



# 植物工場運営 超入門

Shohei Imamura

PFBoost

# 植物工厂运营超入门

# 目录

## 前言

- 本书的结构与使用方法
- 作者

## 第1章 植物工厂的未来与展望

- 植物工厂是什么——区分两种类型
- 了解植物工厂的"现在"
- 为什么植物工厂会陷入亏损？
- 行业数字与新闻的读法
- 赚钱的植物工厂的现实
- 与露地种植和设施园艺的决定性差异
- 理解研究与现场的距离
- 植物工厂管理者的3个角色

## 第2章 栽培管理基础知识

- 植物工厂选择作物的要点是什么？
- LED植物照明的应用
- 光
- 水培系统
- 温度管理
- 湿度管理
- CO<sub>2</sub>的利用
- 空调系统和风的管理
- 肥料的处理
- 营养液管理
- 叶尖焦枯
- 徒长
- 为了进一步提升栽培管理水平

## 第3章 现场运营管理的实践

- 现场运营管理从何学起——苗、数值、人的三层
- 生产计划的拟定
- 播种
- 育苗
- 移植与定植
- 采收与修整
- 采收后的作业
- 员工的管理与教育
- 卫生管理的彻底
- 数据分析

结语



# 前言

植物工厂不是一门靠买齐设备就能赢的生意。

自2011年进入这个行业以来，我在人工光型设施里种植叶菜已超过十年，前后走访了大大小小的逾十家植物工厂。资金雄厚的大企业有时也会在几年内黯然退出，而另一些工厂却通过日积月累的点滴改善，将盈利能力稳定下来。差距几乎全在于"现场怎么运作"，而不在于设备或系统。最新传感器旁边，员工还在用双手逐片确认叶片状态——植物工厂，就是这样一个地方。

现场的本事，说到底要在现场里磨。读完这本书，不代表明天就能上手干活。但如果提前掌握行业与工作的基础知识，在现场的吸收速度会肉眼可见地加快。"这道工序是为了什么""这个数字意味着什么"——搞清楚这些的人，和只是照吩咐动手的人，即使同样过一天，积累的东西截然不同。

所以这本书，我想把它写成上司或前辈能直接递给新人、说一句"先把这本读一读"的书。它是一本在走上现场之前，用来全面了解行业与工作整体面貌的入门基础书。

## 本书的结构与使用方法

全书按三条脉络展开。

- 第1章讲这个行业的全貌：植物工厂是个什么样的世界、如今走到了哪一步、又在哪些地方分出了不同的路。
- 第2章夯实栽培基础：光照、温度、营养液——蔬菜生长机制的根基。
- 第3章进入现场实践：日常有哪些作业，管理者关注什么。

按这个顺序读下来，走上现场时就能明白"此刻我在整体的哪个位置"。

有一点需要事先说明。本书专注于打通行业与工作的基础全貌，对于与盈利能力直接挂钩的深层判断——如何找到最优值、成本削减该砍哪里、销售渠道的设计、投资的取舍——并不深入展开。那是从现场经验中提炼出来的实践知识领域，由姐妹篇《提高植物工厂盈利能力的172个实用技巧》逐一讲解。用本书把握全貌之后，有需要时再翻开那本书即可。

如果你能把这本书当成交给新人的培训资料来用，那就是我最高兴的事。复印、转发都请随意。只是著作权我并没有放弃，请不要擅自改动内容。

## 作者



Shohei Imamura

2011年进入植物工厂行业。先后以现场操作员、支持团队经理的身份，参与大大小小逾十家植物工厂的创立与运营。累计从事员工培训逾600人次。

由此深信：影响植物工厂盈利能力的，不是设备或系统，而是操作这些设备的人的技能与知识。现已独立执业，为植物工厂提供盈利改善咨询、支持及内容服务。

# 第1章 植物工厂的未来与展望

你好。你即将踏入的，是"植物工厂"这个从外面看难以看懂的世界。我从2011年起就在这个行业，在人工光型种叶菜的现场待了10年以上，也走过10多处工厂。创业初期的兵荒马乱、撤退现场的窘境、悄无声息就实现盈利的工厂——这些我都见过。这一章，是写给刚踏进现场的你的，我想把整个行业的全貌一次性交到你手里。具体的盈利方法留给后面的章节和《172个实用技巧》，这里先用现场前辈的口吻，把"植物工厂是什么、现在是什么状态、哪里是分水岭"一口气讲通。不用想得太复杂，抱着先抓住整体轮廓的心态读下去就好。

## 植物工厂是什么——区分两种类型



听到"植物工厂"这个词，很多人脑子里浮现的是工厂的流水线。按下按钮，标准化的产品就源源不断地出来；只要装上设备，什么都能廉价量产——这是机械工厂养出来的直觉。可一旦带着这个直觉走进去，多半会看走眼。同样叫"植物工厂"，里面的东西却可以天差地别。先把这个区分揣在手边，再往下走。

用太阳，还是用电力造一切？

最关键的分界线只有一条。用太阳光，还是连光也全靠电力自己造？

用太阳光的类型，也就是通常说的太阳光利用型，可以把它理解成温室大棚的延伸。光从屋顶免费照进来。像工厂一样去管理的，只是光以外的部分——温度、湿度、CO<sub>2</sub>、浇水——靠测量和控制来实现。它管的不是光，而是光以外的一切，这就是这类设施的本质。

另一类是完全人工光型，在没有窗户的房间里，把太阳彻底甩在门外。然后，把本来免费的光用电力重新买回来，自己重新造一遍。不只是光，连空调系统和湿度也全靠电力来维持，好在

室内重现外面的天气条件。这就是和外界彻底切断所付出的代价。我待了10年以上的，正是这一类——在人工光型工厂里种叶菜的现场。本书中凡是写到"我见过的"，基本上都是这个范围内的事。至于太阳光利用型，以及果菜类、海外大规模案例，这里只是作为从论文和基本原理推断出来的看法顺带提及。

