

短波紫外线对大米脂肪酸氧化及微生物污染的调控^{*}

刘霞 徐立男 陈圆圆 张轶斌 王伟 李喜宏

(天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

摘要: 探讨了短波紫外线(UV-C)对储藏期大米的陈化调控效应,特别是脂肪酸氧化和微生物污染的效应。使用UV-C以4 W/m²照射强度分别照射大米0、10、30和60 min后进行曝光和不曝光处理,0 min处理为对照,研究脂肪酸氧化调控关键酶——脂肪氧化酶(LOX-3)活性及产物丙二醛浓度、微生物总数、呼吸强度和细胞膜透性变化规律,明确UV-C调控大米陈化的最佳处理参数。结果表明:UV-C处理能有效抑制LOX-3活性,降低丙二醛浓度。UV-C照射30 min不曝光处理大米丙二醛浓度较对照降低62.78%,而60 min照射后不曝光处理丙二醛浓度略有增长。立即曝光处理会削弱紫外照射的作用效果,丙二醛浓度随着照射时间增长而降低,但变化率较小。微生物总数、呼吸强度、细胞膜透性的变化规律具有与丙二醛浓度相似的变化规律。因此认为,4 W/m²照射强度、照射时间30 min、照射后不曝光处理可有效抑制大米脂肪酸氧化和微生物污染,延缓大米陈化速率,提高大米储藏期品质与保鲜效果。

关键词: 大米 UV-C 储藏 脂肪酸氧化 微生物污染

中图分类号: TS205.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0167-05

Effect of UV - C Treatment on Fatty Acid Oxidation and Antimicrobial Activities of Rice

Liu Xia Xu Li'nan Chen Yuanyuan Zhang Yibin Wang Wei Li Xihong

(College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: Effect of UV - C treatment on rice ageing, especially fatty acid oxidation and antimicrobial activities during storage was investigated. The rice was irradiated at ultraviolet of 4 W/m² exposure intensity for 0, 10, 30 and 60 min, and then exposed or unexposed. The control rice was 0 min exposure. The changes of activities lipoygenase-3 (LOX-3), which was the key enzyme of resulting in the rice aging, and malondialdehyde (MDA) of fatty acid oxidation metabolism products, the amount of microorganisms, respiration rate and the permeability of membrane, were researched for illuminating effect of UV - C treatment on rice ageing and obtaining optimal processing parameter. The results showed that UV - C could inhibit LOX-3 activity, and reduce the content of MDA. Among the samples, content of MDA of 30 min irradiating time and unexposed to air was shaved up the most to 62.78%, but the content of MDA of 60 min irradiating time and unexposed to air was slightly increased. In addition, exposed to air immediately could delay effect of UV - C treatment. The content of MDA of exposed to air immediately was steadily reducing and the rate of change was lesser. Similar change rule was found out including the change of the total number of microorganisms, breathing intensity, cell membrane permeability. The result indicated that treatment of 4 W/m² exposure intensity for 30 min and unexposed to air could effectively inhibit fatty acid oxidation and antimicrobial activities of rice, delay rice aging and improve rice quality and effect of preservation.

Key words: Rice UV - C Storage Fatty acid oxidation Microbial pollution

收稿日期: 2013-05-24 修回日期: 2013-07-08

^{*} 国家自然科学基金资助项目(31000826)和天津市自然科学基金重点资助项目(12JCZDJC23400)

作者简介: 刘霞, 博士生, 主要从事农产品加工与贮藏工程研究, E-mail: liuxia831930@163.com

通讯作者: 李喜宏, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品加工与贮藏工程研究, E-mail: lixihong606@163.com

