

袁嘉玮,王璐,张茜茹,等. 采前喷施氯化钙对苹果叶片光合功能和果实品质的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(20):152-161.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.20.022

采前喷施氯化钙对苹果叶片光合功能和果实品质的影响

袁嘉玮^{1,2}, 王璐^{1,2}, 张茜茹³, 张健^{1,2}, 田时敏^{1,2}, 常芳娟¹, 吕贝贝¹, 张晓玲¹,
薛琴琴^{1,2}, 张战备^{1,2}, 张建诚¹, 苗彤⁴, 梁哲军^{1,2}

(1. 山西农业大学棉花研究所,山西运城 044000; 2. 果树种质资源创制与应用运城重点实验室,山西运城 044000;
3. 山西省运城市气象局,山西运城 044000; 4. 山西省科技情报与战略研究中心,山西太原 030001)

摘要: 探明采前喷施氯化钙对苹果叶片光合特性、叶绿素荧光特性和果实品质的影响特征,为苹果的钙肥施用技术及苹果高效吸收钙素的生理机制研究提供理论支撑。以矮砧密植富士苹果为试验材料,设置 0.5% CaCl₂ (T1)、1.0% CaCl₂ (T2)、2.0% CaCl₂ (T3)、4.0% CaCl₂ (T4)、6.0% CaCl₂ (T5)、0% CaCl₂ (CK) 5 个不同氯化钙浓度处理,利用主成分分析结合隶属函数综合评价方法明确苹果采前最佳钙肥施用量。结果表明,采前喷施不同浓度氯化钙对叶片光合功能和果实品质的促进效果有差异,采前喷钙处理均可显著提升苹果叶片叶绿素指数、果实硬度、果实可溶性固形物含量;与 CK 处理相比,T2 处理叶片净光合速率提高 7.68%、叶片水分利用效率提高 55.14%、叶片羧化效率提高 8.36%、叶片最大光化学量子效率提高 11.56%、叶片实际光化学量子效率提高 8.63%、叶片光合有效辐射提高 21.63%、叶片光合电子传递效率提高 32.05%、果实质量提高 5.83%、果形指数提高 4.26%、果实固酸比提高 16.42%、叶片蒸腾速率降低 30.58%、叶片气孔导度降低 30.00%;主成分分析结合隶属函数表明,采前喷施氯化钙各处理对叶片光合功能影响的综合得分排序为 1.0% CaCl₂ > 0.5% CaCl₂ > 2.0% CaCl₂ > 0.0% CaCl₂ > 4.0% CaCl₂ > 6.0% CaCl₂,对果实品质影响的综合得分排序为 1.0% CaCl₂ > 2.0% CaCl₂ > 0.5% CaCl₂ > 0.0% CaCl₂ > 4.0% CaCl₂ > 6.0% CaCl₂。研究认为,采前喷施适宜的氯化钙浓度对富士苹果光合功能和果实品质有显著影响,苹果采前氯化钙最佳施用浓度为 1.0% CaCl₂,采前喷施氯化钙浓度不宜大于 2.0%。

关键词: 采前施肥;苹果;钙肥;光合特性;果实品质

中图分类号: S661.104 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2023)20-0152-09

钙是果树生长发育必需的营养元素之一,在调控果树叶片光合生理及果实品质上发挥着关键作用,是果树生长发育过程的重要调控因子^[1-3]。苹果是我国重要的北方落叶果树,钙素是苹果必需的大量元素之一,但是果农大多缺乏科学的施肥管理理念,肥料施用不合理造成果园普遍存在钙素匮乏的现象^[4]。苹果钙素匮乏时会造成叶片卷曲,叶面形成棕黄色褪绿斑,果实硬度下降,严重时会产生裂果、黑心病、水心病、苦痘病、黑顶病、豆斑病、褐

斑病等生理病害^[5-7]。因此,进行钙肥的施用研究对苹果产业的高质量绿色发展具有重要意义。目前,有关钙肥施用的研究相对较多。刘志刚等在对甜瓜幼苗的研究中表明,喷施氯化钙可显著提高甜瓜叶片可溶性蛋白含量,增强叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶活性^[8]。刘国花等研究表明,氯化钙处理可降低尾巨桉幼苗的丙二醛(MDA)及脱落酸(ABA)含量^[9]。巩磊等在光钙耦合对黄瓜植株生长的研究中表明,喷施氯化钙可显著增加叶片光合色素含量、株高、茎粗和最大叶面积^[10]。黄璐瑶等研究发现,喷施氯化钙可有效提高叶绿素 a/b 结合蛋白编码基因 *Cab* 的表达,其中 *rbcL* 基因表达变化更敏感^[11]。夏蕴等研究表明,低浓度的氯化钙处理可调节叶片光能反应中心正常运行,提高 FPPS 和 HMGR 等关键酶基因表达^[12]。有关果树采前钙肥施用的研究表明,梨、桃、枣、葡萄、猕猴桃在胁迫及非胁迫生长条件下处理后均可显著提升叶绿素指

收稿日期:2023-04-04

基金项目:国家重点研发计划(编号:2021YFD1901102);山西省基础研究计划(编号:202203021222146);运城科技计划(编号:YCKJ-2021055)。

作者简介:袁嘉玮(1994—),男,山西运城人,硕士,助理研究员,主要从事果树生理栽培研究。E-mail: yjwsxny@126.com。

通信作者:苗彤,硕士,助理研究员,主要从事果树栽培研究, E-mail: sxkjmt@163.com;梁哲军,博士,研究员,主要从事作物高产栽培研究, E-mail: sxljz@126.com。

数、叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度等叶片光合特性,调控光系统 II 处于较高活性,提高果实矿物质元素含量,提高果实风味,提升果实品质及产量^[13-22]。我国有关苹果钙肥施用的研究多集中于苹果幼果期,关于采前钙肥施用的研究较少,且多集中在对果实品质影响的研究,前人相关研究表明,采前喷施钙肥可显著提高苹果果实硬度、果形指数、果实可溶性固形物含量、果实可滴定酸含量、果实维生素 C 含量等果实品质指标^[23-25],有关采前喷施钙肥对苹果叶片光合功能影响的研究鲜有报道。本研究通过分析采前喷施氯化钙对苹果叶片光合特性、叶绿素荧光特性和果实品质的影响特征,利用主成分分析结合隶属函数综合评价的方法筛选采前喷钙的最适浓度,以期为苹果的钙肥施用技术及苹果高效吸收钙素的生理机制研究提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及试验材料

本试验于 2022 年 4—10 月在山西省运城市万荣县南张乡闫村(110°42'28"E,35°26'2"N)果树种植示范基地进行,该区域年平均气温 12.9 °C,年平均降水量 486.0 mm。土质较疏松,为沙质壤土,碱解氮含量为 43.59 mg/kg,有效磷含量为 10.08 mg/kg,速效钾含量为 108 mg/kg,有机质含量为 1.453%。

