

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.03.021

晏玲玲, 王乐涯, 欧行畅, 等. 温湿度条件对六堡茶安全贮藏的影响及孢子计数法的应用[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(3): 187-194.

YAN L L, WANG L Y, OU X C, et al. The influence of temperature and humidity on the safe storage of liupao tea and the application of spore counting method[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(3): 187-194.

温湿度条件对六堡茶安全贮藏的影响 及孢子计数法的应用

晏玲玲¹, 王乐涯¹, 欧行畅¹, 李勤^{1,2,3,4}, 刘仲华^{1,2,3,4}, 黄建安^{1,2,3,4}✉

1. 湖南农业大学 茶学教育部重点实验室, 湖南 长沙 410128;
2. 国家植物功能成分利用工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128;
3. 植物功能成分利用省部共建协同创新中心, 湖南 长沙 410128;
4. 农业农村部园艺作物基因资源评价利用重点实验室, 湖南 长沙 410128)

摘要: 研究了温度 35、30、25 °C, 湿度 90%、80%、70%条件下六堡茶含水量变化及霉变情况, 分析了温湿度对六堡茶含水量及霉变情况的影响, 确定了六堡茶易霉变的温湿度条件; 优化了孢子计数法应用于六堡茶的方法参数并评估了其在预测六堡茶霉变程度的可行性。结果表明, 温度低于 25 °C, 湿度低于 70%是六堡茶防止霉变的最优贮藏条件; 孢子数量增长水平与霉变程度具有同步性, 此方法应用于快速评估六堡茶霉变情况是可行的, 且初步确定发生霉变的孢子数临界值为 30.00×10^7 个/g。结果为确定六堡茶的安全贮藏条件提供了依据, 为其霉变程度的快速评估提供了可供参考的新方法。

关键词: 六堡茶; 安全贮藏; 温湿度条件; 孢子计数法

中图分类号: TS201.6 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)03-0187-08

网络首发时间: 2024-05-09 16:34:51

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240509.1501.041>

The Influence of Temperature and Humidity on the Safe Storage of Liupao Tea and the Application of Spore Counting Method

YAN Ling-ling¹, WANG Le-ya¹, OU Xing-chang¹, LI Qin^{1,2,3,4},
LIU Zhong-hua^{1,2,3,4}, HUANG Jian-an^{1,2,3,4}✉

- (1. Key Laboratory of Ministry of Tea Science, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. National Research Center of Engineering and Technology for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha, Hunan 410128, China; 3. Co-Innovation Center of Education Ministry for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha, Hunan 410128, China; 4. Key Laboratory for Evaluation and Utilization of Gene Resources of Horticultural Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China, Changsha, Hunan 410128, China)

收稿日期: 2023-12-04

基金项目: 广西六堡茶“八新双增”关键技术与产业化示范(桂科 AA20302018-15); 国家茶叶产业技术体系(CARS-19)

Supported by: Guangxi Liubao Tea “Eight New and Double Increase” Key Technology Research and Industrialization Demonstration (Guicke No. AA20302018-15); National Tea Industry Technology System (No. CARS-19)

作者简介: 晏玲玲, 女, 1997 年出生, 在读硕士生, 研究方向为茶叶加工与品质化学。E-mail: 2863974502@qq.com

通讯作者: 黄建安, 女, 1964 年出生, 博士, 教授, 研究方向为茶叶加工与品质化学。E-mail: Jian7513@hunau.edu.cn

Abstract: The change of water content, mildew of Liupao tea at 35 °C, 30 °C, 25 °C and humidity of 90%, 80% and 70% were studied. The influence of temperature and humidity on water content and mildew of Liupao tea was analyzed, and the temperature and humidity conditions of Liupao tea were determined. The parameters of spore counting method applied to Liupao tea were optimized and the feasibility of spore counting method in predicting the mildew degree of Liupao tea was evaluated. The results showed that temperature below 25 °C and humidity below 70% were the best storage conditions for Liupao tea to prevent mildew. The increase level of spore number and the degree of mildew were synchronized. This method was feasible for rapid assessment of mildew of Liupao tea, and the critical value of the number of spores with mildew was preliminarily determined to be $30.00 \times 10^7 \cdot \text{g}^{-1}$. The results of this study could provide a theoretical basis for the safe storage conditions of Liupao tea, and a new method for rapid assessment of its mildew degree.

