

不同品种苦荞麦营养及功能成分对比分析

Comparable analysis of nutrition and functional active ingredients in different varieties of tartary buckwheat

王世霞^{1,2} 李笑蕊^{1,2} 贞婷婷¹ 么杨³ 任贵兴³ 綦文涛¹

WANG Shi-xia^{1,2} LI Xiao-rui^{1,2} YUN Ting-ting¹ YAO Yang³ REN Gui-xing³ QI Wen-tao¹

(1. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037; 2. 天津科技大学食品学院, 天津 300457;

3. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

(1. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037, China; 2. Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China; 3. Institute of Crop Sciences of CAAS, Beijing 100081, China)

摘要: 分别测定 7 种苦荞籽粒的基本组分水分和灰分, 营养组分氨基酸、脂肪酸、淀粉、蛋白质以及功能组分黄酮和多酚的含量。结果表明, 苦荞麦总淀粉含量在 60.23% ~ 65.44%, 且品种间差异不大; 但慢消化淀粉和抗性淀粉品种间差异较大。蛋白的含量在 11.80% ~ 15.83%, 不同品种间的蛋白含量差异不显著; 总氨基酸含量与蛋白含量的趋势基本保持一致。脂肪含量在 2.05% ~ 2.85%, 且饱和脂肪酸含量均显著高于饱和脂肪酸含量。苦荞麦品种间多酚和黄酮含量的差异显著 ($P < 0.05$), 川荞 2 号含有显著较高的多酚含量, 可达 131.92 mg/g; 晋荞 6 号含有显著较高的总黄酮含量, 可达 147.46 mg/g; 且苦荞麦品种间芦丁含量差别较大, 可达 2.82 倍。因此, 因地域差异导致苦荞麦的营养及功能性成分的种类和含量差别不显著 ($P > 0.05$)。

关键词: 苦荞麦; 营养成分; 黄酮; 多酚

Abstract: The components of nutritional and functional ingredients in 7 kinds of tartary buckwheat were detected and comparable analysis in this paper. The mean contents of basic components (moisture and ash), nutritional compositions (amino acid, fatty acid, starch and protein) and functional active ingredient (flavonoids, polyphenols and rutin) in 7 kinds of tartary buckwheat were determined. The starch contents varied from 60.23% to 65.44%, and there were no significant difference between different varieties, while the differences of slowly digestible and resistant starch (RS) starch (SDS) were large. The protein contents varied from 11.80% and 15.83% and no difference were found among different varieties. The contents of total amino acid shared the same trend with protein con-

tents but the differences were bigger than that of protein content. The fat contents varied from 2.05% to 2.85%, and the contents of unsaturated fatty acid were found to be significantly higher than that of saturated fatty acid in all the varieties. The polyphenols and flavonoid contents were significantly different among different varieties ($P < 0.05$). The Chuanqiao 2 had the highest polyphenols content with a value of 131.92 mg/g. And the Jinqiao 6 had the highest flavonoid content with a value of 147.46 mg/g. Furthermore, the differences of rutin contents could be 2.82 times between different varieties. Moreover, no significant difference was found among all the tartary buckweats when the planting regions were concerned ($P > 0.05$).

Keywords: tartary buckweats; nutrition; flavonoids; polyphenols

荞麦原产于亚洲, 主要分为苦荞(也叫鞑靼荞麦)和甜荞(普通荞麦)两大类^[1]。中国是荞麦生产大国, 其中甜荞主要分布在内蒙古、甘肃、山西等省区, 苦荞主要分布在西南地区的四川、贵州等省, 尤其是四川省的凉山州是中国苦荞麦分布最集中, 种植面积最大的产区^[2]。

苦荞生育期大于甜荞, 且苦荞麦的产量较低, 因此苦荞播量小于甜荞^[3]。此外, 苦荞含苦味素而甜荞不含, 因此苦荞口味不如甜荞。但是, 与甜荞相比苦荞中含有更丰富的多酚, 具有较高的抗氧化性^[4-5]。芦丁在苦荞中的含量是甜荞的几倍至十几倍^[4]。所以苦荞的药用价值和保健功能远远好于甜荞^[6]。研究^[7]发现荞麦的根、芽、苗都有很好的药用价值, 它的籽粒更是糖尿病患者、冠心病人的最佳食品。另外苦荞麦不仅含有较为全面均衡的氨基酸, 丰富的油酸、亚油酸、膳食纤维、多种维生素及微量元素等, 还含有丰富的生物活性成分, 如生物类黄酮、高活性蛋白、抗性淀粉等^[8]。特别是含有其它谷类作物所不具有的黄酮类化合物, 营养价值极为丰富, 降血糖、降血脂、抗氧化功能显著, 可用来预防和辅助治疗糖尿病、高血脂症和高血压等疾病^[9-10]。因此, 关于

