

# 基于主成分分析和聚类分析的 水培生菜品种综合评价

曹彩虹<sup>1</sup>, 曹玲玲<sup>1</sup>, 田雅楠<sup>1</sup>, 张敬锁<sup>1</sup>, 张松阳<sup>1</sup>, 苏铁<sup>2</sup>, 王忠义<sup>1</sup>

(1. 北京市农业技术推广站 北京 100029; 2. 北京市密云区农业技术推广站 北京 101500)

**摘要:** 为筛选出适宜水培生产的优良生菜品种, 对 11 个参试品种的 12 个性状进行调查与分析, 并运用主成分和聚类分析方法进行综合评价。结果表明, 不同生菜品种间各指标存在显著差异, 变异系数为 4.45%~39.22%。主成分分析提取出 4 个主成分, 累积贡献率达 84.842%。聚类分析将参试品种分为 4 种类型, 其中 2 种类型适宜水培生产, 第 I 类为株形美观、耐抽薹、产量高的绿色奶油生菜类型, 第 III 类为植株大、耐抽薹、产量高、营养丰富的散叶生菜类型。结合生产实践, 水培生菜可选择绿玫瑰、奶油绿、北生 4 号、芳妮、早生裙舞等 5 个品种, 同时为丰富叶色, 可适量种植紫蝶和奶油红。

**关键词:** 生菜; 水培; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S636.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)09-087-07

## Comprehensive evaluation of hydroponically grown lettuce varieties based on principal component analysis and cluster analysis

CAO Caihong<sup>1</sup>, CAO Lingling<sup>1</sup>, TIAN Yanan<sup>1</sup>, ZHANG Jingsuo<sup>1</sup>, ZHANG Songyang<sup>1</sup>, SU Tie<sup>2</sup>, WANG Zhongyi<sup>1</sup>

(1. Beijing Agricultural Technology Extension Station, Beijing 100029, China; 2. Beijing Miyun District Agricultural Technology Extension Station, Beijing 101500, China)

**Abstract:** In order to screen out lettuce varieties suitable for hydroponic cultivation, principal component analysis and cluster analysis were used to evaluate the cultivation adaptability of 11 varieties. The results showed that there were significant differences in the 12 agronomic traits among different varieties, and the variation coefficient were ranged from 4.45% to 39.22%. The principal component analysis showed that 12 traits were integrated into four principal components making 84.842% cumulative contribution to the total variance. 11 varieties tested were divided into four categories by cluster analysis, and two of them were suitable for hydroponic production. The category I is the green butter Lettuce with beautiful plant architecture, bolting resistance and high yield; the category III is the type of leaf lettuce with large plant, bolting resistance, high yield and abundant nutrition. Combined production practices, 5 varieties were suitable for cultivating hydroponically including Lvmeigui, Naiyoulv, Beisheng No. 4, Fangni and Zaoshengqunwu. Meanwhile, we could moderately plant Zidie and Naiyouhong in order to enhance ornamental value.

**Key words:** Lettuce; Hydroponics; Principal component analysis; PCluster analysis

生菜(*Lactuca sativa* L.), 学名叶用莴苣, 隶属菊科莴苣属, 是一年生或二年生草本作物, 营养丰富, 富含膳食纤维、蛋白质、维生素以及抗氧化物等<sup>[1-2]</sup>。蔬菜工厂化生产是设施农业的新型栽培模式, 包括水培和基质栽培<sup>[3]</sup>。生菜是国内外水培蔬菜面积最大的作物之一<sup>[4]</sup>, 鲜食脆甜、株形美观、生长期短; 水培生菜具有环境洁净、病虫害少、茬口较

多、产量高、无连作障碍、无土传病害等优点, 深受广大消费者的青睐。水培生产通过营养液循环模式实现了节水节肥与增产增收的统一, 符合农业向资源节约型、环境友好型现代化蔬菜产业发展的趋势<sup>[5]</sup>。

目前, 关于水培生菜的研究较多, 但主要集中于营养液配方<sup>[6-9]</sup>, 光、温等环境调控<sup>[10-12]</sup>等因素对其生长及品质方面的影响。而水培生菜主栽品种单

收稿日期: 2022-07-18; 修回日期: 2023-06-12

基金项目: 北京市农业农村局科技项目—北京市设施蔬菜创新团队(BAIC01-2022); 北京市农业技术推广站基本事业职能履行及机构运行保障项目(11000022Y000000440897); 北京市农业农村局科技项目(11000022T000000460263)

