不同原料复配对双螺杆挤压马铃薯年糕品质的影响

樊月[1,2,3]，胡宏海[2,3,4]，吴广臣[1]，戴小枫[2,3,4]，张泓[2,3,4]

（1.河北大学质量技术监督学院，河北保定 071002）（2.中国农业科学院合肥食品科学与营养创新研究院，安徽合肥 238000）（3.中国农业科学院农产品加工研究所，农业部农产品加工重点实验室，北京 100193）（4.中国农业科学院农产品加工研究所主食加工技术研究院，黑龙江哈尔滨 151900）

摘要：本研究通过在粳米粉、糯米粉、籼米粉中分别添加不同比例的马铃薯全粉，在特定双螺杆挤压条件下测定不同原料配比对挤压年糕品质特性的影响。研究结果表明：随着马铃薯全粉添加比例的增加，糯米、籼米和粳米3组年糕L*值均减小，b*值均增大；添加马铃薯全粉后，糯米组年糕蒸煮损失最大，籼米组次之，粳米组最小，且随着马铃薯全粉添加比例的增加，蒸煮损失均逐渐增大。马铃薯全粉的添加使得3组年糕硬度、咀嚼性增加；糯米组粘性增加，但弹性没有显著性变化；粳米组粘弹性先增加后减小，在马铃薯全粉添加量为40%时，其粘弹性值达到最大。扫描电镜结果表明，糯米年糕结构较疏松，粳米年糕和籼米年糕结构较紧实，添加马铃薯全粉使得年糕结构更加紧实。感官评价结果表明，粳米组得分较高。综合以上结果，以粳米粉为原料，马铃薯全粉添加量为40%时，双螺杆挤压年糕食用品质较好。

关键词：马铃薯全粉；大米粉；年糕；品质；双螺杆挤压

文章篇号：1673-9078(2017)8-188-194 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.8.028

Effects of Different Material Blends on the Quality of Potato Rice Cakes Made by Twin-screw Extrusion

FAN Yue[1,2,3], HU Hong-Hai[2,3,4], WU Guang-Chen[1], DAI xiao-feng[2,3,4], ZHANG Hong[2,3,4]

(1.College of Quality and Technology Supervision, Hebei University, Baoding 071002, China) (2.Academy of Food and Nutrition Health, Hefei, CAAS, Hefei 238000, China) (3.Institute of Food Science and Technology CAAS/ Comprehensive Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China) (4.College of Staple Food Technology, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Harbin 151900, China)

Abstract: The effects of different ratios of raw materials on the quality characteristics of twin-screw extruded potato rice cakes were determined by adding different proportions of potato granules to japonica rice flour, glutinous rice flour, and indica rice flour under specific twin-screw extruding conditions. The results showed that with increasing ratio of potato granules, the L* value of potato rice cakes decreased and the b* value increased. After the addition of potato granules, the highest cooking loss from potato rice cakes was found in the glutinous rice group, followed by the indica rice group, and the lowest cooking loss was found in the japonica rice group. Increasing the proportion of potato granules increased the cooking loss in all groups. With the addition of potato granules, the hardness and the chewiness of the potato rice cakes increased; for the japonica rice group, the stickiness first increased and then decreased, and the stickiness reached a maximum when the proportion of added potato granules was 40%. The stickiness of the glutinous rice group increased with the addition of potato granules, but the elasticity did not change significantly. Scanning electron microscopy results indicated that the structure of glutinous rice cakes was relatively loose, that of indica rice cakes was relatively firm, and the addition of potato granules made the structure of the rice cakes more compact. Considering all of the above results, the quality of potato rice cakes made by twin-screw extrusion was better when japonica flour was used as the raw material and the amount of added potato granules was 40%.

