

杨文龙, 张小清, 杨东风, 等. 聚谷氨酸对不同施肥水平下丹参幼苗生长和光合生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(10): 143–149.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.10.020

聚谷氨酸对不同施肥水平下丹参幼苗生长和光合生理特性的影响

杨文龙¹, 张小清¹, 杨东风², 单长卷¹

(1. 河南科技学院, 河南新乡 453003; 2. 浙江理工大学, 浙江杭州 310000)

摘要: 为了提高丹参的产量和品质, 以紫花丹参为研究对象, 采用盆栽试验, 以正常施肥水平为对照, 探究不同减肥水平对丹参幼苗生长的影响。以不施聚谷氨酸(PGA)为对照, 探究施用不同水平 PGA 对丹参幼苗生长的影响, 测定了丹参幼苗的生长指标、相对叶绿素含量(SPAD 值)及叶绿素荧光参数等指标数值, 应用数据分析软件进行差异显著性分析。结果表明, 在未施用 PGA 时, 不同减肥水平均显著降低了丹参幼苗生长指标、SPAD 值、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、气孔限制值(L_s)、水分利用效率(WUE)以及 PS II 实际光化学效率[$Y(II)$]、PS II 最大光化学量子产额(F_v/F_m)、PS II 有效光化学量子产额(F_v'/F_m')、表观电子传递速率(ETR)、光化学淬灭系数(q_p), 均显著提高了气孔限制值(L_s)、非光化学淬灭系数(NPQ), 丹参幼苗的生长情况为 $CF1 > CF2 > CF3$; 在不同复合肥施用水平下, 施用不同水平 PGA 均显著提高了丹参幼苗生长指标、SPAD 值、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、水分利用效率(WUE)、PS II 实际光化学效率[$Y(II)$]、PS II 最大光化学量子产额(F_v/F_m)、PS II 有效光化学量子产额(F_v'/F_m')、表观电子传递速率(ETR)和光化学淬灭系数(q_p), 均显著降低了气孔限制值(L_s)和非光化学淬灭系数(NPQ)。在同一施肥水平下, P2 水平(0.044 g/桶)PGA 处理对丹参幼苗上述指标的影响最显著; 在所有处理中, CF2P2 处理对丹参幼苗上述指标的影响最显著。这说明, 在减肥 15% 的施肥水平下, 施用 P2 水平的 PGA 对丹参幼苗生长和光合生理产生了显著的积极作用, 这为 PGA 在丹参减肥增效栽培技术体系中的应用提供了理论基础。

关键词: 聚谷氨酸; 丹参; 生长指标; 气体交换参数; 叶绿素荧光参数

中图分类号: S567.5⁺30.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2023)10-0143-06

丹参为唇形科植物, 其干燥的根茎可以入药, 不仅能够活血化瘀、凉血消痈, 还具有改善微循环、扩张血管、防治动脉硬化、抗炎、抗肿瘤、降血压、降血脂等多种作用^[1-4]。近年来, 药材市场对丹参的需求量急剧增加, 从而导致丹参大田生产中过度施用化肥, 进而对土壤造成不良影响^[5]。因此, 探索减肥不减产的绿色栽培技术是目前丹参生产中亟需解决的问题。聚谷氨酸(PGA)是一种绿色环保型高分子聚合材料, 可以被生物体完全降解, 具有

良好的吸附性和保水性, 还具有富集营养成分、提高肥料利用率和促进根系生长的功能^[6-8]。因此, 可以将 PGA 与传统肥料混合使用, 不但能够减少肥料的使用量, 而且还能够促进作物生长, 提高产量及质量。

已有研究表明, PGA 可以明显促进粮食作物水稻、玉米以及蔬菜作物番茄等的光合性能, 进而达到增产的目的^[9-11]。郭猛等研究表明, 叶面喷施 PGA 能够显著促进丹参幼苗光合作用, 进而促进其生长^[12]。胡中盛等研究发现, PGA 处理可以显著提高丹参产量和根中药用成分含量^[13]。但在减肥条件下有关 PGA 对丹参植株生长指标和光合性能影响方面的研究尚未见报道。

本试验以紫花丹参为材料, 采用盆栽试验研究了根灌不同水平 PGA 对不同减肥水平下丹参幼苗生长指标、气体交换参数、相对叶绿素含量(SPAD 值)、叶绿素荧光参数的影响, 以期筛选出适宜丹参

收稿日期: 2022-07-10

基金项目: 中央本级重大增减支项目子课题(编号: 2060302); 浙江省自然科学基金杰出青年基金(编号: LR21H280002)。

作者简介: 杨文龙(1995—), 男, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事作物生长与品质生理调控方面的研究。E-mail: wenlong15565791331@163.com。

通信作者: 单长卷, 教授, 硕士生导师, 主要从事作物逆境与品质生理调控方面的研究。E-mail: shanchangjuan1978@163.com。

减肥增效的施肥水平和 PGA 施用水平的最佳组合,进而为 PGA 在丹参大田生产减肥增效中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