作者简介: 曹彩虹, 女, 高级农艺师, 主要从事蔬菜品种选育及栽培技术与推广工作。E-mail: caihong8765@126.com

通信作者: 曹玲玲, 女, 正高级农艺师, 主要从事蔬菜集约化育苗及栽培技术与示范推广工作。E-mail: 705061917i@qq.com

一,据初步调查,京郊地区水培生菜以富兰德里等进口品种为主,价格较高,单粒种子价格约0.12元,约是普通国产品种的10倍,缺乏性价比高的优良水培品种。随着消费水平的提高,人们对蔬菜营养品质提出了新的要求,在品种选择上更加注重蔬菜的品质,因此急需获得优质的水培生菜品种。对于生菜品种的评价,前人研究多利用简单、直观、实用的形态学和单一性状的比较进行评价<sup>[13-15]</sup>。但这些指标之间存在一定相关性,数据信息会有重叠,加上不同指标量纲不同,难以准确全面综合考量。为综合评价品种的优劣,需运用多元统计学方法从不同角度对作物的田间农艺性状进行全面客观的分析。主成分分析法和聚类分析法在甘蓝<sup>[16]</sup>、辣椒<sup>[17]</sup>、

番茄<sup>[18]</sup>、黄瓜<sup>[19]</sup>及西瓜<sup>[20]</sup>等蔬菜作物中广泛应用,但在水培生菜的品种选择中鲜见应用。

为此,笔者以水培生菜为研究对象,选取11个国内外优新品种,对其主要植物学性状和营养品质性状进行显著性分析,同时采用主成分分析法和聚类分析法进行综合评价,以期筛选出适于水培的生菜品种,为丰富京津冀地区水培生菜品种类型提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选用11个生菜品种,详见表1。于2022年3月在北京市密云区巨海阔蔬菜种植专业合作社基

表1 供试生菜材料信息

Table 1 Informations of test materials

序号	品种	类型	种类	叶色	来源
1	芳妮	皱叶莴苣	散叶生菜	绿色	北京鼎丰现代农业发展有限公司
2	意大利	皱叶莴苣	散叶生菜	绿色	北京鼎丰现代农业发展有限公司
3	早生裙舞	皱叶莴苣	散叶生菜	绿色	上海惠和种业有限公司
4	紫蝶	皱叶莴苣	奶油生菜	紫色	上海惠和种业有限公司
5	奶油红	皱叶莴苣	奶油生菜	紫色	北京鼎丰现代农业发展有限公司
6	奶油绿	皱叶莴苣	奶油生菜	绿色	北京鼎丰现代农业发展有限公司
7	绿玫瑰	皱叶莴苣	奶油生菜	绿色	上海惠和种业有限公司
8	富兰德里	皱叶莴苣	奶油生菜	绿色	瑞克斯旺(中国)种子有限公司
9	绿蝶	皱叶莴苣	奶油生菜	绿色	上海惠和种业有限公司
10	北生4号	皱叶莴苣	奶油生菜	绿色	北京开心格林农业科技有限公司
11	芭拉里娜	皱叶莴苣	奶油生菜	绿色	瑞克斯旺(中国)种子有限公司

地进行水培生菜种植。

### 1.2 方法

以11个生菜品种为试材,于2022年2月10日在小汤山特菜大观园东区日光温室采用椰糠基质块育苗,基质块规格为30 mm×30 mm,将基质块放入72孔穴盘中,进行育苗。苗龄2叶1心时进行1次间苗,4~5片真叶时进行炼苗移栽。3月15日,将生菜成苗定植于密云巨海阔种植合作社日光温室内,11个品种,3次重复,每个重复324株,共33个小区,随机区组排列。采用管道式营养液膜模式进行栽培,栽培管道长10.8 m,行距10 cm,株距10 cm,每3行为1个小区,小区面积为3.28 m<sup>2</sup> (10.8 m×0.3 m),每小区种植1个品种。生产期间营养液的EC值控制在1.5~1.6 mS·cm<sup>-1</sup>,pH值控制在5.5~6.5,栽培期间统一管理。

### 1.3 指标测定

2022年4月25日,即定植40 d左右进行生菜统一采收,参照李锡香等<sup>[21]</sup>在《莴苣种质资源描述规

范和数据标准》中的具体要求,对植株叶片数、最大叶片长、最大叶片宽、中心柱长、中心柱粗、单株鲜质量、单株干质量等性状进行调查,每个小区随机采集5个样品进行测定。叶片数是指采收期植株叶片大于5 cm的叶片总数;最大叶片长指植株最大叶的叶片基部至叶顶端的长度;最大叶片宽指植株最大叶最宽处的宽度;中心柱长指植株中心柱从基部到顶端的长度;中心柱粗指中心柱基本横切面的中心线宽度;单株鲜质量指采收期地上部鲜质量;单株干质量指植株在烘箱内经过105℃杀青30 min后,85℃烘干至恒质量时的质量。采用折光仪法测定可溶性固形物含量,参照NY/T 2637—2014<sup>[22]</sup>;采用铜还原碘量法测定可溶性糖含量,参照NY/T 1278—2007<sup>[23]</sup>;采用考马斯亮蓝染色法测定可溶性蛋白含量<sup>[24]</sup>;采用2,6-二氯酚酚滴定法测定维生素C含量,参照GB 5009.5—2016<sup>[25]</sup>、按第二法要求进行,采用氢氧化钾法测定硝态氮含量,按GB 5009.33—2016要求进行<sup>[26]</sup>。

