

陈月红,赵密珍,郭成宝,等. 不同水质和培养基对紫金久红草莓组培快繁的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(19):50-55.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.19.007

# 不同水质和培养基对紫金久红草莓组培快繁的影响

陈月红<sup>1</sup>, 赵密珍<sup>2</sup>, 郭成宝<sup>1</sup>, 曹荣祥<sup>1</sup>, 朱微元<sup>1</sup>, 林久军<sup>1</sup>, 王庆莲<sup>2</sup>, 韩金龙<sup>1</sup>, 于红梅<sup>2</sup>, 石英健<sup>3</sup>

(1. 江苏丘陵地区南京农业科学研究所, 江苏南京 210046; 2. 江苏省农业科学院园艺研究所, 江苏南京 210014;

3. 宿迁绿隆现代农业科技有限公司, 江苏宿迁 223800)

**摘要:**以紫金久红草莓为试材,红颊草莓为对照,研究不同水质和基本培养基对草莓试管苗快繁和生长的影响。结果表明,草莓植株在 MS 增殖培养基中的生长势显著优于 White 培养基,自来水配制的 MS 培养基比去离子水配制的 MS 培养基更适合草莓植株的生长;1/2 MS 培养基和 White 培养基都可以用于草莓生根培养,草莓在 1/2 MS 培养基中的生根情况优于 White 培养基,但 White 培养基成本低于 1/2 MS 培养基。

**关键词:**草莓;水质;培养基;组培快繁;试管苗

**中图分类号:**S668.404 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)19-0050-06

草莓产业在许多国家有着蓬勃的发展<sup>[1-2]</sup>,而草莓种苗质量是影响草莓产业化发展的关键因素之一。在传统自繁自育的育苗方式下,出现了草莓种苗繁殖系数降低、易感病、产量降低等不利因素,严重影响了草莓发展。通过组培快繁技术培育的草莓种苗具有长势强、产量高等优点<sup>[3]</sup>,但组培快繁

技术的成本相对较高。选择适合的水质和培养基是降低生产成本的措施之一。生产中为了降低植物组织培养成本,较多采用自来水配制培养基<sup>[4-5]</sup>。

MS 培养基最初用于烟草培养<sup>[6-7]</sup>,随后在草莓上应用的研究报道越来越多<sup>[8-13]</sup>。MS 培养基常用于草莓茎尖诱导培养、增殖培养<sup>[9]</sup>、再生培养<sup>[14-15]</sup>,1/2 MS 培养基多用于生根培养<sup>[14]</sup>。改良的 White 培养基在植物组织培养中用途也比较广泛<sup>[16-18]</sup>。本试验通过对不同水质和培养基进行对比筛选,以期草莓工厂化生产提供技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验草莓品种为紫金久红草莓、红颊草莓。紫

1999,121(1):1-7.

[14] Juárez-Colunga S, López-González C, Morales-Eliás N C, et al. Genome-wide analysis of the invertase gene family from maize[J]. Plant Molecular Biology, 2018, 97(4/5): 385-406.

[15] Schwebel-Dugue N, Mtili N E, Krivitzky M, et al. Arabidopsis gene and cDNA encoding cell-wall invertase[J]. Plant Physiology, 1994, 104(2): 809-810.

[16] Rea I B, Brutus A, D'Avino R, et al. Molecular cloning, expression and characterization of a novel apoplastic invertase inhibitor from tomato (*Solanum lycopersicum*) and its use to purify a vacuolar invertase[J]. Biochimie, 2008, 90(11/12): 1611-1623.

[17] 熊思亦, 张聪聪, 马荣雪, 等. 西瓜、甜瓜蔗糖转化酶基因家族鉴定及表达分析[J]. 分子植物育种, 2021(5): 1-15.

[18] 高雅倩, 陈学良, 陈东红, 等. 铁皮石斛 CSLA 基因家族的全基因组鉴定和表达分析[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(13): 3120-

3127.

[19] 王连军. 高等植物中蔗糖转化酶的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(24): 8108-8111.