Key words: potato granules; rice flour; rice cake; quality; twin-screw extrusion

收稿日期：2017-01-22

基金项目：公益性行业（农业）科研专项（201503001-2）；北京市科技计划（D171105001900000）

作者简介：樊月（1993-），女，硕士研究生，研究方向：现代食品质量检测技术

通讯作者：胡宏海（1975-），男，博士，副研究员，研究方向：农产品加工理论与技术；张泓（1958-），男，博士，研究员，研究方向：传统食品加工与装备

年糕为一种历史悠久的传统食品，亦称为“稻饼”、“饵”和“糍”等，在中国、日本和泰国等亚洲国家深受欢迎。由于年糕通常以单一的糯米或粳米为原料[1,2]，营养价值较为单一。随着人们生活水平的提高，人们对营养健康食品的需求不断增加，采用不同原料复配制得的年糕，营养均衡，越来越受到消费者的青睐。马铃薯全粉是以新鲜马铃薯为原料经清洗、去皮、切片、蒸煮、破碎、护色和干燥等工序加工而成，最大限度地保留了新鲜马铃薯中蛋白质、碳水化合物、膳食纤维、维生素及矿物质等营养成分[3,4]，营养价值较高，且已有研究表明，添加马铃薯全粉后，米粉营养价值显著增加[5]，以马铃薯全粉为原料的高膳食纤维复配米更适合肥胖症人群使用[6]。马铃薯淀粉分子中的磷酸基团是影响淀粉糊化和回生的重要因素，使其具有独特的功能特性。Noda T 等研究结果表明，马铃薯淀粉中含有较多的磷酸基团，使得马铃薯淀粉中糊浆粘度高，透明度高[7]。通过在大米粉中添加一定比例的马铃薯全粉不仅有望可以提高年糕的营养价值，并可改善年糕的粘弹性。同时，传统年糕加工包括浸泡、水磨、压榨、蒸煮和挤压成型等复杂工序，耗时较长。双螺杆挤压技术集混合、揉捏、剪切、混炼和挤压等工序为一体，可大幅简化加工工序，缩短加工时间，具有高产率和高节能的特点[8,9]，已广泛应用于制备米粉、膨化食品和组织蛋白等[10,11]，但利用双螺杆挤压加工年糕的相关研究鲜有报道。本研究采用双螺杆挤压技术制作年糕，通过在糯米粉、粳米粉和籼米粉等年糕原料粉中添加不同比例的马铃薯全粉，比较分析了双螺杆挤压制作年糕过程中不同原料复配对年糕色泽、质构特性（TPA）、蒸煮特性和微观结构等品质的影响，为优化双螺杆挤压马铃薯年糕工艺，改善产品品质提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

糯米粉购自泰国初兴米粉厂有限公司；粳米粉购自宁波市五桥粮油有限责任公司；籼米粉购自山东枣庄茅草屋杂粮店；马铃薯全粉购自内蒙古凌志马铃薯科技股份有限公司。

1.2 主要仪器与设备

SHJ-2 双螺杆挤压机，南京杰亚挤出装备有限公司；Brookfield CT3 质构仪，美国 Brookfield 公司；电子眼（Digi eye colour measurement），英国生产；HHS 型数显式电热恒温水浴锅，上海博迅实业有限公司医疗设备厂；DGG-9203A 电热恒温鼓风干燥箱，上海森信实验仪器有限公司，S-570 扫描电子显微镜，日本日立公司。

1.3 马铃薯年糕样品制备

1.3.1 马铃薯年糕复配粉的制备

糯米粉（直链淀粉含量为 8.11%）、粳米粉（直链淀粉含量为 11.95%）、籼米粉（直链淀粉含量为 18.21%）、马铃薯全粉（直链淀粉含量为 43.50%）均过 80 目筛，马铃薯全粉分别以 0%、10%、20%、30%、40%和 50%的比例添加到三种大米粉中，混合均匀后制得不同原料配比的马铃薯年糕复配粉。

1.3.2 马铃薯年糕的制作

称取马铃薯年糕复配粉 500 g，并将复配粉倒入双螺杆挤压机喂料筒内，参考前人挤压米粉、大米等产品的挤压条件，结合本部分实验使用原料通过预实验设定双螺杆挤压机参数分别为：喂料转速为 40 r/min，液体泵转速为 48 r/min，双螺杆转速为 120 r/min，机筒温区温度分别为Ⅱ区：45 ℃；Ⅲ区：65 ℃；Ⅳ区：85 ℃；Ⅴ区：110 ℃；Ⅵ区：90 ℃；Ⅶ区：70 ℃。物料经双螺杆混合、揉捏、剪切、混炼、挤压后通过挤出模头成型，将挤压成型的马铃薯年糕剪成 10 cm 长条状，冷却后封袋，置 4 ℃冰箱老化 24 h，作为被测试样品。

1.4 品质特性指标测定

1.4.1 色泽测定

将马铃薯年糕样品切成 2 cm 长均匀小段，利用电子眼对其拍照，可得 L*、a*和 b*三个参数，L*为亮度值，a*为红-绿值，+a 方向代表红色，-a 方向代表绿色，b*为黄-蓝值，+b 方向代表黄色，-b 方向代表蓝色。每个样品选取 20 个点，求取平均值。

1.4.2 蒸煮损失测定

称取 5 g 马铃薯年糕样品（精确至 0.1 g），锥形瓶中加入 100 mL 蒸馏水在水浴锅中加热至沸腾，将样品放入锥形瓶内煮制 5 min 后捞出，置于滤网并用蒸馏水淋洗 30 s，将煮后剩余液体及洗涤液一并转入培养皿中，放入 105 ℃烘箱中干燥至恒重。

$$蒸煮损失(L)(\%)=\frac{M_2}{M_1(1-M)}\times 100\%$$

式中：M 表示年糕含水率；M_1 表示煮制前年糕质量；M_2 表示剩余液体中干物质重量。

1.4.3 质构特性

利用 Brookfield CT3 质构仪对样品的硬度、粘性、弹性、咀嚼性和可恢复形变等进行测定。将样品

切成 2 cm 长的均匀小段，按最佳蒸煮时间煮制后捞出，用蒸馏水淋洗 30 s，放置在质构仪基台上，选用 TA-PFS-C 探头，测试速度为 1 mm/s，触发点负载 5 g，压缩比为 80%，每个样品进行 6 次重复实验取其平均值。