## 1.4 数据分析

试验数据使用 Excel 2007 进行统计,采用 SPSS 22.0 进行差异显著性分析和主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水培生菜品种的植物学性状分析

由表 2 可知,不同品种间除中心柱粗外,其他 6 个性状均存在显著性差异。紫蝶和奶油红的叶片数最多,在 60 片以上,显著高于其他品种,但其叶片较小,最大叶片长和最大叶片宽均为最小,2 种紫色奶油生菜株型小,叶片层次多,外形美观;而绿色奶油生菜最大叶片长区间为 15.57~19.23 cm,宽为 14.63~18.63 cm,叶片大小处于中间型,同一品种最

大叶片长与最大叶片宽差异较小,散叶生菜叶片长区间为 19.50~27.83 cm,叶片宽区间为 13.67~16.00 cm,叶片普遍较长,同一品种最大叶片长和最大叶片宽差异较大;中心柱最短的是绿玫瑰,为 3.70 cm,最长的是奶油红,为 13.17 cm,中心柱长短与植株是否抽薹相关,可初步判断耐抽薹特性,初步说明绿玫瑰的耐抽薹特性较强,而奶油红相对不耐抽薹;在单株鲜质量方面,早生群舞和芳妮较重,分别为 289.40、280.68 g,其次为绿玫瑰和奶油绿,最低的 2 个品种为紫蝶和奶油红,分别为 118.07、117.67 g;品种间单株干质量与鲜质量的差异趋势基本一致。由此可见,在同样生育期条件下,散叶生菜产量较高,绿色奶油生菜次之,紫色奶油生菜

表 2 不同水培生菜品种植物学性状分析

Table 2 Analysis on botanical characters of different hydroponic lettuce varieties

品种	叶片数	最大叶片长/cm	最大叶片宽/cm	中心柱长/cm	中心柱粗/cm	单株鲜质量/g	单株干质量/g
芳妮	49.67±1.53 bc	20.63±2.55 b	15.50±0.20 cde	5.43±1.12 defg	1.73±0.06 a	280.68±19.27 a	12.10±1.24 a
意大利	33.00±2.00 d	19.50±1.11 bc	13.67±1.34 e	8.10±0.66 c	1.77±0.06 a	189.40±6.68 d	9.56±0.33 bc
早生裙舞	48.67±4.04 bc	27.83±1.89 a	16.00±0.82 cd	7.10±0.66 cde	1.57±0.06 a	289.40±6.68 a	12.56±0.79 a
紫蝶	61.67±4.04 a	14.07±0.46 e	8.27±0.21 f	10.53±0.80 b	1.13±0.15 a	118.07±20.67 e	5.15±0.82 d
奶油红	66.00±2.00 a	13.67±0.72 e	8.20±0.79 f	13.17±1.11 a	1.20±0.17 a	117.67±16.44 e	5.42±0.43 d
奶油绿	50.33±6.51 b	16.93±0.49 cd	16.13±1.30 cd	7.37±1.15 cd	3.27±3.59 a	260.61±24.86 ab	11.74±1.04 ab
绿玫瑰	49.00±2.65 bc	19.23±0.38 bc	18.63±0.12 a	3.70±0.36 g	1.57±0.21 a	268.09±4.14 ab	11.97±0.42 a
富兰德里	47.67±2.08 bc	17.50±0.50 cd	18.17±1.04 ab	5.20±0.50 efg	1.23±0.15 a	233.47±19.17 bc	10.45±1.13 ab
绿蝶	45.00±2.00 bc	15.57±0.21 de	14.63±0.12 de	4.87±0.46 fg	1.30±0.26 a	184.76±11.92 d	8.10±1.21 c
北生 4 号	41.67±0.58 c	17.57±0.21 cd	16.63±0.12 bc	5.37±0.25 defg	1.70±0.10 a	207.09±8.92 cd	10.77±1.19 ab
芭拉里娜	51.67±1.15 b	17.12±0.69 cd	16.82±0.70 bc	6.47±0.60 cdef	2.30±0.10 a	185.51±7.68 d	9.36±0.53 bc
平均值	49.49	18.00	14.65	7.03	1.71	212.25	9.74
最小值	33.00	13.67	8.20	3.70	1.13	117.67	5.15
最大值	66.00	27.83	18.63	13.17	3.27	289.40	12.56
标准差	8.85	3.95	3.50	2.76	0.62	60.31	2.58
变异系数/%	17.89	21.96	23.91	39.22	36.16	28.42	26.50

