

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.02.023

让学娜, 董翼飞, 朱麟. 低温贮藏对不同形态籼粳杂交稻米品质及挥发性成分的影响[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(2): 178-185.

RANG X N, DONG Y F, ZHU L. Effects of low temperature storage on the quality and volatile components of indica-japonica hybrid rice with different forms[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(2): 178-185.

低温贮藏对不同形态籼粳杂交稻米品质及挥发性成分的影响

让学娜¹, 董翼飞², 朱麟³✉

(1. 中国农业科学院 农产品加工研究所, 北京 100094;

2. 沈阳农业大学 食品学院, 辽宁 沈阳 110866;

3. 宁波市农科院 农产品加工研究所, 浙江 宁波 315040)

摘要: 为明确不同形态贮藏籼粳杂交稻米品质及挥发性成分变化规律, 研究以甬优 1540 稻米为试材, 在稻谷、糙米、精米三种形态贮藏条件下, 以常规仓储为对照, 考察了低温 (15 ± 1 °C, RH60%) 对其品质 (脂肪酸值、感官评分) 及挥发性成分的影响。结果表明, 采用低温贮藏稻米, 6 个月开始感官品质显著优于常规仓储, 12 个月后脂肪酸值显著优于常规仓储, 而采用稻谷或糙米形态贮藏显著优于精米贮藏 (12 个月); 采用气相色谱-离子迁移谱 (gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS) 分析不同处理的稻米挥发性成分时发现, 相对于新鲜稻米, 经贮藏 6~12 个月稻米中醛酮类物质含量升高, 其中, 贮藏 6 个月的样本间挥发性成分差异相对较小, 贮藏 12 个月的样本间差异相对较大, 常温样本中的 2-甲基丁醇、戊醛、己醛、3-甲基丁醛等物质含量高于低温贮藏, 环己酮、2-丁酮、丁醛、3-羟基-2-丁酮等物质含量低于低温贮藏。综上, 相对于常规贮藏, 稻谷或糙米低温贮藏可以更好地维持籼粳杂交稻米品质及挥发性成分。研究可为籼粳杂交稻米采后贮运生产提供数据参考。

关键词: 籼粳杂交稻; 储存形态; 储存品质; 挥发性风味成分**中图分类号:** TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2024)02-0178-08**网络首发时间:** 2024-03-06 14:28:20**网络首发地址:** <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.ts.20240301.1615.012>

Effects of Low Temperature Storage on the Quality and Volatile Components of Indica-japonica Hybrid Rice with Different Forms

RANG Xue-na¹, DONG Yi-fei², ZHU Lin³✉

(1. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China; 2. Food College, Shen Yang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China;

3. Institute of Agricultural Products Processing, Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo, Zhejiang 315040, China)

收稿日期: 2023-10-19**基金项目:** 宁波市鄞州区科技攻关项目 (2021AS0041); 宁波市重大科技任务攻关项目 (2022Z182)**Supported by:** Science and Technology Tackling Project of Yinzhou District, Ningbo City (No.2021AS0041); Major Science and Technology Task Tackling Project of Ningbo City (No.2022Z182)**作者简介:** 让学娜, 女, 2000 年出生, 在读硕士生, 研究方向为食品加工与安全。E-mail: rangxuena@163.com**通讯作者:** 朱麟, 男, 1984 年出生, 硕士, 副研究员, 研究方向为农产品加工及贮藏。E-mail: zhulin0822@163.com

Abstract: To elucidate the variations in quality and volatile component changes in different forms of stored indica-japonica hybrid rice, a study was conducted with Yongyou 1540 rice as the test material. Under storage conditions of paddy, brown rice, and milled rice, compared to conventional warehousing, an investigation was conducted to assess the influence of low-temperature storage ($15\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, RH 60%) on its quality (fatty acid value, sensory evaluation) and volatile components. Results showed that storing rice at low temperatures significantly enhanced sensory quality when comparing with conventional storage after six months, and the fatty acid value was notably superior after 12 months. Moreover, storing rice as paddy or brown rice significantly outperformed milled rice storage (at 12 months). Analysis using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) to examine the volatile components of the rice under different treatments, aldehyde and ketone substances in rice stored for 6~12 months increased in comparison of fresh rice. Among these, the differences in volatile components were relatively minor between samples stored for 6 months and notably greater between samples stored for 12 months. Substances like 2-methyl-1-butanol, pentanal, hexanal, 3-methylbutanal were found in higher concentrations in room temperature samples compared to low-temperature storage, while cyclohexanone, 2-butanone, butanal, 3-hydroxy-2-butanone were lower in concentration. In conclusion, low-temperature storage of paddy or brown rice maintained the quality and volatile components of indica-japonica hybrid rice better than those of conventional storage. This research can provide essential data and theoretical foundations for post-harvest storage and production of indica-japonica hybrid rice.

