

基于图像处理技术快速检测茯砖茶中“金花菌”数量

吕嘉莉, 孟雁南, 史朝烨, 罗潇

(陕西科技大学食品与生物工程学院, 陕西西安 710021)

摘要:“金花菌”的数量是评价茯砖茶品质的重要依据之一, 为了快速准确的检测茯砖茶中“金花菌”的数量, 本研究利用茯砖茶中的“金花菌”颗粒较大, 颜色为金黄色, 清晰可辨, 与其它杂菌和茶基质差异较大的特性, 设计出了一种自动、快速检测茯砖茶中“金花菌”数量的方法, 首先对茯砖茶进行任意面切割, 并利用高分辨率拍照设备获取茶切割面图像, 然后利用 Image Pro Plus 软件中的图像处理系统对茶切割面图像进行处理, 之后采用自动计数系统对茯砖茶中“金花菌”的数量进行统计, 并以人工直接计数结果为参考, 结果表明: 本研究与人工直接计数法无显著差异, 检测结果可靠。因此, 该方法可以有效快速准确的检测出茯砖茶中的“金花菌”数量, 从而达到在线快速准确地评价茯砖茶质量的目的。

关键词: 茯砖茶; “金花菌”; 数量检测; 图像处理; 自动计数

文章编号: 1673-9078(2018)11-220-226

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.11.033

Rapid Detection of the Number of “Golden Flower” Fungus in Fuzhuan Brick Tea Based on Image Processing Technology

LYU Jia-li, MENG Yan-nan, SHI Zhao-ye, LUO Xiao

(School of Food and Biological Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: The quantity of “Golden Flower” Fungus is one of the important indicator for evaluating the quality of Fuzhuan brick tea. In order to quickly and accurately detect the quantity of “Golden Flower” Fungus in Fuzhuan brick tea, an automatic and rapid detection method of “Golden Flower” Fungus is designed based on that the “Golden Flower” Fungus in Fuzhuan tea is large, golden-yellow, clear and distinguishable under the naked eye. Firstly, the Fuzhuan brick tea was cut randomly, and the photographing equipment with high-resolution was used to obtain the image of the cutting surface. The Plus Image-Pro software has been employed to get the “Golden Flower” Fungus numbers of each sample automatically by image processing system and automatic counting system. The results showed that: the detection result is reliable and has no significant difference with the manual counting method. Therefore, the image processing technology can effectively and quickly detect the “Golden Flower” Fungus in the Fuzhuan brick tea, so as to quickly and accurately evaluate the quality of the Fuzhuan brick tea.

Key words: Fuzhuan brick tea; “Golden Flower” fungus; quantitative detection; image processing; automatic counting

茯砖茶属于黑茶类, 是一种后发酵茶, 其特殊加工工艺在于“发花”过程, 通过控制环境达到特定的温湿度条件来促使自然益生菌体-“金花菌”的生长^[1], 使得茶叶表面具有大量肉眼可见的金黄色颗粒, 即“金花菌”的子囊果。因为“金花菌”的存在使得茯砖茶内部成分发生转化, 具有比其他黑茶更好的风味及功能特性, 因此“金花菌”的数量是判断茯砖茶质量优劣的重要指标之一^[2-4]。“金花菌”是散囊菌目发菌科散囊菌属的一种多型真菌, 常见的是其有性繁殖方式, 在某些条件下会出现无性繁殖特征^[5]。目前对茯砖茶中“金花菌”的测定主要采用 GB4789.15-2016《食品

收稿日期: 2018-07-24

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (81701981)

作者简介: 吕嘉莉 (1964-), 女, 教授, 研究方向: 食品微生物

安全国家标准食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》中的方法^[6], 并无专门的检测方法。国标法现已有许多争议, 首先国标法检测的不是真正意义上的“金花菌”, 由于茶叶在处理过程中子囊破裂程度不一, 其子囊果, 子囊, 子囊孢子均可以形成一个菌落, 检测差异较大, 且无性繁殖特征的出现对检测结果影响更大, 此外国标法测定的时间较长, 不利于快速评价茯砖茶的质量, 因此急需一种适用于茯砖茶中“金花菌”数量的检测方法。

如果可以找到一种能够直接辨别茯砖茶中“金花菌”颗粒并计数的方法, 且将其快速统计出来, 则可以达到准确检测茯砖茶中“金花菌”数量并评价茯砖茶品质的目的。本方法基于茯砖茶中“金花菌”颗粒较大, 直径在 100 μm ~175 μm 之间^[7,8], 颜色金黄色,

与茯砖茶基质及其他杂菌的颜色差异较大,且肉眼可以直接观察的原理,结合 Image Pro Plus 软件中的图像处理功能和自动计数功能,设计出了一种准确快速统计茯砖茶中“金花菌”数量的方法,为“金花菌”的数量检测及茯砖茶的品质评价提供理论技术依据。

