

10个莴笋品种肉质茎和叶的品质分析与评价

罗静红, 梁根云, 罗芳耀, 唐月明, 杨艺雯, 高佳

Quality Analysis and Evaluation of Fleshy Stems and Leaves of 10 Lettuce Varieties

LUO Jinghong, LIANG Genyun, LUO Fangyao, TANG Yueming, YANG Yiwen, and GAO Jia

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023090305>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

主成分分析和隶属函数法综合评价15种(系)马铃薯的营养品质

Comprehensive Evaluation of the Nutrition Quality of 15 Varieties of Potatoes by Principal Component Analysis and Subordinate Function Method

食品工业科技. 2020, 41(6): 272–276, 291 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.06.046>

10个线椒品种干制品品质分析

Quality Analysis of 10 Dried Line Pepper Varieties

食品工业科技. 2021, 42(14): 284–288 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100143>

不同品种竹笋营养品质分析与综合评价

Analysis and Comprehensive Evaluation of Nutritional Quality of Bamboo Shoots from Different Cultivars

食品工业科技. 2023, 44(3): 262–268 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022030236>

新疆吐鲁番地区不同品种甜瓜营养成分分析及品质综合评价

Analysis of Nutritional Components and Comprehensive Evaluation of Quality of Different Varieties of Muskmelon in Turpan, Xinjiang

食品工业科技. 2021, 42(13): 358–365 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090009>

贵州不同品种芸豆营养品质差异分析

Analysis on the Difference of Nutritional Quality of Different Kidney Bean Varieties in Guizhou

食品工业科技. 2021, 42(18): 73–80 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021010107>

陕西4个主栽品种桑叶品质评价

Quality Evaluation of 4 Main Mulberry Leaf Varieties in Shaanxi

食品工业科技. 2022, 43(3): 275–283 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050238>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

罗静红, 梁根云, 罗芳耀, 等. 10 个莴笋品种肉质茎和叶的品质分析与评价 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(17): 336–344. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090305

LUO Jinghong, LIANG Genyun, LUO Fangyao, et al. Quality Analysis and Evaluation of Fleshy Stems and Leaves of 10 Lettuce Varieties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(17): 336–344. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090305

· 分析检测 ·

10 个莴笋品种肉质茎和叶的品质分析与评价

罗静红^{1,2,3}, 梁根云^{3,4}, 罗芳耀^{1,2,3}, 唐月明^{1,2,3}, 杨艺雯^{1,2,3}, 高佳^{1,2,3,*}

(1. 四川省农业科学院农产品加工研究所 (四川省农业科学院食物与营养健康研究所),
四川成都 610066;
2. 四川成都中农大现代农业产业研究院, 四川成都 611430;
3. 四川省蔬菜工程技术研究中心, 四川彭州 611934;
4. 四川省农业科学院园艺研究所, 四川成都 610066)

摘要: 以集中在成都平原种植的 10 个莴笋品种 (系) 为试材, 对各品种采后 8 项外观品质指标 (单株重、单株茎重、单株长、茎长、茎粗、茎皮硬度、茎肉硬度、茎可食率) 以及肉质茎和叶片 7 项营养品质指标 (含水率、叶绿素、维生素 C、还原糖、可溶性蛋白、纤维素、游离氨基酸) 进行测试和统计分析, 旨在对比评价供试品种采后品质表现, 筛选优异品种材料。结果表明, 供试品种 (系) 测试指标间变异系数为 0.45%~50.64%, 其中莴笋肉质茎游离氨基酸含量在品种 (系) 间变异系数最大, 达 50.64%, 茎叶绿素和可溶性蛋白、叶片还原糖含量等指标在品种间也表现出较大差异 (变异系数大于 30%); 外观品质、商品性、营养品质多项指标间均表现出较强的相关性; 采用隶属函数分析方法筛选出 3 个优良的茎用型鲜食品种 ('组合 2019135'、'川绿香 1 号' 和 '红尖笋 2 号') 和 3 个叶用型鲜食品种 ('竹简青'、'新翠竹' 和 '组合 2019135')。本研究进一步明确了部分在成都平原蔬菜产区冬春季主栽莴笋品种的采后品质特性, 为生产上鲜食莴笋优良品种的选择提供参考。

关键词: 莴笋, 品种, 营养品质, 隶属函数分析

中图分类号: TS255.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)17-0336-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090305

本文网刊:



Quality Analysis and Evaluation of Fleshy Stems and Leaves of 10 Lettuce Varieties

LUO Jinghong^{1,2,3}, LIANG Genyun^{3,4}, LUO Fangyao^{1,2,3}, TANG Yueming^{1,2,3}, YANG Yiwen^{1,2,3}, GAO Jia^{1,2,3,*}

(1. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences (Institute of Food and Nutrition Health, Sichuan Academy of Agricultural Sciences), Chengdu 610066, China;
2. China Agricultural University-Sichuan Chengdu Advanced Agricultural & Industrial Institute, Chengdu 611430, China;
3. Sichuan Research Center of Vegetable Engineering and Technology, Pengzhou 611934, China;
4. Institute of Horticulture, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

Abstract: Ten lettuce varieties (lines) grown in Chengdu Plain were used as test materials, and 8 post-harvest appearance quality indexes (single plant weight, single plant stem weight, single plant length, stem length, stem thickness, stem skin hardness, stem flesh hardness, and stem edible rate), as well as 7 nutrient quality indexes (water content, chlorophyll, vitamin C, reducing sugars, soluble proteins, cellulose, and free amino acids) were tested and statistically analyzed. The aim of this study was to compare and evaluate the postharvest quality of the tested varieties and select the excellent varieties. The results showed that the values of coefficient of variation among the tested varieties ranged from 0.45% to 50.64%,

收稿日期: 2023-09-28

基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFD1601504); 四川省农作物育种攻关项目 (2021YFYZ0022); 国家现代农业产业技术体系四川省大宗蔬菜创新团队 (SCCXTD-2024-5); 2023 年度四川产研院省级支持项目。

作者简介: 罗静红 (1993-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 果蔬贮藏保鲜与加工, E-mail: 937251130@qq.com。

* 通信作者: 高佳 (1983-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬贮藏保鲜与加工, E-mail: jiagao129@163.com。

among which the coefficient of variation of lettuce variation (lines) of free amino acid content in fleshy stems was the largest, reaching 50.64%. The content of stem chlorophyll and soluble protein, leaf reducing sugar showed great differences with the values of coefficient of variation all greater than 30%. The appearance quality, commerciality, and nutrition quality all showed strong correlation among several indicators. The excellent fresh varieties for 3 stem ('Zuhe 2019135' 'Chuanlüxiang 1' and 'Hongjiansun 2') and 3 leaf ('Zhutongqing' 'Xincuizhu' and 'Zuhe 2019135') were selected, respectively. The postharvest quality characteristics of some main lettuce varieties cultivated in winter and spring in the vegetable production area of Chengdu Plain were further clarified in this study, which could provide reference for the selection of excellent fresh lettuce varieties in production.

