

电饭煲烹饪参数对粳米饭适口性指标的影响及相关性研究

Effect of the processing parameters of electric cooker on the palatability of cooked japonica rice

杨雅静¹ 夏书芹¹ 于静洋¹

YANG Ya-jing¹ XIA Shu-qin¹ YU Jing-yang¹

张晓鸣¹ 房振² 李晶² 苏莹²

ZHANG Xiao-ming¹ FANG Zhen² LI Jing² SU Ying²

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 佛山市顺德区美的电热电器制造有限公司, 广东 佛山 528311)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Foshan Shunde Midea Electric Appliance Manufacturing Co., Ltd., Foshan, Guangdong 528311, China)

摘要:采用偏最小二乘回归法分析质构特性、蒸煮特性与感官品质的相关性,并研究电饭煲不同烹饪阶段的烹饪参数对粳米饭关键理化指标的影响,借助低场核磁共振进一步探讨电饭煲关键烹饪参数对烹饪过程中米粒内水分迁移和分布的影响。结果表明,质构特性中的硬度、弹性和蒸煮特性中的碘蓝值、糊化度为评价粳米饭感官适口性的关键理化指标;电饭煲烹饪参数中的吸水阶段起始温度与糊化度呈显著正相关,与硬度、弹性和碘蓝值呈显著负相关,而沸腾阶段持续时间的作用效果则相反。采用较高的吸水起始温度和较短的沸腾时间,有利于水分与米粒基质缔合,从而改善粳米饭的黏性、弹性等适口性品质。

关键词: 粳米饭; 烹饪参数; 适口性; 水分迁移; 偏最小二乘回归法

Abstract: In order to disclose the influence of processing parameters of electric cooker on the palatability of cooked japonica rice, the correlation between texture properties, cooking characteristics and sensory quality was analyzed by partial least squares regression. The effect of processing parameters on the crucial physical and chemical indexes was also explored. Furthermore, the effect of the key processing parameters on the migration and distribution of water in the japonica rice kernel during the cooking process was investigated with

the use of low field nuclear magnetic resonance. The results showed that the hardness and elasticity of texture properties and iodine blue value and gelatinization degree in cooking characteristics were the crucial indicators for evaluating palatability in sensory. The initial temperature of the water absorption stage had a significant positive correlation with the gelatinization degree, and had an obvious negative correlation with the others. The effect of the duration of the boiling stage was the opposite. It was found that higher initial temperature of water absorption and shorter boiling time was beneficial to the association of water and rice grain matrix, thus improving the palatability of cooked japonica rice such as stickiness, elasticity and so on.

Keywords: japonica rice; processing parameters; palatability; water migration; partial least squares regression

粳米饭是中国人的主食之一,其适口性一直是科研人员和电饭煲制造商关注的重点。目前,粳米饭的适口性评价主要依赖于感官评价,此方法受评价员的主观因素影响较大。随着科技的发展与仪器的应用,研究人员正借助各种物理化学的手段研究米饭的适口性,寻找感官评价与其它方法的相关性,以期进行客观准确的评价。其中,质构特性和蒸煮特性与米饭的适口性指标存在较强的关联^{[1-2][3]53-54},能够客观反映米饭质地。然而,具体是哪些关键理化指标能代表感官的适口性往往会因研究体系采用的米种、烹饪加工方式而异。

粳米饭的适口性除与粳米的品种、成分相关外,还与电饭煲的烹饪参数,尤其是烹饪过程中的吸水时间、加热温度

基金项目:国家重点研发计划现代食品加工及粮食收储运技术与装备重点专项(编号:2017YFD0400105)

作者简介:杨雅静,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:夏书芹(1979—),女,江南大学教授,博士后。

E-mail: sqxia@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2017-11-09

和时间等因素有密切联系。不同烹饪参数的电饭煲烹饪粳米饭的适口性存在较大差异,合理控制烹饪参数,可以显著提升粳米饭品质。烹饪温度是造成米饭硬度、黏度差异的原因之一^[4]。当米饭处于高温状态时,水分能够更快速地由表及里地扩散,提高米饭的膨胀率^[5-6]。但目前的报道主要通过主成分分析研究电饭煲烹饪参数与米饭品质的相关性,忽略了多个烹饪参数之间的交互作用。

偏最小二乘回归(PLSR)分析主要研究多因变量对多自变量的影响,能够在样品个数较少的前提下,分析随机无规律、多变量间的相关性,得出关键贡献性参数,目前已广泛应用于食品科学领域^[7-9]。因此,将PLSR分析运用到电饭煲烹饪参数的研究中,有助于明确影响粳米饭适口性的关键贡献性参数。

