

团 体 标 准

T/CAMDA XX—XXXX

双孢蘑菇采摘机器人

Agaricus bisporus picking robot

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中 国 农 业 机 械 流 通 协 会 发 布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
3.1 双孢蘑菇采摘机器人	1
3.2 非复杂成簇双孢蘑菇	1
3.3 复杂成簇双孢蘑菇	2
3.4 深度识别误差	2
3.5 成熟度识别精度	2
3.6 采摘成功率	2
3.7 采摘速度	3
3.8 系统响应时间	3
3.9 轴间误差	3
4 型号编制规则	3
5 技术要求	3
5.1 基本要求	3
5.2 配套装置	3
5.3 性能要求	3
5.4 安全要求	4
5.5 使用信息	5
6 试验方法	5
6.1 试验条件	5
6.2 试验用仪器设备要求	5
6.3 基础要求检查	6
6.4 配套装置检查	6
6.5 性能指标检测	6
6.6 安全性能测试	8
7 检验规则	9
7.1 检验类型	9
7.2 出厂检验	9
7.2 型式检验	9
8 包装、运输和贮存	10
8.1 包装	10

8.2 运输 10

8.3 贮存 10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些条款可能涉及专利。本文件发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业科学院农业信息研究所提出。

本文件由中国农业机械流通协会归口。

本文件起草单位：中国农业科学院农业信息研究所，哈尔滨工业大学（威海），国农机器人产业创新研究院（江苏）有限公司，浙江隆宸现代农业科技有限公司，农业农村部南京农业机械化研究所。

本文件主要起草人：

双孢蘑菇采摘机器人

1 范围

本文件规定了双孢蘑菇采摘机器人（以下简称机器人）的术语与定义、型号编制规则、技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于双孢蘑菇采摘机器人，其他果蔬采摘机器人可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191—2008 包装储运图示标志

GB/T 4768—2008 防霉包装

GB/T 4879—2016 防锈包装

GB/T 5226.1—2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 9480—2001 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 使用说明书编写规则

