

离心式豌豆胚皮分离机设计及分离机理分析

Design and separation mechanism on separator for pea embryo skin by centrifugation

董焕俊¹ 李家鹏² 孙传祝²

DONG Huan-jun¹ LI Jia-peng² SUN Chuan-zhu²

(1. 山东理工大学交通与车辆工程学院, 山东 淄博 255091; 2. 山东理工大学机械工程学院, 山东 淄博 255091)
(1. School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255091,
China; 2. School of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255091, China)

摘要:设计一种离心式豌豆胚皮分离机,并分析其分离机理。胚皮混合物进入高速旋转的分离盘后,在摩擦力作用下随着分离盘做圆周运动,并克服摩擦力而向外抛出。由于豆胚和豆皮假密度的差异,假密度较大的豆胚抛出的距离较远落在外面的接皮筒内,而假密度较小的豆皮则落在里面的接皮筒内,因此改变接皮筒相对于分离盘的高度,即可改变豆胚中的含皮率和豆皮中的含胚率,以适应不同企业、不同豌豆品种对分离率的不同要求。对分离盘的分离机理进行详细分析与计算,建立绝对速度 $\vec{v}_a$ 与分离盘角速度 ω 、分离盘出口半径 r 以及物料颗粒与分离盘间摩擦系数的数学模型,该模型可为离心式分离机的后续研发工作提供参考。

关键词:离心;豌豆;胚皮;分离机;机理;假密度

Abstract: A centrifugal pea embryo skin separator was designed, and its separation mechanism was also analyzed. The embryo skin did the circular motion under the action of the friction force when it entered the high-speed rotating disk and was thrown out by overcoming the friction force. Due to the different apparent density between the bean embryo and skin, the larger apparent density of the bean embryo was thrown into the outside received barrel, and the smaller apparent density of the bean skin was fallen into the inside received barrel. So change the height of the received barrel relative to the separation disc can alter the ratio of the bean embryo to the bean skin to adapt to the different enterprises requirements. This paper gave the detailed analysis and calculation of the separator mechanism, and established the mathematical model of the absolute speed $\vec{v}_a$, angular velocity ω and the exit radius r . So it can provide references for the subsequent development work.

Keywords: centrifugation; pea; embryo skin; separator; mechanism;

作者简介:董焕俊,男,山东理工大学副教授。
通讯作者:孙传祝(1959—),男,山东理工大学教授,硕士生导师。
E-mail: suncz@sdut.edu.cn
收稿日期:2015-11-30

apparent density

豌豆是一种低脂肪、高蛋白食物^[1],由于价格低廉且加工与食用方式多样,近年来被作为制粉工业的主要原料使用^[2]。豆类淀粉在食品工业上具有广泛用途,是制作火腿肠、香肠的主要添加剂,由于其直链淀粉含量高^[3-4],也是制备粉丝、粉皮等的良好原料。

目前,在豆类淀粉生产过程中普遍带皮粉碎,由于粉碎后的豆皮混合在淀粉原浆中,因此这种方式不仅给后续脱渣工序带来很大麻烦,而且由于豆皮的混入影响了淀粉和粉丝的白度等。张志彬等^[5-6]曾采用行星结构研制了一种螺旋揉搓式豌豆脱皮机,并对其脱皮机理、结构原理及特点等进行了分析研究,但这种豌豆脱皮机仅能脱除浸泡后豌豆的皮,无法将豆胚与豆皮分离。因此,吴建章等^[7]在分析了气固流态化分级和分离原理后认为,不同物料在垂直气流中的悬浮状况与物料在垂直于相对速度方向上的投影面积和物料质量的比值以及阻力系数有关;褚良银等^[8]研究了水力旋流器锥段结构形状以及锥段体积对其分离性能的影响,认为采用螺旋型锥段结构时水力旋流器处理能力最高,采用抛物线型锥段结构时水力旋流器分离修正总效率和分离精度最高,采用普通型光滑直锥时旋流器分离粒度最小;薛立桥等^[9]研制了一种旋流式豌豆胚皮分离机,但由于浸泡后豆胚与豆皮的真密度差别不大,因此分离效果不够理想;董焕俊等^[10]研制了一种摆动式豌豆胚皮分离机,但结构复杂,且工作可靠性差。

