

# 不同采收季节对叶用芥菜类黄酮物质含量和抗氧化活性的影响

王 萍<sup>1,2</sup> 朱祝军<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>浙江大学农业与生物技术学院园艺系, 国家农业部园艺植物生长发育与生物技术重点实验室, 浙江杭州 310029;

<sup>2</sup>内蒙古农业大学农学院, 内蒙古呼和浩特 010019)

**摘 要:** 以 10 个不同基因型叶用芥菜为试材, 研究了不同采收季节对其总酚含量、类黄酮含量和抗氧化活性的影响。结果表明春季采收的总酚含量、抗氧化活性显著高于冬季采收的。叶用芥菜含有槲皮素和山奈素两类黄酮化合物, 春季采收的槲皮素和山奈素含量高于冬季采收的。基因型间总酚、槲皮素和山奈素的含量及抗氧化活性均存在较大的差异, 并与生长季节有极显著的互作关系, 表明生长季节对不同基因型叶用芥菜酚类物质积累和抗氧化活性有较大的影响。总酚、槲皮素和山奈素的含量分别与抗氧化活性呈极显著和显著正相关。

**关键词:** 叶用芥菜; 类黄酮物质; 抗氧化活性; 基因型; 季节

**中图分类号:** S 637.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2006) 04-0745-06

## Effect of Different Harvest Seasons on the Flavonoids Content and Antioxidant Activities of Leaf Mustard

Wang Ping<sup>1,2</sup> and Zhu Zhujun<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>Department of Horticulture, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Key Laboratory of Horticultural Plant Development and Biotechnology, Ministry of Agriculture, Hangzhou, Zhejiang 310029, China; <sup>2</sup>College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019, China)

**Abstract:** Effects of different harvest seasons on the contents of total phenolics, flavonoids and antioxidant activities in 10 genotypes of leaf mustard were investigated. The results showed that leaf mustard harvested in spring had much higher levels of total phenolics and antioxidant activities than those harvested in winter. Quercetin and kaempferol were the main flavonoids of leaf mustard, and all the 10 genotypes harvested in spring had much higher contents of above two flavonoids compared with those harvested in winter. There were obvious differences in contents of phenolics, quercetin, kaempferol and antioxidant activities among genotypes, the correlation between genotypes and season was significant. It indicated that seasons play an important role in affecting phenolics accumulation and antioxidant activities of leaf mustard. The antioxidant activities were positively correlated with the content of phenolics, quercetin and kaempferol at significant and extremely significant level, respectively ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ).

**Key words:** Leaf mustard; Flavonoid; Antioxidant activity; Genotype; Season

蔬菜中除含有众所周知的维生素 C、维生素 E、胡萝卜素和谷胱甘肽等抗氧化剂外, 还含有如类黄酮、酚酸等丰富的多酚类化合物, 酚类物质的抗氧化作用已被证实强于某些抗氧化维生素<sup>[1,2]</sup>。因此, 近年来关于蔬菜中酚类物质及其抗氧化作用的研究已成为热点<sup>[3~5]</sup>。

叶用芥菜 (*Brassica juncea* Coss var. *foliosa* Bailey) 原产中国, 喜冷凉湿润气候, 适应性较强, 品种繁多, 以长江流域以南的地区栽培较为普遍。叶用芥菜除富含维生素、矿物质、粗纤维等营养成分外, 金贤荣<sup>[6]</sup>的研究表明, 叶用芥菜所含有的活性成分黄酮类化合物, 对糖尿病具有防治作用;

收稿日期: 2005-09-07; 修回日期: 2006-03-07

基金项目: 中德科学中心资助项目 (GZ154, 156)

\*通讯作者 Author for correspondence (E-mail: zhjzhu@zju.edu.cn)

