

# 矮丛野生蓝莓生产物流一体机设计

周敏,马成林,尤博徐,褚楚,袁丁铃,郑子霖  
(东北林业大学 工程技术学院,黑龙江 哈尔滨 150040)

**[摘要]**针对小规模野生蓝莓采摘的需求,设计了一种野生蓝莓生产物流一体机,实现了野生蓝莓采摘、分选、包装、存储等作业的一体化,从而提高野生蓝莓的生产效率以及生产质量。根据实际生产需求,对重力传感器、电力系统、双层筛板等重要部件系统进行详细设计和优化,从而使野生蓝莓生产物流一体机作业效果达到最优状态。

**[关键词]**矮丛野生蓝莓;蓝莓采摘机;生产物流一体机

**[中图分类号]**F259.23;F273.4

**[文献标识码]**A

**[文章编号]**1005-152X(2019)04-0089-06

## Design of Integrated Growth and Logistics Machine for Wild Lowbush Blueberries

Zhou Min, Ma Chenglin, You Boxu, Chu Chu, Yuan Dingling, Zheng Zilin  
(College of Engineering & Technology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** To meet the demand of small-scale picking of wild blueberries, we designed an integrated wild blueberry growth and logistics machine to realize the integration of wild blueberry picking, sorting, packaging, and storage, etc., thus improving the growth efficiency and quality of the wild blueberry. Then, according to the actual production demand, we developed and optimized the gravity sensor, power system, double-deck sieve plate and other important components of the machine in detail to reach its optimal state.

**Keywords:** lowbush wild blueberry; blueberry picker; integrated growth and logistics machine

## 1 引言

蓝莓作为人类五大健康食品之一,被誉为“黄金浆果”。野生蓝莓由于富含花青素、蛋白质、维生素A等成分,具有极高的营养价值,备受人们青睐。目前,我国众多野生蓝莓产业种植基地拥有庞大的野生蓝莓储存数量,野生蓝莓生产全部采用人工采摘的方式,而野生蓝莓果实小、比较分散、成熟期短等特点导致人工采摘野生蓝莓劳动强度大、消耗时间长、采摘效率低、损果率高<sup>[1]</sup>,使得野生蓝莓的生产成本大大提高。野生蓝莓采摘是蓝莓产业链的瓶颈,野生蓝莓采摘从人工方式向机械方式转变已经势在必行,因此机械化采摘技术是现阶段蓝莓生产的研

究重点。

目前,蓝莓采摘机器人正在快速发展,采摘机械以振动式采摘为主,按照行走方式可分为牵引式和自走式<sup>[1]</sup>,但由于采摘环境及采摘目标的复杂性,市场上仍然没有出现商品化的采摘机械人<sup>[2]</sup>。现有的蓝莓采摘机器人往往结构复杂、体型较大,多适用于平原地区的人工种植蓝莓,而对于山林中的野生蓝莓来说,一方面它们大多生长在丛山密林之中,山路崎岖,不方便大型采摘机械的搬运;另一方面,野生蓝莓的生长规模通常不大,其分布较为分散,这些生长特点不利于采摘机器人的有效作业。现有的蓝莓采摘机功能往往较为局限,很难解决蓝莓采摘过程中采摘效率低、采摘质量差、难以分离枝叶、无法及

**[收稿日期]**2019-02-27

**[基金项目]**中央高校基本科研业务费专项资金资助项目C类(2572016CB13);黑龙江省博士后资助项目(LBH-Z2018)

**[作者简介]**周敏,女,东北林业大学工程技术学院学生,研究方向:物流工程;马成林,男,通讯作者,讲师,博士,研究方向:林业物流工程。

时包装、无法合理存储导致的蓝莓质量急速下降等问题。

本文根据矮丛野生蓝莓的生长特点,针对蓝莓采摘机械结构复杂、体型庞大、功能单一以及成本较高等问题,设计了一种野生蓝莓生产物流一体机,以实现野生蓝莓的高效率、高质量生产。