1 材料与方法

1.1 茯砖茶样品

茯砖茶样品主要采集自陕西省泾阳县不同产区,参照 GB/T 8302^[9] 取样方法采集成品包装茯砖茶,采集的样品均符合 GB/T 9833.3-2013^[10] 及 DBS 61/0006-2014^[11] 中对茯砖茶的感官要求,样本信息如表 1 所示。

表 1 茯砖茶样品

Table 1 The sample of Fuzhuan brick tea

样品编号	生产原料	采样地址
NHL	黑毛茶	西咸新区泾河新城永乐镇庞家村
JJFX	黑毛茶	西咸新区泾河新城泾干镇南环路
JSX	黑毛茶	西咸新区泾河新城永乐镇庞家村
JZK KY	黑毛茶	陕西省泾阳县泾干镇柴家村
JZK PE	普洱熟茶	陕西省泾阳县泾干镇柴家村
JZK XY	黑毛茶	陕西省泾阳县泾干镇柴家村
JHJT XY	黑毛茶	西咸新区泾河新城永乐镇庞家村
JHJT KY	黑毛茶	西咸新区泾河新城永乐镇庞家村
RSX	黑毛茶	陕西泾阳泾干镇县前村
RSH	黑毛茶	陕西泾阳泾干镇县前村
FCY	黑毛茶	陕西省泾阳县泾干镇先锋村
ZS	黑毛茶	陕西泾阳县南环路
JSXDH	云南滇红	西咸新区泾河新城永乐镇庞家村
RSP X	普洱	陕西省泾阳县泾干镇县前村
PSP L	普洱	陕西省泾阳县泾干镇县前村

1.2 仪器与设备

高分辨率摄像机; Image Pro Plus 图像处理软件。

1.3 实验方法

1.3.1 茯砖茶切割及切割面成像

采用茶叶切割装置按需要将茯砖茶进行任意面切割,之后采用高分辨率拍照设备对茶切割面进行拍照成像,获取茶切割面图像,并得到茶切割面的面积 S。

1.3.2 图像处理

采用 Image Pro Plus 对茯砖茶切割面进行图像处理,总共分 4 个步骤。

(1) 根据茯砖茶横切面的大小对图片进行 n 等

分,使得每个等分区域的“金花菌”颗粒数在 0~200 个,对 n 个等分区域同时进行以下处理;

(2) 处理 Color Model,通过 Color Channel,调节 Color Model 为 HSI 模式,设置 Generate channel 为 Hue;

(3) 进行 Filter 处理,首先进行 Morphological/Filters/Open 处理,使“金花菌”颗粒之间分离隔痕突出明显,然后进行 Edge/Filters/Variance 处理,使“金花菌”颗粒边缘突出明显,最后进行 Enhancement/Filter/Sharpen 处理,使“金花菌”颗粒边缘锐化;

(4) 进行 Contrast Enhancement 处理,先进行 Hilite & Shadow 处理,增强“金花菌”颗粒 Hilite 度,降低茶砖背景的 Shadow 值,接着进行调节伽马值,对比度和亮度,使图片区分度更高。

1.3.3 “金花菌”数量检测

采用 Image Pro Plus 软件中 Measure/Count/Size 对处理后的图像中“金花菌”进行自动计数。方法有两种,方法一为 Intensity Range Selection 选择 Automatic Dark Objects 的设置计算出灰度在 0~128 的对象,点击 Count 进行自动计数。点 Delete 可以恢复到计数前。方法二为 Intensity range Selection 选择 Manual,进行 Select Colors,在 Segmentation 进行 Color Cube Based 选择,用吸管工具选取图片色彩“金花菌”的色彩范围,相近色彩即自动被选中,然后点击 Count 进行自动计数。在 Segmentation 进行 Histogram Base 选择,将 RGB 改为 HSI (H 为色调,就是我们眼睛所看到的红橙黄绿青蓝紫等。S 为色饱和度, I 为强度),使用 H,从 H 中选择“金花菌”的色彩范围,同理 S, I,微调选择线使选中区域将所有“金花菌”都包括在其中。点击 Count 进行自动计数;

当图片上有大量测量对象时,很难完全正确地选择上所有测量区域,会有少量“金花菌”漏选或错选,可将计数后的“金花菌”进行分析,自动确定“金花菌”颗粒的平均面积,确定范围进行再次计数,记录此次数值,将计入此次数量的非目标物剔除,对图片进行 3 次计数,直至把所有“金花菌”全部选中。最后统计结果,运用下列公式进行计算。

$$\bar{m} = \frac{\sum_{k=1}^n (a + b + c)}{S}$$

式中: $\bar{m}$: 茶中“金花菌”的数量(个/cm²)。注: 本法检测的是“金花菌”子囊果的数量,而通常被称为“金花菌”的其实是子囊果; a: “金花菌”第一次计数的数量(个); b: “金花菌”第二次计数的数量(个); c: “金花菌”第三次计数的数量(个);

