

苦荞多酚对苦荞淀粉和小麦淀粉理化性质的影响

何财安¹, 张 珍¹, 刘 航¹, 李云龙², 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.山西省农业科学院农产品加工研究所, 山西 太原 030031)

摘 要:以苦荞淀粉和小麦淀粉为原料, 研究低添加量(1%~4%)苦荞多酚与两种淀粉共糊化后的相互作用以及对其透明度、凝沉性、糊化特性、质构特性、抗性淀粉含量和微观结构的影响。结果表明:苦荞多酚与两种淀粉的共糊化显著降低了淀粉糊的透明度和沉降体积比, 淀粉糊的凝沉加快;两种淀粉的糊化温度和糊化焓值一定程度上有所下降, 淀粉更易糊化;同时两种淀粉胶质参数显著降低, 苦荞多酚添加量为4%时苦荞淀粉和小麦淀粉硬度分别下降了19.74%和54.18%;苦荞多酚的存在显著提高了淀粉中抗性淀粉含量(15%~30%)。电子显微镜结果显示, 共糊化后苦荞多酚促进了淀粉颗粒的交联和聚合。苦荞多酚对淀粉理化性质的改变可视为一种提高抗性淀粉含量的物理改性方式, 苦荞粉可作为高抗性淀粉食品的优质原料。

关键词:苦荞多酚; 淀粉; 糊化特性; 质构特性

Effect of Tartary Buckwheat Polyphenols on Physicochemical Properties of Tartary Buckwheat Starch and Wheat Starch

HE Cai'an¹, ZHANG Zhen¹, LIU Hang¹, LI Yunlong², WANG Min^{1,*}

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

2. Institute of Agricultural Products Processing, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract: The research was designed to investigate the interactions of tartary buckwheat starch (TBS) and wheat starch (WS) with tartary buckwheat polyphenols (TBP) at low levels (1%–4%) during gelatinization and their effect on starch paste transparency, retrogradation and pasting properties, textural properties, resistant starch content and microstructure. The results showed that adding TBP could significantly decrease the transparency and sedimentation volume of TBS and WS paste, and accelerate starch paste retrogradation. The pasting temperature and enthalpy of both starches were decreased, indicating that the starches were prone to be pasted. Compared with the control without added TBP, addition of 4% TBP led to a decrease in the hardness of TBS and WS gels by 19.74% and 54.18%, respectively, and a significant increase in resistant starch content (by 15%–30%). The scanning electronic micrographs (SEM) indicated that TBP could accelerate the aggregation and cross-linking of starch granules. The changes in physicochemical properties of starch after TBP addition can be regarded as a physical modification method to increase resistant starch. Tartary buckwheat flour can be used as a high quality ingredient of foods high in resistant starch.

Key words: tartary buckwheat polyphenols; starch; pasting properties; textural properties

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709011

中图分类号: TS210.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 09-0066-06

引文格式:

何财安, 张珍, 刘航, 等. 苦荞多酚对苦荞淀粉和小麦淀粉理化性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 66-71.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709011. <http://www.spkx.net.cn>

HE Cai'an, ZHANG Zhen, LIU Hang, et al. Effect of tartary buckwheat polyphenols on physicochemical properties of tartary buckwheat starch and wheat starch[J]. Food Science, 2017, 38(9): 66-71. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201709011. <http://www.spkx.net.cn>

苦荞是我国传统的杂粮作物之一, 主要生长在云南、四川、贵州、陕西和山西等地的高海拔山区, 是一

种优良的药食兼用粮食资源^[1]。苦荞富含多酚类物质, 其含量可达到2 077~3 149 $\mu\text{mol RE}/100\text{ g } m_d$ 左右, 其中以

收稿日期: 2016-04-28

基金项目: 国家现代农业(燕麦)产业技术体系建设专项(CARS-08)

作者简介: 何财安(1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: hca_anzhi@163.com

*通信作者: 王敏(1967—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品营养与化学、西部药食兼用植物资源开发利用。

E-mail: wangmin20050606@163.com

芦丁和槲皮素为主要成分^[2]。苦荞多酚具有清除自由基、改善胰岛素抵抗和调节血糖血脂水平等功效^[3],是苦荞功能特性的重要物质基础。淀粉是苦荞粉主要的组成成分,含量占总干物质质量70%左右^[4],对苦荞食品的加工具有重要影响^[5]。近年来研究证明了苦荞食品具有良好的“三降”(降血糖、降血脂和降血压)功能,可作为慢性疾病特别是糖尿病人的膳食补充,对于预防和改善慢性疾病的发生和发展具有良好的作用^[6-7]。

