

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.03.007

吕平, 刘建垒, 段晓亮, 等. 小米饭的制作及食用品质评价方法[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(3): 67-74.

LV P, LIU J L, DUAN X L, et al. Method for evaluation of foxtail millet cooking and edible quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(3): 67-74.

小米饭的制作及食用品质评价方法

吕平^{1,2}, 刘建垒², 段晓亮², 王 婧², 常 柳², 赵璐瑶², 张 东², 孙 辉²✉(1. 上海理工大学 健康科学与工程学院, 上海 200093;
2. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食品质营养研究所, 北京 102629)

摘要: 小米是优质杂粮, 除了煮粥外, 小米饭也是重要的一种食用方式, 但目前尚缺乏系统的小米饭食用品质评价方法。以张杂谷 13 号为研究对象, 对影响小米饭制作的因素, 包括加热器的类型、米水质量比、加水种类、浸泡时间分别进行研究, 利用硬度黏度仪、色泽色度测定仪以及感官评价的方法, 对小米饭的食用品质进行综合评价, 最终确定小米饭的最佳制作方法为: 称取 300 g 小米, 放入电饭煲中, 用去离子水快速淘洗 2 次, 按照米水质量比 1.0 : 2.0 加入去离子水, 浸泡 30 min, 电饭煲选择精华饭模式, 加热时间约 45 min, 蒸煮完成后, 搅拌均匀, 再焖 20 min。为小米饭的制作及其食用品质的评价提供重要的科学依据。

关键词: 小米饭; 食用品质; 感官评价; 仪器评价

中图分类号: TS207.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)03-0067-08

Method for Evaluation of Foxtail Millet Cooking and Edible Quality

LV Ping^{1,2}, LIU Jian-lei², DUAN Xiao-liang², WANG Qian², CHANG Liu²,
ZHAO Lu-yao², ZHANG Dong², SUN Hui²✉

(1. School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. Institution of Grain Quality and Nutrition, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 102629, China)

Abstract: Foxtail millet, a high-quality coarse cereal, is generally used to cook porridge. Cooked foxtail millet is another food product of this cereal. However, a systematic evaluation method for the eating quality of cooked foxtail millet has not yet been established. In this study, heater type, millet-to-water mass ratio, water type, and soaking time affecting the edible quality of cooked foxtail millet (Variety: Zhangzagu 13) were investigated. The hardness viscometer, colorimeter and sensory evaluation were used to comprehensively evaluate the edible quality of millet. The optimal cooking method was determined as follows: Firstly, put 300 g of millet in an electric cooker and wash twice with deionized water quickly. Secondly, add deionized water in a mass ratio of millet to water 1.0 : 2.0 and soak for 30 min. Finally, cook millet for about 45 minutes in the essence rice mode. After cooking, stir well and stew for 20 min. This research provides an important scientific basis for foxtail millet cooking and edible quality evaluation.

Key words: cooked foxtail millet; edible quality; sensory evaluation; instrument evaluation

收稿日期: 2022-01-19

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项课题 (JY2103-1, ZX1927)

Supported by: Fundamental Research Funds of non-profit Central Institutes (No. JY2103-1, ZX1927)

作者简介: 吕平, 女, 1996 年出生, 在读硕士生, 研究方向为粮食品质机理。E-mail: lvpinglplp@163.com.

通讯作者: 孙辉, 女, 1971 年出生, 博士, 研究员, 研究方向为品质分析与标准制修订。E-mail: sh@ags.ac.cn.

我国拥有丰富的 小米资源, 谷子种植面积居世界首位。谷子脱壳后即 为小米, 小米含有丰富的蛋白质、矿物质、维生素、膳食纤维等营养成分。小米具有多种潜在的健康益处, 例如预防癌症和心血管疾病、降血压、降血糖、降血脂、抗肿瘤等多种保健功能^[1-2]。

目前, 小米的食用方法以煮粥为主, 小米粥的制作及食用品质感官评价方法已有系统的研究报道^[3]。此外, 小米饭也是一种常见的食用方式, 但目前尚缺乏系统的小米饭食用品质评价方法。而目前对大米的蒸煮方法研究比较多^[4-5], 已有研究表明, 加水量^[6]、浸泡时间^[7]、水的种类^[8]以及蒸煮方式^[9]都是影响米饭食味品质的重要因素, 但这些因素如何影响小米饭的食用品质尚不明确。已有的相关报道多数采用蒸锅蒸煮的方法^[10-11], 通过感官评价方法对小米饭的食用品质进行评价。目前现行标准只有在国家标准 GB/T 19503—2008《地理标志产品 沁州黄小米》的附录中规定了小米的食味品质评定方法, 该附录中小米饭用的是烧开的蒸馏水, 米水质量比为 1.00 : 1.94, 采用蒸笼蒸 40 min 的方法, 但未规定蒸锅的功率, 缺乏统一性。小米饭的仪器方法评价也有报道, 如尹瑞旻等^[12]通过对小米及小米饭的化学组成、色泽特性、糊化特性和质构特性 16 个理化指标进行主成分分析, 得出小米饭食味品质综合评价模型, 发现质构特性中的硬度、胶粘性 及色泽特性对小米饭的综合评价影响较大。目前, 大多数研究中小米饭的制作方式均采用电蒸锅蒸煮的方法, 这与实际生活中的煮饭方式存在差异。因此, 不同制作条件对小米饭食用品质的影响还需深入系统的研究。此外, 感官评价是小米食用品质评价最常见的方法, 但人的感官容易受到主观因素的影响, 所以需要结合仪器评价来客观分析小米饭的食用品质。