Key words: Liupao tea; safe storage; temperature and humidity conditions; spore counting

六堡茶属黑茶类,原产于广西梧州苍梧县六堡镇,以其高辨识度的槟榔香及“红、浓、陈、醇”四绝区别于其他黑茶,享誉两广、港澳和东南亚各地^[1]。六堡茶加工工艺中存在汽蒸工艺流程^[2],汽蒸工序以高温灭除杂菌,既有效防止杂菌污染又利于后期品质转化的香气纯净^[3]。六堡茶属于后发酵的黑茶,具有“越陈越香”的特点,因此,科学合理的贮藏条件下,贮藏时间越长,六堡茶品质越好^[4];贮藏过程中保障质量是提升品质风味的前提,霉变是影响茶叶贮藏安全的主要因素之一。环境温湿度变化引起微生物大量繁殖是导致霉变的主要原因,探究六堡茶安全贮藏的温湿度条件对保障其质量安全具有重要意义。环境温湿度与贮藏安全的关系在中药、稻谷等储粮中已展开广泛研究。如,中药岗梅贮藏温度低于 26 °C,湿度小于 85%的环境中可以抑制有害微生物生长^[5];粳稻可以在水分 14%条件下安全贮藏^[6]。疏松多孔的结构使茶叶的吸湿能力更强,因此发生霉变的条件与其他粮食材料有差异。张哲的实验表明,在 0.96 的水活度下,两种绿茶试样存放 3~4 d 后发霉^[7]。而茶叶中茶多酚等功能成分对多种致病菌有明显的抑制作用^[8],这使得茶叶与其他储粮相比更不易霉变。影响茶叶霉变的因素复杂^[9],环境温湿度变化是引起霉变的主要原因,而目前还没有六堡茶防霉条件的研究报道。

霉变情况的检测通常使用菌落总数计数法及

霉菌酵母计数法,而菌落总数检测至少要 24 h,时间长,流程繁琐,因此探索一种快速判定霉变情况的方法利于及时对霉变情况做出快速判断和评估。已有研究证明,孢子计数法可快速判断储粮霉变情况^[10],本研究首次将孢子计数法应用于六堡茶,通过检测真菌孢子的数量以评估其霉变程度。

本研究通过模拟不同温度湿度条件下六堡茶贮藏情况,明确安全贮藏的温湿度条件,为消费者提供存放六堡茶的温湿度参考依据;采用孢子计数法评估六堡茶霉变情况,为六堡茶霉变程度的快速评估提供了可供参考的新方法。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

三鹤六堡茶(五级),实验用水为华润怡宝饮料(中国)有限公司瓶装水。

1.2 仪器与设备

铝盒、血球计数板、盖玻片、50 mL 锥形瓶、计时器、300 目滤布、一次性胶头滴管、90 cm 无菌培养皿:兰杰柯科技有限公司;天平:梅特勒-托利多国际有限公司;玻璃干燥器:湖南湘玻玻璃有限公司;恒温恒湿培养箱:宁波东南仪器有限公司;烘箱:天津市泰斯特有限公司;手提式压力蒸汽灭菌器:上海力辰邦西仪器科技有限公司;生物显微镜:天津微仪光学仪器有限公司。

1.3 实验设计

1.3.1 模拟贮藏温湿度条件的设置

根据大多数粮食霉菌的生长温度在 20~40 °C 之间^[10]，以南方梅雨季的平均气温为 25~35 °C、相对湿度为 70%~99% 的特点，选取温度 25、30、35 °C，湿度 70%、80%、90% 作为模拟贮藏的条件，设计正交实验（表 1）。

表 1 正交实验因素水平

Table 1 Orthogonal experimental factor levels

处理编号	贮藏条件
1	35 °C, 90%
2	30 °C, 90%
3	25 °C, 90%
4	35 °C, 80%
5	30 °C, 80%
6	25 °C, 80%
7	35 °C, 70%
8	30 °C, 70%
9	25 °C, 70%

