

不同储藏条件下全麦片品质的稳定性分析

高子豪^{1,2}, 余可^{1,2}, 刘磊²

(1. 长江大学生命科学学院, 湖北荆州 434000) (2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510640)

摘要: 探讨储藏条件对全麦片储藏期间营养素损失和氧化稳定性的影响, 为全麦片的储藏及其货架期的预测提供理论依据。以全麦片为原料, 在 4 °C 避光, 25 °C 避光, 25 °C 光照, 45 °C 避光的储藏条件下储藏 30 d, 分别测定其维生素 A 含量、维生素 E 含量、过氧化值、脂肪酸值和酸价等指标, 分析比较温度和光照等储藏条件对全麦片营养素和稳定性的影响。结果表明, 低温可以显著减少全麦片中的营养素损失和氧化酸败, 其中 4 °C 下储藏的全麦片营养素损失最少, 氧化稳定性最佳; 与其相比在 45 °C 下储藏的全麦片样品维生素 A 和维生素 E 分别降低至 319.54 μg/100 g 和 96.85 mg/100 g, 衰减率分别提高至 2.5 和 3.3 倍。储藏温度也显著影响全麦片的氧化稳定性, 低温处理使全麦片中的脂肪氧化酸败速度显著下降 ($p < 0.05$), 在储藏 30 d 后, 相比 45 °C 储藏的样品, 在 4 °C 下储藏的样品其过氧化值、脂肪酸值和酸价分别下降了 23.26%、87.02%、36.62%。此外, 光照也能显著降低全麦片的稳定性。与 25 °C 避光储藏相比, 全麦片经过光照储藏 30 d 后其维生素 A 和维生素 E 降低至 400.16 μg/100 g 和 180.19 mg/100 g, 过氧化值和酸价分别升高至 0.16 mmol/kg 和 0.42 mg/g。综上所述, 在 4 °C 避光储藏的全麦片有最好的品质稳定性。

关键词: 全麦片; 储藏温度; 光照; 脂肪酸值

文章编号: 1673-9078(2021)04-124-130

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.4.0930

Analysis of the Stability of Whole Wheat Flakes Quality in Different Storage Conditions

GAO Zi-hao^{1,2}, YU Ke^{1,2}, LIU Lei²

(1. College of Life Sciences, Yangtze University, Jingzhou 434000, China)

(2. Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory Processing, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The purpose of this research was to evaluate the effect of storage conditions on nutrient loss and oxidation stability of the whole wheat flakes during storage, which could provide a theoretical basis for the prediction of the shelf life of whole wheat flakes. The whole wheat flakes was used as raw material, and the content of vitamin A, vitamin E, peroxide value, fatty acid value and acid value were measured under the conditions of 4 °C, 25 °C, 45 °C in dark and 25 °C with light for 30 days. The effect of temperature and light condition on nutrient and quality stability of whole wheat flakes were compared and analyzed. The results showed that lower temperature could significantly alleviate the nutrient loss and oxidative rancidity in whole wheat flakes. Among them, the nutrient loss of whole wheat flakes stored at 4 °C was the least and the oxidation stability was the best. Compared with the sample stored at 4 °C, the contents of vitamin A and vitamin E of the sample stored at 45 °C decreased to 319.54 μg/100 g and 96.85 mg/100 g, respectively, and the decay rates were 2.5 and 3.3 times higher, respectively. The rate of lipid oxidation in wheat flakes was significantly reduced after low temperature treatment. Compared with storing at 45 °C, the peroxide value, fatty acid value and acid value of samples stored at 4 °C after 30 days of storage decreased by 23.26%, 87.02% and 36.62%, respectively. In addition,

引文格式:

高子豪,余可,刘磊.不同储藏条件下全麦片品质的稳定性分析[J].现代食品科技,2021,37(4):124-130

GAO Zi-hao, YU Ke, LIU Lei. Analysis of the stability of whole wheat flakes quality in different storage conditions [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 124-130

收稿日期: 2020-10-10

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0401003)

作者简介: 高子豪 (1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工安全

通讯作者: 刘磊 (1982-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 功能食品

light condition could induce decrease in the stability of whole wheat flakes significantly during storage. Compared with 25 °C in dark after 30 days storage, the contents of vitamin A and Vitamin E in whole wheat flakes that stored in light decreased to 400.16 μg/100 g and 180.19 mg/100 g, respectively and its peroxide value and acid value increased to 0.16 mmol/kg and 0.42 mg/g, respectively. In conclusion, whole wheat flakes stored at 4 °C and protected from light had the best quality stability.

