

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.06.015

植物培养瓶自动排序装置优化设计与试验*

杨丽 王粮局 张铁中

(中国农业大学工学院,北京 100083)

【摘要】 针对组培苗继代培养过程中培养瓶需要人工输入输出、占用大量劳力的问题,采用运动方向相反的2条输送带与设置在其上的导流板、导流块、分流块相配合的结构方案,设计出一种培养瓶的自动排序装置。导流输送带速度 v_1 、分流输送带速度 v_2 、导流板倾角 α 和导流块楔角 β 是影响排序速度和运行可靠度的主要因素,当 $v_1 = 0.25 \text{ m/s}$ 、 $v_2 = 0.4 \text{ m/s}$ 、 $\alpha = 47^\circ$ 、 $\beta = 35^\circ$ 时,排序装置具有较高的排序速度和良好的运行可靠度。试验结果表明:该装置能实现组培生产中常用的不同大小、形状的培养瓶的自动排序作业,瓶体运行可靠度大于 94%;对瓶底直径相同、形状不同的培养瓶,各种瓶体的排序速度基本相等,但对重心低、质量小的瓶体排序效果更好;对形状相同、大小不同的培养瓶,大瓶体比小瓶体具有更好的运行可靠性。

关键词: 培养瓶 排序装置 输送带 回流

中图分类号: S223.1⁺9 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)06-0079-07

Optimal Design and Experiment of Automatic Sequencing Device for Culture Bottles

Yang Li Wang Liangju Zhang Tiezhong

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

Focusing on the problem of requiring a large number of labors for transporting culture bottles during the micropropagation period of tissue culture plantlets, a kind of automatic device for lining up culture bottles was designed. The automatic device transported bottles by using two conveyer belts which had opposite motion directions, and guided, assembled and separated bottles by using guiding board, guiding block and separating block respectively. The main factors which influenced sequencing speed and reliability were guiding belt speed v_1 , separating belt speed v_2 , dip angle α of guiding board and wedge angle β of guiding block. The sequencing speed and reliability were satisfactory with $v_1 = 0.25 \text{ m/s}$, $v_2 = 0.4 \text{ m/s}$, $\alpha = 47^\circ$ and $\beta = 35^\circ$. Experiment results showed that the device could sequence automatically different size and shape bottles which were used frequently in plant tissue culture production and the sequencing reliability was more than 94%. The sequencing speed was nearly equal and the reliability was different while lining up bottles with same diameter and different shapes, because the bottles with less mass and lower center of gravity were easier to be lined up. Bigger bottles were easier to be sequenced than smaller ones while lining up bottles with same shape and different diameters.

Key words Culture bottle, Sequencing device, Conveyer belt, Backtrack

引言

目前,组培苗继代培养过程中培养瓶的输入、输

出均由人工排序,占用大量劳力。而国内外针对组培苗自动化生产技术的研究大都集中在移植机器人及末端执行器上^[1-6],针对培养瓶的自动排序输送

收稿日期: 2011-09-16 修回日期: 2011-10-21

* 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(200800191015)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2010JS016)

作者简介: 杨丽,副教授,博士,主要从事农业装备、农业机器人研究,E-mail: yl_hb68@126.com

通讯作者: 张铁中,教授,博士生导师,主要从事农业机器人研究,E-mail: zhangtiezhong1956@163.com

相关研究报道很少。

对于瓶体的排序,医药、食品、化工等行业普遍采用理瓶机这种装置。目前有离心转盘式^[7-9]、拨轮式^[10-11]、水浮力式^[12]、棘轮式和输送带式^[13]等各种形式的理瓶机。转盘式、拨轮式和棘轮式排序方式对瓶体震动较大,且不能很好地适应不同大小、形状、质量的瓶体;水浮力理瓶方式虽能较好适应瓶体参数变化,但会对组培苗造成污染;输送带理瓶方式可适于不同参数和材质的瓶体、对瓶体损伤小、工作平稳,但现有的输送带式理瓶机体积庞大、结构复杂、速度太快,不能直接用于培养瓶的排序作业。

