

浸泡温度对米饭回生特性及食用品质的影响

Effects of soaking temperature on rice regeneration characteristics and edible quality

刘 薇^{1,2,3} 周晓燕^{1,2,3} 沙文轩^{1,2,3} 赵 赵¹ 王秋玉^{1,2,3}

LIU Wei^{1,2,3} ZHOU Xiao-yan^{1,2,3} SHA Wen-xuan^{1,2,3} ZHAO Zhao¹ WANG Qiu-yu^{1,2,3}

(1. 扬州大学旅游烹饪学院, 江苏 扬州 225100; 2. 江苏省淮扬菜产业化工程中心,

江苏 扬州 225100; 3. 中餐非遗技艺传承文化和旅游部重点实验室, 江苏 扬州 225100)

(1. *Tourism and Culinary Institute Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225100, China;*

2. *Huaiyang Cuisine Industrialization Engineering Research Center of Jiangsu Province, Yangzhou,*

Jiangsu 225100, China; 3. *Key Laboratory of Chinese Cuisine Intangible Cultural Heritage*

Technology Inheritance, Ministry of Culture and Tourism, Yangzhou, Jiangsu 225100, China)

摘要:目的: 研究浸泡温度对米饭短期回生特性的影响。

方法: 将粳米分别于 20、35、50、65、80 ℃ 浸泡 15 min, 利用低场核磁共振技术、差式热量扫描仪、质构仪、色差仪等研究其蒸煮特性、热学特性、质构特性以及色差来反映其回生特性。**结果:** 当浸泡温度为 50 ℃, 即低于淀粉糊化温度时浸泡, 短期回生后, 有利于米粒内水分的保持, 食感最好, 亮度最高, 回生程度低。**结论:** 浸泡温度低于淀粉糊化温度有利于改善其短期回生。

关键词: 粳米; 浸泡温度; 回生特性; 食用品质

Abstract: Objective: To study the effects of different soaking temperatures on the short-term return of rice in rice, and provide a certain theoretical basis for controlling starch food. **Methods:** The japonica rice was soaked at (20, 35, 50, 65, 80 ℃) for 15 min, using low-field nuclear magnetic resonance, differential scanning calorimetry, texture analyzer, colorimeter, etc. to study its cooking characteristics, thermal characteristics, texture and color difference to reflect its retrogradation characteristics. **Results:** When the soaking temperature was 50 ℃, the soaking temperature was lower than the starch gelatinization temperature. After short-term retrogradation, it was conducive to the retention of moisture in the rice grains, with the best taste, the highest brightness, and a low degree of retrogradation.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 31701634); 扬州市—扬州大学市校合作共建创新科技平台项目(编号: YZ2020267); 烹饪科学四川省高等学校重点实验室资助项目(编号: PRKX2020Z06)

作者简介: 刘薇, 女, 扬州大学在读硕士研究生。

通信作者: 周晓燕(1964—), 男, 扬州大学教授, 学士。

E-mail: yzuxyz@163.com

收稿日期: 2022-01-30 **改回日期:** 2022-06-11

Conclusion: Soaking temperature lower than starch gelatinization temperature is beneficial to improve its short-term retrogradation.

Keywords: japonica rice; soaking temperature; retrogradation characteristics; edible quality

大米, 又称稻米, 其主要成分淀粉占大米干重的 90% 以上^[1]。大米熟化后, 易引起回生, 导致米饭硬度、咀嚼性等发生改变, 降低其食用品质。回生是直链淀粉与支链淀粉二者进行重组的一个过程, 糊化后, 淀粉分子链中氢键结合形成的双螺旋结构进行有序排列, 淀粉分子由无序状态转变成有序状态, 形成规则的晶体, 导致淀粉食品出现硬度较高和干收缩等问题, 影响其口感及其复水性^[2-3]。目前淀粉的回生特性通常通过基因修饰、化学修饰、酶处理及物性修饰等来实现, 安全性较低, 且易破坏食物本身的营养价值^[3-5]。

