

5 个长柄芥品种可食茎和叶的品质对比分析

高 佳^{1,2}, 罗静红¹, 罗芳耀¹, 田玉肖¹, 唐月明¹, 刘独臣^{2,3*}

(1. 四川省农业科学院农产品加工研究所, 成都 610066; 2. 农业部西南地区园艺作物生物学及种质创制重点实验室, 成都 610066; 3. 四川省农业科学院园艺研究所, 成都 610066)

摘 要: **目的** 探究长柄芥蔬菜采后可食部分品质特性, 筛选优异品种。**方法** 对集中种植于成都平原生态条件下的 5 个长柄芥品种进行采后叶片和叶柄 8 项品质指标(单株重、株高、维生素 C、可溶性蛋白、可溶性糖、叶绿素、纤维素、游离氨基酸)的测试分析。**结果** 除单株重、株高和叶片可溶性糖含量 3 项指标外, 供试品种间有 11 个测试指标变异系数大于 10%, 表明品种间品质差异明显, 且叶片品质指标普遍高于叶柄; 相关性分析显示共 7 对指标间存在显著或极显著相关关系, 其中株高和叶柄可溶性蛋白含量极显著正相关, 叶片可溶性糖含量和叶片纤维素含量极显著负相关; 测试品质指标将品种聚类为 2 大类, 其中 1#和 2#四川地方资源品种综合品质相对较优, 聚为一类。**结论** 该研究明确了四川地区长柄芥品种的采后品质特性, 并为优良品种选择提供了参考依据。

关键词: 长柄芥; 品种; 品质; 叶片; 叶柄

Comparative analysis on the quality of edible stems and leaves of 5 varieties of mustard (*Brassica juncea* var. *longepetiolata* Yang et Chen)

GAO Jia^{1,2}, LUO Jing-Hong¹, LUO Fang-Yao¹, TIAN Yu-Xiao¹,
TANG Yue-Ming¹, LIU Du-Chen^{2,3*}

[1. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; 2. Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (Southwest Region), Chengdu 610066, China; 3. Institute of Horticulture, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China]

ABSTRACT: Objective To explore the quality characteristics of edible parts of mustard (*Brassica juncea* var. *longepetiolata* Yang et Chen) vegetables after harvest and screen excellent varieties. **Methods** The test and analysis of 8 quality indexes (single plant weight, plant height, vitamin C, soluble protein, soluble sugar, chlorophyll, cellulose and free amino acid) of postharvest leaves and petioles of 5 mustard (*Brassica juncea* var. *longepetiolata* Yang et Chen) varieties planted intensively in the ecological conditions of Chengdu Plain were conducted. **Results** Except for the 3 indexes of single plant weight, plant height and leaf soluble sugar content, the coefficient of variation of 11 indexes among the tested varieties was greater than 10%, indicating that the quality differences among the varieties were significant and the leaf quality indexes were generally higher than those of the petiole; the correlation

基金项目: 四川省农作物育种攻关项目(2021YFYZ0022)、四川省财政现代农业学科建设推进工程项目(2021XKJS066、2021XKJS044)

Fund: Supported by the Crop Breeding Project of Sichuan (2021YFZ0022), and the Finance Modern Agriculture Discipline Construction Promotion Project of Sichuan (2021XKJS066, 2021XKJS044)

*通信作者: 刘独臣, 硕士, 研究员, 主要研究方向为蔬菜育种与栽培。E-mail: ldcsaas@126.com

*Corresponding author: LIU Du-Chen, Master, Professor, Institute of Horticulture, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, No.4, Shizishan Road, Jinjiang District, Chengdu 610066, China. E-mail: ldcsaas@126.com

analysis showed that there existed significant or extremely significant correlation among 7 pairs of indicators, among which, the plant height had a very significant positive correlation with the soluble protein content of petiole, and the soluble sugar content of leaf blade had a very significant negative correlation with the cellulose content of leaf blade; the test quality indexes clustered the varieties into 2 categories, and the comprehensive qualities of 1# and 2# Sichuan local resource varieties were relatively better, which were clustered into one category. **Conclusion** This study define the postharvest quality characteristics of mustard (*Brassica juncea* var. *longepetiolata* Yang et Chen) varieties in Sichuan, and provide a reference basis for the selection of excellent varieties.