供试材料为 8 年生富士苹果。供试试剂为无水氯化钙,由天津市瑞金特化学品有限公司生产。

1.2 试验设计

在试验区选取长势相近的健康植株为材料,株行距为 4 m×1.5 m。采用完全随机试验设计,共设 5 个钙肥处理以及不施肥对照,分别为 0.5% CaCl₂ (T1)、1.0% CaCl₂ (T2)、2.0% CaCl₂ (T3)、4.0% CaCl₂ (T4)、6.0% CaCl₂ (T5)、0% CaCl₂ (CK),每个处理重复 3 次,每个重复选取 3 棵苹果树。于 2022 年 9 月 6 日进行钙肥喷施,喷至叶面及果面有水珠凝聚但不滴落。

1.3 样品的采集与指标测定

于 2022 年 9 月 22 日进行叶片光合特性及叶绿素荧光特性测定,在各处理后的每株苹果树不同方向相同高度选择 3 张健康叶片测定。于 2022 年 10 月 22 日采收果实,在各处理后的每株苹果树不同方向相同高度选择 3 个健康果实采集,同日测定果实品质。

叶绿素指数(CCI)采用美国 OPTI 公司生产的 CCM-200 叶绿素测定仪进行测定,叶片初始荧光强度(F_0)、叶片最大光化学量子效率(F_v/F_m)、叶片实际光化学量子效率(Φ_{PSII})、光合有效辐射(PAR)等指标采用捷克 PSI 公司生产的 FluorPen110 手持式叶绿素荧光仪进行测定,叶片净光合速率(P_n)、叶片胞间二氧化碳浓度(C_i)、叶片蒸腾速率(T_r)、叶片气孔导度(G_s)、果实横径(FD)、果实纵径(FL)、果形指数(FSI)、果实硬度(DH)、果实可滴定酸(TA)含量、果实可溶性固形物(TSS)含量、固酸比(TSS/TA)等指标的测定参照文献^[26-30]。

叶片水分利用效率(WUE) = P_n/T_r ;

叶片羧化效率(CE) = P_n/C_i ;

叶片气孔限制值(L_s) = $1 - C_i/C_0$, C_0 为 880 $\mu\text{mol}/\text{mol}$;

叶片光合电子传递效率(rETR) = $\Phi_{PSII} \times \text{PAR} \times 0.84 \times 0.5$, 0.84 为植物经验性吸光系数,0.5 表示假设植物吸收的光能被 2 个光系统均分。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2021 进行数据分析与柱形图绘制,采用 SAS 9.4 进行方差分析与相关性分析,采用 Origin 2021 进行聚类分析热图绘制,采用袁嘉玮等的研究方法进行隶属函数分析^[31]。隶属函数分析中,固酸比最优值取贾定贤等划定的苹果固酸比最适范围中间值 40,其他指标最优值取最大值^[32]。

2 结果与分析

2.1 不同钙浓度对苹果叶片叶绿素指数和光合特性的影响

由图 1 可知,不同喷钙处理的叶片叶绿素指数均显著高于 CK,且各处理间均呈显著性差异,苹果叶片叶绿素指数随喷施钙浓度的增加呈升高趋势,各喷钙处理较 CK 分别增加了 6.17%、18.78%、38.16%、57.33%、63.77%。苹果叶片净光合速率随喷施钙浓度的增加呈先升高后降低的趋势,其中 T2 和 T3 处理显著高于其他处理,以 T2 处理叶片净光合速率最高,T1、T2、T3 处理较 CK 分别增加了 1.03%、7.68%、7.52%,T4 和 T5 处理显著低于 CK。苹果各喷钙处理除 T5 外叶片蒸腾速率均小于 CK,其中 T2 处理显著低于各处理,T5 处理与 CK 无显著性差异,T1、T2、T3、T4 处理叶片蒸腾速率较 CK 分别降低了 18.08%、30.58%、19.55%、12.68%。苹果叶片水分利用效率随喷施钙浓度的增加呈先

升高后降低的趋势,其中 T2 处理显著高于各处理, T4 处理与 CK 无显著性差异, T5 处理显著低于 CK, T1、T2、T3 处理叶片水分利用效率较 CK 分别提高了 23.16%、55.14%、33.52%。喷钙处理中 T3 处理的苹果叶片胞间二氧化碳浓度显著高于其他处理,其他喷钙处理与 CK 间均无显著性差异。喷钙处理中仅 T1 和 T2 处理的叶片羧化效率显著高于 CK,较 CK 分别提高了 4.72%、8.36%, T4 和 T5 处

理的叶片羧化效率显著低于 CK。苹果叶片气孔导度随喷施钙浓度的增加呈先降低后升高的趋势,其中 T2 和 T3 处理显著低于其他处理,其他处理间无显著性差异, T2 和 T3 处理的气孔导度分别较 CK 降低了 30.00%、25.00%。喷钙处理中 T3 处理的叶片气孔限制值显著低于其他处理,其他喷钙处理与 CK 间均无显著性差异, T3 处理的叶片气孔限制值较 CK 降低了 5.48%。

