

基于 CFD 技术的瓶装啤酒隧道式巴氏杀菌过程研究

Study on tunnel pasteurization of bottled beer based on CFD technology

程 菊¹ 安家彦¹ 董文勇² 王 越¹

CHENG Ju¹ AN Jia-yan¹ DONG Weng-yong² WANG Yue¹

(1. 大连工业大学生物工程学院, 辽宁 大连 116034; 2. 大连市第 21 中学, 辽宁 大连 116021)

(1. School of Biological Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China;
2. No.12 Middle School of Dalian, Dalian, Liaoning 116021, China)

摘要:通过数值模拟瓶装啤酒隧道式巴氏杀菌的过热阶段(巴氏杀菌加热部分的最后一个阶段),确定瓶中的冷核(slowest heating zone, SHZ),并运用 $L_9(3^4)$ 正交试验,分析喷淋水温度、喷口处喷淋水湍流强度以及瓶子的运行速度三因素对瓶中啤酒温度分布均匀性的影响。结果表明:冷核起先是位于瓶底,后向上移动,但不超过灌装高度的 1/2;在加热至 7 min 时,喷淋水温度、喷口处喷淋水湍流强度影响显著,瓶子的运行速度则不显著,试验的可能的最优条件:喷淋水温度为 65 ℃,喷口处喷淋水湍流强度为 3%,瓶子运行的速度为 3 mm/s。

关键词:啤酒;巴氏杀菌;数值模拟;冷核

Abstract: In the industrial processing of beer, pasteurization is necessary to guarantee its biological stability. The superheat phase (the last part of heating phase) was numerically simulated, in which the slowest heating zone (SHZ) inside the bottle was determined, and then the influence of three parameters on the uniformity of temperature distribution inside the bottled beer during pasteurization, i. e. the temperature of spray water, the turbulent intensity of spray water at the spray nozzles and the running velocity of bottles were analyzed using $L_9(3^4)$ orthogonal experiments. The results indicated that SHZ lay at the bottom of the bottle at the beginning and then moved upward without exceeding 1/2 of filling height of beer. Besides, after heating for 7 min, the temperature and the turbulent intensity of spray water at the spray nozzles affected the uniformity of temperature distribution inside the bottled beer obviously, while the running velocity of bottle had no significant effect on it. Our results showed that the probable optimum condition was 65 ℃ temperature of spray water and 3% turbulent intensity of it at the spray nozzles as well as 3 mm/s running velocity of bottle.

作者简介:程菊,女,大连工业大学在读研究生。

通讯作者:王越(1972—),女,大连工业大学副教授,博士。

E-mail: wydqs2004@163.com

收稿日期:2016—02—16

Keywords: beer; pasteurization; numerical simulation; slowest heating zones (SHZ)

隧道式巴氏杀菌是啤酒工业化生产过程中,杀死啤酒中的微生物以提高其生物稳定性的最常用的方法之一^[1]。隧道式巴氏杀菌机包括加热区(包括预热区和过热区)、保温区和冷却区三大温区^[2-3]。在加热区,啤酒温度大约由 2 ℃ 上升至 60 ℃;在保温区,维持在 60 ℃;经冷却区处理后,产品的温度由 60 ℃ 降至 21~27 ℃^[4]。瓶装啤酒在巴氏杀菌过程中,啤酒以酒瓶为界面进行传热:靠近瓶壁的啤酒温度升高,密度减小,而中心部分温度相对较低,密度相对较大,产生自然对流^[5-6]。这就形成了冷核。冷核是在食物产品热处理过程中,吸收热量最少(或杀菌强度最弱)的区域^[7-8]。因此,在啤酒巴氏杀菌的过程中,既要保证冷核达到灭菌要求,又要使瓶中除冷核以外的区域不会过巴氏杀菌,以免改变啤酒的感官,造成啤酒品质的降低。这就要求瓶中啤酒温度分布要均匀。