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

产量较低。

### 2.2 不同水培生菜品种的主要营养品质分析

由表 3 可知,不同品种间营养品质存在显著差异。可溶性糖含量( $w$ ,后同)最高的品种是芳妮,达  $8.20 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,最低的为紫蝶  $2.80 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,且含量由高到低为芳妮>奶油红=早生舞裙>绿玫瑰>北生 4 号>富兰德里>意大利>芭拉里娜>绿蝶>奶油绿>紫蝶。可溶性蛋白含量最高的是奶油红,为  $12.16 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,其次为意大利,二者均显著高于其他品种,芳妮和奶油绿含量最低,均为  $6.72 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ;可溶性固形物含量最高的是绿玫瑰,含量为 3.60%,最低的是富兰德里,为 1.97%;各个品种之间的维生素 C 含量无显

著差异;硝态氮含量最高的是富兰德里,次高是奶油绿,分别为  $599.54$ 、 $591.78 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,最低的是奶油红,含量为  $338.67 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

### 2.3 生菜主要农艺性状主成分分析

将水培生菜的调查指标进行主成分分析,由表 4 可知,主成分分析提取了 4 个主成分 PC1、PC2、PC3 和 PC4,方差贡献率分别为 48.453%、19.052%、9.498%、7.840%,累计贡献率达到 84.842%。结果表明,这 4 个综合指标覆盖了大部分原始数据的信息,可以用来对 11 个生菜品种进行综合分析。

由表 4 可知,PC1 中载荷最高的因子为单株干

表3 不同生菜品种营养品质含量

Table 3 Nutritional quality content of the different lettuce varieties

品种	w(可溶性糖)/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性蛋白)/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶性固形物)/%	w(维生素C)/(mg·100g <sup>-1</sup> )	w(硝态氮)/(μg·g <sup>-1</sup> )
芳妮	8.20±0.16 a	6.72±0.43 d	2.20±0.10 de	2.31±0.13 a	415.67±3.98 e
意大利	4.70±0.13 bcde	11.25±0.53 a	2.80±0.10 bc	2.30±0.05 a	487.69±4.03 c
早生裙舞	7.00±0.08 ab	9.92±0.13 b	2.23±0.06 de	2.17±0.03 a	431.03±5.53 de
紫蝶	2.80±0.10 e	10.15±0.29 b	2.47±0.12 cd	2.28±0.12 a	465.38±3.62 cd
奶油红	7.00±0.06 ab	12.16±0.36 a	2.57±0.06 c	2.07±0.19 a	338.67±4.94 f
奶油绿	4.00±0.08 de	6.72±0.42 d	3.03±0.06 a	2.35±0.12 a	591.78±5.84 ab
绿玫瑰	6.60±0.05 abc	7.98±0.34 c	3.60±0.10 a	2.37±0.19 a	563.49±3.78 ab
富兰德里	5.60±0.07 bcd	8.21±0.55 c	1.97±0.12 e	2.27±0.10 a	599.54±4.84 a
绿蝶	4.30±0.06 cde	6.98±0.78 cd	2.60±0.10 c	2.34±0.10 a	553.91±15.99 b
北生4号	6.20±0.04 abcd	7.18±0.58 cd	2.93±0.32 a	2.37±0.02 a	550.16±45.75 b
芭拉里娜	4.40±0.05 cde	7.58±0.30 cd	2.04±0.11 e	2.14±0.05 a	412.58±23.02 e
平均值	5.50	8.62	2.27	2.59	491.81
最小值	2.80	6.72	2.07	1.97	338.67
最大值	8.20	12.16	2.37	3.60	599.54
标准差	1.60	1.93	0.10	0.49	85.99
变异系数/%	29.32	22.33	4.45	18.80	17.48

质量,其次为最大叶片宽、中心柱长、单株鲜质量、叶片数、最大叶片长等指标,覆盖了48.453%的原始数据信息量,这些指标主要与生菜植株生长和产量相关,此外PC3的决定因子是中心柱粗,该指标也主要与生菜生长有关,因此将PC1和PC3归为植株生长形态因子和产量因子;决定PC2、PC4大小的因子分别为可溶性糖、维生素C、可溶性固形物、硝态氮含量等指标,它们反映了原始数据信息量的19.052%和7.840%,这些指标主要反映了生菜的营养品质,可以概括为营养品质因子。