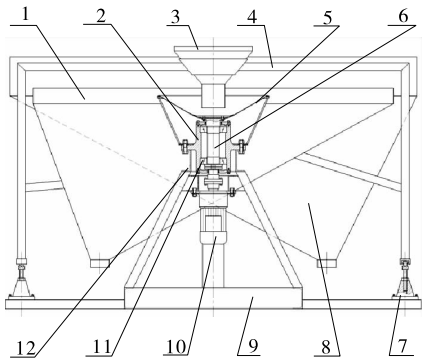
综观国内外关于豆类淀粉生产技术方面的研究及应用现状,关于豌豆脱皮、特别是脱皮后胚皮分离方面较新的研究成果较少,分离效果和工作可靠性还不能满足实际生产需求。因此,豆类淀粉行业急需一种能够方便地将豌豆脱皮后的胚皮进行分离,且结构简单、工作可靠的分离设备,以简化后续脱渣工艺,提高淀粉和粉丝质量,这对于豌豆等豆类脱

皮、分离工艺及设备的发展具有重要意义。

1 离心式豌豆胚皮分离机结构原理及特点

1.1 结构组成

离心式豌豆胚皮分离机主要由分离盘、进料斗、主轴、电动机、接皮筒和接胚筒等组成(见图 1)。连接架固定在底座上部,圆筒形轴承座通过外圆中部的联接法兰安装在连接架上,下端位于连接架内腔中,且轴承座中心线与连接架和底座的中心线同轴,保护架同轴布置在连接架和轴承座的联接法兰上方。主轴中部通过轴承支承在轴承座孔内,向下的伸出端与电动机的输出轴连接,向上的伸出端与分离盘连接。分离盘位于保护架内,上口略高于保护架、且与保护架的轴线同轴。



1. 接皮筒 2. 轴承座 3. 进料斗 4. 支架 5. 分离盘 6. 主轴
7. 可调支座 8. 接胚筒 9. 底座 10. 电动机 11. 轴承 12. 连接架

图 1 离心式豌豆胚皮分离机结构简图

Figure 1 Centrifugal pea embryo skin separator structure diagram

螺旋式可调支座中心位于以底座中心为圆心的同一圆周上,支架的各垂直段下端分别固定于可调支座顶部,水平段与连接锥环固定连接,进料斗安装在连接锥环的锥孔内。出胚漏斗上段的圆筒形接胚筒轴线与进料斗轴线同轴,下段的出胚口位于底座一侧;出皮漏斗上段的接皮筒轴线与接胚筒轴线同轴,下段的出皮口位于底座相对于出胚口的另一侧;出胚漏斗和出皮漏斗均固定在支架上。

1.2 工作原理

通电后,电动机通过联轴器驱动主轴及其分离盘高速回转。豌豆的豆胚与豆皮的混合物通过进料斗落入分离盘的中心处,在摩擦力的作用下混合物逐渐随分离盘一起加速旋转,在离心力的作用下混合物克服与分离盘之间的摩擦阻力,逐渐向边缘移动。当移动至分离盘边缘时,被向斜上方抛出。

胚皮混合物的密度包括真密度和假密度两个参数,假密度是指包括空隙在内的单位容积混合物的质量,而真密度是指排除空隙后的单位容积内混合物的质量,因此假密度比真密度要小。考虑到离心式豌豆胚皮分离机的工作环境,本设计应使用假密度。经测定,豌豆浸泡、脱皮后,豆胚的假密度为 $M_{pej} = 1\,012\text{ kg/m}^3$,豆皮的假密度为 $M_{pij} = 867\text{ kg/m}^3$ 。

由于豆胚与豆皮假密度的差异,假密度较大的豆胚被抛至距离相对较远的接胚筒内,经锥形导胚筒引导从出胚口流出;而假密度较小的豆皮则被抛至距离较近的接皮筒内,经锥形导皮筒引导从出皮口流出。

松开可调支座的锁紧螺母,拧动调整螺杆,即可调整支架及出胚漏斗和出皮漏斗的高度,从而达到改变被抛出的物料落入出胚漏斗和出皮漏斗的比例,即改变豆胚中的含皮率和豆皮中的含胚率,以适应不同豌豆品种和不同企业的生产需要。另外,改变电动机的输出轴转速,即改变分离盘的转速亦可改变豆胚中的含皮率和豆皮中的含胚率。