粳米饭的烹饪过程,是水分子与热量的传递过程。米粒温度升高的同时,水分也由外而内进入米粒内部^[10]。电饭煲烹饪参数会影响水分在米粒中的分布和存在状态,进而改变粳米饭的适口性^[11]。通过核磁共振成像(MRI)实时观察水分的分布和迁移^[5],有助于明确水分迁移对米饭适口性品质的影响。

现有研究^[12]表明,电饭煲烹饪过程中的烹饪参数与米饭的适口性品质密切相关,但尚未明确烹饪参数如何影响米饭品质,也未指出影响米饭品质的关键参数。本研究拟以北大荒长粒香粳米为原料,采用美的电热电器制造有限公司提供的电饭煲,采集8种典型的电饭煲加热参数,从感官评价、质构特性和蒸煮特性三个方面,对比分析粳米饭适口性品质的差异。利用PLSR分析,对质构特性和蒸煮特性与感官评价结果进行相关性和显著性影响研究,确定评价粳米饭适口性的关键理化指标;探索电饭煲烹饪不同阶段的烹饪参数与粳米饭适口性的关系,明确影响米饭品质的关键烹饪参数。同时,从水分迁移的角度进一步揭示电饭煲烹饪过程中烹饪参数对粳米饭适口性品质的影响,旨在为电饭煲烹饪粳米饭品质的提升提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

葡萄糖、氢氧化钠、无水乙醇、苯酚、亚硫酸钠、酒石酸钾钠、碘化钾、碘、盐酸、乙酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

3,5-二硝基水杨酸(DNS)、三氯乙酸:化学纯,国药集团化学试剂有限公司;

硫酸:优级纯,国药集团化学试剂有限公司;

北大荒长粒香米:黑龙江省北大荒米业集团有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

冷冻高速离心机:Centrifuge 5810R型,德国Eppendorf公司;

质构仪:TA.XT Plus型,英国Stable Micro System公司;

循环式真空泵:SHZ-D型,巩义市予华仪器有限责任

公司;

紫外可见分光光度计:A360型,上海翱艺仪器有限公司;

数显式恒温水浴锅:HH-2型,常州荣华仪器制造有限公司;

温度数据采集仪:MY44087196 34970A型,马来西亚KEYSIGHT公司;

核磁共振仪:MicroMR20-030V-1型,上海纽迈电子科技有限公司;

电饭煲:佛山市顺德区美的电热电器制造有限公司。

1.2 分析方法

1.2.1 粳米饭的烹饪方法 准确称取 (600.00 ± 0.02) g粳米,按GB/T 15682—2008《稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》规定操作进行洗米,并按照米:水=1.0:1.4(质量比)进行烹饪。

1.2.2 电饭煲烹饪参数的量化 将温度探头置于米饭的中间和锅底底部,用温度数据采集仪自动采集温度数据,得到8种典型烹饪曲线下米饭中央和锅底的温度变化曲线,见图1。

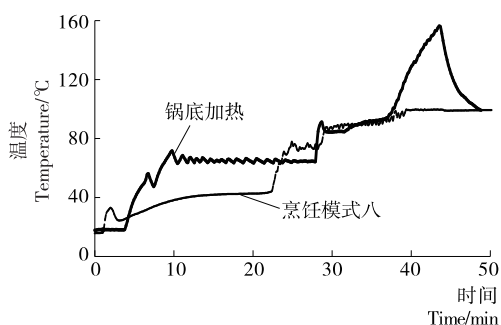


图1 烹饪过程中温度变化示意图

Figure 1 Schematic diagram of the temperature change during cooking process

为便于分析温度变化与粳米饭性质间的关系,按图1中所示方式,选取6个时间点(I~VI)取样,将烹饪过程分为5个阶段,并量化温度变化曲线得到如表1所示的9个烹饪参数。

1.2.3 适口性感官评价 基于GB/T 15682—2008《稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》,为保证每次感官评价标准的一致性,采用以曲线一烹饪的粳米饭为对照组。挑选10名不同地区并且感官灵敏的人员作为评价员,对采用不同烹饪参数烹饪的粳米饭进行适口性感官评价,评分标准见表2。

1.2.4 质构特性的分析 将50 g米饭置于铝皿中,均匀平铺,取一只1 kg的砝码作为按压工具,将砝码置于铝皿中米饭中央5 s后取下,重复1次;使用质构仪进行全质构(TPA)分析,选用探头P1/S,设置测前速度1 mm/s、测试速度1 mm/s、测后速度2 mm/s和压缩比50%。重复15~20次。