引言

大米储藏过程中理化性质产生系列变化导致品质下降,其中脂肪酸氧化和微生物污染是其主要原因^[1]。大量实验证明不饱和游离脂肪酸的过氧化反应是大米陈化的重要原因^[2-3],由于该反应的关键酶是脂肪氧化酶(LOX),故又称 LOX 途径。LOX 途径关键点为不饱和脂肪酸脂质过氧化产物(HPOD),HPOD 可以转换成其他活性氧而直接引起膜脂的流动性降低,使能量转换、物质运送、信息传递、细胞分裂与融合等生命活动不能正常进行。同时,脂质过氧化的各种中间产物本身会继续降解,生成二级氧化产物己醛、丙二醛等,其中己醛是大米陈化主要的气体物质。脂质过氧化的终产物丙二醛等会引起膜蛋白的共价交连与聚合,膜蛋白处于永久性缔结状态,失去在膜平面上的运动性。储藏过程中脂质变化对大米的食味品质尤其对大米风味变化影响极大,降低储藏过程中脂质氧化速率可提高储藏稻谷的食用品质。

微生物污染不仅使大米营养物质被微生物利用,而且微生物所带有的脂肪酶促进了脂肪酸氧化,微生物在代谢过程中分泌有毒物质,可传染疾病或成为致癌物^[4]。

利用短波紫外线(简称 UV-C)杀菌消毒一直是非常有效的手段,其原理是穿透微生物的细胞膜,破坏微生物 DNA 结构,导致其失去繁殖能力或死亡。利用 UV-C 照射进行采后保鲜在果蔬上应用较为广泛^[5-11],UV-C 处理果蔬不仅可抑制果蔬表面微生物,而且还能够抑制果蔬的呼吸强度,使超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)以及过氧化物酶(POD)等保持较高的活性^[8-11]。但是,应用短波紫外线对大米储藏上的研究鲜见报道。本文通过分析不同的紫外线照射时间、曝光方式对大米储藏期 LOX-3 活性、丙二醛、微生物、呼吸强度、细胞膜透性等的影响,解析 UV-C 调控大米脂肪酸氧化和微生物的效应。

1 材料与方法

1.1 大米材料

本试验使用的大米为津沽小站稻,种植于天津市宁河,采后自然晾晒 3 个月脱壳后储藏于天津市塘沽粮库。入库时间为 2011 年 2 月,采用地源热泵节能控温储藏,仓库内的温度随着时间的变化呈现出季节性变化,但其变化范围较室外温度变化范围小,仓温维持在 25℃ 以下。挑选无抱腰、无损害、无虫害品质较好的大米进行 UV-C 处理。

1.2 UV-C 照射处理

UV-C 处理采用紫外线灯管照射法,紫外线灯管品牌为 MW7A-Y18,功率 40 W,波长 253.7 nm,长度 60 cm,直径 2.5 cm,照射时灯管与大米的垂直距离为 36 cm,紫外辐照计测其紫外强度为 4 W/m²。

紫外辐射时,不断翻转大米,使大米表面全部都被紫外线照射。一定照射时间下的辐照剂量为紫外线强度与照射时间的乘积,具体 UV-C 照射处理见表 1。

曝光方式分为不曝光和曝光两种,其中不曝光的大米在照射后一直放在密闭不透光纸箱中,而曝光的大米在立即曝光 12 h 后被装入密闭纸箱中。处理结束后,取出测定指标。

表 1 UV-C 处理条件
Tab.1 Different treatments of UV-C

试验序号	辐照剂量/kJ·m ⁻²	照射时间/min	曝光方式
1	—	0(CK)	—
2	2.4	10	不曝光
3	2.4	10	立即曝光
4	7.2	30	不曝光
5	7.2	30	立即曝光
6	14.4	60	不曝光
7	14.4	60	立即曝光

1.3 脂肪氧化酶-3(LOX-3)活性

胡萝卜漂白法测定 LOX-3 的活性具有快速、准确的特点,参考 Kitamura 等的方法^[12]。

亚油酸的配置:吸取 310 μL 亚油酸分散于含有 360 μL 吐温 20 的 10 mL 脱氧蒸馏水中,在试管中反复振荡,令其混合均匀,加入几滴 2 mol/L 的 NaOH 使溶液澄清,用脱氧蒸馏水定容至 100 mL,用小试管分装并冲入氮气,放入 -20℃ 下贮存备用。