1.3 结构特点

(1) 豌豆的胚皮混合物经过进料斗进入高速旋转的分离盘后,在摩擦力的作用下,混合物随分离盘做圆周运动,且速度越来越快。而要将混合物从分离盘中抛出,混合物又必须得克服与分离盘之间的摩擦力。若分离盘采用平板形结构,阻碍混合物从分离盘中心向外移动的摩擦力过小,会使得混合物在分离盘中未获得足够的速度即被抛出,从而影响分离效果;若选用的锥筒形分离盘的锥角过小,则阻碍混合物从分离盘中心向外移动的摩擦力过大,使得混合物抛出不流畅,甚至会产生自锁。因此,分离盘设计为上大下小且锥角较大的锥筒形。

(2) 由于混合物被向斜上方抛出后做抛物运动,改变接皮筒的高低即可改变落入接皮筒内物料的数量,即抬高接皮筒,落入接皮筒内分离物的数量就会增加,反之则落入外面接胚筒内的分离物的数量就会增加。本设计的接胚筒和接皮筒均采用可调式结构,以适应不同企业、不同密度、不同豌豆品种对分离率的不同要求。

2 分离机理分析

为便于分析物料在分离盘中的运动轨,将物料颗粒的几何形状简化为球形,并假设物料颗粒落入分离盘时的水平速度为 0。其运动轨迹见图 2。

由物料与分离盘之间的相对运动关系可知:

$$\vec{v}_a = \vec{v}_r + \vec{v}_e, \tag{1}$$

式中:

$\vec{v}_a$ ——物料颗粒的绝对运动速度, m/s;

$\vec{v}_r$ ——相对速度,即物料颗粒相对于分离盘的螺旋运动速度, m/s;

$\vec{v}_e$ ——牵连速度,即分离盘与物料颗粒接触点的速度, m/s。

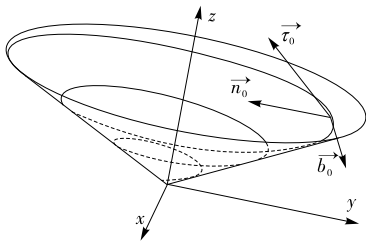


图 2 物料运动分析简图

Figure 2 Material movement analysis diagram

2.1 相对速度 $\vec{v}_r$

圆锥螺旋线的参数方程:

$$\begin{cases} x = \rho \sin \alpha \cos \theta; \\ y = \rho \sin \alpha \sin \theta; \\ z = \rho \cos \alpha; \\ \rho = \rho_0 \exp(\sin \alpha / \operatorname{tg} \beta) \theta, \end{cases} \quad (2)$$

式中:

- α ——圆锥的半锥角,rad;
- β ——螺旋线的切线与母线的夹角,rad;
- ρ ——极径,即螺旋线上任一点到极点 O 的距离,mm;
- θ ——进动角 ($\theta = \omega t$),rad;
- ω ——分离盘角速度,rad/s。

建立自然坐标系如图 2 所示, $\vec{b}^{\rightarrow}$ 、 $\vec{n}^{\rightarrow}$ 、 $\vec{\tau}^{\rightarrow}$ 分别表示副法线方向、主法线方向、切线方向。物料颗粒受到的 3 个力分别为:沿 z 轴反向的重力 $\vec{m}\vec{g}$ 、沿速度反向的摩擦力 $\vec{f}$ 和轨道的约束反力 $\vec{R}$ 。则:

$$\vec{m}\vec{a} = \vec{m}\vec{g} + \vec{R} + \vec{f}。 \quad (3)$$

式(3)在自然坐标系中的投影为:

$$\begin{cases} m\mathrm{d}v_r/\mathrm{d}t = m g_{\tau} + f; \\ m v_r^2/r = m g_n + R_n; \\ 0 = m g_b + R_b。 \end{cases} \quad (4)$$

r 为分离盘的盘口半径(mm)。重力在自然坐标系中的分量分别为 $m g_{\tau}$ 、 $m g_b$ 和 $m g_n$,主法线、副法线和切线与 z 轴的方向余弦分别为 0 、 $\cos \beta \sqrt{\sin^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta}$ 和 $\cos \alpha \cos \beta$ 。则 $m g_{\tau} = m g \cos \alpha \cos \beta$ 、 $m g_b = m g \cos \beta \sqrt{\sin^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta}$ 、 $m g_n = 0$ 。则:

