

新型叶用芥菜 *hau* 细胞质雄性不育 杂种组合的加工模式

王灿洁¹ 李德超² 袁贞贞¹ 李金萍¹ 徐跃进¹ 傅廷栋³ 万正杰¹

1. 华中农业大学园艺林学学院/园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070;

2. 武汉市农业科学院, 武汉 430065;

3. 华中农业大学植物科学技术学院/作物遗传改良国家重点实验室, 武汉 430070

摘要 以新型叶用芥菜细胞质雄性不育 *hau* CMS 所获的杂种为主要研究对象, 选育获得 1 个叶用芥菜强优势组合(0912A×X₂), 在已经明确杂种优势的基础上, 通过正交设计试验研究杂交组合(0912A×X₂)腌制加工过程中安全标准的硝酸盐和亚硝酸盐的最优处理模式。结果表明: 腌制前期(0~15 d), 低含量硝酸盐的优化组合是腌制温度为 30 ℃, 亚硫酸钠添加量为 75 mg/kg, 食盐质量分数为 3%, Vc 添加量为 0.02 g/kg; 低含量的亚硝酸盐优化组合模式为腌制温度为 10.7 ℃, 亚硫酸钠添加量为 50 mg/kg, 食盐质量分数为 1%, Vc 添加量为 0.01 g/kg; 腌制后期(16~31 d) 低含量硝酸盐的优化组合是腌制温度为 25 ℃, 亚硫酸钠添加量为 0 mg/kg, 食盐质量分数为 1%, Vc 添加量为 0.03 g/kg; 低含量的亚硝酸盐优化组合是腌制温度为 10.7 ℃, 亚硫酸钠添加量为 50 mg/kg, 食盐质量分数为 1%, Vc 添加量为 0.01 g/kg。利用新型芥菜细胞质雄性不育源选育而成的叶用芥菜杂交组合不仅杂种优势明显, 而且腌制加工品质与对照没有明显差异。

关键词 叶用芥菜; 细胞质雄性不育系 *hau* CMS; 0912A×X₂; 加工品质; 硝酸盐; 亚硝酸盐

中图分类号 S 637.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)03-0017-07

芥菜(*Brassica juncea*, 2n=36), 起源于中国, 属于十字花科芸薹属芥菜, 主要分为茎用芥菜、叶用芥菜、根用芥菜和薹用芥菜等 4 个类型^[1-2]。其中, 叶用芥菜的食用部位主要是营养丰富的叶片和叶柄, 在中国 20 多个省份广泛种植, 不仅是重要的冬春季生鲜食蔬菜, 还可加工腌制成风味独特的咸菜、酸菜、干菜等, 因而深受广大人民的喜爱^[3]。尤其最近几年, 随着腌制加工产业的迅速发展, 叶用芥菜市场需求量大, 但目前生产栽培中广泛应用的常规品种, 其产量和品质远远不能达到消费市场的需求, 加快培育产量高、品质优良的新品种, 成为育种家的主要课题。

十字花科蔬菜杂种优势途径主要有 2 种, 一种是自交不亲和性, 另一种是雄性不育性, 而在杂种优势的的实际应用中, 细胞质雄性不育成为最主要的途径。叶用芥菜杂种优势利用的最理想途径是将雄性不育系应用于生产杂种一代中, 由于雄性不育资源

