

文章编号:1001—7380(2024)06—0014—08

# 植物生长调节剂对四倍体甜叶菊扦插生根的影响

陈少卿,宗树斌\*,任焕焕

(江苏农林职业技术学院,江苏 句容 212400)

**摘要:**四倍体甜叶菊相比二倍体植株具有营养器官巨大、活性成分含量高、抗逆性强等显著特征。扦插是四倍体植株繁殖的主要途径,该试验研究用不同植物生长调节剂处理对四倍体甜叶菊扦插生根的影响。分别用 NAA、ABT 和 GA<sub>3</sub> 3 种植物生长调节剂对四倍体甜叶菊“守田 3 号”插穗进行处理,采用双因素(不同质量浓度和不同处理时间)完全重复试验,对试验结果进行方差分析、多重比较。结果表明:综合生根率、生根数、根长 3 个指标分析,利用 NAA 最佳的处理为 NAA 质量浓度 600 mg/L+浸泡 20 min,利用 ABT 处理促进生根的最佳组合为 ABT 质量浓度 1 000 mg/L+浸泡 25 min,利用 GA<sub>3</sub> 处理最佳组合为 GA<sub>3</sub> 质量浓度 100 mg/L+浸泡 10 min。

**关键词:**甜叶菊;四倍体;扦插;植物生长调节剂;生根率

中图分类号:Q945.52;S482.8;S567.23<sup>+</sup>9 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2024.06.003

## The effect of different hormone treatments on the rooting of tetraploid *Stevia rebaudiana* Bertoni cuttings

Chen Shaoqing, Zong Shubin\*, Ren Huanhuan

(Jiangsu Vocational College of Agriculture and Forestry, Jurong 212400, China)

**Abstract:** Compared with diploid plants, tetraploid *Stevia rebaudiana* has significant characteristics such as huge nutritional organs, high content of active ingredients, and strong stress resistance. Cutting propagation is the main way for tetraploid plant propagation. Studying the effects of different hormone treatments on the rooting of tetraploid stevia cuttings is of great significance for accelerating the rapid propagation. In this experiment, three hormones, NAA, ABT, and GA<sub>3</sub>, were used to treat the rooting of tetraploid *S. rebaudiana* ‘Shoutian 3’ cuttings. Different concentration and treatment time factors were designed in the fully repeated experiment. The experimental results showed that the optimal treatment for comprehensive rooting rate, rooting number, and root length using NAA was 600 mg/L followed by soaking for 20 minutes. The optimal combination for promoting rooting using ABT treatment was 1 000 mg/L followed by soaking for 25 minutes. The optimal GA<sub>3</sub> treatment was 100 mg/L followed by soaking for 10 minutes.

**Key words:** *Stevia rebaudiana* Bertoni; Tetraploid; Cutting; Hormone; Rooting rate

甜叶菊(*Stevia rebaudiana* Bertoni)别名甜菊、甜茶、甜草,是菊科多年生药用草本植物,起源于南美巴拉圭与巴西交界的高山草地<sup>[1]</sup>。其叶片含有甜菊糖苷。甜菊糖甜度为蔗糖的 250—300 倍,无毒、低热量、无副作用<sup>[2]</sup>,对高血压、糖尿病、癌症、炎症、肥胖症、心脏病、小儿龋齿等有显著的辅助治疗功效<sup>[3-6]</sup>,是一种理想的天然保健甜味剂<sup>[7]</sup>,被称为继蔗糖、甜菜糖之后的第 3 种天然糖源及 21 世纪最

具发展潜力的功能性甜味剂<sup>[7-8]</sup>,应用前景非常广阔。作为食品添加剂,广泛应用于食品、饮料、调味料、酿酒、医药、日用化工、化妆品等多个行业<sup>[9]</sup>。甜叶菊还含有许多其他对人体健康有益的生物活性物质(如绿原酸、黄酮类化合物等抗氧化物质),是一种非常丰富的次生代谢产物来源<sup>[10-13]</sup>。甜叶菊通过秋水仙素在离体条件下可以诱导出四倍体植株,四倍体植株具有营养器官巨大、活性成分含

收稿日期:2024-08-01;修回日期:2024-09-04

基金项目:江苏现代农业(花卉)产业技术体系“句容推广示范基地建设”项目[JATS2022(382)]