Key words: whole wheat flakes; storage temperature; light condition; fatty acid value

全麦粉是以小麦为原料研磨制成,且各部分组成与完整颖果一致,包含麦麸,胚芽和胚乳^[1]。与普通小麦精粉相比,全麦粉含有更多的维生素,矿物质,膳食纤维,必需氨基酸、天然抗氧化剂和其他活性成分如类胡萝卜素、黄酮类^[2]。全麦片是以全麦粉作为原料,再经过滚筒干燥加工制成的营养方便食品^[3]。与由小麦精粉制备的普通麦片相比,全麦片中含有更多的氧化酶、脂类、多酚等物质^[4],导致全麦片在储藏过程中易于发生褐变和酸败,货架期较短。

近年来,有关全谷物在储藏过程中营养成分的变化已经有了报道。Wennermark 的研究表明全麦粉在 20 °C、12 个月的储藏过程中维生素 E 含量降低了 40%^[5],而全麦粉在室温储藏 297 d 维生素 E 含量降低了 32%^[6]。储藏环境的不同会对全谷物营养成分的变化造成较大的影响,有研究表明,相比常温室内储藏,在高温和高湿的储藏条件下储藏 12 个月后,全麦粉中的硫胺素会有 7.2~11.5% 的降低^[7]。Tait S P C 等通过改变全麦粉储藏温度来改善其储藏稳定性,结果表明,相比 20 °C,在 -20 °C 储藏的全麦粉能够有效的防止脂类物质氧化转变为醛、酮以及低级脂肪酸,能够有效的改善全麦粉的储藏稳定性^[8]。

目前改善全谷物储藏稳定性的方法主要集中在通过物理或化学处理抑制脂类物质降解从而达到改善其储藏稳定性的目的。Champagne E T 等采用乙醇蒸汽处理米糠时发现乙醇蒸汽能显著降低脂肪酶的活性^[9]。Vetrimani 等通过 175 °C 高温处理抑制麦麸中脂肪酶,使其活力下降 40%,从而提高全麦粉的储藏稳定性^[10]。这与 Rose 等的报道一致,经过 175 °C 干热处理 25 min、1000 W 微波 60 s 或蒸汽处理 60 s,全麦粉中的脂肪酶活性分别降低了 74%、93% 和 96%^[11]。但热处理钝化酶的方法容易促进脂肪的自动氧化。杨磊等研究了 11 种不同稳定化处理方式对麦麸和胚芽灭酶效果及储藏稳定性的影响,结果表明采用常压汽蒸耦合紫外微波方式效果最好,麦麸和胚芽脂肪酸值增长率较低^[12]。李雪杰等的研究表明采取臭氧处理的全麦粉,随着臭氧处理时间的延长,脂肪酸值呈下降趋势;储藏时间越长,脂肪酸值越高,但是经过臭氧处理的全麦粉其脂肪酸值增长速度显著低于对照组而且远远低于 116 mg/100 g^[13]。不同的制备技术也会对全谷物

产品在储藏期间的稳定性产生显著影响,左乃北等通过改良挤压技术将糙米加工制备成全谷物质构米,经过两个月的常温储藏后,其游离脂肪酸含量下降了 64.31%^[14]。邱婷婷等的研究发现通过挤压膨化处理的黑麦其游离脂肪酸值下降了 94.94%,且在 45 d 储藏期间,其游离脂肪酸值上升比例下降了 92.79%^[15]。

国内外已有许多关于全麦粉加工技术及稳定化处理的研究报道,然而采用滚筒干燥加工技术制备的全麦片的储藏稳定性鲜有报道。探究不同储藏条件对全麦片储藏稳定性的影响并根据储藏期间其主要营养物质含量的变化预测其货架期对全麦片的生产具有指导作用。本研究以全麦片为原料,通过测定在不同储藏温度、光照条件下其维生素 A 含量、维生素 E 含量、过氧化值、脂肪酸值、酸价等指标,分析比较不同储藏条件下全麦片的营养损失量和氧化稳定性的变化并通过其主要物质的动态变化预测的货架期。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用小麦品种为红春小麦全麦粉(蛋白质 11 g/100 g,脂肪 1.2 g/100 g,淀粉 67.3 g/100 g,膳食纤维 12.2 g/100 g),中粮集团产。