KEY WORDS: *Brassica juncea* var. *longepetiolata* Yang et Chen; varieties; quality; blade; petiole

0 引言

芥菜(*Brassica juncea* Coss)是起源于我国的一种十字花科芸薹属特色蔬菜,栽培面积广、适应性强、品种资源丰富^[1-3]。现有研究将芥菜划分为根芥、茎芥、叶芥、薹芥 4 大类 16 个变种,长柄芥(var. *longepetiolata* Yang et Chen)是一种叶芥变种类群,主要分布于四川^[4],俗称‘梭罗菜’‘香菜’^[5],因其叶柄细长而得名,叶片和叶柄均可鲜食、加工。芥菜作为药食两用型蔬菜,富含蛋白质、维生素、纤维素、 β -胡萝卜素、Ca、P、Fe 等矿物质和微量元素^[6-8],还含有由次生代谢物硫代葡萄糖苷(glucosinolates, GSL)不同种类与含量构成的特有辛辣风味和苦味,具有抗癌、抗氧化、抗炎、促进伤口愈合、抑菌等多种功效^[9]。现有对芥菜品种的研究主要集中在起源^[1,10]、分类^[4,11]、种质资源与农艺性状调查^[12-13]方面,而对于不同类型芥菜品种采后品质性状研究较少,关于长柄芥品种的品质调查关注更少。开展蔬菜品种的采后品质调研对于了解品种特性、明确品种市场定位具有重要作用。四川是长柄芥的主栽省份^[1],地方品种资源丰富,因此本研究调查了 5 个在成都平原集中种植的长柄芥品种采后叶片和叶柄的品质特性,以期明确品种特性和辅助筛选优良品种提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

本研究 5 个长柄芥品种材料均由四川省农业科学院

园艺研究所提供(表 1)。所有材料统一种植于四川省成都市新都区四川省农业科学院试验基地。露地栽培,小区面积 15 m²,株行距 50 cm×50 cm,每个小区种植 60 株,3 次重复,其他管理与当地常规生产管理相同。2020 年 9 月 5 日播种,2021 年 1 月 5 日采收。原料采收后 2 h 内送达实验室,处理前于(4±0.5) °C冷库中放置 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、蒽酮、乙酸乙酯、浓硫酸、氢氧化钠、茚三酮、乙二醇(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);钼酸铵(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)。

1.2 仪器与设备

TU-1810 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限公司); 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)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

新鲜长柄芥植株每品种 10 株测定单株重和株高鲜样指标,分别取叶片和叶柄采用液氮冻样粉碎,每品种 3 株混合为 1 个样本,冻样粉碎后-80 °C保存,用于测定维生素 C (vitamin C, VC)、可溶性蛋白、可溶性糖、纤维素、游离氨基酸等内在品质指标。

表 1 供试品种信息与田间表现
Table 1 Variety information and field performance

品种编号	名称	种质类型	品种来源	田间表现
1#	香菜	自交系	四川省农业科学院园艺研究所	大叶,叶面平展,叶绿色蜡质感
2#	香香菜	自交系	四川省农业科学院园艺研究所	小叶,叶面平展,叶浅绿色,直立抗冻
3#	香香菜	商品种	普利亚,华兴种业	小叶,叶面微皱,叶深绿色,植株矮小
4#	香菜	地方资源	重庆璧山	中叶,叶面皱,深绿色,后期长势好
5#	涪陵香菜	地方资源	国家园艺种质资源库	小叶,叶面微皱,叶深绿色

注: #代表品种编号。

1.3.2 指标测定

单株重、株高采用直接称量法测定。VC 含量采用钼蓝比色法^[14]测定,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝染色法测定,可溶性糖含量采用蒽酮试剂法测定,叶绿素含量采用丙酮法测定^[15]。纤维素含量按照 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》方法采用纤维素分析仪测定,游离氨基酸含量采用茚三酮显色法^[15]测定。

1.3.3 数据处理

所有测定指标所得数据采用 Excel 进行统计分析,结果采用(平均值±标准偏差)表示;采用 SPSS 软件进行差异显著性检验和相关性分析;使用 TBtools Heatmap 软件绘制不同品种各指标含量的热图,并进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 长柄芥基础指标数据

表 1 为供试品种信息和田间表现,1#和 2#品种为四川省农业科学院园艺研究所培育的自交系,3#品种为商品种,4#和 5#为不同来源的地方品种资源。1#为大叶品种,4#为中叶品种,其余 2#、3#、5#为小叶品种。