1.4.4 微观结构

将样品切成 5 mm×2 mm×2 mm 块状，放在磷酸盐缓冲液中冲洗，经过清洗的样品迅速放入 2~4%戊二醛中固定。用 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液洗去多余的戊二醛，以乙醇作为脱水剂，进行 30%、50%、70%、80%、90%、95%和 100%梯度脱水，每个梯度 15~20 min，用 CO_2 临界点干燥仪对脱水后的样品进行临界点干燥，之后进行喷剂处理。利用扫描电镜，放大 1000 倍观察其微观结构。

1.4.5 感官评价

将马铃薯年糕样品切成 2 cm 长均匀小段，按最佳蒸煮时间煮制后捞出并置于滤网，用凉水淋洗 30 s。感官评价小组由 10 名（5 名男性和 5 名女性）经培训的专业感官评价人员组成，参照 SB/T 10507-2008 中年糕的感官评价要求，以外观、色泽、气味、口感和杂质作为评价指标，对马铃薯年糕进行感官综合评价。

表 1 马铃薯年糕感官评价表

Table 1 Sensory scoring criteria for potato rice cakes

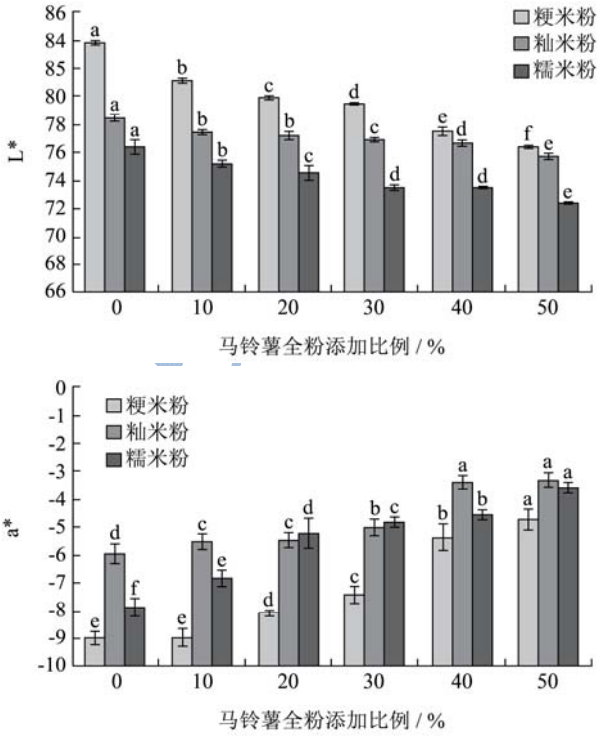
评价指标	评价标准		
外观（20 分）	光滑、规则（16~20 分）	较光滑、规则（10~15 分）	粗糙、不规则（0~10 分）
色泽（20 分）	色泽白亮（16~20 分）	色泽偏暗（10~15 分）	没有光泽（0~10 分）
气味（20 分）	马铃薯年糕固有香味浓郁（16~20 分）	马铃薯年糕固有香味较淡（10~15 分）	无马铃薯年糕固有香味（0~10 分）
口感（20 分）	口感细腻、柔韧性大（16~20 分）	口感略粗、柔韧性较差（10~15 分）	口感粗糙、柔韧性差（0~10 分）
杂质（20 分）	无肉眼可见杂质（16~20 分）	有细小杂质（10~15 分）	有杂质（0~10 分）

1.4.6 数据分析

数据统计与分析采用 SPSS 17.0 统计软件进行单因素方差分析（ANOVA），比较其差异显著性，显著性水平 $p<0.05$，数据用（平均值±标准差）表示。

2 结果与分析

2.1 不同比例马铃薯全粉对年糕色泽的影响



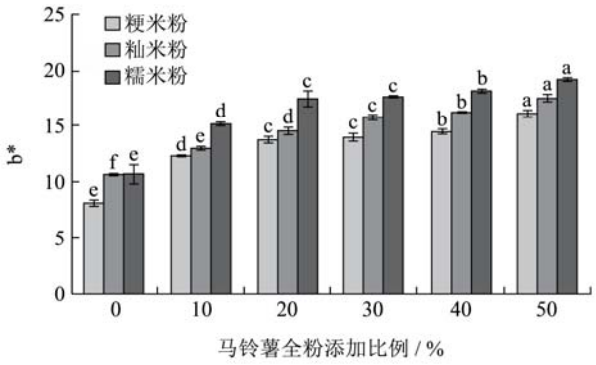


图 1 不同比例马铃薯全粉对年糕色泽的影响

Fig.1 Effects of different proportions of potato granules on the color of rice cakes

年糕的色泽是影响消费者对其直观评价的一个重要因素，利用电子眼测定年糕的 L*、a*和 b*值，可作为年糕色泽品质评价的客观依据。由图 1 可知，随着马铃薯全粉添加比例的增加，三种不同年糕的 L*值均减小，a*值和 b*值均增大，这表明马铃薯全粉的添加会使年糕的亮度值变小，黄度值、绿度值增加，年糕色泽加深。这是由于马铃薯全粉色泽偏黄，在大米粉中加入马铃薯全粉后会使年糕色泽变黄，且随马铃薯全粉添加比例增加黄度值逐渐增加。同时，马铃薯粳米年糕的 L*值最大，马铃薯糯米年糕最小；马铃薯糯米年糕的 a*值、b*值最大，马铃薯粳米年糕的最小。由此可见，在上述双螺杆挤压条件下，马铃薯粳米年糕亮度值最大，色泽较白，马铃薯糯米年糕的亮度值最小，色泽较暗。由于籼米粉本身色泽较粳米粉

