

基质栽培中营养液配方对草莓生长、 光合特性及品质的影响

曾祥国 冯小明 向发云 吴润玲 张鹏 顾玉成

湖北省农业科学院经济作物研究所, 武汉 430064

摘要 研究3种营养液配方对草莓植株生长、光合特性、产量及品质的影响,以筛选出最适宜草莓生长的营养液配方。结果表明,营养液中硝酸钙($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)、硝酸钾(KNO_3)、磷酸氢二铵($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)、硫酸镁($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、硝酸铵(NH_4NO_3)含量分别为295、303、62、246、0 mg/L时对草莓生长及果实品质均优于另外2种配方;有利于营养生长期的草莓生长,植株表现为叶片较大且厚、花梗较粗、叶色浓绿;有利于草莓成花和花朵发育,果实综合性状最好。本研究结果可为建立优质高产温室基质栽培草莓的肥水运筹系统提供理论基础和技术依据。

关键词 草莓; 营养液; 生长特性; 光合特性; 产量; 品质

中图分类号 S 668.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)05-0569-05

草莓(*Fragaria ananassa* Duch)为蔷薇科(Rosaceae)草莓属的多年生宿根植物,属浆果类水果。近年来,草莓促成栽培受到人们的普遍重视,其果实收获期可达6个月之久,鲜果在冬季和早春水果淡季上市,市场价格高,经济效益好^[1-2]。但随着人们消费意识和消费水平的提高,对水果无公害、无污染、高品质的要求也更加严格。草莓大棚栽培能避免一些来自大气的污染,如酸雨、工业粉尘等^[3];但随之而来的是大棚温室重茬连作,加重了病虫害和根分泌有毒物质在土壤中的积累及造成的养分失衡,从而导致产量和品质下降,而基质栽培由于可以更换基质及消毒处理方便等特点,不仅能避免土传病虫害及连作障碍、有效解决草莓连续种植带来的各种问题,且肥料利用率高,节约用水以及生产的可控性、促进植株的生长发育,提高果实产量和品质等诸多优点,已成为发展无公害绿色食品生产的可靠途径^[4-5]。前人对草莓基质栽培进行过一些研究,包括适用品种选择、基质配方筛选、营养液配制、对果实糖酸的影响、栽培技术规程、病害防治等^[6-12]。但是由于基质栽培过程中营养液中各种元素施用不足或过量,均会导致作物生育障碍,进而使产量降

低或品质变劣。因此,基质栽培营养液浓度及配比已成为草莓无土基质栽培发展成败的关键因素之一。

本试验探讨不同营养液配方对草莓植株生长、光合特性、产量及品质等的影响,旨在为建立优质高产温室基质栽培草莓的肥水运筹系统提供理论基础和技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试基质为锯木屑与河砂复合基质(体积比为1:1);供试草莓品种为晶瑶。

1.2 方法

试验在湖北省农业科学院草莓示范园大棚温室以栽培槽形式进行。棚内设一层可以移动的内膜,用于低温或夜晚保温,每垄扣膜时加盖一层地膜。自行设计安装滴灌系统,由营养液罐、自吸泵、输液管和滴箭等组成,每株草莓1个滴箭。株行距25 cm×20 cm,试验共设3个处理,不同处理营养液配方见表1。试验采用开放式系统,不重复利用营养液。

收稿日期: 2011-10-26

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAD92B04)和湖北省自然科学基金重点项目(2009CDA097)

曾祥国, 硕士, 助理研究员。研究方向: 草莓育种与技术推广。E-mail: xiangguozeng1978@126.com

通讯作者: 顾玉成, 研究员。研究方向: 草莓育种、组织快繁和栽培技术与推广。E-mail: gych119@yahoo.com.cn

表 1 不同处理营养液配方¹⁾

Table 1 The formula of different nutrient solution

处理 Treatments	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	KNO ₃	(NH ₄) ₂ HPO ₄	MgSO ₄ · 7H ₂ O	NH ₄ NO ₃
1	295	303	62	246	
2	236	303	62	124	80
3	354	489	62	177	