通过对4个主成分的特征向量分析(表4)和 $X_1 \sim X_{12}$ 性状指标数值的标准化处理,建立这4个主成分的线性回归方程如下:

$$PC1 = -0.771X_1 + 0.538X_2 + 0.920X_3 - 0.921X_4 + 0.387X_5 - 0.872X_6 + 0.921X_7 + 0.277X_8 - 0.741X_9 + 0.250X_{10} + 0.667X_{11} + 0.629X_{12};$$

$$PC2 = 0.097X_1 + 0.675X_2 + 0.054X_3 + 0.099X_4 - 0.227X_5 + 0.344X_6 + 0.298X_7 + 0.768X_8 + 0.301X_9 - 0.477X_{10} - 0.593X_{11} - 0.649X_{12};$$

$$PC3 = 0.305X_1 + 0.059X_2 + 0.120X_3 + 0.118X_4 + 0.779X_5 + 0.196X_6 + 0.186X_7 - 0.231X_8 - 0.293X_9 - 0.196X_{10} - 0.287X_{11} - 0.100X_{12};$$

$$PC4 = 0.003X_1 + 0.176X_2 - 0.156X_3 + 0.269X_4 + 0.260X_5 + 0.113X_6 + 0.147X_7 + 0.192X_8 + 0.354X_9 + 0.772X_{10} + 0.105X_{11} - 0.054X_{12}.$$

通过SPSS 22.0将原始数据进行Z标准化,然

表4 生菜主要农艺性状的主成分特征向量及贡献率

Table 4 Principal component eigenvectors and contribution rate of main agronomic characters of lettuce

农艺性状	PC1	PC2	PC3	PC4
叶片数( $X_1$ )	0.711	0.097	0.305	0.003
最大叶片长( $X_2$ )	0.538	0.675	0.059	0.176
最大叶片宽( $X_3$ )	0.920	0.054	0.12	-0.156
中心柱长( $X_4$ )	-0.911	0.099	0.118	0.269
中心柱粗( $X_5$ )	0.387	-0.227	0.779	0.26
单株鲜质量( $X_6$ )	0.872	0.344	0.196	0.133
单株干质量( $X_7$ )	0.921	0.298	0.186	0.147
可溶性糖含量( $X_8$ )	0.277	0.768	-0.231	0.192
可溶性蛋白含量( $X_9$ )	-0.714	0.301	-0.293	0.354
可溶性固形物含量( $X_{10}$ )	0.250	-0.477	-0.196	0.772
维生素C含量( $X_{11}$ )	0.667	-0.593	-0.287	0.105
硝态氮含量( $X_{12}$ )	0.629	-0.649	-0.1	-0.054
特征值	6.299	2.477	1.235	1.019
方差贡献率/%	48.453	19.052	9.498	7.840
累计贡献率/%	48.453	67.505	77.002	84.842

后将标准化后的数据与得分系数矩阵对应相乘,得到的因子得分矩阵见表5。然后计算4个主成分得分( $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ ),将因子得分FAC乘以相应的方差(即特征值)的算术平方根,即 $F_1 = \text{FAC}_1 \times \sqrt{6.299}$ ,  $F_2 = \text{FAC}_2 \times \sqrt{2.477}$ ,  $F_3 = \text{FAC}_3 \times \sqrt{1.235}$ ,  $F_4 = \text{FAC}_4 \times \sqrt{1.019}$ ,再将4个主成分的特征值加权,得到各个品种的综合得分 $F_{\text{总}} = F_1 \times 48.453\% + F_2 \times 19.052\% + F_3 \times 9.498\% + F_4 \times 7.840\%$ 。从表6可以看出,参试的11个水培生菜品种的综合评价得分高低顺序依次

表5 不同生菜品种的主成分因子得分

Table 5 Principal component factor score of the different lettuce varieties

品种	FAC-1	FAC-2	FAC-3	FAC-4
芳妮	0.768	1.265	-0.169	-0.511
意大利	0.063	-0.083	-1.115	0.814
早生裙舞	0.304	1.906	0.567	0.482
紫蝶	-1.595	-1.028	-0.255	-0.300
奶油红	-2.146	0.777	-0.116	0.854
奶油绿	0.604	-1.247	2.106	1.050
绿玫瑰	1.031	-0.321	-0.784	1.322
富兰德里	0.474	0.067	-0.508	-1.634
绿蝶	0.065	-1.059	-0.548	-0.967
北生4号	0.671	-0.509	-0.680	0.135
芭拉里娜	-0.239	0.233	1.503	-1.245

表6 不同生菜品种主成分得分及排名

Table 6 Principal component score, comprehensive scores and rankings of the different lettuce varieties