作者简介:陈少卿(1982—)男,江苏兴化人,农艺师,硕士。主要从事园林植物栽培,药用植物繁育技术研发。

\* 通信作者:宗树斌(1982—)男,山东巨野人,教授,硕士。主要从事园林植物工厂化繁育技术研发及应用。

量高、抗逆性强等显著特征。通过鉴定,性状稳定的甜叶菊四倍体是适合大面积推广的优良品种<sup>[14]</sup>。目前对四倍体甜叶菊的研究还主要集中在四倍体的离体诱导及鉴定,二倍体与同源四倍体生理特征及 AFLP 分析<sup>[15]</sup>,同源四倍体与二倍体基因组差异分析等方面<sup>[16-17]</sup>。而对四倍体甜叶菊的繁殖技术研究还比较少,特别是对不同植物生长调节剂处理对四倍体甜叶菊扦插生根影响方面的研究尚未见报道。因此本试验通过研究不同植物生长调节剂种类、不同质量浓度、不同处理时间等因素对甜叶菊四倍体植株扦插生根的影响,以期建立甜叶菊四倍体植株工厂化扦插快速繁殖技术体系,快速生产甜叶菊四倍体优良品种种苗,促进甜叶菊优良品种推广应用。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以甜叶菊“守田3号”的1年生四倍体植株为试验材料。该试验材料由南京农业大学甜叶菊育种课题组用0.2%的秋水仙素溶液浸泡甜叶菊不定芽12 h,通过染色体和流式细胞仪鉴定倍性,二倍体植株染色体 $2n=2x=22$ ,四倍体植株染色体 $2n=4x=44$ ,二倍体DNA相对含量为100,四倍体DNA相对含量为200,鉴定出同源四倍体植株,与二倍体相比,其气孔、叶片等均表现巨大性,且叶片变厚、叶色浓绿、叶片皱缩。把鉴定为四倍体的试管苗,经过驯化炼苗后栽植在江苏农林职业技术学院风景园林学院实训基地苗圃供试验用。

### 1.2 试验方法

插穗选取无病虫害、中上部生长健壮的甜叶菊四倍体1年生枝条,剪去顶梢,每个插穗保留2—3节,长5—8 cm,剪去插穗最下端的2片叶片,插穗底端紧靠节处平剪,插穗上部保留2—3片嫩叶,较大的叶片要剪去1/3—1/2。试验全部随采随插。扦插前用质量浓度0.3%的高锰酸钾溶液浸泡5 min消毒,捞起备用。扦插试验在智能温室中进行,温度控制在15—25℃之间,湿度保持在80%左右,扦插采用等容积的草炭土+蛭石+河沙混合基质。根据试验设计插穗底端浸泡在植物生长调节剂溶液中,用铅笔在扦插基质上打孔,间距保持4 cm×1 cm,再将插穗插入,扦插的深度为插穗长度1/3—1/2,压紧插条基部四周的基质,根据试验设计要求进行管理和观测分析。

### 1.3 试验设计

在参考二倍体甜叶菊扦插繁殖技术研究相关成果的基础上,经过预备试验筛选出生长调节剂种类、质量浓度范围及处理时间,进一步优化试验,选用NAA、ABT、GA<sub>3</sub>3种植物生长调节剂,研究不同质量浓度,不同处理时间对甜叶菊扦插生根的影响。其中NAA质量浓度设定为200,400,600,800 mg/L,ABT质量浓度设定为400,600,800,1 000 mg/L,GA<sub>3</sub>质量浓度设定为100,200,300,400 mg/L,处理时间设定为10,15,20,25 min,对照均为清水处理,分别采用2因素完全随机试验设计,具体因素水平见表1。每个处理重复3次,每个重复40个插穗。扦插后,每日观察生根情况,30 d后,统计各组的生根率,60 d后,每组随机抽取10株,测定生根数和主根根长,取平均值,根长用直尺测量,精确至0.1 cm。对各处理的生根率、平均生根数、平均根长等数据,用Excel和SPSS22.0软件进行数据统计和比较分析。

表1 试验因素水平

水平	因素			
	NAA 质量浓度/ (mg/L)	ABT 质量浓度/ (mg/L)	GA <sub>3</sub> 质量浓度/ (mg/L)	处理时间 /min
1	200	400	100	10
2	400	600	200	15
3	600	800	300	20
4	800	1 000	400	25

## 2 结果与分析

### 2.1 NAA 处理对四倍体甜叶菊扦插的影响

2.1.1 对扦插生根率的影响 不同质量浓度NAA对甜叶菊四倍体植株扦插生根率影响结果如表2所示。由表2可知,所有处理的生根率均高于对照,说明NAA对甜叶菊四倍体植株的扦插生根有促进作用;随着NAA质量浓度的升高,生根率先提高后下降,质量浓度600 mg/L时平均生根率最高为94.82%;在同一质量浓度条件下,甜叶菊扦插生根率随着处理时间的延长,其生根率逐渐增大,当处理时间超过最优值时,生根率逐渐减小,处理时间为20 min时,平均生根率最高为93.09%。

对不同NAA处理的生根率进行方差分析,结果见表3。由表3可知,不同的NAA质量浓度因素和不同处理时间因素对扦插生根率的影响均达到了极显著的水平( $P<0.01$ )。对不同质量浓度处理和