1.2.5 蒸煮特性的分析

(1) 吸水率的测定:采用重量法^[5]。

(2) 膨胀率的测定:采用排水法^{[3]26}。

表 1 电饭煲烹饪米饭过程中的烹饪参数[†]

Table 1 The processing parameters of electric cooker during the rice cooking

曲线	t_1/min	$T_1/^\circ\text{C}$	t_2/min	$T_2/^\circ\text{C}$	$V/(^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1})$	t_3/min	$T_3/^\circ\text{C}$	t_4/min	t_5/min
曲线一	2.33	16.82	9.50	46.25	0.11	6.00	200.66	22.00	9.00
曲线二	3.17	31.65	12.50	55.90	0.11	4.83	166.29	18.16	7.67
曲线三	3.34	36.30	31.67	52.82	0.19	8.83	158.87	5.33	19.84
曲线四	6.84	46.45	21.33	68.29	0.19	6.17	157.13	9.33	4.34
曲线五	1.34	15.49	23.67	59.03	0.13	6.00	138.01	14.50	15.00
曲线六	1.67	15.94	1.33	35.13	0.21	7.67	198.67	17.50	14.66
曲线七	1.17	17.16	1.00	59.90	0.22	8.84	143.99	17.00	15.33
曲线八	2.00	33.20	20.33	42.91	0.28	15.67	140.21	5.67	11.33

[†] t_1 : 预热阶段持续时间; T_1 : 吸水阶段的起始温度; t_2 : 吸水阶段持续时间; T_2 : 吸水阶段的终了温度; t_3 : 升温阶段持续时间; V : 升温阶段的升温速率; T_3 : 补炊的峰值温度; t_4 : 沸腾阶段持续时间; t_5 : 焖饭阶段持续时间。

表 2 粳米饭适口感官评价

Table 2 Sensory evaluation of palatability of cooked japonica rice

指标	评分标准	评分
黏性	爽滑且有黏性, 但不粘牙	8~10 分
	略有黏性, 基本不粘牙	5~7 分
	无黏性或粘牙	0~4 分
弹性	有嚼劲	8~10 分
	略有嚼劲	5~7 分
	米饭疏松无嚼劲	0~4 分
硬度	软硬适中	6~10 分
	偏硬或偏软	0~5 分

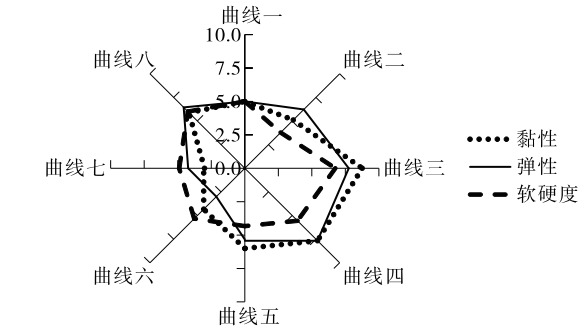


图 2 电饭煲不同烹饪参数烹饪粳米饭适口性的感官评价

Figure 2 Sensory evaluation of cooked japonica rice with different processing parameters

(3) 碘蓝值的测定: 采用吸光值法^{[3]43}。

(4) 糊化度的测定: 采用糖化酶法^[13]。

1.2.6 低场核磁共振分析水分 利用 CPMG 脉冲序列测定不同烹饪时间点米粒样品的自旋-自旋弛豫时间(T_2)。采样点数 TD 为 89 980, 重复扫描个数 NS 为 18。扫描结束后, 利用 T_2 Fit 软件反演拟合出 T_2 值分布及弛豫积分面积。根据各时间下的质子密度计算相应水所占的比例; 将不同烹饪时间点的米粒置于装满油样的液相进样瓶中, 然后将进样瓶放入直径 15 mm 的样品管中, 采用 SE(spin echo) 成像序列对样品进行质子密度成像。重复时间 $TR=1\ 000\ \text{ms}$, 反转时间 $TI=20\ \text{ms}$, 回波时间 $TE=10\ \text{ms}$, 累加次数 $NS=8$ 。

1.2.7 数据分析 数据均测定 3 次平行, 最终结果取平均值并做标准偏差, 用 Excel 2013 进行处理并绘制图表; 偏最小二乘回归分析 (PLSR) 采用 Unscrambler 9.7 软件进行。

