

挤压膨化茯苓复合营养粉冲调性研究及营养评价

The raw material ratio and quality evaluation of *Poria cocos* compound nutrition powder

李学琴¹ 秦礼康¹ 张秀军²

LI Xue-qin¹ QIN Li-kang¹ ZHANG Xiu-jun²

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州森泰灵宝实业股份有限公司, 贵州 黎平 557300)

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Sentailingbao Industrial Corporation, Liping, Guizhou 557300, China)

摘要:为研发具药食功效的茯苓复合营养粉,将茯苓以10%, 20%, 30%, 40%的添加量分别与薏米、红米、碎稻米混合后,采用双螺杆挤压膨化制成营养粉,对其冲调特性及感官进行跟踪测定及评价。结果表明,在茯苓添加量为20%的条件下,复合营养粉不仅糊化度、膨化度、水溶性指数(WSI)、吸水指数(WAI)、黏度、鼻饲管流动性、分散时间、分散稳定时间等冲调特性及感官较好,而且茯苓水溶性多糖含量增加了53.96%~59.38%,同时富集了薏苡仁酯或红米多酚等功能成分。

关键词:茯苓;复合营养粉;挤压膨化;冲调特性;营养评价

Abstract: Through mixing *Poria cocos* with adlay, red rice and broken rice by 10%, 20%, 30% and 40% respectively, a *Poria cocos* compound nutrition powder with efficacy of both food and medicine was developed. The changes of dispersibility property and sensory were evaluated. The results showed that, under the condition of adding *Poria cocos* by 20%, the dispersibility properties including gelatinization degree, extrusion degree, water solubility index (WSI), water absorption index (WAI), viscosity, nasogastric feeding liquidity, dispersion time, dispersion stability time, and sensory index were relatively better among the three kinds of nutrition powder, in which water soluble polysaccharide of poria increased by 53.96%~59.38%. Moreover, functional components including coixenolides and red rice polyphenols were abundant, and the product quality improved significantly.

Keywords: *Poria cocos*; composite nutrition powder; extrusion; dispersibility property; nutritional evaluation

基金项目:贵州省重大科技专项计划项目(编号:黔科合重大专项字〔2014〕6023);企业横向项目(编号:H700465172216)

作者简介:李学琴,女,贵州大学在读硕士研究生。

通信作者:秦礼康(1965—),男,贵州大学教授,博士。

E-mail: likanqing@126.com

收稿日期:2017-10-20

茯苓为多孔菌科真菌茯苓的干燥菌核,是一种药食同源佳品^[1]。据《神农本草经》记载,茯苓单独或与其他中药配伍,可治疗水肿尿少、脾虚少食、便溏泄泻、惊悸失眠等多种疾病^[2],加入食品可起到利水渗湿、健脾宁心等保健功效^[3]。现代科学研究表明,茯苓中含有的多糖及三萜类成分作为其最主要的功能活性成分^[4-5],具有退黄疸^[6]、催眠^[7]、利尿^[8]、降糖^[9]、降脂^[10]、抗氧化^[11]、免疫调节^[12]、抗癌^[13]、抗肿瘤^[14]、防结石^[15]、抗炎^[16-17]等一系列的药理作用。目前,约80%的中药方剂及300余种中成药制剂中均含有茯苓,每年药用、食用或出口近 2.0×10^5 t。但临床研究^[18-19]表明,茯苓中能发挥药理活性作用的为仅占其总量不到1%的水溶性多糖,而占其总量80%以上的碱溶性多糖由于存在较强的分子间和分子内氢键作用而难溶于水,以至于其临床给药途径有所局限,活性下降。同时,正因其水溶性的局限,在食品中应用较少,仅有添加少量茯苓粉的茯苓面条^[20]、茯苓面包^[21]等产品开发。中国茯苓资源极为丰富,多个省份均有种植^[22],尤其贵州,约占全国茯苓总产量的30%,具有明显的产业优势和品质特色。

挤压膨化是集混合、搅拌、破碎、加热、蒸煮、杀菌、膨化及成型等为一体的高新技术,食品物料在挤压机腔体高温、高压和高剪切作用下,淀粉分子有序结构遭到破坏,发生糊化和降解;蛋白质分子空间结构被打乱,使产品形成多孔气态空间结构;脂肪发生部分水解后与直链淀粉、蛋白质形成了复合物,降低挤出物中游离脂肪酸的含量^[23-24]。但因茯苓主含多糖和三萜,少含淀粉和纤维,单独难以膨化。因此,本研究拟采用茯苓分别配伍薏米、红米、碎稻米等高淀粉质特色原料进行挤压膨化,制成茯苓复合营养粉,探讨在高温、高压、高剪切力作用下茯苓水溶性多糖是否有所增加,同时研究不同原料功能成分对茯苓复合营养粉品质的影响,以期对茯苓高值化食品开发提供新途径。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;试剂

茯苓片:热风干燥,水分含量7%左右,贵州森泰灵宝实业股份有限公司;

薏米、红米、碎稻米:市售;

考马斯亮蓝 G-250:生化试剂,南京森贝伽生物科技有限公司;

牛血清白蛋白:生化试剂,上海源叶生物科技有限公司;

去氢土莫酸:标准品,成都埃法生物科技有限公司;

3-表去氢茯苓酸、去氢茯苓酸:标准品,武汉天植生物科技有限公司;

