

DOI: 10.12357/cjea.20240279

CSTR: 32371.14.cjea.20240279

刘泽亚, 韩守安, 王敏, 刘旭鹏, 徐梓涵, 张新玥, 周伟权, 张雯. 高岭土对酿酒葡萄光合、荧光特性及果实品质的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2025, 33(1): 116–126

LIU Z Y, HAN S A, WANG M, LIU X P, XU Z H, ZHANG X Y, ZHOU W Q, ZHANG W. Effect of Kaolin on the photosynthetic and fluorescence characteristics and fruit quality of wine grapes[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2025, 33(1): 116–126

高岭土对酿酒葡萄光合、荧光特性及果实品质的影响^{*}

刘泽亚¹, 韩守安², 王敏², 刘旭鹏², 徐梓涵¹, 张新玥¹, 周伟权^{1**}, 张雯^{2**}

(1. 新疆农业大学园艺学院 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆农业科学院园艺作物研究所/农业农村部新疆地区果树科学观测试验站/新疆作物化学调控工程技术研究中心/新疆特色果蔬基因组研究与遗传改良重点实验室 乌鲁木齐 830091)

摘 要: 针对新疆天山北麓产区酿酒葡萄果实发育过程中存在的高温频发所引起的问题, 本研究以‘赤霞珠’(Cabernet Sauvignon)、‘梅鹿辄’(Merlot)和‘品丽珠’(Cabernet Franc) 3个红色酿酒葡萄 (*Vitis vinifera*) 品种为试材, 于果实膨大期对叶面进行喷施高岭土(6%)处理, 以常规管理为对照(CK), 通过测定叶片光合特性、荧光特性以及果实品质等指标, 对其进行综合分析, 系统探究高岭土对新疆天山北麓产区酿酒葡萄的影响。结果表明: 红色酿酒葡萄品种‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’经高岭土处理后, 叶温比CK分别降低8.9%、8.3%和9.3%; 叶绿素a含量有效增加, 其中‘梅鹿辄’比CK增加52%; 高岭土处理有效提高3个品种的净光合速率。与CK相比, JIP-test参数 V_j 显著降低, 3个品种的电子传输通量的量子产率(ϕ_{E0})分别提高58.1%、93.0%和61.1%, 每光子吸收的PS II最终电子受体还原的量子产率(ϕ_{R0})分别提高87.5%、33.3%和66.6%; 单位反应中心吸收光能(ABS/RC)和单位面积吸收的光能(ABS/CSm)比CK均显著提高, 单位反应中心耗散能量(DI₀/RC)和单位面积热耗散能量(DI₀/CSm)比CK显著降低。在果实品质方面, 高岭土处理后‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’果皮中类黄酮含量比CK分别提升62.3%、63.9%和54.4%, 总黄酮含量分别提升79.1%、69.1%和56.7%, 黄烷醇含量分别提升48.6%、66.0%和27.2%; 种子中, ‘品丽珠’类黄酮含量提升68.2%, ‘赤霞珠’总黄酮含量提升67.1%。本研究表明, 新疆酿酒葡萄叶面喷施高岭土可以有效降低天山北麓产区‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’这3个红色酿酒葡萄品种的叶温, 减少单位面积叶片的热耗散, 提高光合速率, 提高叶片单位反应中心及单位面积对光能的吸收和利用, 有效避免夏季高温胁迫所造成的危害; 叶面喷施高岭土还有效增加了这3个酿酒葡萄品种的果实总酸和部分酚类物质的含量, 提高了果实品质。

关键词: 酿酒葡萄; 高岭土; 光合特性; 荧光特性; 果实品质

中图分类号: S663.1

Effect of Kaolin on the photosynthetic and fluorescence characteristics and fruit quality of wine grapes^{*}

^{*} 新疆维吾尔自治区天山创新团队项目(2022D14014)、国家现代农业产业技术体系专项资金(CARS-29-ZP-08)、“天山英才”青年科技拔尖人才项目(2022TSYCCX0068, 2023TSYCCX0022)、新疆鲜食葡萄宜机标准化综合栽培技术研究(2022B02034-2)和新疆乌鲁木齐北疆葡萄种质资源与果园生态新疆野外科学观测研究站项目(XJYWZ2307)资助

^{**} 通信作者: 周伟权, 主要从事果树种质资源与品质调控研究, E-mail: zhouwq1120@163.com; 张雯, 主要从事果园生态与果实品质调控研究, E-mail: zwxilin@126.com

刘泽亚, 主要从事果树栽培生理研究。E-mail: yayaya0504@163.com

收稿日期: 2024-05-20 接受日期: 2024-09-14

^{*} This study was supported by Tianshan Innovation Team of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2022D14014), the Special Fund for National Modern Agricultural Industry Technology System of China (CARS-29-ZP-08), “Tianshan Talents” Youth Science and Technology Top Talent Project (2022TSYCCX0068, 2023TSYCCX0022), the Research on Standardized Comprehensive Cultivation Techniques for Xinjiang Fresh Grapes (2022B02034-2), and the Field Scientific Observation and Research Station on Grape Germplasm Resources and Orchard Ecology in Northern Xinjiang (XJYWZ2307).

^{**} Corresponding authors: ZHOU Weiquan, E-mail: zhouwq1120@163.com; ZHANG Wen, E-mail: zwxilin@126.com
Received May 20, 2024; accepted Sep. 14, 2024

<http://www.ecoagri.ac.cn>

LIU Zeya¹, HAN Shou'an², WANG Min², LIU Xupeng², XU Zihan¹, ZHANG Xinyue¹, ZHOU Weiquan^{1**},
ZHANG Wen^{2**}

(1. College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Horticultural Crop Research Institute of Xinjiang Academy of Agricultural Sciences / Xinjiang Fruit Tree Science Observation and Experimental Station of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Xinjiang Crop Chemical Regulation Engineering Technology Research Center / Xinjiang Key Laboratory of Characteristic Fruit and Vegetable Genome Research and Genetic Improvement, Urumqi 830091, China)

Abstract: In response to the problems caused by frequent high temperatures during the development of wine grapefruits in the northern piedmont of the Tianshan Mountains in Xinjiang, this study used three red wine grapes (*Vitis vinifera*), namely 'Cabernet Sauvignon' 'Merlot' and 'Cabernet Franc', as test materials. During the fruit-swelling period, the leaves were sprayed with kaolin (6%), with conventional management as a control (CK). By measuring photosynthetic characteristics, fluorescence characteristics, and fruit quality indicators, a comprehensive analysis was conducted to systematically explore the effect of Kaolin on wine grapes in the northern foothills of the Tianshan Mountains in Xinjiang. The results showed that after Kaolin treatment, the leaf temperature of the three red wine grapes decreased by 8.9%, 8.3%, and 9.3%, respectively, compared with CK, effectively increasing the content of chlorophyll a. 'Merlot' increased by 52% compared to CK. After Kaolin treatment, the net photosynthetic rates of all three varieties improved. For the JIP-test parameters, V_j was significantly reduced compared with CK, and the quantum yields of electron transport flux (ϕ_{E_0}) and PS II final electron acceptor reduction per photon (ϕ_{R_0}) were significantly increased. The ϕ_{E_0} parameters of the three varieties increased by 58.1%, 93.0%, and 61.1% compared with CK, and the ϕ_{R_0} parameters increased by 87.5%, 33.3%, and 66.6%, respectively. The absorption of light energy per unit reaction center (ABS/RC) and unit area (ABS/CSm) of the three varieties was significantly increased compared with CK, effectively improving the absorption and utilization of light energy per unit reaction center and unit area. The dissipated energy per unit reaction center (DI₀/RC) and unit area (DI₀/CSm) were significantly reduced compared with CK, which relatively avoided the harm caused by high-temperature stress. In terms of fruit quality, the flavonoids, flavones, and flavanols in the skins of various grape varieties treated with Kaolin significantly increased. Compared with CK, the flavonoid content in the skins of 'Cabernet Sauvignon' 'Merlot' and 'Cabernet Franc' increased by 62.3%, 63.9%, and 54.4%, the flavone content increased by 79.1%, 69.1%, and 56.7%, and the flavanol content increased by 48.6%, 66.0%, and 27.2%, respectively. In the seeds, the flavonoid content of 'Cabernet Franc' increased by 68.2%, and the flavone content of 'Cabernet Sauvignon' increased by 67.1%. This study showed that spraying Kaolin on the leaves of Xinjiang wine grapes can effectively reduce the leaf temperature of three red wine grapes, 'Cabernet Sauvignon' 'Merlot' and 'Cabernet Franc' in the northern piedmont of the Tianshan Mountains. This treatment reduces the heat dissipation per unit area of leaves, increases the photosynthetic rate, enhances the absorption and utilization of light energy per unit reaction center and unit area of leaves, and effectively mitigates the damage caused by high-temperature stress in summer. Spraying Kaolin on the leaves also effectively increased the total acid and some phenolic substances in the fruits of these three wine grapes, improving their fruit quality.

