

水稻储藏过程中淀粉黏度特性的变化

王新其, 殷丽青, 卢有林, 沈革志*

上海市农业科学研究院作物育种栽培研究所, 上海201403

摘要: 对水稻淀粉黏度特性特征值测定的统计分析表明: 在避光自然温度储藏期间, 不同类型稻谷淀粉黏度特征值均有明显的变化, 各特征值在储藏1~5个月内变化较小, 而6~7个月期间变化较大, 大部分特征值变化差异达到显著或极显著水平。不同类型稻谷在储藏期间黏度特征值发生明显差异的时间点不同, 粳糯类水稻品种在储藏期间发生明显差异的时间点明显早于籼稻和籼稻类。储藏时间与淀粉黏度特征值优化方程建立结果显示: 与籼稻类品质变化关系密切的主要特征值为最高黏度(PKV)、崩解值(BDV)和峰值时间(PeT), 粳稻类为热浆黏度(HPV)、冷胶黏度(CPV)和回复值(CSV), 而糯稻类为PKV、BDV、CSV和起浆温度(PaT)。研究结果表明, 通过RVA谱主要特征值来评价不同类型水稻品种稻谷耐储藏性具有可行性。

关键词: 水稻储藏; RVA特征值; 水稻

Starch Viscosity Character Change during Rice Cereals Storage

WANG Xin-Qi, YIN Li-Qing, LU You-Lin, SHEN Ge-Zhi*

Crop Breeding and Cultivation Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China

Abstract: Statistic analysis of starch viscosity determination indicated there was a remarkable change of viscosity eigenvalues in different types of rice variety during rice cereals storage in nature temperature and avoiding light condition. It was found a small change of starch RVA (rapid viscosity analyzer) eigenvalues during 1 to 5 months storage and larger changes during 6 to 7 months storage, most of the RVA eigenvalue achieved notable differences or a very significant level. The time for occurs significantly difference in different type of rice variety was different. The time of *glutinosa* was clearly earlier than *Indica* and *Japonica* variety. The results of established optimize equation between storage time and starch viscosity eigenvalue showed that the main indicators of quality changes were closely related with PKV (peak viscosity), BDV (breakdown viscosity) and PeT (peak time) in *Indica* variety, HPV (hot paste viscosity), CPV (cool paste viscosity) and CSV (consistence viscosity) in *Japonica* variety, PKV, BDV, CSV and PaT (pasting temperature) in *glutinosa* variety. The results indicated that it was feasibility using the main characteristic value to evaluate properties of resistant storage within different types of rice.

Key words: rice cereal storage; RVA eigenvalues; rice

我国是稻米主要消费国之一, 随着生活水平的提高, 人们对稻米的食用品质要求越来越高。稻谷的储藏时间与稻米品质有直接关系, 长时间的储藏必然导致稻米的品质下降, 尤其是食用品质。稻谷短期储藏后, 尽管稻米的表观直链淀粉含量(apparent amylose content)、糊化温度(gelatinization temperature)及碾磨品质没有明显变化, 但稻米的香味和黏度已明显下降(舒庆尧等2000; 陈业坚等2002; Zhou等2003)。

RVA谱是基于黏度速测仪(rapid viscosity analyzer)和相关配套分析软件的一种谷物品质评判指标, 其主要原理依据米粉在加热、冷却过程中淀粉黏度发生变化时的仪器旋转粘滞力测定, 形成

的谱线即为RVA谱。研究表明, 稻米食用品质的优劣主要取决于淀粉糊化特性, 其淀粉结构、理化特性、蒸煮品质与淀粉黏度特征值关系紧密(Han和Hamaker 2001; 李刚等2009)。采用RVA谱黏度特征值作为谷物贮藏特性评判指标, 与电导率、脂肪酸值、丙二醛(MDA)含量、 α -淀粉酶、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)活性等指标(周显青和张玉荣2008)评判参数比较可减少多次测定带来人为的偏差因素, 具有

