

挤压生产糙米重组米的研究

林雅丽, 张 晖*, 王 立, 钱海峰, 齐希光
(江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要:本文以粳糙米为原料,采用双螺杆挤压技术制备糙米重组米,对制备工艺进行了优化,同时研究了挤压参数及干燥条件对糙米重组米品质的影响。研究表明,最佳挤压工艺参数为:3、4区挤压温度100℃,加水量28%(原料初始水分含量为12%),螺杆转速100 r/min。提高干燥温度会对产品的质构、蒸煮品质和色泽产生不利影响,最佳干燥条件为45℃下干燥105 min。在该优化条件下制备的糙米重组米米饭的挥发性风味成分与糙米米饭存在差异,糙米重组米风味成分组成及含量总体较好;糙米重组米的硬度和粘附性接近于白米,质构及蒸煮品质均优于糙米,并且与市售重组米无显著差异($p > 0.05$)。

关键词:糙米,重组米,双螺杆挤压,干燥

Study on the preparation of reformed brown rice by extruding

LIN Ya-li, ZHANG Hui*, WANG Li, QIAN Hai-feng, QI Xi-guang

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The reformed brown rice was prepared by extruding using brown indica rice as the raw material. The processing technology was optimized, and the influence of extrusion parameters and drying conditions on the properties of reformed brown rice were studied. The optimized extrusion parameters were barrel temperature of 100℃, water amount of 28% (the initial moisture content of raw materials was 12%), and screw speed of 100 r/min. The increasing of drying temperature had negative effects on the texture characteristics, cooking properties and color of reformed brown rice, and the optimum drying temperature was 45℃ (drying 105 min). The volatile flavor compounds of reformed brown rice were good, but they were different from that of brown rice. The hardness and adhesiveness of reformed brown rice were similar to that of rice and the properties of reformed brown rice were better than that of brown rice and had no significant difference with that of the commercial reformed rice ($p > 0.05$).

Key words: brown rice; reformed brown rice; twin-screw extrusion; drying

中图分类号: TS213.3

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2016)07-0193-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.07.029

糙米是稻谷脱壳后不经碾磨的米粒。由于皮层被保留,糙米富含维生素、矿物质、谷维素、 γ -氨基丁酸等成分,营养丰富^[1]。Mitsuo等^[2]研究了糙米对高血压小鼠及病患的影响,发现食用糙米可以有效控制高血压。徐惠龙等^[3]对糙米皮对高脂血症大鼠血脂水平影响的研究表明糙米皮对实验性高血脂具有一定的预防及控制作用。虽然糙米的营养保健价值日渐引起人们重视,但其直接蒸煮食用却一直受到限制,这主要因为糙米作为主食直接食用存在米饭较硬,饭粒松散不黏连,且蒸煮时间长的缺点^[4]。因此,近年来改善糙米的食用品质以及开发糙米主食食品已成为研究热点^[5-6]。

通过挤压技术重新造粒生产的重组米,不仅营养损失较少,而且可以克服谷物因皮层的存在而口

感粗糙的缺点。并且由于重组米具有一定的糊化度,能够大大缩短米饭蒸煮时间。目前以大米或碎米为原料挤压生产重组米已有广泛研究^[7-8],但以糙米为原料制备重组米鲜有报道^[6],并且未见对糙米重组米生产工艺进行系统研究的报道。因此,本文以粳糙米为原料,采用双螺杆挤压技术制备糙米重组米,同时研究了挤压参数及干燥条件对糙米重组米品质的影响。在前期预实验中发现,与白米相比,糙米重组米蒸煮后硬度小,表面粘附性大,固形物损失多,所以在优化重组米制备工艺时以产品质构及蒸煮品质为指标,以期获得食用品质与白米接近的糙米重组米。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

