

# 红豆预熟化工艺研究

孙军涛, 张智超, 鄧文莉, 肖付刚, 李学进, 胡锦涛

(河南省食品安全生物标识快检技术重点实验室, 许昌学院食品与生物工程学院,  
河南 许昌 461000)

**摘要:** 采用常压蒸煮、高温高压蒸煮和微波对红豆进行预熟化工艺研究, 分析3种预熟化工艺对红豆营养成分、质构和色泽的影响。结果表明: 常压蒸煮工艺条件为: 40 ℃恒温浸泡0.5 h, 物料厚度0.5 cm, 蒸煮时间20 min; 高温高压蒸煮工艺条件为: 40 ℃恒温浸泡1.5 h, 蒸煮温度115 ℃, 蒸煮时间3 min; 微波预熟化工艺条件为: 40 ℃恒温浸泡0.5 h, 微波功率119 W, 物料厚度1.0 cm, 时间6 min; 与原料红豆相比, 预熟化红豆中蛋白质升高, 常压蒸煮和高压蒸煮红豆的脂肪含量升高, 而微波熟化红豆的脂肪含量降低; 沸水中煮15 min, 焖5 min后, 预熟化后红豆的硬度降低, 能与小米共煮同熟; 3种预熟化工艺均不同程度改变红豆的色泽。

**关键词:** 红豆; 预熟化; 常压蒸煮; 高温高压蒸煮; 微波熟化

中图分类号: TS 217 文献标志码: B 文章编号: 1005-9989(2020)07-0194-06

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2020.07.034

## Study on Pre-Ripening Technology of Red Bean

SUN Juntao, ZHANG Zhichao, ZHI Wenli, XIAO Fugang, LI Xuejin, HU Jinhui

(Key Laboratory of Biomarker Based Rapid-detection Technology for Food Safety of Henan Province, Food and Bioengineering College, Xuchang University, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** Pre-ripening technology of red bean was studied by atmospheric cooking, high temperature and high pressure cooking and microwave cooking, and the effects of three pre-ripening technologies on nutritional composition, texture and color of red bean were compared and analyzed. The results showed that the technological conditions of atmospheric pressure cooking were as follows: soaking at 40 ℃ for 0.5 h, material thickness 0.5 cm, cooking time 20 min, the process conditions of high temperature and high pressure cooking are as follows: soaking at 40 ℃ for 1.5 h, cooking at 115 ℃ for 3 min, the microwave pre-ripening process conditions are as follows: soaking at 40 ℃ for 0.5 h, microwave power 119 W, material thickness 1.0 cm, time 6 min. Compared with the raw red bean, the protein content of pre-cooked red bean by the three pre-cooked methods increased, the fat content of pre-cooked red bean by atmospheric and high temperature and high pressure cooking increased, while the fat content in the microwave pre-cooked red bean decreased. After boiling for 15 min and baking for 5 min, the hardness of pre-cooked red bean decreased, and they could cook with millet in the same way. The color of red bean

收稿日期: 2020-02-16

基金项目: 河南省重点研发与推广专项(192102110105); 许昌市校地合作专项(2017); 许昌学院横向科研项目(2017HX015)。

作者简介: 孙军涛(1982—), 男, 河南漯河人, 博士, 副教授, 研究方向为食品科学。

was changed in different degrees by three pre-ripening processes.

**Key words:** red beans; pre-ripening; atmospheric cooking; high temperature and pressure cooking; microwave cooking

红豆是一种蛋白质含量较高、脂肪含量较低的杂豆,富含维生素、微量元素、膳食纤维和皂苷等成分,具有健脾胃、清热解毒、调节免疫力和补血养心等功效<sup>[1-3]</sup>。红豆广泛应用于各种杂粮制品中,尤其在杂粮粥备受消费者青睐。红豆颗粒结构致密、质地较硬、不易煮熟<sup>[4]</sup>,与小米等易煮杂粮混合熬制时,往往不能共煮同熟,熬制时间久,不适应现代人快节奏的生活对速食食品的要求,限制了红豆在速食杂粮粥中的应用。

