

粳稻蛋白质与蒸煮食味品质的关系

丁毅¹, 华泽田^{1,*}, 王芳¹, 蔡卓², 王嫒¹, 郭丹霄¹

(1.天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457; 2.四川农业大学动物科技学院, 四川 雅安 625014)

摘要: 采用扫描电子显微镜(SEM)和激光共聚焦扫描显微镜(CLSM)对直链淀粉含量相近而蛋白质含量差异较大的水稻籽粒及米饭粒的显微结构进行观察, 研究蛋白质与蒸煮食味品质的关系。结果表明: 通过感官评价和测定快速黏度分析(RVA)特征谱, 确定越光、m90、m119的食味品质随蛋白含量的升高而逐渐降低; SEM、CLSM观察糙米横断面, 高蛋白含量的m119的大量蛋白体以近似于蜂窝状包围在复合淀粉粒的周围; CLSM观察浸水籽粒的断面, 蛋白含量不同的品种的断面粗糙度也有区别, 蛋白含量越高, 断面越粗糙, 即吸收水分少, 反映了蛋白质对大米吸水性的影响; SEM、CLSM观察米饭的显微结构, 发现高蛋白品种m119的大量蛋白体包围在复合淀粉粒周围, 限制了淀粉的吸水糊化, 导致蒸煮食味品质的降低。

关键词: 水稻; 蒸煮食味品质; 蛋白质; 显微结构; 激光共聚焦扫描显微镜

Effect of Protein Content on Cooking and Eating Quality of Japonica Rice

DING Yi¹, HUA Ze-tian^{1,*}, WANG Fang¹, CAI Zhuo², WANG Lei¹, GUO Dan-xiao¹

(1. College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;

2. College of Animal Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: The microstructure of raw rice and cooked rice from japonica rice cultivars with similar amylose contents and significantly different protein contents (12.32%, 8.42% and 5.72%, respectively), m 119, m 90 and Koshihikari, was observed under a scanning electron microscope (SEM) and a confocal laser scanning microscope (CLSM) to explore the relationship between protein content and cooking and eating quality. Koshihikari had the best eating quality followed by m90 and m119 as demonstrated by sensory evaluation and rapid viscosity analysis (RVA). Cross-sectional observations of brown rice under SEM and CLSM showed that compound starch granules in m 119 were surrounded by large amounts of spherical protein bodies in honeycomb-like patterns. The roughness of fracture surfaces of water-soaked brown rice grains increased, and consequently water absorption declined with increasing protein content as observed under CLSM, suggesting that protein content can affect water absorption in rice. The microstructure of cooked rice as observed under SEM and CLSM displayed that water absorption and gelatinization of starch granules were limited because compound starch granules in m 119 were surrounded by large amounts of spherical protein bodies, resulting in deterioration of cooking and eating quality.

Key words: rice; cooking and eating quality; protein; microstructure; confocal laser scanning microscope (CLSM)

中图分类号: TS210.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)23-0042-05

大米的蒸煮食味品质一直是研究的热点, 蛋白质是稻米中仅次于淀粉的第二大成分, 对稻米的蒸煮食味品质也有较大影响, 目前针对稻米蛋白质含量对蒸煮食味品质的影响效应, 认识尚不一致^[1-5]。国内外在该领域的研究主要是用蛋白酶或二硫苏糖醇(DDT)分别除去稻米蛋白质或打破谷蛋白二硫键, 分析稻米粉RVA特征谱的形成和特征值的变化^[6-9], 以及对蛋白质含量和反映蒸煮食味品质的指标做相关性分析^[10]等, 这些方法均以间接的方式研究蛋白质对蒸煮食味品质的影响, 而考虑到

大米和大米粉之间的物理状态已经相差甚远, 而且通过碱或蛋白酶去除蛋白质的同时也破坏了淀粉粒的结构并降低了脂肪含量^[11], 因此难以客观的反映蛋白质在大米蒸煮食味品质中的作用。因此, 认为稻米籽粒内部蛋白质、淀粉的空间排布结构对蒸煮食味品质会产生较大的影响, 对其进行显微结构的观察分析, 既不破坏大米结构, 又能更直观的反映出蛋白质影响稻米蒸煮食味品质的途径, 此方面尚没有相关的文献报道。

本实验选取直链淀粉含量相近而蛋白质含量差异较

收稿日期: 2011-10-11

基金项目: 国家“863”计划项目(2010AA101301); 天津市科技支撑计划资助项目(11ZCKFNC01200)

