

不同种类荞麦中各种存在形式多酚含量的研究

杨红叶¹, 柴岩², 王玉堂¹, 陕方, 王敏^{1,*}

(1.西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2.西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 从全国5个荞麦种植区域中各选取一种甜荞和苦荞, 采用反向液相色谱法(RP-HPLC)分析甜荞和苦荞麸皮中8种酚酸、3种黄酮的含量差异。结果表明: 同一种种植区域不同种类和同一种类不同种植区域的荞麦麸中酚类物质含量存在显著差异。其中, 苦荞的自由态酚酸、总酚酸、自由态黄酮和总黄酮含量均高于同一种种植区域的甜荞。此外, 甜、苦荞中均含有没食子酸、原儿茶酸、香草酸、咖啡酸、*p*-香豆酸、阿魏酸、儿茶素、芦丁及槲皮素, 其中苦荞中对羟基苯甲酸含量丰富。

关键词: 甜荞; 苦荞; 高效液相色谱(HPLC); 酚酸; 黄酮

Analysis of Free and Bound Phenolics in Different Buckwheat Varieties

YANG Hong-ye¹, CHAI Yan², WANG Yu-tang¹, SHAN Fang, WANG Min^{1,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Phenolic components including 11 phenolic acids and 3 flavonoids in common and tartary buckwheat varieties from different geographical regions were analyzed by high performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that a significant difference in the content of phenolic components was observed between common and tartary buckwheat varieties cultivated in same geographical regions. Similar results were also observed in same buckwheat variety cultivated in different geographical regions. Meanwhile, the contents of free phenolic acids and flavones in tartary buckwheat were higher than that of common buckwheats. In addition, common and tartary buckwheat varieties contained gallic acid, protocatechuic acid, vanillic acid, caffeic acid, *p*-cumaric acid, ferulic acid, catechin, rutin and quercetin. Moreover, tartary buckwheat was rich in *p*-hydroxybenzoic acid.

Key words: common buckwheat; tartary buckwheat; high performance liquid chromatography (HPLC) phenolic acids; flavones

中图分类号: S517

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)17-0060-05

荞麦属于蓼科(Polygonaceae)蓼属植物中一种作为农作物的植物品种。在我国粮食作物中是一种小宗作物^[1], 在世界上现有的15个荞麦品种资源中, 仅有甜荞(*Fagopyrum esculentum* Moench, 也称普通荞麦)和苦荞(*F. tartaricum* L. Gaerth, 也称鞑靼荞麦)两个栽培种。荞麦富含高生物价的蛋白质、维生素、矿物质等, 最为重要的是含有极为丰富的生物活性成分——酚类物质, 主要包括黄酮类物质、酚酸及花青素等。由

于酚类物质是一种广泛存在于植物界的、具有多种生理功能的活性物质, 其不仅具有很强的自由基清除能力, 还可以通过抑制氧化酶和络合过渡金属离子等方面起到抗氧化作用^[2], 所以研究荞麦具有重要意义。

植物多酚主要有可溶性多酚和不可溶性多酚两种存在形式, 其中可溶性多酚包括可溶性自由酚和可溶性结合酚, 本实验主要对可溶性自由酚和不可溶性结合酚含量进行研究。目前对荞麦多酚的研究主要是利用 Folin-

收稿日期: 2010-05-18

基金项目: “十二五”国家荞麦、燕麦产业技术体系建设基金项目(CARS-08);

2010年陕西省小杂粮产业技术体系建设基金项目; 校国际科技合作项目启动资金项目(A213021007)

作者简介: 杨红叶(1983—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与安全。E-mail: yanghongye315@163.com

* 通信作者: 王敏(1967—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品化学与分析及西部特色药食兼用资源加工利用。

