

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.03.022

祝莹莹, 尹君, 宾雨澜, 等. 稻谷储藏积温积湿与其脂肪酸值之间规律研究[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(3): 211-218.

ZHU Y Y, YIN J, BIN Y L, et al. Study on the law of storage fatty acid value of paddy with storage temperature and humidity accumulation[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(3): 211-218.

稻谷储藏积温积湿与其脂肪酸值之间规律研究

祝莹莹^{1,2,3}, 尹君^{2,3}, 宾雨澜^{2,3}, 李瑞敏^{2,3}, 张玉荣¹, 张忠杰^{1,2,3}✉

- (1. 河南工业大学 粮食和物资储备学院, 河南 郑州 450001;
2. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食储运研究所, 北京 100037;
3. 粮食储运国家工程研究中心, 北京 100037)

摘要: 本研究首先明确了储藏积温积湿概念, 类比储藏积温、储藏积湿公式定义出储藏积温积湿公式, 据此探究了稻谷储藏期间, 储藏积温积湿与其脂肪酸值的关系。以初始含水量 14% 的稻谷为研究对象, 测试不同储藏温度、储藏湿度条件下的储藏基点温度和储藏基点湿度, 结合定义中的公式计算得到不同储藏期的储藏积温、储藏积湿和储藏积温积湿, 分析其与脂肪酸值的相关性。拟合出储藏积温积湿与脂肪酸值的模型关系, 进行验证。结果表明: 在本实验条件下, 稻谷脂肪酸值的储藏基点温度为 15 °C, 储藏基点湿度为 55%。储藏积温、储藏积湿和储藏积温积湿与脂肪酸值呈显著正相关, 模型关系式为: $Y=48.9 \times \exp(-((x-7.566)/8.637)^2)$ ($R^2=0.8441$; $RMSE=2.063$) 其中: x 为储藏积温积湿 ($^{\circ}\text{C} \cdot \% \cdot \text{d}$); Y 为脂肪酸值 ($\text{mg KOH}/100 \text{ g}$)。对模型进行验证 $R^2=0.8678$ 、 $RMSE=2.152$, 模型较为准确, 可为稻谷储藏实践中的脂肪酸值分析与预测提供新研究方法。

关键词: 稻谷; 储藏积温; 储藏积湿; 脂肪酸值; 基点温度; 基点湿度

中图分类号: TS210.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2025)03-0211-08

网络首发时间: 2025-04-09 13:33:46

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20250409.1139.002>

Study on the Law of Storage Fatty Acid Value of Paddy with Storage Temperature and Humidity Accumulation

ZHU Ying-ying^{1,2}, YIN Jun^{2,3}, BIN Yu-lan^{2,3}, LI Rui-min^{2,3}, ZHANG Yu-rong¹, ZHANG Zhong-jie^{1,2}✉

- (1. School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2. Institute of Grain Storage and Logistics, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China; 3. National Engineering Research Centre for Grain Storage and Logistics, Beijing 100037, China)

Abstract: In this study, the concept of storage temperature and humidity was clarified, and the storage

收稿日期: 2024-10-19; 修回日期: 2024-12-31; 录用日期: 2025-01-03

基金项目: 横向课题“优质粳稻低温干燥过程脂质变化规律研究”(ZX2403)

Supported by: Horizontal Project “Study on the Changing Law of Lipid during Low-temperature Drying of High-quality Japonica Rice”(No.ZX2403)

第一作者: 祝莹莹, 女, 2001 年出生, 在读硕士生, 研究方向为粮食干燥、储藏工艺, E-mail: 1849792837@qq.com

通信作者: 张忠杰, 男, 1966 年出生, 博士, 首席研究员, 研究方向为农产品加工与贮藏工程, E-mail: zzj@ags.ac.cn

temperature and humidity equations were defined by analogy with the storage temperature and humidity equations, according to which the relationship between storage temperature and humidity and their fatty acid values during the storage period of rice grains was investigated. The paddy with an initial moisture content of 14% was the research object. Under different storage periods, the base storage temperature and storage humidity under different storage temperatures and humidity conditions had been investigated, and the cumulative storage temperature, cumulative storage humidity, and cumulative storage temperature and humidity, as well as their correlations with fatty acid values were calculated. The model between cumulative storage temperature and humidity and fatty acid value was established and validated. The results showed that in the paper, the base storage temperature for fatty acid value of paddy was 15 °C and the base storage humidity was 55%. Cumulative storage temperature, cumulative storage humidity and cumulative storage temperature & humidity were significantly correlated with fatty acid values and positively correlated. The model equation was: $Y=48.9 \times \exp(-((x-7.566)/8.637)^2)$ ($R^2=0.844$ 1; $RMSE=2.063$) where: x is cumulative storage temperature and humidity (°C·%·d); Y is fatty acid value (mg KOH/100 g). The model was validated $R^2=0.867$ 8, $RMSE=2.152$, the model is more accurate and can provide a new research method for the analysis and prediction of fatty acid values in rice storage practice.

