



基于黄花菜产量与品质特征的优异种质筛选及评价

李洲, 谭方曦, 赵乙灿, 张定山, 洪建基, 吴松海

引用本文:

李洲,谭方曦,赵乙灿,张定山,洪建基,吴松海. 基于黄花菜产量与品质特征的优异种质筛选及评价[J]. 热带亚热带植物学报, 2024, 32(1): 82-92.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4701>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[橄榄种质资源花序表型性状遗传多样性研究](#)

Studies on Genetic Diversity on Inflorescence Phenotypic Characteristics of *Canarium album* Germplasm Resource
热带亚热带植物学报. 2019, 27(1): 1-10 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3940>

[火龙果种质资源果实特性的遗传多样性分析](#)

Genetic Diversity Analysis of Fruit Traits of *Hylocereus undatus* Germplasm Resources
热带亚热带植物学报. 2019, 27(4): 432-438 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4007>

[基于表型性状和SSR标记的57份辣椒种质遗传多样性分析](#)

Genetic Diversity Analysis of 57 Germplasms of *Capsicum annuum* Based on Phenotypic Traits and SSR Markers
热带亚热带植物学报. 2020, 28(4): 356-366 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4185>

[谷子产量和品质相关性状的杂种优势及遗传特性分析](#)

Heterosis and Genetic Characteristics Analysis for Yield and Quality Related Characters in *Setaria italica*
热带亚热带植物学报. 2021, 29(4): 349-359 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4296>

[重齿当归形态数量性状的分级研究](#)

Classification Study on Morphological Quantitative Characteristics of *Angelica biserrata*
热带亚热带植物学报. 2021, 29(6): 688-693 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4369>

向下翻页, 浏览PDF全文

基于黄花菜产量与品质特征的优异种质筛选及评价

李洲¹, 谭方曦², 赵乙灿², 张定山¹, 洪建基¹, 吴松海^{1*}

(1. 福建省农业科学院亚热带农业研究所, 福建 漳州 363005; 2. 闽南师范大学生物科学与技术学院, 福建 漳州 363000)

摘要: 为筛选黄花菜(*Hemerocallis citrina*)优异种质资源, 采用相关分析、逐步回归、通径分析和基于逼近理想解排序(TOPSIS)分析等方法, 对 20 份菜用黄花菜种质的产量形成与品质进行了综合评价。结果表明, 不同黄花菜种质的农艺、产量和品质性状变异丰富, 变异系数为 1.9%~75.6%, 其中以花蕾色度 a^* 值的变异系数最大, 总黄酮含量、花蕾质量次之, 花蕾含水量最低。花蕾质量、花蕾粗和花蕾数与产量均呈显著或极显著相关, 相关系数分别为 0.737、0.583 和 0.517。营养品质间的相关性较弱, 而外观颜色指标间及其与部分营养品质存在极显著相关性。影响黄花菜产量的主要决定因子为花蕾质量和花蕾数, 其决策系数分别为 0.534 和 0.239。营养品质和外观颜色的权重分别为 0.523 和 0.477, 结合 TOPSIS 法可以对不同种质的品质进行有效区分。根据综合得分与产量绘制二维散点分布图可以快速筛选到产量与品质均佳的优异资源。

关键词: 黄花菜; 产量; 品质; TOPSIS 法; 种质筛选

doi: 10.11926/jtsb.4701

Screening and Evaluation of Superior Germplasm Based on Yield and Quality Characteristics of *Hemerocallis citrina*

LI Zhou¹, TAN Fangxi², ZHAO Yican², ZHANG Dingshan¹, HONG Jianji¹, WU Songhai^{1*}

(1. Institute of Subtropical Agriculture, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Zhangzhou 363005, Fujian, China; 2. Department of Biological Science and Technology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, Fujian, China)

Abstract: The aim was to screen the superior germplasm resources of *Hemerocallis citrina*. The yield formation and quality of 20 *H. citrina* germplasms were evaluated by using correlation analysis, stepwise regression, path analysis and TOPSIS analysis. The results showed that variations in agronomic, yield and quality traits among different *H. citrina* germplasms were rich with coefficient of variation (CV) from 1.9% to 75.6%. The CV of bud chroma a^* (redness) was the highest (75.6%), followed by total flavone content (67.9%) and bud weight (41.0%), and water content of bud was the lowest (1.9%). Bud weight, bud diameter and flower moss number were significantly correlated with yield with CV of 0.737, 0.583 and 0.517, respectively. The correlation among nutrient quality traits was weak, while the correlation between appearance color index and some nutritional quality was extremely significant. The results of stepwise regression and path analysis suggested that floral bud weight and scape number were the main determinant of yield formation across all investigated germplasms, with decision coefficients of 0.534 and 0.239, respectively. The combination weights of nutritional quality and color parameters, calculated by using the method of coefficient of variation-entropy weight, were 0.523 and 0.477, respectively, and the results could effectively distinguish the best quality rank of different germplasm resources with application of combined the TOPSIS analysis method. Two-dimensional scatter distribution diagrams, a

收稿日期: 2022-07-11 接受日期: 2022-10-09

基金项目: 福建省公益类科研院所基本科研专项(2020R1030006, 2021R1030002); 福建省农业科学院科技创新团队建设项目(CXTD2021006-3)资助
This work was supported by the Project for Basis Scientific Research of Public Welfare Scientific Research Institutes in Fujian (Grant No. 2020R1030006, 2021R1030002), and the Project for Science and Technology Innovation Team of Fujian Academy of Agricultural Sciences (Grant No. CXTD2021006-3).

作者简介: 李洲(1989 年生), 男, 助理研究员, 研究方向为特色蔬菜遗传育种与高产高效栽培。E-mail: chqhlj@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 77894467@qq.com

visualized overall assessment result simultaneously considering yield and quality, could be derived for use in the high yield and bud quality quickly screening of *H. citrina*.

Key words: *Hemerocallis citrine*; Yield; Quality; TOPSIS method; Germplasm screening

黄花菜(*Hemerocallis citrina*)又名金针菜, 现已列入阿福花科(Asphodelaceae)萱草属^[1], 为多年生单子叶草本植物。黄花菜因其美丽的花朵、宜人的风味和富含有益健康的次生代谢物而被用作观赏植物、蔬菜或药用植物, 因此也被视为一种功能性蔬菜作物^[2]。在我国, 黄花菜已有 2000 多年的栽培历史, 2018 年全国黄花菜的种植面积约 $6.04 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 总产量约 $5.848 \times 10^5 \text{ t}$, 产值达到 43.23 亿元^[3]。黄花菜种植产业已成为多个地区持续助农增收和推动乡村振兴的优势特色产业。

黄花菜可食用部分主要是未开放的花蕾, 传统以漂烫、蒸制后的干菜销售为主。随着近些年保鲜技术和加工工艺的发展, 黄花菜冷鲜菜、黄花菜酱、黄花饼干、黄花饮料等新产品逐渐增多^[4], 国内国际市场需求不断扩大; 而且人们的消费观念也已经从温饱型开始向品质型转变, 即在追求蔬菜的可食用性上, 更加注重其色、香、味、形、营养等品质特性。因此, 培育产量高、品质好的黄花菜品种成为黄花菜产业实现市场利润最大化的基础。作物的产量和品质是由多基因控制的复杂数量性状, 受其模块化特性影响, 实现高产和优质特性的融合至今仍是育种界的难题^[5], 因而在生产上常采用的方法是从已有品种中进行大量筛选。我国丰富的黄花菜种质资源为筛选高产优质黄花菜品种奠定了物质基础, 但目前对黄花菜种质资源的评价尚无统一标准。因此, 构建有效的黄花菜种质资源产量与品质性状评价方法, 对促进其品种更新和产业扶贫具有重要意义。