Key words: lettuce; variety; nutritional quality; affiliation function analysis

莴笋 (*Lactuca sativa* var. *Angusta-ta*) 又名青笋、莴苣笋, 是菊科莴苣属一年生或两年生草本植物, 是叶用莴苣传入中国后经多年选择培育形成的一种茎用莴苣, 距今已有 900 多年的栽培历史, 广泛种植于全国各地^[1]。莴笋主要以食用幼嫩茎秆和叶片为主, 口感清香脆嫩, 因其富含酚类、多糖、倍半萜类等营养成分, 具有较强的抗氧化、增强免疫力、消炎、抗肿瘤、降血糖和血脂、镇静催眠等功效^[2-3], 是一种深受消费喜爱的药食同源蔬菜^[4]。

我国莴笋种质资源以地方品种为主, 四川是莴笋重要的育种和生产区域, 莴笋品种资源丰富, 开展品种资源的收集与综合鉴定具有重要意义^[5]。莴笋品种分类多样, 按照叶形有披针形、长卵圆形、长椭圆形等品种; 叶色分淡绿、深绿或紫红色品种, 叶尖形状有尖叶、圆叶之分; 嫩茎色泽可分白笋和青笋品种, 形态和品质各异^[6]。但现有研究较少对莴笋不同品种采后品质进行分析, 更多集中在不同品种种质资源^[7-9]、农艺性状和栽培技术^[10-14]、生态适宜性^[15-16]、保鲜加工^[17-19]等方面, 缺乏莴笋采后品质评价标准, 导致对肉质茎和叶品种的品质特性区分不明。本研究以在四川成都平原广泛栽种的部分优新品种为试材, 测试了 10 个莴笋品种采后肉质茎和叶的主要品质指标, 通过统计分析与综合评价, 为筛选优异品种和鉴定优良品质提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

莴笋 10 个品种(图 1~图 2) 均由四川省农业

科学院园艺研究所莴笋育种栽培团队提供(表 1), 统一植于四川省成都市新都区科研试验基地, 栽培管理水平一致, 于前一年 12 月底分 2 批次采收后当天 2 h 内送达实验室, 处理前于(4±0.5)℃ 冷库中放置预冷 24 h; 抗坏血酸、草酸、乙二胺四乙酸二钠、考马斯亮蓝 G-250、磷酸、乙醇、浓硫酸、氢氧化钠、茚三酮、乙二醇、酒石酸钾钠、3,5 二硝基水杨酸、结晶酚、亚硫酸钠 分析纯, 成都市科隆化学品有限公司; 乙酸、正丙醇、正丁醇 分析纯, 成都金山化学试剂有限公司; 铜酸铵 分析纯, 天津市化工试剂四厂; 偏磷酸 分析纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司; 乙酸钠 分析纯, 成都市科龙化工试剂厂。

TA.XT Plus 质构仪 英国 SMS 公司; TU-1810 紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; Synergy HTX 酶标仪 美国 BioTek 仪器有限公司; Fibertec 8000 纤维素仪 丹麦 FOSS 仪器有限公司; 5810R 冷冻离心机 Eppendorf 中国有限公司; JA31002 电子天平 上海精天电子仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 新鲜莴笋每品种(系)12 株分别测定(量)单株重、单株茎重、单株长、茎长、茎粗、茎皮硬度和茎肉硬度等指标, 人工削皮后测量肉质茎可食率、肉质茎和叶片含水率等鲜样指标, 再分别取叶片和肉质茎统一部位样品组织采用液氮冻样粉碎后 -80 ℃ 保存, 每品种 3 株混合为 1 个样本, 4 个重复。冻样用于集中测定肉质茎和叶片叶绿素、维生

表 1 供试品种信息与田间表现

Table 1 Information and field performance of test varieties

品种编号	品种名称	品种来源	叶片类型	叶色	肉质茎皮色
9#	红尖笋1号	四川省农业科学院园艺研究所	尖叶	叶深绿色, 紫尖, 绿尾带紫	茎皮浅绿色带紫
11#	东方红	四川广汉龙盛种业有限公司	尖叶	叶深绿色, 紫尖, 绿尾带紫	茎皮浅绿色带紫
21#	红尖笋2号	四川省农业科学院园艺研究所	尖叶	叶深绿色, 紫尖, 绿尾	茎皮绿色带紫
22#	红尖笋3号	四川省农业科学院园艺研究所	尖叶	叶深绿色, 紫尖, 绿尾	茎皮绿色带紫
63#	新翠竹	四川广汉龙盛种业有限公司	圆叶	叶绿色	茎皮浅绿色
77#	川绿香1号	四川省农业科学院园艺研究所	圆叶	叶绿色	茎皮浅绿色
89#	黑牛皮	彭州地方品种	圆叶	叶绿色	茎皮浅绿泛白
92#	竹筒青	彭州地方品种	圆叶	叶绿色	茎皮浅绿色
109#	川绿香2号	四川省农业科学院园艺研究所	圆叶	叶绿色	茎皮浅绿色
135#	组合2019135	四川省农业科学院园艺研究所	尖叶	叶深绿色, 紫红尖	茎皮绿色带紫



图 1 10个莴笋品种全株外观图

Fig.1 Appearance of the whole plant of 10 lettuce varieties

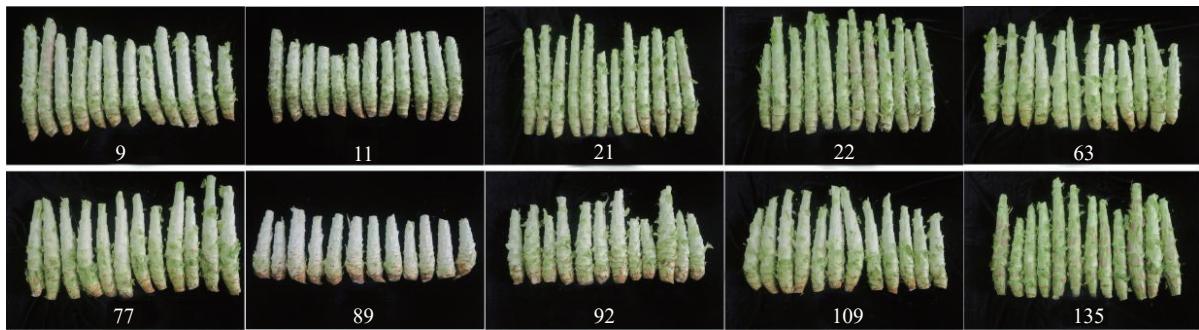


图 2 10个莴笋品种肉质茎外观图

Fig.2 Appearance of fleshy stems of 10 lettuce varieties

素 C(vitamin C, V_C)、还原糖、可溶性蛋白、纤维素、游离氨基酸等营养品质指标。

1.2.2 指标测定 莴笋农艺性状和外观品质指标参照《莴苣种质资源描述规范和数据标准》^[20] 测定,采用直接称量法测定单株重、单株茎重、单株长、茎长、茎粗。采用质构仪 P/2 探头穿刺肉质茎腰部测定茎皮和茎肉硬度,测试速度 1 mm·s⁻¹,位移 20 mm,定义探头穿透茎皮的最大力为茎皮硬度,探头穿刺位移 5~20 mm 的平均力为茎肉硬度。茎可食率定义为单株莴笋去叶削皮后可食茎质量占整株肉质茎总质量的百分比。分别取莴笋茎腰部茎肉鲜样和叶片鲜样采用烘干法^[21] 测定肉质茎和叶片含水率。

采用乙醇提取比色法^[22] 测定叶绿素含量。称取 0.5 g 液氮研磨的莴笋样品,加入 9 mL 浓度为 95% 的乙醇,常温静置提取 1 h, 分别在 665 nm 和 649 nm 测定其吸光度值,根据标准曲线计算其含量。

采用钼蓝比色法^[23] 测定维生素 C 含量。称取 1 g 液氮研磨的莴笋样品,加入 9 mL 草酸-EDTA 溶液,静置提取 10 min, 离心取 1 mL 上清液,依次加入 4 mL 草酸-EDTA 溶液、0.5 mL 偏磷酸-醋酸溶液和 1 mL 浓度为 5% 的硫酸,混合摇匀后加入 2 mL 浓度为 4.5% 的钼酸铵溶液,反应 15 min, 在 705 nm 波长处测定其吸光度值,根据标准曲线计算其含量。