[20] 陈俊伟, 张上隆, 张良诚. 果实中糖的运输、代谢与积累及其调控[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(1): 1-10.

[21] 魏华伟, 柴松琳, 胡克玲, 等. 辣椒酸性蔗糖转化酶基因家族鉴定及表达[J]. 分子植物育种, 2019, 17(15): 4900-4907.

[22] 黄五星, 任 聪, 邵惠芳, 等. 植物转化酶研究进展[J]. 北京农业, 2013(15): 3-4.

[23] Tymowska-Lalanne Z, Kreis M. The plant invertases: physiology, biochemistry and molecular biology[J]. Advances in Botanical Research, 1998, 28: 71-117.

[24] Roitsch T, González M C. Function and regulation of plant invertases: sweet sensations[J]. Trends in Plant Science, 2004, 9(12): 606-613.

金久红草莓由江苏省农业科学院园艺研究所于 2009 年以久 59-SS-1 为母本、红颊为父本杂交育成。红颊草莓于 2003 年由日本引进。

1.2 试验方法

1.2.1 必需矿质元素含量测定 铵态氮和硝态氮含量测定采用连续流动分析仪(Bran-LuebbeAA3)测定。样品中 P、K、Ca、Mg、S、Si、Cu、Mo、Mn、Fe、Zn、Na、Ni、B 的含量采用电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP-OES 710)测定,测试所需标准溶液购自国家标准物质研究中心。自来水中的氯含量采用 3,3',5,5'-四甲基联苯胺比色法测定。

1.2.2 草莓增殖培养 增殖培养基设 4 个处理:去离子水+MS 培养基、自来水+MS 培养基、去离子水+White 培养基、自来水+White 培养基。增殖培养外源激素添加量为 6-BA 0.5 mg/L+NAA 0.1 mg/L,pH 值为 6.2。每个处理 10 株草莓,重复 3 次。培养条件:温度(25±2)℃、每天光照 16 h、光照度为 2 000 lx。

30 d 后统计草莓植株的叶片数量、株高、叶长、叶宽、叶柄长、叶柄粗、繁殖系数、植株鲜质量、植株干质量。自来水和各增殖培养基中的必需矿质元素浓度见表 1。

表 1 不同增殖培养基和自来水中矿质元素浓度

矿质元素	浓度(mg/L)		
	自来水	MS 培养基	White 培养基
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0.04	371.13	0.00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	1.80	1 542.21	62.36
P	0.02	37.54	4.26
K	2.18	783.19	65.15
Ca	34.76	120.06	73.17
Mg	7.29	36.02	70.10
S	12.01	55.35	197.47
Si	2.51	0.00	0.00
Fe	0.013	5.63	0.72
Mn	0.005	5.51	1.73
Zn	0.02	1.91	0.68
Cu	0.006	0.006	0.001
Ni	0.027	0.000	0.000
Mo	0.002 8	0.078 0	2.001 0
Cl	12.00	212.51	30.74
Na	12.52	2.32	68.95
B	0.017	1.100	0.270

1.2.3 草莓生根培养 生根培养基设 4 个处理:去离子水+1/2 MS 培养基、自来水+1/2 MS 培养基、去离子水+White 培养基、自来水+White 培养基。

不添加外源激素,pH 值为约 6.2。每个处理 10 株草莓,重复 3 次。培养条件同“1.2.2”节。

30 d 后统计植株的叶片数量、株高、叶长、叶宽、叶柄长、叶柄粗、根数、根长、植株鲜质量、植株干质量。各生根培养基中必需矿质元素浓度见表 2。

表 2 不同生根培养基中矿质元素浓度

矿质元素	浓度(mg/L)	
	1/2 MS 培养基	White 培养基
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	165.50	0.00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	771.01	62.36
P	18.75	4.26
K	391.69	65.15
Ca	60.01	73.17
Mg	18.02	70.10
S	31.35	197.47
Si	0.00	0.00
Fe	5.63	0.72
Mn	5.51	1.73
Zn	1.91	0.68
Cu	0.006	0.001
Ni	0.00	0.00
Mo	0.078	2.001
Cl	106.26	30.74
Na	2.32	68.95
B	1.11	0.27

