

高压交变电场对稻谷储藏品质和加工品质影响

朱镠琪, 徐狄钢, 庞林江

(浙江农林大学 食品与健康学院, 杭州 311300)

摘要: **目的** 以粮库收储当年的粳稻为研究对象, 研究高压交变电场和充氮气调环境中稻谷储藏品质和加工品质特征, 旨在初步探讨高压交变电场在稻谷储藏中的应用。**方法** 采用双因素两水平实验, 在 28 °C 下, 在空气无电场、空气有电场、充氮气调无电场和充氮气调电场这 4 个处理环境中对稻谷进行储藏, 探讨其品质变化。**结果** 充氮气调处理对储藏稻谷的水分含量下降, 脂肪酸值、黄粒米率、黄度指数和碎米率的上升有显著减缓作用; 高压交变电场储藏对稻谷脂肪酸值、黄粒米率、黄度指数和碎米率的上升有显著抑制作用, 脂肪酸值和黄变抑制效果相较于充氮气调处理均有不同程度的提高。另外研究表明, 电场和气调处理对糙米率和精米率均没有显著影响。**结论** 在高压交变电场和充氮气调处理环境中储藏稻谷都能起到较好的保质作用, 电场处理对于抑制脂肪酸值和黄变有一定优势, 这为高压交变电场仓储稻谷的推广应用提供了技术指导。

关键词: 稻谷; 高压交变电场; 储藏品质; 加工品质

中图分类号: TU249.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)23-0064-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.23.009

Effect of High-Voltage Alternating Electric Field on Storage Quality and Processing Quality of Rice

ZHU Liu-qi, XU Di-gang, PANG Lin-jiang

(School of Food Science and Health, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

ABSTRACT: The work aims to take japonica rice of the current year stored in grain depot as the research object, to research the characteristics of storage quality and processing quality of rice in high voltage alternating electric field (HVAEF) and nitrogen-filling gas-conditioned (NFGC) environments, so as to preliminarily explore the application of HVAEF in rice storage. A two-factor and two-level experiment was carried out at 28 °C to investigate the quality changes of rice stored in four treatment environments with NFGC and HVAEF. The results showed that the NFGC treatment significantly slowed down the decrease in moisture content, the increases of fatty acid value, yellow grain rice rate, yellowness index, and broken rice rate of stored rice grains. HVAEF had a significant inhibition effect on the fatty acid value, yellow grain rice rate, and yellowness index and broken rice rate. And the inhibitory effect on the fatty acid value and the yellowing were improved to different degrees compared with NFGC treatment. In addition, HVAEF and NFGC treatment had no significant effect on brown rice rate and polished rice rate. In conclusion, both HVAEF and NFGC treatment en-

收稿日期: 2021-02-20

基金项目: 浙江省新苗人才计划 (2019R412004); 宁波市科技计划 (2019C10059)

作者简介: 朱镠琪 (1998—), 男, 中级 (粮油) 仓储管理员, 主要研究方向为食品科学。

通信作者: 庞林江 (1977—), 男, 浙江农林大学副教授, 主要研究方向为农产品储藏与加工。

vironments in rice storage can play a good role in rice quality preservation, and HVAEF treatment has certain advantages in inhibiting fatty acid value and yellowing of rice grain. This provides technical guidance for the promotion and application of HVAEF on rice storage.

KEY WORDS: rice; high-voltage alternating electric field; storage quality; processing quality

稻谷作为我国重要的粮食作物,其种植面积和产量均居我国前列,稻谷储藏对于我国粮食安全有举足轻重的作用。随着社会进步,对粮食安全需求从单纯数量型在向数量和质量并重转变。越来越多绿色环保储粮技术不断在粮库得到试验示范和推广应用,目前应用比较多的就是低温储粮和气调储粮技术。低温储粮在北方应用比较广泛,在南方地区低温储粮成本较高,气调储粮成为有效的绿色保鲜储藏技术^[1]。气调对延缓粮食劣变、杀虫抑菌等具有显著的作用^[2-7],气调储粮技术要求较高的气密性,也可能产生厌氧呼吸产物^[8],并且也存在气调储藏的稻谷在启封之后品质迅速劣变的问题^[9]。当前需要围绕绿色、高效、安全、节能等社会需求,不断探索应用各项新型储粮技术,确保粮食质量,为消费者提供绿色粮源。