Key words: Indica-japonica hybrid rice; storage form; storage quality; volatile flavor components

籼粳杂交稻 (japonica/indica hybrid rice) 是以籼稻为父本、粳稻为母本杂交培育出的新型水稻品种, 属于远缘杂交品种, 具有更强的杂种优势^[1]。我国南方地区农田中种植着大量的籼粳杂交水稻, 而其中以浙江宁波地区培育的“甬优”系列杂交稻在产量、品质以及推广面积等方面表现出色。

籼粳杂交稻米采后陈化规律是其采后研究的热点, 杨志成等^[2]以 5 种优质稻谷为实验材料, 研究其主要贮藏品质的变化, 揭示稻谷在短期陈化过程中, 高温高湿环境下增加稻谷丙二醛含量, 但稻谷脂肪酸相对含量较为稳定, 其贮藏品质与籼粳杂交稻相比较易发生劣变; 李凡等^[3]以不同品种籼粳杂交稻谷为实验材料研究贮藏过程中其品质变化及贮藏特性, 结果表明, 聚乙烯袋密封包装可以减小环境湿度对稻谷的影响, 并将稻谷含水量保持在较低水平, 添加脱氧剂能减轻稻谷脂质过氧化作用。低温储粮是利用自然冷源或机械制冷设备对粮堆进行冷却, 使平均粮温长期保持在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (低温) 或 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (准低温) 的一种绿

色控温储藏技术。长期实验研究证明 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的储藏温度最为适宜^[4], 可有效抑制稻谷的呼吸作用, 延缓品质劣变^[5]。但在低温下, 不同形态籼粳杂交米的品质及挥发性风味成分变化规律鲜有文献报道。

气相色谱-离子迁移谱联用 (GC-IMS) 技术是一种能够快速分析样品中挥发性化合物的方法, 具有操作简便、反应敏感的特点。该技术通过气相色谱的预分离和离子迁移谱的组分分析能力, 实现对样品中挥发性化合物的准确检测。在分析湿提和热榨油茶籽油风味差异^[6]、地理标志农产品和食品分类认证中的应用^[7]、不同颜色小麦蒸煮后风味挥发物的表征与鉴别^[8]、分析传统红烧鸡的香气特征^[9]、驴肉风味特征^[10]、橄榄油产地区分^[11]、不同产地的中国红茶鉴定^[12]等众多领域应用广泛。

本研究以全国主推籼粳杂交稻品种——甬优 1540 为试材, 以常规贮藏稻谷为对照, 考察稻谷、精米、糙米等不同形态甬优米低温贮藏过程中稻米的挥发性风味成分及品质变化规律, 并采用

GC-IMS 技术构建品质风味指纹图谱, 为不同形态甬优米低温贮藏技术确定提供实践参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

甬优 1540 籼粳杂交大米, 2020 年 11 月采购于浙江省宁波市象山县, 新鲜烘干的稻谷(水分含量 13%~14%); 0.05 mol/L NaOH 95%乙醇溶液、95%乙醇、1%酚酞指示剂溶液: 国药集团化学试剂有限公司。实验所用试剂均为分析纯, 水为蒸馏水。

1.2 仪器与设备

FlavourSpec®风味分析仪: 北京格林德国际科技有限公司; BLH-3290 K 稻谷出米率检测仪: 浙江伯利恒仪器设备公司; SHA-B 数显水浴恒温振荡器: 武汉格莱莫检测设备公司; SIGMA 2-16 PK 离心机: 德国 Sigma 公司; 梅特勒 ML 802/02 电子天平: 上海右一仪器公司。

1.3 实验方法

1.3.1 实验设计

使用稻谷出米率检测仪的砻谷和精米机将新采购的甬优稻谷分别碾成糙米和精米(碾米时间 15 s), 每 2.5 kg/包, 置于 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$, RH 60% 冷库中, 用编织袋包装, 分为低温稻谷(DG)、低温糙米(CM)、低温精米(JM)三个处理, 分别在第 0、6、12 月取样用于理化指标测定以及用 FlavourSpec®风味分析仪进行 GC-IMS 分析测定, 每个样品重复 3 次作为平行样, 以常温贮藏稻谷(CK)作为对照。

1.3.2 理化性质测定

脂肪酸值通过 GB/T 15684—2015《谷物碾磨制品脂肪酸值的测定》进行测定。感官评分依据 GB/T 20569—2006《稻谷储存品质判定规则》测定。

1.3.3 稻米挥发性成分测定

每个样品取 5 g 样品, 放入容量为 20 mL 的顶空瓶中, 80°C 孵育 15 min 后进行顶空进样, 进样体积为 500 μL , 进样针温度为 85°C , 孵化转速 500 r/min; 使用高纯度氮气作为载体气体。通过使用 FlavourSpec®风味分析仪进行 GC-IMS 分析, 使用 C4~C9 的正构酮作为外标, 可以制作

一条保留时间-保留指数标准曲线。通过该曲线, 可以计算出每种物质的保留时间对应的保留指数。然后使用风味分析仪内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库对这些物质进行定性分析, 每个样品平行测定 3 次。GC-IMS 测试条件参照朱麟等^[13]的方法。

