

薏仁米贮藏过程中品质的变化

Change in the quality of coix seed during storage

栾琳琳^{1,2} 卢红梅^{1,2} 陈莉^{1,2}

LUAN Lin-lin^{1,2} LU Hong-mei^{1,2} CHEN Li^{1,2}

杨凤仪^{1,2} 吴煜樟^{1,2} 牟灿灿^{1,2}

YANG Feng-yi^{1,2} WU Yu-zhang^{1,2} MOU Can-can^{1,2}

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州 贵阳 550025;

2. 贵州大学贵州省发酵工程与生物制药重点实验室, 贵州 贵阳 550025)

(1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Guizhou Key Laboratory of Fermentation Engineering and Biopharmacy, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

摘要:以贵州兴仁薏仁米作为试验材料,研究了薏仁米贮藏过程中品质的变化。结果表明,在为期1年的贮藏过程中,薏仁米的颜色、气味、主要成分及关联指标变化明显,表明薏仁米品质随贮藏时间的延长而下降。薏仁米色泽随着贮藏时间的延长,由最初的乳白色、有光泽,逐渐变暗偏黄且带有灰色;气味也由最初的甜香气,最终呈哈败味。在贮藏期间,薏仁米的蛋白质、淀粉和灰分含量的变化无显著差异,但水分含量逐渐降低(降低37.06%),脂肪含量减少明显(减少15.00%);薏仁米贮藏过程中脂肪酸值、过氧化值、电导率、丙二醛含量升高,分别增加了272.56%, 416.21%, 123.78%, 99.91%, 脂肪酶活性呈先升后降的趋势。薏仁米的脂肪氧化是其品质变化的主要原因,关联指标如脂肪酸值、过氧化值、丙二醛值、脂肪酶活动度和电导率的变化,均灵敏地反映其品质的下降。

关键词:薏仁米;贮藏;品质变化

Abstract: The aim of the study was to explore quality of coix seed grown in Xingren, Guizhou (China) during storage. The results indicated that, color, odor, main contents and correlate indexes of coix seed changed significantly during storage, which reflect the quality of coix seed decreases. Results: the color of coix seed changed with storing time lengthening. Original milky white, glossy coix seed became dimmed with yellowish and grayish with

storing period lengthens. The odor was also from the original sweet aroma, which was ultimate rancidity. The rancidity of coix seed became stronger with storing time lengthening. During storage period, there was no significant difference in protein, starch and ash contents, but moisture content declined gradually (decreased 37.06%), fat content reduced obviously (reduced 15.00%). Fatty acid value, peroxide value, electric conductivity, malondialdehyde and reducing sugar content of coix seed increased with storing time lengthening, and increased 272.56%, 416.21%, 123.78%, 99.91% and 5.83%, respectively. While, the acidity and lipase activity increased at first and then decreased. The fatty oxidation of coix seed was the main cause of the decrease in quality. Changes in fatty acid value, peroxidation value, malondialdehyde content, lipase activity and electric conductivity sensitively reflect the fat oxidation of coix seed with storing period lengthens, and reflect the decline of coix seed quality.

Keywords: coix seed; storage; changes of quality

薏仁米又名薏苡仁、草珠子、六谷子、菩提珠,原产于东南亚,是广泛种植于中国、日本、韩国和印度的禾本科植物^[1-2]。它不仅富含营养成分,还含有酯类、甾醇类、酚类、多糖类等药效成分,并经临床药理研究确证,其具有抗肿瘤^[3-4]、抗炎^[5-6]、免疫调节^[7]、降血糖血脂^[8]、抗肥胖^[9]等药理活性。

薏仁米产后损失严重,因陈化造成的品质降低是主要原因。研究薏仁米品质变化产生的内在原因,对于及时判别薏仁米的陈化程度,科学贮藏具有重要的意义。袁芳芳^[10]选择脂肪酸值和品尝评分值作为稻谷贮藏过程中品质变化指标,结果表明,随着贮藏时间的延长,梗稻