作物产量属于数量指标, 测定数值直接反映了产量的高低, 而作物品质是由诸多品质因子相互影响、相互制约而构成的综合性概念, 所以鉴定作物种质资源产量与品质性状的关键在于对其品质优劣进行科学合理评价。国内外学者针对品质指标参数多的特点, 建立了主成分分析法(PCA)^[6-7]、层次分析法(AHP)^[8]、模糊综合评判法(FCE)^[9]、灰色关联度分析法(GRA)^[10]、逼近理想解排序法(TOPSIS)^[11-12]等多种分析模型对作物品质进行了广泛的评价。其中, 评价指标的选取和合理赋值是这些方法进行综合评价的前提。为了克服主观

赋权法人为因素对评价指标权重的影响, 研究者们常运用变异系数法、熵权法等客观赋值法确定权重^[10,13-14]。然而, 目前关于黄花菜种质资源品质综合评价的相关研究鲜见报道, 基于此, 本研究以资源圃收集的 20 份菜用黄花菜种质资源为供试材料, 通过测定植株农艺性状、产量构成因子、花蕾外观和营养品质等指标, 对主要农艺性状与产量进行逐步回归和通径分析, 以明确黄花菜产量形成的主要决定因子, 并利用变异系数-熵权复合权重法与 TOPSIS 法相结合的方式构建黄花菜品质综合评价体系, 筛选出高产优质的黄花菜资源, 从而为我国的黄花菜种质资源的综合利用及开发改良提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的菜用黄花菜来自湖南、江苏、山东、河北、福建、四川、台湾等 7 个省份共 20 份, 种质名称及产地来源见表 1, 由本单位承建的国家闽台特色作物种质资源圃(24°32' N, 117°43' E)收集保存。该圃所在地属于南亚热带季风性湿润气候, 年平均气温 21.4 °C, 年日照时数 1 800 h, 年均降雨量 1 500 mm。所选材料均为 2018 年春季采用分株移栽, 按小区南北双行种植, 株行距为 40 cm×30 cm, 株龄已达 4 a, 为黄花菜的成龄丰产阶段。

1.2 测定指标与方法

试验于 2021 年 4 月—11 月进行, 期间调查了 20 份黄花菜种质盛花期的农艺性状。调查标准参照《黄花菜种质资源描述规范和数据标准》^[15], 即选取每份种质资源具有代表性的植株 6 株, 采用直尺测量其株高、株幅、叶长、叶宽以及主花薹长(即主花薹的基部至花序顶端的长度)、花蕾长(即花序中部花蕾的花蒂至蕾顶的长度), 并用游标卡尺测量主花薹直径(即花薹最粗处横切面的宽度)、花蕾直径(即花序中花蕾最粗处横切面的宽度); 在采摘期间, 以各个种质资源小区固定 1 m² 计产, 3 个重复, 每天单独采摘, 称量花蕾鲜质量, 并统计其抽薹数、单个花薹薹数。取部分盛花期花蕾样品于 -80 °C 超

表 1 供试黄花菜种质资源信息

Table 1 Information of *Hemerocallis citrina* germplasm resources used in this study

编号 No.	名称 Name	来源 Source	编号 No.	名称 Name	来源 Source
1	白花 Baihua	湖南 Hunan	11	华安花 Huaanhua	福建 Fujian
2	冲里花 Chonglihua	湖南 Hunan	12	荔枝海 1 号 Lizhihai No. 1	福建 Fujian
3	大乌嘴 Dawuzui	湖南 Hunan	13	明溪花 Mingxihua	福建 Fujian
4	猛子花 Mengzihua	湖南 Hunan	14	十八格 Shibage	福建 Fujian
5	雪中谢 Xuezhongxie	湖南 Hunan	15	长泰 2 号 Changtai No. 2	福建 Fujian
6	青冲 Qingchong	江苏 Jiangsu	16	诏安花 Zhaoanhua	福建 Fujian
7	四月白 Siyuebai	江苏 Jiangsu	17	紫云山 2 号 Ziyunshan No. 2	福建 Fujian
8	邢台 2 号 Xingtai No. 2	河北 Hebei	18	达州野花 Dazhouyehua	四川 Sichuan
9	三月花 Sanyuehua	山东 Shandong	19	高山 1 号 Gaoshan No. 1	台湾 Taiwan
10	四月花 Siyuehua	山东 Shandong	20	台东 6 号 Taidong No. 6	台湾 Taiwan

低温冰箱保存备用, 剩余部分经 105 °C 杀青、70 °C 烘干, 测定含水量。黄花菜的营养品质性状均为鲜样测定, 可溶性蛋白和可溶性糖分别采用考马斯亮蓝 G-250 染色法和蒽酮比色法^[16]; 维生素 C 采用磷钼杂多酸光度法^[17]; 总黄酮采用亚硝酸钠-硝酸铝分光光度法^[18]; 总酸采用 pH 计电位滴定法^[19]。并于采收现场利用 Ci6X 型分光测色仪(美国 X-Rite 公司)测定黄花菜花被的明度(lightness, L^*)值、色度 a^* (redness)值和色度 b^* (yellowness)值, 根据公式

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad [20] \text{ 计算彩度 } C^* \text{ (chroma) 值。}$$

1.3 品质指标的综合评价

1.3.1 变异系数法-熵权法确定复合权重

变异系数法是直接对黄花菜的各项品质指标数据进行计算得到的权重值(w_{vi}), $w_{vi} = v_i / \sum_{i=1}^{10} v_i$, 式中 v_i 表示第 i 项品质指标的变异系数, 即标准差 σ_i 与平均值 \bar{x}_i 的比值。

熵权法是按黄花菜的各项品质指标提供的信息量大小确定的权重值, 需要首先对数据进行无量纲处理, 为避免传统归一化数值为 0 时对运算产生影响, 本研究采用平方和归一化处理, 归一化公式

$$\text{为: } A_{ij} = X_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^{10} X_{ij}^2}, \text{ 熵值 } e_i = -\frac{1}{\ln 20} \sum_{j=1}^{20} (f_{ij} \ln f_{ij}),$$

$$\text{熵权 } w_{ei} = (1 - e_i) / \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (1 - e_i)}, \text{ 式中, } X_{ij} \text{ 表示第 } j \text{ 个}$$

评价种质的第 i 项品质指标的测定数值, f_{ij} 表示第 j 个评价品种在第 i 项品质指标下的比重, 即 $f_{ij} =$

$$A_{ij} / \sum_{j=1}^{20} A_{ij}。$$

为避免单一权重计算方法的缺陷, 将变异系数法和熵权法分别确定的权重进行耦合得到复合权重^[21],

$$w_i = \sqrt{w_{vi} \times w_{ei}} / \sum_{i=1}^{10} \sqrt{w_{vi} \times w_{ei}}。$$

