

稻谷储存水分和温度对真菌生长和稻谷主要品质的影响

张海洋, 欧阳毅, 祁智慧, 唐芳

(国家粮食局科学研究院, 北京 100037)

摘要: 研究水分、温度对稻谷储存过程中真菌生长和主要储存品质的影响。将稻谷设为含水量分别为12.1%、13.1%、14.0%、15.1%、16.0%的样品, 分别置于10、15、20、25、30、35℃温度条件下模拟储存180 d后, 检测稻谷样品中真菌生长、发芽率和脂肪酸值的变化。结果表明, 水分是真菌生长的决定因素, 13.1%水分处于真菌生长临界水分以下, 即使温度适宜真菌也不生长; 14.0%处于真菌生长临界水分以上, 水分越高越利于真菌孢子萌发生长, 温度越高真菌生长速度越快; 脂肪酸值受真菌生长的影响程度要大于水分和温度, 13.1%以下水分稻谷, 没有真菌生长, 脂肪酸值上升缓慢。14.0%以上水分稻谷, 一旦真菌生长, 就会加速脂肪酸值的升高; 发芽率受温度影响程度最大, 高温储存半年, 无论是否有真菌生长, 发芽率基本降为0, 低温储存不仅能抑制真菌生长还利于保持种子发芽率。

关键词: 稻谷; 水分; 温度; 真菌生长; 发芽率; 脂肪酸值

中图分类号: TS 201 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2017)02-0039-05

Influence of storage moisture content and temperature on growth of fungi and quality of stored paddy

ZHANG Hai-yang, OUYANG Yi, QI Zhi-hui, TANG Fang
(Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037)

Abstract: The influence of moisture content and temperature on the growth of fungi during paddy storage and the main quality of the paddy was studied. The paddy with moisture content of 12.1%, 13.1%, 14.0%, 15.1% and 16.0% were stored for 180 days at 10, 15, 20, 25, 30, 35℃, respectively in order to detect the growth of fungi, change of germination rate and fatty acidity. The results indicated that the moisture content was the determinant of fungal growth. Moisture content 13.1% was below the critical for fungal growth which will not grow under the moisture even if the temperature was suitable; 14.0% was above the critical and above the critical value, the higher the moisture content, the more suitable for fungal spores germination, and the higher the temperature, the faster the fungal growth; the fungal growth had a larger influence on fatty acidity than the moisture and the temperature. Under the condition of the moisture content of paddy was below 13.1%, there was no growth of fungi and the fatty acidity value rose slowly. On the other hand, when the moisture content of paddy was above 14.0% and once the fungi grew, the fatty acidity value would rise rapidly. Germination rate was affected by the temperature more than fungal growth and moisture. When the paddy stored in high temperature for half a year, no matter fungal grew or not, the germination rate will almost reduce to zero. Low temperature storage can not only inhibit the growth of fungi, but also keep the seed germination rate.

Key words: paddy; moisture content; temperature; fungi growth; germination rate; fatty acid value

收稿日期: 2016-08-01

基金项目: “十三五”国家重点研发项目(2016YFD0401000-3)