基金项目:贵州省科技计划(重大专项)(编号:黔科合重大专项字[2014]6023子课题2-1项目)

作者简介:栾琳琳,女,贵州大学在读硕士研究生。

通信作者:卢红梅(1967—),女,贵州大学教授,博士。

E-mail: hongmeilu0826@126.com

收稿日期:2018-11-26

谷的脂肪酸值逐渐升高,品尝评分值逐渐降低,稻谷品质下降。申晓曦等^[11]研究了水分含量对花生仁贮藏过程中的品质影响,发现花生仁的水分含量过高或过低都会加速氧化酸败反应进程,进而影响产品口感。张欣等^[12]测定了在不同贮藏条件下稻米的直链淀粉含量、游离脂肪酸值,结果显示,在贮藏至 6 个月时,所有稻米的直链淀粉含量显著下降,游离脂肪酸值显著增加。目前,鲜有对薏仁米及其加工产品贮藏技术研究的报道。本研究拟对薏仁米贮藏过程中的品质变化进行探讨,对薏仁米种仁的基本组成成分及其在贮藏过程中的含量变化进行测定分析,了解各营养成分在贮藏过程中的变化,同时分析薏仁米在贮藏过程中理化指标及生化指标的变化规律,探讨薏仁米陈化过程中各指标的变化规律,旨在为薏仁米的科学贮藏和相关产品的研发提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料

薏仁米:贵州兴诚华英食品有限公司,为贵州兴仁县产纯种小薏仁米,原料为当年产新鲜薏仁米,取企业当天脱壳处理薏仁米运送至本校实验室中存放;

盐酸:分析纯,重庆川东化工有限公司;

甲基红:指示剂,天津市科密欧化学试剂有限公司;

95%无水乙醇、石油醚:分析纯,天津市富士精细化工有限公司;

碘:分析纯,天津致远化学试剂有限公司;

氢氧化钠、葡萄糖、苯酚:分析纯,天津市永大化学试剂有限公司;

氢氧化钾、酒石酸钾钠:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

亚甲基蓝:生物染色剂,天津市科密欧化学试剂有限公司;

亚铁氰化钾:分析纯,成都金山化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器设备

色度仪:Hunter Lab Ultra Scan VIS 型,上海韵鼎国际贸易有限公司;

石墨消解仪:SH220 型,上海卓好实验室设备有限公司;

自动凯氏定氮仪:K9840 型,济南海能仪器股份有限公司;

电热干燥箱:101-1 型,北京科伟永兴仪器有限公司;
数显恒温水浴锅:HH-b 型,常州奥华仪器有限公司;
精密电子天平:FA2004N 型,上海菁海仪器有限公司;

气相色谱联用仪:7890A 型,安捷伦科技有限公司;

箱式高温电炉:JNL-17XB 型,洛阳力宇窑炉有限公司;

可见分光光度计:722S 型,上海菁华科技仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理 模拟自然贮藏条件,将当年产新鲜精制薏仁米放入 PE 自封袋中密封,置于 25 ℃ 的培养箱内进行为期 1 年的贮藏试验。

1.3.2 检测方法

(1) 感官评定:按 GB/T 5492—2008 执行。

(2) 色差的测定:使用 Hunter Lab Ultra Scan VIS 色度仪测量薏仁米在贮藏过程中的 L^* 、 a^* 、 b^* , L^* 表示亮度, a^* 表示红—绿, b^* 表示黄—蓝。测量时采用 RSIN 模式,孔径大小和观察面积选择 19 mm,校正仪器后开始测量,每个样品平行测定 5 次,去除最大值与最小值,使用其他 3 组数据,结果取平均值。

