

# 自然发酵对糯米糊化性质的影响

赵云霞, 熊 柳, 孙庆杰\*

(青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109)

**摘 要:** 研究自然发酵不同时间对4个品种糯米(安徽籼糯、泰国粳糯、鱼台粳糯和鱼台籼糯)糊化性质的影响。结果表明: 随着发酵时间的延长, 4种糯米浸泡液固形物含量增加, 发酵96h后, 固形物含量由0.0067~0.0102g/mL增加至0.0247~0.0352g/mL; pH值由6~7降至3~4; 自然发酵使4种糯米的黏度均显著的增加, 在发酵96h后, 的峰值黏度分别由231.46、123.04、205.00、222.88RVU升高至290.00、201.54、224.71、283.50RVU, 自然发酵具有提高糯米黏度的作用。

**关键词:** 糯米; 自然发酵; 黏度

## Effect of Spontaneous Fermentation on Pasting Properties of Waxy Rice

ZHAO Yun-xia, XIONG Liu, SUN Qing-jie\*

(College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract** The influence of spontaneous fermentation for different hours on pasting properties of four kinds of waxy rice was investigated. The results showed that the total solid content increased from 0.0067—0.0102 g/mL to 0.0247—0.0352 g/mL with fermentation time up to 96 h, whereas pH decreased from 6.0—7.0 to 3.0—4.0. Spontaneous fermentation significantly increased the viscosity of waxy rice ( $P<0.05$ ). After 96 h of fermentation, the peak viscosity of Anhui waxy indica rice, Thailand waxy japonica rice, Yutai waxy japonica rice and Yutai waxy indica rice increased from 231.46, 123.04, 205.00 RVU and 222.88 RVU to 290.00, 201.54, 224.71 RVU and 283.50 RVU respectively. In summary, spontaneous fermentation increases the viscosity of waxy rice.

**Key words:** waxy rice; spontaneous fermentation; viscosity

中图分类号: TS210.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)11-0237-04

自然发酵是很多国家加工谷物的一种常见的传统工艺。它常用来提高产品口感, 增强风味, 改善质构, 提高制品的微生物安全性和营养价值<sup>[1-2]</sup>。李丽等<sup>[3]</sup>研究了自然发酵对黄米化学成分的影响, 发现自然发酵能够显著地降低黄米中的蛋白、脂肪和灰分的含量, 纯化了淀粉, 改变了黄米的物化性质, 提高了其营养价值。李新华等<sup>[4]</sup>发现自然发酵改善了玉米粉的保水力、膨胀度、透光性和糊化性质。鲁战会等<sup>[5]</sup>研究了自然发酵工艺对米粉流变学性质的影响, 发现自然发酵显著地改变了大米粉各成分的含量, 同时影响到流变与感官性质的改变。王锋等<sup>[6]</sup>研究了自然发酵对大米淀粉颗粒特性的影响, 结果发现自然发酵使大米淀粉颗粒更加均匀, 不会引起淀粉颗粒的崩溃及可溶性物质的过度流失, 自然发酵主要作用于淀粉的无定形区, 自然发酵后淀粉颗粒

的糊化温度有所降低, 糊化焓上升。Yuan Meilan等<sup>[7]</sup>通过自然发酵对玉米淀粉物理性质以及玉米淀粉面条流变学性质的影响的研究, 发现自然发酵降低了玉米淀粉的溶解度和溶胀度, 增加了其峰值黏度和衰减值, 降低了最终黏度和回生值, 增强了其凝胶的强度, 并提高了玉米淀粉面条的质量。Greenhill等<sup>[8]</sup>研究了巴布亚新几内亚传统西米淀粉的自然发酵, 认为自然发酵能够延长西米淀粉的耐储性和安全性。Afoakwa等<sup>[9]</sup>研究了自然发酵和高淀粉酶面粉对由豌豆粉强化的碱液处理玉米的营养价值, 功能性和黏弹性的影响, 发现自然发酵和高淀粉酶结合可以提高这种玉米的营养价值和功能性, 以用来生产可作为断奶食品的液态粥。

糯米是我国主要的粮食作物之一, 除直接食用外, 还是制作中国传统食品的重要原料, 在江、浙、沪、

收稿日期: 2011-06-14

基金项目: 青岛市科技支撑计划项目(09-1-1-84-nsh)