所用植物材料为紫花丹参幼苗,由江苏省丹阳市丹参种植基地提供。

1.2 供试肥料和 PGA

供试肥料为史丹利牌复合肥, N : P₂O₅ : K₂O = 15% : 15% : 15%; 供试 PGA 为农业级 PGA (含量 25%), 由陕西省西安市西安晋恒化工有限公司生产。

1.3 试验方法和处理

本试验于 2022 年 4—6 月在河南科技学院试验场进行。试验方法为盆栽法, 所用培养土为营养土和田间土按质量比 1 : 6 混合均匀, 分装入直径 35 cm、高 50 cm 的塑料桶中, 每桶装 14 kg 培养土。每桶栽植 2 棵大小一致的丹参幼苗。利用称质量法将每桶的土壤含水量控制在田间持水量的 55% ~ 60%。待幼苗成活后进行不同肥料和 PGA 水平处理。采用穴施法进行不同肥料水平处理, 采用根灌法进行 PGA 处理, 不同处理用量见表 1。在复合肥和 PGA 处理后 7 d 和 14 d, 分别测定丹参植株的株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽、基径。在肥料和 PGA 处理后 14 d, 测定丹参幼苗光合生理特性指标, 包括气体交换参数、相对叶绿素含量 (SPAD 值) 和叶绿素荧光参数。

表 1 不同处理的复合肥和 PGA 用量

复合肥 (g/桶)	PGA (g/桶)			
	0	0.022	0.044	0.088
4.44 (正常施肥)	CF1	CF1P1	CF1P2	CF1P3
3.74 (减肥 15%)	CF2	CF2P1	C2P2	CF2P3
3.08 (减肥 30%)	CF3	CF3P1	CF3P2	CF3P3

1.4 测定指标和方法

1.4.1 植株生长指标测定 利用刻度尺测定株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽, 利用游标卡尺测定基径, 每个处理各指标均重复测定 3 次。

1.4.2 叶片气体交换参数测定 利用 Li-6400 便携式光合仪测定叶片的气体交换参数: 净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、胞间 CO₂ 浓度 (C_i)、气孔导度 (G_s)、气孔限制值 (L_s), 每个处理各指标均重复测定 3 次, 利用公式 $WUE = P_n/T_r$ 计算水分利用效率

(WUE)。

1.4.3 相对叶绿素含量 (SPAD 值) 测定 利用叶绿素仪测定丹参叶片的 SPAD 值, 每个处理重复测定 3 次。

1.4.4 叶绿素荧光参数测定 利用 PAM-2500 荧光仪测定丹参植株的叶绿素荧光参数 PS II 实际光化学效率 [$Y(II)$]、PS II 最大光化学量子产额 (F_v/F_m)、PS II 有效光化学量子产额 (F_v'/F_m')、表观电子传递速率 (ETR)、非光化学淬灭系数 (NPQ)、光化学淬灭系数 (q_p), 每个处理下上述各个指标均重复测定 3 次。

1.5 数据分析与统计处理

所得数据用 Origin 2017 软件进行计算及制图, 并用 SPSS statistics 25 在 $\alpha = 0.05$ 水平上进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 PGA 对不同施肥水平下丹参幼苗生长指标的影响

由表 2 可知, 根灌处理后 7 d, 正常施肥水平下 PGA 能够显著促进丹参幼苗的生长, 且不同 PGA 施用水平对生长指标株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽、基径的促进趋势基本一致, 均随着 PGA 用量的增加而呈先增后降的趋势。在所有 PGA 处理中, P2 水平 PGA 处理对丹参幼苗株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽、基径的促进效果最好。与未使用 PGA 处理的 CF1 相比, P2 水平 PGA 处理分别使丹参幼苗株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽、基径提高了 74.7%、39.6%、44.2%、7.7%、47.0%、25.2%。根灌处理后 14 d, 正常施肥水平下 PGA 处理对丹参幼苗生长指标的促进趋势与 7 d 后基本一致。在所有 PGA 处理中, P2 水平 PGA 处理对丹参幼苗株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽、基径的促进效果最好。与未使用 PGA 处理的 CF1 相比, P2 水平 PGA 处理分别使丹参幼苗株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽、基径提高了 35.5%、37.2%、45.0%、25.3%、24.8%、22.5%。

由表 2 还可知, 根灌处理后 7 d, 与单独减肥 15%、30% 相比, 不同 PGA 处理也均能显著促进减肥水平下丹参幼苗的生长, 且不同 PGA 施用水平对各个生长指标的促进趋势基本一致, 均随着 PGA 用量的增加而呈先增后降的趋势。在同一减肥水平下不同 PGA 处理中, P2 水平 PGA 处理对丹参幼苗株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽、基径的促进效果最

好;在不同减肥水平下不同 PGA 处理中 CF2P2 处理的促进效果最好。与未使用 PGA 处理的 CF2 相比, CF2P2 处理分别使丹参幼苗株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽、基径提高了 76.3%、62.2%、52.7%、22.2%、44.5%、45.5%。根灌处理后 14 d,减肥 15%、30%