采用 3,5-二硝基水杨酸法^[21] 测定还原糖含量。称取 0.5 g 液氮研磨的莴笋样品,加入 9 mL 蒸馏水,在 80 °C 恒温水浴中保温 30 min, 取出冷却离心后取

0.5 mL 上清液,加入 1.5 mL 3,5-二硝基水杨酸试剂,摇匀后在沸水浴中加热 5 min, 取出冷却后在 540 nm 波长处测定其吸光度值,根据标准曲线计算其含量。

采用考马斯亮蓝染色法^[21] 测定可溶性蛋白含量。称取 0.2 g 液氮研磨的莴笋样品,加入 5 mL 蒸馏水,静置提取 30 min, 离心取 1 mL 上清液,加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 溶液,充分混合,放置 2 min 后在 595 nm 波长处测定其吸光度值,根据标准曲线计算其含量。

纤维素含量按照 GB/T 5009.10-2003^[24] 采用纤维素分析仪测定,用坩埚称取 1 g 液氮研磨的莴笋样品,样品质量记为 M,加入 1 g 硅藻土,放入粗纤维仪进行酸化和碱化,从仪器上取下坩埚,放入 105 °C 烘箱中烘干至恒重,带坩埚称重记为 m₁,再放进 525 °C 马弗炉中灰化 3 h 后取出,带坩埚称重记为 m₂,根据公式计算出含量,纤维素含量 CF(%)=(m₁-m₂)×100/M。

采用茚三酮显色法^[23] 测定游离氨基酸含量。称取 0.5 g 液氮研磨的莴笋样品,加入 9 mL 超纯水,静置提取 30 min, 离心取 0.5 mL 上清液,依次加入 0.5 mL 超纯水、0.5 mL 水合茚三酮试剂和 1.5 mL 抗坏血酸溶液,摇匀后在沸水浴中加热 15 min, 取出冷却,加入 2.5 mL 浓度为 95% 的乙醇,猛摇试管,然后加入 60% 乙醇稀释至 10 mL, 在 570 nm 波长处测定其吸光度值,根据标准曲线计算其含量。

1.3 数据处理

所有测定数据用 Excel 2007 进行统计分析,结

果用(平均值±标准偏差, n=4)表示; 用 SPSS 19.0 进行差异显著性分析、相关性分析和隶属函数分析。

2 结果与分析

2.1 各品种测试指标数据分析

2.1.1 外观品质指标数据分析 对 10 个莴笋品种采后 8 项外观品质指标进行测试分析(表 2), 变异系数在 4.52%~17.22% 之间, 由大到小排序分别为: 单株重>茎长>茎皮硬度>单株茎重>茎粗>单株长>茎肉硬度>茎可食率, 其中单株重、茎长、单株茎重和茎皮硬度变异系数均大于 10%, 表明这 4 项测试指标在品种间差异明显。单株重、单株茎重、单株长、茎长和茎粗反映了品种的外观品质和田间丰产性状, 供试 10 个品种单株重在(669.42~1033.58)g 之间, 品种间差异较大, 89# 和 92# 品种单株重显著高于其他品种 ($P<0.05$), 分别为 1033.58 g 和 984.50 g。单株茎重在(291.33~438.83)g 之间, 77# 和 135# 较高, 9# 显著

低于其他品种($P<0.05$)。单株长在(48.92~62.75)cm 之间, 除了 11# 和 89# 株型相对较短, 其他 8 个品种单株长均在 50 cm 以上, 且 135# 最长($P<0.05$), 为 62.75 cm。茎长变异系数较大, 在(22.33~36.38)cm 之间, 21# 和 22# 品种茎较长, 分别达到 36.00 cm 和 36.38 cm, 89# 最短。茎粗在(4.02~5.30)cm 之间, 21# 和 22# 品种较细, 而 89# 和 92# 品种较粗。茎皮硬度和茎肉硬度反映了莴笋皮和肉质的质地, 供试品种茎皮硬度在(1045.40~1571.77)g 之间, 11# 和 135# 品种茎皮硬度较高, 63# 品种最低; 茎肉硬度在(668.43~784.06)g 之间, 135# 品种茎肉硬度最高。茎可食率反映了莴笋茎去皮后可食用部分占整根茎的比重, 不同品种间茎可食率变异系数较小, 在 61.55%~70.88% 之间, 21# 品种可食率最高, 63# 品种最低。

2.1.2 内在营养品质分析 对 10 个莴笋品种肉质茎

表 2 各品种莴笋外观品质测试指标数据

Table 2 Appearance quality test index data of various varieties of lettuce

品种编号	单株重(g)	单株茎重(g)	单株长(cm)	茎长(cm)	茎粗(cm)	茎皮硬度(g)	茎肉硬度(g)	茎可食率(%)
9#	669.42±22.14 ^c	291.33±54.89 ^c	50.50±0.79 ^{cd}	27.50±2.25 ^{cd}	4.32±0.14 ^{cde}	1331.07±147.93 ^b	762.47±16.02 ^{ab}	65.36±0.98 ^{cd}
11#	690.25±84.65 ^{bc}	311.67±50.54 ^{bc}	48.92±1.6 ^d	25.21±2.75 ^{dc}	4.46±0.14 ^{cd}	1571.77±116.02 ^a	750.71±35.02 ^{abc}	63.66±1.62 ^{de}
21#	672.42±81.50 ^c	388.67±55.01 ^{ab}	54.67±3.02 ^b	36.00±2.54 ^a	4.20±0.27 ^{de}	1208.53±97.17 ^{cde}	702.32±31.98 ^{abc}	70.88±0.70 ^a
22#	671.75±97.60 ^c	390.00±60.52 ^{ab}	55.75±2.56 ^b	36.38±2.64 ^a	4.02±0.24 ^e	1101.30±47.92 ^{de}	676.51±56.98 ^{bc}	69.56±2.01 ^{ab}
63#	778.83±48.47 ^{bc}	377.25±28.00 ^{abc}	55.08±1.50 ^b	31.54±2.57 ^b	4.70±0.18 ^{bc}	1045.40±73.07 ^e	731.20±43.48 ^{abc}	61.55±1.53 ^c
77#	819.83±40.34 ^b	438.83±35.78 ^a	53.42±0.57 ^{bc}	32.96±1.52 ^{ab}	5.09±0.29 ^{ab}	1212.65±27.58 ^{cde}	741.19±49.95 ^{abc}	65.55±1.36 ^{cd}
89#	1033.58±92.26 ^a	351.83±37.68 ^{abc}	49.75±0.83 ^d	22.33±0.99 ^e	5.30±0.24 ^a	1336.03±41.32 ^b	759.97±23.22 ^{ab}	63.84±1.73 ^{de}
92#	984.50±97.49 ^a	399.25±60.30 ^{ab}	55.92±1.13 ^b	26.08±1.32 ^{cde}	5.14±0.29 ^a	1123.43±67.97 ^{cde}	668.43±55.37 ^c	68.56±1.90 ^{ab}
109#	727.17±62.27 ^{bc}	365.25±46.97 ^{abc}	51.17±1.50 ^{cd}	29.75±2.18 ^{bc}	4.71±0.31 ^{bc}	1292.79±227.14 ^{bcd}	756.68±95.32 ^{abc}	63.89±1.58 ^{de}
135#	700.00±84.57 ^{bc}	403.08±57.33 ^a	62.75±3.18 ^a	32.92±2.23 ^{ab}	4.51±0.25 ^{cd}	1458.72±192.98 ^{ab}	784.06±47.58 ^a	67.44±0.83 ^{bc}
最大值	1033.58	438.83	62.75	36.38	5.30	1571.77	784.06	70.88
最小值	669.42	291.33	48.92	22.33	4.02	1045.40	668.43	61.55
标准偏差	133.42	43.97	4.07	4.71	0.43	164.22	38.65	2.99
变异系数(%)	17.22	11.83	7.56	15.66	9.17	12.95	5.27	4.52
平均值	774.78	371.72	53.79	30.07	4.64	1268.17	733.35	66.03

