

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90070

大米—黄米混米品质特性

Quality properties of mixture of the proso millet and rice

任 静¹ 姜雯倩¹ 赵 宁¹REN Jing¹ JIANG Wen-qian¹ ZHAO Ning¹姬小惠¹ 李梦卿¹ 杜双奎^{1,2}JI Xiao-hui¹ LI Meng-qing¹ DU Shuang-kui^{1,2}

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 咸阳 712100;

2. 粮油功能化加工陕西省高校工程研究中心, 陕西 咸阳 712100)

(1. College of Food Science and Engineering of Northwest A & F University, Xianyang, Shaanxi 712100, China; 2. Engineering Research Center of Grain and Oil Functionalized Processing, Universities of Shaanxi Province, Xianyang, Shaanxi 712100, China)

摘要:目的: 获得营养价值高、口感风味好的大米—黄米混配米饭。方法: 通过向大米中添加不同比例的黄米, 从氨基酸评分、质构特性、感官评分、风味特性方面分析混米米饭的营养和食用品质特性。结果: 黄米的添加对米饭的质构特性、感官评分、风味特性有显著影响。黄米复配比例与混米米饭的黏附性、咀嚼性呈极显著正相关 ($P < 0.05$), 与感官评分呈极显著负相关 ($P < 0.05$); 添加黄米增加了米饭的风味化合物种类、含量, 提高了米饭的感官评分。结论: 当榆黍 1 号添加量为 10%~20% 时, 混米米饭的黏附性、咀嚼性适中, 米饭有较好的 TPA 特性。

关键词: 黄米; 大米; 质构特性; 感官评分; 风味特性

Abstract: Objective: The purpose of this study was to mix rice and proso millets and obtain high nutritional value, fantastic taste and flavor mixed rice. **Methods:** By adding different proportions of proso millets to rice, the nutritional value and fantastic taste of mixed rice were evaluated via the amino acid score (AAS), texture profile properties, sensory evaluations and flavor properties. **Results:** There were significant differences in the texture profile properties, sensory evaluations and flavor properties among cooked proso millets additions. The proportion of the cooked rice addition was significantly positively correlated to the gumminess and chewiness of rice, while it was significant negatively related to the sensory evaluations. Furthermore, the addition of the proso millets increased the variety, content of flavor compounds

in mixed rice and obviously improved the scores of the sensory evaluations. **Conclusion:** The integral quality and nutritional value of the mixed rice were the most excellent when the addition of the Yushu 1 proso millet was 10%~20%.

Keywords: proso millet; rice; texture profile properties; sensory evaluations; flavor properties

大米是中国人的主食之一, 伴随饮食结构的精细化, 消费者对主食的营养特性与食味品质越来越关注^[1]。大米口感优良, 香气浓, 但随着加工精度的提高, 其营养物质损失严重, 特别导致核黄素与硫胺素降低^[2-3]。黄米作为营养价值较高的一种杂粮, 备受消费者青睐, 其蛋白含量高于大米与玉米等, 且为无麸质蛋白, 是患有乳糜泻患者与麸质敏感者的理想优选食品^[4]。黄米中必需氨基酸含量较高, 可与大米、玉米搭配, 互补其氨基酸不足^[5]。此外, 黄米含有丰富的 B 族维生素、矿物质, 脂肪含量高且具有特殊香气等优点, 其铁含量是大米的 3.13 倍, 钙磷含量高于大米^[6-7]。相对于精米、精面, 黄米米饭口感粗糙, 适口性较差, 不能满足消费者需求^[6]。因此, 将黄米与大米混合搭配食用可实现营养与品质方面的互补, 不仅利于日常摄入营养均衡的蛋白质与改善黄米口感不佳等问题, 同时也为黄米的利用提供了新的思路 and 方向。但目前黄米添加对大米品质特性、香气特征的影响尚不明确。

研究拟以榆黍 1 号、榆黍 2 号黄米和宁粳 50 大米为试验材料, 在对其基本组分分析的基础上, 从氨基酸评分、感官评分、质构特性及风味特性方面评价混米米饭的品质特性, 以期为大米、黄米的混和复配提供指导, 为不同粮食搭配混搭改善品质提供依据。

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (编号: 2021NY-155)

作者简介: 任静, 女, 西北农林科技大学在读硕士研究生。

通信作者: 杜双奎 (1972—), 男, 西北农林科技大学教授, 博士。

E-mail: dushuangkui@nwfau.edu.cn

收稿日期: 2021-08-07

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

宁粳 50(粳性大米):陕西榆林上盐湾;
榆黍 1 号(糯性黄米)、榆糜 2 号(粳性黄米):陕西府谷;
总淀粉含量测定试剂盒:爱尔兰 Megazme 公司;
溴化钾:光谱级,天津科密欧化学试剂公司;
无水乙醇、石油醚等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