为暗，因此，挤压出的年糕 L*偏小。糯米粉年糕色泽较暗可能是由于糯米粉的软糯特性，挤压过程中与螺杆摩擦较大，使得机筒内压力增大且温度较高，糊化反应及美拉德反应较强烈，导致色泽变暗。

2.2 不同比例马铃薯全粉对年糕蒸煮损失的影响

年糕在煮制过程中部分淀粉溶出，蒸煮特性可以表征年糕在蒸煮过程中固形物损失率的大小。淀粉或其他固形物的溶出会导致蒸煮损失率增加[12]。由图 2 可以看出马铃薯全粉添加量相同时，马铃薯粳米年糕的蒸煮损失率最小，显著低于马铃薯籼米年糕和马铃薯糯米年糕。这可能是由于籼米粉在磨法制粉过程中淀粉破损程度较大，使得年糕在煮制过程中溶出物增加。且由于糯米粉中支链淀粉含量较高，黏性较大，当马铃薯全粉为 0%和 10%时，双螺杆挤压制得的糯米年糕外形破损严重，导致煮制后溶出物显著增加，蒸煮损失显著高于其它年糕样品。随着马铃薯全粉添加比例的增加，年糕的蒸煮损失率亦逐渐增大。可能是由于马铃薯全粉生产过程中部分细胞被破坏，造成游离淀粉含量增加，煮制过程中淀粉溶出较多。

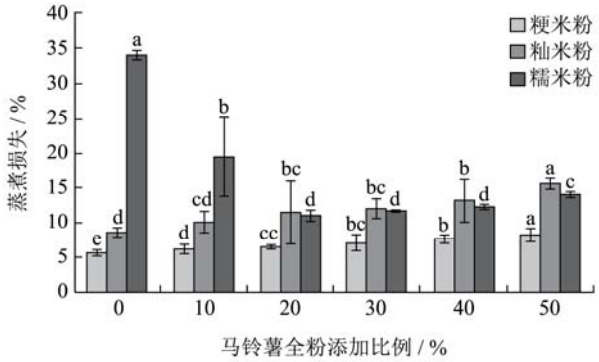


图 2 不同比例马铃薯全粉对年糕蒸煮损失的影响

Fig.2 Effects of different proportions of potato granules on the cooking loss from rice cakes

2.3 不同比例马铃薯全粉对年糕 TPA 特性的影响

表 2 不同比例马铃薯全粉对年糕 TPA 特性的影响

Table 2 Effects of different proportions of potato granules on the textural properties of rice cakes

	马铃薯全粉添加比例/%	硬度/g	粘性/mJ	弹性	内聚性	可恢复形变/mm	胶着性/g	咀嚼性/mJ
糯米粉	0	-	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-	-
	20	285.33±94.87^{b}	0.50±0.20^{ab}	0.90±0.02^{b}	0.72±0.01^{a}	1.00±0.07^{ab}	205.00±65.18^{b}	5.33±1.79^{c}
	30	298.33±67.00^{b}	0.37±0.12^{b}	0.91±0.02^{b}	0.66±0.02^{ab}	0.61±0.14^{c}	197.33±37.29^{b}	5.20±0.90^{c}
	40	436.67±38.89^{a}	0.63±0.06^{ab}	0.92±0.05^{b}	0.61±0.08^{b}	0.76±0.18^{bc}	263.33±18.45^{b}	7.50±0.78^{b}
	50	554.33±51.79^{a}	0.73±0.21^{a}	0.92±0.02^{b}	0.62±0.04^{b}	1.05±0.12^{b}	344.00±33.45^{a}	9.77±0.71^{a}
粳米粉	0	438.33±24.79^{d}	0.33±0.06^{ab}	0.86±0.05^{a}	0.50±0.03^{b}	1.00±0.11^{cd}	217.67±13.32^{c}	5.90±0.53^{d}
	10	487.33±15.95^{c}	0.37±0.12^{ab}	0.86±0.04^{a}	0.49±0.06^{b}	0.90±0.07^{d}	271.67±75.83^{c}	6.40±0.85^{d}
	20	505.00±10.15^{c}	0.27±0.06^{b}	0.86±0.02^{a}	0.46±0.01^{b}	1.11±0.06^{c}	245.00±26.06^{c}	6.53±0.76^{d}
	30	666.23±43.62^{b}	0.50±0.10^{ab}	0.90±0.01^{a}	0.59±0.02^{a}	1.38±0.02^{b}	415.00±16.52^{b}	11.73±0.60^{c}
	40	698.00±16.70^{b}	0.60±0.17^{a}	0.90±0.01^{a}	0.56±0.02^{a}	1.43±0.18^{ab}	477.33±25.17^{b}	14.63±0.81^{b}
	50	891.00±34.18^{a}	0.57±0.05^{b}	0.89±0.01^{a}	0.61±0.01^{a}	1.58±0.02^{a}	551.00±35.04^{b}	16.80±1.00^{a}
籼米粉	0	507.00±13.89^{d}	0.10±0.00^{c}	0.89±0.04^{a}	0.59±0.02^{a}	1.98±0.20^{a}	297.33±15.01^{a}	7.73±0.58^{ab}
	10	534.00±68.61^{d}	0.13±0.06^{c}	0.83±0.03^{ab}	0.47±0.10^{abc}	1.14±0.14^{b}	248.67±31.94^{a}	5.97±0.64^{ab}
	20	583.00±12.29^{cd}	0.43±0.12^{b}	0.81±0.15^{ab}	0.37±0.11^{bc}	1.15±0.26^{b}	217.67±64.93^{a}	5.07±2.52^{b}
	30	669.67±45.52^{bc}	0.53±0.12^{ab}	0.87±0.03^{ba}	0.48±0.07^{ab}	1.02±0.29^{b}	325.33±53.72^{a}	8.70±1.61^{a}
	40	723.00±47.89^{b}	0.49±0.21^{a}	0.78±0.09^{ab}	0.29±0.40^{c}	0.95±0.24^{b}	205.67±84.62^{a}	14.63±0.81^{b}
	50	1006.00±77.70^{a}	0.50±0.12^{ab}	0.69±0.05^{b}	0.40±0.11^{bc}	1.37±0.09^{b}	296.67±55.95^{a}	6.13±1.38^{ab}

