

ICS  
CCS

# 团 体 标 准

T/CAAMM XXXX—202X/T/NJ XXXX—202X

---

植物工厂 叶菜生产作业性能评价规范

Plant factory – Essessment standard of leafy vegetable production operating  
performance

（征求意见稿）

---

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

---

## 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内容可能涉及专利。本文件的发布机构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：华南农业大学、广东省良种引进服务公司、珠海益品农业科技有限公司、广东弘科农业机械研究开发有限公司、仲恺农业工程学院、河南科技大学、浙江理工大学。

本文件主要起草人：牟英辉、刘厚诚、辜松、郭少龙、陈兴平、刘国维、马稚昱、刘霓红、金鑫、夏红梅、杨意、欧娟爱、韦鸿钰、程俊峰、李慧玲、褚璇、马义东、童俊华、张雷。

本文件为首次发布。

# 植物工厂 叶菜生产作业性能评价规范

## 1. 范围

本文件规定了无人化植物工厂叶菜生产作业性能总体评价方法的术语和定义、作业条件、作业质量要求、检测方法、判定规则等内容。

本文件规定了无人化植物工厂（以下简称植物工厂）叶菜生产作业性能总体评价方法。

## 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 32655-2016 植物生长用 LED 光照 术语和定义

DB21/T 3075-2018 蔬菜作物植物生长调节剂使用准则

T/SZFPA 03-2018 全人工光植物工厂技术规范

NY/T 1408.6-2016 农业机械化水平评价 第 6 部分：设施农业

DB3210/T 1100-2021 叶菜水培生产操作规程

DB11/T 163-2021 叶菜类蔬菜生产操作规程

DB21/T 2990-2018 日光温室植物生长灯应用操作规程

## 3. 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1.

栽培区 cultivation zone

指植物工厂中进行立体栽培的区域。

### 3.2.

作业区 operation zone

植物工厂中开展栽培作业以外生产作业的区域。

注：主要包括进行播种、移植、采收、包装和清洗等作业。

### 3.3.

栽培杯 hydroponic net cup

用于承放栽培基质，在侧面或底面有镂空结构的杯状容器。

### 3.4.

种植单元 cultivating unit

用于固定安置栽培杯，并可以被移动搬运、尺寸统一的托盘类容器。

注：尺寸为长 600mm、宽 400mm（GB/T 39907-2021）

**3.5.**

立体栽培架 vertical cultivating shelf

指植物工厂栽培区中以立体形式放置种植单元、辅助种植单元输入输出作业的立体结构，其上并配置有栽培所必需的营养液输送管道及人工光装置等。

**3.6.**

日常生产作业 daily operation

在植物工厂中每日需完成的生产作业。

注：为实现植物工厂叶菜每日定量产出，每日需要完成的播种作业、移植作业（移植）、采收作业（采收、包装、清洗作业）三个环节。播种作业环节包括育苗盘播种、育苗盘输送至育苗室；移植作业环节包括育苗盘向种植单元移植、育苗盘输送及种植单元向栽培区；采收作业环节包括种植单元成菜采收、成菜采收、种植单元清洗及设备间种植单元输送。

**3.7.**

作业区生产装备 equipment in operation zone

指在作业区内完成播种、移植、采收、包装和清洗等生产作业的装备。

**3.8.**

作业区物流输送装备 convey equipment in operation zone

在作业区的播种、移植、采收、包装和清洗等设备之间输送种植单元等生产资材的装备。

**3.9.**

种植单元立体物流输送装备 convey equipment of cultivating unit for vertical cultivation

在作业区与栽培区之间以及立体栽培架上，针对种植单元进行立体输送的输送线、穿梭车、升降机以及搬运车等设备构成的物流输送系统。

**3.10.**

植物工厂装备系统 plant factory equipment system

指由作业区生产装备、作业区物流输送装备和种植单元立体物流输送装备构成的系统。

**3.11.**

人工作业 labor activity

在日常生产作业中无法使用机械完成的作业。

注：主要存在于播种、移栽及采收三个环节

**3.12.**

日产量 daily output

植物工厂每日循环生产叶菜的总重量。

3.13.