研究拟通过检测不同浸泡温度下米饭短期回生后的热力学特性、水分分布特性、质构特性、色泽等指标, 从不同角度分析其回生特性, 为通过烹饪手段控制米饭回生提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

粳米: 南梗 9108, 产自江苏泰州。

1.2 仪器与amp;设备

精密电子分析天平: ZG-TP101 型, 哈尔滨众汇衡器有限公司;

电饭煲: MB-FB08M301 型, 广东美的生活电器制造有限公司;

电磁炉:C21S-C2170 型,九阳股份有限公司;

磁共振分析仪:AccuFat-1050 型,江苏麦格迈医学科技有限公司;

质构仪:MS-PRO 型,美国 FTC 公司;

高品质电脑色差仪:3NH 型,深圳市三恩时科技医学科技有限公司;

智能水分活度测定仪:HD-3A 型,无锡市华科仪器仪表有限公司;

差示扫描量热仪:200F3 型,德国 NETZSCH 公司;

红外线测温仪:GM321 型,无锡非常祥科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

(1) 原料初加工:将粳米淘洗 3 遍,每次冲洗 5 s,留置备用。

(2) 浸泡:将淘洗过后的粳米等量分装为 5 份,分别于 20,35,50,65,80 °C 下浸泡 15 min。

(3) 蒸制:浸泡后按 $m_{\text{米}}:m_{\text{水}}$ 为 1:1,电磁炉 300 W,蒸制 30 min。

(4) 回生:4 °C 贮藏 5 h。

1.3.2 生米浸泡率测定 将大米称重,浸泡后用滤纸吸取表面水分,取样称重,放电饭煲蒸煮后,冷却 30 min 取样称重,记录数据并分别按式(1)~式(3)计算米饭得饭率、浸泡吸水率和含水率。

$$C_1 = \frac{W_3}{W_1} \times 100\%, \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{W_2}{W_1} \times 100\%, \quad (2)$$

$$C_3 = \frac{W_3 - W_1 + 12.9}{W_3} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

C_1 ——得饭率,%;

C_2 ——浸泡吸水率,%;

C_3 ——米饭含水率,%;

12.9——粳米的含水量,g/100 g;

W_1 ——浸泡前大米重量,g;

W_2 ——浸泡后吸取表面水分重量,g;

W_3 ——蒸煮冷却后重量,g。

1.3.3 差式热量扫描仪(DSC)分析 参照 Gaikwad 等^[6]的方法并修改。称取(10±1) mg 样品置于 DSC 坩锅中,用样品压样器压上盖,以确保坩锅密封。于 DSC 装置的样品支持器上,以 10 °C/min 从 30 °C 升温至 100 °C 进行扫描。通过 universal analysis 2000 软件分析样品的起始温度(T_o)、峰值温度(T_p)、终止温度(T_c)和热焓值(ΔH)。

1.3.4 低场核磁共振技术(LF-NMR)分析 称取 30 g 样品,将带有保鲜膜包装的样品置于透明的红色核磁共振管内,用保鲜膜严密封闭,放入核磁共振仪中,测定每个

样品的弛豫时间。采用 CPMG 脉冲序列确定样品的自旋弛豫时间 T_2 。测定参数:接收增益 60 dB,回波间隔 400 μ s,采样点数 1 024,扫描次数 16 次,间隔时间 2 000 ms,每个样本重复测定 3 次,取平均值进行反演作图分析。

1.3.5 质构分析 将样品取出,用镊子夹入模具中制成长宽为 3 cm,高为 0.6 cm 的饭粒团,使用圆柱形探头 P35 进行质构分析^[7-8]。分析参数:距离 8 mm,测试速度 1 mm/s,压缩度 70%,最大测试力 0.1 N,触发值 25 g,压缩时间间隔 5 s。

1.3.6 色差分析 取 30 g 样品,用色差仪测量 6 个不同点。米饭的色泽由红绿度(a^*)、黄蓝度(b^*)、亮度(L^*)表示。每个样品重复 5 次。

1.3.7 数据分析 通过 Excel 2010 整理试验数据,Origin 2017 64Bit 软件绘制图表,SPSS 23.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 浸泡温度对大米蒸煮特性的影响