本书中，除非特别说明，"植物工厂"指的都是完全人工光型。新人最初分配到的，通常也是这里。

为什么能种的作物偏向叶菜？

生菜、菠菜、嫩叶菜。植物工厂的话题里出现的，大多是叶菜。原因从"用电力买回光"这个约束里自然就能推出来。叶菜对光的需求量不那么大，个子矮，能在架子上叠成好几层，生长周期也短。所以，才勉强撑得住用电力造光的成本。

反过来，结果实的作物就是另一个数量级了。像番茄这种结果的作物对光量需求很大，植株越高，光越难送到下面的叶片，效率也跟着降低。到了大米、小麦这类主食，就更极端了。所以，完全人工光条件下能商业化种植的，目前基本上只限于低矮的叶菜类。

这就是"工厂"这个词骗人的地方。普通工厂投入的设备越多，能生产的东西就越广；可植物工厂的完全人工光恰恰相反——能生产的东西反而被死死收窄。而且里面种的是活物，需求一旦下降，也没法像流水线那样喊停，再从原地重启。种下去的种子，不管卖不卖得出去，都会按它自己的节奏长下去。这不是把什么都廉价量产的装置，而是一种让有限的作物不受天气影响、稳定出货的装置——不是扩大产量的工厂，而是抹平波动的工厂。

行业数字，不要直接套用到自己身上

接下来，当你开始调研"植物工厂到底怎么样"，最先落到手里的，通常都是数字。"亏损率几成" "初期投资几个亿"。本书后面也会出现这类行业数字。但先说一句：这种一刀切的数字，不能直接拿来衡量自己的项目。因为那是把类型、作物、规模各不相同的东西凑在一起算出的平均值。把完全人工光的生菜、太阳光利用型的番茄、半玩票性质的小型设施全都算作"植物工厂"得出的亏损率，未必套得到你自己这套组合上。数字本身怎么读，留到后面的小节里再单独讲。

确认的顺序

最后，作为基础只说一点。调研植物工厂时，要是一上来就想从类型下手来定，多半会迷路。我建议反过来，先从出口切入。谁、以什么价格、买什么。这个定了，想要的作物就定了；作物定了，所需的光照强度和株高就大致把类型框住了；到这一步，才谈得上真正去读别人的数字，只挑出条件和自己相近的案例来参考。出口、作物、类型、数字。只要不打乱这个顺序，就不会出大错。



哪条销售渠道、哪种作物能跑通核算——这个判断本身就是收益设计，所以本书只停在入口，深入的判断交给《172个实用技巧》。先掌握这三点：有两种类型、为什么偏向叶菜、数字要拆开来。带着这三点，我们去看接下来的"现在"。

## 了解植物工厂的"现在"

我进植物工厂这行是2011年，正赶上所谓的"植物工厂热潮"。大企业一家接一家进场，各地都在建新工厂，媒体把它当作"未来农业"大加报道。

然而，后来的发展并没有如期而至。就连有资金实力、有品牌影响力的大企业，也在几年内相继撤退。事实证明，引入最先进的设备并不等于成功。一时的建设热潮退去之后，如今这个话题被谈起的方式也变了。

### 为什么现在再次受到关注？

在撤退消息不断的同时，过去这几年，植物工厂受到的关注反而重新升温了。原因很明确：能否稳定拿到食物——也就是粮食安全上的担忧，正在全世界范围内加剧。

触发点往往是"从外面进口的食物可能断供"这类事件。传染病导致物流中断时，冲突让运输路线不稳时，每次都会冒出对植物工厂的问询激增，这种情形反复出现。植物工厂与其说是压低运输成本的技术，不如说是一种不依赖运输就能持续生产的技术。哪怕物流停了，设施内部照样能继续生产。所以它被重新看作"在本国内、不受天气和国际局势摆布地生产食物的手段"。

这种势头在农业条件恶劣的地区表现得更强烈。气候和土壤不适合农业、水资源匮乏、食物大量靠进口——对这样的地区来说，植物工厂与其说是经营上的一个选项，不如说直接关系到国家层面怎么保住粮食安全。这和日本这种常被念叨"电费太贵、不划算"的国家，衡量核算的尺子本就不一样。在露地种植本身就困难的地区，"植物工厂成本高"这个劣势相对就小了，反而更容易作为商业模式立得住。植物工厂是得是失，取决于在哪里、由谁来看。

不过，这并不是说一切都是好消息。植物工厂的LED、控制系统、基质、管道等设备和材料，很多都依赖进口。正因为运输一停就拿不到食物，才想着建设施，可建这个设施所需的部件，同样受运输摆布——这个矛盾，得老老实实放在心里。事情没简单到可以直接说一句"所以就该搞植物工厂"。

### 看进场企业，要看"在哪里赚钱"，而不是看"数量"

关注度一上来，扫一眼进场企业阵容的机会也多了。"又有大企业进场""那家公司也撤了"这类标题，时不时就冒出来。

这时候，人容易用数量来判断——“聚了这么多，应该很有前途吧”。可仔细看阵容，会发现参差不齐。有原本做半导体、家电的制造业公司，有从餐饮、流通转进来的，也有农业创业公司这样的新兴力量。把这些一律统计成“进场○家”，其实不过是把实际上在做不同事情的人搅在了一起。

我个人比较认可的看法，是按收益从哪里来——也就是“在哪里赚钱”——分成三个层次。

第一类是靠卖设备和工厂赚钱的层次。制造业出身的多，对他们来说，蔬菜更像是展示自家设备实力的样品。想卖的是装置，不是蔬菜本身——这类公司很扎眼。第二类是把自己种的蔬菜往外卖的层次。农业创业企业 and 专业运营方在这一层，是真正在“蔬菜价格”上拼的。第三类是像餐饮、流通那样自产自用的层次。这一类甚至谈不上在市场上卖蔬菜。

