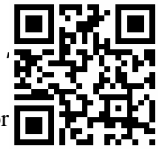


引用格式:

谈峰,何春雷,胥伟,高兆兴,唐瑛蔓.藏茶卧式发酵机的设计和试验[J].湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(1): 89-95.

TAN F, HE C L, XU W, GAO Z X, TANG Y M. Design and experiment of horizontal fermentation machine for Tibetan tea[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(1): 89-95.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 藏茶卧式发酵机的设计和试验

谈峰<sup>1,2</sup>, 何春雷<sup>1,2,3\*</sup>, 胥伟<sup>1,2</sup>, 高兆兴<sup>1,2</sup>, 唐瑛蔓<sup>1,2</sup>

(1.四川农业大学园艺学院, 四川 成都 611130; 2.精制川茶四川省重点实验室, 四川 成都 611130; 3.四川省藏茶产业工程技术研究中心, 四川 雅安 625014)

**摘要:**为解决藏茶渥堆过程中发酵不均匀、渥堆时间长等问题,设计了一种藏茶卧式发酵机。该设备由罐体、搅拌装置、输送装置、温湿度控制系统等组成。发酵机控温保湿,集输送、发水、渥堆、翻堆于一体,电机带动搅拌轴转动罐内茶堆,由搅拌叶片实现翻堆。对罐体、输料装置、控制系统进行了设计,并确定罐体尺寸(4240 mm×2300 mm×3170 mm)、发酵罐尺寸(内径×长)1900 mm×3900 mm,总容积11 m<sup>3</sup>、罐体转速15 r/min,工作温度20~100 ℃,最大容量1000 kg。筛选了机械渥堆前的渥堆温度、渥堆时间和茶坯含水量,进行渥堆试验,最佳工艺参数为渥堆温度70 ℃、渥堆110 h、茶坯含水量为30%。发酵机制成的藏茶成茶汤色橙红明亮,滋味醇和回甘,感官审评得分高于传统渥堆1.2分,渥堆周期缩短了24 d。

**关键词:**藏茶;渥堆;发酵机;感官品质

中图分类号: S226.9

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2021)01-0089-07

## Design and experiment of horizontal fermentation machine for Tibetan tea

TAN Feng<sup>1,2</sup>, HE Chunlei<sup>1,2,3\*</sup>, XU Wei<sup>1,2</sup>, GAO Zhaoxing<sup>1,2</sup>, TANG Yingman<sup>1,2</sup>

(1.College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China; 2.Tea Refining and Innovation of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 611130, China; 3.Engineering Technology Research Center of Tibetan Tea Industry, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** In order to realize the clean production of Tibetan tea, a horizontal tea fermentation machine was designed to solve the problems of labor intensity, poor sanitary conditions, uneven fermentation and difficult food hygiene during the process of Tibetan tea piles. The equipment consists of a tank body, a stirring device, a mechanical transmission mechanism, a bracket and a temperature and humidity control system. This fermentation machine controls the temperature and the moisture of the Tibetan tea, which has the function of transporting, watering, piling, and heaping. The motor drives the stirring shaft to rotate pot tea pile, to realize heaping by stirring blades. The tank body, the conveying device and the control system are designed to determine the size of the tank (4240 mm×2300 mm×3170 mm), the size of the fermenter of 1900 mm×3900 mm, the total volume of 11 m<sup>3</sup>, the speed of the tank 15 r/min, the working temperature 20~100 ℃, and the maximum capacity of 1000 kg. The main factor affecting the Tibetan tea pile is the temperature, the stacking time and the water content of the tea slab. By optimization, the optimum process parameters are the reactor temperature of 70 ℃, the stacking time of 110 h, and the water content of the tea billet of 30%. The Tibetan tea soup made by fermentation machine is orange red and bright in color, and mellow in taste and sweet in taste. The score of sensory evaluation is 1.2 points higher than that of traditional pile, and the pile period is shortened 24 days.