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); 表 3~表 4 同。

表 3 各品种莴笋肉质茎内在营养品质测试

Table 3 Nutrient quality test of fleshy stems of various varieties of lettuce

品种编号	含水率(%)	叶绿素(mg/100 g)	V _C (mg/100 g)	还原糖(mg/g)	可溶性蛋白(μg/g)	纤维素(%)	游离氨基酸(mg/g)
9#	94.03±0.10 ^c	1.02±0.12 ^c	14.66±1.75 ^{abc}	19.06±1.28 ^a	63.10±15.17 ^{cd}	0.41±0.07 ^{bcd}	1.88±0.24 ^d
11#	94.24±0.17 ^{bc}	0.86±0.08 ^d	16.30±1.25 ^{ab}	17.46±1.26 ^{ab}	85.22±11.71 ^a	0.28±0.02 ^d	1.85±0.18 ^d
21#	95.22±0.15 ^a	0.30±0.03 ^f	14.09±0.75 ^{bc}	11.67±1.78 ^{de}	81.86±11.53 ^{ab}	0.31±0.09 ^{cd}	5.09±1.02 ^b
22#	95.31±0.17 ^a	1.04±0.09 ^{bc}	12.53±1.52 ^c	15.67±2.32 ^{bc}	45.98±7.38 ^{de}	0.41±0.07 ^{bcd}	2.02±0.43 ^d
63#	94.65±0.39 ^b	1.20±0.07 ^a	12.42±1.51 ^c	15.57±1.84 ^{bc}	42.00±13.35 ^e	0.36±0.09 ^{cd}	2.23±0.46 ^{cd}
77#	94.43±0.08 ^{bc}	1.19±0.06 ^{ab}	14.87±1.02 ^{abc}	14.19±1.43 ^{cd}	65.00±8.54 ^{bc}	0.35±0.05 ^{cd}	2.81±0.42 ^{cd}
89#	94.27±0.25 ^{bc}	0.10±0.11 ^{cd}	14.33±0.94 ^{abc}	11.97±1.17 ^{de}	46.99±6.06 ^{de}	0.43±0.03 ^{abc}	6.26±0.95 ^a
92#	94.58±0.43 ^b	0.52±0.05 ^e	15.77±0.92 ^{ab}	9.45±1.15 ^e	50.40±9.60 ^{cde}	0.56±0.13 ^a	6.22±0.96 ^a
109#	94.25±0.30 ^{bc}	0.92±0.04 ^{cd}	16.44±2.00 ^{ab}	14.27±1.25 ^{cd}	35.85±5.32 ^e	0.50±0.07 ^{ab}	2.85±0.37 ^{cd}
135#	94.39±0.25 ^{bc}	1.31±0.16 ^a	17.09±3.46 ^a	13.36±0.99 ^{cd}	42.83±5.41 ^e	0.37±0.08 ^{bcd}	3.34±0.60 ^c
最大值	95.31	1.31	17.09	19.06	85.22	0.56	6.26
最小值	94.03	0.30	12.42	9.45	35.85	0.28	1.85
标准偏差	0.42	0.31	1.59	2.85	17.14	0.09	1.75
变异系数(%)	0.45	33.33	10.68	19.94	30.64	21.53	50.64
平均值	94.54	0.94	14.85	14.27	55.92	0.4	3.45

肉 7 项内在营养品质指标进行测试分析(表 3), 各指标变异系数在 0.45%~50.64% 之间, 由大到小排序分别为: 游离氨基酸>叶绿素>可溶性蛋白>纤维素>还原糖> V_C >含水率, 其中茎含水率变异系数最小, 含水率在 94.03%~95.31% 之间。茎叶绿素含量在 0.30~1.31 mg/100 g 之间, 各品种间差异显著, 21#品种显著低于其他品种($P<0.05$), 135#和 63#品种叶绿素含量较高。 V_C 含量在 12.42~17.09 mg/100 g 之间, 135# 含量相对较高。茎还原糖含量在 9.45~19.06 mg/g 之间, 9# 和 11# 品种含量相对较高。茎可溶性蛋白含量在 35.85~85.22 $\mu\text{g/g}$ 之间, 品种间差异较大。茎纤维素含量在 0.28%~0.56% 之间, 92# 和 109# 品种含量相对较高。茎游离氨基酸含量在 1.85~6.26 mg/g 之间, 品种间变异系数最大, 11#品种含量最低, 89# 含量最高, 是 11#品种的 3.37 倍。

对 10 个莴笋品种叶片 7 项内在营养品质指标进行测试分析(表 4), 各指标变异系数在 0.97%~31.16% 之间, 由大到小排序分别为: 还原糖>纤维素>叶绿素>游离氨基酸> V_C >可溶性蛋白>含水率, 其中含水率变异系数最小, 还原糖变异系数最大。叶片含水率在 88.44%~91.26% 之间, 其中 63#、77#、89#、92# 和 109# 品种叶片含水率均达到 90% 以上。叶片叶绿素含量在 64.92~127.10 mg/100 g 之间, 变异系数较大, 11# 和 21# 品种显著低于其他品种, 135# 和 63# 品种显著高于其他品种($P<0.05$)。叶片 V_C 含量在 35.72~48.99 mg/100 g 之间, 品种间差异不显著($P>0.05$)。叶片还原糖含量在 6.97~15.55 mg/g 之间, 11#、22#、63# 和 9# 品种较高。叶片可溶性蛋白含量在 228.05~325.44 $\mu\text{g/g}$ 之间, 89#品种含量最高, 109#品种含量最低。叶片纤维素含量在 1.13%~2.13% 之间, 11#品种最高, 与其他品种差异显著($P<0.05$)。叶片游离氨基酸含量在 1.74~2.80 mg/g 之间, 63# 和 135# 品种显著高于其他品种($P<0.05$)。

表 4 各品种莴笋叶片内在营养品质测试
Table 4 Nutrient quality test of leaves of various varieties of lettuce