Key words: paddy; cumulative storage temperature; cumulative storage humidity; fatty acid value; base storage temperature; base storage humidity

我国稻谷的储备量巨大,但是稻谷热敏性强,保质储藏具有一定的难度。在储藏过程中,稻谷会发生一系列复杂的物理、化学及生物变化,使其相关指标发生变化。由于稻谷中的脂质成分易发生氧化反应,产生游离脂肪酸,导致脂肪酸值升高。脂肪酸值是评估稻谷在储藏期间脂质氧化和水解产生的游离脂肪酸的关键指标,是评价稻谷储藏品质和营养品质的重要指标^[1]。因此,脂肪酸值对反映稻谷储藏过程中的营养价值和食用品质的良好状态具有重要的意义^[2]。

储藏温湿度是影响稻谷品质变化的关键因素^[3]。储粮领域研究学者通过引入农学中“积温”概念,深入研究了积温对稻谷储藏品质的影响。如陈一帆研究表明积温对籼稻储藏品质各指标均具有显著影响 ($P<0.01$),影响最显著的是脂肪酸值、过氧化氢酶和过氧化物酶的活性^[4]。王启阳等研究发现储藏积温是影响稻谷脂肪酸含量变化的关键因素之一^[5]。Shi 等研究表明当积温在 650~1 000 °C 时,储粮真菌群落丰富度和多样性均高于其他积温,因此该积温是储粮霉菌快速生长的评价指标^[6]。Wang 等研究确定了储粮中真菌的基点温度是 8 °C^[7]。兰天忆采用实仓稻谷储藏温度数据和品质检测指标发现积温是稻谷储藏品质预测模型的主要影响

因素^[8]。关于积湿对储藏品质影响的研究较少,但稻谷储藏品质的变化主要是受积温积湿的耦合作用。如王水寒应用储藏积温、积湿概念,研究分析了储藏期间稻谷品质与储藏积温、积湿的相关性^[9]。

综上所述,积温、积湿对稻谷储藏品质有关键作用,但采用储藏积温积湿探究温湿度耦合作用对稻谷脂肪酸值的规律研究鲜有。因此本文类比储藏积温、储藏积湿的概念,明确储藏积温积湿概念,并提出计算公式。探究储藏积温积湿对稻谷脂肪酸值的影响以及其和脂肪酸值的关系。

1 材料与方法

1.1 实验材料

稻谷:2021 年 10 月收货稻谷,品种为稻花香,产地为吉林,初始水分含量为 16.23%。样品处理:自然晾晒至水分为 14%左右;将调好水分的稻谷,分别放置于不同温湿度的恒温恒湿箱进行储藏,在 20、30 °C 温度条件下,选择储藏湿度条件为:低湿 55%、中湿 65%、高湿 75% 3 个水平。在 60%、70% 湿度条件下,选择储藏温度条件为:低温 15 °C、常温 25 °C、高温 35 °C 3 个水平。恒温箱温度具体设置如下:20 °C-55%、

20℃-65%、20℃-75%、30℃-55%、30℃-65%、30℃-75%、15℃-60%、25℃-60%、35℃-60%、15℃-70%、25℃-70%、35℃-70%，共12个温湿度条件。另外，在本实验储藏温度、储藏湿度范围内随机选择温湿度条件：15℃-60%、15℃-65%、15℃-70%、20℃-70%、35℃-70%、35℃-65%同时开展6个温湿度条件下储藏实验，以作为验证模型的数据集。上述实验条件中的储藏温度误差为±1℃，储藏湿度误差为±1%。每隔7d取一次样，共储藏91d。并进行脂肪酸值的测定，每次取样时记录培养箱实时温湿度，以便后续进行储藏积温积湿等值的计算。

1.2 主要试剂

0.1 g/L 酚酞-95%乙醇溶液、标定为0.498 9 mol/L的 KOH-95%乙醇标准滴定液、pH 9.18 的缓冲溶液、pH 12.15 的缓冲溶液。

1.3 仪器与设备

恒温鼓风干燥箱 DGGGD-9140A：上海精宏实验设备有限公司；LNN-1000SD 型恒温恒湿箱：上海一恒科技有限公司；锤式旋风磨 FSJ-II：中储粮成都粮食储藏科学研究所；电热恒温振荡水槽 DKZ-3B：上海一恒科学仪器有限公司；万分之一电子天平 ML104：梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司；高压汽灭菌锅 MLS-3781L-PC：日本松下；全自动脂肪酸值测定仪 JC-JZSG-11：青岛聚创环保集团有限公司。

1.4 稻谷脂肪酸值的测定

参考 GB/T 20569—2006《稻谷储存品质判定规则》测定脂肪酸值。

1.5 储藏积温、储藏积湿、储藏积温积湿的计算方法

1.5.1 储藏积温、储藏积湿、储藏积温积湿的定义

在储藏期间，稻谷由初始状态到品质劣变，需要一定的热量和湿度积累。将稻谷在相对稳定储藏环境条件下开始变质的温度设定为基点温度，当储藏温度高于基点温度时稻谷会出现变质。将稻谷在储藏过程中高于基点温度的温度与时间的乘积之和定义为稻谷的储藏积温 A_s ；将稻谷在