作者简介: 张海洋, 1986年出生, 男, 实习研究员。

通讯作者: 唐芳, 1978年出生, 女, 副研究员。

稻谷是我国主要粮食品种之一, 全国有60%的人口以大米为主食^[1]。稻谷储藏期间, 因其部分理化特性受储藏条件影响, 易发生变化, 会降低稻米品

质^[2-4],若发生霉变,会进一步导致品质劣变,给稻谷储藏安全构成威胁。因此,如何保证稻谷储藏品质安全一直备受关注。

我国稻谷种植品种繁多,仓储企业收购稻谷时也面临这一问题。若要在储藏过程中进行品质控制,需选择受品种影响较小的理化指标。脂肪酸与蛋白、淀粉相比,虽然含量不多,但受品种影响较小且变化最快,因此我国把脂肪酸值作为稻谷储藏品质判定的重要指标之一^[5]。发芽率是评价稻谷种子质量的重要指标之一,发芽率的保持对储存条件要求较高,易受环境和微生物生长的影响。关于稻谷储藏过程中脂肪酸值和发芽率变化的研究报道较多,Purushotham^[6]研究了储藏真菌和稻谷发芽率的相关性,廖权辉等^[7]认为储藏真菌感染种子是稻谷发芽率降低的主要原因。Mallick^[8]研究报道,种子发芽活力的变化、真菌生长和水分的季节性波动三者间的综合作用导致了储存稻谷的品质劣变。Zhou^[9]研究了4℃和37℃储存7个月的糙米的脂肪酸差异,结果表明温度对脂肪酸值影响较大。T. Gernkawa^[10]研究了不同水分含量的糙米在储藏过程中脂肪酸值的变化,结果表明水分越高脂肪酸值上升越快。周建新^[11]研究了高湿度下稻谷储藏温度对微生物和脂肪酸值的影响,建立了同一水分条件下,霉菌量、脂肪酸值与储藏温度和时间的二元线性关系。现有研究多是基于单一因素或两因素,研究其对脂肪酸值和发芽率的影响,但实际储粮情况下,水分、温度和真菌生长密切相关。本文针对稻谷储藏水分、温度对真菌生长的影响进行研究,在此基础上研究三因素协同作用对稻谷品质的影响,为稻谷安全储存和品质控制提供参考。

1 材料与方 法

1.1 样品

稻谷样品:2014年产粳稻,初始水分12.0%,产自黑龙江。

1.2 试剂和仪器

HPS-250生化培养箱:哈尔滨东联电子技术开发有限公司;PL3002-IC电子分析天平:梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;HG-9246A型电热恒

温鼓风干燥箱:上海精宏实验设备有限公司;SMART显微镜:重庆奥特公司;DJSFM-1粮食水分测试粉碎磨:成都粮食储存科学研究所。实验用水均为去离子水。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备及储存

稻谷样品需先进行清理和除杂,将稻谷平均分为若干等份,每份质量约为5 kg,采用喷雾着水法,使样品着水均匀,密封袋密封,置于5℃冰柜中平衡10 d左右。每次着水量 $\leq 2\%$,多次平衡,使样品达到实验所需水分。将平衡后的稻谷样品均分为6等份,分装于1.0 L的广口瓶中,加塞密封,分别置于10、15、20、25、30、35℃的恒温箱中储存180 d。

1.3.2 真菌孢子计数^[12]

参照《储粮真菌危害早期检测方法的研究》,每个样品两次平行实验,结果取平均值。

1.3.3 水分测定

采用GB/T 5497—85粮食、油料检验水分测定法105℃烘干法。

1.3.4 发芽率测定

采用GB/T 5520—2011粮油检验籽粒发芽试验。

1.3.5 脂肪酸值测定

采用GB/T 5510—2011粮油检验粮食、油料脂肪酸值测定石油醚提取法。

1.4 数据处理

采用SPSS 19和EXCEL软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 样品水分均匀性检验

由于稻谷储藏水分与真菌生长密切相关,样本着水的均匀性会直接影响到实验结果的准确性。因此,采用1.3.3方法对着水、冷藏平衡后的5个不同水分梯度的稻谷样品进行水分均匀性检验。结果表明,不同水分梯度的稻谷,其相对标准偏差(RSD, $n=6$)范围为0.27%~0.94%,平均水分分别为12.1%、13.1%、14.0%、15.1%、16.0%,实验用稻谷样品水分具有良好的均匀性。

2.2 稻谷储存水分、温度对真菌生长的影响

微生物生长是粮食储藏过程中导致品质下降的重要因素之一,严重时会产生毒素。目前我国稻谷储存水分普遍偏高,受外界环境影响,粮堆中易出现局部高水分区或结露层,导致进一步霉变发热,进而影响稻谷品质。因此,开展不同水分稻谷在不同温度下储藏半年时真菌生长情况的研究,以探究储藏水分、温度对真菌生长的影响。实验结果见图1。

