

冯进,丁秋霞,柴智,等. 杂粮膨化营养粉制备工艺优化及其消化特性研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(11):217-223.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.11.043

杂粮膨化营养粉制备工艺优化及其消化特性研究

冯进,丁秋霞,柴智,崔莉,黄午阳,李莹,李春阳

(江苏省农业科学院农产品加工研究所,江苏南京 210014)

摘要:以混合杂粮粉(蚕豆粉:荞麦粉:魔芋精粉质量比 10:9:1)为原料制备杂粮膨化营养粉,以可溶性膳食纤维(SDF)为指标,结合单因素试验和响应面试验优化了制备工艺,并通过体外胃肠道模型研究了产品的消化特性。结果表明,杂粮膨化营养粉制备的最佳参数组合为:物料含水量 16%,Ⅲ区挤压温度 142℃,螺杆转速 146 r/min,在该条件下,产品中 SDF 含量达到 $(18.13 \pm 0.15)\%$ 。扫描电子显微镜结果显示,原料粉体颗粒发生了有效膨胀,原有的致密结构受到破坏。挤压膨化营养粉的碳水化合物水解指数,估计血糖生成指数和估计血糖负荷指数等均显著低于杂粮原料粉,并且达到了低血糖生成指数产品标准。

关键词:杂粮;膨化营养粉;挤压膨化;可溶性膳食纤维;模拟消化;血糖生成指数

中图分类号: TS255.36 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)11-0217-05

随着经济的发展和健康意识的提高,我国消费者对主食的追求也逐渐从“精白米面”向全谷物和杂豆食品转变。一方面,杂豆和全谷物富含多种维生素和矿物质,营养成分比较全面^[1]。另一方面,这类产品中的膳食纤维含量高,碳水化合物消化慢,血糖生成指数低,对“三高”等代谢综合征可以起到防控作用^[2]。2016 版的中国居民膳食指南也指出,正常成年人每天应保证 50~150 g 全谷物和杂豆的摄入,约占饮食中谷薯类食物总摄入量的一半。发展全谷物食品产业和杂粮食品产业是我国粮食产业落实中央建设“健康中国”伟大战略的重要组成部分,也是我国在“十三五”期间乃至更长时间内粮食供给侧结构改革的重要举措。

目前,市场上常见的杂豆和全谷物产品主要有发芽糙米、全麦粉、全麦面包、燕麦片等,产品形式较为单一且同质化现象严重。杂豆和全谷物类产品往往口感粗糙、重调性差、营养消化利用度低,给加工带来了困难,也降低了消费者的购买热情。随着湿法膨化生产设备的日臻完善,全谷物膨化营养粉的创制和应用引起了食品领域科技工作者的广

泛关注^[3]。挤压膨化技术可以通过压力差和水分的闪蒸实现全谷物颗粒的膨胀,并且伴随着淀粉的糊化、蛋白质的变性以及抗营养因子的消减。更重要的是,挤压膨化可以促进不溶性膳食纤维(IDF)向可溶性膳食纤维(SDF)转变,从而有效改善高膳食纤维产品的口感和消化吸收率,提高了消费者的接受程度^[4]。本研究选用蚕豆粉、荞麦粉和魔芋精粉 3 种杂粮为原料,通过挤压膨化处理制备膨化营养粉,以 SDF 为指标优化制备工艺,并通过胃肠模型研究产品的体外消化状况,从而为拓展国内庞大的消费市场提供技术支撑和产品保障。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

苏蚕 3 号蚕豆,江苏省农业科学院经济作物研究所提供;荞麦粉,购自南京孝陵卫市场;魔芋精粉,湖北强森魔芋科技有限公司生产;耐高温 α -淀粉酶(180 U/mg),尤特尔生化有限公司生产;中性蛋白酶(40 U/mg)、葡萄糖苷酶(50 U/mg)、胃蛋白酶(3 000 U/mg)、胰酶(包括蛋白酶 285 U/mg、淀粉酶 288 U/mg 和脂肪酶 56 U/mg)、胆汁盐,上海生工生物工程股份有限公司产品。

KETSE20/40D 型双螺杆挤出机,德国 Brabender 公司生产;FW177 型中草药粉碎机,天津特斯特公司产品;AS-1400 型马弗炉,上海安晟仪器厂生产;MB3 型快速水分测定仪,奥豪斯仪器(上海)有限公司产品。