S: 茶切割面的面积 (cm^2); n: 图像分割次数。

1.3.4 结果验证

采用人工直接计数法对“金花菌”计数结果进行验证。将拍摄得到的茯砖茶切面图在进行图像处理之前,肉眼直接统计图片不同区域内的“金花菌”颗粒数。验证结果用相对误差表示,相对误差=|人工计数-自动计数|/自动计数 $\times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 茯砖茶切割及切割面成像

对茯砖茶进行任意面切割后采用高分辨率拍照设备对茶切割面进行拍照成像,获取茶切割面图像。切割效果如图1所示。茶叶经切割后,茶砖一分为二,切割面平整,茯砖茶内部“金花菌”颗粒饱满,颜色金黄,清晰可见,可直接用于后续的“金花菌”计数。



图1 茯砖茶切割面

Fig.1 Cutting surface of Fuzhuan brick tea

2.2 图片预处理

将含有“金花菌”的茯砖茶表面成像到系统内,将其平均等分为n个区域,如图2所示,接下来对n个等分区域中的两个区域(图3)为案例,运用 Image Pro Plus 软件系统进行以下分步处理展示,并准确自动的记录出茯砖茶表面“金花菌”数量。

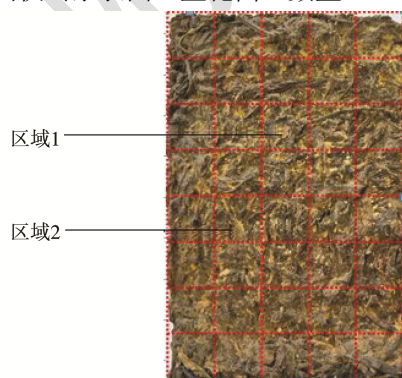
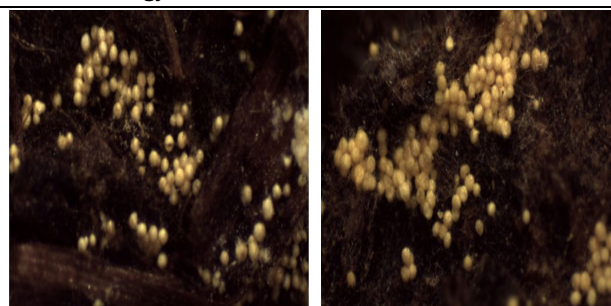


图2 茯砖茶n等分效果图

Fig.2 Dividing effect diagram of brick tea



区域1

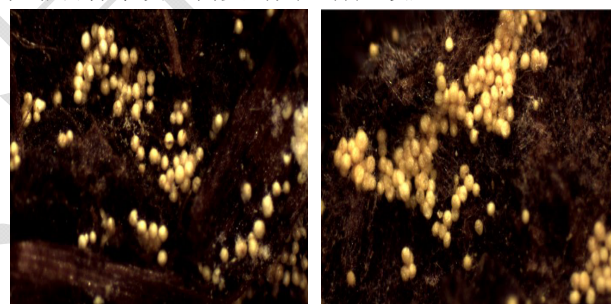
区域2

图3 茶砖切割面局部放大效果图

Fig.3 Partial enlargement of the cutting surface

2.3 颜色处理

由于摄像机电源本身的干扰噪声、光照不均匀等问题都会影响到图片采集的效果,使得“金花菌”颗粒不明显(图1),所以需要处理图片的颜色,可通过 Color Channel,调节 Color Model 为 HSI 模式,设置 Generate channel 为 Hue。处理结果如图4所示,可看出经过 Color Model 处理的“金花菌”,色泽与茶基质差异更为明显突出,但图片中还有少量菌丝及其他非目标杂质,需要对其进行后续处理。



区域1

区域2

图4 经 Color Model 处理的“金花菌”

Fig.4 “Golden Flower” fungus treated by color model

2.4 Filter 处理

Filter 工具可以提取图形中的有用图形信息,从而排除干扰测量的图形信息。采用 Filter 主要对图片进行了形态学、增强和边缘三种处理。有一些“金花菌”颗粒由于各种原因连接在了一起,这样在统计的时候软件会把它们当作一个完整颗粒,对结果造成误差,所以,首先进行形态学处理,采用 Morphological/Filters/Open 功能键,使“金花菌”颗粒之间分离隔痕突出明显,处理效果如图5所示,可以看出经过形态学处理的“金花菌”边缘变得平滑,原来图片中白色的菌丝杂质也被去掉,“金花菌”颗粒之间的连接被分开。但“金花菌”颗粒边缘并不明显,所以需要进行边缘处理,即采用 Edge/Filters/Variance 功能键以强效“金花菌”边缘,处理效果如图6所示,可以发现“金