1.2.4 不同水质和培养基的成本 不同水质和培养基的价格见表 3。配制培养基的试剂价格按照市场价格计算;自来水价格按照非居民生活用水计算,去离子水价格按照市售纯净桶装水(18.9 L/桶)价格计算。

表 3 不同培养基和水质成本 元/L

增殖培养基价格		生根培养基价格		水质价格	
MS 培养基	White 培养基	1/2 MS 培养基	White 培养基	自来水	去离子水
2.67	2.49	2.62	2.48	0.003 9	0.83

1.3 数据采集与处理

草莓植株各指标的测量均按照《草莓种质资源描述规范和数据标准》进行<sup>[19]</sup>。采用 Excel 对相关数据进行分析,数据均以平均值表示;使用 SPSS 13.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同水质和培养基对草莓增殖培养的影响

从表 4 可以看出,红颊草莓在去离子水、自来水配制的 MS 增殖培养基中生长,其植株的叶片数量、

株高、叶宽、繁殖系数、植株鲜质量、植株干质量均显著大于在去离子水、自来水配制的 White 增殖培养基中的;而在去离子水、自来水配制的 MS 增殖培养基中生长的植株之间无显著差异;同时,在去离子水、自来水配制的 White 增殖培养基中生长的植株之间也无显著差异。

在去离子水配制的 MS 增殖培养基中生长的红颊草莓植株,其叶柄长显著高于在自来水配制的 MS 增殖培养基中的;在自来水配制的 MS 增殖培养基中生长的植株和在自来水、去离子水配制的 White

增殖培养基中生长的植株之间无显著差异。在去离子水、自来水配制的 MS 增殖培养基中生长的红颊草莓植株,其叶长显著大于去离子水配制的 White 增殖培养基中的;而在去离子水、自来水配制的 MS 增殖培养基中生长的植株之间差异不显著;在去离子水、自来水配制的 White 增殖培养基中生长的植株之间差异也不差异。各增殖培养基中生长植株的叶柄粗无显著差异。表明红颊草莓在 MS 培养基中生长显著优于 White 培养基,在自来水和去离子水配制的培养基中生长差异不显著。

表 4 不同水质和培养基对红颊草莓增殖培养的影响

处理	叶片数量 (张/株)	株高 (mm)	叶长 (mm)	叶宽 (mm)	叶柄长 (mm)	叶柄粗 (mm)	繁殖系数 (株/株)	植株鲜质量 (g/株)	植株干质量 (g/株)
去离子水 + MS 培养基	10.93 ± 1.96a	24.57 ± 2.27a	6.89 ± 1.44ab	6.40 ± 0.83a	18.53 ± 2.58a	0.69 ± 0.05a	2.57 ± 0.64a	1.14 ± 0.08a	0.11 ± 0.01a
自来水 + MS 培养基	10.77 ± 1.27a	22.49 ± 5.26a	7.67 ± 1.27a	7.15 ± 0.96a	13.46 ± 2.97b	0.72 ± 0.09a	2.67 ± 0.70a	1.03 ± 0.19a	0.11 ± 0.02a
去离子水 + White 培养基	6.93 ± 0.38b	13.33 ± 1.24b	4.60 ± 0.49c	3.73 ± 0.33b	9.27 ± 1.08b	0.77 ± 0.06a	1.20 ± 0.17b	0.39 ± 0.03b	0.06 ± 0.01b
自来水 + White 培养基	7.53 ± 0.64b	15.11 ± 3.51b	5.58 ± 0.42bc	4.18 ± 1.02b	8.75 ± 3.28b	0.78 ± 0.13a	1.43 ± 0.21b	0.27 ± 0.06b	0.05 ± 0.01b