1.3.2 TOPSIS 法评价

采用 TOPSIS 法对 20 个黄花菜种质的 10 项品质指标进行综合评价, 先将复合权重应用到归一化矩阵中构建加权矩阵^[10]: $Y_{ij} = (y_{ij})_{10 \times 20}$, $Y_{ij} = w_i \times A_{ij}$ 。

定义 Y_{ij} 矩阵中的各项品质指标最大值为正理想解 Z^+ , 最小值为负理想解 Z^- , 即

$$Z^+ = \left\{ \max_{1 \leq j \leq 20} Y_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, 20 \right\} = \{Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_{10}^+\};$$

$$Z^- = \left\{ \min_{1 \leq j \leq 20} Y_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, 20 \right\} = \{Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_{10}^-\}。$$

然后通过公式分别计算各个评价种质资源到正理想解、负理想解的加权距离 D_j^+ 、 D_j^- 和相

对接度 C_j , 即 $D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (Z_i^+ - Y_{ij})^2}$; $D_j^- =$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^{10} (Z_i^- - Y_{ij})^2}; \quad C_j = \frac{D_j^-}{D_j^- + D_j^+}, \text{ 式中, } C_j \text{ 值为第 } j$$

($j=1, 2, \dots, 20$) 个评价种质的品质综合得分, 对其大小进行排序, 排名越高表示该黄花菜种质的综合品质越好。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2016 软件对数据进行整理和计算, 运用 SPSS 19.0 统计软件和 Microsoft Excel 2016 软件做方差分析(LSD)、逐步回归和通径分析及参数换算, Origin 2021b 软件绘制相关性热图和散点图。决策系数 $[R^2(i)]$ 作为通径分析中的决策指标^[22], 可以将各个自变量对因变量的综合作用大小

进行排序, 以确定主要决定性变量和限制性变量, $R^2(i)=2b_{ir_{iy}}-b^2_{i_i}$ 。其中, b_i 是自变量 x_i 对因变量 y 的直接作用(即直接通径系数), r_{iy} 表示自变量 x_i 与因变量 y 的相关系数(可看作是 x_i 对 y 的直接通径系数和它通过其它变量产生的间接通径系数之和); 若 $R^2(i)>0$ 时, 则表明 x_i 对 y 有增进作用, 当 $R^2(i)<0$ 时, 则表明 x_i 对 y 有限制性作用。

2 结果和分析

2.1 产量与农艺性状差异及相关性分析

从表 2 可见, 各项性状指标的变异系数为 1.9%~41.0%, 平均为 22.3%。其中, 以单个花蕾质量的变异系数最大, 变异幅度为 1.93~7.53 g, 产量的变异系数次之, 1 m² 可收获鲜蕾 649.1~2637.2 g; 而花蕾含水量的变异系数最小, 变异幅度为 83.8%~91.5%,

其次为花蕾长, 为 7.6~13.0 cm, 其他性状指标变异系数为 18.5%~27.1%。可见, 供试材料的产量和农艺性状变异较为丰富, 可为选育高产品种提供良好的种质基础。

对 20 个黄花菜种质的产量与农艺性状进行相关性分析, 结果表明 13 个性状间均存在极显著或显著的正相关或负相关关系, 彼此影响密切(图 1)。其中, 以叶宽与各性状间的关系最为紧密, 其与花薹粗呈极显著正相关, 与株幅、花蕾粗和花薹数呈显著正相关, 而与花蕾长和单花薹蕾数呈显著负相关的关系; 农艺性状指标间则有株高与花薹长和花蕾长、株幅与叶长、花薹粗与花蕾粗、花蕾长与花薹长的相关性达到了极显著水平; 产量构成因子中的花蕾质量和产量与花蕾粗、单花薹蕾数与株高和花薹长也分别存在着极显著或显著的正相关关系, 产量构成因子间则以花薹数和

表 2 黄花菜种质的产量与主要农艺性状

Table 2 Yield and main agronomic traits of *Hemerocallis citrina* germplasm

编号 No.	PH (cm)	PW (cm)	LL (cm)	LW (cm)	SL (cm)	SD (cm)	FBL (cm)	FBD (cm)	SN	FBN	FBW (g)	WC (%)	Y (g/m ²)
1	108.0de	60.3ghi	46.7gh	0.92kl	92.4c	0.63bc	11.8bc	0.82fg	39.9defgh	16.0bcd	2.52fg	83.8g	1 599.5ef
2	123.3ab	41.0j	44.5h	0.88l	109.7a	0.46fgh	11.0ef	0.78gh	37.8efghi	14.5cde	2.22h	88.0def	1 208.2ijk
3	114.9bcd	57.0hi	56.0de	0.96jkl	98.9b	0.56cde	10.7f	0.76gh	35.0ghi	17.0b	2.53fg	89.1bcdef	1 501.8efg
4	124.8a	62.0fgh	53.5def	1.27ef	113.4a	0.46fgh	13.0a	0.80gh	45.5cd	13.9efg	2.96c	87.6ef	1 854.9c
5	92.6f	65.9efg	52.3ef	0.92kl	82.4def	0.42hi	11.6cde	0.76h	31.5ij	8.8k	2.71def	86.9f	750.2l
6	83.8g	54.6i	44.0hi	0.95jkl	76.7f	0.45ghi	11.2def	0.79gh	40.3defg	11.5hi	2.62efg	89.1bcdef	1 205.4ijk
7	107.7de	65.3fg	39.0i	1.15gh	91.3c	0.54de	12.1bc	0.78gh	42.0def	11.7hi	2.93c	88.9bcdef	1 421.8fgh
8	95.3f	56.3hi	46.0gh	1.72bc	88.0cd	0.70a	8.4ij	1.23b	60.9a	11.5hi	3.23b	87.8def	2 253.0b
9	110.5cd	68.3def	68.0bc	1.03ijk	100.3b	0.43hi	11.7bcd	0.79gh	36.8fghi	16.2bc	2.79cde	88.7cdef	1 640.7de
10	94.5f	59.6ghi	70.0bc	0.99ijkl	80.0ef	0.40hi	12.3b	0.75h	33.3hij	11.3hij	2.97c	89.9abcd	1 114.7k
11	100.0ef	61.8fgh	50.1fg	1.05hij	85.6de	0.55de	9.2gh	0.98d	24.2k	19.6a	2.47g	88.8bcdef	1 167.0jk
12	72.9h	81.8b	71.4b	1.56d	62.3g	0.69ab	7.6k	0.89e	36.8fghi	8.5k	2.08hi	88.0def	649.1l
13	74.0h	72.3cde	54.3def	1.89a	66.0g	0.69ab	10.8f	1.48a	36.8fghi	9.6jk	7.53a	88.2def	2 637.2a
14	118.8abc	88.8a	82.7a	1.78abc	102.0b	0.71a	11.1def	1.12c	44.1cde	11.1hij	3.35b	88.3def	1 640.8de
15	74.6h	65.4fg	66.3c	1.82ab	66.4g	0.61cd	8.1jk	0.99d	49.0bc	10.3ijk	2.26h	89.2abcde	1 137.3jk
16	77.5gh	57.3hi	57.2de	1.68c	66.3g	0.50efg	8.7hi	0.44i	49.0bc	12.5fgh	2.15h	91.5a	1 306.3hij
17	92.9f	73.5cd	70.8bc	1.16fgh	82.8de	0.75a	9.1gh	0.87ef	32.9ij	15.7bcde	2.16h	88.2def	1 110.2k
18	78.1gh	55.9hi	57.4d	1.32e	62.0g	0.63bc	8.4ij	0.86ef	55.3ab	12.0ghi	2.71def	91.1ab	1 798.4cd
19	73.6h	42.9j	49.7fg	1.08hi	63.2g	0.52ef	9.5g	0.87ef	27.3jk	14.2def	1.93i	88.9bcdef	748.2l
20	72.0h	77.6bc	70.5bc	1.25efg	60.8g	0.39i	8.8hi	0.89e	42.0def	11.5hi	2.89cd	90.9abc	1 387.4ghi
均值 Mean	94.5	63.4	57.5	1.27	82.5	0.55	10.3	0.88	40.0	12.9	2.85	88.6	1 406.6
CV/%	19.3	18.5	20.5	27.1	20.4	20.8	15.8	23.9	22.4	22.8	41.00	1.9	34.9