Keywords: wine grapes; Kaolin; photosynthetic characteristics; fluorescence characteristics; fruit quality

新疆葡萄 (*Vitis vinifera*) 产区是公认的酿酒葡萄最佳种植地之一。新疆酿酒葡萄种植品种有十余种, 主要有‘赤霞珠’‘梅鹿辄’‘品丽珠’‘霞多丽’‘西拉’等^[1]。新疆北麓产区主要种植的红色葡萄品种为‘赤霞珠’和‘梅鹿辄’, 少部分地区种有‘西拉’和‘蛇龙珠’等品种^[2]。新疆地处干旱区, 同时也是气候变化的敏感区和生态脆弱区, 受全球气候变暖的影响, 新疆年平均气温呈现显著上升趋势; 从 20 世纪 90 年代开始新疆地区增温趋势明显, 近年来极端高温天气逐渐增多, 年际变化也愈发剧烈^[3-4]。由于新疆葡萄产区在果实发育过程中存在的高温频发的问题, 降低了植株的光合能力, 影响了植株的生长发育。酿酒葡萄的品质由其自身的品种特性和环境条件共同决定, 适宜的生态条件和气候条件都必不可少, 而温度对酿酒葡萄果实品质具有重要的影响^[5]。然而新疆夏季高温频发, 导致新疆产区酿酒葡萄表现出糖高酸低且

成熟快、生育期短的特点, 致使葡萄成熟后果实内的酸和酚类物质积累不足, 影响了果实品质和葡萄酒品质。因此, 避免夏季高温胁迫引起的新疆酿酒葡萄光合能力损失、延长生育期且推迟成熟就显得尤为重要。为保证葡萄所需温度、光照与生理需求平衡, 达到丰产稳产、提高果实品质的目的, 采用适宜的栽培调控措施和合理施用外源产品来缓解高温对酿酒葡萄生长和果实品质的影响, 成为生产中亟待解决的关键问题。

“高岭土”是一种非金属矿产^[6]。国内外大部分研究都表明高岭土在植物保护、缓解高温胁迫, 以及提高作物产量和品质领域都有明显效果。前人研究表明高岭土喷施适宜浓度为 3%~6%, 可以在降低葡萄叶温的同时提高光合速率、气体交换、内部 CO₂ 分压和水分利用效率^[7]。高岭土可通过反射过量的光照和热量, 从而降低叶温和蒸腾作用, 降低因

高温、干旱胁迫对植株的伤害;同时使用高岭土并不会影响叶片的正常气体交换,还可以提高植株光合作用,改善果实的外观、颜色以及果实质量和内含物。王莹^[7]研究表明,高岭土颗粒膜能够有效防控‘赤霞珠’叶片霜霉病,限制菌丝体在叶片细胞间的生长和扩张。Lobos 等^[8]研究发现,高岭土颗粒膜可以将‘赤霞珠’叶片对光合有效辐射(PAR)和紫外光的反射率提高 26%~155%。同样,Frioni 等^[9]也观察到,经高岭土处理过的‘黑比诺’葡萄叶片的 PAR 反射率比 CK 高 50%。Melgarejo 等^[10]研究表明高岭土处理可以减少高温强光对石榴(*Punica granatum*)造成伤害。Rosati 等^[11]研究表明使用高岭土可以减少高温和干旱胁迫对扁桃(*Prunus dulcis*)和核桃(*Juglans regia*)光合作用的影响。Gregoriou 等^[12]在对橄榄(*Canarium album*)的研究中发现,高岭土处理后叶片叶绿素含量有所提高,叶绿素 a/b 比率降低。大多数关于葡萄高岭土施用的研究与这些研究一致,表明高岭土在降低叶温、提高水利用效率、增加叶绿素和类胡萝卜素含量、改善葡萄的光合能力和抑制过多能量耗散等方面都起了积极作用^[13-16]。由于高岭土的无毒性,可在植物茎叶表面均匀附着,因此常被作为隔离植物体与外界不良环境的屏障。近几年,国内虽然已经开始逐步将高岭土应用于植物保护方面,但目前在改善叶片光合特性及提升果实品质方面尚未广泛应用研究。因此,本研究以 3 个红色酿酒葡萄品种‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’为试材,选择 6% 高岭土对叶面进行喷施,探讨酿酒葡萄的光合特性、荧光特性及果实品质的变化,以期新疆葡萄产区夏季高温生态条件下,提高酿酒葡萄品质调控技术的选择和应用提供理论和参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验站点与材料

本试验在乌鲁木齐市新疆农业科学院综合试验场葡萄示范园内进行。试验点属于典型温带大陆性干旱气候类型,全年日照时长 2 550 h。供试葡萄品种为‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’,树龄 8 年,南北行向种植,株行距 1.0 m×3.2 m,采用“厂”形篱壁整形方式,主蔓距地面 50 cm,叶幕层厚度为 80 cm,新梢间距 10~15 cm (图 1)

1.2 试验设计

以叶面喷施高岭土作为处理,以喷施清水作为对照。高岭土选择煅烧高岭土 6 000 目,按 6% 的质量浓度与水混合调配后直接喷洒至供试植株叶片表面,于 2022 年 6 月 22 日(果实膨大期)进行。对照处理同期喷施清水。每个品种以 1 档(6 株)为 1 小区,每个品种每个处理重复 3 次,共 18 株;喷施标准以达到有液滴沿着叶片流下为止,使其能够完整和均匀地覆着在叶片表面,之后每隔 20 d 喷施一次,如遇大雨或副稍萌发进行补喷,果实进入转色期后停止喷施。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 叶温的测定

于果实转色期选择晴天 11:00—13:00 太阳光强达到最大、气温最高时,挑选合适的向阳叶采用红外测温仪(DT8380)进行叶温的测定。

1.3.2 叶片光合指标的测定

于果实转色期采用 CIRAS-3 光合仪(PP-Systems, 美国)进行测定,光合指标测定时保持叶室和环境温度一致。PAR(光合有效辐射)设定 12 个梯度,分别为 2 000、1 600、1 200、800、600、400、300、200、150、100、50 和 0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。选择晴朗无云的天

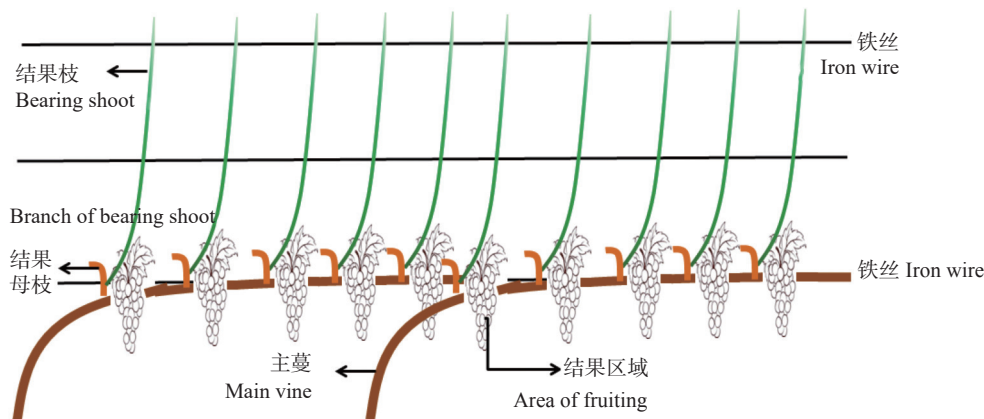


图 1 “厂”形树形结构及篱壁形叶幕示意

Fig. 1 Abridged general view of ‘厂’ shape training structure and the fence wall canopy structure

