

预糊化处理对杂粮米饭食用品质的影响

朱益清, 倪萍, 赵卿宇, 陈博睿, 王超, 沈群*

(中国农业大学食品科学与营养工程学院 国家粮食产业(青稞深加工)技术创新中心
国家果蔬加工工程技术研究中心 北京 100083)

摘要 杂粮营养丰富且具有多种功能,与大米复配后可提高其营养价值。然而,杂粮口感粗糙、不易蒸煮导致杂粮米饭的食用率较低。本研究以黑米、薏米、高粱和燕麦为试验对象,采用预糊化技术对 4 种杂粮进行处理,结合色差仪、质构仪、感官评价和喜好性评分对杂粮米饭的食用品质进行评估。结果表明:黑米在预糊化 5 min 后可与大米同熟,薏米、高粱和燕麦在预糊化 10 min 后可与大米同熟。预糊化处理对黑米和高粱的色泽影响较大,使黑米的 a^* 值和 b^* 值分别降低了 33.02% 和 11.76%,高粱的 a^* 值和 b^* 值分别降低了 41.38% 和 14.40%。经 25 min 的预糊化处理,黑米、薏米、高粱和燕麦的硬度降低、弹性和黏聚性增加。黑米和高粱的适口性在预糊化处理 20 min 后分别增加了 35.39% 和 131.04%,薏米和燕麦的适口性在预糊化处理 25 min 后分别增加了 229.05% 和 82.17%。当黑米、薏米、高粱和燕麦与大米的复配比例为 30%,20%,20% 和 20% 时,杂粮米饭的喜好性评分最高,分别为 15 分,14 分,14 分和 15 分。热风干燥和真空包装处理可有效延缓杂粮米饭贮藏期间脂肪酸值和过氧化值的生长。杂粮米饭在常温贮藏 40 d 内品质均符合要求。

关键词 预糊化处理; 杂粮米饭; 食用品质; 贮藏

文章编号 1009-7848(2023)12-0114-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.12.013

杂粮,是指除水稻、小麦、玉米、大豆和薯类等五大作物以外的其它小宗粮豆作物,主要包括高粱、燕麦、大麦、荞麦、薏米、黑米、芸豆、红豆、绿豆等^[1]。杂粮营养价值丰富,具有许多生理功能。相关研究表明,经常食用杂粮可以有效预防癌症,提高机体免疫力,降低 2 型糖尿病和各种慢性疾病的患病风险^[2]。杂粮具有保健效果,然而食用口感粗糙,使得其无法作为主食。工业生产中常将杂粮与其它精加工产品进行复配以改善杂粮的口感^[3-4]。

利用杂粮与大米复配生产的杂粮米饭已成为近年来较为流行的新型营养主食^[5-6]。与精白米饭相比,杂粮米饭不仅具有独特的风味、色泽和口感,而且营养更加丰富。然而,杂粮的密度和硬度较高,使得其在蒸煮过程中难与大米同熟,这给消费者带来了很大的不便^[7]。对杂粮进行预糊化处理可以提高杂粮的糊化度,从而达到与大米共煮同熟的目的^[8]。较常见的预糊化处理技术有常压蒸煮、蒸汽蒸煮、高压蒸煮和微波蒸煮等^[9]。其中,常压蒸煮因具有安全简单、操作便捷等优点而被广

泛应用于杂粮的预糊化处理。倪萍等^[10]以红豆、绿豆为试验对象,与大米进行复配,发现红豆在 20 °C 浸泡 8 h,蒸煮 10 min;绿豆在 20 °C 浸泡 4 h,蒸煮 10 min 后可与大米同熟。刘晓松等^[11]以糊化度和感官评分为指标,确定绿豆、红豆、糙米、薏米与大米同熟的预熟化工艺为:薏米 40 °C 浸泡 4 h,蒸煮 10 min;红豆 35 °C 浸泡 4 h,蒸煮 15 min;绿豆 27 °C 浸泡 4 h,蒸煮 5 min;糙米 27 °C 浸泡 3 h,蒸煮 5 min。

常压蒸煮应用于杂粮米饭预糊化的研究有很多,然而在蒸煮前都需要将杂粮进行长时间浸泡处理。本研究以黑米、薏米、高粱和燕麦为试验对象,将未经浸泡处理的 4 种杂粮直接进行预糊化处理,结合糊化度、色泽、质构、感官评价、喜好性评分、脂肪酸值和过氧化值等指标对杂粮米饭的食用品质和贮藏品质进行评估。研究结果可为开发安全方便、口感适宜且营养丰富的杂粮米饭提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黑米、薏米、高粱、燕麦、大米,市售;糖化淀粉酶,北京益莱生物技术有限责任公司;直链淀粉含

收稿日期: 2022-12-25

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-06-14.5)

第一作者: 朱益清,男,博士生

通信作者: 沈群 E-mail: shenqun@cau.edu.cn

量检测试剂盒,北京索莱宝科技有限公司;其它化学试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

DT-100A 电热鼓风干燥箱,重庆银河试验仪器有限公司;NDB30508 电饭煲,北欧家庭电器有限公司;CR-13B 电磁炉,广东容声电器股份有限公司;XINGCAI 蒸锅,揭阳市兴财金属制品有限公司;TX-XT Plus 质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司;AR5120 精密电子天平,上海奥豪斯仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 理化性质测定 水分含量测定根据 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》;蛋白质含量测定根据 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》;脂肪含量测定根据 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》;淀粉含量测定根据 GB 5009.9-2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》;直链淀粉含量使用直链淀粉含量检测试剂盒测定。

1.3.2 预糊化处理 参照倪萍等^[10]的试验方法并作修改。称取 60 g 杂粮,蒸馏水清洗 3 次后备用。蒸锅中加入 1 000 mL 蒸馏水,置于 1 00 W 电磁炉上加热至沸腾。随后将 60 g 杂粮与 90 mL 蒸馏水混合并加入到蒸锅配套的器皿中,盖上盖子后开始计时。分别蒸煮 5, 10, 15, 20, 25 min, 焖制 10 min。

1.3.3 糊化度测定 预糊化的杂粮放入 50 °C 电热鼓风干燥箱中干燥 6 h, 取出后粉碎并过 60 目筛备用。采用糖化酶法测定糊化度^[11]。

1.3.4 杂粮米饭制备 预糊化的杂粮干燥后,与新鲜大米混合并放入电饭煲中复煮。按混合米:水=1:1.6(质量比)的比例加入蒸馏水。电饭煲加热 20 min, 焖制 10 min。

1.3.4.1 色差测定 使用色差仪对 4 种杂粮的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值进行测定^[12]。