LOX-3 粗酶液的提取及测定:大米磨粉,称取 100 mg,放入试管(用锡箔纸包好)中,加入 2 mL Tris-HCl(pH 值 7.0),对照为 2 mL Tris-HCl,整个过程保持 4℃ 且间断震荡 1 h,提取粗酶液。胡萝卜素饱和丙酮溶液现用现配,5 mg 胡萝卜素与 5 mL 丙酮混合后,离心(5 000 r/min, 30 min),取上清液。试管中加入 1 mL 的 PBS,50 μL 亚油酸和 50 mL 的胡萝卜饱和丙酮溶液,40 μL 粗酶液,在 20℃ 下反应 10 min,然后加入 1 mL 甲醇终止漂白反应,在 234 nm 处读吸光度。

1.4 丙二醛浓度

采用硫代巴比妥酸显色法^[13],大米磨粉,称取 5 g,加入 8 mL 10% 三氯乙酸(TCA)和少量石英砂在研钵中磨碎后,再加入 2 mL TCA 后倒入离心管,离心(5 000 r/min, 30 min),取上清溶液到试管中,加入同体积的 0.6% 硫代巴比妥酸(TBA)(现用现

配),在沸水中加热 15 min,冷却后,转移到离心管中,离心(3 000 r/min,10 min),取出后,紫外分光光度计测定波长为 450、532、600 nm 处的吸光度 A_{450} 、 A_{532} 、 A_{600} 。

丙二醛浓度(单位:μmol/L)的计算公式为

$$C_{MDA} = 6.45(A_{532} - A_{600}) - 0.56A_{450} \quad (1)$$

1.5 微生物总数测定

取大米 5 g,以下操作均在无菌操作台进行,放入 45 mL 的生理盐水中,振荡 1 min 后,稀释度达 1/10,吸取 1 mL 加入到 9 mL 生理盐水的试管中,稀释度达 1/100,再从稀释度 1/100 的试管吸取 1 mL 加入到下一个 9 mL 生理盐水的试管中,稀释度达 1/1 000,再分别从稀释度 1/10、1/100、1/1 000 的试管吸取 1 mL 加入到 3 个培养皿中,倒入培养基,培养 48 h,计数。按照 GB 4789.2—2010 进行^[14]。

1.6 呼吸强度

用 GXH-3051H 红外线呼吸测定仪测定大米的呼吸强度,先把密闭容器的两个通气口打开,并和呼吸罐相连接,形成密闭环路。将待测大米放入呼吸罐内,调挡到“调零”,打开气泵,将呼吸罐内的 CO₂排除。调挡到测量,待仪器显示数值稳定后,记录时间和 CO₂体积分数 C_0 ,根据测定结果计算呼吸强度^[15]。

呼吸强度计算公式为

$$Q = \frac{1.65 \times 10^{-3} C_0 V}{14W} \frac{273}{273 + T} \quad (2)$$

- 式中 Q ——呼吸强度,mg/(kg·h)
 C_0 ——密闭容器内 CO₂的体积分数
 V ——密闭容器的总体积,mL
 W ——测定用大米的质量,kg
 t ——呼吸时间,min
 T ——测定时气温,25℃

1.7 电导率

取 50 mL 蒸馏水于三角烧瓶中,测其电导率为 A 。拣选大米 25 粒,先用蒸馏水清洗,再用滤纸擦干,放入盛有 50 mL 蒸馏水的三角瓶浸泡 13 h,取出后测其浸泡液的电导率 B ^[16]。大米浸出液的电导率计算公式为

$$R = B - A$$

2 结果与分析

2.1 UV-C 对大米脂肪酸氧化过程的影响

脂肪酸氧化酶是催化脂肪酸氧化,导致稻谷陈化、品质劣变的关键酶,LOX-3 可以分解不饱和脂肪酸,生成过氧化物,而过氧化物会电离出过氧化离子(O₂⁻),经过氧化等一系列过程最终生成丙二醛,导致大米陈化。丙二醛是脂质过氧化终产物,它能造