针对上述问题,本文在借鉴输送带理瓶原理的基础上,设计一种适于培养瓶排队作业的轻简型输送带式排序装置,并进行排序试验。

1 培养瓶特征参数

培养瓶为组培苗生长提供必需的无菌环境和生长空间。目前生产中使用的培养瓶多为玻璃瓶,形状有圆柱形(广口、细口)和三角锥形(图1),大小各异,相关参数为:容积125~650 mL,高度110~140 mm,圆柱形瓶直径60~100 mm,质量各异。因此在设计培养瓶排序方案时,要充分考虑培养瓶形状、大小、质量等参数的差异性,使设计的排序机构对各种参数的培养瓶都有较好的适应性。

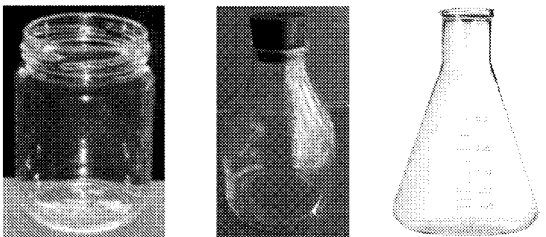


图1 培养瓶类型

Fig. 1 Types of culture bottle

在实际培育组培苗的过程中,培养瓶内注入胶状培养基,组培苗生长在培养基上,待排序的培养瓶均处于直立状态,瓶口向上(图2)。因此对于培养瓶的排序,不用考虑掉向机构,只需设计排序机构使培养瓶排成一列输出即可。在排序过程中,应尽可能避免培养瓶相互碰撞以减小其破碎造成的污染和损失,因此要求排队机构运行平稳,排序时对瓶体的震动以及瓶体之间的相互运动与碰撞尽量小。

2 总体结构与工作原理

基于植物组培实际生产中广泛使用的培养瓶特点,以及继代培养生产过程对培养瓶排队的要求,设计的培养瓶自动排序装置如图3所示,主要由机架、导送输送带、分流输送带、导流块、分流块以及设置

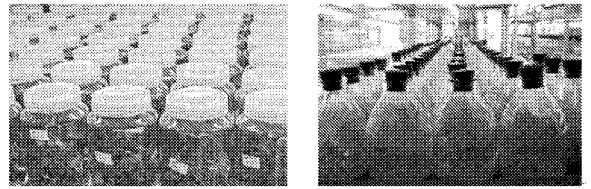


图2 待排队的培养瓶

Fig. 2 Culture bottles to be sequenced

在导送输送带和分流输送带外侧的挡板等组成。导送输送带和分流输送带相互贴近且处于同一水平面上,两者构成培养瓶输送和排序的主要工作区域,设置在两者外侧的左挡板、导流板、后挡板和右挡板共同构成工作区域的外边界。

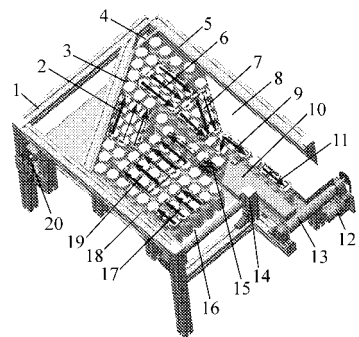


图3 排序装置结构图

Fig. 3 Structure of sequencing device

1. 机架 2. 转向区 3. 导流板 4. 后挡板 5. 右挡板 6. 前送区 7. 集中区 8. 导流块 9. 分流区 10. 分流块 11. 排队区 12. 分流带驱动与传动机构 13. 分流输送带 14. 调整装置 15. 回流区 16. 导送输送带 17. 上料区 18. 左挡板 19. 输送区 20. 导送带驱动与传动机构

导送输送带和分流输送带的工作区域按培养瓶运动过程分为上料区、输送区、转向区、前送区、集中区、分流区、排队区和回流区8部分,瓶体在各个区的运动方向如图3中箭头所示。