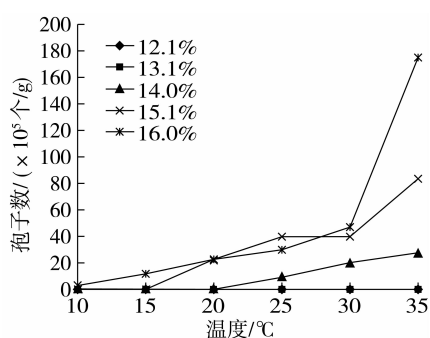


图1 稻谷储存水分、温度对真菌生长的影响

图1为不同水分稻谷在不同温度条件下储藏半年时真菌的生长情况。12.1%与13.1%水分的稻谷在6个不同实验温度条件下储存6个月未检出真菌生长,这两个水分在真菌生长临界水分以下,即使温度适宜,真菌孢子也难以萌发生长,因此,在南方部分地区,13.1%水分以下稻谷,即使35℃高温持续半年,在做好密闭防潮的前提下,也可免受真菌侵染。14.0%水分稻谷于20℃以下储存半年,未检出真菌生长,25℃储存持续半年,真菌生长可达到 9.7×10^5 个/g,根据储粮真菌危害早期检测方法研究^[12],储粮状况处于临界状态,是关键控制区,真菌进一步生长会导致水分升高,若不及时采取控温或控水措施,可能造成粮堆发热。14.0%水分稻谷30℃以上储藏半年,真菌生长均在 10^6 个/g数量级,达到危害级别,对储粮安全已构成威胁。15.1%水分稻谷在15℃以下低温储藏半年,未检出真菌生长。16.0%水分稻谷只有在10℃低温储藏,不会对储粮安全构成危害,而在20℃以上储藏,真菌生长速度加快,35℃高温储藏真菌呈飞跃式生长,由此可见,高于真菌生长临界水分的稻谷,水分越高,真

菌孢子越易萌发生长,温度越高,真菌生长越快。

综上所述,若要保证稻谷不受真菌侵染,一定要严格控制稻谷水分在真菌生长临界水分以下。但从稻谷后期加工和食用角度考虑,水分偏低会影响后期加工和食用品质,有些仓储和加工企业尽可能把稻谷储藏水分提高。因此,在严格控制低温储藏的前提下,稻谷水分可以在一定范围内提高,但稻谷水分提高会增加真菌生长的风险。

2.3 稻谷脂肪酸值变化

稻谷储藏过程中,脂肪酸值是储藏品质控制的一项重要指标。脂肪酸虽然含量不高,但其变化比蛋白质和淀粉快很多,且受稻谷品种影响较小,适于我国多品种混存的储存品质控制。稻谷脂肪酸值越高,食用品质越差。导致脂肪酸值升高有内、外因两方面因素,外因是指微生物生长分泌脂肪水解酶,导致脂肪酸值升高,内因是籽粒自身代谢消耗部分营养成分^[13-14]。本实验用稻谷样品初始脂肪酸值在18.0 mgKOH/100 g左右,按照1.3.1方法模拟储藏180 d后,样品脂肪酸值结果见图2。

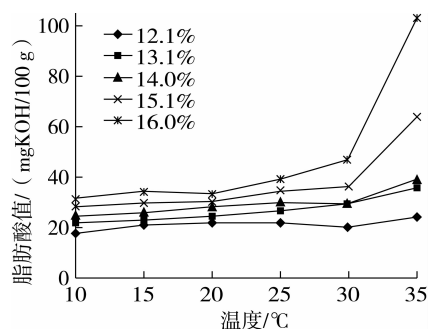


图2 不同储藏条件下稻谷脂肪酸值的变化

图2为不同水分的稻谷在不同温度下储存半年,脂肪酸值的变化。水分12.1%和13.1%稻谷样品六个温度下均未检出真菌生长,12.1%水分的稻谷脂肪酸值随储藏温度升高小幅度上升,但不明显,范围为18.0~24.0 mgKOH/100 g,根据稻谷储存品质判定规则^[5](脂肪酸值 ≤ 25.0 mgKOH/100 g),属宜存范围。13.1%水分稻谷30℃及以下储藏,脂肪酸值随温度升高有小幅上升,10~30℃之间,脂肪酸值范围为21.7~29.2 mgKOH/100 g,温度每升