1.2 试验方法

1.2.1 预酶解-滚筒干燥全麦片的生产制作工艺

1.2.1.1 工艺流程

全麦粉→粉碎→过筛→加水混合→预酶解→滚筒干燥→恒温干燥→密封保存

1.2.1.2 工艺要点

全麦粉原料经粉碎,过 80 目筛后,得到优质全麦粉,采用高温 α 淀粉酶和纤维素酶进行预酶解,高温 α 淀粉酶添加量位 0.5 U/g,纤维素添加量为 0.4%,调节麦浆质量分数位 25%,混合均匀后,放置 50 °C 磁力搅拌水浴锅中保温 30 min,然后升温至 80 °C 进行预酶解,保温 10 min。预酶解后进行滚筒干燥,工艺参数参考余可等^[3](余可)的滚筒干燥全麦片加工工艺参数。滚筒干燥工艺参数为:麦浆质量分数为

20%~40% (W/W), 以小麦质量计(下同); 纤维素酶用量 0~1% (W/W); 高温 α 淀粉酶添加量 0~1 U/g; 设置滚筒温度为 120~160 °C, 滚筒转速为 4~12 Hz, 制得预酶解-滚筒干燥全麦片。

1.2.2 预酶解-滚筒干燥全麦片的储藏试验

成品全麦片用高压灭菌锅灭菌后进行包装储藏, 分别比较成品全麦片在 4 °C 避光、25 °C 避光、25 °C 光照、45 °C 避光的储藏条件下的营养品质和理化性质的变化。每隔一周取出样品进行营养成分以及氧化指标(酸价、脂肪酸值和过氧化值)的检测, 并计算储藏后的感官品质指标综合分值。

1.2.3 检验方法

1.2.3.1 营养素含量的测定

全麦片中的光敏、热敏性营养素的测定按照各营养素的国标进行测定, 维生素 A 参照 GB 5009.82-2016 经行测定, 维生素 E 参照 GB 5009.82-2016 经行测定。

1.2.3.2 过氧化值的测定

过氧化值的测定方法参照李红艳等^[16]的方法, 略作修改, 取 0.3 g 样品于离心管中, 加入 1.5 mL 异辛烷和异丙醇 (3:1, V/V) 混合物, 涡流混合 3 次, 每次 10 s, 然后取有机层(上层清液) 200 μ L, 加入 2.8 mL 甲醇+丁醇 (2:1, V/V) 混合物, 再分别加入 15 μ L 3.94 M 的硫氰酸铵和 15 μ L 二价铁离子溶液(0.132 M 氯化钡和 0.144 M 硫酸亚铁以 1:1 的比例混合, 过 0.22 μ m 滤膜), 反应 20 min 后, 于 510 nm 波长下测定吸光度值, 通过异丙苯氢过氧化物标准曲线计算样品中过氧化物浓度。

1.2.3.3 脂肪酸值的测定

参照 GB/T 15684-2015 进行测定。

1.2.3.4 酸价的测定

参照 GB 5009.229-2016 进行测定。

1.2.3.5 感官品质指标的测定

参照 GB/T 5492-2008 进行评价, 挑选 10 名经过培训的食品科学专业研究生作为评价员, 取 20 g 样品, 分别装于烧瓶中, 放置在 50 °C 的水浴锅中, 塞上瓶塞, 样品保温 5 min 后, 开盖嗅辨其气味。评价分为没有哈败味、略有哈败味、明显的哈败味、严重的哈败味四个等级。

1.3 数据处理及分析

采用 SPSS 24.0 软件对数据进行方差分析, 并用 Origin 对数据进行制图。显著性水平 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同储藏条件对全麦片营养素含量的影响