张杂谷 13 号是优质的杂交谷子品种, 其米色、香味和适口性均达到一级优质米的标准^[13], 它不仅适合熬制小米粥, 更适合焖制小米干饭。本实验采用感官评价, 结合硬度黏度仪和色泽色度测定仪对张杂谷 13 号的食用品质进行综合评价, 首先筛选出加热器的类型, 进一步研究了米水质量比、加水种类和浸泡时间对小米饭食用品

质的影响。通过感官评价结合仪器测定的硬度、黏度、弹性和色泽等指标, 在综合评价的基础上最终确定小米饭制作的 最佳条件。本研究为小米饭的制作及其食用品质的评价提供重要的科学依据, 对推动小米产业的高质量发展具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

张杂谷 13 号: 张家口巡天食品有限公司。

电饭煲 MB-HS4068 型, 额定功率 1 300 W、电磁炉 C21-WT2118 型, 额定功率 2 100 W: 美的集团股份有限公司; 硬度黏度仪 RHS1A 型: 日本佐竹 (SATAKE) 公司; 色泽色度测定仪 CR-700R 型: 北京科美瑞达仪器设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 煮饭方法

称取 300 g 小米, 放入电饭煲中, 用去离子水快速淘洗 2 次, 按照一定的米水质量比加入水浸泡一定时间, 采用电饭煲精华饭模式, 加热时间约 45 min, 蒸煮完成后, 搅拌均匀, 再焖 20 min, 盛于白瓷盘中, 尽快品尝。

1.2.2 小米饭制作条件优化

1.2.2.1 加热器的类型对小米饭食用品质的影响 按米水质量比 1.0 : 2.0 加入去离子水, 浸泡 30 min, 分别用电饭煲、电磁炉进行煮饭, 煮饭功率和时间分别为: (1) 电磁炉 1 400 W, 蒸 45 min; (2) 电饭煲精华饭模式, 加热时间约 45 min; (3) 电饭煲杂粮饭模式, 加热时间约 60 min。

1.2.2.2 小米与水质量比对小米饭食用品质的影响 用电饭煲煮小米饭, 按小米与水质量比 1.0 : 1.8、1.0 : 1.9、1.0 : 2.0、1.0 : 2.1、1.0 : 2.2 加入去离子水进行煮饭, 浸泡 30 min, 电饭煲精华饭模式, 蒸煮完成后, 搅拌均匀, 再焖 20 min。

1.2.2.3 加水种类对小米饭食用品质的影响 用电饭煲煮小米饭, 按小米与水质量比 1.0 : 2.0 分别加入去离子水、自来水、直饮水、天然水 (农夫山泉), 浸泡 30 min, 电饭煲精华饭模式, 蒸煮完成后, 搅拌均匀, 再焖 20 min。

1.2.2.4 浸泡时间对小米饭食用品质的影响 用电饭煲煮小米饭, 按小米与水质量比 1.0 : 2.0 加入去离子水进行煮饭, 采取常温去离子水浸泡 0 min、

15 min、30 min 以及开水未浸泡 4 种方式, 电饭煲精华饭模式, 蒸煮完成后, 搅拌均匀, 再焖 20 min。

1.2.3 小米饭色泽的测定

称取 8.0 g 小米饭放入石英皿中, 用圆柱形玻璃塞压实, 使小米饭尽量平整不留缝隙, 用色泽色度测定仪测定小米饭的色度, 每个样品平行测 5 次。

1.2.4 小米饭硬度黏度的测定

称取 7.0 g 小米饭, 装入专用的不锈钢圆环中, 用压饭器下压制成饭饼, 用硬度黏度仪测定小米饭的硬度和黏度, 每个样品平行测 5 次。

1.2.5 感官评定方法

参考 GB/T15682—2008《粮油检验稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》, 结合小米饭的制作和实际的感官评价过程, 制定了小米饭的感官评价标准, 具体评分标准见表 1。

表 1 小米饭感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard for foxtail millet