1.3.2 模拟贮藏时间的设置

温湿度高低决定含水量的高低，在相对稳定的温湿度下，茶叶达到水分解吸平衡的时间为 12 d^[7]。温湿度和茶叶基质水分共同作用决定霉菌的生长速率，在适宜条件下，霉菌迅速生长，生长周期约为 3~7 d^[11]。南方梅雨期约为 20~30 d。因此确定 30 d 为模拟贮藏周期。若在某条件下贮藏六堡茶，30 d 内发生霉变，则判断此条件为易霉变条件。

1.3.3 模拟贮藏样品制备方法

称取 10 g 六堡茶茶样盛于无菌培养皿（开盖放置），放置于恒温恒湿箱，分为上、中、下 3 层^[12]。每个样品均作 3 个平行实验，每 3 d 观察一次并拍照记录茶叶表面霉变情况，用生物显微镜观察茶叶表面的霉菌菌丝生长情况。每次从上中下层各取一份茶样，混匀，确保样品的均匀性，再进行含水量和孢子数测定。

1.4 实验方法

1.4.1 含水量检测

采用国标《GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[13]中的直接干燥法，称取 5 g 试样进行测定。

1.4.2 孢子计数法

储粮真菌通过孢子生长繁殖，孢子数量反映了储粮的霉菌生长情况。参照《LS/T 6132—2018 粮油检验储粮真菌的检测 孢子计数法》^[14]，根据茶叶检测实际情况进行条件优化：称样前将样品混合均匀，准确称取 5 g 样品于装有 15 mL 已灭菌纯净水的 50 mL 锥形瓶中，摇床振荡 1 min（振荡频率为 200 r/min）后，用 300 目滤布过滤并收集滤液于空锥形瓶备用。将滤液梯度稀释 3 次，分别得到 10^{-1} 、 10^{-2} 、 10^{-3} 倍稀释的滤液。加样前用纯净水对血球计数板计数室进行镜检，若有污物，需清洗吹干后使用。在计数板的计数室上盖一块盖玻片。用一次性胶头滴管将 10^{-2} 浓度（经过前期方法优化，确定 10^{-2} 浓度的滤液落在计数范围内）的滤液吹打混匀，立即吸取少许，从计数室最外侧沿盖玻片下边缘滴入一小滴，让滤液一次性虹吸充满计数室。点样后静置 30 s 放置于显微镜的载物台上夹稳，先在低倍镜（10X）下找到计数区后，再转换高倍镜（40X）观察并计数。5 个中方格孢子数量大于 10 个时，按下式计算，并在最终结果乘以稀释倍数：

$$X1=(A \times 5 \times 10^4) \times (30/10)=150\ 000A$$

式中：X1=每克六堡茶样品中孢子总数，单位为个每克（个/g）；A=5 个中方格内孢子总数，单位为个。

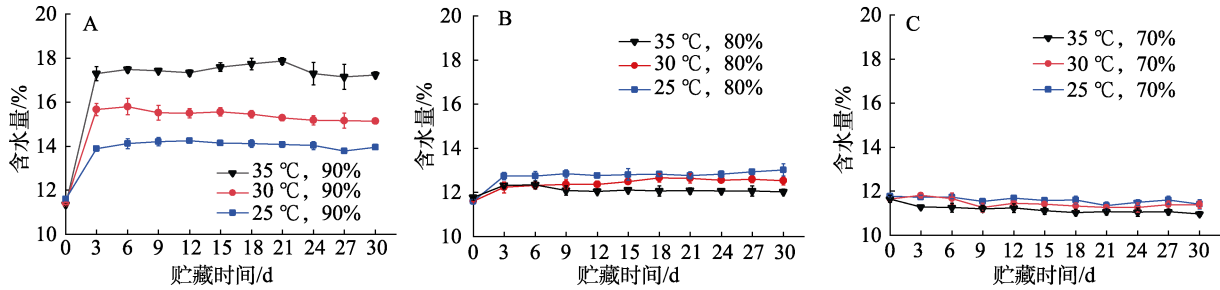
2 结果与分析

2.1 不同模拟贮藏条件下六堡茶含水量变化

通过对不同温湿度条件下模拟贮藏的六堡茶样品进行水分跟踪测定，得到不同模拟贮藏条件下六堡茶含水量变化趋势（图 1）。环境温湿度发生变化后茶叶含水量失去平衡，环境温湿度重新稳定后，含水量也会随贮藏时间的延长趋于平衡，从而达到平衡含水量。达到平衡含水量的时间对于霉变速率有很大影响^[15]。张哲的研究表明，绿茶达到解吸平衡含水量需要 12 d^[7]，而夏世华的研究表明，红茶末茶在相对湿度 80% 的空气中，4 个小时可以吸收 6.3% 的水分。红碎茶含水量 10% 以上时，很快出现霉味^[16]。由此可知，不同茶叶类型及茶叶状态达到水分平衡及吸湿霉变的时间