谢丽玲等<sup>[7]</sup>报道了叶用芥菜含有较高的黄酮类化合物。然而,关于不同基因型叶用芥菜酚类物质含量和抗氧化活性的研究还未见报道。鉴于叶用芥菜在我国的广泛栽培和品种繁多等特点及具有的营养保健作用,研究不同基因型叶用芥菜类黄酮物质含量和抗氧化活性的季节差异十分必要,可为制定合理的栽培措施和开发利用其有效成分及优质育种提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为 10 个不同基因型的叶用芥菜:瘤子芥菜、笋壳青菜、包心青菜、特选竹芥、瓜儿菜、京水菜、扁梗芥菜、雪里蕻、包心大肉芥菜、四季春菜。

### 1.2 方法

试验于 2003 年 9 月至 2004 年 3 月在浙江大学华家池校区蔬菜研究所试验基地进行。10 个不同基因型的叶用芥菜分别于 2003 年 8 月 20 日和 10 月 20 日播种于露地,分别于 2003 年 11 月 20 日和 2004 年 2 月 20 日采收。采收后取样,去除不可食用的部分,如老叶、干掉的外叶和根系等,5 片叶为 1 次重复,用液氮处理后贮存在低温冰箱中。冷冻干燥后,粉碎, - 20℃ 贮存备用。每个品种 3 次重复。

### 1.3 测定

样品中酚类物质的提取:精确称取 0.5000 g 冻干磨碎样,用 10 mL 80% 的甲醇超声波提取 60 min,在 4℃ 条件下 4 000 r/min 离心 10 min,收集上清液,重复提取两次,合并上清液在 40℃ 条件下旋转蒸发,用 2 mL 重蒸水溶解,在 4℃ 条件下 10 000 r/min 离心 20 min,上清液保存在 - 20℃ 冰箱中备用。总酚的测定:根据 Folin-Ciocalteu 法<sup>[8]</sup>测定总酚含量。在试管中分别加入样品提取液 50  $\mu$ L、Folin-Ciocalteu 反应试剂 1.0 mL、7.5% 的碳酸钠溶液 0.8 mL,混合均匀,在 30℃ 条件下放置 60 min。在分光光度计 (SHIMADZU UV-2410PC) 上 765 nm 测定 OD 值,用没食子酸 (Gallic acid) 作标准曲线,结果表示为每克干样质量含有 GAE (Gallic acid equivalent 没食子酸等效物) 的毫克数。

类黄酮的高效液相色谱 (HPLC) 测定:参照 Hertog 等<sup>[9]</sup>方法提取类黄酮。精确称取叶用芥菜冻干样 0.5000 g,加入 40 mL 含 2 g/L TBHQ (叔丁基对苯二酚, Sigma) 的 62.5% 甲醇溶液,再加入 10 mL 6 mol/L HCl 混匀,90℃ 下回流 2 h,冷却定容至 100 mL,超声波处理 5 min。在 4℃ 条件下 5 000 r/min 离心 10 min,上清液 0.45  $\mu$ m 滤膜过滤, - 40℃ 冰箱中保存待测。类黄酮含量的测定, Nova-Pak C18 色谱柱 (3.9 mm  $\times$  150 mm, 4  $\mu$ m), 流动相甲醇-水 (48.5:51.5, pH 3.5), 检测波长 360 nm, 柱温 35℃, 流速 1 mL/min, 进样量 10  $\mu$ L。