基金项目: 粮食公益性行业科研专项(编号: 201313006-5)

作者简介: 王世霞, 女, 天津科技大学在读硕士研究生。

通讯作者: 綦文涛(1977—), 男, 国家粮食局科学研究院副研究员, 博士。E-mail: qwt@chinagrains.org

收稿日期: 2015-11-15

苦荞植物活性物质提取和功能的研究越来越受到人们的重视。

中国的苦荞产地分布广,品种多,苦荞中的营养物质及功能活性成分含量与品种及种植环境均密切相关^[1],然而与之相关的研究还不多见^[4],而且主要侧重某个区域内品种之间的差异。本研究选取中国主要苦荞产区的7种代表性荞麦,对其营养物质和功能组分进行了对比分析,旨在为苦荞品种的开发及深度利用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

样品制备:分别选取中国各主要产区2013年产苦荞7种(详见表1),经清洗、除杂、干燥、脱壳后粉碎(过80目筛)后得到荞麦粉末于4℃保存备用。

表1 荞麦品种及来源单位

Table 1 The source of buckwheat varieties

品种	提供单位
川荞1号	四川凉山彝族自治州昭觉农科所
川荞2号	四川凉山彝族自治州昭觉农科所
黑丰1号	山西省高寒作物所
黔苦4号	贵州省威宁县农业科学研究所
西农9940	西北农林科技大学
六苦3号	贵州省六盘水市农科院
晋荞6号	山西省高寒作物所

1.2 试验试剂

硼酸、五水合硫酸铜、硫酸钾、磷酸氢二钠等:分析纯,北京化工厂;

α -亚麻酸、油酸、亚油酸:中国药品生物制品检定所;

三氟化硼乙醚液:化学纯,国药集团化学试剂有限公司;

氨基酸标准品、邻苯二甲醛(OPA)、氯甲酸苄甲酯(FMOC)、戊氨酸、肌氨酸:纯度 $\geq 99\%$,阿拉丁试剂公司;

磺基丙氨酸—蛋氨酸砷标准品:美国Sigma公司;

乙腈和甲醇:色谱纯,Merck化工技术(上海)公司;

抗消化淀粉测定试剂盒:爱尔兰Megazyme公司。

1.3 试验仪器

分光光度计:751型,上海天普分析仪器有限公司;

气相色谱仪:4890D型,美国安捷伦公司;

高效液相色谱仪:LC-20A型,日本岛津公司;

自动定氮仪:2300型,瑞典FOSS公司;

脂肪抽提器:YG-2型,瑞典FOSS公司;

消化炉及排废装置:FOSS 2012型,瑞典FOSS公司;

氨基酸自动分析仪:L-8800型,日本日立公司;

酶标仪:384型,美谷分子仪器(上海)有限公司。

1.4 试验方法

1.4.1 基本组分测定 水分及灰分含量的测定:按GB/T 5009.3—2003执行。

1.4.2 营养组分测定

(1) 粗脂肪含量的测定:按GB/T 14489.2—2008执行。

(2) 粗蛋白质含量测定:按GB 2905—1982执行。

(3) 粗淀粉含量的测定:按GB 5006—85执行。

(4) 氨基酸组成的测定:按GB/T 5009.124—2003执行。

(5) 脂肪酸的测定:按GB/T 17376—2008、GB/T 17377—2008执行。

1.4.3 功能组分的测定

(1) 总酚和总黄酮的测定:采用分光光度法^[6,9]。

(2) 芦丁、槲皮素、异槲皮素和山奈酚的测定:采用HPLC法测定,检测器为紫外检测器,色谱柱为YMC-ODS柱。检测波长为375 nm,流动相A为0.05%三氟乙酸水溶液,流动相B为乙腈。梯度:0~8 min,28% B;8~18 min,28%~50% B;18~30 min,50%~100% B;30~35 min,100% B;35~38 min,100%~28% B;38~45 min,28% B。流速设为0.8 mL/min,进样体积20 μ L。

(3) 低聚糖测定:采用HPLC法测定,检测器为示差折光检测器,色谱柱为Inertsil NH₂柱(4.6 mm \times 250 mm,5 μ m);流动相为乙腈—水(体积比为65:35);流速1.0 mL/min;柱温35℃,检测器温度为40℃。

1.4.4 数据处理 荞麦各营养组分和功能组分采用Excel 2007进行统计分析,每个样品分别独立测定3次,取其平均值;利用SPSS 17.0软件进行显著性方差分析。图和表中不同字母表示数据之间具有显著性差异($P < 0.05$)。