高速万能粉碎机:FW-100 型,天津泰斯特仪器有限公司;
全自动凯氏定氮仪:UPT-K1600 型,瑞典 FOSS 公司;
氨基酸自动分析仪:L-89001001A 型,日立(中国)有限公司;
低速离心机:KDC-40 型,科大创新股份有限公司中佳分公司;
气质联用仪:TRALE DSQII03030706 型,赛默飞世尔公司;
电饭煲:HAOLTONCFXB20-B 型,1.5 L,350 W,廉江市长程电器厂。

1.3 试验方法

1.3.1 混合米制备

(1) 榆黍 1 号与大米混合:混合配比($m_{\text{榆黍1号}}:m_{\text{大米}}$)分别为 10:90,20:80,30:70,依次记为榆黍 1 号 10%、榆黍 1 号 20%、榆黍 1 号 30%,搅拌均匀。

(2) 榆糜 2 号与大米混合:混合配比($m_{\text{榆糜2号}}:m_{\text{大米}}$)分别为 10:90,20:80,30:70,依次记为榆糜 2 号 10%、榆糜 2 号 20%、榆糜 2 号 30%,搅拌均匀。

1.3.2 米饭样品制备 称取米样 100 g,按 $m_{\text{水}}:m_{\text{米}}=1:2$,加入蒸馏水,电饭锅蒸煮,煮熟后保温 20 min,备用。

1.3.3 理化指标测定

- (1) 水分含量:参照 GB 5009.3—2016 恒重法。
- (2) 总淀粉含量:采用淀粉检测试剂盒测定。
- (3) 粗蛋白含量:参照 GB 5009.5—2010 凯氏定氮法。
- (4) 粗脂肪含量:参照 GB 5009.6—2016 索氏抽提法。
- (5) 灰分含量:参照 GB 22427.1—2008 高温灼烧法。
- (6) 氨基酸含量:参照 GB 5009.124—2016。
- (7) 氨基酸评分(AAS):按式(1)进行计算。

$$S_{\text{AAS}} = \frac{P_1}{P_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

S_{AAS} ——氨基酸评分值,%;

P_1 ——某必需氨基酸含量,mg/g·粗蛋白;

P_2 ——FAO/WHO 评分模式氨基酸含量,mg/g·粗蛋白。

1.3.4 米饭 TPA 特性 称取 50 g 米饭于 100 mL 烧杯中,用物性测定仪测定。探头采用 P50R,测前、中速度为 1 mm/s,测后速度为 2 mm/s,压缩比 90%。

1.3.5 米饭感官特性 参照陈静等^[8]的方法。当米饭温度降至 40~50 ℃时,由 5 位评价员参照表 1 进行感官评价,满分 100 分。

表 1 米饭感官评价表

Table 1 Sensory evaluation table of rice

指标	评分标准	评分
色泽	呈白色或正常色,颜色均一,光泽好	14~20
	颜色不均一,光泽不足	9~13
	有异色或颜色发暗	0~8
形态	均匀完整无异物,形状规整	14~20
	较均匀,形状较规整	9~14
	不均匀,不完整,形状不规整	0~8
滋味	滋味丰厚悠长	14~20
	滋味一般	9~14
	滋味较差	0~8
香气	天然米饭香气浓郁	14~20
	天然香气不浓,但无不良气味	9~14
	无米饭香气,有明显不良气味	0~8
口感	滑爽,有嚼劲,黏弹性好,柔韧性好	14~20
	较滑爽,黏弹性不足,较硬或较软烂	9~14
	不滑爽,黏弹性差,或有夹生,或软烂	0~8

1.3.6 米饭香气特性 参照 Rohleder 等^[9]的方法。气相色谱条件:PEG-200 mol/L 毛细管柱;载气流量(He) 0.8 mL/min,不分流;柱初温 40 ℃,保持 4 min,以 6 ℃/min 升温至 80 ℃,以 10 ℃/min 升温至 230 ℃,保持 7 min。质谱条件:接口温度 250 ℃、离子源温度 200 ℃、离子化方式 EI、电子能量 70 eV、检测电压 350 V、发射电流 200 μA。

2 结果与分析

2.1 基本组分分析

由表 2 可知,榆黍 1 号、榆糜 2 号两种黄米的总淀粉、直链淀粉、粗蛋白、粗脂肪以及灰分含量显著高于大米($P<0.05$)。黄米的粗蛋白含量是大米的 2 倍多,达 12% 左右,食用可改善中国居民的食源蛋白,尤其是动物蛋白不足的现状^[10];其粗脂肪含量是大米的 13 倍以上,灰分含量是大米的 2 倍左右,表明黄米中含有丰富的蛋白质、粗脂肪和矿物质元素,若将黄米与大米混配,可提高大米的营养价值,达到营养互补的效果。