花菌”颗粒边缘突出明显。但边缘颜色过暗，与背景颜色区分度不高，所以需要对该图片进行增强处理，可采用 Enhancement/Filter/Sharpen 功能键，使“金花菌”颗粒边缘锐化，处理效果如图 7 所示，可以看出图片中“金花菌”颗粒为黄色圆形，边缘平整光滑，可与图片背景及其他图形杂质区分。

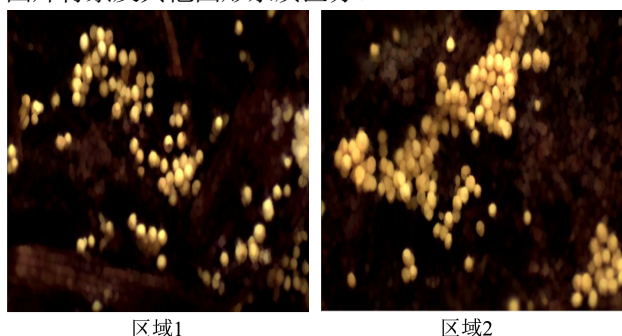


图 5 经形态学处理的“金花菌”

Fig.5 “Golden Flower” fungus treated by morphological

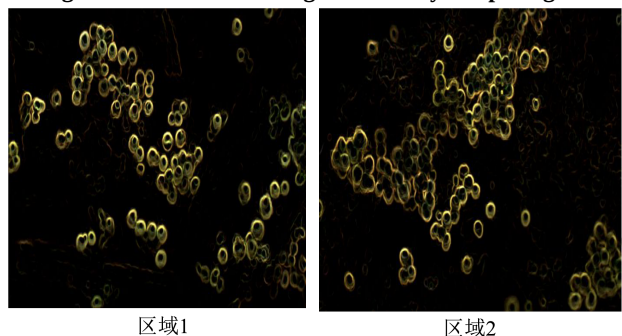


图 6 经边缘处理的“金花菌”

Fig.6 “Golden Flower” Fungus treated by Edge

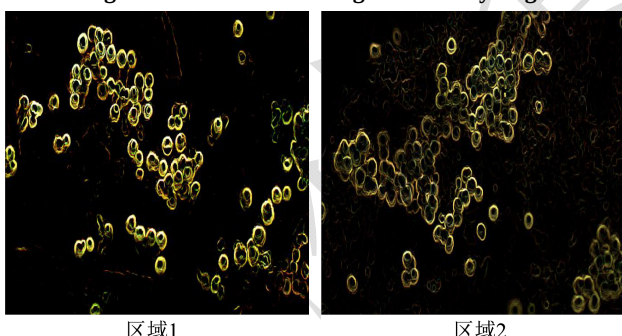


图 7 经增强处理的“金花菌”

Fig.7 “Golden Flower” Fungus treated by Enhancement

2.5 Contrast Enhancement 处理

经滤镜处理的“金花菌”虽与图片背景区分，但图片中“金花菌”亮度和对比度不一致，后期根据颜色计数时可能会存在误差所以需要进行 Contrast Enhancement 处理，先进行 Hilite & Shadow 处理，增强“金花菌”颗粒 Hilite 度，降低茶砖背景的 Shadow 值，接着进行调节伽马值，对比度和亮度，处理效果

如图 8 所示，可以看出此处理可以突出测量对象，使金花菌与茶背景区分更加明显，且“金花菌”具有独特的形态学特征，可根据此种特征直接进行计数操作。

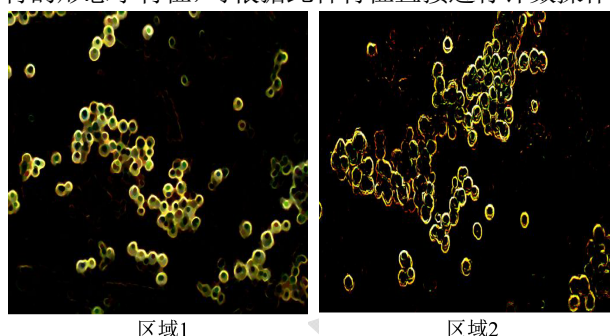


图 8 经 Contrast Enhancement 处理的“金花菌”

