

朱太富,王 赞,苏效兰,等. 葡萄柚嫁接愈合过程中砧穗生理物质特性及其与嫁接亲和性的关系[J]. 江苏农业科学,2022,50(13):141–147.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2022.13.023

# 葡萄柚嫁接愈合过程中砧穗生理物质特性 及其与嫁接亲和性的关系

朱太富<sup>1</sup>,王 赞<sup>2</sup>,苏效兰<sup>1</sup>,李 欣<sup>1</sup>,王连春<sup>2</sup>

(1. 西南林业大学园林园艺学院,云南昆明 650224; 2. 西南地区生物多样性保育国家林业局重点实验室,云南昆明 650224)

**摘要:**分析不同葡萄柚嫁接组合愈合过程中砧穗生理物质含量的差异,探究砧穗生理物质与嫁接成活率的关系,为研究葡萄柚嫁接亲和性的早期预测以及砧穗组合选择奠定基础。以火焰、哈路比、瑞路比、星路比作接穗,本地酸柚作砧木,测定 4 个嫁接组合愈合过程中砧穗代谢物质的含量以及酶活性,并统计嫁接 40 d 时的成活率。结果表明,本地酸柚与瑞路比组合的嫁接成活率为 73.33%,显著高于其他的嫁接组合,且嫁接后愈伤组织形成的时间最早。在嫁接愈合过程中,4 个嫁接组合接穗和砧木的可溶性糖含量变化分别呈降低—升高—降低、升高—降低—升高趋势;淀粉含量变化均呈下降—升高趋势;可溶性蛋白含量变化分别呈降低—升高、降低—升高—降低趋势;POD 活性均表现为升高—降低趋势;PPO 活性分别表现为升高—降低、降低—升高的趋势。相关性分析表明,嫁接后 6 d,接穗的可溶性糖、淀粉和可溶性蛋白含量分别与嫁接成活率呈显著正相关、显著负相关和显著正相关。除去 2 d,砧穗的 PPO 活性与嫁接成活率呈极显著负相关。综上所述,本地酸柚与瑞路比葡萄柚的亲和性较高,愈合过程中砧穗的 POD 和 PPO 活性以及嫁接后 6 d 时接穗的可溶性糖、淀粉和可溶性蛋白含量可以作为葡萄柚嫁接亲和性的参考指标。

**关键词:**葡萄柚;嫁接愈合;成活率;生理物质

**中图分类号:** S666.304 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2022)13–0141–06

葡萄柚(*Citrus paradise* Macf.)属于芸香科柑橘属,果实像葡萄一样一簇一簇地垂挂,故称之为葡萄柚<sup>[1–2]</sup>。葡萄柚的果实品质较好,一般用于鲜食,也可以制做果肉罐头和果汁<sup>[3–7]</sup>。嫁接是葡萄柚苗木繁育的关键技术,接穗与砧木的亲合性和嫁接后的愈合情况对葡萄柚的生长、开花和结果等均有显著影响<sup>[8]</sup>。周洲以红玉葡萄柚和马叙无核为接穗,嫁接于 9 种砧木上,研究发现不同嫁接组合的愈合情况、花期和果实产量出现显著差异<sup>[9]</sup>。王伟军等研究表明,不同砧穗组合在结果早晚、树形矮化程度等方面均存在差异<sup>[10]</sup>。严毅等认为,关键酶的含量对葡萄柚嫁接苗的愈合具有一定的影响<sup>[11]</sup>。已有研究表明,可溶性蛋白和碳水化合物对于砧穗组合之间连接的早期生长阶段非常重要,嫁接后有大量的高尔基体出现在隔离层细胞中,增加的高尔基

体会分泌蛋白质和碳水化合物在接穗和砧木间形成初始黏连<sup>[12–13]</sup>。前人对葡萄柚的研究主要集中在葡萄柚果实营养和健康功效、嫁接生理酶活性、组织培养、遗传育种等方面<sup>[14–19]</sup>,而对于葡萄柚嫁接愈合形成过程中接穗和砧木的代谢物质含量变化以及酶活性与嫁接亲和性的研究较少。因此,本研究以本地酸柚为砧木,火焰、哈路比、瑞路比和星路比为接穗,通过比较不同嫁接组合砧穗中的生理指标差异,以及分析砧穗中的生理指标与嫁接后的成活率所存在的关系,为研究葡萄柚嫁接亲和性的早期预测以及砧木与接穗组合的选择奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地及材料概括

试验地为西南林业大学格林温室旁的露天试验地(102°45'E,25°03'N),年平均气温为 15℃,年平均降水量约为 1 000.5 mm,年日照时长为 2 327.5 h<sup>[20]</sup>。以星路比(Star Ruby)、哈路比(Hudson Foster)、瑞路比(Ray Ruby)、火焰(Flame)4 个葡萄柚品种母树树冠上部四周一年生健壮枝条作为接穗,以营养袋苗本地酸柚(*C. grandis aurantium*)为砧木,不同砧穗组合的情况及简写见表 1。

