

## 不同营养液浓度对莴苣生长特性的影响

范双喜

(北京农学院园艺系, 北京 102206)

**摘 要:** 以长叶莴苣 (*Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam.) 为试材, 研究了 NFT 栽培条件下莴苣水分与养分吸收特性, 以及 NFT 对其生长发育的影响。试验结果表明, 莴苣蒸腾效率前期 > 中期 > 后期; 整个生育过程中, P、K、Mg 的吸收成分组成浓度 (养分与水分吸收比, n/w) 均低于原始营养液浓度, 而 Ca 则相反;  $\text{NO}_3^-$ -N 因处理浓度不同而异。叶片中各无机成分含量随生育过程而提高, 同一生育期随营养液浓度提高而增加; 综合莴苣产量因子与商品性状, 以 3/4 倍园试均衡液最佳。

**关键词:** NFT 栽培; 莴苣; 养分吸收; 生育特性

**中图分类号:** S 636.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2003) 02-0152-05

近年来我国大中城市莴苣栽培面积逐步扩大, 栽培方式也日趋多样<sup>[1]</sup>。目前, 国外莴苣栽培多采用营养液膜, 即 NFT (Nutrient Film Technique) 方式<sup>[2,3]</sup>, 研究侧重于综合栽培因子筛选<sup>[4,5]</sup>, 而对不同条件下莴苣水分与养分吸收规律等生理基础研究较少。与国外相比, 我国采用 NFT 栽培莴苣虽起步稍晚, 但发展迅速。因此研究不同 NFT 栽培条件下莴苣生育变化, 对莴苣 NFT 高产优质栽培至关重要。本研究拟分析不同营养液浓度条件下, 水培莴苣无机营养及水分吸收特性与生长发育的关系, 为建立 NFT 水培莴苣优质、高产、周年均衡供应栽培技术模式提供理论基础和技术依据。

## 1 材料与方法

## 1.1 供试材料及试验设计

试验于 1998 年 12 月 29 日至 1999 年 6 月 2 日在日本千叶大学园艺学部附属农场和蔬菜园艺实验室进行, 供试品种为日本水培长叶莴苣 (*Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam.) 主栽品种 ‘绿叶散’。采用 1/4 倍园试均衡营养液配方<sup>[2]</sup>育苗, 苗龄 35 d, 幼苗 3 叶 1 心时定植。在长 42 m、跨度 8 m、顶高 2.8 m 的二连栋塑料大棚中设置 NFT 栽培床, 床长 12 m, 坡降 1.4%, 贮液槽营养液容量为 100 L。定植株行距为 20 cm × 20 cm, 采用莴苣 NFT 栽培常规管理<sup>[3]</sup>。

试验以日本园试营养液配方为基本配方, 一般莴苣冬季栽培营养液浓度上限为 1.25 倍, 夏季为 3/4 倍<sup>[2]</sup>。本试验春季栽培, 营养液浓度应介于二者之间, 故设 4 个处理, 分别为 1/4 倍、1/2 倍、3/4 倍和全量园试营养液, 大量元素组成如表 1, 微量元素采用通用配方 (化合物 mg/L):  $\text{Na}_2\text{Fe-EDTA}$  20 ~ 40,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  2.86,  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  2.13,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0.22,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  0.08,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.02。定时测定营养液中 EC 值变化, 并调整营养液至各处理设定浓度。保持营养液 pH 6.6 左右, 1 周左右全量更换 1 次营养液。定植后第 1 周为缓苗期, 第 2、3、4 周分别

表 1 各处理营养液组成

Table 1 Components of the treatments (mmol·L<sup>-1</sup>)

处 理 Treatment	$\text{NH}_4^+$ -N	$\text{NO}_3^-$ -N	P	K	Ca	Mg	S
1/4S	0.33	4.0	0.33	2.0	1.0	0.5	0.5
1/2S	0.67	8.0	0.67	4.0	2.0	1.0	1.0
3/4S	1.00	12.0	1.00	6.0	3.0	1.5	1.5
S	1.33	16.0	1.33	8.0	4.0	2.0	2.0

注: 全量园试营养液浓度记为 S, 余类推。

Note: The full strength of Enshi nutrient solution was marked as S. The rest is inferred.

