

ICS65.060.50

CCSB90

团 体 标 准

T/CAAMM XXXX—202X/T/NJ XXXX—202X

双孢菇采摘机器人作业质量评价规范

Specification for operation quality evaluation of mushroom picking
robot

(公示稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国农业机械工业协会
中 国 农 业 机 械 学 会 发布

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》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的提出和发布单位不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业机械工业协会和中国农业机械学会联合提出。

本文件由中国农业机械工业协会归口。

本文件起草单位：河南科技大学、龙门实验室、第一拖拉机股份有限公司、中国农业机械化科学研究院集团有限公司、北京市农林科学院智能装备技术研究中心、中国农业大学、洛阳智能农业装备研究院有限公司、河南省农业科学院农业经济与信息研究中心、河南农业大学、奥吉特生物科技股份有限公司、洛阳菰田农业开发有限公司。

本文件主要起草人：马淏、崔宏伟、李倩文、王琳、赵博、安晓飞、赵凯旋、李寒、高颂、李保忠、姬江涛、金鑫、李国强、李连豪、李政伟、周利明、张开、贺智涛、郭紫阳、李泽金。

本文件为首次发布。

双孢菇采摘机器人作业质量评价规范

1 范围

本文件规定了双孢菇采摘机器人的术语和定义、安全要求、作业质量要求、试验方法、检验规则和评价规则。

本文件适用于双孢菇采摘机器人（以下简称采摘机器人）的作业质量评价。

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，仅该日期的对应版本适用于本文件；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 20339 农业拖拉机和机械 固定在拖拉机上的传感器联接装置技术规范

GB/T 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 14048.15 低压开关设备和控制设备 第 5-6 部分：控制电路电器和开关元件 接近传感器和开关放大器的 DC 接口（NAMUR）

GB/T 36239 特种机器人术语

GB/T 20721-2022 自动导引车 通用技术条件

NY/T 1790 双孢蘑菇等级规格

3 术语和定义

GB/T 36239 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

双孢菇采摘机器人 mushroom picking robot

由桁架式行走机构、图像采集装置、末端执行器、蘑菇收集装置等组成，具有图像识别系统与采摘控制系统的采摘机器人。

3.2

识别准确率 identification accuracy

在采摘区域内符合采摘要求且准确识别的双孢菇数量占采摘区域内所有符合采摘要求双孢菇总数的百分比。

3.3

识别精度 recognition accuracy

采摘机器人识别出符合采摘要求的双孢菇中心点坐标与相应双孢菇在菇床的实际坐标之间的差值。

3.4

采摘成功率 picking success rate

在所采摘到的双孢菇中符合采摘要求的双孢菇数量占采摘区域中所有符合采摘要求双孢菇数量的百分比。

3.5

采摘时间 picking time

采摘机器人识别到成熟的双孢菇后，从末端执行器开始执行采摘、放置双孢菇到收集筐，所消耗的时间。

3.6

采摘精度 picking accuracy

采摘机器人末端执行器执行采摘位置与所采摘双孢菇实际位置的差值。

3.7

采摘效率 picking efficiency

在采摘成功中的双孢菇，肉眼可见完好无损的双孢菇数量占采摘区域中所有符合采摘要求双孢菇数量的百分比。

3.8

漏检率 missed rate

在采摘区域内符合采摘要求但未被检测到的双孢菇数量占采摘区域内达到采摘要求双孢菇总数的百分比。

3.9

错检率 error detection rate

在采摘机器人所有检测为双孢菇中，不符合采摘要求的双孢菇和不应该被检测为双孢菇的数量之和占采摘区域内视觉系统检测为双孢菇总数的百分比。

3.10

采摘损伤率 picking damage rate

在采摘收集筐中，菇盖与菇柄分开、菇盖出现抓痕、菇盖有裂纹、菇柄断裂等损伤的双孢菇数量占收集筐中所有双孢菇的百分比。

4 安全要求

采摘机器人应满足 GB/T 20721-2022 中 6.8 规定的安全要求，并满足本文件 4.1 和 4.2

要求。

4.1 警报装置与安全标志

在采摘机器人外框架四角安装检测距离为 1 m 的红外传感器和在控制台安装警报装置，红外传感器装置安装应符合 GB/T 20339 的规定，并在双孢菇种植室入门明显的位置设置安全标志，安全标志应符合 GB/T 10396 的规定。

4.2 急停报警信息

采摘机器人运动方向极限位置安装限位开关，防止采摘机器人在复位以及作业运动过程中过量运行损坏设备。限位开关传感器的使用应符合 GB/T 14048.15 的规定。

5 作业质量要求

在满足本文件 6.16 的条件下，采摘机器人作业质量指标应符合表 1 的规定。

表 1 采摘作业质量指标

序号	项目名称	质量指标要求	试验方法对应的条款号
1	识别准确率	$\geq 93\%$	6.3.1
2	识别精度	$\leq 2\text{ mm}$	6.3.2
3	采摘成功率	$\geq 96\%$	6.3.3
4	采摘时间	$\leq 2.5\text{ s}$	6.3.4
5	采摘精度	$\leq 3\text{ mm}$	6.3.5
6	采摘效率	$\geq 87\%$	6.3.6
7	漏检率	$\leq 4\%$	6.3.7
8	错检率	$\leq 2\%$	6.3.8
9	采摘损伤率	$\leq 4\%$	6.3.9

