

水培菠菜不同配方的产量、品质主成分分析研究

王 瑞, 胡笑涛, 王文娥, 苏苑君, 乔 源, 张 栋

(西北农林科技大学 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:由于使用营养液提供完全营养,无土栽培蔬菜较传统栽培方法具有产量高、品质好等优点,而营养液配方是影响蔬菜的生长过程及最终产量及品质的重要因素之一。该试验以菠菜为试材,采用人工光环境条件下水培试验,比较了 0.8 倍 Hogland、日本山崎、日本园试、华南农大叶菜 A 等 4 个叶菜类常用营养液配方对菠菜品质、生物量动态的影响。结果表明:0.8 倍 Hogland 配方地上鲜重最大,华南农大叶菜 A 最小;地下鲜重日本山崎配方最大,华南农大叶菜 A 最小;日本园试配方菠菜的硝酸盐含量较低,可溶性糖、维生素 C 含量均为最高,生物量也较大;日本山崎配方的营养元素利用效率最高采用主成分分析法对多指标进行综合评判,日本园试配方得分最高,是 4 种配方中适宜菠菜水培的营养液配方。

关键词:水培菠菜;品质;产量;元素利用效率

中图分类号:S 636.104⁺.7 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2016)10-0027-05

近年来,随着人们生活水平的提高,对蔬菜需求量大大增加,同时对蔬菜品质也有了较高的要求。为了追

求高产,在蔬菜种植过程中农民盲目施肥,导致蔬菜品质降低、硝酸盐含量过高,并产生土壤次生盐碱化和连作障碍等问题^[1]。无土栽培是一种高效农业技术措施,适应面广,节约土地,可以突破传统的农业种植方式,不再受到时间、空间的限制,人为的控制农业生产。水培作为无土栽培的一种,可以通过控制植物外界因素以及营养液环境使得蔬菜处于生长发育所需的最佳环境,完全实现农作物周年连续生产的高效农业,有着生长周期

第一作者简介:王瑞(1991-),女,硕士研究生,研究方向为农业节水理论与技术。E-mail:wangrui19911128@163.com.

责任作者:胡笑涛(1972-),男,博士,副教授,研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail:huxiaotao11@nwsuaf.edu.cn.

基金项目:国家“863”计划课题资助项目(2013AA103004)。

收稿日期:2015-12-16

Abstract: Taking ornamental tomato ‘red pearls’ as materials that were cultivated with plastic pots of 5 different volumes, in order to explore effects of root volume on the growth and development of ornamental tomato. The results showed that with the different root volume, the growth index and the photosynthetic characteristics were significant difference, all its plant height, stem diameter, dry and fresh weight and root activity were increased and then decreased with smaller flowerpots volume. From the fruit setting stage to fruit mature period, the increase scope of T3 plant height (29.6%) was the biggest, and the increase scope of T2 stem diameter (41.48%) was the biggest; the root activity of fruit mature period was obviously lower than fruit setting stage, and the fruit setting stage of T4 was the strongest, reached $57.17 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; with smaller flowerpots volume, the Tn of ornamental tomato increased, the WUE reduced gradually, the Gs, the Ci, and the Pn all increased and then decreased, each the Gs and the Ci of T4 were the highest, and T1 were the lowest; the Pn of T2 was the strongest. With smaller flowerpots volume, the per plant yield was increased and then decreased, the T3 was the highest with 181.24 g, and the T5 was the lowest with 124.6 g; the titratable acid, soluble sugar and vitamin C all increased gradually. On the basis of the above analysis, the flowerpots volume of T2 and T3 were suitable for the growth of ornamental tomato.

