

# 储藏稻谷品质指标的变化及其差异性

周显青, 张玉荣

(河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450052)

**摘要:** 为了探讨储藏稻谷品质的变化规律及其影响因素, 该文对国内不同储藏区域、储藏年限的180个商品稻谷样品的电导率(ECR)、丙二醛含量(MDAC)、脂肪酸值(FAV)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)活性等品质指标进行了测定, 然后, 采用SPSS10.0统计软件对这些测定数据进行差异分析。结果表明: 随着稻谷储藏时间的延长和陈化程度的加深, ECR、MDAC、FAV逐渐增大, 而CAT、POD、PPO的活性逐渐降低, 这些指标在一定程度上反映不同储藏年限间稻谷品质的差异, 其中显著影响稻谷新鲜度的指标是FAV、ECR、MDAC和PPO活性, 尤以FAV的差异最大; 而不同储藏地域的气候条件以及稻谷类型上的差异也将对储藏稻谷品质指标的变化产生显著的影响。

**关键词:** 储藏, 品质控制, 差异性分析, 稻谷

**中图分类号:** TS210.1, S511

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-12-0238-05

周显青, 张玉荣. 储藏稻谷品质指标的变化及其差异性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 238—242.

Zhou Xianqing, Zhang Yurong. Changes and differential analysis of the quality indexes of stored paddy[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 238—242.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

稻谷是世界上3种最重要的谷物之一, 也是中国的主要粮种。基于稻谷生产的季节性, 为了满足人们的常年需求, 并基于粮食安全与保障的需要, 不得不对其进行相当规模的储备, 另外, 从战略和减灾的角度考虑, 国家必须实施粮食国储制度, 强化宏观调控能力<sup>[1]</sup>。然而, 稻谷作为一个有生命的种子活体, 它在储藏期间由于籽粒本身的呼吸氧化作用、各种酶的作用、微生物及仓库害虫的侵害等, 其品质将随着储藏时间的延长或储藏条件与环境而不断变化, 甚至劣变。目前, 国内外关于稻谷储藏品质指标的研究较多, 如包清彬等<sup>[2]</sup>初步研究了不同储藏条件对糙米理化特性影响, 张萃明等<sup>[3]</sup>就大米储藏品质的炊饭特性指标进行了初步研究, 并提出了评价大米储藏品质的炊饭特性相关指标。张瑛等<sup>[4, 5]</sup>分析了稻谷储藏过程中理化特性变化及脂肪氧化酶与稻谷贮藏的陈化变质。Chrtil等<sup>[6]</sup>对不同储藏温度下稻米部分理化指标变化规律进行了研究, Aibara等<sup>[7]</sup>探讨了在储藏过程中米糠脂肪及脂肪酸的变化规律, 郑先哲<sup>[8]</sup>研究了稻米真空保鲜储藏原理和品质劣化机理。但到目前为止, 关于储藏稻谷电导率、丙二醛含量、过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性、多酚氧化酶活性等品质指标的变化规律和储藏稻谷品质的变化及其差异性的探讨和分析未见报道。因此研究上述品质指标的变化及其差异性分析, 对探讨储藏稻谷品质变化或劣变的进程及规律, 寻找减缓稻谷品质下降的措施以及筛选稻谷新鲜度及储藏品质敏感指标, 具有十分重要的现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究所用的180份稻谷样品分别取自不同稻谷主产区的湖北(籼稻,  $n=30$ )、湖南(籼稻,  $n=30$ )、重庆(籼稻,  $n=30$ )、黑龙江(粳稻,  $n=30$ )、江苏(粳稻,  $n=30$ )、吉林(粳稻,  $n=30$ )共6个省区粮食储备库及种植农户。样品的储藏时间为0~5 a, 每年各5份。样品经除杂后在4℃冷藏状态下存放。

### 1.2 主要试剂

硫代巴比妥酸、愈创木酚、三氯乙酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、磷酸二氢钾、高锰酸钾、30%过氧化氢、氢氧化钠、硫酸等, 试剂均为分析纯。