收稿 2011-03-17 修订 2011-04-14

资助 上海市科委项目(013912019)。

* 通讯作者(E-mail: gzshen2003@yahoo.com.cn; Tel: 021-62208184)。

测定效率高、结果直观、客观性强和易于掌握等优点(Bason等1994)。因此, RVA谱测定值的测定成为评判水稻食用品质优劣的一个重要方法(Bason等1994; Bao等2004)。本研究采用不同类型品种(籼稻、粳稻、粳糯)的稻谷, 在避光自然温度储藏条件下每隔1个月进行RVA谱特征值测定, 检测不同品种稻谷黏度特征值变化差异性, 旨在有效筛选RVA谱主要特征值来评判稻谷耐储藏特性, 为建立储藏后不同类型稻谷食用品质变化评价体系提供参考。

材料与方法

1 供试材料

实验选用籼稻品种(*Oryza sativa* L. ssp. *Indica*): ‘丰矮占4号’、‘93-11’、‘明恢63’、‘龙特甫’、‘盐恢559’; 粳稻品种(*Oryza sativa* L. ssp. *Japonica*): ‘秀水128’、‘119’、‘越光’、‘中花11’、‘日本晴’; 粳糯品种(*Oryza sativa* L. var. *glutinosa*): ‘寒丰糯’、‘太湖糯’、‘98110糯’、‘秋风糯’、‘苏御糯’。

2 储藏处理

供试品种于2008年10月下旬在上海市农业科学院青浦重固良种繁育基地种植收获。收获后将种子及时晒干、清理, 以稻谷的形式在避光自然温度条件下储藏保存。

3 样品处理程序

将自然储藏的稻谷每隔1个月取样, 用浙江生产LJM小型电动砻米机进行去壳出糙, 再用碾米加工机JMNJ-3出精, 并用旋风式超速粉碎机粉碎后100目过筛。烘干至含水量约14.0%后冷却密封保存备用。

4 黏度测定方法

称取粉样3.0 g放入圆柱形的铝盒里, 加25.0 mL蒸馏水充分混匀后在Newport Scientific仪器公司生产的黏度分析仪RVA-Ezi上测定, 并用TCW (Thermal Cycle for Windows)配套软件分析。特征值一级数据如糊化开始起浆温度(PaT)、最高黏度(PKV), 热浆黏度(HPV)、冷胶黏度(CPV)和峰值时间(PeT)可从计算机上直接读取, 而二级数据如崩解值(BDV=PKV-HPV)、回复值(CSV=CPV-HPV)和消减值(SBV=CPV-PKV)则由一级数据计算所得。黏度测定方法详见舒庆尧

等(2000)。

5 数据及图形处理

采用DPSTM v9.50标准版数据处理系统进行Duncan氏新复极差测验多重比较和优化方程建立分析。RVA特征值动态图在Office 2003 Excel上进行图形绘制。

实验结果

1 不同类型水稻品种淀粉黏度特征值的差异

表1为不同类型品种收获储藏1个月后稻谷RVA谱特征值测试结果。从中可以看到在粳稻、粳糯品种中其冷胶黏度低于最高黏度, 在籼稻品种中则表现不一。所有品种的热浆黏度都低于冷胶黏度, 其中, 粳糯品种的热浆黏度与冷胶黏度的差值较小。籼稻与粳稻品种的起浆温度和峰值时间值较为接近, 前者分别为88.4 °C和88.3 °C, 而后者则均为6.0 min。而粳糯品种则较低, 起浆温度和峰值时间分别为71.1 °C和3.4 min, 且品种间差异较小。从品种类群来看, 粳糯品种特征值明显不同于粳稻和籼稻品种, 且品种间差异较小; 粳稻品种间特征值相对较为一致, 籼稻品种间差异相对较大, 其中‘丰矮占4号’和‘龙特甫’这2个品种的特征值较为突出, 其余3个与粳稻的特征值较为接近。

2 储藏期间不同类型品种特征值动态变化

图1为储藏期间品种类型间特征值动态变化曲线, 结果显示: 3种水稻类型在储藏6个月中特征值的曲线变化趋势基本相似。最高黏度(图1-A)和崩解值(图1-B)呈先高后低的“∞”形, 低谷时间点, 粳糯为存储2个月后, 籼稻和粳稻则为3个月后, 而高峰时间粳稻和粳糯类则在4个月后, 籼稻为5个月后。但粳糯品种在6~7个月曲线出现反转上升。