多酚类物质可以与淀粉分子发生复杂的相互作用,二者通过氢键、范德华力和疏水相互作用等分子间作用力而发生非共价结合,这种结合作用的强弱与多酚和淀粉分子的种类及结构有关^[8]。多酚-淀粉相互作用会在一定程度上改变淀粉的流变学特性、热力学特性、凝胶特性和消化性等理化性质,对于调控淀粉类食品的加工品质和营养品质具有非常重要的作用^[9]。在一定条件下,研究苦荞多酚与淀粉的相互作用及其对淀粉特性的影响,对提高苦荞食品加工及营养品质具有积极的指导意义。然而目前此类研究还鲜见报道,其影响程度和机理尚不明确。因此,本研究选择苦荞淀粉和小麦淀粉为研究对象,按照苦荞粉中苦荞多酚的比例进行折算添加,测定低添加量条件下苦荞多酚对苦荞和小麦淀粉主要理化性质的影响,分析苦荞多酚与两种淀粉共糊化过程中的相互作用,为苦荞健康食品的开发提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

苦荞:选取陕西地区广泛种植的西农9940苦荞品种,用万能粉碎机粉碎后过40目筛得到的苦荞粉为实验材料。

小麦淀粉:市售,西安得胜小麦淀粉厂生产。基本成分含量(平均值)为:水分8.73%、粗脂肪0.54%、总蛋白0.27%、总淀粉88.39%、直链淀粉27.57%、灰分0.25%。

芦丁、槲皮素、儿茶素、绿原酸、表儿茶素、对香豆酸和肉桂酸(均为色谱级标准品) 上海源叶生物科技有限公司;猪胰腺 α -淀粉酶(A3176,酶活力15 U/mg) 美国Sigma公司;DM-2大孔树脂 山东鲁抗医药股份有限公司树脂分厂;TA液体坩埚 上海凯正仪器有限公司;无水甲醇、无水乙醇、盐酸、NaOH、KI、碘、二硝基水杨酸等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

AR224CN型分析天平 美国奥克斯公司;PHS-3C型精密pH计 上海雷磁仪器厂;LC-15C型高效液相色谱仪 日本岛津公司;FOSS8400全自动定氮仪 丹麦FOSS公司;TA-2000型差示扫描量热仪 美国TA公司;TA.XT Plus质构仪 英国Stable Microsystems公司;JSM-6360LV扫描电子显微镜 日本JEOL公司。

1.3 方法

1.3.1 苦荞多酚的提取和精制

苦荞多酚提取参照田汉英等^[10]的方法。称取适量苦荞粉,按料液比1:20(m/V)加入无水甲醇,超声波提取(60 Hz、25℃)10 min,3 500 r/min离心12 min取上清液,重复提取3次合并提取液,于45℃旋转蒸发除去甲醇,乙醚脱脂得到苦荞多酚粗提物。苦荞多酚的精制参考于智峰^[11]的方法并稍加改动。称取1 g苦荞多酚粗提物,加入500 mL去离子水,超声10 min(60 Hz、25℃)以充分溶解提取物。将所得溶液过滤,滤液用1 mol/L的盐酸溶液调节pH值至2~3后过DM-2大孔树脂对苦荞多酚进行精制。精制后的苦荞多酚经高效液相色谱分析^[12],其主要多酚组分为:槲皮素(1.74%)、儿茶素(6.82%)、绿原酸(7.44%)和芦丁(67.47%)。本研究中均采用精制后的苦荞多酚进行实验,苦荞多酚的添加量梯度设置是按照苦荞粉中苦荞多酚的比例进行折算。

1.3.2 苦荞淀粉的制备

苦荞淀粉提取参考Liu Hang等^[13]的方法并稍作改进。脱壳后的苦荞种子充分吸水膨胀后使用豆浆机打成细浆,过100目筛,45℃条件下烘干。然后按照料液比1:10(m/V)加入适量体积的质量分数0.3%的NaOH溶液,搅拌至无硬粒且成均匀悬浮状态。静置12 h后将上层溶液排干,加入去离子水洗涤沉淀至溶液颜色不再变黄。再次加入去离子水,使淀粉在水中均匀分散,用橡胶管小心收集中间层的淀粉悬浮液,并过200目筛。重复4次,直至淀粉收集干净。将收集到的淀粉浆液静置12 h,使淀粉充分沉淀,排干上层溶液,将收集到的淀粉沉淀烘干,用万能粉碎机粉碎,过100目筛,即得苦荞淀粉。经测定其基本成分含量(平均值)为:水分9.65%、粗脂肪0.42%、总蛋白0.27%、总淀粉88.03%、直链淀粉30.33%、灰分0.27%。