品种	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>总</sub>	排名
芳妮	1.927	1.991	-0.188	-0.516	1.257	1
意大利	0.158	-0.131	-1.239	0.822	-0.002	7
早生裙舞	0.763	3.001	0.630	0.486	1.041	3
紫蝶	-4.002	-1.618	-0.283	-0.303	-2.301	10
奶油红	-5.387	1.223	-0.129	0.862	-2.324	11
奶油绿	1.516	-1.962	2.339	1.060	0.665	4
绿玫瑰	2.589	-0.505	-0.871	1.334	1.180	2
富兰德里	1.190	0.105	-0.564	-1.648	0.415	6
绿蝶	0.162	-1.668	-0.609	-0.976	-0.374	9
北生4号	1.684	-0.802	-0.755	0.136	0.602	5
芭拉里娜	-0.599	0.366	1.670	-1.256	-0.160	8

为芳妮、绿玫瑰、早生群舞、奶油绿、北生4号、富兰德里、意大利、芭拉里娜、绿蝶、紫蝶、奶油红。

2.4 生菜主要农艺性状聚类分析

由图1可知,当欧氏距离为5时,11个水培生菜品种可以分为4类,第1类聚集了绿蝶、北生4号、富兰德里、绿玫瑰、奶油绿,均为绿色奶油生菜类型,表现为株形美观,叶片大小中等,叶长叶宽相差较小,叶形指数接近于1,中心柱较短,耐抽薹,单株产量中等偏上,硝态氮含量偏高;第2类包括意大利和芭拉里娜,表现为中心柱长于第1类,采

收时即将开始抽薹,单株鲜质量低于200g;第3类包括芳妮和早生舞裙,均为散叶生菜类型,表现为植株生长旺盛,叶片大,中心柱短,耐抽薹,单株鲜质量高,均在280g以上,可溶性糖含量高,硝态氮含量低,为兼顾高产高品质的优良品种;第4类包括紫蝶和奶油红,为紫色奶油生菜类型,表现为株型小但株形美观,叶片多但单片叶较小,中心柱长,不耐抽薹,单株鲜质量小低于120g,可溶性蛋白含量高,为产量低、营养品质高、外形美观的品种类型。

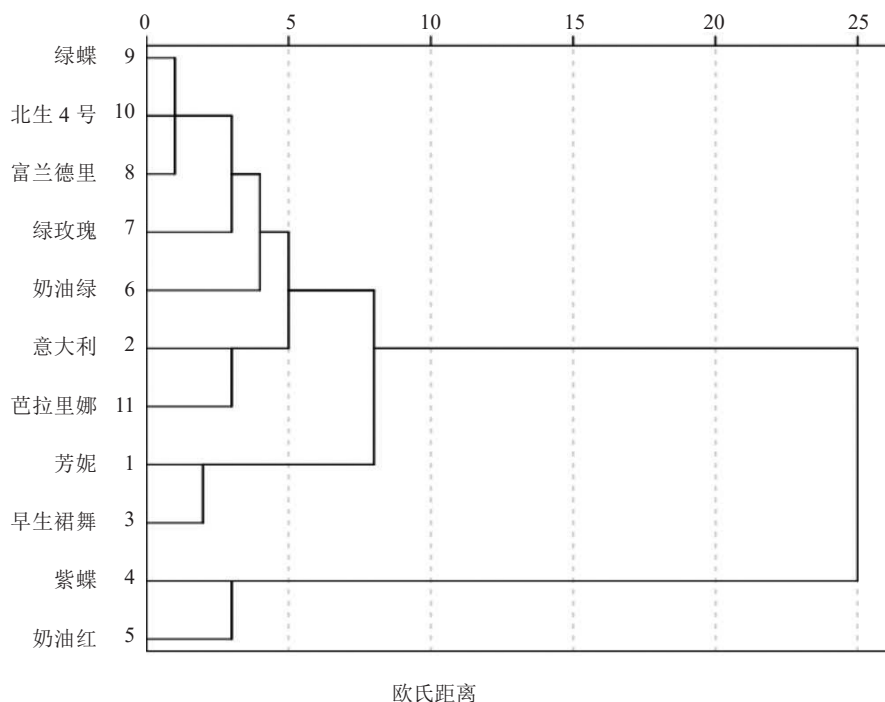


图1 11个生菜品种聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of 11 lettuce varieties