气于 9:00—11:00 测定净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、胞间 CO_2 浓度 (C_i)、蒸腾速率 (T_r) 等气体交换参数; 水分利用效率 (WUE) 用蒸腾速率和光合速率的比值来表示。注意测定时不同品种植株需选相同高度区域内长势一致的叶片测定。用直角双曲线修正模型拟合光合光响应曲线^[17-18], 计算表观量子效率 (AQY)、光补偿点 (LCP)、光饱和点 (LSP)、最大净光合速率 (P_{nmax}) 和暗呼吸速率 (R_d)。

1.3.3 叶绿素含量、叶绿素荧光参数的测定

叶绿素含量的测定参照李静^[19]的方法。于果实转色期, 选取生长状况良好的功能叶, 采用 FMS-2 便携脉冲调制式荧光 (Hansatech, 英国) 测定叶绿素荧光参数。待测样叶先经过 30 min 暗处理后, 在低强度红光照射下, 得到原初荧光 (F_0) 和最大荧光 (F_m)。然后叶片在自然光条件下适应 30 min 后, 在内源 $300 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 光照射下获得稳态荧光 (F_s), 在 $6000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 的饱和脉冲白光下照射 0.8 s 后获得光下最大荧光 (F_m')。实际光化学效率 $\Phi PS II = (F_m' - F_s) / F_m'$; 非光化学淬灭系数 $NPQ = F_m / F_m' - 1$; 光化学淬灭系数 $qP = (F_m' - F_s) / (F_m' - F_0)$; 电子传递速率 $ETR = (F_v / F_m) \times PAR \times 0.84 \times 0.5$; 光系统 II (PS II) 最大光化学效率 $F_v / F_m = (F_m - F_0) / F_m$ 。

1.3.4 快速叶绿素荧光诱导动力学参数测定

使用植物效率分析仪 Handy PEA (Hansatech, 英国) 测定酿酒葡萄叶片 OJIP 曲线并计算相关参数, 包括 V_i (i 点相对可变荧光)、 V_j (j 点相对可变荧光)、 S_m (电子受体还原能量)、 ϕ_{P_0} (初级 PS II 光化学的最大量子产率)、 ϕ_{E_0} (从 Q_A 到 Q_B 的电子传输通量的量子产率)、 ϕ_{R_0} (每光子吸收的 PS II 最终电子受体还原的量子产率)、 dv/dto (Q_A 还原率)、 ABS/RC (单位反应中心吸收光能)、 DI_0/RC (单位反应中心耗散能量)、 TR_0/RC (单位反应中心最大捕获还原 Q_A 的能量)、 ET_0/RC (单位反应中心电子传递能量)、 ABS/CSm (单位面积吸收的光能)、 DI_0/CSm (单位面积热耗散能量)、 TR_0/CSm (单位面积吸收俘获能量)、 ET_0/CSm (单位面积电子传递通量)。参照李鹏民等^[20]和 Stirbet 等^[21]的方法进行 JIP-test 分析。

1.3.5 果实基础品质的测定

于果实成熟期采集试验样品。穗重: 各品种各处理随机均匀采集 15 串果穗进行测定; 粒重: 从果穗上中下选取 30 粒葡萄, 用百分之一电子天平进行称重; 种果比: 取 30 粒葡萄, 用万分之一电子天平对其进行称重, 再将种子分离进行称重, 计算种果比; 采用相同方法计算皮果比; 种子数: 取 30 粒葡萄将

种子分离出进行计算; 果穗紧实度: 取 5 串果穗计算果穗紧实度, 果穗紧实度=实际体积/估算体积, 其中穗实际体积采用排水法测定, 估算体积通过测定穗长、穗宽后采用圆锥体计算公式计算; 使用 ATAGO PAL-BX 葡萄专用糖酸度计测定总糖含量和总酸含量。

1.3.6 果实主要酚类物质的测定

于果实成熟期采集试验样品, 各品种均匀在果穗上中下取 200 粒果实, 采后 2 h 内将果皮、肉、种在低温环境下分离, 用液氮速冻后于 $-20^\circ C$ 冰箱保存。在酚类物质测定开始前将果皮、果肉、种子用低温液氮研磨机分别研磨至粉末状, 测定时使用 1/100 的电子天平称量种子鲜重 0.1 g, 果皮鲜重 0.3 g, 按不同品种和处理分别装于 50 mL 离心管中, 在低温环境条件下加入 70% 乙醇浸提 24 h, 取出上清液后, 再加入 50% 乙醇浸提 24 h, 随后将两次的上清液混合后作为各酚类物质指标测定的总提取液。花色苷含量用 pH 示差法测定, 参照孙晓文等^[22]的方法测定叶绿素含量, 采用福林-酚比色法测定多酚含量^[23], 采用亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠比色法测定总黄酮含量^[23], 采用氯化铝比色法测定类黄酮含量^[24], 采用香草醛-盐酸法测定黄烷醇和原花青素含量^[23,25], 采用福林-丹尼斯比色法测定单宁含量^[26]。

1.4 数据处理

使用 Excel 2013 对原始数据进行处理; 采用 IBM SPSS 19 软件对处理后的数据进行单因素方差分析; 利用 Origin 2019 软件进行制图。

2 结果与分析

2.1 高岭土对酿酒葡萄叶片温度的影响

从表 1 可以看出经过高岭土喷施处理后的 3 个酿酒葡萄品种叶温对比 CK 都有所下降, ‘赤霞珠’ ‘梅鹿辄’ ‘品丽珠’ 叶温分别下降 8.9%、8.3% 和 9.0%, 差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。

2.2 高岭土对酿酒葡萄叶片光合参数的影响

由图 2 可知, 随着光合有效辐射的不断增加, 各品种各处理的叶片光合响应曲线情况基本一致。从图 2a 可看出, 当光通量密度低于 $250 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时, P_n 快速增长, 随着光通量密度的增强, P_n 增速趋缓; 在同一光通量密度下经过高岭土处理的酿酒葡萄叶片的 P_n 均显著高于 CK。从图 2b 可看出, 经高岭土处理后各酿酒葡萄品种叶片的 C_i 都显著低于 CK。从图 2c 可看出, 高岭土处理下 3 个酿酒葡萄品种叶片的 G_s 对比 CK 都有不同程度地提升。从图 2d 可

表 1 高岭土处理下酿酒葡萄的叶片温度
Table 1 The effect of Kaolin on the temperature of wine grape leaves

℃

品种 Variety	处理 Treatment	叶温 Leaf temperature
赤霞珠 Cabernet Sauvignon	清水对照 Clear water control	37.1±0.23a
	6%高岭土 6% Kaolin processing	33.8±0.25b
梅鹿辄 Merlot	清水对照 Clear water control	36.3±0.22a
	6%高岭土 6% Kaolin processing	33.3±0.21b
品丽珠 Cabernet Franc	清水对照 Clear water control	36.5±0.17a
	6%高岭土 6% Kaolin processing	33.2±0.19b

不同小写字母表示经 Duncan's 测验差异显著($P<0.05$)。Different lowercase letters in the table indicate significant differences by Duncan's test ($P<0.05$).