## 2 野生蓝莓生产物流一体机整体设计方案

### 2.1 整体设计思路

在小规模采摘野生蓝莓的过程中,设计并制作一个野生蓝莓生产物流一体机,用于实现野生蓝莓的采摘、分选、包装、存储作业一体化,解决野生蓝莓采摘过程中采摘效率低、采摘质量差、难以分离枝叶、无法及时包装、无法合理存储导致的蓝莓质量急速下降等问题,在提高作业效率的同时保证采摘蓝莓的质量和完整性。该野生蓝莓生产物流一体机作业过程分为四个环节,其具体作业原理如下:

**采摘过程:**提供一种旋转刀片,将蓝莓果实与枝杈进行完全分离,在采摘过程中旋转刀片与枝杈紧密贴合,从而保证蓝莓采摘的高质量、高效性以及蓝莓果实的完整性。被刀片切下的蓝莓果实落入设备中的分离板上以待进行下一步操作。

**分选过程:**此过程包括两大分选作业,一是枝叶与蓝莓的分离;二是大小蓝莓的分选。

**包装过程:**采摘分选包装设备的底部是可拆卸的,其内部的底面上安置有一个重力传感器,将蓝莓包装盒放到重力传感器的正上方,在大小蓝莓分选过程中不断有蓝莓落入包装盒中,当包装盒中的蓝莓达到一定重量时,重力传感器发出警报,此时,停止采摘,将装满蓝莓的包装盒取出,并换上新的包装盒。

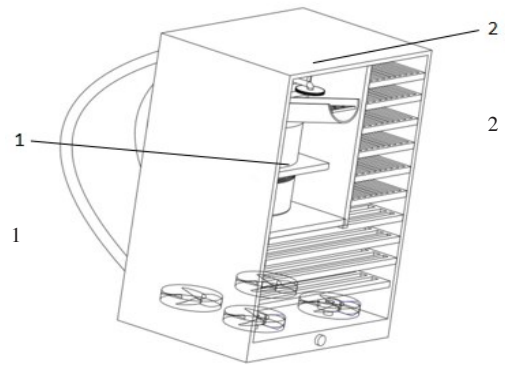
**存储过程:**为保证野生蓝莓的质量和新鲜程度,利用恒温箱进行存储,由于进山采摘交通不便,携带恒温箱成为极大的问题,对普通恒温箱进行改装,在恒温箱上设置双肩背带,以保证其携带方便。

将以上四大作业过程进行系统整理、综合设计,从而形成野生蓝莓生产物流一体机基础模型。

### 2.2 虚拟样机模型

野生蓝莓生产物流一体机包括采摘分选包装设

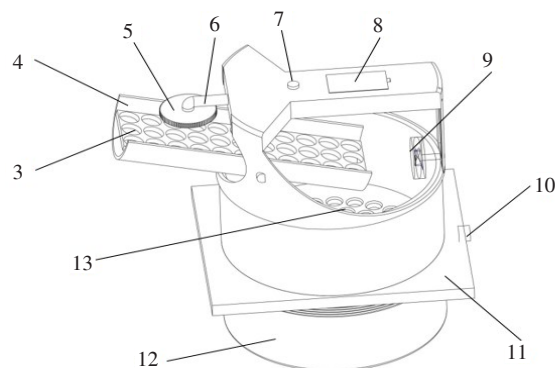
备和恒温箱两大部分,如图1所示。采摘过程由采摘分选包装设备完成,并在此过程中实现野生蓝莓的分选和包装作业,存储环节则由恒温箱完成。非正常工作过程,采摘分选包装设备存储于恒温箱的指定位置中,以实现方便携带与野生蓝莓生产一体化。



1. 采摘分选包装设备 2. 恒温箱

图1 野生蓝莓生产物流一体机

**2.2.1 采摘分选包装设备。**采摘分选包装设备由容器桶、双层筛板、上部支架、电力系统、控制开关、采摘刀具、刀片、可伸缩刀杆、USB小风扇、半圆盛接板、分离板、恒温箱、重力传感器等结构组成,如图2所示。其主要功能是实现野生蓝莓的采摘、分选、包装作业一体化,提高作业效率的同时保证蓝莓果实的质量和完整性。