表 2 NAA 处理对四倍体甜叶菊扦插生根率的影响 %

处理时间/min	CK(清水)	NAA 质量浓度/(mg/L)			
		200	400	600	800
10	70.30±1.90	88.49±0.14	90.42±0.03	90.15±0.22	85.35±0.25
15	70.30±1.90	89.7±0.01	91.73±0.23	94.15±0.15	88.81±0.03
20	70.30±1.90	90.82±0.06	92.39±0.35	98.78±0.12	90.34±0.03
25	70.30±1.90	89.55±0.09	91.60±0.25	96.21±0.03	88.54±0.27

不同时间处理分别进行多重比较(见表 4,5),由表 4 可知,不同 NAA 质量浓度处理间,生根率差异均达到极显著水平,最高的是 NAA 质量浓度为 600 mg/L 处理;由表 5 可知,不同处理时间,生根率的差异也达到极显著水平,最高的处理时间为 20 min。

表 3 NAA 处理对四倍体甜叶菊扦插生根率影响的方差分析

变异来源	SS	df	MS	F	显著性
NAA 质量浓度	290.897	3	96.966	3 119.749	**
处理时间	123.875	3	41.292	1 328.510	**
交互	49.765	9	5.529	177.903	**
误差	0.995	32	0.031		
总变异	465.532	47			

注:\*\*表示在 P=0.01 水平上显著

表 4 不同 NAA 质量浓度多重比较

NAA 质量浓度/(mg/L)	平均生根率/%
200	89.64±0.88 Cc
400	91.54±0.77 Bb
600	94.82±3.30 Aa
800	88.26±1.90 Dd

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

表 5 不同处理时间多重比较

处理时间/min	平均生根率/%
10	88.60±2.11 Dd
15	91.10±2.15 Cc
20	93.09±3.53 Aa
25	91.48±3.08 Bb

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

由扦插生根率的方差分析可知,NAA 质量浓度为 600 mg/L、处理时间 20 min 为最佳处理,同试验结果一致,最高可达 98.78%。

2.1.2 对生根数和根长的影响 扦插 60 d 后,对各处理的生根数、根长指标进行统计,计算出各处理的平均生根数、平均根长(见表 6)。分别对各处理的平均生根数、平均根长数据进行方差分析,结果见表 7。

表 6 NAA 处理对四倍体甜叶菊扦插生根数、根长的影响

NAA 质量浓度/(mg/L)	处理时间/min	平均生根数/条	平均根长/cm
200	10	3.17±0.02	2.57±0.05
200	15	3.75±0.07	2.62±0.02
200	20	4.19±0.02	2.65±0.04
200	25	4.33±0.09	2.71±0.07
400	10	4.56±0.11	3.89±0.10
400	15	4.76±0.18	3.97±0.04
400	20	5.27±0.04	4.26±0.02
400	25	5.65±0.29	4.28±0.02
600	10	5.31±0.35	4.58±0.12
600	15	5.59±0.09	4.61±0.16
600	20	5.91±0.02	4.70±0.04
600	25	5.86±0.06	4.80±0.12
800	10	5.12±0.06	5.49±0.07
800	15	5.51±0.15	5.44±0.03
800	20	5.76±0.12	5.67±0.05
800	25	5.75±0.04	5.61±0.07

表 7 NAA 处理对四倍体甜叶菊扦插生根数、根长影响的方差分析

变异来源	SS		df	MS		F		显著性	
	平均生根数	平均根长		平均生根数	平均根长	平均生根数	平均根长	平均生根数	平均根长
NAA 质量浓度	24.32	53.92	3	8.11	17.97	1 128.11	3 229.66	**	**
处理时间	5.44	0.43	3	1.81	0.14	252.23	25.64	**	**
交互	0.70	0.14	9	0.08	0.02	10.77	2.74	**	*
误差	0.23	0.18	32	0.01	0.0				
总变异	30.68	54.66	47						

注:\*表示在 P=0.05 水平上显著,\*\*表示在 P=0.01 水平上显著

由表 7 方差分析可知,不同 NAA 质量浓度处理及不同处理时间对四倍体甜叶菊扦插生根数及根长的影响均达到极显著水平( $P<0.01$ )。分别对 NAA 质量浓度因素、不同处理时间因素对平均生根数、平均根长的影响进行多重比较,结果见表 8,9。

表 8 不同 NAA 质量浓度处理间多重比较		
NAA 质量浓度/(mg/L)	平均生根数/条	平均根长/cm
200	3.86±0.47 Dd	2.64±0.07 Dd
400	5.06±0.46 Cc	4.1±0.18 Cc
600	5.67±0.25 Aa	4.67±0.13 Bb
800	5.54±0.28 Bb	5.55±0.11 Aa