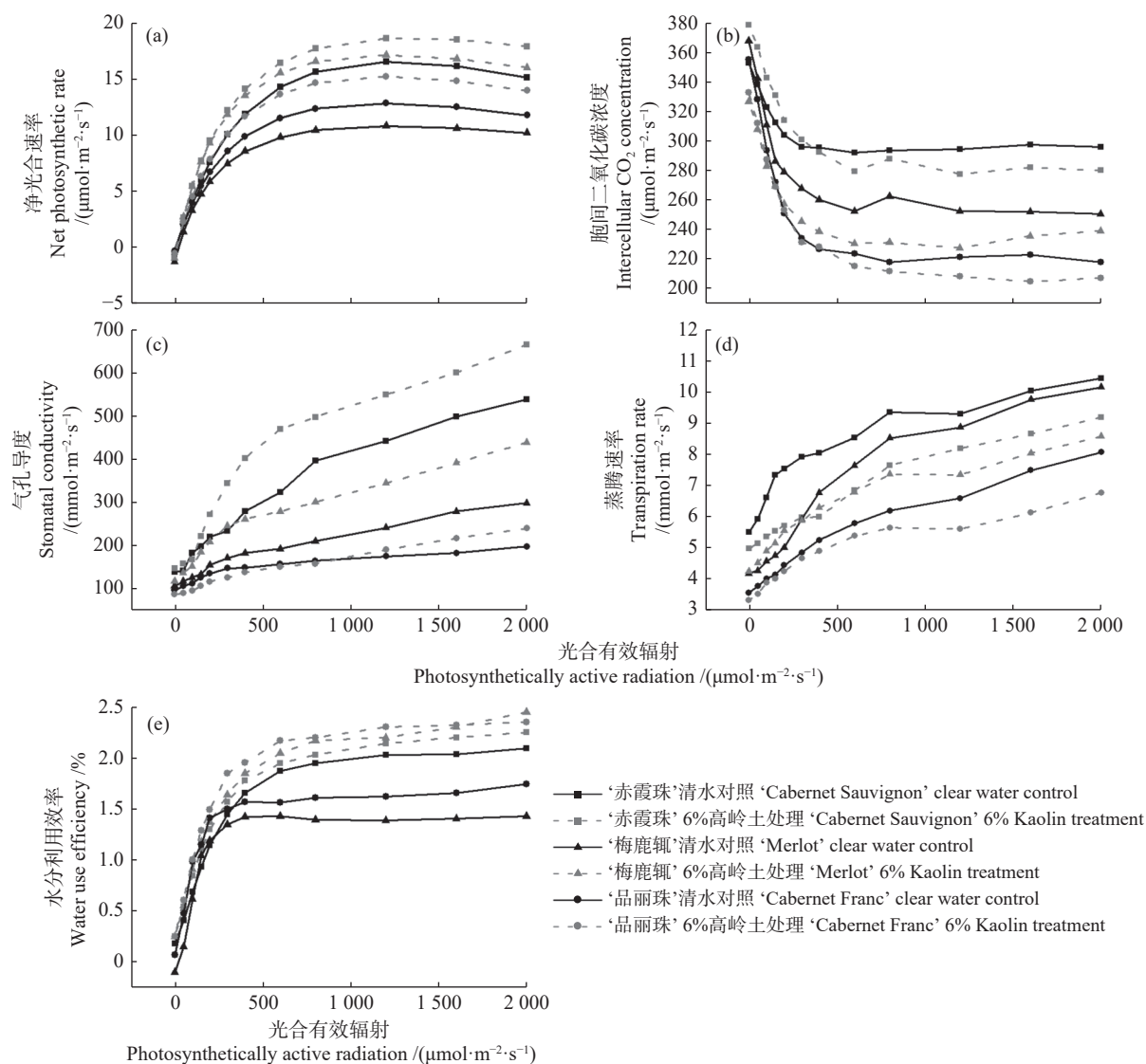


图 2 高岭土处理下不同酿酒葡萄品种叶片光合-光响应曲线

Fig. 2 Effect of Kaolin on the photosynthesis and light response curves of leaves of different varieties of wine grape

看出, 3 个酿酒葡萄品种经过高岭土处理后, T_L 对比 CK 均呈现出明显下降趋势。从图 2e 可看出, 高岭土处理下 3 个酿酒葡萄品种的 WUE 对比 CK 均有所提升。以上表明 3 个酿酒葡萄品种喷施高岭土叶片

光合能力都显著提升。

由表 2 可知, '赤霞珠' '梅鹿辄' 和 '品丽珠' 这 3 个酿酒葡萄在经过高岭土喷施处理后, 其 $P_{n\max}$ 、 I_{sat} 均高于 CK, $P_{n\max}$ 分别提高 14.0%、51.1% 和 20.1%,

均达到显著差异水平 ($P<0.05$)。

2.3 高岭土对酿酒葡萄叶片叶绿素含量、荧光参数的影响

2.3.1 叶绿素含量

由表 3 可知高岭土处理的 3 个酿酒葡萄品种的叶绿素含量比 CK 均显著提升。与 CK 相比‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’的叶绿素 a 含量分别提升 32.4%、52.0% 和 17.5%，叶绿素 a+b 含量分别提升 48.7%、57.4% 和 35.4%，均达显著水平 ($P<0.05$)；

吐绿素 a/b 分别降低 26.9%、8.3% 和 30.5%，‘赤霞珠’‘品丽珠’达显著水平 ($P<0.05$)。

2.3.2 叶绿素荧光参数

从表 4 可以看出酿酒葡萄在经过高岭土处理后，各品种的 F_v/F_m 、 $\Phi PS II$ 、qP 与 CK 对比无显著差异。对比 CK，高岭土处理下‘赤霞珠’和‘梅鹿辄’NPQ 分别显著提高 12.0% 和 10.7% ($P<0.05$)，‘品丽珠’则显著降低 20.8% ($P<0.05$)；而 3 品种的 ETR 分别显著提高 30.6%、23.0% 和 24.5% ($P<0.05$)。

表 2 高岭土处理下不同酿酒葡萄品种叶片光合-光响应特征曲线参数

Table 2 Influence of Kaolin on the parameters of photosynthetic light response characteristic curves of leaves of different varieties of wine grape

品种 Variety	处理 Treatment	最大净光合速率 $P_{n\max}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	光饱和点 $I_{\text{sat}}/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	光补偿点 $I_c/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	暗呼吸 $R_d/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	量子效率 AQY /%
赤霞珠 Cabernet Sauvignon	清水对照 Clear water control	20.11±1.21b	1 153.27±9.22b	15.87±1.28a	1.30±0.12a	0.96±0.03a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	22.92±1.41a	1 288.16±11.36a	14.18±1.12b	1.47±0.13a	0.98±0.02a
梅鹿辄 Merlot	清水对照 Clear water control	13.70±1.36b	1 234.29±13.41b	20.43±1.03a	1.50±0.12a	0.96±0.02a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	20.70±1.75a	1 368.71±10.18a	13.06±1.05b	1.45±0.13a	0.97±0.01a
品丽珠 Cabernet Franc	清水对照 Clear water control	15.20±1.23b	1 136.84±12.32b	9.96±1.11b	0.73±0.03b	0.96±0.04a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	18.25±1.11a	1 294.63±9.75a	13.90±1.02a	1.30±0.12a	0.96±0.02a

不同小写字母表示经 Duncan's 测验两处理间差异显著 ($P<0.05$)。Different lowercase letters indicate significant differences between two treatments by Duncan's test ($P<0.05$). $P_{n\max}$: maximum net photosynthetic rate; I_{sat} : light saturation point; I_c : light compensation point; R_d : dark breathing rate; AQY: quantum efficiency.

表 3 高岭土处理下不同酿酒葡萄品种的叶绿素含量

Table 3 Effect of Kaolin on the leaf chlorophyll contents of different varieties of wine grape

品种 Variety	处理 Treatment	叶绿素a Chl a / (mg·g ⁻¹)	叶绿素b Chl b / (mg·g ⁻¹)	叶绿素a+b Chl a+b / (mg·g ⁻¹)	叶绿素a/b Chl a/b
赤霞珠 Cabernet Sauvignon	清水对照 Clear water control	2.38±0.22b	1.21±0.14b	3.59±0.30b	1.97±0.12a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	3.15±0.12a	2.19±0.11a	5.34±0.28a	1.44±0.13b
梅鹿辄 Merlot	清水对照 Clear water control	2.50±0.11b	1.30±0.23b	3.80±0.14b	1.92±0.09a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	3.81±0.14a	2.16±0.11a	5.97±0.11a	1.76±0.11a
品丽珠 Cabernet Franc	清水对照 Clear water control	2.52±0.13b	1.35±0.20b	3.87±0.12b	1.87±0.11a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	2.96±0.11a	2.27±0.21a	5.24±0.16a	1.30±0.14b

不同小写字母表示经 Duncan's 测验两处理间差异显著 ($P<0.05$)。Different lowercase letters indicate significant differences between two treatments by Duncan's test ($P<0.05$).