PH: 株高; PW: 株幅; LL: 叶长; LW: 叶宽; SL: 花薹长; SD: 花薹粗; FBL: 花蕾长; FBD: 花蕾粗; SN: 花薹数; FBN: 单花薹蕾数; FBW: 花蕾质量; WC: 花蕾含水量; Y: 产量; CV: 变异系数; 1~20 见表 1; 同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同

PH: Plant height; PW: Plant width; LL: Leaf length; LW: Leaf width; SL: Scape length; SD: Scape diameter; FBL: Flower bud length; FBD: Flower bud diameter; SN: Scape number; FBN: Flower bud number per scape; FBW: Flower bud weight; WC: Water content of flower bud; Y: Yield; CV: Variation coefficient. 1~20 see Table 1. Data followed different letters within column indicate significant differences at 0.05 level. The same below

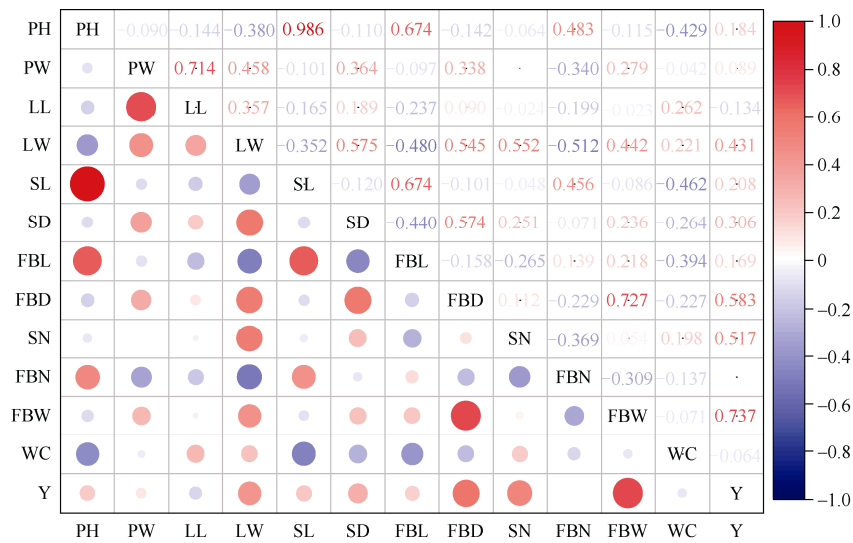


图 1 黄花菜种质产量与主要农艺性状间的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis between yield and main agronomic traits of *Hemerocallis citrina* germplasms

花蕾质量与产量的关系最密切。

2.2 主要农艺性状对产量的逐步回归和途径分析

为揭示主要农艺性状与产量构成因子对黄花菜产量的影响及其相互依赖关系，以 20 种黄花菜种质资源的产量数据为因变量 Y，将株高(X₁)、株幅(X₂)、叶长(X₃)、叶宽(X₄)、花茎长(X₅)、花茎粗(X₆)、花蕾长(X₇)、花蕾粗(X₈)、花茎数(X₉)、单花茎蕾数(X₁₀)、花蕾质量(X₁₁)及含水量(X₁₂)作为自变量，通过逐步回归分析得到最优回归方程： $Y = -2470.636 + 29.995X_7 + 37.375X_9 + 83.652X_{10} + 349.866X_{11}$ 。方程式的相关系数 r 和判定系数 R² 分别为 0.993 和 0.986，F 值为 258.237，Durbin-Watson 统计量 d = 1.759，回归方程达到极显著水平(P = 0.000 1)。结果表明 X₇、X₉、X₁₀ 和 X₁₁ 是综合影响产量(Y)的主导因子。进一步将进入多元回归方程中的这 4 个性状指标对产量的影响进行途径分析，结果表明(表 3)，X₁₁ 对产量的直接作用最大，其直接途径系数为

0.833，由于它与 X₇ 存在正相关关系(相关系数为 0.218)，而 X₇ 对 Y 起直接正效应，所以 X₁₁ 通过 X₇ 对 Y 的间接效应为 0.022；X₁₀ 对 Y 的直接影响为 0.500，但它与 X₉ 和 X₁₁ 均呈负相关(相关系数分别为 -0.370 和 -0.309)，二者都对产量起直接正向作用，从而使得 X₁₀ 与 Y 的相关性低。农艺性状与产量构成因子对黄花菜产量的决策系数排序为： $R^2(11) > R^2(9) > R^2(7) > R^2(10)$ ，且 $R^2(10) < 0$ ，说明 X₁₁ 是产量的最主要决策因素，其次为 X₉，而 X₁₀ 是产量的限制因素。因此，筛选蕾质量大茎多的黄花菜种质资源有助于实现黄花菜的高产。

2.3 品质差异及其相关性分析

于收获盛期对黄花菜鲜蕾的营养品质和外观颜色指标进行了测定和分析，结果表明(表 4)，花蕾的营养品质指标中以可溶性糖含量最高，为 21.73~51.78 mg/g，平均为 40.85 mg/g，其次为总黄酮含量，为 0.72~5.94 mg/g，平均为 2.50 mg/g；营养品质指

表 3 黄花菜种质主要农艺性状对产量的途径系数及决策系数

Table 3 Path coefficient and decision coefficient of main agronomic traits on yield of *Hemerocallis citrina* germplasms

主要农艺性状 Main agronomic trait	直接途径系数 Direct path coefficient	间接途径系数 Indirect path coefficient				决策系数 Decision coefficient
		→X ₇	→X ₉	→X ₁₀	→X ₁₁	
X ₇	0.099		-0.181	0.070	0.181	0.024
X ₉	0.683	-0.026		-0.185	0.045	0.239
X ₁₀	0.500	0.014	-0.252		-0.257	-0.246
X ₁₁	0.833	0.022	0.037	-0.154		0.534

X₇: 花蕾长; X₉: 花茎数; X₁₀: 单花茎蕾数; X₁₁: 花蕾质量。

X₇: Flower bud length; X₉: Scape number; X₁₀: Flower bud number per scape; X₁₁: Flower bud weight.