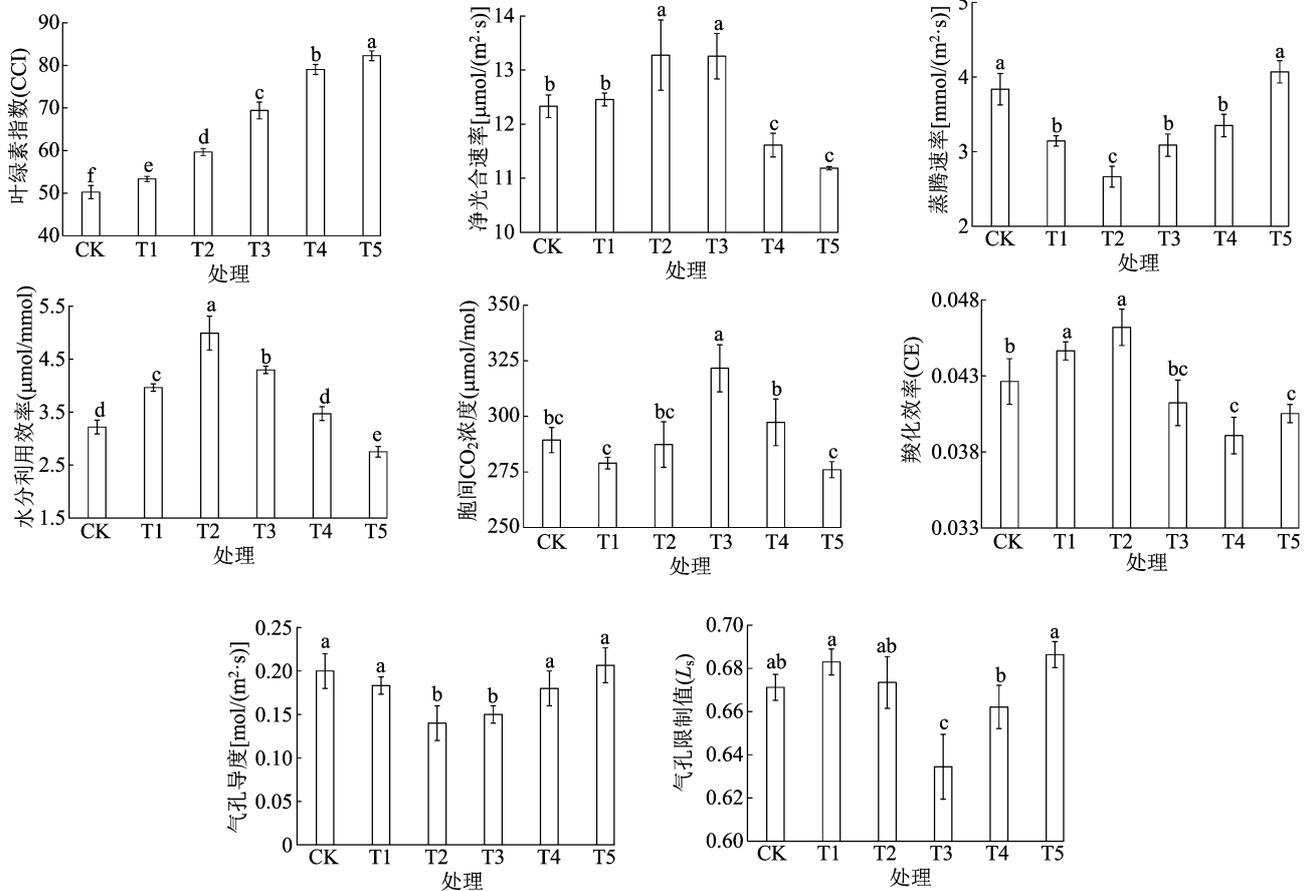


图1 不同钙浓度对苹果叶片叶绿素指数和光合特性的影响

2.2 不同钙浓度对苹果叶绿素荧光特性的影响

各喷钙处理和 CK 叶绿素荧光特性见图 2,除苹果叶片初始荧光强度随喷施钙浓度的增加呈升高趋势外,其他荧光参数均随喷施钙浓度的增加呈先升高后降低的趋势。各喷钙处理的叶片初始荧光强度均高于 CK,其中除 T1 处理外均显著高于 CK, T1 处理与 CK 处理无显著性差异, T2、T3、T4、T5 处理叶片初始荧光强度较 CK 分别提高了 7.66%、14.73%、15.81%、16.13%。喷钙处理中 T2 和 T3 处理的苹果叶片最大光化学量子效率显著高于 CK,分别较 CK 提高 11.56%、11.06%, T2 处理显著高于除 T3 外其他处理, T5 处理显著低于 CK。与最大

光化学量子效率类似,喷钙处理中仅 T2 和 T3 处理的叶片实际光化学量子效率显著高于 CK,分别较 CK 提高 8.63%、12.95%。喷钙处理中 T2 和 T3 处理的叶片光合有效辐射显著高于其他处理, T4 处理显著高于 T1、T5 处理和 CK, T2、T3、T4 处理分别较 CK 提高了 21.63%、23.31%、12.50%。喷钙处理中 T2 和 T3 的叶片光合电子传递效率显著高于其他处理, T1 处理显著高于 T5 处理和 CK, T1、T2、T3 处理分别较 CK 提高了 9.59%、32.05%、39.25%。

2.3 不同钙浓度对苹果果实品质的影响

由表 1 可知,苹果果实品质指标除可滴定酸外其他指标均随喷施钙浓度的增加呈先升高后降低

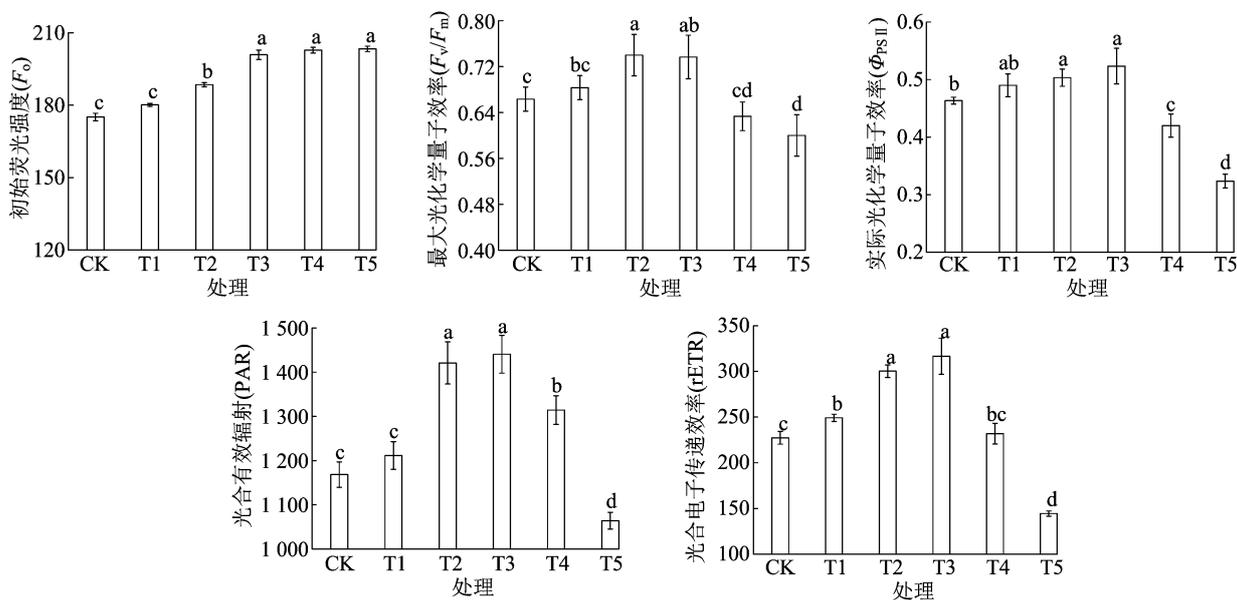


图2 不同钙浓度对苹果叶绿素荧光特性的影响

的趋势。喷钙处理中 T3 处理苹果果实质量显著高于其他处理, T1、T2 处理显著高于除 T3 外其他处理, T1、T2、T3 处理分别是 CK 的 1.05、1.06、1.09 倍, T4、T5 处理显著低于 CK 处理。喷钙处理中仅 T3 处理的果实横径显著高于 CK, 是 CK 的 1.03 倍, T1、T2 处理果实横径与 CK 无显著性差异, T4、T5 处理显著低于 CK 处理。喷钙处理中 T2、T3 处理的果实纵径显著高于 CK, 分别是 CK 的 1.05、1.07 倍, T5 处理显著低于 CK。各喷钙处理的果形指数均高于 CK, 但仅 T2、T3 处理显著高于 CK, 分别是 CK 的