收稿日期:2021–12–09

基金项目:云南省教育厅科学研究基金(编号:2021Y257);云南森林资源培育与利用协同创新中心资助项目(编号:51400604)。

作者简介:朱太富(1997—),男,四川盐边人,硕士,从事果树栽培生理方面的研究。E-mail:1355763735@qq.com。

通信作者:王连春,博士,副教授,从事经济林栽培等研究工作。E-mail:504769285@qq.com。

表 1 不同砧穗组合情况

砧木	接穗	砧穗组合简写	砧木简写	接穗简写
本地酸柚	星路比	Z1S1	Z1	S1
	哈路比	Z2S2	Z2	S2
	瑞路比	Z3S3	Z3	S3
	火焰	Z4S4	Z4	S4

1.2 试验方法

试验开展于 2021 年 3 月 26 日。选取健壮枝条,剪为 3~4 cm 长,每一段留 1~2 个饱满芽。砧木距离基质土壤表面 6 cm 处平减,采用劈接法,分别将 4 种接穗嫁接到砧木上。嫁接完成后,搭建高约 1.5 m,50% 的遮阳网进行遮阴处理。嫁接愈合前,每隔 3 d 浇 1 次水,愈合后每隔 5 d 浇 1 次水,浇水时避免水溅湿嫁接口。试验采用 3 次重复,随机区组设计,共 4 个砧穗组合,每 30 株作为一个小区,共 5 个小区,其中一个小区用于嫁接成活率的统计,另一个小区用于嫁接愈合情况的观察,其他 3 个小区用于采样,每个组合共嫁接 150 株。成活率 = 嫁接后 40 d 接穗芽萌动的株数/嫁接株数 × 100%。

1.3 样品采集及测定

为探究嫁接愈合过程中相关物质的变化,故在嫁接后 0、2、4、6、14、22、30 d 分别取 1 次样,其中 0 d 取样时,接穗为刚从母株上随机取下 3 cm 长度除去叶片的枝条,砧木取距离基质土壤表面 3~6 cm 长度未经嫁接的砧木。取样时从每个小区中取 2 株嫁接苗,死亡萎蔫的不取样,用枝剪将距离嫁接口 3 cm 处的砧木和接穗剪下,刀片刮取砧木和接穗的韧皮部,分别剪碎后,用锡箔纸将剪碎的韧皮部分别包裹,将包裹好的韧皮部放入液氮中冷冻后储藏于超低温冰箱中。嫁接后 40 d 时统计成活状况,接穗芽萌动则表示嫁接成活。砧木和接穗中的可溶性糖与淀粉含量参照张志良等的蒽酮比色法测定<sup>[21]</sup>,可溶性蛋白含量参照张志良等的考马斯亮蓝染料结合法<sup>[21]</sup>测定,过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)活性参照李合生的方法<sup>[22]</sup>测定。POD 酶活单位 U:在波长为 470 nm 下,1 min 1 g 葡萄柚韧皮部组织在反应体系中吸光度变化 1 所需的酶量;PPO 酶活单位 U:在波长为 420 nm 下,1 min 1 g 葡萄柚韧皮部组织在反应体系中吸光度变化 0.01 所需的酶量。

1.4 数据处理

数据统计使用 Excel 2010 软件进行,用 Origin 2021 进行作图,采用 SPSS 26.0 软件进行方差分析、

多重比较和相关性分析(Duncan's 新复极差法)。

2 结果与分析

2.1 不同嫁接组合愈合情况的观察

砧穗的亲缘关系越近,嫁接后愈合得越好,因此嫁接后的愈合情况可以作为判断亲和性高低的指标<sup>[2,23]</sup>。本试验参照严毅等的方法<sup>[24]</sup>,嫁接后观察不同嫁接组合砧穗的愈合情况。由表 2 可知,最先出现愈伤组织的组合为 Z3S3 和 Z4S4,Z2S2、Z1S1 组合的形成时间分别为 7、8 d。在 14 d 时,Z3S3 组合的愈合情况最好,形成的愈伤组织植株数最多。

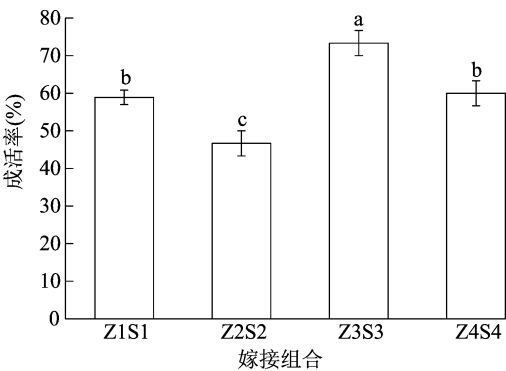
表 2 不同嫁接组合的愈合情况观察

砧穗组合	愈伤组织出现时间(d)	14 d 时愈合情况	14 d 时形成愈伤组织植株数(%)
Z1S1	8	B	60.00
Z2S2	7	C	48.89
Z3S3	6	A	78.89
Z4S4	6	A	67.78

注:“A”表示愈合较好;“B”表示愈合一般;“C”表示愈合较差。

2.2 不同嫁接组合的成活率

嫁接植株的成活率反映了接穗和砧木之间的亲和性,两者之间存在正相关关系<sup>[25]</sup>。嫁接后 40 d,对 4 个嫁接组合的成活率进行统计。由图 1 可知,Z3S3 组合的嫁接成活率最高为 73.33%,Z2S2 组合的嫁接成活率最低为 46.67%。从显著性分析可以得出,Z3S3 组合的成活率显著高于其他的嫁接组合,Z2S2 嫁接组合的成活率显著低于其他的嫁接组合,而 Z1S1 和 Z4S4 这 2 个嫁接组合之间的成活率不存在显著性差异。