2 结果与分析

2.1 采用不同烹饪参数烹饪粳米饭适口性品质差异

2.1.1 感官品质分析 粳米饭的黏性、弹性和软硬度 3 个感官指标能较为全面地反映其适口性。为表征电饭煲不同烹饪参数烹饪粳米饭适口性的差异, 将感官评价的结果绘制成雷达图(图 2)。通过比较发现, 各工艺曲线烹饪的米饭在弹性方面的差异尤为明显, 其中以采用曲线三烹饪的粳米饭的

弹性最好, 曲线一、二和六较差; 黏性和软硬度方面的差异相对较小。其中, 采用曲线三烹饪的粳米饭评分最高, 表明其质地较好, 而曲线一评分最低, 对应粳米饭的口感最差。

2.1.2 质构特性分析 相比于受主观因素影响较大的感官评价, 质构仪通过模拟人口腔咀嚼过程, 量化米饭硬度、弹性和耐咀嚼性等指标, 客观地对粳米饭适口性品质进行评价。采用不同烹饪参数的电饭煲烹饪的粳米饭质构特性结果见表 3。

通过比较发现, 曲线一烹饪的米饭质构特性中硬度很大, 但其在感官评分中软硬度品质较差, 表明该粳米饭硬度过高。而曲线三、四和八烹饪的米饭硬度值较小, 而感官评价中该项得分较高, 表明其硬度值在适口范围内。采用不同曲线烹饪的粳米饭在黏着性和耐咀嚼性方面的差异较大, 在弹性和凝聚性等方面数值较相似, 但与感官评价结果并不一致。因此仍需进一步分析确定与感官评价结果相关性较强的质构特性指标。

2.1.3 蒸煮特性分析 蒸煮特性包括吸水率、膨胀率、碘蓝值和糊化度, 是粳米饭适口性品质的重要方面。为全面表征粳米饭的适口性品质, 并剖析采用不同烹饪参数烹饪时的差异, 测定粳米饭的蒸煮特性, 结果见表 4。

吸水率和膨胀率是反映米饭增值率的指标, 米粒受热吸水, 淀粉颗粒膨大, 宏观表现为膨胀率增大。吸水越多, 吸水

表3 电饭煲不同烹饪参数烹饪粳米饭的质构特性[†]

Table 3 Texture characteristics of cooked japonica rice with different processing parameters ($n=3$)

曲线	硬度/g	黏着性/(g·s)	弹性	凝聚性	耐咀嚼性	回复性
曲线一	870.72±40.12 ^b	-48.30±6.15 ^{cd}	0.47±0.02 ^a	0.45±0.02 ^{bc}	185.17±18.67 ^c	0.17±0.01 ^c
曲线二	846.07±64.22 ^{ab}	-35.06±2.50 ^d	0.47±0.05 ^a	0.44±0.03 ^{bc}	174.34±17.42 ^c	0.16±0.01 ^{abc}
曲线三	800.61±55.62 ^{ab}	-55.03±8.20 ^{bc}	0.48±0.03 ^a	0.41±0.04 ^{bc}	159.29±15.30 ^{bc}	0.13±0.02 ^{ab}
曲线四	803.71±39.76 ^{ab}	-36.60±4.69 ^{cd}	0.49±0.05 ^a	0.40±0.03 ^{bc}	136.29±17.12 ^{ab}	0.12±0.01 ^{ab}
曲线五	737.70±37.15 ^a	-47.03±11.85 ^{cd}	0.47±0.02 ^a	0.40±0.02 ^{bc}	136.99±9.34 ^{abc}	0.14±0.01 ^{abc}
曲线六	851.25±45.28 ^b	-66.32±5.37 ^{ab}	0.47±0.03 ^a	0.43±0.02 ^c	151.80±20.50 ^{ab}	0.15±0.01 ^{bc}
曲线七	804.02±53.97 ^b	-75.36±12.61 ^a	0.45±0.03 ^a	0.39±0.03 ^{ab}	140.87±21.40 ^{ab}	0.13±0.01 ^{ab}
曲线八	812.57±63.64 ^{ab}	-40.92±7.72 ^{cd}	0.43±0.02 ^a	0.35±0.02 ^a	124.05±19.71 ^a	0.12±0.01 ^a

† 同列不同上标字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

表4 电饭煲不同烹饪参数烹饪粳米饭的蒸煮特性[†]

Table 4 Cooking characteristics of cooked japonica rice with different processing parameters ($n=3$)

