

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.03.004

基于微流体水分散失的茶叶杀青研究

钟江, 单保淋, 乔欣

(特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室(浙江工业大学), 浙江 杭州 310014)

摘要:针对茶叶粗加工中杀青等工艺存在的失水机理不明确的问题,提出一种基于微观流体的水分散失模型。利用 FLUENT 软件构建了茶叶单细胞和多细胞的失水模型,对其失水过程做了仿真研究。结合热风滚筒杀青设备,将热风滚筒杀青机的进风口风帽由内凹改成外凸。仿真结果表明:在一定范围内,温度升高对细胞内部的水流速度有略微的影响,但流动速度加快不显著;优化后的进风口结构有利于杀青质量的提高。从微观角度对茶叶鲜叶中水分的流动进行分析,可为茶叶杀青等相关干燥失水设备的研发提供研究基础。

关键词:茶叶加工技术;杀青;微流体;失水模型;EDEM-FLUENT 软件

中图分类号:TS272.3

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2016)03-0014-04

Research of Tea Fixation Based on Microfluid

ZHONG Jiang, SHAN Baolin, QIAO Xin

(Key Laboratory of E & M (Zhejiang University of Technology), Ministry of Education & Zhejiang Province, Hangzhou 310014, China)

Abstract: To solve the problem of water loss mechanism during tea steaming process, water loss model based on the micro flow water was proposed. The water loss model of single cell and multi cell was constructed in Fluent. Combined with the air cylinder drying equipment, the structure of air inlet was optimized. The results show: within a certain range, the temperature rise has a slight effect on the flow velocity of the cell. The air inlet structure of air cylinder drying machine changed from concave to convex can improve the quality of fixing. The flow of water was analyzed in micro-scale, which could provide research foundation for developing tea steaming and other related drying equipments.

Key words: tea processing technology; fixation; microfluid; water loss model; EDEM-FLUENT

中国茶叶的产量和产值巨大,茶叶的杀青质量直接影响成品茶的品质。杀青的本质是水分的流失,相对于传统的流体力学理论,当流体流场的特征长度达到微米量级时,在较大长度尺度时被忽略掉的许多流体效应和过程就变得重要起来,对这种小长度尺度系统的研究目前尚处于起步阶段,这一新的领域就属于微流体动力学的研究范畴。微流体是一门新兴学科, Jean-Louis-Marie Poi-seuille 在 1846 年发表一篇论文,描述了直径 30 ~ 150 μm 的管道内流体流动开启了微流体的研究。在微机电系统 (micro-electro-mechanical system, MEMS) 应用的促进下,研究人员从 20 世纪 80 年代后期开始对微通道内的气体和液体进行实验研究。微流体和宏观流体存在很大的不同,主要表现为

微尺度效应和介质连续性。

朱鑫庆^[1]研究了描述植物细胞生长过程的物理模型及膨压在植物细胞生长中的生理作用。Hiroshi Nonami^[2]对植物水势的测定方法做了比较和分析。高等植物细胞质膜、液泡膜上存在着丰富的水通道蛋白,它广泛分布于几乎所有器官和组织,并具有一定的组织特异性,水通道蛋白的发现丰富了人们对水分跨膜转运机制的认识,植物水通道蛋白在水分吸收、渗透调节、细胞的伸长和气孔运动等方面都有重要作用。张璐等人对水通道蛋白的结构特征、工作原理、对细胞水分的影响等基本问题做出了重要的研究^[3-4]。Persson Erik^[5]对细胞的水动力问题做了探索和研究。Masashi Tazawa^[6]发现水通道并没有限制细胞内水分的蒸发。

收稿日期:2015-12-20;修回日期:2016-02-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目:基于微流体动力学的茶叶干燥机理研究(31201138)。