工作时,在各自驱动与传动机构的带动下,导送输送带向后运动,分流输送带向前运动。当一批培养瓶放置到上料区时,培养瓶随着导送输送带向后运动,通过输送区后,受到导流板的导向作用,在转向区向右转向并运动到分流输送带上。培养瓶随分流输送带向前运动,通过前送区后,在导流块的导向作用下,在集中区所有瓶体向分流输送带的中部集中。集中在一起的瓶体随着分流输送带继续向前运动,由于导流块和分流块之间的通道只允许单个瓶体通过,则瓶体在分流区实现分流,部分瓶体顺着导流块和分流块之间的通道通过排队区,实现顺序排队,未能参与排队的瓶体在分流块楔形导向面的作用下,被导入导送输送带,通过回流区,进入下一个排队循环。导流块与分流块之间的通道大小通过调节装置调节,从而适应不同直径的培养瓶排队。

3 关键部件主要参数确定

3.1 导流板倾角

导流板的功能是将导送输送带上向后运动的培养瓶导入分流输送带上,使培养瓶改变运动方向。在从导送输送带运动到分流输送带的过程中,培养瓶以导流板接触点为瞬心向前滚动。要使培养瓶能够沿导流板滚动,并且在导送输送带速度一定的情况下能以最快的速度从导送输送带运动到分流输送带,导流板倾角 α 是最关键的参数。

(1) 培养瓶沿导流板开始滚动的条件

培养瓶开始沿导流板滚动的受力情况如图 4 所示。培养瓶与导流板在 A 点处相接触,即两者在 A 点相对静止,要使培养瓶能够以 A 点为瞬心进行逆时针滚动,则应有

$$M_f > M_{f2} \quad (1)$$

其中 $M_{f2} = \delta F_N \quad (2)$

$$F_N = \mu mg \cos \alpha \quad (3)$$

式中 M_f ——培养瓶底部所受导送输送带的摩擦力相对转动瞬心 A 的力矩

M_{f2} ——培养瓶沿导流板滚动的滚动摩阻力偶矩

δ ——培养瓶与导流板间的滚动摩阻系数

F_N ——导流板对培养瓶的压力

μ ——培养瓶与导送输送带间的动摩擦因数

m ——单个培养瓶质量

g ——重力加速度

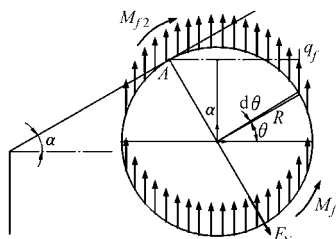


图 4 培养瓶开始滚动受力分析

Fig. 4 Force analysis for bottles rolling along guiding board

由于培养瓶底部为环状,培养瓶受导送输送带的摩擦力近似可以看作均匀作用于培养瓶底部外边线,则培养瓶底部外边线上摩擦力的线密度为

$$q_f = \frac{\mu mg}{2\pi R} \quad (4)$$

式中 R ——培养瓶半径

$$\text{则有 } M_f = 2 \left[\int_0^{\frac{\pi}{2} + \alpha} (R \cos \theta + R \sin \alpha) q_f R d\theta - \int_0^{\frac{\pi}{2} - \alpha} (R \cos \theta - R \sin \alpha) q_f R d\theta \right] =$$

$$2\pi q_f R^2 \sin \alpha \quad (5)$$

式中 θ ——培养瓶底部外边线上摩擦力作用点和瓶心连线与水平方向夹角

由式(1)~(5)可得

$$\alpha > \arctan \frac{\delta}{R} \quad (6)$$

可见只要满足式(6),培养瓶就可以沿导流板滚动起来。

(2) 培养瓶沿导流板匀速滚动的条件

培养瓶沿导流板滚动后,进入匀速滚动状态时

$$M_f = M_{f2} \quad (7)$$

在匀速滚动过程中,培养瓶受力和运动速度分析如图 5 所示。培养瓶相对于导送输送带的速度

$$v_3 = v_1 + v_4 \quad (8)$$

式中 v_1 ——导送输送带的绝对速度,mm/s

v_4 ——培养瓶的绝对速度,mm/s

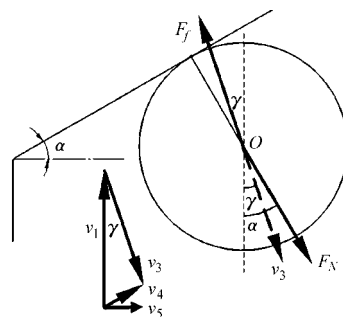


图 5 培养瓶匀速滚动受力与速度分析

Fig. 5 Force and velocity analysis for bottles rolling with constant velocity

由于培养瓶相对于导送输送带有一个 v_3 方向的相对运动,则培养瓶受导送输送带的摩擦力 F_f 的方向与 v_3 方向相反。设 v_3 和 v_1 方向之间的夹角为 γ ,则有

