

不同氮素水平对油麦菜栽培效果的综合评价分析

林俊芳^{a,b}, 林义章^{a,b}, 丘武昌^a, 汪镇坤^a, 钟凤林^{a,b*}, 林碧英^{a*}

(福建农林大学, a. 园艺学院; b. 蔬菜研究所, 福州 350002)

摘要: 为探讨不同氮素水平的硝态氮与铵态氮对油麦菜(*Lactuca sativa* L.)生长及品质的影响,自主设计并制作了适合蔬菜水培的立体管道栽培系统,配制了 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 10:0$, $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 7:1$, $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 7:3$ 的营养液,通过模糊数学原理,采用层次分析法(AHP)确定品质的权重值,综合评价了不同氮素水平对油麦菜的栽培效果。结果表明,以 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 7:3$ 营养液的栽培效果最好,其次是 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 7:1$ 。当营养液的 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 7:3$ 时,油麦菜的产量最高,叶片叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质含量最高,硝酸盐含量最少,其综合品质最好。层次分析法对油麦菜不同氮素水平营养液的栽培效果的综合评价有较好的适用性,有助于获得南方设施管道栽培油麦菜最佳的营养液配方。

关键词: 油麦菜; 铵态氮; 硝态氮; 综合品质; 层次分析法; 模糊综合评判

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.05.009

Comprehensive Evaluation Analysis on Cultivation Effects of Lettuce under Different Nitrogen Levels

LIN Jun-fang^{a,b}, LIN Yi-zhang^{a,b}, QIU Wu-chang^a, WANG Zhen-kun^a, ZHONG Feng-lin^{a,b*}, LIN Bi-ying^{a*}

(a. College of Horticulture; b. Vegetable Research Institute, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: In order to understand the effects of different nitrogen levels on lettuce growth and qualities, the three-dimensional pipeline cultivation system, suitable for vegetables hydroponics, was designed independently and produced, nutrient solution of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 10:0$, $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 7:1$, $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 7:3$ were prepared, respectively, and then cultivation effects of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under different nitrogen levels were comprehensively evaluated by using fuzzy mathematics theory, and the analytic hierarchy process (AHP) to determine the weights of lettuce quality. The results showed that cultivation effect was the best with nutrient solution of $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 7:3$, followed by $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 7:1$. Cultured with $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+ = 7:3$, the yield of lettuce, contents of chlorophyll, soluble sugar, soluble protein in leaves were the highest, and nitrate content was at least, so that the comprehensive quality was the best. Therefore, AHP has a better applicability for synthetically evaluate the cultivation effect of lettuce under different nitrogen levels, which helps to get the optimum nutrient solution in south facility pipeline for lettuce cultivation.

Key words: *Lactuca sativa* L.; Nitrate nitrogen; Ammonium nitrogen; Comprehensive quality; Analytic hierarchy process; Fuzzy comprehensive evaluation

收稿日期: 2012-12-24 接受日期: 2013-03-13

基金项目: 福建省科技重大专项(2008NZ0002-1); 福建省科技重点项目(2009N1003); 福建省蔬菜产业技术体系项目(2010005); 2012 国家大学生创新性实验项目(2012103890005); 2012 年福建省大学生创新性实验项目(1FJCX1108)资助