Fig.8 “Golden Flower” fungus treated by Contrast Enhancement

2.6 自动计数

采用吸管工具点击目标区域，就可选中该点的颜色，选取完 AIO 后就可以对选中的 object 进行自动计数操作。如图 9 所示，图中的绿色数字即为自动计数结果，区域 1 统计了 73 个“金花菌”颗粒，区域 2 统计了 191 个“金花菌”颗粒，可以看到还有少量未被系统识别的目标，所以有必要在第一次测量后核对测量结果。

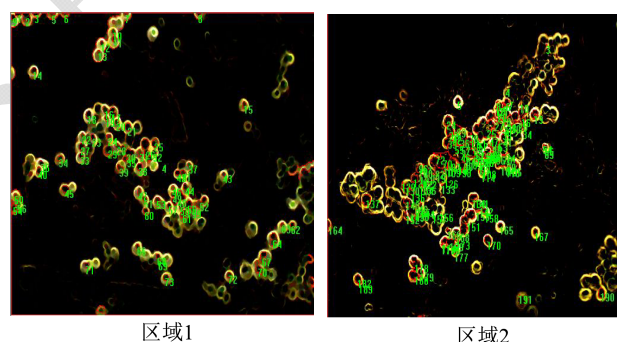


图 9 第一次自动计数结果

Fig.9 First automatic counting result

对于未选中的区域，可以手工添加一个测量对象，在未选中的地方多次选取，直到把想选中的区域全部选中为止。将计数后的“金花菌”进行分析后，自动确定“金花菌”颗粒的平均面积，确定测量范围进行再次计数，记录此次数值，由图 10 可看出，重复 2 次选择目标区域后，系统将图 9 未统计出的“金花菌”颗粒进行了计数，图 10 中数字前标识 P 的即为新增加的“金花菌”颗粒数，由图可看出区域 1 新增加了 66 个“金花菌”数量，区域 2 新增加了 29 个，每个区域的“金花菌”数量即为多次测量结果之和。

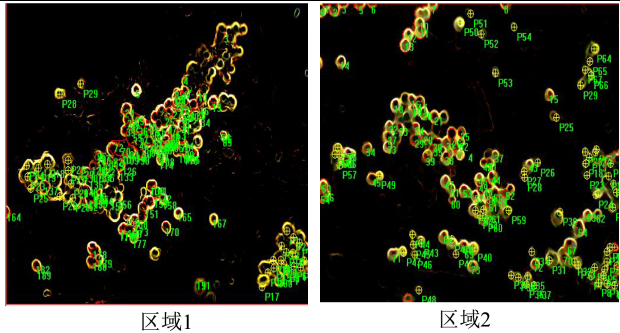


图 10 重复自动计数结果

Fig.10 Repeated automatic counting results

最后将上述计数结果保存至测量环境文件夹中，此文件夹记录了所有的参数设置，直接调用测量环境文件夹中的参数实现图像批量化、快速处理，极大地提高了样品的测量速度。保存步骤如下^[12]：打开一张待分析的图片，点击菜单栏上的“Macro”-“Record Macro”按钮，在弹出的“Record Macro”对话框中给文件夹输入一个名字，如“金花菌数量测量”，在“Shortcut Key”中为该文件夹设置一个快捷键，如“Ctrl+A”（图 11）。将图像处理、分析的过程录制成

表 2 “金花菌”数量的计数结果

Table 2 Counting results of the number of “Golden Flower” Fungus

区域编号	自动计数“金花菌”数量/个	人工直接计数法“金花菌”数量/个	相对误差/%
001	139.00±0.82	142.00±1.70	2.16
002	224.00±1.25	220.00±1.70	1.79
003	114.00±0.47	115.00±0.94	0.88
004	71.00±0.47	70.00±0.94	1.41
005	72.00±1.24	73.00±0.47	1.39
006	160.00±1.70	161.00±0.47	0.63
007	201.00±0.47	200.00±0.47	0.50
008	190.00±0.00	193.00±2.36	1.58
009	116.00±0.00	119.00±0.82	2.59
010	142.00±0.47	144.00±0.82	1.41

从表 2 可以看出，自动计数结果与人工直接计数结果相比较，最大相对误差为 2.59%，最小相对误差为 0.50%，平均相对误差为 1.43%，使用本方法对茯砖茶切面图的每个区域检测结果比人工直接计数法相对误差较小，结果较为接近。且自动计数结果普遍略低于人工计数的结果，但标准偏差却小于人工计数方法，这说明自动计数法在很大程度上避免了主观误差。

为了进一步验证自动计数法在成品茯砖茶中计数的可行性，采用上述方法对每个茯砖茶切面中的金花菌进行计数，以人工直接计数法测得的金花菌数量为参考，每一样品计数三次，利用 EXCEL 求得每一样品在不同计数方法下的“金花菌”数量平均值及标准偏差，利用 SPSS 软件对不同样品的两种检测结果进

