

人工加速陈化对优质稻谷贮藏品质的影响

Effects of artificial accelerated aging on high-quality rice storage quality

杨志成¹张双凤²张丞彦¹YANG Zhi-cheng¹ ZHANG Shuang-feng² ZHANG Zheng-yan¹潘丹杰¹蒋晓杰¹周 旭¹PAN Dan-jie¹ JIANG Xiao-jie¹ ZHOU Xu¹

(1. 杭州市粮油中心检验监测站, 浙江 杭州 310003; 2. 浙江省疾病预防控制中心, 浙江 杭州 310051)

(1. Hangzhou Grain and Oil Center Inspection and Monitoring Station, Hangzhou, Zhejiang 310003, China;

2. Zhejiang Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China)

摘要:以 5 种优质稻谷为试验材料, 分别于 25 ℃、50% 相对湿度和 37 ℃、70% 相对湿度条件下贮藏, 研究优质稻谷主要贮藏品质(发芽率、丙二醛含量以及脂肪酸组成成分)的变化。结果表明, 短期陈化过程中, 高温高湿会抑制优质稻谷的种子活性, 使其发芽率显著降低, 同时增加稻谷的丙二醛含量, 但稻谷脂肪酸组分含量在短期贮藏内较为稳定。与籼粳杂交稻(甬优 17、甬优 7850、甬优 1540)相比, 粳稻(秀水 14、浙梗 99)多项指标变化明显, 说明其贮藏品质较易发生劣变。

关键词: 优质稻谷; 陈化; 品质劣变

Abstract: In order to study the quality deterioration of high-quality rice, five kinds of high-quality rice were stored under the conditions of 25 ℃, 50% RH and 37 ℃, 70% RH. The processing quality varies such as germination rate, malondialdehyde, and fatty acid composition. The results showed that during short-term storage, high temperature and humidity inhibited the seed activity of high-quality rice, significantly reduced its germination rate, and increased the MDA content of rice. However, the relative content of fatty acid components in rice grains was relatively stable and less affected by high-temperature and high-humidity conditions during short-term storage. At the same time, compared with indica-japonica hybrid rice, many indicators of japonica rice modified significantly, indicating that its storage quality is more prone to deterioration.

Keywords: high-quality rice; aging process; quality deterioration

基金项目: 杭州市农业与社会发展科研主动设计项目(编号: 20190101A07)

作者简介: 杨志成, 男, 杭州市粮油中心检验监测站高级工程师。

通信作者: 张双凤(1964—), 女, 浙江省疾病预防控制中心主任医师。E-mail: shfzhang@cdc.zj.cn

收稿日期: 2019-12-23

据统计^[1], 2018 年中国稻谷产量达 2.12 亿 t, 占粮食总产量的 32.2%。稻谷在贮藏过程中易受呼吸作用、酶、温湿度等因素影响, 其品质随贮藏时间的延长逐渐劣变^[2]。优质稻谷因其蒸煮后带有特殊的香气以及更好的适口性, 备受消费者青睐。但由于优质稻谷较普通稻谷含有更高的蛋白质和脂质, 其在贮藏过程中更易发生品质劣变^[3]。

目前, 有关优质稻谷的贮藏技术及品质变化的研究较多^[4-6], 而优质稻谷品质与品种及种植地区的相关性研究较少^[7]。试验以浙江省优质稻谷(秀水 14、浙梗 99、甬优 17、甬优 7850、甬优 1540)为试验对象, 分别以 25 ℃、50% 相对湿度(模拟浙江省常温常湿环境), 37 ℃、70% 相对湿度(模拟浙江省夏季高温高湿环境)为贮藏条件, 以优质稻谷发芽率、丙二醛含量以及脂肪酸组分成分的变化为考察指标, 研究稻谷的品质变化规律, 旨在为优质稻谷的贮藏技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

粳稻(秀水 14): 杭州萧山区河庄街道江东村;

粳稻(浙梗 99): 杭州萧山区益农镇临江街道农一农二总场;

籼粳杂交稻(甬优 17): 杭州临安区太阳镇;

籼粳杂交稻(甬优 7850): 杭州萧山区河上镇紫东区;

籼粳杂交稻(甬优 1540): 杭州临安区天目山镇。

1.2 仪器和设备

人工气候箱: PRX-150A 型, 宁波赛福仪器有限公司;

砻谷机: JLG-II 型, 中储粮成都粮食储藏科学研究所;

锤式旋风磨: JXFM110 型, 上海嘉定粮油仪器有限

公司;

液相色谱仪:LC-20A型,日本岛津公司;

气相色谱质谱联用仪:GCMS-QP201PLUS型,日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理 将处于安全水分(13.09 ± 0.12)%的5种稻谷分袋,每袋400 g,分别贮藏于25℃、RH 50%,37℃、RH 70%的人工气候箱中,每5 d取一次样,共30 d。