$$F_N = F_f \cos(\alpha - \gamma) = \mu mg \cos(\alpha - \gamma) \quad (9)$$

由式(5),同理可得

$$M_f = 2\pi q_f R^2 \sin(\alpha - \gamma) \quad (10)$$

由式(2)、(4)、(7)、(9)和(10),可得

$$\tan(\alpha - \gamma) = \frac{\delta}{R} \quad (11)$$

将式(8)分别沿导流板方向和与导流板垂直的方向分解,则可得

$$v_4 = v_1 \sin \alpha - v_3 \sin(\alpha - \gamma) \quad (12)$$

$$0 = v_1 \cos \alpha - v_3 \cos(\alpha - \gamma) \quad (13)$$

由式(12)、(13)可得

$$\frac{v_1 \sin \alpha - v_4}{v_1 \cos \alpha} = \tan(\alpha - \gamma) \quad (14)$$

由式(11)、(14)得

$$v_4 = v_1 \left(\sin \alpha - \frac{\delta}{R} \cos \alpha \right) \quad (15)$$

v_4 沿水平方向的分量

$$v_5 = v_4 \cos \alpha = v_1 \left(\sin \alpha - \frac{\delta}{R} \cos \alpha \right) \cos \alpha \quad (16)$$

在 v_1 一定的情况下,要使培养瓶能以最快的速度从导送输送带运动到分流输送带,则 v_5 需达到最大。为此,对 v_5 求导并令其为零,可得

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \arctan \frac{R}{\delta} \quad (17)$$

由式(6)和(17)可知,当培养瓶与导流板之间的滚动摩擦系数 δ 一定时,培养瓶的半径 R 越大,所需的导流板倾角 α 越小,这说明大直径的培养瓶比小直径的培养瓶更容易被导流板从导送输送带导入分流输送带。取培养瓶与导流板之间的滚动摩擦系数 $\delta = 2 \text{ mm}$,取最小培养瓶的半径 $R = 30 \text{ mm}$,代入式(6)得培养瓶开始滚动时的倾角 α 需大于 4° ,代入式(17)得使培养瓶能以最快的速度从导送输送带运动到分流输送带时的倾角 α 为 47° 。因此初步确定 $\alpha = 47^\circ$ 。

3.2 导流块楔角

导流块的功能是使培养瓶沿其倾斜导向面向分流输送带中部集中,使得在后续排队时培养瓶间不会出现间隙,以提高排队效率。培养瓶沿导流块运动情况如图6所示,若运动到导向面末端的培养瓶M左侧没有其他培养瓶,则培养瓶M会沿箭头所示方向自动脱离导流块,随着分流输送带向前运动,则由式(6)同理可得

$$\beta < \arctan \frac{R}{\delta} \quad (18)$$

式中 β ——导流块楔角

若培养瓶M左侧有培养瓶N,培养瓶M受力情况如图7所示。若培养瓶M要脱离导流块,挤入前方培养瓶队列中,则应有

$$F_1 \sin \beta + F_N \cos \beta \geq F_2 \quad (19)$$

式中 F_1 ——导向面上培养瓶M后边聚集的 k 个培养瓶对培养瓶M的推力

F_2 ——培养瓶N对培养瓶M的反作用力

将 $F_1 = k\mu mg \cos \beta$ 、 $F_N = \mu mg \sin \beta$ 、 $F_2 = \mu mg$ 代入式(19)并整理得

$$\beta \leq \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{2}{k+1} \quad (20)$$

由式(18)可知,当培养瓶与导流块之间的滚动摩擦系数 δ 取 2 mm ,培养瓶的最小半径 R 取 30 mm 时,能使培养瓶自动脱离导流块的楔角 β 小于 86° 。由式(20)可知,要使沿导向面前进的培养瓶能够挤入前方培养瓶队列中,沿导向面前进的培养瓶个数最少为2(即 k 最小为1),此时 $\beta \leq 45^\circ$ 。而且 β 与 k 呈正比,说明聚集在导向面上的培养瓶越多(即 k 值越大),允许的斜值越大。虽然 β 值越小,培养瓶越

