

# 培养液浓度对 NFT 栽培生菜生长发育的影响

范双喜<sup>1</sup>, 伊东正<sup>2</sup>

(1. 北京农学院 园艺系, 北京 102206; 2. 千叶大学 园艺学部, 日本 松户市 271- 648)

**摘要:** 选用 NFT 主栽生菜品种为材料, 采用通用营养液配方, 研究了不同培养液浓度对生菜生长发育的影响。结果表明, 浓度为 5/4 倍时生育最好, 产量最高, 其余的依次为 1 倍 > 3/4 倍 > 3/2 倍 > 1/2 倍 > 1/4 倍。但从生产实用性综合选择, 以 3/4 倍浓度最适。形成产量差异的原因是: 适宜浓度下, 生菜分化叶片快, 叶绿素含量高, 叶形比低, 叶片生长快; 发根早, 根系多, 根重大。叶片和根系中 N, P, K, Ca, Mg 含量与培养液浓度并不成线性关系。

**关键词:** 生菜; NFT 栽培; 营养液; 浓度; 生育

中图分类号: S636.2 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2002) 02- 0092- 05

1973 年, 印度的 Sholto Douglas 发明了营养液膜栽培即 NFT 技术。1979 年英国温室作物研究所的 Allen J. cooper 在此基础上进行了改良, 确立了 NFT 应用技术体系<sup>[1]</sup>。其后, 作为无土栽培的主要方式, 在世界范围内开始了植物工厂化生产的应用。与国外相比, 我国无土栽培技术应用研究才刚刚起步, 且研究多侧重于有机生态型栽培模式<sup>[2]</sup>, 对 NFT 技术应用少有报道。

近年来, 随着设施农业和菜蓝子工程建设的发展, 对周年均衡供应优质、无公害绿叶蔬菜提出了更高要求。在我国大中城市近郊应用无土栽培技术生产生菜、水芹、蕹菜等绿叶蔬菜, 对克服人多地少及连作障碍, 实现周年高效生产具有重要作用。特别是生菜已成为世界各国 NFT 栽培最为普遍的蔬菜。因此, 本试验以散叶生菜为试材, 在已筛选生菜营养液组成的基础上, 对不同培养液浓度对生菜生长发育的影响及产量构成进行了研究。为 NFT 技术在我国迅速应用和进一步实用化提供理论基础和可借鉴的技术方法。

## 1 材料和方法

试验于 1998~ 1999 年在日本国立千叶大学附属农场进行。以日本 NFT 水培散叶生菜专用栽培品种“绿生”为供试材料。浸种催芽后, 播于预先装有蛭石的 228# 育苗穴盘中, 采用 1/4 倍园试均衡营养液配方<sup>[3]</sup>育苗, 三叶一心时, 定植于 NFT 栽培床。在双屋面连栋塑料大棚中, 设置 NFT 栽培床, 床长 10 m, 床宽 72 cm, 坡降 1.4%, 床距 1 m。培养液以园试配方为标准浓度, 试验设计浓度分别为 1/4 倍、1/2 倍、3/4 倍、1 倍、5/4 倍、3/2 倍园试标准液, 营养液组成及营养液电导率(Ec)如表 1。每一栽培槽培养液量均为 100 L, 流量 2 L·min<sup>-1</sup>, 24 h 连续循环。7 d 调液一次, 添加水与营养液至原始浓度与液量, 操作前后采样, 分析营养液浓度变化。营养液 pH 值稳定在 6.5~ 6.7 之间。温度、光照、湿度、通

收稿日期: 2001- 09- 06

基金项目: 国家教育部留学基金委资助项目(97811034)

作者简介: 范双喜(1964- ), 男, 副教授, 博士研究生, 主要从事蔬菜栽培生理的教学与研究工作。

风换气等环境与栽培因子完全相同。

表 1 营养液组成与营养液电导率

浓度	营养液组成( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )						Ec ( $\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ )
	$\text{NO}_3\text{-N}$	P	K	Ca	Mg	S	
1/4 倍	4.0	0.33	2.0	1.0	0.5	0.5	0.62
1/2 倍	8.0	0.67	4.0	2.0	1.0	1.0	1.23
3/4 倍	12.0	1.00	6.0	3.0	1.5	1.5	1.85
1 倍	16.0	1.33	8.0	4.0	2.0	2.0	2.46
5/4 倍	20.0	1.66	10.0	5.0	2.5	2.5	3.04
3/2 倍	24.0	2.00	12.0	6.0	3.0	3.0	3.66