由图 1 可知,当浸泡温度为 20~35 °C 时,吸水率呈缓慢上升趋势,即在未达到糊化温度前,大米是不断吸水的,吸水率未发生大幅度变化,可以达到正常米饭的状态。当浸泡温度为 35~65 °C 时,由于水温的提升,延长了淀粉吸水膨润的时间,同时激活了一部分淀粉的活性并溶出,随浸泡水倒出而丢弃,造成大米中一部分淀粉流失,尽管米饭状态正常,但未在短时间内促进淀粉的糊化,降低了原有淀粉整体的活性,减少了大米的吸水率,得饭率也呈现出一定程度的下降。当浸泡温度为 65~80 °C 时,米饭得饭率与吸水率均呈大幅增长趋势,由于大米糊化程度进一步加强,淀粉颗粒解体,膨胀破裂,接近于粥的状态,导致含水量增大,得饭率上升,但熟饭特性并不具有较好状态。

2.2 浸泡温度对米饭热力学特性的影响

淀粉糊化程度与淀粉回生有着紧密关系。由表 1 可

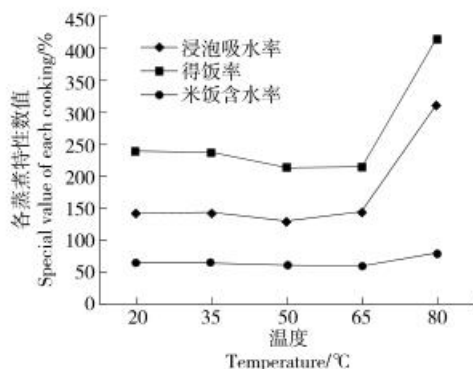


图 1 浸泡温度对米饭蒸煮特性的影响

Figure 1 Effects of soaking temperature on cooking characteristics of rice

表 1 浸泡温度对米饭热力学特性的影响[†]

Table 1 Effects of soaking temperature on thermodynamic characteristics of rice

浸泡温度/℃	T_o /℃	T_p /℃	T_c /℃	ΔH /(J·g ⁻¹)
20	47.20±0.40 ^b	62.15±2.95 ^a	66.75±2.65	0.14±0.19 ^b
35	46.15±0.95 ^b	55.15±1.35 ^b	57.80±2.30	0.22±0.10 ^b
50	45.10±0.10 ^b	53.15±1.05 ^b	64.15±0.95	0.38±0.02 ^{ab}
65	51.85±0.95 ^a	59.15±3.65 ^b	70.55±6.95	0.65±0.01 ^{ab}
80	45.90±0.50 ^b	54.95±1.35 ^b	65.55±4.55	1.44±0.19 ^a

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

知,随着浸泡温度的提升,热焓值呈逐渐升高的趋势,当浸泡温度为 65 ℃时, T_o 值最高,当浸泡温度为 80 ℃时, ΔH 值最高为 1.44 J/g,一般来说 ΔH 值越高,回生度越高。此时,大米经过初步浸泡阶段,水分浸透产生的大米裂缝内淀粉就已经开始吸水糊化^[9],大米中小分子水溶性营养物质析出,从而影响热焓值 ΔH 的提高,与毕仕林^[10]的研究结果相符。此外,蛋白质与脂肪也会影响淀粉的糊化结果^[11],从而影响热焓值的变化。总之,大米在浸泡时,水分渗透产生的缝隙会随浸泡温度的不同而有所变化,随着浸泡温度的升高,渗透逐渐加深,大米中淀粉与水分结合产生的糊化作用也随之加深,从而导致不同浸泡温度对热焓值之间的差异。淀粉糊化是影响大米食品品质的重要影响因素^[12],糊化温度越高, ΔH 值越大,糊化所需的能量越高,蒸煮也就越困难^[13]。因此浸泡