图中柱上不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著

图 1 不同嫁接组合成活率的差异

2.3 不同嫁接组合的可溶性糖和淀粉含量

由表 3 可知,在嫁接愈合过程中,接穗中可溶性糖含量都呈降低—升高—降低的变化趋势,嫁接后

前 14 d 接穗中可溶性糖含量整体逐渐降低,降低了 4.83% ~64.65%。与其他几个接穗相比较,S3 的可溶性糖含量最先上升,且上升幅度最大。由表 3 可知,嫁接后不同嫁接组合砧木中可溶性糖的含量整体呈现升高—降低—升高的趋势。在嫁接后的前 4 d,砧木中可溶性糖含量均呈上升趋势,Z3 的可溶性糖含量上升了 8.73%,上升幅度最大,可溶性糖含量上升最低的为 Z4,上升了 5.41%,可见嫁接初期,不同嫁接组合砧木的可溶性糖含量变化不大。4 d 以后,不同嫁接组合的砧木中可溶性糖含量变化情况几乎一致。由显著性分析可知,不同的采样时间同一接穗的可溶性糖含量有部分存在显

著差异,对应砧木的情况与接穗相同。同一采样时间内,同一个嫁接组合接穗和砧木之间的可溶性糖含量全部都存在极显著差异。

由表 3 可知,嫁接后接穗中的淀粉含量均呈现下降—上升的变化趋势。在所有接穗中,S3 的淀粉含量下降幅度最大,下降 53.90%。6 d 后,Z2 砧木的淀粉含量开始上升,其余砧木的淀粉含量在 14 d 后才开始上升。与其他砧木相比,Z3 淀粉含量下降最多,下降 46.32%。同一取样时间同一嫁接组合接穗和砧木的淀粉含量均存在极显著差异,但各嫁接组合的砧木,只有 Z3 在所有取样时间所测得淀粉含量存在显著差异。

表 3 不同嫁接组合的可溶性糖和淀粉含量

类 时间 别 (d)	可溶性糖质量分数(%)				淀粉质量分数(%)			
	Z1S1	Z2S2	Z3S3	Z4S4	Z1S1	Z2S2	Z3S3	Z4S4
接穗	0	3.85±0.11a**	3.65±0.11a**	3.31±0.07a**	3.45±0.13a**	4.43±0.06a**	3.74±0.18a**	3.97±0.12a**
	2	2.02±0.04c**	2.45±0.18b**	2.22±0.08c**	2.95±0.03c**	4.39±0.04a**	3.54±0.23a**	3.35±0.18b**
	4	1.93±0.04c**	1.85±0.07d**	1.82±0.12d**	2.85±0.11c**	4.11±0.09b**	3.23±0.12b**	2.72±0.10c**
	6	1.75±0.07d**	1.59±0.02e**	1.97±0.02d**	2.47±0.08d**	3.08±0.18c**	3.14±0.10b**	2.47±0.13d**
	14	1.47±0.05e**	1.29±0.09f**	3.15±0.09ab**	1.98±0.05e**	2.91±0.06d**	2.77±0.09c**	2.03±0.14ef**
	22	2.58±0.13b**	2.20±0.06c**	3.01±0.08b**	3.17±0.10b**	2.82±0.03d**	2.16±0.22d**	1.83±0.08f**
	30	1.73±0.06d**	2.01±0.06d**	2.30±0.14c**	2.82±0.07c**	2.94±0.06cd**	2.78±0.14c**	2.10±0.12e**
砧木	0	5.73±0.05c	5.73±0.05d	5.73±0.05d	5.73±0.05b	5.70±0.02a	5.70±0.02a	5.70±0.02a
	2	5.89±0.05b	5.86±0.08c	5.98±0.04b	6.02±0.06a	5.36±0.23b	5.08±0.11b	5.30±0.17b
	4	6.12±0.02a	6.09±0.05b	6.23±0.01a	6.04±0.02a	4.55±0.12c	4.64±0.10c	4.64±0.11c
	6	5.69±0.00c	6.22±0.01a	5.80±0.01c	6.03±0.01a	4.25±0.19d	4.01±0.04e	3.76±0.11d
	14	5.43±0.00d	5.79±0.00d	5.64±0.02e	5.72±0.01b	3.33±0.08f	4.19±0.16d	3.06±0.05g
	22	5.21±0.00f	5.27±0.01f	5.72±0.05d	5.47±0.01c	3.64±0.06e	4.63±0.05c	3.27±0.01f
	30	5.33±0.04e	5.36±0.01e	5.85±0.02c	5.44±0.06c	4.19±0.06d	4.74±0.06c	3.54±0.01e

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,“\*\*”表示同一天同一组合砧穗在 0.01 水平上差异显著。下同。