储藏过程中高于基点湿度的湿度与时间的乘积之和定义为稻谷的储藏积湿 B_s ^[9]。稻谷储藏的环境不止受单一的温度或湿度影响，而是温度、湿度耦合作用的结果，因此由储藏积温和储藏积湿的概念引入得到储藏积温积湿，即储藏积温和储藏积湿的乘积与时间的比定义为稻谷的储藏积温积湿 C_s 。

1.5.2 储藏积温的计算方法

储藏积温的计算公式如式(1)所示^[9]：

$$A_s = \int_{t_0}^{t_n} (T_i - T_0) dt, T_i \geq T_0; \text{当 } T_i < T_0 \text{ 时, } T_i - T_0 \text{ 记为 } 0 \quad \text{式(1)}$$

其中 A_s 为储藏积温，℃·d； t_0 为粮食储藏的起始时间，d； t_n 为粮食储藏的停止时间，d； T_0 为稻谷基点温度，℃； T_i 为稻谷平均温度，℃。稻谷基点温度 T_0 由后续数据分析得出。稻谷平均温度 T_i 由取样时实时记录培养箱的温度的平均值计算得出。

1.5.3 储藏积湿的计算方法

储藏积湿的计算公式如式(2)所示^[9]：

$$B_s = \int_{t_0}^{t_n} (RH_i - RH_0) dt, RH_i \geq RH_0; \text{当 } RH_i < RH_0 \text{ 时, } RH_i - RH_0 \text{ 记为 } 0 \quad \text{式(2)}$$

其中 B_s 为储藏积湿，%·d； t_0 为粮食储藏的起始时间，d； t_n 为粮食储藏的停止时间，d； RH_0 为稻谷基点湿度，%； RH_i 为稻谷平均湿度，%。稻谷基点湿度 RH_0 由后续数据分析得出。稻谷平均湿度 RH_i 由取样时实时记录培养箱的湿度的平均值计算得出。

1.5.4 储藏积温积湿的计算方法

由 1.5.2 储藏积温的计算方法和 1.5.3 储藏积湿的计算方法类比出储藏积温积湿计算公式。储藏积温积湿的计算公式如式(3)所示：

$$C_s = A_s \times \frac{B_s}{t} \quad \text{式(3)}$$

其中 C_s 为储藏积温积湿，℃·%·d； A_s 为储藏积温，℃·d； B_s 为储藏积湿，%·d， t 为储藏时间，d。

1.6 数据处理

使用 Origin2018pro 软件进行绘图和相关性

分析。使用 MATLAB 软件进行模型拟合和验证。

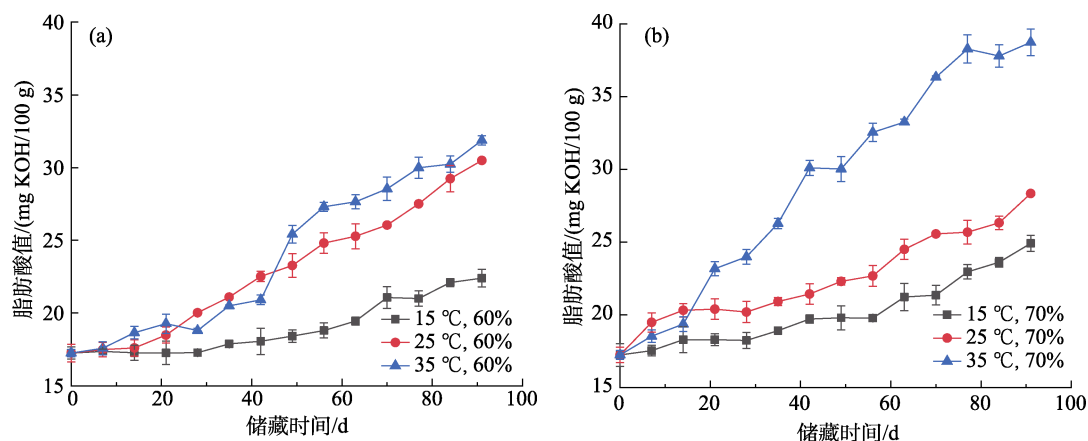
2 结果与讨论

2.1 脂肪酸值基点温度和基点湿度的探究

2.1.1 脂肪酸值储藏基点温度的探究

由图 1 可知,稻谷随着储藏时间增加,脂肪酸值呈上升趋势^[10]。在相同湿度储藏条件下,脂肪酸值随着温度的增加而增大^[11]。可能是因为温

度较高,酶的活性增强,脂肪水解的速度加快,从而导致脂肪酸值升高^[12]。15 °C 的脂肪酸值整体趋势比其他储藏温度条件下的平缓,在整个储藏期内,脂肪酸值皆低于 25 mg KOH/100 g,稻谷始终处于易存状态。综合考虑 60%和 70%湿度条件下的脂肪酸值变化,本研究中将稻谷的脂肪酸值储藏基点温度定为 15 °C。



注: (a)相对湿度 60%下的储藏条件; (b)相对湿度 70%下的储藏条件。

Notes: (a) storage conditions at 60% relative humidity; (b) storage conditions at 70% relative humidity.

