素含量测定:丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学,1986(3):26-28.
- [11] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,1995:28-154.
- [12] Djanaguiraman M, Vidhya Bharathi K S, Raghu R, et al. Sorghum drought tolerance is enhanced by cerium oxide nanoparticles via stomatal regulation and osmolyte accumulation [J]. Plant Physiology and Biochemistry,2024,212:108733.
- [13] Zhou Y M, Jiang X J, Schaub M, et al. Ten-year exposure to elevated CO₂ increases stomatal number of *Pinus koraiensis* and *P. sylvestris* needles [J]. European Journal of Forest Research, 2013,132(5):899-908.
- [14] Dow G J, Bergmann D C. Patterning and processes: how stomatal development defines physiological potential [J]. Current Opinion in Plant Biology,2014,21:67-74.
- [15] Glenn D M. The mechanisms of plant stress mitigation by Kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops [J]. HortScience, 2014,47(6):710-711.
- [16] 刘广成,罗勇,李强,等. 两种新型抗蒸腾剂对小麦抗旱增产效果的影响[J]. 腐植酸,2014(6):13-19.
- [17] Pereira T S, Oliveira L A, Andrade M T, et al. Linking water-use strategies with drought resistance across herbaceous crops [J]. Physiologia Plantarum,2024,176(1):e14114.
- [18] Iriti M, Picchi V, Rossoni M, et al. Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid-dependent stomatal closure [J]. Environmental and Experimental Botany,2009,66(3):493-500.
- [19] 刘青,徐肖阳,王云霞,等. 水分胁迫对油松抗旱生理特征的影响[J]. 水土保持学报,2024,38(5):1-11.
- [20] 徐洪高,徐萍,罗文秀,等. 热驯化对高温胁迫下灯盏花生理生化特性的影响[J]. 作物杂志,2024,1-9.
- [21] 何爽. 不同类型抑制蒸腾剂对大豆和冬小麦生长及产量的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2009.
- [22] Mphande W, Kettlewell P S, Grove I G, et al. The potential of antitranspirants in drought management of arable crops: a review [J]. Agricultural Water Management,2020,236:106143.
- [23] 师长海,孔少华,翟红梅,等. 喷施抗蒸腾剂对冬小麦旗叶蒸腾效率的影响[J]. 中国生态农业学报,2011,19(5):1091-1095.
- [24] 朴春红,宝音巴特,郭占全,等. 抗蒸腾剂对玉米主要叶片光合特性及生理特性的影响[J]. 分子植物育种,2017,15(10):4289-4293.
- [25] Palliotti A, Poni S, Berrios J G, et al. Vine performance and grape composition as affected by early-season source limitation induced with anti-transpirants in two red *Vitis vinifera* L. cultivars [J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2010,16(3):426-433.

许明,吴香君,王钱保,等. *IMPADI* 基因在鸡脂肪、肌肉组织及其细胞中的表达规律[J]. 江苏农业科学,2025,53(6):191-195.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.06.024

IMPADI 基因在鸡脂肪、肌肉组织及其细胞中的表达规律

许明¹, 吴香君^{1,2}, 王钱保¹, 赵振华¹, 吴兆林¹, 黄正洋¹, 黄华云¹

(1. 江苏省家禽科学研究所, 江苏扬州 225125; 2. 河北科技师范学院动物科技学院, 河北秦皇岛 0666003)

摘要:为探究 *IMPADI* 基因在鸡肌肉发育和脂肪沉积中的作用,以 S3、H 和 F 系鸡为试验素材,利用荧光定量 PCR 检测 *IMPADI* 在鸡不同发育时期不同组织及细胞中的表达,并做相关性分析。结果表明:在腹部脂肪组织中, *IMPADI* 在 2、15 周龄 H 系和 F 系鸡中的表达量极显著高于 S3 系 ($P < 0.01$);在皮下脂肪组织中,2、5 周龄时 F 系鸡极显著高于其他品系 ($P < 0.01$);在胸肌组织中,2、5、10、15 周龄时 S3 系鸡极显著高于与其他品系 ($P < 0.01$);在腿肌组织中,0 周龄时 F 系极显著高于其他系 ($P < 0.01$),2、5 周龄时 S3 系极显著高于 F 系和 H 系 ($P < 0.01$);在肝脏组织中,5、10、15 周龄时 F 系鸡极显著高于 S3 系 ($P < 0.01$);在成肌细胞中, *IMPADI* 在增殖 50% 时的表达量显著高于分化期 ($P < 0.05$);在肌内脂肪细胞中, *IMPADI* 在分化 7 d 时的表达量显著低于增殖期与分化 1、3、5 d ($P < 0.05$)。相关性分析表明, *IMPADI* 与 H 系鸡的胸肌率呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。综上所述, *IMPADI* 在不同品系和组织间的表达存在显著差异性,说明 *IMPADI* 参与了不同品系鸡不同周龄的肌肉发育与脂肪沉积过程,该基因可作为相关性状筛选时的候选基因。