一级指标	二级指标	特征性描述/分值说明
气味 20分	纯正性	具有小米饭特有的香气, 香气浓郁, 17~20分
	浓郁性	具有小米饭特有的香气, 米饭清香, 13~16分 小米饭香气不明显, 无异味, 9~12分 小米饭无香气, 或有异味, 0~8分
外观 20分	颜色	小米饭颜色呈鲜黄色, 无杂色 8~10分 小米饭颜色呈浅黄色、淡黄色, 杂色较少, 6~7分 小米饭颜色发白或发暗, 杂色较多, 0~5分
	光泽	有明显光泽, 4~5分 稍有光泽, 2~3分 无光泽暗淡, 0~1分
	完整性	小米饭结构紧密, 饭粒完整性好, 4~5分 小米饭结构大部分紧密, 米饭粒较为完整, 3分 米饭粒出现爆腰, 0~2分
	适口性	有粘性, 不粘牙, 7~8分 有粘性, 基本不粘牙, 5~6分 有粘性, 粘牙/或无粘性, 0~4分
弹性		小米饭有嚼劲, 8~10分 小米饭稍有嚼劲, 6~7分 无嚼劲或有渣感, 0~5分
	硬度	软硬适中, 10~12分 12分 较软或较硬, 7~9分 很硬或很软, 0~6分
	滋味	纯正性、滋味丰厚, 咀嚼有较浓郁的清香, 26~30分 持久性、滋味较丰厚, 咀嚼有清淡的清香, 21~25分 30分 滋味一般, 咀嚼无清香味, 但无异味, 16~20分 滋味较差, 咀嚼无清香味, 或有异味, 0~15分

品评人员由经过培训的 9 名品评员组成。品评时, 根据小米饭品尝的实际情况, 参考对照样对各评分项目分别进行打分评定。

每个实验重复两次。根据每个品评人员的综合评分结果计算平均值, 个别人员品评误差大者(超过平均分 5 分以上)应舍弃, 舍弃后重新计算平均值, 最后以综合评分的平均值作为小米饭食用品质感官评定的结果, 为方便统计, 计算结果保留一位小数。

1.3 数据分析

结果用平均值±标准差表示, 采用 SPSS 24.0 软件对测定数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 加热器的类型对小米饭食用品质的影响

由表 2 可知: 用电磁炉和电饭煲煮的小米饭的黏度和弹性无显著差异, 但是用电磁炉煮的小米饭硬度要低于电饭煲煮的小米饭, 且两者差异显著。精华饭模式煮的小米饭硬度略低于杂粮饭模式煮的小米饭, 但差异不显著。电磁炉煮的小米饭光泽度 L^* 值高于电饭煲煮的小米饭, 黄蓝度 b^* 值低于电饭煲煮的小米饭, 其中与杂粮饭模式的 b^* 值差异达到显著水平。

同一种稻米, 电饭锅加热米饭的吸水率和膨胀率最低, 电蒸锅加热米饭的吸水率和膨胀率最高, 电饭锅煮米饭感官评价最好, 口感和香气最佳, 电蒸锅煮米饭最软^[9]。大米的吸水率和膨胀率越大, 米饭的蓬松性高, 适口性差^[14]。电磁炉煮小米饭的过程中小米饭因蒸汽加热而有水分补充, 小米吸水增加, 所以小米饭较软, 影响适口性; 同时过多的水分也会使小米饭的黄蓝度 b^* 值降低。在杂粮饭模式下煮饭, 蒸煮时间长, 小米饭会糊锅底使其颜色偏深黄且质地较硬。

由表 3 可知: 电磁炉和电饭煲煮的小米饭在气味和外观评分上没有差异, 但是电磁炉煮的小米饭适口性明显低于电饭煲煮的小米饭, 电饭煲精华饭模式和电磁炉煮的小米饭在滋味上略低于杂粮饭模式。

表 2 不同加热器煮饭对小米饭质构特性和色泽的影响

Table 2 Effects of heater type on texture and color properties of foxtail millet

加热器	煮饭模式和时间	质构特性			色泽		
		硬度/kgf	黏度/kgf	弹性	L^*	a^*	b^*
电磁炉	1 400 W, 45 min	3.75±0.13 ^b	0.00±0.00 ^a	0.82±0.02 ^a	66.95±1.22 ^a	0.84±0.12 ^b	23.78±0.22 ^b
电饭煲	精华饭模式, 45 min	4.07±0.01 ^a	0.01±0.01 ^a	0.84±0.01 ^a	64.89±0.91 ^b	1.15±0.20 ^a	24.21±0.31 ^b
电饭煲	杂粮饭模式, 60 min	4.24±0.09 ^a	0.01±0.01 ^a	0.82±0.02 ^a	65.72±0.47 ^{ab}	1.02±0.04 ^{ab}	24.96±0.47 ^a

注: 同列中不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P>0.05$).