温度最好低于淀粉糊化温度。

2.3 浸泡温度对米饭水分分布的影响

表 2 描述了米饭的 T_{21} 弛豫时间、 T_{22} 弛豫时间、 T_{23} 弛豫时间、 T_{21} 峰面积、 T_{22} 峰面积及 T_{23} 峰面积。图 2 为不同浸泡时间下的米饭回生后的 T_2 横向弛豫时间瀑布图。

随着浸泡温度的不断提升,浸泡大米中水分含量也逐渐提高,淀粉由无序状态逐渐转变为有序状态,糊化发生,水分子被结合,导致水分子流动性降低。由表 2 可知, T_{21} 在浸泡温度改变的情况下,其弛豫时间逐渐升高,但变化幅度不大,当浸泡温度超过 50 ℃时呈下降趋势,可能是由于只有部分结合水与自由水进行了转换。 T_{22} 低流动性的半结合水整体呈递增趋势,50 ℃后呈显著升高趋势。 T_{23} 自由水流动性发生显著性改变,出现较大

表 2 浸泡温度对米饭水分分布的影响[†]

Table 2 Effects of soaking temperature on water distribution of rice

浸泡温度/℃	T_{21} 弛豫时间/ms	T_{22} 弛豫时间/ms	T_{23} 弛豫时间/ms	T_{21} 峰面积	T_{22} 峰面积	T_{23} 峰面积
20	1.45±0.04 ^b	7.62±0.12 ^d	90.86±0.87 ^c	0.57±0.03 ^c	5.41±0.12 ^c	46.28±0.86 ^c
35	1.35±0.03 ^b	8.59±0.12 ^c	89.04±1.04 ^c	0.54±0.01 ^c	5.49±0.07 ^c	44.57±0.13 ^c
50	1.67±0.06 ^a	5.88±0.03 ^e	92.08±1.34 ^c	0.77±0.01 ^a	5.14±0.08 ^c	44.97±0.22 ^c
65	1.59±0.01 ^a	9.81±0.11 ^b	113.93±1.69 ^b	0.69±0.02 ^b	6.57±0.21 ^b	56.59±0.27 ^b
80	0.22±0.01 ^c	26.16±0.36 ^a	352.28±4.56 ^a	0.18±0.01 ^d	14.34±0.12 ^a	160.37±1.11 ^a

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

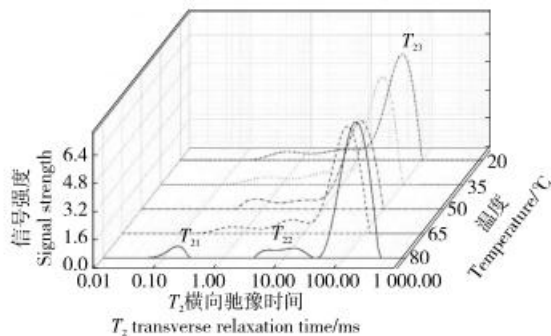


图 2 不同浸泡时间下米饭 T_2 横向弛豫时间变化
Figure 2 Changes in T_2 transverse relaxation time of rice under different soaking time

波动,80 ℃时高达 352.28 ms。随着浸泡温度的增加,水分子进入淀粉颗粒结晶部分,糊化后,淀粉进入不可逆吸水阶段,其淀粉网络结构不紧密,逐渐疏松,淀粉颗粒体积膨胀,无法包裹住原有的水分子,其流动性也进一步增大。综上,浸泡阶段,浸泡温度低于淀粉糊化温度,更有利于米粒内水分的保持。

2.4 浸泡温度对米饭质构特性的影响

米饭的质构特性是影响饮食消费者喜好的重要特性,硬度和黏度对食品品质的影响尤为重要^[14]。米饭的内聚性是表示米饭在受挤压时抵抗变形的能力^[15]。由表 3 和图 1 可知,不同浸泡温度对米饭的硬度、内聚力、胶黏性有着较大的影响,随着浸泡温度的上升,硬度呈先

表 3 浸泡温度对米饭质构特性的影响[†]