2.4 不同嫁接组合的 POD 和 PPO 活性

由表 4 可知,随着嫁接口的愈合,不同嫁接组合中接穗的 POD 活性变化为升高—下降趋势,砧木的 POD 活性变化趋势与接穗相同。22 d 时,Z3S3 组合接穗和砧木的 POD 活性比 Z1S1、Z2S2、Z4S4 组合的高,Z3S3 组合接穗和砧木中的 POD 活性分别是嫁接 0 d 的 306.25%、286.45%。从总体来看,Z3S3 组合 POD 活性在不同取样时间变化最明显,Z1S1 和 Z4S4 组合次之,Z2S2 组合 POD 活性变化幅度最小。14 d 时,用接穗的 POD 活性减去砧木的 POD 活性,所得的差值取绝对值,Z1S1、Z2S2、Z3S3、Z4S4 组合的差值分别为 0.99、5.64、9.54、8.43 U/g,接穗与砧木间的 POD 活性存在极显著差异的嫁接组

合为 Z2S2、Z4S4。

由表 4 可知,随着嫁接口的愈合,4 个组合接穗的 PPO 活性表现为升高—降低的趋势,砧木的 PPO 活性表现为降低—升高的趋势,砧穗的 PPO 活性变化趋势不一致。4 个组合中,与 0 d 相比,Z2S2 组合接穗的 PPO 活性升高了 41.17 U/g,Z3S3 组合接穗的 PPO 活性仅升高 3.74 U/g。整个嫁接愈合过程中,Z3S3 组合砧木的 PPO 活性变化幅度最大,而该组合接穗的变化幅度最小。14 d 时,用接穗的 PPO 活性减去砧木的 PPO 活性,所得的差值取绝对值,Z1S1、Z2S2、Z3S3、Z4S4 组合的差值分别为 8.93、16.67、13.7、7.11 U/g,各组合接穗和砧木之间的 PPO 活性均存在极显著差异。

表 4 不同嫁接组合的 POD 和 PPO 活性

类 别	时 间 别 (d)	POD 活性 (U/g)				PPO 活性(U/g)			
		Z1S1	Z2S2	Z3S3	Z4S4	Z1S1	Z2S2	Z3S3	Z4S4
接穗	0	8.57±0.51c**	9.53±0.40d**	11.20±0.85e	9.70±0.53f**	10.93±0.61g**	14.00±1.60f	18.93±1.62a	8.80±1.20d**
	2	19.17±0.38b**	12.40±0.46c**	14.37±0.72e	11.43±0.59e	21.47±1.01b**	19.73±0.61d**	20.27±1.01ab**	9.60±1.20d
	4	20.40±0.70b	20.40±0.30b	24.30±4.11d	20.40±0.78d	23.17±0.80a**	42.80±0.80b**	22.67±0.61bc**	11.87±0.46c**
	6	23.38±0.47b	21.73±0.31b	26.40±0.46d	22.57±1.16c	22.13±0.40c**	55.17±0.40a**	21.60±0.80c**	12.67±1.40c**
	14	33.76±5.68a	26.67±3.22a**	34.23±3.88c	31.57±1.37b**	20.00±0.69d**	28.80±0.40c**	19.33±0.83f**	16.00±0.40ab**
	22	31.90±2.03a	19.43±0.40b	45.50±0.40a	40.43±0.45a	17.69±0.63e	21.20±0.80d**	15.33±0.61c**	17.55±0.48a**
	30	20.47±0.40b	9.30±0.36d**	39.30±0.85b	20.63±0.61d**	14.93±0.23f	18.00±1.06e	14.04±0.41d**	15.20±0.40b
砧木	0	11.73±0.15d	11.73±0.15d	11.73±0.15e	11.73±0.15e	14.80±0.40a	14.80±0.40ab	14.80±0.40a	14.80±0.40a
	2	14.63±0.31d	15.10±0.66c	14.50±0.36e	14.63±0.45e	8.99±0.90d	10.53±0.23d	10.27±1.22c	9.60±0.80c
	4	20.60±0.62c	21.07±1.76a	21.80±1.49d	20.70±0.72d	8.76±0.41d	9.60±0.40d	7.73±0.61d	7.87±0.61d
	6	21.97±1.40c	23.67±0.76a	26.60±3.18c	23.67±1.63c	8.13±0.61d	10.53±0.23d	6.13±0.61e	7.73±0.61d
	14	32.77±2.52a	21.03±1.62a	43.77±3.55a	40.00±1.15a	11.07±0.46c	12.13±1.29c	5.63±0.80e	8.89±0.79cd
	22	30.80±1.30a	18.60±0.60b	45.33±0.45a	41.07±1.20a	13.33±0.61b	14.27±0.61b	8.93±0.61d	12.53±0.83b
	30	27.20±3.65b	16.80±0.46c	39.47±0.57b	31.40±1.15b	15.60±0.40a	15.73±0.61a	12.40±0.40b	15.73±0.61a

2.5 不同嫁接组合的可溶性蛋白含量

由表 5 可知,0~14 d 接穗中可溶性蛋白含量下降 10.57%~30.60%,4 个组合中,Z3S3 组合接穗的可溶性蛋白含量下降最少。14 d 时与其他接穗相比,S3 的可溶性蛋白含量最先开始出现上升,且

可溶性蛋白含量最高。从表 5 中数据可以看出,4 个组合所对应砧木的可溶性蛋白含量均整体表现为降低一升高的变化趋势。此外,同一采样时间同一组合的接穗和砧木之间可溶性蛋白含量部分存在极显著差异,Z3S3 组合中除 2 d 外均存在极显著差异。

