

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.08.026

典型储粮环境下储藏大米糊化特性试验*

张玉荣 周显青

(河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450052)

【摘要】 选择籼型商品大米,采用可编程人工气候箱,依据中国典型储粮环境的年平均温度、湿度,在模拟储藏条件分别设定为15℃不控湿度,15℃、相对湿度75%,20℃、相对湿度65%,25℃、相对湿度65%,30℃、相对湿度80%和自然储藏环境下,定期测定大米的糊化特征值。结果表明:随着储藏时间的延长,峰值粘度、最终粘度和保持粘度出现波动且呈总趋势增加;回生值在储藏前期各储藏条件下变化不大,而在储藏后期,常温和高温下呈增加趋势,低温和准低温下呈下降趋势。储藏时间与大米峰值粘度、最终粘度和保持粘度极显著相关。储藏前期,储藏条件对峰值粘度、最终粘度和保持粘度影响不显著,储藏后期其影响显著。

关键词: 大米 储藏 品质 糊化特性

中图分类号: S379 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)08-0125-06

Gelatinizing Properties of Stored Milled Rice under Typical Storage Conditions

Zhang Yurong Zhou Xianqing

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China)

Abstract

In order to investigate the stored rice quality changes and its impact factors, the commercial milled Indica rice was used as the raw material. By using programmable artificial climate chamber, the simulation storage temperature and humidity parameters were set as 15℃ without relative humidity (RH) controlling; 15℃, RH 75%; 20℃, RH 65%; 25℃, RH 65%; 30℃, RH 80% and natural storage without temperature and humidity controlling according to the typical average temperature and humidity of China grain storage regions. The gelatinizing characteristic values were periodically determined, and the results showed that the peak viscosity (PV), final viscosity (FV) and hold viscosity (HV) had an increasing trend as the storage time extended, the change of setback (SB) value was slight in the early storage period, but in the later storage period, the changes in both normal temperature and high temperature storage conditions had increasing trends, while in low temperature or quasi-low temperature storage had decreasing trends. Storage time was significantly correlated with PV, FV and HV respectively. The effects of storage conditions on PV, FV and HV were not significant in the early storage period, but significant in the later storage period.

Key words Milled rice, Storage, Quality, Gelatinizing property

引言

大米的糊化特性是大米蒸煮、食用和加工品质

的重要品质指标之一。探明储藏过程中大米糊化特性变化规律及其影响因素对于揭示大米品质变化机理具有重要意义。许多研究^[1-4]表明,大米在储藏

收稿日期: 2010-06-01 修回日期: 2010-06-19

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD08B04-03)

作者简介: 张玉荣, 副教授, 主要从事农产品储藏与品质分析研究, E-mail: zyrong@haut.edu.cn

通讯作者: 周显青, 教授, 博士, 主要从事谷物科学及产后加工与利用研究, E-mail: xianqingzh@haut.edu.cn

过程中,其直链淀粉和支链淀粉的比例会发生变化,部分支链淀粉会在脱支酶的作用下变成不溶性直链淀粉;而部分蛋白质的结构也会发生变化,一些相关的酶,如淀粉酶、脱支酶、蛋白酶和抗氧化酶等的活性发生变化,脂肪的组成及其代谢产物的变化,不可避免地大米糊化特性产生影响。谢黎虹等^[5]发现大米蛋白质二硫键含量的改变对米粉糊化曲线有显著影响。刘奕等^[6]发现大米淀粉脂对 RVA 曲线有显著影响。雷玲等^[7]对稻谷糊化特性进行了探讨,发现短期储藏藏在 20℃ 条件下稻谷的糊化特性基本不变,但 35℃ 高温条件下变化相对较快。目前,对模拟储粮区域气候条件下储藏大米糊化特性研究还未见报道。本文在模拟中国典型储粮区域气候条件下对籼型商品大米糊化特性的变化规律和机理进行研究。探讨储藏时间和储藏条件对糊化指标峰值粘度、保持粘度、最终粘度、崩解值、回生值、糊化温度和峰值时间的影响,以期找到能够反映大米储藏品质变化的敏感指标,为大米储藏品质劣变程度判定提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