Keywords: root volume; root restriction culture; ornamental tomato; growth and development

短,产量高、品质好、省水、省肥等优点^[2],已成为国内外园艺发展的重要技术。无土栽培不同配方间的养分组成和浓度都不尽相同,对蔬菜的产量和品质所产生的影响也不同,不同作物对营养液的适应性也存在一定差异^[3],因此对营养液配方进行优选是保证无土栽培高产和优质的重要环节。一些学者研究了水培条件下不同配方营养液对大葱^[4]、生菜^[5]、小白菜^[6]等产量和品质的影响,也有学者研究了不同配方对观赏类植物仙客来^[7]、白掌、太阳神^[8]的影响。

在我国,菠菜是一种非常受欢迎的叶菜类蔬菜,但目前国内外多种营养液配方大多都是基于生菜,对于菠菜水培适应性配方以及不同生育阶段营养液养分需求动态变化的研究较少。该试验以菠菜为试材,选择常用的4种叶菜类水培配方,比较产量、品质、主要营养元素的利用效率,为菠菜水培配方的筛选提供依据。

表 1

4 种不同营养液大量元素配方

Table 1

Four different nutrient solution formula of macroelements

盐类/(mg·L ⁻¹)	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	KNO ₃	KH ₂ PO ₄	MgSO ₄ ·7H ₂ O	NH ₄ H ₂ PO ₄	CaSO ₄ ·2H ₂ O
Hogland	945	607	—	493	115	—
日本山崎	236	404	—	123	57	—
日本园试	945	809	—	493	153	—
华南农大叶菜 A	—	322	150	150	—	750

表 2 营养液微量元素通用配方
(各配方通用)

Table 2 The nutrient solution formula (formula of trace elements in the general)

化合物名称	营养液中化合物含量 (/mg·L ⁻¹)	营养液中元素含量 (/mg·L ⁻¹)
EDTA-NaFe(含铁 14%)	30.00	5.60
H ₃ BO ₃	2.86	0.50
MnSO ₄ ·4H ₂ O	2.13	0.50
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22	0.05
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.08	0.02
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.02	0.01

1.3 项目测定

菠菜鲜重、干重的测定均采用 ES-3002H 电子天平;pH 的测定采用 FE20K pH 计;电导率值的测定采用 FE30K PLUS 电导率仪;植物样品与营养液的取样均为 10 d 测 1 次,其中营养液中 N 元素的测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法^[9];P 元素测定采用总磷采用钼酸铵分光光度法^[10];Ca、Mg、K 原子利用吸收分光光度法^[10];40 d 后收获,测定叶片各品质指标,其中维生素 C 含量的测定采用滴定法;可溶性糖含量的测定采用蒽酮法;可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝 G-205 法;硝酸盐含量的测定采用水杨酸法^[11]。通过计算每个阶段中生物量与元素减少量的比值可得对应元素的利用效率。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部国家重点实验室植物工厂里进行。以菠菜“邦德 F1 号”为试材,选择日本山崎、日本园试、0.8 倍 Hogland(以下统称 Hogland 配方)和华南农业大学叶菜 A 4 种营养液配方(表 1),微量元素选择通用配方(表 2),每个配方设置 6 个重复。

1.2 试验方法

采用育苗移栽,4 叶 1 心进行定植,将根部洗净后定植于泡沫板上,每箱种植 4 棵。每隔 4 d 测 pH、2 d 测电导率,控制 pH 在 5.5~6.5。每天早晚各通 1 次氧。

1.4 数据分析

数据采用 SPSS 20.0 软件进行统计检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同配方对水培菠菜生物量的影响

菠菜属于叶菜的一种,叶片对于营养生长和产量的提高有着重要作用,同时是进行光合作用、合成碳水化合物的主要器官。由图 1 可知,不同处理菠菜的鲜重都是随着时间的延续而增加的,在定植的前 10 d 结果相差不大,采收前 10 d 增幅较快,Hogland 配方最高,日本园试配方产量稍低,但未达到差异显著性水平,华南农大叶菜 A 配方的产量显著低于 Hogland 配方,这与配方中元素浓度以及元素之间的配比有关。