表 2 样品基本组分含量(干基)[†]

Table 2 Proximate composition contents of samples(dry basis)(<i>n</i> = 2)						%
样品	总淀粉	直链淀粉	粗蛋白	粗脂肪	灰分	
榆黍 1 号	81.26±0.06 ^a	2.25±0.23 ^c	12.27±0.04 ^a	2.95±0.01 ^a	1.29±0.07 ^a	
榆糜 2 号	80.96±0.88 ^a	20.56±0.15 ^a	11.36±0.06 ^b	2.19±0.01 ^b	1.11±0.01 ^b	
宁梗 50	70.10±0.81 ^b	19.61±0.18 ^b	6.53±0.14 ^c	0.19±0.01 ^c	0.63±0.01 ^c	

† 同列字母不同表示差异显著(*P* < 0.05)。

2.2 氨基酸组分

由表 3 可知,榆黍 1 号(14.89 mg/g · 粗蛋白)、榆糜 2 号(13.71 mg/g · 粗蛋白)的氨基酸总量明显高于大米(6.76 mg/g · 粗蛋白),必需氨基酸、非必需氨基酸总含量均是水稻的 2 倍多。大米中除甘氨酸(0.29 mg/g · 粗蛋白)、赖氨酸(0.23 mg/g · 粗蛋白)与精氨酸(0.53 mg/g · 粗蛋白)外,其他氨基酸含量均低于黄米,脯氨酸、丙氨酸和亮氨酸含量不足黄米的 1/3。虽然黄米与大米的第一限制性氨基酸均为赖氨酸,但大米的赖氨酸含量仍是黄米的近 1.9 倍,与 Anitha 等^[11]的结果一致。黄米与水稻的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 比值无明显差别,而托列霍加 · 加吾提等^[12]研究表明黄米的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 比值均低于大米,可能与原料品种间遗传基因、加工方式不同等因素有关。

由表 4 可知,两种黄米的苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸含量均高于大米,大米的赖氨酸、组氨酸含量高于黄米。除赖氨酸、组氨酸外,两种黄米的其他必需氨基酸的 AAS 均高于水稻的,其中榆黍 1 号(97.89%)、榆糜 2 号(90.53%)亮氨酸的 AAS 最高,且明显高于大米(29.47%)的,亮氨酸具有调节中枢,降低血糖值的作用^[13]。大米的氨基酸评分较低,导致其氨基酸的生物效价不高,因此可利用黄米中氨基酸评分高的优点与大米混合搭配,从而提高大米蛋白质的营养价值。

2.3 米饭品质分析

2.3.1 TPA 特性 大米蒸煮质构特性是反映大米食用品质的重要因素,特别是硬度和黏附性^[14]。Meullenet

表 3 样品氨基酸组分含量

Table 3 Amino acids contents of samples				mg/g · 粗蛋白
氨基酸种类	榆黍 1 号	榆糜 2 号	大米	
天冬氨酸 Asp	0.82	0.72	0.60	
苏氨酸 Thr	0.42	0.39	0.25	
丝氨酸 Ser	0.79	0.74	0.30	
谷氨酸 Glu	3.18	2.98	1.24	
脯氨酸 Pro	2.48	2.33	0.80	
甘氨酸 Gly	0.25	0.21	0.29	
丙氨酸 Ala	1.41	1.36	0.39	
胱氨酸 Cys	0.19	0.16	0.10	
缬氨酸 Val	0.61	0.53	0.34	
蛋氨酸 Met+	0.25	0.22	0.09	
异亮氨酸 Ile	0.54	0.47	0.26	
亮氨酸 Leu	1.86	1.72	0.56	
酪氨酸 Tyr	0.39	0.36	0.24	
苯丙氨酸 Phe+	0.72	0.68	0.34	
赖氨酸 Lys	0.15	0.12	0.23	
组氨酸 His	0.43	0.41	0.20	
精氨酸 Ary	0.40	0.31	0.53	
必需氨基酸 EAA	4.73	4.32	2.18	
非必需氨基酸 NEAA	10.16	9.39	4.58	
总氨基酸 TAA	14.89	13.71	6.76	
EAA/TAA	0.32	0.32	0.32	
EAA/NEAA	0.47	0.46	0.48	