曲线	吸水率/%	膨胀率/%	碘蓝值	糊化度/%
曲线一	114.41±0.58 ^a	116.63±6.88 ^{ab}	0.30±0.00 ^{ab}	93.40±2.49 ^{bc}
曲线二	157.67±0.42 ^d	155.94±7.93 ^c	0.31±0.03 ^{ab}	94.10±2.01 ^c
曲线三	115.72±0.45 ^a	111.58±6.33 ^a	0.27±0.01 ^a	96.80±1.25 ^d
曲线四	123.35±0.33 ^b	122.40±7.85 ^{ab}	0.29±0.05 ^{ab}	97.70±0.93 ^d
曲线五	126.33±0.51 ^c	136.57±7.34 ^{bc}	0.33±0.01 ^{ab}	98.30±1.89 ^d
曲线六	123.94±0.74 ^b	105.96±6.55 ^a	0.35±0.01 ^b	91.00±2.71 ^b
曲线七	160.10±0.32 ^e	153.99±8.12 ^c	0.37±0.02 ^b	92.20±3.93 ^{ab}
曲线八	128.38±0.48 ^c	125.28±7.49 ^{ab}	0.31±0.01 ^{ab}	94.67±2.42 ^c

† 同列不同上标字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

率和膨胀率越大;碘蓝值和糊化度是反映烹饪过程中米粒淀粉糊化过程的参数,糊化度越高,则米粒内淀粉糊化更加完全,粳米饭的黏性和弹性较好。相关研究^[12]同样表明,溶出的直链淀粉含量(碘蓝值)越高,烹饪过程中吸水率和体积膨胀率较大。

由表4可知,采用曲线一和曲线三烹饪米饭的吸水率和膨胀率较低,其质构特性中硬度值较大,但感官评定中软硬度得分相差很大,表明并非吸水率和膨胀率越大,粳米饭的软硬度越好;对于糊化度较高的曲线三、四,其米粒的质构特性中硬度的数值相近,且在感官评定的结果中显示黏性、弹性和软硬度均较好,表明米饭的糊化度越高,其感官品质也更佳。因此,同样若要建立工艺参数与米饭适口性品质的相关性,则需要分析确定影响粳米饭感官品质的关键蒸煮特性指标。

2.2 烹饪参数对粳米饭适口性品质的影响

2.2.1 粳米饭适口性关键评价指标的确定 为得出能够准确反映粳米饭适口性的关键理化指标,分别以粳米饭的质构特性(硬度、黏着性、弹性、凝聚性、耐咀嚼性、回复性)和蒸煮特性(吸水率、膨胀率、碘蓝值、糊化度)为自变量(X),以粳米饭的感官指标(黏性、弹性、软硬度)为因变量(Y)建立PLSR分析,结果见图3、4。

图3和图4中大部分指标均处于 $r^2=50\%$ 和 $r^2=100\%$ 的2个椭圆之间,表明该模型能较好地解释各个指标间的相关性。通过分析发现,质构特性中硬度和弹性均与感官结果呈显著负相关;蒸煮特性中糊化度与适口性感官评价

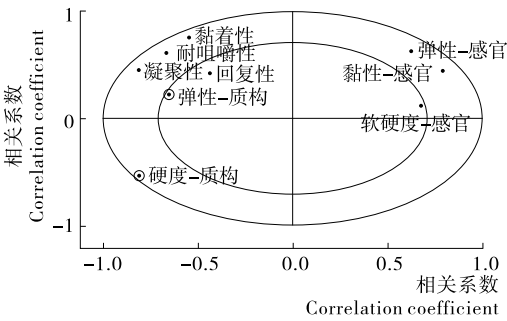


图3 质构特性与适口性感官评价的PLSR分析

Figure 3 The PLSR analysis between texture properties and palatability evaluation in sensory

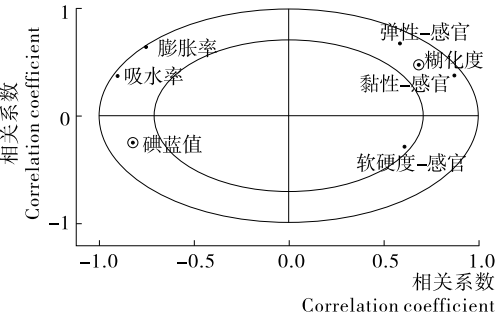


图4 蒸煮特性与适口性感官评价的PLSR分析

Figure 4 The PLSR analysis between cooking characteristics and palatability evaluation in sensory