1.3.3 苦荞淀粉基本成分分析

水分含量:烘箱法,参考GB/T 12087—2008《淀粉水分测定 烘箱法》;蛋白质含量:自动凯氏定氮法($K=5.89$),参考GB/T 22427.10—2008《淀粉及其衍生物氮含量测定》;粗脂肪含量:索氏抽提法,参考GB/T 22427.3—2008《淀粉总脂肪测定》;灰分含量:马弗炉法,参考GB/T 22427.1—2008《淀粉灰分测定》;直链淀粉含量:碘结合法,参考GB/T 15683—2008《大米直链淀粉含量测定》;总淀粉含量:酸水解法,参考GB/T 5009.9—2008《食品中淀粉的测定》。

1.3.4 淀粉透明度测定

参考缪铭等^[14]的方法并稍作修改。分别称取适量苦荞淀粉和小麦淀粉,加入适量体积的2 mmol/L NaOH溶液,配制成质量分数为1%的淀粉乳。按照淀粉干质量的

1%、2%、3%、4%加入适量苦荞多酚,振荡均匀,沸水浴15 min,期间不断振荡,使淀粉完全糊化,得到淀粉糊。冷却至室温后以蒸馏水为空白(透光率为100%),在620 nm波长处测定样品透光率。

1.3.5 淀粉凝沉性测定

参照高群玉等^[15]的方法。淀粉糊配制方法同1.3.4节。将淀粉糊置于20 mL的刻度管中,室温下每隔1 h记录上层清液体积,绘成清液体积百分比对时间的变化曲线,即为淀粉糊的凝沉曲线。沉降24 h后下层糊液的体积即为沉降体积,沉降体积与总糊液体积比为沉降体积比。

1.3.6 淀粉差示扫描量热分析

参考Li Wenhao^[16]的方法并稍作改进。分别称取适量苦荞淀粉和小麦淀粉,按淀粉干质量的1%、2%、3%、4%加入适量苦荞多酚,混合均匀,并使用十万分之一天平准确称取3~5 mg样品加入到液体坩埚中,按固液比1:3(m/V)的比例加入适量体积的2 mmol/L NaOH溶液,过夜放置平衡后进行淀粉差示扫描量热(differential scanning calorimetry, DSC)测定。以空坩埚作对照,扫描温度范围为20~120 °C,扫描速率为10 °C/min。

1.3.7 淀粉质构特性测定

参照Liu Hang等^[13]的方法。分别称取适量苦荞淀粉和小麦淀粉,加入适量体积的2 mmol/L NaOH溶液,配制成10%淀粉乳,并按淀粉干质量的1%、2%、3%、4%加入适量苦荞多酚,沸水浴中加热30 min,期间不断搅拌使淀粉充分分散糊化,冷却,4 °C冰箱中过夜放置形成凝胶。采用物性测定仪测定凝胶的质构特性。测定参数如下:探头:P0.5;测试模式:质地多面剖析法(texture profile analysis, TPA);测试前速率:1.00 mm/s;测试速率:1.00 mm/s;测试后速率:1.00 mm/s;测试距离:10 mm;测试温度:室温。

1.3.8 抗性淀粉含量测定

参照Goni等^[17]的方法并略作修改。分别称取100 mg苦荞淀粉和小麦淀粉,按淀粉干质量的2%和4%加入适量苦荞多酚,再加入4 mL乙酸钠缓冲液(0.5 mol/L, pH 6.9),沸水浴糊化10 min。冷却后加入1 mL淀粉酶液(15 mg/mL)启动反应,37 °C水浴振荡16 h。消化结束后加入等体积95%乙醇沉淀未消化的淀粉,3 500 r/min离心10 min。弃去上清液并小心收集沉淀,加入85%乙醇洗净残糖。沉淀加入6 mol/L HCl水解后采用二硝基水杨酸法测定抗性淀粉含量。

1.3.9 微观结构观察

分别称取适量苦荞淀粉和小麦淀粉,加入适量体积的2 mmol/L NaOH溶液,并按淀粉干质量的1%、2%、3%、4%加入苦荞多酚,沸水浴充分糊化后冻干。采用扫描电子显微镜对不同多酚-淀粉复合物进行微观结构观察。将少量的复合物粉末充分分散在载物台上的双面导