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

表 9 不同处理时间多重比较		
处理时间/min	平均生根数/条	平均根长/cm
10	4.54±0.88 Cd	4.13±1.11 Bb
15	4.91±0.78 Bc	4.16±1.08 Bb
20	5.28±0.71 Ab	4.32±1.14 Aa
25	5.40±0.65 Aa	4.35±1.11 Aa

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

由表 8 可知,不同 NAA 质量浓度处理对平均生

根数、平均根长的影响均达到极显著水平,平均生根数最多的处理为 600 mg/LNAA 处理,极显著高于其他处理,平均根长最高的处理为 800 mg/LNAA 处理,极显著高于其他处理。由表 9 可知,不同处理时间,平均生根数指标,25 min 处理高于 20 min 处理,两者之间差异显著,未达到极显著水平,均极显著高于 10,15 min 处理,后两者的差异也达到极显著水平;平均根长指标,20 min 处理和 25 min 处理差异不显著,10 min 处理和 15 min 处理差异不显著,而前 2 个处理极显著长于后 2 个处理。综合平均生根数和平均根长指标看,最佳的处理为 NAA 质量浓度 600 mg/L 浸泡 20 min 处理,较优的处理为 NAA 质量浓度 800 mg/L 浸泡 20 min 处理。

2.2 ABT 处理对四倍体甜叶菊扦插的影响

2.2.1 对扦插生根率的影响 不同 ABT 处理对四倍体甜叶菊扦插生根率的影响结果如表 10 所示。由表 10 可知,所有处理的生根率均高于对照,说明 ABT 处理能够提高四倍体甜叶菊的扦插生根率;随着 ABT 质量浓度的升高、处理时间的延长,平均生根率均逐步提高;ABT 质量浓度为 1 000 mg/L,处理时间 25 min 时,生根率最高,为 99.73%。

表 10 ABT 处理对四倍体甜叶菊扦插的生根率 %					
处理时间/min	CK(清水)	ABT 质量浓度/(mg/L)			
		400	600	800	1 000
10	70.30±1.90	89.50±0.22	92.52±0.06	93.69±0.03	94.87±0.04
15	70.30±1.90	91.45±0.08	93.61±0.04	94.20±0.02	96.45±0.04
20	70.30±1.90	91.86±0.07	94.40±0.03	95.65±0.06	97.29±0.03
25	70.30±1.90	92.83±0.16	94.92±0.06	97.67±0.05	99.73±0.07

对不同 ABT 质量浓度、不同处理时间对甜叶菊生根率影响进行方差分析,结果见表 11。由表 11 可知,不同 ABT 质量浓度因素、不同处理时间因素对甜叶菊生根率的影响均达到极显著水平( $P<0.01$ )。

表 11 ABT 处理对四倍体甜叶菊扦插生根率影响的方差分析					
变异来源	SS	df	MS	F	显著性
ABT 质量浓度	206.99	3	69.00	9 957.46	**
处理时间	84.39	3	28.13	4 059.58	**
交互	8.81	9	0.98	141.33	**
误差	0.22	32	0.01		
总变异	300.42	47			

注:\*\*表示在  $P=0.01$  水平上显著

对不同 ABT 质量浓度、不同处理时间的生根率分别进行多重比较,结果见表 12,13。由表 12 可

知,不同 ABT 质量浓度处理的平均生根率差异均达到了极显著水平,质量浓度为 1 000 mg/L 水平的平均生根率最高达到 97.09%,极显著高于其他水平。由表 13 可知,不同处理时间的平均生根率差异也均达到了极显著水平,处理时间为 25 min 水平的平均生根率最高,为 96.29%。因此,从生根率方差分析可知,ABT 处理最佳的组合为质量浓度 1 000 mg/L,处理时间 25 min。

表 12 不同 ABT 质量浓度间多重比较	
ABT 质量浓度/(mg/L)	平均生根率/%
400	91.41±1.27 Dd
600	93.86±0.94 Cc
800	95.30±1.61 Bb
1 000	97.09±1.84 Aa

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异



表 13 不同处理时间多重比较

处理时间/min	平均生根率/%
10	92.64±2.08 Dd
15	93.93±1.86 Cc
20	94.80±2.07 Bb
25	96.29±2.74 Aa

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

2.2.2 对生根数和根长的影响 扦插 60 d 后,分别统计 ABT 处理对四倍体甜叶菊扦插影响的各处理生根数和根长指标,计算得出各处理平均生根数、平均根长,结果如表 14 所示。采用 SPSS22.0 软件对各处理的生根数和根长指标,分别进行方差分析,结果见表 15。由表 15 可知,ABT 质量浓度、处理时间对甜叶菊扦插生根数和根长的影响均达到了极显著水平( $P<0.01$ )。