作者简介: 丁毅(1983—), 男, 硕士研究生, 研究方向为功能性食品。E-mail: dyright@hotmail.com

*通信作者: 华泽田(1955—), 男, 教授, 博士, 研究方向为杂交粳稻遗传改良。E-mail: hzetian@yahoo.com.cn

大的粳稻品种作为研究对象,采用扫描电子显微镜(SEM)和激光共聚焦扫描显微镜(CLSM)对籽粒及米饭粒的显微结构进行观察,从新的角度对蛋白质与蒸煮食味品质的关系做探索性研究,旨在对水稻品质研究人员拓宽研究思路有一定的帮助,并为水稻蛋白品质育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

粳稻品种: m119、m90、日本越光米, 精米蛋白质含量分别为12.32%、8.42%、5.72%。3个水稻品种于2010年种植在天津宁河原种场(39.08°N, 117.12°E), 稻田按常规栽培管理, 收获后晒干, 实验室放置3个月平衡水分至14.3%。用JGJ45砻谷机脱壳, 日本Kett小型碾米机碾精, 每个品种分成3份用于重复实验。

吡啶橙 美国Sigma公司; 酸性品红 北京索莱宝科技有限公司; 氢氧化钠、戊二醛、多聚甲醛、二甲苯、甲基红、溴甲酚绿等均为分析纯。

1.2 仪器与设备

Pearlest精米机 日本Kett科学研究所; K9840自动凯氏定氮仪 济南海能仪器有限公司; SU-1510日立扫描电子显微镜、E-1045日立离子溅射仪 日本Hitachi公司; 尼康ECLIPSE 90i激光共聚焦扫描显微镜 尼康映像仪器销售有限公司; 快速黏度分析仪 澳大利亚Newport Scientific公司。

1.3 方法

1.3.1 蛋白质含量的测定

采用凯氏定氮法^[12]。

1.3.2 米饭的感官评价

根据GB/T 15682—2008《稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》。

1.3.3 大米淀粉RVA特征谱

按照美国谷物化学协会(AACC)的标准方法, 3.0g米粉(过80目筛)加25.0mL蒸馏水, 罐内温度变化: 50℃条件下保持1min, 以12℃/min的速率升至95℃并保持2.5min, 再以12℃/min的速率下降至50℃并保持1.4min。起始的10min内, 搅拌器的转动速率在960r/min, 之后保持在160r/min。RVA谱特征值的结果以3次重复的平均值表示。

1.3.4 扫描电子显微镜

1.3.4.1 精米扫描电子显微镜

3个水稻品种各随机选取5粒精米, 用两把镊子夹住籽粒, 在中间部位将其掰断, 将制备好的样品断面朝上黏在导电胶上, 放入E-1045日立离子溅射仪中镀膜, 溅射金膜的厚度为20nm, 然后放入SU-1510日立扫描电子显微镜中进行观察与拍照。

1.3.4.2 冻干米饭扫描电子显微镜

做米饭的感官评价实验时, 每个品种随机选取5粒米饭, 经真空冷冻干燥后, 处理步骤同1.3.4.1节。

1.3.5 激光共聚焦扫描显微镜

1.3.5.1 吡啶橙染色

3个水稻品种各随机选取5粒精米, 浸于蒸馏水中2h, 然后将其掰至自然断裂, 用吡啶橙(体积分数0.02%)染色10min^[13], 蒸馏水冲洗1min, 整个过程需在暗室中进行。用尼康ECLIPSE 90i激光共聚焦扫描显微镜进行观察, 采用Ar/Kr激光器, 激发光488nm, 发射光为575~605nm, EZ-C1软件对图像进行分析。

1.3.5.2 酸性品红染色

酸性品红为专一性蛋白染料^[14]。

固定: 精米粒(或熟米粒)在1%戊二醛和4%多聚甲醛中固定(磷酸盐缓冲液, pH 7.4), 4℃, 24h。脱水: 梯度酒精体积分数由60%到100%、二甲苯, 每个步骤25℃, 1h。浸蜡: 浸蜡2h, 60℃。包埋: 将米粒竖于蜡盒底部, 灌蜡。切片: 低温切片, 厚度为10μm。脱蜡: 二甲苯和梯度酒精, 100%到60%, 每个步骤1min, 25℃。染色: 酸性品红0.02%(溶于1%乙酸), 染色10min, 蒸馏水冲洗1min。CLSM设置: 激发光为绿光568nm, 接收为600~620nm, 光学切片1层1μm。