### 1.3 主要仪器、设备

80-1离心机(上海嘉定粮油检测仪器厂)、FSF粉碎机(上海嘉定粮油检测仪器厂)、恒温水浴锅(上海医疗器械五厂)、1010-3型鼓风恒温干燥箱(上海实验仪器有限公司)、SY88-TH砻谷机(双龙机械产业株式会社)、DDS-11At电导率仪(上海雷磁新泾仪器有限公司)、722可见分光光度计(惠普上海分析仪器有限公司)、TU-1810PC可见光紫外分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。

### 1.4 试验方法

#### 1.4.1 水分测定

按照GB5497-1985方法。

#### 1.4.2 脂肪酸值(FAV)测定

按照GB/T 20569-2006方法。

#### 1.4.3 电导率(ERC)测定

参照文献[9]方法测定。将稻谷脱壳后, 从中精选40粒外观无损伤的糙米并称重, 先用蒸馏水冲洗3次, 然后用滤纸吸干浮水置于带塞试管中, 加入50 mL蒸馏水浸泡, 同时做一空白样。30℃恒温水浴13 h后, 用DDS-11At电导率仪于室温下(25℃)测定浸泡液的电导率。

收稿日期: 2008-03-16 修订日期: 2008-08-30

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2004BA523A07-1)

作者简介: 周显青(1964—), 男, 江西吉水县人, 副教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事谷物科学及产后加工与利用研究。郑州市嵩山南路140号河南工业大学粮油食品学院, 450052。Email: xianqingzh@163.com

1.4.4 过氧化氢酶（CAT）活性测定

按照 GB/T 5522-85 方法。

1.4.5 过氧化物酶（POD）活性测定

参照文献[10]方法测定。

酶液提取：将稻谷脱壳后进行预粉碎。称取粉碎后的糙米粉（1.00±0.01）g，加入 10 mL 20 mmol/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 提取液研磨匀浆，4000 r/min 离心 15 min 后将上清液稀释定容至 12 mL，测其酶活性；

酶活测定：吸取上述酶液 1 mL（空白加 1 mL 20 mmol/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>），再加入反应混合液 3 mL，启动反应。测定 470 nm 波长处的吸光度值，每隔 1 min 读数 1 次，共测定 5 min。以每分钟内 ΔA<sub>470</sub> 变化 0.01 为 1 个过氧化物酶活力单位 U。

$$A_{POD}(U) = (\Delta A_{470} \cdot Vt) / (0.01W \cdot Vs \cdot t)$$

式中 A<sub>POD</sub>——过氧化物酶活，U；ΔA<sub>470</sub>——反应时间内吸光度值的变化；W——玉米粉质量，g；t——反应时间，min；Vt——提取酶液总体积，mL；Vs——测定时取用酶液体积，mL。

1.4.6 多酚氧化酶（PPO）活性测定

酶液提取：将稻谷脱壳后进行预粉碎。称取（3.00±0.01）g 的糙米粉，放入研钵，加 10 mL 的磷酸缓冲液（pH 6.0）研磨匀浆。将匀浆液全部转入离心管中，以 4000 r/min 离心 10 min。上清液定容至 10 mL。

酶活测定：测定方法参照文献[11]并加以修改。取 1 mL 酶液和 2 mL 邻苯二酚（0.08 mol/L）于 37℃ 水浴 5 min，然后在比色皿中混合，在 722 分光光度计上 420 nm 处测吸光值变化，每隔 30 s 读 1 次，共读 4 次，然后计算酶活性。

1.4.7 稻谷丙二醛含量（MDAC）测定

参照文献[12]方法测定。

丙二醛 提取：将稻谷脱壳后进行预粉碎。称取粉碎后的糙米粉（2.00±0.01）g，加入 10% 的三氯乙酸（TCA）提取液研磨匀浆，4000 r/min 离心 10 min 后将上清液定容至 10 mL，测定丙二醛的含量。

丙二醛 测定：测定方法参照文献[13]。吸取上清液 2 mL（空白为 2 mL 蒸馏水），再加入 2 mL 0.6 % 的硫代巴比妥酸（TBA）溶液，混匀。将混合物沸水浴 15 min 后冷却离心，取上清液测定 450 nm、532 nm 和 600 nm 波长处的吸光度值 A<sub>450</sub>、A<sub>532</sub> 和 A<sub>600</sub>。同时做空白。