1.3.2 发芽率的测定 按GB/T 5520—2011执行。

1.3.3 丙二醛含量(MDA)的测定 参照GB 5009.181—2016中的高效液相法,液相条件为ChromCore™ AR C₁₈柱(5 $\mu\text{m} \times 4.6 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$);流动相0.01 mol/L乙酸铵与甲醇体积比70:30;柱温30℃;流速1.0 mL/min;进样量10 μL ;检测波长532 nm。

1.3.4 脂肪酸组成成分的测定

(1) 粗脂肪提取:参照许光利^[8]的方法并适当修改,称取2.50 g米粉于250 mL碘量瓶中,加入25 mL沸程为60~90℃的石油醚,于42℃、300 W下超声37 min,4 000 r/min离心10 min,将上清液于50℃旋蒸,于60℃烘箱烘干至恒重。

(2) 脂肪酸甲酯化:2.50 g米粉经脂肪提取后,分两次每次加入1 mL正己烷(色谱纯)溶解脂肪,并合并至具塞试管,加入0.5 mol/L KOH—CH₃OH溶液2 mL,漩涡30 s,70℃水浴20 min,再加入0.5 mol/L H₂SO₄—CH₃OH溶液4 mL,漩涡30 s,70℃水浴10 min,最后加入0.2 g NaCl促进分层,加入2 mL蒸馏水、正己烷,漩涡均匀进行萃取,静置分层,取上清液进行分析。

(3) 气相色谱条件:RTX-WAX柱(30.0 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm);进样口温度250℃;柱温100℃、以10℃/min升温至170℃,保持1 min;以3℃/min升温至230℃,保持12 min;进样量1 μL ;载气为氦气;恒流模式;流速1 mL/min;分流比50:1。

(4) 质谱条件:电子轰击离子源(EI);离子源温度200℃;接口温度250℃;电离电压70 eV;溶剂切除时间3 min;全扫描模式;扫描速度1 666 amu/s;扫描离子范围45~500。

1.3.5 数据分析 运用SPSS 24.0、Origin 2017和Excel软件进行数据分析。

2 结果与讨论

2.1 对稻谷发芽率的影响

由图1可知,25℃、RH 50%条件下,除秀水14外,其余4种稻谷的发芽率随贮藏时间的延长呈先无显著差异后下降的趋势。由于种子存在休眠现象,其发芽率在开始阶段较低;当稻谷解除休眠时,其发芽率逐渐升高,

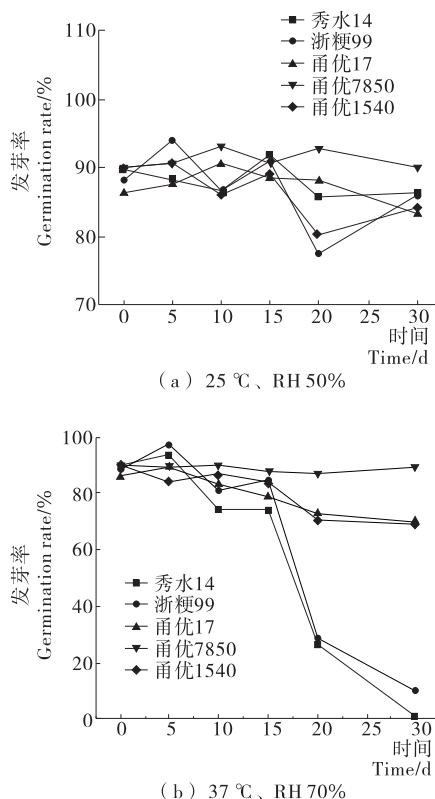


图1 稻谷发芽率随贮藏时间的变化

Figure 1 Variation of rice germination rate with storage time

从而导致稻谷的发芽率在前期变化不明显^[9]。随着贮藏时间的延长,稻谷胚受到破坏,其发芽率呈下降趋势。37℃、RH 70%条件下,5种稻谷的发芽率随贮藏时间的延长呈现不同程度的变化趋势。其中秀水14和浙梗99的发芽率下降情况最严重,分别下降了98.51%,88.68%。甬优17和甬优15的发芽率呈小幅度下降趋势,甬优7850的发芽率较为稳定。综上,温度、湿度及品种对稻谷的发芽率具有综合影响作用,其中杂交稻比常规粳稻更耐贮藏。

2.2 对稻谷丙二醛含量的影响

由图2可知,25℃、RH 50%条件下,甬优1540的MDA含量高于其他4种的,说明甬优1540更易被氧化并发生品质劣变。5种稻谷的MDA含量总体变化趋势较为平缓,且无显著差异,与张玉荣等^[10]的结果一致。37℃、RH 70%条件下,甬优1540的MDA含量无显著变化,浙梗99和甬优7850的MDA含量先上升后下降,可能是陈化过程前期的高温加速了脂质氧化,MDA含量增多;陈化后期,随着脂质氧化程度的下降,MDA生成量小于其受高温影响的挥发量,MDA含量减少^[11]。秀水14和甬优17的MDA含量呈上升趋势但无显著性差异,表