(3) 水分含量:按 GB/T 5497—1985 的直接干燥法执行。

(4) 淀粉含量:按 GB/T 5514—2008 的酶水解法执行。

(5) 粗脂肪含量:按 GB/T 5512—2008 的索氏抽提法执行。

(6) 蛋白质含量:按 GB/T 5511—2008 的凯氏定氮法执行。

(7) 灰分含量:按 GB/T 22510—2008 的高温灰化法执行。

(8) 脂肪酸值:按 GB/T 5510—2011 的滴定法执行。

(9) 过氧化值:按 GB/T 5009.37—2003 的比色法执行。

(10) 丙二醛(MDA)含量:比色法^[13]。

(11) 脂肪酶活动度:按 GB/T 5523—2008 执行。

(12) 电导率:参考文献^[14]用数字电导率仪测定。

1.4 数据处理

每个指标重复测定 3 次,采用 Origin 软件进行数据处理,试验数据分析采用 SPSS 软件系统。

2 结果与分析

2.1 感官评定

2.1.1 薏仁米贮藏过程中色泽、气味的变化 薏仁米在自然贮藏条件下,其色泽、气味会发生相应的改变,观察在 1 年的贮藏过程中其色泽及气味的变化。

如表 1 所示,薏仁米色泽随着贮藏时间的延长,由最初新鲜薏仁米的乳白色、有光泽,逐渐变暗偏黄且带有灰色;气味也由最初的甜香气,最终呈哈败味。

2.1.2 利用色度仪测定薏仁米贮藏过程中的色泽变化

由图 1 可知,在 1 年的自然贮藏中,薏仁米表面亮度值 L^* 随贮藏时间的延长整体呈下降趋势,红度 a^* 和黄度 b^* 呈上升趋势。 L^* 值的降低表明薏仁米在贮藏过程

表 1 薏仁米贮藏过程中色泽、气味的变化

Table 1 The changes of color and odour of coix Seed during storage

贮藏时间/d	色泽	气味
0	色乳白,有光泽	新鲜浓郁的薏仁米甜香气
30	色乳白,轻微变暗	甜香味稍淡
60	色白,色泽偏暗	甜香味逐渐变淡
90	色泽偏暗,轻微偏黄	甜香味消失,有异味产生
120	色泽较暗,轻微偏黄	出现轻微哈败味
150	色泽暗淡且轻微偏黄	哈败味较重
180	色泽暗淡,偏黄并带一些灰色	哈败味较重
210	色泽暗淡,无光泽,偏黄并带一些灰色	哈败味严重
240	颜色偏黄,无光泽,并带一些灰黑色	哈败味严重
270	颜色偏黄,无光泽,并带一些灰黑色	哈败味严重
300	颜色偏黄,无光泽,并带一些灰黑色	哈败味严重
330	颜色偏黄,无光泽,并带一些灰黑色	哈败味严重
360	颜色偏黄,无光泽,并带一些灰黑色	哈败味严重

中,表面颜色亮度逐渐变暗; b^* 升高表明随着贮藏时间的延长,薏仁米的表面颜色逐渐变黄; a^* 变化不大但呈上升趋势。结合 CIE Lab 色空间坐标图,薏仁米随着贮藏时间的延长,表面颜色逐渐变暗偏黄且带有灰色,此变化与感官分析结果一致。

2.2 薏仁米贮藏过程中主要成分的变化

2.2.1 薏仁米的主要成分 贮藏 0 d 的薏仁米水分、蛋白质、粗脂肪、淀粉、及灰分含量的测定,结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出,薏仁米中的主要成分为淀粉,其次薏仁米中蛋白质和脂肪含量都远高于其他谷物,且富含矿物质元素。由于薏仁米中脂肪含量较高,多为不饱和脂肪酸,因而具有很高的营养效益,但这也会使薏仁米更易因脂肪的氧化而引起品质的变化。