表 4 必需氨基酸组分对比评价

Table 4 Comparative evaluation of essential amino acid components							
必需氨基酸	氨基酸含量/(mg · g ⁻¹ · 粗蛋白)			FAO/WHO 推荐模式	氨基酸评分(AAS)/%		
	榆黍 1 号	榆糜 2 号	大米		榆黍 1 号	榆糜 2 号	大米
苏氨酸 Thr	0.42	0.39	0.25	0.9	46.67	43.33	27.78
缬氨酸 Val	0.61	0.53	0.34	1.3	46.92	40.77	26.15
异亮氨酸 Ile	0.54	0.47	0.26	1.3	41.54	36.15	20.00
亮氨酸 Leu	1.86	1.72	0.56	1.9	97.89	90.53	29.47
苯丙氨酸 Phe+	0.72	0.68	0.34	1.9	37.89	35.79	17.89
赖氨酸 Lys	0.15	0.12	0.23	1.6	9.38	7.50	14.38
组氨酸 His	0.43	0.41	0.44	1.6	26.88	25.63	27.50

表 5 米饭的 TPA 特性[†]
Table 5 TPA characteristics of rice

样品	硬度/N	黏附性/(N·s)	咀嚼性/N
大米	26.58±1.06 ^a	14.28±0.04 ^{ab}	9.15±0.21 ^c
榆黍 1 号	14.33±0.87 ^f	8.11±0.20 ^e	5.83±0.18 ^d
榆糜 2 号	23.18±1.65 ^c	14.07±0.98 ^{ab}	10.31±1.13 ^{abc}
榆黍 1 号 10%	16.89±1.18 ^e	9.69±0.19 ^{de}	6.77±0.07 ^d
榆黍 1 号 20%	16.82±1.56 ^e	12.78±2.41 ^{bc}	9.65±1.73 ^{bc}
榆黍 1 号 30%	19.57±2.49 ^c	10.71±2.65 ^{cd}	7.37±1.77 ^d
榆糜 2 号 10%	23.82±1.41 ^{b,c}	15.05±1.39 ^{ab}	11.26±0.85 ^{ab}
榆糜 2 号 20%	26.65±0.72 ^a	16.14±0.35 ^a	11.95±0.29 ^a
榆糜 2 号 30%	26.00±0.11 ^{ab}	15.65±0.34 ^a	10.38±0.69 ^{abc}

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

等^[15]研究发现,硬度、黏附性和咀嚼性可较好反映米饭的质地结构。由表 5 可知,大米米饭的硬度和黏附性显著高于榆黍 1 号、榆糜 2 号米饭,而榆糜 2 号米饭的硬度、黏附性和咀嚼性均高于榆黍 1 号米饭。黄米添加量对米饭 TPA 特性有显著影响($P<0.05$),与大米米饭相比,添加榆黍 1 号后,混米米饭的硬度和黏附性均显著降低($P<0.05$),可能因为混米在蒸煮糊化过程中,黄米的吸收速度大于大米,当黄米混合比例达到 30%时,黄米的吸水速度快,成熟度高,占主导作用,影响了大米的完全吸水熟化,从而影响了混米米饭的成熟度,导致米饭偏硬。当榆黍 1 号混配比例为 20%时,米饭硬度最小、黏附性和咀嚼性最大,食用品质较好,可能是榆黍 1 号添加量超过 20%时,混米米饭糊化温度升高,米饭难以均匀熟化,大米、黄米成熟度不一,导致感官得分降低,这可能与大米、黄米吸水蒸煮熟化程度不一有关,所以榆黍 1 号添加量以 20%为宜。添加榆糜 2 号后,混米米饭硬度下降,黏附性、咀嚼性增大,这与混米中的直链淀粉含量增大有关,因直链淀粉含量与咀嚼性呈极显著正相关^[16-17];当榆糜 2 号混配比例为 10%时,米饭硬度、黏附性适中,较为接近纯大米米饭,食用品质好。Zhu 等^[18]研究指出,中国消费者更喜欢硬度低、黏性大,咀嚼度适中的米饭。综上,当榆黍 1 号和榆糜 2 号添加量分别为 20%和 10%时,混米米饭的硬度和黏附性适中,质构特性较好。

2.3.2 米饭感官特性 由表 6 可知,纯大米米饭的形态和口感得分高于黄米米饭,榆黍 1 号米饭的滋味、香气得分高于大米和榆糜 2 号米饭;榆糜 2 号米饭的色泽得分最高,但滋味、口感不及榆黍 1 号米饭。这是因为粳性品种榆糜 2 号直链淀粉、蛋白质含量高,阻碍了蒸煮过程中水的扩散作用,影响了蒸煮效果,导致榆糜 2 号米饭硬度较高,黏度较低,质地松散,使口感和滋味评分偏低^[19]。榆黍 1 号的添加会使混米米饭除外观形态变差外,其他指标评分均升高,当其添加量为 10%时,混米米饭的总感官评分最高,食用品质最好;而榆糜 2 号的添加会使混米米饭除香气评分增加外,其他指标评分均下降,混米米饭