收稿日期:2020-04-08

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(17)2014、CX(19)2006]。

作者简介:冯进(1989—),男,山东德州人,博士,助理研究员,主要从事营养与健康领域研究。E-mail: fengjinju@163.com。

通信作者:李春阳,黑龙江牡丹江人,博士,研究员,主要从事营养与健康领域研究。E-mail: lichunyang968@126.com。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程 原料筛选→蚕豆粉碎过 40 目筛→蚕豆粉、荞麦粉、魔芋精粉按质量比 10∶9∶1 混合→物料含水量调节→挤压膨化→烘干→粉碎过 40 目筛。

1.2.2 挤压膨化工艺优化 通过单因素试验研究物料含水量(16%~24%)、Ⅲ区挤压温度(120~180℃)以及螺杆转速(110~190 r/min)对产品中 SDF 含量的影响。在此基础上,根据 Box-Benhknen 中心组合设计原则,以物料含水量(A)、Ⅲ区挤压温度(B)、螺杆转速(C)为自变量,SDF 含量为响应值,设计了 3 因素 3 水平的响应面分析试验,各因素水平见表 1。

表 1 试验因素水平及编码

水平	因子		
	A:含水量(%)	B:Ⅲ区挤压温度(℃)	C:螺杆转速(r/min)
-1	16	135	130
0	18	150	150
1	20	165	170

1.2.3 杂粮营养膨化粉中 SDF 含量测定 根据 GB 5009.88—2014《食品中不溶性膳食纤维的测定》中的酶-质量法稍作改进。称取 1.0 g 样品置于 150 mL 三角瓶中,加入 40 mL PBS 缓冲液(pH 值 6.0±0.2,0.1 mol/L),并加入 100 μL 高温 α-淀粉酶溶液(10 000 U/mL),加盖铝箔,在 100℃条件下水浴振荡 40 min。将酶解液冷却至 60℃,加入 100 μL 中性蛋白酶溶液(400 U/mL),在 60℃条件下水浴振荡 30 min。用 0.1 mol/L 盐酸溶液将 pH 值调至 4.5±0.2,加入 100 μL 葡萄糖苷酶溶液(3 300 U/mL),在 60℃水浴振荡条件下继续酶解 30 min。抽滤消化液,并用热水洗涤 2 次,收集合并洗涤液,转移至烧杯中,根据滤液总体积,加入 4 倍体积的 95%乙醇,室温下沉淀 1 h。用 G2 砂芯坩埚过滤(加入适量硅藻土做助滤剂),用 70%乙醇洗涤 2 次,丙酮洗涤 2 次,105℃烘干至恒质量。另取 2 份分别做蛋白和灰分校正。其中,原料粉(蚕豆粉与荞麦粉、魔芋精粉按照 10∶9∶1 的质量比混合)中 SDF 含量为(8.53±0.25)%。

1.2.4 扫描电子显微镜(SEM)观察 用双面胶带将干燥后的杂粮原料粉和杂粮挤压膨化营养粉粘到不锈钢样品台上,并对其进行真空镀金,用 JSM-6330F 型场发射扫描电镜观察形貌。

1.2.5 体外消化试验 参照文献[5]方法略作改

动。将 2.0 g NaCl,7.0 mL HCL 和 3.2 g 胃蛋白酶溶解于超纯水中,定容至 1 L,得到模拟胃液。模拟肠液中含有 0.30 mmol/L 氯化钙,30.72 mmol/L 氯化钠,5 mg/mL 的胆汁盐以及 8 mg/mL 的胰酶。准确称量含有 1 g 碳水化合物的不同样品置于水解管中,加入 10 mL 蒸馏水,涡旋振荡、混合均匀。80℃加热 20 min。冷却后将水解管移入 37℃恒温振荡水浴锅中,加入 10 mL 模拟胃液,300 r/min 条件下振荡孵育 30 min。将模拟胃消化后的样品迅速调至 pH 值 7.0,并与等体积的模拟肠液混合,在相同条件下孵育 180 min,间隔特定时间取 1.0 mL 水解液,沸水浴灭酶,离心取上清液,用 DNS 法测定各时间段水解上清液中葡萄糖含量。在同样条件下进行白面包的模拟消化试验作为对照。碳水化合物水解度的计算公式为^[6]:

碳水化合物水解度 = 水解液中葡萄糖当量 × 0.9/500 × 100%。

分别以水解时间和碳水化合物水解率为横、纵坐标制作曲线,利用 Origin 软件计算曲线下积分面积(area under curve,AUC),通过以下公式计算碳水化合物水解指数(HI),估计血糖生成指数(EGI)和估计血糖负荷指数(EGL)^[7]:

$$HI = AUC_{\text{样品}} / AUC_{\text{参考食品(白面包)}} \times 100;$$

$$EGI = 8.1981 + 0.862 \times HI;$$

$$EGL = EGI \times CHO\% \text{ (产品中碳水化合物含量)}。$$

1.3 数据处理

所有试验均重复 3 次,试验结果以平均值±标准差来表示,使用 SPSS 18.0 软件进行方差分析,试验数值间以 ANOVA 法进行显著性检验。选取 P<0.05 为显著水平,图表中不同小写字母代表显著性差异。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 原料含水量对杂粮膨化营养粉 SDF 含量的影响 由图 1 可以看出,随着原料含水量的增加,营养粉中的 SDF 含量呈现逐渐下降趋势。当物料含水量为 16% 时,营养粉中 SDF 含量最高,为 16.64%,是杂粮原料粉[SDF 含量为(8.53±0.25)%]的将近 2 倍。而物料含水量增加至 24% 时,营养粉中 SDF 含量降低至 10% 左右。推测原因可能为当杂粮原料中水分含量越高,升温所需要的热量越多,导致了物料升温速率慢,不利于 IDF 向 SDF 转化^[8]。另外,过量的水蒸气喷发也会降低营

养粉的挤压膨化效果^[9]。然而,在实际操作过程中,当杂粮原料含水量低于 16% 时,物料流动性比较差,机器出现堵塞现象,不利于生产。因此,选择含水量 16% ~ 20% 进行响应面优化。

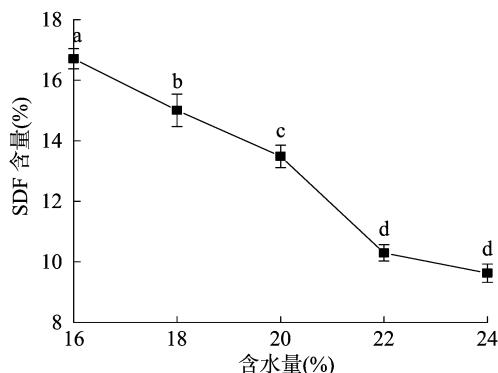


图1 原料含水量对杂粮膨化营养粉中 SDF 含量的影响

2.1.2 Ⅲ区挤压温度对杂粮膨化营养粉中 SDF 含量的影响 由图 2 可以看出,随着Ⅲ区挤压温度的升高,营养粉中 SDF 含量呈先增大后减小的趋势。挤压机的机筒温度越高,传递给物料的热量越多,同时因为强剪切力和挤压作用,使得 IDF 分子中糖苷键断裂,提高了物料的亲水性。当Ⅲ区挤压温度增加到 150 ℃ 时,可溶性膳食纤维含量达到最大值 16.44%。而当Ⅲ区挤压温度高于 150 ℃ 后,可溶性膳食纤维含量逐渐降低,这可能是因为挤压温度过高,物料中纤维还原端与蛋白质之间的美拉德反应更加明显,从而降低产品溶解度。方勇等在研究金针菇/发芽糙米挤压膨化工艺时发现了类似的现象^[10]。

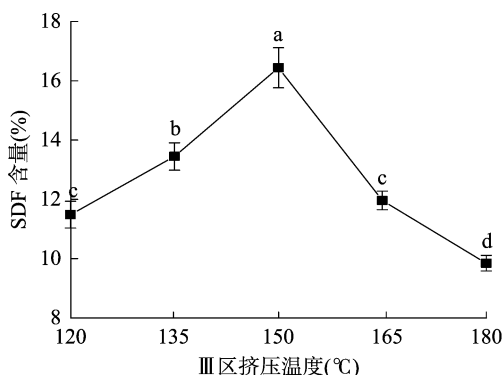


图2 Ⅲ区挤压温度对营养粉中可溶性膳食纤维含量的影响

2.1.3 螺杆转速对杂粮膨化营养粉中 SDF 的影响

由图 3 可以看出,随着螺杆转速的增加,杂粮膨化营养粉中 SDF 含量呈先增大后减小的趋势。一般而言,螺杆转速越大,剪切力越大,越有利于 IDF 纤维的降解以及向 SDF 的转化^[11]。当螺杆转速增加到 150 r/min 时,可溶性膳食纤维含量达到最大值,为 15.63%,相对于杂粮原料增加了 83%。当螺杆