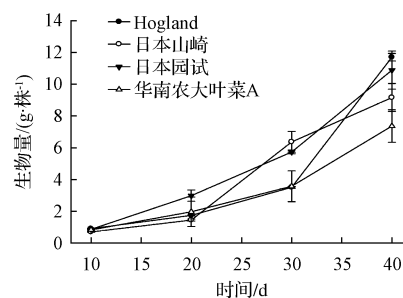


图 1 不同营养液配方生物量增长曲线

Fig. 1 Biomass increase of different nutrient solution formula

由表 3 可以看出,日本园试配方叶片数显著小于其它 3 种配方;4 种配方间地上干质量差异不显著,地下干质量 Hogland 配方显著高于其它 3 种配方,根冠比能够

较好的反映植物的生长状况,Hogland 配方最高,其它 3 种均显著较低。

表 3 不同营养液配方条件下水培菠菜生长指标

Table 3 Effect of different formulations of hydroponic nutrient solution spinach biomass						
配方	叶片数	地上鲜质量/(g·株 ⁻¹)	地下鲜质量/(g·株 ⁻¹)	地上干质量/(g·株 ⁻¹)	地下干质量/(g·株 ⁻¹)	根冠比
Hogland	10.00±0.00a	10.58±0.12a	1.13±0.05a	0.70±0.01a	0.49±0.15a	0.70±0.22a
日本山崎	10.00±0.00a	7.92±1.97ab	1.25±0.31a	0.59±0.14a	0.10±0.02b	0.17±0.00b
日本园试	9.00±0.00b	9.90±0.02a	0.99±0.01a	0.62±0.01a	0.07±0.01b	0.12±0.01b
华南农大叶菜 A	10.00±0.00a	6.42±0.32b	0.95±0.02a	0.51±0.01a	0.08±0.00b	0.15±0.00b

注:同列数据后不同字母表示不同处理间差异达到 5%的显著性水平,下同。

2.2 不同配方对水培菠菜品质的影响

作为常见的食用叶菜类蔬菜,菠菜品质备受关注,已有研究表明营养液的组成和成分显著影响水培条件下蔬菜的营养和卫生品质^[12]。硝态氮是评价蔬菜品质的重要指标之一^[13],一般要求在 3 000 μg·g⁻¹ 以下。从表 4 可以看出,4 种配方处理下菠菜的品质指标表现出明显差异,对于不同营养液配方水培菠菜的硝酸盐含量,Hogland>日本山崎>日本园试>华南农大叶菜 A。华南农大叶菜 A 配方硝酸盐含量低的原因可能是配方中 N 元素含量较其它配方低,且铵硝比也相对较高,汪建飞等^[14]研究表明,随着铵硝比的降低,菠菜茎叶中硝酸盐、亚硝酸盐的含量均表现为线性增加,此外,与日本山崎配方相比,日本园试配方中虽然氮素总量最大,达

到 242.6 mg·L⁻¹,但硝酸盐含量却明显较低,可能的原因是日本山崎配方中 P 元素的含量较低,使得硝酸盐累积较多,这与高祖明等^[15]在生菜中的研究一致,缺磷比增氮更易引起叶菜类蔬菜组织中硝酸盐积累;可溶性糖含量在 4 种配方间没有达到差异显著水平;维生素 C 可以阻断致癌物 N-亚硝基化合物合成、预防癌症,4 种配方中维生素 C 含量差异显著,日本园试配方最高,分别是日本山崎配方的 1.24 倍,Hogland 配方的 1.73 倍,华南农大叶菜 A 配方的 2.36 倍,这与日本园试、日本山崎 2 种配方中硝铵比较低有关,在一定范围内,随着铵硝比的降低,维生素 C 含量上升^[16];可溶性蛋白质含量差异也较为显著,华南农大叶菜 A>日本园试>Hogland>日本山崎。