大米:河南信阳豫粳 9 号,2008 年由河南黄国粮业有限公司生产,各项质量指标符合国家大米标准(GB1354—2009)。

1.2 主要仪器

RVA-TM 型快速粘度仪,澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司;210BS 型电子天平,北京赛多利斯仪器有限公司;锤式旋风磨,上海嘉定粮油检测仪器厂。

1.3 试验方法

人工气候箱的温度、湿度参数设置主要依据中国典型储粮环境的年平均温度、湿度,模拟储藏条件分别设定为 15℃、不控制湿度,15℃、相对湿度 75%,20℃、相对湿度 65%,25℃、相对湿度 65%,30℃、相对湿度 80%,与室内自然储藏对照。人工气候箱温度、湿度参数设定后,空载 2 周使内部环境温度、湿度平衡,2008 年 4 月将样品用纱布包装成袋,每袋约 500 g,放入人工气候箱进行模拟储藏,每隔 1 个月取各模拟储藏条件下的样品粉碎过 80 目筛,然后按照 AACC 61-02(1995),由快速粘度分析仪测定大米的糊化特性。(注:在粮食储藏中,15℃ 以下储藏称为低温储藏,15℃ 到 20℃ 之间的储藏称准低温储藏,在 25℃ 左右和自然条件下储藏称为常温储藏,30℃ 以上储藏为高温储藏)。

1.4 数据处理

采用 Excel 作图,SPSS 16.0 软件对数据进行统计分析。其中执行 Analyze→Compare means→One-Way ANOVA 等命令进行单因素方差分析;执行 Analyze→Correlate 等命令对指标进行 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 糊化特性变化

糊化特性主要由大米所含淀粉质量决定,对不同模拟条件下储藏 0~7 个月大米糊化特性进行研究,发现随着储藏时间的延长不同模拟储藏条件下大米糊化曲线形状相似,但糊化曲线特征值发生了一定变化,储藏期间大米糊化曲线如图 1 所示。

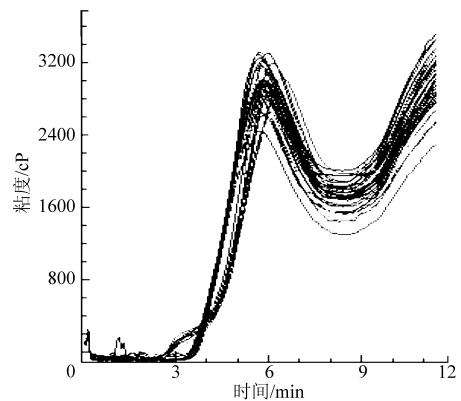


图 1 储藏期间各时间点大米 RVA 图谱

Fig. 1 RVA profile of milled rice in different storage time

2.2 峰值粘度

峰值粘度是指米粉糊化过程中淀粉粒溶胀和多聚体逸出导致粘度增加与多聚物重新排列导致粘度降低之间的平衡点,其值直接影响食用品质。由图 2 可知,各模拟储藏条件下,在储藏 7 个月内其峰值粘度均有所增加,其中储藏于 15℃ 条件下前 2 个月内呈现先下降而后增加的趋势,这与 Zhou 等^[8]的研究结果相似,其中常温和高温储藏大米变化较快,其变化范围都在 2 721~3 322.8 cP,而低温和准低温储藏的大米变化较慢,其变化范围在 2 468~3 183 cP,由此表明低温和准低温条件下有利于延缓

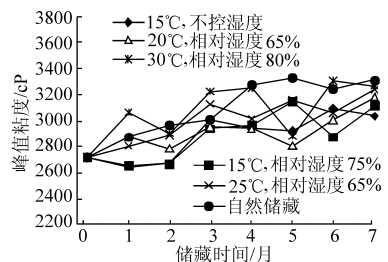


图 2 峰值粘度随储藏时间的变化曲线

Fig. 2 Change curves of peak viscosity of rice

大米储藏品质的变化。

2.3 保持粘度

保持粘度主要反映米粉的耐加热和剪切力的能力,其值对于大米加工工艺都有重要的影响^[9]。由图 3 可看出,保持粘度随着储藏时间的延长而逐渐增加。前 3 个月在 15℃ 条件下其保持粘度明显小于其他条件;3~6 个月内,储藏在 30℃、相对湿度 80% 和自然储藏条件下其保持粘度明显大于其他条件。由此表明,随着储藏时间的延长,高温和变温、变湿条件对其保持粘度影响较大,而低温条件下整体变化最小,其他条件居中并有一定的交叉,表明储藏条件对其有一定影响。