转速继续增加时,物料在挤压机筒中的时间停留过短,导致作用力不够,反而不利于 SDF 的形成。因此,选择 130 ~ 170 r/min 进行后续优化试验。

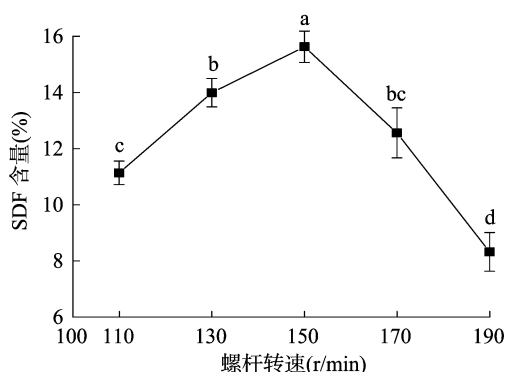


图3 螺杆转速对杂粮膨化营养粉中 SDF 含量的影响

2.2 响应面优化试验结果

2.2.1 二次响应面回归模型的建立与分析 响应面试验设计与结果见表 2,应用 Design Expert 软件进行回归拟合分析,得到工艺参数条件与营养粉中可溶性膳食纤维含量之间的二次多项式模型为: $Y = 16.30 - 2.79A - 1.00B - 1.13C + 1.62AB - 0.32AC - 0.075BC - 1.41A^2 - 2.43B^2 - 2.76C^2$ 。由表 3 可知,回归模型具有极显著性 ($P < 0.01$),失拟性不显著 ($P = 0.1169 > 0.05$),并且 R^2 为 0.9816, R^2_{adj} 为 0.9578,说明方程对试验的拟合性较好^[12]。回归方程各项方差分析表明, A (物料含水量)、B (Ⅲ区挤压温度) 和 C (螺杆转速) 对营养粉中 SDF 含量

表2 响应面试验设计与结果

试验号	A	B	C	SDF 含量 (%)
1	0	0	0	15.63
2	0	1	1	8.93
3	0	0	0	16.07
4	0	-1	1	10.32
5	0	0	0	16.53
6	1	1	0	9.78
7	-1	0	1	13.70
8	0	0	0	16.73
9	1	0	-1	9.92
10	0	-1	-1	13.14
11	-1	1	0	12.39
12	0	0	0	16.56
13	-1	-1	0	18.37
14	1	-1	0	9.29
15	-1	0	-1	15.89
16	0	1	-1	12.05
17	1	0	1	9.01

影响极显著($P < 0.01$)。二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 以及交互项 AB 也对膨化营养粉中 SDF 含量影响效果极显著($P < 0.01$),交互项 AC 和 BC 对 SDF 含量的影响

不显著($P > 0.05$)。通过 F 值可以获得各因子对产品中 SDF 含量影响能力的顺序为: A (物料含水量) $> C$ (螺杆转速) $> B$ (Ⅲ区挤压温度)。

表 3 回归模型方差分析

方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值	显著性
模型	9	163.92	18.21	41.39	<0.000 1	**
A	1	62.44	62.44	141.89	<0.000 1	**
B	1	7.94	7.94	18.04	0.003 8	**
C	1	10.22	10.22	23.21	0.001 9	**
AB	1	10.47	10.47	23.78	0.001 8	**
AC	1	0.41	0.41	0.93	0.366 8	—
BC	1	0.022	0.022	0.051	0.827 6	—
A^2	1	8.41	8.41	19.11	0.003 3	**
B^2	1	24.93	24.93	56.65	0.000 1	**
C^2	1	32.09	32.09	72.92	<0.000 1	**
残差	7	3.08	0.44			
失拟性	3	2.27	0.76	3.76	0.116 9	
纯误差	4	0.81	0.2			
总差	16	167				
R^2		0.981 6				
R^2_{adj}		0.957 8				

注:—表示影响不显著($P > 0.05$), * 表示影响显著($P < 0.05$), ** 表示影响极显著($P < 0.01$)。

2.2.2 两因子间交互作用分析 响应面分析图见图 4 至图 6。由图 4 可知,当挤压温度固定时,SDF 含量与原料含水量呈负相关;当原料含水量一定时,SDF 含量随挤压温度升高呈先增加后减小的趋势。整个响应曲面的坡度陡峭,且等高线呈椭圆形,说明挤压温度与含水量交互作用比较显著。由图 5 可知,当螺杆转速一定时,SDF 含量随着含水量的增加呈逐渐下降的趋势;当含水量一定时,SDF 含