日投入人工数 daily manpower input  
植物工厂每日循环生产叶菜投入的总人数。

3.14.

植物工厂成菜 mature leafy vegetables in plant factory  
植物工厂中的叶菜经过周期性培育生长至可采收出售的状态称为植物工厂成菜。

3.15.

植物工厂生产周期 lead time of plant factory  
植物工厂由播种开始，到成菜收获所需的栽培天数。

4. 作业条件

- 4.1 水培叶菜的营养液使用按照 DB21/T 3075-2018；栽培盘，转运杯大小适宜，留出足够空间供叶菜生长。
- 4.2 人工光的使用规范按照 T/SZFAA 03-2018 和 DB21/T 2990-2018。
- 4.3 植物工厂生产流程为：对种子进行精量播种后通过物流输送系统运送到催芽室进行催芽，然后运输至栽培区栽培架上进行栽培，最终长成成菜完成采收。
- 4.4 设施装备操作人员应经过技术培训，考核合格，并按照技术规程要求正确操作。

5. 生产作业环境

- 5.1 人工作业环境温度为+20℃~+27℃；栽培生产环境温度+20℃~+25℃。
- 5.2 工作环境湿度≤80%。
- 5.3 电源采用 AC380/220V。

6. 评价方法与评价指标

6.1 评价指标

在第 4 章和第 5 章规定的作业条件下，植物工厂生产作业性能指标应符合表 1 的规定。

表 1 植物工厂生产作业性能指标

序号	项目名称	检测方法对应的条款
1	植物工厂温度差	6.2
2	植物工厂湿度差	6.3
3	光照强度	6.4
4	营养液 EC 值误差率	6.5
5	营养液灭菌率	6.6
6	成菜合格率	6.7
7	每千克成菜生产耗电量	6.8
8	播种作业环节生产率	6.9
9	移栽作业环节生产率	6.10
10	采收作业环节生产率	6.11

11	作业自动化率	6.12
----	--------	------

## 6.2 植物工厂温度差

在关闭 LED 光源情况下,以植物工厂内每上下高度 1m、前后左右距离为 2m 的位置设置一个检测点,检测每个点位置的温度,最高温度和最低温度之差即为植物工厂温度差。

## 6.3 植物工厂湿度差

在植物工厂稳定工作情况下,以植物工厂内每上下高度 1m、前后左右距离为 2m 的位置设置一个检测点,检测每个点位置的湿度,最高湿度和最低湿度之差即为植物工厂湿度差。

## 6.4 光照强度

,随机选取植物工厂内栽培架上植物冠层高度的 10 个点,使用光合光量子通量密度测定仪,将传感器放置水平进行测试,每个点测试 3 次,同时记录测定结果。

## 6.5 营养液 EC 值误差率

在植物工厂稳定工作情况下,使用 EC 值检测仪对营养液进行测量,测量出的最大值或最小值设定值间的差值与设定值的比值,按式(1)计算 EC 值误差率。

$$\delta = \frac{|\mu_m - \mu|}{\mu} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$\delta$  ——实际 EC 值与设定值偏差比值,单位为%;

$\mu_m$  ——测量的实际 EC 值,单位为毫西门子每厘米;

$\mu$  ——设定的 EC 值,单位为毫西门子每厘米。

## 6.6 营养液灭菌率

具体实施参考 GB/T 19972-2018《医疗保健产品灭菌 生物指示物 选择、使用和结果判断指南》和 HJ 1190-2021《水质 灭菌生物指示物(枯草芽孢杆菌黑色变种)的鉴定 生物学检测法》。

## 6.7 成菜合格率

一个生产周期内,记录成菜生产的总数量和其中合格成菜的数量,并根据式(2)进行计算。

$$\alpha = \frac{f_1}{F} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

$\alpha$  ——成菜合格率,单位为%;

$f_1$  ——合格成菜的数量,单位为株;