1.3.4.2 质构测定 使用 TX-XT Plus 质构仪测定 4 种杂粮的质构特性^[13]。选用 P36/R 探头,在 TPA 模式下设置压力 15 g, 测试速度 1 mm/s, 停留时间 2 s, 压缩程度 90%。

1.3.4.3 感官评价 参照 GB/T15682-2008《粮油

检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》及相关文献^[3],对杂粮米饭的气味、色泽、外观、适口性、滋味和冷饭质地进行评价。感官评价小组由 20 名食品专业技术人员组成,具体评分标准见表 1。

1.3.4.4 复配比例计算 通过喜好性评分确定杂粮与大米的复配比例^[14]。预糊化的杂粮干燥后,以 10%, 20%, 30%, 40% 和 50% 的比例与大米复配蒸煮。感官评价小组成员按喜好性对 5 种比例的杂粮米饭进行排序,第一名给 5 分,随后依次递减 1 分,以总分最高为最佳复配比例。

1.3.4.5 干燥时间确定 预糊化的杂粮均匀平铺于托盘中,在 50 °C 电热鼓风干燥箱中干燥。参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》对杂粮中的水分含量进行测定,记录水分含量随时间的变化。

1.3.4.6 过氧化值及脂肪酸值测定 真空包装后的杂粮米饭在室温(20 °C±2 °C)条件下避光放置。贮藏期间脂肪酸值和过氧化值的测定分别根据 GB/T 5510-2011《粮油检验 粮食、油料脂肪酸值测定》和 GB 5009.227-2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》。

1.4 数据处理与分析

每组试验重复 3 次,试验结果以平均值±标准差表示。通过 SPSS 22.0 软件进行统计学分析, Duncan 多重比较法分析显著性差异(以 $P < 0.05$ 表示差异显著)。使用 Origin Pro 9.5 和 Excel 2010 软件进行图像处理。

2 结果与分析

2.1 杂粮的理化性质

将 4 种杂粮洗净后,与大米混合蒸煮。测定其直接蒸煮糊化度,结果见表 2。黑米、薏米、高粱和燕麦的直接蒸煮糊化度分别为 91.44%, 82.54%, 81.02% 和 84.34%。根据国家规定,米糠类食物的直接蒸煮糊化度需在 85% 以上^[10]。因此可以看出黑米易熟化,薏米、高粱和燕麦不易熟化。一般来说,直链淀粉含量越高,淀粉越难糊化^[15]。高粱和燕麦中的直链淀粉含量显著高于黑米中的直链淀粉含量($P < 0.05$),导致其直接蒸煮糊化度较低。然而,薏米中含有较少的直链淀粉却难以糊化,这可

表1 感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard

评价指标	评分标准	分值
气味(20分)	米饭香气浓郁	18~20
	米饭香气一般	15~17
	米饭香气不明显	12~14
	无米饭香气,但无异味	7~12
	米饭有异味	0~6
色泽(10分)	表面颜色自然,光泽好	8~10
	表面颜色加深,光泽不足	4~7
	表面颜色变化明显,有异色或颜色发暗,表面无光泽	0~3
外观(10分)	蒸煮后整体形态均匀,米粒结构紧密完整	8~10
	蒸煮后整体形态基本均匀,米粒大部分结构紧密完整	4~7
	蒸煮后整体形态不均匀,米粒出现爆花	0~3
适口性(30分)	有嚼劲,软硬适中,有黏性,不黏牙	23~30
	稍有嚼劲,略硬或略软,有黏性,基本不黏牙	17~22
	嚼劲差,很硬或很软,黏牙或有夹生	0~16
滋味(25分)	咀嚼时,有较浓郁的清香和甜味	22~25
	咀嚼时,有淡淡的清香和甜味	18~21
	咀嚼时,无清香滋味,但无异味	16~17
	咀嚼时,无清香滋味,但有异味	0~15
冷饭质地(5分)	较松散,黏弹性较好,硬度适中	4~5
	结团,黏弹性略差,略硬	2~3
	板结,黏弹性差,偏硬	0~1

能是由于薏米中的蛋白质含量较高。研究发现,蛋白质与淀粉颗粒的相互作用会限制淀粉颗粒吸水膨胀,导致糊化度降低^[16]。因此,为了提高杂粮的

糊化度和杂粮米饭的食用品质,需要对杂粮进行预糊化处理。

表2 黑米、薏米、高粱和燕麦的营养组成和直接蒸煮糊化度

Table 2 The nutritional composition and direct cooking gelatinization of black rice, coix seed, sorghum and oats

样品	直接蒸煮糊化度/%	水分/%	蛋白质/%	脂肪/%	淀粉/%	直链淀粉/%
黑米	91.44 ± 0.28 ^a	13.93 ± 0.04 ^a	9.46 ± 0.07 ^d	2.53 ± 0.03 ^d	78.75 ± 1.44 ^a	17.43 ± 0.19 ^e
薏米	82.54 ± 0.51 ^{bc}	11.39 ± 0.02 ^c	12.82 ± 0.30 ^b	3.35 ± 0.02 ^b	57.89 ± 0.75 ^c	9.64 ± 0.06 ^d
高粱	81.02 ± 0.24 ^c	11.64 ± 0.18 ^b	10.45 ± 0.08 ^c	3.12 ± 0.03 ^c	69.84 ± 1.21 ^b	22.74 ± 0.01 ^b
燕麦	84.34 ± 1.12 ^b	11.22 ± 0.11 ^d	13.81 ± 0.19 ^a	7.13 ± 0.04 ^a	59.16 ± 0.57 ^c	28.40 ± 0.02 ^a

注:同一列数据后的不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 蒸煮时间对杂粮糊化度的影响

测定了4种杂粮在不同蒸煮时间下的糊化度。从图1a可以看出,随着蒸煮时间的增加,4种杂粮的糊化度逐渐增加。当蒸煮时间达到25 min时,黑米、薏米、高粱和燕麦的糊化度分别为90.03%,88.24%,82.35%和86.63%。高粱的糊化度始终低于国家规定的米糠类食物的直接蒸煮糊化度。这可能是由于高粱籽粒较坚硬,难以吸水,

导致蒸煮过程中淀粉颗粒吸水膨胀受限^[5]。在相同蒸煮时间下对4种杂粮的糊化度进行比较,黑米的糊化度始终最高。黑米的糊化度在蒸煮20 min时达到了87.54%,说明4种杂粮中黑米较易熟化。这一结果与表2的结果相一致。