1.04、1.05 倍。各喷钙处理的果实硬度均显著高于 CK, 以 T4 处理的果实硬度最高, 是 CK 的 1.21 倍, T3、T5 处理与 T4 处理差异不显著。各喷钙处理的果实可滴定酸含量均高于 CK, 但仅 T4、T5 处理显著高于 CK, 分别是 CK 的 1.17、1.23 倍。各喷钙处理的果实可溶性固形物含量均显著高于 CK, 其中 T2 处理显著高于除 T3 外其他处理, T2、T3 处理的果实可溶性固形物是 CK 的 1.23、1.19 倍。喷钙处理中仅 T2 处理的果实固酸比显著高于 CK, 是 CK 的 1.16 倍, T5 处理显著低于 CK, 其他处理与 CK 无显著性差异。

表1 不同钙浓度对苹果果实品质的影响

指标	果实质量 (g)	果实横径 (cm)	果实纵径 (g)	果形指数	果实硬度 (kg/cm^2)	可滴定酸含量 (%)	可溶性固形物含量 (%)	固酸比
CK	232.13 ± 1.27c	8.34 ± 0.03b	6.86 ± 0.21cd	0.822 ± 0.025b	7.71 ± 0.10d	0.230 ± 0.010c	10.73 ± 0.23d	46.70 ± 1.29bc
T1	243.60 ± 1.22b	8.36 ± 0.04b	7.08 ± 0.10bc	0.847 ± 0.006ab	8.04 ± 0.20c	0.257 ± 0.032abc	12.37 ± 0.67b	48.49 ± 3.73abc
T2	245.67 ± 2.58b	8.38 ± 0.07b	7.18 ± 0.08ab	0.857 ± 0.015a	8.61 ± 0.24b	0.243 ± 0.021bc	13.17 ± 0.06a	54.37 ± 4.60a
T3	253.10 ± 2.56a	8.56 ± 0.09a	7.37 ± 0.26a	0.861 ± 0.026a	9.24 ± 0.10a	0.257 ± 0.021abc	12.73 ± 0.40ab	49.74 ± 2.48ab
T4	204.93 ± 2.29d	8.06 ± 0.01c	6.64 ± 0.11d	0.824 ± 0.015b	9.35 ± 0.15a	0.270 ± 0.026ab	11.47 ± 0.15c	42.76 ± 4.47cd
T5	165.83 ± 8.60e	7.35 ± 0.12d	6.05 ± 0.05e	0.823 ± 0.006b	9.16 ± 0.22a	0.283 ± 0.015a	11.47 ± 0.45c	40.51 ± 1.81d

2.4 不同钙浓度叶片和果实指标相关性分析

由表2可知, 叶绿素指数、叶片初始荧光强度和果实硬度互呈极显著正相关关系; 叶片净光合速率、叶片最大光化学量子效率、叶片实际光化学量子效率、叶片光合电子传递效率、果实质量和果实纵横径互呈显著或极显著正相关关系, 其中叶片净光合速率、叶片最大光化学量子效率、叶片实际光化学量子效率和果实纵径互呈极显著正相关关系;

叶片净光合速率、叶片水分利用效率、果形指数和固酸比互呈显著或极显著正相关关系, 叶片净光合速率、叶片水分利用效率、果形指数、固酸比与叶片气孔导度呈显著或极显著负相关关系; 叶片蒸腾速率与叶片气孔导度呈极显著正相关关系, 叶片蒸腾速率和叶片气孔导度均与叶片水分利用效率、叶片最大光化学量子效率、叶片光合有效辐射、叶片光合电子传递效率、果形指数、可溶性固形物含量、固

表2 不同钙浓度叶片光合功能和果实品质指标相关性分析

指标	相关系数																					
	叶绿素 指数	净光合 速率	蒸腾 速率	水分 利用 效率	胞间 二氧化碳 浓度	羧化 效率	气孔 导度	气孔 限制值	初始 荧光 强度	最大光 化学量 子效率	实际光 化学量 子效率	光合 有效 辐射	光合电 子传递 效率	果实 质量	果实 横径	果实 纵径	果形 指数	果实 硬度	可滴 定酸 含量	可溶性 固形物 含量	固酸 比	
叶绿素指数	1.000																					
净光合速率	-0.572	1.000																				
蒸腾速率	0.293	-0.794	1.000																			
水分利用效率	-0.374	0.895*	-0.970**	1.000																		
胞间二氧化碳浓度	0.132	0.513	-0.341	0.358	1.000																	
羧化效率	-0.768	0.573	-0.490	0.584	-0.406	1.000																
气孔导度	0.174	-0.859*	0.945**	-0.965**	-0.550	-0.357	1.000															
气孔限制值	-0.135	-0.515	0.341	-0.360	-0.999**	0.404	0.553	1.000														
初始荧光强度	0.961**	-0.331	0.078	-0.147	0.349	-0.720	-0.076	-0.351	1.000													
最大光化学量子效率	-0.502	0.994**	-0.844*	0.930**	0.529	0.547	-0.906*	-0.531	-0.252	1.000												
实际光化学量子效率	-0.663	0.932**	-0.785	0.821*	0.536	0.490	-0.778	-0.534	-0.440	0.922**	1.000											
光合有效辐射	-0.081	0.791	-0.869*	0.865*	0.729	0.116	-0.956**	-0.730	0.168	0.837*	0.766	1.000										
光合电子传递效率	-0.412	0.938**	-0.872*	0.902*	0.672	0.348	-0.923**	-0.672	-0.156	0.954**	0.946**	0.929**	1.000									
果实质量	-0.725	0.926**	-0.749	0.795	0.480	0.541	-0.731	-0.478	-0.513	0.908*	0.996**	0.707	0.916*	1.000								
果实横径	-0.683	0.869*	-0.703	0.729	0.563	0.401	-0.693	-0.560	-0.480	0.850*	0.984**	0.725	0.910*	0.981**	1.000							
果实纵径	-0.605	0.944**	-0.802	0.839*	0.579	0.459	-0.811	-0.578	-0.369	0.939**	0.996**	0.798	0.963**	0.987**	0.970**	1.000						
果形指数	-0.271	0.879*	-0.844*	0.896*	0.459	0.489	-0.889*	-0.461	-0.016	0.914*	0.774	0.771	0.848*	0.753	0.654	0.818*	1.000					
果实硬度	0.923**	-0.228	-0.052	-0.025	0.420	-0.683	-0.202	-0.423	0.990**	-0.143	-0.327	0.299	-0.031	-0.407	-0.369	-0.256	0.076	1.000				
可滴定酸含量	0.879*	-0.656	0.311	-0.431	-0.135	-0.587	0.309	0.135	0.809	-0.585	-0.693	-0.297	-0.535	-0.731	-0.740	-0.659	-0.237	0.750	1.000			
可溶性固形物含量	-0.084	0.725	-0.873*	0.889*	0.270	0.486	-0.879*	-0.273	0.136	0.785	0.586	0.726	0.715	0.554	0.440	0.634	0.939**	0.227	-0.032	1.000		
固酸比	-0.636	0.955**	-0.846*	0.937**	0.267	0.751	-0.846*	-0.269	-0.433	0.953**	0.874*	0.723	0.866*	0.876*	0.797	0.873*	0.836*	-0.328	-0.680	0.754	1.000	