收稿日期: 2002-03-28; 修回日期: 2002-12-27

基金项目: 国家教育部留学基金项目 (97811034)

为生长前、中、后期。从第 2 周开始,每周测定 1 次水分、养分吸收及植株生长变化,连续测定 3 次,直至末期。除营养液浓度外,其余栽培因子均相同。试验设 4 次重复,每处理定植 120 株。各项指标均随机取样测定,数据进行 Dun Can's 新复级差测验。

## 1.2 测定方法

1.2.1 水分与养分吸收 定植后每周全量更新营养液前后,调查分析贮液槽中营养液量,计算莴苣水分吸收量,并分析营养液中各营养元素浓度变化。采用紫外吸收法测定  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ; 钼酸铵比色法测定  $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ ; 原子吸收法(日本日立制作所; Z-6100 型原子分光光度计)测定 K、Ca、Mg 含量。由不同营养水平及不同生长期各营养成分吸收量(n)与吸收消耗水量(w),计算表观吸收成分组成浓度<sup>[6]</sup>,以确定莴苣吸肥与吸水规律。

1.2.2 植株无机营养成分 分别于莴苣生长前、中、后期,即定植后第 2、3、4 周,每次随机抽取 6 株样品。植株经烘干灰化、 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消化后,测定各无机营养成分,测试方法同上。

1.2.3 生长发育与营养吸收 随机取样,调查不同营养水平、不同生育期株高、叶数、叶形、根干样和鲜样质量、根冠比等生长指标及产量构成。叶片叶绿素含量用手持 SPAD-502 叶绿素计检测各处理叶色,依叶绿素定量测定法换算而成。用叶片取样器采取同一叶位相同部位叶肉,计算单位叶面积叶片干样和鲜样质量,分析叶片厚薄、含水量与可食性关系。单株采收,以平均单株质量及栽植密度,折合单位面积产量。

## 2 结果与分析

### 2.1 营养液浓度对莴苣水分吸收的影响

莴苣定植后,随着生长发育,吸水量迅速增加。就 NFT 水培莴苣整个生育期而言,不同处理间水分吸收趋势基本相同。但同一生育阶段不同营养水平间吸水量及蒸腾效率不同(表 2)。

由表 2 看出,采收前单株日吸水量为生长前期的 2.6 ~ 3.5 倍,但蒸腾效率仅为前期的 52% ~ 62%。各时期莴苣吸水量均以 S 处理最高,极显著高于 1/4S 和 1/2S 处理。前期、中期显著和极显著高于 3/4S 处理。而蒸腾效率则以 S 处理最低。由此说明营养液浓度较高时,植株优先吸收水分,这与前人研究<sup>[6]</sup>一致。

### 2.2 NFT 水培莴苣养分与水分吸收比(n/w)的变化

表 3 中各养分吸收成分组成浓度(n/w)与表 1 处理营养液组成相比, $\text{NO}_3^- \text{-N}$  在全量园试营养液中,不同生长期 n/w 值均低于原始营养液浓度,而 1/4S、1/2S、3/4S 处理则高于营养液浓度。P、K、Mg 的 n/w 值在整个生育期均低于营养液浓度。相反由于 1/4S ~ S 园试营养液 Ca 浓度不高,莴苣又喜 Ca,因此 Ca 吸收速度大于水分吸收速度,造成 Ca 不同生长期的 n/w 均高于原始处理浓度。值得注意的是,各养分 n/w 值均随生育进程而降低。这是由于莴苣定植后,温度逐渐升高,吸收水分速度大于各养分吸收速度,因而 n/w 值降低。这说明 NFT 水培莴苣营养元素与水分吸收是一复杂的变化过程。与其他处理不同,表 3 中 3/4S 条件下各元素不同生长期 n/w 值相对稳定,即莴苣每吸收 1 L 水,同时吸收各营养元素量与该配方中各元素浓度接近,说明 3/4 倍园试营养液为 NFT 莴苣较理想的平衡配方。