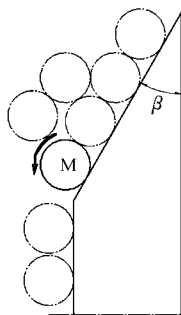


图6 无挤压时瓶子运动示意图

Fig. 6 Motion of bottles without extrusion

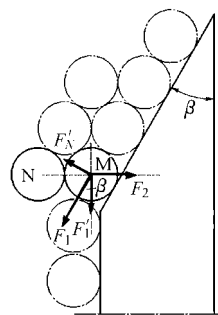


图7 有挤压时瓶子受力图

Fig. 7 Force analysis for bottles with extrusion

容易沿导向面运动,但 β 值越小,实现培养瓶集中的过程越长,影响排队效率,因此初步确定 β 为 45° 。

3.3 输送带主要参数

导送输送带和分流输送带是实现培养瓶输送和排序的主要机构,其结构参数直接影响着排序效率和排序效果,其中最重要的2个结构参数是输送带的宽度和运行速度。

(1) 输送带宽度

导送输送带的主要功能是给分流输送带提供物料(培养瓶),并及时回收未能参与排队的培养瓶,使其重新参与排队。在上料区采用托盘向导送输送带供给培养瓶,以较小的托盘宽度 300 mm 为基准,则导送输送带的宽度必须大于托盘宽度,另外还需为回流的培养瓶提供至少一个直径宽度(取最大的培养瓶直径 100 mm)的空间供其回流运行,因此设计时取导送输送带宽度 D_1 为 500 mm 。

分流输送带的主要功能是将培养瓶向前运输,并在导流块和分流块的协助下实现培养瓶的排序输出。为了保证排队效率,使培养瓶连续排队输出,瓶与瓶之间不产生间隙,则在培养瓶进入集中区之前,同时向前运行的培养瓶应不少于2个。以培养瓶的最大直径 100 mm 计算分流输送带宽度,则分流输送带的宽度不应小于 200 mm 。设计时取分流输送带宽度 D_2 为 300 mm 。

(2) 输送带速度

在培养瓶输送过程中,输送带速度过慢,会影响排序效率;速度过快,培养瓶在运动过程中碰到静止的导流板和导流块时会产生倾倒,影响排序效果。设导送输送带的速度为 v_1 ,分流输送带的速度为 v_2 。在导送输送带宽度 D_1 和分流输送带宽度 D_2 确定的情况下,为了使导送输送带既能满足分流输送带的培养瓶供应,使排序时培养瓶尽量连续,又能使回流的培养瓶尽量少,则有

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (21)$$

显然,分流输送带的速度 v_2 比导送输送带速度 v_1 大,因此只要培养瓶在分流输送带上运动时碰到导流块不发生倾倒,则在导流输送带上运动时碰到导流板也不会倾倒。

培养瓶在分流输送带上运动碰到导流块瞬间产生倾倒的极限情况如图8所示。培养瓶翻转前沿导流块斜面垂直方向的动能为

$$W = \frac{1}{2} m (v_2 \sin\beta)^2 \quad (22)$$

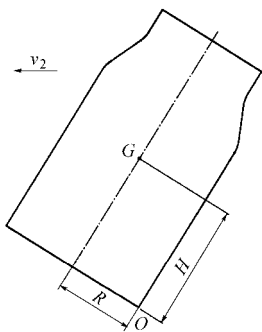


图8 瓶体倾倒时速度分析

Fig. 8 Velocity analysis for bottles when toppling

发生倾倒时,培养瓶的势能增量为

$$E = mg(\sqrt{R^2 + H^2} - H) \quad (23)$$

式中 H ——培养瓶重心高度

要避免培养瓶倾倒,则

$$W \leq E$$

$$\text{即 } v_2 \leq \frac{\sqrt{2g(\sqrt{R^2 + H^2} - H)}}{\sin\beta} \quad (24)$$