有限, 关于叶用芥菜雄性不育系的选育研究较少。曾志红等^[4]成功获得笋子芥、茎瘤芥、大头芥雄性不育系, 不育源是芥菜型油菜细胞质雄性不育系“欧新 A”, 但目前叶用芥菜还未获得“欧新 A”不育胞质。金海霞^[5]通过杂交和回交成功转育出叶用芥菜不育系, 不育源是萝卜不育胞质(*ogu* CMS)。杨景华等^[6]在茎用芥菜中发现细胞质雄性不育系, 通过种间杂交不仅克隆了不育基因 *orf220*, 并将该不育源成功转育到叶用芥菜。这些雄性不育源选育出的叶用芥菜不育系由于表型不好、配合力不高和其他原因, 均未成功选育出优良杂交品种。已知的细胞质雄性不育类型主要有 *pol* CMS、陕 2A、*ogu* CMS、*tour* CMS 和 *nap* CMS 等。*hau* CMS 是存在于芥菜型油菜中的雄性不育类型, 在 1999 年被傅廷栋首次发现。Wan 等^[7]通过一系列研究证明 *hau* CMS 和已知的细胞质雄性不育类型是不同的。邹瑞昌^[8]以芥菜型油菜 *hau* CMS 为不育源, 通过多代回交

收稿日期: 2015-04-13

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD20B00); 中央高校基本科研业务费专项(2014PY060); 公益性行业(农业)科技专项(201303014)

王灿洁, 博士研究生。研究方向: 植物基因组学。E-mail: 951466106@qq.com

通信作者: 万正杰, 博士, 副教授。研究方向: 蔬菜遗传育种。E-mail: wanzj@mail.hazu.edu.cn

选育出新型叶用芥菜细胞质雄性不育系 0912A, 之后选育的叶用芥菜杂交组合营养体表现为 51% 的超亲优势。

叶用芥菜主要用于蔬菜的腌制加工, 由于在腌制过程中会产生亚硝酸盐, 对腌制过程中硝酸盐与亚硝酸盐的含量变化以及有效抑制亚硝酸盐的含量方法进行过很多研究。刘青梅等^[9]在腌制的榨菜中分别加入异 Vc 钠及苯甲酸钠, 异 Vc 钠抑制了亚硝酸盐含量, 但是苯甲酸钠并没有起作用。黄苇等^[10]在腌制芥菜过程中分别添加抗坏血酸、柠檬酸或茶多酚, 均有效地抑制了亚硝酸盐的产生。周强等^[11]在腌制加工黄瓜过程中亚硝酸盐含量呈现先上升后下降的趋势, 亚硝酸盐含量在第 4 天达到最大值, 7 d 后含量达到国际标准, 低盐(食盐质量分数 4%)条件下, 亚硝酸盐含量峰出现的早且峰值小, 高盐(食盐质量分数 12%)条件下, 亚硝酸盐含量峰出现的晚、峰值大。胡玉霞^[12]、魏元等^[13]、韩兰英等^[14]、郑桂富^[15]、李美茹等^[16]进行的研究均表明, 食盐质量分数和抗氧化剂会影响亚硝酸盐峰值出现的时间及其大小。

本研究以新型叶用芥菜细胞质雄性不育系 0912A 为母本获得的杂种为主要研究材料, 通过腌制营养品质指标和正交试验杂交组合(0912A × X₂) 杂优优势测定, 研究杂种的产量优势和品质优势的关系及在腌制过程中硝酸盐和亚硝酸盐含量的变化, 旨在为发展和利用加工型叶用芥菜杂交品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料种植

本试验所用的 4 个杂交组合和 1 个栽培品种九头鸟(对照)(表 1)分别于 2012 年 9 月种植在国家蔬菜改良中心华中分中心(华中农业大学)基地。所用材料均由华中农业大学园艺林学学院遗传育种实验室提供。

1.2 田间试验

2012 年在 20 个叶用芥菜杂交组合中筛选到 4 个强优势杂交 F₁, 于 9 月上旬将 4 个强优势杂交 F₁ 和对照(CK)分别播种育苗, 10 月上旬进行田间随机区组设计, 每个小区面积 6.4 m², 每个材料 3 次重复, 1 个月后定植于华中农业大学试验田, 进行正常的田间肥水管理, 在植株成熟期, 每个材料每个小区随机取 10 株进行加工品质性状的测定。