Table 3 Effects of soaking temperature on texture characteristics of rice

浸泡温度/℃	硬度/N	黏附性/mJ	内聚力	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
20	4.75±0.12 ^{ab}	0.47±0.01 ^b	0.24±0.03 ^{ab}	0.94±0.08 ^b	1.16±0.11 ^{ab}	1.09±0.19 ^b
35	5.51±0.62 ^a	0.15±0.03 ^b	0.28±0.01 ^a	1.30±0.08 ^a	1.54±0.25 ^a	2.00±0.34 ^a
50	4.09±0.47 ^b	0.22±0.02 ^b	0.22±0.02 ^{ab}	0.93±0.05 ^b	0.91±0.18 ^{bc}	0.87±0.20 ^b
65	3.91±0.33 ^{ab}	0.39±0.03 ^b	0.20±0.01 ^b	0.87±0.15 ^b	0.87±0.13 ^{bc}	0.75±0.11 ^b
80	2.59±0.12 ^c	0.57±0.15 ^a	0.19±0.01 ^b	0.87±0.04 ^b	0.49±0.03 ^c	0.43±0.04 ^b

† 同列小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

上升后减小的趋势,黏附性整体呈先减小后升高的趋势,这是由于淀粉在 80 ℃ 浸泡时,已基本糊化,外观已接近粥的状态,蒸煮后继续受热,淀粉颗粒进入解体阶段,体积持续膨胀,当其膨胀到一定程度后,颗粒破裂,所溶胀的淀粉分子溢出并缠绕,形成网状的亲水胶体,此时米饭已失去了其外在特性,硬度达到了一捏即碎的状态,接近于粥的状态,咀嚼性下降;当其温度始终在高温状态下维持时,淀粉颗粒的破损也会导致胶黏性下降,从而影响米饭的食感。综上,浸泡温度较高,大米会发生热量和水分的交换转移,影响淀粉分子的排列顺序、胶体状态,从而改变其质构特性^[16],影响食感。

2.5 浸泡温度对米饭色泽的影响

由表 4 可知,浸泡温度对米饭回生后的色泽有显著性的影响,当浸泡温度为 30, 65 ℃ 时, $b^* > 0$, 呈蓝色度,当浸泡温度为 20, 50, 80 ℃ 时, $b^* < 0$, 呈黄色度,且 50 ℃ 时,黄色度最高、亮度最高。米粒中的营养成分如蛋白质、脂肪以及烹饪过程中可能发生的褐变反应等,都会对食物的颜色产生一定的影响^[17]。Pieniazek 等^[18]研究表明高温会降低亮度值。Han 等^[19]研究表明水分子的扩散速度会影响物质的转移,并影响颜色。大米在浸泡过程中,水分迁移速度发生改变,亮度随浸泡温度的升高呈先升高后降低的趋势,是由于淀粉在吸水糊化过程中,随浸泡温度变化吸水性能发生改变,超过糊化温度时,受高温影响,其 L^* 值降低,与 Pieniazek 等^[18-19]的结论相符。

3 结论

以制作米饭工艺流程中米饭前处理(浸泡阶段)控制

表 4 浸泡温度对米饭色泽的影响[†]

Table 4 Effects of soaking temperature on rice color

浸泡温度/℃	L^*	a^*	b^*
20	28.82±2.07 ^b	-1.20±0.15 ^b	-0.25±0.27 ^{abc}
35	27.32±1.16 ^b	-1.10±0.10 ^a	0.14±0.52 ^{ab}
50	35.20±0.59 ^a	-1.34±0.04 ^{bc}	-0.99±0.08 ^c
65	25.65±0.55 ^b	-0.95±0.05 ^a	0.31±0.24 ^a
80	28.25±0.89 ^a	-0.89±0.38 ^c	-0.09±0.38 ^{bc}