3个水稻类型的消减值(图1-C)曲线趋势6个月前是相似的, 之后籼稻和粳稻开始明显上升, 而粳糯则为下降。

籼稻和粳稻的热浆黏度(图1-D)在储藏4个月中所测得的值相近, 曲线走向也一致, 第5个月出现分叉, 籼稻类上升, 且曲线平稳; 而粳稻类先是下降, 第7个月的数值又上升, 接近籼稻值; 粳糯的测定值明显低于籼稻和粳稻值, 曲线平稳, 但第7个月的数值显著上升。

粳糯类冷胶黏度(图1-E)明显低于籼稻和粳稻

表1 不同类型品种的稻谷RVA谱特征值

Table 1 RVA characteristic value in different types of rice varieties

品种	PKV	HPV	BDV	CPV	SBV	CSV	PaT/°C	PeT/min
‘丰矮占4号’	310.5	257.0	53.5	367.8	57.3	110.8	91.9	6.3
‘龙特甫’	323.7	262.4	61.3	372.6	48.9	110.2	95.4	6.4
‘明恢63’	345.8	144.8	202.8	225.7	-121.9	80.9	82.0	5.4
‘93-11’	321.0	185.8	135.2	281.9	-39.1	96.1	89.9	6.3
‘盐恢559’	347.6	156.6	189.3	214.7	-131.2	58.1	82.9	5.5
籼稻平均数	329.3±16.28	201.3±55.38	128.5±69.65	292.5±75.36	-37.2±89.94	91.2±22.20	88.4±5.81	6.0±0.49
‘秀水128’	366.6	212.4	154.2	254.8	-61.5	92.7	94.9	6.1
‘中花11’	359.8	188.5	171.3	279.6	-80.3	91.1	90.2	6.0
‘日本晴’	372.5	187.3	185.3	278.3	-94.3	91	89.0	5.9
‘越光’	367.4	201.8	165.6	272.7	-94.8	70.8	77.4	6.0
‘119’	335.8	172.5	163.3	264.4	-71.4	91.9	90.0	5.9
粳稻平均数	360.4±14.49	192.5±15.2	167.9±11.49	270.0±10.38	-80.5±14.48	87.5±9.36	88.3±6.51	6.0±0.08
‘寒丰糯’	161.4	55.7	105.8	67.0	-94.4	11.3	71.4	3.4
‘太湖糯’	159.8	54.2	102.2	65.1	-94.7	10.9	72.6	3.5
‘98110糯’	130.7	28.5	105.6	38.2	-92.5	9.7	69.5	3.2
‘秋风糯’	144.3	55.3	89.0	67.5	-76.8	12.2	70.1	3.3
‘苏御糯’	155.3	46.9	108.4	58.3	-97.0	11.4	72.1	3.4
粳糯平均数	150.3±12.83	48.1±11.54	102.2±7.70	59.2±12.31	-91.1±8.14	11.1±0.91	71.1±1.31	3.4±0.11

PKV: peak viscosity, 最高黏度; HPV: hot paste viscosity, 热浆黏度; BDV: breakdown viscosity, 崩解值; CPV: cool paste viscosity, 冷胶黏度; SBV: setback viscosity, 消减值; CSV: consistence viscosity, 回复值; PaT: pasting temperature, 起浆温度; PeT: peak time, 峰值时间。表2同。黏度单位用RVU (rapid visco units)表示, 图1、表2同此。

类品种, 且曲线的谷和峰均比其他两类提前1个月, 但储藏6个月后, 3个类型曲线均有上升趋势。

起浆温度(图1-F)、回复值(图1-G)和峰值时间(图1-H), 粳糯类明显低于籼稻和粳稻, 且在储藏期间7个时间点数值波动较小, 呈直线趋势。而籼稻和粳稻的起浆温度和峰值时间测定值几近相同, 回复值稍有差异。各点的测定值随储藏时间的延长而增加, 曲线逐步平缓上升。