水平下 PGA 处理对丹参幼苗生长指标的促进趋势与处理后 7 d 基本一致。与未使用 PGA 处理的 CF2 相比,CF2P2 促进效果最好,分别使丹参幼苗株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽、基径提高了 66.2%、55.4%、53.0%、38.3%、40.7%、42.5%。

表 2 PGA 对不同施肥水平下丹参幼苗生长指标的影响

处理后时间	处理	株高 (cm)	横幅 (cm)	纵幅 (cm)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	基径 (mm)
7 d	CF1	9.5 ± 0.75cd	9.1 ± 0.90fg	9.5 ± 1.21d	3.62 ± 0.10bc	2.02 ± 0.14d	3.02 ± 0.14e
	CF1P1	11.1 ± 0.60c	10.6 ± 0.90de	11.3 ± 0.85c	3.72 ± 0.11bc	2.35 ± 0.19cd	3.28 ± 0.15d
	CF1P2	16.6 ± 1.11a	12.7 ± 0.60bc	13.7 ± 1.35ab	3.90 ± 0.26bc	2.97 ± 0.20ab	3.78 ± 0.13b
	CF1P3	13.5 ± 1.18b	11.9 ± 0.60cd	12.1 ± 1.28bc	3.84 ± 0.22bc	2.64 ± 0.16bc	3.55 ± 0.13c
	CF2	9.7 ± 1.00cd	9.0 ± 0.36fg	9.3 ± 0.44d	3.56 ± 0.10c	2.18 ± 0.27d	2.92 ± 0.21e
	CF2P1	11.2 ± 0.87c	10.6 ± 0.53de	11.5 ± 0.40c	3.61 ± 0.11bc	2.38 ± 0.22cd	3.31 ± 0.09d
	CF2P2	17.1 ± 0.80a	14.6 ± 0.87a	14.2 ± 1.10a	4.35 ± 0.31a	3.15 ± 0.12a	4.25 ± 0.12a
	CF2P3	13.6 ± 1.00b	12.0 ± 0.75c	12.2 ± 0.78bc	3.92 ± 0.33bc	2.68 ± 0.30bc	3.52 ± 0.08cd
	CF3	9.2 ± 0.79d	8.9 ± 0.96g	9.4 ± 1.35d	3.54 ± 0.13c	2.15 ± 0.24d	2.89 ± 0.16e
	CF3P1	11.3 ± 1.15c	10.3 ± 0.30ef	11.7 ± 0.70c	3.62 ± 0.09bc	2.36 ± 0.28cd	3.03 ± 0.25de
	CF3P2	16.1 ± 1.15a	13.6 ± 0.70ab	13.7 ± 1.15ab	3.98 ± 0.29b	2.97 ± 0.28ab	3.95 ± 0.09b
	CF3P3	13.4 ± 1.41b	11.8 ± 0.82cd	12.1 ± 0.85bc	3.65 ± 0.65bc	2.69 ± 0.14bc	3.30 ± 0.13d
14 d	CF1	16.6 ± 1.08ef	17.2 ± 1.48ef	16.0 ± 1.56cd	4.00 ± 0.22d	3.07 ± 0.15fg	3.24 ± 0.13de
	CF1P1	18.8 ± 0.72cd	19.0 ± 0.46de	18.9 ± 1.08b	4.40 ± 0.21cd	3.27 ± 0.14ef	3.41 ± 0.15d
	CF1P2	22.5 ± 1.26b	23.6 ± 1.15b	23.2 ± 1.97a	5.01 ± 0.52ab	3.83 ± 0.16b	3.97 ± 0.15b
	CF1P3	19.8 ± 0.85c	21.1 ± 1.80cd	19.8 ± 0.89b	4.72 ± 0.29bc	3.55 ± 0.13cd	3.96 ± 0.13c
	CF2	15.4 ± 0.62f	16.8 ± 0.66ef	16.4 ± 1.18cd	3.99 ± 0.33d	2.95 ± 0.17g	3.13 ± 0.11ef
	CF2P1	18.2 ± 0.30cd	18.3 ± 1.14ef	18.6 ± 1.10b	4.39 ± 0.14cd	3.52 ± 0.14de	3.45 ± 0.19d
	CF2P2	25.6 ± 0.62a	26.1 ± 1.90a	25.1 ± 1.00a	5.52 ± 0.34a	4.15 ± 0.22a	4.46 ± 0.12a
	CF2P3	19.6 ± 2.01c	21.9 ± 1.12bc	20.0 ± 1.32b	4.61 ± 0.22bc	3.68 ± 0.13bc	3.70 ± 0.10c
	CF3	15.5 ± 0.60f	16.6 ± 0.62f	16.2 ± 0.92d	3.97 ± 0.34d	2.84 ± 0.15g	2.98 ± 0.16g
	CF3P1	17.5 ± 0.87de	17.9 ± 1.44ef	18.0 ± 1.48bc	4.39 ± 0.23cd	3.23 ± 0.16ef	3.41 ± 0.13d
	CF3P2	23.1 ± 0.60b	23.5 ± 1.71b	23.5 ± 1.04a	5.03 ± 0.24ab	3.82 ± 0.14b	4.08 ± 0.14b
	CF3P3	18.8 ± 1.19cd	21.1 ± 0.52cd	18.7 ± 0.82b	4.69 ± 0.40bc	3.70 ± 0.13b	3.64 ± 0.11c