这三类，哪怕都打着“在做植物工厂”的旗号，面对的对手和盈利的条件也完全不同。所以进场企业数量多，并不等于竞争激烈（市场拥挤）。要紧的是，在自己瞄准的销售渠道上，哪一层聚了多少人。如果卖蔬菜的那一层在抢同一块超市货架，那里才是真正拥挤的地方。可想卖设备的制造业出身那批，在那块货架上根本不怎么跟你争。“进场○家”这个数字，几乎说不清你想进的那条销售渠道到底有多挤。

新人阶段，读到这里就够了。当你在新闻里看到进场和撤退的数字时，养成停一下、先分个类的习惯：“这是卖设备的事，还是卖蔬菜的事，还是自用的事？”光是这一点，对行业的看法就会立体许多。自家公司瞄准哪个区间、哪里有空缺——真要判断并出手，那就是经营层面的事了，本书只停在入口，深入的解读交给《172个实用技巧》。

## 变了的，和没变的

这10多年里，有些事确实变了。LED植物照明的性能大幅提升。我刚进现场那会儿，还有些工厂用的是荧光灯。栽培数据的管理、系统的效率化也在往前走。技术层面，是有扎实进步的。也有些事没变。在这行待了10年以上，我感受最深的一点是，左右植物工厂收益性的，不是设备或系统，而是操作它们的“人”。最新的IoT传感器旁边，员工正用手一片片查看叶子的状态。AI环境控制旁边，老手的“手感”依然管用。植物工厂，就是这么个地方。

尽管如此，植物工厂还是有可能性的

老实说，我不觉得这是个可以乐观的局面。但在严峻的环境里，确实有能盈利的工厂。它们的共同点，是懂得“怎么把现场转起来”。

不在设备好坏，而在现场员工对种植理解得有多深、能不能把日复一日的判断攒下来。我亲眼见过不知多少工厂，因为一个微小的改善就发生了大幅转变。

不受天气影响的稳定生产、有限土地上的高产出、农药用量的大幅削减。这些优势在许多地区都有价值。而且，只要全球范围内各自保住粮食的需求持续升温，这项技术派上用场的场合只会越来越多。本书要把支撑这一切的基础知识，作为一幅整体面貌交给你。

不过，话说有可能性，现实也没那么甜。下面，我们就正面看看另一面——"严酷的现实"——这么多工厂为什么都在亏损。

## 为什么植物工厂会陷入亏损？

尽管有可能性，现实里还是有很多工厂被逼着在艰难的经营中硬撑。

- "设备投资砸得太多了"
- "蔬菜没长成预期的样子"
- "种是种出来了，可卖不掉"

这些是现场常听到的声音。为什么这么多工厂都在亏损里挣扎？

首先得讲清楚一点："植物工厂是亏损产业"这个笼统的标签，最容易把判断力磨钝。"六成亏损"这样的标题看多了，不知不觉就认了"这行就这样"。可实际上一家家去看，会发现也有盈利的也有亏损的，而且能看出差距是从哪儿来的。我在人工光型工厂待了10年以上、经手过10多处之后，感受最深的是：真正的分水岭不在行业本身，而在"做法"。

### "创业期的亏损"和"结构性亏损"是两回事

笼统说亏损，里面其实混着性质不同的东西。不分青红皂白一句"亏损就是不行"，是最危险的。

一种是创业期亏损。植物工厂的设备折旧，不管转不转都在照计提。创业期会有几个月架子空着，良品率在初期通常也达不到计划值。所以头几年容易亏。但这是会随着运转率上去、良品率稳住而每个月都在收窄的亏损。可以说，这是投资走向回收的正常过程中的一个阶段。

另一种是结构性亏损。运转率和良品率都已经顶到头了，亏损幅度却纹丝不动。这就不是创业期的问题了，而是只要用那台设备种那种作物就甩不掉的、在设计阶段就注定了的亏损。

要看的不是亏不亏这个符号，而是这笔亏损随着时间往哪个方向走。时间拖得越久、亏损越收窄，那是创业期亏损。时间过去了却没变化，那是结构性亏损。前者要的是资金周转和耐心，后者要的是调整作物或撤退——要打的牌完全不同。

### 撬动核算的三个杠杆

那么，"做法"里的什么决定了核算？优缺点清单上能列出一大堆条目，可真正撬动核算的杠杆，归根结底只有三个。电力、销售渠道、现场执行力。支出里最大的一块是电力，决定收入上限的是销售渠道，而最终左右这两者的，是现场能收多少——也就是现场执行力。

这三个性质上不一样。电力和销售渠道，开工前就能在纸面上定下来。电费怎么谈、种什么、卖给谁，这些在图纸和合同阶段就能先敲定。而现场执行力，是跑起来之后才起作用的乘数。同样的设备、同样的电费单价、同样的销售渠道，现场管理的好坏会让收获量和品质差出天壤之别。所以现场执行力是最后会反过来咬住核算的变量，得单独拿捏。

顺序很要紧。三者里最先要看的是销售渠道。它最容易被拖到后面才处理，同时又是最没法挽回的。有一个问题基本能看出底细："还没开始生产，是不是已经定下了谁、以什么价格、每周买多少？"答不上这个数字的项目，设备再气派也危险。反过来，只要这个填进去了，需要多大规模、固定成本上限能放到哪儿，都能从这里倒推出来。要是顺序反了——先有设备再去找买家——那本身就是往亏损那一侧滑的苗头。

这里举一个现场常见的反转例子。亏损的工厂里，偶尔会混着"气派的设施"。引入最新设备、规模又大的地方，亏起来反倒看着更大。按常理，设备越好越该占优才对，可事实偏偏相反。道理很简单：不从销售渠道倒推就先把设备装上，那笔投资在销售额还没建立起来之前，就已经当成固定成本压下来了。LED也好、空调系统也好、自动化生产线也好，运转率为零时每月的折旧照样照计。不是气派本身招来亏损，而是销售渠道被甩在后头、设备先跑了出去，这个结果以扎眼的形式浮了上来。