综合图1结果, 不同类型品种在储藏6个月期间的特征值变化趋势总体相似, 其差异主要表现在部分特征值和曲线的峰谷出现的时间点上。粳糯类特征值一般明显低于籼稻和粳稻类, 而籼稻和粳稻类两者相对比较接近。粳糯类品种在PKV、BDV、SBV、HPV和CPV的曲线峰谷变化要比籼稻和粳稻类提前1个月, 而CSV和PeT曲线峰谷时间点差异不明显。3个类型的品种在各特征值动态变化均在第6个月后曲线显示比较陡, 值变化较大。

3 不同储藏时间点各特征值的显著性比较

对不同类型储藏期间的黏度特征值进行了差

异显著性测定(表2), 结果表明: 籼稻类在储藏第2个月后, 只有CSV特征值变化达到了显著差异。至第3个月PKV和CPV变化差异达到极显著, CSV的差异仍在显著水平, 其余5个特征值均没有显著差异。粳稻类在第2个月变化差异显著的有PKV、BDV和CSV, 在第3个月HPV和CPV出现极显著差异, 而SBV、PaT和PeT则仍没有显著的变化差异。粳糯类在第2个月PaT的变化达到显著差异, PeT没有显著差异, 其余6个特征值均达到了极显著差异, 至第3个月PeT的变化差异仍没有达到显著水平。

在4~5个月储藏期间, 各特征值除粳糯类PKV、HPV、CPV变化差异显著和PeT极显著外, 籼稻和粳稻类型的稻谷黏度特征值均没有显著差异。

在6~7个月储藏期间, 各特征值变化较大。籼稻类除PeT变化差异显著外, 其余7个特征值均达到极显著水平。粳稻类PKV变化差异显著, PaT和PeT变化差异不显著, 其余5个特征值变化均达到极显著差异。在粳糯类中BDV和SBV变化差异显著, PaT则没有显著差异, 其余特征值均达到极显