2.2.2 薏仁米贮藏过程中主要成分的变化 水分是薏仁米各种生化反应的介质,其含量过高或过低均可影响薏

表 2 薏仁米主要成分测定结果

Table 2 Determination results of main components of coix Seed g/100 g

水分	蛋白质	粗脂肪	淀粉	灰分
12.87±0.01	17.78±0.67	7.76±0.75	52.16±0.22	2.62±0.03

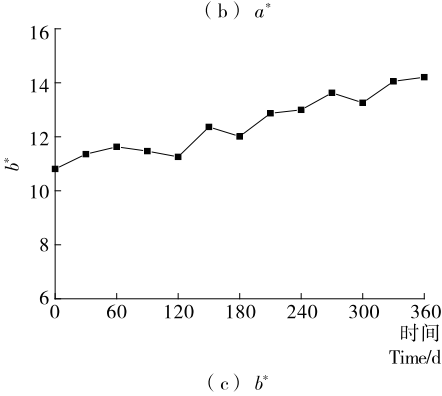
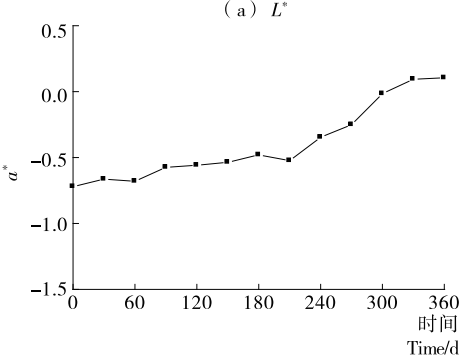
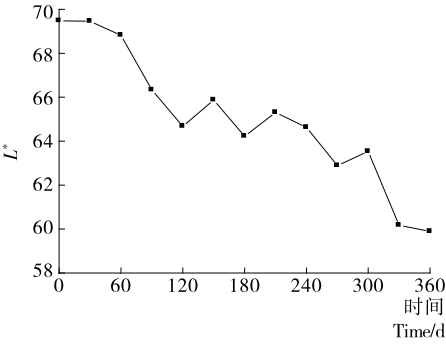


图 1 薏仁米贮藏过程中 L^* 、 a^* 、 b^* 值的变化

Figure 1 Changes of L^* , a^* , b^* of coix Seed during storage

仁米的贮藏稳定性,影响薏仁米的品质。每隔 90 d 对薏仁米在自然贮藏过程中的水分和蛋白质含量进行测定,结果见图 2。

由图 2 可知,在 1 年的自然贮藏过程中,薏仁米水分含量逐渐降低,下降幅度为 37.06%。薏仁米中蛋白质含量基本保持不变,在各贮藏阶段含量无显著差异($P < 0.05$)。这与谢宏等^[15]研究得出的稻米贮藏过程中蛋白质含量变化的结论一致。

由图 3 可知,在 1 年的自然贮藏过程中,淀粉含量变化不大。王肇慈等^[16]研究表明,虽然淀粉在贮藏过程中受酶的作用,水解成麦芽糖、糊精,进而分解为葡萄糖而使其含量减少,但由于基数较大,因而总量变化并不明显。这可能也是薏仁米贮藏中淀粉含量变化不显著的原因。

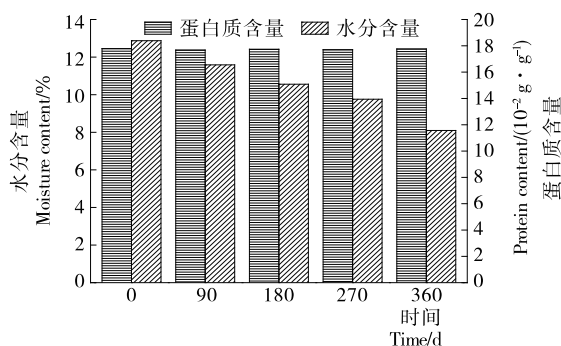


图 2 薏仁米贮藏过程中水分含量和蛋白质的变化
Figure 2 Changes of moisture and protein contents of coix Seed during storage

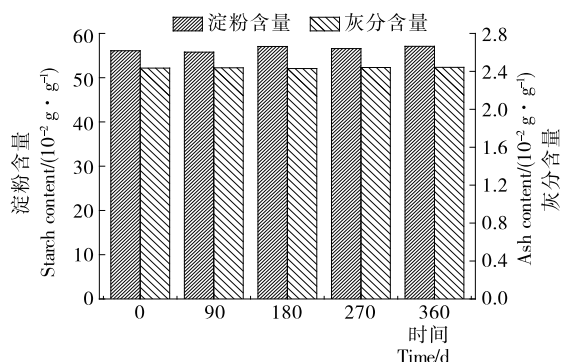


图 3 薏仁米贮藏过程中淀粉和灰分含量的变化
Figure 3 Changes of starch and ash contents of coix Seed during storage