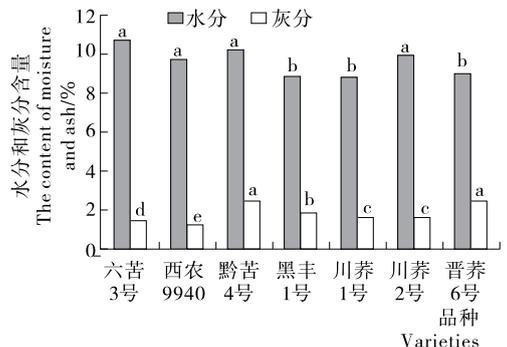
2 结果与讨论

2.1 不同品种苦荞麦水分和灰分含量情况分析

由图1可知,六苦3号、西农9940、黔苦4号、川荞2号中的水分含量显著高于黑丰1号、川荞1号和晋荞6号;而黔苦4号和晋荞6号中的灰分含量显著高于其他品种,其中西农9940灰分含量最低。

2.2 不同品种苦荞麦淀粉含量情况分析

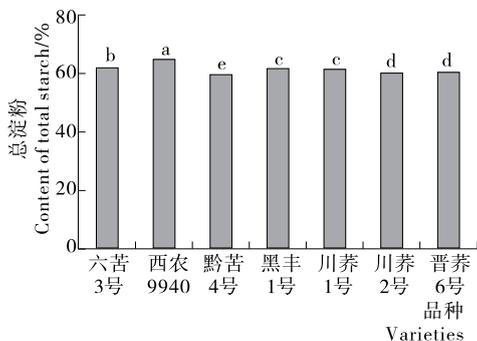
由图2可知,各品种苦荞麦淀粉含量存在差异,其中西农9940淀粉含量为(65.44 \pm 0.51)% ,显著高于其他几个品种,黔苦4号淀粉含量为(60.23 \pm 0.05)% ,显著低于其他几个品种。进一步对苦荞麦淀粉的消化性能进行测定,结果(见表2)表明,苦荞麦的慢消化淀粉品种间差异较大,相对差



字母不同表示两者有显著差异($P < 0.05$)

图1 不同品种苦荞麦的水分和灰分含量

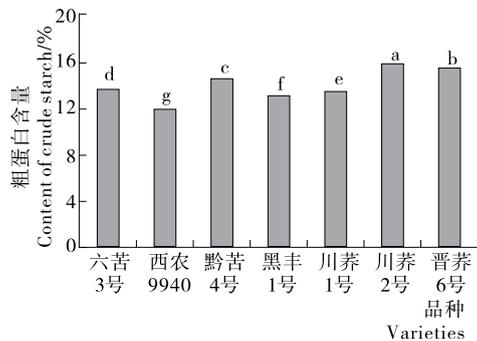
Figure 1 Content of moisture and ash in different tartary buckwheat varieties



字母不同表示两者有显著差异($P < 0.05$)

图 2 不同品种苦荞麦的总淀粉含量

Figure 2 Content of total starch in different tartary buckwheat varieties



字母不同表示两者有显著差异($P < 0.05$)

图 3 不同品种苦荞麦的粗蛋白含量

Figure 3 Content of crude protein in different tartary buckwheat varieties

表 2 不同品种苦荞麦淀粉的消化性[†]

Table 2 The starch digestibility in different tartary buckwheat varieties %

样品	慢消化淀粉(SDS)	快消化淀粉(RDS)	抗性淀粉(RS)
六苦 3号	3.33±0.32 ^d	23.36±0.64 ^e	38.60±0.52 ^a
西农 9940	19.91±1.31 ^a	25.43±1.21 ^{bc}	20.09±0.22 ^d
黔苦 4号	6.26±1.05 ^c	25.47±1.62 ^{bc}	28.51±0.68 ^c
黑丰 1号	4.56±0.38 ^{cd}	25.99±0.63 ^b	31.57±0.27 ^b
川荞 1号	17.11±1.30 ^b	30.38±1.34 ^a	14.91±1.17 ^e
川荞 2号	5.59±1.51 ^c	17.50±1.70 ^d	37.59±0.35 ^a
晋荞 6号	16.32±1.22 ^b	29.33±1.33 ^a	15.16±0.41 ^e