表 6 米饭感官评分
Table 6 Sensory evaluation score of rice

样品	色泽	形态	滋味	香气	口感	总分
大米	14.5	16.5	13.0	14.0	14.5	72.5
榆黍 1 号	15.0	14.0	14.0	15.5	12.0	70.5
榆糜 2 号	16.0	15.0	11.5	14.0	9.0	65.5
榆黍 1 号 10%	15.0	15.5	15.0	16.0	15.0	76.5
榆黍 1 号 20%	15.0	16.0	14.0	14.5	15.5	75.0
榆黍 1 号 30%	14.5	15.5	13.5	14.0	15.0	72.5
榆糜 2 号 10%	14.0	15.0	11.5	14.0	13.5	68.0
榆糜 2 号 20%	12.5	15.0	10.5	14.0	10.0	62.0
榆糜 2 号 30%	14.5	15.0	11.0	12.5	10.5	63.5

的总感官评分小于纯大米米饭,榆糜 2 号混米米饭的感官评分也低于榆黍 1 号,表明榆糜 2 号不适宜与大米复配。

2.3.3 相关性分析 由表 7 可知,混米米饭的硬度与吸水率存在极显著负相关($P<0.01$),即吸水率越高,混米米饭硬度越小,这与混米的直链淀粉含量、米粒吸水特性有关。混米中直链淀粉含量多,其紧密的封闭型螺旋结构利于其形成较强的分子内氢键,导致难与水分子接触,所以米粒间松散且相对较硬^[19]。米饭的黏附性与黄米混配比例呈极显著正相关($P<0.01$),与吸水率、透光率呈极显著负相关($P<0.01$);米饭的咀嚼性与黄米比例呈极显著正相关($P<0.01$),与碘蓝值和透光率呈极显著负相关($P<0.01$)。米饭的感官评价与碘蓝值和透光率呈极显著正相关($P<0.01$),与黄米比例呈极显著负相关($P<0.01$),米饭色泽与其他指标间无显著相关性。综上,混米米饭的黏附性、咀嚼性以及感官评分受黄米比例以及吸水率影响,吸水率越高,米饭的硬度、黏附性越小;黄米混配比例越大,米饭的黏附性、咀嚼度越高,但感官评分会下降,即黄米适度比例添加是可行的。米饭的碘蓝值、透光率越高,米饭的咀嚼性越低,但感官评分会提高,这与混米中的直链淀粉含量高低有关,说明适当提高混米直

表 7 米饭理化指标和食用品质相关性分析[†]
Table 7 Correlation analysis of physicochemical indexes and edible quality of rice

指标	黄米比例	碘蓝值	透光率	吸水率
米饭色值	-0.369	-0.183	-0.051	0.168
米饭硬度	-0.038	0.224	0.171	-0.826**
米饭黏附性	0.528**	-0.368	-0.425*	-0.532**
米饭咀嚼性	0.652**	-0.524**	-0.564**	-0.238
感官评分	-0.541**	0.590**	0.554**	0.093

† * 显著相关($P<0.05$), ** 极显著相关($P<0.01$)。

链淀粉含量,有利于提高米饭品质。

2.3.4 米饭风味物质 研究^[20-21]表明,挥发性物质会受到直链淀粉含量、品种、环境条件等因素的影响。直链淀粉是一种长链型聚合物,可与挥发性物质形成络合物,从而提高挥发性物质的含量。目前米饭中已鉴定出 100 多种风味物质,大部分是一些醛、酮、酸、酯、醇、烷烃以及杂环等化合物,其中醛类物质是米饭中评价米饭香气的主要指标^[22]。