### 2.3 营养液浓度对莴苣叶片中无机成分含量及生产效率的影响

表 2 营养液浓度对莴苣不同生长期水分吸收的影响

Table 2 Effects of nutrient level on moisture absorption by *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam. in different growth stages

处 理 Treatment	吸水量 Moisture absorption ( $\text{mL} \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )			蒸腾效率 Transpiration ratio ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		
	前期 Early stage	中期 Mid- stage	末期 Later stage	前期 Early stage	中期 Mid- stage	末期 Later stage
1/4S	36.9 aA	83.6 A	120.5 A	2.38 a	1.46 a	1.26 a
1/2S	38.8 aA	86.9 A	135.7 B	2.22 a	1.50 a	1.16 a
3/4S	47.9 bAB	96.2 B	143.1 BC	2.02 b	1.56 a	1.14 a
S	57.4 cB	123.1 C	148.8 C	1.78 c	1.20 b	1.10 a

注:前、中、末期分别为定植后第 2、3、4 周;数字后大、小写字母表示 SSR 测验 0.01、0.05 显著水平,以下同。

Note: The early, mid- and later stages stand for the 2nd, 3rd and 4th week after planting; Capital letters and small letters show significances at 0.01 and 0.05 of SSR test respectively, the same below.

莴苣对 N、K 吸收较多, 其次是 Ca、Mg, 而对 P 吸收较少。定植后叶片中各无机成分含量逐渐增加, 但增量不同。其中 P、Mg、N 增量较多, Ca、K 增量较少。不同处理间随着营养液浓度提高, 叶片中无机成分含量也随之提高, 即 S 处理含量最高, 其次为 3/4S、1/2S、1/4S 最低, 采收前 1/4S 处理各无机成分含量为 S 处理的百分数分别为, N 69.7%、P 59.8%、K 83.1%、Ca 55.7%、Mg 70%。表明营养液浓度与莴苣叶片中无机成分积累并非存在简单的线性关系。对莴苣无机成分吸收与叶片生产效率进一步对比分析发现, K、Ca 营养元素的生产效率随生长发育而提高; N、P、Mg 则生长前期生产效率最高, 其次为生长后期, 生长中期最低, 这是因为前期 N、P、Mg 主要用于莴苣叶数增加和嫩叶快速生长, 而生长后期则由于 NFT 栽培莴苣适收标准仅为单株的 100 g 左右, 实际上正处于旺盛生长期, 故生长效率较高。

表 3 不同营养液浓度条件下莴苣 n/w 值

Table 3 n/w values of *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam. with the treatments (mmol·L<sup>-1</sup>)

处 理 Treatment	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N			PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P			K			Ca			Mg		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1/4S	5.16	5.02	4.38	0.30	0.28	0.25	1.97	1.93	1.86	1.36	1.25	1.17	0.48	0.42	0.39
1/2S	9.26	9.18	8.42	0.62	0.60	0.54	3.84	3.60	3.51	2.41	2.29	2.15	0.96	0.93	0.87
3/4S	12.50	12.29	12.15	0.98	0.96	0.93	5.87	5.82	5.69	3.45	3.36	3.30	1.48	1.45	1.44
S	15.72	14.8	13.90	1.27	1.19	1.08	7.56	7.12	6.58	4.51	4.30	4.12	1.88	1.75	1.62

注: 1、2、3 分别代表莴苣生长前、中、后期。

Note: 1, 2, 3 stand for the early, mid- and later growth stages of *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam. respectively.