电胶上,用洗耳球吹去多余样品,在真空条件下喷金处理后进行观察。

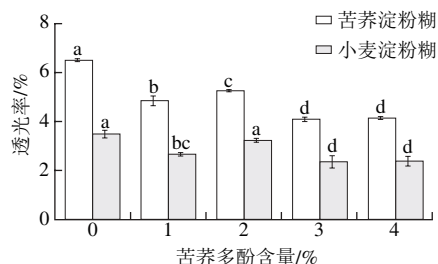
1.4 数据处理

使用Origin 9软件对数据进行处理,并使用SPSS软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 苦荞多酚对苦荞和小麦淀粉糊透明度的影响

淀粉糊透明度是反映淀粉制品品质的重要指标。淀粉糊透明度表征了淀粉分子吸水膨润及分子间缔合的程度。一般而言,当淀粉分子充分吸水膨润后,分子间不发生相互缔合或者缔合的程度很低时,淀粉糊就能呈现出很高的透明度。反之,则淀粉糊的透明度会很低^[18]。苦荞多酚对两种淀粉糊透明度的影响如图1所示。苦荞多酚能显著降低苦荞淀粉糊和小麦淀粉糊的透明度,透光率最大下降幅度分别为33.88%和32.28%。多酚可以通过氢键和范德华力等作用引起淀粉分子间发生一定程度的聚集^[19]。在淀粉糊化吸水膨润后,苦荞多酚可能诱使糊化后的淀粉分子间发生了较强的相互缔合作用,引起了淀粉分子间的聚集。苦荞淀粉糊的透明度显著高于小麦淀粉糊的透明度,表明两种淀粉的分子结构存在差异。



同种样品小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$),下同。

图1 苦荞多酚对苦荞淀粉糊和小麦淀粉糊透明度的影响

Fig. 1 Influence of TBP on transparency of TBS and WS paste

2.2 苦荞多酚对苦荞和小麦淀粉糊凝沉性的影响

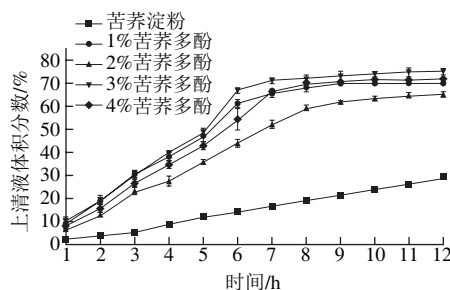


图2 苦荞多酚对苦荞淀粉糊凝沉性的影响

Fig. 2 Influence of TBP on retrogradation curve of TBS

表1 苦荞多酚对苦荞和小麦两种淀粉糊凝沉性的影响
Table 1 Influence of TBP on settlement volume of TBS and WS paste

苦荞多酚含量/%	0	1	2	3	4
苦荞淀粉糊沉降体积比	0.450±0.003 ^a	0.300±0.005 ^b	0.350±0.011 ^b	0.248±0.014 ^c	0.281±0.007 ^c
小麦淀粉糊沉降体积比	0.341±0.012 ^a	0.180±0.007 ^b	0.186±0.005 ^c	0.132±0.018 ^d	0.155±0.013 ^c

注：同行肩标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

苦荞淀粉糊的凝沉曲线如图2所示。苦荞多酚显著提高了苦荞淀粉糊的凝沉速率。在12 h快速凝沉实验中，纯苦荞淀粉糊的凝沉曲线近乎一条直线，沉降体积随时间延长逐渐降低，沉降速率较为稳定。而添加了苦荞多酚的苦荞淀粉糊其凝沉体积在前8 h内迅速降低，后4 h内沉降体积缓慢减少并达到稳定状态。添加了苦荞多酚的小麦淀粉糊其沉降速率更快，在4 h内已基本达到最小沉降体积（图未列出）。24 h后两种淀粉糊的沉降体积比如表1所示。苦荞多酚显著降低了苦荞淀粉糊和小麦淀粉糊的沉降体积比，最大降幅分别为44.89%和61.29%。淀粉糊的凝沉性反映了淀粉糊的凝胶能力，淀粉糊凝沉速率越快，凝沉体积越小，淀粉糊的凝胶能力也越强^[18]。苦荞多酚的存在显著地促进了两种淀粉糊的凝沉，这可能是由于糊化过程中苦荞多酚与淀粉的相互作用引起的。在一定条件下酚类物质可以与淀粉通过氢键发生相互作用，苦荞多酚通过氢键的“桥梁”作用在糊化的淀粉分子间形成连结^[20]，加速糊化后的淀粉分子的聚集，促进淀粉糊的凝沉。

2.3 苦荞多酚对苦荞和小麦淀粉糊化特性的影响

表2 苦荞多酚对苦荞淀粉和小麦淀粉糊化特性的影响
Table 2 Influence of TBP on pasting properties of TBS and WS