生菜定植株行距为 18 cm×18 cm，每一栽培槽种植 50 株。定植 7 d 后，每周取样一次，分析不同处理生菜分化叶片数、株高、干鲜重、根系生长状况及产量构成、商品性状变化等。各项指标均设 3 次重复。用手持 SPAD-502 叶绿素仪检测各处理叶色值，依叶绿素定量测定法换算成叶绿素含量。植株分地上部和地下部，在 80 ℃下干燥 72 h 至恒重。烘干灰化，硫酸-过氧化氢分解后，利用原子吸收法测定 K、Ca、Mg 含量；钼酸铵比色法测定 P； $\text{NO}_3\text{-N}$  采用紫外吸收法测定。

2 结果与分析

2.1 不同浓度下生菜叶片生长变化

定植后第 2 周开始，分生长前、中、后期，连续 3 次从 NFT 栽培床上、中、下游随机各取 6 株分析叶片生长状况(表 2)。

表 2 营养液浓度对生菜叶片生长的影响

处理	定植后 周数	株高 (cm)	叶数(片)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	叶形比 (长/宽)	叶鲜重 (g)	叶干重 (g)	叶干重/叶 鲜重(%)	叶重/株高
1/4 倍	2	14.5	8	13.7	6.5	2.1	10.97	0.653	5.95	0.76
	3	19.8	12	16.6	11.0	1.5	22.68	1.165	5.14	1.15
	4	27.8	18	21.8	15.6	1.4	84.20	3.668	4.36	3.03
1/2 倍	2	14.8	9	14.2	6.5	2.2	11.65	0.655	5.62	0.79
	3	21.7	13	19.2	13.2	1.5	27.82	1.537	5.52	1.28
	4	29.0	20	23.5	18.0	1.3	109.00	4.210	3.86	3.76
3/4 倍	2	15.6	11	14.6	9.7	1.9	14.90	0.966	6.48	0.96
	3	22.3	15	19.5	14.9	1.3	34.93	2.016	5.77	1.57
	4	31.0	23	24.3	20.6	1.2	128.40	5.079	3.96	4.14
1 倍	2	16.4	12	14.8	9.6	1.5	22.52	1.247	5.54	1.37
	3	23.4	17	20.6	15.1	1.4	44.65	2.445	5.48	1.91
	4	31.5	23	25.0	21.0	1.2	130.20	5.240	4.02	4.13
5/4 倍	2	16.8	12	15.1	10.2	1.5	23.18	1.352	5.83	1.38
	3	24.0	17	21.1	15.7	1.3	46.22	2.531	5.48	1.93
	4	31.7	23	25.5	21.4	1.2	132.70	5.300	3.99	4.19
3/2 倍	2	14.7	10	14.3	7.2	2.0	12.43	0.752	6.04	0.85
	3	22.0	15	19.8	13.7	1.4	29.06	1.624	5.59	1.32
	4	28.5	22	22.9	17.8	1.3	112.30	4.460	3.97	3.94

表 2 说明, 随着生育进程, 各处理叶片分化与生长呈相同的增长趋势。单株叶鲜重 5/4 倍> 1 倍> 3/4 倍> 3/2 倍> 1/2 倍> 1/4 倍, 前三者差异不显著。由于各处理间株高相近, 因此造成产量差异的原因主要是分化叶片数和叶重不同。不同生长期叶片横向扩展较纵向生长快, 故叶形比降低。尤其是 3/4 倍、1 倍和 3/2 倍 3 个处理生长末期最大叶形比均为 1.2, 低于其他处理。进一步分析发现, 随着生长发育, 不同处理叶片干重率均降低。生长初期各处理间叶片干重率差异较大, 但采收前差异不显著。

2.2 营养液浓度对生菜根系生长与短缩茎伸长的影响

与常规土壤栽培浇水追肥不同, NFT 栽培连续循环供液, 形成了一特有的根际微环境。因而对生菜根系生长及短缩茎有不同的影响(表 3)。不同长度的根系表明根系分化与生长的阶段不同, 各种根系的数量与质量对其地上部不同阶段的生长发育起着重要作用。

表 3 不同浓度下生菜根与茎生长分析

处理	根数(条/株)			根鲜重 (g)	根干重 (g)	根干鲜 比(%)	茎长 (cm)	茎粗 (cm)	茎鲜重 (g)	茎干重 (g)	茎干鲜 比(%)
	> 30 cm	20~ 30 cm	< 20 cm								
1/4 倍	5 aA	7 A	12 A	6.89 aA	0.269 A	3.9	3.8	1.05 a	7.13 a	0.442 A	6.2
1/2 倍	6 aA	9 A	10 A	8.58 bB	0.358 B	4.2	3.9	1.17 b	7.85 ab	0.502 A	6.4
3/4 倍	9 bB	12 B	7 B	9.75 cB	0.442 C	4.5	4.1	1.30 c	9.40 bc	0.634 B	6.7
1 倍	10 bB	14 B	5 B	10.02 cB	0.481 C	4.8	4.2	1.33 c	9.79 c	0.685 BC	7.0
5/4 倍	12 cB	14 B	4 B	10.16 cB	0.498 C	4.9	4.2	1.36 c	10.10 c	0.717 C	7.1
3/2 倍	8 bAB	11 B	12 A	8.74 bB	0.438 C	5.0	4.0	1.20 b	8.20 b	0.599 B	7.3