作者简介: 赵云霞(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为谷物科学。E-mail: zhaoyunxia0116@163.com

\* 通信作者: 孙庆杰(1970—), 男, 教授, 博士, 研究方向为粮食、油脂与蛋白质工程。E-mail: phdsun@163.com

黔、赣及两广等南方地区颇受消费者喜爱<sup>[10]</sup>。但是这些中国传统食品如汤圆、粽子、年糕等都要糯米具有一定的黏度,而关于自然发酵对糯米的黏度的研究却鲜有报道。本实验研究自然发酵对糯米黏度性质的影响,以期对糯米制品的开发提供理论依据。

## 1 材料与方

### 1.1 材料与试剂

安徽粳糯和泰国粳糯 河南黄国粮业有限公司;鱼台粳糯和鱼台粳糯 山东美晶米业有限公司。

其余试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

4D 快速黏度分析仪(RVA) 澳大利亚新港公司;DHG-9070A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;MA45 型红外水分测定仪、电热恒温水浴锅 龙口市电炉制造厂;BS 224S 型电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司;CyberScan510 型 pH 计 新加坡优特仪器;LXJ-IIIB 型台式离心机 上海安亭科学仪器厂。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品制备

准确称取 200g 糯米样品于 1000mL 烧杯中,加水至 600mL,混匀。将烧杯置于 35℃ 水浴锅中,发酵时间为 48、72、96h。对照为室温条件下发酵 4h。发酵完成后,用水冲洗至 pH 值为中性,沥干,过 100 目筛后磨浆机湿磨,以 3000r/min 离心 15min。离心后置于 50℃ 烘箱烘干备用。

#### 1.3.2 固形物含量的测定<sup>[11]</sup>

用烘干法测定固形物含量:将平皿置于 105℃ 烘箱中烘至恒质量。发酵完成后,混匀。用 50mL 移液管准确移取 50mL 浸泡液,在 105℃ 条件下烘干约 8h,取出置于干燥器内冷却 0.5h 后称质量。再复烘 0.5~1h,取出后冷却称质量。重复以上操作直至恒质量。固形物含量以下公式计算。每个样品重复 3 次,取平均值。对照样品浸泡 4h 后,混匀。取液及烘干方法同上。

$$\text{固形物含量}/(\text{g/mL}) = \frac{\text{残渣质量}/\text{g}}{50\text{mL}}$$

#### 1.3.3 浸泡液 pH 值的测定

当发酵样品(包括对照)到达设定的时间后,用 pH 计测量浸泡液的 pH 值。

#### 1.3.4 黏度和糊化性质的测定<sup>[12]</sup>

黏度由快速黏度分析仪(RVA)测定。开启 RVA 及连用的计算机,称取一定量的米粉于铝盒中,加入 25mL 蒸馏水,并用旋转桨搅拌均匀后开始测定。以 960r/min

搅拌 10s,形成均匀悬浊液后,保持 160r/min 转速至实验结束。升温程序为初始温度为 50℃ 保持 1min,然后以 12℃/min 提高到 95℃,在 95℃ 保持 2.5min,再以 12℃/min 降至 50℃ 并保 2min,整个测定过程 13min。记录样品的糊化温度、峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回生值、衰减值。

## 2 结果与分析

### 2.1 发酵时间对浸泡液中固形物含量的影响

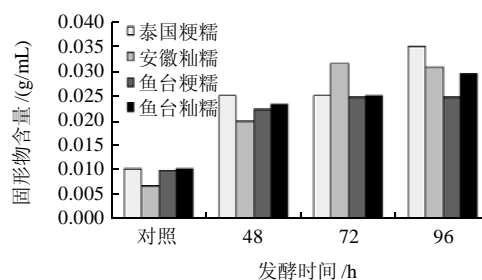


图1 发酵时间对糯米浸泡液中固形物含量的影响

Fig.1 Effect of spontaneous fermentation on total solid content in fermented solution of waxy rice