作者简介: 林俊芳(1990~),女,硕士研究生,主要从事蔬菜生理生化和生物技术研究。E-mail: 535630588@qq.com

* 通讯作者 Corresponding authors. E-mails: ZFL10305@126.com; lby3675878@163.com

当前硝酸盐对人体的危害以及硝酸盐的污染问题越来越受到人们的关注。绿叶蔬菜极易富集硝酸盐,人体摄入的硝酸盐中有 80% 以上来自所食蔬菜。近几年,农民为增加蔬菜产量,乱施、滥施化肥现象比较严重,这是引起蔬菜硝酸盐污染的主要原因。另外,营养液配制中氮肥大部分是硝态氮,少有农用硝态氮,国内目前没有专门生产农用硝态氮的工厂。若在水培中用化学品替代,则会增加成本,不易普及推广。因此,研究蔬菜中硝酸盐含量、代谢过程以及积累变化规律具有重要意义^[1-2]。选择营养液中适宜的铵态氮和硝态氮比例以满足叶菜类蔬菜的生长发育,提高蔬菜品质是目前蔬菜水培技术的关注重点。陈贵林^[3]、杜红斌等^[4]采用铵态氮、氨基酸或者尿素部分替代营养液中的硝态氮或者减少硝态氮的供应,结果降低了蔬菜中硝酸盐的含量,改善了品质。蔬菜品质的成分复杂,导致对蔬菜品质进行科学评价比较困难。蔬菜品质的评价方法较多,其中模糊综合评判是将模糊数学方法与实践经验结合起来对多指标的性状进行全面的评估。本试验通过设计不同氮素水平对油麦菜 (*Lactuca sativa* L.) 进行水培研究,探讨不同氮素水平对油麦菜生长及品质的影响。同时应用模糊数学原理,采用层次分析法确定油麦菜各品质的权重值,建立一套对不同氮素水平营养液的栽培效果进行综合评价的方法,以期获得南方设施管道栽培油麦菜最佳的营养液配方,降低蔬菜中硝酸盐的含量,获得无公害蔬菜提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试油麦菜 (*Lactuca sativa* L.) 为四季高产油麦菜,种子由厦门中厦种子公司提供。

1.2 水培方式

试验于 2011 年 9 月在福建农林大学园艺学院设施温室大棚中进行。试验在自主设计的层架式立体管道(3 列 4 层)中进行水培。将植株用海绵固定悬挂在定植孔内,根系深入到营养液层以吸收养分和水分。该装置营养液层高 7 cm,营养液量较多,不需经常补充和更换营养液,可以根据植物的大小合理控制水位来达到理想的种植效果。

1.3 氮肥处理

营养液配置采用华南农业大学的叶菜 B 营养液配方^[5]。在此基础上,设 3 个氮素水平处理 P₁、P₂、P₃,分别为 NO₃⁻:NH₄⁺ = 10:0, NO₃⁻:NH₄⁺ = 7:1, NO₃⁻:NH₄⁺ = 7:3。3 个处理的营养液配方中的大量元素含量均为:Ca(NO₃)₂·4H₂O 472 mg L⁻¹, KH₂PO₄ 100 mg L⁻¹, MgSO₄·7H₂O 246 mg L⁻¹;KNO₃ 分别为 404.0、202.0、121.2 mg L⁻¹;NH₄NO₃ 分别为 0、80、192 mg L⁻¹;K₂SO₄ 分别为 0、174.0、243.6 mg L⁻¹。微量元素为(NH₄)₆Mo₇·4H₂O 0.02 mg L⁻¹, H₃BO₃ 2.86 mg L⁻¹, MnSO₄·4H₂O 2.13 mg L⁻¹, ZnSO₄·7H₂O 0.22 mg L⁻¹, CuSO₄·5H₂O 0.08 mg L⁻¹, NaFe-EDTA 20 mg L⁻¹。每列管道为 1 个处理。

2011 年 10 月 14 日育苗,采用穴盘育苗,育苗基质为草炭土、珍珠岩、蛭石组成的混合基质。出苗前浇清水,出苗后根据苗情浇灌两次 1/4 剂量的营养液。当苗长 4 片真叶时,轻轻拔起,清水洗净根部残留基质,用湿的海绵固定在 PVC 管道定植孔内,定植后用全剂量的营养液栽培。营养液 pH 值控制在 6.0 ~ 6.8,用磷酸和氢氧化钠调整营养液 pH 值。定植初期,营养液管理为电导度 0.8 ~ 1.0 mS cm⁻¹,栽培后期电导度调至 1.2 ~ 1.8 mS cm⁻¹。营养液供给使用定时控制器控制,设定自动间歇循环供液,白天每隔 4 h 循环供液 30 min,夜间停止循环。

1.4 生物量与生理指标测定

取样方法:油麦菜幼苗定植 30 d 后采集样品。取样时间为晴天的上午 8:00 - 8:30,每个处理每次随机抽取 9 株进行指标测定。

植株生长生物量指标测定:取回的鲜样先用蒸馏水清洗,再用吸水纸吸干水分,测量茎粗和叶片数,称量并记录地上部分和地下部分的鲜重。

植株生理指标测定:叶片剪碎、混匀,硝酸盐含量的测定采用磺基水杨酸比色法^[6],叶绿素含量的测定采用分光光度法^[6],可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法^[6],可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[6]。