取最小的培养瓶参数 $R = 30 \text{ mm}$ 、 $H = 50 \text{ mm}$,将 R 、 H 和 β 值代入式(24),得分流输送带速度 $v_2 \leq 0.57 \text{ m/s}$ 。再由式(21),得导送输送带能够允许的最大速度 $v_1 \leq 0.34 \text{ m/s}$ 。为了保证培养瓶之间尽量不产生磕碰,初步确定 $v_1 = 0.3 \text{ m/s}$ 、 $v_2 = 0.5 \text{ m/s}$ 。

4 试验与结果分析

4.1 结构参数对排序效果的影响试验

4.1.1 试验方法

根据理论计算结果,以影响排序效果的4个最重要的参数:导送输送带速度 v_1 、导流板倾角 α 、分流输送带速度 v_2 和导流块楔角 β 为试验因素安排正交试验,因素和水平如表1所示,因素编码值分别为 A 、 B 、 C 和 D 。

选用 $L_9(3^4)$ 正交试验表,采用细口圆柱形培养瓶(直径 60 mm 、高度 110 mm 、质量 175.2 g) 进行排序试验,以排序速度和运行可靠度为评价指标。每组试验进行3次,每次测取100个培养瓶从送入导送输送带到全部排队输出所用时间和排序过程中瓶

体的运行可靠度。培养瓶由人工连续不断地从托盘放置到导送输送带上。

表1 试验因素和水平

Tab. 1 Experimental factors and levels

水平	因素			
	导送输送带速度	导流板倾角	分流输送带速度	导流块楔角
	$v_1/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\alpha/(\circ)$	$v_2/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\beta/(\circ)$
1	0.20	45	0.3	35
2	0.25	47	0.4	40
3	0.30	50	0.5	45

每次的排序速度以培养瓶个数与所用时间的比值计算,总的排序速度取3次排序速度的平均值。运行可靠度主要考察培养瓶在碰到导流板瞬间是否会翻倒、能否顺利从导送输送带运动到分流输送带、在导流块尖角处是否会滞留、在碰到导流块瞬间是否会翻倒、在分流块处是否会堵塞等,以正常运行的培养瓶个数与参加排队的培养瓶总数的比值计算运行可靠度,总的运行可靠度取3次的平均值。

4.1.2 试验结果与分析

试验结果如表2所示。

根据极差可知4个因素对排序速度影响的重要性顺序由大到小依次为 C 、 A 、 D 、 B ,对运行可靠度影响的重要性顺序由大到小依次为 C 、 A 、 D 、 B 。根据 k_1 、 k_2 、 k_3 确定各因素水平的最佳组合:对于排序速度为 A_3B_1 (或 B_2) C_3D_1 ,对于运行可靠度为 $A_1B_3C_1D_1$ 。

通过综合平衡确定最优方案:

因素 A :由表2可见因素 A 对2个指标的影响效果刚好相反, A 越大,排序速度越快,但运行可靠度越低,即对排序速度应取 A_3 ,对运行可靠度应取 A_1 。但取 A_2 时排序速度与取 A_3 时相差不大,运行可靠度与取 A_1 时相差不大,即取 A_2 能保证在较高的排序速度下取得较好的运行可靠度,故取 A_2 。

因素 B :对排序速度取 B_1 、 B_2 效果相同,对运行可靠度应取 B_3 ,但由于 B 是最次要的因素,且取 B_3 与 B_2 对运行可靠度相差不大,故取 B_2 。

因素 C :对2个指标来说,因素 C 都是最主要的因素,对2个指标的影响效果也刚好相反,综合考虑,取 C_2 。

因素 D :对2个指标来说,均以 D_1 为最佳水平,故取 D_1 。

根据综合平衡分析结果,最优方案为: $A_2B_2C_2D_1$ 。因此确定导流输送带速度为 0.25 m/s 、分流输送带速度为 0.4 m/s 、导流板倾角为 47° 和导流块楔角为 35° 。

表2 排序装置结构参数对排序效果影响试验结果

Tab.2 Test results of sequencing bottles effected by structural parameters of device

