

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2022.04.002

氯化铈对红颜草莓组培苗形态发生及生理指标的影响

张雅庭, 张雪平, 贾双双, 胡能兵*, 徐雅乐, 吴业林

(安徽科技学院农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要:以红颜草莓组培苗为材料,通过组织培养技术,研究分析了施加不同质量浓度(0、0.2、0.5、1.0、10.0、15.0、20.0、40.0 mg/L) CeCl_3 后,对红颜草莓组培苗增殖、根系生长、农艺性状及生理指标的影响。结果表明:(1)施加 0.5 mg/L CeCl_3 后,红颜草莓组培苗增殖系数最大,鲜质量明显高于其他处理,根长最长;(2)施加 10 mg/L CeCl_3 后,红颜草莓组培苗生根效果最佳、根表面积最大、根尖数最多、植株最高、叶面积和 SPAD 值最大;(3)过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)的活性随着 CeCl_3 质量浓度的增加呈现“先升后降”的趋势, CeCl_3 质量浓度为 0.5 mg/L 时 POD 活性最强, CeCl_3 质量浓度为 20 mg/L 时 SOD 活性最强。 CeCl_3 对红颜草莓组培苗的离体再生有一定的促进作用,但高质量浓度的 CeCl_3 则抑制红颜草莓组培苗的生长。

关键词:草莓; CeCl_3 ; 生长分化; SPAD 值; 酶活性

中图分类号:S668.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2022)04-0006-06

Effect of Cerium Chloride on Morphogenesis and Physiological Indexes of Tissue Culture Seedlings of "Red Face" Strawberry

ZHANG Yating, ZHANG Xueping, JIA Shuangshuang, HU Nengbing*,
XU Yale, WU Yelin

(School of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100, China)

Abstract: The effects of different mass concentrations (0, 0.2, 0.5, 1.0, 10.0, 15.0, 20.0, 40.0 mg/L) of CeCl_3 on the proliferation, root growth, agronomic traits and physiological indexes of tissue culture seedlings of 'Red Face' strawberry were studied by tissue culture technique. The results showed that: (1) After applying 0.5 mg/L CeCl_3 , the proliferation coefficient of strawberry tissue culture seedlings was the largest, the fresh weight was significantly higher than other treatments, and the root length was the longest. (2) After applying 10 mg/L CeCl_3 , the rooting effect of tissue culture seedlings of strawberry was the best, the root surface area was the largest, the number of root tips was the largest, the plant was the highest, the leaf area and SPAD value were the largest. (3) The activity of peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) showed a trend of 'first increase and then decrease' with the increase of CeCl_3 concentration. When the concentration of CeCl_3 was 0.5 mg/L, the activity of POD was the strongest, and the activity of SOD was the strongest when the concentration of CeCl_3 was 20 mg/L. CeCl_3 had a certain promoting effect on the in vitro regeneration of strawberry tissue culture seedlings, but high concentration of CeCl_3 inhibited the growth of strawberry tissue culture seedlings.

Keywords: strawberry; CeCl_3 ; growth differentiation; SPAD value; enzyme activity

0 引言

草莓是蔷薇科草莓属多年生草本植物,含有多种维生素,营养价值高,口感极佳,被称为“水果皇后”^[1]。近年来,随着现代都市农业和休闲采摘的迅

速升温,人们对草莓品质的要求也越来越高,草莓栽培面积、产业规模逐渐增加。据统计,2018年,我国草莓种植面积和产量居世界首位^[2]。

草莓传统育苗方式主要分为分株和匍匐茎繁殖,连续种植则造成草莓苗体内病毒越来越多,从

收稿日期:2022-05-09

基金项目:安徽省科技厅重点研究与开发计划项目(202004f06020045)。

作者简介:张雅庭(1997—),女,安徽宿州人,硕士研究生,研究方向:草莓生物技术。*通信作者:胡能兵(1980—),男,安徽东至人,副教授,博士,研究方向:辣椒生物技术研究。