近年来,为了解决杂粮煮制耗费时间过长的问題,国内进行了许多关于杂粮预熟化工艺的研究<sup>[5-6]</sup>。本文分别采用常压蒸煮、高温高压蒸煮和微波熟化技术对红豆进行预熟化,使预熟化的红豆与小米在沸水中煮制15 min,焖制5 min后达到同煮同熟,对比研究不同预熟化工艺对红豆复水性、糊化度、营养成分、蒸煮质构特性和色泽的影响,为红豆预熟化工艺的建立提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

红豆:市售;糖化酶:北京奥博星生物技术有限责任公司;石油醚、碘:天津市恒兴化学试剂制造有限公司;硫代硫酸钠:天津市风船化学试剂科技有限公司;碘化钾:国药集团化学试剂有限公司;硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钠:天津市科密欧化学试剂有限公司。

EM7KCGW3-NR微波炉:美的集团公司;GGC-SY脂肪测定仪:北京国环高科自动化技术研究院;TMS-Pro质构仪:美国FTC公司;MJ-54A高压蒸汽灭菌锅:施都凯仪器有限公司;KDN-1凯氏定氮仪:上海仪电科学仪器有限公司;NR200色差仪:深圳市三恩时科技有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 测定方法

1.2.1.1 糊化度的测定 采用糖化酶法测定糊化度<sup>[7]</sup>。

1.2.1.2 水分、脂肪和蛋白质含量的测定 水分含量参考GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法测定;脂肪含

量参考GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法测定;蛋白质含量参考GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法测定。

1.2.1.3 复水性的测定 参照张建强等<sup>[8]</sup>的方法取样品质量 $m_1$ ,沸水下锅,煮制5 min,沥干水分后称量质量记作 $m_2$ ,复水性测定公式如下:

$$\text{复水性}(\%) = (m_2 - m_1) \times 100 / m_1$$

#### 1.2.2 红豆预熟化工艺研究

1.2.2.1 常压蒸煮预熟化工艺研究 红豆按照料液比1:3在40℃条件下浸泡,取蒸煮时间(15、20、25、30、35 min)、物料厚度(0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 cm)和浸泡时间(0.5、1、1.5、2、2.5 h)3因素进行常压蒸煮预熟化。预熟化后的红豆70℃干燥2 h,测定其糊化度、水分含量、复水性,研究常压蒸煮对红豆预熟化的影响。

1.2.2.2 高温高压蒸煮预熟化工艺研究 红豆按照料液比1:3在40℃条件下浸泡,取浸泡时间(0.5、1、1.5、2、2.5 h)、蒸煮时间(1、2、3、4、5 min)、蒸煮温度(105、110、115、120、125℃)3因素进行高温高压蒸煮。蒸煮后红豆70℃干燥2 h,测定其糊化度、水分含量、复水性,研究高温高压蒸煮对红豆预熟化的影响。

1.2.2.3 微波预熟化工艺研究 红豆按照料液比1:3(g/mL)在40℃下恒温浸泡,选取微波时间(2、3、4、5、6 min)、微波功率(119、231、385、539、700 W)、物料厚度(0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 cm)和浸泡时间(0.5、1、1.5、2、2.5 h)4因素进行微波预熟化。熟化后红豆70℃干燥2 h,测定糊化度、水分含量和复水性,研究微波熟化对红豆品质的影响。

1.2.3 红豆预熟化前后品质对比分析 3种预熟化方式制备的红豆与原料红豆分别进行脂肪、蛋白质、蒸煮质构特性和色度测定,对比分析红豆预熟化前后品质的变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 红豆预熟化工艺研究