## 课题有"天花板层"和"达成率层"

从另一个角度来说，植物工厂的课题分为两个层次。

一个是决定那家工厂一年里能摸到的利润天花板本身的层次。"种什么、卖到哪里"——作物和销售渠道的组合，在开工的那一刻，就悄悄定下了那家工厂能扛住的成本上限。一旦建好，现场再使劲也补不回来。

另一个是决定实际成绩能贴近那个既定天花板到什么程度的层次。电力怎么用、人怎么排、良品率多少。日常运转都在这一层。作为问题冒出来的那些烦恼，属于这一层，它的作用是把上面设定的天花板的达成率往上提。

所以顺序上是：建造之前，在上层把天花板本身顶高；建造之后，靠运转尽量把它收满——是这样一种视角。常见的失败，是天花板本来就低，却只想靠运转来挽回。压电费良品率就掉，砍人手别处就顾不上——一旦冒出这种打地鼠的感觉，多半是没去管上游的制约、光想靠运转来补。动手之前，先瞄一眼"这个症状是上游的哪个选择惹出来的"，在那之上再收紧运转。这是

个顺序问题。

电力，既是最大成本，也是最大的环境负荷

三个杠杆中，电力有其特殊之处。它既是支出里最大的费目之一，同时也是植物工厂环境负荷的最大来源——成本面和环境面，最终都归结到电力上。

这是人工光型方式的宿命。露地种植从太阳那儿免费拿到的光，人工光型要用电力重新买回来。所以在人工光型里，电力大约占生产成本的20%到40%，而且其中大部分都被照明吃掉。和露地比，每单位收获物耗掉的能量要大得多。论成本，它重；论环境负荷，它一样重。省电的措施能同时压低电费和环境负荷，原因正在这个结构里。

不过，这里有一点要记住：各项费用是联动的。要是为了省电把照明或空调系统压得太狠，密植的情况下可能闷坏下部的叶片，分拣损耗也跟着上去，结果良品率上的损失反倒盖过了省下的电费。成本不是哪一项单拎出来就能削的，先削哪个、能削到哪儿，这些判断都很关键。具体怎么判断，超出了本书的范围。最优值的判断、成本削减的取舍、销售渠道的设计、投资的决断等等这些直接关系到核算的深层考察，在姊妹篇《提高植物工厂收益性的172个实用技巧》里有详细讨论。这里，只要抓住思路的入口——用走势而不是符号来看亏损、核算由电力、销售渠道、现场执行力三者决定、课题分天花板层和达成率层——就够了。

## 行业数字与新闻的读法

亏损的结构看清楚之后，这回反倒开始在意起市面上流传的行业数字和新闻了。一进现场，这些东西你不看也躲不开。"市场规模约〇〇亿""半数亏损""大企业又撤了"。前辈递过来一份报告说一句"你看看"，也不稀奇。麻烦的是，一旦把那些数字往自己的工厂上套，总觉得哪里别扭。看的数字越大，反而越觉得它帮不上眼前现场的判断。那种别扭感是有原因的。这里，我给你一把不被数字牵着鼻子走的尺子。深入的解读交给《172个实用技巧》，这里只讲入口。

"半数亏损"，指向的是一个不存在的平均值

最先让人犯迷糊的，是"植物工厂半数亏损"这一行字。听说有人因为这个数字就收回了进场或扩产的手，这种话经常听到。但这是把人工光型和太阳光利用型、叶菜和果菜，全都搅在一起的平均。各自的核算结构完全不同，平均值指向的是某个根本不存在的地点，至于你站在哪一侧，它一个字都没说。

实际上，就算是近年的实情调查，把类型拆开来看，画面就会反转。人工光型目前仍有约半数偏亏损，主力是生菜这类叶菜。可同一份调查里，把目光挪到太阳光利用型温室，七成以上是



盈利或收支打平，这边的主力是番茄这样的果菜。以生菜为中心来算，就是"半数亏损"；从番茄那一侧看，盈利的反倒占多数。同样是"植物工厂"，只不过把整体按类型和作物拆开，标题和画面就调了个个儿。

所以看到行业报告里的亏损率，先确认一句"这个数字统计的是哪种类型、哪种作物"。这是第一把尺子。

### 撤退新闻，衡量的不是那家工厂的未来性

我刚进这行那会儿，每次大企业撤退的消息一出，现场就一阵骚动。"果然还是不行吗"。可从外面去看撤退的内情，"蔬菜长不出来"这种技术问题几乎不会摆到台面上。摆出来的，是慢慢压上来的电费、没能如期铺开的销售渠道、留不住的人。停下来的不是种植技术，而是运营能不能年复一年地转下去。

要是这样，那在撤退新闻出来那天的气氛里就断言"行业完了"，就走偏了。整个行业能做大还是走向终结，和眼前这一家工厂能不能撑下去，是两码事。从外面去看一个案例时，立足点在于那家工厂怎么撑起电力、资金、销售渠道、人员这四样。在哪里、以什么价格、签了几年合同的电力？资金有没有把补贴结束之后的蓝图也画进去？销售渠道有没有过度押在单一企业上？人有没有走马灯一样换？就算钻不进内部，这样的轮廓从外面也数得出来。

不过，从这儿再往前押一句"所以要撤退"，是办不到的。同样的偏颇，在悄悄盈利的工厂里也一样普遍。外观能告诉你的，顶多是弱点的候选。把"数"的目的定成不是去预测，而是提前看清脆弱在哪儿，就这样。

### 上市企业的盈利，是主业赚来的盈利

你可能也会拿上市企业的名字当线索，想着"植物工厂就认这家"。财报盈利，那就先放心往下看——可那笔盈利是从哪儿赚来的？

把做植物工厂的上市企业的分部信息排出来，会看到某种形态在好几家身上反复出现。植物工厂这块是亏的，公司整体却是盈的。主业是家电制造商、是钢铁、是物流，那边稳稳地赚，植物工厂像个新兴事业似的被塞了进来。换句话说，你看到的不是植物工厂的事业性，而是主业的资金实力。我自己在人工光型工厂运营这一侧的时候，有时能真切感到一种"这个事业被总部护着"的气氛。只要主业在赚钱，亏着也没理由停——这样的工厂确实有。