3. 分离板 4. 半圆盛接盘 5. 采摘刀具 6. 可伸缩刀杆  
7. 控制开关 8. 电源放置开关 9. USB小风扇  
10. 筛板伸缩按钮 11. 伸缩版盛放盒 12. 容器桶  
13. 双层筛板 17. 重力传感器

图2 采摘分选包装设备

采摘系统是由电力系统、采摘刀具、半圆承接板、分离板、可伸缩刀杆等组成。电力系统为采摘系

统提供动力,使得采摘刀具旋转,实现对蓝莓果实的采摘。在对蓝莓果实进行采摘的过程中,通过调节控制开关改变输出电流大小,进而改变旋转刀具的转速,实现采摘力的改变,完成对不同成熟度果实的采摘工作。采摘刀具通过可伸缩刀杆改变其伸出长度,从而实现对不同位置野生蓝莓的采摘。半圆承接板和分离板在一定程度上对落入设备中的野生蓝莓起到缓冲作用,防止对蓝莓果实造成伤害。

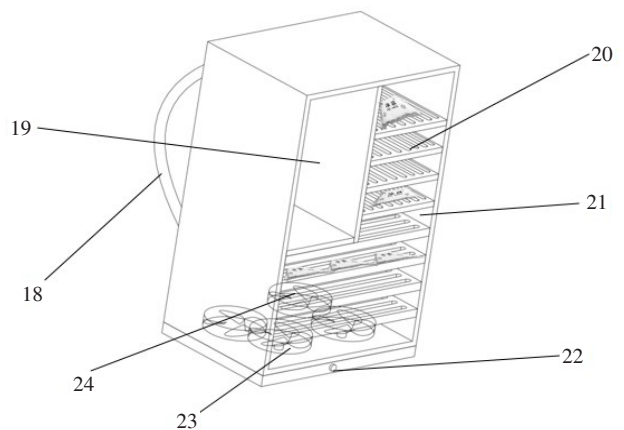
分选系统是整个野生蓝莓采摘过程中最重要的一部分,该过程用于实现两大分选作业,一是枝叶与蓝莓果实的分离作业,二是大小蓝莓的分选作业。枝叶与野生蓝莓的分离作业是利用设在承接板旁边的USB小风扇完成的:采摘过程中会有少量的枝叶被旋转刀片切下,随着蓝莓果实一起落入采摘分选包装设备中,USB小风扇与旋转刀片同时工作,并在采摘过程中保持持续适宜的风力,利用风力将分离板上的枝叶与野生蓝莓分离,并使枝叶从采摘分选包装设备中离开,从而完成分离作业。大小蓝莓的分选作业是利用拱形双层伸缩筛板完成的:筛板是由两层带有密集孔的拱形可伸缩塑料板组成,筛板上层塑料板带有较大密集孔,下层塑料板带有较小的密集孔,两层塑料板的孔位置相同且密切贴合。当野生蓝莓落到筛板上时,体积较小的蓝莓落入包装盒内,大蓝莓则留在筛板上;当包装盒内小蓝莓装满时指示灯亮起,换上新包装盒的同时下层筛板收缩,大蓝莓落入新包装盒内,以此实现野生蓝莓的大小分选。而筛板的拱形结构是为了在蓝莓落入筛板的过程中能够实现短暂流动过程,避免分选过程造成的蓝莓堆积,保证大小蓝莓分选的准确性。分选系统利用这两个功能保证野生蓝莓的纯净度,为下一步的包装工作做好准备。

包装系统主要由重力传感器和流动包装盒组成,当落入包装盒中的野生蓝莓达到设定数量时,重力传感器发出警报,此时将蓝莓的包装盒取出,并换上新的包装盒即可。解决了人工分选中存在的工作劳动强度大、效率低、生产成本低、错误率高、时效性等问题。