$$\begin{cases} m\mathrm{d}v_r/\mathrm{d}t = m g \cos \alpha \cos \beta + f; \\ m v_r^2/r = R_n; \\ 0 = m g \cos \beta \sqrt{\sin^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \beta} + R_b。 \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{\ln(\sqrt{v_r^4/r^2+13g^2/16+v_r^2/r})}{1+2\sqrt{3}\mu/3} + \frac{1}{2\sqrt{3}\mu/3-1} \ln[(2\sqrt{3}\mu/3+1)(13g^2/16) + g(\sqrt{v_r^4/r^2+13g^2/16+v_r^2/r}) + (2\sqrt{3}\mu/3-1)(\sqrt{v_r^4/r^2+13g^2/16+v_r^2/r})^2] - \frac{2\sqrt{3}\mu}{4\mu^2-3} \cdot \frac{g}{\sqrt{g^2-4(3-4\mu^2)/9}} \cdot \ln \frac{2\sqrt{3}(2\sqrt{3}\mu-1)(\sqrt{v_r^4/r^2+13g^2/16+v_r^2/r})+9g-\sqrt{g^2-4(3-4\mu^2)/9}}{2\sqrt{3}(2\sqrt{3}\mu-1)(\sqrt{v_r^4/r^2+13g^2/16+v_r^2/r})+9g+\sqrt{g^2-4(3-4\mu^2)/9}} = \ln x。$$

2.2 牵连速度 $\vec{v}_e$

牵连速度 $\vec{v}_e$ 沿半径为 r 的圆周切线方向,且垂直于分离盘母线。因此, $\vec{v}_e$ 与相对速度 $\vec{v}_r$ 之间的夹角为 $90^\circ - \beta$ 。

$$v_e = \omega r。 \quad (14)$$

2.3 绝对速度 $\vec{v}_a$

绝对速度的计算公式见式(1),将式(13)和式(14)代入即可求得物料颗粒的绝对速度。由此即可建立绝对速度 $\vec{v}_a$ 与分离盘角速度 ω 、分离盘出口半径 r 以及物料颗粒与分离盘间摩擦系数的数学模型。

3 参数设计与计算

影响豌豆胚皮分离效果的因素主要有两个方面:① 胚皮混合物的假密度、含水率以及浸泡后胚皮之间的粘结程度等;② 分离盘的设计参数,包括分离盘的锥角 α 、主轴(即分

为了简化计算,取 $m=1$ 单位质量, $\alpha=\pi/3$, $\beta=\pi/6$, $\rho_0=200$ mm,则式(5)简化为:

$$\begin{cases} \mathrm{d}v_r/\mathrm{d}t = \sqrt{3}g/4 + \mu \sqrt{R_n^2 + R_b^2}; \\ v_r^2/r = R_n; \\ R_b = -\sqrt{13}g/4, \end{cases} \quad (6)$$

式中:

μ ——物料与分离盘之间的摩擦系数。

解之得:

$$\mathrm{d}v_r/\mathrm{d}t = \sqrt{3}g/4 + \mu \sqrt{(v_r^2/r)^2 + 13g^2/16}。 \quad (7)$$

$$\mathrm{d}v_r^2/\mathrm{d}r = g/2 + 2\sqrt{3}\mu \sqrt{v_r^4/r^2 + 13g^2/16}/3。 \quad (8)$$

令 $v_r^2 = y$, $r = x$, $13g^2/16 = a$, 则有:

$$\mathrm{d}y/\mathrm{d}x = g/2 + 2\sqrt{3}\mu \sqrt{(y/x)^2 + a}/3。 \quad (9)$$

令 $u = y/x$ 做变量代换,则:

$$\mathrm{d}u/(g/2 + 2\sqrt{3}\mu(\sqrt{u^2 + a})/3 - u) = \mathrm{d}x/x。 \quad (10)$$

令 $\sqrt{u^2 + a} = t - u$ 做变量代换,即 $u = (t^2 - a)/2t$, $\mathrm{d}u = [(t^2 + a)/2t^2]\mathrm{d}t$ 。则:

$$\frac{(t^2 + a)\mathrm{d}t}{t[(1 + 2\sqrt{3}\mu/3)a + gt + (2\sqrt{3}\mu/3 - 1)t^2]} = \frac{\mathrm{d}x}{x}。 \quad (11)$$