股价也一样。看到"植物工厂概念股上涨"的标题，想把它读成行业的势头，可被买的归根到底是主业那边，跟对植物工厂的评价分不开。在对公司整体的数字或股价放心之前，能不能把这一块单独剥出来看——是谁、凭着什么期待在撑着植物工厂本身——这才是尺子。

海外的成功，是区位成就的，不是设施成就的

读过新加坡或荷兰的考察文章，有没有动过"要是日本做这个"的念头？产量高，回本快。可把数字往计划书上誊的时候，手忽然停住了。电费的前提，本就不一样。

那些先行的中心之所以长起来，看起来与其说在设施内部，不如说在国家那一侧。新加坡把粮食自给纳入安全保障，给补贴，用国家政策造需求。荷兰有天然气便宜那个年代留下的温室文化垫底，而且欧洲的巨大市场就在陆路可达的隔壁。廉价电力、充足补贴、近在眼前又粗壮的销售渠道——能长起来的，是这些区位条件叠在一起的地方，并不是因为设施有多出色。日本电费单价结构性偏高、补贴是一锤子买卖、难以指望，也没有一块能让植物工厂的生菜顺顺当当挤进去的粗壮货架。光建同样的设施，得不到同样的结果。

所以海外案例不该当成"该模仿哪个国家"的排行榜来读，而该把海外的前提和日本的前提一条条并排，看其中的落差，看哪些条件能移植、哪些移不过来，划出那条边界。这是第四把尺子。

数字用两段式来用

到这里，你可能开始觉得，一开始看的"市场规模〇〇亿"这个总量，已经用不上了。但不用把它扔掉，换个角色就行。

总量不是回答"自己能不能赢"的数字，而是读"这个市场往后参与者会不会变多"的数字。销售渠道和设备价格，不是你一个人说了算的，随着进场的人增多会变。而且那个增长，是落在阳光利用型的果菜上，还是落在人工光型的叶菜上，对你自己现场的影响截然不同。要是瞄准同一条销售渠道的生产者多了，供给一上去，售价就会被压。所以把总量留作读规模感、读进场方向——也就是风向——的入口。

顺序上，用总量把握大的流向，自家工厂的事用自家这一块的数字来定——这是两段式的用法。行业数字和新闻，本身不是你的答案，而是用来读你要落子的那个前提，往后会往哪边摆。这样站稳了，就不会被撤退新闻和市场规模一条条牵着走。自家那一块的数字怎么设、售价和规模怎么判断——实际怎么动手，在《172个实用技巧》那边有详细说明。

赚钱的植物工厂的现实

在数字的读法里，说了"在自家这一块里定夺"。那么，真正在那一块里挣出利润的工厂，到底有什么不一样？前面我们只讲了亏损的故事，可在同一个行业里，确实有盈利的工厂。要是把这一节当成"照那家公司那样做就能赢"的成功公式去寻摸，多半会栽跟头。赚钱工厂的现实，在更朴素、更诚实的地方。

成功案例不是"成功公式"，而是"一束条件"

听同行的经营者说"我们靠生菜做到了盈利"，就想知道"怎么做到的"。对方也具体讲了良品率和销售渠道的事。可越听越觉得，搬到自己这儿原样照抄行不通。位置不一样，电费条件也不一样。"越听越觉得复制不了"——这种感觉，是最诚实的反应。

植物工厂的成功案例，不是能照搬的成功公式，而是只有当区位、电源、销售渠道、作物恰好咬合时才转得起来的"一束条件"。所以只要有一个条件不一样，同样的做法就会得出不一样的结果。说的人并无恶意。位置得天独厚、旁边就有稳定接货的销售渠道——这些"早已具备的前提"，在他看来天经地义，所以会从成功谈里干干净净地漏掉。

这四个并不是把成功条件穷尽了的完整框架，而是把案例按"能不能复制"拆开时的第一把尺子。区位和电源是最先定下、改不动的条件，销售渠道和作物是事后还能重新搭配的条件。先顺着这条线把这束条件拆开。还有一点不能忘：上面还压着一层。哪怕四个条件都齐了，撑起创业的那个人一走，品质就会塌。成功也好失败也好，都不过是从不同侧面，去看同样的一束条件，再加上运转它的现场执行力。

失败案例，恰恰告诉你的是缺失的条件

撤退的工厂，不会沉淀成案例。浮上来的只有盈利的故事，消失的工厂容易被"经营判断失误"一句话打发掉。可这种打发法，跟照搬成功案例，根子上是一回事。成功谈里，"早已具备的前提"会漏掉；失败谈里，"缺失的条件"被换成、并藏进"经营判断失误"这一句话后头。方向相反，却是同一个陷阱。

电源成本比预想高的地块、只有一家采购方还压价、选的作物在那条销售渠道要求的品质上稳不住供应——明明只是区位、电源、销售渠道、作物里的某一个从一开始就缺了，最后却变成了一个关乎人的能力的故事："总裁拍板太草率。"这么一来，留下的最糟的教训就是——"我够优秀，所以没事。"

不过，也不能走到另一个极端。还有这样的崩法：四个条件都齐了，可撑起创业的人一走，良品率就掉，或者病害进来一回，架子的循环就停了。这不是"条件缺失"，而是"运转那一侧塌了"的失败。所以失败案例，也要用和成功案例一模一样的读法来读。是四个里哪一个缺了导致塌的？还是四个都齐了、运转那一侧塌的？虽然难弄到手，但失败案例其实才是学习浓度最高的教材。