† 同列数据肩标不同小写字母表示差异极显著($P < 0.05$)。

异高达 83.4%，西农 9940 慢消化淀粉含量是六苦 3 号含量的 5.98 倍；快消化淀粉以川荞 1 号含量为最高，川荞 2 号含量则最低，快消化淀粉含量相对差异为 42.4%；抗性淀粉含量的品种间差异也较大，相对差异为 61.0%，六苦 3 号的抗性淀粉含量为最高，是川荞 1 号的 2.59 倍，川荞 2 号含量也显著高于其他几个品种。慢消化淀粉(SDS)具有重要的生理学功能，它不仅能够有效地维持餐后血糖的稳定、提高机体对胰岛素的敏感性，还有助于防治糖尿病、肥胖症、高血压、高血脂等慢性疾病^[12]，在这方面西农 9940 苦荞麦具有明显的优势。抗性淀粉能够改善大肠肠道健康并阻止结肠癌，还可以控制体重、防治糖尿病、降血脂，以及促进有益矿物质的吸收利用^[13]，在这方面六苦 3 号和川荞 2 号苦荞麦具有显著优势。

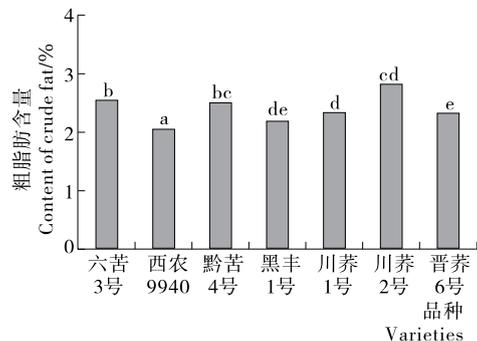
2.3 不同品种苦荞麦蛋白与氨基酸含量分析

由图 3 可知，川荞 2 号苦荞麦的蛋白含量最高，为(15.83±0.17)%，晋荞 6 号含量次之，为(15.54±0.20)%，西农 9940 号荞麦的蛋白含量最低，为(11.80±0.07)%。统计分析表明不同品种苦荞麦之间的蛋白含量存在显著性差异。蛋白质的营养价值，不仅取决于能否满足机体对必需氨基酸和氮的需要，而且取决于蛋白质的氨基酸组成^[12]。尤其是必需氨基酸的种类、数量及构成比例。进一步测定不同品种苦荞麦的氨基酸种类及含量见表 3。由表 3 可知，苦荞麦中总氨基酸含量与蛋白含量的趋势基本一致，但相对差异较蛋

白含量显著，其中必需氨基酸含量以晋荞 6 号为最高，黑丰 1 号含量较低；半必需和非必需氨基酸含量与蛋白含量趋势也相似，以川荞 2 号和晋荞 6 号含量最高，黑丰 1 号和西农 9940 含量较低。此外，谷物中缺乏的赖氨酸，在苦荞麦中含量较高，其中川荞 2 号含量高达在 0.934%，所以补充苦荞麦食品，有助于改善中国膳食结构导致的“赖氨酸缺乏症”^[14]。

2.4 不同品种苦荞麦脂肪与脂肪酸含量分析

由图 4 可知，不同品种间脂肪含量差异显著，川荞 2 号脂肪含量显著高于其他几个品种，为(2.85±0.13)%，西农 9940 显著低于除黑丰 1 号以外的品种，为(2.05±0.12)%。进一步测定苦荞麦脂肪酸的种类和含量，见表 4。由表 4 可知，所有苦荞麦的不饱和脂肪酸含量显著高于饱和脂肪酸含量；川荞 1 号含有最高含量的棕榈酸，而黑丰 1 号含量最低；硬脂酸方面川荞 2 号含量显著高于其他品种，而西农 9940 显著低于其他品种；不饱和脂肪酸方面，川荞 2 号的油酸和亚油酸含量均显著高于其他品种，西农 9940 的油酸和亚油酸含量均较低；亚麻酸的含量在所检测的几个苦荞麦品种中含量均不高，仅为 0.03%~0.05%。与大宗粮食相比，苦荞的脂肪含量具有明显优势^[15]，结果表明其脂肪的组成较好，不饱和脂肪酸含量丰富，尤其油酸和亚油酸含量最多，因此，食用苦荞麦对人体增加多不饱和脂肪酸、降低血清胆固醇和抑制动脉血栓的形成、预防动脉硬化和心肌梗塞等心血管疾



字母不同表示两者有显著差异($P < 0.05$)