积分得:

$$\frac{\ln t}{1 + 2\sqrt{3}\mu/3} + \frac{1}{2\sqrt{3}\mu/3 - 1} \ln[(2\sqrt{3}\mu/3 + 1)a + gt + (2\sqrt{3}\mu/3 - 1)t^2] - \frac{2\sqrt{3}\mu}{4\mu^2 - 3} \cdot \frac{g}{\sqrt{g^2 - 4(3 - 4\mu^2)/9}} \cdot \ln \frac{2\sqrt{3}(2\sqrt{3}\mu - 1)t + 9g - 9\sqrt{g^2 - 4(3 - 4\mu^2)/9}}{2\sqrt{3}(2\sqrt{3}\mu - 1)t + 9g + 9\sqrt{g^2 - 4(3 - 4\mu^2)/9}} = \ln x。 \quad (12)$$

由此得到切向速度、即相对速度 $\vec{v}_r$ 与曲率半径的关系式为:

离盘)的角速度 ω 以及分离盘与混合物之间的摩擦系数 μ 等。

3.1 分离盘的设计与计算

据上述机理分析取分离盘的半锥角 $\alpha=\pi/3$,分离盘的出口半径 $r=250$ mm,盘底半径 $r_d=100$ mm,分离盘(即主轴)转速 $n=1\,400$ r/min,物料与分离盘之间的摩擦系数 $\mu=0.3$ 。计算得物料颗粒的相对速度、牵连速度和绝对速度分别为: $v_r=68.8$ m/s, $v_e=36.6$ m/s, $v_a=105.4$ m/s。

3.2 驱动功率计算及电动机的选用

电动机的功率主要消耗于驱动主轴和分离盘回转,并带动物料颗粒加速回转以产生足够的动能后向斜上方抛出。电动机的功率消耗与生产率有直接关系,因此计算电动机功率时必须要考虑生产率这一因素。本设计要求其生产率 $\geq 2\,000$ kg/h。

3.2.1 物料颗粒的功率消耗 由上述知,分离盘转速 $n=1\,400\text{ r/min}$,则分离盘回转1周所需时间为 $\Delta t=3/70\text{ s}$,按最小生产率 $2\,000\text{ kg/h}$ 计算得分离盘回转1周所需分离的物料质量为 $m_w=[(5/9)\cdot\Delta t]\text{ kg}$ 。待分离的物料颗粒是通过位于分离盘上方的进料斗缓慢落入到分离盘中心处的,即分离盘每回转1周,需要将质量为 m_w 的物料颗粒从初速度为0加速到绝对速度为 v_a ,其动能为 $E_w=m_w\cdot v_a^2/2$ 。因此,需要电动机对其提供的最小功率 $P_w^{[11]\,11-32}$ 为:

$$\begin{cases} P_w = T_w \cdot n/9\,550; \\ T_w = E_w。 \end{cases} \tag{15}$$

3.2.2 分离盘和主轴的功率消耗 分离盘采用1Cr18Ni9Ti制造,壁厚为5 mm;主轴采用45钢制造,直径为50 mm,长度为450 mm。由于分离盘和主轴做匀速转动,故其转距的计算公式^{[11]\,12-20}为:

$$T_{pz}=m_{pz}\cdot g\cdot r_{pz}, \tag{16}$$

式中:

T_{pz} ——负载作用分离盘和主轴上的转距,N·m;

m_{pz} ——分离盘和主轴总质量,kg;

r_{pz} ——分离盘和主轴的等效半径,m。

根据机械产品做旋转运动时,各旋转零部件功率的计算公式,得出需要电动机对分离盘和主轴提供的最小功率 $P_{pz}^{[11]\,11-32}$ 为:

$$P_{pz}=T_{pz}\cdot n/9\,550, \tag{17}$$

式中:

P_{pz} ——分离盘和主轴所需功率,kW;

n ——分离盘和主轴转速,r/min。

根据式(15)~(17)计算得电动机的总功率为:

$$P=P_w+P_{pz}=14.15\text{ kW}。$$

考虑到一定的功率储备,查有关资料选用型号为Y160L-4的Y系列电动机,其功率为15 kW,转速为1 460 r/min,与要求转速 $n=1\,400\text{ r/min}$ 接近,故基本能够满足使用要求。