2.1.1 常压蒸煮预熟化工艺研究 浸泡时间对预

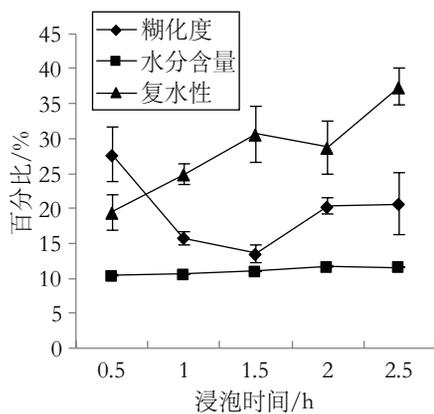


图1 常压浸泡时间对红豆品质的影响

熟化红豆糊化度、复水性和水分含量的影响如图1所示。糊化度随着浸泡时间的延长呈先降低后升高，浸泡时间在低于1.5 h时，红豆未能完全吸收水分，随着浸泡时间的延长，红豆结合水越多，在蒸煮过程中水蒸气越难穿透，不利于淀粉糊化；而随着浸泡时间的逐渐延长，红豆充分吸收膨胀，淀粉更容易糊化，糊化度升高。浸泡时间为0.5 h时红豆糊化度达到最高27.76%，浸泡时间为2 h和2.5 h时糊化度分别为20.38%和20.70%，趋于稳定；复水性随着浸泡时间的延长整体呈上升趋势；水分含量受浸泡时间的影响不大。

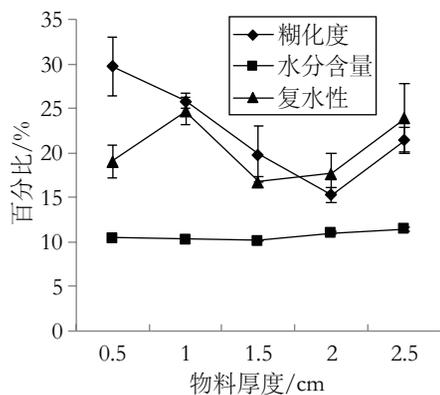


图2 常压蒸煮物料厚度对红豆品质的影响

物料厚度对预熟化红豆糊化度、复水性和水分含量的影响如图2所示。随着物料厚度的增加，预熟化红豆的糊化度呈先降低后升高的趋势，蒸煮厚度越大，蒸汽越难穿透红豆，红豆淀粉颗粒吸水破裂的程度越低，导致糊化度越低；当厚度高于2 cm时，物料堆积密集，阻碍水蒸气的散发，使物料熟化程度加大，从而使糊化度升高。复水性呈现先升高后降低再升高，水分含量整体呈现升高趋势；物料厚度0.5 cm时，红豆的

糊化度最高为29.74%，此时复水性和水分含量分别为19.07%和10.48%。

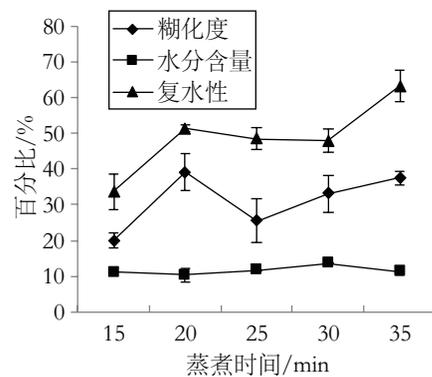


图3 常压蒸煮时间对红豆品质的影响

蒸煮时间对预熟化红豆糊化度、复水性和水分含量的影响如图3所示。随着蒸煮时间的延长，糊化度呈现先升高后降低再升高的趋势，湿热作用使红豆淀粉颗粒吸水膨胀，淀粉易被酶水解，糊化度逐渐升高<sup>[9]</sup>；随着蒸煮时间延长，当体系中水分挥发的速度高于红豆吸收的速度时，不利于红豆淀粉吸水膨胀，糊化度降低；随着蒸煮时间的再延长，红豆颗粒遭到破坏，结构变得疏松，有利于淀粉吸收水分，使糊化度升高。复水性呈现整体升高，淀粉糊化度越高，越易形成疏松多孔的内部结构，复水性越好；水分含量整体变化较平稳。蒸煮20 min时，红豆的糊化度最高为39.15%，复水性和水分含量分别为51.34%和10.36%。