1) 微量元素用量均为乙二胺四乙酸二钠铁 20 mg/L, 硼酸 2.86 mg/L, 硫酸锰 2.13 mg/L, 硫酸锌 0.22 mg/L, 硫酸铜 0.08 mg/L, 钼酸铵 0.02 mg/L。Trace elements dosage: Na₂FeEDTA 20 mg/L, H₃BO₃ 2.86 mg/L, MnSO₄ · 4H₂O 2.13 mg/L, ZnSO₄ · 7H₂O 0.22 mg/L, CuSO₄ · 5H₂O 0.08 mg/L, (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O 0.02 mg/L。

每个小区种植草莓 200 株, 小区面积、土壤肥力、管理措施等均相同。于 2009 年 9 月 13 日定植, 15 d 后用不同营养液浇灌(每处理重复 3 次), 营养液质量浓度及浇灌量根据天气及草莓生长时期而定, 结果期前为 1 倍剂量, 坐果后为 2 倍剂量(各营养液以表 1 中数值为 1 倍剂量), 每次浇灌量(0.45 L/株), 各处理营养液剂量及灌溉量完全一致。

1.3 调查内容

根据草莓的长势记载每花序的发育时期; 每隔 15 d 左右采用随机等位取样法取样 1 次, 测定植株地上部分和根系的鲜质量和干质量(不包括已现花序和果实的质量)。2009 年 12 月 20 日至 2010 年 3 月 30 日为果实采收期, 及时采收成熟草莓果实, 测单株产量。对 12 月 20 日采收的果实进行果实性状和农药残留物的测定。pH 值由 pH 计检测, 用硝酸和磷酸(等体积)混合液进行营养液调酸, pH 值控

制在 5.5~6.0。植株干质量为 75 °C 干燥 72 h 的质量。应用便携式光合测定仪测定叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、细胞间隙 CO₂ 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r), 并计算气孔限制值(L_s)。田间其他管理措施与一般草莓促成栽培相同。

2 结果与分析

2.1 不同营养液对草莓茎叶和根系的影响

由表 2 可见, 处理 2 的茎叶与根系的鲜质量与同期其他处理均差异不显著, 只是表现出随营养液总盐含量增加而减少的趋势。由 12 月 20 日和 2 月 5 日的测量结果可知, 同期茎叶与根系的干鲜比差异不显著, 但 3 月 25 日的茎叶干鲜比以处理 1 的最高, 根系的干鲜比以处理 2 的最高, 处理 3 的茎叶与根系的干鲜比均最低; 这可能与处理 3 中钙钾离子高于处理 1 和处理 2 有一定关系, 需进一步研究。

表 2 不同营养液对草莓茎叶和根系的影响¹⁾

Table 2 Effect of different nutrient solution on strawberry's stem, leaf and roots

处理 Treatments	调查日期 Survey date	茎叶 Stem and leaf			根系 Roots		
		鲜质量/g Fresh weight	干质量/g Dry weight	干鲜比/% Dry-fresh ratio	鲜质量/g Fresh weight	干质量/g Dry weight	干鲜比/% Dry-fresh ratio
1	2009-12-20	22.7 d	1.88 c	8.3 d	3.8 d	0.30 d	8.0 bc
	2010-02-05	40.0 abc	3.72 a	9.3 ab	8.9 a	0.80 ab	9.0 a
	2010-03-25	40.5 abc	3.81 a	9.4 a	8.7 ab	0.79 b	9.1 a
2	2009-12-20	23.2 d	1.90 c	8.2 d	4.6 c	0.36 d	7.8 c
	2010-02-05	41.7 ab	3.79 a	9.1 abc	9.3 a	0.86 a	8.8 ab
	2010-03-25	43.3 a	3.85 a	8.9 abcd	9.2 a	0.85 ab	9.2 a
3	2009-12-20	22.9 d	1.92 c	8.4 cd	3.9 cd	0.33 d	8.5 abc
	2010-02-05	39.3 bc	3.77 a	9.6 a	8.6 ab	0.79 b	9.2 a
	2010-03-25	37.2 c	3.20 b	8.6 bcd	8.1 b	0.71 c	8.8 ab

1) 表中同列数据不同字母表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著, 下同。Different letters in the column show significant difference at 0.05 level. The same as follows.