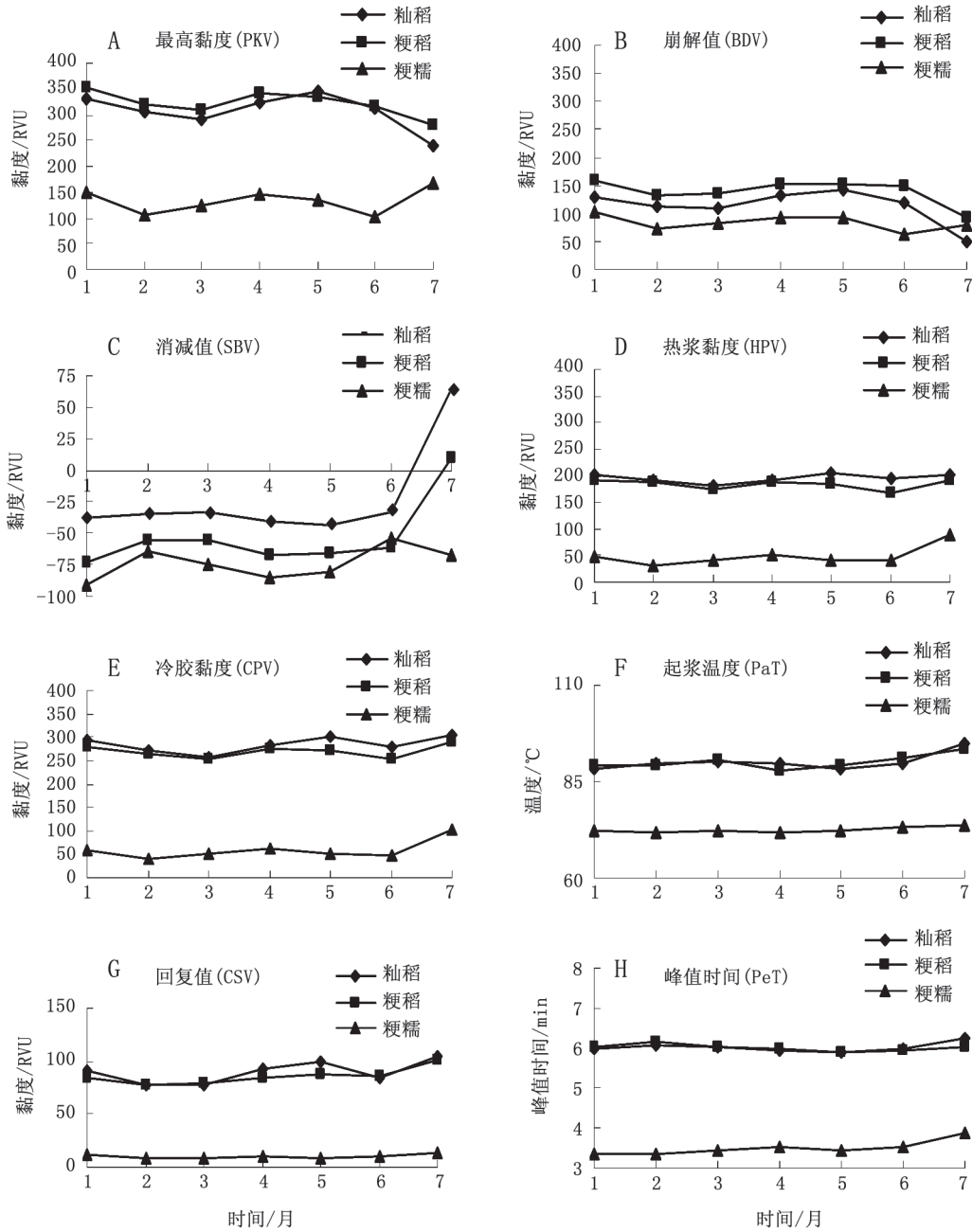


图1 不同类型品种淀粉特征值曲线变化动态

Fig.1 The curve dynamics of starch eigenvalues in different types of rice variety

著差异。

4 稻谷食用品质变化的RVA谱主要特征值的选择

为初步筛选稻谷在储藏后影响食用品质变化的黏度主要特征值,以储藏时间 Y 为因变量,以各特征值为自变量($X_1 \sim X_8$ 分别表示PKV、HPV、CPV、BDV、SBV、CSV、PaT、PeT),建立了稻

谷储藏时间与黏度主要特征值的优化方程(表3)。结果表明:衡量各类稻谷食用品质的黏度主要特征值是不同的,籼稻类的主要特征值为最高黏度、崩解值和峰值时间,粳稻类为热浆黏度、冷胶黏度和回复值,粳糯类则为最高黏度、崩解值、回复值和起浆温度。

表2 储藏期间稻谷淀粉RVA特征值及差异显著性比较

Table 2 Comparison of significant difference and characteristics value of starch RVA during storage period