表 5 不同嫁接组合的可溶性蛋白质量分数

类 别	时 间 (d)	可溶性蛋白质量分数(%)			
		Z1S1	Z2S2	Z3S3	Z4S4
接穗	0	2.29±0.01a**	2.32±0.07a**	2.27±0.04a**	2.41±0.06a
	2	2.09±0.07b	1.91±0.01b**	2.23±0.03ab	2.17±0.03b
	4	1.93±0.02c**	1.91±0.02b**	2.18±0.03b**	2.02±0.04c**
	6	1.85±0.03d**	1.67±0.02d**	2.01±0.05c**	1.86±0.02d**
	14	1.71±0.03f**	1.61±0.01de**	2.03±0.03c**	1.77±0.01e**
	22	1.78±0.02ef	1.56±0.01e**	2.19±0.04b**	1.88±0.05d**
	30	1.84±0.05de	1.84±0.04c	2.23±0.01ab**	2.02±0.01c**
砧木	0	2.55±0.03a	2.55±0.03a	2.55±0.03a	2.55±0.03a
	2	2.23±0.02d	2.16±0.03c	2.24±0.01d	2.25±0.01d
	4	2.48±0.02b	2.35±0.01b	2.43±0.03b	2.42±0.03b
	6	2.39±0.01c	2.14±0.01c	2.32±0.01c	2.32±0.02c
	14	2.07±0.05e	1.86±0.02d	2.27±0.05d	2.23±0.01d
	22	1.86±0.03f	1.73±0.02e	2.42±0.02b	2.15±0.05e
	30	1.91±0.01f	1.84±0.03d	2.47±0.02b	2.20±0.01d

2.6 不同嫁接组合成活率与其砧穗生理指标的关系

由表 6 可知,在嫁接愈合过程中,嫁接成活率与砧穗中的可溶性糖、淀粉和可溶性蛋白含量以及 POD 和 PPO 活性存在一定的相关性。嫁接后 2 d,嫁接成活率与接穗和砧木可溶性糖、淀粉和可溶性

蛋白含量等指标的相关性不显著,嫁接后 4、22、30 d 砧穗的可溶性糖、淀粉和可溶性蛋白含量均与嫁接成活率无显著相关性,嫁接后 6 d,各组合接穗中的生理指标与嫁接成活率均存在显著正相关的为可溶性糖和可溶性蛋白含量,与嫁接成活率存在显著负相关的为淀粉含量。嫁接后 6、22、30 d,嫁接成活

率与砧穗的 POD 活性均存在极显著正相关关系;嫁接后 4、6、14、22、30 d,嫁接成活率与砧穗的 PPO 活性均存在极显著负相关。

表 6 嫁接成活率与砧穗生理指标的相关性分析

采样 时间 (d)	因子	相关系数				
		可溶性糖 含量	淀粉 含量	可溶性 蛋白含量	POD 活性	PPO 活性
2	接穗	-0.197	0.151	0.020	0.173	-0.164
	砧木	-0.477	0.700	-0.040	-0.167	-0.005
4	接穗	-0.042	-0.367	0.508	0.630 *	-0.755 **
	砧木	-0.480	-0.441	-0.222	0.320	-0.722 **
6	接穗	0.340 *	-0.742 *	0.744 *	0.867 **	-0.830 **
	砧木	-0.766	-0.640	0.430	0.742 **	-0.930 **
14	接穗	0.564	-0.656	0.753 *	0.548	-0.957 **
	砧木	-0.590	-0.470	0.599	0.891 **	-0.910 **
22	接穗	0.692	-0.442	0.662	0.907 **	-0.939 **
	砧木	-0.346	-0.519	0.585	0.890 **	-0.910 **
30	接穗	0.313	-0.346	0.508	0.955 **	-0.895 **
	砧木	-0.304	-0.425	0.575	0.926 **	-0.757 **

注:“\*\*”“\*”分别表示在 0.01、0.05 水平上显著相关。

### 3 讨论

#### 3.1 嫁接成活率

嫁接作为植物常见的无性繁殖方法之一,被广泛应用于增强植物抗逆性、良种选育、改善作物农艺性状等方面的研究<sup>[26-28]</sup>。接穗与砧木在分类学上关系越近,嫁接后愈合得越好,成活率越高<sup>[29]</sup>,杨邵等在研究油茶不同芽苗砧嫁接组合的亲性和生理中,也将嫁接成活率和愈伤组织的出现时间作为判断嫁接亲和性的依据<sup>[29]</sup>。本研究中,嫁接 40 d 时 Z3S3 组合的嫁接成活率为 73.33%,显著高于其他组合,同时,该嫁接组合的愈伤组织最先形成,这些表明 Z3S3 组合的亲性和性更高。

#### 3.2 代谢物质

在植物嫁接愈合部位会发生许多代谢物质含量和酶活性的变化<sup>[30]</sup>。营养物质是细胞分裂与分化的重要物质基础和能量来源<sup>[31]</sup>。本试验结果表明,嫁接后 0~14 d,不同砧穗中的可溶性糖含量整体均呈现降低的变化趋势,出现这种情况的原因可能是因为嫁接初期,砧穗需要消耗大量的糖维持正常的生理活动,故可溶性糖的含量降低。而 14 d 以后,嫁接接口逐渐愈合完全,砧穗间的物质交换和流通逐步恢复正常,接穗中的可溶性糖含量开始上升,但低于嫁接 0 d 的含量,而砧木中的可溶性糖含