以上指标均重复测定 3 次,按照 Duncan 新复极差分析^[7]进行多重比较,差异显著性在 5% 水平下进行比较。

1.5 模糊综合评判法的分析方法与步骤

筛选出对油麦菜生长发育影响比较重要的性状(叶片数、茎粗、地上部鲜重、地下部鲜重、叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质、硝酸盐),组成比较全面的评价指标集;建立各层次结构模型;构建各层次中的判断矩阵并进行一致性检验,计算选取指标的权重;对原始数据进行转换,计算综合评价集。

指标权重 采用层次分析法确定各指标权重。构造出各层次中的所有判断矩阵,利用 Matlab 软件,计算出该矩阵的最大特征值 λ_{\max} 以及对应的特征向量 $W = (W_1, \dots, W_8)$ 。根据公式 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 和 $CR = CI / RI$ 计算一致性比率 CR (其中,平均随机一致性指标 RI 参考 Saaty^[8] 给出的值)。当 $CR < 0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的;否则需要进行调整和修改,直至满足一致性条件。

构建模糊矩阵 R 对原始数据进行转换,叶片数、地上部鲜重、地下部鲜重、叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白质采用性状值 / 平均值表示;茎粗、硝酸盐因其含量的增加导致品质的下降,所以用平均值 / 性状值表示。

综合评价集 B 的计算 根据前面计算所得各指标的权数 W 可知,权重集 $A (a_1, \dots, a_8) = W (W_1, \dots, W_8)$ 。因此模糊关系式 R 与 A 的综合评

判集 $B = A \times R$, 在 Matlab 软件上进行运算。

2 结果和分析

2.1 不同氮素水平对油麦菜感官品质的影响

由表 1 可知, P_1 处理的油麦菜叶片数最多,与 P_2 处理有显著差异,与 P_3 处理没有显著差异。 P_1 处理的茎粗最大,与 P_2 、 P_3 处理有显著差异; P_2 与 P_3 无显著差异。 P_3 处理的地上部鲜重最大,比 P_1 处理增加了 32.4%,达显著差异水平; P_3 比 P_2 增加了 12.0%。 P_3 处理的地下部鲜重最大,比 P_1 处理增加了 31.7%,差异达到显著水平;与 P_2 处理无显著差异; P_2 处理比 P_1 处理增加了 19.1%,达差异显著水平。

2.2 不同氮素水平对油麦菜营养品质的影响

由表 2 可知, P_3 处理的油麦菜叶片的叶绿素含量最大,比 P_1 处理增加了 19.4%,比 P_2 处理增加了 15.0%; P_2 比 P_1 增加了 3.8%,各处理间均没有达到显著差异。结果表明,铵态氮与硝态氮之比在一定范围内,油麦菜叶片的叶绿素含量随着营养液中铵态氮比例的增加而增加。这与王波等^[9]的研究结果一致,即与全硝营养相比,增加铵态氮有效提高了叶片中的叶绿素含量。

表 1 不同氮素水平对油麦菜生长生物量的影响

Table 1 Effects of nitrogen levels on sensory quality of lettuce

处理 Treatment	叶片数 Leaf number	茎粗 Stem diameter (cm)	地上部鲜重 Above-ground FW (g)	地下部鲜重 Under-ground FW (g)
P_1	31.2a	2.043a	115.21b	17.86b
P_2	25.6b	1.798b	136.13a	21.28a
P_3	28.9a	1.609b	152.53a	23.52a

同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同。

Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.05 level. The same is following Tables.

表 2 不同氮素水平对油麦菜营养品质的影响

Table 2 Effects of nitrogen levels on nutrition quality of lettuce

处理 Treatment	叶绿素含量 Chlorophyll (mg g ⁻¹)	可溶性糖含量 Soluble sugar (%)	可溶性蛋白含量 Soluble protein (mg g ⁻¹)	硝酸盐含量 Nitrate (mg kg ⁻¹)
P_1	1.5099a	0.100b	0.122b	859.7a
P_2	1.5678a	0.150a	0.100b	569.5b
P_3	1.8034a	0.330a	0.193a	397.9c

P₃ 处理的油麦菜叶片中的可溶性糖含量最高, 与 P₁ 处理的有显著差异; P₂ 处理与 P₃ 处理间没有显著差异。铵态氮部分代替硝态氮后, 植株叶片的可溶性糖含量上升, 可能与液泡中 NO₃⁻ 的数量减少, 可溶性糖进入液泡以维持渗透平衡有关。因为植物积累的 NO₃⁻ 主要分布在细胞的液泡内, NO₃⁻ 除了作为合成蛋白质的氮源外, 在液泡内还是重要的渗透调节物质^[4]。