图 4 不同品种苦荞麦品种的脂肪含量

Figure 4 Content of crude fat in different tartary buckwheat varieties

表3 不同品种苦荞麦的氨基酸组成分析

种类	氨基酸	六苦3号	西农9940	黔苦4号	黑丰1号	川荞1号	川荞2号	晋荞6号
必需氨基酸	甲硫氨酸(Met)	2.23	1.84	2.25	1.48	2.09	2.19	2.04
	苏氨酸(Thr)	4.88	4.23	5.33	4.25	4.86	5.87	5.09
	缬氨酸(Val)	17.20	15.52	18.19	15.12	17.15	8.25	19.28
	异亮氨酸(Ile)	5.45	4.86	5.95	4.67	5.36	5.62	6.22
	亮氨酸(Leu)	9.53	8.32	10.48	8.30	9.81	10.21	10.53
	赖氨酸(Lys)	7.71	6.67	8.24	6.47	7.74	9.34	7.93
	苯丙氨酸(Phe)	6.98	6.17	7.64	6.04	6.89	7.50	7.73
	组氨酸(His)	3.18	2.70	3.37	2.69	3.21	3.75	8.95
	总和	57.16	50.31	61.45	49.02	57.11	52.73	67.77
	丝氨酸(Ser)	6.39	5.77	7.51	5.66	6.81	8.18	7.18
半必需氨基酸	酪氨酸(Tyr)	5.23	4.61	5.24	4.65	5.12	5.23	5.45
	甘氨酸(Gly)	8.14	7.26	9.35	7.13	8.49	9.30	9.28
	精氨酸(Arg)	12.67	9.80	13.91	10.27	11.81	15.18	14.97
	总和	32.43	27.44	36.01	27.71	32.23	37.89	36.88
非必需氨基酸	天冬氨酸(Asp)	12.20	10.43	13.77	10.22	12.01	14.98	13.81
	丙氨酸(Ala)	6.30	5.44	7.07	5.27	6.33	11.26	6.79
	谷氨酸(Glu)	23.78	20.57	26.67	19.85	23.69	27.00	26.35
	总和	42.28	36.44	47.51	35.34	42.03	53.24	46.95
总氨基酸		131.87	114.19	144.97	112.07	131.37	143.86	151.60

表4 不同品种荞麦的脂肪酸组成[†]

样品	饱和脂肪酸		不饱和脂肪酸		
	棕榈酸 C _{16:0}	硬脂酸 C _{18:0}	油酸 C _{18:1}	亚油酸 C _{18:2}	亚麻酸 C _{18:3}
六苦3号	0.62±0.04 ^{ab}	0.15±0.00 ^b	0.69±0.01 ^b	1.06±0.01 ^b	0.03±0.000 ^{5b}
西农9940	0.59±0.10 ^{ab}	0.11±0.01 ^c	0.49±0.07 ^d	0.82±0.12 ^d	0.03±0.005 ^{8b}
黔苦4号	0.64±0.14 ^{ab}	0.15±0.01 ^b	0.67±0.05 ^b	1.02±0.06 ^{bc}	0.04±0.002 ^{6b}
黑丰1号	0.38±0.05 ^d	0.14±0.00 ^b	0.64±0.02 ^{bc}	1.01±0.04 ^{bc}	0.04±0.001 ^{8a}
川荞1号	0.70±0.07 ^a	0.14±0.01 ^b	0.57±0.06 ^{cd}	0.89±0.11 ^{cd}	0.03±0.001 ^{0b}
川荞2号	0.53±0.06 ^{bc}	0.18±0.01 ^a	0.85±0.06 ^a	1.24±0.09 ^a	0.03±0.002 ^{0b}
晋荞6号	0.41±0.02 ^{cd}	0.15±0.01 ^b	0.66±0.04 ^b	1.09±0.07 ^b	0.05±0.002 ^{8a}

[†] 同列数据肩标不同小写字母表示差异极显著(P<0.05)。

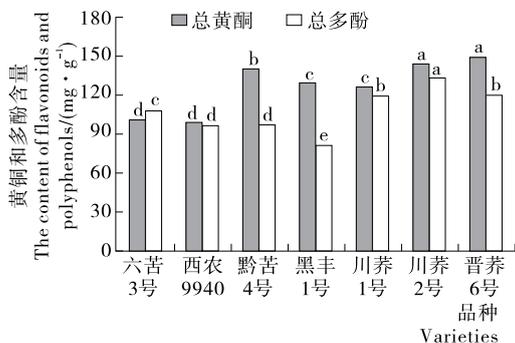
病方面具有良好的作用^[16],在这方面川荞2号苦荞麦具有明显的优势。

2.5 不同品种苦荞麦黄酮和多酚含量分析

由图5可知,川荞1号、川荞2号和晋荞6号的总酚含量相对较高,其中川荞2号显著高于其他品种,为(131.92±1.57) mg/g,川荞2号和晋荞6号总酚含量分别为(119.19±1.57), (118.86±1.47) mg/g。六苦3号、西农9940、黔苦4号和黑丰1号的总酚含量相对较低,其中黑丰1号显著低于其他品种,为(81.53±2.18) mg/g,仅为川荞2号总酚含量的61.8%。与其它甜荞相比,苦荞中含有更丰富的多酚,具有更高的抗氧化性^[17]。结果表明,不同苦荞麦品种间多酚的含量差异显著,因此合适品种的选择对于苦荞多酚研究开发