按公式 C=6.45（A<sub>532</sub>-A<sub>600</sub>）-0.56A<sub>450</sub> 算出丙二醛的浓度，再算出单位质量糙米中的丙二醛含量（μmol/g）。式中 C 的单位是 μmol/L，试验均重复 3 次，求其平均值。

1.5 数据处理方法

利用 SPSS10.0 统计软件（One-Way ANOVA）对数据进行分析处理，均值采用 LSD 多重比较检验法和单因素方差分析法等<sup>[14]</sup>。

2 结果与分析

2.1 稻谷品质指标的变化及其差异分析

为了考察不同储藏区域、储藏年限和类型稻谷（粳/籼）品质指标的变化及其差异性，分别选取4个储藏区域（湖北、湖南、黑龙江和江苏）、储藏年限（0~5 a）稻谷样品各5份，测定其各项品质指标，然后对各储藏年限稻谷样品品质指标的数值进行样本均值、标准差的统计分析以及各指标数值在储藏年限间差异显著性的方差分析，结果见表1。

表1 储藏稻谷品质指标的变化及其差异分析

Table 1 Changes and differential analysis of paddy quality indexes of stored paddy

T	n	电导率/μS·(cm·g) <sup>-1</sup>	过氧化氢酶/mg·g <sup>-1</sup>	过氧化物酶/U·g <sup>-1</sup>	多酚氧化酶/U·g <sup>-1</sup>	丙二醛/μmol·g <sup>-1</sup>	脂肪酸值/×10 <sup>-2</sup> mg·g <sup>-1</sup>
0	20	48.81±13.22a	34.19±10.87a	105.51±45.89a	31.17±10.06a	0.48±0.18a	15.38±2.86 a
1	20	71.94 ±10.11b	17.35±7.48b	77.37±22.86b	5.53±2.25b	0.72±0.26b	23.88±2.98b
2	20	70.81±15.98b	12.53±5.34c	56.05±21.17c	3.39±1.00c	0.84±0.30b	32.89±8.64c
3	20	77.25±10.98c	8.14±4.70d	34.95±24.81d	2.44±0.68d	0.88±0.42b	37.97±7.06d
4	20	78.56±15.23c	9.10±6.34d	44.40±20.77d	2.34±1.57d	1.66±0.31c	38.93±6.25d
5	20	91.69±18.26d	8.12±4.15d	27.57±22.08d	2.33±1.03d	1.38±0.47d	56.18±17.01e

注：1.T—储藏年限，n—样本量（平均值±标准差）；2.同一列数值标以相同字母者表示差异不显著（P>0.05），标以完全不同字母表示差异显著（P<0.05）。

不同储藏年限稻谷各品质指标的平均值（表1）表明：电导率、脂肪酸值、丙二醛含量在新收获稻谷中为数值较低，其值分别为48.81 μS/(cm·g)、15.38×10<sup>-2</sup> mg/g、0.48 μmol/g，随着储藏时间的延长而逐渐增大，其中储藏 5 a 的稻谷的电导率和脂肪酸值变化最大，达到 91.69 μS/(cm·g)和56.18×10<sup>-2</sup> mg/g；而稻谷过氧化氢酶、过氧化物酶、多酚氧化酶活性数值的变化却是随着储藏时间的延长逐渐降低。其最大值出现在新收获的稻谷中，分别为34.19 mg/g、105.51 U/g、31.17 U/g；最小值出现在储藏5 a的稻谷中分别为8.12 U/g、27.57 U/g和2.33 U/g。这表明随着储藏时间的延长稻谷细胞膜的透性逐渐增大，稻谷体内这3种氧化还原酶的活性逐渐降低，稻谷品

质逐渐下降。

稻谷各品质指标在不同储藏年限间的数值差异显著性显示：所有指标在新收获稻谷与陈稻谷（1~5 a）间都存在显著的差异（P<0.05）；过氧化氢酶、过氧化物酶、多酚氧化酶的活性数值在0~3 a之间存在显著的差异，而在3~5 a间差异不显著（P>0.05），说明这3种酶在储藏前3年的变化较大，而在储藏后期其值的变化不再受其环境的影响，因此不能仅用该3个指标反映稻谷储藏后期品质劣变的差异程度；丙二醛含量的数值在0~1、3~5 a 间存在显著的差异，但在1~3年间的数值差异不显著，由此表明丙二醛含量可反映稻谷储藏初期和后期品质劣变的差异程度；稻谷脂肪酸值除了在3~4 a的数值差异不