苦荞多酚含量/%	糊化起始温度/℃		糊化峰值温度/℃		糊化终止温度/℃		糊化焓值/(J/g)	
	苦荞淀粉	小麦淀粉	苦荞淀粉	小麦淀粉	苦荞淀粉	小麦淀粉	苦荞淀粉	小麦淀粉
0	68.11±0.12 ^a	67.56±0.57 ^a	70.99±0.03 ^a	69.93±0.52 ^a	79.79±0.13 ^a	78.63±0.23 ^a	10.68±0.06 ^a	7.35±0.44 ^a
1	67.01±0.20 ^b	66.81±0.33 ^b	69.73±0.05 ^b	69.11±0.38 ^{bc}	81.82±0.08 ^b	78.28±2.47 ^b	12.18±0.01 ^b	6.19±0.10 ^b
2	66.84±0.11 ^b	66.88±0.15 ^b	69.72±0.08 ^b	69.29±0.20 ^b	80.75±0.13 ^c	77.65±0.71 ^b	11.41±0.47 ^b	5.63±1.24 ^b
3	67.01±0.40 ^{bc}	66.80±0.07 ^b	69.46±0.20 ^c	69.21±0.06 ^{cd}	78.39±0.41 ^{cd}	77.54±0.74 ^b	9.73±0.46 ^c	5.30±0.50 ^b
4	67.33±0.12 ^c	66.42±0.20 ^b	69.87±0.11 ^{cd}	67.80±0.17 ^d	79.30±0.29 ^{cd}	76.66±0.50 ^b	9.19±0.62 ^d	3.65±0.33 ^c

注：同行肩标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

表2是DSC测定的两种淀粉糊化特性数据。苦荞多酚的添加显著改变了苦荞淀粉和小麦淀粉的糊化特性，这一方面表现为苦荞多酚显著地改变了两种淀粉的糊化温度，包括显著降低了两种淀粉的糊化起始温度和糊化

峰值温度，但对糊化终止温度的影响不显著；另一方面苦荞多酚显著改变了两种淀粉的糊化焓值。对苦荞淀粉而言，随着苦荞多酚含量的增加，苦荞淀粉的糊化焓值呈现出先增大后降低的趋势，4%苦荞多酚添加量时糊化焓值最低，较未添加苦荞多酚苦荞淀粉降低了13.95%；对于小麦淀粉而言，随着苦荞多酚含量的增加，小麦淀粉的糊化焓值显著降低，4%苦荞多酚添加量时糊化焓值最低，较未添加苦荞多酚小麦淀粉降低了50.34%。植物源多酚，如茶多酚和阿魏酸等，能在一定程度上促进淀粉的糊化^[21-22]，这被认为是由于多酚中的疏水基团（如酚羟基）与淀粉支链分子侧链的相互作用改变了淀粉分子结晶区和非结晶区的结合力所致^[23]。总体而言，苦荞多酚的存在一定程度上降低了两种淀粉的糊化温度和糊化焓值，使淀粉在加热过程中更易于糊化。

2.4 苦荞多酚对苦荞和小麦淀粉凝胶质构特性的影响

苦荞多酚对苦荞淀粉和小麦淀粉凝胶质构特性的影响如表3所示。质构特性主要采用淀粉胶的硬度、弹性、黏结性、黏性、咀嚼性和回弹性6个指标进行表征。苦荞多酚的添加显著地降低了两种淀粉凝胶的质构特性参数，但影响程度有所不同。对于苦荞淀粉而言，苦荞多酚显著降低了其淀粉胶的硬度、黏结性和咀嚼性，对弹性和回弹性无显著影响，在中等添加量（2%和3%）下显著降低其黏性；然而苦荞多酚显著降低了小麦淀粉胶的硬度、弹性、咀嚼性、黏结性和回弹性，在中等添加量下（2%和3%）显著增加其黏性；苦荞多酚的存在在不同程度下降低了两种淀粉胶的质构特性参数，对淀粉胶结构的稳定有一定的弱化作用，其中以硬度的降低最为明显。当苦荞多酚的添加量为4%时，苦荞淀粉胶和小麦淀粉胶的硬度分别下降了19.74%和54.18%。Zhu Fan等^[24]研究了25种植物多酚对小麦淀粉质构特性的影响，发现大部分酚类物质会降低小麦淀粉胶的硬度。这可能是由于苦荞多酚与淀粉的相互作用竞争性地阻碍了淀粉网络中单链直链淀粉分子重排缠绕形成双螺旋结构的过程，使淀粉分子更易于移动^[20]，淀粉胶老化程度下降。这表明苦荞多酚能在一定程度上降低淀粉胶的老化。类似地，茶多酚及茶叶提取物也有抑制淀粉胶老化的作用^[25-26]，多酚-淀粉的相互作用延缓淀粉胶老化对于功能性淀粉食品的开发具有非常积极的意义。