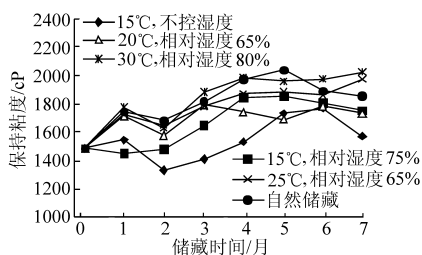


图 3 保持粘度随储藏时间的变化曲线

Fig. 3 Change curves of trough viscosity of rice

2.4 最终粘度

最终粘度是指米粉混合物熟化并冷却时,大米淀粉分子之间,尤其是直链淀粉分子之间发生重聚形成凝胶时的粘度。由图 4 可知,大米最终粘度均随储藏时间呈逐渐增加趋势。储藏期间在各条件下最终粘度变化范围是 2 768~3 744 cP,从储藏第 2 个月开始,低温和准低温条件最终粘度显著小于常温和高温储藏,而 25℃、相对湿度 65% 条件下从第 3 个月最终粘度明显小于 30℃、相对湿度 80% 和自然储藏条件。由此说明储藏条件对最终粘度的变化产生一定影响。

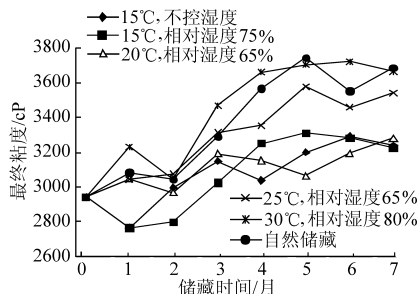


图 4 最终粘度随储藏时间的变化曲线

Fig. 4 Change curves of final viscosity of rice

2.5 回生值

由图 5 可看出,各储藏条件下大米的回生值在储藏前 2 个月均有所下降,而后开始增加,而在储藏 4 个月后,低温和准低温储藏的大米回生值均小于常温和高温储藏的大米,且储藏 7 个月后常温和高

温储藏的大米回生值均大于原始大米,而低温和准低温储藏的大米其回生值与原始相比变化不大。可见,储藏条件对大米回生值影响显著。

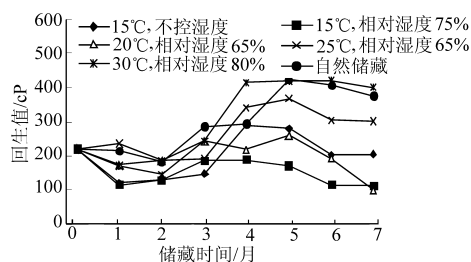


图 5 回生值随储藏时间的变化曲线

Fig. 5 Change curves of setback value of rice with storage time

2.6 糊化温度

糊化温度是指熟化给定试样所需要的最低温度。试验结果(图 6)表明:储藏在各条件下的籼米糊化温度均在 $79^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内波动,且随储藏时间延长变化趋势均不明显,这同王师等^[10]的研究结果不一致,可能是由于储藏条件和大米品种不一致造成的。