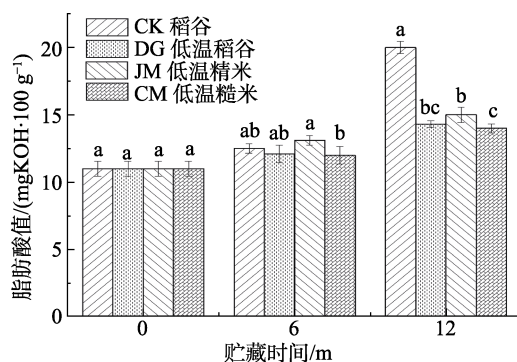
1.4 数据处理

利用 FlavourSpec®风味分析仪内置的 VOCal 软件, 结合软件内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库, 可以对物质进行定性分析, 通过分析谱图得出结果。两种谱图可以用 Reporter 插件进行比较, 以查看样品之间的差异(三维谱图和二维俯视差异谱图); 通过应用 Gallery Plot 插件进行指纹图谱分析以及 Dynamic PCA 插件进行样品相似度分析, 可以获得对指纹特征和样品相似性的认识。使用 SPSS 20.0 软件对数据进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同形态对稻米贮藏期间脂肪酸含量、感官评分的影响

由图 1~2 可知, 随着贮藏时间的延长, 甬优 1540 稻米脂肪酸值含量逐渐升高, 这与稻米陈化的规律相符^[14]。贮藏 12 个月, 常规贮藏稻谷游离脂肪酸值从 11.04 mgKOH/100g 升高至 20.10 mgKOH/100g, 增幅 82.07%, 而糙米低温贮藏仅升高至 13.98 mgKOH/100g, 增幅仅为 26.63%, 因此采用糙米低温或稻谷低温贮藏的方式, 可以有效降低贮藏过程中游离脂肪酸的升高。



注: 不同字母之间表示存在显著性差异 ($P < 0.05$), 下同。

Note: There was significant difference between different letters ($P < 0.05$), same as below.

图 1 不同贮藏形态对甬优 1540 稻米脂肪酸值含量的影响
Fig.1 Effects of different storage forms on fatty acid content of Yongyou 1540 rice

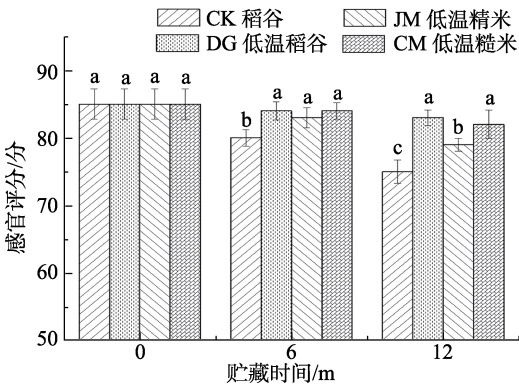


图 2 不同贮藏形态对甬优 1540 稻米感官评分的影响
Fig.2 Effects of different storage patterns on sensory scores of Yongyou 1540 rice

从图 2 可以看出，随着贮藏时间的延长，稻米的感官评分均呈下降趋势，其中常规贮藏稻谷下降趋势尤为显著，低温精米次之。同样低温条件下，糙米低温贮藏与稻谷低温贮藏品质相近，而精米贮藏品质相对较差，因此低温稻谷或低温糙米贮藏为较适宜的贮藏方式。

2.2 不同形态稻米中挥发性有机物定性分析

通过对 9 种稻米样品进行鉴定，发现其中含有 80 种挥发性风味物质（图 3）。定性分析发现，80 种挥发性风味物质中含有 71 种已知的不同的物质，包括 26 种醛类、12 种醇类、12 种酮类、7 种烯萜类、6 种酯类、3 种杂环类物质、2 种醚类、2 种酸类以及 1 种酚类，此外还发现这些物质中含有多对单体和二聚体。由于风味成分数据库信息尚未完善，GC-IMS 风味分析存在 9 种风味物质未被定性的问题，然而，这一普遍性问题并不会对实验结果产生任何影响。在贮藏稻米的过程中，发生了一系列复杂的生物化学反应，导致产生了多种挥发性物质^[15]，这些物质给予稻米特殊