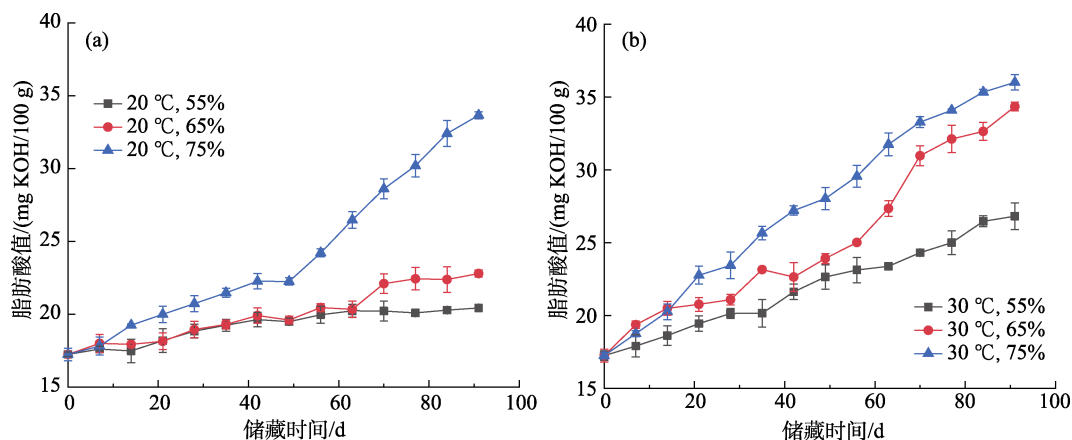
图 1 相同储藏湿度下稻谷脂肪酸值随储藏时间的变化

Fig.1 The change of fatty acid value for paddy with storage time under the same stored humidity condition

2.1.2 脂肪酸值储藏基点湿度的探究

由图 2 可知,稻谷随着储藏时间增加,脂肪酸值也呈上升趋势。在相同温度储藏条件下,稻谷脂肪酸值随着湿度的增加而增大^[13]。由图 2a 可知低湿 55%和中湿 65%条件下,63 d 前变化不明显,脂肪酸值皆低于 21 mg KOH/100 g,超过

63 d 后,中湿 65%储藏的稻谷脂肪酸值增值升高,但脂肪酸值低于 25 mg KOH/100 g。稻谷始终处于易存状态。由图 2b 可知,对比其他储藏湿度条件下,低湿 55%的整体变化趋势最缓和增幅最小,脂肪酸值最小。综合图 2a 和图 2b 因此在本研究中将脂肪酸值的储藏基点湿度定为 55%。



注: (a) 20 °C 下的储藏条件; (b) 30 °C 下的储藏条件。

Note: (a) storage conditions at 20 °C; (b) storage conditions at 30 °C.

图 2 同一温度条件下脂肪酸值的变化

Fig.2 The change of fatty acid value for stored paddy at the same temperature

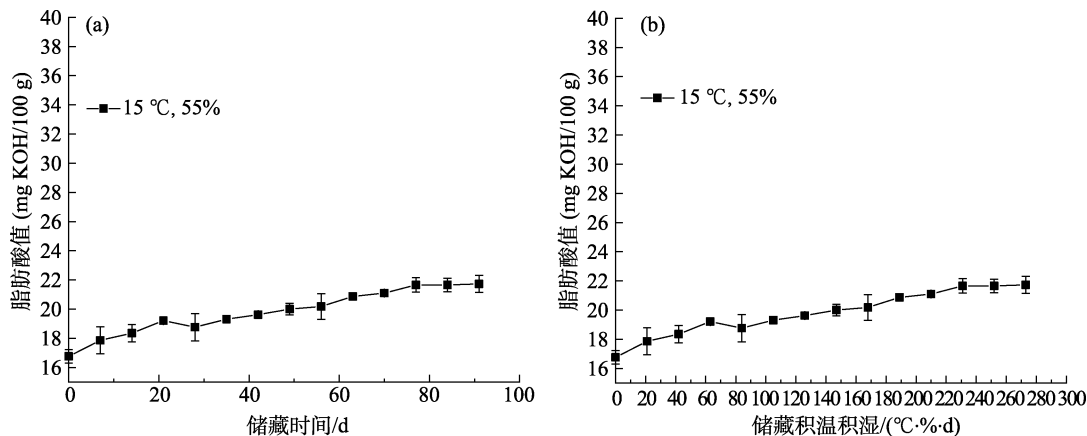
2.2 脂肪酸值储藏基点温度和基点湿度的验证

根据 2.1 脂肪酸值基点温度和基点湿度的探究, 本实验中, 确定储藏基点温度为 15 ℃, 储藏基点湿度为 55%。在此条件下对稻谷进行 91 d 储藏, 从图 3 可以看出脂肪酸值增值不超过 5 mg KOH/100 g。脂肪酸值随储藏积温积湿的增