叶用芥菜抗氧化能力的测定:二苯代苦味酰基 (DPPH, 1, 1-二苯基苦基苯肼, 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 自由基清除率的测定,参照 Tadolino 等<sup>[10]</sup>的方法,取 50  $\mu$ L 样品提取液 (同酚类物质提取液) 和 2.5 mL 65  $\mu$ mol/L DPPH 加入同一试管中,摇匀,30 min 后用溶剂作参比在 517 nm 下测定其吸光度  $A_j$ ,同时测定 50  $\mu$ L 样品提取液及 2.5 mL 样品提取剂混合后的吸光度  $A_i$ ,以及 50  $\mu$ L 样品提取剂与 2.5 mL 65  $\mu$ mol/L DPPH 溶液混合后的吸光度  $A_o$ ,计算自由基的清除率,清除率 (%) =  $[1 - (A_j - A_i) / A_o] \times 100$ 。TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) 法测定 ABTS [2, 2'-联氮-双 (3-乙基苯噻唑啉-6-磺酸), 2, 2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] 自由基清除活性,参照 Re 等<sup>[11]</sup>的方法,略有改进。测定时取 0.1 mL 样品提取液 (同上),加入 3.0 mL 的 ABTS 溶液中,734 nm 下记录反应 6 min 的吸光值变化,以 Trolox 为标物计算抗氧化活性 (TEAC 值单位  $\mu$ mol/gDM)。FRAP (Ferric reducing /antioxidant power assay) 法测定抗氧化能力,参照 Benzie 等的方法<sup>[12]</sup>,取 30  $\mu$ L 样品提取液 (同上),加入 1.8 mL TPTZ (三吡啶三丫嗪, Tripyridyl-triazine) 工作液 (由 0.3 mol/L 醋酸缓冲液 25 mL、10 mmol/L TPTZ 溶液 2.5 mL、20 mmol/L  $FeCl_3$  溶液 2.5 mL 组成),混匀后 37℃ 反应 10 min,测定 593 nm 下吸光度,以 1.0 mmol/L  $FeSO_4$  为标物计算样品抗氧化活性 (FRAP 值)。

## 1.4 数据统计分析

数据结果以平均数 ± 标准差表示 ( $n=3$ ), 数据差异显著性测验和相关性分析用 SAS 软件 (SAS Institute, Cary, NC) 进行, 显著水平  $P<0.05$  和  $P<0.01$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同采收季节对不同基因型叶用芥菜总酚含量的影响

叶用芥菜的总酚含量存在基因型和季节性差异 (表 1)。冬季采收的叶用芥菜总酚含量在 6.51 ~ 11.09 mg/gDM 之间, 京水菜含量最高, 包心青菜含量最低, 前者是后者的 1.7 倍, 基因型间达到极显著性差异。春季采收的叶用芥菜总酚含量在 7.45 ~ 14.87 mg/gDM 之间, 雪里蕻含量最高, 包心青菜含量最低, 前者是后者的 2 倍, 基因型间达到极显著性差异。不同季节相比, 叶用芥菜不同基因型总酚含量都表现为春季高于冬季, 冬季平均含量为 8.79 mg/gDM, 春季则为 10.71 mg/gDM, 二者达到极显著性差异, 基因型与季节的互作也达到了极显著差异。

表 1 不同基因型叶用芥菜在不同采收季节总酚含量

基因型 Genotype	in different harvest seasons (mg/gDM)	
	冬季 Winter	春季 Spring
瘤子芥菜 Liuzi Jiecai	8.51 ± 0.39	9.40 ± 0.28
笋壳青菜 Sunke Qingcai	7.05 ± 0.39	8.14 ± 0.42
包心青菜 Baoxin Qingcai	6.51 ± 0.87	7.45 ± 0.39
特选竹芥 Texuan Zhujie	8.94 ± 0.49	11.99 ± 0.53
瓜儿菜 Guaercai	7.68 ± 0.37	8.99 ± 0.55
京水菜 Jingshuicai	11.09 ± 0.46	12.36 ± 0.42
扁梗芥菜 Biangeng Jiecai	9.57 ± 0.35	10.92 ± 0.43
雪里蕻 Xuelihong	9.87 ± 0.50	14.87 ± 0.24
包心大肉芥菜 Baoxin Darou Jiecai	8.13 ± 0.52	10.11 ± 0.38
四季春菜 Siji Chuncai	10.59 ± 0.73	12.87 ± 0.56
平均值 Mean	8.79	10.71
$F_{\text{genotype}}$	24.03 **	86.86 **
$F_{\text{season}}$		234.89 **
$F_{\text{genotype} \times \text{season}}$		49.45 **

注:  $F$  表示方差分析  $F$  测验值, \*\* 表示显著水平  $P<0.01$ 。

Note:  $F$  represent  $F$  value of ANOVA test, \*\*  $P<0.01$ .