成细胞的生物膜及其功能的损害,随着大米储藏时间的延长,丙二醛含量会逐渐增加,所以丙二醛的含量是衡量大米品质的重要指标。一系列研究表明,抑制 LOX-3 表达是延缓稻谷陈化的途径^[1, 17-20], LOX-3 表达调控对于大米保鲜具有特殊意义,UV-C 对于大米储藏期大米脂肪酸氧化酶调控效应未见报道。

UV-C 照射后的大米,LOX-3 活性明显下降,照射 10 min 不曝光和曝光处理 LOX-3 活性分别下降 41.67% 和 63.10%。随着照射时间增加,LOX-3 活性下降越明显,照射 30 min 不曝光和曝光 LOX-3 活性分别下降 76.19% 和 83.33% (表 2)。相同照射时间和照射剂量处理大米,照射后不曝光处理明显比立即曝光处理酶活性下降缓慢。可见,UV-C 处理能有效调控 LOX-3 活性。

表 2 UV-C 处理后的 LOX-3 活性
Tab.2 Activity of LOX-3 after UV-C treatment

处理条件	处理时间/min			
	0 (CK)	10	30	60
不曝光	0.011 ±	0.02 ±	0.049 ±	0.084 ±
	0.006 2 ^c	0.004 2 ^c	0.009 4 ^{b*}	0.005 6 ^{a*}
立即曝光	0.011 ±	0.014 ±	0.031 ±	0.056 ±
	0.006 2 ^c	0.008 7 ^c	0.004 6 ^b	0.007 5 ^a

注:同一行字母表示不同处理时间显著性差异,*表示曝光与不曝光的显著性差异($p < 0.05$),下同。

LOX-3 催化脂肪酸氧化的终产物丙二醛浓度经 UV-C 处理后明显降低,不曝光处理的大米丙二醛浓度要显著低于未经 UV-C 照射和照射后立即曝光。照射 10 min 和 30 min 后不曝光处理的大米丙二醛浓度分别为 (0.187 ± 0.020) μmol/L 和 (0.115 ± 0.037) μmol/L, (0.309 ± 0.004) μmol/L 为对照,分别降低了 39.48% 和 62.78%。然而,当不曝光照射达 1 h 丙二醛浓度出现了增长现象,其浓度达到 (0.299 ± 0.008) μmol/L。立即曝光处理其丙二醛浓度变化较小,10、30 和 60 min 处理丙二醛浓度随着时间增长而降低,分别为 (0.298 ± 0.016) μmol/L、(0.250 ± 0.016) μmol/L 和 (0.222 ± 0.031) μmol/L (图 1)。可见,不曝光处理 30 min 照射是抑制脂肪酸终产物丙二醛产生的最佳处理工艺。

综合分析 LOX-3 活性和丙二醛浓度,照射时间在 30 min 内 LOX-3 活性降低是导致丙二醛浓度降低的主要原因。但是,照射时间超过 30 min,可能由于 UV-C 长时间照射造成活性氧如 O₂⁻、OH、H₂O₂、O₂等 ROS 产物的产量增加,膜脂过氧化作用启动,导致丙二醛浓度反而增加。而照射后立即曝光有利于细胞部分功能恢复,削弱了 UV-C 辐射造成的