收稿日期: 2020-02-29

修回日期: 2020-12-04

基金项目: 科技部国家重点研发计划项目(2019YFC0840503); 四川省科学技术厅重点研发项目(2019YF0178)

作者简介: 谈峰(1994—), 男, 甘肃陇南人, 硕士研究生, 主要从事茶叶加工理论与技术研究, 1215919093@qq.com; \*通信作者, 何春雷, 教授, 主要从事茶叶精深加工研究, 502927016@qq.com

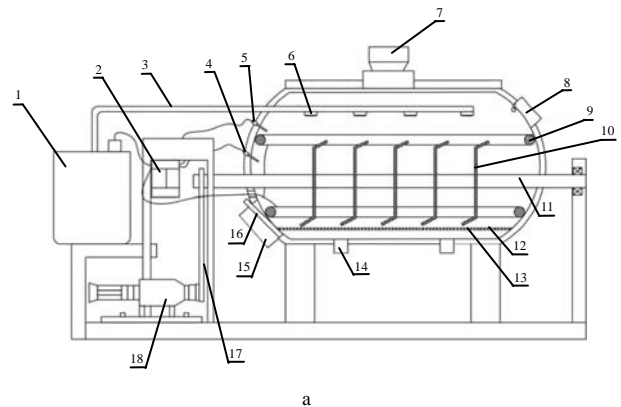
**Keywords:** Tibetan tea; pile fermentation; fermenter design; sensory quality

雅安藏茶是四川边茶中的名优黑茶,因销于藏区而得名<sup>[1-2]</sup>。据中国茶叶流通协会统计,2018年,全国黑茶产量达31.89万t,成为仅次于绿茶的第二大茶类。雅安藏茶是四川黑茶的杰出代表,占四川黑茶产量的80%以上<sup>[3]</sup>,2016年其品牌价值排名全国黑茶类第5名,在四川黑茶产业的地位举足轻重。现下藏茶加工大多沿用传统渥堆工艺,即自然渥堆和加温保湿渥堆<sup>[4]</sup>,茶坯的水分、温度和相对湿度、微生物等较难控制,以致产品品质波动较大;因此,采用设备渥堆以保证藏茶的品质至关重要。吴绍帅等<sup>[5]</sup>研发了有自动潮水、保温保湿发酵、翻堆功能的双层保湿转动式普洱茶发酵罐,按30%的潮水比例发酵20d即可出罐,且品质在一定程度上优于传统发酵,减少了制茶损耗,降低了生产成本,提高了普洱茶生产效率和效益,但罐内茶叶的温度和水分含量无法得到精准控制。黄云战等<sup>[6]</sup>对普洱茶发酵罐的潮水量、菌种、翻转周期进行了试验,得到最优组合为潮水量27%、菌种100mL、翻转周期2d,用发酵罐发酵普洱茶25d左右即可出堆,发酵过程中茶堆最高温度未超过60℃,为微生物繁殖提供了理想温度,随着菌种的增加和潮水量的增多,发酵时间会更短,不能少于22d,但该设备影响正常翻堆,不能实现解决。孙杨锋等<sup>[7]</sup>改进了滚筒式普洱茶潮水机械,确定了滚筒长度和直径分别为1.5m和1m,转速28r/min,结合单片机自动控制系统实现了茶叶潮水的连续化和自动化,但该设备体积偏大、灵活性欠佳。马振纲等<sup>[8]</sup>构建了普洱茶发酵清洁化车间,当相对湿度在100%时开启风机只需要25s就可以使相对湿度降到85%,使发酵环境稳定。罗新文等<sup>[9]</sup>将普洱茶发酵罐的主轴管直径加大到75mm,解决叉杆直径增大到35mm,结果表明,相对湿度稳定在72%左右,温度维持在50℃,比较适合普洱茶的发酵要求,普洱茶品质稳定。