### 2.2 不同采收季节对不同基因型叶用芥菜槲皮素和山奈素含量的影响

经过 HPLC 分析发现, 叶用芥菜中类黄酮物质主要为槲皮素和山奈素, 而且山奈素的含量高于槲皮素。由表 2 可见, 冬季采收的叶用芥菜槲皮素含量变化范围在 0.25 ~ 0.76 mg/gDM 之间, 特选竹芥含量最高, 包心青菜含量最低, 前者是后者的 3 倍, 基因型间达到极显著性差异。春季采收的芥菜槲皮素含量变化范围在 0.38 ~ 0.89 mg/gDM 之间, 特选竹芥含量最高, 包心青菜和扁梗芥菜含量最低, 前者是后者的 2.3 倍, 基因型间达到极显著差异。叶用芥菜不同基因型槲皮素含量都表现为春季

表 2 不同基因型叶用芥菜在不同采收季节槲皮素和山奈素含量

Table 2 The contents of quercetin and kaempferol of different genotypes of leaf mustard in different harvest seasons

基因型 Genotype	槲皮素 Quercetin		山奈素 Kaempferol		槲皮素 + 山奈素 Quercetin + Kaempferol	
	(mg/gDM)		(mg/gDM)		(mg/gDM)	
	冬季 Winter	春季 Spring	冬季 Winter	春季 Spring	冬季 Winter	春季 Spring
瘤子芥菜 Liuzi Jiecai	0.44 ± 0.03	0.53 ± 0.03	0.63 ± 0.04	0.79 ± 0.05	1.07 ± 0.06	1.32 ± 0.06
笋壳青菜 Sunke Qingcai	0.32 ± 0.03	0.43 ± 0.02	0.53 ± 0.04	0.77 ± 0.05	0.86 ± 0.04	1.05 ± 0.02
包心青菜 Baoxin Qingcai	0.25 ± 0.01	0.38 ± 0.02	1.14 ± 0.08	1.42 ± 0.10	1.39 ± 0.09	1.79 ± 0.07
特选竹芥 Texuan Zhujie	0.76 ± 0.03	0.89 ± 0.06	1.09 ± 0.10	1.20 ± 0.05	1.85 ± 0.13	2.09 ± 0.09
瓜儿菜 Guaercai	0.39 ± 0.03	0.64 ± 0.03	0.55 ± 0.04	0.62 ± 0.03	0.95 ± 0.04	1.43 ± 0.03
京水菜 Jingshuicai	0.41 ± 0.03	0.51 ± 0.02	1.43 ± 0.10	1.76 ± 0.11	1.83 ± 0.07	2.27 ± 0.13
扁梗芥菜 Biangeng Jiecai	0.33 ± 0.02	0.38 ± 0.11	0.68 ± 0.05	0.96 ± 0.08	1.00 ± 0.05	1.34 ± 0.08
雪里蕻 Xuelihong	0.60 ± 0.04	0.77 ± 0.04	0.99 ± 0.05	1.14 ± 0.08	1.60 ± 0.03	1.91 ± 0.11
包心大肉芥菜 Baoxin Darou Jiecai	0.33 ± 0.02	0.39 ± 0.03	0.61 ± 0.04	0.86 ± 0.08	0.95 ± 0.02	1.25 ± 0.07
四季春菜 Siji Chuncai	0.55 ± 0.04	0.68 ± 0.44	1.16 ± 0.08	1.23 ± 0.11	1.71 ± 0.05	1.91 ± 0.14
平均值 Mean	0.44	0.56	0.88	1.08	1.32	1.64
$F_{\text{genotype}}$	90.29 **	82.57 **	68.44 **	58.16 **	109.38 **	60.97 **
$F_{\text{season}}$	174.5 **		122.48 **		239.37 **	
$F_{\text{genotype} \times \text{season}}$	13.13 **		10.86 **		10.31 **	

注:  $F$  表示方差分析  $F$  测验值, \*\* 表示显著水平  $P<0.01$ 。

Note:  $F$  represent  $F$  value of ANOVA test, \*\*  $P<0.01$ .