注:表中同列数据后小写字母表示差异显著性( $P < 0.05$ )。表 5、6、7 同。

由表 5 可知,紫金久红草莓在去离子水、自来水配制的 MS 增殖培养基中生长的植株,其株高、叶长、叶宽、叶柄长、繁殖系数、植株鲜质量、植株干质量显著大于在去离子水、自来水配制的 White 增殖培养基中的;而在去离子水、自来水配制的 MS 增殖培养基中生长的植株之间无显著差异;同时在去离子水、自来水配制的 White 增殖培养基中生长的植株之间也无显著差异。

在自来水配制的 MS 增殖培养基中生长的植株,其叶片数量显著高于在去离子水配制的 MS 增殖培养基中的;在去离子水配制的 MS 增殖培养基

中生长的植株叶片数量和自来水、去离子水配制的 White 增殖培养基中的无显著差异;各增殖培养基中生长植株的叶柄粗无显著差异。表明紫金久红草莓在 MS 培养基中生长势显著优于 White 培养基,在自来水配制的 MS 培养基中生长的植株优于在去离子水配制的 MS 培养基中的。

由表 4、表 5 可知,紫金久红草莓在去离子水、自来水配制的 MS 增殖培养基中生长的繁殖系数均低于红颊草莓;同时在去离子水、自来水配制的 White 增殖培养基中生长的繁殖系数也均低于红颊草莓。

表 5 不同水质和培养基对紫金久红草莓增殖培养的影响

处理	叶片数量 (张/株)	株高 (mm)	叶长 (mm)	叶宽 (mm)	叶柄长 (mm)	叶柄粗 (mm)	繁殖系数 (株/株)	植株鲜质量 (g/株)	植株干质量 (g/株)
去离子水 + MS 培养基	8.73 ± 0.46b	34.02 ± 5.38a	10.36 ± 0.59a	8.54 ± 0.72a	26.69 ± 3.15a	0.62 ± 0.07a	1.47 ± 0.15a	3.14 ± 1.12a	0.15 ± 0.04a
自来水 + MS 培养基	11.07 ± 1.93a	39.41 ± 8.53a	11.27 ± 2.16a	9.53 ± 1.93a	35.10 ± 11.96a	0.63 ± 0.10a	1.67 ± 0.15a	2.63 ± 1.35a	0.17 ± 0.06a
去离子水 + White 培养基	8.60 ± 0.98b	12.32 ± 0.85b	5.47 ± 0.74b	4.27 ± 0.65b	7.52 ± 0.85b	0.61 ± 0.07a	1.00 ± 0.00b	0.40 ± 0.09b	0.08 ± 0.01b
自来水 + White 培养基	6.70 ± 0.46b	9.24 ± 3.70b	5.49 ± 1.25b	3.77 ± 0.59b	6.29 ± 2.09b	0.67 ± 0.07a	1.00 ± 0.00b	0.16 ± 0.06b	0.03 ± 0.02b

由图 1 可知,紫金久红草莓在不同培养基上的生长表现不同。在去离子水配制的 MS 增殖培养基、去离子水和自来水配制的 White 增殖培养基中生长的植株叶片卷曲明显;而在自来水配制的 MS 增殖培养基中叶片生长相对舒张,卷曲不明显。表明自来水配制培养基更适合草莓正常生长。

2.2 不同水质和培养基对草莓生根的影响

红颊草莓在不同生根培养基中,植株均生根。由表 6 可知,在去离子水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株,其叶宽与自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中的差异不显著,与去离子水配制的 White 生根培养基中的差异也不显著,但显著大于在自来