表 4 不同营养液配方对水培菠菜品质指标的影响

Table 4 Different formulations of hydroponic nutrient solution spinach quality indicators				
配方	硝酸盐/(μg·g ⁻¹)	可溶性糖/(mg·g ⁻¹)	维生素 C/(mg·g ⁻¹)	可溶性蛋白质/(mg·g ⁻¹)
Hogland	3 918.08±29.66a	4.367±0.21a	0.938±0.02c	7.379±0.02c
日本园试	1 987.58±184.29c	4.537±0.01a	1.625±0.07a	8.282±0.14b
日本山崎	3 075.68±127.74b	4.279±0.08a	1.313±0.12b	5.009±0.00d
华南农大叶菜 A	1 367.85±97.01c	4.221±0.24a	0.688±0.05d	9.377±0.31a

2.3 不同营养液配方对菠菜主要营养元素利用效率的影响

营养元素的利用效率反映菠菜对养分的利用程度,现代农业要求高效低耗,较高的利用效率能够实现降耗的目的。菠菜对不同配方的营养液不同营养元素吸收不同,从表 5 可以看出,氮元素的利用效率日本山崎配方最高,Hogland 次之,日本园试配方最小;磷、钾 2 种元

素利用效率一致,均为 Hogland>日本山崎>华南农大叶菜 A>日本园试;钙元素利用效率为日本山崎与华南农大叶菜 A 2 种配方相当,均显著高于其它配方,日本园试配方最低,只占日本山崎配方的 40%;镁元素利用效率日本山崎配方最高,是日本园试配方的 1.04 倍,是华南农大叶菜 A 配方的 2.54 倍,但与 Hogland 配方相差不大。

表 5 各营养元素利用效率

Table 5 Efficiency of each element					
配方	氮效率	磷效率	钾效率	钙效率	镁效率
Hogland	0.646±0.005b	3.747±0.098a	1.245±0.049a	0.868±0.031b	4.325±0.022b
日本园试	0.374±0.002d	1.434±0.022d	0.511±0.031d	0.536±0.013c	1.767±0.024d
日本山崎	0.883±0.036a	2.829±0.000b	1.110±0.060b	1.336±0.314a	4.481±0.101a
华南农大叶菜 A	0.524±0.005c	1.826±0.002c	0.750±0.040c	1.327±0.059a	3.564±0.025c

注:营养元素利用效率=生物量/营养液营养元素减少量。

2.4 基于主成分分析的水培菠菜最佳营养液配方筛选

2.4.1 菠菜产量与品质指标的相关矩阵 以试验中不同配方营养液条件下菠菜的产量、硝酸盐、维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白质作为评价指标,避免不同指标差距数量级过大,可以参用除平均值进行标准化,然后再进行主成分分析。为保证评价指标的优劣方向一致,需要对低劣指标进行同趋化处理,即在取低劣指标的负值。相关参数的统计量见表 6,样本相关矩阵 R 值见表 7。

表 6 不同配方营养液菠菜评价参数统计量

Table 6 Different evaluation parameters spinach statistics nutrient solution

评价指标	统计量			
	平均值	最小值	最大值	标准差
X_1	1.000 0	0.737 5	1.215 4	0.217 78
X_2	1.000 0	0.554 4	1.588 0	0.502 14
X_3	1.000 0	0.603 9	1.426 7	0.361 41
X_4	1.000 0	0.667 8	1.250 2	0.246 90
X_5	1.000 0	0.969 3	1.043 1	0.032 02

注: X_1 为地上鲜质量、 X_2 为硝酸盐、 X_3 为维生素 C、 X_4 为可溶性蛋白质、 X_5 为可溶性糖。下表同。

2.4.2 特征值、特征向量和品质综合主成分 主成分分析法能够将多个指标转化成较少、由原来的指标线性组合的几个综合指标,并且彼此之间不相关,因此可以减少分析的指标个数,实现用较少指标来反映实际情况。

表 8 主要成分系数和贡献率

Table 8 Main component coefficient and the contribution rate

主成分	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
f_1	-0.602	0.547	-0.201	0.541	-0.072	-0.602	52.738	52.738
f_2	-0.054	0.260	0.677	0.019	0.686	1.805	36.100	88.838