E-mail: wangmin20050606@163.com

Ciocalteu 法对荞麦的有机溶剂或有机溶剂-水复合溶剂提取物中多酚物质进行的测定^[3-5], 这部分多酚仅包括全部自由酚和一部分溶解性较好的多酚, 忽视了结合酚的存在, 这低估了酚类物质总含量^[6]。植物材料中的结合酚是一种与细胞壁紧密结合的、不能被上消化道酶分解的、需要酸或碱水解才能释放^[7]的酚类物质, 由于结合酚在机体内还具有抑制结肠癌、乳腺癌等癌症的功能^[8], 所以也是荞麦功能成分的重要组成部分, 研究报道小麦^[2]、燕麦^[9]、玉米^[10]等谷物中的天然多酚主要以不可溶性结合酚存在, 而且有学者报道不同品种小麦中多酚的含量及组成状况有差异^[11]。但目前国内外对不同种类荞麦中各种存在形式多酚含量的对比研究较为少见。为此本实验利用 RP-HPLC 方法, 从我国 5 个荞麦主产区(包括陕西榆林、宁夏固原、内蒙古赤峰、四川昭觉和甘肃定西 5 个种植区域)各采集一个甜荞品种和一个苦荞品种, 分析两种荞麦中各形式多酚含量及构成的差异, 这对筛选优质荞麦资源具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 材料、试剂与仪器

荞麦籽粒由西北农林科技大学农学院提供, 包括从陕西榆林、宁夏固原、内蒙古赤峰、四川昭觉和甘肃定西 5 个种植区域各选 1 个甜荞和 1 个苦荞品种, 共计 5 对甜、苦荞样品。

p-香豆酸(98%)、没食子酸(89%)、香草酸(99%) 天津一方科技有限公司; 对羟基苯甲酸(99%) 美国 Sigma 公司; 阿魏酸(99%)、丁香酸(98%) 上海博蕴生物科技有限公司; 原儿茶酸(99%)、咖啡酸(99%)、芦丁(99%)、儿茶素(99%) 天津金测分析技术公司; 槲皮素(99%) 中国药品生物制品检定所; 流动相所用甲醇、乙酸均为色谱纯; 水为超纯水; 其他试剂均为分析纯。

LC-2010 高效液相色谱仪 日本岛津公司; Q-250B 超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司; 溶剂过滤器 天津市友丰技术玻璃有限公司。

1.2 方 法

1.2.1 酚酸的测定

岛津 LC2010 型高效液相色谱仪, 紫外检测器。色谱柱: C₁₈(250mm × 4.6mm, 5 μm), V_{甲醇}:V_水:V_{乙酸} = 65:34.5:0.5 为流动相 A, V_{超纯水}:V_{乙酸} = 99.5:0.5 为流动相 B, 流速: 0.8mL/min。洗脱程序: 0~8min, 15.0%A; 8~15min, 30%~35%A; 15~18min, 35%~75%A; 18~35min, 15%A。根据保留时间及吸收光谱与标准品对照定性, 峰面积外标法定量。

1.2.2 样品制备

分别称取一定量干燥的甜、苦荞种子于粉碎机中, 不添加任何抗结剂、助磨剂, 对其进行干法粉碎。随

后将磨好的粉分别过 40、60 目筛, 即将苦荞粉分为 3 部分: < 40 目(壳)、40~60 目(麸皮)、> 60 目(粉)。本实验选取麸皮为实验材料。

1.2.3 多酚标准溶液的配制

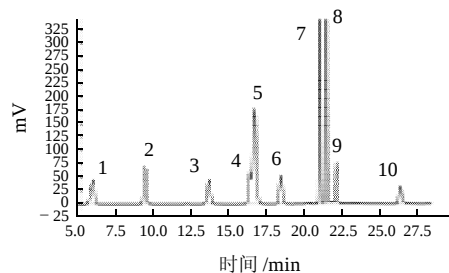
准确称取各酚酸标样, 分别以色谱甲醇配制成相应的标准溶液, 再各移 0.2mL 于容量瓶中, 得到 8 种酚酸和 3 种黄酮的混合标样。进行 HPLC 分析。