加变化不大。

2.3 储藏积温、储藏积湿、储藏积温积湿的计算

代入 1.5 计算公式 (1)、(2)、(3) 分别求出不同储藏环境的储藏积温、储藏积湿、储藏积温积湿。结果以 20 ℃下的储藏积温、储藏积湿和储藏积温积湿的值为例。



注: (a)稻谷储藏脂肪酸值随储藏时间的变化; (b)稻谷储藏脂肪酸值随储藏积温积湿的变化。

Note: (a) changes in stored fatty acid values of rice with storage time; (b) changes in stored fatty acid values of rice with storage cumulative temperature and humidity.

图 3 15 ℃-55%下稻谷储藏脂肪酸值随储藏时间、储藏积温积湿的变化图

Fig.3 Variation of stored fatty acid values of rice grains with storage time, storage cumulative temperature and humidity at 15 ℃-55%

表 1 20 ℃下的储藏积温、储藏积湿和储藏积温积湿的值

Table 1 Values of storage cumulative temperature, storage cumulative humidity and storage cumulative temperature cum humidity at 20 ℃

储藏时间/d	RH55%			RH65%			RH75%		
	As	Bs	Cs	As	Bs	Cs	As	Bs	Cs
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	34.05	12.73	61.90	38.68	54.95	303.60	42.64	111.36	678.31
14	68.09	25.45	123.80	77.35	109.90	607.20	85.27	222.73	1 356.61
21	102.14	38.18	185.70	116.03	164.85	910.80	127.91	334.09	2 034.92
28	136.18	50.91	247.60	154.70	219.80	1 214.40	170.55	445.45	2 713.22
35	170.23	63.64	309.50	193.38	274.75	1 517.99	213.18	556.82	3 391.53
42	204.27	76.36	371.40	232.05	329.70	1 821.59	255.82	668.18	4 069.83
49	238.32	89.09	433.31	270.73	384.65	2 125.19	298.45	779.55	4 748.14
56	272.36	101.82	495.21	309.40	439.60	2 428.79	341.09	890.91	5 426.45
63	306.41	114.55	557.11	348.08	494.55	2 732.39	383.73	1 002.27	6 104.75
70	340.45	127.27	619.01	386.75	549.50	3 035.99	426.36	1 113.64	6 783.06
77	374.50	140.00	680.91	425.43	604.45	3 339.59	469.00	1 225.00	7 461.36
84	408.55	152.73	742.81	464.10	659.40	3 643.19	511.64	1 336.36	8 139.67
91	442.59	165.45	804.71	502.78	714.35	3 946.78	554.27	1 447.73	8 817.98