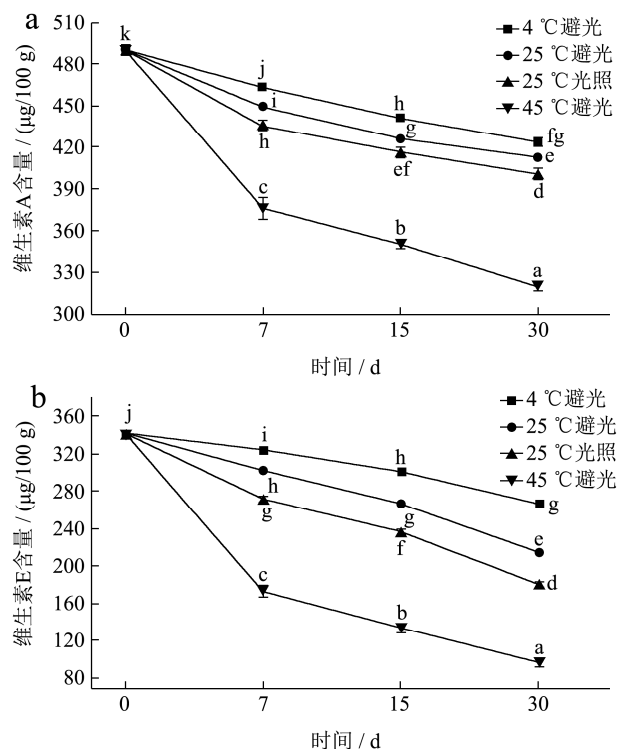


图1 不同储藏条件下全麦片维生素A(a)和维生素E(b)含量随储藏时间的变化

Fig.1 Variation of vitamin A and vitamin E content of whole wheat flakes with different storage time under different storage conditions

图1为不同储藏条件过程中全麦片中热敏、光敏性营养素含量的变化。随着储藏期的延长, 不同储藏条件下的样品其维生素 A 含量出现不同程度的降低。全麦片的维生素 A 初始含量为 489.93 μ g/100 g, 其中, 在 4 °C 条件下, 储藏 30 d 的全麦片维生素 A 含量为 423.11 μ g/100 g, 衰减率为 13.64%; 当储藏温度升高至 25 °C 时, 储藏 30 d 维生素 A 含量下降至 412.37 μ g/100 g, 衰减率为 15.83%; 当储藏温度继续升高达到 45 °C 时, 储藏 30 d 后维生素 A 的含量下降至 319.54 μ g/100 g, 衰减率达到 34.78%, 为 4 °C 条件下的 2.55 倍。在高温条件下储藏的全麦片, 其维生素 A 的衰减率显著高于其他储藏温度下的全麦片。在 25 °C 光照条件下, 储藏 30 d 的全麦片其维生素 A 含量下降至 400.16 μ g/100 g, 衰减率为 18.32%, 显著高于 25 °C 避光条件下的全麦片。在柳阳阳等的研究下, 在冷藏条件下乳制品中的维生素含量在储藏 22 d 之后基本没有任何变化, 但随着温度的升高, 维生素 A 含量开始下降且下降趋势几乎成线性^[17]。此外, 研究还表明在经过 7 d 光照后, 维生素 A 的含量下降速度要显著低于

避光条件下储藏的样品。表明高温以及光照能加速破坏全麦片中维生素 A 的稳定性。

由图 1b 可知,不同储藏条件储藏下的全麦片,其维生素 E 含量随着储藏时间的增加而降低,表明全麦片的维生素 E 随储藏时间延长而不断被分解。不同温度储藏条件下维生素 E 含量的变化曲线相似。在相同储藏时间内,储藏温度越高的样品,其维生素 E 损失速度越快。全麦片的维生素 E 初始含量为 340.54 mg/100 g,在 4 °C 储藏条件下,储藏至 30 d,样品的维生素 E 含量下降至 266.70 mg/100 g,衰减率为 21.68%,当储藏温度升至 45 °C 时,储藏 30 d 后,样品的维生素 E 含量仅有 96.85 mg/100 g,衰减率达到了 71.56%,为 4 °C 时的 3.30 倍。在 25 °C 避光和不避光的储藏条件下,储藏 30 d 后,其维生素 E 含量降低至 215.49 mg/100 g 和 180.19 mg/100 g,其衰减率分别为 36.72% 和 47.09%。从试验结果来看,一方面,低温可以有效降低全麦片中维生素 A 和维生素 E 的分解速度,有利于延缓储藏过程中的营养素消耗。另一方面,避光储藏条件可以降低全麦片光敏性营养素和光接触的程度,有效延缓营养素的降解。

2.2 不同储藏条件储藏对全麦片氧化稳定性的影响

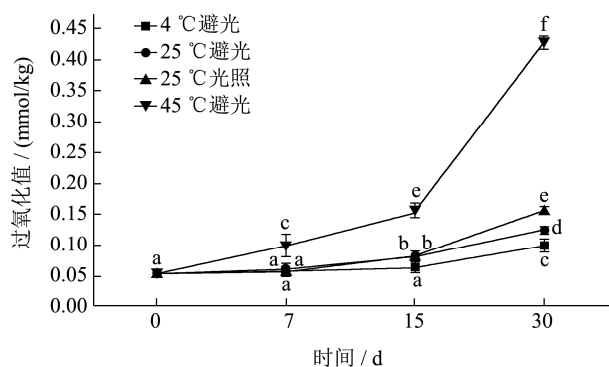


图 2 不同储藏条件下全麦片过氧化值随储藏时间的变化

Fig.2 Variation of peroxide value of whole wheat flakes with different storage time under different storage conditions