所有分离用有机溶剂均为分析纯,所用标准品纯度均大于98%。

1.2 仪器与amp;设备

膨化食品机:SLG70-II型,济南晨阳科技开发有限公司;

超声波清洗器:SG8200HPT型,上海冠特超声仪器有限公司;

电子天平:AR224CN型,奥豪斯仪器(上海)有限公司;

数字黏度计:SNB-2型,上海天美天平仪器有限公司;

万能超微粉碎机:XDW-6J型,济南达微机械有限公司;

鼻饲管:12号,江苏嘉鼎诚医疗器械有限公司;

台式高速冷冻离心机:H2-16KR型,湖南可成仪器设备有限公司;

紫外可见分光光度计:L5S型,上海仪电分析仪器有限公司;

脂肪测定仪:SER148型,意大利威尔普公司;

高效液相色谱仪:Agilent 1200系列,美国安捷伦科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 茯苓复合营养粉膨化

(1) 工艺流程:

茯苓粉 }
薏米或红米或碎稻米粉 } 不同比例均匀混合→调节水分→膨化→粉碎→过筛→成品

(2) 物料配比:将茯苓粉分别与薏米、红米、碎稻米粉按4种不同比例混合进行膨化,物料配比试验设计见表1。

表1 茯苓复合营养粉配比试验设计

Table 1 Design of proportioning test on *poria cocos* composite nutrition powder %

添加量	10	20	30	40
茯苓添加量	10	20	30	40
薏米或红米或碎稻米添加量	90	80	70	60

(3) 操作要点:选用新鲜、无霉变、无病虫害的茯苓片(干燥)、薏米、红米及碎稻米为原料,分别粉碎过80目筛后将茯苓粉分别与3种原料粉末进行不同比例的复配并混合均匀,同时将混合原料水分调节至17%左右。待膨化设备机器预热好后,在I区温度50℃、II区温度120℃、III区温度

150~160℃、螺杆转速160 r/min的条件下进行膨化,膨化产品立即放入60℃干燥箱中进行干燥,再用超微粉碎机粉碎,过100目筛,制得茯苓复合营养粉。

1.3.2 测定方法

(1) 糊化度的测定:参照文献[25]¹⁵。

(2) 膨化度的测定:参照文献[26]¹⁰。

(3) 水溶性指数(WSI)及吸水指数(WAI)的测定:根据文献[27]。

(4) 黏度、鼻饲管流动性、分散时间、分散稳定时间的测定:参照文献[28]¹⁰⁻¹²。

(5) 水分的测定:按GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》执行。

(6) 可溶性蛋白质的测定:采用考马斯亮蓝G-250染色法^[29]。

(7) 粗脂肪的测定:按GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》执行。

(8) 薏苡仁酯的测定:参照文献[30]。

(9) 红米多酚的测定:采用Foiln-Ciocalte法^[31],用没食子酸做标准物。

(10) 茯苓水溶性多糖的测定:采用苯酚—硫酸法^[32],在蒸馏水为溶剂的体系下测定。复合营养粉中茯苓水溶性多糖含量采用相减法求得,即复合营养粉中总水溶性多糖减去该营养粉中含有的薏米(或红米或碎稻米)水溶性多糖,而复合营养粉中薏米(或红米或碎稻米)水溶性多糖含量则等于全薏米营养粉(或全红米营养粉或全碎稻米营养粉)含有的水溶性多糖乘相应的复配比例。

(11) 3-表去氢茯苓酸、去氢茯苓酸、去氢土莫酸的测定:供试品溶液的制备参照文献[33];色谱分析条件:色谱柱:Hanbon Phecda C₁₈柱(250 mm×4.6 mm,5 μm);柱温30℃;流动相:乙腈(A)-0.1%磷酸水溶液(B)(体积比70:30);流速1.0 mL/min;紫外检测波长210 nm;进样量10 μL。

1.3.3 感官评定 分别称取各营养粉10 g,按1:6(g/mL)的比例加入80℃的开水冲调并搅拌均匀,由10人组成评审小组对茯苓复合营养粉进行感官评定。复合营养粉感官评分标准参考吴广森的标准^[34]略作修改(见表2)。茯苓复合营养粉感官评分为形态、色泽、香气、滋味、回味、口感、黏性得分的总和。

1.3.4 数据处理方法 采用SPSS 16.0方差分析软件进行显著性分析,以α=0.05作为显著性检验水准;原始数据输入Microsoft excel 2007软件进行画图分析。

2 结果与分析

2.1 原料与amp;配比对茯苓复合营养粉膨化效果的影响

不同原料及添加量对营养粉产品膨化度的影响见图1。膨化度是衡量产品膨化效果的直接指标,膨化度越大,产品的膨化效果越好。产品的膨化度主要受原料淀粉、蛋白质及脂肪含量的影响。原料淀粉、蛋白质含量越高,产品膨化度越大;脂肪含量越高则产品膨化度越小^{[25]5}。由图1可见,全碎稻米粉、全薏米粉、全红米粉的膨化度分别为(2.751±

0.017), (2.704±0.010), (2.640±0.006), 基本优于陈琳等^[35]用正交试验优化的参数制得的膨化糯米速溶营养粉的膨化度(2.65)。虽然薏米的淀粉含量(65.6%)低于红米(74.6%)