量随着螺杆转速的增大呈现出先增大后减小的趋势。与图 4 相比,图 5 中的等高线更加接近圆形。因此,同挤压温度相比,含水量与螺杆转速的交互作用不够显著。由图 6 可知,当螺杆转速一定时,SDF 含量随着挤压温度的增大呈现先增大后减小的趋势;当挤压温度一定时,SDF 含量随着含水量的增大,也呈现出先增大后减小的趋势。由于其等高线图呈圆形,说明二者的交互作用不显著^[13]。

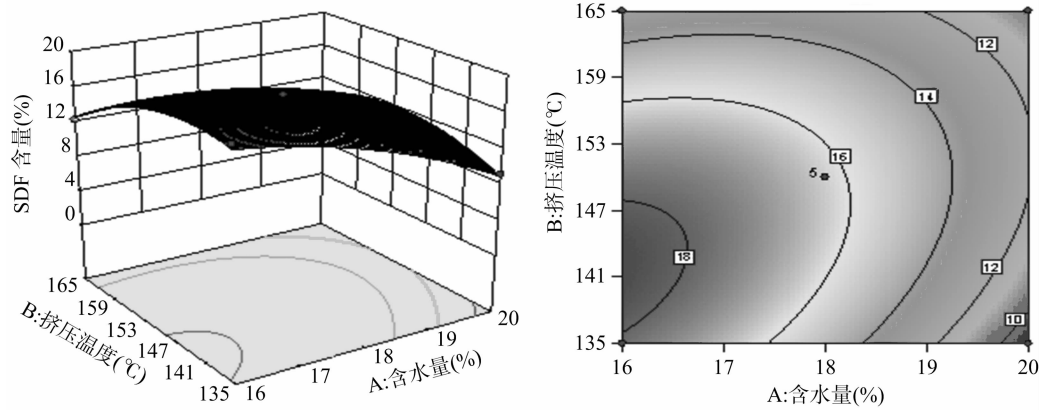


图 4 原料含水量与挤压温度及其相互作用对杂粮营养膨化粉中 SDF 含量影响的响应面和等高线

2.2.3 最佳工艺参数预测及验证试验 通过响应曲面法优化杂粮膨化营养粉制备的最佳工艺参数为物料含水量 16.22%、Ⅲ区挤压温度 142.20 ℃,螺杆转速 145.97 r/min,此时产品中的 SDF 含量可

达到 18.44%;考虑实际情况下,选用的工艺条件为物料含水量 16%、Ⅲ区挤压温度 142 ℃、螺杆转速 146 r/min,此时蚕豆营养粉的可溶性膳食纤维含量为 $(18.13 \pm 0.15)\%$,与预测值相差 1.7%,表明此