表3 苦荞多酚对苦荞和小麦淀粉胶质构特性的影响
Table 3 Influence of TBP on textural parameters of TBS and WS gel

苦荞多酚含量/%	硬度/g		弹性		黏结性/g		黏性/(g·s)		咀嚼性/g		回弹性/g	
	苦荞淀粉	小麦淀粉	苦荞淀粉	小麦淀粉	苦荞淀粉	小麦淀粉	苦荞淀粉	小麦淀粉	苦荞淀粉	小麦淀粉	苦荞淀粉	小麦淀粉
0	254.21±5.37 ^a	186.62±5.52 ^a	0.940±0.010 ^a	0.940±0.004 ^a	0.54±0.03 ^a	0.53±0.02 ^{ab}	115.91±9.15 ^{ab}	84.67±2.65 ^a	137.80±10.17 ^a	98.40±5.77 ^a	129.08±10.6 ^a	92.64±5.03 ^a
1	210.41±13.71 ^b	151.78±11.22 ^b	0.940±0.001 ^a	0.930±0.002 ^a	0.51±0.01 ^{ab}	0.52±0.01 ^{ab}	96.87±13.57 ^{bc}	88.59±9.14 ^a	106.30±4.56 ^b	79.63±4.39 ^{bc}	99.53±4.32 ^b	41.78±1.51 ^{bc}
2	209.52±4.64 ^b	136.46±7.06 ^b	0.930±0.020 ^a	0.910±0.001 ^{bd}	0.46±0.04 ^{bc}	0.56±0.02 ^a	84.35±11.04 ^c	127.80±5.64 ^b	96.49±9.70 ^{bc}	76.43±6.85 ^d	89.66±11.10 ^{bc}	69.91±6.27 ^c
3	205.15±3.69 ^b	114.91±6.58 ^{cd}	0.940±0.004 ^a	0.900±0.006 ^c	0.49±0.02 ^{bc}	0.51±0.02 ^b	84.82±2.83 ^c	128.29±2.02 ^b	95.95±3.33 ^{bc}	58.86±6.21 ^{bc}	90.16±2.75 ^{bc}	52.90±5.95 ^d
4	204.07±4.19 ^b	85.51±30.53 ^d	0.940±0.005 ^a	0.910±0.010 ^{cd}	0.42±0.01 ^c	0.40±0.02 ^c	132.64±13.17 ^b	91.56±3.39 ^b	86.63±4.62 ^c	33.63±10.76 ^c	82.74±4.82 ^b	30.57±9.42 ^c

2.5 苦荞多酚对苦荞和小麦淀粉抗性淀粉含量的影响

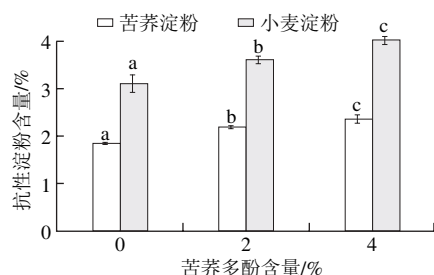
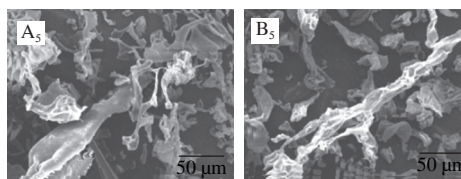
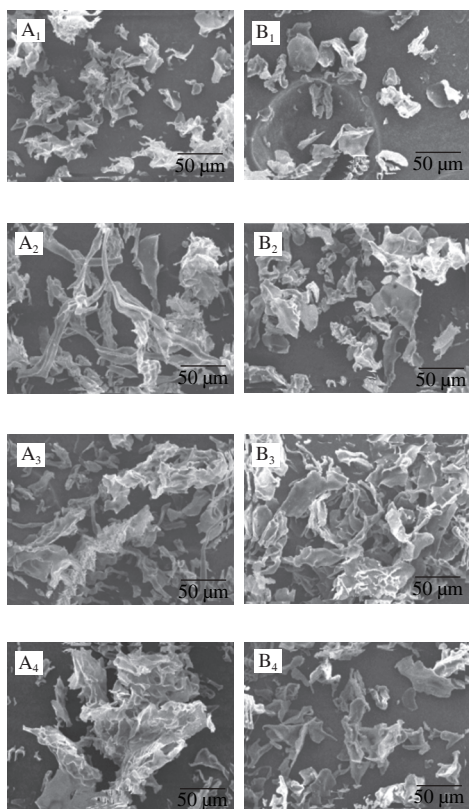