P₃ 处理的油麦菜叶片中的可溶性蛋白质含量最大, 与 P₁ 处理、P₂ 处理均有显著差异; P₁ 处理与 P₂ 处理没有显著差异。油麦菜叶片中可溶性蛋白质含量随着营养液中铵态氮比例的增大而增加。在 NO₃⁻ : NH₄⁺ = 10 : 0 营养液中, 油麦菜叶片的可溶性蛋白质含量最低, 可能是因为氮素过量, 使得细胞水分增多, 不利于干物质的积累。

P₁ 处理的油麦菜叶片中的硝酸盐含量最高, P₃ 处理的最低, 比 P₁ 处理的下降了 50% 左右, P₂ 处理的比 P₁ 处理的下降了 33.8%, 各处理间的差异均达到显著水平。采收时, P₃ 处理的硝酸盐含量在 400 mg kg⁻¹ 以下, 而无公害蔬菜的硝酸盐含量标准不能超过 432 mg kg⁻¹, 说明 NO₃⁻ : NH₄⁺ = 7 : 3 的营养液配方可以应用于生产。结果表明, 随营养液中铵态氮比例的增大, 油麦菜叶片中硝酸盐含量逐渐减少, 说明降低营养液中硝态氮的比例可以显著减少硝酸盐的积累。

2.3 模糊综合评判结果

2.3.1 建立层次结构模型

将选取的影响油麦菜综合品质的 8 个指标按性质和级别分层次, 按隶属排列, 最上层是目标层, 即油麦菜综合品质; 中间层是衡量是否达到目标的各个要素, 即油麦菜的感官品质和营养品质; 最下层是方案层, 即不同氮素水平的营养液。建立层次结构如图 1 所示。

2.3.2 构造判断矩阵, 进行层次排序

根据各指标对油麦菜综合品质的贡献和重要程度, 构造判断矩阵并进行一致性检验, 得出相应指标的权重值, 结果见表 3、4。其中, 判断矩阵中因子的取值 1、3、5、7、9 分别代表一个因素对另一个因素的重要性相同、稍强、强、很强、绝对强; 2、4、6、8 表示上述相邻判断的中间值。

总权重 = 一级指标权重值 × 二级指标权重值。结果表明, 表 3 中各矩阵的阶数 *n* 与矩阵的最大特征根 λ_{max} 之差在允许的范围之内, 说明该判断矩阵具有满意的一致性, 说明 W = (0.1305, 0.0845, 0.2256, 0.0595, 0.1507, 0.0486, 0.0455, 0.2554) 作为权数向量是合理的。

2.3.3 构建模糊矩阵 R, 计算综合评价集 B

表 5 是构建的模糊矩阵 R。在 Matlab 上运算得: 综合评判集 B = (b₁, b₂, b₃) = (0.8474, 0.9797, 1.254)。根据最大隶属度原则, 在综合考虑以上