表 1 试验材料

Table 1 The tested material

材料代号 Material code	备注 Note	来源 Origin
0912A	叶用芥菜(雪里蕻) 细胞质雄性不育系 Leaf mustard(salted vegetable) cytoplasmic male sterile line	华中农业大学 Huazhong Agricultural University
组合 1 Combination 1	0912A × X ₁	华中农业大学 Huazhong Agricultural University
组合 2 Combination 2	0912A × X ₅	华中农业大学 Huazhong Agricultural University
组合 3 Combination 3	0912A × X ₃	华中农业大学 Huazhong Agricultural University
组合 4 Combination 4	0912A × X ₂	华中农业大学 Huazhong Agricultural University
对照 CK	九头鸟雪里蕻 Jiutouniao salted vegetable	中国江西 Jiangxi Province, China

1.3 叶用芥菜的腌制方法

在适宜采收期(11 月中旬), 在每个参试材料的每个小区随机选取 10 个单株, 去除烂叶和病叶, 晒置 2 d, 清洗、晾晒后, 添加其质量 3% 的食盐, 搓揉, 盐与蔬菜混合均匀, 放入干净的玻璃坛, 用少量水封坛, 室温放置 31 d 待测^[17]。

1.4 腌制后营养成分的测定

蛋白质、可溶性糖、纤维素、游离氨基酸的测定参照文献^[18]; 可溶性固形物的测定参照张朝霞^[19]的方法; 硝酸盐、亚硝酸盐和含盐量测定参照胡玉霞^[12]的方法。

1.5 叶用芥菜腌制加工工艺的优化

杂交组合(0912A × X₂) 采用 5 因素 4 水平 L₁₆(4⁵) 的正交表(表 2) 进行腌制, 重复 3 次, 以硝酸盐和亚硝酸盐含量为指标。

1.6 数据处理

采用 SAS 8.0 对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 杂交组合腌制品的品质分析

在室温(10.7 °C) 对 5 个叶用芥菜品种进行腌制加工后, 不同组合和对照腌制后食盐质量分数、纤维素含量和游离氨基酸含量没有差异(表 3), 其他成分有一定的差异(0.5 水平), 亚硝酸含量组合 1 含量最高, 组合 3 含量最低。但总体来讲, 含量均不高,

未超过国家(国际)规定标准限值(20 mg/kg)^[20]。4.00,酸度较弱。组合 4 的可溶性糖含量和蛋白质可溶性固形物除组合 3 和对照(CK)较小外,其他均含量显著高于其他。游离氨基酸以组合 1 最高,超过 11%;pH 值以组合 1 和组合 4 为最大,超过了 0.46 mg/g,对照最低,其他居中(表 3)。

表 2 硝酸盐和亚硝酸盐含量变化供试因素及水平(0~15 d 和 15~31 d)

Table 2 Test factors and levels on nitrate and nitrite content (0-31 days and 15-31 days)

水平 Levels	A 时间/d Time	B 盐质量分数/% Salt mass fraction	C 温度/℃ Temperature	D 亚硫酸钠/(mg/kg) Sodium sulfite contents	E Vc/(g/kg)
1	3,19	1	10.7	0	0.00
2	7,23	3	15.0	25	0.01
3	11,27	5	25.0	50	0.02
4	15,31	7	30.0	75	0.03

表 3 4 个杂交组合与对照(CK) 的腌制加工品质

Table 3 Average value of traits in F₁ and CK

材料编 Material code	可溶性 固形物/% Soluble solids content	盐质量 分数/% Salt mass fraction	硝酸盐 含量/(g/kg) Nitrate content	亚硝酸 盐含量/ (mg/kg) Nitrite content	pH 值 pH value	可溶性 糖含量/% Soluble sugar content	蛋白质 含量/(mg/g) Soluble protein content	纤维素/% Cellulose content	游离氨基酸/ (μg/100 g) Animo acid content	含水量/% Moisture content
组合 1 Combination 1	11.5a	3.45a	15.59d	0.82a	4.05a	0.24b	0.54ab	0.14a	45 755.38a	81.58b
组合 2 Combination 2	11.3b	3.52a	18.05b	0.36d	3.80b	0.12c	0.38b	0.10a	37 918.66a	78.40c
组合 3 Combination 3	10.3e	3.34a	20.08a	0.23e	3.71d	0.12c	0.59ab	0.10a	31 758a	78.03c
组合 4 Combination 4	11.0c	3.61a	16.14c	0.48c	4.03a	0.37a	0.85a	0.14a	31 904.09a	78.18c
对照 CK	10.4d	3.38a	14.48e	0.52b	3.77c	0.33ab	0.80a	0.12a	28 842.88a	84.66a