由图 4 可知,在 360 d 的自然贮藏过程中,粗脂肪含量随贮藏时间的延长逐渐减少,减少量为粗脂肪总量的 15.00% 左右,可能是脂肪在氧化酶的作用下发生了分解,同时受光、氧等的影响发生了水解和氧化,脂肪酸值的升高被认为是脂肪发生水解反应的结果。

2.3 薏仁米贮藏过程中生化性质的变化

2.3.1 脂肪酸值 脂肪酸值能反映贮藏过程中薏仁米劣变的程度,是薏仁米品质的重要指标之一。图 5 为薏仁米贮藏过程中脂肪酸值的变化。

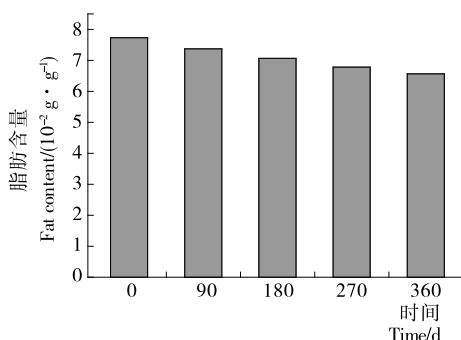


图 4 薏仁米贮藏过程中脂肪含量的变化
Figure 4 The change of fat contents of coix Seed during storage

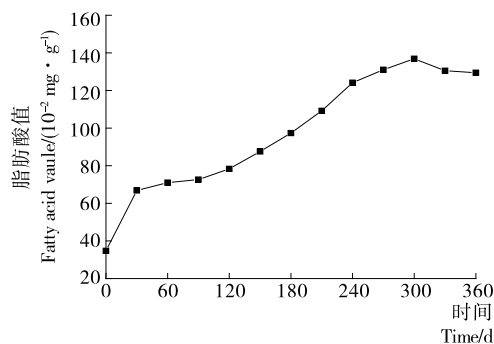


图 5 薏仁米贮藏过程中脂肪酸值的变化
Figure 5 The change of fatty acid value of coix Seed during storage

由图 5 可以看出,在 360 d 的自然贮藏过程中,脂肪酸值随着贮藏时间的延长大致呈上升的趋势,300 d 后呈下降趋势,可能是随着贮藏时间的延长,由油脂水解产生的脂肪酸发生过氧化反应,转变为氢过氧化物,进一步生成了低级的醛、酮类等化合物,同时与微生物的分解利用作用一起使脂肪酸值有所降低。

2.3.2 过氧化值 过氧化值作为一种指示油脂氧化酸败程度的关键指标,对衡量油脂的氧化程度具有重要意义。将薏仁米置于 25 ℃ 下贮藏 1 年,每隔 30 d 测定 1 次过氧化值,结果见图 6。

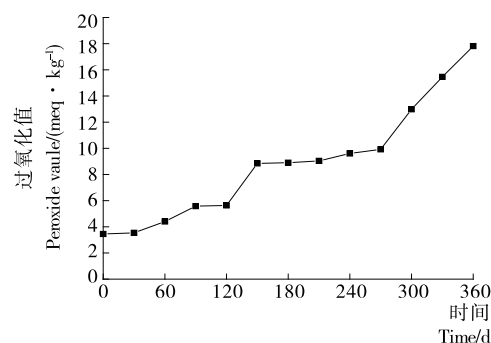


图 6 薏仁米贮藏过程中过氧化值的变化
Figure 6 The change of peroxide value of coix Seed during storage