综上所述，红豆预熟化常压蒸煮工艺为40℃恒温浸泡0.5 h，物料厚度0.5 cm，蒸煮时间20 min。

### 2.1.2 高温高压蒸煮预熟化工艺研究 蒸煮温度对

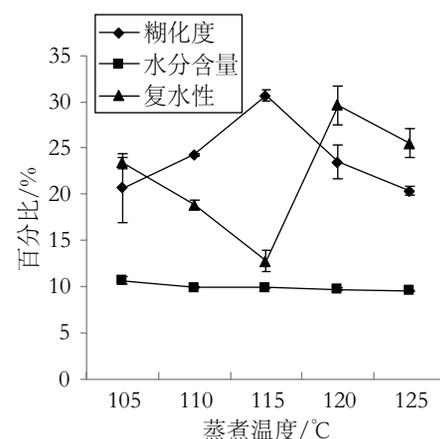


图4 高温高压蒸煮温度对红豆的品质影响

预熟化红豆糊化度、复水性和水分含量的影响如图4所示。随着蒸煮温度的升高, 红豆糊化度先上升后下降, 温度的升高有利于淀粉颗粒糊化, 因此使糊化度升高, 当温度过高时, 引起淀粉降解, 使糊化度降低。在115 ℃时糊化度达到最高为30.64%。复水性呈先降低后增加再降低, 随着温度的升高, 淀粉吸水膨胀, 淀粉发生糊化, 导致其复水性降低; 当温度升高到一定程度, 红豆致密的结构遭到破坏, 结构疏松, 导致复水性升高; 当温度过高时, 红豆干糊甚至焦化, 引起复水性降低。水分含量呈现平稳趋势, 受蒸煮温度的影响小。

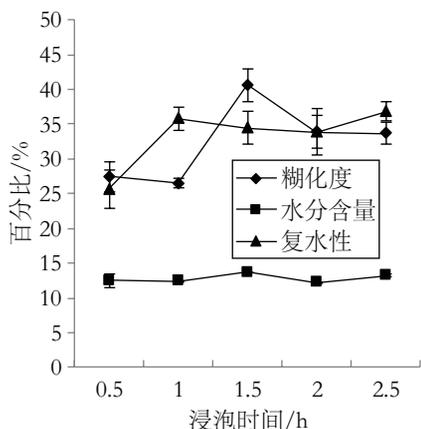


图5 高温高压蒸煮浸泡时间对红豆品质的影响

浸泡时间对预熟化红豆糊化度、复水性和水分含量的影响如图5所示。随着浸泡时间的延长, 糊化度先增大后减小, 随着浸泡时间的延长, 红豆淀粉吸水膨胀, 容易糊化, 使糊化度升高; 当浸泡时间过长时, 淀粉吸收过多的水分, 使淀粉在高温高压蒸煮条件下发生降解, 导致测定的糊化度降低。浸泡时间1.5 h时糊化度最高为40.63%, 浸泡2 h时糊化度降为33.90%, 由于温度过高, 体系中水分挥发的速度高于红豆吸收的速度, 不利于红豆淀粉吸水膨胀, 导致红豆淀粉糊化度降低。水分含量变化较小, 复水性先增加后趋于稳定再增加。浸泡时间1.5 h时, 红豆的复水性和水分含量分别为34.49%和13.67%。

高温高压蒸煮时间对预熟化红豆糊化度、复水性和水分含量的影响如图6所示。随着蒸煮时间的延长, 红豆糊化度呈先上升后下降。随着高温高压蒸煮时间的延长, 淀粉吸水膨胀, 结构破坏, 易糊化, 引起糊化度升高; 当高温高压蒸煮时间进一步延长时, 体系中水分的挥发过