表 4 高岭土处理下不同酿酒葡萄品种叶片的叶绿素荧光参数

Table 4 Effect of Kaolin on chlorophyll fluorescence parameters of leaves of different varieties of wine grape

品种 Variety	处理 Treatment	F_v/F_m	$\Phi PS II$	qP	NPQ	ETR
赤霞珠 Cabernet Sauvignon	清水对照 Clear water control	0.81±0.02a	0.13±0.03a	0.42±0.02a	2.59±0.01b	1.57±0.04b
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	0.83±0.01a	0.18±0.02a	0.44±0.01a	2.90±0.01a	2.05±0.02a
梅鹿辄 Merlot	清水对照 Clear water control	0.83±0.01a	0.11±0.02a	0.34±0.01a	2.70±0.03b	1.52±0.02b
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	0.85±0.01a	0.12±0.01a	0.36±0.01a	2.99±0.02a	1.87±0.03a
品丽珠 Cabernet Franc	清水对照 Clear water control	0.82±0.02a	0.12±0.01a	0.35±0.03a	3.08±0.03a	1.59±0.01b
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	0.83±0.01a	0.11±0.03a	0.35±0.02a	2.44±0.04b	1.98±0.01a

不同小写字母表示经 Duncan's 测验两处理间差异显著 ($P<0.05$)。 F_v/F_m : 光系数 II 最大光化学效率; $\Phi PS II$: 实际光化学效率; qP: 光化学淬灭系数; NPQ: 非光化学淬灭系数; ETR: 电子传递速率。Different lowercase letters indicate significant differences between two treatments by Duncan's test ($P<0.05$). F_v/F_m : maximum photochemical efficiency of optical coefficient II; $\Phi PS II$: actual photochemical efficiency; qP: photochemical quenching coefficient; NPQ: non photochemical quenching coefficient; ETR: electron transfer rate.

2.3.3 叶绿素荧光动力学曲线和 JIP-test 参数

快速叶绿素荧光诱导动力学曲线可以反映植物 PS II 的原初光化学反应和光合机构电子传状态等过程的变化。图 3 表明,‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’经过高岭土处理后 OJIP 曲线未发生明显变形。

从表 5 可以看出,酿酒葡萄经过高岭土处理后,除 ϕ_{Po} 、 dv/dto 外,各品种的其他参数两处理间均差异显著。与 CK 相比,‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’叶片的 V_i 分别显著降低 35.5%、34.4% 和 37.7% ($P<0.05$), V_j 分别显著降低 25.3%、24.4% 和 25.3% ($P<0.05$), ϕ_{Eo} 分别显著提高 58.1%、93.0% 和 61.1% ($P<0.05$), ϕ_{Ro} 分别显著提高 87.5%、33.3% 和 66.6% ($P<0.05$); ‘赤霞珠’‘品丽珠’ S_m 分别显著提升 13.6%、11.7% ($P<0.05$)。

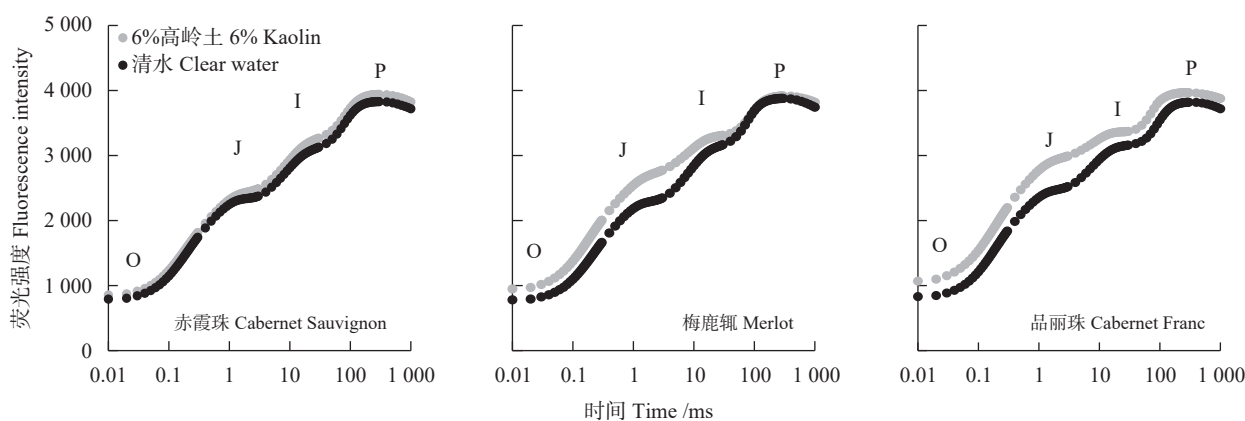
2.3.4 PS II 单个反应活性中心能量分配和单位截面积能量分配

从表 6 可以看出,经高岭土处理后 3 个酿酒葡萄

品种‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’ABS/RC 对比 CK 分别显著提高 26.6%、24.7% 和 24.7% ($P<0.05$), DI_o/RC 分别显著降低 54.4%、47.4% 和 51.1% ($P<0.05$), ABS/CSm 分别显著提高 13.3%、23.4% 和 19.3% ($P<0.05$), DI_o/CSm 分别显著降低 20.1%、18.1% 和 17.5% ($P<0.05$), TR_o/CSm 分别显著提高 12.0%、7.1% 和 14.1% ($P<0.05$), ET_o/CSm 分别显著提高 49.6%、35.9% 和 24.5% ($P<0.05$)。

2.4 高岭土对酿酒葡萄果实品质的影响

从表 7 可以看出,与对照相比,高岭土处理后‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’的穗重分别显著增加 27.8%、36.2% 和 23.3% ($P<0.05$); 粒重均有所提升,但仅‘梅鹿辄’达显著水平 ($P<0.05$); 除‘赤霞珠’外,其他两品种果皮比变化显著,‘梅鹿辄’提升 68.2% ($P<0.05$), ‘品丽珠’降低 35.6% ($P<0.05$); 总酸含量分别显著提高 34.8%、48.0% 和 43.1% ($P<0.05$); 总糖分别显著降低 14.3%、14.7% 和 13.6% ($P<0.05$)。



O: 起始点; J: 初期上升点; I: 中期上升点; P: 峰值点。O: starting point; J: initial upward trend; I: mid term upward trend; P: peak point.

图 3 高岭土处理下不同酿酒葡萄品种叶片的叶绿素荧光动力学曲线

Fig. 3 Chlorophyll fluorescence kinetics curves of leaves of different varieties of wine grape treated with Kaolin

表 5 高岭土处理下不同酿酒葡萄品种叶片的 JIP-test 参数

Table 5 JIP-test parameters of leaves of different varieties of wine grape treated with Kaolin

品种 Variety	处理 Treatment	V_i	V_j	S_m	ϕ_{Eo}	ϕ_{Ro}	ϕ_{Po}	dv/dto
赤霞珠 Cabernet Sauvignon	清水对照 Clear water control	0.59±0.12a	0.87±0.16a	20.10±0.17b	0.31±0.21b	0.08±0.01b	0.78±0.12a	1.21±0.14a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	0.38±0.24b	0.65±0.19b	22.83±0.22a	0.49±0.17a	0.15±0.03a	0.80±0.20a	1.19±0.12a
梅鹿辄 Merlot	清水对照 Clear water control	0.61±0.21a	0.82±0.23a	21.16±0.14a	0.30±0.15b	0.09±0.02b	0.67±0.21a	1.24±0.10a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	0.40±0.18b	0.62±0.18b	21.39±0.26a	0.58±0.24a	0.12±0.04a	0.69±0.19a	1.21±0.12a
品丽珠 Cabernet Franc	清水对照 Clear water control	0.69±0.13a	0.79±0.15a	18.81±0.37b	0.36±0.26b	0.09±0.02b	0.58±0.13a	1.18±0.18a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	0.43±0.21b	0.59±0.23b	21.02±0.41a	0.58±0.32a	0.15±0.03a	0.61±0.22a	1.38±0.22a

不同小写字母表示经 Duncan's 测验两处理间差异显著 ($P<0.05$)。 V_i : i 点相对可变荧光; V_j : j 点相对可变荧光; S_m : 电子受体还原能量; ϕ_{Eo} : 从 Q_A 到 Q_B 的电子传输通量的量子产率; ϕ_{Ro} : PS II 受体侧末端电子受体还原的量子效率; ϕ_{Po} : 初级 PS II 光化学的最大量子产率; dv/dto : Q_A 还原率。 Different lowercase letters indicate significant differences between two treatments by Duncan's test ($P<0.05$). V_i : relatively variable fluorescence at point i ; V_j : relatively variable fluorescence at point j ; S_m : electron acceptor reduction energy; ϕ_{Eo} : quantum yield of electron transfer flux from Q_A to Q_B ; ϕ_{Ro} : quantum efficiency of PS II receptor side terminal electron acceptor reduction; ϕ_{Po} : maximum quantum yield of primary PS II photochemistry; dv/dto : Q_A reduction rate.