收稿日期: 2015-09-07

作者简介: 林雅丽(1989-),女,在读硕士研究生,主要从事粮食深加工方面的研究, E-mail: linyalij@163.com。

* 通讯作者: 张晖(1966-),女,博士,教授,从事谷物功能成分与健康食品的研究, E-mail: zhanghui@jiangnan.edu.cn。

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAD37B08)。

粳糙米、白米 北京金禾源商贸有限公司;市售重组米 日照市莒县金穗工贸有限公司;其他试剂均购于国药集团。

FMHE36-24 双螺杆挤压机 湖南富马科食品工程技术有限公司;DHG-9055A 型电热鼓风干燥箱 上海市实验仪器总厂;TA-XT2i 物性测试仪 英国Stable Micro System 公司;UltraScan Pro1166 型高精度分光测色仪 美国 Hunterlab 公司;TSQ Quantum XLS 三重四极杆气相质谱联用仪 美国 Thermo fisher 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 糙米重组米生产工艺流程 粳糙米→磨粉→调水分、混匀→挤压熟化→切割成型→干燥→成品

1.2.2 糙米重组米挤压工艺研究 实验采用的双螺杆挤压机机筒的结构示意图如图 1 所示。

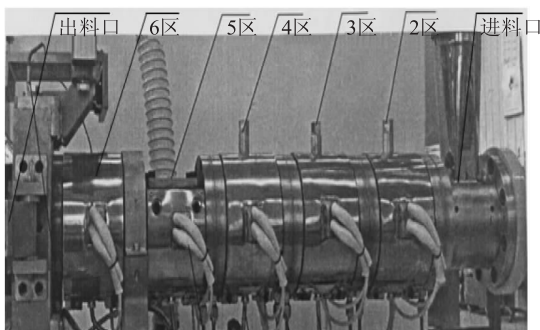


图 1 双螺杆挤压机机筒结构示意图

Fig.1 Barrel structure of twin-screw extruder

原料糙米粉初始水分含量为 12%，设定挤压固体喂料量为 8 kg/h，固定双螺杆挤压机机筒内 2、5、6 区的温度分别为 60、70、60 °C，依次进行挤压温度(3、4 区)、加水量和螺杆转速三个因素的单因素优化实验，在单因素实验的基础上，进行正交实验优化工艺。

表 1 挤压正交实验因素水平表
Table 1 The factors and levels of extrusion orthogonal experiment

水平	因素		
	温度(°C)	加水量(%)	螺杆转速(r/min)
1	90	22	90
2	100	25	100
3	110	28	110

1.2.3 糙米重组米干燥工艺研究 以优化出的最佳

表 2 温度对糙米重组米品质的影响

Table 2 Effect of temperature on the quality of reformed brown rice

温度(°C)	硬度(g)	粘附性(g·s)	咀嚼性	固形物损失(%)
80	1433.96 ± 20.78 ^a	-105.23 ± 7.32 ^a	630.67 ± 28.62 ^a	57.78 ± 0.36 ^a
90	1653.57 ± 82.10 ^b	-112.10 ± 4.46 ^a	801.74 ± 47.90 ^b	40.96 ± 0.53 ^{bc}
100	1864.23 ± 49.26 ^a	-113.43 ± 5.20 ^a	1011.71 ± 29.64 ^c	39.06 ± 0.18 ^c
110	1879.32 ± 36.37 ^a	-165.35 ± 11.81 ^b	1117.31 ± 75.90 ^d	42.15 ± 2.19 ^b
120	1954.12 ± 133.37 ^a	-189.82 ± 16.95 ^c	1197.98 ± 55.03 ^e	41.76 ± 0.52 ^{bc}

注:数值为平均值 ± 标准偏差;同列中不同字母表示有显著性差异($p < 0.05$),表 3、表 4、表 7、表 8、表 10 同。

挤压条件制备糙米重组米,分别在 45、55、65 °C 下热风干燥,综合考察干燥条件对各指标的影响,选出最佳干燥条件。

1.2.4 分析测定方法

1.2.4.1 最适蒸煮时间测定 糙米重组米、糙米、白米和市售重组米的最适蒸煮时间测定参照 GB/T 25226-2010。

1.2.4.2 质构测定 参考 Zheng 等人^[9]的方法并略作修改。测试条件为:P/35 型探头,测前速度为 1.0 mm/s,测试速度为 0.5 mm/s,测后速度为 0.5 mm/s,形变量为 70%,触发值为 5 g,两次压缩的时间间隔为 5 s,探头返回高度为 15 cm。