GB 10396 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 安全标志和危险图形 总则

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 16754—2021 机械安全 急停功能 设计原则

GB/T 16855.1—2018 机械安全 控制系统安全相关部件 第1部分：设计通则

GB/T 37109—2018 农产品基本信息描述 食用菌类

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

双孢蘑菇采摘机器人 *agaricus bisporus picking robot*

由视觉识别和定位系统、机械臂及其控制系统、采摘系统、收集系统、行走系统组成的智能化双孢蘑菇采摘设备。

3.2

非复杂成簇双孢蘑菇 *non-complex clustered Agaricus bisporus*

在菇床上呈散立式分布，相互不接触，孤立生长的双孢蘑菇，如图1中红色标识所示。



图 1 非复杂成簇双孢蘑菇

3.3

复杂成簇双孢蘑菇 complex clusters of *Agaricus bisporus*

在菇床上呈簇生状，且相互接触乃至高度上有遮挡、重叠的双孢蘑菇，如图 2 所示。

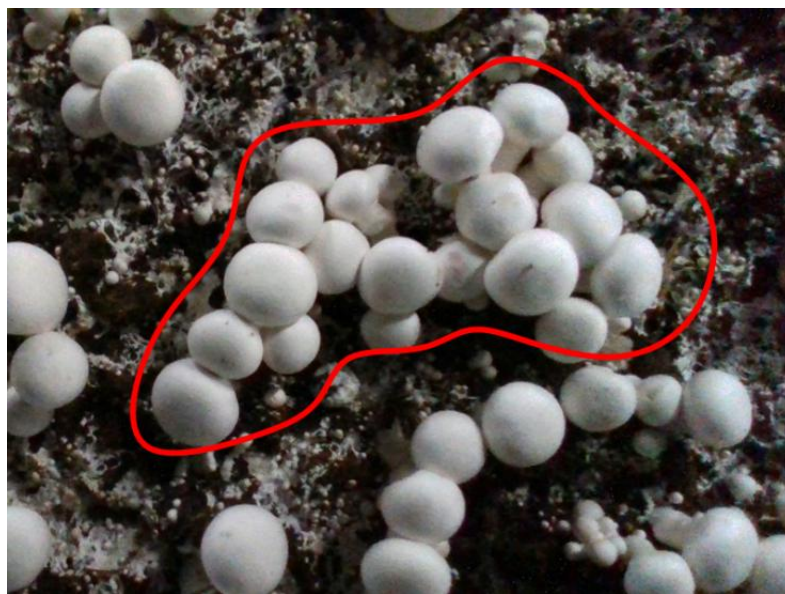


图 2 复杂成簇双孢蘑菇

3.4

深度识别误差 depth recognition error

机器人估测的相机中心点到双孢蘑菇菌盖中心点垂直距离与实际距离之间的差值。

3.5

成熟度识别精度 maturity identification accuracy

机器人采摘的菌盖直径 $\geq 40\text{mm}$ 的双孢蘑菇个数占采摘总个数的百分比。

3.6

采摘成功率 picking success rate

机器人成功采摘成熟双孢蘑菇个数占菇床上达到采收标准的双孢蘑菇个数的百分比。

3.7

采摘速度 picking speed

机器人机械臂从开始采摘动作到完成单个双孢蘑菇采摘结束的时间。

3.8

系统响应时间 system response time

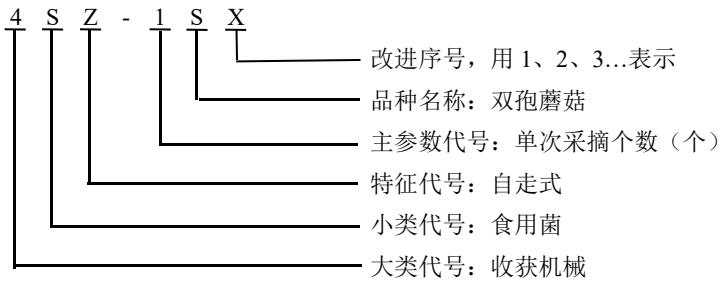
机器人开机后通过遥控器发出指令到机器人开始作业之间的时间间隔。

3.9

轴间误差 inter-axis error

机器人机械臂单轴指令位置与末端实际位置的偏差。

4 型号编制规则



示例：4SZ-1S3 表示第三次改进型双孢蘑菇采摘机器人，单次单个采摘。

5 技术要求

5.1 基本要求

5.1.1 外观质量

机器人外观应整齐美观，表面平整光洁，色泽均匀；不得有毛刺和明显的裂痕、变形、锈斑、油污等缺陷。

5.1.2 加工装配质量

机器人应按照规定技术进行生产、加工和制造，零部件应完整、齐全，连接应牢固可靠，容易松脱的零部件应装有防松装置。

5.2 配套装置

5.2.1 充电装置

充电装置应符合 GB 5226.1—2019 的规定，电源符合交直流电源要求，具备过电流保护，电气配线应符合连接和布线的一般要求，每根导线端部做出标识。

5.2.2 收集装置

配套收集装置应与机器人运动协同性好，能将机器人采摘的双孢蘑菇实时收集完成，遗落率应≤1%。

5.3 性能要求

5.3.1 深度识别误差

机器人对双孢蘑菇的深度识别误差应 $\leq 3\text{mm}$ 。

5.3.2 成熟度识别精度

机器人对双孢蘑菇的成熟度识别精度应 $\geq 90\%$ 。

5.3.3 采摘成功率

机器人对于非复杂成簇双孢蘑菇的采摘成功率应 $\geq 90\%$ ，对于复杂成簇双孢蘑菇的采摘成功率应 $\geq 50\%$ 。

5.3.4 采摘速度

机器人双孢蘑菇采摘时间应 $\leq 4\text{s}/\text{个}$ 。

5.3.5 无故障工作时间

机器人单次可稳定工作时长应 $\geq 10\text{h}$ 。

5.3.6 机电性能要求

5.3.6.1 机器人整机工作电压范围应为 $12\text{VDC} \sim 48\text{VDC}$ ，整机功率 $\leq 480\text{W}$ 。

5.3.6.2 所有电气接口应符合IEC或国家标准，具备防反接、防短路保护功能。

5.3.6.3 系统响应时间应不超过 2s 。

5.3.6.4 控制器应支持 EtherCAT / CANopen / RS485 / Modbus 等主流总线协议。

5.3.6.5 支持机械臂多轴同步控制，轴间误差应不超过 $\pm 3\text{mm}$ 。

5.3.6.6 最小重复定位精度应不大于 5mm 。

5.4 安全要求

5.4.1 报警装置

机器人报警装置应符合 GB/T 5226.1—2019 的规定，机器人出现机械故障或者环境异常应进行声光提示。

5.4.2 急停功能

机器人急停功能及配套急停装置应符合 GB/T 16754—2021 规定要求，在任何时间都应能运行和被操作运行，触发后机器人的危险运动和操作以适当的方式停止，不产生附加风险，且无需进一步人为干预。