而导致植株长势减弱、植株变矮、产量降低及品质变差等品种退化现象^[3-4]。近年来,草莓通过组织培养技术进行茎尖脱毒,已成为恢复草莓种性和维持优良性状的最有效途径。通过脱毒处理的草莓苗,具有长势旺盛、根系发达、抗病性强、植株整齐一致、产量和品质显著提高的优势,还能缩短繁殖周期,提高繁殖能力和繁殖系数,且培育不受季节性的影响,易于规模化生产^[5-6]。目前,草莓组织培养还存在以下问题:增殖系数不高,鲜有突破10倍以上的增殖倍数;多数研究集中于激素种类和浓度的筛选,外源添加物对草莓增殖、生根方面的影响报道极少^[7-11]。因此,在前人研究基础上,有必要探讨新的组培方式,以优化完善草莓离体再生体系。

铈(Ce)属于镧系稀土元素,具有广泛的生理活性。经科学研究证实,使用特定浓度的铈能促使植株迅速成长、提高植株的抗逆性、改善作物的品质、增加的作物产量等^[12-13]。稀土元素在低浓度情况下能够促进叶子和根的生长,从而促进作物对营养物质的吸收和叶绿素的合成,而当含量超过规定范围时又会抑制作物生长发育^[14-17]。近年来,稀土逐渐被应用到植物组织培养方面^[18-22]。稀土在草莓种植上主要作为微量元素肥料,具有促进草莓增产、增强植物抗逆性、改善草莓品质的特殊性能^[23-25],但稀土在草莓组织培养方面报道方面较少。本文以草莓品种红颜的无菌组培苗为对象,探讨不同质量浓度CeCl₃对红颜草莓组培苗离体生长的影响,并从超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性等生理特性方面初步阐明内在机制,为稀土元素铈(Ce)在红颜草莓组织培养中的合理利用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料、主要试剂及器材

材料:由亳州市谯城区西苑水果种植专业合作社提供的红颜草莓品种幼嫩匍匐茎尖,外植体于2020年11月初采摘,并在安徽科技学院作物育种实验室3301进行初代、继代扩繁出大量组培苗。

试剂:MS培养基(青岛高科技工业园海博生物技术有限公司);噻苯隆(TDZ,国药集团化学试剂有限公司);氯化铈(CeCl₃,分析纯,上海展云有限公司);生长素(IAA,国药集团化学试剂有限公司);琼脂粉(上海稼丰园艺用品有限公司)。

器材:立式自动压力蒸汽灭菌器(致微(厦门)

仪器有限公司);HT-DDC净化工作台(济南腾昊科学仪器有限公司);万深植物图像分析仪(杭州万深检测科技有限公司);SPAD-502PLUS叶绿素仪(石家庄泛胜科技有限公司);TU-1810紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 丛芽诱导

选取健壮、长势基本一致的继代4周以上的无菌苗,无菌条件下分别接到分化培养基。分化培养基为MS + 0.1 mg/L TDZ(噻苯隆) + 30 g/L蔗糖 + 7 g/L琼脂,调pH 5.8。在培养基中分别添加不同质量浓度(0.0、0.2、0.5、1.0、10.0、15.0、20.0、40.0 mg/L)的CeCl₃,共7个处理和1个空白对照,共8组。每组5瓶重复,共40瓶;每瓶接种3株无菌苗,共接种120株。培养条件:(25±2) °C,光照强度1~1.5 klx,光照时间12 h。分化培养45 d后,调查统计芽数及增殖系数。

1.2.2 生根试验

选取健壮、长势基本一致的继代4周以上的无菌苗,无菌条件下分别接到生根培养基上。生根培养基为1/4 MS + 0.2 mg/L IAA + 20 g/L蔗糖 + 7 g/L琼脂,调pH 5.8。在培养基中分别加入添加不同质量浓度(0.0、0.2、0.5、1.0、10.0、15.0、20.0、40.0 mg/L)的CeCl₃,共7个处理和1个空白对照,共8组。每组5瓶重复,共40瓶;每瓶接种3株无菌苗,共接种120株。培养条件:(25±2) °C,光照强度1~1.5 klx,光照时间12 h。培养28 d后调查组培苗平均生根系数。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 组培苗增殖相关指标测定

分化培养45 d后,统计记录每组的出芽株数和每株出芽数,并分别按照式(1)和(2)计算出芽率和增殖系数。出芽率采用平均值,增殖系数采用平均值±标准差。

$$\text{出芽率} = (\text{出芽株数} / \text{接种株数}) \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{增殖系数} = \text{出芽数} / \text{接种株数} \quad (2)$$