表 2 茯苓复合营养粉感官评定标准

Table 2 Sensory evaluation standard on *Poria cocos* composite nutrition powder

指标	感官评定标准	评分
形态 (15分)	呈均匀糊状,具有一定流动性,分层时间慢且不明显	11~15
	能够呈现糊状,但糊状不均匀,略有分层或结块现象	7~10
	糊状较差,明显分层或结块	1~6
色泽 (15分)	有原料膨化后应有的色泽,且均一柔和有光泽	11~15
	颜色发黑或暗淡,较均一,有光泽	7~10
	呈现其他非正常颜色,无光泽	1~6
香气 (20分)	有原料经膨化后的特有香气,气味纯正浓郁	15~20
	有原料经膨化后的特有香气,但气味较淡或略带焦糊味	7~14
	香味不纯正,有生薏米/大米/红米味或者焦苦味	1~6
滋味 (20分)	入口味道浓郁,滋味浓	15~20
	入口味道一般,能够感觉到膨化薏米/大米/红米粉滋味	7~14
	滋味较差,可以感觉到生薏米/大米/红米味或者焦糊味	1~6
回味 (10)	回味浓郁,且存在时间长	7~10
	有回味,较淡,存在时间短	4~6
	无回味	1~3
口感 (15分)	入口细腻,粗细均一,口感舒适	11~15
	入口较为细腻,略感粗细不均匀	7~10
	入口粗糙,粗细不均匀,口感不舒适	1~6
黏性 (5分)	黏性较好	4~5
	黏性一般	3
	黏性较差	1~2

和碎稻米(77.2%),但在蛋白质含量上,薏米(15.3%)和碎稻米(14.7%)显著高于红米(8.8%),膨化时易形成疏松多孔的空间结构,使得碎稻米和薏米膨化度显著高于红米。随着茯苓添加量的上升,营养粉的膨化度呈显著的下降趋势,当添加量达到 40% 时,膨化度相比未加茯苓时分别下降了 24.36%(碎稻米),31.48%(薏米),35.61%(红米),这是由于茯苓本身不含淀粉、少含蛋白质,茯苓添加量增大,原料总体淀粉及蛋白质含量降低,极大地影响了产品的膨化度。

2.2 原料与配比对茯苓复合营养粉冲调性能的影响

营养粉冲调性能主要包括冲调消化性(糊化度)、冲调溶解性(水溶性指数、吸水指数)、冲调流动性(黏度、鼻饲管流动性)、冲调分散性(分散时间)和冲调沉降性(分散稳定时间)。

2.2.1 原料与配比对茯苓复合营养粉糊化度的影响 不同原料及添加量对营养粉产品糊化度的影响见图 2。糊化度可用于表征营养粉消化性。在膨化过程中,高温高压作用使得淀粉分子氢键、1-4 糖苷键断链,淀粉颗粒发生一定程度的糊化与降解。原料经膨化后淀粉的糊化度越高,越容易被人体消化吸收^{[26]4-5}。由图 2 可见,当原料中未添加茯苓时,营养粉糊化度为全红米粉(91.553%±1.286%)>全碎稻米粉(89.230%±1.045%)>全薏米粉(87.822%±1.023%),与曾洁等^[36]报道的挤压膨化玉米粉的糊化度(90.1%)相似。全红米粉与全碎稻米粉、全碎稻米粉与全薏米粉在糊化度上的差异均不显著,但全红米粉与全薏米粉在糊化度上表现出极显著差异,这是由于薏米蛋白质含量(13.98%)高于碎稻米(12.53%)高于红米(7.16%),在挤出过程中蛋白质吸收较多的水分,抑制了淀粉的糊化^{[28]3}。随着茯苓添加量的增加,3 种营养粉产品糊化度均呈下降趋势。这可能是茯苓中碱溶性多糖含量高,添加茯苓的量越多,越不利于产品的膨化,从而导致了糊化度的降低。

2.2.2 原料与配比对茯苓复合营养粉水溶性指数和吸水指数的影响 不同原料及添加量对营养粉产品水溶性指数及吸水指数的影响见图 3。水溶性指数(WSI)与吸水指数(WAI)分别表示营养粉溶于水的能力以及吸水膨胀的大小。WAI 的大小反映淀粉的糊化能力,人体食用较大吸水指数的食品,会产生饱腹感;WSI 的大小反映淀粉的降解程度,较

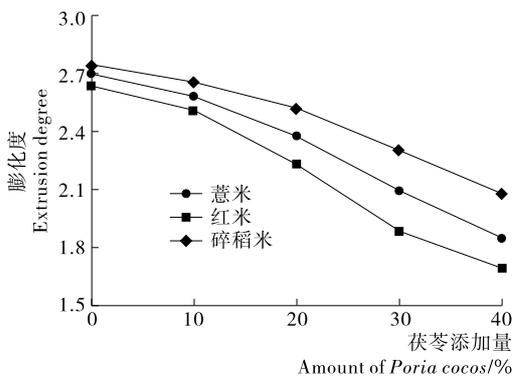


图 1 原料及配比对营养粉膨化度的影响

Figure 1 Effect of raw material and proportion on extrusion degree of nutrition powder