注：*、**分别表示在0.05、0.01水平上显著相关。

酸比呈显著或极显著负相关关系;叶片水分利用效率与叶片最大光化学量子效率、叶片实际光化学量子效率、叶片光合有效辐射、叶片光合电子传递效率均呈显著或极显著正相关关系;叶片最大光化学量子效率、叶片光合电子传递效率、果实纵径、果形指数和固酸比互呈显著或极显著正相关关系;叶片胞间二氧化碳浓度与叶片气孔限制值呈极显著负相关关系,叶片光合有效辐射与叶片光合电子传递效率呈极显著正相关关系,果形指数与果实可溶性固形物含量呈极显著正相关关系,果实质量与固酸比呈显著正相关关系。

2.5 不同钙浓度叶片和果实指标聚类分析

由图 3 可以看出,在不同钙浓度处理的影响下,

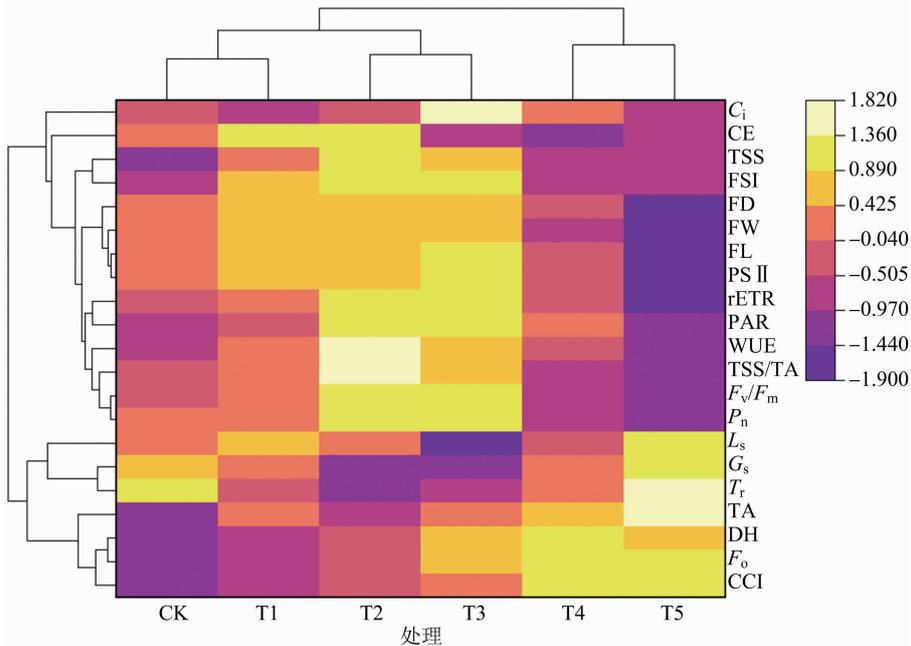


图3 不同钙浓度下苹果生理和品质指标聚类分析热图

2.6 不同钙浓度叶片光合功能指标主成分和隶属函数分析

由表 3 可知,按照选取特征值大于 1 的分析原则,提取前 3 个主成分。第 1 主成分中叶绿素指数、蒸腾速率、叶片气孔导度、叶片气孔限制值、叶片初始荧光强度为负值,其他均为正值,且各性状载荷普遍较高。第 2 主成分中叶绿素指数、叶片胞间二氧化碳浓度、叶片初始荧光强度载荷较高。第 3 主成分叶绿素指数、叶片水分利用效率、叶片气孔限制值、叶片初始荧光强度载荷较高。前 3 个主成分的累计贡献率为 98.1%,说明其可以基本概括采前喷施氯化钙对苹果光合功能和果实品质影响的全部信息,由此计算出第 1、第 2、第 3 主成分的相对贡

处理上聚类分析主要分为 3 个类群,其中 CK 和 T1 处理归为一个类群,T2 和 T3 处理归为一个类群,T4 和 T5 处理归为一个类群。在指标上聚类分析主要分为 5 个类群,其中叶片胞间二氧化碳浓度和叶片羧化效率分别单独为一个类群,可溶性固形物含量、果形指数、果实横径、果实质量、果实纵径、叶片实际光化学量子效率、叶片光合电子传递效率、叶片光合有效辐射、叶片水分利用效率、固酸比、叶片最大光化学量子效率、叶片净光合速率归为一个类群,叶片气孔限制值、叶片气孔导度、叶片蒸腾速率归为一个类群,果实可滴定酸含量、果实硬度、叶片初始荧光强度、叶绿素指数归为一个类群。

献率分别为 65.1%、26.1%、8.8%。

根据主成分分析结果,得出以下函数表达式,结合隶属函数分析,综合评价采前喷钙对苹果叶片功能和果实品质的影响。

$$y_1 = -0.158x_1 + 0.335x_2 - 0.311x_3 + 0.327x_4 + 0.203x_5 + 0.159x_6 - 0.326x_7 - 0.203x_8 - 0.070x_9 + 0.340x_{10} + 0.327x_{11} + 0.315x_{12} + 0.344x_{13};$$

$$y_2 = 0.436x_1 - 0.076x_2 + 0.016x_3 - 0.050x_4 + 0.383x_5 - 0.458x_6 - 0.094x_7 - 0.384x_8 + 0.486x_9 - 0.044x_{10} - 0.089x_{11} + 0.200x_{12} + 0.050x_{13};$$

$$y_3 = 0.374x_1 - 0.085x_2 - 0.360x_3 + 0.301x_4 - 0.385x_5 + 0.223x_6 - 0.277x_7 + 0.381x_8 + 0.370x_9 - 0.009x_{10} - 0.237x_{11} + 0.119x_{12} - 0.072x_{13};$$

表3 不同钙浓度下叶片指标主成分分析

指标	载荷		
	主成分1	主成分2	主成分3
叶绿素指数(x_1)	-0.158	0.436	0.374
净光合速率(x_2)	0.335	-0.076	-0.085
蒸腾速率(x_3)	-0.311	0.016	-0.360
水分利用效率(x_4)	0.327	-0.050	0.301
胞间二氧化碳浓度(x_5)	0.203	0.383	-0.385
羧化效率(x_6)	0.159	-0.458	0.223
气孔导度(x_7)	-0.326	-0.094	-0.277
气孔限制值(x_8)	-0.203	-0.384	0.381
初始荧光强度(x_9)	-0.070	0.486	0.370
最大光化学量子效率(x_{10})	0.340	-0.044	-0.009
实际光化学量子效率(x_{11})	0.327	-0.089	-0.237
光合有效辐射(x_{12})	0.315	0.200	0.119
光合电子传递效率(x_{13})	0.344	0.050	-0.072
特征值	8.308	3.333	1.123
贡献率(%)	63.9	25.6	8.6
累计贡献率(%)	63.9	89.5	98.1

$$y = 0.651y_1 + 0.261y_2 + 0.088y_3。$$

计算结果见表4中综合得分。

由表4可知,不同钙浓度处理中T2处理的综合得分最高,为0.925,T1、T3处理次之,T4和T5处理的综合得分低于CK。综合得分排序为T2 > T1 > T3 > CK > T4 > T5处理。