来说至关重要。

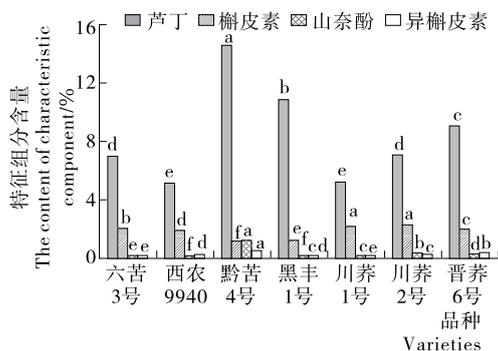
由图5还可知,不同品种苦荞麦之间的总黄酮含量差异较大,其中晋荞6号苦荞麦的总黄酮含量最高,为(147.46±2.86) mg/g;川荞2号和黔苦4号次之;西农9940和六苦3号的总黄酮含量显著低于其他品种,分别为(97.41±1.89), (100.14±0.90) mg/g。进一步对苦荞麦黄酮的特征组分(芦丁、异槲皮素、槲皮素和山奈酚)进行对比分析,见图6。由图6可知,苦荞黄酮主要包括芦丁、槲皮素、山奈酚等主要成分,其中芦丁含量最高,这与文献^[15]报道的一致。同时,不同品种苦荞麦间芦丁含量差异显著,黔苦4号的芦丁含量最高,为(14.71±0.08)%,为最低含量西农9940(5.22%±0.13%)的2.82倍;川荞1号和川荞2号的槲皮素含量显著高于其他品种,可达2.25%左右;黔苦4号的山奈酚含量



字母不同表示两者有显著差异($P < 0.05$)

图 5 不同品种荞麦的黄酮和多酚含量

Figure 5 The flavonoids and polyphenols content in different tartary buckwheat varieties



字母不同表示两者有显著差异($P < 0.05$)

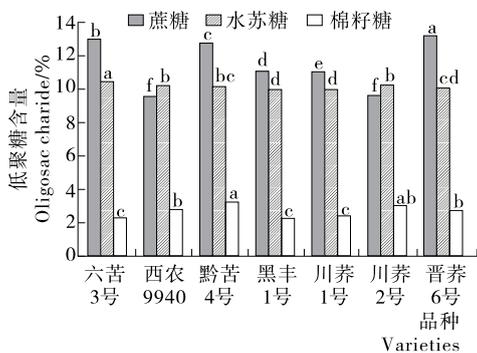
图 6 不同品种荞麦的特征组分含量

Figure 6 Characteristic components in different tartary buckwheat varieties

($1.22\% \pm 0.02\%$)显著高于其他品种;各苦荞麦品种的异槲皮素含量仅为 $0.20\% \sim 0.52\%$ 。因此,荞麦黄酮的提取要综合考虑其种类和含量情况选择合适的品种。

2.6 不同品种苦荞麦低聚糖含量分析

由图 7 可知,苦荞麦中的蔗糖以晋荞 6 号最高,可达 (13.20 ± 0.08)%,西农 9940 和川荞 2 号显著性偏低,分别为 (9.59 ± 0.06)%, (9.68 ± 0.08)%。苦荞麦的水苏糖含量品种间差异不大,均在 10% 左右。棉籽糖含量以黔苦 4 号最



字母不同表示两者有显著差异($P < 0.05$)

图 7 不同品种苦荞麦的低聚糖含量

Figure 7 Oligosaccharide in different tartary buckwheat varieties

高,为 (3.26 ± 0.10)%,六苦 3 号含量最低,为 (2.29 ± 0.04)%。本研究检测到的苦荞麦低聚糖主要有水苏糖、蔗糖和棉籽糖三类。除蔗糖外,水苏糖和棉籽糖的品种间差异并不大。苦荞麦在低聚糖含量方面低于甜荞,可能是导致苦荞在口感和口味方面不如甜荞的原因之一,但苦荞麦却更适合于高血糖或糖尿病患者食用。低聚糖是一类能产生系列独特保健功能的活性物质,其功能性主要表现在能够增强机体免疫力、促进双歧杆菌增殖、延缓衰老、预防便秘等方面^[18]。因此,受到越来越多的重视,与其他几种营养及功能活性成分相比,荞麦低聚糖的研究相对较少,因此加强这方面的研究和开发是非常有必要的。