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 依据食用菌工厂培养技术培育双孢菇，并能调控双孢菇种植室的环境条件。

6.1.2 双孢菇孢子实体长出后，对成团菌菇做疏菌处理，将严重粘连菌菇剔除。

6.1.3 试验用双孢菇应满足 NY/T1790 的要求，采摘直径应大于等于 35 mm，允许误差不应超过 5%。

6.1.4 试验的环境条件见表 2。

表 2 试验环境条件

环境条件	指标
环境温度	17 ℃~20 ℃

相对湿度	90% RH~95% RH
二氧化碳浓度	1500 ppm~1600 ppm
大气压力	75 kPa~120 kPa

6.2 试验前的准备和过程要求

6.2.1 采摘机器人基本性能要求

试验用采摘机器人应按使用说明书的要求安装并调整到正常工作状态。图像识别系统设置的扫描速度不应低于 0.1 m/s，选取夹爪夹力应在 15 N~20 N 范围。

6.2.2 双孢菇采摘清洁度要求

在采摘作业前，采摘机器人接触双孢菇的部件应定期清洁和消毒，如机械臂、机械手、收集装置或者其它接触到双孢菇的部分，都应保持清洁，以防止细菌或污物的传播。采摘过程中，采摘机器人应避免将双孢菇接触到地面、设备或者其它可能带有污染物的表面。同时采摘机器人的运动尽可能平稳，以防止因快速运动导致的灰尘等污染物飞扬。

6.2.3 双孢菇采摘完整性要求

采摘机器人在采摘过程中，应确保双孢菇菇盖和菇柄的完整性，尽可能减少对双孢菇造成不必要的破损，包括避免菇盖与菇柄的分离、机械手与双孢菇的脱落、机械装置与双孢菇的碰撞、挤压等。

6.2.4 非采摘双孢菇保护性要求

在采摘过程中，采摘机器人应尽可能避免对周围非采摘目标双孢菇的损伤。并且应减少对非采摘目标双孢菇生长环境的影响，其中包括避免对生长基质的破坏和在采摘过程中将病菌、病虫传播到双孢菇上，以免影响双孢菇的质量和产量。

6.3 试验方法

在菇床上取 4 块相邻采摘区域进行采摘试验，每块采摘区域长 1.5 m，宽为菇架宽。分别记录各个采摘区域内达到采摘要求的双孢菇总数量 n 、符合采摘要求且识别成功双孢菇数量 n_1 、双孢菇采后放入到采摘收集框内数量 n_2 、采摘到的有肉眼可见损伤的双孢菇数量 n_3 、以及每块采摘区域采摘所花费时间。试验后分别计算双孢菇识别准确率 r_{de} 、识别精度、采摘成功率 r_{su} 、采摘时间 \bar{t} 、采摘精度、采摘效率 r_{ou} 、漏检率 r_{md} 、错检率 r_{fd} 及采摘损伤率 r_{da} 。试验进行三次，试验结果取平均值。

6.3.1 识别准确率测定

采摘机器人识别准确率 r_{de} 按公式 (1) 计算：

$$r_{de} = \frac{n_1}{n} \times 100\% \text{-----} (1)$$

式中：

r_{de} ----可采摘区域内，视觉系统识别双孢菇的准确率，%；

n_1 ----为符合采摘要求且识别准确双孢菇数量，单位为株；

n ----采摘区域内达到采摘要求双孢菇总数量，单位为株。

6.3.2 识别精度测定

在 4 个采摘区域中，随机选择 4 个不同双孢菇位置，采摘机器人图像采集装置获取双孢菇的位置，记录机器人采集到的双孢菇的中心坐标 (x_k, y_k) ，记录所采摘双孢菇的实际位置 (x_j, y_j) ，按式 (2)、(3) 分别计算视觉检测坐标与末端执行器采摘双孢菇位置的差值，即为识别精度 $(\Delta x_2, \Delta y_2)$ ：