2.7 不同钙浓度果实指标主成分和隶属函数分析

如表5所示,按照选取特征值大于1的分析原则,提取前2个主成分。第1主成分中果实硬度和果实可滴定酸含量为负值,其他均为正值,且各性状载荷普遍较高。第2主成分中果实硬度、果实可滴定酸含量、可溶性固形物含量载荷较高。前2个主成分的累计贡献率为92.1%,说明其可以基本概括采前喷施氯化钙对苹果光合功能和果实品质影响的全部信息,由此计算出第1、第2主成分的相对贡献率分别为74.2%、25.8%。

表4 不同钙浓度对苹果叶片功能影响的综合评价

处理	得分													综合得分(Y)	排名
	叶绿素指数	净光合速率	蒸腾速率	水分利用效率	胞间二氧化碳浓度	羧化效率	气孔导度	气孔限制值	初始荧光强度	最大光化学量子效率	实际光化学量子效率	光合有效辐射	光合电子传递效率		
CK	0.000	0.548	0.166	0.209	0.708	0.500	0.100	0.292	1.000	0.452	0.700	0.277	0.482	0.683	4
T1	0.097	0.608	0.659	0.541	0.934	0.782	0.350	0.066	0.821	0.595	0.833	0.392	0.608	0.778	2
T2	0.294	1.000	1.000	1.000	0.752	1.000	1.000	0.248	0.525	1.000	0.900	0.948	0.905	0.925	1
T3	0.598	0.990	0.599	0.690	0.000	0.302	0.850	1.000	0.087	0.976	1.000	1.000	1.000	0.695	3
T4	0.899	0.205	0.512	0.321	0.533	0.000	0.400	0.467	0.019	0.238	0.483	0.665	0.507	0.370	5
T5	1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.203	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.243	6

表5 不同钙浓度下果实指标主成分分析

指标	载荷	
	主成分1	主成分2
果实质量(x_{14})	0.419	-0.072
果实横径(x_{15})	0.399	-0.115
果实纵径(x_{16})	0.417	0.034
果形指数(x_{17})	0.356	0.379
果实硬度(x_{18})	-0.155	0.603
可滴定酸含量(x_{19})	-0.303	0.474
可溶性固形物含量(x_{20})	0.288	0.497
固酸比(x_{21})	0.407	0.052
特征值	5.467	1.901
贡献率(%)	68.3	23.8
累计贡献率(%)	68.3	92.1

根据主成分分析结果,得出以下函数表达式,结合隶属函数分析,综合评价采前喷钙对苹果叶片功能和果实品质的影响。

$$z_1 = 0.419x_{14} + 0.399x_{15} + 0.417x_{16} + 0.356x_{17} - 0.155x_{18} - 0.303x_{19} + 0.288x_{20} + 0.407x_{21};$$

$$z_2 = -0.072x_{14} - 0.115x_{15} + 0.034x_{16} + 0.379x_{17} + 0.603x_{18} + 0.474x_{19} + 0.497x_{20} + 0.052x_{21};$$

$$z = 0.742z_1 + 0.258z_2。$$

计算结果见表6中综合得分。

由表6可知,不同钙浓度处理中T2处理的综合得分最高,为1.750,T3处理次之,T4和T5处理的综合得分低于CK。综合得分排序为T2 > T3 > T1 > CK > T4 > T5处理。

表 6 不同钙浓度对苹果果实品质影响的综合评价

处理	得分								综合得分 (Z)	排名
	果实 质量	果实 横径	果实 纵径	果形 指数	果实 硬度	可滴定酸 含量	可溶性 固形物含量	固酸比		
CK	0.000	0.813	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.446	0.357	4
T1	0.891	0.829	0.780	0.648	0.198	0.500	0.671	0.576	1.331	3
T2	0.915	0.848	0.858	0.912	0.548	0.250	1.000	1.000	1.750	1
T3	1.000	1.000	1.000	1.000	0.933	0.500	0.822	0.666	1.716	2
T4	0.448	0.584	0.446	0.035	1.000	0.750	0.301	0.162	0.558	5
T5	0.000	0.000	0.000	0.021	0.884	1.000	0.301	0.000	0.043	6

3 讨论与结论

3.1 不同钙浓度对苹果叶片叶绿素指数和光合特性的影响

光合作用是果树合成有机物的重要途径,是果实品质提升和产量形成的基础^[13]。叶绿素是最重要的光合色素之一,其指数的高低直接反映叶片吸收转化光能的能力^[33]。前人研究表明,叶绿素指数CCI与叶绿素含量均呈显著正相关,其中与单位面积叶绿素a、叶绿素b及叶绿素总量的决定系数分别为0.972 8、0.858 6、0.977 4^[34]。本研究表明,喷钙处理均可显著提升苹果叶片叶绿素指数,这与前人对梨、桃的研究结果^[13,35-36]一致。叶片净光合速率、蒸腾速率、叶片水分利用效率、叶片羧化效率等光合特性指标是衡量果树实际光合效率、表征植物光合能力的常用参数。本研究发现,采前喷施适宜的氯化钙浓度可显著提高苹果叶片的净光合速率、叶片水分利用效率、叶片羧化效率,降低叶片的蒸腾效率,表明适宜的氯化钙浓度可有效提升苹果叶片的光合特性^[37]。叶片净光合速率、胞间二氧化碳浓度、气孔导度、气孔限制值等是评判光合能力降低因素的重要指标。当叶片净光合速率与叶片胞间二氧化碳浓度趋势一致时,光合作用的限制因素主要是非气孔限制因素,反之则为气孔限制因素。本研究发现,苹果叶片净光合速率趋势与叶片胞间二氧化碳浓度趋势一致,表明在不同钙浓度处理下光合作用的限制因素主要是气孔限制^[38]。同时本研究发现,苹果叶片气孔限制值上升时,叶片气孔导度受到限制,与程平等的研究结果^[27]一致,同样印证了不同氯化钙浓度处理下气孔因子是光合作用的主要限制因素观点。

3.2 不同钙浓度对苹果叶绿素荧光特性的影响

叶片叶绿素吸收的光能需经叶绿素荧光发射、

光合电子传递和热耗散消耗,叶绿素荧光特性是反映植物光合作用效率的主要指标,同时也是反映环境因子对植物叶片光合作用影响的重要参数^[38-39]。钙作为信号物质参与果树的光合作用电子传递的生理生化过程^[13]。本研究在表型观察中发现,喷钙处理T3、T4、T5的叶片均出现了不同程度的胁迫现象,表明采前喷施2%以上浓度的氯化钙会产生不同程度的钙盐胁迫。且喷钙处理T3、T4、T5的叶片初始荧光强度显著高于其他处理,表明采前喷施2%以上浓度的氯化钙会对叶片产生胁迫损害,与本研究表型观察一致。叶片最大光化学量子效率响应胁迫环境较为敏感^[40]。本研究发现,仅T4、T5处理的叶片最大光化学量子效率及实际光化学量子效率低于CK,表明T3处理虽对叶片产生一定程度的胁迫,但不影响苹果叶片的光合作用效率,与本研究在叶片光合特性指标上的结果一致。本研究中适宜的氯化钙浓度可显著提升叶片的最大光化学量子效率、实际光化学量子效率、光合有效辐射、光合电子传递效率,表明采前喷施适宜氯化钙浓度可有效提升苹果叶片光合作用效率,与前人在黄瓜、油桃上的研究结果^[40-42]一致。