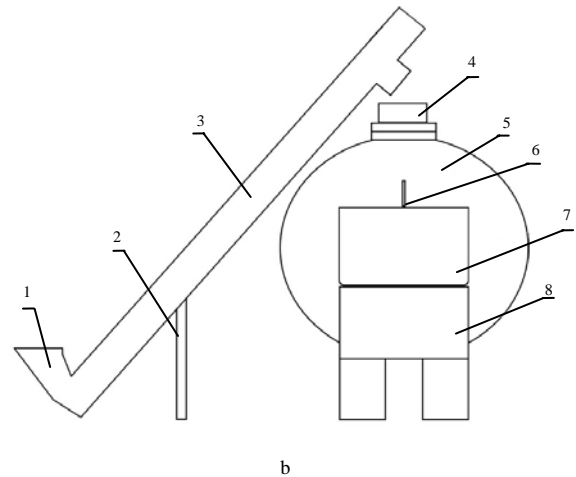
笔者吸收借鉴普洱茶发酵设备优点,设计了一种藏茶卧式发酵机。集送料、发水、渥堆、自动翻堆、温湿度智能调控等功能于一身,可完成输送、汽蒸、发水、渥堆、翻堆。从输料到出堆整个过程都由专业设备作业,获得了藏茶卧式发酵机的最佳工艺参数,以期藏茶清洁化生产提供技术参考。

## 1 藏茶卧式发酵机的结构和工作原理

藏茶卧式发酵机由罐体、搅拌装置、输送装置和控制系统等4部分组成,如图1所示。罐体包括进茶口、罐身、封头、观察口等;搅拌装置包括搅拌轴、搅拌叶片、电机等;输送装置包括电机、匀叶器、壳体、螺旋叶片、螺旋轴等;控制系统包括触摸屏、加热模块、控湿模块、通风模块等。



1 蒸汽发生器;2 控制系统;3 蒸汽管道;4 湿度采集装置;5 温度采集装置;6 蒸汽喷头;7 进茶口;8 观察口;9 加热器;10 搅拌叶片;11 搅拌轴;12 透气孔;13 输送带;14 进风口;15 出茶口;16 挡板;17 传动带;18 电机。



1 输茶斗;2 支架;3 输送装置;4 进茶口;5 发酵机罐体;6 输水管;7 水箱;8 支架。

图1 藏茶卧式发酵机的结构

Fig.1 The structure of horizontal fermentation machine for Tibetan tea

工作时,绿毛茶由输送装置从进茶口送入罐体内,搅拌轴旋转,打散绿毛茶;温湿度控制系统启动,蒸汽发生器向罐体内喷洒蒸汽以提高茶堆的温度和相对湿度,当温度和相对湿度达到预设值时,

控制蒸汽发生器会停止喷洒蒸汽,由温度采集装置及时显示;若低于设定值,会进行升温提示;若高于设定值,会反馈至控制系统,通过喷头喷水或开启送风口和封头为罐内降温、排湿。进风口装有调节器,可调节进风速度和供氧,保证渥堆发酵所需的温度和相对湿度。罐内茶坯含水量采用水分快速测定仪检测。罐内密闭性较好,渥堆只需人工辅助观察渥堆叶状况即可。搅拌叶片连续带动茶堆翻转,渥堆适宜后,人工辅助打开出茶口,搅拌叶片打散和匀推茶堆,罐体底部的输送带匀速完成出堆,完成渥堆发酵。