高于冬季, 冬季平均含量为 0.44 mg/g DM, 春季则为 0.56 mg/g DM, 二者达到极显著差异, 基因型与季节的互作也达到了极显著差异。

冬季采收的叶用芥菜山奈素含量变化范围在 0.53 ~ 1.43 mg/g DM 之间, 京水菜含量最高, 笋壳青菜含量最低, 前者是后者的 2.7 倍, 基因型间达到极显著性差异。春季采收的叶用芥菜山奈素含量变化范围在 0.62 ~ 1.76 mg/g DM 之间, 京水菜含量最高, 瓜儿菜含量最低, 前者是后者的 2.8 倍, 基因型间达到极显著差异。叶用芥菜不同基因型山奈素含量都表现为春季高于冬季, 冬季平均含量为 0.88 mg/g DM, 春季则为 1.08 mg/g DM, 二者差异达到极显著, 基因型与季节的互作也达到了极显著差异。

不同基因型叶用芥菜的槲皮素和山奈素含量之和变化趋势与槲皮素和山奈素相一致, 冬季采收的叶用芥菜变化范围为 0.86 ~ 1.85 mg/g DM, 春季变化范围是 1.05 ~ 2.27 mg/g DM, 春季含量显著高于冬季, 二者达到极显著差异, 基因型与季节的互作也达到了极显著差异。

### 2.3 不同采收季节对不同基因型叶用芥菜抗氧化活性的影响

叶用芥菜 DPPH 自由基清除活性存在基因型和季节性差异 (表 3), 冬季采收的叶用芥菜 DPPH 自由基清除率在 39.43% ~ 76.86% 之间, 最高的品种为四季春菜, 瓜儿菜最低, 前者是后者的 1.9 倍, 基因型间达到极显著差异。春季采收的叶用芥菜 DPPH 自由基清除率在 63.28% ~ 87.93% 之间, 最高的品种为四季春菜, 包心青菜最低, 前者是后者的 1.4 倍。不同季节相比, 春季采收的叶用芥菜 DPPH 自由基清除活性平均值为 74.66%, 高于冬季采收的叶用芥菜 (60.78%), 二者差异达到极显著水平, 基因型与季节的互作也达到了极显著差异。

叶用芥菜 TEAC 值存在基因型和季节性差异 (表 3), 冬季采收的叶用芥菜 TEAC 值在 17.66 ~ 29.25  $\mu\text{mol/g DM}$  之间, 最高的品种为京水菜, 笋壳青菜最低, 前者是后者的 1.7 倍, 基因型间达到极显著差异。春季采收的叶用芥菜 TEAC 值在 21.63 ~ 34.16  $\mu\text{mol/g DM}$  之间, 最高的品种为四季春菜, 包心青菜最低, 前者是后者的 1.6 倍, 基因型间达到极显著差异。不同季节相比, 春季采收的芥菜 TEAC 值平均为 26.72  $\mu\text{mol/g DM}$ , 高于冬季采收的叶芥菜 (23.19  $\mu\text{mol/g DM}$ ), 二者差异达到极显著水平, 基因型与季节的互作也达到了极显著差异。

表 3 不同基因型叶用芥菜在不同采收季节的抗氧化活性

Table 3 The antioxidant activities of different genotypes of leaf mustard in different harvest seasons