1.3.6 统计分析

采用SPSS 19.0对数据进行单因素方差分析, 显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 蒸煮食味品质

2.1.1 米饭感官评价结果

大米食味品质较复杂, 由很多物化性质综合决定, 好的食味品质与米饭黏性, 甘甜风味, 光泽度, 适口性

表1 米饭感官评价评分表($n=12$)
Table 1 Results of sensory evaluation of cooked rice($n=12$)

品种	气味(20分)	外观结构(20分)			适口性(30分)			滋味(25分)	冷饭质地(5分)	综合评分(100分)
		颜色	光泽	饭粒完整性	黏性	弹性	软硬度			
越光	16.33±1.21 ^a	6.00±0.63 ^a	5.83±0.41 ^a	4.33±0.82 ^a	7.17±0.75 ^a	8.00±0.63 ^a	7.33±0.82 ^a	18.17±0.75 ^a	4.00±0.63 ^a	75.83±4.26 ^a
m90	13.83±0.75 ^b	5.66±0.52 ^a	5.33±0.82 ^a	2.33±1.21 ^b	4.83±0.75 ^b	6.00±0.89 ^b	4.5±0.55 ^b	13.66±1.03 ^b	3.17±0.41 ^b	60.17±3.54 ^b
m119	12.83±1.33 ^b	5.66±0.52 ^a	5.33±1.03 ^a	3.17±0.75 ^b	3.33±0.52 ^c	4.83±0.75 ^c	2.83±0.41 ^c	11.50±1.05 ^c	1.33±0.52 ^c	50.83±2.40 ^c

注: 同列字母不同, 表示差异显著($P < 0.05$)。

表2 RVA谱特征值
Table 2 RVA profile parameters of three rice cultivars

品种	峰值黏度/RVU	热浆黏度/RVU	冷胶黏度/RVU	崩解值/RVU	消减值/RVU	峰值时间/min
越光	275.64±0.66 ^a	134.94±0.86 ^a	201.75±0.75 ^a	141.14±0.51 ^a	-74.54±0.37 ^a	5.86±0.12 ^a
m90	265.19±0.54 ^b	142.39±0.90 ^b	240.67±0.93 ^b	122.75±0.45 ^b	-24.82±0.55 ^b	6.08±0.37 ^a
m119	268.80±0.49 ^c	164.786±0.67 ^c	278.63±0.49 ^c	104.05±0.78 ^c	9.69±0.43 ^c	6.22±0.73 ^a

等有关,其中适口性与食味品质最直接相关,由黏性、弹性、软硬度决定^[14-15]。

参照国标 GB/T 15682—2008《稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》^[16],以m90为参照样本,组织本实验室有经验的品评人员对3个大米品种的蒸煮食味进行感官评定,结果见表1。越光综合评分最高,气味清香宜人,米饭软硬适中,有嚼劲,不黏牙,整个品尝过程给人愉悦的感觉。m119和m90得分较越光有一定差距,且m119适口性低于m90,具有较高的咀嚼性,偏硬且黏度稍低。

2.1.2 稻米淀粉RVA特征谱

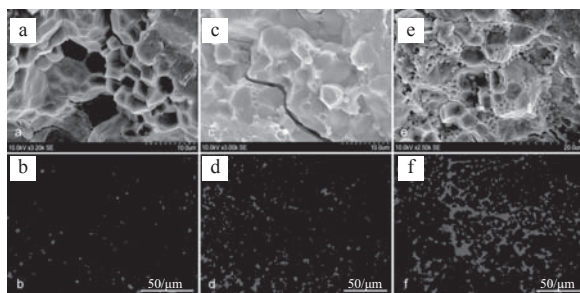
感官评价的主观性强,不同地区和国家的人有不同的口味爱好,因此,在评定稻米蒸煮食味品质时还必需辅以与米饭蒸煮食味关系密切的RVA特征谱,从而客观评价其蒸煮食味品质。粳稻的峰值黏度、崩解值、消减值作为反映稻米蒸煮食味品质的指标,已被许多研究认可^[17-20],崩解值越大食味越好,消减值越小食味越好^[20-21]。