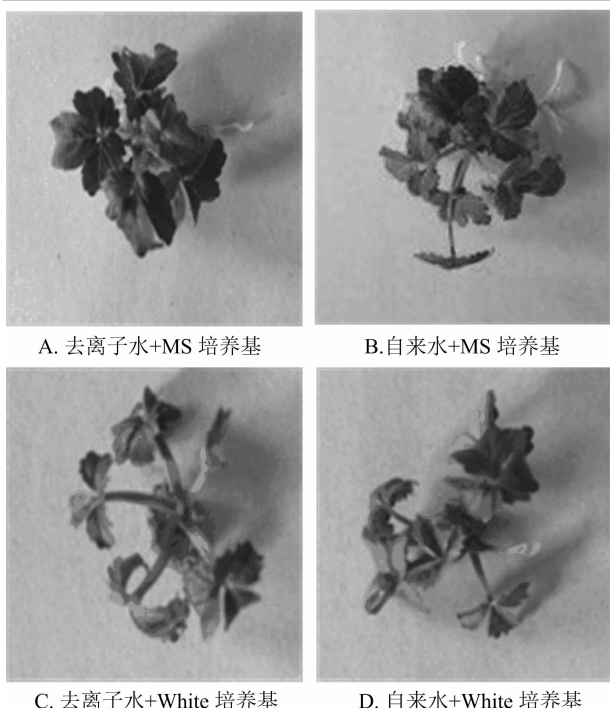


图1 紫金久红草莓在不同增殖培养基上的生长表现

水配制的 White 生根培养基中的。在去离子水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株,其叶柄粗与自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中的差异不显著,但显著大于去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中生长的植株;去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中生长植株之间的叶柄粗无差异。在去离子水、自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株,其根数显著大于去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中的;去离子水、自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株之间的根数无显著差异;去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中生长植株之间的根数也无显著差异。

在去离子水、自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株,其鲜质量无显著差异,与去离子水配制的 White 生根培养基中生长的植株差异不显著,但显著大于在自来水配制的 White 生根培养基中生长的植株;在去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中生长的植株之间差异不显著。在去离子水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株,其干质量与自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中的差异不显著,与去离子水配制的 White 生根培养基中生长的无显著差异,但显著大于自来水配制的 White 生根培养基中生长的植株;自来水配制的 1/2 MS 生根培养基与自来水配制的 White 生根培养基中生长植株的干质量差异不显著。各生根培养基中生长

植株的叶片数量、株高、叶长、叶柄长、根长之间均无显著差异。

紫金久红草莓在不同生根培养基中,其植株均生根。由表 7 可知,紫金久红草莓在去离子水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株,其叶柄长和在自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中的差异不显著,但显著大于去离子水配制的 White 生根培养基中的;去离子水配制的 White 生根培养基中生长的植株叶柄长显著大于自来水配制的 White 生根培养基中的。在自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株根数与去离子水配制的 1/2 MS 生根培养基中的差异不显著,与去离子水配制的 White 生根培养基中的差异不显著,但显著大于自来水配制的 White 生根培养基中的;去离子水配制的 1/2 MS 生根培养基与去离子水配制的 White 生根培养基中生长的植株根数之间无显著差异。

在去离子水和自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株,其叶片数量、叶长、植株鲜质量均显著大于去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中生长的植株;在去离子水、自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株之间无显著差异;在去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中生长的植株之间也无显著差异。

在去离子水、自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株,其株高之间无显著差异,与去离子水配制的 White 生根培养基中的差异不显著,但显著大于自来水配制的 White 生根培养基中的;在去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中生长的植株之间株高差异不显著;在去离子水、自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株之间干质量差异不显著,但前者显著大于在去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中的;在去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中生长的植株之间无显著差异;在各生根培养基中生长植株的叶宽、叶柄粗、根长之间无显著差异。

从由表 6、表 7 可知,紫金久红草莓在去离子水、自来水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长,其根系数量均低于红颊草莓,而根长却大于红颊草莓;同时,在去离子水、自来水配制的 White 生根培养基中生长,其根系数量也均低于红颊草莓,而根长大于红颊草莓。