将预糊化后的杂粮与大米混合蒸煮后,测定其糊化度。从图1b可以看出,预糊化处理提高了4种杂粮的糊化度。黑米经5 min预糊化处理后,

糊化度达到了 87.58%,表明黑米可以在该条件下与大米同熟。薏米、高粱和燕麦经 5 min 预糊化处理后糊化度分别为 83.59%,77.42%和 83.43%,低于国家规定的米糠类食物的直接蒸煮糊化度。然

而,经过 10 min 预糊化处理,薏米、高粱和燕麦的糊化度分别达到 88.21%,85.81%和 90.49%。因此,薏米、高粱和燕麦在预糊化处理 10 min 后,可以与大米同熟。

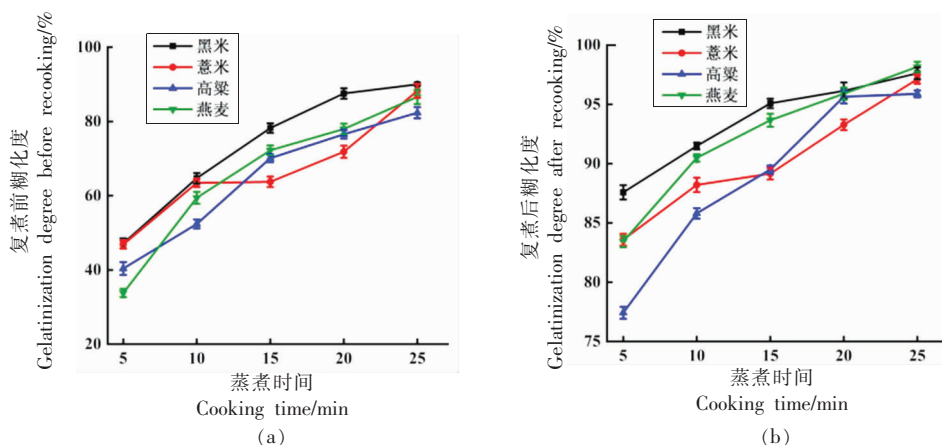


图 1 不同蒸煮时间对黑米、薏米、高粱和燕麦复煮前糊化度(a)和复煮后糊化度(b)的影响
Fig.1 Effects of different cooking time on gelatinization degree of black rice, coix seed, sorghum and oat before (a) and after (b) recooking

2.3 蒸煮时间对杂粮色泽的影响

预糊化后的杂粮与大米混合蒸煮后, L^* 值和 b^* 值的变化如图 2 所示。 L^* 值代表明度指数, L^* 值越大表示色泽越明亮。 a^* 值和 b^* 值代表色品指数。 a^* 值为正表示红色,为负表示绿色。 b^* 值为正表示黄色,为负表示蓝色^[13]。随着蒸煮时间的增加,4 种杂粮的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值大多呈现下降的趋势。与未糊化处理组相比,25 min 的预糊化处理使黑米的 L^* 值增加了 3.16%,薏米、高粱和燕麦的 L^* 值降低了 3.21%,2.51%和 4.84%。同时,25 min 的预糊化处理使黑米、薏米、高粱和燕麦的

a^* 值分别降低了 33.02%,4.11%,41.38%和 3.98%。对于 b^* 值,25 min 的预糊化处理使得薏米的 b^* 值增加了 5.12%,而黑米、高粱和燕麦的 b^* 值分别降低了 11.76%,14.40%和 0.30%。不难发现,较长时间的预糊化处理对黑米和高粱的 a^* 值和 b^* 值影响较大,使得其红色减弱,黄色下降。而对于薏米和燕麦,预糊化处理对其色泽的影响较小。这一结果可能是由于黑米和高粱中含有较多的花青素,花青素在蒸煮过程中容易被破坏,导致黑米和高粱的色泽发生变化^[17-18]。

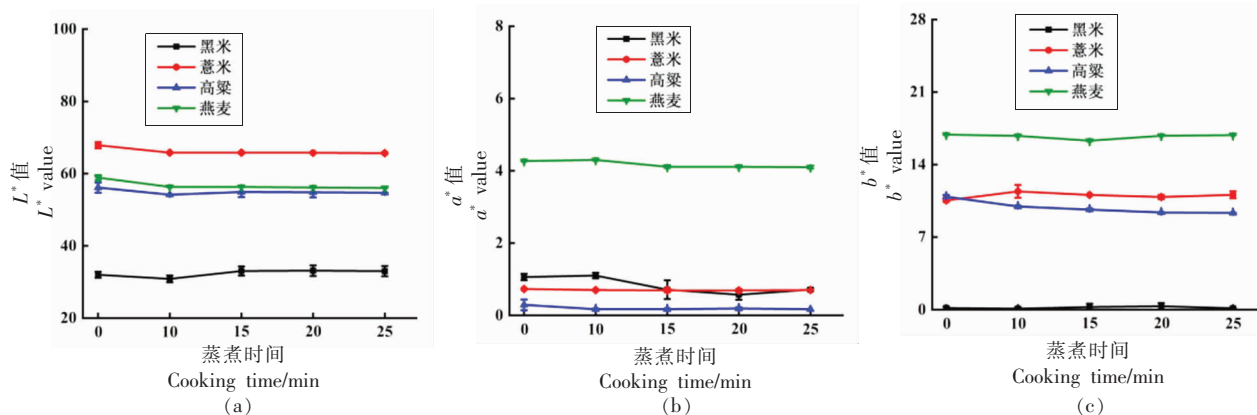


图 2 不同蒸煮时间对黑米、薏米、高粱和燕麦复煮后 L^* 值(a)、 a^* 值(b)和 b^* 值(c)的影响
Fig.2 Effects of different cooking time on L^* value (a), a^* value (b) and b^* value (c) of black rice, coix seed, sorghum and oat after recooking

2.4 蒸煮时间对杂粮质构特性的影响

质构分析由于具有相对客观、快速等优点,已被广泛用于评估米饭的食用品质^[19]。预糊化后的杂粮与大米混合蒸煮后,硬度、黏着性、弹性、黏聚性、咀嚼性和回复性如表3所示。经过25 min的预糊化处理,黑米、薏米、高粱和燕麦的硬度分别降低了41.20%,41.80%,25.49%和21.10%。同时,黑米的黏着性降低,薏米、高粱和燕麦的黏着性增加。硬度和黏着性是影响米饭食用品质的重要因素。相关研究表明,米饭的硬度越小、黏着性越大,食用品质越好^[20]。预糊化处理使薏米、高粱和燕麦的硬度降低,黏着性增加,提高了杂粮米饭的食用品质。然而,黑米经过预糊化处理后黏着性降低,这可能与黑米本身的特性有关。陈旭等^[21]研究发现,国内4种黑米经过蒸煮后,硬度与黏着性呈现出相同的降低趋势。