1.3.2 组培苗根系生长相关指标测定

生根培养30 d后,每组随机取10株,统计生根株数和每株生根数,按照式(3)计算生根系数;利用万深植物图像分析仪测定组培苗的根长、根表面积、根尖数。生根系数、根长、根表面积、根尖数均采用平均值±标准差。

$$\text{生根系数} = \text{生根数} / \text{接种株数} \quad (3)$$

1.3.3 组培苗农艺性状相关指标测定

分化培养45 d后,测量并计算芽苗鲜质量、株

高;用万深植物图像分析仪测量叶面积。芽苗鲜质量的计算公式如式(4)所示。芽苗鲜质量、株高、叶面积均采用平均值±标准差。

$$\text{芽苗鲜质量} = M_2 - M_1 \quad (4)$$

式中: M_1 为刚接种时,称取的含接种苗的培养瓶质量,g; M_2 为上述相应的接种苗分化培养45 d后,称取的含组培苗的培养瓶质量,g。

1.3.4 组培苗生理指标测定

分化培养45 d后,每组随机抽取10株,用SPAD-502PLUS叶绿素仪测量第2叶的叶绿素相对含量(SPAD),测3次,均值为该叶片的SPAD值;采用紫外分光光度法测定超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性。

1.4 数据处理

应用Microsoft Excel 2010软件进行数据处理,通过应用DPS7.05软件进行统计分析,采用方差分析和Duncan新复极差法比较分析 CeCl_3 对红颜草莓组培苗生长分化与生根的影响。

2 结果与分析

2.1 不同质量浓度 CeCl_3 对组培苗增殖的影响

经过不同质量浓度的 CeCl_3 处理后,红颜草莓组培苗的出芽率和增殖系数如表1所示。由表1可以看出,对照和添加0.5~20.0 mg/L CeCl_3 的处理出芽率均达到100%,而分别添加0.2和40.0 mg/L CeCl_3 后,组培苗的出芽率分别为91.11%和77.78%,表明 CeCl_3 质量浓度过低或过高均抑制红颜草莓组培苗出芽; CeCl_3 添加量为0.5~20.0 mg/L时,其增殖

系数均高于对照,而分别添加0.2和40.0 mg/L的 CeCl_3 后,组培苗的增殖系数均低于对照,表明 CeCl_3 质量浓度过低或过高均会降低红颜草莓组培苗的增殖系数,其中,添加 CeCl_3 质量浓度为0.5 mg/L后,增殖系数达到最大。由此可知,添加一定质量浓度的 CeCl_3 能够促进植物组培苗不定芽的生成, CeCl_3 质量浓度过高或过低则会降低组培苗的增殖系数,这说明适宜质量浓度的 CeCl_3 能够促进植物对养分的吸收, CeCl_3 质量浓度过高或过低则对养分的吸收产生抑制,这与王艳等^[26]的研究结果一致。

表1 不同质量浓度 CeCl_3 对草莓组培苗增殖的影响

CeCl_3 质量浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出芽率/%	增殖系数
0	100	12.51±0.18d
0.2	91.11	11.51±0.32e
0.5	100	18.48±0.09a
1.0	100	16.40±0.27b
10.0	100	15.51±0.11b
15.0	100	14.51±0.04c
20.0	100	14.29±0.02c
40.0	77.78	11.39±0.67e

注:同列数据后的不同字母表示处理间差异有统计学意义(在 $P < 0.05$)。

根据试验结果,为了更直观地看出添加不同质量浓度的 CeCl_3 对红颜草莓不定芽的增殖影响,因此选出增殖效果最佳(图1b)、最差(图1c)的处理与对照(图1a)比较,如图1所示。



a. 0.0 mg/L CeCl_3 处理(对照) b. 0.5 mg/L CeCl_3 处理 c. 40.0 mg/L CeCl_3 处理

图1 CeCl_3 添加量对红颜草莓组培苗增殖的影响

2.2 不同质量浓度 CeCl_3 对草莓组培苗根系生长的影响

已有研究表明,添加一定质量浓度的 CeCl_3 能促进植物根系生长与伸长^[27-28]。本研究显示,添加 CeCl_3 质量浓度为1.0~20.0 mg/L时,红颜草莓组培