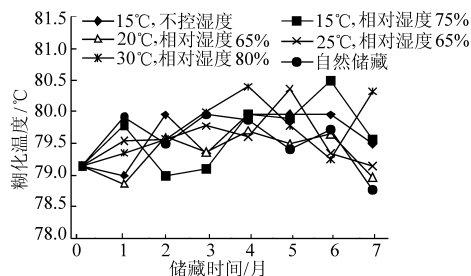


图 6 糊化温度随储藏时间的变化曲线

Fig. 6 Change curves of pasting temperature of rice with storage time

3 相关性分析

以上分析表明,大米糊化特性部分指标随储藏时间呈现一定的变化规律,同储藏时间关系密切。由表 1 也可看出大米峰值粘度、保持粘度和最终粘度与储藏时间极显著正相关,相关系数分别达到 0.57、0.55 和 0.64;而回生值和糊化温度与储藏时间相关性不显著。这是因为大米的峰值粘度、最终粘度和保持粘度除了受淀粉性质变化影响外,还受到其他物质如蛋白结构、脂肪酸值大小、脂肪含量和脂肪种类在总脂肪中的比例以及淀粉酶活性等的影响^[11-12],而这些影响因素又都受到储藏条件的影响,使其在不同的储藏时间表现出不同的性质,并最终表现为大米糊化曲线特征值的变化。由此可知峰值粘度、保持粘度和最终粘度是随着储藏时间变化较为敏感的指标。

表1 糊化特性参数相关性

Tab.1 Correlation of gelatinizing property parameters

参数	PV	HV	FV	SB	PT	ST
PV	1					
HV	0.70**	1				
FV	0.79**	0.95**	1			
SB	0.04	0.54**	0.50**	1		
PT	0.06	0.17	0.17	0.18	1	
ST	0.55**	0.57**	0.64**	0.13	0.15	1

注: * 显著相关 ($P \leq 0.05$); ** 极显著相关 ($P \leq 0.01$); PV 峰值粘度; HV 保持粘度; FV 最终粘度; SB 回生值; PT 糊化温度; ST 储藏时间。

4 储藏条件对糊化特征值的影响差异性分析

上述分析显示各储藏条件下糊化特征值的变化速率不尽相同,表明储藏条件对其有一定的影响。为了明确储藏条件对大米糊化特征值影响的差异显著性,选取储藏时间和储藏条件对糊化特征值有明

显影响的峰值粘度、保持粘度和最终粘度进行储藏条件差异性分析。

4.1 峰值粘度

从表2差异性数据中可看出:在储藏第1个月各储藏条件下的大米的峰值粘度除在30℃、相对湿度85%条件下呈现显著性差异外,其余各储藏条件下均未达到显著水平。而在20℃以下储藏2至4个月的大米除第2个月15℃、不控湿呈现显著水平外,其余各储藏期限均未达到显著水平。储藏5个月以上各储藏期限均达到显著水平。由此表明,大米在低温和准低温条件下其储藏前期温度和湿度对大米的峰值粘度影响不大,而储藏5个月以上即使在低温和准低温条件下储藏大米的峰值粘度也会发生变化。而25℃以上和自然储藏的大米在整个储藏过程中除储藏第4个月各条件下未达到显著水平外其余均呈现显著差异,由此说明对于大米在常温和高温条件下储藏时,其湿度和温度对大米峰值粘度影响较大。

表2 峰值粘度差异性分析

Tab.2 Difference analysis of peak viscosity

储藏时间/月	15℃、不控湿	15℃、相对湿度75%	20℃、相对湿度65%	25℃、相对湿度65%	30℃、相对湿度80%	自然储藏
0	2 721 ± 26 ^a	2 721 ± 26 ^a	2 721 ± 26 ^a	2 721 ± 26 ^a	2 721 ± 26 ^a	2 721 ± 26 ^a
1	2 647 ± 44 ^a	2 651 ± 40 ^a	2 783 ± 22 ^a	2 806 ± 6 ^a	3 062 ± 24 ^b	2 870 ± 20 ^a
2	2 468 ± 42 ^c	2 670 ± 28 ^a	2 874 ± 28 ^a	2 889 ± 17 ^a	2 901 ± 8 ^b	2 963 ± 10 ^b
3	3 003 ± 2 ^b	2 938 ± 39 ^b	2 950 ± 22 ^b	3 125 ± 34 ^c	3 221 ± 1 ^c	3 005 ± 4 ^b
4	2 945 ± 31 ^b	2 964 ± 45 ^b	2 938 ± 29 ^b	3 011 ± 6 ^b	3 249 ± 12 ^c	3 273 ± 33 ^c
5	2 921 ± 8 ^b	3 139 ± 42 ^c	2 807 ± 4 ^a	3 160 ± 6 ^c	2 882 ± 11 ^a	3 323 ± 29 ^d
6	3 090 ± 16 ^b	2 870 ± 35 ^a	3 003 ± 13 ^c	3 055 ± 18 ^c	3 302 ± 6 ^d	3 244 ± 21 ^c
7	3 033 ± 33 ^b	3 113 ± 17 ^c	3 183 ± 23 ^c	3 241 ± 35 ^c	3 265 ± 6 ^c	3 311 ± 13 ^d