的香味。实验结果表明，醇类，醛类和酯类^[16]是稻米香气组分中特征风味物质^[17]。

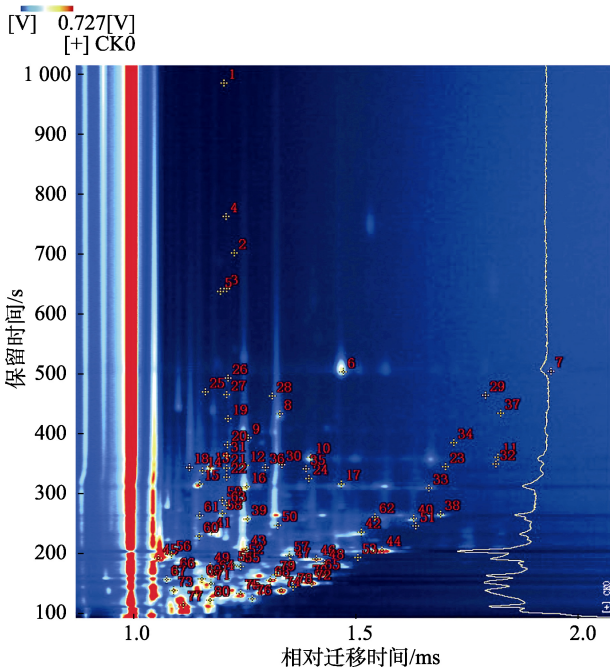


图 3 数据库定性分析
Fig.3 Qualitative analysis of databas

2.3 不同形态对稻米贮藏期间挥发性成分的影响

2.3.1 样品中挥发性物质 Gallery Plot 指纹谱图

不同形态的稻米在不同贮藏期挥发性物质的指纹图谱呈现出不同的特征。如图 4 所示，其中每一行代表一个样品的挥发性风味成分组成，而每一列代表某种挥发性物质在不同样品中的信号峰。该物质的浓度高低会在信号峰上表现出颜色的明暗变化，可以直观地观察到每个样品中完整的挥发性有机物信息，并且能够比较不同样品之间挥发性有机物的差异^[18]。

表 1 挥发性物质成分分析表
Table 1 Volatile composition analysis table

序号	化合物	CAS 号	分子式	相对分子量	RI 相对保留指数	保留时间/s	相对迁移时间/ms
1	对甲氧基苯甲醛	C123115	C ₈ H ₈ O ₂	136.1	1 440.1	983.807	1.209 58
2	对甲氧基苯丙烯	C140670	C ₁₀ H ₁₂ O	148.2	1 243.0	700.434	1.232 90
3	桃金娘烯醇	C19894974	C ₁₀ H ₁₆ O	152.2	1 201.7	640.986	1.216 88
4	甲基麦芽酚	C118718	C ₆ H ₆ O ₃	126.1	1 285.4	761.335	1.215 06
5	水杨酸甲酯	C119368	C ₈ H ₈ O ₃	152.1	1 198.5	636.431	1.202 28
6	壬醛单体	C124196	C ₉ H ₁₈ O	142.2	1 105.3	502.450	1.479 42
7	壬醛二聚体	C124196	C ₉ H ₁₈ O	142.2	1 105.7	502.892	1.945 26
8	反-2-辛烯醛单体	C2548870	C ₈ H ₁₄ O	126.2	1 056.5	432.187	1.336 21
9	未知物 1	unidentified	*	0	1 028.5	391.974	1.263 78
10	正辛醛单体	C124130	C ₈ H ₁₆ O	128.2	1 005.8	359.273	1.405 34
11	正辛醛二聚体	C124130	C ₈ H ₁₆ O	128.2	1 005.8	359.273	1.826 74