5.4.3 防碰撞功能

防碰撞系统性能等级应达到 GB/T 16855.1—2018 规定的要求，可靠性应满足标准规定的 PLc 级要求。

5.4.4 安全标识

在机器人的明显部位，应固定永久性的安全标识，安全标识应符合 GB 10396 的规定。

5.4.5 卫生安全要求

机器人与双孢蘑菇直接接触的表面应便于清洁，不存在清洗介质无法到达的区域。

5.5 使用信息

5.5.1 说明书

机器人说明书的编写应符合GB/T 9480—2001的相关规定，应明确产品使用相关操作流程及注意事项，至少应该包括：

- a) 产品名称、型号、商标、主要技术参数和生产执行标准；
- b) 产品适用范围；
- c) 产品安装、调整、使用步骤；
- d) 产品维护及保养要求；
- e) 有关安全使用的规则要求和安全警示说明；
- f) 产品故障报警处理说明；
- g) 制造商或供应商名称、地址及电话。

5.5.2 标牌

机器人应在明显位置上牢固固定内容清晰可见的标牌，至少应包括：

- a) 产品商标、名称、型号；
- b) 主要技术参数；
- c) 制造商或供应商名称、地址；
- d) 出厂日期和出厂编号；
- e) 产品执行标准号。

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 试验场地

试验地应选择双孢蘑菇工厂化种植菇房中有代表性的种植区域，测区长度应不小于 10m，待采食用菌以二潮及三潮双孢蘑菇为主，环境温湿度以菇房实际温湿度为准，温度应为 16℃~20℃，相对湿度应为 85%~90%。

6.1.2 样机状态

试验样机应技术状态良好，试验前应按使用说明书的规定对样机进行调整保养，试验样机技术状态应符合产品说明书要求。

6.2 试验用仪器设备要求

试验用仪器设备应经过计量检定或校验合格且在有效期内。仪器设备的测量范围、测量准确度应不低于表 1 的规定。

表 1 主要仪器设备测量范围和准确度要求

序号	测量参数	测量范围	准确度要求
1	长度	0m~5m	1mm

		0m~50m	2mm
2	时间	0h~10h	1s/d
3	质量	0g~1000g	0.1g
		0kg~50kg	50g
		≥50kg	500g

6.3 基础要求检查

6.3.1 外观质量

- 6.3.1.1 按照 5.1.1 规定的内容逐项检查。
- 6.3.1.2 视觉检查机器人外观，按 SOP（标准作业流程）逐区域扫描，重点关注边角、接缝处；用手或无纺布手套沿表面滑动，感知凹凸、毛刺；用洁净白布擦拭表面，观察是否残留油渍或污迹等。

6.3.2 加工装配质量

- 6.3.2.1 按照 5.1.2 规定的内容逐项检查。
- 6.3.2.2 装配所用的零部件应经过检验合格，不得存在锈蚀、变形、加工缺陷等影响装配质量的缺陷。
- 6.3.2.3 所有待装配部件应清洁、无油污、无异物，必要时应进行除尘或脱脂处理。
- 6.3.2.4 装配前应核对装配图纸、工艺文件、工具与紧固件是否齐全。
- 6.3.2.5 装配应按规定的工艺流程进行，符合产品装配图纸和技术文件要求。
- 6.3.2.6 紧固件（如螺钉、螺母）应按规定力矩拧紧，必要时应采用防松措施（如弹簧垫圈、螺纹胶等）。
- 6.3.2.7 装配完成的机器人整机应通过以下项目的检查：各部件安装位置正确；无松动、错装、漏装；电气接线正确，控制系统初步通电无报警；运动机构运行平稳。

6.4 配套装置检查

按照 5.2 的规定逐项检查。

6.5 性能指标检测

6.5.1 深度识别误差

- 6.5.1.1 测量菌盖中心点到机器人行走轨道（测量板）的垂直距离 $x_1, x_2, \dots, x_{100}$ ；控制机器人到待识别双孢蘑菇上方，测量相机中心到机器人行走轨道的垂直距离 d ，如图 3 所示。