标的变异系数为 14.1%~67.9%，平均为 31.9%，其中以总黄酮含量的变异系数最大，其次分别为维生素 C 和可溶性蛋白含量，总酸含量的最小。外观颜色指标的变异系数为 21.3%~75.6%，平均为 37.3%，依次为色度 a^* 值>色度 b^* 值>明度 L^* 值>彩度 C^* 值。

对黄花菜各品质指标的测定结果进行相关性分析(图 2)。6 个营养品质指标间仅有可溶性糖含量与糖酸比存在极显著的正相关关系，其余均未达到显

著水平；4 个外观颜色指标间明度 L^* 值与色度 a^* 值呈极显著负相关，它与色度 b^* 值和彩度 C^* 值则分别存在极显著和显著的正相关关系，色度 b^* 值和彩度 C^* 值的相关系数高达 0.901，亦达极显著水平。维生素 C 的含量与明度 L^* 值和色度 b^* 值均呈显著负相关，而总黄酮含量与明度 L^* 值和色度 a^* 值分别存在极显著的正相关和负相关关系，可溶性蛋白含量与色度 a^* 值的负相关关系也达到极显著水平。

表 4 黄花菜种质的品质性状

Table 4 Quality traits of *Hemerocallis citrina* germplasms

编号 No.	VC (mg/g)	TF (mg/g)	TA (mg/g)	SS (mg/g)	SP (mg/g)	SAR	颜色 Color			
							L^*	a^*	b^*	C^*
1	1.35fg	1.68g	1.15ef	57.28a	0.66a	49.87a	67.27d	2.95l	59.55b	59.62c
2	1.09ij	1.59g	1.13fg	38.37fg	0.41cd	34.07fg	67.31d	1.96m	52.38d	52.42e
3	0.84l	1.36gh	1.04gh	41.12e	0.38de	39.67de	75.55bc	6.87j	47.34f	47.84gh
4	0.98jk	1.17hi	1.09fg	49.95c	0.41cd	46.03b	81.24a	4.93k	54.32c	54.54d
5	1.85c	1.10hi	1.29d	48.33cd	0.43bc	37.37ef	76.79b	4.56k	46.85f	47.07h
6	0.59m	1.08hi	1.15ef	31.55h	0.46b	27.40ij	69.17d	3.37l	57.97b	58.06c
7	1.65d	1.18hi	1.26d	32.07h	0.45b	25.53j	76.37bc	5.07k	50.09e	50.34ef
8	2.24a	5.65a	1.26d	46.66d	0.37e	37.17ef	43.73i	28.58de	32.51j	43.29ijk
9	1.14hi	0.72j	1.13fg	37.10g	0.29ghi	32.80gh	73.87c	4.59k	47.86f	48.08gh
10	0.96kl	1.18hi	1.31cd	21.73j	0.35ef	16.60l	74.05c	5.35k	43.55g	43.88ij
11	1.54de	4.98b	1.28d	46.82d	0.27hi	36.63ef	43.66i	28.18ef	31.36jkl	42.16jk
12	1.81c	2.12f	1.30d	53.08b	0.32fg	40.80cd	36.40k	27.64f	26.39l	38.22l
13	1.18hi	3.17d	1.74a	56.38a	0.27hi	32.63gh	59.74f	39.67a	63.14a	74.57a
14	1.09ij	4.12c	1.29d	40.87ef	0.26i	31.70gh	47.95g	22.82g	38.31i	44.59i
15	1.99b	1.53g	1.41bc	42.20e	0.30gh	29.97hi	39.40j	15.62i	24.05m	28.68m
16	1.33g	2.75e	1.25de	32.76h	0.26i	26.30j	63.81e	35.22b	62.10a	71.39b
17	1.46ef	3.06de	1.46b	39.71efg	0.29ghi	27.30ij	38.42jk	27.66f	30.57k	41.22k
18	1.20hi	5.94a	1.11fg	24.47i	0.32fg	22.13k	46.05ghi	35.54b	38.13i	52.13e
19	1.63d	4.67b	1.07fg	46.29d	0.28hi	43.43bc	46.56gh	29.11d	40.37h	49.77fg
20	1.62d	0.97ij	0.94h	30.29h	0.18j	32.30gh	75.43bc	19.26h	55.00c	58.28c
均值 Mean	1.38	2.50	1.23	40.85	0.35	33.49	60.14	17.45	45.09	50.31
CV /%	30.20	67.90	14.10	24.50	30.10	24.50	25.80	75.60	26.60	21.30

VC: 维生素 C; TF: 总黄酮; TA: 总酸; SS: 可溶性糖; SP: 可溶性蛋白; SAR: 糖酸比; L^* : 明度值; a^* : 红度; b^* : 黄度; C^* : 彩度。下同

VC: Vitamin C; TF: Total flavonoids; TA: Total acid; SS: Soluble sugar; SP: Soluble protein; SAR: Sugar acid ratio. L^* : Lightness; a^* : Redness; b^* : Yellowness; C^* : Chroma. The same below

2.4 TOPSIS 法对品质指标的综合分析

由表 5 可见，变异系数法与熵权法所得指标权重呈现相同趋势，其中以色度 a^* 值的权重值为最高，其次是总黄酮的权重值；变异系数法所得 6 个营养品质指标与 4 个外观颜色指标的权重之和分别为 0.562、0.438；熵权法所得二者权重之和分别为 0.478、0.522。通过 2 种方法所计算的复合权重中，同样以色度 a^* 值和总黄酮的权重值较高，营养品质和外观颜色指标的权重之和则分别为 0.523、

0.477。相比而言，基于变异系数法和熵权法确定的复合权重更能准确反映被评价指标的权重对于评价价值的影响程度。

根据上述复合权重大小，采用 TOPSIS 法得到正理想解和负理想解分别为： $Z^+=[0.026, 0.107, 0.007, 0.017, 0.029, 0.018, 0.018, 0.127, 0.019, 0.014]$ ； $Z^-=[0.007, 0.013, 0.004, 0.006, 0.008, 0.006, 0.008, 0.006, 0.007, 0.005]$ 。20 个黄花菜种质资源品质指标距离正理想解和负理想解的加权距离 D_j^+ 、 D_j^- 和



图 2 黄花菜种品质性状间的相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of quality characters among *Hemerocallis citrina* germplasms

表 5 黄花菜品质性状权重的确定

Table 5 Determination of weight of quality traits in *Hemerocallis citrina*

性状 Trait	变异系数法 Coefficient of variation method	熵权法 Entropy weight method	组合赋权法 Combinatorial assignment method
VC	0.089	0.059	0.075
TF	0.199	0.274	0.242
TA	0.042	0.012	0.023
SS	0.072	0.040	0.056
SP	0.088	0.054	0.072
SAR	0.072	0.039	0.055
L*	0.076	0.044	0.060
a*	0.222	0.402	0.310
b*	0.078	0.047	0.063
C*	0.062	0.029	0.044

表 6 黄花菜种品质的排序

Table 6 Ranking of quality of *Hemerocallis citrina* germplasms

编号 No.	D_j^+	D_j^-	C_j	排序 Rank	编号 No.	D_j^+	D_j^-	C_j	排序 Rank
1	0.141	0.036	0.203	12	11	0.047	0.115	0.710	4
2	0.145	0.024	0.142	17	12	0.082	0.088	0.518	9
3	0.136	0.026	0.160	13	13	0.055	0.130	0.703	5
4	0.142	0.026	0.155	15	14	0.069	0.091	0.569	8
5	0.143	0.027	0.159	14	15	0.114	0.050	0.305	11
6	0.148	0.021	0.124	18	16	0.064	0.114	0.640	6
7	0.141	0.025	0.151	16	17	0.070	0.093	0.571	7
8	0.041	0.125	0.753	2	18	0.030	0.143	0.827	1
9	0.148	0.018	0.108	20	19	0.046	0.114	0.713	3
10	0.142	0.019	0.118	19	20	0.114	0.059	0.341	10

D_j^+ : 正理想解的加权距离; D_j^- : 负理想解的加权距离; C_j : 相对接近度。

D_j^+ : Euclidean distances of positive ideal solution; D_j^- : Euclidean distances of negative ideal solution; C_j : Relative closeness.