表 6 高岭土处理下不同酿酒葡萄品种叶片 PS II 的单个反应活性中心能量分配和单位截面积能量分配
Table 6 Energy allocation of single reactive center and unit cross-sectional area for PS II of leaves of different varieties of wine grape treated with Kaolin

品种 Variety	处理 Treatment	ABS/RC	DI _o /RC	TR _o /RC	ET _o /RC	ABS/CSm	DI _o /CSm	TR _o /CSm	ET _o /CSm
赤霞珠 Cabernet Sauvignon	清水对照 Clear water control	2.18±0.31b	0.79±0.12a	2.01±0.14a	0.80±0.11a	3 419.1±29.21b	887.9±13.21a	3 020±41.27b	1 069±41.83b
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	2.76±0.28a	0.36±0.15b	2.21±0.19a	0.91±0.22a	3 872.2±36.33a	705.2±17.26b	3 383±69.82a	1 599±49.83a
梅鹿辄 Merlot	清水对照 Clear water control	2.31±0.41b	0.76±0.13a	3.22±0.12a	0.76±0.13a	3 222.6±45.62b	851.3±11.28a	2 998±59.94b	1 217±36.45b
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	2.88±0.33a	0.40±0.18b	3.28±0.22a	0.81±0.18a	3 977.3±37.97a	697.5±14.74b	3 211±57.15a	1 654±37.71a
品丽珠 Cabernet Franc	清水对照 Clear water control	2.23±0.29b	0.88±0.24a	2.76±0.36a	0.66±0.22a	3 319.1±35.88b	877.2±9.41a	3 152±42.81b	1 287±34.98b
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	2.78±0.48a	0.43±0.19b	2.88±0.26a	0.71±0.13a	3 959.8±39.73a	723.9±10.01b	3 598±64.12a	1 602±28.81a

不同小写字母表示经 Duncan's 测验两处理间差异显著($P<0.05$)。ABS/RC: 单位反应中心吸收光能; DI_o/RC: 单位反应中心耗散能量; TR_o/RC: 单位反应中心最大捕获还原 Q_A 的能量; ET_o/RC: 单位反应中心电子传递能量; ABS/CSm: 单位面积吸收的光能; DI_o/CSm: 单位面积热耗散能量; TR_o/CSm: 单位面积吸收俘获能量; ET_o/CSm: 单位面积电子传递通量。Different lowercase letters indicate significant differences between two treatments by Duncan's test ($P<0.05$). ABS/RC: absorption of light energy per unit reaction center; DI_o/RC: dissipated energy per unit reaction center; TR_o/RC: maximum capture and reduction energy of Q_A per unit reaction center; ET_o/RC: electron transfer energy per unit reaction center; ABS/CSm: absorbed light energy per unit area; DI_o/CSm: heat dissipation energy per unit area; TR_o/CSm: absorbed and captured energy per unit area; ET_o/CSm: electron transfer flux per unit area.

表 7 高岭土处理下不同酿酒葡萄品种果实基础品质指标
Table 7 Influence of Kaolin on the basic quality of fruits of different varieties of wine grape

品种 Variety	处理 Treatment	穗重 Ear weight /g	粒重 Grain weight /g	种果比 Ratio of seeds to flesh	皮果比 Ratio of skin to flesh	种子数 Number of seeds	果穗紧实度 Compactness of fruit ear	总酸 Total acid /%	总糖 Total sugar /%
赤霞珠 Cabernet Sauvignon	清水对照 Clear water control	103.2±7.24b	1.09±0.07a	0.10±0.01a	0.36±0.01a	1.98±0.08a	6.89±0.79a	0.66±0.06b	27.73±0.45a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	131.9±6.52a	1.17±0.02a	0.10±0.01a	0.36±0.02a	2.01±0.06a	7.07±0.88a	0.89±0.06a	23.77±0.37b
梅鹿辄 Merlot	清水对照 Clear water control	107.0±8.11b	1.24±0.06a	0.08±0.01a	0.22±0.01b	1.93±0.08a	4.81±0.95a	0.77±0.05b	25.34±0.96a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	145.7±10.73a	1.44±0.03b	0.09±0.01a	0.37±0.02a	1.99±0.11a	4.68±0.62a	1.14±0.08a	21.62±0.68b
品丽珠 Cabernet Franc	清水对照 Clear water control	109.7±9.16b	1.14±0.02a	0.09±0.01a	0.45±0.01a	1.82±0.08a	4.33±0.36a	0.65±0.03b	28.18±0.91a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	135.2±10.25a	1.21±0.06a	0.09±0.01a	0.29±0.02b	1.87±0.10a	4.64±0.82a	0.93±0.04a	24.36±0.26b

不同小写字母表示经 Duncan's 测验两处理间差异显著($P<0.05$)。Different lowercase letters indicate significant differences between two treatments by Duncan's test ($P<0.05$).

2.5 高岭土对酿酒葡萄果实酚类物质的影响

2.5.1 对果皮中部分酚类含量的影响

从表 8 可以看出, 经过高岭土处理后, ‘赤霞珠’ ‘梅鹿辄’ 和 ‘品丽珠’ 果皮中类黄酮含量分别显著提

高 62.3%、63.9% 和 54.4%, 总黄酮含量分别显著提升 79.1%、69.1% 和 56.7% ($P<0.05$), 黄烷醇含量分别显著提升 48.6%、66.0% 和 27.2% ($P<0.05$); ‘梅鹿辄’ 和 ‘品丽珠’ 的原花青素含量分别显著降低 42.5% 和

表 8 高岭土处理下不同酿酒葡萄品种果皮中酚类物质的含量
Table 8 Effect of Kaolin on phenolic substances in peel of different varieties of wine grape

品种 Variety	处理 Treatment	花色苷 Anthocyanin	类黄酮 Flavonoid	总黄酮 Flavone	黄烷醇 Flavanol	原花青素 Procyanidine	单宁 Tannin
赤霞珠 Cabernet Sauvignon	清水对照 Clear water control	38.24±3.81a	0.85±0.11b	0.48±0.13b	5.42±0.10b	2.41±0.10a	10.27±0.18a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	38.95±4.15a	1.38±0.08a	0.86±0.11a	8.05±0.12a	2.39±0.14a	10.86±0.11a
梅鹿辄 Merlot	清水对照 Clear water control	37.80±5.66a	0.83±0.12b	0.55±0.12b	3.88±0.09b	4.09±0.16a	7.12±0.14b
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	37.41±3.23a	1.36±0.09a	0.93±0.15a	6.44±0.17a	2.35±0.11b	8.48±0.13a
品丽珠 Cabernet Franc	清水对照 Clear water control	39.01±3.08a	1.03±0.13b	0.60±0.10b	5.69±0.12b	3.65±0.10a	9.47±0.12a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	38.88±4.15a	1.59±0.14a	0.94±0.12a	7.24±0.15a	1.62±0.12b	9.24±0.11a

不同小写字母表示经 Duncan's 测验两处理间差异显著($P<0.05$)。Different lowercase letters indicate significant differences between two treatments by Duncan's test ($P<0.05$).