1.2.4.3 米粒固形物损失的测定 米粒的固形物损失为蒸煮过程中分散到米汤中的固形物质量占样品初始质量的比例。测定方法参照 Cui 等人^[10]的方法。

1.2.4.4 干燥过程中产品水分含量的测定 干燥过程中每隔一段时间取样,记录样品初始重量,将样品放入 105 °C 烘箱中烘至恒重,记录烘干后样品重量。

$$\text{水分含量}(\%) = \frac{\text{初始质量} - \text{干燥后重量}}{\text{初始质量}} \times 100$$

1.2.4.5 色差的测定 采用 CIE- $L^*a^*b^*$ 色度系统,测定样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值^[11]。

1.2.4.6 米饭挥发性风味物质测定 采用固相微萃取与气质联用法(SPME-GC-MS/MS)测定糙米重组米米饭及糙米米饭的挥发性风味物质,具体测定方法参照姜平等^[12]的方法。

2 结果与分析

2.1 挤压条件对糙米重组米品质的影响

2.1.1 挤压温度对糙米重组米品质的影响 在进料加水量为 25%,螺杆转速为 100 r/min 的条件下,研究不同挤压温度对糙米重组米品质的影响,结果如表 2 所示。

由表 2 可以看出,随着挤压温度的升高,产品硬度、粘附性及咀嚼性均逐渐增大。温度 < 100 °C 时,硬度和咀嚼性增加明显,粘附性无显著性差异($p > 0.05$);当温度超过 100 °C 时,不同温度下产品硬度无显著性差异($p > 0.05$),粘附性显著增加($p < 0.05$)。米粒固形物损失随挤压温度的升高先减小后增大。这是由于挤压温度较低时,淀粉糊化交联程度低,因此产品结构较疏松,硬度和咀嚼性较小^[13],蒸煮时淀粉易溶出,从而使固形物损失增加。当挤压温度过高时,强烈的高温、高压和高剪切作用使部分淀粉分

表3 加水量对糙米重组米品质的影响

Table 3 Effect of moisture on the quality of reformed brown rice

加水量 (%)	硬度 (g)	粘附性 (g·s)	咀嚼性	固形物损失 (%)
19	1922.09 ± 35.33 ^a	-133.15 ± 6.42 ^c	1014.08 ± 43.63 ^a	46.67 ± 0.37 ^a
22	1826.58 ± 38.32 ^{bc}	-120.74 ± 4.86 ^b	1009.46 ± 31.33 ^a	42.65 ± 2.24 ^b
25	1862.47 ± 49.57 ^{ab}	-113.63 ± 5.13 ^b	1010.21 ± 28.96 ^a	39.03 ± 0.22 ^c
28	1892.98 ± 61.99 ^a	-114.99 ± 6.34 ^b	982.77 ± 26.19 ^{ab}	39.88 ± 1.41 ^{bc}
31	1769.34 ± 41.91 ^c	-100.28 ± 3.79 ^a	940.65 ± 26.61 ^b	48.68 ± 0.49 ^a

表4 螺杆转速对糙米重组米品质的影响

Table 4 Effect of screw speed on the quality of reformed brown rice

螺杆转速 (r/min)	硬度 (g)	粘附性 (g·s)	咀嚼性	固形物损失 (%)
80	1790.88 ± 35.47 ^c	-157.83 ± 12.96 ^d	1007.62 ± 26.07 ^{ab}	44.80 ± 2.27 ^b
90	1928.52 ± 33.26 ^a	-141.39 ± 5.72 ^c	1009.37 ± 25.92 ^{ab}	42.34 ± 2.81 ^{ab}
100	1861.25 ± 48.32 ^b	-112.21 ± 5.36 ^a	1011.98 ± 30.06 ^{ab}	39.02 ± 1.76 ^a
110	1772.45 ± 53.05 ^c	-106.31 ± 4.81 ^a	987.46 ± 23.25 ^b	42.66 ± 2.65 ^{ab}
120	1768.23 ± 34.73 ^c	-123.99 ± 4.25 ^b	1041.40 ± 39.30 ^a	43.09 ± 1.31 ^{ab}