由图1可知,浸泡液中固形物含量随着发酵时间的延长逐渐增加。发酵 48h 时固形物增加较为显著,72~96h 增加较为平缓。发酵 96h 后,泰国粳糯、安徽粳糯、鱼台粳糯和鱼台粳糯浸泡液中固形物含量分别由 0.0102、0.0067、0.0097、0.0100g/mL 增加至 0.0352、0.0308、0.0247、0.0296g/mL。其原因一方面是发酵使得大米中的水溶性物质溶出,另一方面可能是发酵能使物质降解,导致米粒内部物质溶出。其中的不溶性物质也可能因发酵过程中微生物的分解作用而变为可溶,这些物质可能包括蛋白质和脂肪等。这与王锋<sup>[11]</sup>的研究结果一致。

### 2.2 发酵时间对浸泡液 pH 值的影响

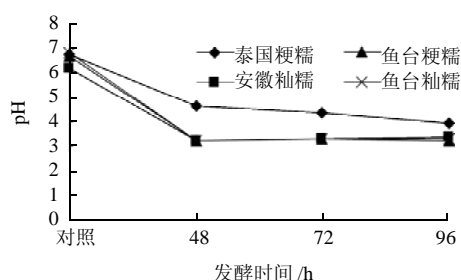


图2 发酵时间对糯米浸泡液 pH 值的影响

Fig.2 Effect of spontaneous fermentation on pH value of fermented solution of waxy rice

由图2可知,随着发酵时间的延长浸泡液的pH值也随之下落。发酵48h后糯米的pH值由原来的6~7降至3~4,72~96h时基本保持不变。pH值不断下降,标志微生物生长繁殖过程中发生了有机酸的积累<sup>[13]</sup>。发酵是利用大米自身所携带的微生物,在48h之前,微生物快速生长并繁殖,其代谢所产生的酸使得发酵液的pH直线下降。48h后,在特定的生存空间及营养条件下微生物的生长代谢达到了一定程度而使得浸泡液的pH值不再下降。

### 2.3 发酵时间对糯米糊化性质的影响

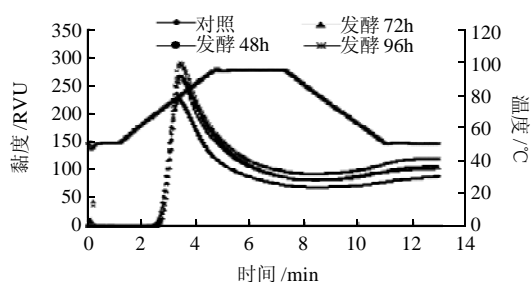


图3 发酵时间对安徽籼糯糊化性质影响的RVA图

Fig.3 Effect of spontaneous fermentation on pasting properties of Anhui waxy indica rice

由图3可知,自然发酵后安徽籼糯米的黏度曲线整体上移,其他3种糯米的黏度曲线与安徽籼糯黏度曲线的走向一致。

由表1可知,随着发酵时间的延长,4种样品糊化温度没有显著变化,而峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、衰减值和回生值均不同程度的上升。在发酵96h

后,安徽籼糯、泰国粳糯、鱼台粳糯和鱼台籼糯的峰值黏度分别由231.46、123.04、205.00、222.88RVU升高至290.00、201.54、224.71、283.50RVU。这与袁美兰等<sup>[18]</sup>的研究结果一致。而Lu Zhanhui<sup>[14]</sup>、Chang Yungho<sup>[15]</sup>、Camargo<sup>[16]</sup>等分别通过对籼米粉、绿豆淀粉和木薯淀粉进行研究却得出不同的结果,原因可能是所用原料的不同。籼米粉、绿豆淀粉以及木薯淀粉均含有一定的直链淀粉和支链淀粉,而糯米基本不含直链淀粉,其糊化特性与直链淀粉含量高的淀粉有明显差异。随着发酵时间的延长,糯米浸泡液中的固形物含量逐渐增多,这可能是由于发酵过程中大米中的蛋白质和脂肪等物质溶出所致。米粉中的蛋白质和脂肪抑制了其中淀粉颗粒的溶胀,因此米粉的黏度低于米淀粉的黏度。而峰值黏度的上升原因可能是发酵是一个纯化淀粉的过程,大米的自然发酵使得其中的蛋白质和脂肪含量下降,从而使与之结合的淀粉释放出来而改变大米的性质,这与彭荷花<sup>[17]</sup>的研究结果一致。大米中的蛋白质包裹在淀粉颗粒的外面,阻止淀粉在加热过程的吸水膨胀,自然发酵过程中的微生物以及微生物活动所产生的各种有机酸和酶对蛋白质进行分解,使得被蛋白质包裹的淀粉颗粒得以释放出来,因此淀粉颗粒更容易吸水膨胀至更大的体积,使得淀粉的体积分率上升,峰值黏度上升<sup>[18]</sup>。另外,蛋白质中的二硫键会限制淀粉的溶胀<sup>[19]</sup>,而且二硫键含量会使米谷蛋白的分子质量增加,蛋白的水合能力降低,增加蛋白质肽链的交联度,使蛋白质强度增大,在淀粉粒周围形成结实的网状结构,抑制淀粉粒的膨润<sup>[20]</sup>。而自然发酵的过程中大米粉谷蛋白中的二硫键断裂成巯基<sup>[17]</sup>,从而使二硫键含量降低,去除了二硫键的交联作用,这可能也是糯米自