作者简介:钟江(1982),男,浙江鄞州人,博士后,助理研究员,主要研究方向为农产品加工技术。E-mail:zhongjiang1982@126.com

目前国内外,针对茶叶杀青研究较多的是基于制茶经验对机械设备和控制系统的设计优化^[7-10],但从微流体领域对杀青机理进行研究从而优化设备的做法较少,且目前尚无针对茶叶的微水动力学失水模型研究。对茶叶杀青问题的微水动力学机理研究,有助于对农作物干燥的微观原理和宏观规律进行补充和修正,建立较完善的茶叶干燥理论模型,优化现有茶叶杀青设备。

1 茶叶水分散失的过程

水分的蒸发与吸收,总是同时存在于物料的干燥过程中。被杀青的湿茶坯,由于水分的蒸发,其表面形成一定体积分数的水汽分子层,该薄层的水汽分压如果大于空气环境中的水汽分压,则水汽分子自茶叶表面移动至周围环境中的数量多于相反的过程,宏观上就表现为茶叶的水分蒸发;对于含水率很低的茶叶,其表面水汽分子的体积分数很低,这种薄层的水汽分压如果小于空气中的水汽分压,水汽分子从空气中移动到茶叶中的数量多于相反的过程,宏观上就表现为茶叶的吸湿。当茶叶表面的水蒸气压与空气中的水汽压相等时,蒸发与吸湿的速率相同,处于动态平衡,茶叶含水率保持不变,此时的茶叶含水率为平衡含水率。

水分在茶叶中的转移目前有2种观点:一个是扩散理论,另一个是毛细管理论。

扩散理论认为在均匀茶叶堆中,水分主要通过扩散移动到茶叶堆表面。其移动速度的大小取决于茶叶堆的温度梯度和水分在茶叶堆中的扩散系数 E_w ,且有

$$E_w = K\gamma \frac{\partial W}{\partial X} \quad (1)$$

式中: E_w 是茶叶在制品水分的湿扩散系数; K 是水分传导系数; γ 是茶叶的容重; W 是茶叶含水率; X 是水分迁移距离; $\frac{\partial W}{\partial X}$ 是茶叶散粒体的湿度梯度。

公式(1)表明,茶叶干燥速率的大小取决于其本身的湿度梯度和水分传导系数。

毛细管理论认为,叶子内部有着很多形状各异,直径不等的毛细孔,形成高低不平的液面。当表面水去除后,内部水会借毛细管力而被吸上来。大孔的水蒸发快,小孔的水蒸发慢。随着水分蒸发的进行,蒸发面逐渐向内移动,当移动至孔径细窄处,水分就停止蒸发。

2 茶叶单细胞水分散失模型及仿真

细胞表面覆盖了一层细胞膜,细胞膜是双磷脂分子层结构,细胞通过膜上的蛋白通道进行水分的内外流通,在仿真当中,用多孔介质模型进行模拟,表面随

机设置数量约为100个小孔。小孔起到蛋白质的作用,水通过小孔从细胞内流到细胞外面,细胞外部水分蒸发,溶液质量分数随之升高,当外界溶液质量分数大于细胞内溶液质量分数时,发生渗透作用,水分就会从细胞内运动到细胞外,这就是细胞的水分散失过程。在这一过程中,除了内外溶液质量分数差,温度是影响散失速度快慢的另一重要因素。

单细胞网格模型如图1所示,中间的圆为单个细胞,外界的方框代表叶片内部的组织溶液,细胞直径为5 μm ,内外溶液质量分数差设定为20%,细胞膜参数按照茶叶细胞生理和物理参数进行设定。

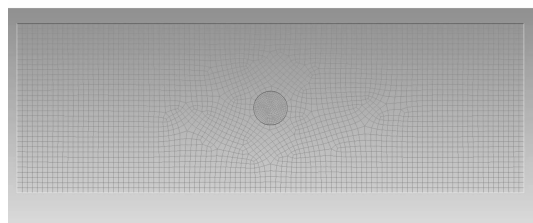


图1 单细胞模型

Figure 1 Single cell model

图2为单个细胞仿真的结果图,中间的圆形为细胞,开始阶段里面都是水溶液,左右两侧进行加温,因为溶液质量分数差的存在,细胞内的水分不断的渗透出,细胞从两边向中间凹陷。