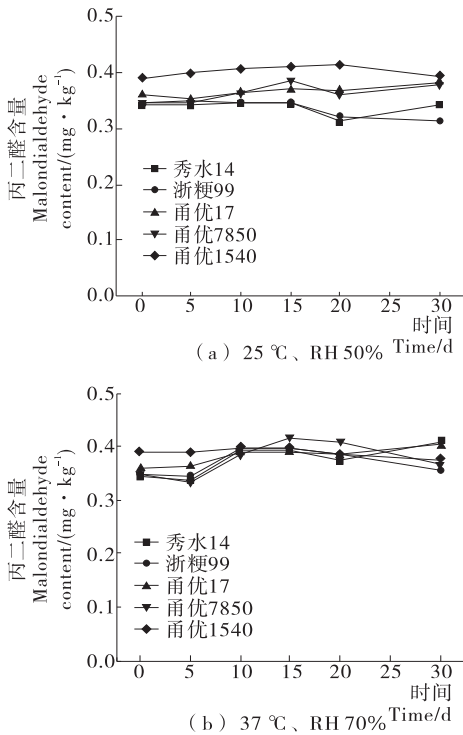


图 2 稻谷丙二醛含量随贮藏时间的变化

Figure 2 Variation of malondialdehyde content of rice with storage time

明短时高温处理对稻谷的膜系统损坏程度较小。综上，温度、湿度和品种差异对稻谷 MDA 含量有一定影响，且秀水 14 的抗逆性较好。

2.3 对稻谷脂肪酸组成成分的影响

由表 1~5 可知，5 种稻谷脂肪酸的组成成分大致相同，脂肪酸组分主要为亚油酸、油酸、棕榈酸以及亚麻酸，其相对含量占总脂肪酸含量的 90% 以上，与 Verma 等^[12]的研究结果一致。5 种稻谷在两种贮藏条件下，其各脂肪酸组分变化趋势一致，说明短时陈化处理对稻谷脂肪酸组分相对含量影响不显著。除浙梗 99 在陈化过程中各脂肪酸组分相对含量变化较小外，其余稻谷在陈化前期，油酸的相对含量略高于亚油酸，可能与其脂肪酸代谢有关，赵翠格等^[13]发现种子在发育前期会先合成 16 或 18 碳饱和脂肪酸及油酸，然后在酶等因素下形成各种不饱和脂肪酸。

3 结论

研究表明，25 °C、RH 50% 条件下，5 种优质稻谷发芽率随贮藏时间的延长先上升后下降，整体变化不显著；37 °C、RH 70% 条件下，秀水 14 和浙梗 99 的发芽率分别下降了 98.51%，88.68%，甬优 17 和甬优 15 的发芽率呈小幅度下降趋势，甬优 7850 的发芽率变化较为稳定；表明稻谷发芽率受温湿度以及稻谷品种的影响，其中贮藏

表 1 甬优 17 脂肪酸组分相对含量变化[†]

Table 1 Changes in the relative content of fatty acid components in Yongyou 17

脂肪酸	25 °C, RH 50%						
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
亚油酸	39.10±0.32 ^a	33.67±0.52 ^a	29.81±0.32 ^a	39.07±0.05 ^a	38.86±0.32 ^a	34.77±3.91 ^a	38.61±0.26 ^a
油酸	35.22±0.65 ^a	35.49±0.66 ^a	33.78±0.07 ^a	35.10±0.14 ^a	35.46±0.31 ^a	30.97±7.91 ^a	34.91±0.45 ^a
棕榈酸	17.11±0.04 ^a	18.11±0.19 ^a	15.60±0.15 ^a	17.12±0.11 ^a	17.03±0.16 ^a	18.39±1.84 ^a	17.13±0.11 ^a
亚麻酸	17.17±0.46 ^b	40.52±0.11 ^b	32.40±0.36 ^b	16.43±0.25 ^b	16.23±0.50 ^b	41.54±4.72 ^b	16.87±0.58 ^b
花生酸	8.10±0.08 ^b	9.28±0.32 ^b	17.97±0.38 ^b	8.33±0.05 ^b	8.30±0.29 ^b	23.13±2.67 ^b	9.13±0.25 ^b
山嵛酸	5.57±0.54 ^b	9.21±0.42 ^b	14.17±1.65 ^b	5.07±0.79 ^b	5.03±0.62 ^b	19.58±1.69 ^b	6.30±0.22 ^b
肉豆蔻酸	3.43±0.05 ^b	7.21±0.26 ^b	7.87±0.29 ^b	3.63±0.05 ^b	3.57±0.12 ^b	9.93±1.10 ^b	3.73±0.12 ^b
棕榈油酸	1.97±0.05 ^b	4.63±0.32 ^b	7.60±0.33 ^b	1.73±0.05 ^b	1.70±0.08 ^b	6.73±0.85 ^b	1.77±0.05 ^b
十五酸	0.20±0.00 ^b	1.10±0.10 ^b	0.70±0.08 ^b	0.23±0.05 ^b	0.23±0.05 ^b	0.99±0.11 ^b	0.27±0.05 ^b
脂肪酸	37 °C, RH 70%						
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
亚油酸	39.10±0.32 ^a	33.87±0.17 ^a	35.93±0.61 ^a	33.23±0.27 ^a	38.80±0.21 ^a	38.81±0.12 ^a	39.18±0.34 ^a
油酸	35.22±0.65 ^a	37.59±0.14 ^a	36.24±0.06 ^a	41.75±0.17 ^a	35.67±0.36 ^a	35.52±0.26 ^a	34.58±0.11 ^a
棕榈酸	17.11±0.04 ^a	17.53±0.14 ^a	18.17±0.03 ^a	16.76±0.09 ^a	17.24±0.23 ^a	17.33±0.02 ^a	17.30±0.03 ^a
亚麻酸	17.17±0.46 ^b	35.98±1.18 ^b	14.70±0.22 ^b	19.43±0.41 ^b	16.37±0.76 ^b	17.23±0.30 ^b	16.80±0.36 ^b
花生酸	8.10±0.08 ^b	18.41±0.16 ^b	10.27±0.49 ^b	8.13±0.12 ^b	8.23±0.19 ^b	8.17±0.12 ^b	8.20±0.22 ^b
山嵛酸	5.57±0.54 ^b	13.37±0.57 ^b	7.20±0.88 ^b	4.80±0.36 ^b	5.37±0.69 ^b	4.97±0.47 ^b	5.60±0.78 ^b
肉豆蔻酸	3.43±0.05 ^b	8.01±0.38 ^b	3.67±0.05 ^b	3.03±0.09 ^b	3.43±0.17 ^b	3.70±0.08 ^b	3.67±0.05 ^b
棕榈油酸	1.97±0.05 ^b	4.49±0.17 ^b	1.63±0.05 ^b	1.43±0.05 ^b	1.63±0.09 ^b	1.70±0.00 ^b	2.23±0.09 ^b
十五酸	0.20±0.00 ^b	0.73±0.07 ^b	0.30±0.00 ^b	0.30±0.00 ^b	0.27±0.05 ^b	0.27±0.05 ^b	0.27±0.05 ^b