注:同栏同列不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。所有数据均为 3 个重复值的平均值 ± 标准误。

2.2 PGA 对不同施肥水平下丹参幼苗叶片气体交换参数的影响

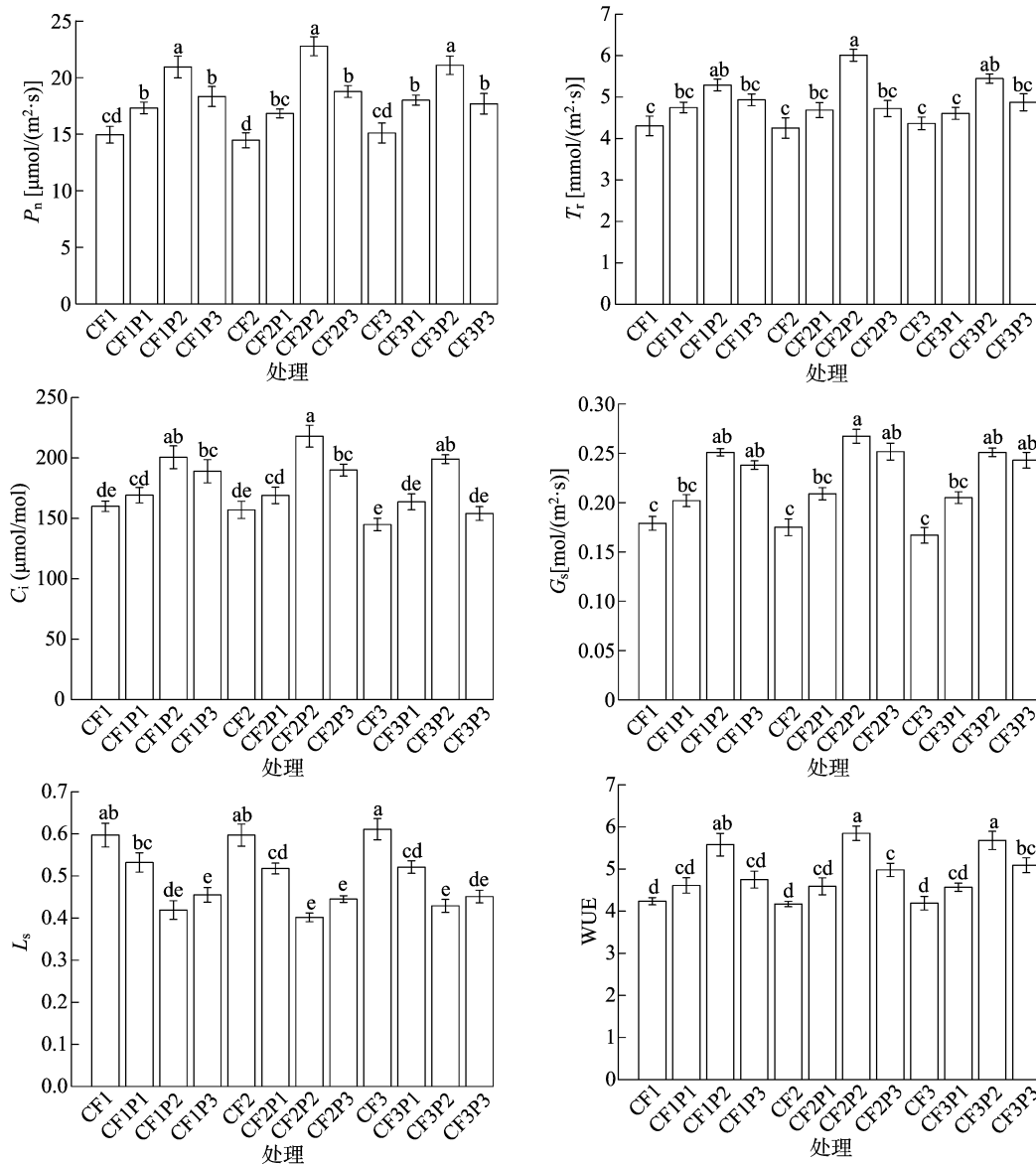
由图 1 可知,根灌处理后 14 d,正常施肥水平下 PGA 能够显著提高丹参幼苗叶片气体交换参数 P_n 、 T_r 、 C_i 、 G_s 、WUE,同时显著降低 L_s ,且不同 PGA 施用水平对丹参幼苗气体交换参数 P_n 、 T_r 、 C_i 、 G_s 、WUE 的影响基本一致,均随着 PGA 用量的增加而呈先增后降的趋势,但对 L_s 的影响则随 PGA 用量的增加而呈先降后增的趋势。在所有 PGA 处理中,P2 水平 PGA 处理对丹参幼苗叶片 P_n 、 T_r 、 C_i 、 G_s 、WUE 的提高效果最好,对 L_s 降低效果最好。与未使用 PGA 处理的 CF1 相比,P2 水平 PGA 处理分别使丹参幼苗叶片 P_n 、 T_r 、 C_i 、 G_s 、WUE 提高了 40.0%、23.0%、