由表2可知,越光崩解值最大,消减值最小,即蒸煮食味品质最好,m119的热浆黏度最高,反映其淀粉在高温下耐剪切的能力较强,冷胶黏度也最高,反映其米饭偏硬。

2.2 蛋白质与蒸煮食味品质的关系

2.2.1 籽粒中蛋白体的观察

为观察蛋白体和淀粉粒的相对位置,选取籽粒中心到背部的连线中点位置,采用SEM和CLSM进行观察。SEM只能辨别物体的表面,所以只有横断面表面的物质是可见的,比如,位于表面下的蛋白体就是不可见的;相比之下,CLSM可以对不同深度的切面进行光学断层扫描,得到一定厚度(100~150μm)的整个切片的三维结构,因此,能看到分布在不同深度的所有蛋白体组成的立体图。



a、c、e分别为越光、m90、m119的复合淀粉粒及蛋白体的SEM观察;
b、d、f分别为越光、m90、m119的复合淀粉粒及蛋白体的CLSM观察。

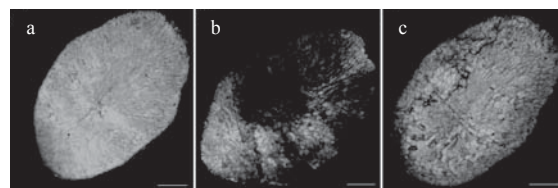
图1 籽粒中心到背部的连线中点位置的SEM和CLSM

Fig.1 SEM and CLSM observations of middle parts between central and back cross sections of rice grains

由图1可知,在SEM观察下,随着籽粒蛋白含量的升高,蛋白体数量显著增加(图1a、c、e)。越光中的蛋白体分布很少,较难察觉(图1a),而m119中可清晰明显的观察到大量的、小的圆球状蛋白体堆积镶嵌在复合淀粉粒的结合处,其间有许多小圆缺口,多为样品折断时,镶嵌的蛋白体颗粒脱落所致(图1e)。复合淀粉粒间以及内部的单粒淀粉结合致密,复合淀粉粒呈多面体,这是许多淀粉体相互挤压造成的结果。用CLSM进一步观察蛋白体,经酸性品红(专一蛋白染料)染色,蛋白质激发出红光,而黑暗部分为淀粉基质。在SEM中观察到的小球体,经过染色后观察,为红色小球体,证明其确为蛋白体,蛋白体的分布密度与籽粒蛋白含量成正比,越光的蛋白体分布稀疏(图1b),而m119的大量蛋白体以近似于蜂窝状包围在复合淀粉粒的周围(图1f)。如此多的蛋白体以交联状聚集在复合淀粉粒的结合处(图1e、f),可能会阻碍籽粒的吸水性、进而限制淀粉的柔润膨胀,并最终可能导致米饭蒸煮食味品质的降低。

2.2.2 蛋白质对大米吸水性的影响

煮饭前大米在过量水中浸泡过程决定了大米的蒸煮食味,如果大米吸水不充足,米粒中的淀粉粒就得不到充分糊化和膨胀,最终导致米饭偏硬^[22]。



a.越光; b.m119; c.m90。

图2 精米籽粒横断面CLSM显微结构图

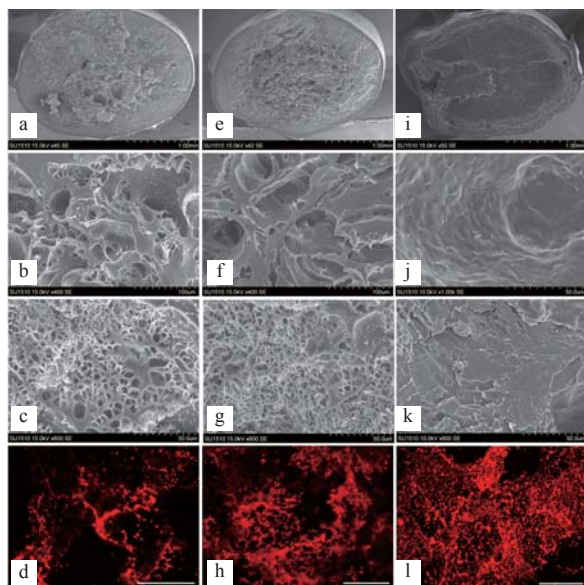
Fig.2 Cross-sectional observation of milled rice under CLSM

染料吖啶橙的活性基团与淀粉的羟基通过静电作用稳定的结合在一起^[23],在488nm的激发光下发出鲜艳的绿光。由图2可知,越光的横断面非常平滑,而m119的横断面非常粗糙,m90的横断面粗糙平滑的面积比例相当。