表 2 为 5 个长柄芥品种 8 项共 14 个测试指标的统计数据,所有测试指标在品种间的变异系数在 5.40%~52.40%之间,由大到小依次为:叶片纤维素>叶柄纤维素>叶片可溶性蛋白>叶柄游离氨基酸>叶片 VC>叶柄 VC>叶柄可溶性蛋白>叶片游离氨基酸>叶柄叶绿素>叶柄可溶性糖>叶片叶绿素>株高>单株重>叶片可溶性糖,表明品种在测试指标间差异明显。其中变异系数在 10%以上的指标有 11 个,仅有叶片可溶性糖、单株重和株高 3 个指标变异系数相对较小。对品种间测试指标的差异显著性分析也可以看出,上述单株重和叶片可溶性糖含量 2 个指标品种间均差异不显著。

单株重和株高反映了品种的田间丰产性状,供试 5 个品种平均单株重在 1279.20~1532.20 g 之间,平均株高在 58.50~70.80 cm 之间,仅有 1#品种株高显著高于其他 4 个品种($P<0.05$)。5 个品种叶片叶色均为深绿色,茎秆较长呈浅绿色(图 1)。

供试 5 个长柄芥品种均分别测试了叶柄和叶片的品质指标,VC、可溶性蛋白、可溶性糖、叶绿素、纤维素和游离氨基酸含量反映了品种的内在营养品质。从表 2 中可知,供试 5 个长柄芥品种叶片 VC、可溶性蛋白、叶绿素和游离氨基酸含量均高于叶柄;其中所有品种的叶片 VC 含量比叶柄高 4.70~6.29 倍,叶片可溶性蛋白含量比叶柄高 2.97~10.96 倍,叶片叶绿素含量比叶柄高 15.86~26.59 倍,叶片游离氨基酸含量比叶柄高 1.10~1.97 倍。除 1#品种外,其余 4 个品种叶片可溶性糖含量比叶柄高 1.02~1.49 倍;除 2#号品种外,其余 4 个品种叶片纤维素含量比叶柄高

1.27~2.32 倍。可见,5 个长柄芥品种叶片品质指标普遍高于叶柄。

对品种间的品质指标进行比较,1#和 2#品种的叶片和叶柄 VC 含量均高于其他 3 个品种,叶片和叶柄 VC 含量分别达 1.48 mg/g 和 0.27mg/g 以上。1#品种叶柄和叶片可溶性蛋白含量均较高,分别高于 2#品种 1.36 和 2.88 倍。5 个品种叶片和叶柄的可溶性糖含量在品种间变化相对较小,分别为(38.02~43.36) mg/g 和(29.19~43.62) mg/g。3#品种叶柄叶绿素含量在所有品种中显著最高,为 3.88 mg/100 g ($P<0.05$);5#品种叶片叶绿素含量在所有品种中最低,为 56.64 mg/100 g。5#品种叶柄和 4#品种叶片纤维素含量在所有品种中显著最高,分别为 1.14% 和 1.70% ($P<0.05$)。1#品种叶柄游离氨基酸含量在所有品种中最高,为 26.60 mg/g ($P<0.05$);但 5 个品种叶片游离氨基酸含量差异较小,在(19.68~29.28) mg/g 之间。VC、可溶性蛋白、叶绿素、游离氨基酸含量反映了芥菜的营养品质特性,叶绿素含量也反映了外观颜色性状,可溶性糖、纤维素和游离氨基酸含量与品种口感风味有关。刘独臣等^[16]调查了 23 个叶用芥菜品种品质性状表明,供试叶芥品种均含有 17 种氨基酸,其中 7 种人体必需氨基酸,且鲜味氨基酸谷氨酸的含量很高,可见叶芥营养丰富风味独特。芥菜中糖和氨基酸含量对腌制加工后产品的风味也具有重要影响^[17]。

2.2 测试指标的相关性分析

对各品种 14 个测试指标进行相关性分析表明(表 3),株高和叶柄可溶性蛋白含量呈极显著正相关关系,叶片可溶性糖含量和叶片纤维素含量呈极显著负相关关系;叶片可溶性糖含量和叶柄 VC 含量、叶片可溶性蛋白含量和叶片纤维素含量、株高和叶柄游离氨基酸含量均呈显著正相关关系;单株重和叶片叶绿素、叶片可溶性蛋白含量和叶片可溶性糖含量均呈显著负相关关系。相关性关系表明品种在上述测试指标间可能存在彼此潜在关联性,可成为未来品种选育的辅助参考依据。