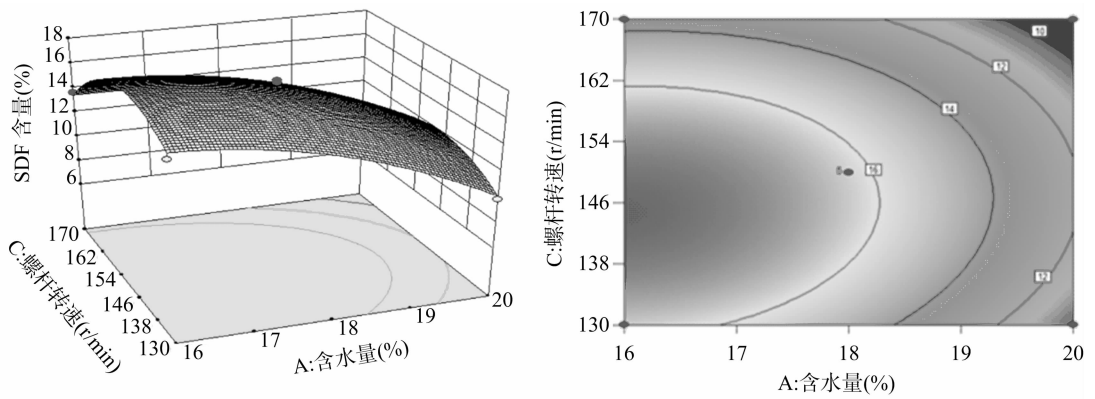


图5 原料含水量与螺杆转速及其相互作用对杂粮营养膨化粉中 SDF 含量影响的响应面和等高线

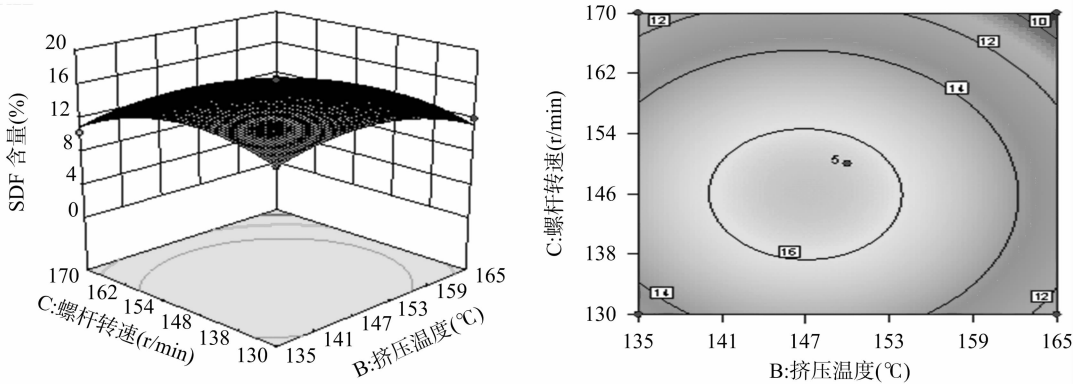


图6 挤压温度与螺杆转速及其相互作用对杂粮营养膨化粉中 SDF 含量影响的响应面和等高线

模型具备很强的可靠性,可以用于杂粮膨化营养粉中 SDF 含量的预测。

从图 7 - A1 和图 7 - B1 中可以看出,混合原料粉颗粒表面粗糙且结构规则,排列有序,结合紧密;

而经过挤压膨化得到的产品,颗粒表面凹凸不平、体积膨大,表明原有的致密结构受到了破坏(图 7 - A2 和图 7 - B2)。

SEM 的观察结果说明,在挤压膨化过程中,挤压机内的高温、高压、高剪切力造成了原

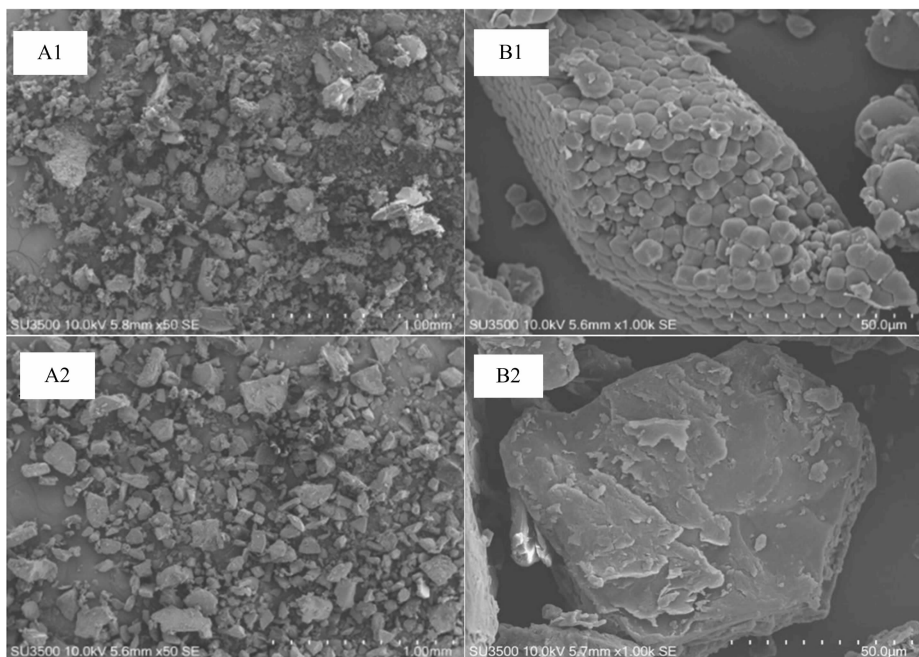


图7 杂粮原料(A1、B1)与杂粮膨化营养粉的 SEM(A2、B2)

料中生物大分子之间共价键和非共价键的断裂,从而诱导了蛋白质变性、淀粉糊化以及 IDF 向 SDF 的转变。

2.3 体外消化性质评价

采用体外模拟胃肠道模型进一步对杂粮原料粉和杂粮膨化营养粉中的碳水化合物消化情况,并使用白面包为对照。从图 8 可以看出,3 种样品在前 60 min 消化较快,60 min 后水解度趋于平稳。在所研究的任意时间点,3 种样品碳水化合物的水解度大小顺序为:杂粮膨化营养粉 < 杂粮原料粉 < 白面包。白面粉属于精加工主食,消化最快。值得一提的是,原料粉经过膨化处理后,碳水化合物的消化变慢,原因可能有以下 2 点:(1)膨化处理提高了 SDF 含量,SDF 膨胀性和溶解性好,从而增加了消化液黏度,使得消化酶和产物扩散速率变慢^[14];(2)膨化营养粉中淀粉发生了回生,抗性淀粉含量变高,因此抗消化性增强^[15]。