续表 1

序号	化合物	CAS 号	分子式	相对分子质量	RI 相对保留指数	保留时间/s	相对迁移时间/ms
12	2-正戊基呋喃	C3777693	C ₉ H ₁₄ O	138.2	996.3	345.800	1.258 34
13	6-甲基-5-庚烯-2-酮	C110930	C ₈ H ₁₄ O	126.2	993.6	343.460	1.179 69
14	1-辛烯-3-醇	C3391864	C ₈ H ₁₆ O	128.2	985.3	336.356	1.162 39
15	苯甲醛单体	C100527	C ₇ H ₆ O	106.1	960.4	315.120	1.155 49
16	(E)-2-庚烯醛单体	C18829555	C ₇ H ₁₂ O	112.2	954.6	310.180	1.261 37
17	苯甲醛二聚体	C100527	C ₇ H ₆ O	106.1	960.1	314.860	1.474 63
18	2-乙酰基噻唑	C24295032	C ₅ H ₅ NOS	127.2	992.7	342.680	1.132 80
19	萜烯	C99854	C ₁₀ H ₁₆	136.2	1 050.5	423.540	1.219 01
20	双戊烯	C138863	C ₁₀ H ₁₆	136.2	1 020.6	380.547	1.218 07
21	β-焦烯单体	C514965	C ₁₀ H ₁₆	136.2	991.3	341.534	1.215 84
22	β-蒎烯	C127913	C ₁₀ H ₁₆	136.2	973.6	326.429	1.216 76
23	β-焦烯二聚体	C514965	C ₁₀ H ₁₆	136.2	993.9	343.685	1.708 74
24	庚醇	C53535334	C ₇ H ₁₆ O	116.2	971.1	324.271	1.401 05
25	丁位己内酯	C823223	C ₆ H ₁₀ O ₂	114.1	1 081.5	468.178	1.167 82
26	芳樟醇	C78706	C ₁₀ H ₁₈ O	154.3	1 097.6	491.327	1.219 71
27	萜品油烯	C586629	C ₁₀ H ₁₆	136.2	1 078.8	464.225	1.216 47
28	未知物 2	unidentified	*	0	1 077.0	461.684	1.318 62
29	未知物 3	unidentified	*	0	1 078.2	463.378	1.798 56
30	丁酸丁酯单体	C109217	C ₈ H ₁₆ O ₂	144.2	997.3	347.059	1.340 84
31	3-萜烯	C13466789	C ₁₀ H ₁₆	136.2	1 007.9	362.351	1.215 63
32	丁酸丁酯二聚体	C109217	C ₈ H ₁₆ O ₂	144.2	997.7	347.705	1.821 05
33	(E)-2-庚烯醛二聚体	C18829555	C ₇ H ₁₂ O	112.2	951.9	307.861	1.671 07
34	4-异丙基甲苯	C99876	C ₁₀ H ₁₄	134.2	1 022.7	383.673	1.727 49
35	3-辛醇	C589980	C ₈ H ₁₈ O	130.2	990.2	340.582	1.394 75
36	己酸	C142621	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.2	992.7	342.674	1.303 96
37	反-2-辛烯醛二聚体	C2548870	C ₈ H ₁₄ O	126.2	1 056.9	432.853	1.832 84
38	庚醛	C111717	C ₇ H ₁₄ O	114.2	901.2	264.644	1.698 18
39	2-庚酮单体	C110430	C ₇ H ₁₄ O	114.2	892.2	256.914	1.262 22
40	2-庚酮二聚体	C110430	C ₇ H ₁₄ O	114.2	893.3	257.880	1.637 38
41	2-己烯醛单体	C6728263	C ₆ H ₁₀ O	98.1	851.6	235.173	1.182 01
42	2-己烯醛二聚体	C6728263	C ₆ H ₁₀ O	98.1	849.4	233.965	1.518 36
43	正己醛单体	C66251	C ₆ H ₁₂ O	100.2	796.6	205.702	1.260 92
44	正己醛二聚体	C66251	C ₆ H ₁₂ O	100.2	794.3	204.494	1.566 23
45	2-甲基四氢呋喃-3-酮单体	C3188009	C ₅ H ₈ O ₂	100.1	764.9	191.208	1.062 99
46	2-甲基四氢呋喃-3-酮二聚体	C3188009	C ₅ H ₈ O ₂	100.1	761.3	189.758	1.418 75
47	反式-2-戊烯醛	C1576870	C ₅ H ₈ O	84.1	749.4	184.927	1.360 53
48	未知物 4	unidentified	*	0	745.2	183.236	1.436 86
49	4-甲基-2-戊酮	C108101	C ₆ H ₁₂ O	100.2	730.9	177.438	1.179 42
50	正己醇单体	C111273	C ₆ H ₁₄ O	102.2	871.1	245.629	1.330 55
51	正己醇二聚体	C111273	C ₆ H ₁₄ O	102.2	870.5	245.309	1.641 00
52	正戊醇单体	C71410	C ₅ H ₁₂ O	88.1	764.1	190.889	1.255 32
53	正戊醇二聚体	C71410	C ₅ H ₁₂ O	88.1	765.8	191.589	1.510 63
54	2-甲基丁醇	C137326	C ₅ H ₁₂ O	88.1	734.7	178.977	1.232 07
55	异戊醇	C123513	C ₅ H ₁₂ O	88.1	729.3	176.797	1.247 54
56	3-甲基-2-丁烯醛单体	C107868	C ₅ H ₈ O	84.1	778.8	196.883	1.091 82
57	3-甲基-2-丁烯醛二聚体	C107868	C ₅ H ₈ O	84.1	776.1	195.793	1.357 81
58	乙二醇单丁醚	C111762	C ₆ H ₁₄ O ₂	118.2	902.1	265.375	1.206 82