3 结论

品种不同苦荞麦的营养及功能性组分含量也不同。苦荞麦品种间总淀粉含量差异不大,但慢消化淀粉和抗性淀粉含量差异较大(差异分别可达 5.98 倍和 2.59 倍);不同品种苦荞麦之间的蛋白含量差异不大,总氨基酸含量与蛋白含量的趋势基本一致,但相对差异较明显。所有苦荞麦的不饱和脂肪酸含量显著高于饱和脂肪酸含量,且品种间差异较大,多酚和黄酮的品种差异显著,主要成分芦丁的品种间差异可达 2.82 倍。苦荞麦低聚糖品种间差异以蔗糖较为显著,水苏糖和棉子糖品种间差异不大。因此,荞麦相关的功能性食品甚至药品的开发要根据不同品种间营养物质的差异,选取适合的品种。

参考文献

- [1] TAUR J S, RODRIGUEZ-PROTEAU R. Effects of dietary flavonoids on the transport of cimetidine via P-glycoprotein and cationic transporters in Caco-2 and LLC-PK1 cell models. [J]. Xenobiotica; The Fate of Foreign Compounds in Biological Systems, 2008, 38(12): 1 536-1 550.
- [2] TOMOTAKE H, SHIMAOKA I, KAYASHITA J, et al. A buckwheat protein product suppresses gallstone formation and plasma cholesterol more strongly than soy protein isolate in hamsters [J]. Journal of Nutrition, 2000, 130(7): 1 670-1 674.
- [3] 曹英花. 苦荞与甜荞之区别 [J]. 北京农业, 2011(15): 102-103.
- [4] GUO Xu-dong, WU Chun-sen, MA Yu-jie, et al. Comparison of milling fractions of tartary buckwheat for their phenolics and antioxidant properties [J]. Food Research International, 2012, 49(1): 53-59.
- [5] 刘琴, 张薇娜, 朱媛媛, 等. 不同产地苦荞籽粒中多酚的组成、分布及抗氧化性比较 [J]. 中国农业科学, 2014(14): 2 840-2 852.
- [6] 何永艳, 冯佰利, 邓涛, 等. 荞麦提取物抗氧化活性研究 [J]. 西北农业学报, 2007(16): 76-79.
- [7] 尹礼国, 曾凡坤, 钟耕, 等. 荞麦生物类黄酮研究现状 [J]. 粮食与油脂, 2002(12): 22-24.
- [8] 王炜, 欧巧明, 杨随庄. 苦荞麦化学成分及生物活性研究进展 [J]. 杂粮作物, 2010, 30(6): 419-423.
- [9] QIN Pei-you, WANG Qiang, SHAN Fang, et al. Nutritional composition and flavonoids content of flour from different buckwheat cultivars [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010(45): 951-95.

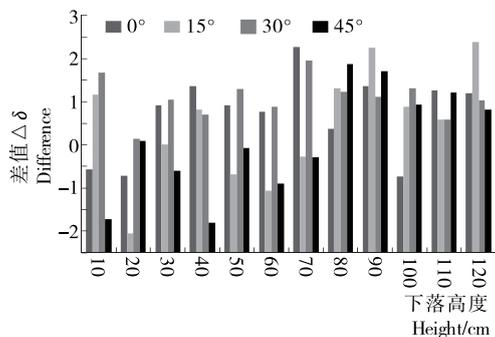


图6 开口/闭口果综合对数衰减率差值柱状图
(传声器距离:10 cm)

Figure 6 Integrated logarithmic decrement difference of pistachio with opening and closed (Distance: 10 cm)

于开心果的分拣。随着下落高度的增大,碰撞声特征表现开始明显。当下落高度为70~100 cm时,开、闭口果间的综合对数衰减率差值较大,开心果分拣可靠性相对较高,分拣准确率也达到100%。

由于当碰撞块倾斜角度大于45°后,开心果下落后与碰撞块的接触面太小,碰撞效果不好,所以在试验中设定碰撞块的倾斜角度为0°,15°,30°,45°。固定传声器位置,在同一高度下释放开心果,研究改变倾斜角度对碰撞声特征的影响。由图6还可以看出,当碰撞块角度倾斜为0°,15°,30°时,在较高的下落高度下,开、闭口果碰撞声的综合对数衰减率差值较大,分拣可靠性高。其中,当碰撞块30°倾斜放置时,每个下落高度下的 $\Delta\delta$ 都大于分拣分界值,即分拣准确率达100%,也最有利于分拣。当角度倾斜达到45°之后,其 $\Delta\delta$ 在多个高度下低于分拣分界线,分拣准确率降低。

