

各级打叶风分单元分离片烟的尺寸分布变化规律

Variations of size distribution of tobacco strips separated from
different threshing and pneumatic separation unit

梁 淼¹ 刘茂林² 杨永锋² 王根发² 杨宗灿²

LIANG Miao¹ LIU Mao-lin² YANG Yong-feng² WANG Gen-fa² YANG Zong-can²

张俊松¹ 肖锦哲³ 卢敏瑞³ 刘向真²

ZHANG Jun-song¹ XIAO Jin-zhe³ LU Min-rui³ LIU Xiang-zhen²

(1. 郑州轻工业学院食品与生物工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南中烟工业有限责任公司技术中心, 河南 郑州 450000; 3. 福建武夷烟叶有限公司, 福建 邵武 354000)
(1. School of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450002, China; 2. Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450000, China; 3. Fujian Wuyi Leaf Tobacco Co., Ltd., Shaowu, Fujian 354000, China)

摘要:利用五打十一分打叶机组对上部烟配打模块进行梗叶分离,研究了打叶去梗工序中各级打叶风分后片烟的尺寸分布变化规律。结果表明:各级打叶风分单元分离出的片烟尺寸在各面积区间内的比例变化趋势基本一致;其中第一、二级打叶单元内各风分口的大中片比例均>94%,较为稳定,且片烟特征尺寸及超大片比例均随风分级数的增加呈上升趋势,第三、四/五级打叶单元内片烟特征尺寸及超大片比例显著降低,小片率明显升高;各级打叶单元汇总片烟的特征尺寸及均匀性随打叶级数增加逐渐降低。

关键词:片烟;打叶风分;尺寸分布;特征尺寸

Abstract: In order to study the variation of size distribution of tobacco strips from different threshing and separation unit, an upper blend tobacco formula was introduced into threshing machine with five stages of threshing unit and eleven pneumatic separators. The results showed that the size proportion of tobacco strips separated from different pneumatic separators exhibited a similar change trend. Moreover, in the first and second stage threshing unit, the large and middle size particle content could reach more than 94% with good stability. Meanwhile, the characteristic size tobacco strips and the proportion of tobacco strips with size bigger than 44.5 mm increased

with pneumatic separation stage for the threshing units of the first and second stages. However, in the threshing units of the third and forth/fifth stages, the characteristic size tobacco strips and the proportion of tobacco strips with size bigger than 44.5 mm decreased dramatically, accompanied with a significant increase in proportion for small size tobacco strips. Furthermore, the characteristic size of strips collected from different threshing and separation unit and the corresponding uniformity of tobacco strips size were both decreased with stages of threshing unit.

Keywords: tobacco strip; threshing and separation; size distribution; characteristic size

打叶去梗是打叶复烤生产的关键工序,其效果直接决定出叶率和叶片结构质量,进而影响烟叶原料的有效利用和卷烟加工质量^[1-2]。为满足卷烟生产对叶片结构的新需求,基于控制大片率、提升中片率、降低叶中含梗率的理念,新版《卷烟工艺规范》对梗叶分离后的片烟结构指标有明确要求。为优化打叶去梗后的叶片结构,烟草科技工作者^[3-5]开展了大量研究,结果表明打叶去梗后叶片结构质量指标既受烟叶类型、部位、等级等自身因素及来料状态影响,又与打叶风分工艺参数和设备性能密切相关。例如,李跃锋等研究表明适宜的打前烟叶含水率和温度是保证良好的打后烟片结构的关键^[4],并且二润后烟叶温度、含水率、厚度和拉力等指标需与打叶风分工艺参数匹配^[6],才能取得良好的打叶质量。

打叶去梗工序由多级打叶机和风分器交替串联组成,各级打叶风分机组参数对打后叶片质量均有影响,刘利锋等^[5]研究表明框栏尺寸、各级打辊转速组合及风分效率的合理匹

基金项目:国家烟草专卖局科技重大专项“细支卷烟升级创新”(编号:110201601014〔XZ-05〕);河南中烟科技创新项目(编号:ZW2016006)