表 4 莴苣叶片中无机物含量与生产效率

Table 4 Inorganic matter contents and the productivity of *Lactuca sativa* var. *Longifolia* Lam. leaves

处 理 Treatment	定植后周数 Weeks after planting	无机物含量 Inorganic matter contents (% DM)					生产效率 Productivity (g·g <sup>-1</sup> FM)				
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	K	Ca	Mg	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	K	Ca	Mg
1/4S	2	3.47	0.38	5.72	0.61	0.46	472	4 386	291	2 732	3 623
	3	4.26	0.45	5.93	0.69	0.63	460	4 357	331	2 842	3 112
	4	4.85	0.52	6.78	0.78	0.67	469	4 370	335	2 913	3 392
1/2S	2	3.76	0.43	6.23	0.73	0.51	484	4 228	292	2 491	3 565
	3	4.13	0.52	6.39	0.75	0.67	457	3 628	295	2 516	2 530
	4	5.26	0.63	7.05	0.90	0.71	475	3 968	355	2 777	3 521
3/4S	2	4.45	0.50	6.91	1.13	0.55	357	3 174	230	1 405	2 886
	3	5.69	0.67	7.38	1.18	0.73	303	2 573	234	1 461	2 362
	4	6.88	0.83	7.85	1.36	0.89	354	2 938	311	1 793	2 740
S	2	5.10	0.57	6.95	1.17	0.69	356	3 189	262	1 554	2 635
	3	6.23	0.70	7.04	1.19	0.82	297	2 654	263	1 556	2 257
	4	6.96	0.87	8.16	1.40	0.96	334	2 673	285	1 661	2 422

注: 叶片生产效率 = 叶片鲜样质量 (g·plant<sup>-1</sup> FM) / 养分吸收量 (g·plant<sup>-1</sup>)。

Note: Leaf productivity = Leaf fresh mass (g·plant<sup>-1</sup> FM) / Absorbed nutrients (g·plant<sup>-1</sup>).

## 2.4 营养液浓度对水培莴苣生长发育的影响

营养液浓度不但影响水培莴苣生长量, 而且还关系到其形态特征与生长习性的改变, 进而制约着水培莴苣的商品性 (表 5)。

随着营养液浓度提高, 叶片数和株高略有增加, 1/4S 处理和 1/2S 处理叶形比 (叶纵长/横长) 极显著高于 3/4S 和 S 处理, 而叶绿素含量则随营养水平提高而极显著增加。单位叶面积叶片干、鲜样质量随营养液浓度提高而降低。尤其是叶干样质量存在极显著差异, 可能与在较低浓度下叶片扩展较慢、叶片较厚有关。而在较高浓度下, 莴苣产量较高是由于叶面积增长较快之故, 说明莴苣产量构成与叶面积扩展及叶片厚薄有关。根干、鲜样质量以 3/4S 处理最高, 其次为 1/2S、1/4S 和 S 处理。单位面积莴苣产量则以 3/4S 处理最高。

表 5 营养液浓度对水培莴苣生长发育的影响

Table 5 Effects of nutrient level on the growth and development of *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam.

处 理 Treatment	株 高 Plant height (cm)	叶 数 Leaf number	叶形比 Leaf shape ratio	叶绿素 Chl. (mg·g <sup>-1</sup> FM)	叶片鲜样质量 Leaf fresh mass (mg·cm <sup>-2</sup> )	叶片干样 质量 Leaf dry mass (mg·cm <sup>-2</sup> )	根鲜样质量 Root fresh mass (g·plant <sup>-1</sup> )	根干样质量 Root dry mass (g·plant <sup>-1</sup> )	根冠比 R/T (%)	产 量 Yield (kg·hm <sup>-2</sup> )
1/4S	28.2 a	20 a	1.40 A	0.58 A	23.0 a	1.10 A	6.892 A	0.269 A	7.9 aA	21 420 A
1/2S	29.3 a	22 a	1.31 A	0.92 B	22.8 a	0.87 B	8.579 B	0.343 B	7.5 aA	28 320 B
3/4S	31.2 a	23 a	1.19 B	1.16 C	21.4 a	0.67 C	8.855 B	0.398 B	6.9 bAB	31 515 C
S	31.8 a	23 a	1.17 B	1.26 C	20.3 a	0.56 C	5.187 C	0.242 A	5.8 cB	28 800 C

注: 同表 2。 Note: The same as in table 2.