随着蒸煮时间的增加,4种杂粮的弹性和黏聚性都呈现出先增加后降低的趋势。黑米、薏米、高粱和燕麦在25 min的预糊化处理后,弹性分别增加了2.94%,88.89%,73.68%和15.56%,黏聚性

分别增加了6.25%,8.70%,6.06%和5.88%。黑米经预糊化处理后,弹性的变化不显著($P>0.05$)。这可能是由于黑米中的蛋白质和淀粉在蒸煮过程中发生相互作用,形成了稳定的网状结构^[22]。黏聚性表示食品内部紧缩的力,通常与食品的含水量有关^[23]。经过25 min的预糊化处理,黑米、薏米、高粱和燕麦的黏聚性均增加。这一结果表明预糊化处理可以提高4种杂粮的吸水性。

从咀嚼性角度看,25 min的预糊化处理使得黑米和燕麦的咀嚼性降低了35.31%和3.30%,薏米和高粱的咀嚼性增加了46.65%和38.92%。黑米和燕麦的糊化度高,淀粉颗粒在蒸煮过程中充分吸水膨胀,导致其咀嚼性下降,这与图1的结果相一致。回复性表示米饭受压后恢复形变的能力。经过25 min的预糊化处理,黑米、薏米和高粱的回复性分别降低了20.83%,27.78%和21.05%,而燕麦的回复性增加了24.32%。燕麦中的蛋白质和脂肪含量较高,其回复性的变化可能与脂肪的水解,蛋白质的氧化等因素有关^[17,24]。

表3 不同蒸煮时间对黑米、薏米、高粱和燕麦复煮后质构特性的影响

Table 3 Effects of different cooking time on texture properties of black rice, coix seed, sorghum and oat after re-cooking

样品	蒸煮时间/min	硬度/g	黏着性	弹性	黏聚性	咀嚼性	回复性
黑米	0	11 344.43 ± 607.30 ^a	-4.16 ± 0.18 ^d	0.34 ± 0.02 ^b	0.32 ± 0.01 ^b	1216.49 ± 125.39 ^{ab}	0.24 ± 0.02 ^b
	10	8 704.44 ± 316.41 ^b	-8.73 ± 0.99 ^c	0.45 ± 0.02 ^a	0.36 ± 0.01 ^a	1389.98 ± 77.04 ^a	0.24 ± 0.02 ^b
	15	7 830.53 ± 51.13 ^c	-12.01 ± 0.97 ^b	0.42 ± 0.02 ^a	0.35 ± 0.03 ^a	1153.24 ± 44.78 ^b	0.21 ± 0.01 ^a
	20	6 998.72 ± 102.17 ^d	-21.63 ± 0.86 ^a	0.37 ± 0.02 ^b	0.34 ± 0.01 ^a	886.95 ± 52.59 ^c	0.19 ± 0.01 ^c
	25	6 670.08 ± 64.70 ^d	-23.27 ± 1.16 ^a	0.35 ± 0.02 ^b	0.34 ± 0.01 ^{ab}	786.89.12 ± 62.13 ^c	0.19 ± 0.01 ^c
薏米	0	15 093.00 ± 79.04 ^a	7.14 ± 0.16 ^e	0.18 ± 0.01 ^d	0.23 ± 0.01 ^a	608.73 ± 35.90 ^d	0.18 ± 0.01 ^d
	10	13 768.20 ± 143.04 ^b	9.40 ± 0.57 ^d	0.25 ± 0.01 ^c	0.25 ± 0.02 ^a	851.97 ± 66.81 ^c	0.32 ± 0.01 ^a
	15	12 357.19 ± 163.81 ^c	11.67 ± 0.43 ^c	0.34 ± 0.02 ^b	0.24 ± 0.02 ^a	1015.65 ± 55.95 ^{ab}	0.33 ± 0.02 ^a
	20	11 642.90 ± 118.86 ^d	18.74 ± 1.10 ^b	0.39 ± 0.01 ^a	0.24 ± 0.01 ^a	1104.31 ± 39.70 ^a	0.22 ± 0.01 ^b
	25	8 784.04 ± 70.07 ^e	25.94 ± 0.77 ^a	0.34 ± 0.06 ^{ab}	0.25 ± 0.01 ^a	892.73 ± 139.35 ^b	0.13 ± 0.01 ^c
高粱	0	13 074.43 ± 107.45 ^a	5.16 ± 0.82 ^d	0.38 ± 0.01 ^b	0.33 ± 0.01 ^b	1615.42 ± 67.62 ^c	0.19 ± 0.01 ^d
	10	11 877.77 ± 133.30 ^b	10.06 ± 0.84 ^c	0.43 ± 0.04 ^b	0.39 ± 0.01 ^a	1956.88 ± 213.13 ^b	0.23 ± 0.03 ^a
	15	11 830.53 ± 51.13 ^b	17.34 ± 0.51 ^b	0.69 ± 0.01 ^a	0.39 ± 0.01 ^a	3174.32 ± 253.34 ^a	0.23 ± 0.01 ^a
	20	9 879.07 ± 143.06 ^c	25.50 ± 1.20 ^a	0.66 ± 0.05 ^a	0.34 ± 0.02 ^b	2174.64 ± 253.34 ^b	0.18 ± 0.01 ^b
	25	9 742.14 ± 87.87 ^c	26.45 ± 1.04 ^a	0.66 ± 0.03 ^a	0.35 ± 0.02 ^b	2244.14 ± 68.57 ^b	0.15 ± 0.01 ^c
燕麦	0	17 161.47 ± 116.49 ^b	ND	0.45 ± 0.01 ^b	0.51 ± 0.02 ^b	3938.39 ± 200.57 ^b	0.37 ± 0.01 ^c
	10	17 668.20 ± 50.69 ^a	1.91 ± 0.96 ^c	0.41 ± 0.01 ^c	0.53 ± 0.01 ^b	3868.12 ± 72.92 ^b	0.37 ± 0.01 ^c
	15	16 263.86 ± 21.92 ^c	2.14 ± 0.22 ^b	0.51 ± 0.02 ^a	0.53 ± 0.01 ^b	4396.80 ± 268.81 ^a	0.32 ± 0.02 ^d
	20	15 577.23 ± 114.52 ^d	2.53 ± 0.53 ^{ab}	0.53 ± 0.02 ^a	0.56 ± 0.01 ^a	4624.30 ± 138.42 ^a	0.42 ± 0.01 ^b
	25	13 540.37 ± 99.23 ^e	2.78 ± 0.27 ^a	0.52 ± 0.01 ^a	0.54 ± 0.02 ^b	3808.45 ± 183.48 ^b	0.46 ± 0.01 ^a