表 3 不同加热器煮饭对小米饭感官评价的影响

Table 3 Effects of heater type on sensory evaluation of foxtail millet

加热器	煮饭模式和时间	气味	外观	适口性	滋味	综合评分
电磁炉	1 400 W, 45 min	16.7±0.8 ^a	14.9±1.2 ^a	22.4±1.3 ^a	24.9±0.7 ^b	78.9±2.3 ^b
电饭煲	精华饭模式, 45 min	17.0±0.8 ^a	15.3±0.8 ^a	24.9±1.2 ^b	25.4±1.0 ^{ab}	82.6±2.5 ^a
电饭煲	杂粮饭模式, 60 min	17.3±0.5 ^a	15.0±0.9 ^a	24.7±1.4 ^b	26.1±0.6 ^a	83.1±1.8 ^a

注: 同列中不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P>0.05$).

电磁炉蒸煮的小米饭较软, 影响适口性。电饭煲杂粮饭模式蒸煮的小米饭滋味略高, 可能是由于杂粮饭模式加热时间比精华饭模式加热时间长约 15 min, 美拉德反应更剧烈, 从而产生了更多的香气物质。但是, 杂粮饭模式小米饭有糊锅底现象, 这也使得小米饭的颜色不均匀, 造成锅底的小米饭颜色偏黄且质地较硬, 因此不适合用杂粮饭模式煮小米饭。结合表 2 和表 3 可知, 选用电饭煲精华饭模式进行小米饭的后续实验。

目前现行国家标准 GB/T 19503—2008《地理标志产品 沁州黄小米》的附录中规定了小米的食味品质评定方法, 该附录中小米饭的制作方式采用的是蒸锅蒸煮, 此方式对于少量小米样品来说比较合适。对于大量小米样品还应依据 GB/T15682—2008《粮油检验稻谷、大米蒸煮食

用品质感官评价方法》, 更适合采用电饭煲蒸煮。虽然不同电饭煲具体的加热程序不同, 只要是选用 IH 电磁加热方式且额定功率相同的电饭煲, 在同一煮饭模式 (通常为精华煮或标准煮, 加热时间 45 min 左右) 下均可采用本研究确定的评价方法对不同的小米样品进行评价。

2.2 米水质量比对小米饭食用品质的影响

由表 4 可知: 随着米水质量比的增加, 小米饭的硬度逐渐降低, 黏度几乎为 0, 弹性无显著差异。当米水质量比为 1.0 : 1.8 时, 小米饭硬度最高; 当米水质量比为 1.0 : 1.9 和 1.0 : 2.0 时, 小米饭硬度适中; 当米水质量比为 1.0 : 2.1 和 1.0 : 2.2 时, 小米饭硬度最低。随着米水质量比的增加, 小米饭的 L^* 值呈现上升的趋势, 但没有显著差异。当米水质量比为 1.0 : 1.9 时, 小米饭

表 4 米水质量比对小米饭质构特性和色泽的影响

Table 4 Effects of millet-to-water mass ratio on texture and color properties of foxtail millet

米水质量比	质构特性			色泽		
	硬度/kgf	黏度/kgf	弹性	L^*	a^*	b^*
1.0 : 1.8	4.45±0.10 ^a	0.00±0.01 ^a	0.81±0.01 ^a	63.83±0.68 ^a	0.92±0.19 ^a	24.03±0.41 ^b
1.0 : 1.9	4.13±0.11 ^b	0.00±0.00 ^a	0.82±0.00 ^a	64.70±1.50 ^a	1.09±0.14 ^a	25.20±0.99 ^a
1.0 : 2.0	4.10±0.15 ^b	0.00±0.01 ^a	0.82±0.01 ^a	65.08±2.01 ^a	0.99±0.04 ^a	24.43±0.31 ^{ab}
1.0 : 2.1	3.71±0.07 ^c	0.00±0.01 ^a	0.82±0.02 ^a	66.30±2.19 ^a	0.81±0.31 ^a	23.92±0.29 ^b
1.0 : 2.2	3.68±0.02 ^c	0.01±0.01 ^a	0.81±0.02 ^a	65.94±0.16 ^a	0.76±0.14 ^a	24.47±0.56 ^{ab}

注: 同列中不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P>0.05$).

的 b^* 值最高, 与米水质量比 1.0 : 1.8 及 1.0 : 2.1 的小米饭差异显著。

大米在吸水不足的情况下进行蒸煮, 大米外层淀粉受热要优于内部, 使得淀粉外部比内部先开始糊化, 内部吸水变得困难^[15]。当米水质量比为 1.0 : 1.8 时, 加水量过少, 小米吸水不足, 使得小米内层和外层淀粉糊化不完全, 煮出的小米饭较硬且饭粒松散, 口感较差。当米水质量比为 1.0 : 2.2 时, 小米饭有微微的黏性, 但加水量过多容易造成米粒结构溶胀破裂, 小米饭软烂且咀嚼性变差。米水质量比为 1.0 : 2.1 和 1.0 : 2.2 时