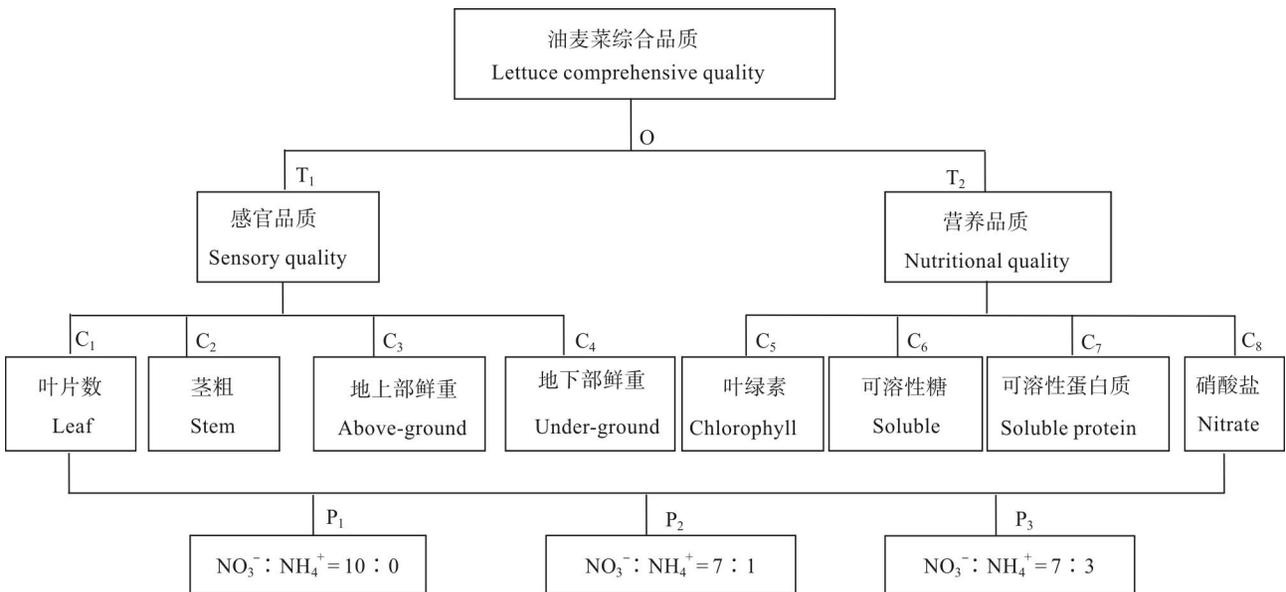


图 1 油麦菜综合品质层次结构图

Fig. 1 Lettuce comprehensive quality hierarchy diagram

表3 判断矩阵及一致性检验

Table 3 Judgment matrix and consistency examination

O-(T ₁ , T ₂)			T ₁ -(C ₁ , ..., C ₄)					T ₂ -(C ₅ , ..., C ₈)				
O	T ₁	T ₂	T ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	T ₂	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
			C ₁	1	2	1/2	2	C ₅	1	3	4	1/2
	T ₁	1	C ₂	1/2	1	1/3	2	C ₆	1/3	1	1	1/5
	T ₂	1	C ₃	2	3	1	3	C ₇	1/4	1	1	1/5
			C ₄	1/2	1/2	1/3	1	C ₈	2	5	5	1

$\lambda = 2, CR = 0$ $\lambda = 4.0710, CR = 0.0263$ $\lambda = 4.0211, CR = 0.0078$

表4 各层权重值

Table 4 Weights of each layer

油麦菜综合品质 Comprehensive quality of lettuce (O)								
一级指标 1st-indicators	感官品质 Sensory quality (T ₁)				营养品质 Nutritional quality (T ₂)			
权重值 Weight	0.5				0.5			
二级指标 2nd-indicators	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
权重值 Weight	0.2609	0.1689	0.4512	0.119	0.3013	0.0971	0.0909	0.5107
总权重值 Total weight	0.1305	0.0845	0.2256	0.0595	0.1507	0.0486	0.0455	0.2554

C₁: 叶片数; C₂: 茎粗; C₃: 地上部鲜重; C₄: 地下部鲜重; C₅: 叶绿素; C₆: 可溶性糖; C₇: 可溶性蛋白; C₈: 硝酸盐。

C₁: Number of leaves; C₂: Stem diameter; C₃: Fresh weight of above-ground; C₄: Fresh weight of under-ground; C₅: Chlorophyll; C₆: Soluble sugar; C₇: Soluble protein; C₈: Nitrate.

表5 油麦菜各品质对应模糊评价关系矩阵 R

Table 5 Lettuce quality corresponding fuzzy evaluation relation matrix R

	叶片数 Leaf number	茎粗 Stem diameter	地上部鲜重 Above ground FW	地下部鲜重 Under ground FW	叶绿素 Chlorophyll	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白质 Soluble protein	硝酸盐 Nitrate
P ₁	1.0922	0.8892	0.8558	0.8551	0.9280	0.5172	0.8819	0.7084
P ₂	0.8961	1.0104	1.0112	1.0188	0.9636	0.7759	0.7229	1.0694
P ₃	1.0117	1.1291	1.1330	1.1261	1.1084	1.7069	1.3952	1.5306