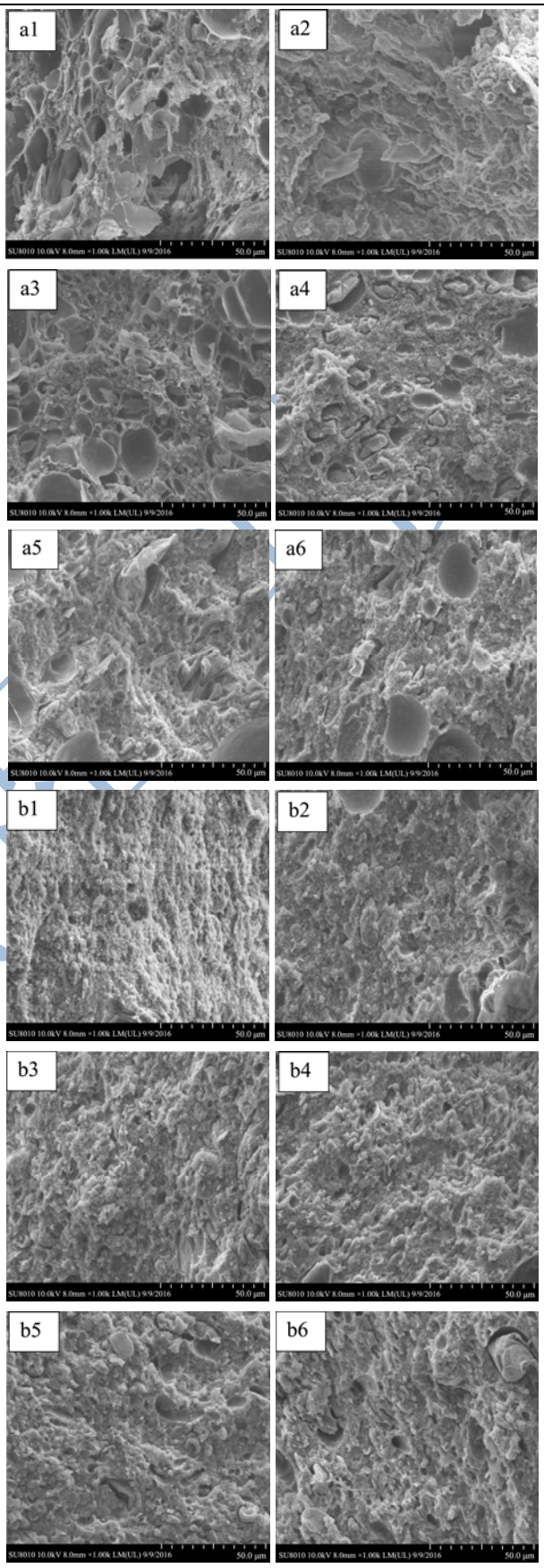
注：a、b、c 和 d 等代表不同马铃薯全粉添加量的显著性差异(p<0.05)。

TPA 质构特性是一个具有多参数且可以代替感官特性的评价指标，硬度和粘性可以作为表征熟化米制品的主要品质参数。Patindol J 等研究表明，淀粉网络结构、直/支比均会影响淀粉凝胶的力学性能，从而影响米制品的质构特性[13]。糯米年糕在马铃薯全粉添加比例为 0%和 10%时经挤压较难成型，再次煮制后表