不同, 本研究结果表明, 不论在何种温湿度下贮藏, 六堡茶含水量均在模拟贮藏后第一次测定时间, 即第 3 天达到平衡, 由此猜测, 六堡茶达到平

衡含水量的时间小于等于 3 天。因此, 下一步可以在已知霉变条件的基础上缩短观察以及检测的时间, 以更精确地把控含水量变化以及霉菌生长动态。



注: A: 相对湿度 90% (温度 35 °C、30 °C、25 °C), B: 相对湿度 80% (温度 35 °C、30 °C、25 °C), C: 相对湿度 70% (温度 35 °C、30 °C、25 °C)。

Note: A: relative humidity 90% (temperature 35 °C, 30 °C, 25 °C), B: relative humidity 80% (temperature 35 °C, 30 °C, 25 °C), C: relative humidity 70% (temperature 35 °C, 30 °C, 25 °C).

图 1 不同贮藏温湿度和贮藏时间下六堡茶含水量变化折线图

Fig.1 Change of moisture content of Liupao tea under different storage temperature and humidity and storage time line chart

空气相对湿度对含水量变化影响较大^[17]。本研究中, 六堡茶初始含水量为 11.54%, 计算原始茶样与模拟贮藏期间 10 次取样所测含水量的标准差, 当其数值大于 0.5 时, 判断为在此条件下贮存样品含水量与原始含水量相比变化量大, 当其数值小于 0.2 时, 判断为变化量小, 结果如表 2 所示。在 90%湿度条件下, 标准差均大于 0.5; 在

较高湿度 (90%) 下贮藏六堡茶, 含水量变化量大, 易破坏茶叶基质稳定状态; 当湿度保持在 70% 时, 在实验的 3 个温度下贮藏, 30 d 内六堡茶含水量变化量小, 基本维持于原始含水量不变, 利于保持茶叶基质稳定性。

2.2 六堡茶安全贮藏的温湿度条件

模拟贮藏过程中, 每 3 d 观察一次样品并用生物显微镜观察样品表面是否有菌丝生长, 若肉眼及显微镜观察均发现有菌丝生长, 则判断样品发生霉变。根据实验结果可知, 六堡茶在模拟贮藏 30 d 内, 在 35 °C 90%、35 °C 80%、30 °C 90% 这 3 个条件下发生不同程度的霉变 (表 3), 因此将此 3 个条件判断为易霉变条件。90% 的高湿条件引起六堡茶含水量大幅度增加, 35 °C 条件下, 第 6 d 便观察到轻微菌丝生长, 此温度下霉变的时间最短且霉变程度最高; 30 °C 条件下, 观察到菌丝生长的时间为第 9 d; 25 °C 条件下, 在贮藏 30 d 内未观察到菌丝生长。由此可知, 高湿条件下, 低温可有效延缓或抑制微生物生长。当湿度为 80% 时, 35 °C 条件下, 第 12 d 观察到菌丝生长, 但霉变程度较低。当湿度为 70% 时, 所设置的 3 个温度条件下均未观察到霉变。从湿度角度结合含水量变化结果分析可知, 当贮藏湿度为 70% 时, 六堡茶含水量保持稳定, 从而保证茶

表 2 不同贮藏条件下六堡茶含水量

Table 2 Moisture content of Liupao tea under different storage conditions

贮藏条件	含水量 (平均值±标准差)
35 °C, 90%	17.43±1.84
30 °C, 90%	15.42±1.22
25 °C, 90%	14.05±0.75
35 °C, 80%	12.11±0.17
30 °C, 80%	12.47±0.29
25 °C, 80%	12.83±0.43
35 °C, 70%	11.13±0.18
30 °C, 70%	11.42±0.18
25 °C, 70%	11.57±0.13

注: 此处平均值为除原始茶样外贮藏过程中 10 次取样所测含水量的平均值; 标准差为原始茶样与 10 次取样所测含水量的标准差。

Note: The average value here is the average water content measured in 10 samples during storage except the original tea sample; The standard deviation is the standard deviation between the original tea sample and the water content measured in 10 samples.