注:邓肯新复极差测验,小写字母代表不同的差异显著水平(α=0.05)。Note:Duncan's test.The small letter indicated different significance (α=0.05) .

2.2 杂交组合(0912A×X₂)腌制工艺的优化

本试验通过优化腌制时间、盐质量分数、温度、亚硫酸钠和 Vc 的添加量,控制和减少亚硝酸盐的生成量。根据极差 R 值的大小,可知 5 个因素对硝酸盐含量的变化有影响,影响大小的顺序为:时间>亚硫酸钠>食盐质量分数>Vc>温度。从 K 值分析,较优试验处理组合是 A₄D₄B₂E₃C₄,说明在腌制时间为 15 d、腌制温度为 30℃、亚硫酸钠添加量为 75 mg/kg、食盐质量分数为 3%、Vc 添加量为 0.02 g/kg 时,硝酸盐含量相对较低。

根据极差 R 值的大小,可知 5 个因素对亚硝酸盐含量的变化有影响,影响大小的顺序为:食盐质量分数>温度>亚硫酸钠>时间>Vc。从 K 值分析,较优试验处理组合是 B₁C₁D₃A₄E₂,说明在腌制最长时间为 15 d、腌制温度为 10.7℃、亚硫酸钠添

加量为 50 mg/kg,食盐质量分数为 1%、Vc 添加量为 0.01 g/kg 时,硝酸盐亚含量相对较低(表 4)。

同样对叶用芥菜杂交 F₁(0912A×X₂)在腌制后期进行了极差分析,结果表明,各种水平组合对硝酸盐含量的变化影响差异较大,根据极差 R 值的大小,可知 5 个因素对硝酸盐含量的变化有影响,影响大小的顺序为:亚硫酸钠>时间>温度>Vc>食盐质量分数。从 K 值分析,较优试验处理组合是 D₁A₄C₃E₄B₁,说明在腌制最长时间为 31 d、腌制温度为 25.0℃、亚硫酸钠添加量为 0.00 mg/kg、食盐质量分数为 1%、Vc 添加量为 0.03 g/kg 时,硝酸盐含量相对较低。

根据极差 R 值的大小,可知 5 个因素对亚硝酸盐含量的变化有影响,影响大小的顺序为:温度>时间>Vc>食盐质量分数>亚硫酸钠。从 K 值分

析,较优试验处理组合是 C₁A₃E₂B₁D₃,说明在腌制加量为 50 mg/kg,食盐质量分数为 1%,Vc 添加量最长时间为 27 d,腌制温度为 10.7 °C,亚硫酸钠添加为 0.01 g/kg 时,硝酸盐亚含量相对较低(表 5)。

表 4 腌制前期(0~15 d)硝酸盐和亚硝酸盐含量变化以及组合模式

Table 4 The combined modes and changes on nitrate and nitrite contents in pickled early days