4 结论

(1) 本试验利用豌豆脱皮后豆胚与豆皮的假密度差异设计了一种离心式豌豆胚皮分离机,假密度较大的豆胚抛出较远而落入外面的接胚筒内,而假密度较小的豆皮则落入里面的接皮筒内。调节可调支座即可方便地改变接皮筒相对于分离盘的高度,进而改变落入接皮筒内物料的数量,达到改变豆胚中的含皮率和豆皮中的含胚率的目的,以适应不同企业、不同豌豆品种对分离率的不同要求。本研究解决了现有分离设备存在的由于豆胚与豆皮的真密度差异小、分离效果差和结构复杂、工作可靠性差等问题,完全能够满足规模淀粉企业的使用要求。

(2) 机理分析结果表明,影响豌豆胚皮分离效果的因素主要有豆胚和豆皮的假密度、分离盘锥角 α 、分离盘角速度 ω 以及分离盘与混合物之间的摩擦系数 μ 等,因此对这些参数进行合理优化,即可得到较为理想的分离效果。

(3) 目前,本研究设计的离心式豌豆脱皮分离机还处于设计阶段,其处理量和分离效果有待制作样机后通过试验获得。

参考文献

[1] 崔再兴,李玲. 豌豆的特征特性及开发利用价值[J]. 杂粮作物, 2010, 30(2): 154-155.

[2] Ratnayake W S, Hoover R, Warkentin T. Pea starch: composition, structure and properties: a review[J]. Starch/Starke, 2002(54): 217-234.

[3] Hoover R, Sosulski F W. Composition, structure, functionality, and chemical modification of legume starches[J]. Can. J. Physiol. Pharm., 1991(69): 79-92.

[4] Barron C, Buleon A, Colonna P, et al. Structural modifications of low hydrated pea starch subjected to high thermomechanical processing[J]. Carbohydrate Polymer, 2000(43): 171-181.

[5] 张志杉,孙传祝. 豆类脱皮机理及螺旋揉搓式豆类脱皮机设计研究[J]. 农机化研究, 2013, 35(9): 104-107.

[6] 潘光杰,孙传祝,张志杉,等. 揉搓式豌豆脱皮机研究与设计[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 62-66.

[7] 吴建章,朱永义. 气流固态化用于谷物风选的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2002(6): 11-13.

[8] 褚良银,陈文梅,李晓钟,等. 水力旋流器结构与分离性能研究(三)—锥段结构[J]. 化工装备技术, 1998, 19(5): 1-4.

[9] 薛立桥,孙传祝,潘光杰. 旋流式豌豆胚皮分离机研究与设计[J]. 农机化研究, 2012, 34(12): 132-135.

[10] 董焕俊,孙传祝,薛立桥. 复杂摆动式豌豆胚皮分离机设计[J]. 农机化研究, 2013, 35(12): 112-114, 158.

[11] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 5版. 北京:机械工业出版社, 2010.

(上接第94页)

[5] 吕长武,吕杰,陈恒雷,等. RAPD分子标记在食用菌研究中的应用[J]. 中国生物工程杂志, 2006, 26(1): 77-80.

[6] 吴晨,何建国,刘贵珊,等. 基于近红外高光谱成像技术的马铃薯干物质含量无损检测[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 133-136.

[7] 张令标,何建国,刘贵珊,等. 基于可见/近红外高光谱成像技术的番茄表面农药残留无损检测[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 82-85.

[8] 刘宏. 食用菌营养价值及开发利用[J]. 中国食物与营养, 2007(12): 25-27.

[9] 严衍录,赵龙莲,韩东海,等. 近红外光谱分析基础与应用[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2005: 31-40.

[10] 程文字,管晓,刘静. 近红外光谱技术检测液态奶中微量三聚氢氨的可行性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 71-74.

[11] 贺沛芳,杨怀民,张治家,等. 五台山野生食用菌资源营养价值及展望[J]. 中国食用菌, 2010, 29(3): 7-9.

[12] 史琦云,邵威平. 八种食用菌营养成分的测定与分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2003, 38(3): 336-339.

[13] Burge C J C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition[J]. Data Mining and Knowledge Discovery, 1998, 2(2): 121-169.

[14] Workman J, Weyer J L. Practical guide to interpretive near-infrared spectroscopy[M]. London: Taylor & Francis Group, 2008: 18-19.