注:同一行标以相同小写字母表示储藏条件影响差异不显著,同一行标以完全不同小写字母表示储藏条件影响差异显著。

4.2 保持粘度

保持粘度的差异性分析如表3所示。储藏在20℃以下的大米,在储藏前2个月除20℃、相对湿度65%条件下达到显著水平外,其余各储藏时间内其保持粘度均未出现显著差异,而储藏2个月后,各储藏时间均出现显著性差异,且储藏在15℃、相对湿度75%下从第4个月开始均与15℃、不控温和20℃、相对湿度65%下各储藏时间其保持粘度存在显著差异。由此说明,在低温和准低温储藏下大米长期储藏时,需考虑控制湿度。储藏在20℃以上和自然储藏条件下的大米,在储藏前2个月均未达到显著差异水平,而储藏2个月后,除第4个月未达到显著差异外,其余各储藏时间均出现显著性差异。由此表明,常温和高温储藏的大米需长期储藏时,环

境的温度和湿度均对大米的保持粘度有影响。

4.3 最终粘度

从表4中数据可看出:在储藏前2个月各储藏条件下大米的最终粘度除30℃、相对湿度80%和15℃条件下达到显著水平外,各储藏条件下均未达到显著水平,而储藏2月后在20℃以下即低温和准低温储藏的大米除在15℃、相对湿度75%条件下储藏第5个月、第7个月呈现显著水平外,其余各储藏期限均未达到显著水平。由此表明,在低温和准低温储藏条件下,其湿度和温度对大米最终粘度影响不大。而储藏在25℃以上各储藏条件下均出现显著性差异,可见,长期储藏的大米在常温和高温储藏条件下其湿度和温度对大米最终粘度影响很大。

表 3 保持粘度差异性分析

Tab. 3 Difference analysis of hold viscosity

cP

储藏时间/月	15℃、不控湿	15℃、相对湿度 75%	20℃、相对湿度 65%	25℃、相对湿度 65%	30℃、相对湿度 80%	自然储藏
0	1 484 ± 45 ^a	1 484 ± 45 ^a	1 484 ± 45 ^a	1 484 ± 45 ^a	1 484 ± 45 ^a	1 484 ± 45 ^a
1	1 542 ± 21 ^a	1 447 ± 5 ^a	1 713 ± 9 ^b	1 725 ± 41 ^b	1 777 ± 25 ^b	1 734 ± 39 ^b
2	1 328 ± 40 ^a	1 475 ± 33 ^a	1 572 ± 34 ^a	1 645 ± 28 ^b	1 629 ± 8 ^b	1 679 ± 28 ^b
3	1 409 ± 13 ^a	1 647 ± 59 ^b	1 786 ± 6 ^b	1 782 ± 19 ^b	1 879 ± 23 ^{cd}	1 812 ± 20 ^c
4	1 529 ± 49 ^a	1 839 ± 37 ^c	1 733 ± 49 ^b	1 862 ± 47 ^c	1 983 ± 11 ^c	1 970 ± 27 ^c
5	1 731 ± 44 ^b	1 846 ± 31 ^c	1 687 ± 12 ^b	1 877 ± 27 ^c	1 956 ± 1 ^c	2 033 ± 45 ^d
6	1 765 ± 52 ^b	1 802 ± 81 ^c	1 784 ± 32 ^b	1 860 ± 49 ^c	1 969 ± 24 ^{cd}	1 885 ± 6 ^c
7	1 567 ± 50 ^a	1 750 ± 26 ^b	1 729 ± 41 ^b	1 969 ± 23 ^{cd}	2 022 ± 23 ^c	1 854 ± 2 ^c