代号 Code	A 时间/d Time	B 盐质量分数/% Salt mass fraction	C 温度/°C Temperature	D 亚硫酸钠/ (mg/kg) Sodium sulfite contents	E Vc/(g/kg)	硝酸盐含量/ (g/kg) Nitrate content	亚硝酸盐含量/ (mg/kg) Nitrite content
1	1(3)	1(1)	1(10.7)	1(0)	1(0.00)	18.67	1.44
2	1(3)	2(3)	2(15.0)	2(25)	2(0.01)	14.92	3.20
3	1(3)	3(5)	3(25.0)	3(50)	3(0.02)	17.27	0.81
4	1(3)	4(7)	4(30.0)	4(75)	4(0.03)	11.81	6.56
5	2(7)	1(1)	2(15.0)	3(50)	4(0.03)	16.09	1.42
6	2(7)	2(3)	1(10.7)	4(75)	3(0.02)	8.78	1.57
7	2(7)	3(5)	4(30.0)	1(0)	2(0.01)	14.68	1.29
8	2(7)	4(7)	3(25.0)	2(25)	1(0.00)	12.80	9.78
9	3(11)	1(1)	3(25.0)	4(75)	2(0.01)	15.64	2.02
10	3(11)	2(3)	4(30.0)	3(50)	1(0.00)	13.50	1.88
11	3(11)	3(5)	1(10.7)	2(25)	4(0.03)	13.18	3.02
12	3(11)	4(7)	2(15.0)	1(0)	3(0.02)	13.98	12.78
13	4(15)	1(1)	4(30.0)	2(25)	3(0.02)	10.92	1.53
14	4(15)	2(3)	3(25.0)	1(0)	4(0.03)	10.58	2.17
15	4(15)	3(5)	2(15.0)	4(75)	1(0.00)	8.58	3.42
16	4(15)	4(7)	1(10.7)	3(50)	2(0.01)	14.55	1.98
I	K1	62.67	61.32	55.18	57.92	53.55	
	K2	52.35	47.78	53.57	51.81	59.79	
	K3	56.30	53.70	56.28	61.41	50.94	
	K4	44.62	53.13	50.91	44.90	51.66	Σ=215.94
	R	4.51	3.38	1.34	4.15	2.21	
最优组合 Optimization		A4	B2	C4	D4	E3	
II	K1	12.01	6.41	8.01	17.68	16.52	
	K2	14.06	8.82	20.82	17.53	8.49	
	K3	19.70	8.54	14.78	6.09	16.69	
	K4	9.10	31.10	11.26	13.57	13.17	Σ=54.87
	R	2.65	6.17	3.20	2.90	2.05	
最优组合 Optimization		A4	B1	C1	D3	E2	

注:括号内的数值为不同的因素水平; I.硝酸盐含量; II.亚硝酸盐含量; 下同。Note:The value in the parentheses indicated different factor level; I.Nitrate content; II.Nitrite content; The same as below.

表 5 腌制后期(16~31 d)硝酸盐和亚硝酸盐含量变化规律以及组合模式

Table 5 The combined modes and changes on nitrate and nitrite contents in late picked

代号 Code	A 时间/d Time	B 盐质量分数/% Salt mass fraction	C 温度/℃ Temperature	D 亚硫酸钠/ (mg/kg) Sodium sulfite contents	E Vc/(g/kg)	硝酸盐含量/ (g/kg) Nitrate content	亚硝酸盐含量/ (mg/kg) Nitrite content
1	1(19)	1(1)	1(10.7)	1(0)	1(0)	15.39	1.61
2	1(19)	2(3)	2(15.0)	2(25)	2(0.01)	15.33	4.34
3	1(19)	3(5)	3(25.0)	3(50)	3(0.02)	13.56	2.47
4	1(19)	4(7)	4(30.0)	4(75)	4(0.03)	15.90	1.79
5	2(23)	1(1)	2(15.0)	3(50)	4(0.03)	13.99	3.55
6	2(23)	2(3)	1(10.7)	4(75)	3(0.02)	17.34	0.84
7	2(23)	3(5)	4(30.0)	1(0)	2(0.01)	10.30	1.70
8	2(23)	4(7)	3(25.0)	2(25)	1(0)	14.95	2.05
9	3(27)	1(1)	3(25.0)	4(75)	2(0.01)	15.36	0.98
10	3(27)	2(3)	4(30.0)	3(50)	1(0)	16.80	1.03
11	3(27)	3(5)	1(10.7)	2(25)	4(0.03)	14.77	0.78
12	3(27)	4(7)	2(15.0)	1(0)	3(0.02)	15.62	4.19
13	4(31)	1(1)	4(30.0)	2(25)	3(0.02)	9.04	2.76
14	4(31)	2(3)	3(25.0)	1(0)	4(0.03)	7.74	2.89
15	4(31)	3(5)	2(15.0)	4(75)	1(0)	15.55	6.66
16	4(31)	4(7)	1(10.7)	3(50)	2(0.01)	15.61	1.39
K1	60.18	53.78	63.10	49.05	62.68		
K2	56.59	57.21	60.49	54.09	56.60		
K3	62.54	54.17	51.61	59.96	55.56		
I	K4	47.94	62.08	52.04	64.15	52.40	
R	3.65	2.07	2.87	3.78	2.57		Σ=227.24
最优组合 Optimization	A4	B1	C3	D1	E4		
K1	10.21	8.90	4.62	10.39	11.35		
K2	8.14	9.10	18.74	9.93	8.41		
K3	6.98	11.61	8.39	8.44	10.26		
II	K4	13.70	9.42	7.28	10.27	9.01	
R	1.68	0.68	3.53	0.49	0.74		Σ=39.03
最优组合 Optimization	A3	B1	C1	D3	E2		