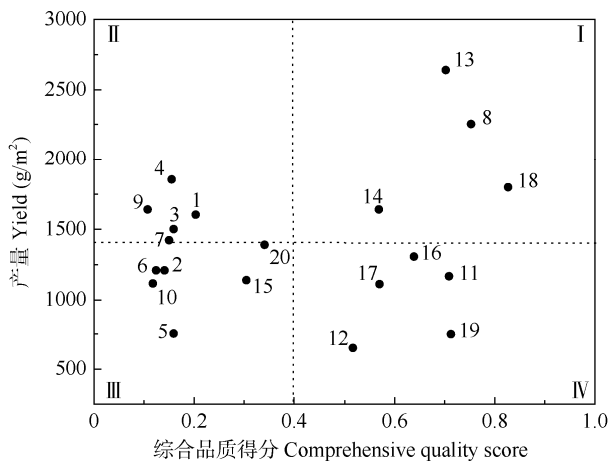


图3 黄花菜产量(Y)和综合品质得分(C_j)二维散点分布图。水平虚线和垂直虚线分别表示产量和综合品质得分的平均值。

Fig. 3 Two-dimensional scatter distribution diagrams of comprehensive quality score and yield of *Hemerocallis citrina* germplasms. The horizontal and vertical dashed line represent average yield and comprehensive quality scores, respectively.

相对接近度 C_j 及其排序见表6。18号种质与理想样本的相对接近度最高,达到0.827,其次为8号、19号、11号和13号种质,9号种质的相对接近度最低。由种质资源的来源来看,综合得分排序前1、2位的种质分别来自四川、河北,第3~11位的种质则全部来自福建和台湾,第12~18位的种质则全部来自湖南和江苏,排序最后2位的种质均来自山东。可见,TOPSIS法对黄花菜品质指标的综合分析结果具有重要的参考性。

2.5 综合评价

将相对接近度 C_j 值作为黄花菜种质资源的综合品质得分,与其产量绘制二维散点分布图(图3)。不同区域的种质资源数量分布相对均匀。I区内圆点代表产量与综合品质均高于平均水平的种质,共纳入4个,其中以8号的双优势最为明显;II区内圆点代表产量高于平均水平而综合品质偏低的种质,共纳入5个,其中4号有明显产量优势;III区内圆点代表产量与综合品质均低于平均水平的种质,共纳入6个,其中以5号呈现最差,而20号的产量和综合品质最接近平均水平;IV区内圆点代表综合品质高于平均水平而产量较低的种质,共纳入5个,其中以11号和19号的综合品质较好,而16号的产量最接近平均值。因此,8号(邢台2号)、13号(明溪花)和18号(达州野花)可以作为菜用黄花菜优异种质资源进行深度挖掘和创新利用。

3 结论和讨论

3.1 黄花菜高产种质的产量形成特征

作物产量的形成错综复杂,是作物群体物质生产过程中的最终结果^[23],前人就作物产量形成的内在规律、高产的限制因素等进行了大量研究^[24-27]。黄花菜的产量按照产量构成理论可以分解为单位面积内的花薹数、单个花薹上的花蕾数和单个花蕾质量3个构成因子,通过这些因子的变化可以直观、准确地了解不同黄花菜种质资源的生长发育过程和分析产量结果。农艺性状与产量之间有着密切的关系,但决定不同作物产量高低的关键农艺性状存在较大差异^[28]。本研究中20份菜用黄花菜种质间的13个农艺性状及产量构成因子除花蕾含水量外均存在丰富变异,其变异系数达15.8%~41.0%,与周玲玲等^[29]的研究结果相似,这有利于挖掘不同性状的优异基因,为高产品种选育提供目标亲本。宋希明等^[30]分析了不同黄花菜品种的产量差异,认为较高的花蕾质量、单花薹蕾数和叶面积以及适宜的花薹高度、花序紧凑度是黄花菜高产品种的重要特征。刘志敏等^[31]对黄花菜产量构成的6个性状进行主成分分析,结果认为花蕾质量、单花薹蕾数和花薹粗是构成产量的主要因素。本研究通过逐步回归和通径分析表明,黄花菜的花蕾质量对产量的直接正向作用最大,是产量的最主要决策因素,其次为花薹数,而单花薹蕾数与花薹数和花蕾质量均存在负相关关系,从而导致其与产量的相关性很低,对产量有限制性作用。因此,黄花菜的花蕾质量可以作为高产品种遗传改良和种质利用的重点考虑性状,并对单花薹蕾数进行适当的控制。

3.2 黄花菜种质资源的品质评价策略

品质评价是作物种质资源研究的重要内容之一,也是优异资源筛选和合理利用的基础,对加快推进育种工作和农产品加工均起到积极作用^[32]。果实的品质包括内在品质和外观品质,内在品质(肉质、糖、酸和其他营养)与口感和风味有关,外观品质(尺寸、形状、颜色)则容易被消费者所感知^[33],是影响商品价值的重要经济性状。本研究对不同黄花菜种质资源的外观颜色和可溶性糖、总酸以及3个重要营养成分进行了鉴定,结果表明,变异系数最大的是色度 a^* 值,其次为总黄酮,总酸的变异系数最小,表现出较好的变异性,这与前人^[20,29,31]研究的结果类似。相关性分析结果表明,营养品质性状

间的相关性较弱,而外观颜色指标间及其与部分营养品质存在显著或极显著相关关系,党换梅^[34]的研究结果相似,可见,黄花菜各个品质指标间覆盖的信息存在较大差异,选择准确、可靠的方法对黄花菜的品质进行评价至关重要。TOPSIS 法可以通过欧氏距离反映多个指标和指标间相互作用的评价对象与理想目标的接近程度来描述相对优劣情况^[11,35]。陆晓燕等^[4]采用基于熵权的 TOPSIS 法对 18 种芽苗菜感官品质、生物产量和食用品质进行了评价,以获得综合品质最好的芽苗菜品种。本研究为减少客观权重的自身缺陷,将变异系数法和熵权法进行复合的权重首次应用于黄花菜品质评价,其营养品质和外观颜色所占权重分别为 0.523、0.477,符合大众消费的实际偏好,所得结果更具有参考价值。