表 4 最终粘度差异性分析

Tab. 4 Difference analysis of final viscosity

cP

储藏时间/月	15℃、不控湿	15℃、相对湿度 75%	20℃、相对湿度 65%	25℃、相对湿度 65%	30℃、相对湿度 80%	自然储藏
0	2 942 ± 25 ^a	2 942 ± 25 ^a	2 942 ± 25 ^a	2 942 ± 25 ^a	2 942 ± 25 ^a	2 942 ± 25 ^a
1	2 768 ± 30 ^c	2 768 ± 30 ^c	3 046 ± 47 ^a	3 041 ± 6 ^a	3 232 ± 47 ^b	3 085 ± 37 ^{ba}
2	2 999 ± 31 ^a	2 799 ± 31 ^c	2 968 ± 76 ^a	3 075 ± 25 ^a	3 046 ± 24 ^a	3 043 ± 54 ^a
3	3 151 ± 21 ^b	3 023 ± 18 ^a	3 193 ± 40 ^b	3 317 ± 40 ^c	3 465 ± 47 ^c	3 290 ± 8 ^b
4	3 037 ± 83 ^a	3 253 ± 62 ^b	3 156 ± 64 ^b	3 351 ± 49 ^c	3 364 ± 45 ^c	3 566 ± 45 ^d
5	3 202 ± 77 ^b	3 010 ± 22 ^c	3 065 ± 8 ^{ab}	3 578 ± 41 ^d	3 702 ± 18 ^c	3 745 ± 69 ^c
6	3 292 ± 69 ^b	3 283 ± 26 ^b	3 196 ± 76 ^b	3 460 ± 74 ^c	3 721 ± 06 ^c	3 551 ± 47 ^d
7	3 238 ± 38 ^b	3 225 ± 23 ^b	3 281 ± 17 ^b	3 541 ± 57 ^d	3 665 ± 48 ^{de}	3 685 ± 18 ^{de}

5 结论

(1) 随储藏时间的延长,不同储藏条件下大米糊化曲线形状相似,仅糊化曲线特征值发生一定的变化,其中峰值粘度、最终粘度和保持粘度在储藏前 2 个月发生波动,而后均呈增加趋势;在常温和高温储藏下其变化大于低温和准低温储藏;糊化温度在整个储藏期间各储藏条件间均在较小范围内波动,

变化不大;回生值在储藏前 3 个月各储藏条件下变化不大,而后在常温和高温下随储藏时间延长而逐渐增加,低温和准低温储藏大米随储藏时间延长而逐渐下降。

(2) 储藏时间与峰值粘度、最终粘度和保持粘度呈极显著相关。在储藏前期,储藏条件对峰值粘度、最终粘度和保持粘度影响不显著,储藏后期其影响显著。

参 考 文 献

- 王金水, 赵友梅, 卞科. 不溶性直链淀粉与储藏大米质构特性的关系[J]. 中国粮油学报, 2000, 15(4): 5~8.
Wang Jinshui, Zhao Youmei, Bian Ke. Relation of insoluble amylose to texture characteristics of stored rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2000, 15(4): 5~8. (in Chinese)
- 任顺成, 周瑞芳, 李永红. 大米陈化过程中谷蛋白与大米质构特性的变化[J]. 中国粮油学报, 2002, 17(3): 42~46.
Ren Shuncheng, Zhou Ruifang, Li Yonghong. Changes of oryzenin and texture properties during rice aging[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2002, 17(3): 42~46. (in Chinese)
- Ranalli R P, Howell T A, Siebenmorgen T J. Effects of controlled ambient aeration on rice quality during on-farm storage[J]. Cereal Chemistry, 2003, 80(1): 9~12.
- Teo C H, Karim A, Cheah P B, et al. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice[J]. Food Chemistry, 2000, 69(3): 229~236.
- 谢黎虹, 陈能, 段彬伍, 等. 稻米中蛋白质对淀粉 RVA 特征谱的影响[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(5): 524~528.
Xie Lihong, Chen Neng, Duan Binwu, et al. Effects of proteins on RVA viscosity properties of rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2006, 20(5): 524~528. (in Chinese)
- 刘奕, 徐海明, 程方民, 等. 稻米脱脂与未脱脂米粉的 DSC 热力曲线和 RVA 特征值比较[J]. 浙江大学学报: 农业与