2.3 长柄芥品种间测试指标的聚类分析

将 14 个测试指标数据标准化,采用 TBtools Heatmap 软件绘制不同品种各指标含量的热图(<https://github.com/CJ-Chen/TBtools>),并对各品种进行聚类分析(图 2)。各品种测试指标相对含量越高,热图颜色越偏向红色,反之偏向蓝色。从图 2 中可见,5 个品种中 1#品种多数测试指标的颜色相对更红,表明 1#品种供试指标反应的整体品质更高。从聚类信息来看,供试品种被分为 2 大类,第 I 类包含 1#和 2#品种,表现为株高,叶片和叶柄 VC、叶柄可溶性蛋白、叶片可溶性糖、叶片叶绿素和叶片游离氨基酸含量更高,在 5 个品种中综合品质相对更优;第 II 类包含 3#、4#和

表 2 供试品种测试指标数据
Table 2 Index data of tested varieties

品种编号	单株重/g	株高/cm	VC/(mg/g)		可溶性糖/(mg/g)		可溶性蛋白/(μg/g)		叶绿素(mg/100g)		纤维素/%		游离氨基酸(mg/g)	
			柄	叶	柄	叶	柄	叶	柄	叶	柄	叶	柄	叶
1#	1397.90±327.67 ^a	70.80±2.53 ^a	0.25±0.04 ^{ab}	1.48±0.16 ^a	54.06±4.91 ^a	339.95±48.39 ^{ab}	43.62±4.57 ^a	40.95±5.76 ^a	2.76±0.40 ^b	73.29±10.20 ^a	0.75±0.04 ^b	1.01±0.09 ^c	26.60±2.21 ^a	29.28±2.68 ^a
2#	1336.10±220.01 ^a	60.30±2.21 ^b	0.27±0.02 ^a	1.31±0.05 ^a	39.77±5.90 ^b	118.03±20.87 ^c	29.19±9.60 ^b	43.36±2.00 ^a	2.83±0.37 ^b	70.88±4.67 ^{ab}	0.44±0.12 ^c	0.26±0.01 ^d	13.54±1.09 ^b	26.76±6.44 ^{ab}
3#	1409.70±200.85 ^a	58.80±6.27 ^b	0.20±0.04 ^{bc}	0.94±0.02 ^{bc}	40.86±9.00 ^{ab}	291.63±61.58 ^b	39.20±5.61 ^{ab}	40.11±1.41 ^a	3.88±0.70 ^a	61.50±12.77 ^{ab}	0.43±0.06 ^c	0.88±0.07 ^c	16.69±2.50 ^b	19.68±1.24 ^b
4#	1279.20±248.42 ^a	58.50±2.92 ^b	0.18±0.01 ^c	0.86±0.01 ^c	34.65±7.54 ^b	379.89±9.03 ^a	34.20±1.54 ^{ab}	38.02±4.44 ^a	3.08±0.35 ^b	76.58±5.65 ^a	0.73±0.03 ^b	1.70±0.10 ^a	17.01±3.93 ^b	24.54±4.78 ^{ab}
5#	1532.20±522.83 ^a	58.50±2.27 ^b	0.17±0.01 ^c	1.07±0.00 ^b	38.17±8.31 ^b	349.50±41.43 ^{ab}	34.23±7.28 ^{ab}	38.32±9.64 ^a	2.62±0.19 ^b	56.64±6.04 ^b	1.14±0.10 ^a	1.44±0.06 ^b	14.53±2.59 ^b	19.77±4.89 ^b
最大值	1532.20	70.80	0.27	1.48	54.06	379.89	43.62	43.36	3.88	76.58	1.14	1.70	26.60	29.28
最小值	1279.20	58.50	0.17	0.86	34.65	118.03	29.19	38.02	2.62	56.64	0.43	0.26	13.54	19.68
标准偏差	94.67	5.32	0.04	0.26	7.40	104.31	5.50	2.17	0.50	8.38	0.29	0.55	5.20	4.25
变异系数/%	6.81	8.66	20.56	22.68	17.84	35.26	15.24	5.40	16.56	12.36	41.38	52.40	29.41	17.72