20.2%、40.2%、31.6%,使 L_s 降低了 29.8%。

由图 1 还可知,根灌处理后 14 d,与单独减肥 15%、30% 相比,不同 PGA 能够显著提高减肥水平下丹参幼苗气叶片体交换参数 P_n 、 T_r 、 C_i 、 G_s 、WUE,同时显著降低 L_s ,且不同 PGA 施用水平对丹参幼苗叶片气体交换参数 P_n 、 T_r 、 C_i 、 G_s 、WUE 的影响则随 PGA 用量的增加而呈先增后降的趋势,但对 L_s 的影响则随 PGA 用量的增加而表现为先降后增的趋势。在同一减肥水平下所有 PGA 处理中,P2 水平 PGA 处理对丹参幼苗叶片 P_n 、 T_r 、 C_i 、 G_s 、WUE 的促进效果最好,对 L_s 的降低效果最好;在不同减肥水平下不同 PGA 处理中,CF2P2 处理对丹参幼苗叶片 P_n 、 T_r 、 C_i 、 G_s 、WUE 的促进效果最好,对 L_s 的降低效果

最好。与未使用 PGA 处理的 CF2 相比,CF2P2 处理分别使丹参幼苗叶片 P_n 、 T_r 、 C_i 、 G_s 、WUE 提高了

57.2%、41.4%、38.9%、52.5%、40.3%,使 L_s 降低了 32.6%。



不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下图同

图1 PGA 对不同施肥水平下丹参幼苗叶片气体交换参数的影响

2.3 PGA 对不同施肥水平下丹参幼苗叶片 SPAD 值的影响

由图 2 可知,根灌处理后 14 d,正常施肥水平下不同 PGA 处理均能显著提高丹参幼苗叶片 SPAD 值,且 SPAD 值的影响均随 PGA 用量的增加而呈先增后降的趋势。在所有 PGA 处理中,P2 水平 PGA 处理对丹参幼苗叶片 SPAD 值的提高效果最好,与未使用 PGA 处理的 CF1 相比,提高了 38.2%。

由图 2 还可知,根灌处理 14 d 后,与单独减肥 15%、30% 相比,不同 PGA 处理均显著提高了减肥条件下丹参幼苗叶片 SPAD 值,且随着 PGA 用量的

增加 SPAD 值呈先增后降的趋势。在同一减肥水平下不同 PGA 处理中,P2 水平 PGA 处理对丹参幼苗叶片 SPAD 值的促进效果最好;在不同减肥水平下不同 PGA 处理中,CF2P2 处理对丹参幼苗叶片 SPAD 值的促进效果最好。与未使用 PGA 处理的 CF2 相比,CF2P2 处理使丹参幼苗叶片 SPAD 值提高了 43.6%。

2.4 PGA 对不同施肥水平下丹参幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响

由图 3 可知,根灌处理后 14 d,正常施肥水平下不同 PGA 处理均显著提高了丹参幼苗叶片叶绿素

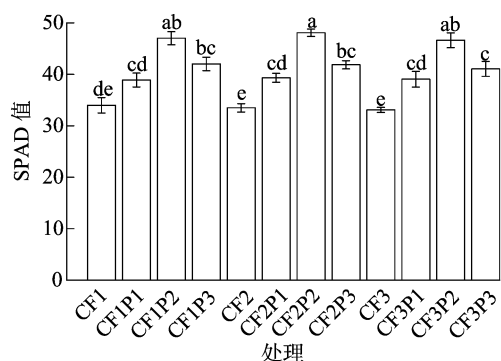


图2 PGA 对不同施肥水平下丹参幼苗叶片 SPAD 值的影响

荧光参数 $Y(II)$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p ，同时显著降低了 NPQ。随着 PGA 用量的增加，叶绿素荧光参数 $Y(II)$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p 均呈先增后降的趋势，但 NPQ 则呈先降后增的趋势。在所有 PGA 处理中，P2 水平 PGA 处理对丹参幼苗的 $Y(II)$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p 的提高效果最好，对 NPQ

的降低效果最好。与未使用 PGA 处理的 CF1 相比，P2 水平 PGA 处理分别使丹参幼苗的 $Y(II)$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p 提高了 23.6%、26.7%、13.4%、44.2%、15.3%，使 NPQ 降低了 22.9%。

由图 3 还可知，根灌处理后 14 d，与单独减肥 15%、30% 相比，减肥 15%、30% 水平 PGA 处理显著提高了减肥条件下丹参幼苗叶绿素荧光参数 $Y(II)$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p ，同时显著降低了 NPQ。随着 PGA 用量的增加， $Y(II)$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p 均呈先增后降的趋势，但 NPQ 则呈先降后增的趋势。在同一减肥水平下不同 PGA 处理中，P2 水平 PGA 处理对丹参幼苗 $Y(II)$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p 的促进效果最好，对 NPQ 的降低效果最好；在不同减肥水平下所有 PGA 处理中，CF2P2 处理对 $Y(II)$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p 的促进效果最好，对 NPQ 的降低效果最好。与未使