综上所述,1/2 MS 和 White 生根培养基都可以用于草莓的生根培养;草莓在 1/2 MS 生根培养基中

表 6 不同水质和培养基对红颜草莓生根培养的影响

处理	叶片量 (张/株)	株高 (mm)	叶长 (mm)	叶宽 (mm)	叶柄长 (mm)	叶柄粗 (mm)	根数 (条/株)	根长 (mm)	植株鲜质量 (g/株)	植株干质量 (g/株)
去离子水 + 1/2 MS 培养基	7.37 ± 0.32a	47.28 ± 3.33a	11.95 ± 0.61a	10.76 ± 1.13a	38.68 ± 0.84a	0.56 ± 0.03a	6.30 ± 0.30a	56.08 ± 9.07a	0.26 ± 0.03a	0.033 ± 0.002a
自来水 + 1/2 MS 培养基	7.77 ± 0.72a	40.96 ± 4.90a	13.18 ± 4.99a	8.90 ± 1.37ab	32.64 ± 3.46a	0.48 ± 0.08ab	6.03 ± 0.68a	53.21 ± 8.01a	0.24 ± 0.01a	0.032 ± 0.003ab
去离子水 + White 培养基	7.10 ± 0.52a	44.86 ± 4.61a	9.97 ± 1.08a	8.82 ± 0.53ab	33.34 ± 4.18a	0.42 ± 0.05b	4.63 ± 0.15b	50.36 ± 11.45a	0.23 ± 0.01ab	0.035 ± 0.002a
自来水 + White 培养基	7.07 ± 0.42a	41.08 ± 8.57a	9.72 ± 1.51a	8.45 ± 1.02b	32.41 ± 9.69a	0.42 ± 0.05b	5.17 ± 0.40b	38.82 ± 7.95a	0.19 ± 0.04b	0.029 ± 0.002b

表 7 不同水质和培养基对紫金久红草莓生根培养的影响

处理	叶片量 (张/株)	株高 (mm)	叶长 (mm)	叶宽 (mm)	叶柄长 (mm)	叶柄粗 (mm)	根数 (条/株)	根长 (mm)	植株鲜质量 (g/株)	植株干质量 (g/株)
去离子水 + 1/2 MS 培养基	8.07 ± 0.68a	35.40 ± 3.21a	10.51 ± 0.50a	8.01 ± 1.43a	28.33 ± 2.73a	0.51 ± 0.10a	4.90 ± 0.85ab	88.36 ± 10.36a	0.29 ± 0.01a	0.037 ± 0.002a
自来水 + 1/2 MS 培养基	8.30 ± 0.66a	32.51 ± 1.95a	10.68 ± 0.69a	8.01 ± 0.62a	25.64 ± 2.91ab	0.49 ± 0.02a	5.93 ± 0.61a	61.23 ± 24.76a	0.24 ± 0.04a	0.033 ± 0.005ab
去离子水 + White 培养基	6.57 ± 0.75b	26.74 ± 6.28ab	7.57 ± 0.20b	6.41 ± 0.72a	18.90 ± 5.37b	0.50 ± 0.06a	4.47 ± 0.21ab	52.05 ± 28.62a	0.16 ± 0.04b	0.028 ± 0.007b
自来水 + White 培养基	5.97 ± 0.64b	19.99 ± 5.97b	8.05 ± 1.05b	6.76 ± 0.72a	13.51 ± 6.35c	0.56 ± 0.08a	3.67 ± 1.32b	54.37 ± 16.75a	0.14 ± 0.01b	0.027 ± 0.001b

的生长情况显著优于 White 生根培养基;在自来水、去离子水配制的 1/2 MS 生根培养基中生长的植株差异不显著;在自来水、去离子水配制的 White 生根培养基中生长的植株差异也不显著。

3 讨论与结论

草莓试管苗的增殖数量与大量元素的浓度有密切关系,在全量 MS 培养基中生长的芽增殖数最多,随着大量元素浓度下降,芽增殖数逐渐减少,全量 MS 大量元素与 1/2 MS 大量元素的芽增殖数差异不显著,但与 1/4 MS 大量元素差异显著<sup>[20]</sup>。在 MS 培养基中盐类总计 4 633.33 mg/L,White 培养基中盐类总计 1 395.50 mg/L。本试验中,草莓在 MS 培养基中的增殖数量显著多于 White 培养基,可能与 MS 培养基中丰富的大量元素及适宜的比例有关。