1.2.4 多酚的提取

参照 Adom 等^[12]方法, 操作如下。准确称取 1.0g 待提取荞麦样粉, 80% 冰丙酮均质提取 10min 后, 离心 10min, 取上清液于 45℃ 水浴蒸发至干。重复提取 2 次, 甲醇定容, 得自由酚提取液。离心后, 用 2mol/L NaOH 将沉淀碱化。在氮气保护下, 将反应体系调至中性后加入 20mL 正己烷进行去脂, 然后乙酸乙酯提取, 离心后取上清液, 重复此操作 3 次, 合并上清液于 45℃ 蒸发至干, 甲醇定容, 得结合酚提取液。

2 结果与分析

2.1 标准工作曲线的建立



检测波长为 300nm; 1.没食子酸(5.896min); 2.原儿茶酸(9.896min); 3.对羟基苯甲酸(14.195min); 4.香草酸(17.057min); 5.咖啡酸(17.534 min); 6.丁香酸(19.286min); 7.*p*-香豆酸(22.089min); 8.阿魏酸(22.535 min); 9.芦丁(23.288min); 10.槲皮素(27.960min)。

图 1 新配混合酚类标准溶液的色谱图

Fig. 1 Chromatogram of freshly prepared standard solutions of phenolic compounds

由图 1 可知, 分离效果较差的是香草酸与咖啡酸, 保留时间分别为 17.057、17.354min。此外, 儿茶素单标的保留时间为 12.967min。通过保留时间及其光谱图与标准品对照, 可以确定酚酸及黄酮种类。

2.2 多酚含量

采用紫外检测器, 以 300nm 为检测波长, 利用每种酚酸及黄酮标样, 根据峰面积外标法测算样品中各种多酚含量。

2.2.1 自由态多酚的含量

2.2.1.1 自由态酚酸含量

表 1 荞麦麸皮中自由态酚酸的含量
Table 1 Contents of soluble free phenolic acids in buckwheat bran

自由态酚酸	陕西榆林		宁夏固原		内蒙古赤峰		四川昭觉		甘肃定西	
	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞
没食子酸	10.10	12.44	7.05	9.46	9.67	6.02	14.69	9.85	13.07	nd
原儿茶酸	16.48	26.93	7.25	26.68	6.05	28.13	30.22	15.90	9.51	37.94
对羟基苯甲酸	596.85	5604.91	335.00	4206.54	nd	9073.42	nd	4999.88	nd	677.47
香草酸	nd	nd	nd	nd	186.15	nd	nd	nd	nd	nd
咖啡酸	91.46	nd	80.52	nd	nd	21.11	41.04	6.77	74.94	nd
丁香酸	nd	nd	nd	nd	2.25	8.58	nd	nd	nd	nd
p- 香豆酸	4.25	nd	4.34	5.06	7.74	nd	4.74	2.57	7.69	nd
阿魏酸	9.83	31.27	7.85	17.67	23.27	38.89	7.23	19.68	14.32	14.60
总量	728.97	5675.56	442.00	4265.40	235.14	9176.15	97.92	5054.65	119.54	730.01

注：以鲜质量计；nd. 含量较低。下同。

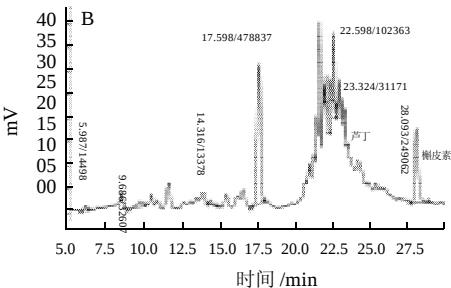
表 2 荞麦麸皮中自由态黄酮类化合物的含量
Table 2 Contents of soluble free flavonoids in buckwheat bran

自由态黄酮	陕西榆林		宁夏固原		内蒙古赤峰		四川昭觉		甘肃定西	
	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞
儿茶素	nd	nd	741.77	415.98	604.80	nd	1750.35	219.75	697.18	884.41
芦丁	35.65	323.41	35.27	302.83	707.12	22347.09	227.07	9785.35	30.33	3086.4
槲皮素	189.10	17283.8	169.28	14667.0	19.26	8177.66	7.46	5504.81	100.87	1400.4
合计	224.75	17607.2	946.32	15385.8	1331.18	30524.75	1984.88	15509.9	828.39	5371.2