由表 8 可知,纯大米米饭中共鉴定出 5 种醛类、2 种酮类、2 种酯类、2 种酸类、1 种呋喃类和 1 种苯类,其中

表 8 米饭中鉴定出的风味化合物[†]
Table 8 Analysis list of flavor compounds identified in rice

种类	物质名称	相对含量/%									香气特征
		大米	榆黍 1 号	榆糜 2 号	榆黍 1 号 10%	榆黍 1 号 20%	榆黍 1 号 30%	榆糜 2 号 10%	榆糜 2 号 20%	榆糜 2 号 30%	
酮类	苯乙酮	0.18	—	0.26	0.14	0.27	0.19	—	0.22	0.20	山楂香
	丙酮	1.94	—	—	0.21	0.28	0.34	0.65	—	—	辛辣味
	二苯甲酮	—	—	—	—	0.12	—	—	—	—	玫瑰香
醛类	乙醛	—	—	—	—	0.08	—	—	—	—	刺激气味
	异丁醛	—	0.08	—	—	—	—	—	—	—	刺激气味
	戊醛	0.09	0.27	0.06	0.07	0.07	—	—	—	—	木香
	异戊醛	—	0.10	—	—	—	—	—	—	—	水果香
	己醛	1.01	1.64	—	1.37	0.98	0.72	—	0.38	0.24	青草香
	庚醛	—	0.15	—	—	—	—	—	0.08	—	水果香
	壬醛	0.14	0.07	0.08	—	0.13	—	—	—	—	柑橘香
	苯甲醛	0.59	—	0.77	0.52	0.49	0.57	0.61	0.66	0.64	坚果香
	2-甲基丁醛	—	0.15	—	—	—	—	—	—	—	可可味
	3-甲基丁醛	—	—	0.07	—	—	—	—	—	—	苹果香
	3,5-二甲基苯甲醛	0.29	—	0.34	—	—	—	0.20	0.20	0.21	杏仁味
	辛酸乙酯	0.06	—	—	—	—	—	—	—	—	白兰地酒
酯类	癸酸辛酯	0.71	—	—	—	—	—	—	—	—	甜香
	2-甲基呋喃	—	0.25	—	—	—	0.10	—	—	—	醚样气味
呋喃	2-戊基呋喃	0.41	0.93	0.34	0.61	0.87	0.67	0.28	0.32	0.36	豆香
	二甲基硫醚	—	0.56	—	0.09	0.17	0.27	—	—	—	海鲜味
醚类	甲基叔丁醚	—	—	—	—	—	—	0.35	—	—	萜烯味
	苯甲酸	1.21	0.98	—	1.03	1.29	0.90	—	0.96	0.85	安息香
酸类	异丁酸	0.10	—	—	—	—	—	—	—	—	刺激气味
	L-谷氨酸	—	—	—	—	—	—	—	0.43	—	酸味
	琥珀酸	—	—	—	—	—	—	—	—	0.54	酸味
	乙醇	—	—	0.04	0.15	—	—	—	—	—	酒味
醇类	戊醇	—	0.08	—	0.13	—	—	—	—	—	水果香
	3-戊醇	—	—	0.06	—	—	—	—	0.10	—	特殊气味
	己醇	—	—	—	—	—	—	0.34	—	—	水果香
	甲硫醇	—	—	—	—	—	—	—	—	0.07	烂菜心味
	戊烷	—	0.71	0.58	—	—	—	—	—	0.48	薄荷香
	4-异丙基苯酚	—	—	1.00	—	—	—	—	—	—	药香
其他	苯	0.13	0.09	0.18	0.17	—	0.07	0.09	0.09	0.08	苦杏仁香

† — 表示未查到或未检出。

醛类和酮类含量较高,总相对含量均为 2.12%,酸类和酯类总相对含量分别为 1.31%,0.77%,而呋喃类和苯类物质的含量相对较低。榆黍 1 号混米米饭中增加了 6 种风味化合物,分别为二苯甲酮(玫瑰香)、乙醛(刺激气味)、乙醇(酒味)、戊醇(水果香)、2-甲基呋喃(醚样气味)、二甲基硫醚(海鲜味);其中醛类和酸类含量较高,总相对含量分别为 5.00%,3.22%;其次是酮类和呋喃类,总相对含量分别为 1.55%,2.25%,其余物质含量相对较低。榆糜 2 号混米米饭中增加了 8 种风味化合物,分别为庚醛(水果香)、甲基叔丁醚(萜烯味)、L-谷氨酸(酸味)、琥珀酸(酸味)、3-戊醇(特殊气味)、己醇(水果香)、甲硫醇(烂菜心味)、戊烷(薄荷香);其中醛类和酸类含量较高,总相对含量分别为 3.22%,2.78%,其次是酮类和呋喃类,总相对含量分别为 1.07%,0.96%,其余物质含量相对较低。但米饭的关键风味化合物 2-乙酰基吡咯啉尚未检出,可能由品种、检测仪器精度等不同因素造成^[23]。

黄米中存在的醇类与酚类物质可为黄米米饭提供一定的芳香、花香等良好的香气^[24],杂环类物质中的呋喃类成分对米饭香气也有重要作用^[25];酮类赋予米饭甜味与微酸;酯类一般没有芳香气味,但对米饭的香气起到强化作用,还可增加米饭饱满湿润的口感。综上,黄米的添加增加了大米米饭中的风味化合物种类及含量。

3 结论

试验表明,大米的蛋白质、粗脂肪及氨基酸含量、氨基酸评分较低,与黄米合理搭配可提高其营养价值。混米米饭的黏附性、咀嚼性与黄米复配比例呈极显著正相关($P<0.01$),但黄米复配比例与感官评分呈极显著负相关($P<0.01$);榆黍 1 号的添加明显提高了大米米饭的感官评分,且添加量为 10%~20%时,混米米饭有较好的质构特性,食用品质好。黄米的添加增加了大米米饭中的风味化合物种类及含量,但蛋白质、淀粉、脂肪组分与结构及其相互作用对风味和质地的影响尚未涉及,后续可重点研究。

参考文献

- [1] FUKAGAWA N K, ZISKA L H. Rice: Importance for global nutrition[J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 2019, 65 (Suppl): S2-S3.
- [2] MONKS J, VANIER N L, CASARIL J, et al. Effects of milling on proximate composition, folic acid, fatty acids and technological properties of rice [J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2013, 30(2): 73-79.
- [3] 熊善柏, 赵思明, 李建林, 等. 米饭理化指标与感官品质的相关性研究[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(1): 83-87.