面破损严重，因此在马铃薯全粉添加比例为0%和10%时的数据未给出。由表 2 可以看出，糯米组年糕硬度和咀嚼性最小，籼米组年糕硬度和咀嚼性最大，粳米组介于二者之间。这是由于在大米淀粉因挤压糊化后，在冷却形成凝胶的过程中，淀粉分子链通过氢键交联聚合，直链含量越高，生成的氢键越多，这些氢键的形成使凝胶硬度增大。这与 Li H 和 Prakash S 等研究结果中直链淀粉的含量、支链淀粉的链长与硬度成正相关，支链淀粉的含量与硬度成负相关，长支链淀粉的数量与黏性成负相关相一致[14]。随着马铃薯全粉添加比例的增加，更多的直链淀粉能够有机会重新相互聚集排列，分子间的缠绕程度增强，使得凝胶硬度增大，因此三组年糕硬度、咀嚼性均逐渐增大。稻米淀粉中支链淀粉的分子量较大，直链淀粉的分子量较小，且粘性与淀粉分子量成正相关[15]。由于糯米粉中支链淀粉含量最多，其次依次为粳米粉和籼米粉，因此糯米组粘性最大，粳米组次之，籼米组则最小。随着马铃薯全粉添加量的增加，三组年糕粘性均逐渐增加。马铃薯淀粉颗粒中含有磷酸基团，并以共价键形式结合于淀粉分子上，磷含量和淀粉糊浆粘度之间呈高度的正相关[16,17]，磷酸含量越高的淀粉糊化后糊浆粘度越大，因此，马铃薯全粉添加量的增加会增加年糕粘性。但对糯米组和粳米组的弹性影响不显著，使籼米组的弹性降低；当马铃薯全粉添加量为 40%时，粳米组粘弹性值达到最大。

2.4 不同比例马铃薯全粉对年糕微观结构的影响

利用扫描电镜对糯米年糕、粳米年糕、籼米年糕以及添加不同比例马铃薯全粉的年糕进行微观结构观察。结果表明，糯米粉糊化后淀粉分子网络结构疏松，粳米粉和籼米粉糊化后淀粉分子网络结构较紧密。相比于粳米粉和籼米粉，糯米粉中含较多支链淀粉，支链淀粉分子结构呈网状分布[18]，导致年糕结构疏松，孔隙较多。随着马铃薯全粉添加比例的增加，糯米组年糕网络结构逐渐紧实，粳米组和籼米组结构也逐渐变紧密，但变化不显著。这可能是由于添加马铃薯全粉后，直链淀粉含量增加，更多的直链淀粉在糊化过程中双螺旋结构打开，重新聚合排列，使得凝胶网络更加紧密，凝胶强度增加，与 TPA 特性测定中随马铃薯全粉添加硬度逐渐增加的结果相一致。



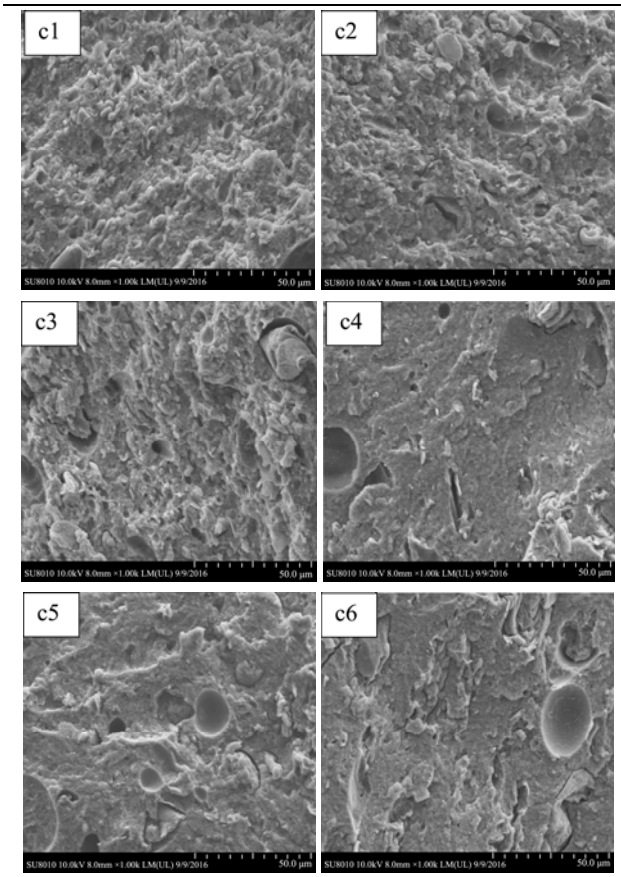


图 3 不同比例马铃薯全粉对年糕微观结构的影响

Fig.3 Effects of different proportions of potato granules on the microstructure of rice cakes

a1：糯米粉+0%马铃薯全粉 a2：糯米粉+10%马铃薯全粉 a3：糯米粉+20%马铃薯全粉 a4：糯米粉+30%马铃薯全粉 a5：糯米粉+40%马铃薯全粉 a6：糯米粉+50%马铃薯全粉；b1：粳米粉+0%马铃薯全粉 b2：粳米粉+10%马铃薯全粉 b3：粳米粉+20%马铃薯全粉 b4：粳米粉+30%马铃薯全粉 b5：粳米粉+40%马铃薯全粉 b6：粳米粉+50%马铃薯全粉；c1：籼米粉+0%马铃薯全粉 c2：籼米粉+10%马铃薯全粉 c3：籼米粉+20%马铃薯全粉 c4：籼米粉+30%马铃薯全粉 c5：籼米粉+40%马铃薯全粉 c6：籼米粉+50%马铃薯全粉。