高压电场(High Voltage Electric Field, HVEF)作为一种新兴物理处理技术已经在农业领域有了较广泛的应用,多用于食品领域^[10]。HVWF具有无热效应、无残留、能耗极小、对食品本身品质基本无影响等优点,是目前食品保鲜加工领域应用前景较好的技术之一^[10-12],空间电场能释放高能带电粒子、臭氧、氮氧化物等,具有较好的杀菌和保鲜效果^[10-15],高压静电场和高压脉冲电场在食品保鲜加工方面应用研究较多。研究表明,在高压静电场处理中,甘薯贮藏品质维持较好^[16]。高压交变电场应用研究较少,有研究表明交变电场(600 kV/m, 50 Hz)处理 120 min 能较好地抑制平菇褐变^[17];番茄经一次性短时预处理,在交变电场(-150~150 kV/m)下处理后其质量损失率和腐烂指数显著低于静电场(-150 kV/m)处理^[18],高压交变电场在粮食储藏方面的效果还不清楚。鉴于我国储粮对新技术的实际需求,文中以常用充氮气调储藏处理作为对照,研究适当高压交变电场对常温储藏稻谷品质的影响。

1 实验

1.1 材料和仪器

主要材料:供试稻谷,来自浙江宁波镇海国家粮食储备库有限公司储备库的 2019 年粳稻。

主要仪器:DZ400 真空包装机,浙江兄弟包装有限公司;JLG-II型砻谷机,中储粮成都粮食储藏科学研究所;LTJM160 绿洲精米机,上海青浦绿洲检测仪器有限公司;UV2802 紫外可见分光光度计,尤尼

柯(上海)仪器有限公司;DFT-502 手提式高速粉碎机,温岭市林大机械有限公司;DK-S28 电热恒温水浴锅,上海精宏实验设备有限公司;3K15 台式高速冷冻离心机,德国 SIGMA 公司。高压交变电场与杭州谱乐科技有限公司联合自制。

1.2 方法

1.2.1 样品处理

以常用充氮气调储藏处理对照,采用两因素两水平试验设计处理,其中 1 个因素为充氮处理(体积分数为 100%的空气和体积分数为 100%氮气等两水平),另外 1 个因素为高压交变电场处理(High-Voltage Alternating Electric Field, HVAEF)(无电场、有电场等两水平),共计空气无电场(空无)、空气有电场(空电)、充氮无电场(氮无)和充氮有电场(氮电)等 4 个处理组。每盒(21.5 cm×14.51 cm×5.5 cm, PET)装 300 g 左右稻谷样品,用 PET 封口膜封口,温度为 28 °C,分别放在无电场和有电场的环境中进行储藏,考虑稻谷储藏过程需要防霉抗氧,选用适当的高压交流电场场强(3~4 kV/m)。每组重复设置 10 个,并于储藏初始、2 个月、4 个月、6 个月取样测定。

1.2.2 测定方法

水分测定参照 GB 5009.3—2016,在 105 °C 下恒质量法;出糙率的测定参照 GB/T 5459—2008;精米率的测定参考 GB/T 21719—2008;碎米率的测定参考 GB/T 5503—2009;色泽、气味的评价参考 GB/T 5492—2008;黄粒米的检验参照 GB/T 5496—1985;黄度指数检验参照 GB/T 24302—2009;脂肪酸值的测定参照 NY/T 2333—2013。

1.3 数据分析

实验数据采用 Microsoft Excel 和 SPSS 软件进行整理分析,测定重复 3 次,采用 Duncan 检验显著性分析, $P < 0.05$ 为显著, $P < 0.01$ 为极显著。

2 结果和分析

2.1 高压交变电场处理对常温储藏稻谷储藏品质的影响

2.1.1 水分含量

稻谷水分含量对稻谷储藏和加工具有很大的影

响^[19],也是储藏损失的重要来源。由图1可知,随着贮藏时间的增加梗稻水分含量极显著降低,充氮气调处理对稻谷的水分含量有显著抑制作用,储藏期间,充氮处理稻谷水分含量(以质量分数计)比空气处理高出9.4%~13.0%,平均11.8%;高压交变电场储存稻谷对水分含量影响不大,电场和充氮二因素交互作用影响也不显著。