蒸煮的小米饭 L^* 值较高, 可能与小米饭吸水过多有关。

由表 5 可知: 米水质量比为 1.0 : 2.0 时蒸煮的小米饭在气味、适口性及滋味评分上高于其他米水质量比煮出的小米饭。随着米水质量比的增加, 小米饭的气味、适口性和滋味的评分均是先上升后下降。当米水质量比为 1.0 : 1.8 和 1.0 : 1.9 时, 小米饭比较散, 适口性低, 具有小米饭特有的香气, 米饭清香。当米水质量比为 1.0 : 2.1 和 1.0 : 2.2 时, 小米饭口感稍软, 嚼劲不足, 米香由浓郁变清淡。

表 5 米水质量比对小米饭感官评价的影响

Table 5 Effects of millet-to-water mass ratio on sensory evaluation of foxtail millet

分

米水质量比	气味	外观	适口性	滋味	综合评分
1.0 : 1.8	16.2±0.8 ^b	15.0±1.7 ^a	21.7±1.6 ^c	24.7±0.8 ^b	77.5±2.8 ^b
1.0 : 1.9	16.6±0.5 ^b	15.2±0.8 ^a	22.8±1.8 ^{bc}	25.2±1.1 ^{ab}	79.8±2.2 ^b
1.0 : 2.0	18.2±0.8 ^a	15.0±1.1 ^a	25.8±1.7 ^a	26.2±0.8 ^a	85.2±2.6 ^a
1.0 : 2.1	16.2±1.3 ^b	14.8±0.4 ^a	23.8±1.1 ^b	25.0±1.2 ^{ab}	79.8±2.2 ^b
1.0 : 2.2	16.2±0.8 ^b	14.8±1.2 ^a	24.5±0.8 ^{ab}	25.0±1.3 ^{ab}	80.5±2.9 ^b

注: 同列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P > 0.05$).

加水量对米饭食用品质的影响较大, 加水量较少时, 饭香不浓, 黏弹性不足; 加水量较多时, 米饭口感较软, 嚼劲不足^[4]。已有研究表明随着加水量的增加, 小米粥中挥发性成分种类减少, 含量降低^[16]。因此, 加水量过多时, 米香由浓郁变清淡。根据综合评分来看, 米水质量比为 1.0 : 2.0 的小米饭的感官评分明显高于其他米水质量比蒸煮的小米饭。因此, 综合考虑小米饭仪器测定和感官评价的结果, 米水质量比为 1.0 : 2.0 进行小米饭的后续实验。

2.3 加水种类对小米饭食用品质的影响

由表 6 可知: 用去离子水蒸煮小米饭的硬度最低, 天然水 (农夫山泉) 蒸煮的小米饭的硬度最高; 用自来水和直饮水蒸煮出的小米饭的硬度中等, 且两者无显著差异。不同种类的水蒸煮的小米饭黏度几乎为 0, 小米饭的弹性无显著差异。用去离子水蒸煮的小米饭的 b^* 值高于自来水和直饮水, 与天然水无显著差异。用自来水和直饮水蒸煮的小米饭 L^* 值和 b^* 值均没有显著差异。

天然水 (农夫山泉) 中含有钾、钠、钙、镁

表 6 加水种类对小米饭质构特性和色泽的影响

Table 6 Effects of water type on texture and color properties of foxtail millet

水的种类	质构特性			色泽		
	硬度/kgf	黏度/kgf	弹性	L^*	a^*	b^*
去离子水	3.97±0.13 ^c	0.00±0.01 ^a	0.84±0.01 ^a	64.90±0.97 ^{ab}	1.01±0.14 ^a	24.09±0.45 ^{ab}
自来水	4.29±0.21 ^b	0.01±0.01 ^a	0.83±0.01 ^a	65.45±0.49 ^{ab}	0.84±0.22 ^a	23.46±0.29 ^{bc}
直饮水	4.23±0.08 ^b	0.01±0.01 ^a	0.83±0.01 ^a	63.96±1.27 ^b	0.88±0.19 ^a	23.11±0.19 ^c
天然水	4.56±0.10 ^a	0.00±0.01 ^a	0.82±0.01 ^a	65.44±0.56 ^{ab}	1.12±0.27 ^a	24.53±0.52 ^a

注: 同列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P > 0.05$).