苗的生根系数显著高于对照($P < 0.05$),且添加 CeCl_3 质量分数为10.0 mg/L时,生根系数最大;添加 CeCl_3 质量浓度为0.5~15.0 mg/L时,组培苗根长显著长于对照($P < 0.05$),且添加 CeCl_3 质量浓度为10.0 mg/L时,根长最长;添加 CeCl_3 质量浓度为0.5~

10.0 mg/L时,组培苗根表显著大于对照($P<0.05$),且添加 CeCl_3 质量浓度为10.0 mg/L时,根表面最大;添加 CeCl_3 质量浓度为0.2~20.0 mg/L时,组培苗根尖数均显著多于对照($P<0.05$),且添加 CeCl_3 质量浓度为10.0 mg/L时,其根尖数最多(表2)。总体来

说,随着添加 CeCl_3 质量浓度的增加,红颜草莓组培苗的生根系数、根长、根表面积、根尖数均呈现出先升后降的趋势,且添加 CeCl_3 质量浓度为10.0 mg/L时,组培苗的生根系数、根长、根表面积、根尖数均为最优。

表2 不同质量浓度 CeCl_3 对草莓组培苗根系生长的影响

CeCl_3 质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	生根系数	根长/cm	根表面积/ cm^2	根尖数
0	8.66±0.18c	4.17±0.39d	3.70±0.23d	9.50±0.34f
0.2	8.60±0.27c	7.82±1.43bcd	3.92±0.44d	12.60±0.62e
0.5	8.20±0.24c	12.79±1.59a	6.07±0.82b	21.70±0.84c
1.0	9.62±0.34b	11.05±1.15ab	5.77±0.88bc	14.20±0.55de
10.0	11.95±0.35a	12.52±1.74a	14.52±0.47a	30.50±1.57a
15.0	10.44±0.15b	10.50±1.14abc	4.26±0.45cd	15.70±0.47d
20.0	9.89±0.31b	7.24±0.89cd	3.31±0.70d	24.30±1.16b
40.0	6.93±0.20d	6.05±0.79d	2.65±0.44d	9.30±0.42f

注:同列数据后的不同字母表示处理间差异有统计学意义($P<0.05$)。

根据试验结果,为了更直观地看出添加不同质量浓度的 CeCl_3 对红颜草莓组培苗根系生长的影

响,因此选出根系生长最佳(图2b)、最差(图2c)的处理与对照(图2a)比较,如图2所示。



a. 0.00 mg/L CeCl_3 处理(对照) b. 10 mg/L CeCl_3 处理 c. 40 mg/L CeCl_3 处理

图2 Ce^{3+} 添加量对红颜草莓组培苗根系生长的影响

2.3 不同质量浓度 CeCl_3 对草莓组培苗农艺性状的影响

不同质量浓度 CeCl_3 对红颜草莓组培苗鲜质量、株高、叶面积的影响如表3所示。从表3可以看出,总体来说,经过 CeCl_3 处理的草莓组培苗鲜质量、株高、叶面积均呈现高于对照的趋势,但有些增加明显,而有些不明显。添加 CeCl_3 质量浓度为0.5 mg/L,组培苗鲜质量显著高于对照($P<0.05$),其他质量浓度的 CeCl_3 处理与对照相比,其鲜质量的差异不明显;添加 CeCl_3 质量浓度为0.5~40.0 mg/L时,其株高显著高于对照($P<0.05$),而0.2 mg/L质量浓度的 CeCl_3 处理与对照相比,其株高的差异不明显;添加 CeCl_3 质量浓度为0.2~15.0 mg/L时,其叶面积