[†] a 表示单位为%，b 表示单位为‰。

表 2 甬优 1540 脂肪酸组分相对含量变化[†]
Table 2 Changes in the relative content of fatty acid components of Yongyou 1540

脂肪酸	25 ℃,RH 50%						
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
亚油酸	37.31±0.10 ^a	35.51±1.99 ^a	25.71±10.47 ^a	38.05±1.14 ^a	36.99±0.21 ^a	36.10±0.45 ^a	36.91±0.21 ^a
油酸	35.75±0.07 ^a	33.01±0.59 ^a	28.61±0.36 ^a	35.35±0.78 ^a	35.94±0.16 ^a	31.75±0.16 ^a	36.06±0.58 ^a
棕榈酸	17.91±0.04 ^a	18.25±0.43 ^a	15.90±0.27 ^a	17.84±0.12 ^a	17.72±0.14 ^a	17.71±0.06 ^a	17.85±0.03 ^a
亚麻酸	18.47±0.05 ^b	39.82±2.59 ^b	35.20±0.73 ^b	19.13±0.97 ^b	17.83±0.54 ^b	40.86±0.27 ^b	19.23±0.29 ^b
花生酸	8.37±0.05 ^b	18.89±0.44 ^b	17.23±0.73 ^b	6.83±2.00 ^b	8.30±0.29 ^b	20.74±0.32 ^b	8.77±0.19 ^b
山嵛酸	4.13±0.33 ^b	12.36±2.53 ^b	13.23±0.69 ^b	4.07±0.74 ^b	5.30±0.33 ^b	15.18±0.50 ^b	5.23±0.63 ^b
肉豆蔻酸	3.50±0.00 ^b	8.55±0.12 ^b	8.03±0.21 ^b	3.27±0.40 ^b	3.33±0.17 ^b	8.78±0.20 ^b	3.50±0.00 ^b
棕榈油酸	1.77±0.05 ^b	5.31±0.09 ^b	5.20±0.22 ^b	1.73±0.09 ^b	1.73±0.05 ^b	5.85±0.15 ^b	1.80±0.00 ^b
十七烷酸	0.53±0.05 ^b	1.74±0.03 ^b	1.70±0.16 ^b	0.57±0.05 ^b	0.57±0.05 ^b	1.89±0.06 ^b	0.57±0.05 ^b
十五酸	0.30±0.00 ^b	1.03±0.01 ^b	1.00±0.08 ^b	0.33±0.05 ^b	0.30±0.00 ^b	1.07±0.05 ^b	0.30±0.00 ^b