Tabatabaei 等用不同氮硝比的营养液处理盆栽草莓,其营养液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度分别为 25:75、50:50、75:25、100:0,认为 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度为 50:50 的营养液最适宜草莓生长,其次为 25:75<sup>[21]</sup>。MS 培养基是目前使用最广的培养基<sup>[6]</sup>,培养基的大量元素中, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 含量丰富, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度为 20:80;White 培养基中不含有 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N,其 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度为 0:100。本研究中,草莓在 MS 培养基中的生长优于 White 培养基,可能与草莓更适宜在一定的氮硝比条件下生长有关。

不同国家、不同地区的自来水水质差异较大<sup>[22-25]</sup>。南京地区自来水中矿质元素含量检测数据表明,自来水中含有一定量的 Ca、S、Mg、Fe 等,较少含量的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N、Si、K,几乎不含 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 和 P。Miyake 等研究发现,缺 Si 的黄瓜新叶卷曲畸形,严重时生长停滞,叶片凋萎、枯黄、脱落,花而不孕<sup>[26]</sup>。Goto 等的研究也表明,缺 Si 的水稻植株卷曲,易倒伏,抗病性差<sup>[27]</sup>。本试验中草莓植株在去离子水配制的 MS 培养基中生长,其叶片背卷明显,而在自来水配制的 MS 培养基中生长相对舒张。检测数据显示,自来水中含有浓度为 2.51 mg/L 的 Si,MS 培养基和 White 培养基中不含 Si,因此推测,培养基中大量元素 Si 的供给不足,引起了草莓植株生长形态的差异。

王英等研究认为,自来水培养脱毒马铃薯试管苗明显优于对照蒸馏水<sup>[28]</sup>。本试验中草莓在去离

子水配制的 MS 和 White 培养基上生长,其叶片呈卷曲状;草莓在自来水配制的 MS 培养基上生长,叶片相对舒张,无卷曲。因此认为自来水配制培养基比去离子水配制培养基更适合草莓植株生长,与王英等人的研究结果<sup>[28]</sup>一致。同时,自来水配制的培养基成本较低。

White 培养基是一种无机盐类浓度较低的培养基,其盐类总计 1 395.5 mg/L,适合植物生根<sup>[17]</sup>; 1/2 MS 培养基用于草莓生根培养已有报道<sup>[14]</sup>,其盐类总计 2 368.33 mg/L,高于 White 生根培养基。本试验中草莓在 1/2 MS 生根培养基中生长良好,优于 White 培养基。可能是因为 1/2 MS 培养基的大量元素中, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量丰富, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、K、P 含量显著高于 White 培养基,同时培养基中矿质元素的浓度也较高且更加平衡。本研究结果表明,1/2 MS 生根培养基和 White 生根培养基都可以用于草莓试管苗生根培养,草莓在 1/2 MS 生根培养基中生长更好,但 White 生根培养基成本低于 1/2 MS 生根培养基。