图 2 为不同储藏条件下全麦片过氧化值的变化。随着储藏期的延长,不同样品的过氧化值出现不同程度的升高。其中在 4 °C 低温储藏样品的过氧化值始终低于 25 °C 和 45 °C 储藏的样品。在相同储藏时间内,储藏温度越高的样品,其过氧化值增加越迅速。在 4 °C 条件,储藏至 15 d,全麦片的过氧化值由 0.05 mmol/kg 增加至 0.06 mmol/kg,但在储藏 30 d 后,其过氧化值显著增加至 0.10 mmol/kg。在 25 °C 避光条件下,全麦片的过氧化值在储藏 7 d 后开始显著增加,储藏 30 d

后其过氧化值达到 0.12 mmol/kg。25 °C 光照条件下,在前 15 d,其过氧化值增加速率与 25 °C 避光条件下的一致,但在储藏 30 d 后,其过氧化值达到 0.16 mmol/kg,显著高于在 25 °C 避光条件下的过氧化值。在储藏温度升高至 45 °C 时,随着储藏时间的延长,样品的过氧化值一直处于显著增长的状态,在 7、15、30 d 分别达到了 0.10 mmol/kg、0.15 mmol/kg、0.43 mmol/kg。根据龙婷等对茶籽油的研究,在不同的温度下,随着储藏时间的增加,其过氧化值呈上升趋势,且温度越高其上升速率越快^[18],这与本研所得趋势基本一致。全麦片经过滚筒干燥的高温加工,脂肪氧合酶大部分失活,因此推断发生在全麦片中的氧化途径主要使自动氧化,同时存在光氧化^[19,20],由此可见,随着储藏时间的增加,光照条件也会对全麦片的过氧化值产生显著的影响。

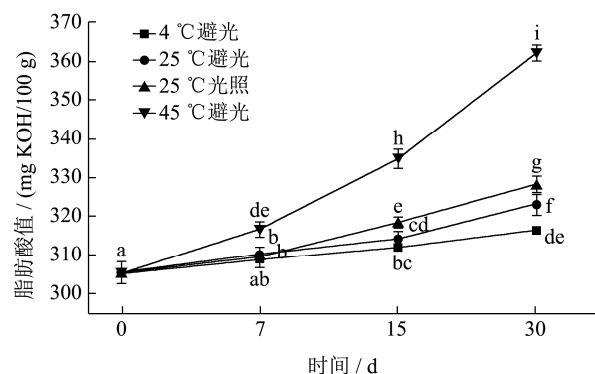


图 3 不同储藏条件下全麦片脂肪酸值含量随储藏时间的变化

Fig.3 Variation of fatty acid content of whole wheat flakes with storage time under different storage conditions

不同储藏条件下全麦片的脂肪酸值在储藏期的变化如图 3 所示。从图 3 可知,各组样品呈现出储藏温度越低,同期脂肪酸值越小的趋势。从储藏开始至第 30 d,储藏温度为 45 °C 的样品脂肪酸值迅速升高,并且均高于同期的其他样品,达到 362.13 mg KOH/100 g,说明在此期间,样品内的脂肪迅速水解,脂肪酸大量积累。在 25 °C 避光储藏条件下,全麦片的脂肪酸值增长较缓慢,储藏 30 d 后达到 322.89 mg KOH/100 g,显著低于 25 °C 光照条件下储藏的全麦片的脂肪酸值,表明在储藏期间,光照可以加速脂肪的水解,且脂肪酸氧化分解的速度要小于脂肪酸积累的速度。在 4 °C 低温储藏下的全麦片,其脂肪酸值上升最为缓慢,当储藏时间达到 30 d 后,其脂肪酸值为 315.12 mg KOH/100 g,这与黄晰雯等对水稻的研究结果一致,在不同储藏温度储藏过程中,样品的脂肪酸值总体呈现不同程度的升高,在初始脂肪酸值为 17.40 mg KOH/100 g 的情况下,在储藏期结束后,在 30 °C 储藏下的样品脂肪酸值上升为 89.62 mg KOH/100 g,而在

15 °C 储藏下的样品其脂肪酸值只有 47.83 mg KOH/100 g, 并且随着储藏时间的增加, 脂肪酸值上升的速度越快^[21]。表明在储藏期间低温可以有效降低脂肪水解的速度, 使全麦片保持较好的品质。