## 2 主要部件的设计

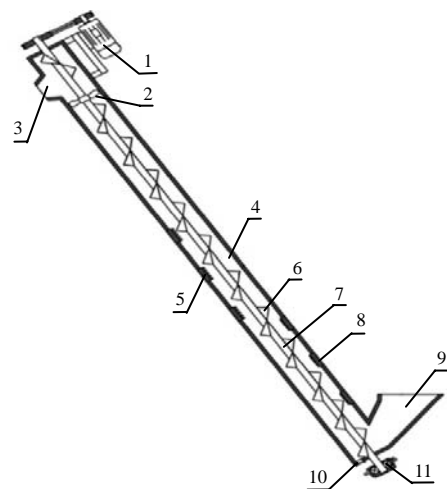
### 2.1 罐体和搅拌装置

依据《机械设计手册》<sup>[10]</sup>和《茶叶加工工程》<sup>[11]</sup>,参考普洱茶发酵罐<sup>[5-6]</sup>和红茶发酵装置<sup>[12]</sup>设计理念,结合藏茶渥堆工艺要求,设计罐体和搅拌装置。罐体采用符合食品安全规定的不锈钢材质,耐用轻便无污染。罐体设有观察口,用于观察茶堆渥堆状态,进茶口和出茶口分别位于罐体正上方和左下侧。发酵机罐体为圆筒状,内外罐体间设有夹层,可控温、保湿。罐体内径1900 mm、长3900 mm,其容积的1/2(5.5 m<sup>3</sup>)为工作容积,以满足渥堆时80~100 cm的茶堆高度,装罐容量300~600 kg。参照黄云战等<sup>[6]</sup>对普洱茶的研究成果,结合藏茶渥堆实践,将罐体转速设定为15 r/min。因四川黑茶渥堆过程中茶堆温度应维持在45~71 ℃<sup>[13]</sup>,故设定工作温度为20~100 ℃。发酵机整体尺寸(长×宽×高)4240 mm×2300 mm×3170 mm。

搅拌装置横向设置于罐体内,包括搅拌轴和套装在搅拌轴外表面且沿其轴向间隔设置的搅拌叶片,搅拌轴穿过罐体侧壁,其一端穿过安装在支架上的轴承,另一端与机械传动机构连接。搅拌叶片的截面形状为开放式的三折线,三折线的中间线段垂直于搅拌轴的轴线,三折线两端的线段分别向相反的方向折叠且平行。旋转的搅拌叶片可以在茶堆发酵时用于翻堆,在出料时匀推和打散茶堆,使渥堆叶充分与气流接触,保证渥堆叶含水量和通氧量均匀分布。

### 2.2 输送装置

输送装置长4800 mm,壳体直径600 mm,搅拌轴直径75 mm,搅拌轴和搅拌叶片内部均为空心结构且互相连通。壳体内侧焊接间距相等、方向不同的直径为4~6 mm的喷头,使高温蒸汽、水分能喷洒到绿毛茶中,提高其温度和相对湿度。输送装置主要由转轴、壳体、螺旋叶片、雾化喷头、蒸汽喷头、集发水、汽蒸、输送于一体,为绿毛茶渥堆提供适宜且均匀的渥堆温湿度。输送装置启动后,蒸汽发生器开始预热,打开蒸汽阀门,通过安全阀和压力表确定蒸汽压力。水箱中装入食用水,打开控水阀门,通过流量计测量和水泵的调节控制流速和发水量。绿毛茶从进茶口加入,跟随螺旋叶片移动,先经过蒸汽喷头所在区域,进入输送机内腔中的高温蒸汽(130~150 ℃)对绿毛茶进行汽蒸,提升绿毛茶温度和相对湿度并软化条索,此时绿毛茶含水量达20%左右。绿毛茶经过雾化喷头所在区域,进行轻度的发水,而后绿毛茶被输送至出茶口,以重力方式进入罐内进行渥堆发酵,如图2所示。



1 电机;2 匀叶器;3 出茶口;4 壳体;5 雾化喷头;6 螺旋叶片;7 螺旋轴;8 蒸汽喷头;9 进茶斗;10 排水孔;11 轴承。

图 2 输送装置

Fig.2 Feeding device

### 2.3 控制系统

藏茶渥堆对环境的要求较严格<sup>[4,13-14]</sup>,可通过控制温度、时间、茶坯含水量等3个可控因素,来确保渥堆的正常进行和渥堆质量。采用PLC控制作为主控,翻堆装置、加热模块、控湿模块及通风模块等构成控制系统,同时实现藏茶在渥堆过程中的

定期翻堆、控温、控湿、通风、数据采集和存储。通过观察窗口对渥堆状态进行实时监控,并由PLC触摸屏对渥堆参数进行调节。其中,温湿度控制系统可完成罐体内温湿度信息的收集、显示及调控,温度的分辨率为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度分辨率为3%。控制器可实现手动控制和自动控制。