显著高于对照($P<0.05$),而20.0、40.0 mg/L质量浓度的 CeCl_3 处理与对照相比,其叶面积差异不明显。

2.4 不同质量浓度 CeCl_3 对草莓组培苗生理指标的影响

不同质量浓度 CeCl_3 处理对红颜草莓组培苗的SPAD值、SOD、POD的影响如表4所示。从表4可以看出:(1)随着 CeCl_3 质量浓度的增加,草莓组培苗SPAD值呈现先逐渐升高后降低的趋势,且不同质量浓度 CeCl_3 处理后,草莓组培苗的SPAD值都显著高于对照($P<0.05$)。(2)随着 CeCl_3 质量浓度的增加,草莓组培苗的SOD呈现先逐渐升高后降低的趋势,且0.2、0.5 mg/L CeCl_3 处理后,草莓组培苗的

表 3 不同质量浓度 CeCl_3 对草莓组培苗农艺性状的影响

CeCl_3 质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	鲜质量/g	株高/cm	叶面积/ mm^2
0	0.41±0.05bc	2.92±0.25c	72.93±4.01d
0.2	0.34±0.02c	3.13±0.22bc	95.85±4.85bc
0.5	0.56±0.03a	3.92±0.20a	100.11±5.98bc
1.0	0.44±0.05abc	3.74±0.22ab	108.55±6.62b
10.0	0.48±0.04ab	4.00±0.25a	129.50±4.57a
15.0	0.46±0.06abc	3.61±0.13ab	90.59±5.99c
20.0	0.44±0.02abc	3.74±0.23ab	86.32±6.71cd
40.0	0.44±0.06abc	3.68±0.14ab	85.37±6.22cd

注:同列数据后的不同字母表示处理间差异有统计学意义($P<0.05$)。

SOD 显著低于对照 ($P<0.05$); 1、40 mg/L CeCl_3 处理后, 草莓组培苗的 SOD 与对照相比, 差异无统计学意义 ($P>0.05$); 10~20 mg/L CeCl_3 处理后, 草莓组培苗的 SOD 显著高于对照 ($P>0.05$)。 (3) 随着 CeCl_3 质量浓度的增加, 草莓组培苗的 POD 呈现先逐渐升高后降低的趋势, 且 0.5~15 mg/L CeCl_3 处理后, 草莓组培苗的 POD 显著高于对照 ($P>0.05$), 0.2、40.0 mg/L CeCl_3 处理后, 草莓组培苗的 SOD 与对照相比, 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。已有研究表明, 铈作为稀土元素的一种, 能够显著提高植物的 SOD、POD 等酶活性, 从而降低逆境对植物的伤害^[29-30]。本研究结果显示, 添加铈的质量浓度在一定范围内才能显著提高草莓组培苗的 SOD、POD 酶活性。

表 4 不同质量浓度 CeCl_3 对草莓组培苗 SPAD 值、SOD 及 POD 的影响

CeCl_3 质量浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	SPAD	SOD/ ($\text{U}\cdot\text{g}^{-1}$)	POD/ ($\text{U}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)
0	33.27±0.5c	23.16±1.6cd	10.33±0.3d
0.2	45.97±1.1b	6.72±1.9e	10.33±0.4d
0.5	46.14±1.3b	17.18±1.6d	31.67±1.7a
1	46.33±1.6b	20.17±3.9cd	23.33±1.7b
10	54.85±1.5a	26.52±3.8bc	21.67±6.0bc
15	47.28±2.0b	32.12±2.3ab	18.33±4.4bc
20	46.30±2.8b	39.22±2.8a	15.00±2.9cd
40	45.02±3.2b	23.90±0.7bcd	8.33±1.7d