70%湿度条件下, 标准差均小于 0.2, 由此可见,

叶基质状态稳定性, 以抑制微生物繁殖, 从而抑制霉变产生。因此在本研究中, 70%是维持含水量稳定, 抑制六堡茶霉变的安全贮藏湿度。从温度角度分析发现, 25 °C条件下, 所设置的 3 个湿度条件下均未观察到霉变。说明当环境湿度增加

引起含水量增加, 茶叶基质水分满足霉菌生长要求, 但温度未达到霉菌生长需要时, 霉菌也无法生长, 由此可见, 低温是抑制霉菌生长的关键因素^[18], 而在本研究中, 25 °C是有效抑制六堡茶样品霉菌生长的安全贮藏温度。

表 3 不同温湿度下六堡茶霉变情况

Table 3 Mildew condition of Liubao tea under different temperature and humidity

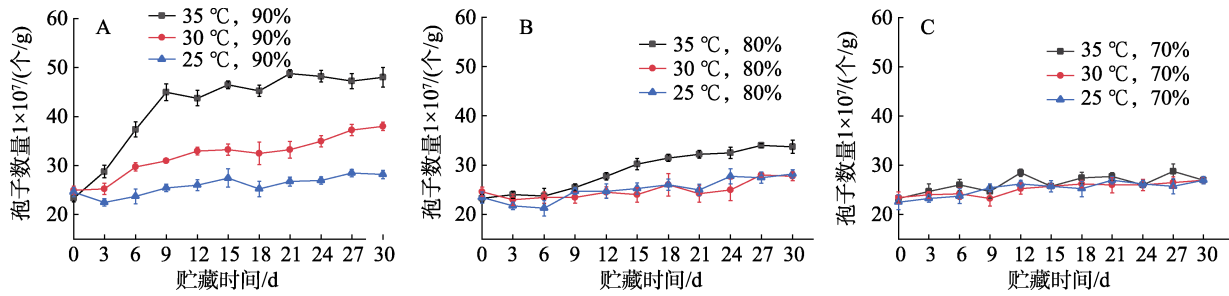
温湿度条件	霉变时间/d	霉变情况	实际观察图	显微观察图 (10x)
原始茶样	—	无霉变		
35 °C, 90%	6	第 30 d 观察到约 25%的茶样表面布满白霉, 显微镜下观察霉变部分, 菌丝茂密。		
30 °C, 90%	9	第 30 d 观察到约 10%的茶样生长白霉, 显微镜下观察霉变部分, 少量菌丝生长。		
35 °C, 80%	12	第 30 d 观察到约 5%的茶样叶缘生长微小菌丝, 显微镜下观察霉变部分, 菌丝稀疏。		

环境温湿度变化引起六堡茶含水量变化, 三者共同作用影响霉变速率。由此可知, 湿度越高, 六堡茶含水量增加幅度越大, 贮藏温度越接近霉菌生长最适条件, 霉变时间越快^[19]。通过实验及分析, 建议六堡茶贮藏条件为: 湿度<70%, 温度<25 °C。

2.3 孢子计数法在六堡茶霉变监测中的应用

霉菌孢子的早期计数是预测霉菌发生期和发生程度的重要依据。本研究对不同温湿度条件下模拟贮藏的六堡茶样品进行孢子数跟踪测定, 以模拟贮藏前六堡茶原始样品 (孢子数为 21.00×10^7) 作为对照, 对比在不同温湿度条件下六堡茶的孢子数随贮藏时间延长的变化趋势 (图 2)。实