目前研究瓶中啤酒的温度分布及冷核的方法有两种:① 在线检测瓶中温度和数值模拟啤酒巴氏杀菌过程。在线监测过程中,温度探针会影响瓶中液体的流动和温度分布^[9-10],同时只能检测一个位置,而冷核的温度和位置会随时间和包装容器结构变化而改变^[11-12],且在线监测的费用较高,操作复杂。② 借助计算流体力学(computational fluid dynamics, CFD)技术,数值模拟啤酒巴氏杀菌过程,从而得到包装容器内液体的传热规律,可有效控制食品的品质。而且 CFD 能缩短时间,减少花费^[13-14]。目前,CFD 模拟已被用于研究啤酒的巴氏杀菌过程,如:优化啤酒巴氏杀菌机的隧道结构^[15];啤酒瓶方位的变化对巴氏杀菌单位(pasteurization unit, PU)的影响^[2];瓶内对流流动对巴氏杀菌效果和老化效果的影响^[3];瓶装和罐装对包装内啤酒温度分布、速度分布和 PU 的影响^[16];啤酒巴氏杀菌结束后,啤酒的出口温度和 PU 值是否达标^[17];随着加热的进行瓶内温度分布和 SHZ 位置的变化

以及啤酒中酵母的死灭程度(用 PU 表示)^[8]等。

在巴氏杀菌过程中,瓶内啤酒的冷核和温度分布受加热时间、瓶子间距、瓶子移动的速度、喷淋水的温度和喷口处喷淋水湍流强度的影响^[18-19]。目前,已有关于瓶中啤酒冷核随时间变化^[8]及瓶中啤酒加热速率随喷淋水的喷淋强度变化的研究^[19],但未见瓶子移动的速度、喷淋水的温度和喷口处喷淋水湍流强度对瓶中啤酒温度分布的影响的研究。因此本研究拟考察隧道式巴氏杀菌的过热阶段,运用 L₉(3⁴)正交试验,分析喷淋水温度、喷口处喷淋水湍流强度以及瓶子的运行速度三因素对瓶中啤酒温度分布均匀性的影响,为瓶装啤酒巴氏杀菌提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 CFD 模拟的验证方法

选取高 274 mm,直径 72 mm,容积为 500 mL 的啤酒瓶为研究对象,其模型见图 1。试验所用的巴氏杀菌机型号为 SBW40A(广东轻工机械二厂有限公司)。压好盖的瓶装生啤酒通过巴氏杀菌机的隧道时,用 ZH5793 PU 计(北京中慧天诚科技有限公司)分别测定隧道中不同位置上的瓶中啤酒的温度(轴线上灌装高度 1/3 处温度),计算过热阶段瓶中啤酒不同时间酒温的平均值。

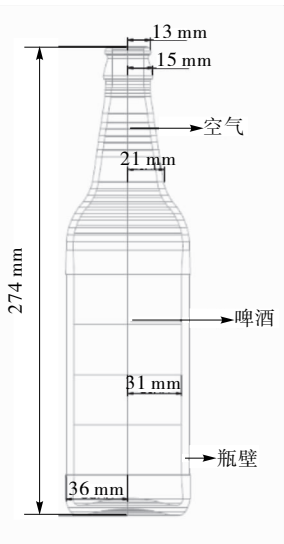


图 1 啤酒瓶模型

Figure 1 Model of beer bottle

1.2 几何模型

因计算机的计算能力有限,动网格的计算复杂,在三维条件下,整个模型很难进行计算,而在二维条件下既能节约计算时间,又能节省人力和物力。所以整个模型是二维的。

巴氏杀菌机模型网格的建立使用前处理软件 Gambit 2.3.16,模型的网格数为 209 319,流体计算使用 Fluent 12.0。喷淋口与瓶口的距离为 300 mm,啤酒瓶个数为 142 个(设置了边界条件的为 3 个),瓶子间距为 16 mm。二维网格模型的部分示意图见图 2。

1.3 控制方程(governing equation)

运用 Ansys Fluent 12(2009)软件求解模型及相关边界

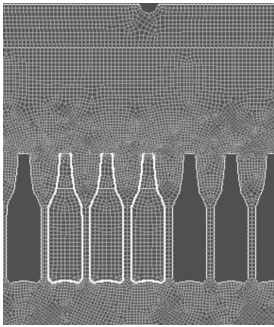


图 2 二维网格模型的部分示意图

Figure 2 A part of the meshed model in second dimension

条件的连续性方程、动量方程、能量方程^[20]。

(a) 连续性方程(continuity equation)或质量守恒方程(conversation of mass equation):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v) \frac{\rho v}{r} = S_m, \tag{1}$$

式中:

ρ ——密度,kg/m³;

t ——时间,s;

x ——轴向坐标;

u ——轴向速度,m/s;

v ——径向速度,m/s;

r ——径向坐标;

S_m ——源项,指加入到连续相的质量(例如液滴的蒸发),也指其他自定义源项,kg。

(b) 动量守恒方程:

轴向的动量守恒方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \rho u u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v u) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[r \mu \left(\frac{2 \partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right) \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \mu \left(\frac{2 \partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + F_x, \tag{2}$$

径向的动量守恒方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \rho u v) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho v v) = - \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[r \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial r} \right) \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \mu \left(\frac{2 \partial v}{\partial x} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right) \right] - 2 \mu \frac{v}{r^2} + \frac{2}{3} \frac{\mu}{r} (\nabla \cdot \vec{v}) + \rho \frac{w^2}{r} + F_r, \tag{3}$$

其中:

$$\nabla \cdot \vec{v} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r}, \tag{4}$$

式中:

P ——静压,Pa;

μ ——黏度,kg/(m·s);

F_x 和 F_r ——外部体积力,N。

(c) 能量守恒方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) - \sum_j h_j J_j + u_j (\tau_{ij})_{eff} + S_h, \tag{5}$$

其中:

$$\tau_{ij} = \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \text{ ,} \tag{6}$$

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{u_i^2}{2} \text{ ,} \tag{7}$$

式中:

- τ_{ij} ——应力张量;
- S_h ——化学反应热和其他体积热,J;
- k_{eff} ——有效导热系数,W/(m·℃);
- J_j ——组分 j ’扩散通量,mol/(m²·s)。

表 1 空气、啤酒、玻璃和水的热物理性质

Table 1 The thermophysical properties of beer, glass, air and water

特性	密度(ρ)/ (kg·m ⁻³)	导热率(k)/ (W·m ⁻¹ ·℃ ⁻¹)	比热容(C_p)/ (J·kg ⁻¹ ·℃ ⁻¹)	黏度(μ)/ (kg·m ⁻¹ ·s ⁻¹)
空气	1.2	2.4e-2	1 006.4	1.8e-5
啤酒	998.2	-8.1e-6T ² +1.9e-3T+0.5	0.02T ² -2.0T+4 118.0	5.2e-4
玻璃	2 449.0	1.4	750.0	
水	998.2	0.6	4 182.0	1.0e-3

表 2 L₉(3⁴) 正交试验方案

Table 2 L₉(3⁴) Orthogonal schemes

试验号	A 喷淋水温 度/℃	B 喷口处喷淋水 C 湍流强度/%	C 瓶子运行速度/ (mm·s ⁻¹)
1	61	1	3
2	61	2	5
3	61	3	7
4	63	1	5
5	63	2	7
6	63	3	3
7	65	1	7
8	65	2	3
9	65	3	5

2 结果与讨论

2.1 CFD 模拟的验证

为了确保 CFD 模拟的可靠性,先对其进行实验验证。啤酒在通过巴氏杀菌过热区(工艺参数:喷淋水温度为 61℃,初始温度 48℃,加热 9 min)时,将啤酒瓶轴线上灌装高度 1/3 位置处的温度实验值和模拟值进行对比,结果见图 3。由图 3 可知,模拟值与实验值的温度曲线走势相同,它们之间的最大标准差为 0.21,所以可以认为它们是吻合的。可见模拟所设置各项参数是合理的,可以进行接下来的数值模拟。

2.2 冷核的确定

为了考察瓶内啤酒在过热区的温度分布情况,设过热区喷淋水的温度为 61℃,喷口处喷淋水湍流强度为 1%,瓶子运行速度为 3 mm/s,按照方法 1.2 和 1.3 进行数值模拟,结果见图 4。

1.4 模拟条件

啤酒、玻璃啤酒瓶、空气和水的热物理性质列于表 1^[8, 16, 21-23]。黏度模型采用 k-epsilon 中 RNG 模型,喷嘴及其附近的长方形区域为动网格,运动速度大小为 5 mm/s。瓶内的初始温度为 48℃,瓶内压力为 1.55×10⁵ Pa。压力和速度的耦合计算采用 SIMPLEC 算法。

1.5 L₉(3⁴) 正交试验

瓶中啤酒温度分布均匀性和冷核受喷淋水温度、喷口处喷淋水湍流强度和瓶子运行速度的影响,因此确定四因素三水平的正交试验,其试验方案见表 2。

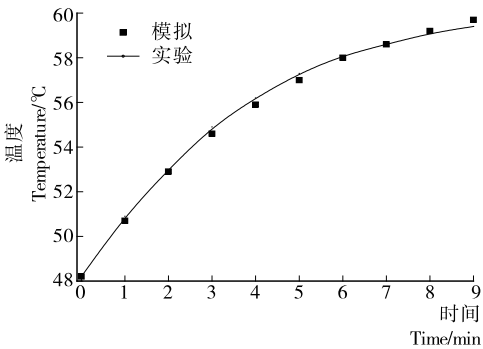


图 3 模拟温度与实验温度曲线的比较

Figure 3 Comparison between simulation temperature curve and experimental temperature curve