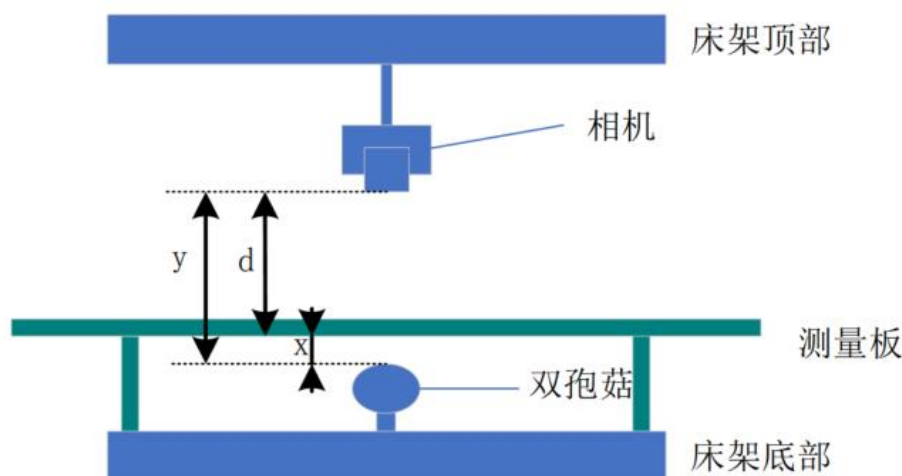


图3 深度识别误差测试方法示意图

6.5.1.2 运行相机进行深度识别，获得相机中心到菌盖中心点距离 $y_1, y_2, \dots, y_{100}$ 。

6.5.1.3 在测区内随机选取100个双孢蘑菇，按照公式（1）计算深度识别误差。

$$D_{\Delta} = \left| 100 \cdot d + \sum_{i=1}^{100} x_i - \sum_{i=1}^{100} y_i \right| / 100 \dots \dots \dots (1)$$

式中：

D_{Δ} ——深度识别误差，单位为毫米（mm）；

x_i ——测区内随机选取的双孢蘑菇菌盖中心点至机器人行走轨道（测量板）的垂直距离，单位为毫米（mm）；

d ——机器人搭载的深度相机中心至机器人行走轨道（测量板）的距离，单位为毫米（mm）；

y_i ——机器人输出的相机中心至菌盖中心点距离，单位为毫米（mm）。

6.5.2 成熟度识别精度

6.5.2.1 按照GB/T 37109—2018的规定，设定确定采摘阈值为40mm，大于等于该数值表示双孢蘑菇成熟，需要机器人进行采摘。

6.5.2.2 在测区内随机选择采摘区域，运行机器人进行采摘，采摘食用菌数量不少于100个，使用游标卡尺测量所有采摘下来的双孢蘑菇菌盖直径。按照公式（2）计算成熟度识别精度。

$$A = (m/n) \cdot 100\% \dots \dots \dots (2)$$

式中：

A ——成熟度识别精度；

m ——采摘的所有双孢蘑菇中，经人工测量直径大于等于40mm的双孢蘑菇数量；

n ——采摘的所有双孢蘑菇数量。

6.5.3 采摘成功率

在测试场景下选择包含不少于100个双孢蘑菇的区域作为测试区域，人工测定测试区域内应采摘成熟双孢蘑菇数量，之后机器人对选中区域进行采摘。按照公式（3）计算采摘成功率。

$$C = (p_1/p) \cdot 100\% \dots \dots \dots (3)$$

式中：

C ——非复杂成簇双孢蘑菇采摘成功率；

p_1 ——人工计数机器人成功采摘的双孢蘑菇个数；

p ——人工测量检测区域内应采双孢蘑菇的个数。

6.5.4 采摘速度

6.5.4.1 利用秒表确定开始和结束时间点。

6.5.4.2 开始时间点设定为采摘机械臂开始动作时间节点，结束时间点为采摘机械臂完成单个食用菌采收结束的时间节点。

6.5.4.3 使用计时器记录从开始到结束的总时间，采摘数量不少于100个，按照公式（4）计算采摘速度。

$$S = \sum_{i=1}^{100} s_i / 100 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

S ——采摘速度，单位为个每秒；

s_i ——采摘单个蘑菇从起始到结束的时间，单位为秒（s）。

6.5.5 无故障工作时间

记录机器人在至少7个工作日内运行的总时间和故障次数，按照公式（5）计算无故障工作时间。

$$MTBF = T/g \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$MTBF$ ——无故障工作时间，单位为小时（h）；

T ——运行总时间，单位为小时（h）；

g ——故障次数。

6.5.6 机电性能要求

6.5.6.1 机器人与配套系统性能要求应符合 5.3.6 规定的要求。

6.5.6.2 整机供电电压和功率取决于电池包或外部电源的设计，功率测量方法应根据精度和应用场景选择：临时测量应用万用表，长期监控应用功率模块或数字电表。

6.5.6.3 利用软件记录时间戳在程序接收到输入的瞬时时刻，执行处理逻辑，在响应输出时记录输出瞬时时刻，按照公式（6）计算系统响应时间。

$$\Delta T = T_2 - T_1 \dots\dots\dots (6)$$

式中：

ΔT ——系统响应时间，单位为秒（s）；

T_2 ——输出的瞬时时刻；

T_1 ——输入的瞬时时刻。

6.5.6.4 机器人的末端安装尖头标定针，使用控制系统控制设备接触标定板上的标定点，使用游标卡尺测得标定针与实际点的误差，取平均值得到硬件运动误差，测量点应不少于8个。并且多次测量得到重复定位精度。