### 3 讨论

园试均衡营养液作为日本营养液栽培代表性配方, 在许多园艺作物上广泛应用<sup>[2,6]</sup>, 其他配方多以此为基础加以改良而成。理想的营养液组成应与作物养分吸收比例一致。但由于不同作物养分吸收受栽培季节、生育阶段及环境条件等影响而处于动态变化中<sup>[2]</sup>, 因此营养液配方也应随时调整。莴苣、菠菜、水芹等速生绿叶蔬菜以营养生长为栽培目的, 生长过程中营养液组成相对固定, 只是浓度有些变化。浓度高低主要受耗水量的影响, 高温、强光促进水分吸收, 使营养液浓缩。因此, 同种作物冬季低温期营养液浓度宜高, 夏季稍低<sup>[7]</sup>。本试验为春季栽培, 应用时要考虑季节变化。

莴苣 NFT 水培中, 养分与水分吸收始终处于动态平衡中, 该平衡受栽培因子影响而变化。一般营养液浓度越低, 相对于水分吸收而言的养分吸收量 (n/w) 越高, 相反 n/w 则越低<sup>[7]</sup>。此外, 环境条件, 特别是温度对其有较大影响, 温度越高, n/w 越低。同时温度高低还影响到养分吸收组成。温度上升, N、K 吸收量增加, 因离子拮抗, Ca 吸收量降低, 常因缺 Ca 引起莴苣缘腐病发生<sup>[8]</sup>。本试验发现在全量园试营养液中部分植株出现轻度缘腐病, 而其余 3 个处理虽营养液 Ca 浓度较低, 但未发现缺 Ca 症, 这是否与全量营养液中植株 N、K 吸收过多, 抑制 Ca 吸收有关, 尚待进一步探讨。

莴苣等叶菜类的叶色是决定商品价值的重要因素。本试验表明, 随营养液浓度提高, 叶绿素含量显著增加, 表现为叶色浓绿, 色泽鲜亮, 商品性提高。在较高浓度下, 叶形比较低, 叶片宽大, 且茎短缩, 虽然生长后期温度较高, 未发现有抽薹现象, 而 1/4S 和 1/2S 两个处理中, 短缩茎开始伸长, 似有抽薹征兆。这与较高的营养水平, 特别是 N 浓度较高促进营养生长而抑制生殖生长有关。值得注意的是, 单位面积叶片鲜样质量随营养液浓度提高而降低, 这可能与低浓度下叶片生长较慢, 叶肉较厚有关。而莴苣叶片较厚, 口感好, 商品性状优于薄质叶片, 栽培中须综合考虑。

### 参考文献:

- 1 李光晨, 范双喜主编. 园艺植物栽培学. 北京: 中国农业大学出版社, 2001. 276~286
- 2 伊東 正. 養液栽培マニュアル21. 東京: 日本養液栽培研究会, 1998. 680~686
- 3 石井雅久, 伊東 正, 丸尾 達. ことなる光周期の人工光源下で栽培したサラダナの生育生理的特性. 生物環境調節, 1995, 33 (2): 143~149
- 4 Krizek D T. Growth response of 'Grand Rapids' lettuce and 'First Lady' marigold to increased far-red and infrared radiation under controlled environments. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1980, 105: 936~939
- 5 Masson J, Tremblay N, Gosselin A. Effects of nitrogen fertilization on the growth of tomato and lettuce transplants in multicompartiment trays with or without supplemental lighting can. J. plant Sci., 1990, 70: 1199~1205
- 6 山崎肯哉. 营养液栽培大全. 刘步洲, 刘宜生, 安志信译. 北京: 北京农业大学出版社, 1989. 10, 30~31
- 7 伊谷慈博, 吉田裕一. NFT栽培におけるイチゴの養分吸収に及ぼすCO<sub>2</sub>施用の影響. 生物環境調節, 1998, 36 (3): 145~150
- 8 Barta D J, Tibbitts T W. Calcium localization in lettuce leaves with and without tipburn: comparison of controlled-environment and field-grown plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1991, 116: 870~875

# Effects of Nutrient Solution of Different Concentrations on Growth Properties of *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam.