由表 1 可知，在 5 个种植区域中，苦荞中自由态酸总含量均高于同一种植区域的甜荞，苦荞是甜荞的 6~52 倍。不同种植区域的甜荞中自由态酚酸总含量范围分别为 97.92~728.97mg/kg、苦荞为 730.01~9176.15mg/kg，其中苦荞自由态酚酸中对羟基苯甲酸含量最高(677.47~9073.42mg/kg)，而 p- 香豆酸含量较低(≤ 10mg/kg)。

2.2.1.2 自由态黄酮含量

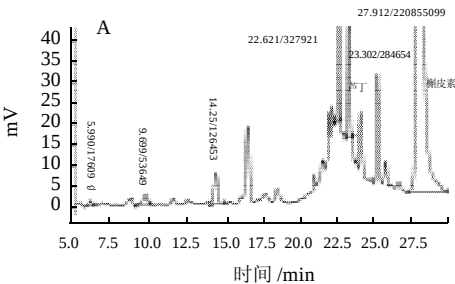
由表 2 可知，苦荞中自由态黄酮总含量均高于同一种植区域甜荞，苦荞是甜荞的 6~78 倍，陕西榆林种植区域的甜、苦荞差异最大(图 2)。



A. 陕西榆林苦荞样品；B. 陕西榆林甜荞样品。

图 2 HPLC 分析不同种类荞麦中的黄酮图谱

Fig. 2 HPLC profile of flavonoids in different buckwheat varieties



陕西榆林苦荞自由酚提取物中槲皮素含量较高的原因可能是苦荞样中的水分活度相对较高，芦丁分解产生槲皮素所致^[13]。不同种植区域的甜荞中自由态黄酮总含量范围为 224.75~1984.88mg/kg、苦荞 5371.2~30524.75mg/kg。

2.2.2 结合态多酚的含量

2.2.2.1 结合态酚酸含量

表 3 荞麦麸皮中结合态酚酸的含量
Table 3 Contents of insoluble bound phenolic acids in buckwheat bran

结合态酚酸	陕西榆林		宁夏固原		内蒙古赤峰		四川昭觉		甘肃定西	
	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞
没食子酸	6.34	3.70	8.82	4.08	10.54	nd	34.98	nd	68.86	1.55
原儿茶酸	17.48	34.75	19.73	81.66	21.61	22.41	41.20	40.69	24.31	46.51
对羟基苯甲酸	58.94	213.11	28.27	277.44	nd	nd	nd	nd	53.13	304.82
香草酸	3.18	7.74	3.05	7.81	2.96	1.03	6.05	6.83	2.08	7.95
咖啡酸	2.00	0.57	1.22	2.46	1.91	23.13	3.15	0.51	6.60	1.37
丁香酸	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2.32	nd	nd	nd
p- 香豆酸	8.49	4.20	7.47	10.54	11.60	2.69	17.92	4.69	15.57	30.08
阿魏酸	4.28	4.46	3.78	6.64	6.36	6.71	9.11	6.75	9.19	14.02
合计	100.70	268.53	72.35	390.63	54.99	55.97	114.73	59.47	179.74	406.30

由表 3 可知, 无论甜荞, 还是苦荞中结合态酚酸的含量均较低。

2.2.2.2 结合态黄酮含量

由表 4 可知, 不同种植区域甜荞中结合态黄酮总含量范围为 952.64~3774.35mg/kg、苦荞 612.00~3879.93mg/kg。无论是甜荞, 还是苦荞的结合态黄酮中的儿茶素含量均高于芦丁和槲皮素含量。