表5 挤压参数正交实验设计及结果

Table 5 Design and results of orthogonal tests about extrusion factors

实验号	A 温度	B 加水量	C 螺杆转速	固形物损失 (%)	硬度 (g)	粘附性 (g·s)	咀嚼性
1	1	1	1	43.08	1795.13	-94.7	946.01
2	1	2	2	39.98	1874.92	-100.09	1053.62
3	1	3	3	37.42	2011.97	-128.69	1287.28
4	2	1	2	45.08	2160.46	-125.14	1281.38
5	2	2	3	38.34	2021.71	-98.14	1143.41
6	2	3	1	41.26	1914.35	-87.78	1076.73
7	3	1	3	46.03	2030.48	-114.71	1242.81
8	3	2	1	41.79	2097.94	-130.43	1217.89
9	3	3	2	39.38	2113.37	-99.22	1264.19

子降解,水溶性碳水化合物增加,因此蒸煮后溶出的碳水化合物增多,产品表面粘附性及固形物损失也随之增加^[14]。综合考虑糙米重组米的质构和蒸煮品质,选取挤压温度为100℃进行后续研究。

2.1.2 加水量对糙米重组米品质的影响 在挤压温度为100℃,螺杆转速为100 r/min的条件下,研究加水量对糙米重组米品质的影响,结果如表3所示。

由表3可知,加水量的增加使糙米重组米硬度和咀嚼性整体呈先增大后减小趋势,粘附性逐渐降低,在加水量为25%~28%时,产品质构品质较好(硬度较大,粘附性较小);固形物损失随加水量的增加先减小后增大,在25%时达到最小。加水量较小时,物料糊化度较低,形成的淀粉网络结构较弱;加水量提高使挤压后淀粉颗粒内部有序的淀粉链破坏程度加剧,淀粉糊化度提高;当加水量过高时,物料润滑度提高,物料在机腔中承受的挤压和剪切力减小,淀粉交联程度减弱^[15]。Liu等人^[16]认为,水分在挤压过程中有增塑作用,增大加水量使淀粉分子被破坏和降解的程度降低,从而使蒸煮后产品的表面粘附性降低。综合考虑加水量对产品质构和固形物损失的影响,在后续实验中选择加水量为25%。

2.1.3 螺杆转速对糙米重组米品质的影响 在挤压温度为100℃,加水量为25%的条件下,研究挤压螺

杆转速对糙米重组米品质的影响,结果如表4所示。

从表4中可以看出,产品的硬度和咀嚼性随螺杆转速的增大先增大后减小,当螺杆转速为90~100 r/min时,产品的硬度和咀嚼性较好;产品粘附性和固形物损失均随螺杆转速增大而先减小后增大,当螺杆转速为100 r/min时,固形物损失最小。这是因为当螺杆转速较低时,螺杆对物料的剪切作用也较小,淀粉的糊化交联程度较低^[15];螺杆转速的增大,使淀粉的糊化交联程度增加。而当螺杆转速过大时,物料在机筒内的停留及受热时间较短,淀粉的糊化和交联程度下降,使产品蒸煮后质地松散,耐煮性下降^[17]。因此,综合考虑产品的质构和蒸煮品质,选择螺杆转速为100 r/min。

2.2 双螺杆挤压机参数正交实验结果与分析

在单因素实验的基础上进行正交实验,综合考察产品的固形物损失、硬度、表面粘附性和咀嚼性,正交实验及实验结果分析见表5和表6。

从表5中正交实验结果看,挤压参数对产品固形物损失和粘附性的影响尤为显著,所以选用产品固形物损失和粘附性为指标进行极差分析。

由表6极差分析可知,影响糙米重组米固形物损失的因素排序为加水量>挤压温度>螺杆转速,影响糙米重组米粘附性的因素排序为挤压温度>螺

表6 挤压参数正交实验结果极差分析

Table 6 Results and analysis of orthogonal tests of extrusion factors

	固形物损失(%)			粘附性(g·s)			
	A	B	C	A	B	C	
K ₁	40.16	44.73	42.04	K ₁	-107.83	-111.52	-104.30
K ₂	41.56	40.04	41.48	K ₂	-103.69	-109.55	-108.15
K ₃	42.40	39.35	40.60	K ₃	-114.79	-105.23	-113.85
R	2.24	5.38	1.45	R	11.10	6.29	9.54