6.6 安全性能测试

6.6.1 报警装置性能测试

报警装置性能是在机器人自动运行状态下，确认各种报警装置能够正常工作，具体包括：

- a) 自动运转指示灯；
- b) 启停报警；
- c) 低电量报警；

d) 异常报警。

6.6.2 急停功能测试

急停功能测试是在规定的速度自动运行的机器人，在菇床轨道上预先设定好的地点，按下急停按钮或启动急停功能，机器人紧急停止，测定标志位置到机器人停止位置的距离。

6.6.3 防碰撞功能

防碰撞功能是在规定的测试环境中，在防碰撞传感器正前方安装碰撞测试件，机器人能在检测到碰撞测试件时停止，测定碰撞测试件到机器人本体的距离。防碰撞功能应在任何工作模式下均能生效。

7 检验规则

7.1 检验类型

检验类型包括出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 出厂的机器人应经过制造商质量检验部门检验合格，并附有质量合格证和使用说明书。

7.2.2 机器人出厂检验应按表2规定的项目和要求进行。

表2 出厂检验项目及要求

序号	检验项目	检验类别		要求	检验方法
		出厂检验	型式检验		
1	外观质量检查	√	√	5.1.1	6.3.1
2	加工装备质量检查	√	√	5.1.2	6.3.2
3	配套装置检查	√	√	5.2	6.4
4	深度识别误差		√	5.3.1	6.5.1
5	成熟度识别精度		√	5.3.2	6.5.2
6	采摘成功率		√	5.3.3	6.5.3
7	采摘速度		√	5.3.4	6.5.4
8	无故障运行时间		√	5.3.5	6.5.5
9	机电性能检查		√	5.3.6	6.5.6
10	安全性能检查	√	√	5.4	6.6
11	技术文件	√	√	5.5.1	6.7.2
12	标牌	√	√	5.5.2	6.7.1
	注：“√”表示检验。				

7.3 型式检验

7.3.1 有下列情况之一时，应对机器人进行型式检验：

- a) 新设备或老设备转厂生产时；
- b) 正式生产后，结构、材料、工艺等有较大改变，可能影响设备性能时；
- c) 正常生产条件下，定期或周期性抽查检验时；

- d) 停产 1 年后，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 国家有关主管部门提出进行型式检验的要求；
- g) 使用方有重大问题反馈时。

7.3.2 抽样及判定规则：从出厂检验合格的设备中随机抽样，每次抽样2台。按表2进行型式检验，全部项目合格则判型式检验合格；如有不合格项，应加倍抽样，对不合格项进行复检，复检再不合格，则型式检验不合格。其中安全性能不允许复检。

8 包装、运输和贮存

8.1 包装

- 8.1.1 机器人在包装前应固定机械臂，保证牢固牢靠。
- 8.1.2 机器人本体及其配套装置应分开包装并按照规定进行标识。
- 8.1.3 机器人的包装应符合 GB/T 13384、GB/T 4768—2008、GB/T 4879—2016 的规定，包装形式应符合运输装卸的要求。包装所用材料应符合国家规定的包装材料要求，材料应无毒、不应发生降解或释放有毒物质。
- 8.1.4 机器人所有外包装上应标注有“小心轻放”“向上”“防潮”等储运标志，应符合 GB/T 191—2008 的规定。
- 8.1.5 机器人及其零部件包装时，应罩上塑料薄膜后装入包装箱内，不能装入包装箱内的零部件应做好包装防护，并牢固固定在运输工具上，应符合运输和装卸的要求。需防震的零部件应采取防震包装。
- 8.1.6 包装箱内应包括装箱单、合格证、使用说明书及安装图、必要的随机备件及工具、整箱清单及其他相关技术材料。

8.2 运输

- 8.2.1 机器人运输时应小心轻放，避免碰撞及雨淋。运输时应采用柔性材料包裹固定。
- 8.2.2 将机器人按其包装箱上的指定朝向置于运输工具上，要避免因人为、天气或环境等因素产生的破坏和污染。

8.3 贮存

机器人应贮存在通风、清洁、干燥的场所，远离热源和污染源，不应与有害物品（易燃、易爆、腐蚀性等）混放。若露天存放时，应有防雨雪浸淋、日晒和积水的措施。