脂肪酸	37 ℃,RH 70%						
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
亚油酸	37.31±0.11 ^a	37.07±1.44 ^a	37.35±0.00 ^a	36.66±0.06 ^a	38.34±1.39 ^a	36.76±0.05 ^a	37.31±0.10 ^a
油酸	35.75±0.07 ^a	32.50±0.84 ^a	34.73±0.41 ^a	36.12±0.19 ^a	35.25±0.82 ^a	36.38±0.09 ^a	35.51±0.09 ^a
棕榈酸	17.91±0.04 ^a	18.06±0.54 ^a	18.48±0.01 ^a	17.93±0.02 ^a	17.97±0.31 ^a	17.83±0.02 ^a	17.87±0.05 ^a
亚麻酸	18.47±0.05 ^b	38.31±0.82 ^b	15.70±0.10 ^b	17.43±0.12 ^b	19.30±1.41 ^b	19.30±0.14 ^b	18.13±0.24 ^b
花生酸	8.37±0.05 ^b	20.42±0.53 ^b	9.60±0.20 ^b	8.33±0.19 ^b	5.93±2.24 ^b	8.70±0.08 ^b	8.20±0.16 ^b
山嵛酸	4.13±0.33 ^b	15.90±0.93 ^b	6.35±0.15 ^b	4.10±0.33 ^b	3.60±1.27 ^b	5.23±0.33 ^b	5.37±0.47 ^b
肉豆蔻酸	3.50±0.00 ^b	8.42±0.15 ^b	3.50±0.00 ^b	3.37±0.05 ^b	3.13±0.17 ^b	3.70±0.00 ^b	3.60±0.08 ^b
棕榈油酸	1.77±0.05 ^b	5.30±0.07 ^b	1.70±0.00 ^b	1.70±0.00 ^b	1.60±0.08 ^b	1.90±0.00 ^b	1.73±0.09 ^b
十七烷酸	0.53±0.05 ^b	1.70±0.03 ^b	0.60±0.00 ^b	0.53±0.05 ^b	0.60±0.00 ^b	0.57±0.05 ^b	0.50±0.00 ^b
十五酸	0.30±0.00 ^b	0.95±0.00 ^b	0.35±0.05 ^b	0.30±0.00 ^b	0.43±0.05 ^b	0.30±0.00 ^b	0.30±0.00 ^b

† a 表示单位为%,b 表示单位为‰。

表 3 甬优 7850 脂肪酸组分相对含量变化[†]
Table 3 Changes in the relative content of fatty acid components in Yongyou 7850

脂肪酸	25 ℃,RH 50%						
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
亚油酸	39.74±0.24 ^a	33.67±0.52 ^a	31.44±0.63 ^a	38.76±1.13 ^a	39.55±0.13 ^a	39.17±2.27 ^a	39.58±0.09 ^a
油酸	33.77±0.08 ^a	35.49±0.66 ^a	30.81±0.65 ^a	34.63±0.83 ^a	34.34±0.19 ^a	19.25±1.74 ^a	33.94±0.11 ^a
棕榈酸	18.20±0.04 ^a	18.11±0.19 ^a	17.23±0.33 ^a	17.92±0.07 ^a	17.99±0.02 ^a	26.00±4.59 ^a	18.10±0.05 ^a
亚麻酸	22.40±0.00 ^b	40.52±0.11 ^b	41.00±0.65 ^b	19.83±0.90 ^b	20.10±0.22 ^b	53.01±5.54 ^b	21.30±0.16 ^b
花生酸	3.50±0.08 ^b	9.28±0.32 ^b	9.17±0.12 ^b	5.27±2.07 ^b	3.67±0.12 ^b	14.73±1.66 ^b	3.67±0.05 ^b
山嵛酸	2.90±0.00 ^b	7.21±0.26 ^b	6.40±0.16 ^b	3.03±0.40 ^b	2.70±0.08 ^b	9.20±0.74 ^b	2.73±0.09 ^b
肉豆蔻酸	1.57±0.05 ^b	4.63±0.32 ^b	4.10±0.08 ^b	1.57±0.17 ^b	1.53±0.09 ^b	6.49±0.63 ^b	1.70±0.08 ^b
十七烷酸	0.70±0.00 ^b	1.92±0.22 ^b	1.73±0.05 ^b	0.63±0.05 ^b	0.57±0.05 ^b	2.82±0.26 ^b	0.63±0.05 ^b

脂肪酸	37 ℃,RH 70%						
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
亚油酸	39.74±0.24 ^a	34.87±0.23 ^a	37.18±0.12 ^a	38.81±0.07 ^a	37.57±1.41 ^a	38.55±0.20 ^a	39.69±0.11 ^a
油酸	33.77±0.08 ^a	33.81±0.18 ^a	34.55±0.28 ^a	34.78±0.07 ^a	35.57±0.74 ^a	35.17±0.11 ^a	33.95±0.12 ^a
棕榈酸	18.20±0.04 ^a	18.69±0.07 ^a	18.91±0.10 ^a	17.89±0.02 ^a	17.83±0.14 ^a	17.72±0.06 ^a	18.10±0.09 ^a
亚麻酸	22.40±0.00 ^b	43.45±0.45 ^b	23.80±0.80 ^b	20.93±0.09 ^b	18.77±1.53 ^b	19.23±0.26 ^b	20.90±0.22 ^b
花生酸	3.50±0.08 ^b	9.44±0.38 ^b	4.20±0.16 ^b	4.17±0.09 ^b	7.17±2.31 ^b	6.03±0.17 ^b	3.63±0.05 ^b
山嵛酸	2.90±0.00 ^b	7.01±0.20 ^b	3.67±0.12 ^b	2.87±0.05 ^b	3.27±0.26 ^b	3.20±0.08 ^b	2.87±0.05 ^b
肉豆蔻酸	1.57±0.05 ^b	5.34±0.83 ^b	1.93±0.09 ^b	1.57±0.05 ^b	1.77±0.05 ^b	1.60±0.00 ^b	1.43±0.05 ^b
十七烷酸	0.70±0.00 ^b	2.11±0.09 ^b	0.80±0.00 ^b	0.70±0.00 ^b	0.63±0.05 ^b	0.57±0.05 ^b	0.67±0.05 ^b