注: 表中同列数据后不同小写字母表示样品间有显著性差异, $P < 0.05$ 。

表 3 品种测定指标间的相关性
Table 3 Correlation between variety determination indexes

单株重	株高	叶柄 VC	叶片 VC	叶柄可溶性蛋白		叶片可溶性蛋白		叶柄可溶性糖		叶片可溶性糖		叶柄叶绿素		叶片叶绿素		叶柄纤维素		叶片纤维素		叶柄游离氨基酸		叶片游离氨基酸	
				蛋白	蛋白	糖	糖	叶绿素	叶绿素	纤维素	纤维素	氨基酸	氨基酸										
1																							
-0.004	1																						
-0.331	0.577	1																					
0.109	0.826	0.818	1																				
0.166	0.960 ^{**}	0.572	0.817	1																			
0.207	0.100	-0.738	-0.386	0.036	1																		
0.210	0.694	-0.013	0.250	0.759	0.561	1																	
-0.233	0.337	0.950 [*]	0.691	0.392	-0.898 [*]	-0.185	1																
-0.200	-0.328	-0.189	-0.542	-0.173	0.012	0.241	-0.058	1															
-0.884 [*]	0.401	0.442	0.227	0.180	-0.040	0.025	0.223	-0.148	1														
0.621	0.015	-0.575	-0.042	-0.049	0.625	0.071	-0.656	-0.633	-0.357	1													
0.106	-0.176	-0.848	-0.563	-0.291	0.930 [*]	0.219	-0.969 ^{**}	-0.092	-0.012	0.684	1												
-0.051	0.923 [*]	0.290	0.546	0.877	0.419	0.873	0.024	-0.112	0.412	0.063	0.123	1											
-0.530	0.757	0.766	0.744	0.593	-0.237	0.151	0.537	-0.458	0.818	-0.229	-0.313	0.598	1										

注: **表示 P 在 0.01 水平上相关, *表示 P 在 0.05 水平上相关, 显著相关。

5#品种,其中3#和4#距离更近。结合品种来源分析(表1),1#和2#品种均是来自四川本地的地方品种资源提纯复壮获得的自交系,可能亲缘关系更近。传统品种聚类分析通常以芥菜的田间表型性状为依据^[12-13],本研究中采用芥菜品质性状进行了品种聚类,聚类结果与种质资源收集来源地关联度较强,可见5个长柄芥品种间亲缘关系与来源地密切相关。但无论是田间性状和品质性状,都只能作为品种间亲缘关系判定的辅助依据^[18],准确鉴定还需采用细胞学、生物学、分子生物学等多种手段深入研究^[19]。地方品种等本土遗传资源的分析、鉴定和多角度评价对我国种质资源保存和挖掘创新具有重要价值^[20]。

3 结论与讨论

芥菜作为重要的蔬菜、油料和调料作物^[10],经济价值高。四川是中国芥菜的次生起源中心^[1],也是芥菜种植、加工、消费大省,开展芥菜品种品质研究对明确品种特性和挖掘优异种质资源具有重要意义。本研究对5个集中种植于成都平原生态条件下的长柄芥品种采后品质性状进行了对比分析,8项测试指标中有10个指标变异系数均大于10%,表现为品种品质差异明显,可见5个长柄芥品种采后品质类型多样。VC、可溶性蛋白、叶绿素等多数测定指标都表现为叶片部位大幅高于叶柄部位,也为下一步长柄

芥食用部位的合理开发利用提供了依据。相关性分析显示,株高和叶柄可溶性蛋白含量极显著正相关,叶片可溶性糖含量和叶片纤维素含量极显著负相关。测试指标间表现出的相关性关系与品种样本类型、数量等多种因素有关,本研究中单株重、株高等农艺性状分别与可溶性蛋白、叶绿素、游离氨基酸等品质性状表现出一定的相关性,叶片和叶柄的多项品质性状间也表现出差异化的相关性,具体原因有待进一步加大品种样本数量和测试指标类型深入研究,以提高结果的可靠性和代表性,为通过品质性状辅助育种提供帮助。从热图和聚类分析来看,供试品种分为2类,1#和2#四川本地品种资源聚为一类,品质表现相对更优,可作为四川地区适宜推广的长柄芥优良品种。