3.3 不同钙浓度对苹果果实品质的影响

钙是显著影响果实品质的营养元素之一,钙对果实的外观和内在品质均有不同程度的改善作用^[43]。本研究表明,适宜的氯化钙浓度可显著提高果实质量、果实纵径、果形指数、果实硬度、果实可溶性固形物含量以及固酸比,与前人的研究结果^[23,25]一致。本研究中果实可滴定酸的研究结果与前人略有差异,孟智鹏等在对比前人不同研究成果后认为,不同钙制剂、不同处理时间以及不同苹果品种对果实可滴定酸含量均会产生不同的影响^[23]。本研究中T4、T5处理的果实质量显著小于其他处理,结合同处理中叶片光合特性和荧光特性

的研究结果,表明氯化钙浓度过高会使叶片遭受钙盐胁迫,并进一步影响果实的正常生长发育。

采前喷施适宜的钙肥浓度对富士苹果光合功能和果实品质有显著影响,不同喷钙浓度对叶片光合功能和果实品质的促进效果有差异。采前喷施 1.0% CaCl_2 可显著提升叶片叶绿素指数、叶片净光合速率、叶片水分利用效率、叶片羧化效率、叶片最大光化学量子效率、叶片实际光化学量子效率、叶片光合有效辐射、叶片光合电子传递效率、果实质量、果形指数、果实硬度、果实可溶性固形物含量、固酸比。苹果采前喷施氯化钙时浓度不宜大于 2.0%,避免发生钙盐胁迫。

参考文献:

[1] Burstrom H G. Calcium and plant growth[J]. *Biological Reviews*, 1968,43(3):287-316.

[2] Hepler P K. Calcium; a central regulator of plant growth and development[J]. *The Plant Cell*,2005,17(8):2142-2155.

[3] 龚明,李英,曹宗巽. 植物体内的钙信使系统[J]. *植物学通报*,1990,25(3):19-29.

[4] 袁嘉玮,田时敏,张鹏飞,等. 钙对果树生理特征影响的研究进展[J]. *烟台果树*,2021(4):1-5.

[5] 陈昕楠,王丽霞,庞力豪,等. 红富士苹果缺钙性生理病害的发生及防控[J]. *中国果树*,2019(3):100-101.

[6] 王春枝,安宁,许大志,等. 钙镁肥配施对苹果树叶片和果实营养元素含量及病果率影响[J]. *北方园艺*,2010(14):23-26.

[7] 冯天宇,蒋皓,孔旭,等. 苹果幼树钙、镁失调诊断及其对生长发育的影响[J]. *北方园艺*,2021(20):18-26.

[8] 刘志刚,任红松,胡西旦·买买提,等. 高温期喷施外源钙对甜瓜幼苗叶片生理特性的影响[J]. *新疆农业科学*,2022,59(3):588-596.

[9] 刘国花,兰建彬,刘奕清,等. 外源钙对低温胁迫下尾巨桉幼苗生理特性及内源激素的影响[J]. *西北林学院学报*,2017,32(6):101-106.

[10] 巩磊,夏杜菲,王文娇,等. 光钙耦合对黄瓜植株生长、叶片叶绿素荧光特性和果实品质的影响[J]. *北方园艺*,2022(5):1-7.

[11] 黄璐瑶,李壮壮,鞠龙泰,等. 外源钙对盐胁迫下金银花离子含量及光合相关基因表达的影响[J]. *中国中药杂志*,2019,44(12):2452-2458.

[12] 夏蕴,谷巍,巢建国,等. 外源氯化钙对高温胁迫下茅苍术生长生理指标及叶片关键酶基因表达的影响[J]. *南方农业学报*,2020,51(2):267-274.

[13] 周君,肖伟,陈修德,等. 外源钙对黄金梨叶片光合特性及果实品质的影响[J]. *植物生理学报*,2018,54(3):449-455.

[14] 汪晓谦,商叶,刘维成,等. 生长调节剂及钙、硼肥对南果梨萼片脱落、果实品质及木质素代谢的影响[J]. *沈阳农业大学学报*,2019,50(4):399-405.

[15] 赵晓梅,叶凯,吴玉鹏,等. 采前喷钙对库尔勒香梨贮藏品质

和矿质营养的影响[J]. *食品科技*,2012,37(3):58-63.

[16] 岳亚康,朝朝阳,张铭,等. 不同氮钙水平对设施桃果实品质的影响[J]. *中国果树*,2021(4):55-58.

[17] 王丁,付瑞敏,刘春雷,等. 氢氧化钙对壶瓶枣果实营养品质及风味的影响[J]. *江苏农业科学*,2021,49(21):196-200.

[18] 牛晓琳,马文凤,刘艳芳,等. 叶面喷钙对金丝小枣钙素营养及果实品质的影响[J]. *中国土壤与肥料*,2018(2):103-108.

[19] 王梦亮,苏俊萍,王俊宏,等. 叶面喷施微生物菌剂对黄河滩红枣生理和品质的影响[J]. *山西大学学报(自然科学版)*,2012,35(3):568-571.

[20] 刘鑫铭,陈婷,雷龔. 钙处理对巨峰葡萄贮藏品质的影响[J]. *中国南方果树*,2022,51(1):159-162,165.

[21] 马超,王如福,曹森,等. 采前喷施糖醇螯合钙对猕猴桃贮藏品质的影响[J]. *食品科技*,2021,46(8):52-58.

[22] 莫飞旭,田茂科,龙友华,等. 叶面施钙对猕猴桃钙含量、品质及贮藏性的影响[J]. *中国南方果树*,2019,48(2):116-120.

[23] 孟智鹏,杨舜博,闫雷玉,等. 采前果面喷施钙制剂对苹果果实品质的影响[J]. *西北植物学报*,2022,42(7):1219-1231.

[24] 刘丽,高登涛,魏志峰,等. 调环酸钙对富士苹果生长及果实品质的影响[J]. *果树学报*,2021,38(7):1084-1091.

[25] 杨兰兰,卢凯政,齐国辉,等. 提高苹果品质并抑制苦痘病发生的钙肥最佳施用量和次数[J]. *植物营养与肥料学报*,2020,26(4):765-772.

[26] 袁嘉玮. 外源钙对富士苹果生理特征的影响[D]. 银川:宁夏大学,2021.