2.2.2 恒温箱。根据野生蓝莓生长环境特点,为了保证采摘包装后的野生蓝莓在短途运输中不发生损

坏,同时也便于整套野生蓝莓生产物流一体机的携带,采用一个背包式的恒温箱对包装完成的蓝莓和采摘分选包装设备进行存储。恒温箱由带有空隙通风的蓝莓存储格、蓝莓采摘器存放处、存放冰袋降温处、保温锡纸(位于恒温箱内部的部分)、风扇、双肩背带等组成,如图3所示。其主要材质为编织布铝膜、EPE珍珠棉、防雨篷布、尼龙织带、五金配件等。保温箱最外层为防水篷布,中间为约12cm的珍珠棉保温层,最内层为锁温铝箔,二者结合使用能起到极好的保温效果。采用尼龙织带作为背带,结实耐用,便于整体器具的携带。开盖处采用磁铁吸附设计,轻松开盖,节省时间。锁扣处使用不锈钢螺母弹簧扣,适合室外、潮湿等环境,防锈防腐。精选优质ABS三通,加粗支架,承载能力强。

在使用过程中,可通过开关控制底部的小风扇转动,为整个恒温箱提供恒定持续的风力,蓝莓存储格上存放有冰袋,通过风扇加速空气流动使得整个恒温箱处于低温状态,而恒温箱外部的保温材料可使其内部的温度处于恒定状态,从而实现对野生蓝莓的保鲜作用。



18. 双肩背带 19. 采摘分选包装设备存放格 20. 中空隔板  
21. 保温锡纸(位于恒温箱内部) 22. 风扇开关按钮  
23. 风扇 24. 冰袋

图3 恒温箱整体图

## 2.3 整体尺寸设计

结合矮丛蓝莓的生长状况、生长环境、种植标准以及其余各系统的设计,最终设计的恒温箱外形尺寸为 $0.35\text{m} \times 0.44\text{m} \times 0.6\text{m}$ ,恒温箱中小风扇的直径

为0.3m,采摘分选包装设备高度为0.25m,可伸缩双层筛板直径为0.18m,容器桶直径为0.2m。

### 2.4 整体效果

野生蓝莓生产物流一体机具有以下优势:将野生蓝莓的采摘、分选、包装、存储进行同步作业,实现蓝莓生产过程一体化,避免进行重复作业,提高了野生蓝莓的生产效率和生产质量;高效的分选、包装以及存储过程保证了野生蓝莓的新鲜程度,增大了蓝莓鲜果的保质期;结构简单,体型较小,便于携带,适用于野生蓝莓进山采摘;成本较低,适合于野生蓝莓的小规模采摘;采摘过程便利,提高采摘效率,减少蓝莓破损率;瞬时包装同等规格大小的蓝莓盒子,可以将每盒蓝莓的重量控制在一定范围内波动。

## 3 野生蓝莓生产物流一体机关键部件设计

### 3.1 采摘部件的选择

3.1.1 采摘力分析。采摘系统通过改变电机的转速,进而改变旋转刀具的转速,实现采摘力的改变,从而完成对蓝莓果实的采摘。假设旋转刀具对蓝莓枝条上果实所产生的振动响应为:

$$f(t) = A \sin(\omega t + \psi) e^{-\xi \omega t} \quad (1)$$

式中:

- A—振动幅值/(m);
- $\omega$ —振动频率(rad/s);
- $\psi$ —初始相位角/(rad);
- $\xi$ —阻尼比。

对式(1)进行求解二阶导数,得:

$$f''(t) = A[\omega^2 - (\xi\omega)^2] \sin(\omega t + \psi) e^{-\xi \omega t} \quad (2)$$

由牛顿第二定律得到作用于蓝莓果实上的最大惯性力为:

$$F = m_0 \cdot f''(t) \quad (3)$$

式中  $m_0$  表示蓝莓平均质量(kg)。

由以上可得:

$$F = Am_0[\omega^2 - (\xi\omega)^2] \sin(\omega t + \psi) e^{-\xi \omega t} \quad (4)$$