图1 供试长柄芥菜品种鲜样

Fig.1 Fresh samples of *Brassica juncea* var. *longepetiolata* Yang et Chen varieties

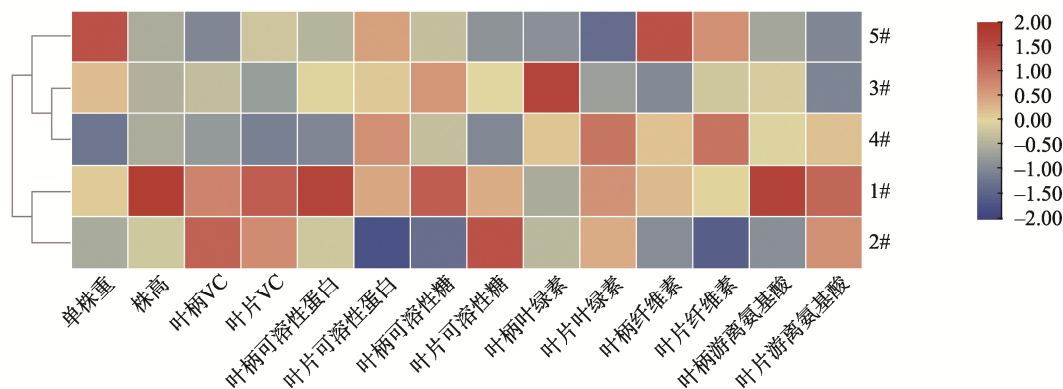


图2 供试品种的热图和聚类分析图

Fig.2 Heat map and cluster analysis map of tested varieties

参考文献

- [1] 陈材林, 周源, 周光凡, 等. 中国的芥菜起源探讨[J]. 西南农业学报, 1992, 5(3): 6-11.
CHEN CL, ZHOU Y, ZHOU GF, et al. Discussion on the origin of mustard (*Brassica juncea*) in China [J]. Southwest China J Agric Sci, 1992, 5(3): 6-11.
- [2] 陈材林, 周光凡, 杨以耕, 等. 中国芥菜分布的研究[J]. 西南农业学报, 1990, 3(1): 17-21.
CHEN CL, ZHOU GF, YANG YG, et al. Distribution of Chinese mustard (*Brassica juncea* L. Coss) [J]. Southwest China J Agric Sci, 1990, 3(1): 17-21.
- [3] 万正杰, 范永红, 孟秋峰, 等. 中国芥菜种业发展与展望[J]. 中国蔬菜, 2020, (12): 1-6.
WANG ZJ, FANG YH, MENG QF, et al. Development and prospect of mustard seed industry in China [J]. China Veget, 2020, (12): 1-6.
- [4] 杨以耕, 刘念慈, 陈学群, 等. 芥菜分类研究[J]. 园艺学报, 1989, 16(2): 114-121.
YANG YG, LIU NC, CHEN XQ, et al. A study on classification of mustard [J]. Acta Hort Sin, 1989, 16(2): 114-121.
- [5] 陈材林, 杨以耕. 芥菜的三个新变种[J]. 园艺学报, 1986, 13(3): 187-191.
CHEN CL, YANG YG. The three new varieties of mustard [J]. Acta Hort