† a 表示单位为%,b 表示单位为‰。

表 4 浙梗 99 脂肪酸组分相对含量变化[†]
Table 4 Changes in the relative content of fatty acid components of Zhejing 99

脂肪酸	25 °C, RH 50%						
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
亚油酸	38.79±0.16 ^a	35.57±0.00 ^a	36.69±1.03 ^a	40.59±0.16 ^a	41.29±0.09 ^a	40.54±0.25 ^a	38.75±0.10 ^a
油酸	37.24±0.36 ^a	32.80±0.20 ^a	35.92±1.83 ^a	33.08±0.18 ^a	32.70±0.13 ^a	32.77±0.19 ^a	37.04±0.07 ^a
棕榈酸	14.93±0.07 ^a	18.86±0.06 ^a	17.75±1.30 ^a	18.01±0.10 ^a	17.75±0.05 ^a	18.06±0.10 ^a	14.95±0.02 ^a
亚麻酸	21.57±0.45 ^b	44.91±0.25 ^b	19.10±1.08 ^b	21.87±0.09 ^b	21.70±0.29 ^b	23.00±0.22 ^b	20.17±0.26 ^b
花生酸	7.30±0.08 ^b	9.73±0.22 ^b	5.83±2.03 ^b	3.43±0.05 ^b	3.30±0.08 ^b	3.50±0.08 ^b	7.07±0.05 ^b
山嵛酸	5.30±0.86 ^b	12.32±0.07 ^b	6.00±0.78 ^b	3.40±0.91 ^b	4.30±0.08 ^b	3.60±0.83 ^b	5.43±0.62 ^b
肉豆蔻酸	1.50±0.00 ^b	4.75±0.10 ^b	1.47±0.05 ^b	1.53±0.05 ^b	1.47±0.09 ^b	1.67±0.05 ^b	1.43±0.05 ^b
棕榈油酸	0.57±0.05 ^b	2.26±0.05 ^b	0.77±0.05 ^b	0.70±0.00 ^b	0.67±0.05 ^b	0.70±0.00 ^b	0.50±0.00 ^b
十五酸	0.33±0.05 ^b	1.21±0.01 ^b	0.43±0.05 ^b	0.40±0.00 ^b	0.40±0.00 ^b	0.40±0.00 ^b	0.33±0.05 ^b

脂肪酸	37 °C, RH 70%						
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
亚油酸	38.79±0.16 ^a	38.25±0.05 ^a	38.35±0.20 ^a	38.08±0.15 ^a	39.09±0.33 ^a	38.64±1.05 ^a	38.86±0.13 ^a
油酸	37.24±0.36 ^a	33.33±0.44 ^a	34.93±0.58 ^a	37.81±0.45 ^a	37.21±0.26 ^a	37.50±0.89 ^a	36.93±0.16 ^a
棕榈酸	14.93±0.07 ^a	15.89±0.21 ^a	17.32±1.48 ^a	15.25±0.16 ^a	14.72±0.01 ^a	14.82±0.21 ^a	15.04±0.19 ^a
亚麻酸	21.57±0.45 ^b	41.00±0.67 ^b	19.65±1.55 ^b	19.43±0.33 ^b	19.67±0.17 ^b	19.97±0.56 ^b	19.87±0.21 ^b
花生酸	7.30±0.08 ^b	17.72±0.45 ^b	6.60±2.20 ^b	7.37±0.24 ^b	6.97±0.40 ^b	6.90±0.22 ^b	7.13±0.05 ^b
山嵛酸	5.30±0.86 ^b	13.62±0.95 ^b	5.60±1.50 ^b	5.13±0.74 ^b	5.90±0.29 ^b	5.50±0.14 ^b	5.60±0.85 ^b
肉豆蔻酸	1.50±0.00 ^b	6.62±3.09 ^b	1.50±0.00 ^b	1.47±0.05 ^b	1.40±0.08 ^b	1.40±0.00 ^b	1.43±0.05 ^b
棕榈油酸	0.57±0.05 ^b	1.78±0.02 ^b	0.70±0.10 ^b	0.60±0.00 ^b	0.50±0.00 ^b	0.50±0.00 ^b	0.53±0.05 ^b
十五酸	0.33±0.05 ^b	0.97±0.02 ^b	0.40±0.00 ^b	0.30±0.00 ^b	0.30±0.00 ^b	0.30±0.00 ^b	0.30±0.00 ^b

[†] a 表示单位为%, b 表示单位为‰。

表 5 秀水 14 脂肪酸组分相对含量变化[†]
Table 5 Changes in the relative content of fatty acid components in Xiushui 14