呈显著正相关,碘蓝值与其呈显著负相关。因此,确定粳米饭适口性评价的关键理化指标为质构特性中的硬度与弹性,以及蒸煮特性中的碘蓝值与糊化度。

2.2.2 影响粳米饭适口性的关键烹饪参数 为明晰烹饪参数对粳米饭适口性的影响,以电饭煲烹饪参数为自变量(X),粳米饭适口性的各项关键理化指标为因变量(Y),采用 PLSR 对其进行分析,建立的 PLS2(多因变量)模型见图 5。该 PLS2 模型对 X 和 Y 变量的解释方差均为 67%,表明该模型能够较为准确地解释烹饪参数与粳米饭适口性间的相关性。从图 5 中可知,吸水阶段起始温度(T_1)与粳米饭的糊化度呈显著正相关,而与粳米饭的硬度和弹性这 2 个质构特性呈显著负相关,沸腾阶段持续时间(t_4)则相反。

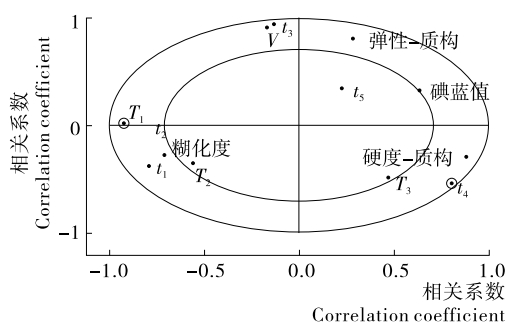


图 5 粳米饭适口性与烹饪参数之间的 PLSR 分析

Figure 5 The PLSR analysis between cooking parameters and palatability of cooked japonica rice

相关研究同样表明,较高的吸水温度,有利于提高吸水速率,促进水分由表及里扩散,均匀分布在米粒内部^[4];沸腾阶段米粒互相碰撞,若时间较长,会导致米粒表面因磨损而粗糙^[5]和水分的过度蒸发,从而影响米饭的适口性,与上述结论一致。

2.3 烹饪过程中水分在米粒内的迁移与分布

上述研究表明,烹饪过程中吸水阶段的起始温度和沸腾阶段的持续时间对粳米饭适口性品质具有显著影响,而这些参数在不同程度上也会改变米粒的吸水程度,包括水分在米粒中的存在状态与分布。为明晰水分在米粒中的存在状态,进一步探索电饭煲烹饪参数对米粒中水分迁移与分布的影响,基于 8 种代表性烹饪参数,选取吸水温度、沸腾时长差异较大的曲线一和曲线三,利用低场核磁共振技术对米粒内部水分进行快速无损的测定,发现水分在米粒中有 3 种存在形态:结合水、构造水和自由水^[4]。烹饪过程中不同阶段 3 种水分占米粒内总水分的比例变化情况见图 6,水分在米粒内分布情况的核磁成像结果见图 7。

点 I 和 II 之间为吸水阶段。在吸水初期(点 I),由于预热阶段较短,体系温度较低,米粒内部均没有水分进入,米粒呈现完全的黑色。吸水阶段结束后(点 II),采用曲线一的米粒中心仍为暗光区域,表明水分并未渗入到米粒的中心;而曲线三的吸水起始温度较高,其米粒中心颜色变亮,说明有少量水分已经到达米粒中心。此阶段构造水比例较低,表明水分单纯的进入支链淀粉微晶束间隙,并未与米粒内淀粉、蛋白质等大分子物质发生缔合,因此米粒中大部分水分以自

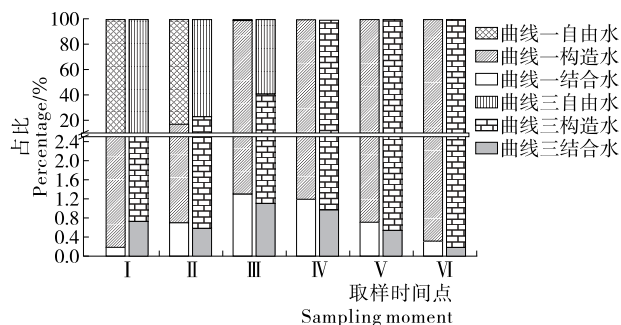
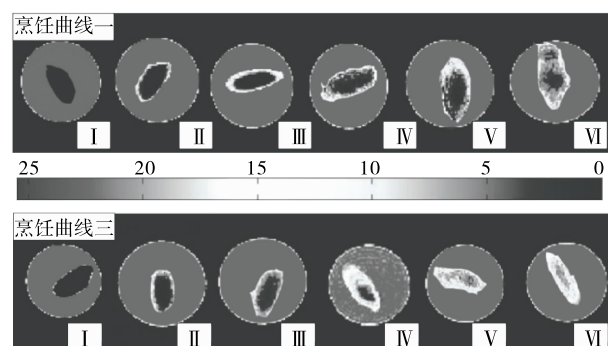