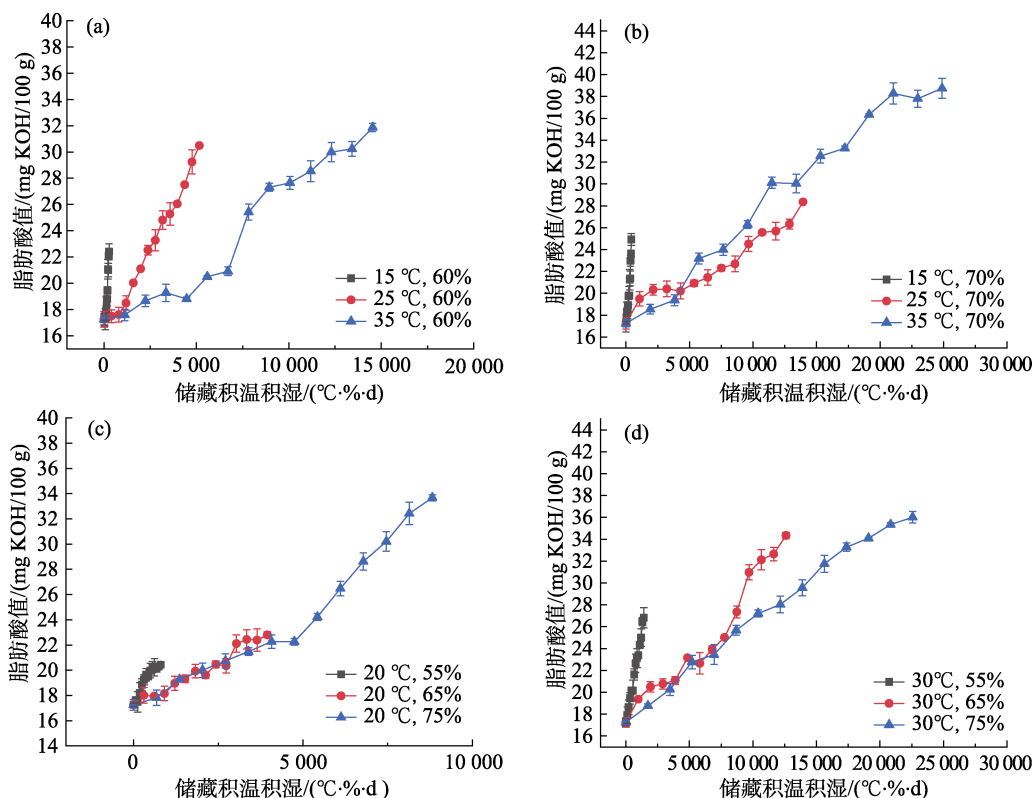
2.4 稻谷储藏脂肪酸值随储藏积温积湿的变化

由图 4 可知, 随着储藏积温积湿的增加, 稻谷脂肪酸值也在不断地增加, 储藏积温积湿越高, 稻谷的脂肪酸值越高。

根据 GB/T 120569—2006《稻谷储存品质判定规则》, 脂肪酸值 (KOH/干基) 小于等于 25 mg/100 g 的稻谷适合储存, 26~35 mg/100 g 的稻谷轻度不宜存, 大于 35 mg /100 g 的稻谷严重不宜存^[14]。由

图4a、图4b可以看出,储藏91 d后,15℃下的储藏积温积湿值皆不超过500℃·%·d,15℃-60%、15℃-70%储藏条件下稻谷脂肪酸值均不超过25 mg KOH/100 g,稻谷处于适合储存状态。25℃下的储藏积温积湿在相对湿度为70%时最高可达14 000℃·%·d,且25℃-60%、25℃-70%脂肪酸值均超过25 mg KOH/100 g,稻谷已经处于轻度

度不宜存状态;35℃下的储藏积温积湿在相对湿度为70%时最高达到了25 000℃·%·d。35℃-60%超过25 mg KOH/100 g,稻谷已经处于轻度不宜存状态,35℃-70%储藏条件下脂肪酸值超过35 mg KOH/100 g,已经处于严重不宜存的状态。并且储藏积温积湿的脂肪酸值增长速率在相同湿度下15℃大于25℃和35℃。



注: (a)相对湿度60%、温度(15、25、35℃)储藏条件; (b)相对湿度70%、温度(15、25、35℃)储藏条件; (c)温度20℃、相对湿度(55%、65%、75%)储藏条件; (d)温度20℃、相对湿度(55%、65%、75%)。

Note: (a) 60% relative humidity, temperature (15, 25, 35℃) storage conditions; (b) 70% relative humidity, temperature (15, 25, 35℃) storage conditions; (c) temperature 20℃, relative humidity (55%, 65%, 75%) storage conditions; (d) temperature 20℃, relative humidity (55%, 65%, 75%).

图4 稻谷脂肪酸值在不同储藏积温积湿条件下的变化

Fig.4 Changes of paddy fatty acid value in different storage accumulation temperature humidity

由图4c、图4d可以看出:稻谷在相对湿度55%的环境下储藏91 d的储藏积温积湿皆不超过1 500℃·%·d,20℃-55%储藏条件下稻谷储藏91 d脂肪酸值不超过25 mg KOH/100 g,稻谷处于适合储存状态。30℃-55%的储藏条件稻谷已经处于轻度不宜存状态;65%的储藏积温积湿皆不超过13 000℃·%·d,20℃-65%储藏条件下稻谷储藏91 d脂肪酸值不超过25 mg KOH/100 g,稻谷处于适合储存状态。30℃-65%的储藏条件稻谷

已经处于轻度不宜存状态;75%的储藏积温积湿皆不超过23 000℃·%·d。20℃-75%的储藏条件稻谷已经处于轻度不宜存状态;30℃-75%湿度下的稻谷已经处于严重不宜存状态。并且储藏积温积湿的脂肪酸值增长速率在相同温度下55%RH大于65%RH和75%RH。

2.5 储藏积温积湿与脂肪酸值模型拟合与验证

利用Origin2018pro做相关性分析得出:储藏积温、储藏积湿、储藏积温积湿与脂肪酸值间,

有显著相关性 ($P < 0.05$)。故选用 12 组实验数据利用 MATLAB 软件对储藏积温积湿与脂肪酸值进行高斯拟合, 拟合函数如下所示: $Y = 48.9 \times \exp(-((x - 7.566)/8.637)^2)$, ($R^2 = 0.8441$; $RMSE = 2.063$) 式中: x —储藏积温积湿 ($^{\circ}\text{C} \cdot \% \cdot \text{d}$); Y —脂肪酸值