基因型 Genotype	DPPH 抑制率 DPPH inhibition (%)		TEAC ( $\mu\text{mol/g DM}$ )		FRAP (mmol/kg DM)	
	冬季 Winter	春季 Spring	冬季 Winter	春季 Spring	冬季 Winter	春季 Spring
瘤子芥菜 Liuzi Jiecai	66.59 $\pm$ 2.72	75.94 $\pm$ 2.33	22.29 $\pm$ 0.66	25.44 $\pm$ 1.23	100.05 $\pm$ 3.95	142.41 $\pm$ 5.54
笋壳青菜 Sunke Qingcai	53.36 $\pm$ 3.54	65.01 $\pm$ 2.39	17.66 $\pm$ 1.67	23.99 $\pm$ 1.04	82.52 $\pm$ 6.63	122.39 $\pm$ 7.02
包心青菜 Baoxin Qingcai	50.24 $\pm$ 4.21	63.28 $\pm$ 2.24	20.87 $\pm$ 1.57	21.63 $\pm$ 1.77	76.00 $\pm$ 5.08	138.45 $\pm$ 7.48
特选竹芥 Texuan Zhujie	65.69 $\pm$ 1.62	77.19 $\pm$ 2.32	23.95 $\pm$ 1.20	28.79 $\pm$ 1.45	111.43 $\pm$ 5.66	143.73 $\pm$ 3.72
瓜儿菜 Guaercai	39.43 $\pm$ 2.26	71.76 $\pm$ 3.49	21.34 $\pm$ 2.42	22.47 $\pm$ 1.04	87.31 $\pm$ 2.68	94.50 $\pm$ 9.01
京水菜 Jingshuicai	68.95 $\pm$ 1.59	82.91 $\pm$ 1.58	29.25 $\pm$ 1.12	32.44 $\pm$ 0.79	169.82 $\pm$ 11.50	195.36 $\pm$ 9.97
扁梗芥菜 Biangeng Jiecai	58.99 $\pm$ 2.54	72.01 $\pm$ 1.78	22.11 $\pm$ 0.54	24.23 $\pm$ 1.311	25.69 $\pm$ 6.86	141.74 $\pm$ 10.38
雪里蕻 Xuelihong	74.11 $\pm$ 1.59	83.44 $\pm$ 1.87	27.44 $\pm$ 1.79	30.63 $\pm$ 0.52	91.12 $\pm$ 2.64	156.87 $\pm$ 4.01
包心大肉芥菜 Baoxin Darou Jiecai	53.60 $\pm$ 3.50	67.14 $\pm$ 2.46	21.24 $\pm$ 1.96	23.38 $\pm$ 2.77	85.69 $\pm$ 7.04	120.42 $\pm$ 3.68
四季春菜 Siji Chuncai	76.86 $\pm$ 3.70	87.93 $\pm$ 1.25	25.73 $\pm$ 1.01	34.16 $\pm$ 1.281	55.79 $\pm$ 6.68	171.32 $\pm$ 7.12
平均值 mean	60.78	74.66	23.19	26.72	108.54	142.72
$F_{\text{genotype}}$	49.40 **	42.21 **	15.72 **	28.49 **	77.14 **	45.29 **
$F_{\text{season}}$	78.45 **		85.86 **		319.46 **	
$F_{\text{genotype} \times \text{season}}$	41.74 **		17.66 **		54.89 **	

注:  $F$  表示方差分析  $F$  测验值, \*\* 表示显著水平  $P < 0.01$ 。

Note:  $F$  represent  $F$  value of ANOVA test, \*\*  $P < 0.01$ .

叶用芥菜 FRAP 值存在基因型和季节性差异 (表 3), 冬季采收的叶用芥菜 FRAP 值在 76.00 ~ 169.82 mmol/kg DM 之间, 最高的品种为京水菜, 包心青菜最低, 前者是后者的 2.2 倍, 基因型间达

到极显著差异。春季采收的叶用芥菜 FRAP值 94.50 ~ 195.36 mmol/kgDM 之间, 最高的品种为京水菜, 最低为瓜儿菜, 前者是后者的 2.1 倍, 基因型间达到极显著差异。不同季节相比, 春季采收的芥菜 FRAP值平均值为 142.72 mmol/kgDM, 高于冬季采收的叶芥菜 (108.54 mmol/kgDM), 二者差异达到极显著水平, 基因型与季节的互作也达到了极显著差异。

## 2.4 酚类物质与抗氧化活性的相关性

由表 4 可知, 总酚与抗氧化活性呈极显著正相关, 与 TEAC 值的相关系数最高, 其次为 FRAP 值和 DPPH 值。槲皮素和山奈素与 3 种抗氧化活性的相关性低于总酚, 但也达到了显著和极显著水平。槲皮素与山奈素之和与抗氧化活性的相关性与总酚相似, 相关系数达到极显著水平。

表 4 酚类化合物含量与抗氧化活性相关性

Table 4 Correlation between the content of phenolic compound and antioxidant activity