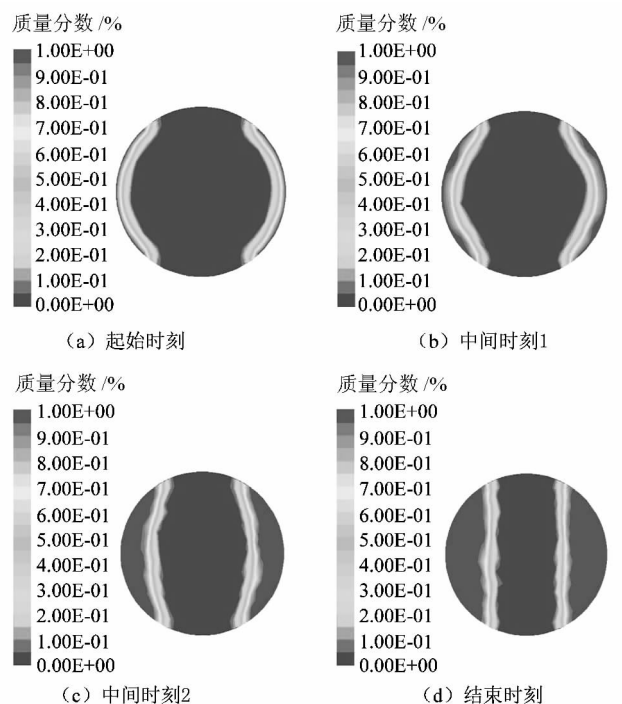


图2 单细胞仿真结果

Figure 2 Simulation result of single cell model

凹陷速度与温度的关系如图3所示,在一定范围内,温度升高对细胞内部的水流速度有略微的影响,流动速度加快不显著。

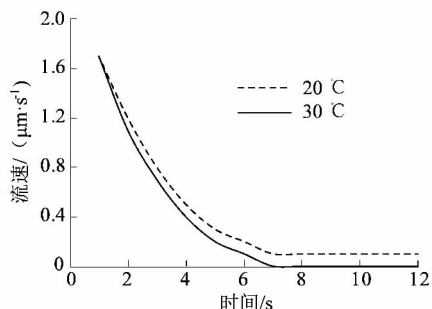


图3 单细胞渗透流速与温度的关系

Figure 3 Relationship between velocity and temperature of single cell model

3 茶叶多细胞水分散失模型及仿真

水分从细胞中散失到细胞外界的溶液当中,外界的溶液同时也存在着流动,温度不只是对水分的蒸发产生影响,水分在细胞周围的运动情况也会受到影响。

网格模型如图4所示,构建了包含13个圆形细胞在内的细胞团,进行网格划分,网格大小为 $1\text{ }\mu\text{m}$,当细胞周围的水分蒸发变成气体,质量分数升高,细胞内的水就会渗透出来,形成水分运动过程。设定水分从细胞团上面穿过细胞团向下流动。

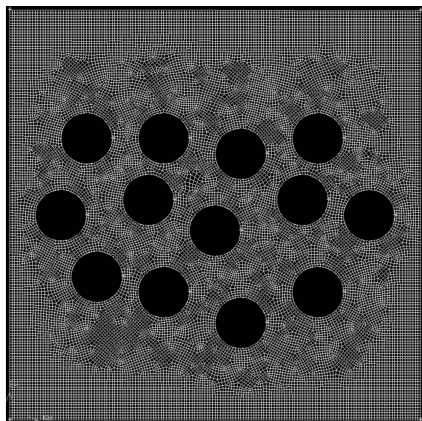


图4 多细胞模型

Figure 4 Multi cell model

图5为速度云图,从图中可得流体运动的状态是层流,很小部位稍微有湍流的趋势,可以忽略不计。加入温度条件后,在一定范围内,温度升高,流速从矢量图与云图上显示并不明显。