指标时, 3种铵硝比营养液栽培效果的排序为: P₃ > P₂ > P₁。本试验运用层次分析法提出8个与油麦菜综合品质有关的评价权重, 分别为叶片数 0.1305、茎粗 0.0845、地上部鲜重 0.2256、地下部鲜重 0.0595、叶绿素 0.1507、可溶性糖 0.0486、可溶性蛋白质 0.0455、硝酸盐 0.2554。应用模糊综合评判法对3种不同氮素水平的营养液进行综合评价, 结果表明 NO₃⁻: NH₄⁺ = 7: 3 的营养液栽培效果最好, 其次是 NO₃⁻: NH₄⁺ = 7: 1。

3 讨论

3.1 不同氮素水平对油麦菜生长及品质的影响

本研究结果表明, 不同氮素水平对油麦菜的生长及品质的影响有较大差异。叶菜类蔬菜是喜硝作物, 增施氮肥可以显著增产, 但偏施氮肥会对产量造成不良影响^[10]。本研究结果表明, 全硝态氮营养液栽培的油麦菜产量并不是最高的。在一定范围内, 随着营养液中铵态氮比例的增加, 叶片中

叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质的含量增加。罗金葵等^[11]认为提高铵态氮比例可能增大了叶绿体的体积,从而增大了单位面积叶绿素的含量。潘瑞焯等^[12]认为铵态氮比例增加,提高了叶绿素合成前体谷氨酸或 α -酮戊二酸的含量,促进了叶绿素的合成。本研究结果还表明,随着营养液中铵态氮比例的增加,叶片中硝酸盐含量显著减少,这与吴振强^[13]、王明霞等^[10]的研究结果一致。因此,用铵态氮部分代替硝态氮,可以显著降低叶片中的硝酸盐含量。

3.2 模糊综合评判法的应用

本研究运用方差分析和模糊综合评判法对油麦菜品质进行综合分析。从二者的分析结果来看,结果不完全一致,但相差不大。这是因为方差分析仅考虑了一个因素并不能评价哪一种营养液好,而模糊综合评判法考虑了多个指标,通过定性与定量结合的层次分析法确定各指标的权重,对不同氮素水平的营养液栽培效果的评价比较客观。这种方法最大优点就是通过一致性检验保证了主观判断的一致性,得出的权数在指标较多且指标间存在交互性的情况下使用更具有科学性,结果更客观因而被人们接受。屈淑萍^[14]、宋志均等^[15]用模糊综合评判法对大白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*)、小麦(*Triticum aestivum* L.)的品质进行了全面评价,说明了本研究应用该方法是科学的。本研究用 $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+ = 7 : 3$ 营养液栽培油麦菜,产量最高,植株叶片的叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质含量最高,硝酸盐含量最低,综合品质最好。因此,综合考虑各项因素,用 $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+ = 7 : 3$ 营养液是水培油麦菜获得高产优质的一条重要措施。

模糊数学综合评价在工学、决策学、农学等各个领域应用广泛,综合评价分析方法多种,且各具特色^[16-17]。目前未见应用模糊数学综合评价营养液对蔬菜栽培效果的研究。本评价体系可为油麦菜综合品质和不同氮素水平营养液的选择提供一个有效的判断依据,为生产者提供借鉴。我国在蔬菜品质的评价方面研究较少,且缺乏定量、全面、系统、标准的评价体系。本文对油麦菜品质的模糊综合评判法,虽然比以往对几个成分的数理统计方法更能从整体上进行分析,但还是存在一定的主观性。为了对蔬菜品质做出科学的评价,今后可从以

下方面开展研究:完善评价指标,将蔬菜的感观品质、营养品质、卫生品质和贮藏加工品质等方面有机结合,建立更加全面、科学的模糊综合评判模型,以便了解蔬菜的食用价值、品质优劣以及更客观、全面、准确地反映营养液栽培效果;另外,在评价过程中,更加合理地确定各因子的权重。