酚类化合物 Phenolic compound	DPPH 抑制率 DPPH inhibition (%)	TEAC ( $\mu\text{mol/gDM}$ )	FRAP (mmol/kgDM)
总酚 Total phenolic	0.82 <sup>**</sup>	0.88 <sup>**</sup>	0.83 <sup>**</sup>
槲皮素 Quercetin	0.67 <sup>**</sup>	0.62 <sup>**</sup>	0.54 <sup>*</sup>
山奈素 Kaempferol	0.55 <sup>*</sup>	0.71 <sup>**</sup>	0.64 <sup>**</sup>
槲皮素 + 山奈素 Quercetin + Kaempferol	0.72 <sup>**</sup>	0.79 <sup>**</sup>	0.74 <sup>**</sup>

注: \* 和 \*\* 表示  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  显著性。

Note: \*, \*\* significant at  $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ , respectively

## 3 讨论

### 3.1 不同采收季节对叶用芥菜酚类物质及抗氧化活性的影响

在本试验中, 不同基因型叶用芥菜的总酚含量和黄酮醇含量都表现为春季采收的高于冬季采收的, 基因型与季节间存在显著的互作关系。这种季节性差异的主要原因与光对类黄酮物质合成的影响有关。Crozier 等<sup>[13]</sup>对不同采收期的樱桃番茄做了调查, 发现不同采收期樱桃番茄中槲皮素含量差异明显, 主要原因与光对类黄酮诱导合成有关。孙君明等<sup>[14]</sup>指出大豆幼苗子叶中异黄酮含量随光照时间的增加而显著升高; 相反黑暗处理中的异黄酮含量随苗龄的增大呈下降趋势, 黑暗转为光照处理后, 异黄酮的含量同样随光照时间的增加而升高。本试验春季采收的叶用芥菜, 生长周期较长, 植株旺盛生长时处于春暖日长的季节, 光照充足, 有利于类黄酮物质合成, 此外植株还受到感应低温春化和抵制病虫害等一系列生物和非生物因素的影响, 这些因素对类黄酮物质合成也有诱导作用<sup>[15]</sup>, 其抗氧化活性相应地也高于冬季采收的叶用芥菜。因此, 在叶用芥菜栽培中, 可以选择不同的栽培季节来提高叶用芥菜酚类物质的含量。

### 3.2 叶用芥菜酚类物质和抗氧化活性的基因型差异

本研究中叶用芥菜的酚类物质含量和抗氧化活性基因型差异很大, 造成这种差异的原因除了与环境条件有关外, 主要来自基因型本身的遗传性。例如冬季采收的叶用芥菜总酚含量、槲皮素和山奈素含量以及抗氧化活性等较高的品种为京水菜、四季春菜、雪里蕻, 且在春季含量也较高, 包心青菜与笋壳青菜在冬春两季都较低, 这表明基因的遗传性是不同基因型叶用芥菜在不同采收季节酚类物质含量与抗氧化活性差异的主要原因。同时, 这种季节差异的基因遗传稳定性, 为叶用芥菜育种的品质筛选提供了理论依据和育种材料。

### 3.3 叶用芥菜的类黄酮组成与含量

HPLC 分析表明叶用芥菜主要含有槲皮素和山奈素两种黄酮醇物质, 且山奈素含量是槲皮素含量的 1.96 倍, 这与 Hertog 等<sup>[5]</sup>报道结果类似, 其研究的 28 种蔬菜主要含有槲皮素和山奈素两种黄酮醇物质, 而且羽衣甘蓝、韭葱、菊苣几种叶用蔬菜山奈素含量显著高于槲皮素的含量。但与 Mian 等<sup>[16]</sup>报道的有一定差异, 其报道青花菜含有的杨梅黄酮、毛地黄酮, 大白菜含有的杨梅黄酮、芹菜素等在本试验中都未检出。这种差异是由于样品处理方法不同造成的, 还是由于蔬菜的基因型和栽培