脂肪酸	25 °C, RH 50%						
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
亚油酸	40.60±0.13 ^a	32.93±0.31 ^a	31.24±0.10 ^a	41.23±0.16 ^a	40.18±0.91 ^a	43.68±2.19 ^a	40.93±0.08 ^a
油酸	32.68±0.15 ^a	36.02±0.76 ^a	33.59±0.07 ^a	33.01±0.02 ^a	34.87±1.70 ^a	21.84±3.74 ^a	32.82±0.11 ^a
棕榈酸	17.74±0.06 ^a	17.31±0.27 ^a	16.29±0.09 ^a	17.80±0.09 ^a	16.65±1.20 ^a	19.81±3.87 ^a	17.74±0.01 ^a
亚麻酸	23.30±0.16 ^b	39.78±1.08 ^b	40.53±0.21 ^b	21.83±0.17 ^b	20.80±0.67 ^b	59.069±3.02 ^b	21.90±0.37 ^b
山嵛酸	4.50±0.62 ^b	11.23±1.77 ^b	11.67±0.05 ^b	3.17±0.74 ^b	4.27±0.82 ^b	12.034±2.27 ^b	4.33±0.34 ^b
花生酸	3.53±0.05 ^b	12.58±1.08 ^b	12.03±0.26 ^b	3.50±0.00 ^b	4.63±1.60 ^b	12.87±0.90 ^b	3.63±0.05 ^b
肉豆蔻酸	2.73±0.05 ^b	7.35±0.24 ^b	6.70±0.22 ^b	2.67±0.05 ^b	2.33±0.31 ^b	8.51±0.63 ^b	2.63±0.05 ^b
棕榈油酸	1.60±0.00 ^b	4.92±0.39 ^b	5.00±0.14 ^b	1.53±0.05 ^b	1.53±0.05 ^b	6.26±0.48 ^b	1.47±0.05 ^b
十七烷酸	0.70±0.00 ^b	1.93±0.07 ^b	1.93±0.12 ^b	0.63±0.05 ^b	0.57±0.05 ^b	2.65±0.24 ^b	0.63±0.05 ^b
十五酸	0.40±0.00 ^b	1.12±0.05 ^b	1.10±0.00 ^b	0.40±0.00 ^b	0.30±0.08 ^b	1.40±0.14 ^b	0.40±0.00 ^b

脂肪酸	37 °C, RH 70%						
	0 d	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
亚油酸	40.60±0.13 ^a	35.57±0.00 ^a	36.69±1.03 ^a	40.59±0.16 ^a	41.29±0.09 ^a	40.54±0.25 ^a	41.25±0.11 ^a
油酸	32.68±0.15 ^a	32.80±0.20 ^a	35.92±1.83 ^a	33.08±0.18 ^a	32.70±0.13 ^a	32.77±0.19 ^a	32.59±0.02 ^a
棕榈酸	17.74±0.06 ^a	18.86±0.06 ^a	17.75±1.30 ^a	18.01±0.10 ^a	17.75±0.05 ^a	18.06±0.10 ^a	18.07±0.05 ^a
亚麻酸	23.30±0.16 ^b	44.91±0.25 ^b	19.10±1.08 ^b	21.87±0.09 ^b	21.70±0.29 ^b	23.00±0.22 ^b	21.63±0.05 ^b
山嵛酸	4.50±0.62 ^b	12.32±0.07 ^b	6.00±0.78 ^b	3.40±0.91 ^b	4.30±0.08 ^b	3.60±0.83 ^b	3.80±0.42 ^b
花生酸	3.53±0.05 ^b	9.73±0.22 ^b	5.83±2.03 ^b	3.43±0.05 ^b	3.30±0.08 ^b	3.50±0.08 ^b	3.40±0.00 ^b
肉豆蔻酸	2.73±0.05 ^b	7.00±0.02 ^b	2.53±0.38 ^b	2.70±0.00 ^b	2.63±0.05 ^b	2.90±0.00 ^b	2.73±0.05 ^b
棕榈油酸	1.60±0.00 ^b	4.75±0.10 ^b	1.47±0.05 ^b	1.53±0.05 ^b	1.47±0.09 ^b	1.67±0.05 ^b	1.43±0.05 ^b
十七烷酸	0.70±0.00 ^b	2.26±0.05 ^b	0.77±0.05 ^b	0.70±0.00 ^b	0.67±0.05 ^b	0.70±0.00 ^b	0.63±0.05 ^b
十五酸	0.40±0.00 ^b	1.21±0.01 ^b	0.43±0.05 ^b	0.40±0.00 ^b	0.40±0.00 ^b	0.40±0.00 ^b	0.37±0.05 ^b

[†] a 表示单位为%, b 表示单位为‰。

(下转第 145 页)