表 14 ABT 处理对四倍体甜叶菊扦插生根数、根长的影响

ABT 质量 浓度/(mg/L)	处理时 间/min	平均生根 数/条	平均根长/cm
400	10	3.08±0.03	3.80±0.04
400	15	3.19±0.02	3.92±0.02
400	20	3.31±0.04	3.95±0.03
400	25	3.34±0.01	4.02±0.01
600	10	3.69±0.03	4.38±0.02
600	15	3.92±0.01	4.44±0.03
600	20	4.11±0.02	4.47±0.02
600	25	4.16±0.01	4.52±0.01
800	10	5.29±0.01	5.64±0.03
800	15	5.31±0.03	5.72±0.01
800	20	5.41±0.02	5.76±0.01
800	25	5.47±0.05	5.80±0.01
1 000	10	6.61±0.02	6.19±0.02
1 000	15	6.65±0.07	6.22±0.01
1 000	20	6.67±0.03	6.23±0.03
1 000	25	6.73±0.02	6.24±0.02

表 15 ABT 处理对甜叶菊扦插生根数、根长影响的方差分析

变异来源	SS		df	MS		F		显著性	
	平均生根数	平均根长		平均生根数	平均根长	平均生根数	平均根长	平均生根数	平均根长
ABT 质量浓度	83.41	41.55	3	27.80	13.85	31 108.17	27 817.24	**	**
处理时间	0.48	0.13	3	0.16	0.04	177.531	89.01	**	**
交互	0.15	0.02	9	0.02	0.002	19.04	5.01	**	**
误差	0.03	0.02	32	0.001	0.000				
总变异	84.07	41.72	47						

注:\*\*表示在  $P=0.01$  水平上显著

对 ABT 不同质量浓度处理的平均生根数和平均根长进行多重比较,结果见表 16。由表 16 可知,不同 ABT 质量浓度间,平均生根数的差异均极显著,平均生根数最高的处理是 ABT 1 000 mg/L,平均生根数 6.66 条;不同 ABT 质量浓度间平均根长差异也极显著,平均根长最长的处理是 ABT 1 000 mg/L,平均根长为 6.22 cm;综合平均生根数和平均根长指标看,ABT 处理的最佳水平为 1 000 mg/L。

表 16 不同 ABT 质量浓度处理间多重比较

ABT 质量 浓度/(mg/L)	平均生根数/条	平均根长/cm
400	3.23±0.11 Dd	3.92±0.09 Dd
600	3.97±0.19 Cc	4.45±0.06 Cc
800	5.37±0.08 Bb	5.73±0.06 Bb
1 000	6.66±0.06 Aa	6.22±0.03 Aa

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

对不同处理时间的甜叶菊平均生根数和平均

根长进行多重比较,结果见表 17。由表 17 可知,不同处理时间的平均生根数差异均极显著,其中平均生根数最高为处理时间 25 min,平均生根数为 4.92 条,极显著高于其他水平;对于平均根长指标,处理时间 20 min 和处理时间 15 min 之间差异显著,与其他 2 个水平差异极显著,极显著高于 10 min 水平,极显著低于 25 min 水平,平均根长最长为 5.15 cm,处理时间 25 min。综合平均生根数和平均根长指标,最佳的处理时间为 25 min。

表 17 不同处理时间多重比较

处理时间 /min	平均生根 数/条	平均根长 /cm
10	4.67±1.44 Dd	5.00±1.00 Cd
15	4.77±1.39 Cc	5.08±0.97 Bc
20	4.87±1.34 Bb	5.10±0.97 Bb
25	4.92±1.35 Aa	5.15±0.95 Aa

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

通过方差分析、多重比较,从平均生根数和平均

均根长的指标看,利用 ABT 处理四倍体甜叶菊扦插的最佳处理组合为 ABT 1 000 mg/L,处理时间 25 min,与试验结果一致,平均最高生根数为 6.73 条,最高平均根长为 6.24 cm。

2.3 GA<sub>3</sub>处理对四倍体甜叶菊扦插的影响

2.3.1 对扦插生根率的影响 不同质量浓度 GA<sub>3</sub>对四倍体甜叶菊扦插生根率影响的结果如表 18 所示,结果表明:GA<sub>3</sub>较低质量浓度时,生根率高于对

照,说明低质量浓度 GA<sub>3</sub>促进生根,随着 GA<sub>3</sub>质量浓度升高生根率逐渐降低,当质量浓度≥300 mg/L,处理后的扦插苗生根率低于对照组,说明,高质量浓度的 GA<sub>3</sub>抑制四倍体甜叶菊扦插生根。

对不同 GA<sub>3</sub>质量浓度、不同处理时间的甜叶菊生根率进行方差分析(见表 19),结果可知,不同 GA<sub>3</sub>质量浓度因素、不同处理时间因素对甜叶菊生根率的影响均达到极显著水平( $P<0.01$ )。