3.3 黄花菜优异种质的筛选和利用

种子是农业的“芯片”,优异资源是创制“芯片”的基石^[36],通过筛选和利用现有黄花菜的种质资源,培育高产、优质的黄花菜品种对满足市场需求和增加农民收入有重要意义。本研究以黄花菜综合品质得分和产量做二维散点分布图,可以直观了解不同种质资源的产量和品质水平,从而筛选到产量与品质均佳的优异资源。我国的黄花菜栽培范围广阔,在长期的人工驯化过程中,形成了大量适应当地自然或栽培条件的优异地方品种,本研究选取的 20 份黄花菜供试材料来自国内多个产区, TOPSIS 法品质评价结果显示相同来源地的种质资源排序更接近,这可能与品质性状/基因的长期定向选择有关,笔者课题组前期利用形态学和 SCoT 标记技术对不同来源地的黄花菜遗传多样性分析亦有相似结果^[37]。可见,本研究对黄花菜种质资源产量和品质的综合评价,有助于地方品种的引种驯化和优异资源的挖掘与利用。但由于供试材料数量偏少,且并未对其抗病虫、耐寒性等进行鉴定分析,今后应从国内外引进更多资源,全面分析其表型性状的变异特性及规律,筛选出综合性状优异的种质资源,为黄花菜产业健康可持续发展提供理论和材料基础。

综上,中国不同菜用黄花菜种质的农艺、产量和品质性状的变异十分丰富,花蕾质量和花薹数是产量形成的主要决定因子,基于变异系数-熵权复合权重法和 TOPSIS 分析得出黄花菜品质优劣情况与其来源地存在一定关系,产量和综合品质得分构建的二维散点分布图能够直观展示总体评价结果,本研究为筛选黄花菜优异种质资源提供了新的方法

和参考。

参考文献

- [1] RODRIGUEZ-ENRIQUEZ M J, GRANT-DOWNTON R T. A new day dawning: *Hemerocallis* (daylily) as a future model organism [J]. *AoB Plants*, 2013, 5: pls055. doi: 10.1093/aobpla/pls055.
- [2] HOU F F, LI S, WANG J Y, et al. Identification and validation of reference genes for quantitative real-time PCR studies in long yellow daylily, *Hemerocallis citrina* Borani [J]. *PLoS One*, 2017, 12(3): e0174933. doi: 10.1371/journal.pone.0174933.
- [3] LI S, JI F F, HOU F F, et al. Morphological, palynological and molecular assessment of *Hemerocallis* core collection [J]. *Sci Hort*, 2021, 285: 110181. doi: 10.1016/j.scienta.2021.110181.
- [4] CAI J Q, TU X N, YIN L Q. Countermeasures and suggestions for high-quality development of day lily industry in the Yellow River Basin [J]. *Soil Water Cons China*, 2022(1): 5–7. [蔡建勤, 土小宁, 殷丽强. 黄河流域黄花菜产业高质量发展的对策及建议 [J]. *中国水土保持*, 2022(1): 5–7. doi: 10.3969/j.issn.1000-0941.2022.01.004.]
- [5] XIAO N, PAN C H, LI Y H, et al. Genomic insight into balancing high yield, good quality, and blast resistance of *japonica* rice [J]. *Genome Biol*, 2021, 22(1): 283. doi: 10.1186/s13059-021-02488-8.
- [6] WANG X K, GUO T, WANG Y, et al. Exploring the optimization of water and fertilizer management practices for potato production in the sandy loam soils of northwest China based on PCA [J]. *Agric Water Manage*, 2020, 237: 106180. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106180.
- [7] XU Z J, QI Y J, XING X H, et al. Analysis and evaluation of agronomic and quality traits in soybean germplasm from Huang-Huai-Hai Region [J]. *J Plant Gene Resour*, 2022, 23(2): 468–479. [徐泽俊, 齐玉军, 邢兴华, 等. 黄淮海大豆种质农艺与品质性状分析及综合评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2022, 23(2): 468–479. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.20210915001.]
- [8] DU Q J, LI J M, PAN T H, et al. The compound effects of water and fertilizer on yield and quality of tomato under drip irrigation [J]. *Agric Res Arid Areas*, 2015, 33(3): 10–17. [杜清洁, 李建明, 潘铜华, 等. 滴灌条件下水肥耦合对番茄产量及综合品质的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(3): 10–17. doi: 10.7606/j.issn.1000-7601.2015.03.02.]
- [9] HE Z H, LI M N, CAI Z L, et al. Optimal irrigation and fertilizer amounts based on multi-level fuzzy comprehensive evaluation of yield, growth and fruit quality on cherry tomato [J]. *Agric Water Manage*, 2021, 243: 106360. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106360.
- [10] LI H Z, CAO H X, GUO L J, et al. Effect of furrow irrigation pattern and irrigation amount on comprehensive quality and yield of green-