($\text{mg KOH}/100 \text{ g}$)。

选用 6 组验证实验数据 ($15^{\circ}\text{C}-60\%$ 、 $15^{\circ}\text{C}-65\%$ 、 $15^{\circ}\text{C}-70\%$ 、 $20^{\circ}\text{C}-70\%$ 、 $35^{\circ}\text{C}-70\%$ 、 $35^{\circ}\text{C}-65\%$) 在模型 Y 的置信区间内, 对模型 Y 进行验证 $R^2 = 0.8345$; $RMSE = 2.253$, 模型较为准确。

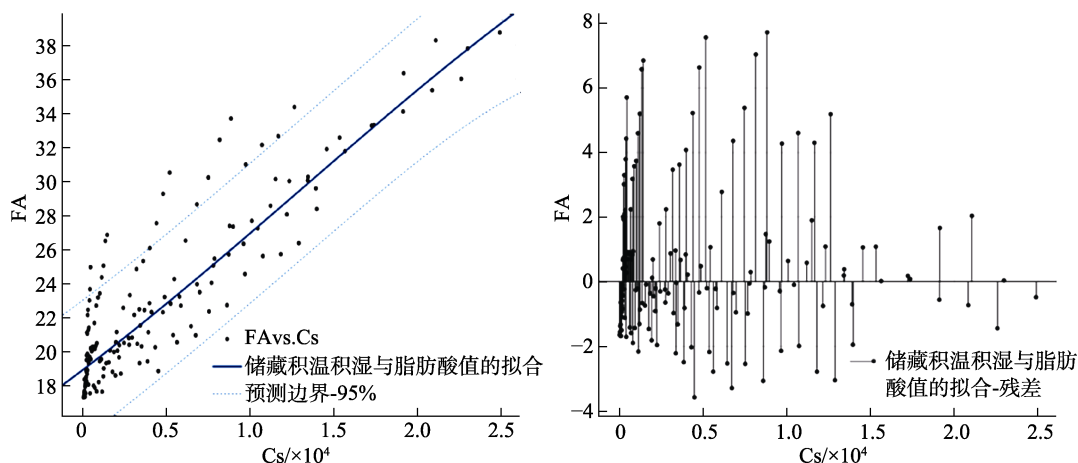


图 5 储藏积温积湿与脂肪酸值高斯回归拟合及残差图

Fig.5 Gaussian regression fit and residual plots of storage temperature and moisture versus fatty acid values

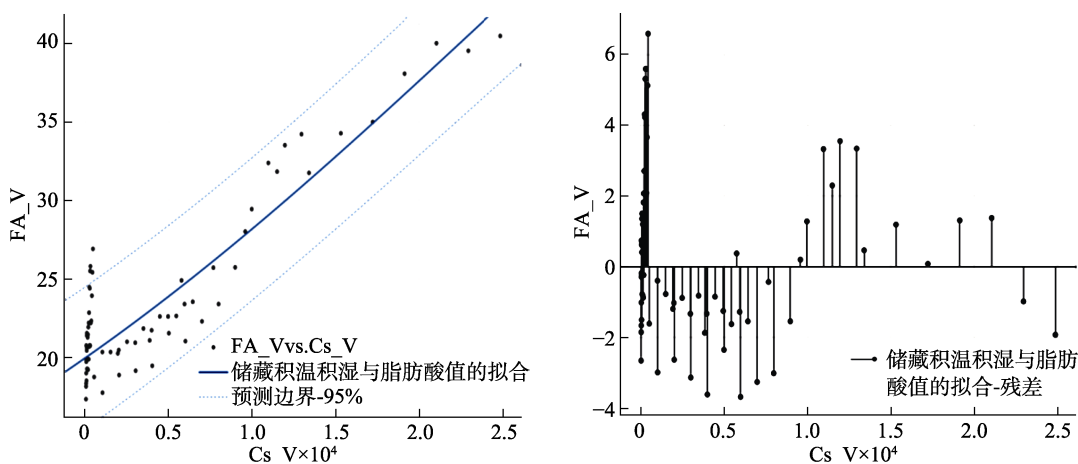


图 6 验证数据的储藏积温积湿与脂肪酸值高斯回归拟合及残差图

Fig.6 Gaussian regression fit of storage cumulative temperature and humidity to fatty acid values and residual plots for validation data

3 结论

(1) 定义出储藏积温积湿的概念并提出计算公式。计算公式为:

$$C_s = A_s \times \frac{B_s}{t}$$

其中, C_s 为储藏积温积湿, $^{\circ}\text{C} \cdot \% \cdot \text{d}$; A_s 为储藏积温, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$; B_s 为储藏积湿, $\% \cdot \text{d}$, t 为储藏时间, d 。