作者简介:梁淼,男,郑州轻工业学院讲师,博士。

通信作者:刘向真(1982—),男,河南中烟工业有限责任公司工程师,学士。E-mail:liuxiangzhen@126.com

收稿日期:2018-07-25

配能明显提高打后片烟的中片率。生产线上打后片烟是由各级风分器分离出的片烟汇总而成,因此各级风分器出口的叶片结构对汇总后叶片质量均有贡献。然而,目前关于各级风分器出口叶片尺寸分布变化特征研究缺乏,因此考察各级风分器出口片烟的尺寸分布及其变化规律有利于工艺参数及设备性能的针对性优化,可为片烟结构的精准调控提供支撑。鉴于此,本研究以福建南平地区上部烟配打模块烟叶为原料,利用片烟大小及分布测定系统,考察打叶去梗工序各级风分器出口的片烟尺寸分布变化特征,旨在为打叶复烤片烟结构精准控制提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料、设备与仪器

烟叶原料:2016 年福建南平上部烟配打模块(由邵武 B2F、武夷山 B2F、三明 B2F、光泽 B3F、浦城 B3F、顺昌 B3F 等按比例混配而成);

打叶复烤生产线:12 000 kg/h,共五打十一分,其中第一级打叶单元包括一至六级风分器,第二级打叶单元包括三级风分器,第三级打叶单元用一级风分器,第四、五级打叶单元共用一级风分器,福建武夷烟叶有限公司;

片烟大小及分布测定系统:CA8011 型,昆明船舶设备集团有限公司,郑州烟草研究院。

1.2 取样、检测方法

将原料投入打叶复烤生产线,根据作业指导书工艺参数稳定运行后开始取样。在各风分器(共 11 级)分离出烟叶落入汇总皮带前同时接取片烟样品,每隔 30 min 重复取样 1 次,共 3 次。

利用片烟大小及分布测定系统,检测各片烟样品面积,结合烟草行业对打后片烟结构(碎片率、小片率、中片率、大片率)的要求,如中片率是指介于网筛孔径 12.7 mm 与 25.4 mm 的叶片占总量的百分数,筛孔为 12.7 mm 和 25.4 mm 时折合面积分别为 161.29,645.16 mm²,因此把所测数据的面积划分为 0.00~5.57,5.57~40.32,40.32~161.29,161.29~300.00,300.00~645.16,645.16~1 000.00,1 000.00~1 500.00,1 500.00~2 000.00,2 000.00~2 500.00,2 500.00~3 000.00,3 000.00~4 000.00,4 000.00~5 000.00,5 000.00~6 000.00,>6 000.00 mm² 14 个区间,根据 YC/T 449—2012《烟叶 片烟大小及其分布的测定 叶面积法》测定片烟尺寸分布,并计算片烟各区间面积百分比、限下叶片面积累积百分比、片烟大小均匀性系数及特征尺寸^[7]。

2 结果与分析

2.1 各打叶风分口片烟区间面积比例变化

采用图像法测量 11 级打叶风分后烟叶样品的叶片面积,各面积区间比例结果如图 1 所示。从图 1 可见,各级打叶风分口分离出的片烟尺寸在划分的 14 个面积区间内的比例总体变化趋势基本一致,叶片尺寸多集中分布于 161.29~1 500.00 mm²;另外,一级、二级打叶单元各风分口片烟的尺寸分布基本相同,且与三级、四/五级打叶单元风分出的叶片差异明显,第三级、四/五级打叶风分单元分离出的烟片中的