### 3 讨论与结论

不同水培生菜品种因遗传背景不同,田间性状指标差异较大,因此适宜的品种对提高生菜品质和产量至关重要。对生菜品种的评价与选择,研究学者多有报道<sup>[27-28]</sup>,江晓尧等<sup>[29]</sup>通过对8个水培生菜品种的产量及品质进行差异显著性分析,结果表明,小奶油绿、橡叶绿较适宜水培生产;陈永快等<sup>[30]</sup>研究表明,绿玫瑰具有较高产量和营养价值,适宜南方温室 NFT 模式栽培。本研究结果表明,绿色奶油类型的品种推荐奶油绿和绿玫瑰,这一结果与前人研究基本一致。此外,孙剑霞等<sup>[31]</sup>研究表明,奶油生菜和辛普森生菜产量较高,综合性状均优于紫叶生菜,可作为当地水培生菜种植推荐品种。

在生菜的品种选择过程中,最常用的评价方法是将产量性状、耐抽薹性状及其相关的性状进行分析评价<sup>[32-33]</sup>,评价时主观因素太多且分析比较片面。为避免单一性状评价的片面性,可采用多元统计学方法对作物进行全面客观的评价<sup>[34]</sup>。主成分分析法是在保留原始数据的基础上,将相互关联的多个指标通过空间降维后,简化为少数几个线性组合所构成的综合指标,能够更加全面客观地评价作物特性<sup>[35]</sup>。聚类分析法是分类学与多元分析相结合的统计方法,能够根据调查指标的相似性或差异性,定量确定不同品种间的亲疏关系,进行分类<sup>[36]</sup>。本研究结果表明,采用主成分分析从12个主要农艺性状中提取出4个主成分,分为产量因子和品质因子两类,PC1、PC3为单株干质量、最大叶片宽、中心柱长、单株鲜质量、叶片数、最大叶片长、中心柱粗等指标,PC2、PC4为可溶性糖、维生素C、可溶性固形物、硝态氮含量等指标,累计贡献率达到84.842%。这些与实际生产中要求生菜品种产量高和品质佳相符。同时这一结果与冯海萍等<sup>[37]</sup>和刘永军等<sup>[38]</sup>的研究结果基本一致,能够更全面更客观地对生菜进行评价。冯海萍等<sup>[37]</sup>对不同娃娃菜品种比较中提取了2个主成分,第一主成分综合了叶球横径、叶球纵径、叶球质量、叶球净质量等产量性状信息,第二主成分综合了维生素C含量、可溶性固形物含量等品质性状信息。刘永军等<sup>[38]</sup>通过对11个生菜品种的10个耐热指标进行评价,提出了主成分Z1(形态指标主成分)和Z2(生理指标主成分)的贡献率分别是75.11%和18.00%,累计贡献率达到了93.11%。

此外,生菜的生长和品质除受品种特性影响

外,受外界环境影响也较大,不同生产茬口、气候条件等因素可能影响参试材料的性状,从而对分析结果造成一定影响。本试验的生产季节是在春季,而对生菜夏季耐热性评价和周年生产需进一步研究。因此,在水培生菜生产实践中,应根据实际情况,选择满足不同生产需求的优良品种,科学推广良种良法配套技术,充分挖掘其生长潜力,促进良品产出。

笔者通过对11个生菜品种进行主成分分析和聚类分析,结果表明水培生菜在生产过程中,可选择第1类中的绿玫瑰、奶油绿、北生4号和富兰德里等绿色奶油生菜,但富兰德里种子价格较高,可优先考虑绿玫瑰和奶油绿这2个性价比高的品种;也可选择第3类中的芳妮和早生舞裙等散叶生菜,早生舞裙相比芳妮,生长迅速,可提前5~7d采收,但种子价格较高,在选择时需结合生产需求;同时为提升水培生菜美观度,可适量种植第4类中的紫蝶和奶油红等紫色奶油生菜,在销售时进行搭配,但高温季节易抽薹,不宜种植。