### 3 发酵机渥堆试验

渥堆试验于2018年5月至7月在四川农业大学进行。三级绿毛茶由四川雅安西康藏茶集团提供。根据刘婷婷等<sup>[13]</sup>、熊元元<sup>[14]</sup>、胥伟<sup>[15]</sup>和夏涛等<sup>[4]</sup>的研究成果和前期预试验,选取渥堆温度(A)、渥堆时间(B)和茶坯含水量(C)为影响因素,以渥堆温度50、60、70 $^{\circ}\text{C}$ ,渥堆时间70、90、110 h,茶坯含水量25%、30%、35%进行三因素三水平正交试验。每次渥堆绿毛茶用量100 kg。获取设备渥堆的最优参数组合。

使用500 kg绿毛茶,按优化后的最佳工艺参数进行发酵机渥堆。

使用5000 kg绿毛茶,渥堆叶含水量30%~35%,扎堆后渥堆,适时翻堆,每次翻堆后及时补水,进行传统方法渥堆。

采用国标方法<sup>[16-19]</sup>测定藏茶的水浸出物、茶多酚、儿茶素总量、氨基酸、咖啡碱含量;采用蒽酮比色法<sup>[20]</sup>测定可溶性糖含量;采用系统分析法<sup>[21]</sup>测定茶色素含量;采用丙酮-乙醇混合液比色法<sup>[22]</sup>测定叶绿素总量。

参照GB/T 23776—2018对藏茶进行感官审评。

试验数据采用Excel软件和SPSS 22.0软件进行统计和分析。

## 4 结果与分析

### 4.1 卧式发酵机渥堆工艺优化结果

结合前期预试验,采用正交设计优化渥堆温度、渥堆时间、茶坯含水量3个参数。发酵机渥堆藏茶品质成分含量和感官审评结果列于表1。

表1 卧式发酵机渥堆藏茶品质成分含量和感官评分

序号	水浸出物/%	茶多酚/%	氨基酸/%	咖啡碱/%	可溶性糖/%	儿茶素/(mg·g <sup>-1</sup> )	茶褐素/%	叶绿素/%	感官评分
1	35.61±0.99	11.56±0.28	2.37±0.01	3.17±0.06	4.10±0.02	54.45±0.20	1.900±0.013	0.269±0.003	80.80±0.40
2	34.69±0.42	12.33±0.28	2.30±0.11	2.89±0.01	3.90±0.02	55.75±0.53	2.170±0.071	0.276±0.004	82.84±0.19
3	34.75±0.02	11.74±0.39	2.27±0.10	2.91±0.10	3.93±0.14	50.81±0.25	2.075±0.161	0.267±0.001	84.65±0.15
4	35.51±0.02	11.24±0.48	2.86±0.06	2.86±0.03	3.85±0.08	45.03±0.16	2.393±0.018	0.256±0.002	86.85±0.55
5	35.07±0.73	10.19±0.06	2.02±0.12	3.03±0.06	4.10±0.08	39.66±0.04	2.416±0.098	0.236±0.004	88.20±0.25
6	36.85±0.68	10.35±0.55	1.71±0.02	2.86±0.03	3.86±0.04	36.92±0.12	2.671±0.112	0.248±0.005	90.12±0.54
7	37.71±0.56	7.84±0.23	1.44±0.02	2.96±0.07	3.90±0.04	27.77±0.09	3.369±0.088	0.229±0.031	94.34±0.44
8	38.56±0.06	8.49±0.18	1.41±0.02	2.85±0.04	3.85±0.05	25.39±0.36	3.197±0.156	0.215±0.004	96.22±0.25
9	38.43±0.50	6.18±0.35	1.02±0.46	2.76±0.04	3.84±0.07	27.48±0.14	4.088±0.159	0.195±0.004	94.94±0.54

极差分析结果(表2)表明,影响水浸出物、茶多酚、氨基酸、叶绿素、茶褐素含量的因素大小依次为渥堆温度、渥堆时间、茶坯含水量,即渥堆温度对藏茶水浸出物、茶多酚、氨基酸、叶绿素、茶褐素含量的影响最大,渥堆温度对于上述藏茶成分的影响更显著,最佳参数分别为 $A_3B_3C_1$ 、 $A_1B_2C_1$ 、 $A_1B_1C_2$ 、 $A_1B_1C_3$ 、 $A_3B_3C_2$ 。影响儿茶素、可溶性糖含量的因素大小依次为渥堆温度、茶坯含水量、渥堆时间,即渥堆温度对儿茶素、可溶性糖含量的影响最大,最佳参数分别为 $A_1B_1C_2$ 、 $A_1B_1C_3$ 。影响咖啡碱含量的因素大小依次为渥堆时间、茶坯含水量、渥堆温度,即渥堆时间对藏茶咖啡碱含量的影