表 18 GA<sub>3</sub>对四倍体甜叶菊扦插的生根率 %

处理时间/min	CK 清水	GA <sub>3</sub> 质量浓度/(mg/L)			
		100	200	300	400
10	70.30±1.90	82.44±0.11	80.19±0.04	63.18±0.14	55.64±0.30
15	70.30±1.90	84.51±0.29	82.39±0.10	64.42±0.31	57.31±0.15
20	70.30±1.90	88.16±0.07	85.20±0.04	65.36±0.21	59.19±0.03
25	70.30±1.90	89.17±0.13	86.55±0.21	67.35±0.17	62.32±0.12

表 19 GA<sub>3</sub>处理对四倍体甜叶菊扦插生根率影响的方差分析

变异来源	SS	df	MS	F	显著性
GA <sub>3</sub> 质量浓度	6 625.26	3	2 208.42	73 726.63	**
处理时间	247.34	3	82.45	2 752.40	**
交互	16.25	9	1.81	60.28	**
误差	0.96	32	0.03		
总变异	6 889.80	47			

注:\*\*表示在  $P=0.01$  水平上显著

对不同 GA<sub>3</sub>质量浓度、不同处理时间的生根率分别进行多重比较。由表 20 可知,不同 GA<sub>3</sub>质量浓度水平间的平均生根率差异均达到了极显著水平,质量浓度为 100 mg/L 水平的平均生根率最高达到 86.07%,极显著高于其他水平处理组。由表 21 可知,不同处理时间水平间,生根率差异极显著,处理时间为 25 min,平均生根率最高。

表 20 不同 GA<sub>3</sub>质量浓度多重比较

质量浓度/(mg/L)	平均生根率/%
100	86.07±2.85 Aa
200	83.58±2.58 Bb
300	65.08±1.60 Cc
400	58.62±2.60 Dd

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

表 21 不同处理时间多重比较

处理时间/min	平均生根率/%
10	70.36±11.81 Dd
15	72.16±12.11 Cc
20	74.48±12.99 Bb
25	76.35±12.21 Aa

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

由方差分析可知,从提高扦插升根率的指标看,GA<sub>3</sub>处理最佳质量浓度为 100 mg/L,处理时间 25 min,与试验结果一致。

2.3.2 对生根数和根长的影响 扦插 60 d 后,对各处理的生根数、根长指标进行统计,计算出各处理的平均生根数、平均根长(见表 22)。采用 SPSS22.0 软件对各处理的生根数和根长指标,分别进行方差分析,结果见表 23。由表 23 可知,GA<sub>3</sub>质量浓度因素、处理时间因素对甜叶菊扦插生根数和根长的影响均达到了极显著水平( $P<0.01$ )。

表 22 GA<sub>3</sub>处理对四倍体甜叶菊扦插生根数、根长的影响

GA <sub>3</sub> 质量浓度/(mg/L)	处理时间/min	平均生根数/条	平均根长/cm
100	10	5.49±0.02	4.73±0.02
100	15	5.30±0.03	4.65±0.03
100	20	5.21±0.02	4.56±0.04
100	25	5.18±0.04	4.53±0.02
200	10	4.85±0.06	4.36±0.04
200	15	4.76±0.04	4.32±0.01
200	20	4.65±0.04	4.28±0.01
200	25	4.61±0.03	4.26±0.04
300	10	2.85±0.06	2.92±0.03
300	15	2.77±0.05	2.82±0.08
300	20	2.72±0.06	2.7±0.02
300	25	2.72±0.06	2.62±0.05
400	10	2.41±0.03	1.82±0.05
400	15	2.37±0.04	1.69±0.20
400	20	2.33±0.02	1.65±0.05
400	25	2.32±0.02	1.53±0.05

对 GA<sub>3</sub>不同质量浓度处理的平均生根数和平均

根长进行多重比较,结果如表 24 所示,不同 GA<sub>3</sub> 质量浓度间,平均生根数的差异均极显著,平均生根数最高的处理是 GA<sub>3</sub> 100 mg/L,平均生根数 5.30 条;不同 GA<sub>3</sub> 质量浓度间平均根长差异也极显著,平

均根长最长的处理是 GA<sub>3</sub> 质量浓度 100 mg/L,平均根长为 4.62 cm。综合平均生根数和平均根长指标看,GA<sub>3</sub> 处理的最佳质量浓度水平为 100 mg/L。

表 23 GA<sub>3</sub>处理对四倍体甜叶菊扦插生根数、根长影响的方差分析

变异来源	SS		df	MS		F		显著性	
	平均生根数	平均根长		平均生根数	平均根长	平均生根数	平均根长	平均生根数	平均根长
GA <sub>3</sub> 浓度	74.66	67.98	3	24.89	22.66	15 928.41	14 982.485	* *	* *
处理时间	0.27	0.32	3	0.09	0.11	57.84	70.24	* *	* *
交互	0.06	0.05	9	0.01	0.005	4.34	3.33	* *	* *
误差	0.05	0.05	32	0.002	0.002				
总变异	75.05	68.40	47						