显著外，其余各个年限间脂肪酸值的数值差异都达到显著水平，表明脂肪酸值可较好地反映不同储藏年限间稻谷品质劣变的差异程度。换言之，脂肪酸值、电导率、丙二醛含量和多酚氧化酶活性对稻谷的新鲜度（以储藏时间表示），具有显著的影响，其中尤以脂肪酸值对新鲜

度变化最为敏感。

## 2.2 储藏地域差异分析

根据所测样品来源的地域分布特点，对于储藏 1、3、5 a 黑龙江和江苏的粳稻样品的各指标进行地域的方差分析，其结果见表 2。

表 2 稻谷品质指标变化的储藏地域间差异分析  
Table 2 Differential analysis of changes of quality indexes of stored paddy in different regions

指标	储藏 1 a (n=5)		F 值	显著性	储藏 3 a (n=5)		F 值	显著性	储藏 5 a (n=5)		F 值	显著性
	黑龙江	江苏			黑龙江	江苏			黑龙江	江苏		
电导率	67.81±7.97	69.67±13.98	0.010	0.925	69.19±4.14	72.33±5.39	0.652	0.443	61.76±2.59	82.20±7.34	20.834	0.002**
丙二醛	0.81±0.09	0.85±0.13	0.296	0.615	0.73±0.06	1.07±0.45	2.234	0.173	1.33±0.71	1.80±0.54	2.906	0.127
脂肪酸值	20.13±3.95	25.75±0.92	2.147	0.217	38.20±5.74	43.80±7.79	0.668	0.437	57.47±22.49	69.97±7.68	1.925	0.203
过氧化氢酶	18.35±0.29	14.58±12.45	0.490	0.523	12.94±4.51	6.57±2.25	14.864	0.005**	11.61±3.60	2.25±1.99	5.684	0.004**
过氧化物酶	68.05±9.45	61.90±2.90	0.730	0.441	54.47±8.56	25.91±12.80	22.271	0.002**	35.68±34.99	12.12±8.28	4.144	0.076
多酚氧化酶	6.12±2.79	5.16±3.95	0.126	0.740	1.94±0.11	2.03±0.33	0.285	0.608	2.59±1.00	1.49±1.01	2.523	0.151

注：采用单因素方差分析；\*\* 表示 $P<0.05$ 的显著水平。

黑龙江和江苏的粳稻样品各指标均值大小的比较表明，除了储藏 5 a 的江苏粳稻样品的丙二醛含量低于黑龙江的以外，其余各储藏年限的电导率、脂肪酸值、丙二醛含量的均值都大于黑龙江样品；除了储藏 3 a 的江苏粳稻样品的多酚氧化酶活性略大于黑龙江省的外，其余储藏年限的过氧化氢酶、过氧化物酶、多酚氧化酶活性都小于黑龙江样品的酶活性。相关的方差分析还表明：黑龙江与江苏粳稻各指标数值在储藏 1 a 时差异不显著，而在储藏 3、5 a 时部分指标数值差异达到显著水平。从 1 年与 3、5 a 显著性值变化可看出，随着稻谷储藏时间的延长和陈化程度的加深，黑龙江与江苏粳稻各指标数值间的差异也趋于显著。上述现象产生的原因从地域上看主要是黑龙江与江苏地域间较大的气候差异。黑龙江主

要以低温干燥的气候为主，而江苏主要以高温潮湿的气候为主，这造成两地储藏粳稻品质指标在变化速度上出现了较大的差异，且随着储藏时间的延长，两地品质指标间数值的差异将趋于显著。这反映出不同地域间的气候差异对储藏稻谷的品质指标的变化产生了重要影响。因此建议研究与判断稻谷储藏品质时间应将不同区域稻谷分开考虑。