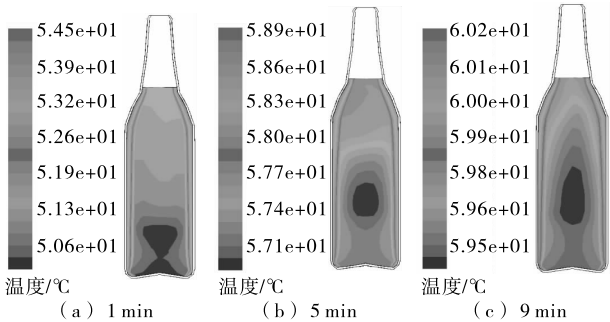


图 4 瓶中啤酒温度分布云图

Figure 4 Temperature profile inside the bottle

由图 4 可知,1,5,9 min 时瓶中啤酒有明显温度分布梯度,具有冷核,且冷核位置是随着时间在变化的。1 min 时冷核位于瓶底,这与传统的理论相符;但随着时间的进行,冷核位置在不断的变化,到 5 min 时,冷核的位置位于啤酒灌装高度 1/4~1/2。瓶内啤酒在加热过程中由于局部温度、密度等的差异,引起啤酒的自然对流,从而影响传热效果,温度分

布不均匀,因此有冷核存在。靠近瓶壁的啤酒先受热,温度较瓶中心的啤酒温度更高,所以冷核一直位于啤酒瓶轴线附近的区域。而且随着加热的进行,瓶底也慢慢被加热,靠近瓶底部的啤酒温度也慢慢地上升,所以冷核从瓶底向瓶底以上部分移动。

2.3 L₉(3⁴)正交试验结果

为了考察瓶装啤酒通过巴氏杀菌机的过热区时,巴氏杀菌参数—喷淋水温度、喷口处喷淋水湍流强度以及瓶子的运行速度,对瓶中啤酒温度分布均一性的影响,利用 L₉(3⁴)正交试验,数值模拟啤酒巴氏杀菌的过热阶段,分析啤酒冷核面积占啤酒总面积的比例。由于随着加热时间的延长,冷核的温度在不断升高,根据 9 组试验的不同时间的冷核温度,将 1,3,5,7,9 min 时冷核温度的取值范围分别设为小于:50.42,54.54,57.03,58.57,59.51 ℃。分别计算 9 组试验在 1,3,5,7,9 min 时啤酒冷核面积占啤酒总面积的比例,结果列于表 3。按照所设的冷核温度范围,对所得的试验数据进行方差分析,发现 1,3,5,9 min 时喷淋水温度、喷口处喷淋水湍流强度以及瓶子的运行速度对瓶中啤酒温度分布没有影响或影响不显著。这是因为在加热的 1~5 min 时,瓶中啤酒加热时间短,温度上升不显著;加热 9 min 时,瓶中啤酒温度分布已经均匀。7 min 时试验数据的方差分析及极差分析结果分别见表 4、5。

经过计算及方差分析,取检验水平 $\alpha=0.05$,由表 4 可知,喷淋水温度和喷口处喷淋水湍流强度对瓶中啤酒温度分

表 3 二维啤酒瓶模型中的啤酒冷核面积占啤酒总面积的比例

Table 3 The ratio of SHZ area to total beer area in second dimensional model of beer bottle

试验号	1 min	3 min	5 min	7 min	9 min
1	0.103	0.057	0.088	0.111	0.172
2	0.116	0.060	0.092	0.122	0.055
3	0.055	0.011	0.058	0.073	0.000
4	0.101	0.062	0.095	0.135	0.253
5	0.114	0.056	0.088	0.115	0.009
6	0.106	0.047	0.075	0.041	0.117
7	0.130	0.079	0.069	0.087	0.137
8	0.103	0.048	0.077	0.067	0.198
9	0.110	0.050	0.076	0.032	0.000

表 4 7 min 时方差分析[†]