图3 苦荞多酚对苦荞和小麦淀粉中抗性淀粉含量的影响

Fig. 3 Influence of TBP on resistant starch content of TBS and WS

如图3所示, 苦荞多酚能显著增加苦荞和小麦淀粉中抗性淀粉的含量。与原淀粉相比, 添加2%和4%苦荞多酚后, 苦荞淀粉中的抗性淀粉含量分别增加了18.45%和28.06%, 而小麦淀粉中的抗性淀粉含量分别增加了16.18%和29.42%。Dilek等^[27]也曾报道了高粱麸皮中的多酚类物质能显著增加淀粉中抗性淀粉的含量。这可能是由于多酚类物质与淀粉在糊化过程中发生了相互作用并形成了部分不能被酶水解的复合物, 这类多酚-淀粉复合物可视为一种新的抗性淀粉^[28]。同时有报道表明苦荞多酚对 α -淀粉酶也存在着一定的抑制作用^[29], 这也可能是导致其消化性降低的原因。小麦淀粉的抗性淀粉含量要高于苦荞淀粉中抗性淀粉含量, 这可能与淀粉品种的差异有关。

2.6 苦荞多酚对苦荞和小麦淀粉微观结构的影响



A.苦荞淀粉; B.小麦淀粉; 下脚标1~5.苦荞多酚添加量分别为0%、1%、2%、3%、4%。

图4 苦荞多酚对苦荞和小麦淀粉微观结构的影响

Fig. 4 Scanning electronic micrographs showing the influence of TBP on microstructure of TBS and WS

图4显示了添加不同含量苦荞多酚共糊化后两种淀粉微观结构的变化。可以看出, 淀粉糊化后淀粉颗粒晶体结构遭到了破坏, 形成了许多大小不一的淀粉碎片, 这些碎片的散布也较为稀疏。加入苦荞多酚共糊化后对两种淀粉的微观结构产生了显著影响, 主要表现为淀粉发生了较大程度的连结和聚集, 结构变得更为紧密, 甚至出现了网状和链状的淀粉簇。这直观地表明了苦荞多酚的存在使淀粉分子在糊化过程产生了聚集。糊化后的淀粉表面并未观察到明显的针状多酚结晶, 这可能是由于苦荞多酚与淀粉在糊化过程中发生了相互作用并被淀粉颗粒包裹, 进一步形成了较为均一的复合体^[30]。

3 结论

在共糊化过程中, 苦荞多酚能与苦荞淀粉和小麦淀粉发生相互作用, 显著降低两种淀粉的糊化温度和糊化焓值, 促进淀粉糊化, 并显著降低了两种淀粉糊的透明度和凝沉性。同时苦荞多酚显著降低了两种淀粉胶的质构特性参数, 改变了两种淀粉糊化后的微观结构。苦荞多酚显著提高了两种淀粉的抗性淀粉含量, 这可视为一种有效提高抗性淀粉含量的物理改性方式, 以苦荞粉作为基本原料复配其他谷物粉可制作出高抗性淀粉含量的苦荞健康食品。然而, 苦荞多酚与淀粉相互作用的具体方式和相关机制仍有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 林汝法. 苦荞举要[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2013: 46-48.
- [2] 国旭丹. 苦荞多酚及其改善内皮胰岛素抵抗的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013: 35.
- [3] 谭玉荣, 陶兵兵, 关郁芳, 等. 苦荞类黄酮的研究现状及展望[J]. 食品工业科技, 2012, 33(18): 377-381. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.18.092.
- [4] 杜双奎, 李志西, 于修焯. 荞麦淀粉研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(2): 72-75. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2003.02.017.
- [5] IKEDA K, KISHIDA M, KREFT I, et al. Endogenous factors responsible for the textural characteristics of buckwheat products[J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 1997, 43: 101-111.