- XIONG Shan-bai, ZHAO Si-ming, LI Jian-lin, et al. Study on the correlations between physicochemical properties and sensory qualities of cooked rice[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2002, 21(1): 83-87.
- [4] GULATI P, ZHOU Y, ELOWSKY C, et al. Microstructural changes to proso millet protein bodies upon cooking and digestion [J]. Journal of Cereal Science, 2018, 80: 80-86.
- [5] WIEDEMAIR V, SCHOLL-BÜRG I S, KARALL D, et al. Amino acid profiles and compositions of different cultivars of *Panicum miliaceum* L.[J]. Chromatographia, 2020(18): 829-837.
- [6] 杨清华. 粳糯糜子品种品质评价与蒸煮食味品质特性研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2020: 4-6.
- YANG Qing-hua. Comparison and evaluation of cooking edibility qualities in waxy and non-waxy proso millet[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2020: 4-6.
- [7] 曹珍珍, 贾才华, 牛猛, 等. 模拟传统柴火烹饪方式对米饭食味及蛋白质营养特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(8): 1-7, 33.
- CAO Zheng-zheng, JIA Cai-hua, NIU Meng, et al. The effects of simulating traditional firewood cooking methods on cooked rice taste and protein nutritional properties [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(8): 1-7, 33.
- [8] 陈静, 刘宏, 沈群. 12 种杂粮米及其混合米感官评价分析[J]. 食品科技, 2012, 37(8): 136-139.
- CHEN Jing, LIU Hong, SHEN Qun. Sensory evaluation analysis of 12 varieties of grains and mixed grains[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(8): 136-139.
- [9] BOESWETTER A R, SCHERF K A, SCHIEBERLE P, et al. Quantitative analyses of key odorants and their precursors reveal differences in the aroma of gluten-free rice bread compared to wheat bread[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(40): 1-36.
- [10] AKHARUME F, SANTRA D, ADEDEJI A A. Physicochemical and functional properties of proso millet storage protein fractions[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 108: 105497.
- [11] ANITHA S, GOVINDARAJ M, KANE-POTAKA J. Balanced amino acid and higher micronutrients in millets complements legumes for improved human dietary nutrition[J]. Cereal Chemistry, 2020, 97(1): 1-11.
- [12] 托列霍加·加吾提, 吾买尔夏提·塔汉, 隋晓青. 20 份糜子材料的氨基酸含量分析及营养价值评价[J]. 种子, 2020, 39(7): 31-36.
- JIAWUTI Tuo-lie-huo-jia, TAHAN Wu-mai-er-xia-ti, SUI Xiao-qing. Amino acid analysis and nutritional value evaluation of 20 pan seedicum miliaceum materials[J]. Seed, 2020, 39(7): 31-36.
- [13] 王婧, 李小平, 刘柳, 等. 燕麦等五种谷物的氨基酸含量综合评价[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(4): 438-445.
- WANG Jing, LI Xiao-ping, LIU Liu, et al. Principal component analysis and comprehensive evaluation of amino acids of oat and other four crops [J]. Journal of Triticeae Crops, 2019, 39(4): 438-445.
- [14] LI H Y, PRAKASH S, M T, et al. Instrumental measurement of