Table 4 Variance analysis at 7 min

方差来源	S	f	$\bar{S}$	P	临界值	显著性
A	0.002 850	2	0.001 425	26.15	$F_{0.95}(2, 2)=19$	*
B	0.006 753	2	0.003 377	61.95	$F_{0.99}(2, 2)=99$	*
C	0.000 915	2	0.000 458	8.39		
误差	0.000 109	2	0.000 055			

[†] * 表示影响显著。

表 5 7 min 时的极差分析

Table 5 Range analysis at 7 min

列号	A	B	C	误差
I _j	0.306	0.333	0.219	0.258
II _j	0.291	0.304	0.289	0.250
III _j	0.186	0.146	0.275	0.275
R _j	0.120	0.187	0.070	0.025

布均一性的影响显著,啤酒瓶运行速度则影响不显著。由表 5 可知,三因素的影响主次顺序为: B>A>C,即喷口处喷淋水湍流强度>喷淋水温度>啤酒瓶运行速度,结果与方差分析的相符,而可能的最优条件组合为 A₃B₃C₁,即喷淋水温度为 65 ℃,喷口处喷淋水强度为 3%,瓶子运行的速度为 3 mm/s。

3 结论

本研究利用 CFD 技术模拟了 500 mL 瓶装啤酒的隧道式巴氏杀菌过程的过热阶段,研究喷淋水温度、喷淋口喷淋水湍流强度和瓶子运行速度对瓶中啤酒温度分布的影响,结论如下:

(1) 运用商业软件 Ansys Fluent12 模拟的巴氏杀菌过热阶段温度曲线,得到了实验温度曲线的验证,说明该模拟方法和模拟参数设置是合理的。

(2) 在加热过程中,瓶中啤酒存在冷核,表明瓶中啤酒的温度分布不均匀;冷核的位置随着加热的进行向上移动,但不超过灌装高度的 1/2。

(3) 利用 L₉(3⁴)正交试验研究啤酒巴氏杀菌的过热阶段影响因素结果表明,喷口处喷淋水湍流强度和喷淋水温度对瓶中啤酒温度分布均一性的影响显著,瓶子的移动速度则影响不明显。

参考文献

[1] BUZRUL S. A suitable model of microbial survival curves for beer pasteurization[J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(8): 1 330-1 336.

[2] AUGUSTO P E D, PINHEIRO T F, CRISTIANINI M. Using computational fluid-dynamics (CFD) for the evaluation of beer pasteurization; effect of orientation of cans[J]. Food Science and Technology, 2010, 30(4): 980-986.

[3] HORN C S, FRANKE M, BLAKEMORE F B, et al. Modelling and simulation of pasteurization and staling effects during tunnel pasteurization of bottled beer[J]. Food and Bioproducts Processing, 1997, 75(1): 23-33.

[4] ENGELMAN M S, SANI R L. Finite-element simulation of an in-package pasteurization process[J]. Numerical Heat Transfer, 1983, 6(1): 41-54.

[5] TEIXEIRA A A, DATTA A K. Numerically predicted transient temperature and velocity profiles during natural convection heating of canned liquid foods[J]. Journal of Food Science, 1988, 53 (1): 191-195.

[6] ZECHMAN L G. Location of the slowest heating zone for

natural convection heating fluids in metal containers[J]. Journal of Food Science, 1989, 54(1): 205-209.

[7] KUMAR A, BHATTACHARYA M, BLAYLOCK J. Numerical simulation of natural convection heating of canned thick viscous liquid food products[J]. Journal of Food Engineering, 1990, 55(5): 1 403-1 411.

[8] BHUVANESWARI E, ANANDHARAMAKRISHNAN C. Heat transfer analysis of pasteurization of bottled beer in a tunnel pasteurizer using computational fluid dynamics[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 23: 156-163.

[9] KANNAN A, SANDAKA P C G. Heat transfer analysis of canned food sterilization in a still retort[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 88(2): 213-228.

[10] FARID M, ABDUL GHANI A G. A new computational technique for the estimation of sterilization time in canned food[J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2004, 43(4): 523-531.

[11] GHANI A G A, FARID M M, CHEN X D. Theoretical and experimental investigation of the thermal inactivation of bacillus stearothermophilus in food pouches[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 51(3): 221-228.

[12] VARMA M N, KANNAN A. CFD studies on natural convective heating of canned food in conical and cylindrical containers[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77 (4): 1024-1036.

[13] ASLAM BHUTTA M M, HAYAT N, BASHIR M H, et al. CFD applications in various heat exchangers design: a review [J]. Applied Thermal Engineering, 2012, 32: 1-12.