试验号	因素				试验指标	
	导送输送带	导流板倾角	分流输送带	导流块楔角	排序速度	运行可靠度
	速度 A	B	速度 C	D	/个·min ⁻¹	/%
1	1	1	1	1	45	98.3
2	1	2	2	2	46	97.3
3	1	3	3	3	48	93.7
4	2	1	2	3	46	95.3
5	2	2	3	1	52	93.7
6	2	3	1	2	45	96.7
7	3	1	3	2	53	91.7
8	3	2	1	3	46	94.3
9	3	3	2	1	49	96.0
排序速度	k_1	46	48	45	49	
	k_2	48	48	47	48	
	k_3	49	47	51	47	
	R	3	1	6	2	
运行可靠度	k_1	96.4	95.1	96.4	96.0	
	k_2	95.2	95.1	96.2	95.2	
	k_3	94.0	95.4	93.0	94.4	
	R	2.4	0.3	3.4	1.6	

4.2 装置排序效果试验

4.2.1 对不同大小瓶体的适应性试验

根据试验确定的最优方案,即 $v_1 = 0.25$ m/s、 $\alpha = 47^\circ$ 、 $v_2 = 0.4$ m/s、 $\beta = 35^\circ$,调整导流块和分流块之间的间隙,对小、中、大3种细口圆柱形培养瓶进行排序试验,验证该排序装置对不同大小瓶体的适应性和排序效果,培养瓶参数如表3所示。每种大小的培养瓶随机选取100个,由人工从托盘将培养瓶放入导送输送带,考察从培养瓶放入到全部排队输出所用时间和排序过程中瓶体的运行可靠度,以培养瓶个数与所用时间的比值计算排序速度。每组试验进行3次,排序速度和运行可靠度取3次的平均值。试验结果如表3所示。

表3 排序装置对不同大小培养瓶的排序效果

Tab.3 Operating results of device for lining up bottles with different sizes

瓶体大小	参数			排序速度 /个·min ⁻¹	运行可靠度/%
	直径/mm	高度/mm	质量/g		
小	60	110	175.2	50	95.3
中	80	120	192.7	45	97.3
大	100	140	205.3	41	100

试验结果表明,对于细口圆柱形培养瓶,随着瓶体的增大,排序速度降低,运行可靠度升高。导致排序速度降低的主要原因是瓶体直径不同,直径大的瓶体在排序过程中在输送带上占用的距离最长,在导流输送带和分流输送带速度一定的情况下,其排

序时间最长,因此排序速度也最低。但随着瓶体直径的增大,其在输送带上运行的稳定性越来越好,运行可靠度也越来越高。说明对于同一类型的培养瓶,该装置对大瓶体比对小瓶体有更好的适应性。

4.2.2 对不同形状瓶体的适应性试验

设置 $v_1 = 0.25$ m/s、 $\alpha = 47^\circ$ 、 $v_2 = 0.4$ m/s、 $\beta = 35^\circ$,固定导流块和分流块之间的距离,对细口圆柱形、广口圆柱形和三角锥形3种组培生产中常用的培养瓶进行排序试验,验证该排序装置对不同形状瓶体的适应性和排序效果,培养瓶参数如表4所示。每种形状的培养瓶随机选取100个,由人工从托盘将培养瓶放入导送输送带,考察从培养瓶放入到全部排队输出所用时间和排序过程中瓶体的运行可靠度,以培养瓶个数与所用时间的比值计算排序速度。每组试验进行3次,排序速度和运行可靠度取3次的平均值。试验结果如表4所示。

表4 排序装置对不同形状培养瓶的排序效果

Tab.4 Operating results of device for lining up bottles with different shapes

瓶体形状	参数			排序速度 /个·min ⁻¹	运行可靠度/%
	直径/mm	高度/mm	质量/g		
细口圆柱形	80	120	192.7	45	97.3
广口圆柱形	80	125	208.4	44	94.6
三角锥形	80	125	113.1	45	100

试验结果表明,对于瓶底直径相同、形状不同的3种培养瓶,该装置的排序速度基本相同,进一步说

明排序速度受瓶底直径的影响。该装置对三角锥形培养瓶的排序效果最好,试验过程中没有发生任何培养瓶翻倒或磕碰现象,运行可靠度达100%;广口圆柱形培养瓶的排序效果最差,培养瓶在运动过程中碰到导流板或导流块时会出现翻倒现象。运行可靠度不同的主要原因是由3种培养瓶不同的形状特征引起的,三角锥形瓶重心低、质量小,在运动过程中碰到导流板或导流块时相对比较稳定,而广口圆柱形培养瓶重心高、质量大,在运动过程中碰到导流板或导流块时就比较容易翻倒。但该装置对3种培养瓶的排序运行可靠度均超过94%,表明该装置适用于组培生产中常用的这3种培养瓶的排序作业。