盈利背后，有未被说出的前提

还有一点棘手的是，成功案例里被拿出来说的盈利、良品率这些数字背后，藏着没浮上台面的前提。这里只挑三个有代表性的。第一是补贴的构成。是靠销售额站住的盈利，还是初期投资的某个比例靠补贴托着之后的盈利？第二是人手的密度。那笔盈利要是骑在总裁或家人近乎白干的劳动上、却没把人工费算进去，那么一个人一走就塌。第三是销售渠道的合同条件。"有人接货"要是接近于每年口头续约，那么销售渠道这个条件，比看上去脆得多。

这些都是不当面问当事人就填不进去的部分。读者能做的，是把外形（区位、规模、作物、用没用补贴）当事实来读，内容则贴上"这是推测"的标签，以问题的形式留着。一旦觉得光凭公开信息就能断言它为什么成、为什么败，那就已经在误读案例了。而同样这四栏，也可以照着画到自家公司头上。把案例的前提和自家公司的区位、电源、销售渠道、作物一项项并排。问题就从"能复制吗"变成了适用性的判断："这个前提，能在自家公司重现吗？"

"赚钱"的内容，从这里开始深挖

以上是读懂赚钱工厂时该有的心态。那么实际操作中，要在自家工厂赚钱，得动哪里？一步步怎么做，超出了本入门书的范围。这里只把思路的入口列出来——下面这些都是本书不往深里讲、由姊妹篇《172个实用技巧》一条条处理的主题。

- 核算在上游定，不在下游。植物工厂的利润容易往卖设备、卖技术诀窍的上游那一层流，而不是落在种植本身。
- 摆在哪儿，核算就不一样。集装箱型这种把区位和规模前提整个换掉的设备，有它合适的地方，也有不合适的地方。
- 单年盈利和累计回本是两码事。某一年盈利，和初期投资什么时候回完本，完全是两回事。
- 费用里有能削的，也有削不得的。初期投资哪里能砍、哪里砍了会留后患。
- 先把销售渠道钉死。不从作物下手，而是先定下稳定接货的销售渠道，再从那里倒推作物。
- 都市型的优势不在距离近，而在守得住单价。在城市附近种植的价值，不在运输距离短，而在能以多高的价格持续卖出去。

要把赚钱工厂的现实拧成一句话，那就是：关键不在设备的新旧和规模，而在有没有读透这束条件、又有没有一个把它转起来的现场。至于具体动哪一个，等你在这本入门书里把整体面貌抓住之后，再到实用技巧集里一条条对。

## 与露地种植和设施园艺的决定性差异

到这里，我一直在谈核算，可核算为什么会长成这样的结构，只要看看植物工厂和别的农业差在哪儿，就豁然开朗了。刚入行的时候，人容易觉得"同样是种菜，要干的活儿应该也差不多"。

但实际上，打根上就不一样。这差异，从两条大的轴去看比较好整理——对环境的掌控程度，和靠什么来判断。

## 环境控制：从顺应自然，到完全掌控

第一个轴，是由谁来决定作物生长的环境。

- 露地种植：靠雨、风、太阳光这些自然的力量。需要大片土地，还有整地、浇水这类重体力活。容易受天气摆布，得跟台风、旱灾的风险共处。
- 设施园艺：用塑料大棚或玻璃温室，把作物在一定程度上挡在天气之外。温度和湿度能调节到一定程度，比露地稳定。但要建、要维护设施，还有燃料费。
- 植物工厂：在室内的封闭空间里种植。温度、湿度、光照、CO<sub>2</sub>浓度等所有环境要素都靠人工控制，造出最适合生长的环境。不受天气摆布，全年都能稳定生产。但设备投资和电费往上走，还需要会用这些的知识。

从露地到设施园艺、再到植物工厂，本来交给自然的那部分，一点点挪到了人的手里。植物工厂是这条线的最末端——不向自然借，而是由人来造出环境本身。我干了10年以上的，正是这个最末端——温度、光照、湿度全由我们自己说了算的世界。回过头去看露地和设施园艺，会很清楚地发现：同样是"打理环境"，打交道的对象却完全不同。

## 工作的质：从感觉与经验，到基于数据的判断

第二个轴，是用什么来推进日常工作。掌控环境的方式改变，现场所需的能力也随之改变。

- 露地种植：从整地到采收，多年攒下的经验和手感说了算。重体力活多，旺季忙闲的落差也大。
- 设施园艺：在露地经验之上，还得有设施内部的环境控制技术。温度管理、通风、灌溉，要靠不断观察和调整一点点攒出来。
- 植物工厂：计算机控制的自动化在往前推，露地那种土木式的重体力活少了。但采收、包装、定植这些手工活儿仍然大量保留着。活儿的重心变成了：从数据里读出生长状况，早早发现异常苗头并出手处理。为此既要有分析能力和IT技能，还要有从生产计划一直管到出货的全局眼光。

这里不希望被误会成：植物工厂里就不需要手感了，不是这个意思。数据告诉你的是"发生了什么"，而"为什么会这样""接下来该怎么动"，归根到底还是靠在现场看过菜的人来判断。得有人能用现场的眼光，把最新传感器的数字重新解读一遍，稳定生产才立得起来。和露地、设施园艺最大的不同，我觉得不在设备的有无本身，而在"在数据和观察之间来回穿梭的能力"成了日常

的核心这一点。

## 理解研究与现场的距离

说到"在数据和观察之间来回穿梭的能力",你可能会想:那靠看书、读论文学,能不能学会?这里得稍微提个醒。植物工厂是门接近科学的活儿。光照、空调系统、营养液、环境控制,哪一样,没有研究的积累都立不起来。所以新人时期,想着靠读专业书和论文来学,这念头会冒出来。这本身是好事。我在现场那会儿,为了哪怕找出一条能让现场稍微好一点的实用技巧,也读了相当多的栽培技术书和论文。