等人体所需矿物元素, pH 为 7.3 ± 0.5 , 呈弱碱性; 去离子水是指除去了呈离子形式杂质后的纯水, 主要采用反渗透的方法制取, pH 为 7.1 ± 0.3 ; 直饮水是经过膜过滤技术去除了细菌、病毒和有机物的自来水^[17], 自来水和直饮水的大部分金属离子含量没有显著差别, 自来水 pH 为 7.0 ± 0.1 , 直饮水 pH 为 6.8 ± 0.1 。研究发现, 自来水、天然水(农夫山泉)蒸煮出的米饭硬度比蒸馏水蒸煮出的米饭硬度高, 且自来水蒸煮出的米饭综合评分最低^[8]。NORIKO 等^[18]利用软水装置使自来水(硬水)软化, 去除钙离子的自来水煮饭可以促进大米吸水率的增加, 从而使大米变得更柔软。OGAWA 等^[19]研究了大米蒸煮水中钙和钠对米饭食用品质的影响, 发现钙会抑制淀粉糊化, 从而使米饭变硬。本研究中去离子水的钙离子含量低

于自来水、直饮水和天然水, 可能更利于淀粉糊化^[20], 从而使小米饭具有较低的硬度。陈然等^[21]发现随着煮制用水的 pH 值的增加, 豆汤的 b^* 值呈现上升趋势, 这与本研究结果相似。小米饭 b^* 值之间的差异可能与煮饭用水的 pH 值有关, 因为小米中含有大量的黄酮类化合物, 而 pH 值的增加会使黄酮类化合物转变为查尔酮, 查尔酮含量的增加可能导致小米饭颜色变黄^[22]。

由表 7 可知: 不同类型的水蒸煮小米饭在气味、适口性和滋味上没有差异, 但是在外观上有明显差异, 其中去离子水蒸煮的小米饭的外观评分明显高于其他水蒸煮的小米饭。在适口性上, 自来水、直饮水和天然水蒸煮的小米饭评分低于去离子水蒸煮的小米饭。综合看来, 用去离子水蒸煮的小米饭的综合评分最高, 其次是直饮水和天然水。

表 7 加水种类对小米饭感官评价的影响

Table 7 Effects of water type on sensory evaluation of foxtail millet

水的种类	气味	外观	适口性	滋味	综合评分
去离子水	17.0 ± 0.7^a	16.0 ± 1.2^a	25.4 ± 2.1^a	26.0 ± 0.7^a	84.4 ± 3.9^a
自来水	17.3 ± 1.0^a	13.8 ± 1.5^b	24.0 ± 0.8^a	25.5 ± 1.0^a	80.5 ± 4.0^a
直饮水	17.3 ± 1.0^a	14.3 ± 1.0^b	24.8 ± 0.5^a	25.6 ± 0.8^a	82.3 ± 1.5^a
天然水	16.8 ± 0.8^a	14.8 ± 1.0^{ab}	25.0 ± 1.3^a	25.5 ± 0.8^a	82.2 ± 1.6^a

注: 同列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P > 0.05$).

自来水和直饮水蒸煮的小米饭在外观方面的评分低于去离子水和天然水蒸煮的小米饭, 这与表 6 中 b^* 值的结果一致。虽然直饮水和天然水蒸煮的小米饭颜色与去离子水相比略显暗淡, 但综合评分均高于自来水。结合家庭中日常生活用水, 可考虑用直饮水或天然水煮小米饭。由于去离子水蒸煮的小米饭的评分高于其他水蒸煮的小米饭, 本研究选用去离子水进行小米饭的后续实验。

2.4 浸泡时间对小米饭食用品质的影响

由表 8 可知: 随着小米浸泡时间的延长, 小米饭的硬度有所降低。不同浸泡时间下小米饭的黏度、弹性均没有显著差异。浸泡 30 min 后蒸煮的小米饭的 L^* 值以及 b^* 值都略低于未浸泡以及浸泡 15 min 后蒸煮的小米饭, 开水未浸泡蒸煮的小米饭的 L^* 值和 b^* 值略高于常温水浸泡的小米饭。

小米蒸煮前浸泡的目的是为了让米粒充分吸

表 8 浸泡时间对小米饭质构特性和色泽的影响

Table 8 Effects of soaking time on texture and color properties of foxtail millet

浸泡时间/min	质构特性			色泽		
	硬度/kgf	黏度/kgf	弹性	L^*	a^*	b^*
0	4.40 ± 0.12^a	0.02 ± 0.01^a	0.83 ± 0.01^a	67.07 ± 0.96^a	0.91 ± 0.07^a	23.70 ± 0.27^{ab}
15	4.25 ± 0.11^a	0.00 ± 0.01^a	0.83 ± 0.00^a	66.26 ± 1.15^a	0.85 ± 0.12^a	23.60 ± 0.42^{ab}
30	4.15 ± 0.09^a	0.01 ± 0.01^a	0.83 ± 0.01^a	65.72 ± 0.16^a	0.81 ± 0.15^a	23.42 ± 0.04^b
0 (开水)	4.23 ± 0.21^a	0.01 ± 0.01^a	0.81 ± 0.04^a	67.32 ± 1.20^a	0.75 ± 0.25^a	24.23 ± 0.48^a

注: 同列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P > 0.05$).