3 讨论

3.1 叶用芥菜营养体杂种优势与腌样营养品质杂种优势的关系

本研究利用的新型叶用芥菜不育系 0912A 败育彻底、稳定,选育组合结籽能力正常。杂交组合的杂种优势测定结果表明,杂交后代 F₁ 代产量相关性状的杂种优势明显^[8],说明该不育系具有作为杂交育种中优良不育亲本的潜力。但是 4 个杂交组合在品质性状上无明显优势,这可能与试配父本偏少有关。蔬菜营养体的杂种优势比种子的杂种优势强,

而种子的杂种优势比品质的杂种优势强,品质性状杂种优势弱的原因可能不仅涉及“源流库”,而且涉及“库”中的物质转化问题,生理生化过程更复杂。作物的品质性状由人的需要决定其优劣;品质性状的人工选择和自然选择方向往往不一致。目前芥菜杂种优势在十字花科蔬菜中最强,未来我们将对不育系和杂交组合的产量、品质、抗病性等性状进行改良和不断选育,使叶用芥菜不育源 *hau* CMS 更好地应用到蔬菜杂交优势育种中。

叶用芥菜作为一种重要的腌制加工蔬菜,主要食用器官为叶和叶柄,在利用细胞质雄性不育系杂

种优势选育叶用芥菜时,对 F_1 代除了注重叶用芥菜营养体产量优势外,还应该注重叶和叶柄所表现的优势。在本研究中,对各个组合腌样品质的比较分析显示,除了食盐质量分数、纤维素含量和游离氨基酸含量没有明显差异,其他指标都有一定的差异。由于都是同一个母本,因此,推测造成这种差异的主要原因可能是父本的不同,说明品种产量和营养品质没有直接的相关关系。此结果在其他作物如玉米^[21]、红菜薹^[22]等也有表现。

3.2 腌制过程中硝酸盐和亚硝酸盐的变化规律以及最优化的模式

硝酸盐和亚硝酸盐含量在蔬菜腌制过程呈现不同的变化趋势,腌制前期亚硝酸盐含量高,腌制后期亚硝酸盐含量降低^[23-28]。亚硝酸盐含量的动态变化受食盐质量分数、酸度、温度、含糖量、抗氧化剂和益生菌的繁殖等影响^[29]。在腌制大头菜的过程中提高酸度、含糖量、维生素 C 和温度,可以抑制亚硝酸盐的产生^[30]。在雪里蕻的腌制研究中还发现,如果在腌制过程中污染杂菌,蔬菜和腌制容器没有清洗干净,都会增加亚硝酸盐含量^[15]。郑桂富^[15]、李美茹等^[16]研究结果显示,在食用前,用开水洗涤腌菜,不仅稀释食盐质量分数,也可以降低亚硝酸盐含量,提高食用安全性。前人的研究结果显示,较低的食盐质量分数可以使腌制的蔬菜中亚峰值提早出现、而且含量低;较高的食盐质量分数使亚峰值出现晚、含量高^[11,13-14]。但是,李伟荣等^[30]、蒲朝文等^[31]、岳向冰等^[32]的研究中,出现了相反的试验结果,这种差异也许是腌制容器、腌制蔬菜品种、腌制方法、腌制环境等不同引起的,具体原因还需要进一步研究。