但是,这里有件事希望你知道。论文里写的"最优",和每天出货几千株的现场的"最优",根本不是一回事。

想照着书上写的栽培方法实际试一把,常常发现套不上去。原因大致有三个。

第一,缺成本视角。哪怕写着"在这个条件下产量提升了20%",在商业设施里把那个条件复现出来要花多少钱,通常是写不出来的。

第二,规模不同。研究室里摆弄几株到几十株的实验,和管着几千株的现场,前提完全不同。小规模试出来管用的方法,一放大就不灵,这种事并不少见。

第三,环境不同。研究室能把温度、湿度、光照精密地对齐,可现场的空调系统能力有限,架子摆的位置不同环境就有参差,季节一变还要受外面气候的影响。纸面上的"最优条件",在真实的工厂里很难复现。

这不怪研究者。论文那个世界,是按"学术上新不新"来评价的,"在现场能不能用"在多数情况下压根不在评价范围里。所以科学上有价值、现场却难用的研究,注定会出现。这是结构上的问题。

那么,学习是白费功夫吗?并不是。知道中间隔着距离,再去读就好。研究,原样搬进来会栽,撂在一边又会落伍。正确的相处之道,就在这两者之间。读了,在自己现场小规模试一试,只把确实管用的留在手边。读完一本书现场立马就变,那几乎不会有。要经过好几年的反复折腾,才攒得下能拍胸脯说"这个管用"的东西。我现在能讲出来的,几乎全都是这么在现场磨出来的。

新人时期,只要知道"读到的东西不一定能直接搬到现场"就够了。读懂,去试,变成自己的东西。这种本事,放长了看,才是现场拉开差距的地方。

## 植物工厂管理者的3个角色



到这里看过的核算，还有和研究之间的距离，最终都得有一个人把它们拢到一起、把现场转起来，才能成形。最后就来理一理那个角色。植物工厂的管理者要扮的角色，大致分3个："守住稳定品质""把团队拢起来""把收益保住"。先拿这3个打底，弄清你往后要担的是什么样的活儿。

### 1. 守护稳定生产和品质

在植物工厂，温度、湿度、光照、CO<sub>2</sub>浓度等所有环境要素，全靠人的手来管。它们彼此牵连，动一个就会波及其他。就在这么复杂的环境里，天天稳稳地出货品质过关的蔬菜。这是管理者最基本的角色。

刚创业的工厂里，这是最被看重的活儿。"甭管怎样别让菜蔫了、好好种出来"的人最受倚重。不过，就我见过的人工光型、叶菜现场而言，让菜不蔫、长好的技术，如今已经有了相当趁手的工具，不像过去那样靠个人手艺也照样能收。所以这个角色作为底子一直在转，但工厂一旦上了正轨，管理者的重心就会慢慢往下一个角色挪。

### 2. 凝聚团队

植物工厂不是一个人转得起来的。日常作业的大半，是靠现场员工的手推着走的。把每位员工的能力使出来、让日常工作转得顺，是管理者的活儿。这里头也包括把环境控制和种植的知识教给员工、让能自己拿主意的人多起来。

人一多，这个角色一下子就变重了。与其自己一个个去带，不如转到去搭"人怎么成长"那套机制的一侧——不这么干不行。在我参与创业的那家大规模工厂，现场人员到了上百人，光是让全员对品质好坏的判断对齐，本身就成了一大难题。不是靠某个人的手感，而是把散落在现场的诀窍归拢成一种就算有人离职也留得住的形态。越是把经验当手感攥在手里的人，能不能用话说出来、传下去，就越容易卡在这儿。

### 3. 确保收益

制定生产计划、管成本、谋划销售战略。读懂市场需求，不断迎上新的挑战。植物工厂光靠梦想和理想撑不下去。保不住收益，现场也续不下去。

这里有一件事我想老实说。损益本身有多大，往往不在管理者手能够到的范围里。能以多大规模生产、能收多少、能卖什么价、卖到哪里——这四样，大体上就把核算的面貌定了。电费这种单价、设备的更换，也不是管理者一个人说了算的。那是不是就没辙了呢？也不是——在外部已经定好的框框之内，靠日常运转怎么组织，还是有能挪动的部分。把扔掉的量压下去，把达标、按正常价卖出去的比例提上来，把作业人员的熟练度练上去。设备一动不动，损益的面貌照样会变。再深一步的判断——把哪个数收紧到哪儿、卖到哪儿、什么时候投资——留给后

面的章节和《172个实用技巧》，但作为入口，至少在这里得养出一双眼，能把"外部定下的部分"和"靠运转能挪动的部分"分开来看。

### 角色的重心，随工厂的阶段而移动

这3个与其说是并排的清单，不如说是随着工厂的阶段，哪个最重在轮着换。创业期最看重"稳定种出来"，上了正轨重心移到"怎么把核算收紧"，人又多又转向"怎么把现场的知识传下去"。同一个头衔，担的内容却在慢慢更替。与其说是本人在成长，不如说更像这么一种顺序：工厂那边抛出下一个问题，你应对的内容也跟着变。

不过，挪的是"重心"，并不是说会冒出某个可以撂下不管的角色。稳定生产、团队建设、收益，在哪个阶段都不会停，一直在转。尤其是卫生，病虫害一冒头就可能漫到整座工厂，所以"不让它繁殖、不让它扩散"的预防始终都得做。

希望身为新人的你抓住的，是这条时间轴。此刻被要求的技能，不过是那家工厂当下所处阶段的一张快照。别只拿"现在的角色"来衡量自己的经验和特长，而要拿"几年后哪个角色会变重"来读。这样看明白了，往后不管要担哪个角色，都该能不慌不忙地接住。