关键词:鸡; *IMPADI* 基因; 脂肪沉积; 肌肉发育; 细胞; 表达规律

中图分类号:S831.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)06-0191-05

肌肉和脂肪组织是畜禽体内 2 个关键的组织类

收稿日期:2024-04-23

基金项目:国家重点研发计划重点专项(编号:2021YFD1200803);江苏省种业振兴揭榜挂帅项目[编号:JBGS(2021)109、JBGS(2021)029];现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-41-Z05)。

作者简介:许明(1978—),男,江苏盐城人,硕士,副研究员,从事家禽遗传育种与生产研究,E-mail:mingxu2006@126.com;共同第一作者:吴香君(1992—),女,辽宁凤城人,硕士研究生,从事家禽遗传育种与生产研究,E-mail:1844625084@qq.com。

通信作者:黄华云,博士,研究员,从事家禽遗传育种与生产研究。E-mail:huanghuayun520@163.com。

型,它们在生理和遗传水平上相互作用,直接影响肉品质。生长速度、屠宰性能及肉品质等指标是一个品种(配套系)生产性能的直接体现。肌内脂肪含量与肉品质密切相关,适当增加肌内脂肪含量可以改善肉的嫩度并影响风味、多汁性、系水力等经济性状^[1]。肌肉发育和肌内脂肪的沉积是家禽的两大重要经济性状,肌肉发育状况直接关系到肉鸡的产肉量,肌内脂肪沉积量直接决定肉品质。研究表明,肌肉发育和肌内脂肪沉积是一个相互竞争的过程,同时又是相互调控的关系,共同生长和发

- [26]Brillante L, Belfiore N, Gaiotti F, et al. Comparing Kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought [J]. PLoS One, 2016, 11(6):e0156631.
- [27]Tubajika K M, Civerolo E L, Puterka G J, et al. The effects of Kaolin, harpin, and imidacloprid on development of Pierce's disease in grape [J]. Crop Protection, 2007, 26(2):92-99.
- [28]Azizfar S, Abdossi V, Gholami R, et al. Evaluation of the effects of kaolin and salicylic acid on yield and some physiological responses of olives under drought stress [J]. Journal of Horticultural Science, 2022, 35(4):605-619.
- [29]Anjum S, Xie X Y, Wang L C, et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress [J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(9):2026-2032.
- [30]Diem H. Cluster roots in Casuarinaceae: role and relationship to soil

- nutrient factors [J]. Annals of Botany, 85(6):929-936.
- [31]陈怡昊, 李波, 王奇峰, 等. FA 型抗蒸腾剂对温室黄瓜生长和产量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46(4):131-134, 142.
- [32]李茂松, 李森, 张述义, 等. 灌浆期喷施新型 FA 抗蒸腾剂对冬小麦的生理调节作用研究 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(4):703-708.
- [33]Flora G N, Babu J D, Lakshmi L M, et al. Effect of anti-transpirants on the transpiration rate and photosynthetic index of sweet orange [Citrus sinensis (L.) Osbeck] [J]. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 2020, 9:3011-3017.
- [34]Kanabar P. Effect of fulvic acid on yield and quality of organic bell pepper [D]. Nashville: Tennessee State University, 2022:1-15.
- [35]He X Y, Zhang H Q, Li J X, et al. The positive effects of humic/fulvic acid fertilizers on the quality of lemon fruits [J]. Agronomy, 2022, 12(8):1919.