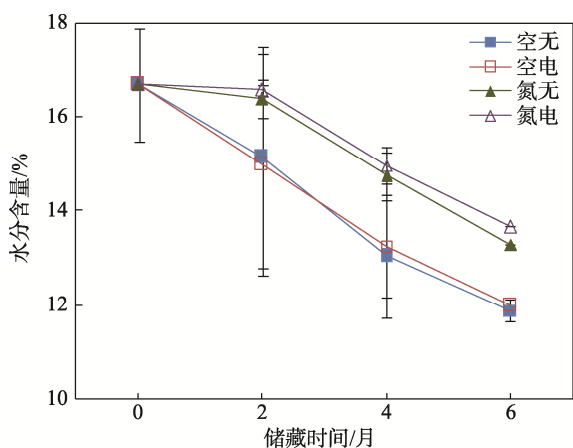


图1 不同处理对稻谷含水量的影响
Fig.1 Effect of different treatments on water content

2.1.2 脂肪酸值

一般情况下,稻谷的脂肪酸值会随着储藏时间的延长而增加,脂肪酸值的变化可灵敏地反映稻谷品质的变化情况^[1]。研究表明,氮气气调可减缓优质稻谷脂肪酸值的增加^[7]。在此实验储藏期间,稻谷色泽气味正常,随着储藏期间内梗稻的脂肪酸值极显著升高(图2),尤其是常规储藏空气无电场处理组,储藏期间脂肪酸值增加较快,储藏6个月期间脂肪酸值由113.1 mg/kg增长到286.4 mg/kg。高压交变电场和充氮气调对储藏梗稻谷脂肪酸值均有极显著抑制作用,在储藏期间电场处理稻谷的脂肪酸值比非电场处理低12.8%~26.0%,平均为17.2%,充氮气调处理稻谷脂肪酸值比非气调处理低3.4%~18.1%,平均为13.1%,电场处理影响要大于充氮气调处理。气调和电场这2个因素也具有显著交互作用,在所有处理中,空气无电场处理组储藏期间的稻谷脂肪酸值极显著高于其他处理组,充氮气调协同电场处理对脂肪酸值的抑制作用最好,其次为空气有电场处理、充氮气调无电场处理。

2.1.3 黄粒米率和黄度指数

稻谷在储藏过程中胚乳会逐渐产生黄变,导致稻谷品质下降,形成黄粒米。充氮气调储藏可在一定程度上减缓黄粒米率和黄度指数上升速度^[7,20]。由表1可知,稻谷储藏过程中黄粒米率和黄度指数逐渐增加,尤其是常规储藏空气无电场处理组增加比较显

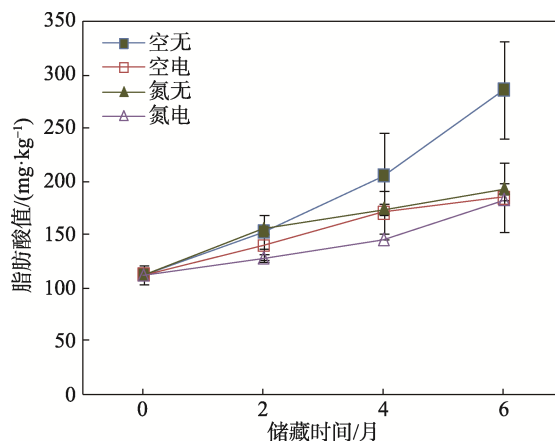


图2 不同处理对稻谷脂肪酸值的影响
Fig.2 Effect of different treatments on fatty acid value

著,其次为充氮气调无电场处理组,储藏6个月期间黄粒米率分别显著增加了86%和14%,黄度指数分别显著增加了46.6%和38.9%。方差分析结果表明,氮气气调处理和高压交变电场处理均能显著降低黄粒米率和黄度指数的增加,电场处理效果更加明显,没有明显的交互作用。电场处理几乎没有产生黄粒米,黄度指数增加幅度较小,与无电场处理相比,储藏期间电场处理黄度指数显著降低了8.0%~13.0%,平均10.5%;与无气调处理相比,充氮气调处理稻谷黄粒米率和黄度指数分别降低了81.3%~100%(平均88.4%)和1.1%~4.0%(平均2.5%)。