品种编号	含水率(%)	叶绿素(mg/100 g)	V_C (mg/100 g)	还原糖(mg/g)	可溶性蛋白($\mu\text{g/g}$)	纤维素(%)	游离氨基酸(mg/g)
9#	88.44±0.66 ^c	90.89±6.31 ^{cd}	35.72±3.70 ^b	13.26±0.94 ^a	232.31±15.17 ^c	1.13±0.12 ^e	1.74±0.06 ^d
11#	88.59±0.36 ^c	74.82±8.1 ^{5ef}	38.42±7.12 ^{ab}	15.55±0.59 ^a	265.74±29.41 ^{abc}	2.13±0.27 ^a	1.99±0.15 ^{cd}
21#	89.12±0.75 ^{bc}	64.92±4.92 ^f	37.62±9.52 ^{ab}	9.09±1.26 ^b	273.07±41.66 ^{abc}	1.71±0.29 ^b	1.80±0.44 ^d
22#	89.85±0.81 ^{abc}	101.42±2.54 ^{bc}	40.46±3.10 ^{ab}	14.50±2.19 ^a	267.67±18.44 ^{abc}	1.52±0.06 ^{bc}	1.95±0.07 ^d
63#	90.22±0.52 ^{ab}	116.13±10.85 ^{ab}	37.50±6.48 ^{ab}	13.85±3.47 ^a	270.01±36.63 ^{abc}	1.18±0.11 ^{de}	2.80±0.26 ^a
77#	90.47±0.35 ^{ab}	87.67±7.83 ^{de}	37.71±2.80 ^{ab}	6.97±1.27 ^b	305.97±61.37 ^{ab}	1.33±0.06 ^{de}	1.96±0.15 ^{cd}
89#	90.16±1.47 ^{ab}	88.17±9.75 ^{cde}	41.58±7.91 ^{ab}	7.61±0.38 ^b	325.44±30.85 ^a	1.48±0.28 ^{bcd}	1.75±0.29 ^d
92#	90.25±0.81 ^{ab}	86.20±12.63 ^{de}	48.45±10.25 ^a	8.13±0.84 ^b	305.54±38.81 ^{ab}	1.33±0.11 ^{de}	2.34±0.25 ^{bc}
109#	91.26±0.74 ^a	83.51±9.45 ^{de}	44.84±10.69 ^{ab}	9.29±1.24 ^b	228.05±36.45 ^c	1.13±0.05 ^e	1.76±0.18 ^d
135#	89.64±1.06 ^{bc}	127.10±8.42 ^a	48.99±3.43 ^a	7.69±0.80 ^b	262.74±13.27 ^{bc}	1.46±0.14 ^{bcd}	2.56±0.08 ^{ab}
最大值	91.26	127.10	48.99	15.55	325.44	2.13	2.80
最小值	88.44	64.92	35.72	6.97	228.05	1.13	1.74
标准偏差	0.87	18.48	4.75	3.3	31.2	0.3	0.38
变异系数(%)	0.97	20.06	11.56	31.16	11.4	21.14	18.16
平均值	89.8	92.08	41.13	10.59	273.65	1.44	2.07

2.2 测试指标间的相关性分析

对各品种的 22 项测试指标进行相关性分析(图 3)。从外观品质指标之间相关性来看, 单株重与单株茎重和茎粗呈极显著正相关($P<0.01$), 但与茎长呈显著负相关($P<0.05$); 单株茎重与单株长和茎长呈极显著正相关($P<0.01$), 与茎粗呈显著正相关($P<0.05$); 单株长与茎长呈极显著正相关($P<0.01$); 茎粗与茎长呈极显著负相关($P<0.01$)。此外, 茎可食率与单株长和茎长呈极显著正相关($P<0.01$), 与茎粗呈显著正相关($P<0.05$); 茎含水率与茎长和茎可食率呈极显著正相关($P<0.01$), 与单株茎重、单株长呈显著正相关($P<0.05$), 与茎粗呈显著负相关($P<0.05$); 茎皮硬度与茎肉硬度呈极显著正相关($P<0.01$)。

从营养品质指标之间相关性来看, 肉质茎与叶片的叶绿素、 V_C 和还原糖三项指标均呈极显著($P<0.01$)或显著正相关关系($P<0.05$), 在纤维素指标中呈显著负相关($P<0.05$)。此外, 茎叶绿素和茎还原糖呈极显著正相关($P<0.01$), 和茎游离氨基酸呈极显著负相关($P<0.01$), 和茎可溶性蛋白和叶纤维素呈显著负相关($P<0.05$)。叶片叶绿素与茎可溶性蛋白呈极显著负相关($P<0.01$), 与叶游离氨基酸呈极显著正相关($P<0.01$), 与叶纤维素显著负相关($P<0.05$)。叶 V_C 与茎游离氨基酸显著正相关($P<0.05$); 茎还原糖与叶可溶性蛋白和茎游离氨基酸均呈极显著负相关($P<0.01$); 叶还原糖与茎游离氨基酸呈极显著负相关($P<0.01$)。茎可溶性蛋白与叶纤维素呈极显著正相关($P<0.01$), 与叶游离氨基酸呈显著负相关($P<0.05$); 叶可溶性蛋白与茎游离氨基酸呈极显著正相关($P<0.01$)。

从外观品质指标与营养品质指标之间相关性来看, 茎和叶的还原糖与单株重、单株茎重和茎粗均呈极显著负相关($P<0.01$), 还与叶含水率呈显著负相关($P<0.05$)。单株长与叶片叶绿素表现出极显著正相