55.6% ($P<0.05$)。

2.5.2 对种子中部分酚类含量的影响

从表 9 可以看出, 酿酒葡萄经过高岭土处理后, 种子中黄烷醇和单宁含量对比 CK 差异不明显; ‘梅

鹿辄’和‘品丽珠’类黄酮分别显著提升 50.6% 和 68.2% ($P<0.05$); ‘赤霞珠’和‘梅鹿辄’总黄酮含量分别显著提升 67.1% 和 21.6% ($P<0.05$); ‘赤霞珠’和‘梅鹿辄’的原花青素含量分别显著降低 7.6% 和 11.8% ($P<0.05$)。

表 9 高岭土处理下不同酿酒葡萄品种种子中酚类物质的含量
Table 9 Effect of Kaolin on phenolic substances in seeds of different varieties of wine grape

品种 Variety	处理 Treatment	类黄酮 Flavonoid	总黄酮 Flavone	黄烷醇 Flavanol	原花青素 Procyanidine	单宁 Tannin
赤霞珠 Cabernet Sauvignon	清水对照 Clear water control	1.03±0.02a	0.73±0.04b	9.02±1.06a	6.59±1.14a	19.20±0.72a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	0.89±0.25a	1.22±0.02a	8.97±1.34a	6.09±1.15b	18.15±0.82a
梅鹿辄 Merlot	清水对照 Clear water control	0.89±0.02b	1.25±0.03b	10.47±1.13a	7.10±1.60a	24.62±0.60a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	1.34±0.01a	1.52±0.02a	10.61±1.19a	6.26±1.11b	24.52±2.69a
品丽珠 Cabernet Franc	清水对照 Clear water control	0.85±0.04b	1.13±0.03a	9.69±1.08a	5.96±1.01b	20.46±0.38a
	6%高岭土 6% Kaolin treatment	1.43±0.04a	1.19±0.01a	9.66±1.09a	7.09±1.27a	20.41±0.59a

不同小写字母表示经 Duncan's 测验两处理间差异显著 ($P<0.05$)。Different lowercase letters indicate significant differences between two treatments by Duncan's test ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 喷施高岭土对酿酒葡萄叶片光合特性的影响

植物光合作用能直观地反映植物的生长情况, 受多种环境因素影响, 其中温度是重要的影响因素之一。大多数植物在生长过程中超过适宜温度时, 就会出现光合速率、气孔导度以及胞间 CO_2 浓度降低, 气孔受到限制^[27]。Brillante 等^[28]、Glenn^[29] 和 Lobos 等^[8] 研究发现高岭土不仅可以改善植株的光合性能和水分利用效率, 还可以在强光、高温和干旱条件下促进光合色素的积累。由于高岭土呈白色具有反射光的作用, 因此可以提高水分利用效率, 改善植株的光合性能。大多数关于高岭土施用的研究表明: 高岭土在降低叶温、提高水利用效率、增加叶绿素含量, 以及改善光合能力、抑制能量耗散方面, 都有积极作用^[9,15-16]。Jifon 等^[30] 研究表明, 经过高岭土处理后植株叶片可以增加气孔导度和净 CO_2 同化率, 还增加了整个植株冠层内的光利用效率, 有效提高了整株树的光合生产力。本研究结果表明, 高岭土处理 3 个酿酒葡萄品种叶温显著降低, 与前人的研究结果一致^[13]。本研究结果表明, 在同一光通量密度下高岭土处理的 3 个酿酒葡萄的 P_n 均显著高于 CK, T_r 明显下降, WUE、 G_s 均有所提升, 与前人的研究结果类似^[13-16]。

3.2 喷施高岭土对酿酒葡萄叶绿素含量和荧光特性的影响

高岭土在增加叶绿素和类胡萝卜素含量, 改善葡萄的光合能力和抑制过多能量耗散方面都起到了积极作用^[8-9,29]。本研究结果表明, 3 个酿酒葡萄品种经高岭土处理后叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 (a+b)

含量均显著提高, 这可能是高岭土隔绝了部分高温, 避免了高温胁迫, 从而促进了叶绿素的合成, 提高了叶绿素含量。ETR 越高产生的腺嘌呤核苷三磷酸 (ATP) 和还原型辅酶 II (NADPH) 越多, 从而保证了碳同化和有机物的生成^[31]。本研究结果表明, 喷施高岭土后, 酿酒葡萄的 ETR 显著提升, ‘赤霞珠’ ‘梅鹿辄’ NPQ 显著提升, 在高温条件下喷施高岭土后, 叶绿素吸收的光能用于光合作用的部分增加, 以荧光形式散发的能量减少, 光合效率增加。叶绿素荧光诱导动力曲线反映 PS II 光合电子传递的过程, OJIP 曲线可作为检测植株受胁迫程度的指标^[32]。 V_j 降低则有利于 Q_A 向 Q_B 的电子传递^[33]。 ϕ_{E_0} 可反映植株叶片将所捕获的激发能转化为电子并继续传递的效率高^[34]。本研究结果表明, 3 个酿酒葡萄品种的 OJIP 曲线在高岭土处理后未发生明显变化; 而 V_j 显著降低, 表明喷施高岭土明显有利于葡萄叶片 Q_A 向 Q_B 的电子传递效率, 提高了能量传递效率, 这与人^[33] 的研究结果相似。本研究比较了葡萄叶片 PS II 单个反应活性中心能量分配和单位截面积能量分配变化, 研究表明, 喷施高岭土后 ABS/RC、ABS/CSm 显著提高, DI_0/RC 、 DI_0/CSm 显著下降, 说明高岭土处理减少了葡萄叶片活性中心对光能的耗散, 增加了葡萄单位截面 PS II 反应中心的活性, 增加了其捕获吸收及电子传递的能量, 减少了能量耗散, 从而提升了光能利用率。

3.3 喷施高岭土对酿酒葡萄果实品质的影响

酚类物质不仅影响葡萄酒的感官品质, 还对葡萄酒中的很多生理活性物质起决定性作用, 在葡萄酒酿造过程中, 皮、籽以及果肉中的酚类物质溶解

出并进入酒中。酚类物质等次生代谢产物,对于葡萄果实品质性状和葡萄酒质量具有重要意义,有助于葡萄酒的色泽、风味、香气、结构的形成和稳定性,并且还表现出抗氧化特性^[35]。因此,研究不同酿酒葡萄品种中酚类物质种类、含量及不同果实部位中酚类物质的差异,对于葡萄栽培育种和葡萄酒酿造工艺的改善具有深远的意义^[2]。温度过高和过低都会抑制葡萄果实酚类物质的积累,只有在合适温度范围内酚类物质的合成才能顺利进行^[36]。在夏季高温地区,酿酒葡萄含糖量高、酸度积累不足会影响葡萄品质,导致葡萄酒口感粗糙^[37]。本研究结果表明,3个酿酒葡萄品种在经过高岭土处理后果皮中类黄酮、总黄酮、黄烷醇含量显著提升,果实中总酸含量提高,从侧面反映出高龄处理可以延长果实成熟期,避免了糖分积累过快、成熟过快,这与 Conde 等^[38]的研究结果相似。喷施高岭土有利于部分酚类物质的积累,在一定程度上提高了葡萄果实的总酸和酚类物质含量。

4 结论

综上所述,本研究表明,对‘赤霞珠’‘梅鹿辄’和‘品丽珠’这3个红色酿酒葡萄品种进行叶面高岭土喷施可以通过降低叶温、增加叶绿素含量、减少叶片对能量的热耗散等多种途径,改善植株的光合特性和荧光特性;同时,增加果实中总酸和酚类物质的含量,并在一定程度延长生育期,对改善酿酒葡萄果实品质有着积极影响。因此,对新疆天山北麓产区酿酒葡萄叶面喷施6%高岭土可以缓解果实发育过程中高温所带来的危害,并改善果实品质。