由图 6 可知,在 0~360 d 的贮藏期内,随着贮藏时间的延长,脂肪氧化酸败程度不断加深,过氧化值逐渐升高,增长了 416.21%。

2.3.3 丙二醛含量 丙二醛含量的大小反映过氧化的程度。薏仁米在贮藏过程中丙二醛含量的变化如图 7 所示。

由图 7 可以看出,在 360 d 的贮藏期内,薏仁米丙二醛的含量随着贮藏时间的延长呈波动上升的趋势。有研究^[17]报道,薏仁米在贮藏过程中,丙二醛含量的变化与过氧化物酶的活性呈反相关关系。这可能是丙二醛含量呈上下波动的主要原因。随着贮藏时间的延长,薏仁米膜

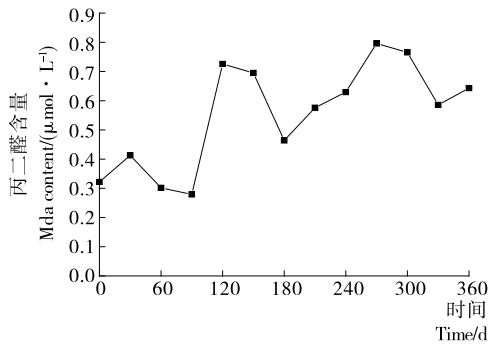


图 7 薏仁米贮藏过程中丙二醛含量的变化

Figure 7 The change of malondialdehyde contents of coix Seed during storage

脂过氧化程度加剧,不饱和脂肪酸被氧化分解生成氢过氧化物,进一步分解产生丙二醛等物质^[18],可能是丙二醛含量整体呈上升趋势的主要原因。

2.3.4 薏仁米贮藏过程中脂肪酶活动度的变化 脂肪酶作为脂肪水解代谢中第一个参与反应的酶,对脂肪的转化速率起着重要的调控作用,是粮食在贮藏中氧化变质的主要原因之一,严重影响粮食的品质。图 8 为薏仁米贮藏过程中脂肪酶活动度的变化。

由图 8 可知,薏仁米在 360 d 的贮藏过程中,随着贮藏时间的延长,脂肪酶活性呈先升后降的趋势。在 120 d

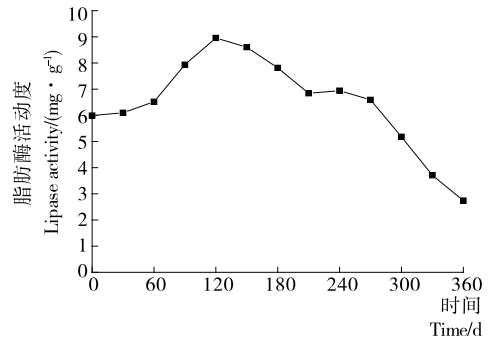


图 8 薏仁米贮藏过程中脂肪酶活动度的变化

Figure 8 Changes of Lipase activity of coix Seed during storage

的贮藏期内,脂肪酶活性逐渐升高,分析脂肪酶活性先增大的原因可能是在贮藏初期,薏仁米自身生命活力较强,呼吸作用较大,同时受外界条件如氧气、湿度等的影响,共同作用使薏仁米脂肪酶活力增大,加速了脂类的分解代谢作用。在 120~360 d 内,脂肪酶活性呈下降趋势,可能是随着贮藏时间的延长,薏仁米自身的生命活力减弱,同时体内自由水含量减少,从而使脂肪酶活性呈下降的趋势。这与雷凡^[19]对糙米贮藏中脂肪酶活性变化的趋势一致。

2.3.5 薏仁米贮藏过程中电导率的变化 在贮藏过程中,由于粮食籽粒细胞的膜脂会发生过氧化导致细胞电解质外渗^[20]。薏仁米在贮藏过程中电导率的变化如图 9 所示。