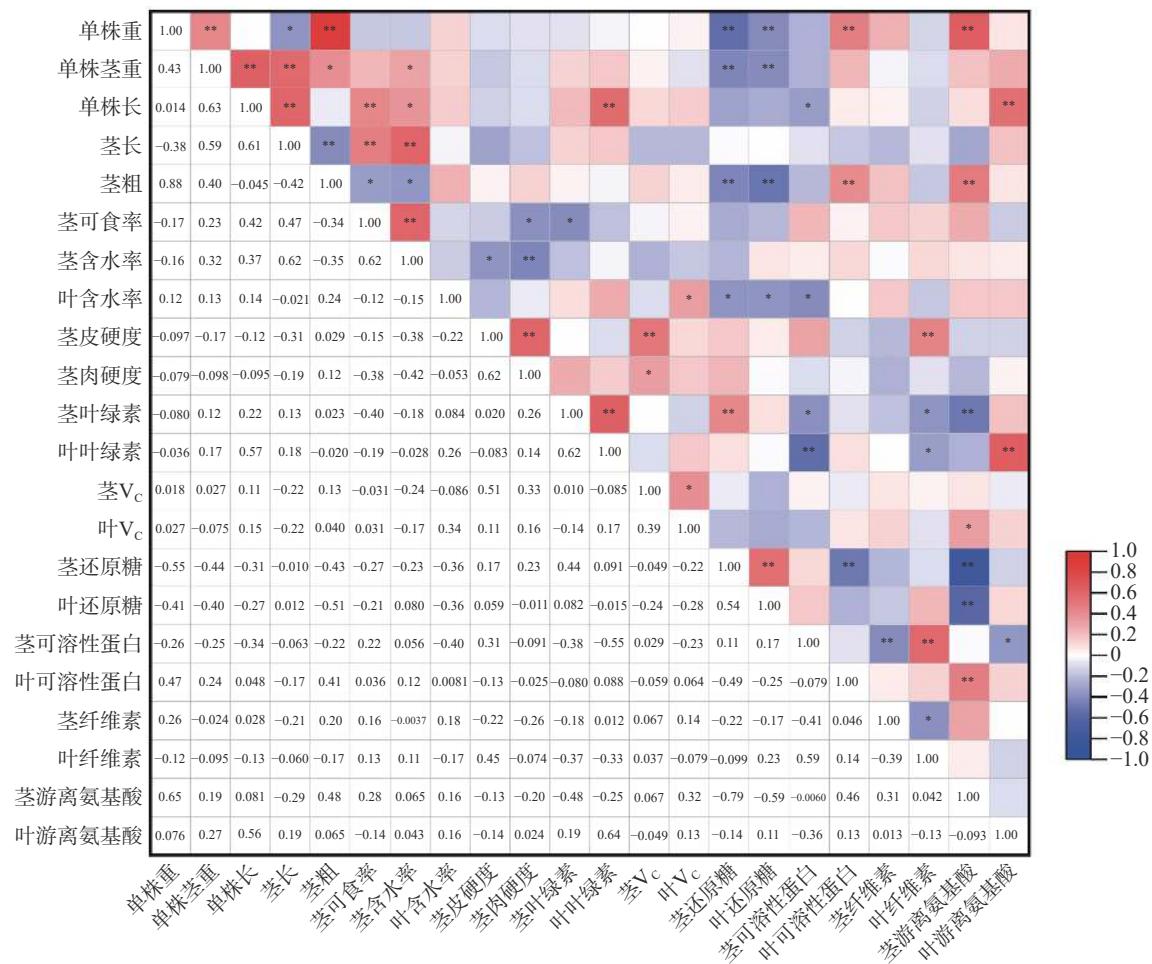


图 3 测试指标相关性分析图

Fig.3 Correlation analysis diagram of test indicators

注: **表示在 0.01 水平上极显著相关($P<0.01$); *表示在 0.05 水平上显著相关($P<0.05$)。

关($P<0.01$), 茎 V_c 与茎皮和茎肉硬度表现出极显著($P<0.01$)或显著正相关($P<0.05$); 叶可溶性蛋白和茎游离氨基酸两项指标都与单株重和茎粗表现出极显著正相关($P<0.01$); 叶纤维素与茎皮硬度极显著正相关($P<0.01$); 单株长与叶游离氨基酸极显著正相关($P<0.01$)。可见, 莴笋各品种在外观品质、肉质茎和叶片的营养品质之间存在较多的相关性关系, 可能存在测试指标间的内在联系。

2.3 莴笋肉质茎品质分析与品种筛选

莴笋以食用嫩茎为主, 为进一步评价 10 个莴笋

品种嫩茎的综合品质特性, 筛选品质优良的茎用型莴笋, 根据相关性分析结果剔除了单株茎重、单株长和茎粗这 3 项冗余指标, 将单株重、茎长、可食率和茎肉硬度这 4 项外观指标和茎肉 6 项营养品质指标进行隶属函数分析和排序(表 5)。粗纤维代表莴笋茎肉口感细腻程度, 粗纤维越高, 相对口感越粗糙, 因此将茎纤维素定义为劣质指标, 即值越小越好, 其余指标均定义为优良指标, 即值越大越好, 计算品种的平均隶属函数值。供试莴笋品种肉质茎品质指标平均隶属函数值由大到小依次为 135#>77#>21#>11#>

表 5 各品种肉质茎的品质综合比较分析

Table 5 Comprehensive comparative analysis of quality of fleshy stems of various varieties

品种编号	单株重	茎长	茎可食率	茎肉硬度	茎叶绿素	茎 V_c	茎还原糖	茎可溶性蛋白	茎纤维素	茎游离氨基酸	隶属函数值	排序
135#	0.08	0.75	0.63	1	1	0.41	0.14	0.7	0.34	0.605	1	
77#	0.41	0.76	0.43	0.63	0.88	0.53	0.49	0.59	0.78	0.22	0.572	2
21#	0.01	0.97	1	0.29	0	0.36	0.23	0.93	0.9	0.73	0.542	3
11#	0.06	0.2	0.23	0.71	0.55	0.83	0.83	1	1	0	0.541	4
89#	1	0	0.25	0.79	0.68	0.41	0.26	0.23	0.46	1	0.508	5
9#	0	0.37	0.41	0.81	0.71	0.48	1	0.55	0.53	0.01	0.487	6
22#	0.01	1	0.86	0.07	0.73	0.02	0.65	0.21	0.53	0.04	0.412	7
109#	0.16	0.53	0.25	0.76	0.61	0.86	0.5	0	0.21	0.23	0.411	8
92#	0.87	0.27	0.75	0	0.21	0.72	0	0.29	0	0.99	0.41	9
63#	0.3	0.66	0	0.54	0.89	0	0.64	0.12	0.74	0.09	0.398	10

89#>9#>22#>109#>92#>63#, 其中排名前3的品种平均隶属函数值均大于0.541, 分别是135#、77#和21#品种, 表现出较优的综合品质特性。

2.4 莴笋叶片品质分析与品种筛选

从表3、表4分析来看, 莴笋叶片测试中营养指标含量普遍比莴笋肉质茎更高, 其食用价值也不可小觑, 为进一步评价和筛选叶用品质较优的莴笋品种, 选取了单株重、叶片含水率和叶绿素

等8项指标进行隶属函数分析(表6)。叶片粗纤维代表莴笋叶片鲜嫩程度, 粗纤维越高, 相对口感越粗糙, 因此将叶片纤维素定义为劣质指标, 计算品种的平均隶属函数值。供试莴笋品种叶片品质指标平均隶属函数值由大到小依次为92#>63#>135#>89#>22#>77#>109#>9#>11#>21#, 其中排名前3的品种平均隶属函数值均大于0.520, 分别是92#、63#和135#品种。

表6 各品种叶片的品质综合比较分析

Table 6 Comprehensive comparative analysis of leaf quality of various varieties

品种编号	单株重	叶片含水率	叶片叶绿素	叶片V _C	叶片还原糖	叶可溶性蛋白	叶纤维素	叶游离氨基酸	隶属函数值	排序
92#	0.87	0.64	0.34	0.96	0.14	0.8	0.8	0.57	0.640	1
63#	0.3	0.63	0.82	0.13	0.8	0.43	0.95	1	0.633	2
135#	0.08	0.43	1	1	0.08	0.36	0.67	0.78	0.550	3
89#	1	0.61	0.37	0.44	0.08	1	0.65	0.01	0.520	4
22#	0.01	0.5	0.59	0.36	0.88	0.41	0.61	0.2	0.445	5
77#	0.41	0.72	0.37	0.15	0	0.8	0.8	0.2	0.431	6
109#	0.16	1	0.3	0.69	0.27	0	1	0.02	0.430	7
9#	0	0	0.42	0	0.73	0.04	1	0	0.274	8
11#	0.06	0.05	0.16	0.2	1	0.39	0	0.24	0.263	9
21#	0.01	0.24	0	0.14	0.25	0.46	0.42	0.06	0.198	10

3 讨论

本试验中测试了10个不同来源、类型(尖叶、圆叶)的莴笋品种在成都平原集中栽种后的肉质茎和叶片共22项指标, 对比了不同品种在产量、商品性、外观和营养品质上的差异性。从结果来看(表2), 单株重、单株茎重、茎长3项反映品种产量和肉质茎外形特性的指标在品种间的变异系数均大于10%, 表现出较大的种间差异。相关性分析中也可以看出(图3), 产量性状与肉质茎外形指标之间均表现出了极显著或显著的相关性^[8], 表现为单株重与茎重极显著正相关($P<0.01$), 茎越重则单株越重和茎长越长; 但茎越长单株可能反而越轻, 茎粗也会越细。如图1中所示, 21#和22#品种虽然茎很长, 但单株重却并不高, 表现为茎细长; 89#和92#品种单株重虽然很大, 但茎长却很短, 呈短棒型。对生产消费和加工而言, 更希望选择整齐度高、茎杆长且直、粗细匀称、适宜机械化采收和加工的品种^[25]。因此, 在育种选择时, 除单株重外, 还应重点关注肉质茎的形状、茎长、茎粗、节间长短等特征^[8]。结合品种外观图(图1和图2)和外观品质测试数据(表2)可以看出, 尖叶莴笋和圆叶莴笋特征差异明显, 尖叶莴笋(9#、11#、21#、22#和135#)表现为肉质茎更细, 单株重量较轻, 圆叶莴笋(63#、77#、89#、92#和109#)表现为单株重量较大, 肉质茎更粗, 其中89#和92#品种表现为茎粗且短。相关研究也表明, 通过改变田间施肥^[11,13,26-30]、生长调节剂的使用^[31-33]会提高不同品种莴笋的产量和可溶性蛋白、V_C等品质特性, 此外栽培环境海拔高度等生态条件的差异也会对莴笋的抽薹开花、产量和品质等造成影响^[16]。