2.2 高压交变电场处理对常温储藏稻谷加工品质的影响

长期储藏情况下,一般稻谷的出糙率和整精米率均呈现缓慢的下降趋势,氮气气调储藏对优质稻谷的精米率和出糙率影响较小,可以减缓其下降趋势^[20]。由图3—4可知,6个月储藏期间内,各处理糙米率和精米率变化不大。储藏后期各处理组的出糙率有增加趋势,主要可能与水分含量降低有关,高压交变电场处理和气调处理对精米率的维持具有一定优势效应。方差分析结果显示,短期6个月储藏期限内,电场处理和气调处理对糙米率和精米率均没有显著影响;碎米率呈现明显的渐增趋势(图5),空气无电场处理、充氮气调无电场处理、空气有电场处理和充氮气调有电场处理显著增加了28.7%,18.6%,13.1%,9.7%。充氮气调和电场处理对于减缓碎米率的增加具有显著的抑制作用,充氮气调处理效果具有微弱优势,两者也具有一定的交互作用。在储藏期间,气调处理比非气调处理稻谷碎米率降低了5.4%~10.8%,平均7.3%;电场处理比非电场处理显著降低了3.1%~9.9%,平均6.9%。所有处理中,充氮气调协同电场强处理效果最好。

表 1 不同处理对稻谷黄粒米率及黄度指数的影响
Tab.1 Effect of different treatments on yellow rice and yellowness index of rice

处理 方式	黄粒米率/%				黄度指数			
	贮藏初始	2 个月	4 个月	6 个月	贮藏初始	2 个月	4 个月	6 个月
空无		0.05±0.04a	0.40±0.08a	0.86±0.29a	25.5±0.35a	29.3±0.32a	32.4±0.24a	
空电	0.00±0.00	0.00±0.00b	0.00±0.00c	0.00±0.00c	22.1±0.14	22.9±0.28c	25.1±0.21c	27.8±0.56c
氮无		0.00±0.00b	0.08±0.14b	0.14±0.05b		24.4±0.35b	27.8±0.21b	30.7±0.15b
氮电		0.00±0.00b	0.00±0.00c	0.00±0.00c		22.9±0.01c	26.0±0.17c	27.1±0.32c

注：数据后面所标注字母不同表示纵列处理间具有显著差异性 ($P < 0.05$)