ROS 效应。可见,UV - C 处理有利于大米储藏期脂肪酸氧化调控,以不曝光处理 30 min 照射为最佳处理参数。

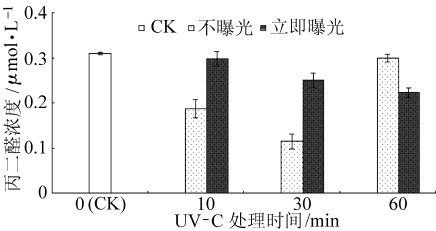


图 1 UV - C 处理后的大米丙二醛浓度
Fig. 1 Concentration of rice MDA after UV - C treatment

2.2 UV - C 对大米微生物的抑制作用

经过紫外线处理的大米微生物总数明显减少,照射 30 min 时微生物菌体浓度由 310 CFU/g 降到 40 CFU/g。但是,在照射 60 min 时不曝光处理微生物菌体浓度反而略有增加,达到 80 CFU/g,60 min 照射后立即曝光的大米,微生物菌体浓度继续随着照射时间增加呈降低趋势,下降至 30 CFU/g (图 2)。照射时间为 10 min 处理,不曝光处理降低程度较相同处理时间曝光处理微生物菌体浓度更长,二者相差 30 CFU/g。

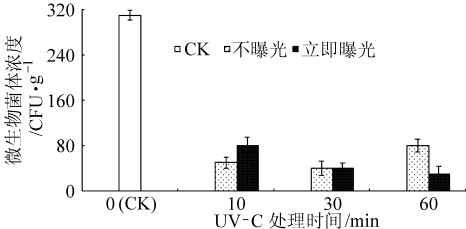


图 2 UV - C 处理后的大米微生物总数
Fig. 2 Total number of rice microorganisms after UV - C treatment

UV - C 照射造成细胞膜及 DNA 的破坏,可导致微生物死亡,从而起到杀菌的作用。本试验中,UV - C 照射 60 min 后不曝光的大米反而较照射 30 min 微生物增加,可能由于 UV - C 不仅损坏了微生物的细胞,也会使大米中一些功能性细胞受损,导致大米免疫功能丧失,造成微生物的增长,而照射后立即曝光的大米未发生微生物增多的现象,可能与可见光照射大米细胞功能恢复有关,其结果与荣瑞芬等^[10-11]研究的结果相一致。综合分析,不曝光 UV - C 处理 30 min 与立即曝光 UV - C 处理 60 min 对微生物总数控制具有较好的作用。

2.3 UV - C 对大米呼吸强度的影响

UV - C 照射可以抑制大米的呼吸强度(表 3),不曝光处理大米经 UV - C 照射 10 min 后呼吸强度为(5 567 ± 147. 32) mg/(kg·h),较对照((7 673 ± 147. 00) mg/(kg·h))降低了 27. 45%,可见 UV - C

照射能有效抑制大米呼吸强度。然而,与 UV - C 照射后丙二醛变化相似,照射 30 min 后大米呼吸强度出现上升现象,立即曝光的大米其呼吸强度随着紫外线照射时间的增加呼吸强度受到抑制越强烈。综合分析 UV - C 照射对微生物和脂肪酸氧化抑制作用,立即曝光处理 60 min 照射对于抑制大米呼吸能产生较佳效果。

表 3 UV - C 处理后的呼吸强度
Tab. 3 Respiration rate after UV - C treatment

处理条件	处理时间/min			
	0 (CK)	10	30	60
不曝光	7 673 ± 147. 00 ^a	5 567 ± 147. 32 ^{b*}	5 689 ± 129. 60 ^{b*}	6 219 ± 141. 04 ^{c*}
	7 673 ± 147. 00 ^a	7 358 ± 321. 75 ^b	6 392 ± 147. 32 ^c	5 221 ± 121. 75 ^d

2.4 UV - C 对大米细胞膜透性的影响

细胞膜对维持细胞内的代谢稳定起着重要作用,大米淀粉体薄壁细胞膜脂中的不饱和脂肪酸受到活性氧自由基的攻击而发生膜脂质过氧化反应,UV - C 处理能直接或通过增加活性氧自由基使细胞膜的化学组分发生变化,原来膜上排列整齐的磷脂分子变得疏松且不整齐,导致细胞膜流动性和完整性的丧失,细胞膜透性增加,大米浸泡液的电导率增加^[21]。细胞膜透性和膜脂过氧化程度呈正相关,UV - C 处理大米其细胞膜透性与丙二醛、呼吸强度变化趋势相似,不曝光处理大米经 UV - C 照射 10 min 和 30 min 后电导率分别由 125. 71 μS/(cm·g)下降到 97. 14 μS/(cm·g)和 90. 54 μS/(cm·g),而当照射时间达 60 min 其电导率较 30 min 处理反而略有增加,达到 112. 12 μS/(cm·g)。大米经 UV - C 照射 10 min、30 min 和 60 min 曝光处理大米电导率则稳定持续下降,分别为 115. 21、110. 78 和 92. 59 μS/(cm·g)(图 3)。分析 UV - C 照射对细胞膜透性的影响可见,立即曝光能有效延缓 UV - C 照射对大米细胞膜的损伤。