注: \*\* 表示在 P=0.01 水平上显著

表 24 不同 GA<sub>3</sub>质量浓度处理多重比较

GA <sub>3</sub> 质量浓度/ (mg/L)	平均生 根数/条	平均根长/cm
100	5.30±0.13 Aa	4.62±0.09 Aa
200	4.71±0.10 Bb	4.31±0.05 Bb
300	2.77±0.07 Cc	2.77±0.12 Cc
400	2.36±0.04 Dd	1.67±0.11 Dd

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

对 GA<sub>3</sub> 不同时间处理的平均生根数和平均根长进行多重比较,结果如表 25 所示,不同 GA<sub>3</sub> 处理时间,平均生根数最多的为 10 min 处理,极显著高于 15 min 处理,15 min 处理极显著高于 20 min 处理,20 min 处理与 25 min 处理差异不显著;各处理时间平均根长的差异均极显著,平均根长最长的处理为 10 min,平均根长为 3.46 cm,极显著高于其他水平。因此综合平均生根数、平均根长指标,GA<sub>3</sub> 处理的最佳时间为 10 min。

表 25 不同处理时间多重比较

处理时间/min	平均生根数/条	平均根长/cm
10	3.90±1.36 Aa	3.46±1.22 Aa
15	3.80±1.30 Bb	3.37±1.24 Bb
20	3.73±1.28 Cc	3.30±1.24 Cc
25	3.71±1.21 Cc	3.24±1.28 Dd

注:数据后不同大小写字母分别表示存在极显著、显著性差异

通过方差分析、多重比较,从平均生根数和平均根长指标看,利用 GA<sub>3</sub> 处理甜叶菊扦插的最佳处理组合为 GA<sub>3</sub> 质量浓度 100 mg/L,处理时间 10 min,与试验结果一致,平均最高生根数为 5.49 条,最高平均根长为 4.73 cm。

3 讨论与结论

扦插育苗繁育技术难度不大、易于大规模生产、可以在较短的时间里获得大量种苗,是进行植物种苗工厂化繁育的常用方法<sup>[18-19]</sup>。同时扦插繁殖属于无性繁殖,能够保持四倍体甜叶菊的倍性,因此,扦插繁殖是进行四倍体甜叶菊种苗繁育的主要方法之一。

在扦插育苗的研究中,植物生长调节剂处理即生根剂配比是影响扦插苗生根的核心问题,在植物的扦插育苗中,NAA、GA<sub>3</sub> 和 ABT 是扦插繁殖常用的生根剂,在促进插穗细胞新陈代谢、增加组织再生能力、诱导根原基分化等方面具有重要作用<sup>[20]</sup>。

其中,赤霉素处理一般会促进植物侧芽的伸长,赤霉素含量较多生根会比较困难<sup>[21]</sup>,但是低质量浓度的赤霉素有利于根的生长<sup>[22]</sup>。

在利用 NAA 处理促进四倍体甜叶菊生根试验中,不同质量浓度的 NAA 处理对四倍体甜叶菊生根均有促进作用;从扦插生根率看,以 600 mg/LNAA 处理 20 min 最佳;从平均生根数和平均根长指标看,最佳的处理为 NAA 600 mg/L 浸泡 20 min,较优的处理为 NAA 800 mg/L 浸泡 20 min。

在利用 ABT 处理促进四倍体甜叶菊生根试验中,不同质量浓度的 ABT 处理,生根率均高于对照(清水);从生根率、生根数、平均根长看,最佳 ABT 处理为 1 000 mg/LABT 浸泡 25 min,其平均生根率达到 99.73%,平均生根数为 6.73 条,平均根长为 6.24 cm。

在 GA<sub>3</sub> 处理对四倍体甜叶菊生根影响的试验中,GA<sub>3</sub> 较低质量浓度能促进生根,随着 GA<sub>3</sub> 质量浓