2.2.3 总酚含量

2.2.3.1 总酚酸含量

由表 5 可知, 苦荞的总酚酸含量均明显高于同一种植区域中甜荞, 苦荞是甜荞的 4~30 倍, 其中内蒙古种植区域的甜、苦荞之间的总酚酸含量差异最大。不同种植区域的甜荞中总酚酸含量范围为 212.66~829.67mg/kg、苦荞 1136.31~9232.13mg/kg, 苦荞是甜荞的 1.3~43 倍, Yu 等^[2]报道小麦的总酚酸含量为 486.63~656.00mg/kg, 表明苦荞总酚酸含量远高于小麦。此外, 对羟基苯甲酸是苦荞麸提取物中含量最高的酚酸(982.29~9073.42mg/kg), 而小麦、燕麦及黑麦麸中含量最高的酚酸是阿魏酸^[14](含量分别为 2820~3180mg/kg、300~360mg/kg、2650~

2950mg/kg), 这表明荞麦酚酸的构成与小麦、燕麦和黑麦等明显不同。

2.2.3.2 总黄酮含量

由表 6 可知, 苦荞的总黄酮含量均明显高于同一种植区域的甜荞, 后者是前者的 3~11 倍, 其中陕西榆林种植区域的荞麦之间总黄酮含量差异最大, 这是由于陕西榆林地区苦荞中总黄酮是由自由态黄酮构成的。不同种植区域的甜荞中总黄酮含量范围为 178.03~5759.22mg/kg、苦荞为 9133.95~32964.5mg/kg, 这与任顺城等^[15]报道的甜荞(晋荞 1 号)总黄酮为 3500mg/kg、苦荞(晋荞 2 号)总黄酮为 9800mg/kg 的结果相近, 但其报道的芦丁含量(甜荞为 4100 mg/kg、苦荞为 36370 mg/kg)明显高于本实验结果(甜荞为 46.57~736.25mg/kg、苦荞为 346.98~22356.0mg/kg), 由于芦丁是由槲皮素分解而成, 所以这可能是不同实验材料、实验条件, 造成的槲皮素降解程度差异造成的。

2.3 自由酚、结合酚分布情况

由表 7 可知, 在各甜荞样品中均检测到了没食子酸、原儿茶酸、香草酸、咖啡酸、*p*- 香豆酸、阿魏酸、儿茶素、芦丁及槲皮素的存在, 其中阿魏酸、槲皮素主要以自由态形式存在, 原儿茶酸、*p*- 香豆酸和儿茶素主要以结合态形式存在, 而自由态芦丁和结合态的芦丁比例相近。

表 4 荞麦麸皮中结合态黄酮的含量

Table 4 Contents of insoluble bound flavonoids in buckwheat bran

mg/kg

结合态黄酮	陕西榆林		宁夏固原		内蒙古赤峰		四川昭觉		甘肃定西	
	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞
儿茶素	1692.18	3825.17	1577.10	539.28	2984.76	2420.47	3736.46	3103.15	921.17	3742.52
芦丁	16.35	39.20	11.30	44.15	29.13	8.94	32.13	8.14	31.46	20.20
槲皮素	11.72	15.57	nd	28.57	4.16	10.37	5.76	8.65	nd	nd
合计	1720.25	3879.93	1588.39	612.00	3018.05	2439.78	3774.35	3119.93	952.64	3762.72

表 5 荞麦麸皮中的总酚酸含量

Table 5 Contents of total phenolic acids in buckwheat bran

mg/kg

酚酸	陕西榆林		宁夏固原		内蒙古赤峰		四川昭觉		甘肃定西	
	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞
没食子酸	16.44	16.14	15.87	13.53	20.22	6.02	49.68	9.85	81.93	1.55
原儿茶酸	33.95	61.68	26.99	108.34	27.66	50.54	71.42	56.59	33.82	84.46
对羟基苯甲酸	655.79	5818.02	363.26	4483.98	nd	9073.42	nd	4999.88	53.13	982.29
香草酸	3.18	7.74	3.05	7.81	189.11	1.03	6.05	6.83	2.08	7.95
咖啡酸	3.46	0.57	81.74	2.46	1.91	44.24	44.19	7.28	81.54	1.37
丁香酸	nd	nd	nd	nd	2.25	8.58	2.32	nd	nd	nd
<i>p</i> - 香豆酸	12.74	4.20	11.81	15.59	19.34	2.69	22.66	7.26	23.26	30.08
阿魏酸	14.11	35.74	11.63	24.31	29.63	45.60	16.34	26.43	23.51	28.61
合计	829.67	5944.09	514.35	4656.02	290.13	9232.1	212.66	5114.12	299.28	1136.31