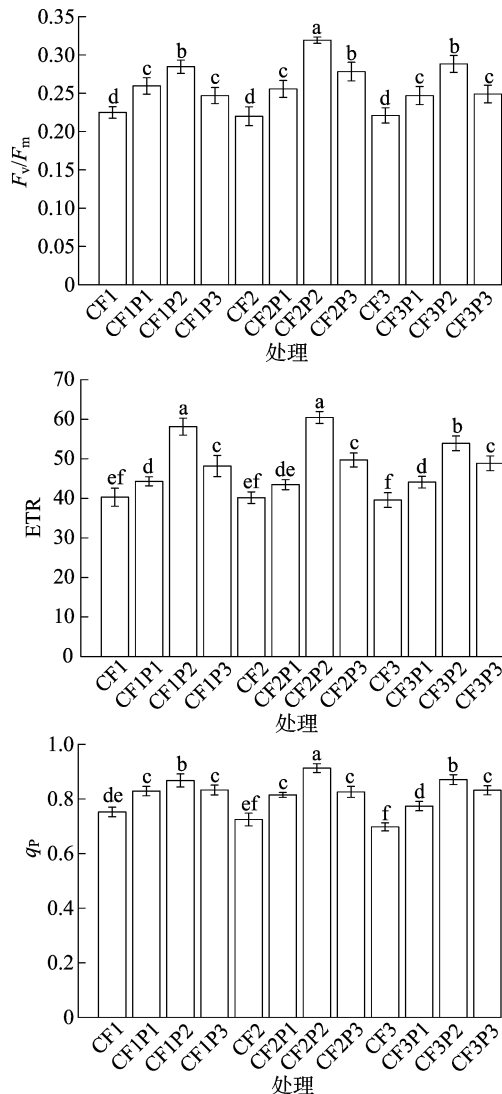
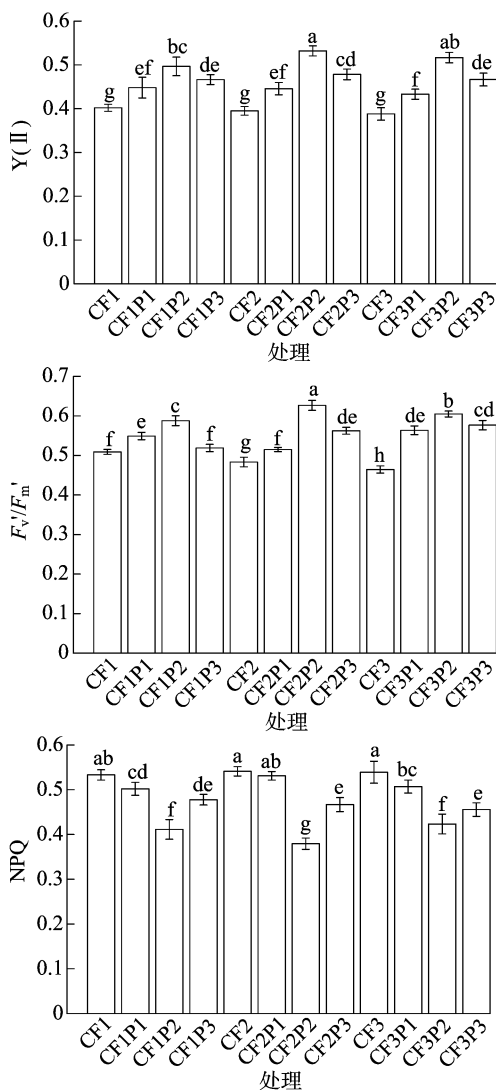


图3 PGA 对不同施肥水平下丹参幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响

用 PGA 处理的 CF2 相比, CF2P2 处理分别使 $Y(\text{II})$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p 提高了 34.7%、45.0%、29.8%、50.5%、25.9%, 使 NPQ 降低了 29.9%。

3 结论与讨论

宗琪等研究表明, 使用 PGA 处理能够显著促进柑橘幼苗的生长指标^[14]。本试验研究表明, 在正常施肥情况下使用 PGA 处理能够显著增加丹参幼苗的株高、横幅、纵幅、叶长、叶宽、基径, 与宗琪等研究结果基本一致。王百顺等研究表明, 在减肥 20% 情况下喷施 PGA 处理, 能够显著促进花生的生长指标^[15]。马川等研究表明, 在减氮 30% 条件下使用 PGA 处理, 能够显著增加玉米的株高和茎粗^[16]。本研究表明, 在 N、P、K 肥均减少的情况下使用不同水平 PGA 处理, 均能显著促进丹参幼苗的生长指标, 其中减肥 15% 水平下 P2 水平 (0.044 g/桶) PGA 处理促进效果最好。本研究结果表明, 不但减氮可以促进丹参幼苗生长, 减少 P、K 肥的用量也可以促进丹参幼苗生长。