注:同列数据后的不同字母表示处理间差异有统计学意义($P<0.05$)。

3 讨论

一定质量浓度的稀土元素可以促进种子萌发、

植物生根, 但稀土元素质量浓度过高, 其离子将会破坏细胞膜上 Ca^{2+} 的作用, 无法维持细胞膜的正常透性, 造成细胞内部分离子的流失、降低植物的代谢活动, 从而使植物组培苗芽分化减少、单株鲜质量降低、根系生长受到影响。段晓宇等^[31]发现镧、铈在低质量浓度(0.2 mg/L)时能够促进细茎石斛组培苗不定芽的诱导; 陈颖等^[32]发现在银杏生根试验中, 低质量浓度(1.0 mg/L)稀土镧处理生根率最高, 根数也明显多于对照, 而高质量浓度(20 mg/L)的稀土则抑制不定芽的发生; 徐迎亚等^[33]发现, 用 2.0 mg/L 的硝酸铈处理金线兰小苗, 组培苗的平均株高和平均单株鲜质量均达到最大值; 张桂芳等^[19]发现, 随着 La^{3+} 、 Ce^{3+} 质量浓度的增加, 铁皮石斛的株高逐渐递增, 其中, La^{3+} 、 Ce^{3+} 质量浓度为 40 mg/L 时, 铁皮石斛株高增加更为明显。本试验结果表明, 低质量浓度(0.5 mg/L) CeCl_3 能更好促进红颜草莓组培苗不定芽的形成与生长; 稀土元素铈质量浓度为 10.0 mg/L 时, 红颜组培苗的生根系数达、根表面积、根尖数、株高、叶面积最大; 高质量浓度(40 mg/L) CeCl_3 对草莓组培苗不定芽的形成与植株的生长产生不利影响, 这与前人研究基本一致。

此外, 稀土元素也可以在一定程度上可以通过提高叶片的叶绿素含量来增强光合效率^[34]。高学鹏等^[35]通过稀土元素铈对油茶幼苗生长影响的研究, 发现铈的质量浓度为 35 mg/L 时, 油茶组培幼苗的叶绿素含量高、生长状况良好。本试验研究发现, CeCl_3 的质量浓度为 0.2~40.0 mg/L 时, 红颜草莓组培苗 SPAD 值均显著高于对照 ($P<0.05$); 10.0 mg/L 时, SPAD 值达到最大, 为 54.85, 比对照提高了 64.89%。

在抗氧化方面, 适宜质量浓度的稀土元素也可通过改变植物体内 POD、SOD 活性水平, 从而使减少植物体内产生的过氧化氢和超氧阴离子, 或降低膜脂过氧化来实现对植物生长的影响^[36]。许晟等^[37]发现铈对花生植株的 SOD 酶活性的影响呈现低质量浓度促进高质量浓度抑制, 对 POD 则是低质量浓度抑制高质量浓度促进; 金春雁等^[38]在铈对盾叶薯蓣试管苗生根与生理效应研究中发现, 添加一定质量浓度 Ce^{3+} 能够提高试管苗的 SOD 活性, 而且随着 Ce^{3+} 质量浓度的增加, POD 活性呈"下降—上升—下降"的趋势。本试验研究结果与上述研究结果类似, 添加 0.2~40.0 mg/L CeCl_3 , 红颜草莓组培苗的 SOD 酶活性和 POD 酶活性均呈现先增后降的趋势。 CeCl_3 质量浓度为 20 mg/L 时, SOD 酶活性达到最大, 比对照组提高了 69.34%; CeCl_3 质量浓度为 40.0 mg/L 时, SOD 酶活性开始下降, 低于对照, 但差

异无统计学意义($P>0.05$)。添加 CeCl_3 为 0.5 mg/L 时,POD 酶活性显著高于对照,是对照的 2.17 倍;添加 CeCl_3 质量浓度为 0.2、40.0 mg/L 时,POD 酶活性与对照相比,差异无统计学意义($P>0.05$)。

因此,综合来看,稀土元素铈对红颜草莓组培苗的离体再生有一定的促进作用,但高质量浓度的氯化铈则抑制红颜草莓组培苗的生长。

4 结语

一定质量浓度的稀土元素能够提高组培苗的

增殖系数,促进生长及不定根的发生,同时通过施加一定的稀土能够提高组培苗叶绿素的含量和相关酶的活性,在组织培养过程中具有十分重要的作用,但稀土元素质量浓度过高不仅会抑制植物的正常生长,还会对植物产生毒害作用。所以为了更有效地将稀土应用于草莓植物组培养技术中,需要深入了解稀土元素对草莓组培苗促进生长分化、抑制生长分化的质量浓度及其机理,为草莓组织培养正确合理使用稀土元素提供依据。

参考文献:

- [1] 邓明琴,雷家军.中国果树志·草莓卷[M].北京:中国林业出版社,2005.
- [2] 王鸣谦,薛莉,赵璐,等.世界草莓生产及贸易现状[J].中国果树,2021(2):104-108.
- [3] 李美林,张勇,朱丽君,等.草莓组织培养研究进展[J].吉林农业,2013(8):14.
- [4] 汤玲,贺欢,孔芬,等.草莓组织培养研究综述[J].甘肃农业科技,2017(9):68-71.
- [5] 于非.草莓茎尖组织培养快繁体系的建立[J].中国园艺文摘,2017,33(5):13-14+94.
- [6] 王佳,程芳梅,张营营,等.草莓脱毒栽培技术研究进展[J].安徽农学通报,2021,27(4):44-45.
- [7] 韩如春,常婧,赵静,等.草莓茎尖组培快繁体系的建立[J].山西农业科学,2022,50(1):15-21.
- [8] 朱振家,王媛花,杨瑞,等.西藏地区草莓“章姬”和“红颜”茎尖快繁技术研究[J].东北农业科学,2021,46(4):75-78.
- [9] 姚思扬,赵春莉,刘子平,等.红颜草莓组培快繁体系优化[J].福建农业学报,2018,33(9):950-956.
- [10] 张黎凤,钱雯婕,魏红英,等.红颜草莓茎尖组培快繁技术研究[J].现代农业科技,2017(7):71+74.
- [11] 陈英,张西英.草莓品种红颜组培快繁体系的优化[J].新疆农业科学,2016,53(12):2210-2216.
- [12] DJANAGUIRAMAN M, NAIR R, GIRALDO J P, et al. Cerium oxide nanoparticles decrease drought-induced oxidative damage in sorghum leading to higher photosynthesis and grain yield[J]. *Acs Omega*, 2018, 3(10): 14406-14416.
- [13] ZHANG C, LI Q, ZHANG M, et al. Effects of rare earth elements on growth and metabolism of medicinal plants[J]. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 2013, 3(1): 20-24.
- [14] 田仲鹤,郭绍芬,李淑芹,等.镧对金银花若干生理生化指标及叶绿体超微结构的影响[J].中国稀土学报,2016,34(4):469-476.
- [15] 唐庆华.稀土元素的植物生理效应[J].吉林工程技术师范学院学报,2016,32(2):87-88+96.
- [16] 许鹏波,薛立,潘澜,等.稀土对低温胁迫麻楝幼苗生理生化特性的影响[J].中南林业科技大学学报,2011,31(2):34-40.
- [17] 刘建新,王鑫,李东波.硝酸镧提高黑麦草种子活力和幼苗生物量的生理效应[J].植物生理学通讯,2010,46(8):837-842.
- [18] 苗永美,简兴,方达,等.稀土铈对铁皮石斛不定芽诱导、幼苗生长及品质的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2020,35(6):1067-1072.
- [19] 张桂芳,闫小巧,王艳,等.稀土元素镧、铈对铁皮石斛组培苗生长影响的研究[J].广东药学院学报,2016,32(5):559-564.
- [20] 黄肇宇,叶晓霞,黎建玲,等.不同浓度硝酸镧对金线莲试管苗生长的影响[J].玉林师范学院学报,2016,37(2):75-81.
- [21] 王计平,侯思宇,史华平,等.稀土元素(ReNO_3)对马哈利樱桃组培苗生长的影响[J].激光生物学报,2011,20(4):506-509.
- [22] 王建安,沙莎,李艳芝,等. $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 对盾叶薯蓣茎段愈伤组织生长和不定根诱导影响的研究[J].南京师大学报(自然科学版),2010,33(1):94-97.
- [23] 贾佳,李建波.稀土肥料对草莓生长及产量品质的影响研究[J].河南农业,2011(20):52-53.
- [24] 谷军,陈宝江,刘秀春.保护地草莓使用草莓专用稀土复合肥试验[J].北方果树,1999(1):15-16.
- [25] 魏书奎.稀土元素对草莓生长、产量和品质的影响[J].贵州农学院学报,1995(2):47-50.
- [26] 王艳,郭鸽,闫小巧,等.稀土元素镧、铈对霍山石斛试管苗离体生长的影响[J].中药材,2017,40(3):528-531.
- [27] 司知远,范分良,王赛,等.稀土镧和铈元素对西红柿幼苗生长及其根系分泌物的影响[J/OL].中国土壤与肥料:1-11 [2022-11-23].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5498.S.20221121.1301.002.html>.