表 3 苹果阈值对照

Table 3 Comparison of apple threshold

真实阈值/mm	图像阈值
80	190
70	166
65	134

由表 3 可知,苹果图像直径超过 190 的属于一级果,166~190 的属于二级果,134~166 的属于三级果。

为了测试文中算法的正确性,选取了 200 个含有 3 个类别的富士苹果进行分级测试,分级测试结果如表 4 所示。

表 4 分级测试结果

Table 4 Grading test results

级别	数量	正确分级数量	分级正确率/%
一级	50	50	100.00
二级	80	79	98.75
三级	70	69	98.57

从表 4 可以看出,文中提出的分级算法对一级、二级和三级富士苹果的分级正确率均>98%,能够满足苹果分级的需要。

5 结束语

针对传统模糊算法存在易受噪声干扰、边缘检测不完整等问题,提出将小波变换融合到传统模糊算法中,用小波变换代替梯度、领域差值作为模糊系统的输入,对

图像边缘的正确检测起到了很好的作用,采用自适应阈值保证了图像边缘的连续性和完整性不受人为影响,采用漫水填充简易算法实现了图像边缘区域的面积获得。通过试验测试发现,该混合分级算法对于一级、二级和三级富士苹果的分级正确率均>98%,完全能够满足苹果分级的需要。但是,该算法对于不规则苹果的分级还有一定的误差,需要进一步研究和改进。

参考文献

[1] 王丹丹, 宋怀波, 何东健, 等. 苹果分级机器人视觉系统研究进展[J]. 农业工程学报, 2017, 33(11): 59-69.

[2] 陈乾辉, 吴德刚. 一种新型苹果果实特征提取算法[J]. 食品与机械, 2018, 34(2): 124-128.

[3] 于蒙, 李雄, 杨海潮, 等. 基于图像识别的苹果的等级分级研究[J]. 自动化与仪表, 2019, 34(7): 39-43.

[4] 刁智华, 刁春迎, 袁万宾, 等. 基于改进型模糊边缘检测的小麦病斑阈值分割算法[J]. 农业工程学报, 2018, 34(10): 147-145.

[5] 石瑞瑶, 田有文, 赖兴涛, 等. 基于机器视觉的苹果品质在线分级检测[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(3): 80-86.

[6] 车敏, 张红梅, 拓明福, 等. 小波变换与边缘信息的光谱图像融合研究[J]. 激光杂志, 2019, 40(11): 75-79.

[7] 赵新秋, 秦昆阳, 冯斌, 等. 基于模糊推理的边缘检测算法[J]. 中国测试, 2018, 44(5): 1-5.

[8] MELIN P, GONZALEZ C I, CASTRO J R, et al. Edge -detection method for image processing based on generalized type-2 fuzzy logic[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2014, 22(6): 1 515-1 525.

(上接第 136 页)

条件的变化对稻谷发芽率的影响较大,杂交稻比粳稻更耐储存。丙二醛易受贮藏条件和品种的影响,其含量普遍呈先上升后下降趋势,其中秀水 14 的抗逆性较好。5 种优质稻谷的脂肪酸组分大致相同,且不同稻谷同一组分间的变化趋势一致,说明稻谷的脂肪酸组分在短时贮藏过程中相对较为稳定。后续可通过对稻谷进行多指标的测定以及转录组分析,探究稻谷内部引起脂肪酸变化的因子。

参考文献

[1] 唐芳, 程树峰, 伍松陵. 稻谷储藏危害真菌生长规律的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(6): 98-101.

[2] 石嘉伟, 张檬达, 鞠兴荣. 响应面法优化粳稻挥发性成分 SPME 萃取条件的研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(12): 120-125.

[3] 袁道骥, 史韬琦, 王月慧, 等. 水分对低温储藏优质稻品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(6): 6-11.

[4] 吴晓娟, 吴伟, 高崇明, 等. 压盖导流通风降温技术对储藏稻谷品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 132-135.

[5] 杨丹, 罗小虎, 齐丽君, 等. 电子束辐照对稻米储藏特性及

品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 106-110.

[6] 朱玫, 熊宁, 田国军, 等. 优质籼稻储藏品质控制指标的确定[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(2): 60-66.

[7] UMAPORN U, NITSARA K. Metabolomics for rice quality and traceability: Feasibility and future aspects[J]. Current Opinion in Food Science, 2019, 28(1): 58-66.

[8] 许光利. 稻米脂类对品质的影响及脂类代谢对高温弱光的响应[D]. 成都: 四川农业大学, 2017: 16-24.

[9] 田宏, 邵麟惠, 熊军波, 等. 扁穗雀麦种子休眠期和发芽特性的初步研究[J]. 种子, 2016, 35(10): 83-86.

[10] 张玉荣, 周显青, 刘敬婉. 加速陈化对梗稻的营养组分及储藏、加工品质的影响[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2017, 38(5): 37-44.

[11] 胡吟. 稻谷加速陈化期间脂质变化的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018: 15.

[12] VERMA D K, SRIVASTAV P P. Proximate composition, mineral content and fatty acids analyses of aromatic and non-aromatic Indian rice[J]. Rice Science, 2017, 24(1): 21-31.

[13] 赵翠格, 刘頔, 李凤兰, 等. 植物种子油脂的生物合成及代谢基础研究进展[J]. 种子, 2010, 29(4): 56-62.