量几乎维持不变,这与在王瑞等的研究<sup>[32]</sup>中,可溶性糖的含量变化趋势相同,也与龚艳筭等对蜜柚嫁接后可溶性糖含量的变化研究结果<sup>[33]</sup>一致。

淀粉是一种高分子碳水化合物,可在植物中储存能量,在裂解酶和水解酶作用下淀粉分解为寡糖,为细胞提供能量<sup>[34-35]</sup>。本研究发现,嫁接初期接穗刚脱离母体,需要消耗自身淀粉来维持代谢,这使得接穗中淀粉含量整体呈现下降趋势。14~22 d,淀粉含量持续降低,分解补充可溶性糖含量,可溶性糖含量在此阶段有所升高,为嫁接接口的愈合提供足够营养。14 d 后嫁接接口逐渐愈合完全,可溶性糖转化为淀粉储存,淀粉含量略微升高。

作为植物组织中的功能性蛋白,可溶性蛋白含量越高,植物体的代谢活动越强<sup>[36]</sup>。本研究 S3 中可溶性蛋白含量在 6 d 后开始升高,而其余接穗中可溶性蛋白含量在 14 或 22 d 后才开始上升,可见 S3 的代谢活动强于其余接穗。接穗中可溶性蛋白含量高,代谢也就越旺盛,营养物质含量也就越高,嫁接接口的薄壁细胞分裂迅速,嫁接接口愈合得更快<sup>[37]</sup>。Z3 中可溶性蛋白的含量大于其他砧木,可见 Z3 的生命活动更旺盛,更有利于嫁接成活,曲云峰在大扁杏嫁接研究中也认为可溶性蛋白含量越高,嫁接体愈合越快<sup>[38]</sup>。

#### 3.3 氧化酶活性

植物抗氧化防御系统中的 POD,在砧穗愈合过程中不仅可以清除自由基并抑制膜脂过氧化,同时维管组织的木质化也进一步提高<sup>[25,39]</sup>。因此,为了抵御嫁接接口产生的过氧化氢等有害物质,在嫁接后的一段时间内,POD 活性会增加,后期随着嫁接接口愈合,其活性会逐渐降低<sup>[40]</sup>。本研究中各嫁接组合接穗和砧木的 POD 活性均表现为先升高后降低的趋势,这与李娜等的研究结果<sup>[25]</sup>一致。14 d 时, Z3S3 组合砧穗的 POD 活性差异较小。POD 活性与嫁接成活率的相关性分析表明,砧穗 POD 活性越高,嫁接成活率也越高,两者之间存在正相关关系。在嫁接愈合的初期,PPO 主要作用于接穗与砧木间木质素的合成<sup>[41]</sup>。同时,在嫁接亲和性较低的组合中,因 PPO 将多酚氧化为醌类物质而在嫁接接口聚集形成一层膜,从而导致砧穗愈合情况较差<sup>[42]</sup>。此外,嫁接后 PPO 过高可引起愈伤组织褐化不利于嫁接成活,通常 PPO 活性越高的嫁接组合,接穗和砧木亲缘关系越远<sup>[43]</sup>。本研究表明,嫁接初期各组合接穗的 PPO 活性变化趋势相同,砧木的 PPO 活性变

化趋势也相同,Z3S3 组合接穗和砧木的 PPO 活性比其他组合较低,说明 PPO 活性越低越有利于嫁接成活,砧穗的 PPO 活性均与嫁接成活率呈负相关关系。

#### 4 结论

对各嫁接组合嫁接后愈合情况的观察、愈伤组织出现的时间以及砧穗中内含物质的分析比较可以得出,以本地酸柚为砧木嫁接瑞路比葡萄柚的亲性和性较高,表现为成活率较高,砧穗中可溶性糖和淀粉含量变化明显,POD 活性较高和 PPO 活性较低等特点,通过嫁接愈合情况观察也发现,以本地酸柚为砧木与瑞路比嫁接后,愈伤组织出现时间较早愈合情况较好。总之,本地酸柚与瑞路比葡萄柚的嫁接亲和性显著高于其他嫁接组合,根据不同采样时期接穗和砧木中生理指标含量的相关性分析可以得出,葡萄柚嫁接愈合过程中砧穗的营养物质含量变化及 POD 和 PPO 活性的高低可以在一定程度上反映出嫁接组合亲和性的高低。