- cooked rice texture by dynamic rheological testing and its relation to the fine structure of rice starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 146: 253-263.
- [15] MEULLENET J F, CHAMPAGNE E T, BETT K L. Instrumental assessment of cooked rice texture characteristics: A method for breeders[J]. Cereal Chemistry, 2000, 77(4): 512-517.
- [16] 王玉珠, 林伟峰, 陈中. 大米理化指标与米饭品质相关性的研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(11): 1 312-1 315.
- WANG Yu-zhu, LIN Wei-feng, CHEN Zhong. Study on the correlation between characteristics of rice and the quality of cooked rice[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(11): 1 312-1 315.
- [17] 张荣彬, 颜景超, 高文明, 等. 粳米与籼米组合对婴幼儿米粉食用品质的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 193-198.
- ZHANG Rong-bin, YAN Jing-chao, GAO Wen-ming, et al. Effects of the combination of japonica rice and indica rice on the eating quality of rice noodles for infants[J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 193-198.
- [18] ZHU D, ZHANG H, GAO B, et al. Physicochemical properties of indica-japonica hybrid rice starch from Chinese varieties[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 63: 356-363.
- [19] 黄天柱. 大米食味品质与大米理化特性的相关性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012: 2-3.
- HUANG Tian-zhu. Research on relativity between rice's physical-chemical properties and edible quality[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012: 2-3.
- [20] 于果, 钱丽丽, 张东杰, 等. 不同品种大米理化指标的差异研究[J]. 农产品加工, 2017(7): 41-43.
- YU Guo, QIAN Li-li, ZHANG Dong-jie, et al. Study on the differences of physical and chemical indexes in variety rice[J]. Farm Products Processing, 2017(7): 41-43.
- [21] FUKUDA T, TAKEDA T, YOSHIDA S. Comparison of volatiles in cooked rice with various amylose contents[J]. Food Science and Technology Research, 2014, 20(6): 1 251-1 259.
- [22] CLAVERI P, ZHANG H, LI Q, et al. Impact of the soak and the malt on the physicochemical properties of the sorghum starches[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2010, 11(8): 3 002-3 015.
- [23] ZENG Z, ZHANG H, CHEN J Y, et al. Flavor volatiles of rice during cooking analyzed by modified headspace SPME/GC-MS[J]. Cereal Chemistry, 2008, 85(2): 140-145.
- [24] LISABELLE M, CHRISTIAN M, KARINE P, et al. Odor-active compounds in cooked rice cultivars from camargue (France) analyzed by GC-O and GC-MS[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(13): 5 291-5 298.
- [25] BRYANT R J, MCCLUNG A M. Volatile profiles of aromatic and non-aromatic rice cultivars using SPME/GC-MS [J]. Food Chemistry, 2010, 124(2): 501-513.

(上接第 103 页)

- [13] 黄志刚, 刘凯, 李梦林, 等. 单螺杆挤出机计量段模拟研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 63-67.
- HUANG Zhi-gang, LIU Kai, LI Meng-lin, et al. Simulation of measurement section of single screw extruder for PLA[J]. Food & Machinery, 2016, 32(1): 63-67.
- [14] 黄志刚, 蒋卫鑫, 李鑫, 等. 啮合异向双螺杆挤出机仿真研究[J]. 包装学报, 2019, 11(3): 9-15.
- HUANG Zhi-gang, JIANG Wei-xin, LI Xin, et al. Simulation study of meshing counter-rotating twin-screw extruder [J]. Packaging Journal, 2019, 11(3): 9-15.
- [15] 韩海川, 刘谨, 李开国, 等. 双螺杆啮合元件与反螺纹元件对流场影响的仿真[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(6): 74-77, 87.
- HAN Hai-chuan, LIU Jin, LI Kai-guo, et al. Simulation of influence of twin-screw meshing element and anti-thread element on flow field[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(6): 74-77, 87.
- [16] 程建邦. 无机物/聚合物在双螺杆挤出机共混挤出过程中的数值模拟[D]. 太原: 太原理工大学, 2021: 17-21.
- CHENG Jian-bang. Numerical simulation for inorganicsubstances/polymers in blending and extrusion process oftwin screw extruder[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2021: 17-21.
- [17] 杨明山, 赵明. 塑料成型加工工艺与设备[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2010: 14-16.
- YANG Ming-shan, ZHAO Ming. Plastics processing technology and equipments[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2010: 14-16.

(上接第 161 页)

- [11] 毛娟, 万鹏, 梁国平, 等. 基于区域适栽品种筛选的苹果品质综合评价模型的建立[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 60-66.
- MAO Juan, WAN Peng, LIANG Guo-ping, et al. Establishment of comprehensive evaluation model of apple quality for regional suitable varieties selection [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(19): 60-66.
- [12] 方明明, 刘静. 基于回归卷积神经网络的近红外光谱苹果脆片品质评价方法研究[J]. 食品科技, 2020, 45(7): 303-308.
- FANG Ming-ming, LIU Jing. Evaluation method of apple chips quality by near infrared spectroscopy based on regressive convolutional neural network[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(7): 303-308.
- [13] 刘云刚, 王伟. 基于 SFLA 优化的 BP 神经网络苹果鲜度气味识别系统[J]. 传感器与微系统, 2020, 39(8): 96-99.
- LIU Yun-gang, WANG Wei. Apple fresh odor recognition system based on SFLA optimized BP neural network[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2020, 39(8): 96-99.
- [14] 孟庆龙, 尚静, 杨雪, 等. 基于 BP 网络的苹果硬度高光谱无损检测[J]. 包装工程, 2020, 41(15): 14-18.
- MENG Qing-long, SHANG Jing, YANG Xue, et al. Nondestructive detection for hyperspectral imaging of apple firmness based on BP network[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(15): 14-18.