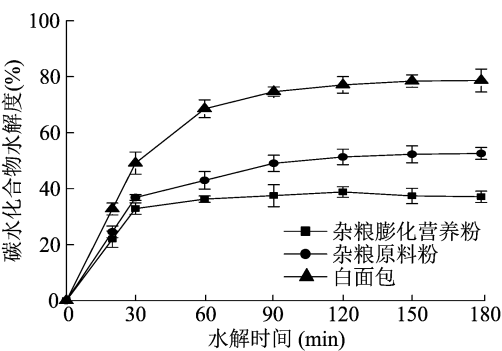


图8 杂粮原料粉、杂粮膨化营养粉以及白面包中碳水化合物的水解曲线

进一步计算了 3 种样品的 HI、EGI、EGL 等指标(表 4),挤压膨化处理后,杂粮的 HI、EGI 和 EGL 下降显著。杂粮膨化营养粉的 EGI 为 49.88,小于 55,达到了低血糖生成指数产品的标准。杂粮膨化营养粉的 EGL 为 24.78,高于 20,依然属于高血糖负荷指数产品,但是显著低于白面包(41.44)等主食,因此仍然可以起到替代部分主食的作用。

表 4 3 种样品的 HI、EGI 以及 EGL

样品	AUC	HI	EGI	EGL
杂粮原料粉	6 943.81 ± 365.55b	57.76 ± 3.57b	57.99 ± 2.69b	26.19 ± 0.68b
杂粮膨化营养粉	5 813.45 ± 212.53c	48.36 ± 1.78c	49.88 ± 1.53c	24.78 ± 0.36c
白面包	12 021.07 ± 645.56a	100.00 ± 5.37a	94.40 ± 4.63a	41.44 ± 1.03a

3 结论

本研究采用单因素试验和响应面试验优化了杂粮膨化营养粉的制备工艺,得到最佳参数组合为物料含水量 16%、Ⅲ区挤压温度 142 ℃、螺杆转速 146 r/min,在该条件下,产品中 SDF 含量达到(18.13 ± 0.15)%。SEM 结果显示,挤压膨化处理导致原料粉颗粒发生膨胀,并伴随着原有致密结构的坍塌。通过模拟胃肠道模型进一步研究了产品的体外消化状况。结果表明,杂粮膨化营养粉的 HI、EGI、EGL 等参数均显著低于原料,部分指标达到了低血糖生成指数产品的标准,可以用来部分替代主食,起到补充膳食纤维和微量营养素、延长饱腹感的作用。

参考文献:

[1]郭孝平,曾善荣,王玉财. 谷物和豆类初级加工对其营养品质的影响[J]. 生物化工,2020,6(2):147-151,160.
[2]张伊,向雪松,高超,等. 不同品种和加工精度谷物对大鼠血糖和血脂的影响[J]. 卫生研究,2020,49(3):434-441.

[3]付昱东,何东,杨庆余,等. 挤压膨化技术在玉米深加工产业中研究现状及应用[J]. 农产品加工,2020,498(2):68-71,76.
[4]刘超,贺稚非,李雪,等. 谷物组成对挤压膨化产品品质的影响[J]. 食品与发酵工业,2019,45(24):105-110,118.
[5]Feng J, Xu H, Zhang L, et al. Development of nanocomplexes for curcumin vehiculization using ovalbumin and sodium alginate as building blocks: Improved stability, bioaccessibility, and antioxidant activity[J]. J Agric Food Chem., 2019,67(1):379-390.
[6]Goni I, Garcia-Alonso A, Saura-Calixto F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index[J]. Nutrition Research,1997,17(30):427-437.
[7]Akerberg A, Liljeberg H, Björck I. Effects of amylose/amylopectin ratio and baking conditions on resistant starch formation and glycaemic indices[J]. Journal of Cereal Science,1998,28(1):71-80.
[8]单成俊,周剑忠,黄开红,等. 挤压膨化提高甘薯渣中可溶性膳食纤维含量的研究[J]. 江西农业学报,2009,21(6):90-91,99.
[9]刘汉文,黄良策,陈洪兴,等. 挤压膨化对豆渣可溶性膳食纤维的影响[J]. 食品科学,2011,32(8):159-162.
[10]方勇,王红盼,杨文建,等. 金针菇复配发芽糙米挤压膨化工艺及产品品质特性[J]. 中国农业科学,2016,49(4):727-738.
[11]李艾霖,尚婧,云少君,等. 响应面法优化豆渣挤压膨化工艺条件研究[J]. 食品科学技术学报,2017,35(6):28-35.