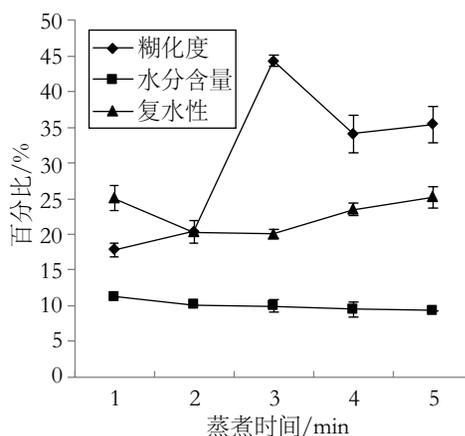


图6 高温高压蒸煮时间对红豆品质的影响

快, 造成红豆干糊甚至焦化, 导致红豆的糊化度降低。高温高压蒸煮3 min时红豆糊化度最高为44.29%, 在4 min时降至34.09%并趋于稳定; 水分含量受蒸煮时间的影响不大; 复水性随蒸煮时间的延长而增加。蒸煮时间3 min时, 红豆的复水性和水分含量分别为20.07%和9.98%。

综上所述, 红豆预熟化高温高压蒸煮工艺为40 ℃恒温浸泡1.5 h, 高温高压蒸煮温度115 ℃, 蒸煮时间3 min。

2.1.3 微波预熟化工艺研究 微波预熟化功率对红豆糊化度、复水性和水分含量的影响如图7所示。红豆的糊化度和水分含量随着微波功率的增大逐渐降低, 而复水性则相反, 在119 W时红豆糊化度达到最高为22.95%, 此时红豆的复水性和水分含量分别为2.17%和12.04%。红豆体系中的水分逐渐降低, 不利于红豆淀粉吸水膨胀和加热糊化。

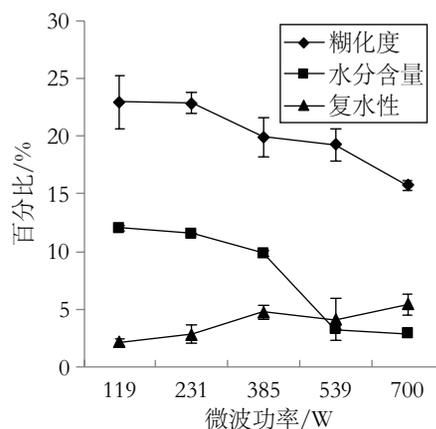


图7 微波功率对红豆品质的影响

40 ℃浸泡时间对红豆糊化度、复水性和水分含量的影响如图8所示。随着浸泡时间的延

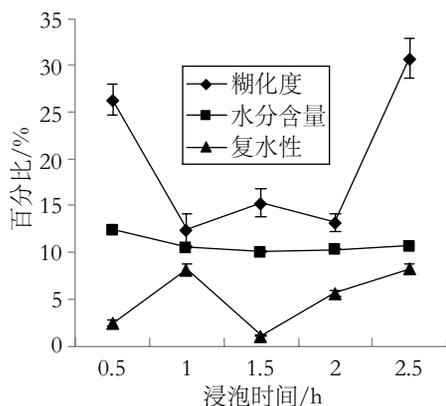


图8 微波熟化浸泡时间对红豆品质影响

长, 糊化度先降低后增加, 复水性呈先升高后降低再升高的趋势, 水分含量降低后趋于平稳; 浸泡0.5 h时, 糊化度、复水性和水分含量分别为26.34%、2.44%和12.40%。

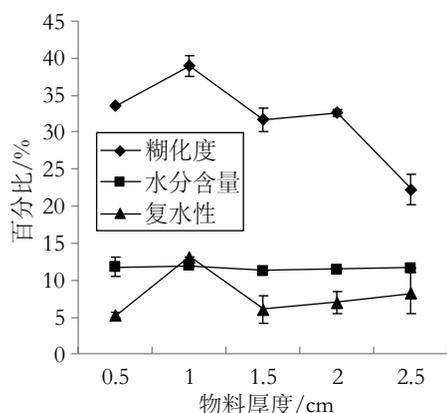


图9 微波熟化物料厚度对红豆品质的影响

物料厚度对红豆糊化度、复水性和水分含量的影响如图9所示。随着物料厚度的增加, 红豆的糊化度和复水性均为先升高后降低, 物料厚度对水分含量的影响不大; 当物料厚度为1