光合作用反映了植物制造和储存有机物的能力。郭猛等的研究表明, 喷施 PGA 能够显著促进丹参幼苗的光合参数^[12]。鲍聪聪研究表明, 外源添加 PGA 能促进桃实生苗根系生长, 显著提高植株净光合速率和叶绿素 SPAD 值, 从而促进干物质积累^[17]。张中魁研究表明, 喷施 PGA 处理能显著促进夏玉米叶片净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率、SPAD 值^[18]。本试验研究结果表明, 在正常施肥水平下使用 PGA 处理能够显著促进丹参幼苗生长指标、气体交换参数、叶绿素指数、叶绿素荧光参数, 这与前人在其他作物上的研究结果基本一致。本研究表明, 减肥 15%、30% 水平下使用不同水平 PGA 处理能显著提高丹参幼苗 SPAD 值和气体交换参数 P_n 、 T_r 、 C_i 、 G_s 、WUE, 这说明减肥条件下根灌 PGA 可以提高丹参幼苗叶片光合机构的性能, 从而促进丹参植株的生长。

叶绿素荧光参数能够反映出植物光合作用机理和光合生理状况。巩雪峰等研究表明, 叶面喷施 PGA 能够显著促进辣椒叶片 F_v/F_m 、 Φ_{PSII} 、ETR、 q_p , 显著降低 NPQ, 从而有效提高了叶片的光能利用率^[19]。本研究表明, 正常施肥水平下不同水平 PGA 处理均显著提高了丹参幼苗叶绿素荧光参数 $Y(\text{II})$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p 值, 显著降低了

NPQ 值, 这与巩雪峰等的研究结果基本一致。本研究结果表明, 在相同减肥水平下不同 PGA 处理均可提高丹参幼苗叶片叶绿素荧光参数 $Y(\text{II})$ 、 F_v/F_m 、 F_v'/F_m' 、ETR、 q_p , 这也说明减肥条件下根灌 PGA 可以促进丹参幼苗叶片的光合性能, 进而促进其生长。

综上所述, 正常施肥水平下 PGA 处理能够促进丹参幼苗生长、气体交换参数、叶绿素指数、叶绿素荧光参数; 在减施 15%、30% 条件下, PGA 处理亦显著提高了丹参幼苗生长指标、光合参数、相对叶绿素含量、叶绿素荧光参数, 且高于或与正常施肥水平下 PGA 处理的效果保持基本一致。不同施肥水平下, 均以 P2 水平 PGA 处理对上述指标的影响效果最好, 促进效果均表现为 CF2P2 > CF3P2 > CF1P2, 这说明适当减肥与 PGA 结合的施用促进效果最好。因此, 在丹参大田栽培实践中, 可以在减肥 15% 条件下根灌 P2 水平 PGA, 从而达到减肥增效的目的。

本试验结果表明, 正常施肥水平下和减肥条件下使用不同水平 PGA 均能显著促进丹参幼苗生长和提高其光合性能。这一结果填补了减肥条件下 PGA 处理对丹参生长和光合生理特性影响方面的研究空白, 为 PGA 在丹参减肥增效栽培技术体系中的应用提供了理论基础。但本研究仅从光合生理角度进行分析, 并未揭示 PGA 增强丹参植株光合性能的深层机制, 减肥条件下 PGA 增强丹参植株光合性能的分子机制亟待进一步研究。

参考文献:

- [1] 赵龙浩, 王振国. 丹参行血功效与妊娠禁忌考证[J]. 中药材, 2020, 43(3): 745–749.
- [2] 任越, 霍梦琪, 马婧, 等. 基于系统中药学的丹参组分功效研究[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(14): 3251–3258.
- [3] 王梦梦, 吉兰芳, 崔树娜. 丹参功效的物质基础研究进展[J]. 中医学报, 2019, 34(5): 944–949.
- [4] 吴庆昕. 丹参调节肾组织 AQP2 效应与其活血利尿功效的相关性研究[J]. 陕西中医, 2018, 39(4): 419–421.
- [5] 王科, 李浩, 张成, 等. 化肥过量施用的危害及防治措施[J]. 四川农业科技, 2017(9): 33–35.
- [6] Zhang L, Yang X M, Gao D C, et al. Effects of poly- γ -glutamic acid (γ -PGA) on plant growth and its distribution in a controlled plant-soil system[J]. Scientific Reports, 2017, 7: 6090.
- [7] 付文杰, 万亚珍, 张文辉, 等. γ -聚谷氨酸磷肥增效剂对石灰性土壤有效磷的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(2): 17–22.
- [8] 何宇, 吕卫光, 张娟琴, 等. γ -聚谷氨酸的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(18): 18–22.