由相关资料可知野生蓝莓的相关数据<sup>[3]</sup>,见表1。

表1 蓝莓相关数据

阻尼比 $\xi$	果实平均质量 $m_0$ /kg	长度 $l$ /mm
1.3	0.000 1	22

由以上数据经计算可得,  $F=0.8N$ 。

3.1.2 电力系统的选择。选择满足野生蓝莓采摘机正常工作要求的驱动电机是确保电机性能的关键,同时也影响着设备的可靠性和经济性。选择过程:一是计算负载大小。根据采摘力分析采摘部件的承载大小进行计算;二是确定驱动机构。步距角:分析采摘部件的采摘精度;静转矩:据采摘力分析采摘部件的振动幅度、振动频率。三是确定负载所需的尺寸、质量和摩擦系数等。四是计算电机传动轴上的负载转矩和负载惯量值,分析矩频特性曲线。考虑蓝莓采摘器携带的便携性和轻便性,结合电流的适合范围,最后选择以可充电电池为能源循环系统的驱动电机系统模式,具体过程如图4所示。

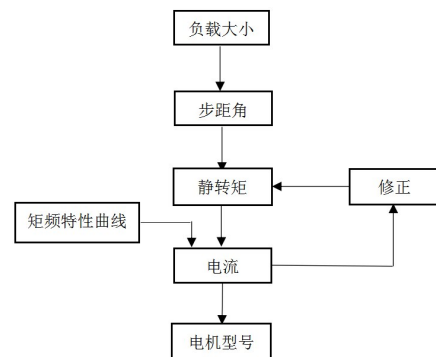


图4 电机选择步骤

综上所述,选择的电力系统主要由位于上部支架内部的导线、位于上部支架上部的电池盒、电池盒盖、电池盒内的充电电池构成。充电电池的USB接口在上部支架电池盒附近的外侧。所述的充电电池规格为3.7V可充电18650型锂电池,容量8 800mA,长67mm,半径18mm。

### 3.2 风扇的选择

USB小风扇用于实现野生蓝莓果实与枝叶的分离,电源选择USB充电电池,清洁环保。经过反复对比实验,决定选用3.7V可充电18650型锂电池;为方便设备携带,选用材质轻的塑料作为其制作材料。在采摘过程中会有少量的枝叶被旋转刀片切下,随着蓝莓果实一起落入采摘机构中,为了提高采摘准确率,因此在采摘开始时,要按动风扇开关按钮,使风扇开始转动并保持持续适宜的风力,利用风力将采摘机中的枝叶与野生蓝莓分离。

风扇的性能指标主要包括风量、风压、转速。通过计算野生蓝莓与枝叶的平均质量,根据力学原理,只要风力介于枝叶的重力与野生蓝莓的重力之间,即可达到我们的预想。

根据风能公式:

$$E = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (5)$$

式中:

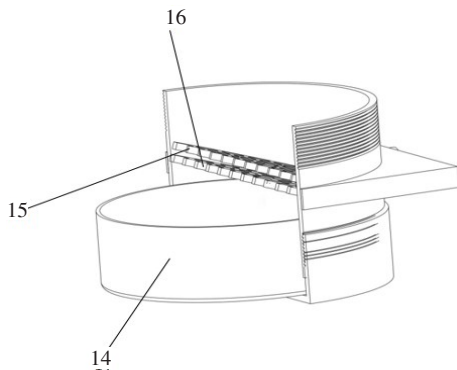
$\rho$ —空气密度( $g/L$ );

$v$ —风速( $m/s$ )。

由于在 $0^\circ$ 及一个标准大气压下,空气密度为 $1.293 g/L$ ,一颗野生蓝莓的质量近似于 $0.000 1 kg$ 。计算出所需风扇的风速为 $4.26 m/s$ 。

### 3.3 筛板的选择

筛板是用于分选大小蓝莓的重要组成部分,其质量和参数的好坏将直接影响到设备的分选效率以及分选能力,从而对整个设备的工作效率产生一定影响。筛板的主要参数包括筛板材料与筛孔结构。筛板截面图如图5所示。