小尺寸叶片比例上升,而>2 000.00 mm²的叶片比例下降。

将叶片在各面积区间的比例汇总转换为叶片结构比例,如图 2 所示,其中小片(6.35~12.70 mm)对应面积区间为 40.32~161.29 mm²,同时根据卷烟企业对烟片的实际需求及复烤后片烟的收缩效应^[8-9],将超大片确定为尺寸>44.50 mm 的叶片。从图 2 中可见,一级、二级打叶单元各风分口碎片/末比例较为稳定,三级、四/五级打叶单元碎片/末比例略有上升,分别为 1.82%和 1.64%;对于小片而言,一级打叶单元各风分口变化不明显,二级打叶单元内随着风分级数增加,小片率由 3.87%下降为 2.55%,而第三级、四/五级打叶单元内小片率明显升高,分别为 6.31%和 12.92%;第一、二级打叶单元内各风分口大中片率较为稳定,均在 94%以上,三级、四/五级打叶风分大中片率逐渐降低,分别为 91.83%和 85.43%。

超大片烟叶成丝后填充力增加不明显,烟丝过长易结团,影响卷烟机工作效率及卷接质量,因此其比例是打叶复烤过程中需进行控制的指标^[10],从图 2 还可见,在第一级、二级打叶单元内,随着风分级数的增加,超大片比例呈上升趋势,这是由于同一级打叶单元内风分级数越大,通常出片量减小,导致超大片所占比例升高;随着打叶级数继续增加至第三级、四/五级,打叶风分后超大片比率急剧下降,表明

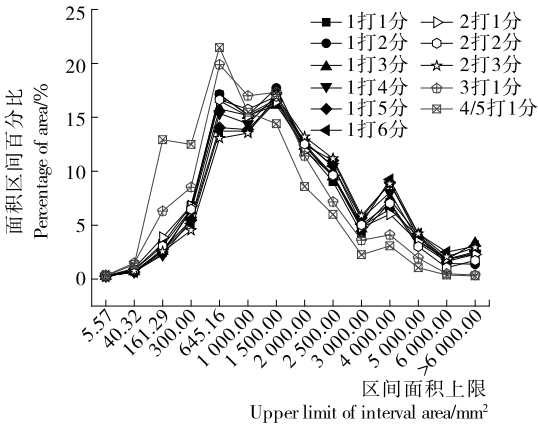


图 1 各打叶风分口叶片面积区间百分比变化

Figure 1 Variations of interval area percentage at different threshing and pneumatic separation unit

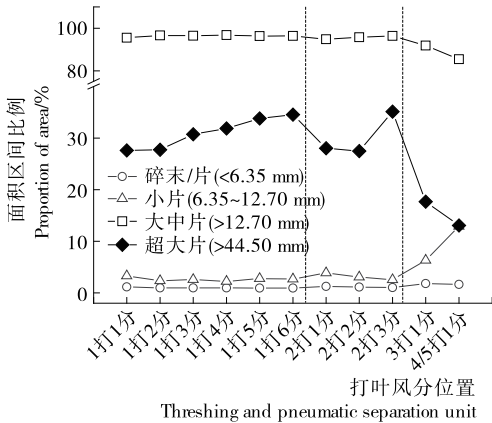


图 2 各打叶风分口叶片结构变化

Figure 2 Variations of strip structure at different threshing and pneumatic separation unit

绝大部分超大片片烟已在前两级打叶单元内风分出来;由于打叶机组第一级打叶出片率最高,通常为 65%左右,第二级打叶出片率为 22%左右^[11],而一级、二级打叶单元内超大片比率又较高,因此在进行超大片烟叶控制时应重点对这两级(尤其是第一级打叶单元)的工艺参数及设备性能进行调整优化,以针对性地降低超大片比率。

2.2 各打叶风分口片烟尺寸分布变化

分别以 5.57,40.32,161.29,300.00,645.16,1 000.00,1 500.00,2 000.00,2 500.00,3 000.00,4 000.00,5 000.00,6 000.00 mm²为片烟面积区间上限,计算限下片烟累积面积百分比,结果如表 1 所示。利用曾静等^[12]建立的片烟尺寸