刘铭潇,井俊丽,李晓涵,等. 苹果 *MdPYL9* 基因对苹果组培苗耐盐性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(10):149–154.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2023.10.021

苹果 *MdPYL9* 基因对苹果组培苗耐盐性的影响

刘铭潇,井俊丽,李晓涵,孙 晔,徐继忠,周莎莎

(河北农业大学园艺学院,河北保定 071000)

摘要:以 *MdPYL9* 过表达的和未转基因(对照)的 GL-3 苹果组培苗为试验材料,在含有 0、100、150 mmol/L NaCl 的 MS 培养基中培养 15 d,通过观察盐胁迫下过表达、未转基因组培苗表型的变化,测定相对电导率(REL)、保护酶[超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)]活性、丙二醛(MDA)含量、超氧阴离子($O_2^- \cdot$)含量、渗透调节物质(脯氨酸、可溶性蛋白)含量等生理指标及苹果抗盐相关基因表达量的变化,旨在探究 *MdPYL9* 基因对苹果组培苗耐盐性的影响。结果表明,处理 15 d 后,对照、转基因苹果组培苗在 100、150 mmol/L NaCl 处理下均出现盐胁迫症状,但转基因组培苗的症状较轻,对照植株的症状较重。盐处理后转基因组培苗中的 MDA 含量、相对电导率、超氧阴离子($O_2^- \cdot$)含量总体呈上升趋势,且显著低于对照。转基因组培苗中渗透调节物质可溶性蛋白在 100 mmol/L NaCl 处理下最高,脯氨酸含量逐渐上升,并且显著高于对照。转基因苹果组培苗中 SOD、POD、CAT 活性在 100 mmol/L NaCl 处理下最高,显著高于对照中的 SOD、POD、CAT 活性。荧光定量 PCR 分析结果表明,盐处理后,苹果抗盐相关基因 *MdSOS1*、*MdSOS2*、*MdSOS3* 和 *MdNHX1* 在转基因组培苗中表达量显著高于对照。由研究结果可以看出,*MdPYL9* 基因的过表达可在一定程度上提高组培苹果苗的耐盐性。

关键词:苹果;*MdPYL9* 基因;组培苗;耐盐性

中图分类号:S661.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2023)10–0149–06

苹果(*Malus domestica* Borkh.)是世界主栽果树之一,我国的苹果种植面积和产量占世界的一半以上,居世界首位^[1]。土壤盐渍化可造成果树树体营

养不良、叶片发黄和产量下降等问题,是限制苹果产量的一个重要因素^[2],已被认为是干旱、半干旱地区和广大灌区农业生产发展中的一个重要阻碍,并且已经受到越来越多的关注^[3],全球已有约 7% 陆地遭受到盐碱化的胁迫,而且这个比例依然在不断提高。我国是土壤盐碱化问题严重的国家,盐碱化土壤面积一望无垠、分布广泛,不利于区域农业的发展^[4]。由于苹果的遗传背景较为复杂,并且育种周期较长,通过传统杂交方法很难获得结合所有最佳品质的品种^[5]。因此,尽快探索挖掘苹果胁迫基因,提高苹果的抗逆性,确保其在恶劣环境下也能增产,对

收稿日期:2022–08–04

基金项目:河北省自然科学基金(编号:C2020204015);国家自然科学基金青年基金(编号:32002008);河北农业大学引进人才科研专项(编号:ZD201706)。

作者简介:刘铭潇(1997—),男,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事果树栽培生理与生态方面的研究。E-mail:1445487327@qq.com。

通信作者:周莎莎,博士,讲师,主要从事果树逆境生理与分子生物学方面的研究。E-mail:yyzhshsh@hebau.edu.cn。

[9]刁 倩,王 斌,曹 辉,等. γ -聚谷氨酸对水稻、玉米、大豆生长及产量的影响[J]. 南方农业,2020,14(28):48–52.

[10]段淑娟,刘 骏,张 草,等. 聚谷氨酸叶面肥在小麦上的应用效果研究[J]. 现代农业科技,2019(1):6–7.

[11]武海燕,傅东海,邱彦国. 聚谷氨酸对胡萝卜生长的影响[J]. 农业科技通讯,2020(8):197–198,201.

[12]郭 猛,高致明,张红瑞,等. 聚谷氨酸对丹参幼苗生长和光合作用的影响[J]. 河南农业大学学报,2019,53(5):694–697,703.

[13]胡中盛,何娥英,王明豪,等. 聚 γ -谷氨酸对丹参产量的影响[J]. 农村经济与科技,2020,31(5):62–65.

[14]宗 琪,张生才,范国泰,等. 聚 γ -谷氨酸促进柑橘苗木生长

和矿物元素吸收的研究[J]. 中国果菜,2020,40(7):58–63.

[15]王百顺,张晓菲,李艳辉. 花生减施化肥后喷施炭吸附聚谷氨酸对产量的影响[J]. 中国农技推广,2021,37(8):65–67.

[16]马 川,秦春霞. γ -聚谷氨酸在玉米化肥减量增效技术中的应用研究[J]. 现代农业科技,2021(20):10–11,15.

[17]鲍聪聪. γ -聚谷氨酸对桃树¹⁵N 吸收利用和耐旱性影响[D]. 泰安:山东农业大学,2020.

[18]张中魁. γ -聚谷氨酸喷施对不同水分供应夏玉米生长与根际微生物的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2020.

[19]巩雪峰,李 红,宋占锋,等. 外施 γ -聚谷氨酸对辣椒生长及其镉胁迫下生理特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(2):97–104.