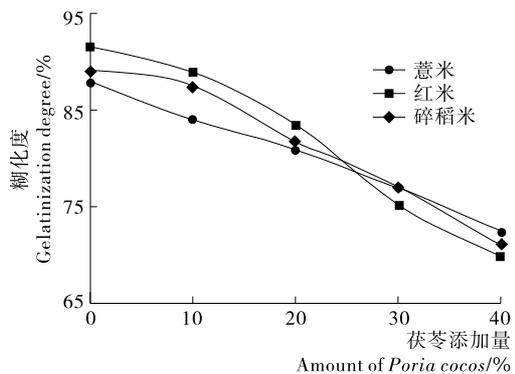


图 2 原料及配比对营养粉糊化度的影响

Figure 2 Effect of raw material and proportion on gelatinization degree of nutrition powder

大的水溶性指数说明产品中高分子物质少,容易被人体吸收的物质含量多^{[28]4-5}。由图3(a)可知,全薏米营养粉(18.600%±0.905%)、全碎稻米营养粉(24.373%±1.074%)、全红米营养粉(27.280%±0.985%)三者之间的水溶性指数存在极显著差异,其中以添加红米的营养粉溶于水能力最强,添加碎稻米的营养粉次之,添加薏米的营养粉较差。随着茯苓添加量的升高,各营养粉水溶性指数均呈下降趋势,且茯苓添加量为10%,20%,30%,40%的各营养粉的水溶性指数两两差异均显著。产品由于茯苓添加量的升高而在水溶性上表现出的差异极大一部分是茯苓本身水溶性差导致的。由图3(b)可见,各营养粉吸水指数的变化趋势与其糊化度的基本一致;在茯苓添加量<20%时,营养粉吸水指数为添加薏米<添加碎稻米<添加红米,但当茯苓添加量>20%后,营养粉吸水指数:添加薏米<添加红米<添加碎稻米,添加薏米的营养粉吸水指数与添加其他2种原料的营养粉吸水指数相差较大,极有可能是由于薏米脂肪含量(8.27%)显著高于红米(2.66%)和碎稻米(1.95%)的,在膨化过程中脂肪发生水解与直链淀粉形成复合物^[23],导致了产品的吸水能力降低。

2.2.3 原料与配比对茯苓复合营养粉黏度和鼻饲管流动性的影响 不同原料及添加量对营养粉产品黏度及鼻饲管流动性的影响见图4。具有良好冲调性的物料,在冲调时形成的糊状物黏度适中,质构细腻均匀。鼻饲管流动性是评价营养粉流动性的一个重要指标,一般黏度太高的营养粉,其相应的鼻饲管流动性较差^{[28]15-16}。由图4(a)可知,当添加比例相

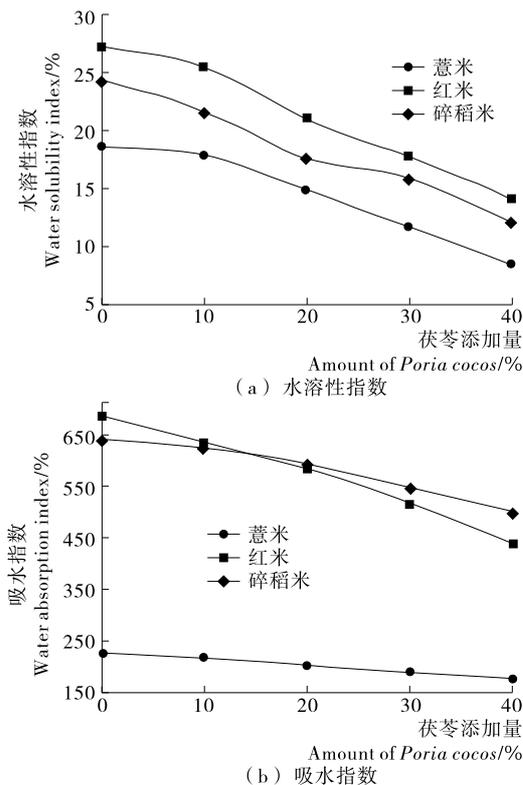


图3 原料及配比对营养粉水溶性指数、吸水指数的影响
Figure 3 Effect of raw material and proportion on WSI, WAI of nutrition powder

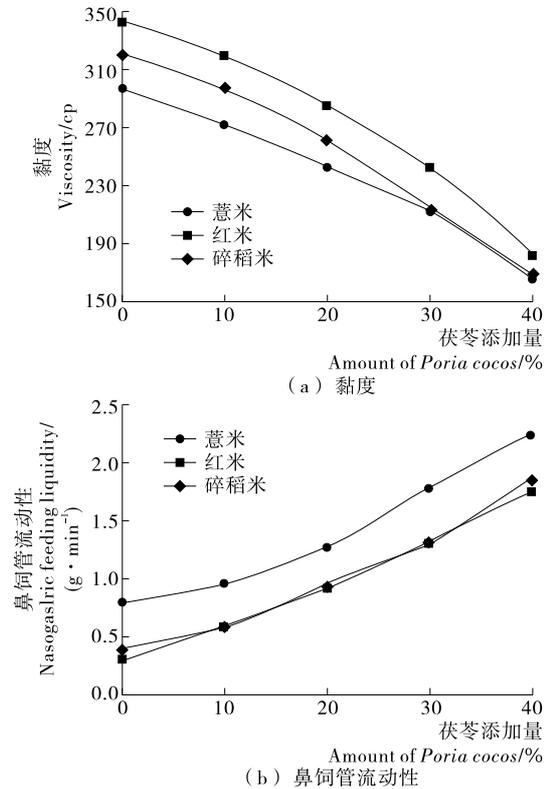


图4 原料及配比对营养粉黏度、鼻饲管流动性的影响
Figure 4 Effect of raw material and proportion on viscosity, nasogastric feeding liquidity of nutrition powder