参考文献

- [1] Rios-Gonzalez K, Erdei L, Lips S H. The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources [J]. *Plant Sci*, 2002, 162(6): 923-930.
- [2] Xu J L, Bie Z L, Zhang S L. Effects of nitrogen form ratios on the lettuce growth and activity of protective enzymes [J]. *J Huazhong Agri Univ*, 2005, 24(3): 290-294.
徐加林, 别之龙, 张盛林. 不同氮素形态配比对生菜生长、品质和保护酶活性的影响 [J]. *华中农业大学学报*, 2005, 24(3): 290-294.
- [3] Chen G L, Gao X R. Effect of partial replacement of nitrate by amino acid and urea on nitrate content of non-heading Chinese cabbage and lettuce in hydroponics [J]. *Sci Agri Sin*, 2002, 35(2): 187-191.
陈贵林, 高秀瑞. 氨基酸和尿素替代硝态氮对水培不结白菜和生菜硝酸盐含量的影响 [J]. *中国农业科学*, 2002, 35(2): 187-191.
- [4] Du H B, Wang X F, Cui X M. Studies on physiological mechanism of plant NO_3^- accumulation [J]. *China Veget*, 2001(2): 49-51.
杜红斌, 王秀峰, 崔秀敏. 植物 NO_3^- 积累的生理机制研究 [J]. *中国蔬菜*, 2001(2): 49-51.
- [5] Guo S R. *Soilless Culture* [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2003: 111-116.
郭世荣. *无土栽培学* [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 111-116.
- [6] Wang X K. *Principle and Technology of Plant Physiology and Biochemistry Experiment* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 122-123, 134-136, 190-191, 202-204.
王学奎. *植物生理生化实验原理和技术* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 122-123, 134-136, 190-191, 202-204.
- [7] Ming D X. *Field Experiment and Statistical Analysis* [M]. Beijing: Science Press, 2008: 108-111.
明道绪. *田间试验与统计分析* [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 108-111.
- [8] Hao Z L, Jin X Y, Fan C M, et al. Application of fuzzy comprehensive evaluation on the chemical quality analysis to fine manipulated leaves of Oolong Tea [J]. *Chin J Trop Crops*, 2011, 32(11): 2157-

2162.
郝志龙, 金心怡, 范春梅, 等. 模糊综合评判法在乌龙茶做青叶品质化学分析中的应用 [J]. 热带作物学报, 2011, 32(11): 2157–2162.
- [9] Wang B, Shen Q R, Lai T, et al. Effects of $\text{NH}_4^+\text{-N} / \text{NO}_3^-\text{-N}$ ratio in nutrient solution on growth of lettuce in hydroponics [J]. *Acta Pedol Sin*, 2007, 44(3): 561–565.
王波, 沈其荣, 赖涛, 等. 不同铵硝比营养液对生菜生长发育影响的研究 [J]. 土壤学报, 2007, 44(3): 561–565.
- [10] Wang M X, Zhou Z F, Yuan L. Effect of nitrate on quantity and quality of different lettuces [J]. *J SW China Norm Univ (Nat Sci)*, 2007, 32(4): 43–46.
王明霞, 周志峰, 袁玲. 硝态氮对不同品种生菜产量和品质的影响 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2007, 32(4): 43–46.
- [11] Luo J K, Chen W, Zhang P W, et al. Effects of enhanced ammonium on the growth and chlorophyll content of Chinese cabbage [J]. *Acta Pedol Sin*, 2005, 42(4): 614–617.
罗金葵, 陈巍, 张攀伟, 等. 增铵对小白菜生长和叶绿素含量的影响 [J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 614–617.
- [12] Pan R Z, Dong Y D. *Plant Physiology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1995: 53–55, 76–77, 111.
潘瑞炽, 董愚得. 植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 53–55, 76–77, 111.
- [13] Wu Z Q. Effects of nitrogen in nutrient solution on nitrate and Vc content of lettuce [J]. *Fujian Agri Sci Techn*, 2009(6): 65–66.
吴振强. 不同氮源营养液配方对生菜中硝酸盐和Vc含量的影响 [J]. 福建农业科技, 2009(6): 65–66.
- [14] Qu S P. The Comprehensive evaluation and combining ability analyses of quality characters in Chinese cabbage [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2000: 10–14.
屈淑萍. 大白菜品质性状综合评价及配合力研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2000: 10–14.
- [15] Song Z J, Xue X. Evaluating new varieties of wheat by using fuzzy comprehensive evaluation method [J]. *J Anhui Agri Sci*, 2010, 38(10): 5025–5027.
宋志均, 薛鑫. 应用模糊综合评判法评价小麦新品种 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(10): 5025–5027.
- [16] Kosfeld R, Lauridsen J. Factor analysis regression [J]. *Stat Papers*, 2008, 49(4): 653–667.
- [17] Mahler C F, Lima G S. Applying value analysis and fuzzy logic to select areas for installing waste fills [J]. *Environ Monit Assess*, 2003, 84(1/2): 129–140.