2.5 马铃薯年糕感官评价分析

感官评价是主观评价方法，可以较为直接的对产品质量进行评价并反应消费者对产品品质的可接受度。由表 3 可知，添加马铃薯全粉后，各项感官评价指标有显著性差异。粳米组总分得分相对较高，糯米组和籼米组得分相对较低，且粳米组在外观、色泽和口感得分高于糯米组和籼米组。粳米组添加马铃薯全粉后，外观和色泽得分有所降低，但口感得分增加，在马铃薯全粉添加量为 0%~40%时，粳米组总分得分没有显著性差异，消费者对其可接受度没有明显地变化；当马铃薯全粉添加比例为 50%时，总分得分显著降低。糯米组在马铃薯全粉添加量为 0%和 10%时，外观和口感得分较低，是由于糯米粉在挤压过程中不易成型，再次煮制后，外形破损严重，严重影响了外观和口感。籼米组年糕表面较粗糙，口感柔韧性较差，总体得分较低。根据感官评价测定结果，粳米组年糕在外观、色泽和口感上优于糯米组年糕和籼米组年糕。

表 3 马铃薯年糕感官评价结果

Table 3 Sensory evaluation results for potato rice cakes

马铃薯全粉添加比例/%		外观	色泽	气味	口感	杂质	总分
粳米组	0	16.67±0.58^{a}	17.67±0.58^{a}	17.67±0.58^{a}	15.33±0.58^{c}	17.67±0.58^{a}	85.00±1.00^{a}
	10	15.33±0.58^{b}	17.33±0.58^{a}	17.00±1.00^{ab}	17.00±1.73^{b}	17.33±0.58^{a}	84.00±1.00^{a}
	20	15.67±0.58^{ab}	16.33±0.58^{b}	17.67±0.58^{a}	17.33±0.58^{b}	17.00±1.00^{a}	84.00±1.00^{a}
	30	15.67±0.58^{ab}	15.67±0.58^{bc}	18.00±0.00^{a}	17.67±0.58^{ab}	16.67±1.15^{a}	83.67±1.53^{a}
	40	15.00±1.00^{b}	15.00±0.00^{c}	18.00±1.00^{a}	19.00±0.00^{a}	17.67±0.58^{a}	84.67±1.53^{a}
	50	12.67±0.58^{c}	12.67±0.58^{d}	16.00±1.00^{b}	18.33±0.58^{ab}	17.67±0.58^{a}	77.33±0.58^{b}
糯米组	0	7.00±1.00^{c}	14.67±0.58^{a}	17.33±1.53^{a}	9.33±1.53^{c}	18.00±1.00^{a}	66.33±1.53^{d}
	10	12.33±2.08^{b}	14.33±0.58^{a}	17.00±1.00^{a}	11.67±1.53^{bc}	17.33±0.58^{a}	72.67±3.06^{c}
	20	15.67±0.58^{a}	13.33±0.58^{b}	17.00±1.00^{a}	14.33±0.58^{ab}	17.00±1.00^{a}	77.33±1.15^{a}
	30	15.00±1.00^{a}	12.67±0.58^{bc}	17.00±1.73^{a}	15.33±1.53^{a}	16.67±1.15^{a}	76.67±1.15^{ab}
	40	14.33±0.58^{ab}	12.00±0.00^{c}	18.00±1.00^{a}	16.33±2.08^{a}	17.67±0.58^{a}	78.33±2.08^{a}
	50	13.67±1.53^{ab}	9.67±0.58^{d}	16.00±1.00^{a}	16.33±1.53^{a}	17.67±0.58^{a}	73.33±2.08^{bc}
籼米组	0	12.00±1.00^{a}	15.33±0.58^{a}	17.67±0.58^{a}	14.67±1.53^{b}	17.00±1.00^{a}	76.67±3.51^{ab}
	10	12.33±2.52^{a}	13.33±1.15^{ab}	17.00±1.00^{ab}	15.00±1.00^{a}	17.00±1.73^{a}	74.67±0.58^{ab}

转下页

接上页

20	11.67±1.15[a]	13.33±2.08[ab]	17.67±0.58[a]	17.33±0.58[a]	16.33±2.08[a]	76.33±2.08[ab]
30	12.33±1.53[a]	13.00±1.00[ab]	18.00±0.00[a]	17.67±0.58[a]	16.67±1.15[a]	77.67±4.04[a]
40	11.00±1.00[a]	12.33±1.15[b]	18.00±1.00[a]	15.00±0.00[b]	16.67±1.53[a]	73.00±1.00[b]
50	11.67±1.53[a]	12.00±2.00[b]	16.00±1.00[b]	14.00±2.00[b]	17.67±0.58[a]	71.33±4.16[b]

注：a、b、c 和 d 等代表不同马铃薯全粉添加量的显著性差异(p<0.05)。

3 结论

3.1 杆挤压加工方式，比较分析糯米年糕、粳米年糕和籼米年糕品质特性，糯米年糕粘性较大，挤压过程中难以成型，导致蒸煮后溶出物增加，在挤压过程中摩擦较强烈，加速了美拉德反应，使得亮度值较低；而籼米年糕硬度较大，粘弹性较差，粳米组亮度值最大，蒸煮损失率最小，粘弹性较佳，所以选取粳米粉为原料挤压制作年糕。