† 同列小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

米饭回生为切入点,研究了浸泡温度对米饭热力学特性、质构特性及色差的影响。结果表明:浸泡温度过低,水分渗透速率不高,淀粉分子含水量不高,水分子流动性低;浸泡温度过高,淀粉在浸泡阶段就已糊化,当蒸煮持续受热后,淀粉颗粒解体,易形成糊状,向粥状状态逐渐接近,失去米饭的硬度、黏度、咀嚼度特性,进而影响食感。因此,当浸泡温度为 50 ℃,即低于淀粉糊化温度时浸泡,米饭得饭率相比较低温度时呈微小下降趋势,但短期回生后,有利于米粒内水分的保持,亮度最高,回生程度低。后续可针对大米淀粉分子结构特性进行研究,进一步了解大米浸泡温度对大米回升特性的影响。

参考文献

- [1] AMAGLIANI L, O'REGAN J, KELLY A L, et al. Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch[J]. Journal of Cereal Science, 2016, 70: 291-300.
- [2] 陈悦宇, 欧雨嘉, 曾红亮, 等. 单糖对莲子淀粉回生特性的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 7-13.
CHEN Y Y, OU Y J, ZENG H L, et al. Effect of monosaccharide on the retrogradation of lotus seed starch[J]. Food & Machinery, 2020, 36(3): 7-13.
- [3] 裴斐, 倪晓蕾, 孙昕扬, 等. 低聚果糖对大米淀粉回生特性的影响[J]. 食品科学, 2022, 47(2): 27-33.
PEI F, NI X L, SUN X Y, et al. Effects of oligosaccharides on rice starch regeneration characteristics[J]. Food Science, 2022, 47(2): 27-33.
- [4] 吴跃, 陈正行, 李晓暄. 抑制淀粉回生方法的研究现状和进展[J]. 食品工业科技, 2011, 32(4): 423-426.
WU Y, CHEN Z X, LI X X. Research status and progress of methods to inhibit starch retrogrowth[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(4): 423-426.
- [5] PALACIOS H R, SCHWARZ P B, D'APPOLONIA B L. Effects of α -amylases from different sources on the firming of concentrated wheat starch gels: Relationship to bread staling[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2004, 52(19): 5 987-5 994.
- [6] GAIKWAD S, ARYA S S. Influence of frozen storage on quality of multigrain dough, par baked and ready to eat thalipeeth with addi-