## 2.3 稻谷类型差异分析

考虑地域对储藏稻谷品质变化的影响以及研究所用样品的实际情况，本文对长江流域（相近气候区域）的江苏粳稻与湖北籼稻样品品质指标的数值分别进行类型（籼稻/粳稻）的方差分析，结果见表 3。

表3 稻谷品质指标变化的稻谷类型间差异分析  
Table 3 differential analysis of effects of paddy types on changes of storage quality indexes of paddy

T	类型	n	电导率/ $\mu\text{S} \cdot (\text{cm} \cdot \text{g})^{-1}$	丙二醛/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$	脂肪酸值/ $10^{-2} \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	过氧化氢酶/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	过氧化物酶/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$	多酚氧化酶/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$
1	粳稻	5	58.69±8.53a	0.72±0.22a	22.87±3.32a	17.55±7.72a	83.88±27.53a	5.24±2.42a
	籼稻	5	75.19±10.93a	0.72±0.30a	23.88±2.77a	17.15±7.64a	70.86±15.85a	5.82±2.16a
2	粳稻	5	53.90 ± 6.91a	0.89 ± 0.31a	40.43 ± 6.35a	11.32 ± 4.17a	28.07 ± 11.68a	2.96 ± 0.69a
	籼稻	5	85.52 ± 5.41b	0.82 ± 0.21a	28.40±5.74b	12.02 ± 2.03a	67.70 ± 12.89b	4.59 ± 0.74b
3	粳稻	5	72.33 ± 5.39a	1.07 ± 0.45a	43.80 ± 7.79a	6.57 ± 2.25a	25.91 ± 12.80a	2.03 ± 0.33a
	籼稻	5	88.78 ± 6.26b	1.00 ± 0.42a	32.26 ± 8.40b	8.81 ± 4.66b	36.77 ± 33.96b	3.08 ± 0.73b
4	粳稻	5	75.28 ± 5.40a	1.56 ± 0.18a	47.07 ± 5.35a	4.21 ± 3.98a	17.67 ± 13.76a	2.74 ± 0.54a
	籼稻	5	95.15 ± 6.42b	1.18 ± 0.17b	35.73 ± 5.10b	7.70 ± 3.35b	41.26 ± 21.51b	2.40 ± 0.89a
5	粳稻	5	82.20 ± 7.34a	1.80 ± 0.54a	69.97 ± 7.68a	2.25 ± 1.99a	12.12 ± 8.28a	1.49 ± 0.63a
	籼稻	5	106.96 ± 5.52b	1.31 ± 0.30b	49.83 ± 7.24b	5.84 ± 2.35b	30.71 ± 16.92b	3.03 ± 0.71b

注：T—储藏年限，n—样本量（平均值±标准差）；数值标以相同字母者表示差异不显著（ $P>0.05$ ），标以完全不同字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

从表 3 可以看出：电导率除了在储藏年限为 1 a 时数值在稻谷类型间未达到显著水平外，其余各储藏年限均达到显著水平；丙二醛含量在储藏 4 a 以后类型间差异显著；脂肪酸值储藏 1 a 后类型间差异显著；过氧化氢酶活性在各储藏年限时的数值在稻谷类型间均未达到显著水平；过氧化物酶活性除了在储藏年限为 1 a 时数值在稻谷类型间达到显著水平外，其余各储藏年限均未达到显著

水平；多酚氧化酶活性除了在储藏年限为 3 a 时数值在稻谷类型间达到显著水平外，其余各储藏年限均未达到显著水平。因此，从相同储藏年限粳稻和籼稻的品质指标数值在稻谷类型间的差异显著性来看，各储藏年限稻谷的过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性、多酚氧化酶活性、丙二醛含量的变化主要与稻谷储藏时间的长短有关，与稻谷类型（籼/粳）的关系不大，而各储藏年限稻谷的电

导率和脂肪酸值的变化与其储藏时间的长短及类型均有关，其原因主要是由于这两个指标与稻谷细胞膜在储藏过程的物理化学变化存在着密切联系。这与包清彬等<sup>[15]</sup>和周显青等人<sup>[16]</sup>的研究得出的结论相一致。同时也印证国标中稻谷储存品质将按照粳稻和籼稻两种规则分别进行判定的科学性。