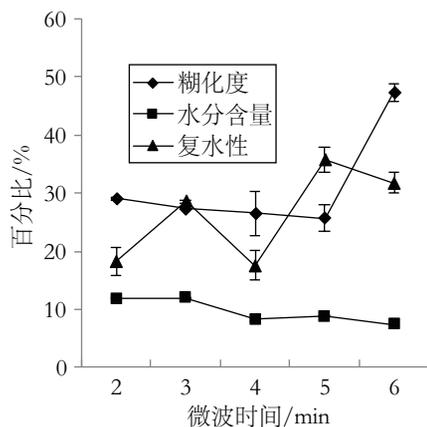


图10 微波时间对红豆品质的影响

cm, 红豆的糊化度和复水性达到最高, 分别为38.97%和13.18%, 此时水分含量为11.91%。

微波预熟化时间对红豆糊化度、复水性和水分含量的影响如图10所示。随着微波时间的延长, 红豆的糊化度整体呈上升趋势, 微波熟化6 min时糊化度达到最高为47.33%, 此时红豆的复水性为31.75%, 比微波5 min时红豆的复水性降低了4%左右; 在加热过程中红豆中的水分不断蒸发, 水分含量随着时间的延长而降低, 微波熟化6 min时, 水分含量为7.43%。

综上所述, 红豆微波预熟化工艺条件为: 微波功率119 W, 40 °C恒温浸泡0.5 h, 物料厚度1.0 cm, 时间6 min。

## 2.2 红豆预熟化处理前后品质对比分析

### 2.2.1 脂肪和蛋白质分析

预熟化红豆和原料红豆中脂肪和蛋白质含量如表1所示。与原料红豆相比, 常压蒸煮、高温高压蒸煮和微波预熟化工艺均使红豆中蛋白质含量增加, 可能是由于热效应破坏了蛋白质的结构, 使更多的氨基酸游离出来<sup>[10]</sup>。常压蒸煮和高温高压蒸煮使红豆中脂肪含量明显升高, 可能是在蒸煮处理的过程中体系温度较高, 导致淀粉-脂肪复合物解体<sup>[11]</sup>; 而微波处理后红豆的脂肪含量减少, 可能因为脂肪水解造成的<sup>[10]</sup>。

表1 不同预熟化工艺红豆营养成分分析

样品	原料红豆	常压蒸煮红豆	高温高压蒸煮红豆	微波熟化红豆
脂肪	(0.53 ± 0.09)%	(0.83 ± 0.08)%	(1.46 ± 0.04)%	(0.42 ± 0.06)%
蛋白质	(19.32 ± 0.25)%	(21.58 ± 0.23)%	(22.03 ± 0.45)%	(22.63 ± 0.71)%

注: 营养成分分析均以干基计算。

### 2.2.2 蒸煮质构分析

预熟化后红豆和原料红豆分别置于沸水中煮制15 min, 焖制5 min, 沥干表面水分后用质构仪测定其硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性<sup>[12]</sup>。测定条件为: 圆形型探头(Φ100 mm), 测试速度为60 mm/min, 触发压力为0.5 N, 形变量为50%。测定结果如表2所示, 与原料红豆的蒸煮特性相比, 预熟化后红豆的硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性均降低, 其中高温高压蒸煮明显降低红豆的硬度、胶黏性和咀嚼性, 分别降低了52%、64%和64%, 微波熟化使红豆的硬

度、胶黏性和咀嚼性减低的程度最小。沸水煮制15 min, 焖制5 min后, 常压蒸煮、高温高压蒸煮和微波熟化工艺制备的红豆均能与小米实现共煮同熟。

表2 红豆质构分析

样品	硬度/N	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mj
原料红豆	39.15±2.19	1.31±0.23	10.40±0.75	14.15±0.55
常压蒸煮 红豆	29.30±1.23	1.14±0.07	8.60±0.33	10.04±0.39
高温高压 蒸煮红豆	18.90±0.86	1.32±0.28	3.75±0.18	5.11±0.31
微波熟化 红豆	35.80±0.15	1.28±0.12	8.70±0.39	11.32±0.54