Fan Shuangxi

(Department of Horticulture, Beijing Agricultural College, Beijing 102206, China)

**Abstract:** The absorption of moisture and nutrient and their effects on the growth and development of *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam. in NFT culture were studied. Results are the following: the transpiration rate of leaves at early stage > that at mid-stage > that at later stage. Throughout the growth duration, the absorptive component content (n/w) of P, K and Mg were lower than that in the initial nutrient solution, respectively, but Ca was contrary. The n/w value of  $\text{NO}_3^-$ -N varied with treatments, The contents of inorganic component in leaves increased along with growth pace, and varied with the solution concentration at the same stage. Summing up the yield factors and commercial characters, we concluded that 3/4 strength of Enshi nutrient solution was optimum.

**Key words:** NFT; *Lactuca sativa* var. *longifolia* Lam.; Nutrient absorption; Growth property

## 欢迎购阅《园艺学报》增刊

### 2000 年增刊目录:

苹果属植物区系地理学研究  
应用同工酶技术鉴别同物异名柿  
园艺植物组织培养中的褐化现象及抗褐化研究进展  
柑桔胞质杂种及其胞质遗传重组  
类番茄茄 (*Solanum lycopersicoides*) 的研究进展  
黄瓜基因及其连锁研究进展  
黄瓜苦味研究概况  
辣椒抗病基因工程研究中的主要问题与对策  
辣(甜)椒根结线虫的危害、防治和抗病育种  
温光处理调控观赏植物花期的研究进展  
授粉对花衰老和乙烯生物合成的调节  
彩叶植物多彩形成的研究进展  
植物化学诱抗剂的研究现状与展望  
拮抗菌控制果蔬采后病害研究进展  
果蔬蜡液的种类及应用  
桃果实水孔蛋白 cDNA 的分离  
美国园艺研究简介  
鲜菜供应系统的现代化  
2001 年增刊目录:  
果树转基因研究进展  
柑桔果实有机酸代谢研究进展  
果树根系对地上部的调控及其与水分利用效率的关系  
阿月浑子 (*Pistacia vera* L.) 生殖生物学研究评述  
蔬菜作物数量性状基因定位研究进展  
蔬菜作物光合作用研究进展  
胡萝卜雄性不育性研究及利用

分子标记在甘蓝类作物研究中的应用  
番茄脐腐病发生机理研究综述  
番茄青枯病的研究进展  
番茄耐热育种研究进展  
有关番茄果实中可溶性固形物和番茄红素的研究进展  
芥子油苷研究进展及其在蔬菜育种上的应用前景  
辣椒分子标记研究进展  
我国辣椒杂交育种与杂交种子生产  
昆明世界园艺博览园植物引种展示  
比利时杜鹃研究进展  
温室园艺作物生长发育模型研究现状与发展趋势  
园艺植物的根系限制及其应用  
绿色园艺——21 世纪中国园艺业的发展方向  
十字花科蔬菜作物雄性不育的类型和遗传

### 2002 年增刊目录:

热激蛋白与园艺植物的耐冷性  
园艺植物花器脱落研究进展  
柑橘类胡萝卜素合成关键基因研究进展  
葡萄设施栽培生理基础研究进展  
多年生果树植物分子遗传作图  
我国极早熟杏育种研究进展  
蔬菜抗虫育种研究进展  
雄性不育基因工程及其在蔬菜育种中的应用  
蕨类植物组织培养研究进展  
我国甘蓝遗传育种研究概况  
若干花卉转基因研究的现状和前景  
中国观赏植物资源现状与展望

每册定价 10 元,编辑部自办发行,欢迎广大读者购阅。

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街 12 号中国农科院蔬菜花卉所《园艺学报》编辑部,邮编 100081。