由于处理的横断面是将其掰至自然断裂,保留了断面的原始结构,所以横断面粗糙是因为细胞破裂,即细胞间的结合力强于细胞膜自身的强度,而平滑的横断面是细胞间的分离,细胞膜并没有破裂,大米吸水主要通过胚乳细胞的间隙进入米粒的内部^[24],二硫键的交联作用使蛋白质在淀粉的周围形成网状结构^[25],降低了水分向籽粒内部渗入的速度,所以在浸泡过程中,高蛋白质

种m119吸收的水分少,细胞间得不到润滑,从而在掰断的过程中,细胞破裂,形成粗糙的横断面,而蛋白含量低的越光,吸收大量水分,细胞间有水分的润滑,容易分离,掰断后形成平滑的横断面,即蛋白质影响了大米的吸水性。

2.2.3 蛋白质对大米淀粉糊化的影响



a、e、i分别为越光、m90、m119的全景SEM观察; b、f、j分别为越光、m90、m119的中心SEM观察; c、g、k分别为越光、m90、m119的背部SEM观察; d、h、l分别为越光、m90、m119的中心到背部的连线中点位置CLSM观察。

图3 越光、m90、m119熟米粒的SEM及CLSM观察

Fig.3 Cross-section observation of cooked rice from Koshihikari, m90 and m119 under SEM and CLSM

由图3可知, SEM观察3个品种米饭经过真空冷冻干燥后的显微结构。越光糊化最好(图3a), 胚乳细胞结构完全不可见, 结构疏松, 整个饭粒中布满小而密的气孔(图3c); m90的中心部位糊化不完全, 存在大而疏的气孔(图3e、f); 高蛋白含量的m119没有气孔形成(图3i、j、k), 而是呈现出一个紧凑、密实的结构, 淀粉基质呈“融化”状态, 依稀可见蛋白体溶于其中(图3j)。CLSM进一步观察米饭的石蜡切片, 观察位置为饭粒中心到背部的连线中点。越光糊化最好, 蛋白体与糊化后的淀粉交融在一起, 呈絮状分布在饭粒中(图3d); m90糊化次之(图3h), 依稀可见蛋白体组成的蜂窝状结构围绕在淀粉体周围, 间接说明淀粉体未糊化完全; m119的蛋白体在煮饭过程中发生热变性, 使蛋白体间形成三维状的网络结构(图3l), 包围在淀粉体周围, 限制了淀粉的吸水糊化, 吸水不足, 淀粉糊化不完全, 最终导致蒸煮食味品质的降低。

据Martin等^[9]报道, 蛋白质可能通过二硫键结合形成的蛋白质网络本身和通过吸水来减少淀粉水合的有效水量, 协同提高糊化多相体系的浓度, 增强分散相与黏稠

相的相互作用。蛋白质含量高的品种, 籽粒结构紧密, 大量蛋白体堵塞在淀粉体间的空隙, 导致大米吸水速度慢, 吸水量减少, 因此大米蒸煮所需时间长, 且淀粉不能充分糊化, 米饭黏度低, 所以在水量有限的情况下, 比如在电饭煲中, 高蛋白品种束缚更多的水分并且抑制淀粉的吸水速度, 留下很少的水用于淀粉糊化膨胀, 导致蒸煮食味降低。

3 结 论

通过感官评价和测定RVA特征谱, 确定了越光、m90、m119的食味品质逐渐降低; 对3种粳稻籽粒的蛋白体分布进行SEM、CLSM观察, 发现蛋白体的分布密度与籽粒蛋白质含量成正相关, 越光的蛋白体分布稀疏, 而m119的大量蛋白体以近似于蜂窝状包围在复合淀粉粒的周围。

用CLSM观察浸水籽粒的掰断面时, 发现3个蛋白含量不同的品种的掰断面粗糙度也有区别, 蛋白含量越高, 掰断面越粗糙, 进行3次重复实验, 结果一致, 认为这种现象与籽粒吸水率有关, 高蛋白品种m119吸收的水分少, 细胞间得不到润滑, 从而在掰断的过程中, 细胞破裂, 形成粗糙的横断面, 即高含量的蛋白质影响了大米的吸水性。

SEM、CLSM观察3个品种米饭经真空冷冻干燥后的显微结构, 发现高蛋白品种m119的大量蛋白体包围在复合淀粉粒周围, 限制了淀粉的吸水糊化, 吸水不足, 淀粉糊化不完全, 最终导致蒸煮食味品质的降低。