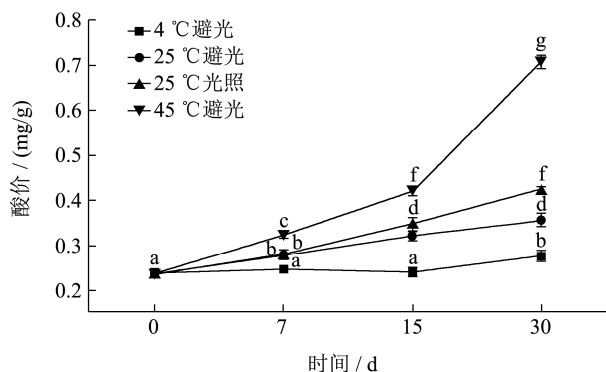


图4 不同储藏条件下全麦片酸价随储藏时间的变化

Fig.4 Variation of acid value of whole wheat flakes with storage time under different storage conditions

储藏条件的不同, 直接影响全麦片中脂质氧化程度, 进而由全麦片的酸价所体现。实验结果如图4所示, 四组样品的酸价均随着储藏期的延长而呈现上升的趋势, 且在4 °C低温储藏下的样品其酸价始终低于其他3组样品, 这说明低温起到了延缓脂质氧化的作用, 且效果显著 ($p < 0.05$)。至储藏试验终点(30 d), 在45 °C储藏下的样品其酸价达到了0.71 mg/g, 远高于同期其他组样品。在25 °C避光以及不避光的条件下, 在储藏前7 d的过程中, 两组样品酸价变化的趋势相同, 但当储藏时间达到15 d之后, 直至储藏终点, 光照条件下的样品酸价上升速度显著高于避光条件下的样品。周樑波等的研究也表明, 从储藏两个月开始, 采取避光真空包装的核桃仁产品的酸价上升要低于采取光照真空包装的产品, 储藏6个月之后光照真空包

装组的样品其酸价达到了避光真空包装组样品的2倍^[22]。说明避光条件能够有效抑制产品储藏期间油脂酸价上升。

2.3 不同储藏条件储藏对全麦片感官品质的影响

感官评定可以综合地反映产品的食用品质。在全麦片的储藏过程中, 由于脂肪氧化, 分解产生低级的醛酮化合物, 从而导致风味的劣变, 甚至产生酸败的气味即哈败味。表2是全麦片在不同储藏条件下储藏30 d的感官评定结果。比较四种不同条件下储藏的全麦片, 在4 °C和25 °C避光条件下储藏的全麦片一直到达储藏终点都没有出现哈败味, 而在25 °C光照和45 °C条件下储藏的样品, 在储藏至15 d时都产生了较轻微的哈味, 而且随着储藏时间的延长, 45 °C下储藏的样品出现了明显的哈败味。

表2 全麦片感官评价表

时间/d	0	7	15	30
4 °C 避光	-	-	-	-
25 °C 避光	-	-	-	-
25 °C 光照	-	-	±	±
45 °C 避光	-	-	±	++

注: 评价标准: -表示没有哈败味, ±表示略有哈败味, +表示明显的哈败味, ++表示严重的哈败味。

2.4 维生素A、维生素E、脂肪酸值变化动力学研究

表3 维生素A、维生素E和脂肪酸值在不同储藏条件下随储藏时间变化的回归方程

Table 3 Regression equation of vitamin A, vitamin E and fatty acid values under different storage conditions with storage time

指标	储藏条件	回归方程	决定系数 R ²
维生素 A	4 °C 避光	$y=481.97e^{-0.005x}$	0.9255
	25 °C 避光	$y=0.1209x^2-6.1573x+488.64$	0.9951
	25 °C 光照	$y=0.1491x^2-7.33x+486.82$	0.9787
	45 °C 避光	$y=0.2972x^2-14.219x+481.27$	0.9542
维生素 E	4 °C 避光	$y=341.01e^{-0.008x}$	0.999
	25 °C 避光	$y=337.88e^{-0.015x}$	0.9982
	25 °C 光照	$y=0.1253x^2-8.9592x+337.2$	0.9916
	45 °C 避光	$y=0.452x^2-21.164x+328.64$	0.9586
脂肪酸值	4 °C 避光	$y=305.81e^{0.0012x}$	0.9877
	25 °C 避光	$y=305.54e^{0.0018x}$	0.9986
	25 °C 光照	$y=305.27e^{0.0025x}$	0.9865
	45 °C 避光	$y=305.24e^{0.0058x}$	0.9967