李海露,孙玉桃,吴小丹,等. 稀硝酸浸提法检测植物中的镉含量[J]. 江苏农业科学,2020,48(11):223-226.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.11.044

稀硝酸浸提法检测植物中的镉含量

李海露,孙玉桃,吴小丹,唐友云,李微艳,杨 茜,杨 军

(湖南省土壤肥料研究所,湖南长沙 410125)

摘要:采用稀硝酸浸提法测定国家有证标准物质和各类烘干植物样品中的镉含量。结果表明:稀硝酸浸提法测得国家标准物质中的镉含量均在证书参考范围,各类植物样品中镉含量与国标法测得结果间无显著差异,且该法准确度和精密度高、重复性好、方法检出限和定量性低、适用性广,适合在常温下大批次高通量快速提取和检测植物中的镉元素。

关键词:稀硝酸;浸提;植物;镉;检测方法

中图分类号: S132 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)11-0223-04

目前国家标准和行业标准中并没有专门针对植物中镉的检测方法,大部分检测实验室和科研工作者测定植物中的镉含量都是参照 GB/T 5009.15—2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》和 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》^[1],然而植物样品和食品样品的性质有很大区别,植物样品成分天然、单一,而大部分食品经过再加工、多种物质混合、加入添加剂等过程制成,所以植物中的镉元素会比食品中的镉元素更容易提取出来。目前已有不少研究用稀酸提取大米样品中的镉元素^[2-6],且取得了良好结果,本试验结合已有研究基础,归纳稀硝酸浸提检测植物中镉含量的方法,并对方法的准确性、精密性、适用性等方面进行测定,以期在常温下大批次、高通量快速提取和检测植物中的镉元素提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验样品 国家标准物质[GBW07604(GSV-3 杨树叶)、GBW10016(GSB-7 茶叶)、GBW10020(GSB-11 柑橘叶)、GBW10044(GSB-22 四川大米)、GBW10045(GSB-23 湖南大米)],大米标准样品[GBW(E)100351、GBW(E)100354、GBW(E)100361]以及水稻、玉米、百合等植物制成样品。

1.1.2 试剂及材料 硝酸(优级纯,国药集团化学试剂有限公司);镉标准溶液(1 000 $\mu\text{g/mL}$,钢铁研究总院国家钢铁材料测试中心);磷酸氢二铵(优级纯,国药集团化学试剂有限公司);硝酸溶液(0.5%):取 5 mL 硝酸,用超纯水稀释至 1 L,混匀;镉标准使用溶液(100 $\mu\text{g/L}$):由镉标准溶液用 100 $\mu\text{g/L}$ 硝酸溶液逐级稀释得到;镉标准曲线:分别吸取镉标准使用溶液 0.00、0.50、1.00、2.00、3.00、5.00 mL 于 100 mL 容量瓶中,用硝酸溶液稀释至刻度,摇匀。此标准系列镉质量浓度分别为 0.00、0.50、1.00、2.00、3.00、5.00 $\mu\text{g/L}$,适用一般样品的测定(可根据仪器灵敏度和样品浓度适当调整曲线范围)。

收稿日期:2019-04-25

基金项目:湖南省农业科技创新资金专项(编号:2016QN24)。

作者简介:李海露(1986—),男,湖南郴州人,助理研究员,主要从事理化检测研究工作。E-mail:282877119@qq.com。

通信作者:孙玉桃,副研究员,主要从事理化检测研究工作。
E-mail:tfsnhjc@163.com。

[12]杨 玲,陈 阳,杨小生,等. 响应面法优化仙茅多糖酶解工艺及体外免疫活性[J]. 江苏农业科学,2020,48(8):229-237.

[13]钱 敏,李春阳,刘玉皎. 响应面法优化蚕豆多酚超声辅助提取工艺[J]. 食品工业科技,2018,39(9):194-200.

[14]Jia M, Yu Q, Chen J, et al. Physical quality and *in vitro* starch

digestibility of biscuits as affected by addition of soluble dietary fiber from defatted rice bran[J]. Food Hydrocolloids,2020,99:1-8.

[15]Zou J, Xu M, Wen L, et al. Structure and physicochemical properties of native starch and resistant starch in Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 237:1-10.