4 热风滚筒杀青机优化仿真

热风滚筒杀青机包含滚筒的转动、滚筒与茶叶颗粒之间的相互作用以及茶叶颗粒群内部的接触、摩擦

速度/($\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

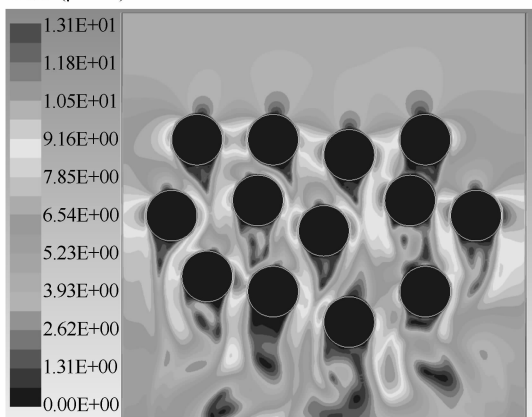


图5 多细胞水分运动图

Figure 5 Multicellular water movement

和碰撞等,是一种复杂的气固两相流运动。结合微流体的仿真结果,应用 EDEM-FLUENT 耦合的方法实现颗粒-流体的耦合仿真。

在热风滚筒杀青机中茶叶的杀青过程主要发生在闷杀段,热风通过进风管进入闷杀段,而闷杀段与透杀段之间设置了防止热风迅速外溢的挡板,因此形成相对封闭的区间使得杀青叶叶温能迅速升高,其具体结构和基本参数分别如图6和表1所示。将进风口风帽由内凹改成外凸分别进行仿真。

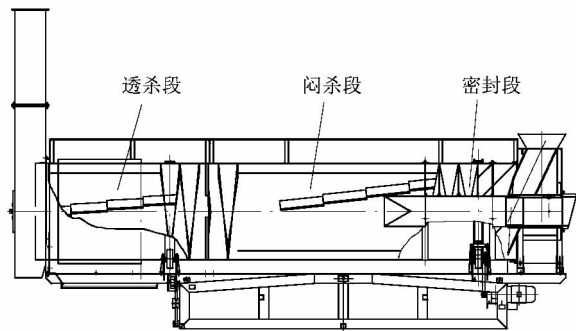


图6 热风滚筒杀青机结构图

Figure 6 Hot air tea fixation machine

表1 滚筒杀青机结构参数

Table 1 Structural parameters

闷杀段长度/mm	滚筒直径/mm	转速/($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$)	滚筒倾角/($^{\circ}$)	导叶板高度/mm	导叶板宽度/mm
2 300	1 000	20	2	50	12

由图7和图8所示为径向距离 $R=400\text{ mm}$ 处的温度值,可知优化后的热风滚筒杀青机闷杀段温度场的高温区与优化前相比较增加了约 0.26 m 的长度,且滚筒出茶口位置的温度比优化前的温度高,不仅可以