#### 参考文献:

- [1] Calleja E J, Ilbery B, Mills P R. Agricultural change and the rise of the British strawberry industry, 1920—2009 [J]. *Journal of Rural Studies*, 2012, 28(4): 603—611.
- [2] Kirschbaum D S, Hancock J F. The strawberry industry in south America [J]. *HortScience*, 2000, 35(5): 807—811.
- [3] 曾伟光,熊庆娥,邓群仙,等. 草莓脱毒苗的生长结果与产量效应研究 [J]. *四川农业大学学报*, 2001, 19(3): 228—230, 276.
- [4] 廖俊杰,李艳,李英慧. 工厂化生产中降低草莓组培苗生产成本的几项措施 [J]. *作物杂志*, 2005(5): 40—41.
- [5] 王蒂. 植物组织培养 [M]. 2004, 21: 211—212.
- [6] Murashige T, Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures [J]. *Physiologia Plantarum*, 1962, 15(3): 473—497.
- [7] Linsmaier E M, Skoog F. Organic growth factor requirements of tobacco tissue cultures [J]. *Physiologia Plantarum*, 1965, 18(1): 100—127.
- [8] Hung C D, Hong C H, Jung H B, et al. Growth and morphogenesis of encapsulated strawberry shoot tips under mixed LEDs [J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 194: 194—200.
- [9] Qin Y H, Zhang S L, Asghar S, et al. Regeneration mechanism of Toyonoka strawberry under different color plastic films [J]. *Plant Science*, 2005, 168(6): 1425—1431.
- [10] Chalfoun N R, Castagnaro A P, Díaz Ricci J C. Induced resistance activated by a culture filtrate derived from an avirulent pathogen as a mechanism of biological control of anthracnose in strawberry [J]. *Biological Control*, 2011, 58(3): 319—329.
- [11] Mori T, Sakurai M, Sakuta M. Effects of conditioned medium on activities of PAL, CHS, DAHP synthase (DS—Co and DS—Mn) and anthocyanin production in suspension cultures of *Fragaria ananassa* [J]. *Plant Science*, 2001, 160(2): 355—360.
- [12] Mori T, Sakurai M. Effects of riboflavin and increased sucrose on anthocyanin production in suspended strawberry cell cultures [J]. *Plant Science*, 1995, 110(1): 147—153.
- [13] Biswas M K, Dutt M, Roy U K, et al. Development and evaluation of *in vitro* somaclonal variation in strawberry for improved horticultural traits [J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, 122(3): 409—416.
- [14] 晁慧娟,刘敏,姬谦龙,等. 红颜草莓茎尖培养与快速繁殖 [J]. *北京农学院学报*, 2009, 24(4): 14—16.
- [15] Tian M, Gu Q, Zhu M Y. The involvement of hydrogen peroxide and antioxidant enzymes in the process of shoot organogenesis of strawberry callus [J]. *Plant Science*, 2003, 165(4): 701—707.
- [16] White P R. The cultivation of animal and plant cells [M]. 2nd ed. New York: Ronald Press, 1963: 34.
- [17] 贺竹梅,杨貌仙. 不同培养条件对秃杉离体胚萌发生长的影响 [J]. *云南植物研究*, 1989, 11(2): 227—230.
- [18] 赵月明,赵雁鸣,何承忠,等. 漆树组织培养中污染与褐变的防治 [J]. *中国农学通报*, 2015, 31(10): 33—38.
- [19] 赵密珍,王桂霞,钱亚明,等. 草莓种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [20] 赵密珍,王壮伟,吴伟民,等. 培养基大量元素、蔗糖、琼脂对草莓试管苗生长的影响 [J]. *江苏农业学报*, 2007, 23(6): 626—629.
- [21] Tabatabaei S J, Yusefi M, Hajiloo J. Effects of shading and  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  ratio on the yield, quality and N metabolism in strawberry [J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 116(3): 264—272.
- [22] López—Roldán R, Platikanov S, Martín—Alonso J, et al. Integration of ultraviolet—visible spectral and physicochemical data in chemometrics analysis for improved discrimination of water sources and blends for application to the complex drinking water distribution network of Barcelona [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 4789—4798.
- [23] 彭雪梅,刘永文,富中华,等. 大同市自来水矿质元素分析 [J]. *山西大同大学学报(自然科学版)*, 2011, 27(5): 45—47.
- [24] 王雅茹,刘德深,唐荣华,等. 桂林市自来水厂源水水质分析与评价 [J]. *渤海大学学报(自然科学版)*, 2007, 28(2): 138—143.
- [25] 谭志强,金卫斌,艾天成. 湖北省荆州市农村不同类型饮水水质分析 [J]. *湖北农业科学*, 2011, 50(6): 1142—1145.
- [26] Miyake Y, Takahashi E. Effect of silicon on the growth of solution—cultured cucumber plant [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1983, 29(1): 71—83.
- [27] Goto M, Ehara H, Karita S, et al. Protective effect of silicon on phenolic biosynthesis and ultraviolet spectral stress in rice crop [J]. *Plant Science*, 2003, 164(3): 349—356.
- [28] 王英,于丽丽,刘志文. 不同水源和碳源对脱毒马铃薯快繁的影响 [J]. *河南农业科学*, 2011, 40(5): 148—151.