度升高生根率逐渐降低。当  $GA_3$  质量浓度高于 300 mg/L 时,生根率低于对照,这说明高质量浓度的  $GA_3$  抑制四倍体甜叶菊的扦插生根;从生根率的指标看, $GA_3$  最佳处理为 100 mg/L 浸泡 25 min,从平均生根数和平均根长的指标看, $GA_3$  最佳处理为 100 mg/L  $GA_3$  处理 10 min。这一试验结果与李燕等<sup>[23]</sup>研究  $GA_3$  对二倍体甜叶菊扦插生根的影响是一致的。不同植物生长调节剂对二倍体和四倍体甜叶菊扦插生根的影响是否一致及差异性等方面还需进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] SINGHM, SAHARAN VDAYMA J, et al. In vitro propagation of *Stevia rebaudiana* (Bertoni): an overview [J]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2017, 6 (7): 1010-1022.
- [2] 李 红, 杨 岚, 向增旭. 甜叶菊同源四倍体离体诱导及鉴定 [J]. 西北植物学报, 2012, 32(8): 1692-1697.
- [3] TADHANI M B, PATEL V H, SUBHASH R. In vitro antioxidant activities of *Stevia rebaudiana* leaves and callus [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2007, 20(3): 323-329.
- [4] CARRERA-LANESTOSA A, MOGUEL-ORDONEZ Y, et al. *Stevia rebaudiana* Bertoni: a natural alternative for treating diseases associated with metabolic syndrom [J]. Journal of Medicinal Food, 2017, 20(10): 933-943.
- [5] JEEVAN J, KAURM, MISHRA V, et al. Sweet future of stevia: a magical sweetener [J]. Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research, 2018, 11(2): 36-42.
- [6] ARUMUGAM B, SUBRAMANIAM A, ALAGAR A J P. Stevia as a natural sweetener: a review [J]. Cardiovascular & Hematological agents in Medicinal Chemistry, 2020, 18(2): 94-103.
- [7] JANS A, HABIB N, SHINWARI Z K, et al. The anti-diabetic activities of natural sweetener plant rstevia: an updated review [J]. SN Applied Sciences, 2021, 3: 517.
- [8] KARIMI M, AHMADI A, HASHEMI J, et al. Plant growth retardants (PGRs) affect growth and sarymetabolit biosynthesis in *Stevia rebaudiana* Bertoni under drought stress [J]. South African Journal of Botany, 2019, 121: 394-401.
- [9] WOLWER-RIECK U. The leaves of *Stevia rebaudiana* (Bertoni), their constituents and the analyses there of: a review [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(4): 886-895.
- [10] GASMALLA M A A, YANG R J, HUA X. *Stevia rebaudiana* Bertoni: an alternative sugar replacer and its application in food industry [J]. Food Engineering Reviews, 2014, 6(4): 150-162.
- [11] SAMUEL P, AYOOB K T, MAGNUSON B A, et al. Stevia leaf to stevia sweetener: exploring its science benefits and future potential [J]. The Journal of Nutrition, 2018, 148(7): 1186-1205.
- [12] SALEHI B, LOPEZ M D, MARTINEZ-LOPE Z, et al. *Stevia rebaudiana* Bertoni bioactive effects: from in vivo to clinical trials towards future therapeutic approaches [J]. Phytotherapy Research, 2019, 33(11): 2904-2917.
- [13] SIMLAT M, PTAK A, WOJTOWIC Z, et al. The content of phenolic compounds in *Stevia rebaudiana* (Bertoni) plants derived from melatonin and NaCl treated seeds [J]. Plants, 2023, 12(4): 780.
- [14] 陈绍潘, 陈绍裘, 杨英华, 等. 秋水仙碱诱变甜菊多倍体的研究 [J]. 武汉植物学研究, 1995, 13(1): 1-7.
- [15] 李雅婷, 王红娟, 向增旭. 甜叶菊二倍体与同源四倍体生理特征及 AFLP 分析 [J]. 核农学报, 2015, 29(11): 2103-2109.
- [16] 李雅婷, 王红娟, 向增旭. 甜叶菊同源四倍体与二倍体基因组差异分析 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(28): 112-116.
- [17] 杨 岚, 李 红, 向增旭. 二倍体和同源四倍体甜叶菊的 DNA 甲基化差异分析 [J]. 核农学报, 2013, 27(8): 1125-1130.
- [18] 邱国金, 韩广发, 孙其松, 等. 不同基质与生长素对紫薇新品种仑山 1 号嫩枝扦插育苗的影响 [J]. 贵州农业科学, 2019, 47(9): 66-68.
- [19] 狄清琳. 七种素馨属植物扦插育苗及其离体培养研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- [20] 张阳锋, 任 征, 林明平, 等. 不同激素种类及浓度对红厚壳嫩枝扦插育苗的影响 [J]. 热带作物学报, 2020, 41(11): 2183-2189.
- [21] 刘 林, 孔 青, 杜明芸. 赤霉素在三色堇扦插繁殖上的应用 [J]. 山东林业科技, 2005(5): 24-25.
- [22] 董胜军, 刘明国, 戴 菲. 山杏嫩枝扦插生根过程中插穗内源激素含量的变化 [J]. 经济林研究, 2013, 31(4): 108-114.
- [23] 李 燕, 孙 玲, 方明慧, 等. 赤霉素处理对甜叶菊扦插苗生根的影响初探 [J]. 南方农业, 2019(5): 117-119.