$F$  ——生产成菜的总数量,单位为株

## 6.8 每千克成菜生产耗电量

植物工厂栽培区内每生产 1kg 成菜所消耗的电量。按式(3)计算每千克叶菜生产耗电量。

$$W = \frac{w_1}{m} \quad (3)$$

式中：

$W$ ——每千克叶菜生产耗电量，单位为千瓦时每公斤；

$w_f$ ——植物工厂 1 周期内生产叶菜所需的总耗电量，单位为千瓦时；

$m$ ——植物工厂 1 周期内生产的叶菜总重量，单位为千克。

## 6.9 播种作业生产率

以 10 分钟为一组，统计播入的种子总数，一共三组，并按照公式（4）计算播种作业环节生产率。

$$v_1 = 6 \times \frac{p_1 + p_2 + p_3}{3} \quad (4)$$

式中：

$v_f$ ——播种作业环节生产率，单位为粒/每小时；

$p_i$ ——第  $i$  组播入种子，单位为粒。

## 6.10 移栽作业生产率

以 10 分钟为一组，统计移栽种苗的总数，一共三组，按照公式（5）计算日循环作业中移栽作业的生产率。

$$v_2 = 6 \times \frac{z_1 + z_2 + z_3}{3} \quad (5)$$

式中：

$v_z$ ——移植作业环节生产率，单位为株/每小时；

$z_i$ ——日常生产作业中移栽作业环节移栽的种苗数，单位为株；

## 6.11 采收作业生产率

以 10 分钟为一组，统计采收成菜的总数，一共三组，按照公式（6）计算采收作业环节生产率。

$$v_3 = 6 \times \frac{c_1 + c_2 + c_3}{3} \quad (6)$$

式中：

$v_c$ ——采收作业环节生产率，单位为株/每小时；

$c$ ——日常生产作业中采收作业环节采收的成菜数量，单位为株；

## 6.12 作业自动化率

植物工厂日常作业中，播种作业环节、移栽作业环节及采收作业环节依靠作业区生产装备、作业区物流输送装备和种植单元立体物流输送装备完成的自动化作业用时与其加上人工作业用时和的比值，按照公式（7）计算作业工时自动化程度。

$$A = \frac{T_s + T_n + T_m}{T_s + T_n + T_m + t_h} \quad (7)$$

式中：

$A$ ——作业工时自动化程度，单位%；

$T_s$ ——日循环作业环节中播种环节所需作业时间，单位为小时；

$T_n$ ——日循环作业环节中移栽环节所需作业时间，单位为小时；

$T_m$ ——日循环作业环节中采收环节所需作业时间，单位为小时；

$t_h$ ——植物工厂日循环作业中人工作业时间，单位小时（h）

6.13 评价方法

植物工厂叶菜生产作业状况性能评价规则如表 2 所示，满分为 100 分。

表 2 作业性能指标评价规则

序号	项目名称	合格指标	满分指标	分值
1	植物工厂温度差	$\pm 4^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	5
2	植物工厂湿度差	$\pm 7\%$	$\pm 4\%$	5
3	光照强度	$< \text{设定值的 } 5\%$	合格	10
4	营养液 EC 值误差率	$< 5\%$	合格	5
5	营养液灭菌率	$> 99\%$	合格	5
6	成菜合格率	$\geq 90\%$	$\geq 95\%$	10
7	每千克成菜生产耗电量	$\leq 16\text{kw} \cdot \text{h/kg}$	合格	5
8	播种作业环节生产率	$> 6000 \text{ 粒/h}$	$> 10000 \text{ 粒/h}$	15
9	移栽作业环节生产率	$> 2500 \text{ 株/h}$	$\geq 4500 \text{ 株/h}$	15
10	采收作业环节生产率	$> 1000 \text{ 株/h}$	$\geq 2000 \text{ 株/h}$	15
11	作业自动化率	$> 50\%$	$> 70\%$	10

根据各项指标的实际测定值，按照表 2 规定的得分标准，利用插值法，计算每一项指标的得分，按式（8）计算总得分。

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$Q$ —作业性能评价总得分；

$q$ —作业性能评价分项得分；

$i$ —分项指标对应序号

表 3 作业性能评价等级评定标准

序号	总分数	判定结果
1	$Q \geq 90$	优秀
2	$90 > Q \geq 80$	良好
3	$80 > Q \geq 70$	一般
4	$70 > Q \geq 60$	合格
5	$Q < 60$	不合格