- Sin, 1986, 13(3): 187–191.
- [6] 邓英, 宋明, 吴康云, 等. 不同叶用芥菜品种营养成分分析[J]. 中国蔬菜, 2010, (2): 42–45.
DENG Y, SONG M, WU KY, *et al.* Analysis of nutritive components in different leaf mustard (*Brassica juncea* L. Czern. et Coss.) varieties [J]. China Veget, 2010, (2): 42–45.
- [7] 刘琳, 李珊珊, 袁仁文, 等. 芥菜主要化学成分及生物活性研究进展[J]. 北方园艺, 2018, (15): 180–185.
LIU L, LI SS, YUAN RW, *et al.* A review of main chemical composition and biological activities of *Brassica juncea* L. Czern et Coss [J]. North Hortic, 2018, (15): 180–185.
- [8] SUN B, TIAN YX, JIANG M, *et al.* Variation in the main health-promoting compounds and antioxidant activity of whole and individual edible parts of baby mustard (*Brassica juncea* var. *gemmifera*) [J]. RSC Adv, 2018, 8(59): 33845–33854.
- [9] 田艳, 邓放明, 卿志星, 等. 十字花科植物中硫代葡萄糖苷类物质的结构与功能研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 292–303.
TIAN Y, DENG FM, QING ZX, *et al.* Advances in understanding the structure and function of glucosinolates in *Brassicaceae* [J]. Food Sci, 2020, 41(1): 292–303.
- [10] 刘忠松, 游亮, 杨柳, 等. 芥菜的起源与驯化探索[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(5): 649–655.
LIU ZS, YOU L, YANG L, *et al.* Origin and domestication discovery of *Brassica juncea* Czern. et Coss [J]. Chin J Oil Crop Sci, 2018, 40(5): 649–655.
- [11] 陈旭, 雷开荣, 林清, 等. 芥菜种质资源分类研究进展[J]. 南方农业, 2007, 1(4): 88–90.
CHEN X, LEI KR, LIN Q, *et al.* Advances in classification of mustard germplasm resources [J]. South China Agric, 2007, 1(4): 88–90.
- [12] 张双照, 黄发茂, 丘启松, 等. 44 份芥菜种质资源的主要表型性状鉴定与聚类分析[J]. 长江蔬菜, 2020, 14: 51–55.
ZHANG SZ, HUANG FM, QIU QS, *et al.* Identification and cluster analysis of main phenotypic traits of 44 *Brassica juncea* germplasm resources [J]. J Changjiang Veget, 2020, 14: 51–55.
- [13] 胡齐赞, 乔舒婷, 董文其, 等. 浙江地方芥菜种质资源表型鉴定及遗传多样性分析 [J/OL]. 分子植物育种: 1–20. [2021-12-24]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210331.1339.011.html>
HU QZ, QIAO ST, DONG WQ, *et al.* Phenotype identification and genetic diversity analysis of mustard local germplasm resources in Zhejiang [J]. Mol Plant Breed: 1–20. [2021-12-24]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210331.1339.011.html>
- [14] 李玉红. 钼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 YH. Determination of reduced vitamin C in fruits by molybdenum blue colorimetry [J]. Tianjiang Chem Ind, 2002, (1): 31–32.
- [15] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指南[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
CAO JK, JIANG WB, ZHAO YM. Experimental guidance on postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [16] 刘独臣, 李跃建, 房超, 等. 四川叶用芥菜主要营养成分分析[J]. 西南农业学报, 2014, 27(2): 763–767.
LIU DC, LI YJ, FANG C, *et al.* Analysis of main nutritional components in leaf mustard (*Brassica juncea* L.) from Sichuan [J]. Southwest China J Agric Sci, 2014, 27(2): 763–767.
- [17] 李文青, 卿泉, 唐清苗, 等. 发酵芥菜工艺及品质变化研究进展[J]. 中国酿造, 2019, 38(12): 1–4.
LI WQ, QING Q, TANG QM, *et al.* Research progress of technology and quality change of fermented mustard [J]. China Brew, 2019, 38(12): 1–4.
- [18] 王晓鸣, 邱丽娟, 景蕊莲, 等. 作物种质资源表型性状鉴定评价: 现状与趋势 [J/OL]. 植物遗传资源学报: 1–11. [2021-12-24]. <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210802001>
WANG XM, QIU LJ, JING RL, *et al.* Evaluation on phenotypic traits of crop germplasm: Status and development [J]. J Plant Genet Res: 1–11. [2021-12-24]. <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210802001>
- [19] 付杰, 张明方, 王涛. 芥菜类作物的遗传多样性[J]. 细胞生物学杂志, 2004, 26: 344–348.
FU J, ZHANG MF, WANG T. The genetic diversity of Chinese mustard (*Brassica juncea* Coss) [J]. Chin J Cell Biol, 2004, 26: 344–348.
- [20] 阳文龙, 李锡香. 我国蔬菜种质资源工作 70 年回顾与展望[J]. 蔬菜, 2019, 12: 1–9.
YANG WL, LI XX. Review and prospect of vegetable germplasm resources in China in the past 70 years [J]. Vegetables, 2019, 12: 1–9.

(责任编辑: 张晓寒 韩晓红)

作者简介

高 佳, 博士, 研究员, 主要研究方向为果蔬贮藏保鲜与加工。
E-mail: jiagao129@163.com

刘独臣, 硕士, 研究员, 主要研究方向为蔬菜育种与栽培。
E-mail: ldcsaas@126.com