提高能源的利用率,而且有利于茶叶杀青的产量和质量提高。

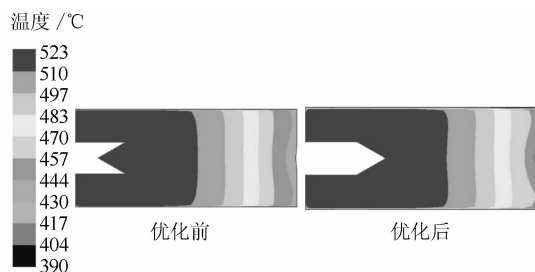


图7 优化前后滚筒内温度场云图

Figure 7 Temperature field of cylinder before and after optimization

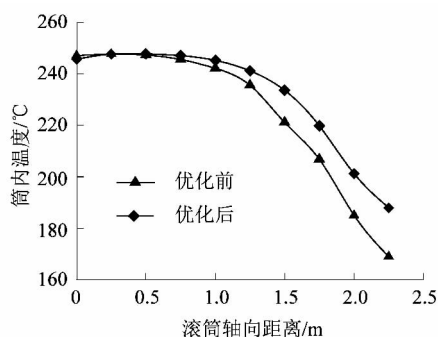


图8 优化前后闷杀段相同位置处温度

Figure 8 Temperature at same radius of boring section before and after optimization

对 EDEM 中的数据进行统计分析,可以获得如图 9 所示的优化前后茶叶颗粒在杀青过程中的温度变化曲线图,图中 $T_1(S)$ 和 $T_2(S)$ 分别表示优化前和优化后茶叶在温升阶段的平均温度与其在滚筒轴向距离之间关系的拟合曲线,且可得

$$T_2(S) = 111S + 16.2。$$

式中: S 为茶叶在滚筒里的轴向距离/ m 。当 $S = 0.529$ m 时,茶叶表面的温度为 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,与原始结构比较约增加了 25% 。

5 结语

基于茶叶叶片内部生理结构,构建了茶叶的单细胞和多细胞水分散失模型,从微观流体领域对茶叶失水过程进行了仿真分析。并利用 EDEM-FLUENT 实现

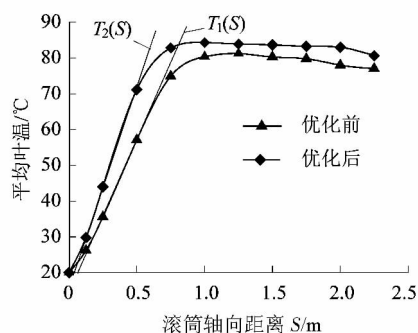


图9 优化前后茶叶颗粒平均温度

Figure 9 Tea particle average temperature before and after optimization

颗粒-流场的耦合仿真,对茶叶滚筒杀青机的进风管口结构进行优化分析。结果表明优化后的结构能显著提升茶叶杀青效率和质量,为农产品水分散失类设备的设计提供了理论基础。

参考文献:

- [1] 朱鑫庆,王伯初,付雪,等. 膨压在植物细胞生长中的作用[J]. 生物物理学报,2013,29(8):583-593.
- [2] NONAMI H,SCHULZE E D. Cell water potential,osmotic potential, and turgor in the epidermis and mesophyll of transpiring leaves[J]. Planta,1989,177(1):35-46.
- [3] 张璐,杜相革. 植物水孔蛋白研究进展[J]. 植物科学学报,2014,32(3):304-314.
- [4] 杨启良,张富仓,刘小刚,等. 植物水分传输过程中的调控机制研究进展[J]. 生态学报,2011,31(15):4427-4436.
- [5] ERIK P,BERTIL H. Cell water dynamics on multiple time scales[J]. Proceedings of the national academy of sciences of the united states of america,2008,105(17):6266-6271.
- [6] TAZAWA M,OKAZAKI Y. Water channel does not limit evaporation of water from plant cells[J]. Journal of plant research,1997,110(3):1103-1112.
- [7] 蔡剑雄,任静,李春方,等. 不同杀青方式对富硒抹茶品质的影响[J]. 食品工业科技,2015,36(14):156-160.
- [8] 施重驹,张宪,钟江,等. 基于多相流耦合的热风杀青过程与杀青机结构优化研究[J]. 机电工程,2015,32(8):1050-1055.
- [9] 赵梨铭. 茶叶智能化汽热杀青机控制系统[J]. 轻工机械,2009,27(2):71-74.
- [10] 沈斌,张宪,赵章风,等. 基于模糊PID的双闭环茶叶杀青控制系统研究[J]. 机电工程,2013,30(10):1218-1221.