[14] NORTON T, SUN Da-wen. Computational fluid dynamics

(CFD)-an effective and efficient design and analysis tool for the food industry: a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(11): 600-620.

[15] DILAY E, VARGAS J V C, AMICO S C, et al. Modeling, simulation and optimization of a beer pasteurization tunnel[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(3): 500-513.

[16] 王亮, 于艳艳, 马晓彬, 等. 罐装啤酒与瓶装啤酒的巴氏杀菌过程数值模拟[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(4): 42-46.

[17] 洪晓敏, 许茜. 啤酒巴氏杀菌过程的 CFD 数值分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 160-164.

[18] LEWICKI P P, WALCZAK W, GOSS B. Heat transfer in a tunnel pasteuriser. part i. factors affecting the rate of heating of liquid in a bottle[J]. Journal of Food Engineering, 1983, 2(4): 309-322.

[19] 樊延敏, 王长伟. 浅谈啤酒杀菌机 PU 值控制系统[J]. 啤酒科技, 2003(7): 36, 38.

[20] 张凯, 王瑞金, 王刚. Fluent 技术基础与应用实例[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版, 2010: 33-36.

[21] AUGUSTO P E D, CRISTIANINI M. Numerical simulation of packed liquid food thermal process using computational fluid dynamics(CFD)[J]. International Journal of Food Engineering, 2011, 7(4): 1-22.

[22] BAILEY R T, ELBAN W L. Thermal performance of aluminum and glass beer bottles [J]. Heat Transfer Engineering, 2008, 29(7): 643-650.

[23] ERDOGDU F, TUTAR M. A computational study for axial rotation effects on heat transfer in rotating cans containing liquid water, semi-fluid food system and headspace[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2012, 55(13/14): 3 774-3 788.

(上接第 94 页)

4 结论

本试验应用计算机视觉技术并辅以模式识别对槟榔分级进行识别判断,以 4 个等级的槟榔为研究对象,对获取的图像提取颜色、形状和纹理特征,通过试验发现有颜色和形状特征即可以获得较好的识别率。再对颜色和形状特征参数进行主成分分析提取相应的主成分输入到支持向量机模型对槟榔进行识别。在模型建立过程中,选取径向基函数(RBF)作为核函数,经过主成分分析发现,主成分数为 12 时建立的模型最佳,训练集平均识别率约为 99.86%,预测集的平均识别率约为 96.14%。试验结果表明应用根据槟榔的颜色和形状特征,采用支持向量机的模式识别方法,利用计算机视觉技术将不同等级的槟榔识别出来是可行的。该试验为计算机视觉技术对槟榔的在线分类提供了参考。

参考文献

[1] 黄丽云, 刘立云, 李艳, 等. 海南主栽槟榔品种鲜果性状评价 [J]. 热带作物学报, 2014, 5(2): 313-316.

[2] LIU Tong, XIE Jian-bin, HE Yi-zheng, et al. An automatic classification method for betel nut based on computer vision

[C]// Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 19-23 Dec. Guilin: [s. n.], 2009: 1 264-1 267.

[3] 李明, 房俊龙, 乔翊博, 等. 基于机器视觉黄瓜果实自动分级方法[J]. 农机化研究, 2016(11): 229-233.

[4] 刘燕德, 邓清. 高光谱成像技术在水果无损检测中的应用[J]. 农机化研究, 2015(7): 227-231, 235.

[5] 施健, 何建国, 张冬, 等. 基于计算机视觉鲜枣大小分级系统研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 134-137.

[6] 纪滨, 许正华, 胡学钢, 等. 基于颜色的食品品质检测技术现状及展望[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 229-232, 236.

[7] 王养廷. 基于 SVM 的遥感图像自动分类研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(6): 378-381, 385.

[8] LEEMANS V, MAGEIN H, DESTAIN M. Apple shape inspection with computer vision[C]// Proceedings of the FPAC IV Conference. Florida: [s. n.], 1997: 316-327.

[9] 田洪贞. 基于嵌入式系统人脸识别方法的研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2012: 23-38.

[10] 赵杰文, 呼怀平, 邹小波. 支持向量机在苹果分类的近红外光谱模型中的应用[J]. 农业工程学报, 2007(4): 149-152.

[11] 荆园田, 田源. 基于支持向量机核函数算法的图像分割研究 [J]. 红外技术, 2015, 37(3): 234-239.