响最大,最佳参数为 $A_1B_1C_3$ 。不同品质成分相关的参数组合略有不同,而且就某个单一的成分含量的优化条件也无法确定最佳工艺组合,所以同时对不同渥堆处理得到的成品茶感官审评进行综合筛选,确定卧式发酵机的最佳渥堆工艺参数,结果影响感官审评得分的因素大小依次为渥堆温度、渥堆时间、茶坯含水量,与茶多酚、氨基酸、茶褐素等主要滋味物质影响因素的顺序一致,说明渥堆温度对成品藏茶感官评分的影响最大,渥堆时间次之,茶坯含水量的影响最小。综上,最佳工艺参数为 $A_3B_3C_2$ ,即渥堆温度70 $^{\circ}\text{C}$ ,渥堆时间110 h,茶坯含水量30%。

表 2 卧式发酵机渥堆藏茶品质成分和感官评分的极差分析

Table 2 Range analysis of quality components and sensory evaluation of Tibetan tea produced by horizontal fermentation machine

品质成分	项目	A	B	C	品质成分	项目	A	B	C
水浸出物	$K_1$	35.02	36.28	37.01	茶多酚	$K_1$	11.88	10.21	10.13
	$K_2$	35.81	36.11	36.21		$K_2$	10.59	10.34	9.92
	$K_3$	38.23	36.68	35.84		$K_3$	7.50	9.42	9.92
	$R_j$	3.21	0.57	1.17		$R_j$	4.38	0.92	0.21
	优化水平	$A_3$	$B_3$	$C_1$		优化水平	$A_1$	$B_2$	$C_1$
氨基酸	$K_1$	2.31	2.22	1.83	咖啡碱	$K_1$	2.99	3.00	2.96
	$K_2$	2.20	1.82	2.06		$K_2$	2.92	2.92	2.84
	$K_3$	1.29	1.67	1.91		$K_3$	2.86	2.84	2.97
	$R_j$	1.02	0.55	0.23		$R_j$	0.13	0.16	0.13
	优化水平	$A_1$	$B_1$	$C_2$		优化水平	$A_1$	$B_1$	$C_3$
可溶性糖	$K_1$	3.98	3.95	3.94	儿茶素	$K_1$	53.67	42.42	38.92
	$K_2$	3.94	3.95	3.86		$K_2$	40.54	40.27	42.75
	$K_3$	3.86	3.88	3.98		$K_3$	26.88	38.40	39.41
	$R_j$	0.12	0.07	0.12		$R_j$	26.79	4.02	3.83
	优化水平	$A_1$	$B_1$	$C_3$		优化水平	$A_1$	$B_1$	$C_2$
茶褐素	$K_1$	2.048	2.554	2.589	叶绿素	$K_1$	0.271	0.251	0.244
	$K_2$	2.493	2.594	2.884		$K_2$	0.247	0.242	0.242
	$K_3$	3.551	2.945	2.620		$K_3$	0.213	0.237	0.244
	$R_j$	1.503	0.391	0.295		$R_j$	0.058	0.014	0.002
	优化水平	$A_3$	$B_3$	$C_2$		优化水平	$A_2$	$B_1$	$C_3$
感官评分	$K_1$	82.76	87.33	89.05					
	$K_2$	88.39	89.09	88.21					
	$K_3$	95.17	89.90	89.06					
	$R_j$	12.41	2.57	0.85					
	优化水平	$A_3$	$B_3$	$C_3$					

由极差分析和方差分析(表3)可知,渥堆温度对藏茶品质的影响最大,渥堆时间次之,而茶坯含水量影响最小。

表 3 卧式发酵机渥堆因素与藏茶品质方差分析

Table 3 Analysis of variance between piling factors of horizontal fermentation machine and quality of Tibetan tea