同时,添加红米的营养粉黏度最大,其次为碎稻米,最后为薏米,且黏度之间均呈显著差异,(仅茯苓:薏米/碎稻米=3:7时二者黏度差异不显著)。随着茯苓添加量的上升,营养粉黏度呈显著的下降趋势,相比未添加茯苓的营养粉,下降率分别达到44.35%(薏米),47.09%(红米),47.45%(碎稻米)。由图4(b)可见,由于全薏米营养粉、全红米营养粉、全碎稻米营养粉黏度相比添加茯苓的营养粉较高,导致其在鼻饲管中停留在管壁上,不易流动;随着茯苓添加量的上升,营养粉黏度不断下降,在鼻饲管中的流动速度加快。

2.2.4 原料与配比对茯苓复合营养粉分散时间和分散稳定时间的影响 不同原料及添加量对营养粉产品分散时间及分散稳定时间的影响见图5。冲调分散性是营养粉冲调特性中重要的性质,是决定产品冲调性好坏的重要标准;冲调沉降性反映了溶液的稳定性。分散时间、分散稳定时间分别是评价营养粉冲调分散性、冲调沉降性的重要指标^{[28]4}。淀粉含量较高的物料与水接触时,会在淀粉与水交界处迅速形成糊化层,此糊化层具有较高的黏度和不易透水性,在机械搅拌下,可以包容干粉形成团块,使得分散时间延长^[37]。由图5(a)可见,当茯苓添加量为10%时,添加红米或碎稻米的营养粉与其相应全粉在分散时间上的差异不显著;随着茯苓添加量的增加,营养粉分散时间呈先慢后快的下降趋势,当茯苓添加量达到40%时,与未添加茯苓的营养粉相比,分散时间分别加快了1.89(薏米),1.66(红米),1.81(碎稻米)倍。由图5(b)可见,随着茯苓添加量的增加,虽然营养粉分散时间加快,但同时分散稳定时间也变短,在热水中溶解过后短

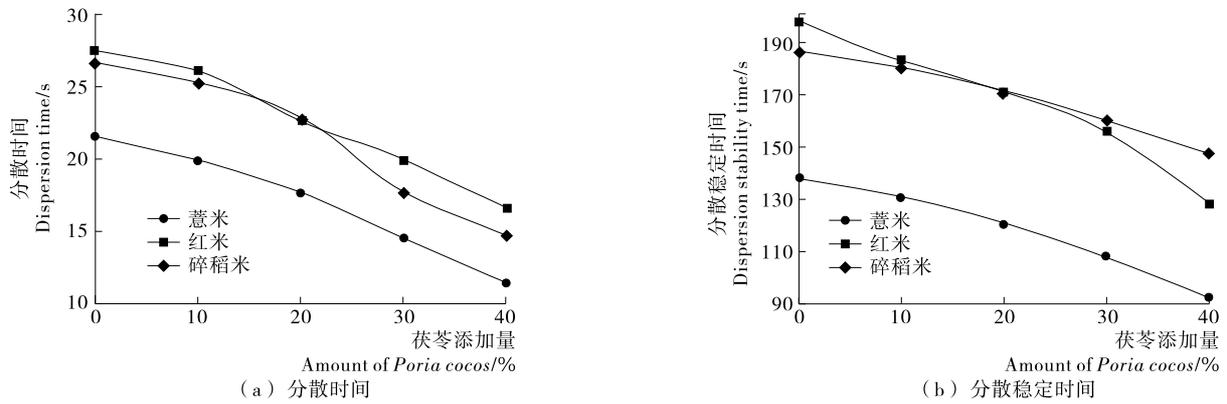


图 5 原料及配比对营养粉分散时间、分散稳定时间的影响

Figure 5 Effect of raw material and proportion on dispersion time, dispersion stability time of nutrition powder

表 3 茯苓复合营养粉的感官评分[†]

Table 3 Sensory evaluation score of *Poria cocos* composite nutrition powder

原料与配比	形态	色泽	香气	滋味	回味	口感	黏性	总分
QY	11.0	14	19.0	19.0	9.0	12.0	3.5	87.5
Y : F = 9 : 1	10.5	14	18.0	17.5	8.0	11.0	3.0	80.5
Y : F = 8 : 2	8.0	13	16.0	16.0	7.0	9.5	3.0	72.5
Y : F = 7 : 3	6.0	11	14.0	13.0	7.5	8.5	2.0	62.0
Y : F = 6 : 4	4.5	9	12.0	11.0	7.5	8.0	1.0	53.0
QH	13.0	8	20.0	20.0	7.0	13.0	4.5	85.5
H : F = 9 : 1	10.0	9	16.0	15.0	7.0	11.5	3.5	78.0
H : F = 8 : 2	10.0	9	15.5	14.5	7.0	10.0	4.0	70.0
H : F = 7 : 3	8.0	10	12.0	12.0	6.5	9.0	3.5	61.0
H : F = 6 : 4	6.0	11	10.0	11.0	7.0	8.0	2.5	55.5
QS	14.0	14	20.0	20.0	7.0	14.0	5.5	94.5
S : F = 9 : 1	13.0	14	16.0	18.0	6.0	13.0	4.0	84.0
S : F = 8 : 2	11.0	14	15.0	16.0	6.0	12.0	3.0	77.0
S : F = 7 : 3	10.0	13	11.0	12.0	7.0	10.5	3.0	66.5
S : F = 6 : 4	7.0	12	9.0	10.0	8.0	8.0	2.0	56.0