2.4 稻谷新鲜度差异分析

对新鲜度（用储藏时间长短区分）不同的湖南籼稻/吉林粳稻样品的储藏品质指标数值进行样本均值、标准差的统计分析以及各指标数值在新鲜度间差异显著性的分析，结果见表 4 和表 5。

表4 储藏籼稻指标的新鲜度差异比较

Table 4 Differential analysis of freshness and storage quality indexes of Indica paddy

<i>T</i>	<i>n</i>	电导率/ $\mu\text{S} \cdot (\text{cm} \cdot \text{g})^{-1}$	过氧化氢酶/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	过氧化物酶/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$	多酚氧化酶/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$	丙二醛/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$	脂肪酸值/ $\times 10^{-2} \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$
0	5	58.89±8.25a	32.62±7.17a	83.41±32.44a	29.56±5.85a	0.40±0.13a	17.42±2.03a
1	5	75.19±10.93b	17.15±7.64b	70.86±15.85b	5.82±2.16b	0.72±0.30b	23.88±2.77b
2	5	83.48±8.43c	11.75±4.91c	60.38±20.38c	3.64±1.14c	0.73±0.37b	28.40±5.74c
3	5	83.85±9.93c	8.14±4.07d	37.52±28.18d	1.86±0.67d	0.92±0.46c	35.79±7.66d
4	5	91.20±8.27d	9.06±4.40d	45.20±21.98d	2.89±1.27d	1.58±0.17d	35.09±4.53d
5	5	107.32±5.15e	8.23±3.66d	38.05±17.40d	2.07±0.68d	1.39±0.49e	46.14±14.08e

注：*T*—储藏年限，*n*—样本量（平均值±标准差）；同一列数值标以相同字母者表示差异不显著（*P*>0.05），标以完全不同字母表示差异显著（*P*<0.05）。

表5 储藏粳稻指标的新鲜度差异比较

Table 5 Differential analysis of freshness and storage quality indexes of Japonica paddy

<i>T</i>	<i>n</i>	电导率/ $\mu\text{S} \cdot (\text{cm} \cdot \text{g})^{-1}$	过氧化氢酶/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	过氧化物酶/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$	多酚氧化酶/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$	丙二醛/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$	脂肪酸值/ $\times 10^{-2} \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$
0	5	38.73±8.66a	35.77±13.87a	127.62±48.04a	32.77±13.18a	0.55±0.19a	13.35±1.96a
1	5	68.69±8.53b	17.55±7.72b	83.88±27.53b	5.24±2.42b	0.72±0.22b	23.87±3.32b
2	5	58.14±10.53c	13.31±5.89c	51.73±22.11c	3.14±0.82c	0.95±0.25c	37.38±8.94c
3	5	70.65±7.70d	7.04±5.23d	32.39±22.15d	1.20±0.26d	0.94±0.38c	40.14±6.01d
4	5	65.92±8.15d	10.14±7.95d	43.61±20.64d	2.60±1.86d	1.84±0.31d	42.76±5.41d
5	5	76.07±11.62e	8.13±4.80d	37.09±11.76d	1.82±1.09d	1.37±0.48e	66.22±13.72e

注：*T*—储藏年限，*n*—样本量（平均值±标准差）；同一列数值标以相同字母者表示差异不显著（*P*>0.05），标以完全不同字母表示差异显著（*P*<0.05）。