- house tomato [J]. *Sci Agric Sin*, 2016, 49(21): 4179–4191. [李红峥, 曹红霞, 郭莉杰, 等. 沟灌方式和灌水量对温室番茄综合品质与产量的影响 [J]. *中国农业科学*, 2016, 49(21): 4179–4191. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2016.21.012.]
- [11] HAO K, FEI L J, LIU L H, et al. Comprehensive evaluation on the yield, quality, and water-nitrogen use efficiency of mountain apple under surge-root irrigation in the Loess Plateau based on the improved TOPSIS method [J]. *Front Plant Sci*, 2022, 13: 853546. doi: 10.3389/fpls.2022.853546.
- [12] HU X H, GAO Z X, MA Y B, et al. Coupling scheme of water and fertilizer based on yield, quality, use efficiency of water and fertilizer in bag pepper growing [J]. *Trans CSAE*, 2020, 36(17): 81–89. [胡晓辉, 高子星, 马永博, 等. 基于产量品质及水肥利用率的袋培辣椒水肥耦合方案 [J]. *农业工程学报*, 2020, 36(17): 81–89. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.17.010.]
- [13] WU Z N, LÜ H, MENG Y, et al. The determination of flood damage curve in areas lacking disaster data based on the optimization principle of variation coefficient and beta distribution [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 750: 142277. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142277.
- [14] LU X Y, HU H X, YUAN G, et al. Application of TOPSIS method based on coefficient of entropy to evaluation of sprouts [J]. *Chin Cucurbits Veg*, 2022, 35(4): 87–91. [陆晓燕, 胡汉锡, 袁庚, 等. 基于熵权的 TOPSIS 法在芽苗菜品质综合评价中的应用 [J]. *中国瓜菜*, 2022, 35(4): 87–91. doi: 10.16861/j.cnki.zggc.2022.0095.]
- [15] XIANG C P, LI X X. Descriptors and Data Standard for Daylily (*Heremacallis citrina* Baroni) [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2014: 9–13. [向长萍, 李锡香. 黄花菜种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2014: 9–13.]
- [16] LI H S. Principle and Technology of Plant Physiological Biochemical Experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. [李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.]
- [17] WANG M L, LÜ J G, ZHOU Z C. Determination vitamma C in fruits and vegetables by spectrophometric of phosphomolybdic heteropolyacids [J]. *Food Sci*, 2003, 24(8): 129–131. [王美兰, 吕建刚, 周志才. 磷钼杂多酸光度法测定水果、蔬菜 VC [J]. *食品科学*, 2003, 24(8): 129–131.]
- [18] Shenzhen Municipal Commission of Market and Quality Supervision and Administration. SZDB/Z 349—2019 Determination of total flavonoids in foods spectrophotometry [S]. Shenzhen: Shenzhen Municipal Commission of Market and Quality Supervision and Administration, 2019. [深圳市市场和质量管理委员会. SZDB/Z 349—2019 食品中总黄酮的测定 分光光度法 [S]. 深圳: 深圳市市场和质量管理委员会, 2019.]
- [19] National Health Commission, State Administration for Market Regulation. GB/T 12456—2021 National Standard for Food Safety: Determination of Total Acids in Foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2021. [国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB/T 12456—2021 食品安全国家标准 食品中总酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.]
- [20] JI H, WANG L, JIA L H, et al. Effects of different treatment methods on the edible quality of *Heremacallis fulva* buds [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(18): 6557–6561. [及华, 王琳, 贾立海, 等. 不同处理方法对萱草花蕾食用品质的影响 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(18): 6557–6561. doi: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2020.18.054.]
- [21] CHEN H G, LI X N, LI C Y. Resilience evaluation of water resource system based on coefficient of variation-entropy weight method: A case study of water resources in Heilongjiang Province from 2007 to 2016 [J]. *Ecol Econ*, 2021, 37(1): 179–184. [陈红光, 李晓宁, 李晨洋. 基于变异系数熵权法的水资源系统恢复力评价——以黑龙江省 2007—2016 年水资源情况为例 [J]. *生态经济*, 2021, 37(1): 179–184.]
- [22] YUAN Z F, ZHOU J Y, GUO M C, et al. Decision coefficient: The decision index of path analysis [J]. *J NW Agric For Univ (Nat Sci)*, 2001, 29(5): 131–133. [袁志发, 周静芋, 郭满才, 等. 决策系数——通径分析中的决策指标 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2001, 29(5): 131–133. doi: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2001.05.035.]
- [23] ZHAO M, ZHOU B Y, MA W, et al. Theoretical and technical models of quantitative regulation in food crop production system [J]. *Acta Agron Sin*, 2019, 45(4): 485–498. [赵明, 周宝元, 马玮, 等. 粮食作物生产系统定量调控理论与技术模式 [J]. *作物学报*, 2019, 45(4): 485–498. doi: 10.3724/SP.J.1006.2019.83051.]
- [24] YE Y L, WANG G L, HUANG Y F, et al. Understanding physiological processes associated with yield-trait relationships in modern wheat varieties [J]. *Field Crop Res*, 2011, 124(3): 316–322. doi: 10.1016/j.fcr.2011.06.023.
- [25] PIAO L, QI H, LI C F, et al. Optimized tillage practices and row spacing to improve grain yield and matter transport efficiency in intensive spring maize [J]. *Field Crop Res*, 2016, 198: 258–268. doi: 10.1016/j.fcr.2016.08.012.
- [26] GAO F, LIU Z X, ZHAO J H, et al. Source-sink characteristics and classification of peanut major cultivars in North China [J]. *Acta Agron Sin*, 2021, 47(9): 1712–1723. [高芳, 刘兆新, 赵继浩, 等. 北方主栽花生品种的源库特征及其分类 [J]. *作物学报*, 2021, 47(9): 1712–1723. doi: 10.3724/SP.J.1006.2021.04164.]
- [27] XU L N, TAO H B, HUANG S B, et al. Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley [J]. *Acta Ecol Sin*, 2013, 33(1): 222–228. [徐丽娜, 陶洪斌, 黄收兵,

- 等. 黑龙江流域夏玉米产量提升限制因素 [J]. 生态学报, 2013, 33(1): 222–228. doi: 10.5846/stxb201111051676.]
- [28] KONG S P, SUN J Q, WU X, et al. Analysis of relationship between variations of main agronomic traits and yield in garlic [J]. *Sci Agric Sin*, 2015, 48(6): 1240–1248. [孔素萍, 孙敬强, 吴雄, 等. 大蒜主要农艺性状变异特征及其与产量相关构成分析 [J]. 中国农业科学, 2015, 48(6): 1240–1248. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2015.06.19.]
- [29] ZHOU L L, ZHANG L J, YU X, et al. Comparison of ecological adaptability and nutritional quality of daylily in northern Jiangsu Province [J]. *J N Agric*, 2020, 48(5): 109–114. [周玲玲, 张黎杰, 余翔, 等. 苏北地区黄花菜生态适应性及营养品质比较 [J]. 北方农业学报, 2020, 48(5): 109–114. doi: 10.12190/j.issn.2096-1197.2020.05.19.]
- [30] SONG X M, WANG J F, LIU J, et al. Study on artificial cultivation and high yield techniques of *Hemerocallis* spp. [J]. *S Chin Agric*, 2018, 12(3): 24–26. [宋希明, 王嘉夫, 刘君, 等. 黄花菜人工栽培及丰产技术探究 [J]. 南方农业, 2018, 12(3): 24–26. doi: 10.19415/j.cnki.1673-890x.2018.03.012.]
- [31] LIU Z M, SHEN M J. Studies on product characters of seven day lily varieties [J]. *J Hunan Agric Coll*, 1990(2): 181–185. [刘志敏, 沈美娟. 黄花菜不同品种产量构成性状的研究 [J]. 湖南农学院学报, 1990 (2): 181–185. doi: 10.13331/j.cnki.jhau.1990.02.013.]
- [32] LIU H, ZHOU X R, YU X N, et al. Current situation and prospect of identification and evaluation of quality traits in crop germplasm resources [J]. *J Plant Gene Resour*, 2014, 15(1): 215–221. [刘浩, 周闲容, 于晓娜, 等. 作物种质资源品质性状鉴定评价现状与展望 [J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(1): 215–221. doi: 10.13430/j.cnki.jpgr.2014.01.033.]
- [33] ZHENG P F, ZHANG M, WANG Z X, et al. Comprehensive evaluation of the fruit quality of the main cultivars of pear (*Pyrus* spp.) in North China [J]. *Erwerbs-Obstbau*, 2022, 64(2): 219–227. doi: 10.1007/s10341-021-00609-y.
- [34] DANG H M. The evaluation of nutrient and functional substance for the flower buds of *Hemerocallis* spp. [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2016: 27–30. [党换梅. 萱草属植物花蕾的营养及功能性物质评价 [D]. 晋中: 山西农业大学, 2016: 27–30.]
- [35] NILSSON H, NORDSTRÖM E M, ÖHMAN K. Decision support for participatory forest planning using AHP and TOPSIS [J]. *Forests*, 2016, 7(5): 100. doi: 10.3390/f7050100.
- [36] DENG Z Y, QU L Q, WU Y R, et al. Current progress and prospect of crop quality research [J]. *Sci Sin Vitae*, 2021, 51(10): 1405–1414. [邓祝云, 曲乐庆, 巫永睿, 等. 作物品质研究现状与展望 [J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(10): 1405–1414. doi: 10.1360/SSV-2021-0223.]
- [37] ZHENG J Z, LI H P, LAI Z F, et al. Genetic diversity of vegetable daylily germplasms in China [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2018, 33(10): 1030–1038. [郑家祯, 李和平, 赖正锋, 等. 国内菜用黄花菜种质资源遗传多样性分析 [J]. 福建农业学报, 2018, 33(10): 1030–1038. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2018.10.004.]