验结果表明, 六堡茶表面霉菌菌丝分布密度与真菌孢子检出水平呈正相关, 孢子数量与霉变程度具有同步性。以霉变速率最快的条件 (35 °C, 90%) 为例进行分析: 孢子数在 24.00×10^7 个/g 水平时, 六堡茶表面几乎无法观察到菌丝; 孢子数在 30.00×10^7 个/g 水平时, 样品表面开始观察到菌丝生长, 而在贮藏第 30 d, 孢子数量达到 46.00×10^7 个/g, 肉眼可见白色菌丝大量分布于叶表, 显微镜下观察霉变部分菌丝密集。由于六堡茶的品质变化依赖于微生物作用, 真菌孢子基数比正常储粮高, 因此储粮标准中对霉变孢子数的界定值不适用于六堡茶等后发酵茶。根据实验结果, 可初步确定孢子数 30.00×10^7 个/g 为六堡茶出现霉变的



注: A: 相对湿度 90% (温度 35 °C、30 °C、25 °C); B: 相对湿度 80% (温度 35 °C、30 °C、25 °C); C: 相对湿度 70% (温度 35 °C、30 °C、25 °C)。

Note: A: relative humidity 90% (temperature 35 °C, 30 °C, 25 °C), B: relative humidity 80% (temperature 35 °C, 30 °C, 25 °C), C: relative humidity 70% (temperature 35 °C, 30 °C, 25 °C).

图 2 不同贮藏温湿度和贮藏时间下六堡茶孢子数变化

Fig.2 Line chart of spore number change of tea Liubao under different storage temperature, humidity and storage time

孢子数临界点。即真菌孢子检出水平高于 30.00×10^7 个/g 时, 可初步判定六堡茶已开始发生霉变。

本研究首次将孢子计数法应用于六堡茶霉变情况检测评估, 结果表明真菌孢子检出水平与霉变程度呈正相关, 证明孢子计数法用于六堡茶带菌量预测是可行的。程树峰将孢子计数法与平板菌落计数法进行了比较并对实验结果进行回归和相关分析, 显示出两种方法的误差基本上在同一水平且具有良好的相关性^[10]。采用平板菌落计数法检测样品带菌量至少需要 24 h, 而孢子计数法只需 2 h 即可完成检测, 节约检测时间。孢子计数法检测快速但准确度不高, 现有的荧光定量 PCR 等分子方法对样品菌量进行定量, 准确度更高^[20], 但相比于分子方法, 孢子计数法对实验仪器及操作人员专业度要求较低。3 种方法各有优缺点, 孢子计数法适用于对霉变情况进行初步评估, 在实际应用需要结合多种方法对样品霉变程度做出准确全面的判断。

3 讨论与结论

本研究基于不同温度湿度条件设置正交实验对六堡茶进行模拟贮藏, 并测定贮藏过程中含水量变化。发现无论在何种温湿条件下贮藏, 六堡茶含水量均在模拟贮藏后的第一次测定时间, 即第 3 天达到平衡, 由此猜测, 六堡茶达到平衡含水量的时间小于等于 3 天。根据 GB/T 30375—2013《茶叶贮存》可知, 黑茶的贮存温湿度规定为温度低于 25 °C, 相对湿度低于 70%, 本研究结果


与其相符。田海娟等的实验表明, 稻谷在 30 °C、相对湿度 70%~80% 条件下贮藏 42 d, 微生物活动的水平相对较低, 当贮藏环境相对湿度超过 80% 后, 稻谷中的微生物活动明显增加^[21]; 周建新认为湿度 < 70%、温度 < 20 °C 可以控制小麦贮藏中的细菌数量, 是小麦的安全贮藏条件^[22]。本研究结果表明, 70% 的湿度条件可以使六堡茶原始含水量保持稳定不增加也不减少, 且在此湿度条件下实验的温度范围内六堡茶含水量变化波动都较小, 可以保持茶叶状态相对稳定; 而 25 °C 的温度条件下, 即使 90% 的高湿条件也未观察到菌丝生长, 说明此温度条件可有效延缓或抑制微生物活动。由此可知, 六堡茶在湿度 < 70%、温度 < 25 °C 条件下可安全贮藏, 与其他储粮的实验结果较一致。充足的水分是微生物生长的必须条件。李慧实验结果表明, 含水量为 14% 的玉米贮藏至第 60 d 时品质仍然很好, 而含水量达到 17% 时易发生霉变^[23]。蒋玉兰的实验证明, 红碎茶平衡吸湿增重与细度存在显著负相关性, 绿碎茶的平衡吸湿增重与细度、自由流动堆积密度、紧密堆积密度间均呈正相关性^[24]。因此, 微生物的生长繁殖不仅取决于水分含量、湿度和温度的分别作用, 也取决于它们的协同作用。当其中的一个条件满足时, 微生物对其他条件的要求范围就会变宽。当其中一个条件在不适宜的范围内时, 微生物对其他条件的要求范围就会变窄。所以在控制霉菌的生长繁殖时, 要综合考虑各个因素的影响。