一个宏文件后，直接使用“Ctrl+A”快捷键对茯砖茶的其他图像进行“金花菌”计数。

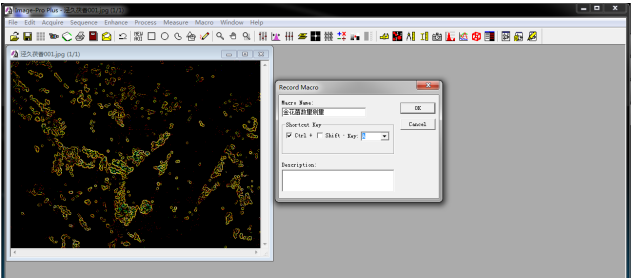


图 11 通过录制‘宏’文件实现图像批处理

Fig.11 Image batch processing by recording a “macro” file

2.7 结果统计与验证

为了验证此方法对图片中“金花菌”计数的可行性，采用上述方法对其他区域中的“金花菌”子囊果进行计数，以人工直接计数法结果为对照，每个区域分别计数三次，计算两种方法的相对误差，统计结果如表 2 所示。

行配对 t 检验，结果如表 3 所示。

用 SPSS 对每个样品在两种检测方法下的结果进行配对样品 t 检验，由表 3 可以看出，图像处理计数法对茯砖茶中“金花菌”的测定结果误差较小，同一样品三组平行测量值较为接近，且不同样品采用图像处理计数法和人工直接计数法测得的结果标准偏差差别不大， t 值在-4.274~0.113 之间，基本为负值，说明图像处理方法的检测结果略低于人工测量结果，这可能是由于人工直接计数法是利用人工数茯砖茶表面的“金花菌”颗粒数，不可避免地对“金花菌”进行主观选择，所以计数结果略高。自由度为 2，显著性 P 值均大于 0.05，说明图像处理计数法与人工直接检测结果之间的差异不显著。以上分析说明图像处理法的

结果客观性更强、准确性较好,计数方法及结果可靠,可以用于茯砖茶中“金花菌”数量的检测,且用软件进行检测能够提高茯砖茶中“金花菌”数量检测的速

度及准确性,从而达到快速准确的评价茯砖茶质量的目的,具有很高的实用性。

表3 茯砖茶“金花菌”计数比对表

Table 3 The comparison table of the “Golden Flower” Fungus of Fuzhuan tea

样品	自动计数“金花菌”数量/(个/cm ²)				直接计数法“金花菌”数量/(个/cm ²)				配对 t 检验		
	重复 1	重复 2	重复 3	平均值±标准偏 差	重复 1	重复 2	重复 3	平均值±标准偏 差	t	d _f	Sig(双 侧)
NHL	1890	1930	1850	1890±32.66	1980	1890	1960	1943±38.59	-1.134	2	0.374
JJFX	1690	1670	1610	1656±33.99	1640	1590	1680	1636±36.82	0.113	2	0.920
JSX	1260	1240	1310	1270±29.44	1230	1280	1360	1290±53.54	-0.795	2	0.510
JZK KY	1330	1420	1390	1380±37.42	1390	1480	1520	1463±54.37	-0.357	2	0.070
JZK PE	1870	1990	2050	1970±74.83	2020	1970	2110	2033±57.93	-1.290	2	0.326
JZK XY	2130	2150	2190	2156±24.94	2210	2160	2250	2206±36.82	-2.402	2	0.138
JHJT XY	1290	1350	1240	1293±44.94	1450	1370	1490	1436±49.89	-2.142	2	0.165
JHJT KY	2210	2290	2360	2286±61.28	2380	2430	2310	2373±49.22	-1.258	2	0.335
RSX	1020	1090	1150	1086±53.12	1120	1050	1110	1093±30.91	-0.143	2	0.899
RSH	1760	1790	1780	1776±12.47	1790	1820	1740	1783±33.00	-0.286	2	0.802
FCY	1790	1890	1900	1860±49.67	1940	2010	1870	1940±57.15	-1.437	2	0.287
ZS	2090	2020	2150	2086±53.12	2140	2110	2160	2136±20.55	-2.165	2	0.163
JSXDH	1620	1510	1530	1553±47.84	1630	1780	1630	1680±70.71	-1.662	2	0.238
RSP X	1480	1560	1410	1483±61.28	1570	1610	1530	1570±32.66	-4.274	2	0.051
PSP L	1760	1840	1720	1773±49.89	1860	1910	1890	1886±20.55	-3.825	2	0.062