水,使水分在米粒内部更好地扩散。浸泡时间的延长和浸泡温度的升高使米粒吸水增加,能够降低小米的硬度。这是因为随着浸泡时间的延长,小米逐渐吸水膨胀,米粒软化,导致小米饭硬度变小。丁辛亭等^[23]研究发现随着浸泡时间的延长,米饭的 L^* 值有降低趋势,浸泡时间长的米粒含水率和膨胀率较大,反射光较少,导致米饭的 L^* 值较小。浸泡 30 min 后蒸煮的小米饭的 L^* 值和 b^* 值都略低,可能是因为小米颗粒小,经过浸

泡,吸水过多,光泽度也随之降低。开水未浸泡蒸煮的小米饭 L^* 值和 b^* 值都略高可能是因为用开水煮饭,加快了小米淀粉的糊化。

由表 9 可知:不同浸泡时间蒸煮小米饭在气味、外观和适口性上没有明显差异。开水未浸泡以及常温水未浸泡蒸煮的小米饭在适口性上要低于浸泡过的小米饭。浸泡 15 min 的小米饭在外观评分上要低于浸泡 30 min 和未浸泡的小米饭,与开水未浸泡的无差异。

表 9 浸泡时间对小米饭感官评价的影响

Table 9 Effects of soaking time on sensory evaluation of foxtail millet

分

浸泡时间/min	气味	外观	适口性	滋味	综合评分
0	16.8±0.8 ^a	15.8±1.0 ^{ab}	24.3±1.2 ^a	25.8±1.5 ^a	82.8±2.3 ^a
15	15.8±0.8 ^a	14.6±1.0 ^c	25.2±1.5 ^a	26.0±0.6 ^a	81.6±2.5 ^a
30	17.0±1.2 ^a	16.2±1.1 ^a	25.8±1.3 ^a	25.8±1.1 ^a	84.8±3.6 ^a
0 (开水)	16.3±1.0 ^a	14.9±0.7 ^{bc}	24.3±2.8 ^a	26.0±1.3 ^a	81.4±3.1 ^a

注:同列中不同字母表示差异显著 ($P<0.05$),相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$), and the same letters indicate insignificant differences ($P>0.05$).

不同浸泡时间蒸煮小米饭在适口性上的差异主要体现在硬度上,浸泡可以增加小米的吸水量,降低小米的硬度,提高小米饭的食味品质。结合综合评分来看,浸泡 30 min 后蒸煮小米饭的食用品质最好。

3 结论

本研究采用感官评价,结合硬度黏度仪和色泽色度测定仪的方法,对影响小米饭制作的因素进行系统的研究,确定了小米饭的最佳制作条件:称取 300 g 小米,放入电饭煲中,用去离子水快速淘洗两遍,按照米水质量比 1.0 : 2.0 加入去离子水浸泡 30 min,电饭煲选择精华饭模式,加热时间约 45 min,蒸煮完成后,搅拌均匀,再焖 20 min。通过测定小米饭的质构特性、色泽及感官评价,将仪器指标与感官相结合,可以更加全面准确地对小米饭的食味品质进行综合评定。

参考文献:

[1] SACHDEV N, GOOMER S, SINGH L R. Foxtail millet: a potential crop to meet future demand scenario for alternative sustainable protein[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 101(3): 831-842.

[2] 刘建奎,常柳,段晓亮,等.谷子的生产概况及其保健功能与

机理研究进展[J].食品工业科技,2022,43(5):389-395.

LIU J L, CHANG L, DUAN X L, et al. Foxtail millet: production status, advances on health benefits and its mechanism[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(5): 389-395.

[3] 刘建奎,常柳,段晓亮,等.小米粥的制作及食用品质感官评价方法[J].中国粮油学报,2019,34(8):42-47+60.

LIU J L, CHANG L, DUAN X L, et al. Method for sensory evaluation of foxtail millet porridge cooking and eating quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(8): 42-47+60.

[4] 张玉荣,周显青,张秀华,等.大米蒸煮条件及蒸煮过程中米粒形态结构变化的研究[J].粮食与饲料工业,2008,(10):1-4.

ZHANG Y R, ZHOU X Q, ZHANG X H, et al. Studies on rice cooking conditions as well as its form and structure changes during cooking process[J]. Cereal & Feed Industry, 2008, (10): 1-4.

[5] 邓灵珠.大米蒸煮与米饭物性及食味形成机理[D].郑州:河南工业大学,2012.

DENG L Z. The relation of rice cooking and texture properties and taste mechanism of cooked rice[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012.

[6] 樊奇良,章烜.不同米水比例对蒸煮米饭食味品质影响的研究[J].粮食科技与经济,2015,40(6):29-33.

FAN Q L, Zhang X. Study on the influence of different ratio of rice and water on the quality of steamed rice[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2015, 40(6): 29-33.

[7] 俞承韬.不同浸泡条件和压力条件对糙米饭蒸煮品质的影响[D].无锡:江南大学,2021.