本研究将孢子计数法应用于六堡茶贮藏霉变

情况检测, 结果表明真菌孢子检出水平与霉变程度呈正相关, 证明孢子计数法用于六堡茶带菌量预测是可行的。由六堡茶是微生物作用的后发酵茶, 与一般储粮性质不同, 带菌量有很大差异, 储粮对于危害等级的划分标准不一定适用于黑茶。因此, 若将孢子计数法应用于黑茶霉变情况检测还需进一步进行实验确定孢子数对应霉变程度的划分标准, 本研究初步确定孢子数 30.00×10^7 个/g 为六堡茶出现霉变的孢子数临界点。研究结果为六堡茶的安全贮藏条件提供了理论依据, 并且为其霉变程度的快速评估提供了可供参考的新方法。

参考文献:

- [1] 吴平. 微生物种群在形成“六堡茶”品质中的作用研究兼论离开梧州生产不出纯正的“六堡茶”(一)[J]. 广东茶业, 2007, (2): 12-14.
WU P. Study on the role of microbial population in forming the quality of “Liubao Tea” and a discussion on the production of pure “Liubao tea” without Wuzhou[J]. Guangdong Tea Industry, 2007, (2): 12-14.
- [2] 廖庆梅. 谈谈六堡茶的加工技术及工艺[J]. 茶业通报, 2000, (3): 30-32.
LIAO Q M. About the processing technology and technology of Liupao tea[J]. Tea Industry Bulletin, 2000, (3): 30-32.
- [3] 农艳芳, 韦全辉, 何志强, 等. 影响六堡茶金花形成的因子[J]. 中国茶叶加工, 2011, (3): 31-33.
NONG Y F, WEI Q H, HE Z Q, et al. Factors influencing the formation of *Campanularia liupao*[J]. Chinese Tea Processing, 2011, (3): 31-33.
- [4] 毛彦, 黄丽, 韦保耀, 等. 广西六堡茶“金花”菌的分离与分子鉴定[J]. 茶叶科学, 2013, 33(6): 556-561.
MAO Y, HUANG L, WEI B Y, et al. Isolation and molecular identification of “Golden flower” bacteria from Liubao tea in Guangxi[J]. Tea Science, 2013, 33(6): 556-561.
- [5] 鲁晓芳. 中药饮片表面污染四类产毒真菌的多重 PCR 鉴定及储藏条件优化[D]. 广州中医药大学, 2019.
LU X F. Multiplex PCR identification and storage optimization of four types of toxigenic fungi contaminated by Chinese herbal slices[D]. Guangzhou University of Chinese Medicine, 2019.
- [6] 张航. 温度对储粮安全水分及微生物活动速率的影响[D]. 河南工业大学, 2011.
ZHANG H. Effects of temperature on safe water content and microbial activity rate of grain storage[D]. Henan University of Technology, 2011.
- [7] 张哲. 茶叶物理特性及吸湿解吸平衡规律研究[D]. 华中农业大学, 2012.
ZHANG Z. Study on physical properties of tea and the law of hygroscopicity and desorption balance[D]. Huazhong Agricultural University, 2012.
- [8] 董金甫, 李瑶卿, 洪绍梅. 茶多酚(TPP)对 8 种致病菌最低抑制浓度的研究[J]. 食品科学, 1995, (1): 6-12.
DONG J F, LI Y Q, HONG S M. Study on the minimum inhibitory concentration of tea polyphenols (TPP) against 8 pathogenic bacteria[J]. Food Science, 1995, (1): 6-12.
- [9] ZHANG X, ZHANG L, ZHOU T, et al. Fungal flora and mycotoxin contamination in tea: Current status, detection methods and dietary risk assessment-A comprehensive review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 127: 207-20.
- [10] 程树峰, 唐芳, 伍松陵. 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.
CHENG S F, TANG F, WU S L. Study on early detection method of fungus damage in stored grain[J]. Journal of Cereals and Oils, 2011, 26(4): 85-88.
- [11] 蔡静平. 粮油食品微生物学[M]. 粮油食品微生物学, 2002.
CAI J P. Microbiology of grain, oil and food[M]. Grain, Oil and food Microbiology, 2002.
- [12] 胥伟, 赵仁亮, 姜依何, 等. 湖南黑毛茶等温吸湿模型建立及霉变安全性研究[J]. 食品科学, 2018, 39(7): 27-32.
XU W, ZHAO R L, JIANG Y H et al. Study on isothermal hygroscopic model and mildew safety of Hunan black wool tea[J]. Food Science, 2018, 39(7): 27-32.
- [13] 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 2016: 12.
National Standard for Food safety-Determination of water content in food: GB 5009.3—2016[S]. National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. 2016: 12.
- [14] 国家粮食局科学研究院, 国家粮食局标准质量中心, 湖北省粮油食品质量监测站, 等. 粮油检验 储粮真菌的检测 孢子计数法: LS/T 6132—2018[S]. 国家粮食局. 2018: 1-12
Hubei Grain, Oil and Food Quality Monitoring Station, National Academy of Science, National Grain Administration Standard Quality Center, et al. Grain and Oil Inspection Storage grain fungi detection spore counting method: LS/T 6132—2018[S]. State Grain Administration. 2018: 1-12
- [15] 丁晓芳. 贮存过程中温度、含水量对茶叶品质的影响[J]. 茶业通报, 1992, (1): 26-30.
DING X F. Effects of temperature and water content on tea quality during storage[J]. Tea Industry Bulletin, 1992, (1): 26-30.
- [16] 夏世华. 红碎茶含水量与品质的关系[J]. 中国茶叶, 1980, (2): 5-7.