(2) 得出基点储藏温度和基点储藏湿度分别为温度 15°C , 湿度 $\text{RH}55\%$ 。计算得到储藏积温、

储藏积湿和储藏积温积湿值。得出稻谷的脂肪酸值随储藏积温积湿的增加而增加的规律。

(3) 拟合储藏积温积湿与脂肪酸值的模型关系, 模型关系式为:

$$Y = 48.9 \times \exp(-((x - 7.566)/8.637)^2) (R^2 = 0.8441; RMSE = 2.063)$$

其中, x 为储藏积温积湿 ($^{\circ}\text{C} \cdot \% \cdot \text{d}$); Y 为脂肪酸值 ($\text{mg KOH}/100 \text{ g}$)。对模型 Y 验证, $R^2 = 0.8345$; $RMSE = 2.253$ 。

由上述分析可知: 储藏积温、储藏积湿、储

藏积温积湿与脂肪酸值有显著正相关。储藏积温积湿能作为影响稻谷储藏品质的重要因素,有效控制储藏积温积湿可更好保持稻谷品质,为稻谷绿色储藏提供数据支撑和实践指导。后续试验可增加多个品种、稻谷含水率等因素,进一步研究确定稻谷储藏积温积湿与其它品质指标变化的规律,为稻谷储藏品质定量化分析和预测提供新的研究视角。

参考文献:

- [1] 丁胜杰, 王学高, 朱红飞, 等. 温度对稻谷中脂肪酸含量影响的研究[J]. 现代食品, 2024, 30(14): 14-16.
DING S J, WANG X G, ZHU H F, et al. Study on the effect of temperature on the content of fatty acids in rice[J]. Modern Food, 2024, 30(14): 14-16.
- [2] 冯伟. 稻谷储藏的品质控制探究[J]. 中国食品工业, 2023(20): 96-98.
FENG W. An investigation of quality control in rice storage[J]. China Food Industry, 2023(20): 96-98.
- [3] 肖宇洋, 钱丽丽, 左锋, 等. 温湿度对集装箱中稻谷结露的影响及除湿袋预防效果的研究[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(06): 41-44.
XIAO Y Y, QIAN L L, ZUO F, et al. Study on the effect of temperature and humidity on condensation and the preventive effect of dehumidification bags in container[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(6): 41-44.
- [4] 陈一帆. 变温储藏模式下优质籼稻品质变化规律的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2022.
CHEN Y F. Study on quality variation of high-quality indica rice under variable temperature storage mode[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2022.
- [5] 王启阳, 吴文福, 兰天忆. 东北地区稻谷储藏期间脂肪酸含量的预测模型[J]. 农业工程学报, 2020, 36(6): 269-275.
WANG Q Y, WU W F, LAN T Y. Models for predicting the fatty acid contents of rice during storage in the northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(6): 269-275.
- [6] SHI J Y, ZHANG T, GENG S F, et al. Effect of accumulated temperature on flavour and microbial diversity of japonica rice during storage[J]. Journal of Stored Products Research, 2021, 92.
- [7] WANG Q Y, HAN F, WU Z D, et al. Estimation of free fatty acids in stored paddy rice using multiple-kernel support vector regression[J]. Applied sciences-basel, 2020, 10(18): 6555.
- [8] 兰天忆. 基于粮情大数据的东北地区储粮品质模型的建立[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
LAN T Y. Establishment of grain storage quality model in Northeast China based on big data of grain situation[D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [9] 王水寒. 稻谷储藏品质与耦合因子关系的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2021.
WANG S H. Study on the relationship between paddy storage quality and coupling factors[D]. Changchun: Jilin University, 2021.
- [10] 张玉荣, 李月, 褚洪强, 等. 氮气气调储藏下不同温度对晚籼稻品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(16): 160-169.
ZHANG Y R, LI Y, CHU H Q, et al. Effects of different temperatures on quality of late indica rice under nitrogen-controlled atmosphere storage[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(16): 160-169.
- [11] 刘晓莉, 熊升伟, 侯少杰, 等. 储藏条件及加工精度对早籼稻脂肪酸值的影响研究[J]. 粮食储藏, 2022, 51(5): 44-48.
LIU X L, XIONG S W, HOU S J, et al. Effects of storage conditions and processing accuracy on fatty acid values of early indica rice[J]. Grain Storage, 2022, 51(5): 44-48.
- [12] 黄永忠. 高温高湿地区稻谷储藏品质变化[J]. 农业工程, 2014, 4(6): 71-73.
HUANG Y Z. Storage quality of paddy in high temperature and high humidity regions[J]. Agricultural Engineering, 2014, 4(6): 71-73.
- [13] 王明洁, 蒋甜燕, 袁建, 等. 不同储藏温、湿度条件下小麦粉脂肪酸值的变化[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(9): 71-75.
WANG M J, JIANG T Y, YUAN J, et al. Change of fatty acid value of wheat flour during storage at different temperature and relative humidity[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(9): 71-75.
- [14] 胡建蓉, 李理, 付丽君, 等. 烘干稻谷储藏过程中脂肪酸值变化规律研究与脂肪酸值预测模型的建立[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(9): 1-7.
HU J R, LI L, FU L J, et al. Study on change law and establishment of prediction model of fatty acid value about dried rice during storage[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(9): 1-7.

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。