表 9 不同配方营养液菠菜品质与产量在一二主成分上的综合得分

Table 9 Different nutrient solution quality and yield of spinach on one or two main ingredients of the composite score

序号	得分指标	第一主成分	第二主成分	综合得分	位次
1	Hogland	-1.305	0.787	-0.405	4
2	日本园试	-0.649	1.495	0.197	1
3	日本山崎	-1.305	1.079	-0.300	3
4	华南农大叶菜 A	-0.261	0.915	0.192	2

3 结论与讨论

产量与品质是现代农业发展的 2 个核心问题,无土栽培中营养液是植株赖以生存的根际环境,也是植株的主要营养来源。不同配方对植株的产量、品质存在一定影响。该试验研究表明,地上鲜重 Hogland 最高,与日本园试配方相近;地下干重与根冠比 Hogland 配方显著高于其它配方;硝酸盐含量 Hogland 配方最高,可能与

表 7 不同配方营养液菠菜评价参数相关矩阵

Table 7 Different nutrient solution spinach evaluation parameter correlation matrix

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
X_1	1.000				
X_2	-0.953	1.000			
X_3	0.201	0.105	1.000		
X_4	-0.766	0.648	-0.385	1.000	
X_5	0.121	0.108	0.781	0.097	1.000

采用 IBM SPSS Statistics 20 软件对各种指标进行主成分分析计算,特征值、特征向量、贡献率、累计贡献率见表 8。前 2 个主成分的累计方差贡献率达到了 88.838%,超过了 85%,因此即包含原始变量的大部分变异信息,又可以降低变量的个数。第一主成分 f_1 的贡献率是 52.738%,其中特征向量中绝对值较大的分量是地上鲜质量(X_1)、硝酸盐(X_2)、可溶性蛋白质(X_4),值分别为 -0.602、0.547、0.541,这 3 个指标从不同方面反映了不同营养液配方对菠菜的影响,且第一主成分包含的信息量比较大,它的解释能力最强,所占超过一半的比例。第二主成分的贡献率为 36.100%,特征向量中绝对值较大的分量为硝酸盐(X_2)、维生素 C(X_3)、可溶性糖(X_5)。将第一主成分和第二主成分进行综合分析、构建综合主成分,结果见表 9,看出综合得分最高的是日本园试配方,最低的是 Hogland 配方,故适合菠菜水培的最佳配方为日本园试。

其配方的含氮量较高存在一定关系,硝酸盐含量与供氮水平有着很大相关性,而且相关系数 r 达 0.603~0.999;维生素 C 含量日本园试配方最高,华南农大叶菜 A 最低。

营养液中的主要元素总量随时间降低。N、P、Ca 3 种元素出现了明显奢侈吸收现象;4 种配方中 K 元素总量的下降趋势基本一致,在整个生育期的下降速度变化

不大;镁元素总量前期变化较小,后期变化较快,主要原因是后期叶面积增加较快,叶绿素合成量较多,需求量增大。

磷、钾 2 种元素的利用效率规律相同,均为 Hogland 配方最大,日本园试最低,氮元素的利用效率情况与之有相同之处,这与马磊等^[17]在生菜的研究中的结果相符,氮、磷、钾 3 种元素具有相互促进的作用。总体来看,镁元素的利用效率明显高于其它元素。

不同配方对水培菠菜的产量、品质、元素利用效率的影响不同。从产量与品质来看,Hogland 配方产量最高,但硝酸盐含量超标,日本园试配方产量与 Hogland 相近,硝酸盐含量较低,维生素 C 含量最高,是适合菠菜水培的配方,华南农大叶菜 A 配方产量、硝酸盐含量、维生素 C 含量均为最低,不适合菠菜栽培;日本山崎配方具有较高的营养元素利用效率。