- XIA S H. Relationship between water content and quality of crushed red tea[J]. *China Tea*, 1980, (2): 5-7.
- [17] 陈梓豪. 稻谷储藏品质变化规律及预测模型的研究[D]. 中南林业科技大学, 2022.
- CHEN Z H. Study on storage quality change and prediction model of rice[D]. *Central South University of Forestry and Technology*, 2022.
- [18] RANJIBARAN M, CARCIOFI B A M, DATTA A K. Engineering modeling frameworks for microbial food safety at various scales[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021.
- [19] ATUNGULU G G, THOTE S, WILSON S. Storage of hybrid rough rice-Consideration of microbial growth kinetics and prediction models[J]. *Journal of Stored Products Research*, 2016.
- [20] 郭丽丽. 陇南小麦条锈菌夏孢子数量动态变化规律研究[D]. 西北农林科技大学, 2019.
- GUO L L. Study on dynamic change of summer spore number of Wheat stripe rust in Longnan[D]. *Northwest A & F University*, 2019.
- [21] 田海娟, 蔡静平, 黄淑霞, 等. 稻谷储藏中温湿度变化与微生物活动相关性的研究[J]. *粮食储藏*, 2006, (4): 40-42.
- TIAN H J, CAI J P, HUANG S X, et al. Study on correlation between temperature and humidity changes and microbial activity in rice storage[J]. *Grain Storage*, 2006, (4): 40-42.
- [22] 周建新, 王璐, 彭雪霁, 等. 温湿度对小麦粉储藏过程中细菌量的影响研究[J]. *粮食储藏*, 2010, 39(1): 42-44+56.
- ZHOU J X, WANG L, PENG X J, et al. Effect of temperature and humidity on bacterial content during wheat flour storage[J]. *Grain Storage*, 2010, 39(1): 42-44+56.
- [23] 李慧, 王若兰, 渠琛玲, 等. 玉米储藏霉变条件及其品质研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2018, 39(4): 33-37.
- LI H, WANG R L, QU C L, et al. Study on storage mildew conditions and quality of maize[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2018, 39(4): 33-37.
- [24] 蒋玉兰, 吕杨俊, 林剑峰, 等. 碎茶吸湿特性研究[J]. *农产品加工*, 2021, (9): 13-17.
- JIANG Y L, LV Y J, LIN J F, et al. Study on hygroscopic properties of crushed tea[J]. *Agricultural products Processing*, 2021, (9): 13-17. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取