2.2.3 色泽的分析 预熟化后红豆和原料红豆的色度对比分析如表3所示, 常压蒸煮红豆与微波熟化红豆的L\*值比原料红豆均升高, 表明经常压蒸煮和微波熟化后的红豆亮度增加, 而高温高压蒸煮红豆L\*值降低, 说明高温高压蒸煮使红豆色泽变暗; 3种预熟化工艺处理后的红豆a\*值均增加, 说明预熟化处理使红豆的颜色变红, 其中高温高压蒸煮红豆的a\*值最高; 常压蒸煮和微波熟化红豆的b\*值均升高, 说明微波熟化的红豆颜色会变黄, 而高温高压蒸煮红豆b\*值降低, 表明熟化后的红豆颜色偏绿。3种预熟化工艺均不同程度改变红豆的色泽<sup>[13]</sup>。

表3 红豆色度对比分析

样品	L*	a*	b*
原料红豆	39.18±2.48	10.61±0.77	10.81±0.59
常压蒸煮红豆	57.94±1.29	15.84±0.58	14.33±0.23
高温高压蒸煮 红豆	19.90±0.84	17.73±0.77	7.38±0.51
微波熟化红豆	54.61±2.19	15.18±0.49	13.93±0.35

### 3 结论

红豆常压蒸煮预熟化工艺条件为40 °C恒温浸泡0.5 h, 物料厚度0.5 cm, 蒸煮20 min; 高

温高压蒸煮预熟化工艺条件为40 °C恒温浸泡1.5 h, 温度115 °C, 蒸煮时间3 min; 微波熟化工艺条件为40 °C恒温浸泡0.5 h, 微波功率119 W, 物料厚度1.0 cm, 微波时间6 min。

与未处理的红豆相比, 常压蒸煮、高温高压蒸煮和微波预熟化均使红豆中蛋白质含量增加, 常压蒸煮和高温高压蒸煮使红豆中脂肪含量升高, 而微波熟化后红豆的脂肪含量减少。沸水中煮制15 min, 焖制5 min后, 预熟化红豆的硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性均降低, 能与小米共煮同熟。常压蒸煮、高温高压蒸煮和微波熟化工艺均不同程度改变红豆的色泽。

#### 参考文献:

- [1] 张姚瑶, 邓源喜, 董晓雪, 等. 红豆营养保健价值及在饮料工业中的应用进展[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(12): 153-156.
- [2] 孙丽丽, 董银卯, 李丽, 等. 红豆生物活性成分及其制备工艺研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(4): 390-393.
- [3] 邹正平. 薏苡仁红豆复合饮料的研制及其活性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [4] 张明发, 沈雅琴. 薏仁药理研究进展[J]. 上海医药, 2007, 28(8): 360-362.
- [5] 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(02): 170-177.
- [6] 刘佳男. 四种杂粮米预熟化工艺及理化性质的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2017.
- [7] 唐萍. 特殊人群杂粮营养早餐配方及工艺研究[D]. 成都: 西华大学, 2015.
- [8] 张建强, 李朝阳, 包国凤, 等. 不同处理条件对燕麦复水性的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2015, 27(5): 93-95.
- [9] 罗仓学, 张大宝. 基于响应曲面法分析速煮绿豆加工工艺[J]. 食品科技, 2011, 36(1): 138-142.
- [10] 杨文慧, 高昂, 巩江, 等. 微波加工对食品营养成分影响的研究进展[J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(3): 61-62.
- [11] 丁文平. 加热糊化温度对小米淀粉中直链淀粉结晶形成的影响[J]. 食品科技, 2006, (12): 32-34.
- [12] 徐坤华, 赵巧灵, 廖明涛, 等. 金枪鱼质构特性与感官评价相关性研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 190-197.
- [13] 郑刚, 胡小松, 李全宏, 等. 用色度仪和质构仪对高蛋白挂面色泽和质地的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(10): 99-102.