从不同新鲜程度的籼稻及粳稻的电导率、脂肪酸值、丙二醛含量的均值来看，新收获籼稻及粳稻的电导率、脂肪酸值、丙二醛含量最小，其值分别为 58.89  $\mu\text{S}/(\text{cm} \cdot \text{g})$ 、 $17.42 \times 10^{-2} \text{mg/g}$ 、0.40  $\mu\text{mol/g}$  和 38.73  $\mu\text{S}/(\text{cm} \cdot \text{g})$ 、 $13.35 \times 10^{-2} \text{mg/g}$ 、0.55  $\mu\text{mol/g}$ ，随着籼稻及粳稻储藏时间的延长，其电导率、脂肪酸值、丙二醛含量逐渐增大，储藏 5 年的籼稻/粳稻电导率和脂肪酸值以及储藏 4 年的籼稻/粳稻丙二醛含量最大，数值分别为 107.32  $\mu\text{S}/(\text{cm} \cdot \text{g})$ 、 $46.14 \times 10^{-2} \text{mg/g}$ 、1.58  $\mu\text{mol/g}$  和 76.07  $\mu\text{S}/(\text{cm} \cdot \text{g})$ 、 $66.22 \times 10^{-2} \text{mg/g}$ 、1.84  $\mu\text{mol/g}$ 。这反映出随着籼稻/粳稻陈化程度（储藏时间）的加深（延长），籼稻/粳稻细胞膜的透性是逐渐增大、膜质过氧化是逐渐加剧的，导致储藏品质逐渐下降。从储藏籼稻/粳稻电导率、脂肪酸值、丙二醛含量在不同新鲜度间的均值差异显著性可以看出：籼稻丙二醛含量的数值除了在 1~2 a 间的变化不存在显著性的差异外，在其余各储藏年限间的数值差异均显著；粳稻丙二醛含量的数值除了在 2~3 a 间的变化不存在显著性的差异外，在其余各储藏年限间的数值差异均显著。籼稻/粳稻脂肪酸值除了在 3~4 a 的数值差异不显著外，其余各个年限间脂肪酸值的数值差异都达到显著水平。这说明脂肪酸值、丙二醛含量基本上能够反映储藏 0~5 a 籼稻/粳稻在新鲜程度上的差异。籼稻电导率均值除了在 2~3 a 间的变化不存在显著的差异外，在其余各年份间的数值差异均显著；粳稻电导率在

各年份间的数值差异均显著。此外，从不同新鲜度籼稻及粳稻电导率的均值还可以发现：在 0~5 a 储藏期间内粳稻电导率变化的波动性很大，而籼稻电导率变化很小，籼稻电导率随储藏时间变化的规律性要强于粳稻。这说明电导率基本上能较好反映储藏 0~5 a 籼稻在新鲜程度上的差异。

新收获籼稻及粳稻的过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性、多酚氧化酶活性最大，其值分别为 32.62  $\text{mg/g}$ 、83.41  $\text{U/g}$ 、29.56  $\text{U/g}$  和 35.77  $\text{mg/g}$ 、127.62  $\text{U/g}$ 、32.77  $\text{U/g}$ ，随着储藏时间的延长，它们的活性逐渐降低，其中储藏 3 a 籼稻及粳稻过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性、多酚氧化酶活性最小，数值为 8.14  $\text{U/g}$ 、37.52  $\text{U/g}$ 、1.86  $\text{U/g}$  和 7.04  $\text{U/g}$ 、32.39  $\text{U/g}$ 、1.20  $\text{U/g}$ 。这反映出随着籼稻及粳稻储藏时间的延长及陈化程度的加深，籼稻/粳稻体内氧化还原酶活性变化的总趋势是逐渐降低的，但在 3~5 a 储藏期间也出现小的波动。这主要是由于籼稻/粳稻膜质过氧化产物丙二醛含量的大量积累，刺激了体内氧化还原酶系统，造成酶活性的小幅度增强。从籼稻/粳稻过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性、多酚氧化酶活性在不同新鲜度间的均值差异显著性可以看出：所有指标在新籼稻/粳稻与陈籼稻/粳稻（1~5 a）间均存在显著的差异；籼稻/粳稻的过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性、多酚氧化酶活性数值在 0~3 a 之间都存在显著的差异，而在 3~5 a 间差异都不显著，说明这 3 种酶可以反映储藏前期籼

稻/粳稻的新鲜程度,但不能反映储藏后期籼稻/粳稻的新鲜程度。

### 3 结 论

1) 随着稻谷储藏时间的延长和陈化程度的加深,稻谷电导率、丙二醛含量、脂肪酸值将逐渐增大,而过氧化氢酶、过氧化物酶、多酚氧化酶的活性将逐渐降低。这些指标可在很大程度上反映不同储藏年限间稻谷品质的差异程度。其中对新鲜度有显著影响的指标是脂肪酸值、电导率、丙二醛含量和多酚氧化酶活性,尤以脂肪酸值对新鲜度变化最为敏感。