本研究结果表明,在腌制前期,对亚硝酸盐含量生成起重要作用的因素是食盐质量分数和腌制温度,而在腌制后期主要影响因素是腌制温度和腌制时间。由此可见,控制温度可以有效降低亚硝酸盐含量。

参 考 文 献

- [1] 吕家龙.蔬菜栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,2001:197.
- [2] CHEN S, WAN Z J, NELSON M N, et al. Evidence from genome-wide simple sequence repeat markers for a polyphyletic origin and secondary centers of genetic diversity of *Brassica juncea* in China and India[J]. Journal of heredity, 2013; 104(3):416-427.
- [3] 刘佩英.中国芥菜[M].北京:中国农业出版社,1996.
- [4] 曾志红,王永清,陈学群,等.芥菜胞质雄性不育系花器形态结构与育性表现[J].西南农业学报,1998,11(2):40-44.
- [5] 金海霞.芥菜细胞学雄性不育系的创制与利用[D].沈阳:沈阳农业大学,2006.
- [6] 杨景华,张明方,喻景权,等.叶用芥菜细胞质雄性不育相关基因 *orf220* 的分子特性[J].遗传学报,2005,32(6):594-599.
- [7] WAN Z J, JING B, TU J X, et al. Genetic characterization of a new cytoplasmic male sterility system (*hau*) in *Brassica juncea* and its transfer to *B. napus*[J]. Theoretical and applied genetics, 2008, 116:355-362.
- [8] 邹瑞昌.叶用芥菜细胞质雄性不育系 0912A 的评价及杂种优势利用[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [9] 刘青梅,杨性民.腌渍蔬菜亚硝酸盐含量及降低措施研究[J].食品科学,2001,22(9):44-46.
- [10] 黄苇,吴晓冰,李远志,等.抗氧化剂对腌芥菜中亚硝酸盐消除效果的研究[J].食品科技,2009,34(5):77-80.
- [11] 周强,刘蒙佳,黄月妹.黄瓜腌制过程中亚硝酸盐含量及 pH 值变化[J].江西农业学报,2012,24(6):156-158.
- [12] 胡玉霞.雪里蕻腌渍过程中理化成分及其抗氧化性变化研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- [13] 魏元,李景茹.泡菜腌制过程中亚硝酸盐含量变化研究[J].农产品加工,2011(2):106-108.
- [14] 韩兰英,陈海燕,黄水萍.雪里蕻菜腌制中亚硝酸盐的生长规律的研究[J].上饶师范学院学报,2007,27(6):56-59.
- [15] 郑桂富.亚硝酸盐在雪里蕻腌制过程中生成规律的研究[J].四川大学学报,2000,32(3):85-87.
- [16] 李美茹,张光民,康素月.不同处理条件对蔬菜亚硝酸盐含量的影响[J].北方园艺,2008(7):20-23.
- [17] 徐华梁.腌制雪里蕻亚硝酸盐及亚硫酸盐快速检测技术的研究[D].宁波:宁波大学,2009.
- [18] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [19] 张朝霞.甜瓜砧木的筛选及甜瓜不同嫁接苗对低温适应性的初步研究[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国标准化委员会.GB2714-2003 酱腌菜卫生标准[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [21] 李华雄,杨克诚,任祎,等.玉米籽粒铁含量杂种优势及相关分析[J].华北农学报,2007,22(6):135-138.
- [22] 鲁凡.新型红菜薹雄性不育系的杂种优势分析及优良组合的鉴定[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [23] 朱恩俊,卜斐.金银花腌制工艺及亚硝酸盐控制研究[J].食品研究与开发,2012,34(2):50-53.
- [24] 李敏.茎瘤芥泡菜亚硝酸盐和硝酸盐含量及食用安全性评价[J].中国酿造,2010(2):162-164.
- [25] 鲁敏,吕淑清.酸菜腌制过程中亚硝酸盐含量的影响因素探讨[J].中国酿造 2009(5):139-140.
- [26] 周志才,王美兰.香椿腌制及储藏过程中品质变化的研究[J].食品科学,2004,25(12):180-183.
- [27] 徐坤,雷激,李博,等.芽菜腌制过程中理化指标的动态研究[J].