序号	化合物	CAS 号	分子式	相对分子质量	RI 相对保留指数	保留时间/s	相对迁移时间/ms
59	未知物 5	unidentified	*	0	927.9	287.389	1.206 82
60	未知物 6	unidentified	*	0	837.9	227.841	1.154 64
61	环己酮	C108941	C ₆ H ₁₀ O	98.1	898.3	262.127	1.155 98
62	未知物 7	unidentified	*	0	895.3	259.600	1.549 30
63	未知物 8	unidentified	*	0	919.0	279.810	1.216 18
64	正戊醛单体	C110623	C ₅ H ₁₀ O	86.1	697.8	164.044	1.190 61
65	正戊醛二聚体	C110623	C ₅ H ₁₀ O	86.1	701.4	165.484	1.426 98
66	丙酸	C79094	C ₃ H ₆ O ₂	74.1	707.5	167.952	1.102 23
67	1-戊烯-3-酮单体	C1629589	C ₅ H ₈ O	84.1	668.9	154.995	1.080 65
68	1-戊烯-3-酮二聚体	C1629589	C ₅ H ₈ O	84.1	668.2	154.789	1.313 93
69	2-甲基丁醛单体	C96173	C ₅ H ₁₀ O	86.1	676.6	157.052	1.159 78
70	2-甲基丁醛二聚体	C96173	C ₅ H ₁₀ O	86.1	676.6	157.063	1.398 78
71	异戊醛单体	C590863	C ₅ H ₁₀ O	86.1	644.5	148.392	1.181 15
72	异戊醛二聚体	C590863	C ₅ H ₁₀ O	86.1	643.4	148.115	1.407 56
73	乙酸乙酯单体	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	603.1	137.224	1.096 67
74	乙酸乙酯二聚体	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	602.3	137.016	1.339 30
75	2-丁酮	C78933	C ₄ H ₈ O	72.1	585.6	132.506	1.246 60
76	正丁醛	C123728	C ₄ H ₈ O	72.1	553.0	123.728	1.274 47
77	丙酮	C67641	C ₃ H ₆ O	58.1	514.0	113.196	1.118 18
78	异丁醇	C78831	C ₄ H ₁₀ O	74.1	625.6	143.290	1.366 05
79	3-羟基-2-丁酮	C513860	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	697.4	163.854	1.327 23
80	未知物 9	unidentified	*	0	541.0	120.468	1.178 90

羟基-2-丁酮等,其它的如丁酸丁酯、乙酸乙酯、柠檬烯、 β -蒎烯、 β -焦烯等则含量降低。低温和常温贮藏 6 个月的样本间挥发性成分差异相对较小,贮藏 12 个月的样本间差异相对更大,常温

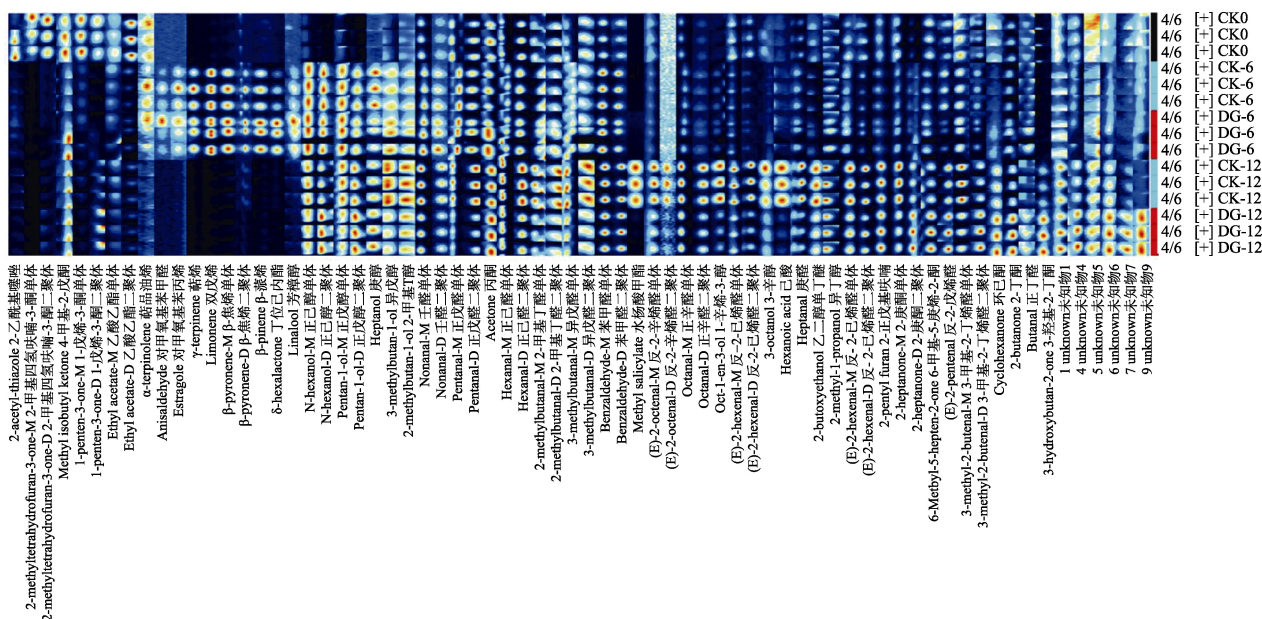


图 4 不同形态稻米不同贮期挥发性物质 Gallery Plot 指纹谱图

样本中的 2-甲基丁醇、戊醛、己醛、3-甲基丁醛、E-2-辛烯醛、辛醛、蘑菇醇等物质含量高于低温贮藏, 环己酮、2-丁酮、丁醛、3-羟基-2-丁酮等物质含量低于低温贮藏。通常, 低浓度的醛类物质赋予一些青草和水果香气, 高浓度时会具有陈化味道; 酮类和醇类物质的阈值高于醛类, 具有一些花香和水果香; 酯类物质能够增加稻米的整体香气^[19]。