综上可以得出结论, 通过观察稻米的显微结构, 可以了解稻米的蒸煮食味品质, 并由此得知, 粳稻中蛋白质含量的升高会降低淀粉水合的有效水量, 从而影响淀粉糊化并最终导致大米蒸煮食味品质的降低。

参考文献:

- [1] 赵娜, 杨超, 田斌强, 等. 加热时间对大米淀粉特性及抗性淀粉含量的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 34-38.
- [2] ITURRIAGA L, LOPEZ B, ANON M. Thermal and physicochemical characterization of seven argentine rice flours and starches[J]. Food Res Inter, 2004, 37(5): 439-447.
- [3] ELAINE T C, BRENDA G L, BONG K M, et al. Effect of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice[J]. Cereal Chem, 1998, 75(2): 181-186.
- [4] 孙平. 蛋白质含量高会降低稻米食味吗? 试析日本产销界关于稻米食味和应否追肥问题的争议[J]. 中国稻米, 1998, 5(1): 31-33.
- [5] ONG M H, BLANSHARD J M V. Texture determinants in cooked, parboiled rice. I: Rice starch amylase and the fine structure of amylopectin[J]. J Cereal Sci, 1995, 21(1): 251-260.
- [6] HAMAKER B R, GRIFFEN V K. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption[J]. Cereal Chem, 1990, 67(3): 261-264.
- [7] DERYCKE V, VERAVERBEKE W S, VANDEPUTTE G E, et al.

- Impact of protein on pasting and cooking properties of nonparboiled and parboiled rice[J]. *Journal of Cereal Chemistry*, 2005, 82(4): 468-474.
- [8] HAMAKER B R, GRIFFIN V K. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting[J]. *Journal of Cereal Chemistry*, 1993, 70(4): 377-380.
- [9] MARTIN M, FITZGERALD M A. Proteins in rice influence cooking properties[J]. *Journal of Cereal Chemistry*, 2002, 36(3): 285-294.
- [10] 沈鹏, 罗秋香, 金正勋, 等. 蛋白质含量与稻米蒸煮食味品质间的关系[J]. *东北农业大学学报*, 2003, 34(4): 368-371.
- [11] ANA M I, DELILAH F W, WALLACE H Y, et al. Viscoelastic properties of waxy and nonwaxy rice flours, their fat and protein-free starch, and the microstructure of their cooked kernels[J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(16): 6761-6771.
- [12] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.5—2010食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [13] VERONIQUE V, BRIGITTE P, JUDITH B, et al. Cooking behavior of rice in relation to kernel physicochemical and structural properties[J]. *Agric Food Chem*, 2007, 55(2): 336-346.
- [14] PUJI L, TAE H H, HOON L, et al. PCR marker-based evaluation of the eating quality of japonica rice[J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57(7): 2754-2762.
- [15] 郑志, 张原箕, 周会喜, 等. 蒸煮温度对方便米饭特性的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(3): 83-86.
- [16] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 15682—2008 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [17] 蔡一霞, 王维, 朱智伟, 等. 不同类型水稻支链淀粉理化特性及其与米粉糊化特征的关系[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(6): 1122-1129.
- [18] 胡培松, 翟虎渠, 唐绍清, 等. 利用RVA快速鉴定稻米蒸煮及食味品质的研究[J]. *作物学报*, 2004, 30(6): 519-524.
- [19] 朱满山, 顾铭洪, 汤述裘. 不同粳稻品种和DH群体稻米淀粉RVA谱特征与蒸煮理化指标及相关分析[J]. *作物学报*, 2007, 33(3): 411-418.
- [20] 隋炯明, 李欣, 严松, 等. 稻米淀粉RVA谱特征与品质性状相关性研究[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(4): 657-663.
- [21] 包劲松. 稻米淀粉品质遗传与改良研究进展[J]. *分子植物育种*, 2007, 5(6): 1-20.
- [22] SEKI C, KAINUMA Y. Study of rice cooking(Part 2): soaking time as a factor controlling rice cooking[J]. *Journal of Home Economics of Japan*, 1982, 33(2): 228-234.
- [23] 田嘉嘉. 多种水解酶的荧光分析新方法研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2006.
- [24] 张玉荣, 周显青, 杨兰兰. 大米食味品质评价方法的研究现状与展望[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(8): 155-160.
- [25] 谢黎虹, 陈能, 段彬伍. 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.