分布函数 $F(x) = 1 - \exp(-ax^b)$ 进行数据拟合,其中, x 为面积区间限, $F(x)$ 为限下累积面积百分比, b 为均匀性系数,可用来判定片烟面积分布的均匀性。

片烟尺寸分布拟合结果见表 2, $R^2 \geq 0.999$,表明各风分口片烟大小均符合片烟尺寸分布方程。由表 2 可知,在第一级打叶单元内,随着风分级数的增加,片烟特征尺寸逐渐增大,从一打一分到一打六分,特征尺寸增幅为 18.6%,同样在第二级打叶单元内,片烟特征尺寸也随着风分级数的增加而变大;然而,随着打叶风分级数的继续增加,片烟特征尺寸明显变小,第三级、四/五级打叶风分后分别为 923.87,679.86 mm²。

表 1 各打叶风分口片烟面积区间限下累积面积百分比

Table 1 Cumulative area ratio below area limitation for strips separated from different threshing and pneumatic separation unit %

面积区间上限/mm ²	1 打 1 分	1 打 2 分	1 打 3 分	1 打 4 分	1 打 5 分	1 打 6 分	2 打 1 分	2 打 2 分	2 打 3 分	3 打 1 分	4/5 打分
<5.57	0.30	0.27	0.27	0.28	0.27	0.28	0.28	0.28	0.27	0.34	0.30
<40.32	1.16	0.97	0.96	0.95	0.92	0.94	1.27	1.14	1.02	1.82	1.64
<161.29	4.46	3.35	3.55	3.19	3.69	3.61	5.14	4.20	3.58	8.13	14.57
<300.00	11.28	9.86	9.89	8.64	9.16	8.76	11.92	10.68	8.09	16.65	27.04
<645.16	28.36	26.98	25.67	24.00	23.21	22.47	28.47	27.30	21.16	36.54	48.51
<1 000.00	43.63	42.18	40.84	38.40	37.07	36.19	43.58	43.05	34.68	53.54	63.97
<1 500.00	60.29	59.89	56.96	55.40	53.73	52.68	60.03	59.99	51.65	70.86	78.37
<2 000.00	72.37	72.25	69.27	68.11	66.17	65.43	71.93	72.50	64.83	82.28	86.94
<2 500.00	81.41	81.82	78.75	78.56	77.16	75.91	81.55	82.13	76.01	89.45	92.93
<3 000.00	85.64	86.74	83.40	84.14	82.82	81.01	86.34	87.16	81.91	93.06	95.19
<4 000.00	92.72	93.20	90.79	92.19	91.76	90.23	92.35	94.18	90.75	97.16	98.27
<5 000.00	96.03	97.15	94.86	95.78	95.62	94.43	95.80	97.19	94.97	99.11	99.33
<6 000.00	97.69	98.61	96.68	97.57	97.45	96.94	97.68	98.25	97.03	99.61	99.70

各打叶风分口片烟特征尺寸的变化规律与图 2 所示片烟超大片比例变化趋势基本一致,这是由于在各风分口大中片率保持基本相同的情况下,片烟中的超大片比例决定了片

表 2 各打叶风分口片烟特征尺寸、均匀性系数结果汇总
Table 2 The results of characteristic size and uniformity coefficient for strips at different threshing and pneumatic separation unit

位置	$x_{0.5}/\text{mm}^2$	b	$a (\times 10^{-4})$	R^2
1 打 1 分	1 206.29	1.17	1.720	0.999
1 打 2 分	1 227.96	1.23	1.040	0.999
1 打 3 分	1 301.31	1.18	1.480	0.999
1 打 4 分	1 348.01	1.25	0.868	1.000
1 打 5 分	1 394.80	1.24	0.849	1.000
1 打 6 分	1 430.63	1.22	1.000	0.999
2 打 1 分	1 196.18	1.16	1.840	0.999
2 打 2 分	1 208.98	1.23	1.140	1.000
2 打 3 分	1 460.39	1.27	0.674	0.999
3 打 1 分	923.87	1.18	2.240	1.000
4/5 打分	679.86	1.01	9.430	1.000