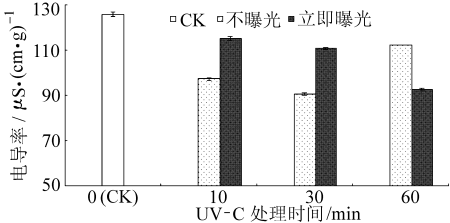


图 3 UV - C 处理后的电导率
Fig. 3 Conductivity of rice after UV - C treatment

3 结束语

采用 UV - C 对大米进行照射虽然可以降低不

利于大米保鲜的 LOX-3 活性,但是照射时间超过 60 min 后最终产物丙二醛会显著增加。采用 60 min 立即曝光处理虽然在降低微生物总数以及抑制呼吸强度方面保持优势,但是其优势较 30 min 不曝光处理并不明显。

在节省成本的基础上,30 min 不曝光处理在调

控大米脂肪酸氧化酶、降低微生物总数、抑制呼吸强度、维持细胞膜透性方面均能起到较好的作用。因此,UV - C 在大米保鲜过程中能有效调控脂肪酸氧化酶和微生物总数,选用 30 min 不曝光处理辐照剂量 7.2 kJ/m² 能达到最佳综合效果。

参 考 文 献

- 1 Kenta Shirasawa, Yoshinobu Takeuchi, Takeshi Ebitani, et al. Identivication of gene for rice (*Oryza sativa*) seed lipoxygenase-3 involved in the generation of stale flavor and development of SNP markers for lipoxygenase-3 deficiency [J]. *Breeding Science*, 2008, 58 (2) : 169 ~ 176.
- 2 Khor H T, Tan N H, Chua C L. Lipase-catalyzed hydrolysis of palm oil [J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1986, 63 (4) : 538 ~ 540.
- 3 Fomuso L B, Akoh C. Structured lipids: lipad-catalysed interesterification of tricaproin and trilinolein [J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1998, 75 (3) : 405 ~ 410.
- 4 胡坚,刘巧瑜,赵思明. 大米生产线上细菌和霉菌的分布特性 [J]. *农业机械学报*, 2009, 40 (5) : 136 ~ 138.
Hu Jian, Liu Qiaoyu, Zhao Siming. Distribution of bacteria and mould in the rice production line [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40 (5) : 136 ~ 138. (in Chinese)
- 5 Gonz Lez-Aguilar G A, Wang C Y, Butaet J G, et al. Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe Tommy Atkins mangoes [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2001, 36 (7) : 767 ~ 773.
- 6 Maharaj R, Arul J, Nadeau P. Effect of phytochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv Capello) by delaying senescence [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1999, 15 (1) : 13 ~ 23.
- 7 周春梅,王欣,刘宝林,等. 短波紫外线处理时间对白玉菇自发气调保鲜的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37 (3) : 230 ~ 233.
Zhou Chunmei, Wang Xin, Liu Baolin, et al. The effect of UV-C irradiation duration on shelf- life quality of postharvest white hypsizygus marmoreus during passive MAP [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2011, 37 (3) : 230 ~ 233. (in Chinese)
- 8 姜天甲,陆仙英,蒋振晖,等. 短波紫外线处理对香菇采后品质的影响 [J]. *农业机械学报*, 2010, 41 (2) : 108 ~ 111.
Jiang Tianjia, Lu Xianying, Jiang Zhenhui, et al. Effect of UV-C treatment on post-harvest storage quality of shiitake mushrooms [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41 (2) : 108 ~ 111. (in Chinese)
- 9 杨华,尹明安,于巧平,等. 短波紫外线处理对牛角椒果实保鲜效果及生理指标的影响 [J]. *西北农林科技大学学报*, 2011, 39 (8) : 148 ~ 152.
Yang Hua, Yin Ming'an, Yu Qiaoping, et al. Effects of UV-C on ox horn pepper fruit shelf-life and its pos-t harvest physiology mechanism [J]. *Journal of Northwest A&F University*, 2011, 39 (8) : 148 ~ 152. (in Chinese)