表 6 荞麦麸皮中总黄酮的含量

Table 6 Contents of total flavonoids in buckwheat bran

mg/kg

黄酮	陕西榆林		宁夏固原		内蒙古赤峰		四川昭觉		甘肃定西	
	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞	甜荞	苦荞
儿茶素	1692.18	3825.17	2318.86	955.26	3589.56	2420.47	5486.81	3322.89	1618.36	4626.93
芦丁	52.00	362.61	46.57	346.98	736.25	22356.0	259.20	9793.49	61.79	3106.62
槲皮素	200.83	17299.4	169.28	14695.6	23.42	8188.03	13.22	5513.46	100.87	1400.41
合计	1945.00	21487.2	2534.71	15997.8	4349.23	32964.5	5759.22	18629.8	1781.03	9133.95

表7 不同种植区域的甜荞中自由态、结合态的各种酚酸和黄酮分别占总酚酸和总黄酮的百分比

Table 7 Ratios of free and bound phenolic acids and flavonoids to total phenolic acids and total flavonoids in common buckwheat cultivated in different regions %										
名称	陕西榆林		宁夏固原		内蒙古赤峰		四川昭觉		甘肃定西	
	自由态	结合态	自由态	结合态	自由态	结合态	自由态	结合态	自由态	结合态
没食子酸	61.42	38.68	44.43	55.6	47.85	52.15	29.58	70.42	15.95	84.05
原儿茶酸	48.53	51.57	26.88	73.12	21.88	78.12	42.31	57.69	28.13	71.87
对羟基苯甲酸	91.01	8.99	92.22	7.78	nd	nd	nd	nd	0.00	100.00
香草酸	0.00	100.00	0.00	100.00	98.43	1.57	0.00	100.00	0.00	100.00
咖啡酸	97.86	2.14	98.51	1.49	0.00	100.00	92.87	7.13	91.91	8.09
丁香酸	nd	nd	nd	nd	100.00	0.00	0.00	100.00	nd	nd
p- 香豆酸	33.38	66.62	36.72	63.18	40.02	59.92	20.93	79.07	33.07	66.93
阿魏酸	69.66	30.34	87.51	12.49	67.49	32.51	72.68	27.32	78.53	21.47
儿茶素	0.00	100.00	31.99	68.01	16.85	83.15	31.90	78.10	43.08	56.92
芦丁	68.56	31.44	75.74	24.26	96.04	3.94	87.60	12.40	49.09	50.91
槲皮素	94.16	5.84	100.00	0.00	82.23	17.77	56.45	43.55	100.00	0.00

表8 不同种植区域的苦荞中自由态、结合态的各种酚酸和黄酮分别占总酚酸和总黄酮的百分比

Table 8 Ratios of free and bound phenolic acids and flavonoids to total phenolic acids and total flavonoids in tartary buckwheat cultivated in different regions %										
名称	陕西榆林		宁夏固原		内蒙古赤峰		四川昭觉		甘肃定西	
	自由态	结合态	自由态	结合态	自由态	结合态	自由态	结合态	自由态	结合态
没食子酸	77.10	22.90	69.88	30.12	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
原儿茶酸	43.66	56.34	24.62	73.38	55.66	44.34	28.09	71.91	44.93	55.07
对羟基苯甲酸	96.34	3.66	93.81	6.19	100.00	0.00	100.00	0.00	68.97	31.03
香草酸	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00	0.00	100.00
咖啡酸	0.00	100.00	0.00	100.00	47.72	52.18	93.02	6.98	0.00	100.00
丁香酸	nd	nd	nd	nd	100.00	0.00	nd	nd	nd	0.00
p- 香豆酸	0.00	100.00	32.42	67.58	0.00	100.00	35.38	64.62	0.00	100.00
阿魏酸	85.29	14.71	44.25	55.75	74.46	25.54	60.90	39.10	51.01	48.99
儿茶素	0.00	100.00	43.55	56.45	0.00	100.00	6.61	93.39	19.11	80.89
芦丁	89.19	10.81	87.28	12.72	99.96	0.04	99.92	0.08	99.35	0.65
槲皮素	99.91	0.09	99.81	0.19	99.87	0.13	99.84	0.16	100.00	0.00