烟特征尺寸。对各风分口样品的超大片比例与片烟特征尺寸($x_{0.5}$)进行线性拟合(如图 3 所示),所得回归方程为 $x_{0.5} = 286.23 + 33.24m$, $R^2 = 0.989$,表明打叶去梗各级风分口片烟的特征尺寸与其中超大片比例存在较好的线性关系。

各打叶风分口片烟大小分布的均匀性系数介于 1.01~1.27,四/五级打叶后片烟大小均匀性最差,第二级打叶单元

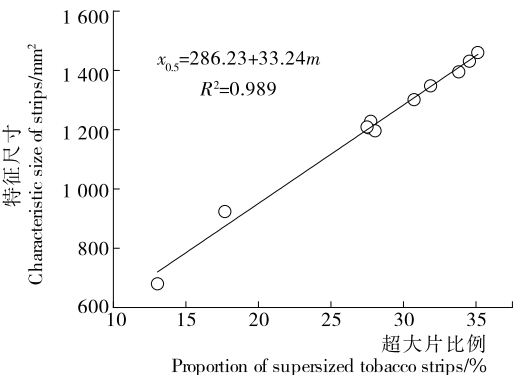


图 3 片烟特征尺寸与超大片比例的线性拟合结果
Figure 3 The linear fitting between characteristic size of strips and Proportion of supersized tobacco strips

内的第三级风分器分离出片烟尺寸分布均匀性最高。

2.3 各级打叶风分汇总片烟尺寸分布变化

将同一级打叶单元内各风分口片烟样品汇总,计算各面积区间内片烟比例,并将其转换为叶片结构比例。由图 4 可见,各级打叶单元<2.36 mm 的碎末比例稳定且均较低,说明风分器出口至叶片汇总皮带间的碎末振筛筛分正常;碎片和小片比例随着打叶级数升高有增加趋势,12.7~25.4 mm 的中片比例在第一级、第二级打叶单元较稳定(21.5%左右),随打叶级数继续升高有增加趋势;>25.4 mm 的大片比例在各级打叶单元内均占比最高,第一、二级打叶单元烟片中的大片率可达 74.0%左右,第三、四/五级打叶单元内大片率逐渐降低,分别为 62.5%和51.0%;尺寸>44.5 mm 的超大片比例在各级打叶单元内的变化规律与大片基本保持一致。因此,第三、四/五级打叶单元产生的叶片更符合“控制大片率、提升中片率”的理念,但因其出片率较低,对汇总后整体叶片结构影响有限,而第一、二级打叶单元出片率较高,且其中的大片率(尤其是超大片比例)高,为有效进行片烟结构质量优化,应针对性地对一级、二级打叶单元设备参数及工艺进行调整。

对同一级打叶单元内汇总片烟样品计算划定区间的限下累积面积百分比,并利用片烟尺寸分布函数对其进行数据拟合(图 5),计算各级打叶风分单元内片烟样品的特征尺寸及均匀性系数(图 6)。由图 6 可见,片烟特征尺寸随打叶级数增加逐渐降低,从第一级至第四/五级打叶单元片烟特征尺寸从 1 310.19 mm²降低为 679.86 mm²,降幅可达 48%;片烟均匀性系数也呈逐渐降低趋势,尤其在第三、四/五级打叶单元内降幅明显,表明从第一级打叶单元至第四/五级打叶单元,片烟整体尺寸逐渐变小,且片烟整体均匀性也降低。

3 结论

采用片烟尺寸分布测试方法,研究了各级打叶风分单元分离片烟的尺寸变化规律,结果表明:① 各级风分器分离的烟片尺寸在所划分的 14 个面积区间内总体变化趋势基本一致。其中第一、二级打叶单元内各风分口的大中片率较为稳定(均为94%以上),每一级打叶单元内,超大片比率随风分