注: 同列中不同大写字母表示差异极显著, 不同小写字母表示差异显著。表 4, 表 5 同

由表 3 看出, 随着营养液浓度提高, 单株根数逐渐增加, 一般为 24~ 31 条, 且不同长度根系分布不同。除 3/2 倍外, 随浓度递增, 长根数增加。发新根早, 根系生长快, 根量大, 根重增加。5/4 倍, 1 倍和 3/4 倍根鲜重显著高于其他处理, 但根干鲜比则随浓度提高而增加。茎重及茎干鲜比与根系生长也有类似规律。造成不同处理短缩茎重量差异的原因是茎粗不同, 而茎长无显著差异。

2.3 营养液浓度对生菜植株中无机成分含量的影响

栽培终了时, 单株采收, 叶片和根系分别称重、烘干, 测定其无机成分含量, 结果见表 4。除 3/2 倍处理外, 随着营养液浓度提高, 叶片和根系中 N, P, K, Ca, Mg 含量均不同程度地提高。同一处理叶片中各无机成分含量均高于根系。当营养液浓度为 3/2 倍时, 可能由于较高的浓度抑制了营养生长, 从而影响植株体内无机成分的吸收和积累。试验中还发现, 3/2 倍浓度区部分新叶叶缘褐变, 叶片内卷, 呈现缺 Ca 症状<sup>[4]</sup>, 而 Ca 浓度较低的 1/4 倍区

表 4 营养液浓度对生菜叶片与根中无机成分含量的影响

处理	叶片(%)					根(%)				
	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	K	Ca	Mg	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	K	Ca	Mg
1/4 倍	4.68 A	0.47 A	6.63 a	0.72 A	0.64 a	3.82 A	0.38 A	5.28 a	0.59 A	0.52 a
1/2 倍	5.12 A	0.56 A	6.92 a	0.85 A	0.69 a	3.95 A	0.45 A	5.46 a	0.68 A	0.53 a
3/4 倍	6.74 B	0.78 B	7.44 ab	1.27 B	0.78 ab	5.64 B	0.66 B	5.97 ab	1.13 B	0.65 b
1 倍	6.85 B	0.83 B	7.86 b	1.35 BC	0.84 bc	5.67 B	0.74 B	6.31 bc	1.17 B	0.69 b
5/4 倍	7.03 B	0.86 B	8.13 b	1.41 C	0.90 bc	6.12 B	0.78 B	6.96 c	1.24 B	0.78 c
3/2 倍	6.68 B	0.76 B	7.47 ab	1.24 B	0.75 ab	5.60 B	0.65 B	6.03 ab	1.08 B	0.61 ab

未发现缺 Ca 植株。这可能与培养液浓度过高, 特别是 K, Mg 浓度过高, 抑制了 Ca 的吸收有关<sup>[5]</sup>。说明由于栽培因子控制不当引起 Ca 吸收和运转不良, 较培养液中 Ca 缺乏更易引起生菜缺钙症, 应用时须引起注意。

### 2.4 水培生菜产量构成

水培生菜达适宜采收标准时, 单株采收。每一处理均称量 30 株, 单株产量分解为外叶(1~ 6 片), 中叶(7~ 13 片), 内叶(其余叶片)、内茎。叶质厚薄用单位面积叶重表示, 同时比较不同处理叶色差异, 结果见表 5。

表 5 营养液浓度对生菜产量的影响

处理	叶绿素 (mg·g <sup>-1</sup> )	单位面积叶重 (mg·cm <sup>-2</sup> )	单株鲜重(g)				折合产量 (kg·hm <sup>-2</sup> )
			外叶	中叶	内叶	内茎	
1/4 倍	0.78 aA	23.6 a	40.0(44%)	28.2(31%)	12.7(14%)	10.0(11%)	28 095 A
1/2 倍	0.92 bA	22.5 a	49.5(43%)	35.7(31%)	18.4(16%)	11.5(10%)	35 505 B
3/4 倍	1.16 cB	21.2 ab	55.2(40%)	40.0(29%)	29.0(21%)	13.7(10%)	42 615 C
1 倍	1.23 cB	20.3 ab	54.0(38%)	39.8(28%)	32.7(23%)	15.6(11%)	43 845 C
5/4 倍	1.27 cB	19.7 b	55.1(38%)	39.0(27%)	34.8(24%)	16.0(11%)	44 775 C
3/2 倍	1.30 cB	18.8 b	49.2(41%)	36.0(30%)	22.8(19%)	12.0(10%)	37 050 B