- 中国酿造, 2010(1):29-32.
- [28] 陈有容, 杨凤琼. 降低腌制蔬菜亚硝酸盐含量方法的研究进展 [J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(1): 67-71.
- [29] 徐海斌, 徐海风. 腌制大头菜亚硝酸盐含量及降低措施研究 [J]. 西南农业学报, 2011, 24(4): 1519-1521.
- [30] 李伟荣, 陈国宝, 蒋新龙, 等. 腌制豇豆生产过程中亚硝酸盐含量的变化 [J]. 浙江农业科学, 2009(2): 359-361.
- [31] 蒲朝文, 夏传福, 谢朝怀, 等. 酱腌菜腌制过程中亚硝酸盐含量动态变化及消除措施的研究 [J]. 卫生研究, 2001, 30(6): 352-354.
- [32] 岳向冰, 马传明, 刘存富, 等. 白菜腌制中硝酸盐及亚硝酸盐含量的变化研究 [J]. 环境科学与技术, 2011, 34(s1): 55-57.

Processing pattern of a novel leaf mustard hybrid with *hau* cytoplasmic male sterility

WANG Canjie¹ LI Dechao² YUAN Zhenzhen¹ LI Jinping¹
XU Yuejin¹ FU Tingdong³ WAN Zhengjie¹

1. College of Horticulture and Forestry/Key Laboratory Plant Biology, Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Wuhan Academy of Agricultural Science and Technology, Wuhan 430065, China;

3. College of Plant Science and Technology/National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract A novel leaf mustard hybrid with *hau* cytoplasmic male sterility was used to breed a leaf mustard cross with strong heterosis (0912A×X₂). The basis of heterosis was studied. The safety standards of nitrate and nitrite in the pickled process of 0912A×X₂ were investigated. Results of orthogonal experimental design showed that nitrate content and nitrite content of 0912A×X₂ was in the lowest level of optimization marinated process mode. Results of early marinated (0-15 d) showed that the optimal combination of low level of nitrate was under the condition at 30 °C of pickled temperature, 75 mg/kg of sodium sulfite dosage, 3% salt mass fraction, 0.02 g/kg of Vc dosage. Optimized low level of nitrite was at 10.7 °C of pickled temperature, 50 mg/kg of sodium sulfite dosage, 1% salt mass fraction, 0.01 g/kg of Vc dosage. Optimal low level of nitrates of late pickled (16-31 d) was at 25 °C of pickled temperature, 0.0 mg/kg of sodium sulfite dosage, 1% salt mass fraction, 0.03 g/kg of Vc dosage. Optimized combination of low level of nitrite was at 10.7 °C of pickled temperature, 50.0 mg/kg of sodium sulfite dosage, 1% salt mass fraction, 0.01 g/kg of Vc dosage. It is indicated that the use of new mustard leaf mustard hybrid bred with cytoplasmic male sterility has obvious heterosis and pickled processing quality. It will provide a theoretical basis for developing sources of material and processing leaf mustard hybrids in the future.

Keywords leaf mustard; *hau* cytoplasmic male sterility; 0912A×X₂; processing quality; nitrate; nitrite

(责任编辑: 张志钰)