食品品质在储藏过程中的变化可以用化学反应动力学来表征,且大多数与食品有关的品质随时间变化都遵循零级或一级反映模式^[23]。对储藏期间不同储藏条件的全麦片的维生素 A、维生素 E 和脂肪酸值进行动力学方程拟合,得到了相应的回归方程及其决定系数 R^2 ,结果见表 3。其中决定系数越大,表明拟合效果越好,由表 3 可知,在不同储藏条件下,由全麦片的维生素 A、维生素 E 和脂肪酸值随时间变化的回归方程得到的决定系数均 R^2 均大于 0.9,说明拟合效果较好。此外,采用一级动力学模型可以较好地反映全麦片储藏过程中脂肪酸值的变化规律,在不同储藏条件下全麦片的维生素 A、E 的含量也分别可以通过一级动力学模型和多项式回归模型。胡云峰等利用 Arrhenius 方程,以碘蓝值为预测指标,建立了湿米线的货架期预测模型,且经过验证预测的模型结果误差较小,能够较好的预测储藏在不同温度下湿米线的货架期^[24]。根据本实验的所建立的动力学模型,同样能够较好的预测在不同储藏条件下全麦片的货架期。

3 结论

3.1 全麦片营养素损失程度和脂质氧化程度与储藏温度成正比,且在 4 °C 低温储藏 30 d 后,全麦片的维生素 A、E 损失量、脂肪酸值、酸价和过氧化值要显著低于其他实验组样品,其食用价值也较高。

3.2 光照条件也是全麦片储藏过程中的一个重要因素。在 25 °C 下,储藏 30 d 后,在避光条件下储藏的全麦片过氧化值和酸价分别增长至 2.4 倍和 1.4 倍,显著低于不避光条件下的 3.2 倍和 1.7 倍。且在避光条件下全麦片的营养素含量下降速度明显缓于不避光条件下的全麦片,采取除氧避光包装保存可以有效延长全麦片的货架期。

3.3 全麦片的脂肪酸值在储藏过程中的变化规律能够较好地被一级动力学模型所反映,维生素 A 和维生素 E 在不同条件下随时间变化所得到的回归方程其决定系数 R^2 也均大于 0.9,拟合效果较好,可以由此较好的预测储藏在不同条件下全麦片的货架期。

参考文献

- [1] AACCI Whole Grains Task Force. 2006. Letter submitted to the FDA in response to docket 2006D-0066 [EB/OL]. <http://www.aaccnet.org/definitions/pdfs/AACCIIntlWholeGrainComments.Pdf>, 2013-4-10
- [2] Weaver G L. A miller's perspective on the impact of health claims [J]. Nutrition Today, 2001, 36(3): 115-118
- [3] 余可,刘磊,张名位,等.预酶解-滚筒干燥加工工艺对全麦片

品质的影响[J].中国农业科学,2020,53(6):1256-1268

- YU Ke, LIU Lei, ZHANG Ming-Wei, et al. Effect of pre-enzymatic-drum drying process on the quality of whole wheat flakes [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(6): 1256-1268
- [4] Every D, Simmons L D, Ross M P. Distribution of redox enzymes in millstreams and relationships to chemical and baking properties of flour [J]. Cereal Chemistry, 2006, 83(1): 62-68
- [5] Wennermark B H, Jägerstad M. Breadmaking and storage of various wheat fractions affect vitamin E [J]. Journal of Food Science, 1992, 57(5): 1205-1209
- [6] Nielsen M M L, Hansen Å. Stability of vitamin E in wheat flour and whole wheat flour during storage [J]. Cereal Chemistry, 2008, 85(6): 716-720
- [7] Franz K B. The effect of long-term storage of wheat flours on thiamine content and baking properties [D]. Provo, Utah: Brigham Young University, 1968
- [8] Tait S P C, Galliard T. Effect on baking quality of changes in lipid composition during wholemeal storage [J]. Journal of Cereal Science, 1988, 8(2): 125-137
- [9] Champagne E T, Hron R S. Inhibition of lipase activity and oxidation in brown rice products by extraction with ethanol containing chelators/acidulants [J]. Cereal Chemistry, 1994, 71(5): 483-488
- [10] Vetrmani R, Haridas Rao P. Studies on stabilization of wheat bran [J]. Journal of Food Science and Technology, 1990, 27(6): 332-335
- [11] Rose D J. Storage properties of whole wheat and white flours [D]. Provo, Utah: Brigham Young University, 2005
- [12] 杨磊.重组全麦面粉的稳定化研究[D].无锡:江南大学,2013
YANG Lei. Study on the stability of reconstituted whole wheat flour [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013
- [13] 李雪杰,张剑,孟智慧,等.臭氧处理对全麦粉储藏特性和品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(9):141-145
LI Xue-jie, ZHANG Jiang, MENG Zhi-hui, et al. Effects of ozone treatment on the storage property and quality of whole wheat flour [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(9): 141-145
- [14] 左乃北.改良挤压技术制备全谷物质构米及其品质研究[D].南昌:南昌大学,2012
ZUO Nai-bei. Preparation and qualities of whole grain rice produced by improved extrusion cooking technology [D]. Nanchang: Nanchang University, 2012
- [15] 邱婷婷,熊华,朱雪梅,等.不同加工方式对黑色谷物理化性质