2) 不同地域气候条件差异将对储藏稻谷品质指标的变化产生较大的影响,低温干燥的气候环境比高温潮湿的气候环境更易于延缓稻谷品质的劣变。

3) 稻谷类型对储藏稻谷品质指标的变化也有一定的影响,因此,研究和分析储藏稻谷品质指标时有必要对其进行分类处理。

4) 脂肪酸值、丙二醛含量可反映籼稻/粳稻在新鲜程度的差异,而电导率只能反映籼稻在新鲜程度上存在的差异;过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性、多酚氧化酶的活性数值可反映储藏前期(0~3 a)籼稻/粳稻在新鲜度的差异,但难于反映储藏后期(3~5 a)籼稻/粳稻在新鲜度的差异。

本研究仅对储藏稻谷品质指标变化及差异性进行了初步探讨,还需扩大样品数量,并考虑微生物活动的干扰,就储藏稻谷品质指标变化规律需进一步开展更深层次的研究工作。

#### [参 考 文 献]

- [1] 张玉荣,王东华,周显青,等. 稻谷新陈度的研究——稻谷储藏品质指标与储藏时间的关系[J]. 粮食与饲料工业, 2003, (8): 8—10.

- [2] 包清彬,猪谷富雄. 储藏条件对糙米理化特性影响的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 25—27.
- [3] 张萃明,三轮精博,後藤清和. 评价大米储藏品质的炊饭特性指标的研究[J]. 农业工程学, 1997, 13(4): 193—197.
- [4] 张瑛,吴先山,吴敬德,等. 稻谷储藏过程中理化特性变化的研究[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(6): 20—28.
- [5] 张 瑛,吴跃进,吴敬德,等. 脂肪氧化酶与稻谷贮藏的陈化变质[J]. 安徽农业科学, 2001, 29(5): 565—566.
- [6] Chratil J. Chemical and physicochemical changes of rice during storage at different temperatures[J]. J Cereal Science, 1990, 11(1): 71—85.
- [7] Aibara S, Ismail I A. Changes in rice bran lipids and fatty acids during storage[J]. Agriculture Biology Chemistry, 1986, 50(3): 665—673.
- [8] 郑先哲. 稻米真空保鲜储藏技术研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 167—170.
- [9] 黄学林,陈润政. 种子生理实验手册[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 155—157.
- [10] 郝再彬,苍 晶,徐 仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 115—116.
- [11] 杨朝柱,马传喜,司红起,等. 小麦籽粒多酚氧化酶活性检测方法的研究[J]. 麦类作物学报, 2003, 23(1): 37—40.
- [12] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 124—126.
- [13] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 305—306.
- [14] 郝黎仁,樊 元,郝哲欧,等. SPSS实用统计分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 110—182.
- [15] 包清彬,猪谷富雄. 糙米储藏理化特性变化的品种间差异研究[J]. 农业工程学报, 2000(增), 16: 87—89.
- [16] 周显青,张玉荣,张 勇. 储藏玉米陈化机理及挥发物与品质变化的关系[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7): 242—246.

## Changes and differential analysis of the quality indexes of stored paddy

Zhou Xianqing, Zhang Yuyong

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

**Abstract:** In order to investigate the quality changes of stored paddy and their influencing factors, the quality indexes, such as electrical conductivity rate (ECR), malondialdehyde content (MDAC), fatty acid value (FAV), catalase (CAT), peroxidase (POD) and polyphenoloxidase (PPO) were measured for 180 commercial paddy samples from different storage regions with different storage time periods. Those measured data were analyzed by SPSS10.0. The results showed that ECR, MDAC and FAV of paddy increased with the storage time prolonging and the deterioration enhancing, while the activities of POD, CAT and PPO decreased. Those indexes to some degree reflect the storage quality differences of paddy stored for different years. The remarkable indexes are FAV, ECR, MDAC and the activity of PPO and the most significant index to paddy freshness is FAV. Furthermore, the climate conditions of different storage regions and paddy types have a significant influence on the changes of quality indexes of stored paddy, as well as the freshness of paddy.

**Key words:** storage, quality control, differential analysis, paddy