注:ND表示未检出;对于同一样品组,同一列数据后的不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.5 蒸煮时间对杂粮米饭感官评价的影响

感官评价是评估米饭食用品质最直观、准确的方法。在感官评价体系中,适口性评分由软硬度、黏着性和弹性组成,三者的总得分在评估米饭食用品质中占重要作用^[3]。预糊化后的杂粮与大米混合蒸煮后,感官评价的结果如表 4 所示。预糊化处理对黑米的色泽和适口性影响较大。随着蒸煮时间的增加,黑米的色泽变差,适口性增加。黑米的色泽评分在 25 min 的预糊化处理降低了 19.90%,这与图 2 的结果相一致。预糊化处理降低了黑米的硬度,使得复煮后黑米的适口性增加。黑米的适口性在预糊化处理 20 min 时达到最大值,此时感官评价的总分最高。因此,黑米的最佳预糊化条件为蒸煮 20 min。与黑米的适口性趋势不同,薏米的适口性评分随着蒸煮时间的增加而增加。经过 25 min 的预糊化处理,薏米的适口性评分增加了 229.05%。结合表 3 可以看出,预糊化处理通

过降低薏米的硬度,提高薏米的黏着性和弹性,使得薏米的适口性评分增加。薏米在 25 min 的预糊化处理后的滋味评分、冷饭质地和感官评价总分也达到最高。因此,薏米的最佳预糊化条件为蒸煮 25 min。与黑米的适口性趋势相同,随着蒸煮时间的增加,高粱的适口性评分先增加后降低。当蒸煮时间为 20 min 时,高粱的适口性评分最高。此时,高粱的气味和滋味评分也达到最大值。然而,随着蒸煮时间的进一步增加,高粱的气味变淡,外观变差,导致感官评价的总分下降。因此,高粱的最佳预糊化条件为蒸煮 20 min。燕麦的适口性趋势与薏米相同。随着蒸煮时间的增加,燕麦的适口性增加。燕麦的适口性评分在预糊化处理 25 min 时最高。比较感官评价的其它指标可以发现,燕麦的气味、滋味、冷饭质地和感官评价总分在预糊化处理 25 min 时也达到最高。因此,燕麦的最佳预糊化条件为蒸煮 25 min。

表 4 不同蒸煮时间对黑米、薏米、高粱和燕麦复煮后感官评价的影响

Table 4 Effects of different cooking time on sensory evaluation of black rice, coix seed, sorghum and oat after re-cooking

样品	蒸煮时间/min	气味	色泽	外观	适口性	滋味	冷饭质地	总分
黑米	0	17.54 ± 1.37 ^a	8.54 ± 0.66 ^a	8.25 ± 0.55 ^a	16.33 ± 1.38 ^d	21.55 ± 1.31 ^a	1.52 ± 1.05 ^a	73.57 ± 2.46 ^b
	10	17.06 ± 0.82 ^a	7.34 ± 0.51 ^{ab}	7.82 ± 1.02 ^a	19.56 ± 1.43 ^c	19.32 ± 1.07 ^a	1.82 ± 0.54 ^a	72.58 ± 0.67 ^b
	15	17.56 ± 1.39 ^a	7.05 ± 0.82 ^{ab}	8.06 ± 0.80 ^a	20.10 ± 0.45 ^b	20.82 ± 1.05 ^a	1.80 ± 0.57 ^a	75.03 ± 2.62 ^a
	20	17.34 ± 1.05 ^a	8.53 ± 0.62 ^a	8.57 ± 0.67 ^a	22.11 ± 1.11 ^a	21.83 ± 1.34 ^a	3.07 ± 1.22 ^a	81.45 ± 5.04 ^a
	25	17.07 ± 0.84 ^a	6.84 ± 1.04 ^b	8.52 ± 0.60 ^a	21.65 ± 0.65 ^{ab}	20.16 ± 0.83 ^a	3.33 ± 1.03 ^a	77.06 ± 3.63 ^a
薏米	0	12.87 ± 1.06 ^c	7.31 ± 1.01 ^a	8.33 ± 0.51 ^a	7.16 ± 1.32 ^d	10.53 ± 1.31 ^c	1.31 ± 0.52 ^a	47.02 ± 2.26 ^d
	10	17.04 ± 0.88 ^{ab}	5.03 ± 0.82 ^b	7.82 ± 0.53 ^a	15.38 ± 1.05 ^c	19.51 ± 1.32 ^b	1.35 ± 0.59 ^a	65.84 ± 2.96 ^c
	15	16.85 ± 1.33 ^b	5.81 ± 1.06 ^{ab}	7.86 ± 0.57 ^a	21.15 ± 1.41 ^b	20.82 ± 1.07 ^{ab}	1.37 ± 0.52 ^a	73.32 ± 1.73 ^b
	20	19.54 ± 1.91 ^a	5.50 ± 0.61 ^b	8.04 ± 0.83 ^a	21.85 ± 1.32 ^{ab}	21.34 ± 1.02 ^{ab}	1.54 ± 0.63 ^a	77.53 ± 3.17 ^{ab}
	25	17.81 ± 1.02 ^{ab}	5.04 ± 0.88 ^b	7.89 ± 1.05 ^a	23.56 ± 0.41 ^a	22.33 ± 0.53 ^a	1.56 ± 0.68 ^a	77.81 ± 1.71 ^a
高粱	0	15.33 ± 0.51 ^b	8.31 ± 1.06 ^a	8.51 ± 0.64 ^a	10.50 ± 1.10 ^d	15.07 ± 0.87 ^c	1.32 ± 0.55 ^a	58.84 ± 1.32 ^d
	10	16.54 ± 0.62 ^{ab}	5.04 ± 0.81 ^b	8.36 ± 0.53 ^a	19.11 ± 1.18 ^c	19.51 ± 1.38 ^b	1.54 ± 0.64 ^a	69.80 ± 1.03 ^c
	15	17.03 ± 0.81 ^{ab}	5.30 ± 0.58 ^b	7.81 ± 0.54 ^a	20.57 ± 0.47 ^{bc}	20.08 ± 0.84 ^{ab}	1.59 ± 0.66 ^a	72.07 ± 1.64 ^b
	20	18.03 ± 0.85 ^a	5.85 ± 0.03 ^b	8.04 ± 0.86 ^a	24.26 ± 1.05 ^a	21.86 ± 0.36 ^a	1.54 ± 0.61 ^a	79.04 ± 1.25 ^a
	25	16.84 ± 1.37 ^{ab}	5.39 ± 1.35 ^b	7.36 ± 1.05 ^b	21.66 ± 1.18 ^b	20.55 ± 1.35 ^{ab}	1.33 ± 0.54 ^a	72.56 ± 1.37 ^b
燕麦	0	12.85 ± 1.03 ^b	8.55 ± 0.68 ^a	8.54 ± 0.65 ^a	13.63 ± 1.17 ^b	16.83 ± 1.31 ^b	1.37 ± 0.55 ^b	61.33 ± 1.06 ^d
	10	16.51 ± 0.65 ^a	8.35 ± 0.53 ^a	7.88 ± 0.57 ^a	20.89 ± 0.59 ^a	20.36 ± 1.73 ^a	1.33 ± 0.56 ^b	74.87 ± 1.31 ^c
	15	16.07 ± 0.88 ^a	7.83 ± 0.55 ^a	8.53 ± 0.61 ^a	21.96 ± 1.27 ^a	20.35 ± 1.72 ^a	1.30 ± 0.65 ^b	75.55 ± 1.75 ^c
	20	17.03 ± 0.83 ^a	8.08 ± 0.87 ^a	8.35 ± 0.57 ^a	22.88 ± 1.06 ^a	20.54 ± 1.35 ^a	2.30 ± 0.54 ^a	78.75 ± 2.27 ^b
	25	17.34 ± 1.02 ^a	8.01 ± 0.84 ^a	8.31 ± 0.65 ^a	24.83 ± 0.66 ^a	21.52 ± 1.44 ^a	2.34 ± 0.58 ^a	82.03 ± 1.45 ^a