5 结论

(1)培养瓶自动排序装置能实现组培生产中常

用的不同大小、形状的培养瓶的自动排序作业。对不同形状的培养瓶,当瓶底直径相同时,各种瓶体的排序速度基本相等,但对重心低、质量小的三角锥形和细口圆柱形培养瓶排序效果更好。对同一种形状的培养瓶,大瓶体比小瓶体具有更好的运行可靠性。

(2)采用运动方向相反的2条输送带和导流板、导流块、分流块相配合的结构,能很好地实现培养瓶的顺序排队和顺利回流,结构简单轻便,对各种形状和大小的瓶体适应性较强。

(3)导送输送带速度、分流输送带速度、导流板倾角和导流块楔角是影响排序速度和运行可靠性的主要因素,正交试验表明,当导送输送带速度为0.25 m/s、分流输送带速度为0.4 m/s、导流板倾角为47°和导流块楔角为35°时,排序装置具有较高的排序速度和良好的瓶体运行可靠性。

参 考 文 献

- 1 Indra K Vasil. Automation of plant propagation[J]. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2004, 39(2): 105 ~ 108.
- 2 Huang Yingjen, Lee Fangfan. An automatic machine vision-guided grasping system for phalaenopsis tissue culture plantlets [J]. *Computer and Electronics in Agriculture*, 2010, 70(1): 42 ~ 51.
- 3 Schaufler D H, Walker P N. Micropropagated sugarcane shoot identification using machine vision[J]. *Transactions of the ASABE*, 1995, 38(6): 1 919 ~ 1 925.
- 4 Wang Z, Heinemann P H, Walker P N, et al. Automated micropropagated sugarcane shoot separation by machine vision[J]. *Transactions of the ASABE*, 1999, 42(1): 247 ~ 254.
- 5 杨丽,张凯良,张铁中. 培养瓶内黄杨苗位置的机器视觉识别方法[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(10): 124 ~ 128.
Yang Li, Zhang Kailiang, Zhang Tiezhong. Position recognition method of Japan euonymus plantlets in bottle based on machine vision[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(10): 124 ~ 128. (in Chinese)
- 6 杨丽,张铁中,张凯良. 组培苗移植机器人移苗作业轨迹规划[J]. *农业机械学报*, 2008, 39(9): 112 ~ 117.
Yang Li, Zhang Tiezhong, Zhang Kailiang. Trajectory planning of tissue culture plantlet transplanting robot in transporting seedling[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2008, 39(9): 112 ~ 117. (in Chinese)
- 7 刘鸿英. 理瓶机的工作原理和应用[J]. *包装与食品机械*, 1997, 15(5): 31 ~ 33.
- 8 张学敏,王志林,任广斌,等. ZDL-200型自动掉向式理瓶机设计[J]. *佳木斯大学学报:自然科学版*, 2010, 28(1): 69 ~ 71.
Zhang Xuemin, Wang Zhilin, Ren Guangbin, et al. Design of ZDL-200 model automatic steering bottle management machine[J]. *Journal of Jiamusi University: Natural Science Edition*, 2010, 28(1): 69 ~ 71. (in Chinese)
- 9 叶琪,谢耀辉,李兵. 一种圆盘式理瓶机:中国,ZL 200820053362. 7[P]. 2009-04-15.
- 10 林候松,吴星德. 西林瓶理瓶机的理瓶机构:中国,ZL 200920118656. 8[P]. 2011-05-18.
- 11 林候松,吴星德. 西林瓶的调头装置:中国,ZL 200910096669. 4[P]. 2011-06-22.
- 12 杨时伟,陈向民. 玻璃瓶理瓶机技术创新与实践[J]. *酒·饮料技术装备*, 2009(2): 66 ~ 67.
- 13 Mark C Garvey, William J Fox. Product conveying and accumulation system and method:USA,6575287[P]. 2003-09-02.