3 结论

3.1 茯砖茶中“金花菌”的数量是判断茯砖茶品质的重要指标之一。“金花菌”是一种既可产生子囊果也可产生分生孢子的多型真菌,子囊果圆形,内部包裹着无数具拟薄壁组织的子囊,子囊内含 8 个子囊孢子^[13,14],其有性世代和无性世代在不同培养条件下表达数量不一^[15-17]。而茯砖茶表面的金花即是“金花菌”有性世代的子囊果结构^[18]。对茯砖茶中“金花菌”的检测方法都是按照 GB 4789.15-2016 食品安全国家标准-食品微生物学检验中的霉菌和酵母计数的方法执行的。但因该方法中样品在前处理时“金花菌”破裂程度不一,其子囊果、子囊、子囊孢子均可形成单个菌落,使得“金花菌”的检测重复率较低,计数结果也不是真正意义上的“金花菌”数量^[19],且茯砖茶中的有性子囊果在培养过程中会转化为无性世代的分生孢子结构^[20],呈烟灰色至灰绿色,与其他霉菌较难区别;其次由于茯砖茶发酵属于较复杂的微生物发酵^[21,22],大量其他微生物的存在会抑制“金花菌”的生长,从而影响“金花菌”的检测结果;第三,由于霉菌生长周期较长,该检测方法需要一周左右,耗时长。第四,同一个样品取样点不一样时,其检测结果差异

也较大。要解决国标方法中存在的问题,可以采用加大样品平行量的方法,但工作量较大,不现实;要么优化“金花菌”数量的检测方法,而目前对“金花菌”检测方法优化的研究少之又少,且均是基于国标方法,虽使检测误差降低 1 个数量级,但耗时仍然很长^[23,24]。3.2 本方法基于茯砖茶中的“金花菌”颗粒在 100 μm~175 μm 之间,颜色为金黄色,与其它杂菌和茶基质差异较大,在显微镜下清晰可辨的原理,利用人工直接计数的准确性作为依据,通过茶的切割,获得茶切割面,然后利用高分辨率拍照设备获取茶切割面图像,再利用本方法软件自动计数方法进行茯砖茶中的“金花菌”的数量统计,结果表明:本检测方法与人工直接计数法无差异,检测结果可靠,快速准确地实现了茯砖茶中“金花菌”数量的检测;通过对茯砖茶切面图像中“金花菌”的数量进行自动计数,能够提高“金花菌”计数的准确性,提高了计数的效率,从而实现准确快速评价茯砖茶质量的目的。本方法测得的结果是茯砖茶表面的“金花菌”形成的子囊果数量,与国标等计数存在差异,虽然经理论推理可行,采用茯砖茶样品进行检测后也与人工直接计数法无差别,但本方法还需对大量的茯砖茶样品进行检测,以完善其操作,并建立相关的检测方法及标准。