间隔时间/月	类型	PKV	HPV	CPV	BDV	SBV	CSV	PaT	PeT
1	籼稻	329.7 ^{ABab}	201.3 ^{Aa}	292.5 ^{ABab}	128.4 ^{Aab}	-37.2 ^{Aa}	91.2 ^{ABCab}	88.4 ^{Aa}	5.98 ^{ABb}
	粳稻	352.0 ^{Aa}	192.9 ^{Aa}	278.1 ^{ABab}	159.1 ^{Aa}	-73.9 ^{Aa}	85.0 ^{BCbc}	89.4 ^{Aa}	6.03 ^{ABab}
	粳糯	150.3 ^{Ba}	48.1 ^{Bbc}	59.2 ^{BCb}	102.2 ^{Aa}	-91.1 ^{Dd}	11.1 ^{Bbc}	71.1 ^{Aa}	3.36 ^{Aa}
2	籼稻	305.1 ^{BCbc}	192.3 ^{Aa}	270.0 ^{BCbcd}	111.4 ^{Ab}	-35.0 ^{Aa}	77.8 ^{Cc}	89.8 ^{Aa}	6.05 ^{ABab}
	粳稻	320.4 ^{ABbc}	188.0 ^{ABa}	265.1 ^{ABbc}	132.4 ^{Ab}	-55.3 ^{Aa}	77.1 ^{Cd}	89.4 ^{Aa}	6.14 ^{Aa}
	粳糯	104.1 ^{Dd}	30.6 ^{De}	39.0 ^{Ed}	73.3 ^{CDbc}	-65.1 ^{ABb}	8.4 ^{Dc}	71.8 ^{ABb}	3.36 ^{Aa}
3	籼稻	291.5 ^{Cc}	180.8 ^{Aa}	257.5 ^{Cd}	112.7 ^{Ab}	-34.0 ^{Aa}	76.7 ^{Cc}	90.2 ^{Aa}	6.01 ^{ABb}
	粳稻	308.6 ^{BCc}	174.0 ^{BCbc}	252.6 ^{BCc}	134.4 ^{Ab}	-56.0 ^{Aa}	78.5 ^{BCcd}	90.8 ^{ABab}	6.03 ^{ABab}
	粳糯	124.9 ^{Cc}	41.0 ^{BCd}	50.1 ^{CDc}	81.9 ^{BCb}	-74.7 ^{BCbc}	9.2 ^{BCd}	72.1 ^{Bb}	3.42 ^{Aa}
4	籼稻	323.3 ^{ABCab}	189.8 ^{Aa}	282.7 ^{ABCabc}	133.5 ^{Aab}	-40.6 ^{Aa}	94.9 ^{ABCab}	89.7 ^{Aa}	5.93 ^{Bb}
	粳稻	340.7 ^{ABab}	189.1 ^{ABa}	273.8 ^{ABab}	151.6 ^{Aab}	-66.9 ^{Aa}	84.7 ^{BCbc}	87.7 ^{Aa}	5.99 ^{ABb}
	粳糯	146.5 ^{Ba}	50.6 ^{Bb}	61.5 ^{Bb}	95.9 ^{ABa}	-84.9 ^{CDd}	10.9 ^{Bb}	71.9 ^{ABb}	3.53 ^{Bb}
5	籼稻	346.6 ^{Aa}	203.6 ^{Aa}	302.6 ^{Aa}	143.0 ^{Aa}	-44.0 ^{Aa}	99.0 ^{ABa}	87.2 ^{Aa}	5.91 ^{Bb}
	粳稻	336.2 ^{ABab}	183.0 ^{ABCab}	270.8 ^{ABab}	153.3 ^{Aab}	-65.4 ^{Aa}	87.9 ^{Bb}	89.1 ^{Aa}	5.91 ^{Bb}
	粳糯	133.0 ^{BCc}	42.0 ^{BCcd}	51.7 ^{BCDc}	91.5 ^{ABa}	-81.3 ^{CDcd}	9.0 ^{BCcd}	72.1 ^{Bb}	3.42 ^{Aa}
6	籼稻	312.4 ^{ABCbc}	194.6 ^{Aa}	279.1 ^{BCcd}	117.8 ^{Aab}	-33.4 ^{Aa}	84.5 ^{BCbc}	89.9 ^{Aa}	5.98 ^{ABb}
	粳稻	316.3 ^{ABCbc}	168.5 ^{Cc}	254.4 ^{Cc}	147.7 ^{Aab}	-61.9 ^{Aa}	85.9 ^{BCb}	91.3 ^{ABbc}	5.93 ^{Bb}
	粳糯	101.3 ^{Dd}	36.4 ^{CDde}	46.7 ^{DEc}	64.9 ^{Dc}	-54.4 ^{Aa}	10.3 ^{DEde}	73.2 ^{Cc}	3.52 ^{Bb}
7	籼稻	240.4 ^{Dd}	200.8 ^{Aa}	305.5 ^{Aa}	39.6 ^{Bc}	65.1 ^{Bb}	104.6 ^{Aa}	95.1 ^{Bb}	6.26 ^{Aa}
	粳稻	281.2 ^{Cd}	189.9 ^{ABa}	290.9 ^{Aa}	91.2 ^{Bc}	9.2 ^{Bb}	100.9 ^{Aa}	93.7 ^{Bbc}	6.03 ^{ABab}
	粳糯	168.4 ^{Aa}	89.7 ^{Aa}	101.2 ^{Aa}	78.7 ^{CDb}	-67.3 ^{ABb}	12.7 ^{Aa}	73.7 ^{Cc}	3.86 ^{Cc}

同列同类型品种的大、小写字母不同分别表示1%和5%水平的显著差异。

表3 不同类型稻谷品质变化主要特征值筛选

Table 3 The selection of main characteristics value with quality variation in different types of rice