#### 参考文献:

- [1] 叶维雁,郭晓月,刘惠民,等. 葡萄柚种子无菌苗组培快繁体系的建立[J]. 广西植物,2015,35(6):891-898.
- [2] 李明伟,叶维雁,刘 鹏,等. 葡萄柚引进品种嫁接繁殖技术[J]. 经济林研究,2015,33(1):86-91.
- [3] 邓 佳,张晓敏,严 毅,等. 田间不同水肥管理对葡萄柚果实外观品质的影响[J]. 西南农业学报,2015,28(2):761-767.
- [4] 吴大鹏,王宏伟,张俊杰,等. 葡萄柚精油中抗癌成分橙油素的分离及鉴定[J]. 化学工程,2011,39(11):74-78.
- [5] 吴 田,蓝增全,王华芳. 葡萄柚品种哈路比叶片离体再生体系的优化[J]. 经济林研究,2017,35(2):132-137.
- [6] 李 悦,侯滨滨,赵 婧. 柑橘类精油抗菌活性的研究[J]. 食品研究与开发,2011,32(6):190-192.
- [7] 杨 晨. 葡萄柚精油吸嗅对 DXM 肥胖模型小鼠体重调控的实验研究[D]. 合肥:安徽医科大学,2013:8.
- [8] 刘 月,叶维雁,熊 欢,等. 葡萄柚茎尖微芽嫁接成活率的研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学),2017,37(5):67-71.
- [9] 周 洲. 不同砧木对葡萄柚生长、产量、果实品质和叶片营养的影响[J]. 中国果业信息,2016,33(9):64-65.
- [10] 王伟军,郝建宇,陈文朝,等. 不同砧木对蜜光葡萄柚候期和果实品质的影响[J]. 山西农业科学,2021,49(7):872-875.
- [11] 严 毅,高 柱,何承忠,等. 葡萄柚嫁接愈合过程关联酶活性研究进展[J]. 安徽农业科学,2011,39(2):734-736,742.
- [12] Trinchera A, Pandozy G, Rinaldi S, et al. Graft union formation in artichoke grafting onto wild and cultivated cardoon: an anatomical study[J]. Journal of Plant Physiology, 2013, 170(18):1569-1578.
- [13] Liu C J. Deciphering the *Enigma* of lignification: precursor transport, oxidation, and the topochemistry of lignin assembly[J]. Molecular Plant, 2012, 5(2):304-317.
- [14] 王 瑶,刘惠民,何承忠. 葡萄柚不同品种砧穗愈合进程初步观测[J]. 西南林学院学报,2007,27(1):41-44.
- [15] 朱春华,周先艳,李进学,等. 葡萄柚果实营养及健康功效研究进展[J]. 中国医药导报,2019,16(15):29-32.
- [16] 黄善松,刘 鸿,李志华,等. 葡萄柚精油化学成分及应用研究进展[J]. 湖北农业科学,2018,57(S2):8-10.
- [17] 叶维雁,刘惠民,李贤忠,等. 葡萄柚的组织培养与植株再生技术[J]. 江苏农业科学,2017,45(9):34-37.
- [18] 董美超,李进学,周东果,等. 葡萄柚品种及遗传育种研究进展[J]. 亚热带植物科学,2018,47(2):194-198.
- [19] 严 毅,何承忠,李贤忠,等. 9 个葡萄柚品种与曼赛龙柚嫁接生理酶活性研究[J]. 中国南方果树,2012,41(2):50-53.
- [20] 叶红莲,王连春. 三个引进葡萄柚品种的光合特性对比[J]. 北方园艺,2015(13):6-9.
- [21] 张志良,瞿伟菁,李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4 版. 北京:高等教育出版社,2009.
- [22] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [23] 郭传友,黄坚钦,方炎明. 植物嫁接机理研究综述[J]. 江西农业大学学报,2004,26(1):144-148.
- [24] 严 毅,李贤忠,张南新,等. 葡萄柚不同砧穗组合的嫁接亲和性[J]. 经济林研究,2012,30(1):103-107.
- [25] 李 娜,朱培林,丰 采,等. 青钱柳嫁接愈合过程中砧穗生理特性及其与亲和性的关系[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(1):13-20.
- [26] 苏美玲. 四种砧木对沃柑嫁接亲和性和生长结果比较研究[D]. 南宁:广西大学,2019:3-5.
- [27] 张东来,张 玲. 高枝多头多龄异砧嫁接对红松生长和结实的影响[J]. 森林工程,2021,37(6):34-38.
- [28] Miao L, Li S Z, Bai L Q, et al. Effect of grafting methods on physiological change of graft union formation in cucumber grafted onto bottle gourd rootstock[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 244:249-256.
- [29] 杨 邵,束庆龙,姚小华,等. 油茶不同芽苗砧嫁接组合的亲和性生理[J]. 东北林业大学学报,2015,43(7):19-22,46.
- [30] Pina A N, Errea P. A review of new advances in mechanism of graft compatibility - incompatibility[J]. Scientia Horticulturae, 2005, 106(1):1-11.
- [31] 魏 菊,董胜君,刘明国,等. 山杏良种嫁接愈合过程中生理生化特性研究[J]. 沈阳农业大学学报,2017,48(3):304-310.
- [32] 王 瑞,陈永忠,王湘南,等. 油茶芽苗砧嫁接愈合过程中砧穗相关生理指标的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(1):46-50.
- [33] 龚艳箐,祁有恒,伏晓科,等. 蜜柚不同砧穗组合苗期嫁接亲和性评价[J]. 热带亚热带植物学报,2016,24(3):287-295.
- [34] 谢露露,崔青青,董春娟,等. 植物嫁接愈合分子机制研究进展[J]. 植物学报,2020,55(5):634-643.
- [35] 苗 丽,李衍素,范兴强,等. 植物嫁接体接口愈合机制的研究进展[J]. 植物生理学报,2017,53(1):17-28.