- [6] ZHU Fang. Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat[J]. Food Chemistry, 2016, 203: 231-245. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.02.050.
- [7] JUAN A, GIMENEZ B, HENRYK Z. Buckwheat as a functional food and its effects on health[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(36): 7896-7913. DOI:10.1021/acs.jafc.5b02498.
- [8] ZHU Fang. Interactions between starch and phenolic compound[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 43(2): 129-143. DOI:10.1016/j.tifs.2015.02.003.
- [9] 吕霞, 叶发银, 刘嘉, 等. 膳食多酚对淀粉消化吸收的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(6): 134-139. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2015.06.027.
- [10] 田汉英, 国旭丹, 李五霞, 等. 不同处理温度对苦荞抗氧化成分的含量及其抗氧化活性影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(11): 19-23; 50.
- [11] 于智峰. 苦荞黄酮大孔树脂精制工艺及抗氧化特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007: 47-48.
- [12] GAO Qinghan, WU Chunsen, YU Jingang, et al. Textural characteristic, antioxidant activity, sugar, organic acid, and phenolic profiles of 10 promising jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) selections[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(11): 1218-1225. DOI:10.1111/j.1750-3841.2012.02946.x.
- [13] LIU Hang, GUO Xudan, LI Wuxia, et al. Changes in physicochemical properties and *in vitro* digestibility of common buckwheat starch by heat-moisture treatment and annealing[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 132: 237-244. DOI:10.1016/j.carbpol.2015.06.071.
- [14] 缪铭, 江波, 张涛, 等. 不同品种鹰嘴豆淀粉的理化性质研究[J]. 食品科学, 2008, 29(6): 79-82.
- [15] 高群玉, 吴磊, 刘垚. 甘薯淀粉糊性质的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(8): 153-155. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2008.08.037.
- [16] LI Wenhao, CAO Fang, FANG Jing, et al. Physically modified common buckwheat starch and their physicochemical and structural properties[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 40: 237-244. DOI:10.1016/j.foodhyd.2014.03.012.
- [17] GONI I, GARCIA A A, SAURA C F, et al. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index[J]. Nutrition Research, 1997, 17(3): 427-437. DOI:10.1016/S0271-5317(97)00010-9.
- [18] 顾娟, 洪雁, 顾正彪. 荞麦淀粉理化性质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(4): 36-39. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2008.04.025.
- [19] WU Yue, LIN Qinlu, CHEN Zhengxing, et al. The interaction between tea polyphenols and rice starch during gelatinization[J]. Food Science and Technology International, 2011, 17(6): 569-577. DOI:10.1177/1082013211399656.
- [20] CHAI Yanwei, WANG Mingzhu, ZHANG Genyi. Interaction between amylose and tea polyphenols modulates the postprandial glycemic response to high-amylose maize starch[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(36): 8608-8615. DOI:10.1016/j.tifs.2015.02.003.
- [21] XIAO H X, LIN Q L, LIU G Q, et al. Effect of green tea polyphenols on the gelatinization and retrogradation of rice starches with different amylose contents[J]. Journal of Medicinal Plants Research, 2011, 5: 4298-4303.
- [22] KARUNARATNE R, ZHU F. Physicochemical interactions of maize starch with ferulic acid[J]. Food Chemistry, 2016, 199: 372-379. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.12.033.
- [23] ZHU Fan, CAI Yizhong, SUN Mei, et al. Effect of phytochemical extracts on the pasting, thermal, and gelling properties of wheat starch[J]. Food Chemistry, 2009, 112(4): 919-923. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.06.079.
- [24] ZHU Fan, CAI Yizhong, SUN Mei, et al. Effect of phenolic compounds on the pasting and textural properties of wheat starch[J]. Starch-Stärke, 2008, 60(11): 609-616. DOI:10.1002/star.200800024.
- [25] ZHANG H H, SUN B H, ZHANG S K, et al. Inhibition of wheat starch retrogradation by tea derivatives[J]. Carbohydrate Polymer. 2015, 134: 413-417. DOI:10.1016/j.carbpol.2015.08.018.
- [26] WU Y, CHEN Z X, LI X X, et al. Effect of tea polyphenols on the retrogradation of rice starch[J]. Food Research International, 2009, 42: 221-225. DOI:10.1016/j.foodres.2008.11.001.
- [27] DILEK L A, NANCY D T, CASSANDRA M M, et al. Effects of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) moench] crude extracts on starch digestibility, Estimated Glycemic Index (EGI), and Resistant Starch (Rs) contents of porridges[J]. Molecules, 2012, 17(9): 11124-11138. DOI:10.3390/molecules170911124.
- [28] ZHANG Liming, YANG Xin, LI Shan, et al. Preparation, physicochemical characterization and *in vitro* digestibility on solid complex of maize starches with quercetin[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(3): 787-792. DOI:10.1016/j.lwt.2010.09.001.
- [29] 王斯慧, 白银花, 黄婉凌, 等. 苦荞黄酮对 α -淀粉酶的抑制作用研究[J]. 食品工业, 2012, 33(3): 109-111.
- [30] HUNG P V, PHAT N H, PHIN T L. Physicochemical properties and antioxidant capacity of debranched starch-ferulic acid complexes[J]. Starch-Stärke, 2013, 65(5/6): 382-389. DOI:10.1002/star.201200.