- tives[J]. LWT, 2018, 96: 350-356.
- [7] 张天学. 热处理对青稞淀粉结构和性质的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2016: 28.
ZHANG T X. Effect of heat treatment on structure and Properties of Barley starch [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016: 28.
- [8] 孙彩玲, 田纪春, 张永祥. TPA 质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术, 2007(2): 1-4.
SUN C L, TIAN J C, ZHANG Y X. Application of TPA texture analysis model in food research[J]. Experimental Science and Technology, 2007(2): 1-4.
- [9] 徐琳娜, 王宇凡, 张文斌. 预处理条件对食味计评价江南地区粳米品质的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 44-48.
XU L N, WANG Y F, ZHANG W B. Effects of pretreatment conditions on the evaluation of the taste quality of japonica rice in Jiangnan area with rice taste analyzer[J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 44-48.
- [10] 毕仕林. 升温速率和浸泡温度对米饭食味品质的影响及机制剖析[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 31-32.
BI S L. Effects of heating rate and soaking temperature on rice taste quality and mechanism analysis [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 31-32.
- [11] 余世锋, 杨秀春, MENAGER L, 等. 直链淀粉、蛋白质及脂类对大米粉热特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 38-42.
YU S F, YANG X C, MENAGER L, et al. Influence of linear starch, protein and lipid on rice powder thermal characteristics[J]. Food & Fermentation Industry, 2009, 35(4): 38-42.
- [12] 吴焱, 袁嘉琦, 张超, 等. 粳稻脂肪含量对淀粉热力学特性及米饭食味品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 1-7, 29.
WU Y, YUAN J Q, ZHANG C, et al. Effects of fat content in japonica rice on thermodynamic properties of starch and eating quality of rice[J]. Journal of the China Cereals and Oils Society, 2021, 36(4): 1-7, 29.
- [13] 曹先梅. Wx 基因近等基因系水稻稻米淀粉性质差异及其对后期氮肥的响应[D]. 扬州: 扬州大学, 2017: 38-39.
CAO X M. Differences in starch properties and response to late nitrogen fertilizer in rice with Wx near-isogenic line[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2017: 38-39.
- [14] 闫舒, 李洪岩, 王静. 蒸谷米加工工艺及品质的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(18): 166-174.
YAN S, LI H Y, WANG J. Research progress on processing technology and Quality of steamed Rice[J]. Food Research and Development, 2021, 42(18): 166-174.
- [15] 张园园, 朱小琳, 杨玉民, 等. 超高压糙米饭的制备及质构分析[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(3): 102-106.
ZHANG Y Y, ZHU X L, YANG Y M, et al. Preparation and texture analysis of ultra-high pressure brown rice[J]. Grain & Fat, 2021, 34(3): 102-106.
- [16] 王涛. 米粉加工专用稻米后熟机理的研究[D]. 青岛: 青岛农业大学, 2010: 42.
WANG T. Study on post-ripening mechanism of special rice for rice flour processing [D]. Qingdao: Qingdao Agricultural University, 2010: 42.
- [17] 何梦. 蒸煮条件对米制品品质的影响[D]. 上海: 上海交通大学, 2019: 38.
HE M. Effects of cooking conditions on the quality of rice products[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2019: 38.
- [18] PIENIAZEK F, SANCHO A, MESSINA V. Texture and color analysis of lentils and rice for instant meal using image processing techniques[J]. Food Processing and Preservation, 2016, 40(5): 969-978.
- [19] HAN J A, LIM S T. Effect of presoaking on textural, thermal, and digestive properties of cooked brown rice[J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(1): 100-105.
Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018: 6-10.
- [17] FRANQUET-GRIELL H, CHECA A, NUEZ O, et al. Determination of polyphenols in Spanish wines by capillary zone electrophoresis. Application to wine characterization by using chemometrics[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(34): 8 340-8 349.
- [18] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(2): 304-312.
ZHENG L J, NIE J Y, YAN Z. Advances in research on sugars, organic acids and their effects on taste of fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(2): 304-312.
- [19] 刘文旭, 黄午阳, 曾晓雄, 等. 草莓、黑莓、蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 130-133.
LIU W X, HUANG W Y, ZENG X X, et al. Phenolic content and antioxidant capacity of strawberry, blackberry and blueberry[J]. Food Science, 2011, 32(23): 130-133.

(上接第 12 页)

- [14] 柴鹏飞, 李林洁, 刘静, 等. 基于聚类分析的浓缩苹果汁风味品质分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(2): 94-101.
CHAI P F, LI L J, LIU J, et al. Analyzing and evaluating the flavor quality of concentrated apple juice based on the method of cluster analysis[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(2): 94-101.
- [15] 公丽艳, 孟宪军, 刘乃侨, 等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 276-285.
GONG L Y, MENG X J, LIU N Q, et al. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(13): 276-285.
- [16] 郑妍. 几种果汁中酚类物质的 UPLC 分析及其指纹图谱构建[D]. 郑州: 中国农业科学院, 2018: 6-10.
ZHENG Y. Determination of phenolic compounds in selected fruit juices by UPLC and construction of fingerprint[D]. Zhengzhou:

- Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018: 6-10.
- [17] FRANQUET-GRIELL H, CHECA A, NUEZ O, et al. Determination of polyphenols in Spanish wines by capillary zone electrophoresis. Application to wine characterization by using chemometrics[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(34): 8 340-8 349.
- [18] 郑丽静, 聂继云, 闫震. 糖酸组分及其对水果风味的影响研究进展[J]. 果树学报, 2015, 32(2): 304-312.
ZHENG L J, NIE J Y, YAN Z. Advances in research on sugars, organic acids and their effects on taste of fruits[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(2): 304-312.
- [19] 刘文旭, 黄午阳, 曾晓雄, 等. 草莓、黑莓、蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 130-133.
LIU W X, HUANG W Y, ZENG X X, et al. Phenolic content and antioxidant capacity of strawberry, blackberry and blueberry[J]. Food Science, 2011, 32(23): 130-133.