$$\Delta x_2 = \frac{\sum_{k,j}^{16} |x_k - x_j|}{16} \quad (2)$$

式中：

Δx_2 ----采摘机器人在 x 轴方向的识别精度，单位为毫米 (mm)；

x_k ----采摘机器人识别出双孢菇在 x 轴方向的位置，单位为毫米 (mm)；

x_j ----所采摘双孢菇实际位置在 x 轴方向的位置，单位为毫米 (mm)。

$$\Delta y_2 = \frac{\sum_{k,j}^{16} |y_k - y_j|}{16} \quad (3)$$

式中：

Δy_2 ----采摘机器人在 y 轴方向的识别精度，单位为毫米 (mm)；

y_k ----采摘机器人识别双孢菇在 y 轴方向的位置，单位为毫米 (mm)；

y_j ----所采摘双孢菇实际位置在 y 轴方向的位置，单位为毫米 (mm)。

6.3.3 采摘成功率测定

采摘机器人的采摘成功率 r_{su} 按公式 (4) 计算：

$$r_{su} = \frac{n_2}{n_1} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

r_{su} ----可采摘区域内，采摘机器人的采摘成功率，%；

n_2 ----双孢菇采后放入到采摘收集框内数量，单位为株；

n ----采摘区域内达到采摘要求双孢菇总数量，单位为株。

6.3.4 采摘时间测定

在 4 个采摘区域中，随机选择 4 个不同双孢菇位置，在单片机中设置定时器，从末端执行器开始执行采摘计时，之至将双孢菇放置收集筐结束，记录单片机上显示的运行时间 t_i ，按式 (5) 计算采摘双孢菇的时间，即为采摘机器人的采摘时间 \bar{t} ：

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{16} t_i}{16} \quad (5)$$

式中：

\bar{t} ----采摘机器人采摘时间，单位为秒（s）；

t_i ----采摘机器人完成一次采摘所用的时间，单位为秒（s）。

6.3.5 采摘精度测定

在 4 个采摘区域中，随机选择 4 个不同双孢菇位置，采摘机器人到达双孢菇正上方后（不抓取），记录采摘机械手几何中心坐标 (x_i, y_i) ，记录所采摘双孢菇的实际位置 (x_j, y_j) ，按式（6）、（7）分别计算视觉检测坐标与末端执行器采摘双孢菇位置差值的均值，即为采摘精度 $(\Delta x_1, \Delta y_1)$ ：

$$\Delta x_1 = \frac{\sum_{i,j}^{16} |x_i - x_j|}{16} \text{-----} \quad (6)$$

式中：

Δx_1 ----采摘机器人在 x 轴方向的采摘精度，单位为毫米（mm）；

x_i ----末端执行器到达双孢菇在 x 轴方向的位置，单位为毫米（mm）；

x_j ----所采摘双孢菇实际位置在 x 轴方向的位置，单位为毫米（mm）。

$$\Delta y_1 = \frac{\sum_{i,j}^{16} |y_i - y_j|}{16} \text{-----} \quad (7)$$

式中：

Δy_1 ----采摘机器人在 y 轴方向的采摘精度，单位为毫米（mm）；

y_i ----末端执行器到达双孢菇在 y 轴方向的位置，单位为毫米（mm）；

y_j ----所采摘双孢菇实际位置在 y 轴方向的位置，单位为毫米（mm）。

6.3.6 采摘效率测定

采摘机器人采摘效率 r_{ou} 按公式（8）计算：

$$r_{ou} = r_{de} \times r_{su} \times (1 - r_{da}) \text{-----} \quad (8)$$

式中：

r_{ou} ----双孢菇采摘机器人采摘效率，%；

r_{de} ----可采摘区域内，视觉系统双孢菇识别准确率，%；

r_{su} ----可采摘区域内，采摘机器人采摘成功率，%；

r_{da} ----双孢菇严重损伤率，%。

6.3.7 漏检率测定

漏检率 r_{md} 按公式（9）计算：

$$r_{md} = \frac{n_{11}}{n} \times 100\% \text{-----} \quad (9)$$

式中：

r_{md} ----双孢菇采摘机器人的漏检率，%；

n_{11} ----符合采摘要求但漏检的双孢菇数量，单位为株；
 n ----采摘区域内达到采摘要求双孢菇总数量，单位为株。

6.3.8 错检率测定

错检率 r_{fd} 按公式（10）计算：

$$r_{fd} = \frac{n_{12}}{n} \times 100\% \text{-----} (10)$$

式中：

r_{fd} ----双孢菇采摘机器人的错检率，%；
 n_{12} ----在检测到的双孢菇中，干扰目标被检测为双孢菇的数量，单位为株；
 n ----采摘区域内达到采摘要求双孢菇总数量，单位为株。

6.3.9 采摘损伤率测定

采摘损伤率 r_{da} 按公式（11）计算：

$$r_{da} = \frac{n_3}{n_2} \times 100\% \text{-----} (11)$$

式中：

r_{da} ----双孢菇损伤率，%；
 n_3 ----双孢菇采摘机器人采到的有肉眼可见损伤的双孢菇数量，单位为株；
 n_2 ----双孢菇采后放入到采摘收集框内数量，单位为株。

6.3.10 安全要求测定

采摘机器人安全性能要求按 GB/T 20721-2022、GB/T 20339、GB/T 10396、GB/T 14048.15 的规定进行。

7 检验规则

按检验项目对采摘质量影响程度，划分为 A 类和 B 类。检验项目分类见表 3。

表 3 检验项目分类表

分类		项目名称	对应条款
类	序号		
A	1	安全性能要求	4
	2	识别准确率	5
	3	识别精度	5
	4	采摘成功率	5
	5	采摘时间	5
	6	采摘精度	5
B	7	采摘效率	5
	8	漏检率	5

	9	错检率	5
	10	采摘损伤率	5

8 评价规则

对所有检验项目指标进行逐项检测，A 类全部合格，B 类至多 1 项不合格，则判定采摘机器人合格。出现其余情况判定为不合格。