阚家亮,叶禹彤,张雨峰,等. 不同温度处理打破早熟砂梨苏翠 1 号种子休眠的作用[J]. 江苏农业科学,2022,50(13):147-152.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.13.024

# 不同温度处理打破早熟砂梨苏翠 1 号种子休眠的作用

阚家亮,叶禹彤,张雨峰,王金星,王中华,杨青松,常有宏,李晓刚,蔺 经

(江苏省农业科学院果树研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室,江苏南京 210014)

**摘要:**种子休眠的解除是一个十分复杂的过程,为明确温度对于打破梨极早熟优新品种苏翠 1 号种子休眠的作用以及对萌发后幼苗生长的影响,提高杂交后代种子的成苗率,以苏翠 1 号种子为试材,采用 4、8、12、25 ℃ 恒温 and 8 ℃—4 ℃—8 ℃、4 ℃—8 ℃—12 ℃ 变温对种子进行破除休眠处理。通过对种子萌发、生长等各指标进行调查评价,结果表明,不同温度处理后,种子萌发及生长均表现出明显差异。其中,4 ℃—8 ℃—12 ℃ 变温处理后种子的萌发率、生根率、子叶伸展率分别高达 78.83%、76.67%、45.83%,且萌发后的幼苗长势较好,培根长为 5.19 cm,地上部分长 3.62 cm,单株质量为 183.65 mg。综合各项指标,对促进解除苏翠 1 号种子休眠的温度组合的效果表现为 4 ℃—8 ℃—12 ℃ 处理>8 ℃ 处理>8 ℃—4 ℃—8 ℃ 处理>12 ℃ 处理>4 ℃ 处理>25 ℃ 处理,可将 4 ℃—8 ℃—12 ℃ 变温处理作为打破砂梨苏翠 1 号休眠、促进种胚生长的最佳处理方式。本研究结果可为梨等果树和林木的育种以及种苗的生产提供技术路径和理论指导。

**关键词:**砂梨;苏翠 1 号;种子休眠;温度;萌发;生长

**中图分类号:**S661.204 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)13-0147-06

梨是我国三大水果之一,具有较高的经济价值,在全国各地均有栽植,由于梨树种植效益较高,近几年栽培面积不断扩大,在我国农业结构调整中

发挥了重要的作用<sup>[1]</sup>。梨品种资源丰富,约有 2 000 多个品种,主要栽培种类有白梨、砂梨、秋子梨、新疆梨和西洋梨等 5 大类<sup>[2]</sup>。其中,砂梨主要分布在我国淮河、长江中下游以及华南地区,作为重要的种质资源,不仅可以产生丰厚的经济效益,更可作为梨新品种选育的重要亲本材料<sup>[3]</sup>。

苏翠 1 号为 2018 年由江苏省农业科学院果树研究所选育出的极早熟砂梨新品种,父本为翠冠,母本为华酥。苏翠 1 号品质较好,成熟期早,在长江中下游地区 7 月上旬即可成熟,是我国早熟梨品种中品质最优的品种之一,具有较高的经济价值。以苏翠 1 号为杂交亲本,对于育成优质极早熟梨新品种具有重要意义<sup>[4-5]</sup>。但与其他梨属植物一样,苏

收稿日期:2021-08-03

基金项目:江苏现代农业产业技术体系建设项目(编号:JATS[2021]436);江苏省农业科技自主创新资金(编号:CX[19]3030);六大大才高峰高层次人才项目(编号:NY-028)。

作者简介:阚家亮(1990—),男,安徽亳州人,硕士,助理研究员,主要从事梨品种资源鉴定及新品种选育研究。E-mail:819763271@qq.com。

通信作者:蔺 经,硕士,研究员,主要从事梨新品种选育与配套栽培技术研究,E-mail:lj84390224@126.com;李晓刚,博士,研究员,主要从事梨新品种选育及梨轻简化栽培技术研究,E-mail:xiaogangli@aliyun.com。

[36]胡国宇,王 丹,张 猛,等. IBA 对费约果扦插生根及相关生理特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2021,41(10):45-56.

[37]孙华丽,宋健坤,李鼎立,等. 梨不同嫁接组合嫁接愈合过程中生理动态变化研究[J]. 北方园艺,2013(16):25-29.

[38]曲云峰. 大扁杏嫁接成活生理生化特性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007:3-5.

[39]Lee K M, Lim C S, Muneer S, et al. Functional vascular connections and light quality effects on tomato grafted unions [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 201:306-317.

[40]陈 红,王永清,袁 媛,等. 茄子/番茄嫁接体发育过程中的蛋

白质含量、POD、CAT 和 SOD 活性及其同工酶研究[J]. 四川农业大学学报,2006,24(2):144-147.

[41]姚焕英,唐静成,张鞍灵,等. 核桃属植物化学成分及生物活性研究[J]. 西北植物学报,2003,23(9):1650-1655.

[42]雷东锋,蒋大宗,王一理. 烟草中多酚氧化酶的生理生化特征及其活性控制的研究[J]. 西安交通大学学报,2003,37(12):1316-1320.

[43]闫 刚,张春梅,邹志荣. 外源亚精胺对干旱胁迫下番茄幼苗碳水化合物代谢及相关酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(1):143-148.