[27] 程平,赵明玉,李宏,等. 干旱胁迫对苹果树生长、光合特性及果实品质的影响[J]. *云南大学学报(自然科学版)*,2022,44(2):405-414.

[28] 袁成龙,李培环,段艳欣,等. 不同负载量对盛果期红富士苹果树光合指标和贮存营养的影响[J]. *中国农学通报*,2012,28(22):163-167.

[29] 战莘晔,吕晓,金丹丹,等. UV-B 辐射增强对梗稻营养生长期叶片光合特性的影响[J]. *农业环境科学学报*,2020,39(11):2515-2523.

[30] 张阿宏,齐孟文,张晔晔. 调制叶绿素荧光动力学参数及其计量关系的意义和公理化讨论[J]. *核农学报*,2008,22(6):909-912.

[31] 袁嘉玮,张健,王璐,等. 外源钙对低温胁迫下苹果花器官生理指标的影响[J]. *北方园艺*,2021(5):28-33.

[32] 贾定贤,米文广,杨儒琳,等. 苹果品种果实糖、酸含量的分级标准与风味的关系[J]. *园艺学报*,1991,18(1):9-14.

[33] 夏庆平,高洪波,李敬蕊. γ -氨基丁酸(GABA)对低氧胁迫下甜瓜幼苗光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J]. *应用生态学报*,2011,22(4):999-1006.

[34] 张华,杨树青,符鲜,等. 玉米叶绿素 CCI 值及氮营养指数在氮诊断中的研究与应用[J]. *节水灌溉*,2016(9):36-39.

[35] 韩龙慧,李中勇,徐继忠. 不同钙素水平对设施油桃叶片光合作用的影响[J]. *河南农业科学*,2013,42(9):95-98.

[36] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. *Annual Review of Plant Physiology*,1982,33:317-345.

董科阳,丁紫薇,张 驰,等. 环剥、几丁聚糖对灰枣叶片性状及坐果的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(20):161-166.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.20.023

环剥、几丁聚糖对灰枣叶片性状及坐果的影响

董科阳^{1,2,3}, 丁紫薇^{1,2,3}, 张 驰^{1,2,3}, 张 琦^{1,2,3}, 张 欣^{1,3}

(1. 新疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室,新疆阿拉尔 843300;

2. 新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室,新疆阿拉尔 843300;

3. 塔里木大学园艺与林学院,新疆阿拉尔 843300)

摘要:以新疆维吾尔自治区阿拉尔市的灰枣树为试验材料,于盛花期在距离地面 20 cm 的主干部位进行环剥(宽度为 0.5 cm,环剥 1 道),于盛花初期喷施 0.5% 几丁聚糖水剂 300、500、700、900、1 200 倍液,分析环剥+不同浓度几丁聚糖处理对灰枣叶片性状和坐果的影响。结果表明,环剥+几丁聚糖处理对灰枣叶片性状的影响显著,环剥+几丁聚糖 1 200 倍液处理的叶长、宽、厚、叶面积显著高于 CK;环剥后第 3、第 13 天,环剥+几丁聚糖 500 倍液的干鲜质量比显著高于 CK。环剥后第 3、第 8 天,环剥+几丁聚糖 900、1 200 倍液处理的叶绿素总量显著高于 CK。环剥后第 13 天,环剥+几丁聚糖 1 200 倍液处理的全氮含量显著高于 CK,环剥+几丁聚糖 500 倍液处理的全磷含量显著高于 CK,环剥+几丁聚糖 300、500、700、1 200 倍液处理的全钾含量显著高于 CK。环剥+几丁聚糖处理对灰枣树坐果也有明显的影响,其中环剥+几丁聚糖 700、1 200 倍液处理的坐果率极显著高于 CK;各处理二次枝果实数极显著高于 CK,单株果实数显著高于 CK,均以环剥+几丁聚糖 900 倍液处理的效果最佳。综上,环剥+几丁聚糖处理可有效提高灰枣叶片的质量和坐果率,进而为提高灰枣高效栽培技术和产量提供参考。

关键词:灰枣;几丁聚糖;环剥;叶片性状;坐果率;产量;栽培技术;新疆

中图分类号:S665.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)20-0161-05

枣属于鼠李科(Rhamnaceae)枣属(*Zizyphus* Mill.)植物,栽植历史已有 7 000 多年^[1],被称为“木本粮食”。灰枣又称新郑灰枣,是主要的制干品种,富含碳水化合物、盐类、矿物质、维生素、脂肪

酸、氨基酸和蛋白质^[2]。几丁聚糖是一种植物诱导抗性激发子,能激发植物自身抗性,具有较强的诱导抗性作用,增强植物对病虫害的防御能力^[3-5]。赵永田等认为,几丁聚糖对植物病害有一定的防治效果,且具有安全、低残留以及有利于植株生长发育的特点^[6-8]。杨莉等认为,喷施 0.5% 几丁聚糖水剂对枣黑斑病有一定的防治效果,枣果还原糖、维生素 C、Mg 的含量明显增加,可以提高灰枣的果实品质^[9]。赵蕾等认为,喷施几丁聚糖溶液可减少烟草环纹病毒的传染,对棉花炭疽病、棉花角斑病、小麦赤霉病、水稻白叶枯病、马铃薯环腐病等多种

收稿日期:2023-01-07

基金项目:新疆生产建设兵团民生实事“农业技术辐射带动”项目(编号:MSSS201903);新疆生产建设兵团科技特派员创新创业计划(编号:BT1720220020F)。

作者简介:董科阳(1998—),女,甘肃永靖人,硕士研究生,主要从事果树栽培生理研究。E-mail:2392511210@qq.com。

通信作者:张 琦,教授,主要从事果树栽培生理生态研究。E-mail:1041805650@qq.com。

[37] Farquhar G D, von Caemmerer S, Berry J A. Models of photosynthesis[J]. *Plant Physiology*, 2001, 125(1): 42-45.

[38] 孙守霞,陈 虹,吕 威,等. 降尘对阿克苏地区主栽果树叶片光合特性及叶绿素荧光特性的影响[J]. *浙江农业学报*, 2022, 34(12): 2659-2668.

[39] 解 斌,李俊豪,赵 军,等. 干旱胁迫对 2 种梨砧木生长及叶绿素荧光特性的影响[J]. *西北农业学报*, 2019, 28(5): 753-761.

[40] 巩 磊,夏杜菲,王文娇,等. 光钙耦合对黄瓜植株生长、叶片叶绿素荧光特性和果实品质的影响[J]. *北方园艺*, 2022(5): 1-

7.

[41] 李中勇,张 媛,韩龙慧,等. 氮钙互作对设施栽培油桃叶片光合特性及叶绿素荧光参数的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(4): 893-900.

[42] Buczkowska H, Michałojć Z, Nurzyńska-Wierdak R. Yield and fruit quality of sweet pepper depending on foliar application of calcium[J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2016, 40: 222-228.

[43] 王晓佳,贾永华,王春良. 不同钙肥处理对金冠苹果品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(35): 62-64.