品种	回归方程	复相关系数(R)	入选因子	F	P
籼稻	$Y=606.2699+0.09054X_1-0.4471X_4-96.364X_8$	0.9272*	$X_1、X_4、X_8$	9.31*	0.045
粳稻	$Y=3.19375+7.4971X_2-7.6068X_3+7.8549X_6$	0.9751**	$X_2、X_3、X_6$	19.35*	0.018
粳糯	$Y=-325.3616-0.05097X_1+0.1911X_4-0.2300X_6+4.4612X_7$	0.9931**	$X_1、X_4、X_6、X_7$	36.05**	0.027

*和**分别表示差异达0.05和0.01显著水平。 $X_1\sim X_8$ 分别代表PKV、HPV、CPV、BDV、SBV、CSV、PaT和PeT。

讨 论

本实验结果为在稻谷储藏至6个月后淀粉的CPV、CSV、PeT、PaT及SBV都明显地增加,而PKV和BDV则明显降低,表现为米饭口感、粘性等食用品质均有所下降。但不同类型品种在1~3个月中淀粉的PKV、HPV和CPV均先降后升,并伴随着二级数据CSV和BDV指标也表现同样曲线走势,SBV则呈先升后降走势。该现象可预示着刚收获稻谷在储藏3个月内种子胚乳淀粉的黏滞特性尚未稳定,这也是农业部稻米品质测试样品要求储藏3个月以上规定的原因(曾大力等2002)。

储藏期间黏度特征值变化时间点差异显著性

比较显示,3个类型中粳糯类稻谷其黏度特征值发生变化大又快,粳稻类则处于两者之间,籼稻类稻谷黏度特征值变化较慢,表明其稻谷较耐储藏。但实验测得不同类型水稻品种间的黏度特征值也存在着明显差异,除粳稻和粳糯类相对一致外,籼稻类品种间差异较大。研究表明,淀粉的黏度特征值主要与其胚乳中直链淀粉含量及品种的遗传背景(亲本的同源性)有着密切关系(Jane等1999; Bao和Xia 1999; Allahgholipour等2006; Bao等2006; Noda等2003),本实验采用的一些优良籼稻恢复系品种已被改良(如‘明恢63’等),由于改变了育成品种亲本的同源性,使其胚乳中直链淀粉含量明显

降低。因此, 籼稻类直链淀粉改良的品种其黏度特征值往往与粳稻类接近, 而与其他籼稻品种间却存在明显差异。

稻谷储藏是一个理化特性发生动态变化的过程, 水稻淀粉的理化特性与胚乳中淀粉含量和结构关系密切, 但水稻胚乳中的游离脂肪酸含量、 α -淀粉酶的活性、含水量和温度等众多因素同样影响着淀粉的理化特性(Jane等1999; Han和Hamaker 2001; Noosuk等2005; Patindol等2005; 张艳霞等2007; Zhou等2007; Tulyathan和Leeharatanaluk 2007), 从而影响米粉的糊化特性及黏度特征值。由于黏度特征值能客观地反映了稻米理化特性, 在检测方法上可一次完成多个理化品质评判指标(直链淀粉、胶稠度、糊化温度等), 减少了传统烦琐的检测, 故国内外学者已提出用淀粉黏度特征值来评判稻米食用品质优劣(Meadows 2002; Limpisit和Jindal 2002; Bao等2004; 李刚等2009)。本文通过建立储藏时间与淀粉黏度特征值优化方程后, 认为可以筛选反映不同类型稻谷食用品质变化的RVA主要特征值, 再结合稻米营养品质的一些指标, 建立一个综合参数来评价水稻品种稻谷耐储藏性。

一般而言, 收获稻谷随着储藏时间的延长稻米食用品质明显下降, 其胚乳淀粉RVA特征值的PKV和BDV表现下降。但本实验结果在储藏至6~7个月后, 其粳糯类稻谷RVA谱特征值中的PKV与籼稻、粳稻类表现相反, 呈增加趋势, 因特征值BDV和SBV属于二级数据, 并与PKV计算关联, 导致它们的曲线变化也不同于其他2个类型, 而HPV、CPV、CSV、PaT和PeT特征值均与其他2类稻谷表现趋势一致。待储藏至一年后, 再测定3个类型稻谷淀粉黏度特征值, 其粳糯类PKV仍表现增加趋势(数据未列), 但在3个类型稻谷RVA特征值中的HPV、CPV、CSV、PaT和PeT这5个特征值变化趋势仍表现一致。由于实验所用材料有限, 储藏处理稻谷的RVA特征值测定时间点偏少, 影响淀粉黏度特征值的因素较多, 储藏期间粳糯类在后期特征值出现反常的原因和机理尚不明确, 故还有待于进一步深入研究。