#### 参考文献

- [1] 刘甜甜,陈青君,范双喜.结球莴苣品种比较试验研究[J].中国农学通报,2011,27(6):138-142.
- [2] 刘蕊,王晓茜,韩莹琰,等.北京地区春茬栽培的结球生菜品种筛选[J].北京农学院学报,2018,33(2):53-57.
- [3] 郭世荣.无土栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [4] 雷喜红,李蔚,孙朝华,等.蔬菜工厂化生产(八):高品质生菜水培生产技术[J].中国蔬菜,2019(2):87-90.
- [5] 刘士哲.水培蔬菜产业化前景及存在问题及解决途径[J].农业工程技术,2017,37(22):39-45.
- [6] 王虹,宋一鹏.氨基酸态氮与硝态氮不同配比对生菜生长及品质的影响[J].浙江农业科学,2022,63(12):2837-2839.
- [7] 王利春,郭文忠,李友丽,等.供氮质量浓度对水培生菜营养液消耗影响模拟研究[J].灌溉排水学报,2011,40(11):37-43.
- [8] 罗江宏,李杰,李娟,等.施氮水平和间断施氮对生菜生长和品质的影响[J].北方园艺,2022(11):23-30.
- [9] 康小燕,徐洪武,滕赛,等.奶油生菜水培营养液配方筛选[J].浙江农业科学,2021,62(8):1556-1557.
- [10] 刘家源,张玉彬,刘文科,等.采前红蓝光连续光照光强对水培生菜生长、品质及AsA代谢的影响[J].中国农业科技导报,2022,24(5):76-84.
- [11] 孟力力,宋江峰,柏宗春,等.远红光对生菜光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J].江苏农业学报,2022,38(1):181-189.
- [12] 张渊博,郝文琴,石玉,等.不同光周期下外源锌对水培生菜生长和品质的影响[J].中国农学通报,2022,38(13):41-46.
- [13] 王光锋,孙利利,甘良,等.韩国优良生菜品种性状比较[J].浙江农业科学,2017,58(1):62-65.
- [14] 陈艳丽,付亚男,李绍鹏,等.海南夏季散叶生菜品种栽培比较试验[J].北方园艺,2014(19):35-37.

- [15] 李蔚,李新旭,雷喜红,等.北京地区水培叶菜周年高效生产品种筛选及栽培技术[J].中国蔬菜,2021(10):128-131.
- [16] 邵翔,陈锦秀,郭三红,等.不同甘蓝自交系品质性状分析[J].分子植物育种,2021,19(9):3065-3073.
- [17] 李伟明,吴旭东,胡卫丛,等.基于主成分分析和聚类分析的不同品种辣椒综合评价[J].北方园艺,2022(9):55-60.
- [18] 赵玉红,孙涛,朱柯钰,等.陕北基质栽培樱桃番茄品种的筛选[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(10),73-82.
- [19] 于娅,李艳军,王飞,等.北方地区黄瓜种质资源农艺性状的主成分和聚类分析[J].中国瓜菜,2020,33(12):29-34.
- [20] 侯东颖,苏东涛,郝科星,等.基于主成分和聚类分析的无籽西瓜果实性状的综合评价[J].中国瓜菜,2022,35(5):37-41.
- [21] 李锡香,王海平.莴苣种质资源描述规范和数据标准[S].北京:中国农业科技出版社,2007.
- [22] 中华人民共和国农业部.水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法:NY/T 2637-2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [23] 中华人民共和国农业部.蔬菜及其制品中可溶性糖的测定 铜还原碘量法:NY/T 1278-2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [24] 曲春香,沈颂东,王雪峰,等.用考马斯亮蓝测定植物粗提液中可溶性蛋白质含量方法的研究[J].苏州大学学报(自然科学版),2006,22(2):82-85.
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定:GB 5009.33-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [27] 刘磊,曾迪,谢玉萍,等.水培生菜高产品种筛选及不同通气处理对生菜平均单株质量和品质的影响[J].热带作物学报,2012,33(4):613-616.
- [28] 马通,李敏.叶用莴苣耐热品种筛选[J].中国蔬菜,2015(9):53-57.
- [29] 江晓尧,郭宇,刘中华,等.8个水培叶用莴苣品种比较[J].北京农学院学报,2022,37(4):47-51.
- [30] 陈永快,王涛,黄语燕,等.不同品种叶用莴苣营养液膜栽培性状及产量分析[J].福建农业学报,2019,34(10):1158-1166.
- [31] 孙剑霞,赵艳.无土栽培生菜品种比试验[J].蔬菜,2020(2):68-70.
- [32] 刘红强,郭三红.上海地区日光利用型植物工厂周年生产水培生菜品种筛选[J].安徽农业科学,2022,50(1):210-212.
- [33] 谢蒙胶,韩莹琰,秦晓晓,等.不同品种叶用莴苣的营养品质与抗氧化活性的研究[J].北京农学院学报,2017,32(3):46-51.
- [34] 王美珍,季蒙,张文军,等.DTOPSIS法在柠条品系综合评价中的应用[J].内蒙古林业科技,2012,38(4):19-22.
- [35] 何晓群.多元统计分析[M].中国人民大学出版社,2004.
- [36] 史卫东,罗海玲,康红卫,等.基于主成分分析与聚类分析的菜心品种评价[J].安徽农业科学,2020,48(24):46-52.
- [37] 冯海萍,刘晓梅,白生虎,等.不同娃娃菜品种在宁南山区的适应性评价[J].种子,2021,40(10):121-125.
- [38] 刘永军,陈锐,李永军,等.适合鱼菜共生栽培系统的生菜品种耐热性综合评价[J].上海农业学报,2023,39(1):14-19.