由表8可知,在各个苦荞品种中均检测到没食子酸、原儿茶酸、对羟基苯甲酸、香草酸、咖啡酸、p- 香豆酸、阿魏酸、儿茶素、芦丁及槲皮素的存在,其中对羟基苯甲酸、芦丁和槲皮素是主要以自由酚形式存在,儿茶素和香草酸主要是以结合态存在。

3 结 论

不同种类的荞麦麸皮中各种存在形式的多酚含量存在显著差异。苦荞中的自由酚酸、总酚酸、自由态黄酮和总黄酮含量均高于同一种种植区域的甜荞。甜、苦荞品种中均检测到了没食子酸、原儿茶酸、香草酸、咖啡酸、p- 香豆酸、阿魏酸、儿茶素、芦丁及槲皮素,对羟基苯甲酸是苦荞中含量最高的酚酸。各品种荞麦中的酚酸及黄酮物质多以自由态形式存在。

参考文献:

[1] 柴岩, 冯佰利, 孙平阳. 中国荞麦的育种前景与展望[J]. 荞麦动态, 2001(1): 1-4.
[2] YU Liangli, MOORE J, HAO Zhigang, et al. Carotenoid, tocopherol, phenolic acid, and antioxidant properties of maryland-grown soft wheat [J]. Agric Food Chem, 2005, 53: 6649-6657.

[3] RAGAE S, ABDEL-AAL E M, NOAMAN M. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use[J]. Food Chemistry, 2006, 98: 32-38.
[4] ZHANG Min, CHEN Haixia, LI Jinlei, et al. Antioxidant properties of tartary buckwheat extracts as affected by different thermal processing methods[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(1):181-185.
[5] SUN Ting, HO C T. Antioxidant activities of buckwheat extracts[J]. Food Chemistry, 2005, 90(4): 743-749.
[6] ADOM K K, LIU Ruihai. Antioxidant activity of grains[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(21): 6182-6187.
[7] LIU Ruihai. Whole grain phytochemicals and health[J]. Journal of Cereal Science, 2007, 46: 207-219.
[8] OKARTER N, LIU Changshu, MARK E S, et al. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat[J]. Food Chemistry, 2010, 119: 249-257.
[9] 刘春明, 王晶, 任长忠. RP-HPLC 法分析测定燕麦中的酚类化合物 [J]. 粮食与饲料工业, 2009(1): 46-48.
[10] LETICIA X, LOPEZ-MARTINEZ, OLIART-ROS R M, et al. Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42:1187-1192.
[11] YU Liangli, HALEY S, PERRET J, et al. Comparison of wheatflours grown at different locations for their antioxidant properties[J]. Food Chemistry, 2004, 86: 11-16.
[12] ADOM K K, SORRELLS M E, LIU Ruihai. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(26): 7825-7834.
[13] ESKIN N A M, PRZYBYLSKI R, MALCOLMSO L M, et al. The effect of temperature and water activity on rutin, chlorophylls and colour of stored buckwheat. advances in buckwheat research 7, IBRA[C]. Winnipeg, Manitoba, Canada,1998: III-3-6.
[14] MATTILA P, PIHLAVA J M, HELLSTORM J. Contents of phenolic acids, alkyl- and avenanthramides in commercial grain products[J]. Agric Food Chem, 2005, 53: 8290-8295.
[15] 任顺成, 孙军涛. 荞麦粉、皮、壳及芽中黄酮类含量分析研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(6): 210-214.