表7 干燥条件对糙米重组米质构及蒸煮品质的影响

Table 7 Effect of drying condition on the texture and cooking quality of reformed brown rice

干燥条件(°C/min)	硬度(g)	粘附性(g·s)	咀嚼性	固形物损失(%)
45/105	1964.75 ± 33.83 ^a	-108.97 ± 4.46 ^a	1028.31 ± 31.95 ^a	38.87 ± 1.43 ^a
55/75	1952.13 ± 35.95 ^a	-111.23 ± 4.72 ^a	1001.20 ± 34.16 ^{ab}	42.35 ± 0.64 ^b
65/50	1945.99 ± 36.48 ^a	-114.93 ± 4.21 ^a	983.65 ± 30.00 ^b	46.12 ± 0.83 ^c

杆转速 > 加水量。根据直观分析结果,固形物损失最低的组为: A₁B₃C₃; 粘附性最低的组为: A₂B₃C₁。综合考虑产品固形物损失和粘附性,最终确定糙米重组米挤压参数的最佳组合为 A₂B₃C₂,即:挤压温度为 100 °C,加水量为 28%,螺杆转速 100 r/min。重复验证实验结果为:固形物损失为 38.87%,硬度为 1964.75 g,粘附性为 -108.97 g·s,咀嚼性为 1028.31。验证实验结果可行。

2.3 热风干燥条件对糙米重组米品质的影响

2.3.1 不同干燥温度下糙米重组米的干燥脱水曲线 不同干燥温度下糙米重组米的干燥脱水曲线如图 2 所示。

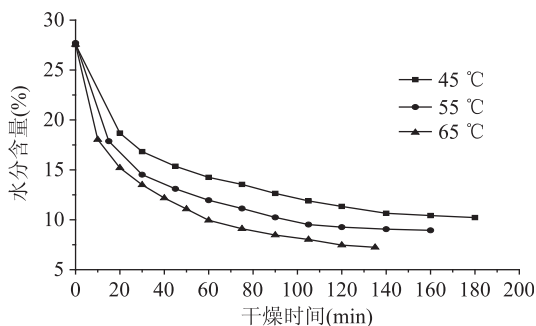


图2 不同干燥温度下产品的干燥脱水曲线

Fig.2 Drying curves of reformed brown rice at different temperatures

由图 2 可知,随着干燥温度的升高,糙米重组米的干燥速率增加,干燥所需时间缩短。在所有干燥温度下,产品在干燥前期失水较快,之后,干燥速率逐渐减慢,这归因于重组米接近表面及表面的水分蒸发变干,样品进入内部扩散控制阶段^[18]。考虑到粮食安全储藏水分(小于 14%)^[19]、原料糙米水分含量(12%左右)及干燥节能节时等因素,将重组米在不同温度下干燥至水分含量约 12% (45 °C 干燥 105 min,含水量 11.89%; 55 °C 干燥 75 min,含水量 11.13%; 65 °C 干燥 50 min,含水量 11.08%),并对干燥条件对糙米重组米品质的影响进行进一步的研究。

2.3.2 热风干燥条件对糙米重组米质构及蒸煮品质

的影响 干燥条件对糙米重组米质构及蒸煮品质的影响如表 7 所示。

由表 7 可知,不同干燥条件对产品硬度和粘附性无显著影响($p > 0.05$),但温度提高会使产品咀嚼性减小,固形物损失增大。随着温度的升高,糙米重组米表面开始产生裂纹,且干燥温度越高,产生的裂纹越多,这与陈厚荣等人^[20]的研究结果一致。裂纹的产生会使糙米重组米外观品质变差,蒸煮时易软烂,耐煮性差,固形物损失增多,进而影响产品品质。因此为了避免干燥时产生较多裂纹,应选择较低的干燥温度。