注:对于同一样品组,同一列数据后的不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.6 复配比例对杂粮米饭喜好性评分的影响

为了提高杂粮米饭的食用品质,采用喜好性评分的方法进一步探究了杂粮与大米的最佳复配比例。如图3所示,随着4种杂粮复配比例的增加,杂粮米饭的喜好性评分呈现出先增加后降低的趋势。黑米、薏米、高粱和燕麦与大米的复配比例分别为30%、20%、20%和20%时,4种杂粮米饭的喜好性评分最高。黑米的复配比例高于薏米、高粱和燕麦,这可能与黑米较高的糊化度有关。较高的糊化度有利于黑米在更短的时间内与大米同熟。因此,在相同的蒸煮时间下,黑米的复配比例更高。随着复配比例的进一步增加,4种杂粮米饭的喜好性评分降低。相关研究表明,过量添加杂粮会导致米饭复水性降低,外观和口感变差^[25]。因

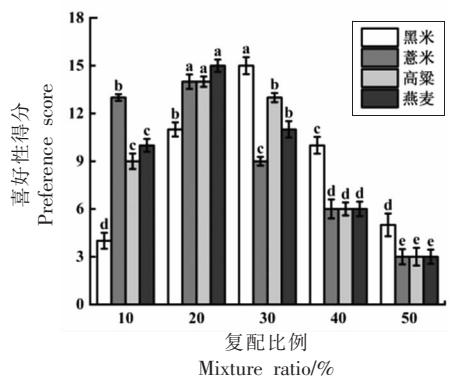


图3 黑米、薏米、高粱和燕麦与大米复配比例喜好性评分

Fig.3 The preference score of black rice, coix seed, sorghum and oat mixed with rice

2.8 贮藏时间对杂粮米饭品质的影响

通过脂肪酸值和过氧化值的测定,进一步探究了杂粮米饭贮藏期间4种杂粮品质的变化。如图5所示,随着贮藏时间的增加,4种杂粮的脂肪酸值和过氧化值增加。黑米、薏米、高粱和燕麦在贮藏40 d后,脂肪酸值增加到9.24,11.39,8.245 mg/100g和10.98 mg/100g,过氧化值增加到14.26,14.48,15.946 mg/100g和13.97 mg/100g。脂肪酸值和过氧化值与食品中游离脂肪酸的含量紧密相关^[28]。杂粮中的脂质在脂肪酶的作用下水解产生游离脂肪酸,从而增加了杂粮的脂肪酸值。同时,游离脂肪酸不稳定,在贮藏过程中容易被脂肪

此,黑米、薏米、高粱和燕麦与大米的复配比例确定为30%、20%、20%和20%。

2.7 干燥时间对杂粮含水量的影响

热风干燥是方便食品中常用的一种干燥方式,具有经济实用、操作便捷等优点^[26]。预糊化后的杂粮含水量随干燥时间的变化如图4所示。随着干燥时间的增加,4种杂粮的含水量逐渐降低。当干燥时间为5 h时,黑米、薏米、高粱和燕麦的含水量达到最低,分别为9.4%、9.3%、8.4%和8.6%。研究发现,米饭类食品的含水量控制在10%以下时,可以有效抑制贮藏过程中霉菌的生长及淀粉老化^[27]。因此,热风干燥5 h可以达到杂粮米饭对贮藏的要求。

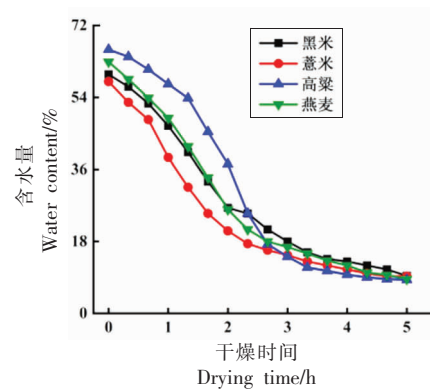


图4 不同干燥时间对黑米、薏米、高粱和燕麦复煮后含水量的影响

Fig.4 Effects of different drying time on water content of black rice, coix seed, sorghum and oat after recooking

氧化酶氧化生成过氧化物,使得杂粮的过氧化值增加。4种杂粮的脂肪酸值和过氧化值在贮藏40 d内增长较为平缓。这可能与杂粮米饭在贮藏前经过热风干燥和抽真空包装有关。刘宏超等^[29]研究发现,巴西大豆水分含量小于等于12%时,脂肪酸值在50 d模拟储运期间未发生明显变化。石建春等^[30]研究发现,真空包装储藏可以有效降低小米脂肪氧化酶的活性,延缓储藏过程中小米脂质的氧化分解。参考GB/T 20569-2006《稻谷储存品质判定规则》中脂肪酸值不超过25 mg/100 g,以及GB/T 22165-2008《坚果炒货食品通则》中过氧化值不超过0.5 g/100 g的标准。在40 d贮藏期,杂粮