YU C T. Effect of different soaking conditions and pressure

- conditions on cooking quality of brown rice[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.
- [8] 朱文东, 贾文珍, 赵家钊, 等. 不同区域稻米及蒸煮水源对其食味品质的影响[J]. 热带农业科学, 2019, 39(5): 75-80.
 ZHU W D, JIA W Z, ZHAO J C, et al. Effect of rice from different regions and cooking water on their cooking quality[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2019, 39(5): 75-80.
- [9] 王惠. 基于香气及物性指标综合评价稻米烹煮方式对食味品质影响的研究[D]. 上海: 上海应用技术大学, 2017.
 WANG H. Effects of cooking on edible quality of rice based on evaluation of physical property combined with aroma[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Technology, 2017.
- [10] 王晶蓉. 16个谷子品种蒸煮食味品质与淀粉合成酶基因核酸多态性分析[D]. 太谷: 山西农业大学, 2018.
 WANG J R. 16 Setaria italica variety cooking and eating quality and starch synthase gene nucleic acid polymorphism analysis[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2018.
- [11] 杨成元, 侯东辉, 陈丽红, 等. 山西十种小米理化指标及蒸煮特性研究[J]. 东北农业科学, 2020, 45(3): 25-29+40.
 YANG C Y, HOU D H, CHEN L H, et al. Study on physicochemical indices and cooking characteristics of ten kinds of millet[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2020, 45(3): 25-29+40.
- [12] 尹瑞喈, 李星, 沈群. 小米饭食用品质评价模型的建立[J]. 中国食品学报, 2020, 20(6): 270-277.
 YIN R Y, LI X, SHEN Q. Establishment of edible quality evaluating model of millet[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(6): 270-277.
- [13] 范光宇, 张丽娜, 冯小磊, 等. 张杂谷13号选育及应用[J]. 种子, 2019, 38(3): 120-122.
 FAN G Y, ZHANG L N, FENG X L, et al. The breeding and generalizing of Zhangzagu No.13[J]. Seed, 2019, 38(3): 120-122.
- [14] 战旭梅, 郑铁松, 陶锦鸿. 质构仪在大米品质评价中的应用研究[J]. 食品科学, 2007, 28(9): 62-65.
 ZHAN X M, ZHENG T S, TAO J H. Study on application of texture analyzer in quality evaluation of rice[J]. Food Science, 2007, 28(9): 62-65.
- [15] 唐伟强, 聂世涛, 廖良银, 等. 浸泡参数与米饭品质关系的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(2): 158-159+162.
 TANG W Q, NIE S T, LIAO L Y, et al. Study on rice quality with soaking parameters[J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(2): 158-159+162.
- [16] 刘敬科, 刘松雁, 赵巍, 等. 加水量对小米粥挥发性风味成分的影响[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(9): 5-8.
 LIU J K, LIU S Y, ZHAO W, et al. Influence of different water addition on volatile flavour compounds of millet porridge[J]. Food Research and Development, 2011, 32(9): 5-8.
- [17] 李培超, 毕文婕, 丁金焕. 我国直饮水应用现状概述[J]. 疾病监测与控制, 2017, 11(4): 283-285.
 LI P C, BI W J, DING J H. Discuss direct drinking water application status on in China[J]. Journal of Diseases Monitor & Control, 2017, 11(4): 283-285.
- [18] NORIKO, OGAWA, YUMI, et al. Effect of calcium and sodium in rice cooking water on the properties of cooked rice (part2) effect of water processed by a domestic water-softener[J]. Journal of Home Economics of Japan, 2013, 64(5): 225-231.
- [19] OGAWA N, INAGAKI A, YAMANAKA N, et al. Effect of the calcium and sodium in rice cooking water on the properties of cooked rice (part 1) effects on the physical properties and eating quality of cooked rice[J]. Journal of Home Economics of Japan, 2007, 57(10): 669-675.
- [20] 闫海丽, 成锴, 王振华, 等. 水中不同 Ca^{2+} 浓度对小米糊化特性的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(8): 924-927.
 YAN H L, CHENG K, WANG Z H, et al. Effect of Ca^{2+} concentration in water on pasting properties of millet[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2021, 49(8): 924-927.
- [21] 陈然, 王静, 万海静, 等. 煮制用水 pH 值及金属离子对绿豆清汤的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(3): 96-99.
 CHEN R, WANG J, WAN H J, et al. Effect of pH value of cooking water and metal ions on pH, color and free radical scavenging capacity of mung bean clear soup[J]. Food Science, 2014, 35(3): 96-99.
- [22] CHEN W P, LI P, WANG X H. Chemical stability of yellow pigment extracted from the flower bud of Sophora japonica L. (Huaimi)[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45: 1666-1672.
- [23] 丁辛亭, 熊秀芳, 李树旺, 等. 欧姆加热对米饭蒸煮过程能耗及其品质的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(24): 310-318.
 DING X T, XIONG X F, LI S W, et al. Effects of ohmic heating on the cooking process energy consumption and quality of cooked rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(24): 310-318. 