- 生命科学版, 2005, 31(5):518~523.
- Liu Yi, Xu Haiming, Cheng Fangmin, et al. Comparison of DSC thermal curves and RVA properties between lipid free and non-lipid free in milled rice flours[J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture & Life Sciences, 2005, 31(5): 518~523. (in Chinese)
- 7 雷玲, 孙辉, 姜维莉, 等. 稻谷在储藏中糊化特性变化的研究[J]. 粮油食品科技, 2007, 15(5): 6~8.
Lei Ling, Sun Hui, Jiang Weili, et al. Changes of the gelatinizing behavior on storing rice[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2007, 15(5): 6~8. (in Chinese)
- 8 Zhou Z K, Robards K, Helliwe U S, et al. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour[J]. Food Research International, 2003, 36(6): 625~634.
- 9 舒庆尧, 吴殿星, 夏英武, 等. 稻米淀粉 RVA 谱特征与食用品质的关系[J]. 中国农业科学, 1998, 31(3): 1~4.
Shu Qingyao, Wu Dianxing, Xia Yingwu, et al. Relationship between RVA profile character and eating quality in *Oryza sativa* L[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1998, 31(3): 1~4. (in Chinese)
- 10 王帅, 李新华, 谢宏. 粳稻米淀粉糊化性质及其级分的研究[J]. 粮油加工, 2006(12): 62~64.
- 11 Sirisoontsrslak P, Noomhorm A. Changes in physicochemical and sensory properties of irradiated rice during storage[J]. Journal of Stored Products Research, 2007, 43(4): 282~289.
- 12 Mariotti M, Zardi M, Lucisano M, et al. Influence of the heating rate on the pasting properties of various flours[J]. Starch, 2005, 57(11): 564~572.

(上接第 124 页)

参 考 文 献

- 1 Lu R, Siebenmorgen T J. Correlation of HRY to selected physical and mechanical properties of rice kernels[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(3): 889~894.
- 2 Siebenmorgen T J, Qin G. Relating rice kernel breaking force distributions to milling quality[J]. Transactions of the ASAE, 2005, 48(1): 223~228.
- 3 Zhang Q, Yang W, Sun Z. Mechanical properties of sound and fissured rice kernels and their implications for rice breakage [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 68(1): 65~72.
- 4 Siebenmorgen T J, Qin G, Jia C. Influence of drying on rice fissure formation rates and mechanical strength distributions[J]. Transactions of the ASAE, 2005, 48(5): 1 835~1 841.
- 5 Kamst G F, Vasseur J, Bonazzi C, et al. A new method for the measurement of the tensile strength of rice grains by using the diametral compression test[J]. Journal of Food Engineering, 1999, 40(4): 227~232.
- 6 Kamst G F, Bonazzi C, Vasseur J, et al. Effect of deformation rate and moisture content on the mechanical properties of rice grains[J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(1): 145~151.
- 7 李耀明, 王显仁, 徐立章, 等. 水稻谷粒的挤压力学性能研究[J]. 农业机械学报, 2007, 38(11): 56~59.
Li Yaoming, Wang Xianren, Xu Lizhang, et al. Study on compression properties of rice grains [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(11): 56~59. (in Chinese)
- 8 ASAE Standards S352. 2—2003. Moisture measurement—unground grain and seeds[S].
- 9 GB/T5503—2009. 粮食、油料检验 碎米检验法[S].
GB/T5503—2009. Inspection of grain and oils-determination of broken kernels[S].
- 10 刘英. 谷物加工工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 191~195.
- 11 张洪霞, 马小愚. 稻米食用品质的力学指标主成分分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7): 90~94.
Zhang Hongxia, Ma Xiaoyu. Principal component analysis on taste quality of brown rice based on mechanical indexes of cooked rice grain[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(7): 90~94. (in Chinese)