2.2 不同营养液对草莓开花结果的影响

由表 3 可知, 处理 2 的现花期和花期均比处理 1 和处理 3 略迟, 这表明物候期有随营养液总盐含

量的增加而提早的趋势。花量以处理 1 的最多, 其次为处理 3, 处理 2 的最少, 表明处理 1 中营养液的总盐含量在 3 个处理中更利于草莓成花和花朵发育。

表 3 不同营养液对草莓开花结实的影响

Table 3 Effect of different nutrient solution on strawberry's flowering and fruiting

处理 Treatments	第一花序 First clusters			第二花序 Second clusters			第三花序 Third clusters		
	现花期 Initial flowering phase	花期 Flowering phase	花朵数 Average flower number	现花期 Initial flowering phase	花期 Flowering phase	花朵数 Average flower number	现花期 Initial flowering phase	花期 Flowering phase	花朵数 Average flower number
1	2010-10-27	2010-11-09— 2010-11-29	12.93	2010-11-25	2010-12-12— 2011-01-27	17.1	2011-02-03	2011-02-12— 2011-03-05	11.5
2	2010-10-27	2010-11-09— 2010-11-30	11.20	2010-11-27	2010-12-14— 2011-01-28	14.5	2011-02-05	2011-02-26— 2011-03-08	10.2
3	2010-10-28	2010-11-08— 2010-11-26	12.16	2010-11-24	2010-12-10— 2011-01-26	16.0	2011-01-28	2011-02-21— 2011-03-03	11.0

2.3 不同营养液对单果质量、单株产量及果实品质的影响

由表 4 可知,不同营养液总盐含量对草莓的坐果没有影响,均能正常开花结果,但处理 3 的果实顶果中存在异形顶果(鸡冠果),一般出现鸡冠果的原因是草莓花芽分化时期植株营养供应中氮元素过量,这与处理 3 中氮含量最高相符合。处理 2 的单果质量最大,处理 1 和处理 3 的较小;单株产量以处理 1 的最高;果实的可溶性固形物和总糖含量由低到高的顺序依次为处理 3、处理 2、处理 1;各处理之间的果实硬度差异不显著;果实可滴定酸含量随营养液总盐含量升高有增加的趋势,但当增加到一定

质量浓度时,可滴定酸含量反而下降。

2.4 不同营养液对叶片光合特性的影响

由表 5 可见,净光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r)随生育期的延长呈下降趋势,但处理之间下降幅度不同;气孔导度(G_s)的峰值出现在结果初期;细胞间隙 CO_2 浓度(C_i)和气孔限制值(L_s)随生育期的变化幅度较小。在营养生长期,处理 2 的 P_n 显著低于处理 1,幅度为 13.4%。在果实成熟期,处理 1 的 P_n 值最高;处理 2 的 P_n 最低,比处理 1 低 48.4%;处理 3 比处理 1 低 31.7%。草莓叶片的 P_n 在营养生长期和果实成熟期的下降幅度大小依次为处理 2>处理 3>处理 1。从 3 个生育期不同营养液处理

表 4 不同营养液对草莓果实品质和产量的影响¹⁾

Table 4 Effect of different nutrient solution on strawberry's fruit quality and yield

处理 Treatments	单果质量/g Average fruit weight	整齐度 Uniformity	坐果率/% Fruit setting percentage	果实硬度/ (kg/cm ²) Fruit firmness	可溶性固形物/% Total soluble solid	可滴定酸/% Titratable acid	总糖/(mg/g) Total sugar	单株产量/g Plant yield	Vc 含量/ (mg/kg) Vitamin C
1	22.7 b	好 Good	100	0.32 a	13.9 a	0.76 a	68.4 a	295 a	718 a
2	24.0 a	较好 Better	100	0.31 a	13.4 a	0.67 b	65.5 b	240 c	699 b
3	23.2 a	一般 General	100	0.33 a	12.6 b	0.71 a	65.0 b	255 b	685 b

1)表中数据均为平均值,单果质量为第一花序果实测量值。Data in the table are in average,fruit weight as the first fruits measured values inflorescence.