3.2 马铃薯全粉对年糕的品质特性有显著影响。马铃薯全粉的添加使得年糕结构紧实，孔隙减少，硬度、咀嚼性逐渐增加；添加一定比例马铃薯全粉可以改善年糕粘性，但添加量过多时粘性反而降低。马铃薯全粉弹性变化影响不显著。粳米组中马铃薯全粉添加比例为 40%时，年糕的粘弹性值达到最大。随着马铃薯全粉添加量逐渐增加，年糕色泽变黄变暗，蒸煮损失率增加。感官测定结果表明，粳米组得分相对较高。综合考虑，以粳米粉为原料粉，马铃薯全粉添加量为 40%时，年糕的品质达到最佳。

参考文献

[1] Reepholkul K, Charoenrein S. Effect of sodium carbonate on appearance and textural properties of glutinous rice cake [J]. Int. J. Food Sci. Technol., 2013, 48(10): 2185-2192

[2] Baek E, Kim H, Choi H, et al. Antifungal activity of *Leuconostoc citreum* and *Weissella confusa* in rice cakes [J]. Journal of Microbiology, 2012, 50(5): 842-8

[3] 何贤用,杨松.马铃薯全粉产品的品质与生产控制[J].食品工业科技,2005,26(3):275-277
HE Xian-yong,YANG Song. Potato powder product quality and production control [J]. Science and Technology, 2005, 26(3): 275-277

[4] 文丽.马铃薯营养价值探讨[J].现代农业科技,2016,4: 293-294
WEN Li. Discussion of the potato nutritional value [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2016, 4: 293-294

[5] 谌珍,胡宏海,崔桂友,等.马铃薯米粉营养成分分析及食用品质评价[J].食品工业,2016,10:55-60
SHEN Zhen, HU Hong-hai, CUI Gui-you, et al. Analysis of nutritional components of potato rice flour and evaluation of edible [J]. The Food Industry, 2016, 10: 55-60

[6] 张辉,胡宏海,谌珍,等.高膳食纤维营养复配米的成分分析与营养评价[J].食品科技,2016,8:165-169
ZHANG Hui, HU Hong-hai, SHEN Zhen, et al. Composition analysis and nutrition evaluation of high dietary fiber complex rice [J]. Food Science and Technology, 2016, 8: 165-169

[7] Noda T, Tsuda S, Mori M, et al. Determination of the phosphorus content in potato starch using an energy-dispersive X-ray fluorescence method [J]. Food Chemistry, 2006, 95(4): 632-637

[8] H G, S A, K A, et al. Precooked bran-enriched wheat flour using extrusion: dietary fiber profile and sensory characteristics [J]. Journal of Food Science, 2008, 73(4): 173-179

[9] Sharma P, Gujral H S. Extrusion of hulled barley affecting *β*-glucan and properties of extrudates [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(6): 1374-1389

[10] 侯传亮.双螺杆挤压机在农产品加工中的应用[J].农业装备与车辆工程,2006,7:6-8
HOU Chuan-liang. Application of twin-screw extruder in agricultural product processing [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2006, 7: 6-8

[11] 欧阳玲花,戴小枫,胡宏海,等.双螺杆挤压条件对鲜切马铃薯复配大米米粉品质的影响[J].食品工业科技,2017,1
OUYANG Ling-hua, DAI Xiao-feng, HU Hong-hai, et al. Effect of twin-screw extrusion on quality of fresh-cut potato mixture rice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 1

[12] Kim Y, Kee J I, Lee S, et al. Quality improvement of rice noodle restructured with rice protein isolate and transglutaminase [J]. Food Chem., 2014, 145(4): 409-16

[13] Patindol J, Gu X, Wang Y J. Chemometric analysis of cooked rice texture in relation to starch fine structure and leaching characteristics [J]. Starch/Stärke. 2010, 62(3-4): 188-197

[14] Li H, Prakash S, Nicholson T M, et al. The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties

of cooked rice grains [J]. Food Chemistry, 2016, 196: 702-711

[15] 熊善柏,赵思明,张声华.稻米淀粉的理化特性研究Ⅱ稻米直链淀粉和支链淀粉的理化特性[J].中国粮油学报, 2003, 18(2):5-8
XIONG Shan-bai, ZHAO Si-ming, ZHANG Sheng-hua. Studies on physicochemical properties of rice starch Ⅱ. Physicochemical properties of rice amylose and amylopectin [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2003 18(2): 5-8

[16] 于天峰,夏平.马铃薯淀粉特性及其利用研究[J].中国农学通报,2005,21(1):55-58
YU Tian-feng, XIA Ping. Study on properties and utilization of potato starch [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(1): 55-8

[17] A K A, C T L, L V P, et al. Effects of phosphorus contents on the gelatinization and retrogradation of potato starch [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(2): C132-C138

[18] Peymanpour G, Marcone M, Ragaee S, et al. On the molecular structure of the amylopectin fraction isolated from “high-amylose” ae maize starches [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 91: 768-777

现代食品科技