图 6 电饭煲烹饪过程中米粒内水分存在状态变化

Figure 6 The change of water state in rice kernel during the cooking process



图中颜色由暗变亮,代表该区域的水分信号强度增强

图 7 电饭煲烹饪过程中米粒的低场核磁共振成像

Figure 7 Low field magnetic resonance imaging of rice kernel during the cooking process

由水的状态存在。

点 III 和 V 之间为沸腾阶段。此时体系持续沸腾,水分不断被米粒吸收。由图 7 可知,采用较长沸腾时间的曲线一,米粒中心仍为深蓝色,表明水分仍未充分浸入;而采用较短沸腾时间的曲线三,米粒中心颜色几乎全部转变为较明亮的颜色,表明水分均匀分布在米粒的内部。此阶段米粒内构造水的比例快速增高,表明水分被内部淀粉糊化吸收,更多的自由水转化为构造水。

因此,在较高温度(T_1)下吸水可保障水分充分地浸入米粒内部,为后续烹饪中米粒的均匀受热与淀粉糊化提供基础;较短时间(t_4)的沸腾即可保障米粒由内而外的完全糊化,同时可以防止因沸腾时间过长造成的米粒表层结构磨损和水分的蒸发,从而造成黏性、弹性等适口性品质发生劣变。

3 结论

电饭煲不同烹饪参数烹饪的粳米饭适口性存在较大差别,基于适口性感官评价与质构特性和蒸煮特性的相关性分析,确定质构特性中的硬度和弹性以及蒸煮特性中的碘蓝值和糊化度为评价粳米饭适口性的关键理化指标。经 PLSR 分析电饭煲烹饪过程中烹饪参数对粳米饭适口性的影响,发现吸水阶段的起始温度与粳米饭适口性品质呈显著正相关,而沸腾阶段的持续时间与之呈显著负相关。对烹饪过程中米粒水分的存在状态和分布进行分析,发现水分的构成和分布与烹饪参数的变化密切相关,并影响粳米饭的适口性品质。

(下转第 134 页)

- Chemical Society, 2015, 19(4): 454-460.
- [14] KIWI J, LOPEZ A, NADTOCHENKO V. Mechanism and kinetics of the $\cdot$ OH-radical intervention during Fenton oxidation in the presence of a significant amount of radical Scavenger (Cl^-) [J]. Environmental Science & Technology, 2000, 34(11): 2 162-2 168.
- [15] PERRON N R, BRUMAGHIM J L. A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding[J]. Cell Biochemistry & Biophysics, 2009, 53(2): 75-100.
- [16] LIN Jing, LI Xi-can, LI Chen, et al. Protective effect against hydroxyl radical-induced DNA damage and antioxidant mechanism of [6]-gingerol: A Chemical Study[J]. Bulletin of the Korean Chemical Society, 2014, 35(6): 1 633-1 638.
- [17] LI Xi-can, LIU Jing-jing, LIN Jing, et al. Protective effects of dihydromyricetin against $\cdot$ OH-induced mesenchymal stem cells damage and mechanistic chemistry[J]. Molecules, 2016, 21(5): 604-616.
- [18] LI Xi-can, MAI Wen-qiong, CHEN Dong-feng. Chemical study on protective effect against hydroxyl-induced DNA damage and antioxidant mechanism of myricitrin[J]. Journal of the Chinese Chemical Society, 2014, 61: 383-391.
- [19] LI Xi-can, JIANG Qian, WANG Ting-ting, et al. Comparison of the antioxidant effects of quercitrin and isoquercitrin: understanding the role of the 6''-OH group [J]. Molecules, 2016, 21(9): 1 246-1 256.
- [20] MARINOV N M. A detailed chemical kinetic model for high temperature ethanol oxidation [J]. International Journal of Chemical Kinetics, 2015, 31(3): 183-220.
- [21] XIE Yu-lu, LI Xi-can, XU Jie-ying, et al. Two phenolic antioxidants in Suoyang, enhance viability of $\cdot$ OH-damaged mesenchymal stem cells: comparison and mechanistic chemistry [J]. Chemistry Central Journal, 2017, 11(1): 84-94.
- [22] WANG Ting-ting, ZENG He-ping, LI Xi-can, et al. In vitro studies on the antioxidant and protective effect of 2-substituted-8-hydroxyquinoline derivatives against H_2O_2 -Induced oxidative stress in BMSCs[J]. Chemical Biological Drug Design, 2010, 75(2): 214-222.
- [23] LI Xi-can, LU Han, LI Yun-rong, et al. Protective effect of sinapine against hydroxyl radical-induced damage to mesenchymal stem cells and possible mechanisms[J]. Chem. Pharm. Bull. 64, 319-325.
- [24] WANG Guang-rong, LI Xi-can, ZENG He-ping. Synthesis, antioxidation activity of (*E*)-9-*p*-Tolyl-3-[2-(8-hydroxyquinol-2-yl)vinyl]-carbazole and (*E*)-9-(*p*-Anisyl)-3-[2-(8-hydroxyquinol-2-yl)vinyl]-carbazole and their induction proliferation of mesenchymal stem cells[J]. Acta Chimica Sinica, 2009, 67(9): 974-982.
- [25] CHEN Dong-feng, LI Xi-can, XU Zhi-wei, et al. Hexadecanoic acid from Buzhong Yiqi decoction induced proliferation of bone marrow mesenchymal stem cells [J]. Journal of Medicinal Food, 2010, 13(4): 967-970.
- [26] LI Xi-can, HAN Wei-juan, MAI Wen-qiong, et al. Antioxidant activity and mechanism of tetrahydroamentoflavone in vitro[J]. Natural Product Communications, 2013, 8(6): 787-789.
- [27] LI Xi-can, WEI Gang, WANG Xiao-zhen, et al. Targeting of the Shh pathway by atractylenolides promotes chondrogenic differentiation of mesenchymal stem cells[J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2012, 35(8): 1 328-1 335.