2.3.3 热风干燥条件对糙米重组米色泽的影响 干燥条件对糙米重组米色泽的影响如表 8 所示。

表8 干燥条件对糙米重组米色泽的影响

Table 8 Effect of drying condition on the color of reformed brown rice

干燥条件(°C/min)	L*	a*	b*
45/105	63.28 ± 0.10 ^a	4.87 ± 0.07 ^a	19.20 ± 0.09 ^a
55/75	63.60 ± 0.39 ^{ab}	4.85 ± 0.16 ^a	19.44 ± 0.24 ^b
65/50	63.96 ± 0.24 ^b	4.87 ± 0.09 ^a	19.58 ± 0.22 ^b

由表 8 可知,干燥温度的增加会使产品的 L* 值、b* 值增大,a* 值基本不变,这表明提高干燥温度使干燥后的产品整体颜色变深,色泽变差。这与 Kahyaoglu 等人^[21]的研究结果一致。

综合考虑干燥条件对糙米重组米质构、蒸煮和色泽的影响,得到糙米重组米热风干燥的最佳条件为 45 °C 干燥 105 min。

2.4 糙米重组米与糙米的米饭挥发性风味物质比较

利用固相微萃取法和 GC-MS/MS 分析技术分别对糙米重组米和糙米蒸煮后米饭的挥发性风味物质进行分析测定,结果如表 9 所示。

由表 9 可知,糙米重组米米饭测得挥发性风味成分 30 种,糙米米饭测得挥发性风味成分 42 种,并且两种米饭的风味成分在组成及相对含量上都存在差异。

表9 糙米重组米与糙米的米饭挥发性风味物质相对含量
Table 9 The volatile flavor compounds relative content of cooked reformed brown rice and cooked brown rice

分类	化合物名称	相对百分含量 (%)	
		糙米 米饭	重组米 米饭
醛类		59.35	67.01
	己醛	23.72	27.00
	庚醛	3.20	2.25
	辛醛	4.21	2.70
	顺-2-庚烯醛	1.32	3.19
	壬醛	20.28	24.16
	2-辛烯醛	1.26	1.37
	癸醛	1.22	1.61
	苯甲醛	0.91	1.27
	壬烯醛	1.17	2.83
	顺-2-癸烯醛	1.26	0.64
	2-丁基-2-辛烯醛	0.50	-
	反,反-2,4-癸二烯醛	0.29	-
酮类		4.30	1.51
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.57	0.48
	5-乙基-2-庚酮	0.21	-
	2-癸酮	-	0.46
	(R,S)-5-乙基-6-甲基 3-庚烯-2-酮	0.81	0.57
	3,5,5-三甲基-2-环己烯-1-酮	0.18	-
	6,10-二甲基-2-十一烷酮	0.42	-
	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	1.21	-
酯类		6.41	2.87
	甲酸丁酯	0.63	-
	2-丙烯酸丁酯	2.92	1.23
	丁酸丁酯	2.86	1.64
醇类		7.77	9.66
	正戊醇	0.64	0.68
	1-己醇	2.54	2.67
	1-辛烯-3-醇	1.48	3.32
	1-庚醇	0.51	0.63
	2-乙基-1-己醇	1.00	0.73
	1-辛醇	0.96	1.06
	1-壬醇	0.33	-
	2-己基-1-辛醇	0.32	-
	反式-2-辛烯-1-醇	-	0.58
烃类		10.25	9.35
	十一烷	6.88	8.98
	1,2-二甲基环庚烯	-	0.37
	六甲基环三硅氧烷	2.07	-
	3-乙基-2-甲基-庚烷	0.53	-
	1-(乙烯基氧基)十八烷	0.29	-
	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	0.47	-
其它		11.58	9.44
	2-正丁基呋喃	0.48	-

续表

分类	化合物名称	相对百分含量 (%)	
		糙米 米饭	重组米 米饭
	吡啶	2.32	7.22
	2-戊基呋喃	7.53	0.67
	己酸	0.26	0.48
	2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚	0.25	0.35
	2-甲氧基-4-乙烯苯酚	0.47	-
	正壬酸	-	0.36
	二辛醚	0.28	0.36