表 5 不同营养液对草莓叶片光合特性的影响

Table 5 Effect of different nutrient solution on photosynthetic characteristic of strawberry leaves

时期 Stage	处理 Treatments	净光合速率/ (mmol/(m ² ·s)) P_n	气孔导度/ (mmol/(m ² ·s)) G_s	细胞间隙 CO_2 浓度/ (mmol/mol) C_i	气孔限 制值 L_s	蒸腾速率/ (mmol/(m ² ·s)) T_r
营养生长期 Vegetative growth stage	1	26.40 a	352.6 d	194.1 d	0.45 a	4.76 a
	2	22.87 cd	281.0 e	195.7 d	0.44 a	4.11 b
	3	26.11 ab	532.2 a	222.3 bc	0.36 b	4.90 a
结果初期 Fruit setting stage	1	24.26 bc	554.3 a	237.8 ab	0.32 cd	2.84 c
	2	21.94 d	416.6 c	242.3 ab	0.31 d	2.22 d
	3	23.94 cd	473.4 b	257.4 a	0.26 e	2.37 d
果实成熟期 Fruit mature stage	1	14.37 e	223.9 f	202.2 cd	0.42 a	2.36 d
	2	7.42 g	110.9 g	239.4 ab	0.32 cd	1.51 e
	3	9.82 f	112.3 g	226.1 b	0.35 bc	1.47 e

的 P_n 、 G_s 、 C_i 、 L_s 的变化可以看出, P_n 降低时, C_i 增高, L_s 降低, 这表明营养液总盐含量对草莓叶片 P_n 的影响是与叶肉细胞光合活性下降有关的非气孔因素造成的^[13]。蒸腾速率以处理 1 为最高, 说明处理 1 的蒸腾拉力大, 利于植株对矿质营养的吸收。

表 6 基质栽培草莓与无公害食品的残留检测对比

Table 6 The results of matrix cultivated strawberries pesticide residue and the pollution-free food residue testing standards

项目名称 Project name							mg/kg				
	铅 Pb	砷 As	镉 Cd	汞 Hg	铬 Cr	亚硝酸盐 (NaNO_2 计) Nitrites	乐果 Dimethoate	氰戊菊酯 Fenvalerate	杀螟硫磷 Fenitrothion	辛硫磷 Phoxim	多菌灵 Carbendazim
基质栽培 Matrix cultivated	0.01	0.014	0.003	0.010	0.010	1.42	—	—	—	—	—
无公害食品标准 The pollution-free food residue testing standards	≤ 0.200	≤ 0.500	≤ 0.030	≤ 0.010			≤ 1.000	≤ 0.020	≤ 0.500	≤ 0.050	≤ 0.500

3 讨 论

基质栽培生产高品质草莓是可行的, 当处理 1 营养液中硝酸钙 ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)、硝酸钾 (KNO_3)、磷酸氢二铵 ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)、硫酸镁 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、硝酸铵 (NH_4NO_3) 的含量分别为 295、303、62、246、0 mg/L 时有利于营养生长期草莓的生长, 表现为叶片较大且厚、花梗较粗、叶色浓绿; 并且也有利于草莓的生殖生长, 果实综合性状最好。Jung 等^[14]在对草莓品种 Bokyo Josang 的营养液栽培研究中认为, 铵态氮与硝态氮比例为 25 : 75 时果实产量最高, 但是每株花和果的数量在铵态氮与硝态氮比例为 75 : 25 时最多。本试验结果表明, 处理 1 中铵态氮与硝态氮为 5.5 : 1 时, 每株花和果的数量及产量都是最高的, 可能与供试草莓品种和栽培方式不同有一定关系。

营养液总盐含量对植物体内光合作用中光能转化为化学能有影响, 适宜的营养液总盐含量能提高叶片的净光合速率。对草莓叶片净光合速率的影响主要是由于叶肉细胞光合活性下降有关的非气孔限制因素造成的。本试验中 3 个营养液配方中, 处理 1 中镁离子质量浓度在结果前为 246 mg/L, 结果后为 492 mg/L, 均是最高。镁在植物的光合作用中有着十分重要的地位, 镁供应不足会导致叶片的光合速率和光合关键酶的活性下降, 从而对植物的生理代谢过程造成很大影响, 进而影响植物的生长发育, 因此, 在草莓基质栽培营养配方中合理增加镁含

2.5 不同营养液对草莓果实农药残留的影响

对草莓果实进行无公害检测, 主要检测果实中重金属含量、亚硝酸盐与硝酸盐含量, 以及农药残留等指标。由表 6 可知, 这些指标远远低于无公害食品 NY-5103-2002 的标准。