[†] QY、QH、QS 分别代表全薏米营养粉、全红米营养粉、全碎稻米营养粉；Y : F、H : F、S : F 分别代表薏米与茯苓、红米与茯苓、碎稻米与茯苓的不同比例复合营养粉。

时间内便出现明显的分层现象,主要是由于茯苓本身不易与水结合,膨化后水溶性虽然有所加强,但加强的比例较小;仅当茯苓添加量为 20% 时,添加红米的营养粉与添加碎稻米的在分散稳定时间上的差异不显著,其他添加比例的 3 种营养粉在分散稳定时间上均呈显著或极显著差异。

2.3 原料与配比对茯苓复合营养粉感官性质的影响

对茯苓复合营养粉的感官评分结果见表 3,变化趋势见图 6。由表 3 及图 6 可见,随着茯苓添加量的上升,3 种营养粉感官评定各个指标的得分基本上都呈下降趋势,是因为茯苓不易溶于水的特性极大地影响了营养粉在形态、黏性和口感等指标上的得分。当茯苓添加量 > 20% 后,营养粉冲调后糊状较差或不成糊状,在食用时能感觉到明显的颗粒感;各营养粉的感官总分为添加碎稻米的营养粉最高,添加薏米的营养粉次之,添加红米的营养粉相比最低,添加碎稻米的营养粉和添加红米的营养粉在形态、滋味、回味、口感、黏性方面都明显优于添加薏米的,但由于红米本身颜色的影响,膨

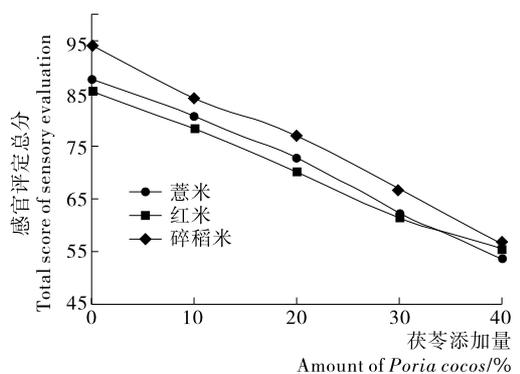


图 6 原料及配比对营养粉感官评定的影响

Figure 6 Effect of raw material and proportion on sensory evaluation of nutrition powder

化后得到的营养粉色泽接近黑色,极大地影响了色泽上的得分,导致了其感官总分低于添加薏米的,但两者在感官总分

上差异呈现不显著性。

2.4 原料与配比茯苓复合营养粉的营养评价

目前,采用挤压膨化法生产茯苓食品的报道甚少。本研究对与薏米、红米、碎稻米配伍制成的3种复合营养粉进行分析检测,其主要营养成分含量结果(表4)显示:通过挤压膨化,复合营养粉产品中茯苓水溶性多糖含量增加了

53.96%~59.38%(未膨化的茯苓原料含水溶性多糖0.517%);膨化对茯苓中3-表去氢茯苓酸、去氢茯苓酸、去氢土莫酸3种主要三萜酸影响较小(未膨化的茯苓原料含3-表去氢茯苓酸0.284 mg/g、去氢茯苓酸0.459 mg/g、去氢土莫酸0.223 mg/g)。此外,复合营养粉产品还富集了薏苡仁酯或红米多酚等功能成分,达到了使产品品质提升的效果。

表4 茯苓复合营养粉主要营养成分含量[†]

Table 4 Main nutritional and functional components of *Poria cocos* composite nutrition powder

原料与配比	水分/ %	脂肪/ %	水溶性蛋 白质/%	薏苡仁酯/ (mg·g ⁻¹)	红米多酚/ (mg·g ⁻¹)	茯苓水溶性多糖/ (mg·g ⁻¹) <i>Poria cocos</i>	表去氢茯苓酸/ (mg·g ⁻¹) <i>Poria cocos</i>	去氢茯苓酸/ (mg·g ⁻¹) <i>Poria cocos</i>	去氢土莫酸/ (mg·g ⁻¹) <i>Poria cocos</i>
QY	9.053	1.819	1.351 8	38.72	/	/	/	/	/
Y:F=9:1	8.975	1.801	1.223 6	35.43	/	8.182	0.276 6	0.460	0.220
Y:F=8:2	8.711	1.758	1.104 7	31.85	/	8.247	0.280 4	0.457	0.228
Y:F=7:3	8.615	1.676	0.973 9	26.59	/	8.111	0.271 7	0.440	0.210
Y:F=6:4	8.546	1.455	0.886 5	23.66	/	8.264	0.267 5	0.468	0.209
QH	9.171	0.656	0.736 7	/	26.477	/	/	/	/
H:F=9:1	8.947	0.493	0.679 1	/	23.961	7.991	0.271 1	0.459	0.223
H:F=8:2	8.773	0.444	0.592 6	/	21.139	8.036	0.291 1	0.445	0.217
H:F=7:3	8.595	0.339	0.525 5	/	18.825	8.162	0.285 9	0.449	0.211
H:F=6:4	8.420	0.253	0.456 4	/	16.292	7.964	0.279 3	0.461	0.232
QS	9.130	0.240	1.273 3	/	/	/	/	/	/
S:F=9:1	9.019	0.200	1.195 8	/	/	8.159	0.286 9	0.474	0.213
S:F=8:2	8.863	0.186	1.101 8	/	/	8.221	0.280 7	0.462	0.203
S:F=7:3	8.730	0.144	0.938 3	/	/	8.094	0.284 2	0.459	0.217
S:F=6:4	8.596	0.137	0.846 2	/	/	8.177	0.275 6	0.467	0.209