高5℃,脂肪酸值分别升高0.9、1.7、2.2、2.7 mgKOH/100 g,而35℃储存半年时脂肪酸值上升速度加快,增幅达7.2 mgKOH/100 g,由此可见,对于真菌生长临界水分以下的稻谷,脂肪酸值主要受温度因素影响,随温度升高,脂肪酸值缓慢升高,长时间35℃高温储藏,可能导致脂肪酸值明显升高。14.0%及以上水分稻谷储藏,低温储藏一定程度上可抑制真菌生长。14.0%、15.1%和16.0%水分的稻谷样品分别在25、20、15℃下储存半年时间检出真菌生长,脂肪酸值均升高至30 mgKOH/100 g左右,且随着储藏水分和温度的升高,真菌数量呈上升趋势,脂肪酸值也明显升高。16.0%高水分的稻谷35℃高温储藏时,真菌检出量达到 10^7 个/g,脂肪酸值升高至102.5 mgKOH/100 g。由此可见,对于14.0%水分以上的稻谷,脂肪酸值的升高受水分、温度和真菌生长三个因素的影响,水分、温度越高,真菌生长越多,脂肪酸值升高越快。低温储藏不仅可以抑制或减缓真菌生长,还能减缓脂肪酸值升高,利于稻谷储藏品质的保持。

采用SPSS软件对水分、温度、真菌生长对脂肪酸值的影响进行多因素方差分析,结果表明,三个因素对脂肪酸值均有显著性影响($P < 0.05$)。分别对水分与脂肪酸值、温度与脂肪酸值、真菌生长与脂肪酸值进行线性拟合,拟合方程和拟合度见表1。

表1 水分、温度、真菌生长与脂肪酸线性拟合分析

因素	拟合方程	R ²
温度	$y = 0.927x + 11.558$	0.250
水分	$y = 6.429x - 58.542$	0.322
真菌生长	$y = 0.433x + 24.776$	0.931

由表可知,脂肪酸值与真菌生长的线性拟合度最好,其次是水分和温度。由此可见,真菌生长对脂肪酸值的影响程度明显大于水分和温度,14.0%以上水分的稻谷储藏过程中,严格控制真菌生长是防止脂肪酸值快速升高的关键。

2.4 稻谷发芽率变化

发芽率不仅能评价种子发芽能力,也是稻谷储藏过程中评价真菌侵染程度非常灵敏的一项指标。

储藏真菌对粮粒初期的侵染,一般先从营养丰富的胚乳开始。真菌侵染初期,粮粒表面可能观察不到,但对发芽率已经造成影响。在真菌未侵染的情况下,种子也会逐渐失去活力,主要是粮粒自身代谢损耗自身营养成分,导致籽粒发芽能力及活力降低,高温对种子也有一定程度的热损伤^[15]。本实验用稻谷样品,初始发芽率在98%左右,按照1.3.1方法模拟储存180 d后,样品发芽率结果见图3。

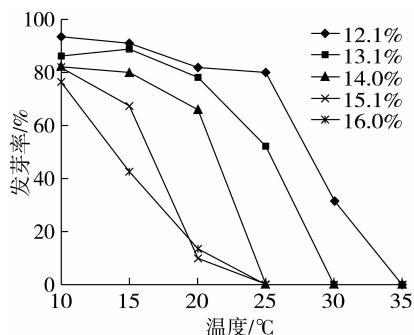


图3 不同储藏条件下稻谷发芽率的变化

图3为不同水分稻谷在不同温度下储存半年,发芽率的变化。将模拟储藏温度划分为两个区,低温区10、15、20℃,高温区25、30、35℃。低温区稻谷储藏半年,15.1%以下水分稻谷基本未检出真菌生长(除15.1%水分在20℃储藏的样品外),发芽率变化范围在66%~94%,12.1%水分在10℃时发芽率为94%,基本维持在初始水平,随着水分和温度的升高,发芽率呈缓慢下降趋势,而14.0%在20℃时发芽率降至66%,此时,发芽率降低主要是粮粒自身代谢所致^[15]。由此可见,低水分和低温可降低粮粒自身生理活动,利于发芽率的保持。15.1%水分稻谷在20℃储藏半年时,真菌生长达到 10^6 个/g以上,导致发芽率降至10%。16.0%水分样品10℃低温储藏时,有少量真菌检出(2.6×10^5 个/g),发芽率在77%左右,可见,低温可在一定程度上抑制真菌活动,少量真菌生长对籽粒损伤相对小些。高温区稻谷储藏,12.1%和13.1%稻谷虽未检出真菌生长,但随着温度的升高,发芽率急剧下降,35℃储藏时发芽率均降为0,此时发芽率降低主要受高温影响^[15]。高温区14.0%以上水分的稻谷