参考文献

- [1] XU A Q, WANG Y L, WEN J Y, et al. Fungal community associated with fermentation and storage of Fuzhuan brick-tea [J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 146(1): 14-22
- [2] ZHU Y F, CHEN J J, JI X M, et al. Changes of major tea polyphenols and production of four new B-ring fission metabolites of catechins from post-fermented Jing-Wei Fu brick tea [J]. Food Chemistry, 2015, 170: 110-117
- [3] ZHENG W J, WAN X C, BAO G H. Brick dark tea: a review of the manufacture, chemical constituents and bioconversion of the major chemical components during fermentation [J]. Phytochemistry Reviews, 2015, 14(3): 499- 523
- [4] 赵仁亮,胥伟,吴丹,等.黑毛茶不同产区发花对茯砖茶品质的影响[J].食品科学,2017,38(21):8-14
ZHAO Ren-liang, XU Wei, WU Dan, et al. Quality evaluation of Fu brick tea fermented in different regions from the same raw tea materials [J]. Food Science, 2017, 38(21): 8-14
- [5] 郑欣欣.茯砖茶中“金花”菌产孢机制及其功能性研究[D].西安:陕西科技大学,2015
ZHENG Xin-xin. Study on sporulation mechanism and function of “Jinhua” fungi in Fuzhuan brick tea [J]. Shaanxi University of Science and Technology, 2015
- [6] GB/T4789.15-2016,食品安全国家标准,食品微生物学检验霉菌和酵母计数[S]
GB/T4789.15-2016, National standards for food safety, Food microbiology tests mold and yeast counts [S]
- [7] 齐祖同,孙曾美.茯砖茶中优势菌种的鉴定[J].真菌学报,1990,3(2):176-179
QI Zu-tong, SUN Zeng-mei. Identification of predominant species in brick tea [J]. Acta Mycologica Sinica, 1990, 3(2): 176-179
- [8] 王文涛.茯砖茶中冠突散囊菌分类学研究[D].湖南:湖南农业大学,2014
WANG Wen-tao. Studies on taxonomy of *Eurotium cristatum* in Fuzhuan brick tea [D]. Hunan: Hunan Agricultural University, 2014
- [9] GB/T 8302-2013,茶取样[S]
GB/T 8302-2013, Tea-Sampling [S]
- [10] GB/T 9833.3-2013,紧压茶,第3部分:茯砖茶[S]
GB/T 9833.3-2013, Compressed tea-Part 3: Fu zhuan tea [S]
- [11] DBS61/0006-2014,食品安全地方标准,泾阳茯砖茶[S]
DBS61/0006-2014, Local food safety standards, Jingyang Fu zhuan tea [S]
- [12] 张颖君,高慧敏,胡梦芸,等.利用图像处理法快速测定小麦千粒质量[J].西南师范大学学报(自然科学版),2017,42(8): 70-73
ZHANG Ying-jun, GAO Hui-min, HU Meng-yun, et al. On rapid determination of thousand grain weight of wheat by means of digital imaging [J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2017, 42(8): 70-73
- [13] 齐祖同.中国真菌志第五卷,曲霉属及其相关有性型[M].北京:科学出版社,1997:4-15
QI Zu-tong. Flora fungorum sinicorum VOL.5 *Aspergillus* et teleomorphi cognate [M]. Beijing: Science Press, 1997: 4-15
- [14] RAPER K, FENNELL D, AUSTWICK P. The Genus *Aspergillus* [M]. Baltimore: WiUiams & Wilkins Bahimore, 1965
- [15] 葛永怡,吴石平,谭玉梅,等.冠突散囊菌不同生长阶段 MAT 基因的表达量变化[J].西南农业报,2015,28(6):2730-2735
GE Yong-yi, WU Shi-ping, TAN Yu-mei, et al. Expression difference of mating type gene in different development stages of *Eurotium cristatum* [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2015, 28(6): 2730-2735
- [16] 罗冰,秦俊哲,张春华.茯砖茶中冠突散囊菌的产孢条件研究[J].食品工业,2013,34(12):16-18
LUO Bing, QING Jun-zhe, ZHANG Chun-hua. The condition for sporulation of *Eurotium cristatum* in Fu-brick Tea [J]. The Food Industry, 2013, 34(12): 16-18
- [17] ZHANG L, ZHANG Z Z, ZHOU Y B. Chinese dark teas: Postfermentation, chemistry and biological activities [J]. Food Research International, 2013, 53(2): 600-607
- [18] GE Y Y, WANG Y C, LIU Y X, et al. Comparative genomic and transcriptomic analyses of the Fuzhuan brick teafermentation fungus *Aspergillus cristatus* [J]. Bmc Genomics, 2016, 17(1): 428
- [19] 刘凯利.茯砖茶中“金花菌”的分离及发酵特性研究[D].西安:陕西科技大学,2017
LIU Kai-li. Separation of “Junhua fungi” from Fuzhuan tea and their fermentation character analysis [D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2017
- [20] 黄浩,郑红发,赵熙,等.不同茶类发花茯茶中“金花”菌的分离,鉴定及产黄曲霉毒素分析[J].食品科学,2017,38(8):49-55
HUANG Hao, ZHENG Hong-fa, ZHAO Xi, et al. Identification and aflatoxin production of “golden flora” fungi isolated from fu tea produced from different kinds of

- tea [J]. Food Science, 2017, 38(8): 49-55
- [21] ZHANG Hao, LI Hu, MO Hai-zhen. Microbial population and antibacterial activity in Fuzhuan brick tea [J]. Food Science, 2010, 31(21): 293-297
- [22] 胡治远,刘素纯,赵运林,等. 茯砖茶生产过程中微生物动态变化及优势菌鉴定[J]. 食品科学, 2012,33(19):244-248
HU Zhi-yuan, LIU Su-chun, ZHAO Yun-lin, et al. Dynamic microbial changes of Fuzhuan brick tea during processing and identification of dominant fungi [J]. Food Science, 2012, 33(19): 244-248
- [23] 马跃,郝彬秀,田海霞,等.冠突散囊菌菌落计数方法的优化[J].食品与发酵科技,2017,53(6):22-25
MA Yue, HAO Bin-xiu, TIAN Hai-xia, et al. The optimization of method of plate culture count for *Eurotium cristatum*[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2017, 53(6): 22-25
- [24] 李宏梁,辛乐,舒静,等.茯砖茶中冠突散囊菌检测过程关键步骤探讨[J].食品科技,2017,42(11):331-335
LI Hong-liang, XIN Le, SHU Jing, et al. Key steps in *Eurotium cristatum* detection of Fuzhuan brick tea [J]. Food Science and Technology, 2017, 42(11): 331-335