主成分分析采用降维的方式,可以在较少损失原有指标变异信息的情况下将多个指标转化成一个综合指标来评判,从计算结果来看,主成分综合得分最高的是日本园试配方。

参考文献

- [1] 张英鹏,林咸永,张永松. 供氮水平对菠菜营养品质和体内抗氧化酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(3):519-523.
- [2] 张蕊. 水培生菜栽培技术[J]. 北方园艺,2011(19):54-55.
- [3] 侯迷红,范富,宋桂云,等. 不同配方营养液对三种叶菜产量和品质的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版),2011,6(5):541-543.
- [4] 陈伟,陈运起,高莉敏,等. 大葱无土育苗营养液配方筛选[J]. 山东农业科学,2012,44(11):41-43.
- [5] 杨世民,朱果利,刘熔山. 生菜无土栽培营养液配方的优选[J]. 四川农业大学学报,1996,14(4):501-504,540.
- [6] 金玲. 小白菜水培营养液配方筛选[J]. 河南农业科学,2007(9):82-85.
- [7] 陈佳瀛,姜玉霞,潘静娴,等. 不同营养液配比对仙客来花期生长的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(2):340-342,356.
- [8] 黄益鸿,周杰良,雷东阳. 不同营养液对水培观赏植物的影响[J]. 湖北农业科学,2010,49(1):112-114.
- [9] 国家环境保护局规划标准处. 水质总氮的测定碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法[S]. 北京:中国国家标准化管理委员会.
- [10] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [11] 别之龙,徐加林,杨小峰. 营养液浓度对水培生菜生长和硝酸盐累积的影响[J]. 农业工程学报,2005,12(增刊):109-112.
- [12] 丁文雅,郭小撑,刘敏娜,等. 不同营养液配方对雾培生菜生物量和营养品质的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2012,38(2):175-184.
- [13] 赵护兵,王朝辉,李生秀. 菠菜不同器官硝态氮与钾素的含量及关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(4):43-46.
- [14] 汪建飞,董彩霞,沈其荣. 不同铵硝比对菠菜生长、安全和营养品质的影响[J]. 土壤学报,2007,44(4):683-688.
- [15] 高祖明,张耀栋,张道勇,等. 氮磷钾对叶菜硝酸盐积累和硝酸盐还原酶、过氧化物酶活性的影响[J]. 园艺学报,1989,16(4):293-297.
- [16] 张春兰,高祖明,张耀栋,等. 氮素形态和 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 与 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 配比对菠菜生长和品质的影响[J]. 南京农业大学学报,1990,13(3):70-74.
- [17] 马磊,梅凤娴,郑少玲. 不同氮磷钾水平对生菜产量及体内养分的影响[J]. 仲恺农业技术学院学报,2006,19(4):13-16.

Study on Different Nutrient Solution Formula Hydroponics on Spinach Yield, Quality and Major Elements of Consumption

WANG Rui, HU Xiaotao, WANG Wen'e, SU Yuanjun, QIAO Yuan, ZHANG Dong

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Nutrient solution provides complete nutrition, soilless cultivation of vegetables than traditional cultivation methods with high yield, good quality, etc., while the nutrient solution formulations affect vegetable growth, yield and quality. With spinach as test materials, use hydroponic plant factory test, apply 0.8 times Hogland, Japan Yamazaki, Japanese garden tries, South China Agricultural University and other leafy A four leafy hydroponic nutrient solution commonly used formula, compared to spinach quality and dynamics of biomass. The results showed that 0.8 times the weight of the largest fresh ground Hogland recipe, Huanong A was minimum; the largest underground fresh weight Yamazaki formula, Huanong A minimum; try the recipe spinach garden low nitrate content of soluble sugar, vitamin C contents were the highest, biomass was also larger; nutrient use efficiency Yamasaki recipe highest principal component analysis method for multi-index comprehensive evaluation, the highest scores were four formula suitable for spinach hydroponic nutrient solution formula.

Keywords: hydroponic spinach; quality; production; element utilization efficiency