(上接第 48 页)

因此,电饭煲烹饪曲线设计时可适当提高吸水阶段的起始温度,并缩短沸腾时间,有利于米粒均匀充分地吸水受热糊化,从而改善米饭的适口性品质。

参考文献

- [1] 周显青, 王学锋, 张玉荣, 等. 米饭食味品质评价技术进展[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(1): 56-61.
- [2] 张强. 方便快餐米饭开发与品质控制研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2014: 17-18.
- [3] 李欢欢. 微压蒸煮米饭工艺设计优化及米饭品质研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [4] PEREZ J H, TANAKA F, UCHINO T. Comparative 3D simulation on water absorption and hygroscopic swelling in japonica rice grains under various isothermal soaking conditions[J]. Food Research International, 2011, 44(9): 2 615-2 623.
- [5] LEELAYUTHSOONTORN P, THIPAYARAT A. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions[J]. Food Chemistry, 2006, 96(4): 606-613.
- [6] BRIFFAZ A, BOHUON P, MÉOT J M, et al. Modelling of water transport and swelling associated with starch gelatinization during rice cooking[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 121: 143-151.
- [7] LIN Shun-shun, ZHANG Xiao-ming, SONG Shi-qing, et al. Tobacco alkaloids reduction by casings added/enzymatic hydrolysis treatments assessed through PLSR analysis[J]. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 2016, 75: 27-34.
- [8] BIZZANI M, FLORES D W M, COLNAGO L A, et al. Non-invasive spectroscopic methods to estimate orange firmness, peel thickness, and total pectin content[J]. Microchemical Journal, 2017, 133: 168-174.
- [9] 李婷, 季宇寒, 张漫, 等. 基于 PLSR 和 BPNN 方法的番茄光合速率预测比较[J]. 农业工程学报, 2015, 31(S2): 222-229.
- [10] TAMURA M, NAGAI T, HIDAKA Y, et al. Changes in histological tissue structure and textural characteristics of rice grain during cooking process[J]. Food Structure, 2014, 1(2): 164-170.
- [11] HORIGANE A K, SUZUKI K, YOSHIDA M. Moisture distribution in rice grains used for sake brewing analyzed by magnetic resonance imaging[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 60(1): 193-201.
- [12] 李维强. 大米食味性影响因素探讨[J]. 粮食加工, 2012, 37(3): 28-31.
- [13] 徐侃. 冷冻米饭生产工艺及其品质特性的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011: 32-33.
- [14] MOHORIĆ A, VERGELDT F, GERKEMA E, et al. Magnetic resonance imaging of single rice kernels during cooking [J]. Journal of Magnetic Resonance, 2004, 171(1): 157-162.