表1 发酵时间对糯米糊化性质的影响

Table 1 Effect of spontaneous fermentation on pasting properties of waxy rice

样品	发酵时间/h	糊化温度/°C	峰值黏度/RVU	谷值黏度/RVU	最终黏度/RVU	衰减值/RVU	回生值/RVU
安徽籼糯	0	67.05 ± 0.35 <sup>a</sup>	231.46 ± 10.31 <sup>a</sup>	68.92 ± 2.12 <sup>a</sup>	88.67 ± 2.59 <sup>a</sup>	162.54 ± 8.19 <sup>a</sup>	19.75 ± 0.47 <sup>a</sup>
	48	67.80 ± 0.00 <sup>a</sup>	266.46 ± 0.41 <sup>b</sup>	79.46 ± 0.41 <sup>b</sup>	104.13 ± 0.88 <sup>b</sup>	187.00 ± 0.00 <sup>b</sup>	24.67 ± 0.47 <sup>c</sup>
	72	68.80 ± 0.28 <sup>b</sup>	273.42 ± 10.61 <sup>bc</sup>	83.75 ± 4.12 <sup>bc</sup>	106.08 ± 6.25 <sup>bc</sup>	189.67 ± 6.48 <sup>b</sup>	22.33 ± 2.12 <sup>bc</sup>
	96	67.30 ± 0.71 <sup>a</sup>	290.00 ± 0.00 <sup>c</sup>	92.13 ± 0.88 <sup>d</sup>	120.71 ± 1.83 <sup>d</sup>	197.88 ± 0.88 <sup>b</sup>	28.58 ± 0.94 <sup>d</sup>
泰国粳糯	0	73.60 ± 0.57 <sup>a</sup>	123.04 ± 2.42 <sup>a</sup>	73.25 ± 1.18 <sup>a</sup>	91.92 ± 0.94 <sup>a</sup>	49.79 ± 1.24 <sup>a</sup>	18.67 ± 0.24 <sup>a</sup>
	48	72.70 ± 0.00 <sup>b</sup>	173.08 ± 1.30 <sup>c</sup>	81.33 ± 1.06 <sup>c</sup>	111.42 ± 0.24 <sup>c</sup>	91.75 ± 2.36 <sup>c</sup>	30.08 ± 1.30 <sup>c</sup>
	72	74.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	195.75 ± 0.59 <sup>d</sup>	96.17 ± 2.24 <sup>d</sup>	127.08 ± 1.65 <sup>d</sup>	99.58 ± 2.83 <sup>d</sup>	30.92 ± 0.59 <sup>c</sup>
	96	72.55 ± 0.35 <sup>b</sup>	201.54 ± 3.01 <sup>e</sup>	96.50 ± 0.47 <sup>d</sup>	131.33 ± 2.71 <sup>e</sup>	105.04 ± 2.53 <sup>d</sup>	34.83 ± 2.24 <sup>d</sup>
鱼台粳糯	0	83.05 ± 0.07 <sup>ab</sup>	205.00 ± 1.89 <sup>a</sup>	91.58 ± 0.00 <sup>a</sup>	119.92 ± 0.94 <sup>a</sup>	113.42 ± 1.89 <sup>a</sup>	28.33 ± 0.94 <sup>a</sup>
	48	83.45 ± 0.07 <sup>a</sup>	233.13 ± 0.06 <sup>b</sup>	103.00 ± 1.18 <sup>bc</sup>	136.21 ± 2.18 <sup>b</sup>	130.13 ± 1.24 <sup>c</sup>	33.21 ± 1.00 <sup>a</sup>
	72	83.50 ± 0.00 <sup>a</sup>	221.08 ± 0.71 <sup>c</sup>	99.33 ± 1.06 <sup>b</sup>	132.08 ± 0.35 <sup>b</sup>	121.75 ± 1.77 <sup>c</sup>	32.75 ± 0.71 <sup>a</sup>
	96	83.20 ± 0.42 <sup>ab</sup>	224.71 ± 1.59 <sup>bc</sup>	113.83 ± 2.83 <sup>d</sup>	140.92 ± 1.06 <sup>b</sup>	110.88 ± 4.42 <sup>a</sup>	27.08 ± 1.77 <sup>a</sup>
鱼台籼糯	0	65.60 ± 0.00 <sup>a</sup>	222.88 ± 9.49 <sup>a</sup>	68.63 ± 3.36 <sup>a</sup>	86.54 ± 4.66 <sup>a</sup>	154.25 ± 6.13 <sup>a</sup>	17.92 ± 1.30 <sup>a</sup>
	48	66.45 ± 0.07 <sup>b</sup>	264.25 ± 4.12 <sup>bc</sup>	68.08 ± 1.65 <sup>a</sup>	83.00 ± 1.77 <sup>a</sup>	196.17 ± 2.47 <sup>bc</sup>	14.92 ± 0.12 <sup>ab</sup>
	72	65.60 ± 0.00 <sup>a</sup>	257.08 ± 11.20 <sup>b</sup>	72.75 ± 3.18 <sup>a</sup>	87.42 ± 3.65 <sup>a</sup>	184.33 ± 8.01 <sup>b</sup>	15.42 ± 1.53 <sup>ab</sup>
	96	65.40 ± 0.28 <sup>a</sup>	283.50 ± 6.13 <sup>c</sup>	74.08 ± 0.35 <sup>a</sup>	97.38 ± 0.53 <sup>c</sup>	209.42 ± 5.77 <sup>c</sup>	23.29 ± 0.18 <sup>c</sup>