注:-表示没有检测出该物质。

米饭香气的重要化合物是羰基化合物,两种米饭羰基化合物相对含量都是最高的,尤其是醛类组成丰富且含量集中。己醛在两种米饭的醛类物质中含量都是最高的,糙米重组米的含量高于糙米。己醛属于直链饱和醛,在浓度低时呈现青草味和奶香味,含量较多时会产生哈喇味^[22]。不饱和醛类如庚烯醛、癸烯醛主要呈现愉快的橙香气^[23],这两种物质的含量在糙米重组米中略高。此外,糙米重组米中苯甲醛的含量高于糙米,苯甲醛具有坚果、杏仁和櫻桃的香气,是烘烤花生的主要呈味物质^[24]。糙米重组米中酮类和酯类的相对含量均低于糙米,这可能是挤压加工过程使这两类物质造成损失^[23]。另外,在糙米重组米中还检测出2-癸酮,而在糙米中未检出,2-癸酮属于甲基酮,其阈值较低,有令人愉悦的水果及奶油清香^[22]。醇类和烃类的感觉阈值相对较高,但因其所占的比例较高,该两种物质对产品风味的贡献也不容忽视。糙米重组米中醇类相对含量高于糙米,烃类相对含量低于糙米,并且烃类种类较少,这可能是由于挤压加工过程使一些烃类物质的碳链断裂并生成其他风味物质^[23]。

2.5 糙米重组米与市售产品、糙米及白米品质的比较

在最优挤压工艺及干燥工艺条件下制备糙米重组米产品,并将其与市售产品、糙米及白米品质进行比较,结果如表10所示。

由表10可知,与糙米相比,糙米重组米的硬度小,粘附性大,咀嚼性好,质构品质明显优于糙米。糙米重组米的最适蒸煮时间(5.5 min)明显小于糙米(36.5 min)。另外,糙米重组米的硬度和粘附性已与白米接近,咀嚼性优于白米,蒸煮时间(5.5 min)小于白米(19 min),固形物损失大于白米。对糙米重组米与市售重组米的硬度、粘附性、咀嚼性、固形物损失和蒸煮时间比较表明,制备的糙米重组米与市售重组米各项品质均无显著性差异($p > 0.05$)。因此,在最佳挤压及干燥条件下制备的糙米重组米具有一定的市场可接受性。

3 结论

通过单因素实验和正交实验得到了糙米重组米制备的最优挤压参数和干燥条件为:2、3、4、5、6区温

表10 糙米重组米与市售产品、糙米及白米品质比较

Table 10 Comparison between reformed brown rice, commercial reformed rice, brown rice and rice

样品名称	最适蒸煮时间(min)	硬度(g)	粘附性(g·s)	咀嚼性	固形物损失(%)
糙米重组米	5.5	1964.75 ± 33.83 ^b	-108.97 ± 4.46 ^b	1028.31 ± 31.95 ^a	38.87 ± 1.43 ^a
市售重组米	6	2063.06 ± 105.96 ^{ab}	-102.89 ± 4.37 ^{ab}	1065.18 ± 36.38 ^a	38.09 ± 0.84 ^a
糙米	36.5	2316.35 ± 68.73 ^c	-23.16 ± 2.16 ^c	609.38 ± 28.15 ^b	9.12 ± 0.17 ^b
白米	19	2122.92 ± 94.64 ^a	-96.21 ± 9.17 ^a	502.43 ± 23.96 ^c	18.02 ± 0.04 ^c

度 60、100、100、70、60 °C, 加水量 28%, 螺杆转速 100 r/min, 45 °C 干燥 105 min。糙米重组米米饭的挥发性风味成分与糙米米饭存在差异, 挤压加工过程使酮类、酯类等造成损失, 但也使某些长链物质断裂重新生成一些较好的香味物质。在优化条件下制备的糙米重组米的硬度和粘附性接近于白米, 质构及蒸煮品质均优于糙米, 并且与市售重组米无明显差异。