2.3.2 不同形态对稻米贮藏期间挥发性成分的主成分和聚类分析

主成分 (PCA) 分析可以看出 (图 5), 降维后前两个主成分累积贡献率为 62%, 整体上贮藏 6 个月和贮藏 12 个月的样本间距离相对更远, 其中贮藏 12 个月的 JM 和 CM 与 CK0 相对距离最大, CM 和 JM 相对距离最小, CK 和 DG 相对距

离也最小。结合欧氏距离 (图 6) 也可以看出, 相同贮藏时间时, CK 和 DG 距离比较近, CM 和 JM 距离比较近, CK 与 CM 的距离最远, 这体现了样本间的差异与相似性^[20]。

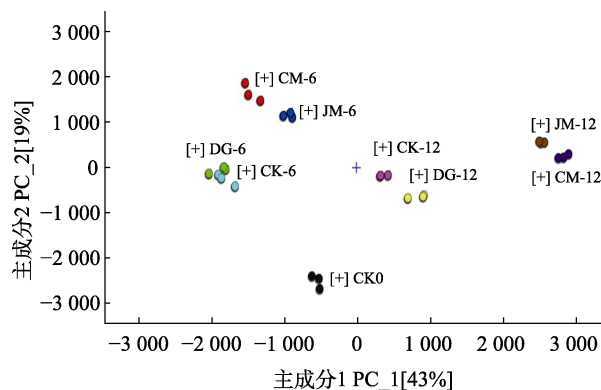


图 5 全部样品 PCA 分析
Fig.5 PCA analysis of all samples

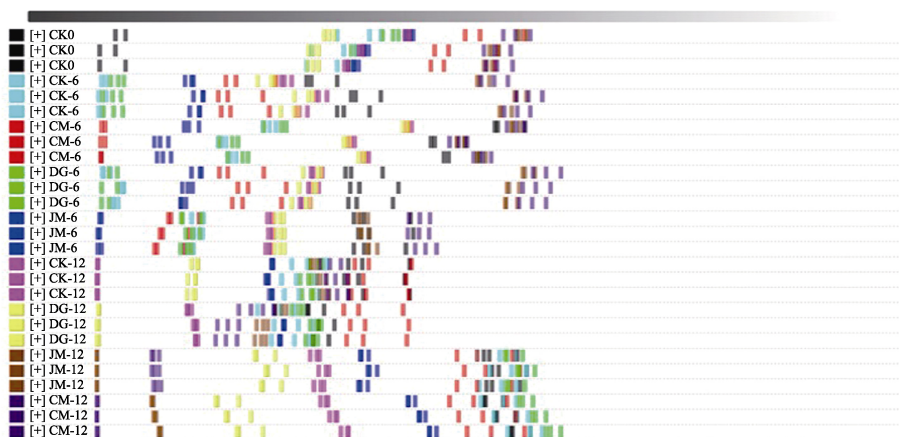


图 6 全部样品间欧氏距离图
Fig.6 Euclidean distance diagram of all samples

3 结论

本研究以常规贮藏稻为对照, 考察了不同形态甬优 1540 稻米在低温下品质和挥发性成分的变化规律, 结果发现, 采用低温 ($15\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, RH60%) 贮藏, 6 个月后其感官品质显著优于常规仓储 ($P<0.05$), 12 个月后脂肪酸值显著优于常规仓储 ($P<0.05$); 结合 GC-IMS 分析, 经贮藏 6~12 个月稻米中醛酮类物质含量升高, 且呈现与感官评分及脂肪酸值相似的变化规律, 因此, 相对于常规贮藏, 稻谷或糙米低温贮藏可以更好地维持籼粳杂交稻米综合品质。

参考文献:

- [1] 林建荣, 宋昕蔚, 吴明国, 等. 籼粳超级杂交稻育种技术创新与品种培育[J]. 中国农业科学, 2016, 49(2): 207-218.
LIN J R, SONG X W, WU M G, et al. Breeding technology innovation of Indica-Japonica super hybrid rice and varietal breeding[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(2): 207-218.
- [2] 杨志成, 张双凤, 张燕彦, 等. 人工加速陈化对优质稻谷贮藏品质的影响[Z]//食品与机械: 卷 36. 2020: 132-136.
YANG Z C, ZHANG S F, ZHANG Z Y, et al. Effects of artificial accelerated aging on high-quality rice storage quality[Z]//Food & Machinery: Volume 36. 2020: 132-136.
- [3] 李凡, 胡晋. 籼粳杂交稻稻谷贮藏过程品质变化及贮藏特性的研究[D]. 浙江大学, 2019.
LI F, HU J. Study on quality change and storage characteristics of Indica-Japonica hybrid rice during storage[D]. Zhejiang