注: 括号内数字表示占单株重的百分数

水培生菜产量以 5/4 倍最高, 其次为 1 倍, 3/4 倍, 但三者无显著差异, 1/4 倍产量最低。产量愈高的处理, 在产量构成上, 内叶所占比例愈大, 外叶和中叶所占比例降低。随着营养液浓度提高, 内茎重量增加, 但在单株中所占重量百分比无显著差异。同时, 叶片中叶绿素含量增加, 叶色由浅递深, 单位面积叶重则降低, 其差异主要是叶片厚薄不同所致。

## 3 讨论

营养液组成和浓度的选择是生菜 NFT 栽培的基础。园试营养液配方是适合绿叶蔬菜栽培的广谱性配方<sup>[3]</sup>。但培养液浓度因作物种类而异。本试验发现, 培养液浓度为 5/4 倍园试均衡营养液时, 生菜生育最好, 产量最高。其次为 1 倍和 3/4 倍浓度。由于三者差异不显著, 因此从降低生产成本、大面积应用角度出发, 宜选择 3/4 倍浓度。

NFT 栽培中营养液浓度的管理并不是一成不变的, 其受日照、温度等环境条件影响而变化<sup>[6-8]</sup>。强光、高温下耗水量大, 宜适当降低浓度, 相反应提高培养液浓度<sup>[7]</sup>。故夏季栽培浓度稍低, 冬季浓度较高。利用设施环境调控, 创造适宜作物生长的温光环境, 或根据季节变化, 相应调整培养液浓度是 NFT 栽培的关键技术环节。

NFT 栽培应用中还常因生产目的不同而适当改变营养液浓度。较高的营养液浓度可提高产品含糖量、鲜度、存架寿命、色泽等, 从而提高品质和商品性。本试验在高浓度下生菜叶绿素含量极显著提高, 色泽鲜艳, 与前人研究一致<sup>[3]</sup>。生菜、水芹、菠菜等叶菜类在周年均衡生产中, 为获得优质产品, 并不期望生长量最大, 而常采用抑制生长技术, 特别在夏季高温期, 提高培养液浓度, 可有效抑制生长发育, 这比遮光降温, 控制生育更为有效, 且可大大降低能源, 具有良好的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 日本设施园艺协会. 最新养液栽培の手引[M]. 日本东京: 诚文堂新光社, 1996. 84- 85.
- [2] 蒋卫杰, 郑光华, 汪 浩, 等. 有机生态型无土栽培技术及其营养生理基础[J]. 园艺学报, 1996, 23( 2): 139- 144.
- [3] 板木利隆, 佐佐木皓二, 宇田川雄二. 养液栽培の实用技术[M]. 日本大阪: 农业电化协会, 1995. 26- 51.
- [4] 农耕と 园艺編集部. 生理と 栽培技术[M]. 日本东京: 诚文堂新光社, 1986. 41- 43.
- [5] Barta D J, Tibbitts T W. Calcium 10 Calization in lettuce leaves with and without tipburn: Comparison of Controlled-environment and field grown plants[J]. J Am Soc Hortic Sci, 1991, 116: 870- 875.
- [6] Ito T. More intensive production of lettuce under artificially controlled conditions[J]. Acta Hortic, 1989, 260: 381- 389.
- [7] 小田雅行, 野中正义, 星野和生. 人工光下における ーフ の养液栽培[J]. 生物环境调节, 1986, 24(3): 103- 107.
- [8] 福田直也, 铃木耕一, 池田英男. 人工光源による 深夜补光が数种水耕そ菜の生育及ぼす影响[J]. 园艺学会杂志, 2000, 69(1): 76- 83.

## Effects of Solution Concentration on Growth and Development of Lettuce in Nutrient Film Technique Culture

FAN Shuang-xi<sup>1</sup>, Ito Tadashi<sup>2</sup>

( 1. Department of Horticulture, Beijing Agricultural College, Beijing 102206, China;

2 Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo 271- 648, Japan)

**Abstract:** A mainly used variety and a commonly used formula were adopted to study the effects of solution concentration on growth and development of lettuce. Fastest leaf differentiation and growth, highest chlorophyll content, lowest leaf shape ratio, earliest rooting and most flourishing roots were observed. The results indicated that plants under the 5/4 St treatment grew best and bore highest yield. The rest are 1St, 3/4St, 3/ 2St, 1/ 2St and 1/ 4St, successively. However, the optimal selection for practical use is 3/4St, which cost less than 5/4St. The contents of N, P, K, Ca and Mg both in the leaf and in the root are not linear to the solution concentration.

**Key words:** Lettuce; Nutrient film technique; Solution; Concentration; Growth and development