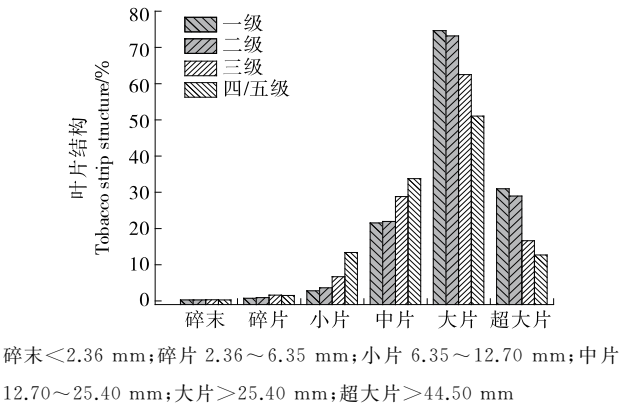


图 4 各级打叶风分汇总片烟叶片结构变化
Figure 4 Variations of tobacco strip structure from different stages threshing unit

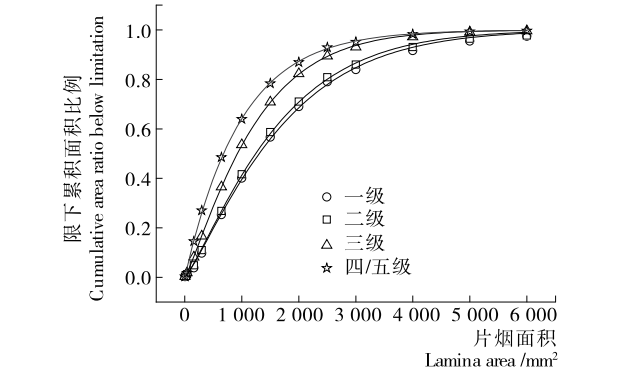


图 5 各级打叶风分汇总片烟尺寸分布拟合结果
Figure 5 Fitting results of size distribution of strips from different stages threshing unit

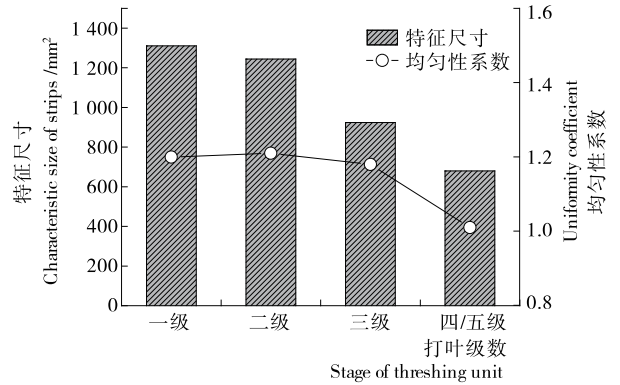


图 6 各级打叶风分汇总片烟特征尺寸及均匀性系数
Figure 6 Characteristic size and uniformity coefficient of strips separated from different stages of threshing unit

级数的增加呈上升趋势,在第三、四/五级打叶单元内超大片比例迅速降低,小片率明显升高。② 各风分口片烟大小均符合片烟尺寸分布方程,在第一级、二级打叶单元内,片烟特征尺寸随风分级数增加而变大,在第三、四/五级打叶单元内片烟特征尺寸逐渐变小;基于此,获得了风分口片烟的特征尺寸与其中超大片比例间的线性方程。③ 同一级打叶单元内的各级风分片烟汇总后,特征尺寸随打叶级数增加逐渐降低,从第一级至第四/五级打叶单元降幅可达 48%,且片烟尺寸均匀性也逐渐降低。