4 结论

(1) 随着传声器与碰撞面所成角度的增大,所采集到的开、闭口果碰撞声信号特征差值越大。其中,0°放置的传声器所采集信号的 $\Delta\delta$ 在各个下落高度下都小于0,分拣准确率非常低。对比之下,45°放置的传声器所采集开、闭口信号特征差异最大,在确保分拣准确率为100%的状况下,分拣可靠性也最高;同时,传声器与碰撞点间距离的拉近,有利于获得更高的分拣可靠性。

(2) 当开心果下落高度越高时,开、闭口果之间的差值 $\Delta\delta$ 越大,两者碰撞声特征差异越明显。下落高度在70~100 cm时,可获得相对较高的分拣可靠性且分拣准确率为100%。

(3) 碰撞块倾斜0°~30°时,倾斜角度越大,开、闭口果间的碰撞声特征差值 $\Delta\delta$ 越大,分拣可靠性越高。当倾斜角度由30°增加至45°时,开、闭口果间的碰撞声特征的差值减小,分拣准确率降低。

综合上述分析,在以下两个条件下:① 传声器与碰撞平面成45°左右角放置,距离10 cm左右时;② 保持传声器位置不变,开心果下落高度为70~100 cm时、碰撞块倾斜30°时,能够获得较大的综合对数衰减率差值,并能够提高开心果分拣设备的准确率至100%。以上碰撞参数是优化后的结果,最优结果还需要进一步的研究挖掘。

参考文献

- [1] 梁理. 开心果生产工艺及安全卫生规范[J]. 农业与技术, 2006, 26(3): 167-170.
- [2] 李国华. 用开心果攻占全球[N]. 中国经营报, 2008-06-16 (B07).
- [3] 潘立刚, 张缙, 陆安祥, 等. 农产品质量无损检测技术研究进展与应用[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 325-330.
- [4] 危艳君, 饶秀勤, 漆兵. 基于声学特性的西瓜糖度检测系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 283-287.
- [5] 吴雪. 鸡蛋裂纹损伤检测的声振分析方法研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(6): 10-13.
- [6] 张索非, 陈斌, 褚静. 基于声学特性的苹果无损检测方法[J]. 现代机械, 2007(2): 11-17.
- [7] MATEUSZ Stasiak, MAREK Molenda, JOZEF Horahik. Determination of modulus of elasticity of cereals and rapeseeds Using acoustic method [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 8(2): 51-57.
- [8] PEARSON T C. Detection of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2001, 17(2): 249-253.
- [9] CETIN A E, PEARSON T C, TEWFIK A H. Classification of closed and open-shell pistachio nuts using voice-recognition technology [J]. Transaction of ASAE, 2004, 47(2): 659-664.
- [10] 臧富瑶, 冯涛, 王晶, 等. 基于碰撞声的开心果分拣技术研究 [J]. 农产品加工, 2014(11): 65-67.
- [11] 臧富瑶, 冯涛, 王晶, 等. 基于撞击声的开心果分拣模型研究 [J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 157-160.
- [12] 宋知用. Matlab在语音信号分析与合成中的应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013: 12-60.

(上接第9页)

- [10] ZHAO Gang, PENG Lian-xin, WANG Shu, et al. HPLC fingerprint-antioxidant properties study of buckwheat [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(7): 1111-1118.
- [11] CRAIG S A S. Polydextrose as soluble fibre: physiological and analytical aspects[J]. Cereal Foods World, 1998(43): 370.
- [12] 缪铭, 张涛, 秦啸天, 等. 谷物淀粉的慢消化特性与餐后血糖应答[J]. 营养学报, 2009(3): 218-221.
- [13] 郭春锋, 李婧妍, 张守文. 抗性淀粉生理功能研究进展[J]. 食品科技, 2006(2): 1-3.
- [14] 陈鹏, 李玉红, 刘香利, 等. 荞麦芽菜蛋白质营养的评价研究 [J]. 西北农业大学学报, 2000(5): 84-87.
- [15] 张强, 李艳琴. 苦荞功能成分及其开发利用[J]. 山西师范大学学报: 自然科学版, 2009(4): 85-89.
- [16] 王红育, 李颖. 荞麦的研究现状及应用前景[J]. 食品科学, 2004(10): 388-391.
- [17] 刘琴, 张薇娜, 朱媛媛, 等. 不同产地苦荞籽粒中多酚的组成、分布及抗氧化性比较[J]. 中国农业科学, 2014(14): 2840-2852.
- [18] 朱建华, 杨晓泉. 反相液相色谱法同时测定大豆制品中的功能性低聚糖——水苏糖和棉籽糖[J]. 粮油加工与食品机械, 2005(11): 71-72.