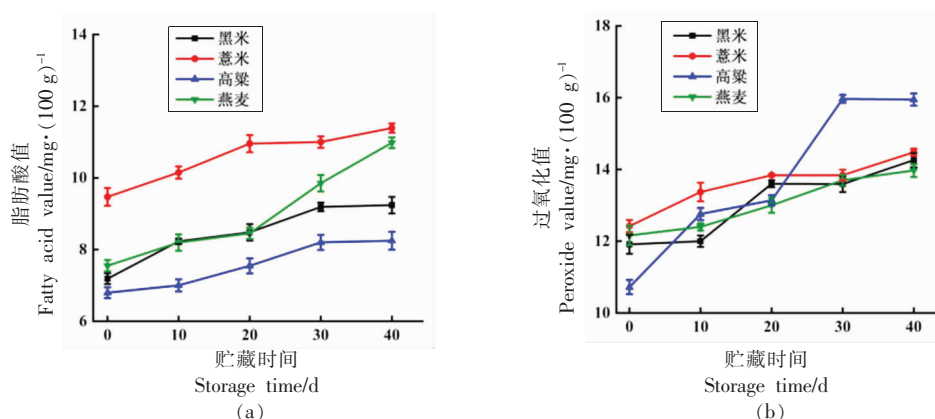


图 5 不同贮藏时间对黑米、薏米、高粱和燕麦复煮后脂肪酸值(a)和过氧化值(b)的影响

Fig.5 Effects of different storage time on fatty acid value (a) and peroxide value (b) of black rice, coix seed, sorghum and oat after recooking

米饭品质均符合要求。

3 结论

本研究以黑米、薏米、高粱和燕麦为原料,探究了不同蒸煮时间和复配比例对 4 种杂粮米饭食用品质的影响。结果表明,除黑米外,薏米、高粱和燕麦的糊化度较低,在直接蒸煮后不能与大米同熟。将黑米、薏米、高粱和燕麦进行预糊化处理以提高 4 种杂粮的糊化度。预糊化后的杂粮与大米复煮后,黑米和高粱的 a^* 值和 b^* 值降低较多。黑米的硬度下降,弹性增加;薏米、高粱和燕麦的硬度下降,黏着性和弹性增加。黑米、薏米、高粱和燕麦在预糊化处理 20,25,20 min 和 25 min 时,杂粮米饭的适口性评分最高。黑米、薏米、高粱和燕麦与大米的复配比例为 30%,20%,20%和 20%时,杂粮米饭的喜好性评分最高。4 种杂粮在 50 °C 电热鼓风干燥箱中干燥 5 h,与大米复配进行真空包装。杂粮米饭在 20 °C 条件下避光放置 40 d 后,品质均符合要求。

参 考 文 献

- [1] 孙军涛, 张智超, 胡锦涛, 等. 预熟化杂粮理化特性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(1): 221-224.
SUN J T, ZHANG Z C, HU J H, et al. Study on physicochemical properties of pre-ripening coarse cereals[J]. Food Science and Technology, 2020, 45 (1): 221-224.
- [2] 王岸娜, 王艺洁, 吴立根, 等. 杂粮的活性成分与杂粮加工研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(2): 117-125.
WANG A N, WANG Y J, WU L G, et al. Research progress on the active components and processing of coarse cereals[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 43(2): 117-125.
- [3] 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 J, LIU H, SHEN Q. Sensory evaluation analysis of 12 varieties of grains and mixed grains [J]. Food Science and Technology, 2012, 37(8): 136-139.
- [4] HU J L, NIE S P, LI N, et al. Effect of gum arabic on glucose levels and microbial short-chain fatty acid production in white rice porridge model and mixed grain porridge model[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(27): 6408-6416.
- [5] 邹秀容, 朱建华, 吴庆量. 蒸煮工艺处理对高粱复配方便米饭的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(8): 172-176.
ZOU X R, ZHU J H, WU Q L. Cooking process on sorghum compound instant rice[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(8): 172-176.
- [6] KIM M J, LEE K H, KO J Y, et al. Effect of cooking methods on cooked and antioxidant characteristics of cooked mixed grain rice with added proso millet[J]. The Korean Journal of Food and Nutrition, 2017, 30(2): 218-225.

- [7] 刘佳男, 于雷, 李帅斐, 等. 薏仁与大米共煮同熟工艺的研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(4): 62-67.
LIU J N, YU L, LI S F, et al. Optimization of the process of cooking coix seed to reach same maturity when cooked with rice[J]. Cereals and Oils, 2016, 29(4): 62-67.
- [8] 张媛, 苏静雯, 张克, 等. 杂粮预糊化处理及营养品质特性[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 336-339.
ZHANG Y, SU J W, ZHANG K, et al. The coarse cereals' pretreatment and nutritional quality characteristics[J]. Food Industry, 2020, 41(7): 336-339.
- [9] 汪长钢, 句荣辉, 马长路, 等. 不同蒸煮方式对方便米饭品质影响研究[J]. 食品工业, 2015, 36(2): 118-121.
WANG C G, GOU R H, MA C L, et al. Different cooking methods affect the quality of instant rice[J]. Food Industry, 2015, 36(2): 118-121.
- [10] 倪萍, 沈群. 杂豆同熟米的工艺研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(8): 140-146.
NI P, SHEN Q. Studies on the technology of same-cooked rice with beans[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(8): 140-146.
- [11] 刘晓松, 付亭亭, 姚佳, 等. 4种杂粮预熟化工艺及其复配产品的研究[J]. 食品科技, 2019, 44(2): 170-177.
LIU X S, FU T T, YAO J, et al. Research of compound product and the precook process of four coarse cereals [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(2): 170-177.
- [12] 张凡, 李书田, 王显瑞, 等. 不同品种小米蒸煮食味品质评价及比较[J]. 食品科学, 2020, 41(9): 23-29.
ZHANG F, LI S T, WANG X R, et al. Comparative evaluation and analysis of cooking and eating quality of different foxtail millet varieties[J]. Food Science, 2020, 41(9): 23-29.
- [13] 赵卿宇, 郭辉, 沈群. 两种香米在不同温度储存过程中理化性质和食用品质的变化[J]. 食品科学, 2021, 42(9): 160-168.
ZHAO Q Y, GUO H, SHEN Q. Variations in physicochemical properties and eating quality of two fragrant rice varieties during storage at different temperatures[J]. Food Science, 2021, 42(9): 160-168.
- [14] 周金燕, 夏文水, 何洁, 等. 甜菊糖代替高热量蔗糖的甜味功能研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 35-39.
ZHOU J Y, XIA W S, HE J, et al. Studies on the sweetness characteristics of stevioside substituting for sucrose[J]. Food and Machinery, 2011, 27(4): 35-39.
- [15] WEN Y D, YAO T M, XU Y J, et al. Pasting, thermal and rheological properties of octenylsuccinate modified starches from diverse small granule starches differing in amylose content[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 95(8): 103030.
- [16] DING Y Y, CHENG J J, LIN Q Y, et al. Effects of endogenous proteins and lipids on structural, thermal, rheological, and pasting properties and digestibility of adlay seed (*Coix lacryma-jobi* L.) starch[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 111: 106254.
- [17] 陈涛, 孙术国, 唐倩, 等. 四种黑米储藏期理化指标及食用品质的测定和研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(6): 114-121.
CHEN T, SUN S G, TANG Q, et al. Determination and research of physical and chemical indexes and eatable quality of four kinds of black rice during storage[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(6): 114-121.
- [18] ZHU F. Anthocyanins in cereals: Composition and health effects[J]. Food Research International, 2018, 109(4): 232-249.
- [19] 张鑫, 任元元, 邱道富, 等. 不同杂粮添加量对挤压重组米饭品质及体外消化特性的影响[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(5): 36-41.
ZHANG X, REN Y Y, QIU D F, et al. Effects of different amount of coarse cereals on quality and *in vitro* digestibility of extruded reconstituted rice[J]. Food and Fermentation Sciences and Technology, 2021, 57(5): 36-41.
- [20] 段小明, 张蓓, 冯叙桥, 等. 大米超高压处理对脱水方便米饭品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(11): 7.
DUAN X M, ZHANG B, FENG X Q, et al. Effect of ultra high pressure processing to rice on quality of dehydrated instant rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(11): 7.
- [21] 陈旭, 杜先锋. 国内4种黑米的糊化特性和蒸煮品质对比[J]. 中国科技论文, 2017, 12(24): 2863-2866.
CHEN X, DU X F. Comparison of gelatinization