均检出真菌生长,各温度下发芽率均降为0,此时发芽率受温度和真菌生长双重影响。由两个温区结果比较可以看出,无论是否有真菌生长,高温区发芽率降速明显高于低温区,高温对籽粒的损伤更为明显。

采用 SPSS 软件对水分、温度、真菌生长对发芽率的影响进行多因素方差分析,结果表明,三个因素对发芽率均有显著性影响($P < 0.05$)。分别对水分与发芽率、温度与发芽率、真菌生长与发芽率进行线性拟合,拟合方程和拟合度见表2。

表2 水分、温度、真菌生长与发芽率线性拟合分析

因素	拟合方程	R ²
温度	$y = -3.712x + 123.753$	0.683
水分	$y = -10.904x + 193.547$	0.155
真菌生长	$y = -0.539x + 49.729$	0.245

由表可知,发芽率与温度线性拟合度最好,其次是真菌生长和水分。由此可见,温度对发芽率的影响程度大于真菌生长和水分,严格控制储藏温度是防止发芽率快速下降的关键。

3 结论

通过对不同水分稻谷在不同温度下模拟储藏,研究了储藏水分、温度对稻谷储藏半年真菌生长数量的影响,以及水分、温度、真菌生长对发芽率和脂肪酸值的影响,结果表明:水分是真菌生长的决定因素,13.1%水分处于真菌生长临界水分以下,即使温度适宜真菌也不生长。14.0%处于真菌生长临界水分以上,水分越高越利于真菌孢子萌发生长,温度越高真菌生长速度越快。脂肪酸值受真菌生长的影响程度要大于水分和温度,13.1%以下水分稻谷,没有真菌生长,但35℃持续高温也会导致脂肪酸值升高。14.0%以上水分稻谷,一旦真菌生长,就会加速脂肪酸值的升高。发芽率受温度影响程度最大,25℃以上高温储存半年,无论是否有真菌生长,发芽率基本降为0,20℃低温储存不仅能抑制真菌生长还利于保持种子发芽率。

参考文献:

- [1]李成贵.中国大米政策分析[J].中国农村经济,2002,9:53-59.
- [2]Swamy Y M I, Sowbhagya C M, Bhattacharya K R. Changes in the physicochemical properties of rice with aging[J]. Journal of the science of food & agriculture, 1978, 29(29): 627-639.
- [3]Chrastil J. Chemical and physicochemical changes of rice during storage at different temperatures[J]. Journal of cereal science, 1990, 11(1): 71-85.
- [4]Zhou Z, Robards K, Helliwell S, et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes[J]. Journal of cereal science, 2002, 35(1): 65-78.
- [5]GB/T 20569—2006, 稻谷储存品质判定规则[S].
- [6]Purushotham S P, Patkar K L, Patkar H S, et al. Storage fungi and their influence on rice seed quality[J]. India phytopathology, 1996, 49(2): 152-156.
- [7]廖权辉,何淑英,沈周秦,等.储藏真菌对大米品质劣变及稻谷发芽率的影响[J].粮食储藏,1987(5):16-24.
- [8]Mallick A K, Nandi B. Deterioration of stored rough rice[J]. Acta agriculturae scandinavica, 1982, 32(2): 177-187.
- [9]Zhou Z, Blanchard C, Helliwell S, et al. Fatty acid composition of three rice varieties following storage[J]. Cereal science, 2003, 37: 327-335.
- [10]Genkawa T, Uchino T, Inoue A, et al. Development of a low-moisture-content storage system for brown rice: Storability at decreased moisture contents[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99: 515-522.
- [11]周建新,张瑞,王璐,等.储藏温度对稻谷微生物和脂肪酸值的影响研究[J].中国粮油学报,2011,26(1):92-95.
- [12]程树峰,唐芳.储粮真菌危害早期检测方法的研究[J].中国粮油学报,2011,26(4):85-88.
- [13]张瑛,吴先山,吴敬德.稻谷储藏过程中理化特性变化的研究[J].中国粮油学报,2003,18(6):20-24.
- [14]Aibara S, Ismail I A. Changes in rice bran lipids and fatty acids during storage[J]. Agriculture Biology Chemistry, 1986, 50(3): 665-673.
- [15]Christensen C M. Deterioration of stored grain by fungi [J]. The Botanical Rev, 1957, 23(1): 108-134. ㊟