方差来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
渥堆温度	231.425	2	115.713	80.873	0.012
渥堆时间	10.375	2	5.187	3.626	0.216
茶坯含水量	1.428	2	0.714	0.499	0.667
误差	2.862	2	1.431		

#### 4.2 发酵机渥堆与传统渥堆藏茶品质的比较

以获得的最佳工艺参数进行发酵机渥堆,以传统渥堆为对照,比较2种渥堆方式的藏茶的品质差

异。发酵机渥堆过程中,罐内茶堆温度和相对湿度上升较快,且处于动态慢速发酵状态,故不需翻堆。传统渥堆翻堆间隔为6 d,翻堆4次,30 d出堆。

渥堆结束后,茶样的化学成分测定结果列于表 4。

表4 发酵机渥堆藏茶的化学成分

Table 4 The chemical composition of Tibetan tea by fermentation machine

渥堆方式	水浸出物/%	茶多酚/%	氨基酸/%	咖啡碱/%	可溶性糖/%	儿茶素(mg·g <sup>-1</sup> )	茶褐素/%	叶绿素/%
发酵机渥堆	38.14±0.47	8.06±0.18	1.61±0.00	2.34±0.06	3.90±0.03	25.61±0.380	2.32±0.07	0.18±0.014
传统渥堆	37.73±0.48	5.47±0.15	1.35±0.02	2.53±0.06	3.85±0.13	18.56±0.004	3.52±0.13	0.20±0.008

结果表明,发酵机渥堆与传统渥堆对比,藏茶咖啡碱、茶褐素、叶绿素含量减少,可溶性糖、水浸出物、茶多酚、氨基酸、儿茶素含量升高。2种渥堆方法的藏茶品质相近,但利用发酵机进行渥堆,渥堆时间大大缩短。

从审评结果(表5)看,发酵机渥堆藏茶与传统渥堆藏茶品质无明显差异,发酵机渥堆的藏茶汤色橙红明亮、滋味醇和回甘、香气陈浓。感官评分达92.95分,汤色、香气、滋味得分均高于传统渥堆工艺的。

表5 发酵机渥堆藏茶的感官品质

Table 5 Sensory quality of piling Tibetan tea by fermentation machine

渥堆方式	外形	得分	汤色	得分	香气	得分
发酵机渥堆	粗实棕褐较润	17.40±0.07	橙红明亮	14.20±0.08	陈香浓郁	23.92±0.30
传统渥堆	重实黑褐较润	18.20±0.20	橙红较亮	13.85±0.09	陈香较纯正	23.17±0.14

渥堆方式	滋味	得分	叶底	得分	总得分
发酵机渥堆	醇和回甘	28.50±0.17	棕褐较匀	8.93±0.09	92.95±0.18
传统渥堆	醇和	27.30±0.30	黑褐较匀	9.23±0.06	91.75±0.13