参考文献

[1] 陈家东,陶智麟,刘全喜. 打叶复烤加工过程造碎及碎烟处理工艺研究[J]. 烟草科技, 2000(4): 4-7.
[2] 罗登山,曾静,刘栋,等. 叶片结构对卷烟质量影响的研究进展[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2010(2): 13-17.
[3] 罗海燕,方文青,谢鑫,等. 打叶质量与出片率的关系[J]. 烟草科技, 2005(1): 8-10, 19.
[4] 李跃锋,姜焕元,刘志平,等. 烟叶温度和含水率与打叶质量的关系[J]. 烟草科技, 2005(2): 5-6, 18.
[5] 刘利锋,王花俊,朱晓牛,等. 不同打叶参数对打叶质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009(24): 11 519-11 520, 11 531.

(下转第 151 页)

起来是必然之选。利用现有的材料搭配出更具膳食平衡的配方表,满足不同个体的需求。并且进一步研发出适合多种材料的 3D 打印设备,针对不同打印材料分析总结出其特有的工艺参数。对于 3D 打印的物品,不仅能够个性化制作,更能够在一定程度上节省劳动力,提高工作效率,这对社会进步有着一定的推动作用。并且可食用材料的 3D 打印成品不仅给食品行业开辟一条新道路,更能延伸到其他各个领域。相信可食用材料的 3D 打印技术能够在以后的生活当中发挥更大的作用,甚至改善人类的生活^[34]。

参考文献

[1] 褚雪松. 3D 食品打印关键技术研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2016: 7.

[2] 周纹羽, 李哲, 路飞, 等. 三维打印技术在食品加工领域中的应用[J]. 农业科技与装备, 2016(12): 63-66.

[3] 吴世嘉, 张辉, 贾敬敦. 3D 打印技术在我国食品加工中的发展前景和建议[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(1): 1-6.

[4] 言帆. 3D 打印技术的发展和运用[J]. 科技创新与应用, 2017 (32):147-148..

[5] 张阳春, 张志清. 3D 打印技术的发展与在医疗器械中的应用[J]. 中国医疗器械信息, 2015(8): 1-6.

[6] DERBY B. Printing and prototyping of tissues and scaffolds[J]. Science, 2012, 338(6 109): 921-926.

[7] 赖燕娜, 马顺, 李莺, 等. 从专利申请看 3D 打印技术在食品工业中的应用进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(1): 163-166.

[8] 3D 打印: 从想象到现实[J]. 中国对外贸易, 2013(10): 118.

[9] 王冰. 3D 打印技术: 催生原材料革命[J]. 资源再生, 2013(6): 16-17.

[10] 曾子贇. 上帝创造人类打印[J]. 人物, 2013(4): 52-55.

[11] 3D 食物打印机西班牙问世可自由设计形状打印美食[J]. 中外食品, 2014(1): 5-6.

[12] 张爱英, 王连才, 刘厚利, 等. 基于快速成型技术的组织工程支架制备进展[J]. 化工进展, 2004, 23(3): 267-271.

[13] 孙铁波, 李萌, 李春节. 3D 奶油打印机方案设计[J]. 机电技术, 2013(4): 37-38.

[14] 王博. 浅谈 3D 打印技术的发展与应用[J]. 机电技术, 2014 (5): 158-160.

[15] FERREIRA I A, ALVES J L. Low-cost 3D food printing[J]. Ciencia E Tecnologia Dos Materiais, 2017, 29(1): e265-e269.

[16] 洁文. 清华“煎饼侠”兄弟“3D 打印美食”[J]. 恋爱婚姻家庭: 纪实, 2016(2): 27-29.

[17] 贾礼宾, 王修春, 王小军, 等. 选择性激光烧结技术研究与应用前景[J]. 信息技术与信息化, 2015(11): 172-174.

[18] IRSEN S, LEUKERS B, TILLE C, et al. Image based analysis of bone graft samples made by 3D printing using conventional and synchrotronradiation-based micro-computed tomography [J]. Springer Proceedings in Physics, 2007, 114(3): 121-126.