- 及储藏稳定性的影响[J/OL]. 食品科学:1-15[2020-08-19].
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200114.1233.002.html>.
- QIU Ting-ting, XIONG Hua, ZHU Xue-mei, et al. Effect of drum-dried and extruded on physical and chemical properties and storage stability of black grains [J/OL]. Food Science: 1-15[2020-08-19].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200114.1233.002.html>
- [16] 李红艳,邓泽元,李静,等.不同脂肪酸组成的植物油氧化稳定性的研究[J].食品工业科技,2010,31(1):173-175,182
LI Hong-yan, DENG Ze-yuan, LI Jing, et al. Study on oxidative stability of plantoils with different acid composition [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(1): 173-175, 182
- [17] 柳阳阳,贾有青,李哲,等.强化乳制品中维生素A稳定性的研究[J].食品工程,2016,3:32-34
LIU Yang-yang, JIA You-qing, LI Zhe, et al. Study on stability of vitamin A in fortified dairy products [J]. Food Engineering, 2016, 3: 32-34
- [18] 龙婷,林树真,林树红,等.基于不同贮藏温度下油茶籽油氧化模型的建立[J].中国粮油学报,2020,35(5):105-109
LONG Ting, LING Shu-zhen, LING Shu-hong, et al. Establishment of oxidation model of camellia oleifera seed oil based on different storage temperatures [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(5): 105-109
- [19] Jensen P N, Danielsen B, Bertelsen G, et al. Storage stabilities of pork scratchings, peanuts, oatmeal and muesli: Comparison of ESR spectroscopy, headspace-GC and sensory evaluation for detection of oxidation in dry foods [J]. Food Chemistry, 2005, 91(1): 25-38
- [20] 胡廷章,胡宗利,屈霄霄,等.植物脂肪氧化酶的研究进展[J].生物工程学报,2009,25(1):1-9
HU Yan-zhang, HU Zong-li, QU Xiao-xiao, et al. Advances in plant lipoxygenases research [J]. Chinese Journal Biotechnology, 2009, 25(1): 1-9
- [21] 黄晰雯.储藏条件对优质籼稻品质变化影响的研究[D].武汉:武汉轻工大学,2015
HUANG Xi-wen. Effects of quality changes of high-quality indica rice controlled storage conditions [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2015
- [22] 周樑波.贮藏条件及加工工艺对山核桃品质的影响[D].杭州:浙江农林大学,2018
ZHOU Liang-bo. The effects of storage conditions and processing methods on the quality of walnut [D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2018
- [23] 柴春祥,杜利农.动力学模型在鱼肉品质变化中的应用[J].食品工业科技,2006,27(1):75-76
CHAI Chun-xiang, DU Li-nong. Application of dynamic model to fish quality change [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(1): 75-76
- [24] 胡云峰,王晓彬,张利苹.不同贮藏温度下鲜湿米线的品质变化动力学模型及其货架期预测[J].现代食品科技,2019,35(1): 89-96
HU Yun-feng, WANG Xiao-bin, ZHANG Li-ping. Dynamic model of quality change of fresh rice noodle in different temperatures and the prediction of its shelf life [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(1): 89-96

(上接第 148 页)

- [26] Martins R C, Silva C L M. Modelling colour and chlorophylllosses of frozen green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. International Journal of Refrigeration, 2002, (7): 966-974
- [27] 李运通.生鲜面保鲜技术研发与应用[D].天津:天津科技大学,2017
LI Yun-tong. R&D and application of fresh noodle preservation technology [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2017
- [28] 中华人民共和国农业部.NY/T 1512-2007 绿色食品 生面食、米粉制品[S]
Agriculture ministry of the People's Republic of China. NY/T 1512-2007 Green Food Raw Pasta and Rice Noodle Products [S]