14. 蓝莓包装盒 15. 上层筛板 16. 下层筛板

图5 筛板截面图

筛板制作材料的选择:由于本设备用于小规模野生蓝莓的采摘,体积较小,为方便其使用操作,选择轻质材料作为制作材料。筛板上的蓝莓是从一定高度上掉落下来,因此筛板的制作材料需要具备一定的强度和硬度,以抵抗蓝莓掉落对筛板带来的冲击。本设备在采摘过程中需要电力系统为其提供动力,为保证野生蓝莓不受电力系统的破坏和影响,它所接触到的结构必须是绝缘体,因此筛板的制作材料必须具有良好的绝缘性能。由于筛板与野生蓝莓

密切接触,故而必须保证筛板的制作材料无毒无味,以防止其在使用过程中对蓝莓质量造成影响。为降低设备制作成本,并满足以上基本要求,我们选择聚丙烯作为其制作材料。

筛板的工作原理:筛板是由两层带有密集孔的可伸缩塑料板组成,将双层筛板安装成 $25^\circ$ 倾斜状态,使落入容器桶的蓝莓产生滚动,从而避免蓝莓的堆积,极大程度上保证了蓝莓的完整性。筛板上层塑料板带有较大密集孔,下层塑料板带有较小的密集孔,两层塑料板的孔位置相同且密切贴合。当野生蓝莓果实落到分离板上时,较小的野生蓝莓通过分离板上的小孔落到下层的包装盒中,而较大的蓝莓果实则留在上层筛板上;当小蓝莓全部落入包装盒中后,按动塑料板伸缩按钮,使第二层塑料板收缩,此时第一层塑料板上的蓝莓通过大孔落入包装盒,以此实现野生蓝莓大小的分类。

筛孔的选择:据资料显示,野生蓝莓果实呈现球形或长圆形,直径在 $1 \sim 1.4cm$ 之间,由此,我们将上层筛板孔的大小设置为 $1.5cm$ ,保证所有的野生蓝莓都可以顺利通过筛板,下层筛板孔的大小设置为 $1.3cm$ ,保证大小蓝莓的合理分选。

筛孔的合理分布:为保证分选过程顺利进行,提高分选效率,尽量使筛孔均匀密集地分布在筛板上,并且使得上下两层筛孔的分布位置密切贴合。为保证分选时不造成蓝莓堆积,故而在安装时将分选板设计成人字型倾斜模型,从而保证蓝莓的适当滚动,更好的完成分选过程。经计算表明,倾斜角度为 $20^\circ$ 时分选呈现最佳效果。

筛板的开孔率:筛板的开孔率也是很重要的因素,开孔率越大,筛分能力越强,分选效率越高。而开孔率过高则会导致筛板强度降低,不利于其抵挡野生蓝莓掉落对其带来的冲击。经实际试验可得,当开孔率为 $52.3\%$ 时,整体达到最优的效果。

### 3.4 重力传感器的选择

3.4.1 重力传感器原理设计。在野生蓝莓的采摘过程中,随着蓝莓果实逐渐落入包装盒内,其重量便通过容器桶底部传递到重力传感器上,重力传感器由此产生力—电效应,将野生蓝莓果实的重量转化成与之相对应的成一定函数比例的电信号。该电信号由放

大电路进行放大,经滤波后再由 A/D 转换器进行转换,数字信号再送到微处理器的 CPU 处理,CPU 通过不断扫描各个功能开关,根据各个功能开关的状态进行分析、判断、计算,将运算结果送入内存存储器中并与其中的数据进行对比,当二者相等时,由 CPU 控制相应的警报器发出信号,从而达到分选包装的目的。根据以上功能,可得系统设计框架如图 6 所示。