环境条件等其它因素引起的,有待于进一步研究。

### 3.4 酚类物质与抗氧化活性的相关性

本试验结果显示叶用芥菜酚类物质含量与清除 DPPH、ABTS 自由基活性和  $\text{Fe}^{3+}$  还原活性 (FRAP) 存在显著正相关,这与前人有关研究结果<sup>[5,17]</sup>一致,表明叶用芥菜酚类物质含量与抗氧化活性密切相关,是重要的抗氧化活性成分,可以通过增加酚类物质的含量来提高叶用芥菜的抗氧化活性。在酚类物质与抗氧化活性的相关性分析中,总酚含量与抗氧化活性的相关性高于槲皮素、山奈素(表 4),这可能与总酚采用的 Folin-ciocalteu 测定方法有关,此方法测定的不仅是样品中酚类物质,还包括了其它一些化学成分,如类胡萝卜素、氨基酸、糖、维生素 C<sup>[18]</sup>,这些物质普遍存在于蔬菜中,具有一定的抗氧化活性,它们与酚类物质发挥协同效应共同起到抗氧化作用,因此这种方法测定结果体现的是叶用芥菜某些抗氧化物质含量的总和,相应地总酚含量与抗氧化活性的相关性也较高。

### 参考文献:

- 1 Rice-Evans C A, Miller N J, Paganda G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolics acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 1996, 20: 933 ~ 956
- 2 Larson R L. The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry*, 1988, 4: 969 ~ 978
- 3 Cao G H, Sofic E, Prior R L. Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1996, 44: 3426 ~ 3431
- 4 Gonzalez EM, Ancos B D, Cano M P. Relation between bioactive compounds and free radical-scavenging capacity in berry fruits during frozen storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2003, 83: 722 ~ 726
- 5 Hertog M G L, Holman P C H, Katan M B. Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in the Netherlands. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40: 2379 ~ 2383
- 6 金贤荣. 芥菜的抗氧化作用. *国外医学*, 2003, 25 (3): 107  
Jin X R. Antioxidant activity of leaf mustard. *Foreign Medical Sciences*, 2003, 25 (3): 107 (in Chinese)
- 7 谢丽玲, 朱炎坤. 叶芥菜中总黄酮含量测定的研究. *仪器仪表与分析监测*, 2000, 3: 61 ~ 62  
Xie L L, Zhu Y K. The study of measure of total flavonoids of leaf mustard. *Instrumentation Analysis and Monitoring*, 2000, 3: 61 ~ 62 (in Chinese)
- 8 Singleton V L, Slinkard K. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1977, 28: 49 ~ 55
- 9 Hertog M G L, Holman P C H, Venema D P. Optimization of a quantitative HPLC determination of potentially anticarcinogenic flavonoids in vegetables and fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40: 1591 ~ 1598
- 10 Tadolino B, Juliano C, Piu L. Resveratrol inhibition of lipid peroxidation. *Free Radical Research*, 2000, 33: 105 ~ 114
- 11 Re R, Pellegrini N, Anna P A. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 1999, 26: 1231 ~ 1237
- 12 Benzie I F, Strain J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 1996, 239: 70 ~ 76
- 13 Crozier A, Lean M E J, McDonald M S, Black C. Quantitative analysis of the flavonoids content of commercial tomatoes, onions, lettuces and celery. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45: 590 ~ 595
- 14 孙君明, 丁安林, 沈黎明. 光照对大豆幼苗组织中异黄酮含量和分布的影响. *植物学报*, 1998, 40 (11): 1015 ~ 1021  
Sun J M, Ding A L, Shen L M. Light effect on the tissue contents and distribution of isoflavones in the developing seedling of soybean. *Acta Botanica Sinica*, 1998, 40 (11): 1015 ~ 1021 (in Chinese)
- 15 Dixon R A, Paiva N L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell*, 1995, 7: 1085 ~ 1097
- 16 Miesan K H, Mohamed S. Flavonoid (myricetin, quercetin, kaempferol, luteolin, and apigenin) content of edible tropical plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49: 3106 ~ 3112
- 17 Veloglu Y S, Mazza G, Gao L, Oomah B D. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetable, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46: 4113 ~ 4117
- 18 Theeshan B, Amityabye L L, Alan C, Arouma O L. Total phenol, flavonoid, proanthocyanidin and vitamin C levels and antioxidant activities of mauritian vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2004, 84: 1553 ~ 1561