注:同列肩标字母不同,差异显著( $P < 0.05$ )。

然发酵峰值黏度升高的一个原因。在发酵的过程中脂肪的含量减少<sup>[17]</sup>, 其原因主要是因为微生物的生长繁殖会利用一部分脂肪, 微生物大量繁殖后, 由于其脂肪酶可以将粗脂肪降解成为游离脂肪, 与大米中的淀粉脱离进入到发酵液中, 糯米中的脂肪含量减小从而增加了淀粉与水的结合使得峰值黏度上升。此外, 大米发酵可能使得支链淀粉的侧链被水解, 生成短 A 链。聚合度为 6~12 的短 A 链会降低淀粉颗粒内晶体结构的完美程度, 从而促进膨胀<sup>[21]</sup>, 导致峰值黏度增加。

发酵后, 安徽粳糯、泰国粳糯、鱼台粳糯和鱼台粳糯的衰减值分别由 162.54、49.79、113.42、154.25RVU 增加至 197.88、105.04、130.13、209.42RVU。衰减值反映了米粉在加热过程中的热糊稳定性, 衰减值越大, 表明淀粉颗粒越不稳定, 在加热和搅拌过程中容易破裂。

发酵过程中浸泡液 pH 值升高, 这说明糯米发酵过程中产生了酸。而发酵过程中微生物及其所产生的酶和酸等对蛋白质的分解作用, 使得蛋白质对淀粉颗粒的保护和稳定作用降低, 淀粉颗粒更容易膨胀和破裂, 其颗粒内部分子间结合力减弱, 这使得颗粒更容易在剪切作用下发生破裂和瓦解, 因而随着发酵时间的延长, 其衰减值升高。另外, 大米发酵可能使得支链淀粉的侧链被水解, 生成短 A 链, 而支链淀粉分子中短链的比例越高, 淀粉颗粒的膨胀能力越大, 高度膨胀的淀粉颗粒由于其体积大, 更容易因搅拌而发生破裂, 从而使得淀粉的衰减值增大。