参考文献 References

- [1] 张建生. 2019 中国葡萄酒市场年度发展报告[M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2019: 112–113
ZHANG J S. 2019 Annual Development Report on China's Wine Market[M]. Yangling: Northwest A&F University Press, 2019: 112–113
- [2] 张轲. 新疆天山北麓产区红色酿酒葡萄酚类物质表现研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021
ZHANG K. Study on phenolic substances of red wine grapes in the northern foothills of Tianshan Mountains, Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021
- [3] 许婷婷, 杨霞, 周鸿奎. 1981—2019 年新疆区域性高温天气过程时空特征及其环流分型[J]. 干旱气象, 2022, 40(2): 212–221
XU T T, YANG X, ZHOU H K. Spatio-temporal characteristics and circulation types of regional high temperature weather processes in Xinjiang during 1981–2019[J]. Journal of Arid Meteorology, 2022, 40(2): 212–221
- [4] 张太西, 樊静, 李元鹏, 等. 1961—2018 年新疆区域高温变化与环流和海温关系[J]. 干旱区研究, 2021, 38(5): 1274–1284
ZHANG T X, FAN J, LI Y P, et al. Heatwave changes and the potential causes in Xinjiang from 1961 to 2018[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(5): 1274–1284
- [5] 韩颖娟, 张磊, 卫建国, 等. 宁夏酿酒葡萄生育期气象条件及管理措施综述[J]. 中国农业气象, 2011, 32(Z1): 108–112
HAN Y J, ZHANG L, WEI J G, et al. Overview of meteorological conditions and management measures during the growth period of Ningxia wine grapes[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2011, 32(Z1): 108–112
- [6] 程宏飞, 刘钦甫, 王陆军, 等. 我国高岭土的研究进展[J]. 化工矿产地质, 2008, 30(2): 125–128
CHENG H F, LIU Q F, WANG L J, et al. The research progress of Kaolin in China[J]. Geology of Chemical Minerals, 2008, 30(2): 125–128
- [7] 王莹. 高岭土颗粒膜对葡萄叶片霜霉病的防控及其作用机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022
WANG Y. Mechanism of Kaolin particle film regulating grape leaves against downy mildew[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2022
- [8] LOBOS G A, ACEVEDO-OPAZO C, GUAJARDO-MORENO A, et al. Effects of Kaolin-based particle film and fruit zone netting on Cabernet Sauvignon grapevine physiology and fruit quality[J]. *OENO One*, 2015, 49(2): 137
- [9] FRIONI T, TOMBESI S, SABBATINI P, et al. Kaolin reduces ABA biosynthesis through the inhibition of neoxanthin synthesis in grapevines under water deficit[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(14): 4950
- [10] MELGAREJO P, MARTÍNEZ J J, HERNÁNDEZ F, et al. Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn[J]. *Scientia Horticulturae*, 2004, 100(1/2/3/4): 349–353
- [11] ROSATI A, METCALF S G, BUCHNER R P, et al. Physiological effects of Kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees[J]. *Annals of Botany*, 2006, 98(1): 267–275
- [12] GREGORIOU K, PONTIKIS K, VEMMOS S. Effects of reduced irradiance on leaf morphology, photosynthetic capacity, and fruit yield in olive (*Olea europaea* L.)[J]. *Photosynthetica*, 2007, 45(2): 172–181
- [13] CORREIA C M, DINIS L T, FRAGA H, et al. Enhanced yield and physiological performance of Mediterranean grapevines through foliar Kaolin spray[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2015, 29: 247–248
- [14] BERNARDO S, RODRIGO M J, VIVES-PERIS V, et al. Fine-tuning of grapevine xanthophyll-cycle and energy dissipation under Mediterranean conditions by Kaolin particle-film[J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 291: 110584
- [15] DINIS L T, FERREIRA H, PINTO G, et al. Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation[J]. *Photosynthetica*, 2016, 54(1): 47–55
- [16] DINIS L T, MALHEIRO A C, LUZIO A, et al. Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by Kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage[J]. *Photosynthetica*, 2018, 56(2): 641–651
- [17] 叶子飘, 于强. 光合作用光响应模型的比较[J]. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1356–1361

- YE Z P, YU Q. Comparison of new and several classical models of photo-synthesis in response to irradiance[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(6): 1356–1361
- [18] HARRISON W G, PLATT T. Photosynthesis-irradiance relationships in polar and temperate phytoplankton populations[J]. *Polar Biology*, 1986, 5(3): 153–164
- [19] 李静. 低温弱光下辣椒叶片中类胡萝卜素组分的变化及其与品种耐性的关系研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018
- LI J. Study on the changes of carotenoid compositions in pepper (*Capsicum annuum* L.) leaves under low temperature and light and its relationship with tolerance of varieties[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018
- [20] 李鹏民, 高辉远, Reto J Strasser. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2005, 31(6): 559–566
- LI P M, GAO H Y, STRASSER R J. Application of the fastchlorophyll fluorescence induction dynamics analysis in photosynthesis study[J]. *Acta Photophysiological Sinica*, 2005, 31(6): 559–566
- [21] STIRBET A, GOVINDJEE. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient[J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2011, 104(1/2): 236–257
- [22] 孙晓文, 高登涛, 魏志峰, 等. 茉莉酸酯类对‘圣诞玫瑰’葡萄果实着色及品质的影响[J]. *果树学报*, 2016, 33(1): 43–51
- SUN X W, GAO D T, WEI Z F, et al. Effect of jasmonates on coloration and quality of the ‘Christmas Rose’ grape berry[J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(1): 43–51
- [23] 韩守安, 王敏, 麦合木提·图如普, 等. 不同光质处理对赤霞珠葡萄叶片光合特性及果实品质的影响[J]. *新疆农业科学*, 2023, 60(8): 1894–1903
- HAN S A, WANG M, MAIHEMUTI T R P, et al. Effects of different light quality treatments on leaf photosynthetic characteristics and fruit quality of Cabernet Sauvignon grapes[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2023, 60(8): 1894–1903
- [24] 户金鸽, 白世践, 潘绪兵, 等. 不同砧木对马瑟兰葡萄酿酒品质的影响[J]. *华北农学报*, 2022, 37(4): 141–150
- HU J G, BAI S J, PAN X B, et al. Effects of different rootstocks on wine quality in wine grapes marselan[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2022, 37(4): 141–150
- [25] 李春阳, 许时婴, 王璋. 香草醛-盐酸法测定葡萄籽、梗中原花青素含量的研究[J]. *食品科学*, 2004, 25(2): 157–161
- LI C Y, XU S Y, WANG Z. Vanillin-HCl assay for the proanthocyanidins content of grape seed and stem[J]. *Food Science*, 2004, 25(2): 157–161
- [26] 耿娜娜, 李学英, 顾丁, 等. Folin-Denis 分光光度法测定五倍子中单宁酸的含量[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(29): 11848–11850, 11915
- GENG N N, LI X Y, GU D, et al. Determination of tannic acid content in gallnut by Folin-Denis spectrophotometry[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 41(29): 11848–11850, 11915
- [27] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. *植物生理学通讯*, 1997, 33(4): 241–244
- XU D Q. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis[J]. *Plant Physiology Communications*, 1997, 33(4): 241–244
- [28] 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
- [29] GLENN D M. The mechanisms of plant stress mitigation by Kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops[J]. *HortScience*, 2012, 47(6): 710–711
- [30] JIFON J L, SYVERTSEN J P. Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of ‘Ruby Red’ grapefruit leaves[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2003, 128(1): 107–112
- [31] 郭学民, 刘建珍, 李娜, 等. 桃树不同品种叶片叶绿素荧光特性的比较[J]. *河北科技师范学院学报*, 2016, 30(2): 11–15
- GUO X M, LIU J Z, LI N, et al. Comparison of chlorophyll fluorescence characteristics in leaves of different peach cultivars[J]. *Journal of Hebei Normal University of Science & Technology*, 2016, 30(2): 11–15
- [32] ZHANG H H, XU N, WU X Y, et al. Effects of four types of sodium salt stress on plant growth and photosynthetic apparatus in *Sorghum* leaves[J]. *Journal of Plant Interactions*, 2018, 13(1): 506–513
- [33] 李长志, 李欢, 刘庆, 等. 不同生长时期干旱胁迫甘薯根系生长及荧光生理的特性比较[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(2): 511–517
- LI C Z, LI H, LIU Q, et al. Comparison of root development and fluorescent physiological characteristics of sweet potato exposure to drought stress in different growth stages[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2016, 22(2): 511–517
- [34] 耿庆伟, 邢浩, 翟衡, 等. 臭氧胁迫下不同光强与温度处理对‘赤霞珠’葡萄叶片 PS II 光化学活性的影响[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(7): 1183–1191
- GENG Q W, XING H, ZHAI H, et al. Effects of different light intensity and temperature on PS II photochemical activity in ‘cabernet sauvignon’ grape leaves under ozone stress[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(7): 1183–1191
- [35] TEIXEIRA A, EIRAS-DIAS J, CASTELLARIN S D, et al. Berry phenolics of grapevine under challenging environments[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2013, 14(9): 18711–18739
- [36] HULANDS S, GREER D H, HARPER J D I. The interactive effects of temperature and light intensity on *Vitis vinifera* cv. ‘Semillon’ grapevines. II. Berry ripening and susceptibility to sunburn at harvest[J]. *European Journal of Horticultural Science*, 2014, 79(1): 1–7
- [37] DOKOOZLIAN N K, KLIEWER W M. Influence of light on grape berry growth and composition varies during fruit development[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1996, 121(5): 869–874
- [38] CONDE A, PIMENTEL D, NEVES A, et al. Kaolin foliar application has a stimulatory effect on phenylpropanoid and flavonoid pathways in grape berries[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7: 1150