参考文献

- [1] 汪阿虎, 林亲录, 吴跃, 等. 糙米的应用研究与发展前景[J]. 农产品加工, 2011(2): 4-7.
- [2] Kise M, Mizukuchi A. Pre-germinated brown rice as complementary therapeutic diet for hypertension [J]. FOOD STYLE 21, 2004, 8(7): 54-57.
- [3] 徐惠龙, 程祖铎, 杨志坚, 等. 糙米皮对高脂血症大鼠血脂水平的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 38-41.
- [4] 扈战强, 砖飞云, 陈琴, 等. 超声波辅助酶处理对糙米理化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(5): 1-5.
- [5] Zhang Q, Jia F, Zuo Y, et al. Optimization of cellulase conditioning parameters of germinated brown rice on quality characteristics [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(1): 465-471.
- [6] 刘明, 田晓红, 刘艳香, 等. 全谷物重组速煮糙米的理化性质和蒸煮品质研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 71-75.
- [7] 马文, 李喜宏, 刘霞, 等. 稻米淀粉对重组营养强化米品质的影响[J]. 食品科技, 2013, 38(12): 199-203.
- [8] Pinkaew S, Wegmuller R, Hurrell R. Vitamin A stability in triple fortified extruded, artificial rice grains containing iron, zinc and vitamin A [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47(10): 2212-2220.
- [9] Zheng X Z, Liu C H, Chen Z Y, et al. Effect of drying conditions on the texture and taste characteristics of rough rice [J]. Drying Technology, 2011, 29(11): 1297-1305.
- [10] Cui L, Pan Z, Yue T, et al. Effect of ultrasonic treatment of brown rice at different temperatures on cooking properties and quality [J]. Cereal chemistry, 2010, 87(5): 403-408.
- [11] Camire M E, Dougherty M P, Briggs J L. Functionality of fruit

powders in extruded corn breakfast cereals [J]. Food Chemistry, 2007, 101(2): 765-770.

- [12] 姜平, 张晖, 王立, 等. 大米经不同包装方式贮藏后蒸煮风味物质的变化[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(10): 1039-1045.
- [13] Gimenez M A, González R J, Wagner J, et al. Effect of extrusion conditions on physicochemical and sensorial properties of corn-broad beans (Vicia faba) spaghetti type pasta [J]. Food chemistry, 2013, 136(2): 538-545.
- [14] 安红周, 金征宇, 赵晓文, 等. 机筒温度对挤压工程重组米理化特性和物性的影响[J]. 食品科技, 2005(3): 20-23.
- [15] 曹晶, 赵建伟, 田耀旗, 等. 挤压工艺对保鲜方便米饭品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 33(4): 381-386.
- [16] Liu C, Zhang Y, Liu W, et al. Preparation, physicochemical and texture properties of texturized rice produce by improved extrusion cooking technology [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 54(3): 473-480.
- [17] 陈厚荣, 阚建全, 张甫生. 杂粮营养工程米耐煮性的优化工艺研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(11): 208-210.
- [18] 焦爱权, 庄海宁, 金征宇, 等. 微波热风干燥挤压方便米饭的脱水和复水数学模型的建立[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(2): 156-161.
- [19] 周显青, 伦利芳, 张玉荣, 等. 大米储藏与包装的技术研究进展[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(2): 71-75.
- [20] 陈厚荣, 阚建全, 张甫生. 杂粮营养工程米的干燥及蒸煮特性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(12): 112-116.
- [21] Kahyaoglu L N, Sahin S, Sumnu G. Physical properties of parboiled wheat and bulgur produced using spouted bed and microwave assisted spouted bed drying [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 98(2): 159-169.
- [22] 王蓓, 许时婴. SPME-GC-MS 对不同牛奶香精和稀奶油中的挥发性风味物质比较[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(7): 115-121.
- [23] 康东方, 何锦凤, 王锡昌. 顶空固相微萃取与 GC-MS 联用法分析米饭及其制品气味成分[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(5): 147-150.
- [24] 林茂, 吕建伟, 马天进, 等. 花生挥发性风味物质研究进展[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(12): 106-110.