### 3 结 论

自然发酵后, 安徽粳糯、泰国粳糯、鱼台粳糯和鱼台粳糯 4 种糯米浸泡液的固形物含量显著增加; pH 值由 6~7 降至 3~4; 在发酵 96h 后, 4 种糯米的黏度均显著增加, 峰值黏度分别由 231.46、123.04、205.00、222.88RVU 升高至 290.00、201.54、224.71、283.50RVU。衰减值也有所增加。可见自然发酵能够使糯米米粉的性质尤其是黏度得到一定程度的改善。

### 参考文献:

- [1] MENSAH P, TOMKINS A M, DRASAR B S, et al. Antimicrobial effect of fermented Ghanaian maize dough[J]. Journal of Applied Bacteriology, 1991, 70(3): 203-210.
- [2] PLAHAR W A, NTI C A, ANNAN N T. Effect of soy-fortification method on the fermentation characteristics and nutritional quality of fermented maize meal[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 1997, 51(4): 365-380.
- [3] 李丽, 曹龙奎. 自然发酵对黄米化学成分的影响研究[J]. 粮油加工, 2010(4): 47-50.
- [4] 李新华, 曹凝, 翟娅萍. 自然发酵对玉米粉品质的影响[J]. 食品科技, 2009, 34(8): 106-108.
- [5] 鲁战会, 李里特, 闵伟红, 等. 自然发酵工艺对米粉流变学性质的影响[J]. 中国食品学报, 2002, 2(2): 8-12.
- [6] 王锋, 鲁战会, 薛文通, 等. 自然发酵对大米淀粉颗粒特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(6): 25-27.
- [7] YUAN Meilan, LU Zhanhui, CHENG Yongqiang, et al. Effect of spontaneous fermentation on the physical properties of corn starch and rheological characteristics of corn starch noodle[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85(1): 12-17.
- [8] GREENHILL A R, SHIPTONW A, BLANEY B J, et al. Spontaneous fermentation of traditional sago starch in Papua New Guinea[J]. Food Microbiology, 2009, 26(2): 136-141.
- [9] AFOAKWA E O, AIDOO P R, ADIJONU R. Effect of spontaneous fermentation and amylase-rich flour on the nutritive value, functional and viscoelastic properties of cowpea-fortified nixtamalized maize[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2010, 61(3): 256-271.
- [10] 姚艾东. 冷冻糯米团糕品质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(9): 66-69.
- [11] 王锋. 自然发酵对大米理化性质的影响及其米粉凝胶机理的研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2003.
- [12] 陈海华. 木聚糖酶对面粉糊化特性和面包品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2010, 18(1): 10-12.
- [13] 鲁战会. 生物发酵米粉的淀粉改性及凝胶机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2002.
- [14] LU Zhanhui, LI Lite, MIN Weihong, et al. The effects of natural fermentation on the physical properties of rice flour and the rheological characteristics of rice noodles[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2005, 40(9): 985-992.
- [15] CHANG Yungho, LIN Chinalong, CHEN Jiachi. Characteristics of mung bean starch isolated by using lactic acid fermentation solution as the steeping liquor[J]. Food Chemistry, 2006, 99(4): 794-802.
- [16] CAMARGO C, COLONNA P, BULEEON A, et al. Functional properties of sour cassava (*Manihot utilissima*) starch: Polvilho Azedo[J]. Journal of Science of Food and Agriculture, 1988, 45(3): 273-289.
- [17] 彭荷花. 发酵米粉的微生物鉴定和品质改善机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [18] 袁美兰, 鲁战会, 程永强, 等. 自然发酵对米粉 RVA 黏度性质及米粉拉伸性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(1): 6-9.
- [19] VILLAREAL C P, JULIANO B O. Waxy gene factor and residual protein of rice starch granules[J]. Starch-Stärke, 1986, 38(4): 118-119.
- [20] 赵学伟, 卞科, 王金水, 等. 蛋白质与淀粉的相互作用对陈化大米质构特性的影响[J]. 郑州粮食学院学报, 1998, 19(3): 23-29.
- [21] JANE J, CHEN Y Y, LEE L F, et al. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch[J]. Cereal Chemistry, 1999, 76(5): 629-637.