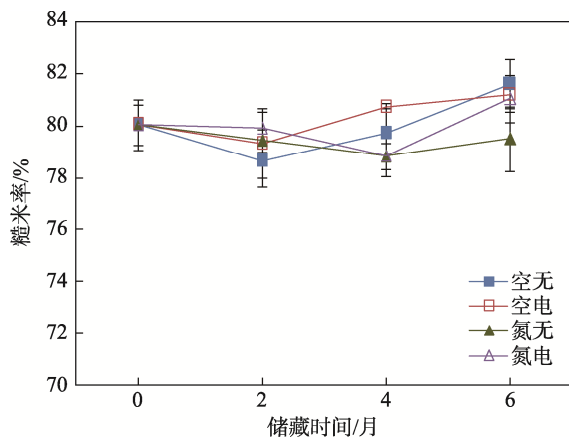


图 3 不同处理对稻谷糙米率的影响
Fig.3 Effect of different treatments on brown rice rate

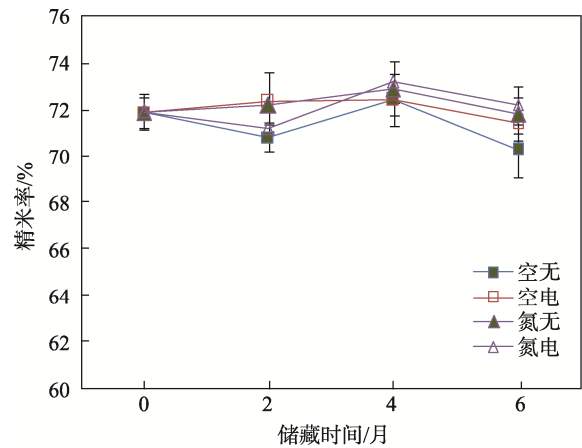


图 4 不同处理对稻谷精米率的影响
Fig.4 Effect of different treatments on polished rice rate

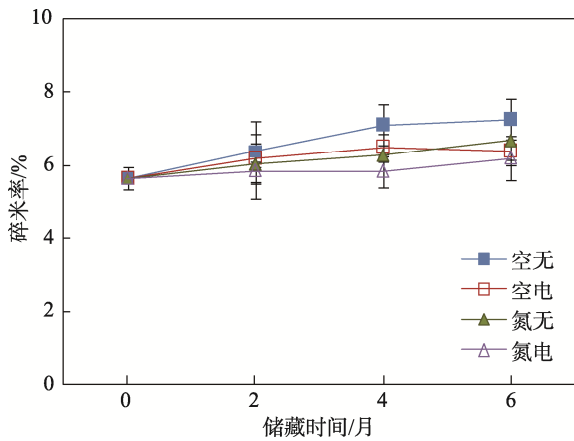


图 5 不同处理对稻谷碎米率的影响
Fig.5 Effect of different treatments on broken rice rate

3 结语

稻谷仓储过程中，会逐渐发生陈化，导致稻谷品质下降。经过 6 个月的常温储藏发现，稻谷色泽气味正常；稻谷水分含量下降显著，充氮气调处理对稻谷的水分含量下降有显著抑制作用，高压交变电场处理对水分含量影响不大，交互作用不显著；储藏期间内脂肪酸值极显著升高，高压交变电场和充氮气调对储藏稻谷脂肪酸值的上升均有极显著抑制作用，电场处

理稻谷的脂肪酸值比非电场处理显著降低 17.2%，充氮气调处理的稻谷脂肪酸值比非气调处理显著降低 13.1%，气调和高压交变电场两因素也具有显著交互作用，充氮气调协同高压交变电场处理对脂肪酸值的抑制作用最好。储藏过程中大米胚乳会逐渐产生黄变，黄粒米率和黄度指数逐渐增加，充氮气调处理和电场处理显著抑制了黄粒米率和黄度指数升高，电场处理效果更好。与无电场处理相比，电场处理几乎没有黄粒米增加，黄度指数显著降低 10.5%。与无气调处理相比，充氮气调处理稻谷的黄粒米率和黄度指数分别降低了 88.4%和 2.5%。

储藏期间，各处理组的糙米率和精米率变化差异很小，高压交变电场和气调处理对糙米率和精米率均没有显著影响，对精米率的维持具有一定优势效应。各处理组的碎米率呈明显的渐增趋势，且充氮气调和高压交变电场处理对于减缓碎米率的增加具有显著的抑制作用，气调处理比非气调处理稻谷的碎米率降低了 7.3%，电场处理比非电场处理显著降低了 6.9%，充氮气调处理效果稍有优势。电场和充氮气调也表现出一定的交互作用，所有处理中，充氮气调协同场强处理的碎米率最低。

高压交变电场和充氮气调处理对仓储稻谷储藏品质和加工品质都有较显著的保质作用，两者相比，高压交变电场在抑制黄变和脂肪酸值的升高具有一定的优势。

参考文献:

- [1] 刘晓莉, 陈超, 单晓雪. 储藏稻谷品质变化研究进展[J]. 粮油仓储科技通讯, 2018, 34(6): 31—33.
LIU Xiao-li, CHEN Chao, SHAN Xiao-xue et al. Research Progress on Quality Change of Stored Rice[J]. LIANGYOU CANGCHU KEJI TONGXUN, 2018, 34(6): 31—33.
- [2] 邹易, 张红建, 郑联合, 等. 控温气调技术在海南地区储粮中的应用研究[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(4): 49—52.
ZOU Yi, ZHANG Hong-jian, ZHENG Lian-he. The Study on Application of Temperature Control and Air Conditioning Technology in Grain Storage in Hainan Area[J]. Cereal and Food Industry, 2018, 25(4): 49—52.
- [3] FALAGAN N, TERRY L A. Recent Advances in Controlled and Modified Atmosphere of Fresh Produce Postharvest Technologies to Reduce Food Waste and Maintain Fresh Produce Quality[J]. Johnson Matthey Technology Review, 2018, 62(1): 107—117.
- [4] MONCINI L, SIMONE G, ROMI M, et al. Controlled Nitrogen Atmosphere for the Preservation of Functional Molecules during Silos Storage: A Case Study Using Old Italian Wheat Cultivars[J]. Journal of Stored Products Research, 2020, 88: 101638.
- [5] RANMEECHAI N, PHOTCHANACHAI S. Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Germinated Parboiled Brown Rice[J]. Food Science and Biotechnology, 2017, 26(2): 303—310.
- [6] LORENZO M, SABRINA S, GIANPAOLA P, et al. N-2 Controlled Atmosphere Reduces Postharvest Mycotoxins Risk and Pests Attack on Cereal Grains[J]. Phytoparasitica, 2020, 48(4): 555—565.
- [7] 元世昌, 黄亚伟, 王若兰, 等. 充氮气调对优质稻黄变及品质的影响研究[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(4): 57—61.
YUAN Shi-chang, HUANG Ya-wei, WANG Ruo-lan, et al. Effects of Controlled Atmosphere Storage with Nitrogen on Yellowing and Quality of High Quality Rice[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(4): 57—61.
- [8] 季雪根, 张飞豪, 仇灵光. 气调储粮条件下稻谷呼吸熵探究[J]. 粮食储藏, 2015, 44(3): 41—45.
JI Xue-gen, ZHANG Fei-hao, QIU Ling-guang. The Study of Respiratory Quotient of Paddy under Controlled Atmosphere Conditions[J]. Grain Storage, 2015, 44(3): 41—45.
- [9] 尹绍东, 张来林, 毕文雅. 充氮气调启封后对粳糙米品质的影响[J]. 粮食加工, 2016, 41(1): 20—23.
YIN Shao-dong, ZHANG Lai-lin, BI Wen-ya. The Influence of Quality of Japonica Rice after Unsealing Nitrogen of Controlled Atmosphere[J]. Grain Processing, 2016, 41(1): 20—23.
- [10] 罗权权, 李保国, 王振, 等. 高压电场技术及其在农业领域中的应用[J]. 包装工程, 2021, 42(3): 226—234.
LUO Quan-quan, LI Bao-guo, WANG Zhen, et al. High-Voltage Electric Field Technology and Its Application in the Field of Agriculture[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(3): 226—234.
- [11] DALVI-ISFAHAN M, HAMDAMI N, LE-BAIL A, et al. The Principles of High Voltage Electric Field and Its Application in Food Processing: A Review[J]. Food Research International, 2016, 89(1): 48—62.
- [12] 王丽平, 李苑, 余海霞, 等. 高压电场对生鲜食品的保鲜机理研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 278—283.
WANG Li-ping, LI Yuan, YU Hai-xia, et al. Progress in the Knowledge of the Preservation Mechanism of Raw Fresh Foods by High Voltage Electric Field[J]. Food Science, 2017, 38(3): 278—283.
- [13] MARTIN-BELLOSO O, SOBRINO-LOPEZ A. Combination of Pulsed Electric Fields with Other Preservation Techniques[J]. Food & Bioprocess Technology, 2011, 4(6): 954—968.
- [14] WANG Qi-jun, LI Yi-fei, SUN Da-wen, et al. Enhancing Food Processing by Pulsed and High Voltage Electric Fields: Principles and Applications[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018, 58(13): 2285—2298.
- [15] YAN Ming, YUAN Biao, XIE Yao, et al. Improvement of Postharvest Quality, Enzymes Activity and Polyphenoloxidase Structure of Postharvest Agaricus Bisporus in Response to High Voltage Electric Field[J]. Postharvest Biology & Technology, 2020, 166: 111230.
- [16] 李月梅, 庞林江, 张宜明, 等. 温度结合高压静电场对甘薯储藏品质的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(5): 47—51.
LI Yue-mei, PANG Lin-jiang, ZHANG Yi-ming, et al. Effect of Temperature Combined with High Voltage Electrostatic Field on the Storage Quality of Sweet Potato[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(5): 47—51.
- [17] HSIEN Chun-chi, CHANG Chao-kai, WONG Li-wah, et al. Alternating Current Electric Field Inhibits Browning of Pleurotus Ostreatus Via Inactivation of Oxidative Enzymes during Postharvest Storage[J]. LWT-Food Science & Technology, 2020, 134: 110212.
- [18] 薛佳, 赵瑞平, 郝建雄, 等. 交变电场处理对番茄贮藏效果的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(9): 56—60.
XUE Jia, ZHAO Rui-ping, HAO Jian-xiong, et al. Effect of Alternating Current Electric Field Treatment on the Storage Quality of Tomato Fruits[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(9): 56—60.
- [19] 袁道骥, 雅琪, 王月慧, 等. 水分对优质稻储藏品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(9): 96—100.
YUAN Dao-ji, YA Qi, WANG Yue-hui, et al. Effect of Moisture Content on Storage Quality of High Quality Rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(9): 96—100.
- [20] 杨乾奎, 渠琛玲, 王红亮, 等. 优质稻谷氮气气调与常温储藏品质变化的比较研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(10): 148—154.
YANG Qian-kui, QU Chen-ling, WANG Hong-liang, et al. Comparative Study on Quality Change of High Quality Paddy in Nitrogen Modification Atmosphere Storage and Conventional Storage[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(10): 148—154.