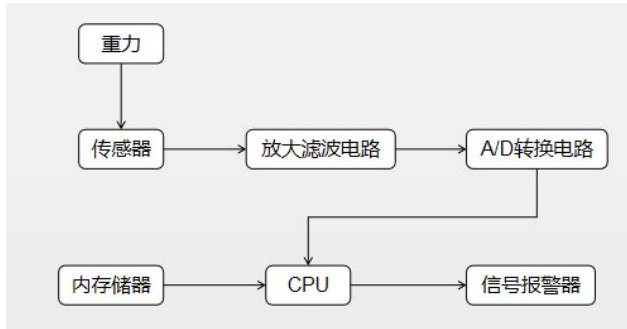


图6 框架结构图

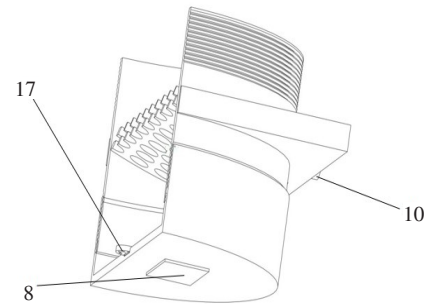
3.4.2 重力传感器选择标准。重力传感器的选择应根据实际情况,从重力传感器的量程、精度以及环境适应性进行选择:

一是量程的选择。由于该重力传感器在使用过程中不存在较大的冲击力,故根据一般经验,使重力传感器工作在其30%-70%范围内即可。

二是精度的选择。首先要使精确度略大于理论计算值;其次,重力传感器的输出信号要约等于设定值,即:

$$\frac{B_{\text{传感器输出灵敏度}} \times E_{\text{激励电源电压}}}{A_{\text{传感器最大量程}}} \approx \text{设定值} \quad (6)$$

三是环境适应性。由于设备使用时正值夏季,湿热程度较大,而湿热对传感器造成影响较大,故应选择适当密闭性形式的传感器。其位置如图7所示。



8.电源放置开关 10.筛板伸缩按钮 17.重力传感器

图7 重力传感器局部图

## 4 结论

本文设计的野生蓝莓生产物流一体机集采摘、分选、包装、储存等功能为一体,解决了小规模野生蓝莓采摘过程中存在的诸多问题,避免进行重复作业,提高了野生蓝莓的生产效率和生产质量。并通过对该设备重要结构的设计优化,使其工作效率达到最高状态。

### [参考文献]

- [1]张盛,李艳聪,郑爽爽,等.浅析果蔬采摘机器人研究现状[J].科技创新与应用,2015,(30):48-49.
- [2]鲍玉冬,郭艳玲,郭帅.蓝莓采摘机械的现状与发展趋势[J].节能技术,2014,32(3):228-230.
- [3]郭艳玲,鲍玉冬,何培庄,等.手推式矮丛蓝莓采摘机设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(7):40-45.

(上接第53页)

- [8]王成金,张梦天.中国物流企业的布局特征与形成机制[J].地理科学进展,2014,33(1):134-144.
- [9]李国旗,金凤君,陈娱,等.基于物流热度的中国物流业空间格局[J].地理科学进展,2015,34(5):629-637.
- [10]曾小永,千庆兰.广州市仓储型物流企业空间分布特征及其影响因素分析[J].中国市场,2010,(32):6-9.
- [11]莫星,千庆兰,郭琴,等.广州市运输型物流企业空间分布特征分析[J].热带地理,2010,30(5):521-527.
- [12]千庆兰,陈颖彪,李雁,等.广州市物流企业空间布局特征及其影响因素[J].地理研究,2011,30(7):1 254-1 261.
- [13]梁双波,曹有挥,吴威.上海大都市区港口物流企业的空间格局演化[J].地理研究,2013,32(8):1 448-1 456.

- [14]曹卫东.城市物流企业区位分布的空间格局及其演化—以苏州市为例[J].地理研究,2011,30(11):1 997-2 007.
- [15]李国旗,金凤君,陈娱,等.基于POI的北京物流业区位特征与分异机制[J].地理学报,2017,72(6):1 091-1 103.
- [16]沈静,杨子,卢少少.中国环境标志企业的空间分布及影响机制[J].地理与地理信息科学,2018,34(3):95-102.
- [17]宋周莺,刘卫东.中国工业中小企业省区分布及其影响因素[J].地理研究,2013,32(12):2 233-2 243.
- [18]贺灿飞,谢秀珍,潘峰华.中国制造业省区分布及其影响因素[J].地理研究,2008,27(3):623-635.
- [19]梁子婧.区域物流发展格局演变的实证检验[J].统计与决策,2017,(21):92-95.