量对提高草莓光合作用是非常有利的。

参 考 文 献

- [1] KIM K M, ROUSH F W. Generalized fuzzy matrix[J]. Fuzzy Set and System, 1980, 4: 239-351.
- [2] 朱立武, 马定保, 杨建永. 关于安徽省草莓促成栽培规范化问题[J]. 安徽农学通报, 1998, 4(4): 32-33.
- [3] 张世田. 温室草莓栽培新技术[J]. 北方园艺, 1996(5): 29-32.
- [4] 朱子龙, 王秀峰, 王英, 等. 草莓无土栽培方式及基质配方研究[J]. 山东农业科学, 2008(8): 58-60.
- [5] 向发云, 曾祥国, 张鹏, 等. “晶瑶”草莓基质栽培与有土栽培生产性状比较[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(23): 4858-4860, 4899.
- [6] 赵恒田, 王新华. 寒区草莓无土栽培品种与基质筛选试验[J]. 农业系统科学与综合研究, 2001, 17(4): 319-320.
- [7] 李富恒, 王艳. 草莓无土栽培营养液的配制及管理[J]. 农业系统科学与综合研究, 2001, 17(3): 210-211, 214.
- [8] 朱立武, 江晓东, 杨建永, 等. 大棚无土栽培草莓生物学性状及其相关性研究[J]. 安徽农业大学学报, 2000, 27(4): 384-387.
- [9] 刘凤生. 裴孝伯, 李式军. 冬草莓无土栽培技术的研究[J]. 果树科学, 2000, 17(4): 290-294.
- [10] 吉沐祥, 李国平, 霍恒志, 等. 大棚草莓基质栽培技术规程[J]. 江苏农业科学, 2005(6): 98-100, 142.
- [11] 张辉明, 姜永平. 石灰氮在草莓重茬生产中的应用[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(15): 3159-3160, 3166.
- [12] 吕锐玲, 谢甲涛, 付艳萍, 等. 草莓褐斑病的病原鉴定及其生物学特性观察[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(4): 427-430.
- [13] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33: 317-345.

[14] JUNG T S, LEE K H. The effect of $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$ -N ratio on the growth, nitrogen concentration and Ca, Mg and K composition of strawberries grown in nutrient solution [G]//Korean

Society for Horticultural Science, Korean. Abstracts of Communicated Papers Horticulture Abstracts. [S. l.]: Korean Society for Horticultural Science, 1989, 7: 1, 62-63.

Effects of nutrient solution in soilless cultivation on plant growth, photosynthetic characteristics and fruit quality of strawberry

ZENG Xiang-guo FENG Xiao-ming XIANG Fa-yun
WU Run-ling ZHANG Peng GU Yu-cheng

Institute of Economic Crop, Hubei Academy of Agriculture Sciences, Wuhan 430064, China

Abstract Hydroponic experiments of strawberry were conducted with three formulations of nutrient solution to select the best formulations for soilless cultivation of strawberry. Several main characteristics of growth including the fresh weight and dry weight of overground plant and root, the growth of crown, the photosynthetic and quality of strawberry, the diameter of staminate flower, the growth amass were investigated. The results showed that the effect of nutrient solution with the content of calcium nitrate tetrahydrate, potassium nitrate, ammonium dihydrogen phosphate, magnesium sulfate and ammonium nitrate at 295, 303, 62, 246, 0 mg/L on the growing status and fruit quality of strawberry are better than that of the other 2 treatments. This nutrient solution formula was the most propitious for the growth of 'Jingyao' strawberry and the enhancement of the fruit quality among the three different treatments. That is, it facilitated the growth of strawberry in alimentation growth periods, and the leaves of 'Jingyao' strawberry was larger and thicker with a dark-green color, and the diameter of the pedicel was also larger. In addition, the nutrient solution formula was also conducive to the flowering promotion and the reproductive growth of strawberry, and resultes showed that the single fruit weight, yield and fruit quality is the best comparing to the other treatments. The results of this study provided academic and technological basis for establishing high yield and quality of strawberry in greenhouse substrate culture of irrigation and nitrogen application system

Key words strawberry; nutrient solution; growth characteristics; photosynthetic characteristics; yield; quality

(责任编辑:张志钰)