肉质茎茎皮硬度越高, 通常耐贮运特性越好, 但

却增加了加工去皮难度, 本试验中11#和135#品种相对茎皮硬度更高, 63#相对较低; 而10个品种茎肉硬度间差异相对较小(变异系数5.27%), 肉质质地特性相似。茎皮和茎肉硬度也表现出极显著正相关关系($P<0.01$), 即外皮越硬, 肉质也相对更硬。茎可食率是直接反映莴笋肉质茎商品性的重要指标, 10个品种茎可食率均大于60%, 其中21#品种最高, 达70.88%, 品种间差异也较小(变异系数4.52%)。

从营养品质的变化来看(表3和表4), 肉质茎和叶片在品种间的含水率变异系数较小, 而其余营养指标均表现出较大差异(变异系数大于10%), 尤其是茎游离氨基酸含量品种间变异系数达50.64%, 茎叶绿素和可溶性蛋白、叶片还原糖含量品种间变异系数大于30%, 可见供试品种的风味、色泽、口感等营养特性各异。而且, 除游离氨基酸和还原糖外, 各指标在叶片中含量普遍高于肉质茎, 与毛学文等^[34]的研究结果相似, 可能与鲜样测定中肉质茎含有更高的含水率有关。可见, 尽管消费市场上莴笋(茎用莴苣)主要以食用嫩茎为主, 但与生菜(叶用莴苣)相似^[35], 莴笋的嫩叶同样营养丰富利于食用。此外, 5个圆叶品种(63#、77#、89#、92#和109#)叶片含水率均高于其余5个尖叶品种(表1和表4)。作为茎用, 89#、92#和21#莴笋品种肉质中富含了比其他品种高出1倍以上的游离氨基酸含量, 可能呈现出浓郁的风味, 135#和63#品种肉质也富含更多叶绿素使颜色更绿, 11#和21#品种可溶性蛋白含量大幅高于其他品种; 作为叶用, 9#、11#、22#和13#品种也表现出更高的还原糖含量, 鲜食口感更甜, 这些特异性品质特性可为未来莴笋的品种改良与品质育种提供参考。

本试验中, 各品种肉质茎和叶片之间在叶绿素、

V_C 、还原糖和纤维素指标中均表现出了显著或极显著的相关性关系($P<0.05$ 或 $P<0.01$)(图 3), 可见肉质茎和叶片营养品质指标在品种间规律相似。而其余茎和叶片还原糖及茎和叶氨基酸与单株重、茎重、茎粗等指标之间表现出的相关性关系, 以及其余营养指标之间、营养指标与外观品质之间表现出的相关性关系, 有待未来以更大样本为基础的更深入研究。

为进一步分类评价供试莴笋品种肉质茎和叶片品质综合特性, 分别选取了对产量、商品性和营养品质具有影响的测试指标进行了隶属函数分析和品种排序, 优选出综合品质较优的茎用型品种包括 135#、77# 和 21# 等, 可叶用型优选品种 92#、63# 和 135# 等。其中, 21# 和 135# 为尖叶品种(表 1), 茎皮绿色带紫, 茎杆长直匀称, 其余 63#、77# 和 92# 品种为圆叶品种(表 1), 茎皮呈浅绿色, 茎杆较短粗。135# 单株长优势明显, 口感脆嫩, 且叶绿素和 V_C 丰富; 77# 单株茎重和茎粗突出, 茎肉叶绿素较丰富; 21# 表现为肉质茎细长匀称, 可食率较高, 茎肉蛋白和游离氨基酸丰富。根据对叶片关键品质指标的隶属函数分析结果(表 6), 筛选出 92#、63# 和 135# 三个叶用型鲜食品种, 叶片含水率较高, 口感细嫩, 且叶片中富含的游离氨基酸含量较高。同时, 茎用型优良品种 135# 在叶用型品种筛选中排名第三, 叶片也富含丰富的叶绿素、 V_C 和游离氨基酸等营养物质, 属于茎叶食用价值都很高的优良品种, 能很好地满足消费者和生产者的需求, 为适宜推广的栽培品种。

4 结论

本研究对 10 个莴笋品种的 8 项外观商品性指标以及肉质茎和叶片 7 项内在营养品质指标进行了测试分析, 各项测试指标在品种间均存在差异, 除单株长、茎粗、茎肉硬度、可食率和含水率指标变异系数较小, 其他指标变异系数均大于 10%, 营养品质指标差异较大。外观和内在品质各项指标之间均表现出一定相关性, 大部分外观指标之间呈显著或极显著相关性, 营养品质指标之间也表现出一定相关性。隶属函数分析进一步对品种性状进行了分类和排序, 优选出 3 个茎用型鲜食品种(‘组合 2019135’‘川绿香 1 号’和‘红尖笋 2 号’)和 3 个叶用型鲜食品种(‘竹筒青’‘新翠竹’和‘组合 2019135’), 其中‘组合 2019135’茎肉和叶片食用价值均较高, 这 5 个品种可作为优良品种资源, 在成都平原和相似区域进一步推广。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 张磊. 莴苣基因组演化及莴苣叶绿色深浅基因的遗传克隆[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018. [ZHANG L. Genome evolution of lettuce and genetic cloning of green light and dark genes in lettuce leaves[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018.]
- [2] ZDRAVKOVI J M, AAMOVI G S, MLADENOVI J D, et al. Antioxidant capacity and contents of phenols, ascorbic acid, β -carotene and lycopene in lettuce[J]. Hemjiska Industria, 2014, 68: 193–198.
- [3] LLORACH R, ASCENSIÓN M S, FRANCISCO A, et al. Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole[J]. Food Chemistry, 2008, 108(3): 1028–1038.
- [4] 杨开, 李精精, 董旭军, 等. 莴苣功能成分及生理活性研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(8): 329–335. [YANG K, LI J J, DONG X J, et al. Lettuce function composition and physiological activity research progress[J]. Journal of Food and Fermentation Industry, 2022, 48(8): 329–335.]
- [5] 凌晨, 王雨, 庞雪兵, 等. 我国莴苣品种选育和新品种保护进展[J]. 中国蔬菜, 2022(2): 5–12. [LIN C, WANG Y, PANG X B, et al. Variety breeding and progress in the protection of new varieties of lettuce in China[J]. Journal of Chinese Vegetables, 2022(2): 5–12.]
- [6] 中国农业科学院蔬菜研究所. 中同蔬菜栽培学[M]. 北京: 农业出版社, 1987: 496–504. [Vegetable Research Institute. Chinese Academy of Agricultural Sciences. Science of vegetable cultivation[M]. Beijing: Agriculture Press, 1987: 496–504.]
- [7] 王丽慧, 张广楠, 孙雪梅, 等. 24 份茎用莴苣种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2020, 17(19): 6530–6538. [WANG L H, ZHANG G N, SUN X M, et al. Genetic diversity analysis of phenotypic traits of 24 stem lettuce germplasm resources[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 17(19): 6530–6538.]
- [8] 李春, 刘锦秀, 刘小俊, 等. 基于表型性状的莴笋种质资源遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2022, 53(12): 3318–3326. [LI C, LIU J X, LIU X J, et al. Genetic diversity analysis of lettuce germplasm resources based on phenotypic traits[J]. Acta Agriculturae Australis Sinica, 2022, 53(12): 3318–3326.]
- [9] JANG S W, HUR Y Y, CHOI H S, et al. Germplasm evaluation and selection of lettuces (*Lactuca sativa* L.), edible chrysanthemums (*Chrysanthemum coronarium* L.) and mallows (*Malva verticillata*) for organic farmers[J]. 한국유기농업학회지, 2011, 19: 230–233.
- [10] 田雪珂, 王启璋, 田洁, 等. 不同种植方式和密度对茎用莴苣生长及产量的影响[J]. 分子植物育种, 2022, 20(17): 5874–5883. [TIAN X K, WANG Q Z, TIAN J, et al. Different planting way and the density of stem with lettuce growth and yield influence[J]. Journal of Molecular Plant Breeding, 2022, 20(17): 5874–5883.]
- [11] 剔佳琳, 马彦霞, 侯栋, 等. 稳定性肥料配施微生物菌剂对莴笋生长及品质的影响研究[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(2): 24–30. [[KUAI J L, MA Y X, HOU D, et al. Effects of stable fertilizer combined with microbial inoculant on growth and quality of lettuce[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(2): 24–30.]
- [12] 陆帼一. 莴笋不同品种产量形成特点的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 1989, 17(8): 10–14. [LU G Y. Study on yield formation characteristics of different varieties of lettuce[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 1989, 17(8): 10–14.]
- [13] 朱洪霞, 狄彩霞, 王正银, 等. 钙对酸性土壤不同品种莴笋产量和品质的效应[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005, 27(4): 456–458, 463. [ZHU H X, DI C X, WANG Z Y, et al. Effect of calcium on yield and quality of different varieties of lettuce in acidic soil[J]. Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science Edition), 2005, 27(4): 456–458, 463.]