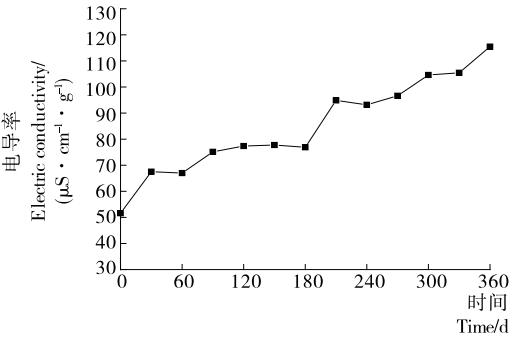


图 9 薏仁米贮藏过程中电导率的变化

Figure 9 The change of electric conductivity of coix Seed during storage

由图 9 可以看出,随着贮藏时间的不断延长和陈化程度的加深,电导率逐渐上升,表明随着贮藏时间的延长,薏仁米细胞膜透性逐渐变大。薏仁米膜脂过氧化使细胞膜内电解质外渗。这是薏仁米电导率升高的主要原因。纵观整个贮藏过程,随着薏仁米陈化的加深,电导率增加显著,能灵敏地反映薏仁米的劣变情况。

2.4 薏仁米生化指标间的相关性分析

选取测定的薏仁米水分含量、脂肪酸值、过氧化值、丙二醛含量、脂肪酶活动度和电导率 7 个指标进行指标间的相关性分析,结果见表 3。

表 3 薏仁米生化指标间的相关性分析[†]

Table 3 Correlation analysis between biochemical indexes of coix Seed

指标	水分含量	脂肪酸值	过氧化值	丙二醛	脂肪酶活动度	电导率
水分含量	1.000	-0.859 **	-0.790 **	-0.804 **	0.264	-0.883 **
脂肪酸值		1.000	0.864 **	0.728 **	-0.443	0.952 **
过氧化值			1.000	0.586 *	-0.672 *	0.931 **
丙二醛				1.000	-0.068	0.681 *
脂肪酶活动度					1.000	-0.568 *
电导率						1.000

[†] * 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上显著相关。

由表 3 可知,水分含量、脂肪酸值和丙二醛含量除与脂肪酶活动度无显著相关外,其他各指标间均显著相关;过氧化值与各指标在 0.01 水平上均显著相关,其中与水分含量和脂肪酶活动度显著负相关;脂肪酶活动度除与过氧化值和电导率在 0.05 水平上显著负相关外,与其他指标均显著不相关;电导率与水分含量和脂肪酶活动度显著负相关,与其他指标显著正相关。从指标间的相关性和各指标的灵敏性分析可以得出,不同指标间均存在一定的关联性,且都能不同程度地反映随着贮藏时间的延长,薏仁米品质的下降。脂肪酶作为第一个参与脂肪水解过程的酶,调控着脂肪的转化速率,是粮食在贮藏中氧化变质的主要原因之一。因此,选取水分含量、脂肪酸值、过氧化值、丙二醛、脂肪酶活动度和电导率作为薏仁米品质变化的主要判断指标,同时,这些指标与脂肪氧化密切相关,可作为薏仁米贮藏过程中脂肪氧化研究的主要指标。

3 结论

在为期 1 年的贮藏过程中,薏仁米的颜色、气味、主要成分及关联指标变化明显,表明薏仁米品质随贮藏时间的延长而下降。脂肪酸值、过氧化值、丙二醛值、脂肪酶活动度和电导率的变化,均灵敏地反映随着贮藏时间的延长薏仁米的脂肪氧化,劣变程度加大,反映薏仁米品质的下降,因此可作为判断薏仁米品质变化的主要指标。与前人^[21-23]的研究方法比较,本研究用量化指标评价和仪器评价薏仁米的品质,更科学、客观地表示了薏仁米贮藏过程中品质的变化,避免了此前只以感官评价作为分析方法的主观评价中的误差。然而薏仁米的陈化是一个复杂的过程,不仅受脂肪氧化的影响,还与淀粉、蛋白质的变化有着密切联系。由于陈化对淀粉、蛋白质含量影响不大,故后期可对薏仁米贮藏中蛋白质的结构、性质变化,淀粉的糊化特性等进行深入研究。

参考文献

[1] XU Lei, CHEN Long, ALI B, et al. Impact of germination on nutritional and physicochemical properties of adlay seed (*coixlachryma-jobi* L.) [J]. Food Chemistry, 2017, 229: 312-318.