- 10 荣瑞芬,冯双庆. 不同剂量短波紫外线照射对采后番茄后熟和发病的影响 [J]. *中国农业大学学报*, 2001, 6 (1) : 68 ~ 73.
Rong Ruifen, Feng Shuangqing. Effect of UV-C light irradiation on ripening and disease infection of postharvest tomato [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2001, 6 (1) : 68 ~ 73. (in Chinese)
- 11 Stevens C, Khan V A, Lu J Y, et al. The germicidal and hermetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches [J]. *Crop Protection*, 1998, 17 (1) : 75 ~ 84.
- 12 Akio Kikuchi, Keisuke Kitamura. Simple and rapid carotene bleaching test for the detection of lipoxygenase isozymes in soybean seeds [J]. *Japanese Journal of Breeding*, 1987, 37 : 10 ~ 16.
- 13 张宪政,陈凤玉,王荣富. 植物生理学实验技术 [M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.
- 14 GB 4789.2—2010 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定 [S]. 2010.
- 15 朱红,李洪民,张爱君,等. 甘薯贮藏期呼吸强度与主要品质的变化研究 [J]. *中国农学通报*, 2010, 26 (7) : 64 ~ 67.
Zhu Hong, Li Hongmin, Zhang Aijun, et al. Changes of respiratory intensity and quality of sweet potato during storage [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26 (7) : 64 ~ 67. (in Chinese)
- 16 李宏洋,王若兰,胡连荣. 不同储藏条件下糙米品质变化研究 [J]. *粮食储藏*, 2007, 36 (4) : 39 ~ 41.
Li Hongyang, Wang Ruolan, Hu Lianrong. Study on quality change of brown rice under different storage conditions [J]. *Grain Storage*, 2007, 36 (4) : 39 ~ 41. (in Chinese)
- 17 Yasuhiro Suzuki, Kazuo Ise, Li Chengyun, et al. Matsukura Volatile components in stored rice [*Oryza sativa* L.] of varieties with and without lipoxygenase-3 in seeds [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47 (3) : 1 119 ~ 1 124.
- 18 Wu Yuejin, Wu Xianshan, Sheng Zonghai, et al. Innovation of enduring storage germ plasm of rice and study of relevant techniques [J]. *Grain Storage*, 2005, 34 (1) : 17 ~ 20.
- 19 Tang Qingfeng, Zhang Ying, Liu Binmei, et al. Study on the relationship between lipoxygenase-3 and characteristic of resisting storage insects of rice grain [J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2009, 7 (3 ~ 4) : 334 ~ 338.
- 20 Zhang Ying, Yu Zengliang, Lu Yixuan, et al. Effect of the absence of lipoxygenase isoenzymes on the storage characteristics of rice grain [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2007, 43 (1) : 87 ~ 91.
- 21 周显青,张玉荣,王锋. 稻谷储藏中细胞膜透性、膜脂过氧化及体内抗氧化酶活性变化 [J]. *中国粮油学报*, 2008, 22 (2) : 160.
Zhou Xianqing, Zhang Yurong, Wang Feng. Changes of cell membrane permeability, membrane lipid peroxidation and antioxidation enzym activities during paddy storage [J]. *Journal of the Chinese Cereals and oils Association*, 2008, 22 (2) : 160. (in Chinese)