- characteristics and cooking properties of four black rice varieties[J]. *China Science Paper*, 2017, 12(24): 2863–2866.
- [22] GAO X, TONG J Y, GUO L, et al. Influence of gluten and starch granules interactions on dough mixing properties in wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 106: 105885.
- [23] THUENGTUNG S, KETNAWA S, DING Y, et al. Effect of heat–moisture treatment to raw paddy rice (*Oryza sativa* L.) on cooked rice properties[J]. *Journal of Future Foods*, 2021, 1(2): 179–186.
- [24] MAO H J, XU M H, JI J Y, et al. The utilization of oat for the production of wholegrain foods: Processing technology and products[J]. *Food Frontiers*, 2022, 3(1): 28–45.
- [25] 许晓兰, 朱晶, 任建军. 方便杂粮米饭配方及主要工艺参数的优化设计[J]. *粮食科技与经济*, 2015, 40(4): 54–57.
- XU X L, ZHU J, REN J J. Optimization design of convenient multi–grain rice formula and main process parameters [J]. *Grain Science and Technology and Economy*, 2015, 40(4): 54–57.
- [26] 涂向辉, 朱晶, 许晓兰. 响应面分析法优化方便杂粮米饭热风干燥工艺[J]. *沈阳师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 35(2): 198–203.
- TU X H, ZHU J, XU X L. Research on optimization of hot–air drying parameters in process of convenient cooked grains and rice by response surface methodology [J]. *Journal of Shenyang Normal University* (Natural Science Edition), 2017, 35(2): 198–203.
- [27] MEULLENET J F, MARKS B P, HANKINS J A, et al. Sensory quality of cooked long–grain rice as affected by rough rice moisture content, storage temperature, and storage duration[J]. *Cereal Chemistry*, 2000, 77(2): 259–263.
- [28] 韩思萌, 刘昆仑, 陈复生, 等. 干热处理对米糠储藏期脂肪酸、过氧化值及丙二醛变化的影响[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(7): 31–36.
- HAN S M, LIU K L, CHEN F S, et al. Effect of heat treatment on fatty acid, peroxide value and malondialdehyde changes during storage of rice bran [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(7): 31–36.
- [29] 刘宏超, 王步军. 不同水分含量大豆在模拟储运期间的品质变化[J]. *中国油脂*, 2021, 46(8): 92–96.
- LIU H C, WANG B J. Quality change of soybean with different moisture content undersimulated storage and transportation condition [J]. *China Oils and Fats*, 2021, 46(8): 92–96.
- [30] 石建春, 李志刚, 王愈, 等. 常温真空包装对保持小米储藏品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(6): 262–268.
- SHI J C, LI Z G, WANG Y, et al. Effect of vacuum packaging at room temperature on maintaining storage quality of millet [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(6): 262–268.

Effect of Pre–gelatinization Treatment on the Eating Quality of Multigrain Rice

Zhu Yiqing, Ni Ping, Zhao Qingyu, Chen Borui, Wang Chao, Shen Qun*

(National Engineering Research Centre for Fruits and Vegetables Processing, National Center of Technology Innovation (Deep Processing of Highland Barley) in Food Industry, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

Abstract Grains are rich in nutrition and have many functions. It can improve the nutritional value of rice when mixed with rice. However, the consumption rate of grains is low because of their poor taste and difficulty in cooking. In this study, black rice, coix seed, sorghum and oat were treated by pre–gelatinization technology, and the eating quality of the multigrain rice was evaluated by chroma meter, texture analyzer, sensory evaluation and preference score. The results showed that the black rice could be cooked with rice after pre–gelatinization for 5 min, while coix seed, sorghum and oat could be cooked with rice after pre–gelatinization for 10 min. The pre–gelatinization treatment had a great effect on the color of black rice and sorghum, and the a^* and b^* value of black rice decreased by 33.02% and 11.76%, and the a^* and b^* value of sorghum decreased by 41.38% and 14.40%. After pre–gelatinization for 25 min, the hardness of black rice, coix seed, sorghum and oat decreased, while the springiness and cohesiveness of black rice, coix seed, sorghum

and oat increased. The palatability of black rice and sorghum increased by 35.39% and 131.04% after 20 min of pre-gelatinization, and the palatability of coix seed and oat increased by 229.05% and 82.17% after 25 min of pre-gelatinization. When the proportions of black rice, coix seed, sorghum and oat with rice were 30%, 20%, 20% and 20%, the preference score of multigrain rice was the highest, which were 15, 14, 14 and 15 points respectively. Hot air drying and vacuum packing could effectively delay the increase of fatty acid value and peroxide value of multigrain rice during storage. The quality of multigrain rice met the requirements after 40 d storage at room temperature.

Keywords pre-gelatinization treatment; multigrain rice; eating quality; storage