- University, 2019.
- [4] 王舒欣, 付鹏程, 刘胜强, 等. 我国低温储粮技术应用现状与展望[Z]//中国粮油学报. 1-15.
WANG S X, FU P C, LIU S Q, et al. The current situation and prospect of the application and development of low-temperature grain storage technology in my country[Z]//Journal of the Chinese Cereals and Oils Association. 1-15.
- [5] 项宽宽, 吴东亮, 张爱强, 等. 我国低温储粮技术的应用与发展[J]. 粮食储藏, 2023, 52(1): 27-31.
XIANG K K, WU D L, ZHANG A Q, et al. Application and development of low-temperature grain storage technology in China[J]. Grain Storage, 2023, 52(1): 27-31.
- [6] 夏纯凤, 吴苏喜, 王彦心, 等. 基于 GC-IMS 技术分析湿提和热榨油茶籽油风味的差异[J/OL]. 中国油脂, 2023, 48(5): 141-145.
XIA C F, WU S X, WANG Y X, et al. Flavor difference between wet extracted and hot-pressed oil-tea camellia seed oils based on GC-IMS[J/OL]. China Oils and Fats, 2023, 48(5): 141-145.
- [7] ZHU H, ZHU D, SUN J. Application of GC-IMS coupled with chemometric analysis for the classification and authentication of geographical indication agricultural products and food[J/OL]. Frontiers in Nutrition, 2023, 10: 1247695.
- [8] JIN W, ZHAO S, SUN H, et al. Characterization and discrimination of flavor volatiles of different colored wheat grains after cooking based on GC-IMS and chemometrics[J/OL]. Current Research in Food Science, 2023, 7: 100583.
- [9] XIANGXIANG S, YUMEI Y, S.M S A, et al. Characterization of aroma profiles of chinese four most famous traditional red-cooked chickens using GC-MS, GC-IMS, and E-nose[J]. Food Research International, 2023, 173: 113335.
- [10] LIMIN M, WEI R, MENGQI S, et al. Characterization of donkey-meat flavor profiles by GC-IMS and multivariate analysis[J]. Nutrition and Food Science Technology, 2023, 10: 1079799.
- [11] JOSCHA C, SASCHA R, PHILIPP W. GC-IMS data on the discrimination between geographic origins of olive oils[J]. Data in Brief, 2022, 45: 108730.
- [12] FANGLING Z, SHIYA G, XIAOYI Z, et al. Unraveling the chemosensory attributes of Chinese black teas from different regions using GC-IMS combined with sensory analysis[J]. LWT, 2023, 184: 114988.
- [13] 朱麟, 林旭东, 何悦, 等. 甬优系列籼粳杂交稻米挥发性风味成分分析[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(2): 154-160.
ZHU L, LIN X D, HE Y, et al. Analysis on volatile components of Yongyou series Indica-Japonica hybrid rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(2): 154-160.
- [14] 朱麟, 龚雪, 田雨, 等. 不同贮藏温度下籼粳杂交大米陈化规律研究[J]. 核农学报, 2023, 37(6): 1174-1184.
ZHU L, GONG X, TIAN Y, et al. Study on aging mechanism of Indica-Japonica hybrid rice under different storage temperatures [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2023, 37(6): 1174-1184.
- [15] 谷翔欣, 乔岩, 王海绮, 等. 不同酒精度波特酒品质及挥发性风味成分分析[J]. 中国酿造, 2023, 42(8): 247-252.
GU X X, QIAO Y, WANG H Q, et al. Analysis of the quality and volatile flavor components of Port wine with different alcohol content[J]. China Brewing, 2023, 42(8): 247-252.
- [16] 张敏, 苏慧敏, 王子元. 稻米加工对米饭风味的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 8-14.
ZHANG M, SU H M, WANG Z Y. The effect of rice processing on the flavor of cooked rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(9): 8-14.
- [17] 仲梦涵, 夏雨杰, 章银, 等. 江苏省五区县稻米食味及风味特性的差异性研究[J/OL]. 粮食科技与经济, 2022, 47(3): 83-89.
ZHONG M H, XIA Y J, ZHANG Y, et al. Study on the taste quality and flavor characteristics of rice in five counties of Jiangsu Province[J/OL]. Food Science and Technology and Economy, 2022, 47(3): 83-89.
- [18] ZHANG Z, JI H, ZHANG D, et al. The role of amino acids in the formation of aroma-active compounds during shrimp hot air drying by GC-MS and GC-IMS[J/OL]. Foods, 2022, 11(20): 3264.
- [19] 孙兴荣, 卞景阳, 刘琳帅, 等. 基于顶空-气相色谱-离子迁移谱技术分析蒸煮前后不同颜色稻米的挥发性化合物[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 332-340.
SUN X R, BIAN J Y, LIU L S, et al. Characterization of volatile compounds in different colored rices before and after cooking by headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Food Science, 2023, 44(10): 332-340.
- [20] 张思瑾, 熊雨欣, 尤娟, 等. 基于 GC-IMS 分析采肉次数对鱼糜风味特征的影响[Z]//食品工业科技. 1-16.
ZHANG S J, XIONG Y X, YOU J, et al. Analysis on the influence of meat mincing times on the flavor characteristics of surimi based on GC-IMS[Z]//Science and Technology of Food Industry. 1-16. 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。