[19] 李小丽, 马剑雄, 李萍, 等. 3D 打印技术及应用趋势[J]. 自动化仪表, 2014, 35(1): 1-5.

[20] 肖苏华, 巫小珍. 聚乳酸材料在桌面型 3D 打印中的应用研究[J]. 机电工程, 2015, 32(10): 1 344-1 347.

[21] 陈妮. 3D 打印技术在食品行业的研究应用和发展前景[J]. 农产品加工: 学刊, 2014(8): 57-60.

[22] 2015 年从饮食到生活的多方面科技新趋势[J]. 工业设计, 2015(2): 56-57.

[23] BABAEI V, VIDIMCE K, FOSHEY M, et al. Color contoning for 3D printing[J]. ACM Transactions on Graphics, 2017, 36 (4): 1-15.

[24] 古丽萍. 蓄势待发的 3D 打印机及其发展[J]. 数码印刷, 2011 (10): 64-67.

[25] ALYSSA Dalton. Candy bar debuts 3D printed gummies[J]. Manufacturing automation: Machine Dessig, Systems, Technology, 2016, 31(5): 7.

[26] 赵小波. 基于气动控制的蔗糖支架 3D 打印工艺参数的研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2016: 35.

[27] 丁易人. 基于挤出成型的食材 3D 打印工艺研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 51.

[28] BÉGIN-DROLET A, DUSSAULT M A, FERNANDEZ S A, et al. Design of a 3D printer head for additive manufacturing of sugar glass for tissue engineering applications [J]. Additive Manufacturing, 2017, 15: 29-39.

[29] 洪浩鑫. 糖基快速成型材料及成型机理研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2014: 8.

[30] 杨来侠, 洪浩鑫, 姚旭盛, 等. 选择性激光烧结蔗糖工艺实验研究[J]. 激光技术, 2015, 39(1): 114-118.

[31] SONG Xuan, ZHANG Zhuo-feng, CHEN Ze-yu, et al. Porous structure fabrication using a streolithography-based sugar foaming method[J]. Journal of Manufacturing Science & Engineering, 2017, 139(3): 031015.

[32] LEUNG P Y V. Sugar 3D printing: additive manufacturing with molten sugar for investigating molten material fed printing[J]. 3D Printing and Additive Manufacturing, 2017, 4(1): 1-5.

[33] 刘焕宝, 周惠兴, 刘小龙, 等. 3D 打印在食品行业中的应用[J]. 中国农业文摘: 农业工程, 2017, 29(2): 36-37.

[34] 刘天宇, 周惠兴, 张鑫, 等. 食品及软性材料 3D 打印技术的研究与应用进展[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(5): 55-59.

(上接第 37 页)

[6] 卫盼盼, 吴祚友, 安银立, 等. 烟叶物理特性与打叶风分工艺参数的关系[J]. 烟草科技, 2014(8): 5-9.

[7] 刘楷厘, 王晓娟, 陈良元, 等. 滚筒复烤方式下片烟的尺寸分布变化特征[J]. 烟草科技, 2016(3): 84-90.

[8] 徐大勇, 李新锋, 范明登, 等. 复烤温度对片烟收缩率及大小分布的影响[J]. 烟草科技, 2013(3): 12-16.

[9] 余娜. 片烟结构与叶丝结构关系研究[D]. 郑州: 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 2012: 48-57.

[10] 高伟, 王晶, 米锋, 等. 打叶器结构对打后片烟片形的影响[J]. 烟草科技, 2018, 51(1): 93-97.

[11] 吕耀印, 王涛, 杜阅光, 等. 一级打叶单元出叶量及其分布对叶片质量的影响[J]. 烟草科技, 2013(2): 12-15.

[12] 曾静, 徐大勇, 李跃锋, 等. 片烟叶面积分布[J]. 烟草科技, 2010(10): 12-15.