[†] QY、QH、QS分别代表全薏米营养粉、全红米营养粉、全碎稻米营养粉;Y:F、H:F、S:F分别代表薏米与茯苓、红米与茯苓、碎稻米与茯苓的不同比例复合营养粉。

3 结论

在复合营养粉膨化效果及冲调性能的8个评价指标中,茯苓添加量与糊化度、膨化度、水溶性指数、吸水指数、黏度、鼻饲管流动性、分散时间及分散稳定时间均呈负相关关系,仅与鼻饲管流动性呈正相关关系。综合考虑营养粉的消化性、溶解性、流动性、分散性、沉降性等冲调性能与感官指标,茯苓添加量以20%为宜。

选用茯苓分别和薏米、红米、碎稻米复配挤压膨化得到的3种复合营养粉,可富集薏米多糖、红米多酚、茯苓水溶性多糖及三萜酸等功能成分,具药食两用的功效,适合高血脂、高血压、免疫力低下的人群食用,冲调方便,营养丰富。

薏米复合营养粉黏度相对较低,适用于不能正常进食的临床病人,通过鼻饲管喂食时较容易流动,不至于粘在管壁上;茯苓与红米、碎稻米复合营养粉在冲调时糊状较好,黏度适中,流动性较好,可作为早餐食品或婴幼儿辅食,适合多种人群食用。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 2010年版. 北京:中国医药科技出版,2010:224.

[2] WANG Yi-feng, ZHANG Mei. Chemical components and molecular mass of six polysaccharides isolated from the sclerotium of *Poria cocos*[J]. Carbohydrate Research, 2004, 339(2): 327-334.

[3] 杨鹏飞,刘超,王洪庆,等. 茯苓的化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(6): 1 030-1 033.

[4] SUN Yi-chun. Biological activities and potential health benefits of polysaccharides from *Poria cocos* and their derivatives[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014(68): 131-134.

[5] UKIYA M, AKIHISA T, TOKUDA H, et al. Inhibition of tumor-promoting effects by poricoicacids G and H and other lanostane-type triterpenes and cytotoxic activity of poricoic acids A and G from *Poria cocos*[J]. J Nat Prod, 2002, 65: 462-465.

[6] 刘成,杨宗国,陆云飞,等. 茯苓多糖退黄疸作用的实验研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(10): 195-198.

[7] 陈春霞. 羧甲基茯苓多糖的保肝与催眠作用[J]. 食用菌, 2003(S1): 46-47.

[8] 李森,谢人明,孙文基. 茯苓,猪苓,黄芪利尿作用的比较[J]. 中药材, 2010(2): 264-267.

[9] LI T H, HOU C C, CHANG C L, et al. Anti-Hyperglycemic Properties of Crude Extract and Triterpenes from *Poria cocos* [J]. Evid Based ComBlement Alternat Med, 2011(5): 128 402.