## 参考文献:

- [1] 齐桂年,田鸿,刘爱玲,等.四川黑茶品质化学成分的研究[J].茶叶科学,2004,24(4):266-269.  
QI G N, TIAN H, LIU A L, et al. Studies on the quality chemical components in Sichuan brick tea[J]. Tea Science, 2004, 24(4): 266-269.
- [2] ZHANG L, ZHANG Z, ZHOU Y, et al. Chinese dark teas: post fermentation, chemistry and biological activities[J]. Food Research International, 2013, 53(2): 600-607.
- [3] 陈书谦.雅安藏茶:中国黑茶的典型代表[J].中华文化论坛,2008(3):125-129.  
CHEN S Q. Ya'an Tibetan tea: a typical representative of Chinese dark tea[J]. Forum on Chinese Culture, 2008(3): 125-129.
- [4] 夏涛.制茶学[M].北京:中国农业出版社,2016.  
XIA T. Tea-Processing[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016.
- [5] 吴绍帅,李亚莉,黄云战,等.普洱茶发酵自动化生产专利技术的研发[J].食品与机械,2011,27(6):183-185.  
WU S S, LI Y L, HUANG Y Z, et al. Research and development of patented technology for automatic fermentation of Pu'er tea fermentation[J]. Food and Machinery, 2011, 27(6): 183-185.
- [6] 黄云战,赵永洁,李亚莉,等.普洱茶发酵罐研制及应用研究[J].食品与机械,2012,28(1):115-118.  
HUANG Y Z, ZHAO Y J, LI Y, et al. Study on development and fermentation tank of Pu'er tea [J]. Food and Machinery, 2012, 28(1): 115-118.
- [7] 孙杨锋,黄云战,郝强,等.普洱茶发酵潮水机械的设计与应用研究[J].云南农业大学学报(自然科学),2014,29(1):106-111.  
SUN Y F, HUANG Y Z, HAO Q, et al. The innovation and application of spray machinery Pu-erh tea[J]. Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science), 2014, 29(1): 106-111.
- [8] 马振纲,黄云战,周红杰,等.普洱茶发酵清洁化车间的设计及环境湿度的控制[J].云南农业大学学报(自然科学),2011,26(3):395-399.  
MA Z G, HUANG Y Z, ZHOU H J, et al. Design of clear Pu-erh tea fermenting workshop and the environment humidity control[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2011, 26(3): 395-399.
- [9] 罗新文,黄云战,熊同强,等. II型普洱茶发酵罐的改正设计与试验分析[J].安徽农业科学,2015,43(32):157-159.  
LUO X W, HUANG Y Z, XIONG T Q, et al. Designing and experiments analysis of the fermentation tanks of Type II Pu'er tea[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(32): 157-159.
- [10] 王文斌,林忠钦.机械设计手册[M].北京:机械工业出版社,2004.  
WANG W B, LIN Z Q. Machine Design Manual[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2004.

- [11] 金心怡, 陈济斌, 吉克温. 茶叶加工工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.  
JIN X Y, CHEN J B, JI K W. Tea Processing Engineering[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2014.
- [12] 王梅. 工夫红茶自动发酵装置及品质智能感知技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.  
WANG M. Study on automatic fermentation device and quality intelligent sensing evaluation on technology of black tea[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.
- [13] 刘婷婷, 齐桂年, 邹瑶, 等. 四川黑茶渥堆过程中主要品质成分及酶类活性变化[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(4): 112-116.  
LIU T T, QI G N, ZOU Y, et al. Variations in quality ingredients and primary enzymes activities of Sichuan dark tea during post-fermentation[J]. Journal of South China Agricultural University, 2015, 36(4): 112-116.
- [14] 熊元元. 四川黑茶渥堆微生物多样性及空气微生物研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2017.  
XIONG Y Y. Study on microbial diversity of Sichuan dark tea during post-fermentation and air microbes in fermentation workshop[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2017.
- [15] 胥伟. 四川康砖茶渥堆过程中真菌种群的鉴定[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.  
XU W. Identification of fungal colonization of Sichuan Kangzhuang tea during pile-fermentation[D]. Ya'an, China: Sichuan Agricultural University, 2010.
- [16] GBT 8305—2013 茶水浸出物测定[S].  
GBT 8305—2013 Determination of tea extract[S].
- [17] GBT 8313—2008 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S].  
GBT 8313—2008 The detection method of tea polyphenols and catechins in tea[S].
- [18] GBT 8314—2013 茶游离氨基酸总量的测定[S].  
GBT 8314—2013 Determination of total free amino acids in tea[S].
- [19] GBT 8312—2013 茶咖啡碱测定[S].  
GBT 8312—2013 Determination of theophylline[S].
- [20] 张正竹. 茶叶生物化学实验教程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.  
ZHANG Z Z. Tea Biochemistry Experiment Course[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009.
- [21] 黄意欢. 茶学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.  
HUANG Y H. Tea Science Experimental Technology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997.
- [22] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学, 1986(3): 26-28.  
ZHANG X Z. Determination of plant chlorophyll content-acetone-ethanol mixture method[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 1986(3): 26-28.

责任编辑: 罗慧敏  
英文编辑: 吴志立