- ral Science Edition), 2005, 27(4): 456–458, 463.]
- [14] RENÉE L E, KNEPPER C, CAHN M D, et al. Screening of lettuce germplasm for agronomic traits under low water conditions [J]. American Society for Horticultural Science, 2016(6): 669–679.
- [15] 苗明军, 李菊, 田丽, 等. 川西高原地区莴笋新品种比较试验 [J]. 长江蔬菜, 2020(22): 54–56. [MIAO M J, LI J, TIAN L, et al. Comparative test of new varieties of lettuce in West Sichuan Plateau [J]. Yangtze River Vegetables, 2020(22): 54–56.]
- [16] 周有海. 不同种植海拔对茎用紫叶莴笋生长和品质的影响 [J]. 青海农林科技, 2021(3): 87–90. [ZHOU Y H. Effects of different planting altitudes on growth and quality of stem purple leaf lettuce [J]. Qinghai Agriculture and Forestry Science and Technology, 2021(3): 87–90.]
- [17] ALLENDE A, AGUAYO E, ARTÉS F. Microbial and sensory quality of commercial fresh processed red lettuce throughout the production chain and shelf life [J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 91(2): 109–117.
- [18] CHEN Z, ZHU C, ZHANG Y, et al. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on enzymatic browning and shelf-life of fresh-cut asparagus lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. Postharvest Biology & Technology, 2010, 58(3): 232–238.
- [19] WANG Y, YUN X Y, LI J S, et al. Effect of PA/PE composite membrane on preservation of fresh-cut asparagus lettuce [J]. Food Science, 2015, 36(24): 343–347.
- [20] 李锡香, 王海平. 莴苣种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007. [LI X X, WANG H P. Description and data standard of lettuce germplasm resources [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.]
- [21] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007. [CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experimental guidance on postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.]
- [22] 孙俊宝, 王建新. 樱桃叶绿素含量测定方法研究 [J]. 山西农业科学, 2010, 38(3): 18–19, 33. [SUN J B, WANG J X. Study on determination method of chlorophyll content in cherry [J]. Shanxi Agricultural Sciences, 2010, 38(3): 18–19, 33.]
- [23] 李玉红. 铜蓝比色法测定水果中还原型维生素C [J]. 天津化工, 2002(1): 31–32. [LI Y H. Determination of reduced vitamin C in fruits by molybdenum blue colorimetry [J]. Tianjin Chemical Industry, 2002(1): 31–32.]
- [24] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003. [Ministry of Health of the People's Republic of China, China Standardization Administration. GB/T 5009.10-2003 Determination of crude fiber in plant foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.]
- [25] 陈亦辉, 叶兴乾, 冯宇飞. 茎用莴苣生产及干燥加工技术研究进展 [J]. 浙江农业科学, 2012(1): 92–97. [CHEN Y H, YE X Q, FENG Y F. Stem made from lettuce and dry processing technology research progress [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Science, 2012(1): 92–97.]
- [26] 卢亚成, 黄春萍, 程章清, 等. 生物有机肥对莴笋产量及品质的影响 [J]. 广西农学报, 2019, 34(3): 21–23, 48. [LU Y C, HUANG C P, CHENG Z Q, et al. Effects of bio-organic fertilizer on yield and quality of asparagus lettuce [J]. Journal of Guangxi Agricultural Sciences, 2019, 34(3): 21–23, 48.]
- [27] 陈艺易, 颁建明, 马宁, 等. 缓释肥替代普通化肥对大棚莴笋产量及品质的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2021, 56(1): 57–50, 65. [CHEN Y Y, XIE J M, MA N, et al. Slow-release fertilizer instead of ordinary fertilizer influence on yield and quality of greenhouse lettuce [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2021, 56(1): 57–50, 65.]
- [28] 张慧芳. 缓释肥施用量对莴笋种植品质的影响 [J]. 农业工程技术, 2022, 42(23): 31–32. [ZHANG H F. Applying slow-release fertilizer content of lettuce planting quality [J]. The Effects of Agricultural Engineering Technology, 2022, 42(23): 31–32.]
- [29] YUNPENG S, FANRONG G, KAIGE L, et al. Effects of different fertilizer ratios on growth indexes and yield of lettuce [J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2018(20): 71–73.
- [30] BRIVIBA K. Effect of agronomic management practices on lettuce quality [J]. Researchgate, 2005(1): 1–4.
- [31] 王力明, 张泽锦, 雷晓葵, 等. 不同生长调节剂组合对‘三青’莴笋生长和光合作用的影响 [J]. 北方园艺, 2021(4): 46–50. [WANG L M, ZHANG Z J, LEI X K, et al. Effects of different growth regulator combinations on growth and photosynthesis of ‘Sanqing’ lettuce [J]. Northern Horticulture, 2021(4): 46–50.]
- [32] 张泽锦, 王力明, 梁颖, 等. 喷施赤霉素对‘三青’莴笋生长、光合电子传递和氰化物含量的影响 [J]. 西南农业学报, 2021, 34(12): 2640–2645. [ZHANG Z J, WANG L M, LIANG Y, et al. Effects of spraying gibberellin on growth, photosynthetic electron transfer and cyanide content of ‘Sanqing’ lettuce [J]. Southwest Agricultural Journal, 2021, 34(12): 2640–2645.]
- [33] HASAN Z. Improvement of soil solarization efficiency and lettuce yield by using different mulching materials and biochar [J]. Gesunde Pflanzen, 2023(75): 1347–1354.
- [34] 毛学文, 张海林, 毛沛. 莴苣茎叶营养品质的分析比较 [J]. 甘肃农业科技, 2003(11): 37. [MAO X W, ZHANG H L, MAO P. Analysis and comparison of the nutritional quality of lettuce stems and leaves [J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2003(11): 37.]
- [35] 刘雪莹, 范双喜, 韩莹琰, 等. 不同品种叶用莴苣营养品质分析 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(22): 57–62. [LIU X Y, FAN S X, HAN Y Y, et al. Analysis on nutritional quality of different varieties of leaf lettuce [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(22): 57–62.]