[10] 苗华,张旭. 茯苓结合有氧运动对大鼠基于代谢组学表征的血

- 脂紊乱相关指标的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2013, 32(11): 1 013-1 017.
- [11] 程水明, 桂元, 沈思, 等. 茯苓皮三萜类物质抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 27-30.
- [12] 王青, 胡明华, 董燕, 等. 茯苓多糖对免疫抑制小鼠粘膜淋巴组织及脾脏中 CD3+ 和 CD19+ 细胞变化的影响[J]. 中国免疫学杂志, 2011, 27(3): 228-231.
- [13] LING Hui, ZHANG Yao-chun, NG Ka-yun, et al. Pachymic acid impairs breast cancer cell invasion by suppressing nuclear factor-B-dependent matrix metalloproteinase-9 expression[J]. Breast Cancer Res Treat, 2011, 126(3): 609-620.
- [14] AKIHISA T, NAKAMURA Y, TOKUDA H, et al. Triterpene acids from *Poria cocos* and their anti-tumor-promoting effect[J]. J Nat Prod, 2007, 70(6): 948-953.
- [15] 王司军. 茯苓水溶性多糖预防大鼠肾结石形成作用机制研究[D]. 济南: 山东大学, 2012: 68-72.
- [16] 侯安继, 彭施萍, 项荣. 茯苓多糖抗炎作用研究[J]. 中药药理与临床, 2003, 19(3): 15-16.
- [17] NUKAYA H, YAMASHIRO H, FUZAKAWA H, et al. Isolation of inhibitors of TPA-induced mouse ear edema from hohlen, *Poria cocos*[J]. Chem Pharm Bull, 1996, 44(4): 847-849.
- [18] KE Rui-dian, LIN Shun-fa. Analysis of chemical composition polysaccharides from *Poria cocos* wolf and its anti-tumor activity by NMR spectroscopy[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 80(1): 31-34.
- [19] HUANG Qi-lin, YONG Jin, ZHANG Li-na, et al. Structure, molecular size and antitumor activities of Polysaccharides from *Poria cocos* mycelia produced in fermenter[J]. Carbohydrate Polymer, 2007, 70(3): 324-333.
- [20] 钟昔阳, 贾继伟, 王士雷, 等. 茯苓面条加工工艺中复合磷酸盐和食用碱工艺参数的响应面法优化[J]. 安徽农业科学, 2013(8): 3 659-3 662.
- [21] 程水明, 饶东, 周国钰. 茯苓面包的研制[J]. 食品工业科技, 2008(5): 180-182.
- [22] 於小波, 管俊峰. 我国茯苓药材主要产区资源调查[J]. 时珍国医国药, 2011(3): 714-716.
- [23] 杜双奎, 魏益民, 张波. 挤压膨化过程中物料组分的变化分析[J]. 中国粮油学报, 2005(3): 39-43, 47.
- [24] 魏益民, 蒋长兴. 挤压膨化工艺参数对产品质量影响概述[J]. 中国粮油学报, 2005(2): 33-36, 40.
- [25] 郑大朋. 面包糠挤压膨化工艺研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
- [26] 陈子意. 槟榔芋全粉挤压膨化特性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015.
- [27] 石磊. 颗粒度及糊化度对玉米粉理化性质的影响[J]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2014: 10-15.
- [28] 张凌泓. 临床营养粉剂的冲调性评价及影响因素分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [29] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 124-125.
- [30] 党娟, 秦礼康, 金毅. 不同品种糙薏米萌芽特性比较及其工艺优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 250-255.
- [31] 胡柏, 张宇, 张晖. 红米多酚对体外碳水化合物消化和吸收的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(10): 134-139.
- [32] 董群, 郑丽伊, 方积年. 改良的苯酚-硫酸法测定多糖和寡糖含量的研究[J]. 中国药理学杂志, 1996, 31(9): 550-553.
- [33] 杨鹏飞, 李保明, 王振中. HPLC 法同时测定桂枝茯苓胶囊中 4 种茯苓三萜酸成分[J]. 中草药, 2016, 47(18): 3 215-3 218.
- [34] 吴广森. 紫糯全麦粉的挤压膨化处理及其应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015: 14-15.
- [35] 陈琳, 郑喜群, 刘晓兰. 膨化糯玉米速溶营养粉的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(8): 161-163.
- [36] 曾洁, 李新华, 程玉来, 等. 糯玉米粉-膨化粉混粉的功能性质研究[J]. 中国粮油学报, 2006(6): 38-42.
- [37] 李佳宁. 多元营养粉的冲调性改良[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 7-8.
- (上接第 158 页)
- [15] KHOUDJA N K, BOULEKBACHE-MAKHOLOUF L, MADDANI K. Antioxidant capacity of crude extracts and their solvent fractions of selected Algerian *Lamiaceae*[J]. Industrial Crops and Products, 2014, 52: 177-182.
- [16] 严鑫, 王委, 刘量. 绞草萃取物体外抗氧化活性及其总酚含量比较[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 143-146.
- [17] LARRAURI M, ZUNINO M P, ZYGADLO J A, et al. Chemical characterization and antioxidant properties of fractions separated from extract of peanut skin derived from different industrial processes[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 94: 964-971.
- [18] 吴永祥, 王祥, 江海涛, 等. 不同极性柳叶蜡梅叶萃取物总酚含量及其抗氧化、抑菌能力研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 150-154.
- [19] 付晶晶, 肖海芳, 宋元达. 金银花等 6 种植物提取物总黄酮含量与抗氧化性相关性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 159-163.
- [20] SAHREEN S, KHAN M R, KHAN R A. Evaluation of antioxidant activities of various solvent extracts of *Carissa opaca* fruits[J]. Food Chemistry, 2010, 122(4): 1 205-1 211.
- [21] 汪光华, 唐树平, 彭名军, 等. 高良姜中 4 种黄酮化合物的体外抗氧化能力及抑菌活性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 168-172.
- [22] DUBE P, MEYER S, MARNEWICK J L. Antimicrobial and antioxidant activities of different solvent extracts from fermented and green honeybush (*Cyclopia intermedia*) plant material[J]. South African Journal of Botany, 2017, 110: 184-193.
- [23] 高洁, 董文宾, 王勇, 等. 山皂荚多糖的提取工艺及抑菌活性[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 145-149.
- [24] 吴永祥, 杨庆, 李林, 等. 豆腐柴叶挥发油化学成分及其抗氧化和抑菌作用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(1): 45-51.
- [25] 孟醒, 李安平, 余江帆, 等. 平卧菊三七提取物体外抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 145-150.
- [26] 陆俊, 罗丹, 张佳琦, 等. 三叶木通不同部位多酚、黄酮含量及抗氧化活性比较[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 132-135.