[2] ZHU Fan. coix: Chemical composition and health effects[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 61: 160-175.

[3] CHEN Chao, ZHANG Yi-yi, GAO Yu-long, et al. Identification and anti-tumour activities of phenolic compounds isolated from defatted adlay (*coix lachryma-jobi*, L., var. *mayuen* Stapf) seed meal[J]. Journal of Functional Food, 2016, 26: 394-405.

[4] NUMATA M, YAMAMOTO A, MORIBAYASHI A, et al. Antitumor components isolated from the Chinese herbal medicine *coix lachryma-jobi* [J]. Planta Medica, 1994, 60(4): 356-359.

[5] HONG-JHANG C, CHENG-PEI C, WENCHANG C, et al. Anti-inflammatory effects and chemical study of a flavonoid-enriched fraction from adlay bran [J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1 741-1 748.

[6] WU Sz-jie, FANG Jong-yi, NG Chung-chai, et al. Anti-inflammatory activity of *Lactobacillus*-fermented adlay-soymilk in LPS-induced macrophages through suppression of NF- κ B pathways [J]. Food Research International, 2013, 52(1): 262-268.

[7] CHEN Hong-jhang, HSU Hsin-yi, CHIANG Wenchang. Allergic immune-regulatory effects of adlay bran on an OVA-immunized mice allergic model [J]. Food & Chemical Toxicology, 2012, 50(10): 3 808-3 813.

[8] YEH P H, CHIANG W, CHIANG M T. Effects of dehulled adlay on plasma glucose and lipid concentrations in streptozotocin-induced diabetic rats fed a diet enriched in cholesterol [J]. International Journal for Vitamin & Nutrition Research, 2006, 76(5): 299-305.

[9] 张明发, 沈雅琴. 薏仁米药理研究进展 [J]. 上海医药, 2007, 28(8): 360.

[10] 袁芳芳. 稻谷储藏过程中的品质变化分析与控制 [J]. 粮食加工, 2014(3): 74-76.

[11] 申晓曦, 李汴生, 阮征, 等. 水分含量对花生仁储藏过程中的品质影响研究 [J]. 现代食品科技, 2011, 27(5): 495-498.

[12] 张欣, 汤云龙, 汪楠, 等. 稻谷储藏过程中主要品质的变化研究 [J]. 食品科技, 2018, 43(3): 122-125.

[13] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 124-126.

[14] 童茂彬, 李岩, 董晓欢, 等. 不同储藏方式对粳糙米储藏品质的影响研究 [J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2013(1): 96-102.

[15] 谢宏. 稻米储藏陈化作用机理及调控的研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2007: 45-56.

[16] 王肇慈, 孙明. 国内外粮食储藏品质评价与技术状况 [J]. 南京经济学院学报, 1997(4): 113-115.

[17] 杨凤仪, 卢红梅, 陈莉, 等. 薏仁米储藏过程中陈化机理的研究 [J]. 保鲜与加工, 2016(4): 48-55.

[18] 伦利芳. 大米低温储藏后在不同环境条件下其品质变化 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2013: 31-38.

[19] 雷凡. 粳糯糙米储藏过程中脂质变化及流变学特性的研究 [D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015: 14-22.

[20] 葛秀春, 宋凤鸣, 郑重. 膜脂过氧化与水稻对稻瘟病抗性的关系 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2000, 26(2): 235-238.

[21] 郭利利, 周显青, 熊宁, 等. 压榨型鲜湿米粉感官评价方法的研究 [J]. 现代食品科技, 2016(2): 253-261.

[22] 王波, 刘正, 郭凤娟. 鲜食糯玉米品质评价的分析 [J]. 安徽农学通报, 2004, 10(5): 37-38.

[23] 周显青, 张玉荣. 大米食味品质评价技术进展 [J]. 粮食与饲料工业, 2011, 12(5): 37-41.