参考文献

陈业坚, 舒庆尧, 张增勤, 刘守平, 何方印, 黄善军(2002). 不同贮藏时间与种植季节对稻米品质的影响. 浙江农业学报, 14 (1): 20~23

- 李刚, 邓其明, 李双成, 王世全, 李平(2009). 稻米淀粉RVA谱特征与品质性状的相关性. 中国水稻科学, 23 (1): 99~102
- 舒庆尧, 吴殿星, 夏英武, 高明尉, McClung A (2000). 稻谷短期贮藏过程中稻米品质变化. 浙江农业学报, 12 (1): 1~5
- 曾大力, 钱前, 国广泰史, 滕胜, 藤本宽(2002). 稻谷储藏特性及其与籼粳特性的关系研究. 作物学报, 28 (4): 551~554
- 张艳霞, 丁艳锋, 李刚华, 王强盛, 黄丕生, 王绍华(2007). 直链淀粉含量不同的稻米淀粉结构、糊化特性研究. 作物学报, 33 (7): 1201~1205
- 周显青, 张玉荣(2008). 储藏稻谷品质指标的变化及其差异性. 农业工程学报, 24 (12): 238~242
- Allahgholipour M, Ali AJ, Alinia F, Nagamine T, Kojima Y (2006). Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties. Plant Breeding, 125: 357~362
- Bao JS, Shen SQ, Xia YW (2006). Analysis of genotype \times environment interaction effects for starch pasting viscosity characteristics in *indica* rice. Acta Genet Sin, 33 (11): 1007~1013
- Bao JS, Shen SQ, Xie JK (2004). A study on the improvement of eating quality of early *indica* rice with the assistance of RVA. Mol Plant Breeding, 2 (1): 49~53
- Bao JS, Xia YW (1999). Genetic control of the paste viscosity characteristics in *indica* rice (*Oryza sativa* L). Theor Appl Genet, 98: 1120~1124
- Bason ML, Blakeney AB, Booth R (1994). Assessing rice quality using the RVA—Results of an international collaborative trial. RVA World, (6): 2~5
- Han XZ, Hamaker BR (2001). Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. J Cereal Sci, 34: 279~284
- Jane J, Chen YY, Lee LF, McPherson AE, Wong KS, Radosavljevic M, Kasemsuwan T (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chem, 76: 629~637
- Limpisit P, Jindal VK (2002). Comparison of rice flour pasting properties using brabender viscoamylograph and rapid visco analyser for evaluating cooked rice texture. Starch-Stärke, 54: 350~357
- Meadows F (2002). Pasting process in rice flour using rapid visco analyser curves and first derivatives. Cereal Chem, 79 (4): 559~562
- Noda T, Nishiba Y, Sato T, Suda I (2003). Properties of starches from several low-amylose rice cultivars. Cereal Chem, 80 (2): 193~197
- Noosuk P, Hill SE, Farhat IA, Mitchell JR, Pradipasena P (2005). Relationship between viscoelastic properties and starch structure in rice from Thailand. Starch-Stärke, 57: 587~598
- Patindol J, Wang YJ, Jane JL (2005). Structure-functionality changes in starch following rough rice storage. Starch-Stärke, 57: 197~207
- Tulyathan V, Leecharatanaluk B (2007). Changes in quality of rice (*Oryza sativa* L.) cv. Khao Dawk Mali 105 during storage. J Food Biochem, 31: 415~425
- Zhou Z, Robards K, Helliwell S, Blanchard C (2003). Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. Food Res Int, 36: 625~634
- Zhou ZK, Robards K, Helliwell S, Blanchard C (2007). Effect of the addition of fatty acids on rice starch properties. Food Res Int, 40: 209~214