### 第1章小结

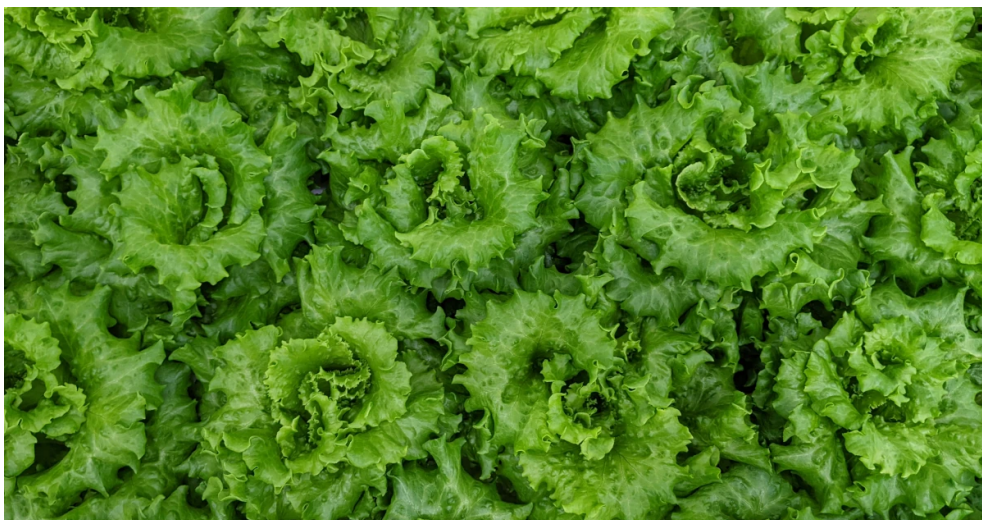
- 植物工厂分"太阳光利用型"和"完全人工光型"，是完全不同的两样东西。本书讲的是完全人工光型、叶菜的世界
- 在粮食安全的担忧这个背景下，如今重新受到关注。但核算的画面，取决于在哪里、由谁来看
- 用走势而非符号来看亏损。撬动核算的是电力、销售渠道、现场执行力三者，课题分"天花板层"和"达成率层"
- 行业数字和新闻，哪怕在谈"行业"，也没在谈"自家这一块"。按类型、作物拆开，用来读前提往哪个方向摆
- 赚钱的工厂不是成功公式，而是"一束条件"。比起设备的新旧和规模，更要紧的是有没有读透这束条件、又有没有把它转起来的现场
- 植物工厂和传统农业打根上就不同，"在数据和观察之间来回穿梭的能力"成了日常的核心
- 管理者的角色有"稳定生产""团队建设""保住收益"3个，其重心随工厂的阶段而移动
- 直接关系到收益、再进一步的判断，留给后面的章节和《172个实用技巧》

下一章，我们来看看现场所需的栽培技术基础。

## 第2章 栽培管理基础知识

上一章我们了解了植物工厂的运作机制、它能做什么、难在哪里，以及它的整体全貌。从这里开始，我们要进一步深入实际种菜所需的知识。选作物、给光、调水、管空气和养分、发现问题并采取对策——这些现场每天都在做的事，我们一项一项按顺序来看。每一项单独看像是各不相干的话题，但在现场，它们全都彼此牵连。请先把这一点记在心里，我们从"种什么"开始。

植物工厂选择作物的要点是什么？



植物工厂能人工控制环境，理论上什么作物都能种。可一旦真要在现场盈利，能选的作物就会一下子收窄。我走访过许多工厂，最让我纳闷的是：明明种的都是同样的生菜，有的工厂赚钱，有的工厂亏损，这种情况并不少见。说到底，决定能不能留住利润的，并不是蔬菜的名字本身。

"能盈利的蔬菜"不是由品类决定的

在网上搜"植物工厂 盈利蔬菜"，会冒出无数排行榜：生菜最好、不对是草莓、是甜瓜……看多了，感觉到处都是正确答案。可这些答案放到你自己这里未必行得通。哪怕同样是生菜，销路和运营方式一变，利润就时有时无。

这样的场景我自己经历过好多回。直接卖给直销所时，周转很稳；同样的东西想批发给食品加工业，单价一下就掉下去，忙得团团转却没攒下钱。反过来，量不大的香草直接送进餐厅，竟意外有得赚。这么一比就明白：能盈利的不是品类本身，而是品类和"卖往哪里"的搭配。

所以，盈利蔬菜与其说是一份固定的清单，不如说是销路单价、周转天数、栽培难度三者的乘积。生菜正是如此。它在直销所能卖出较高单价，于是周转快就直接变成利润；一旦流向食品

加工渠道，单价下来，只剩周转，利润就留不住。同样的设备，由销路决定单价和周转，再叠上栽培的人工成本。所以问题不是"种哪种蔬菜"，而是"在我的销路里，哪种作物的单价 $\times$ 周转配得上它的栽培难度"。

事实上，植物工厂里能稳定盈利的，基本集中在叶菜类、香草这一类，再加上视条件而定的果菜类，范围相当有限。大米、小麦、玉米这些主食作物，虽然占了全球食物能量约60%，是核心作物，但据报道，以现在的成本和技术，根本看不到跨过盈亏线的希望。能不能盈利，不是作物本身的固有属性，而是取决于这种作物能不能找到一条带来单价和周转的销路。

### 生菜多见是因为"不易崩盘"

环顾实际的植物工厂，大多以生菜为主。叶菜里也是生菜占了大头，很少碰果菜类。这不是因为"生菜最赚钱"，而是因为生菜和工厂这种形式最合拍。这里起作用的，是前面那个公式里"栽培难度"这一项。

生菜生长周期短、周转快、株型低矮便于多层叠放，光照和营养液的管理也已经成熟。换句话说，在封闭环境里，它能高度可复制地按计划运转。果菜类就不一样了。番茄和草莓要控制授粉和坐果，栽培期长，株型又高。同样的占地面积和水电费，栽培上花的人工要重得多。

难度还有一个我在现场深有体会的层面。生菜就算温度或营养液浓度的管理有点偏差，也不太会出现毁灭性的歉收。它长得不齐的情况也相对少，把它培育到可出货品质，学习成本比别的作物低。想想进植物工厂的都是些什么人，这一点就更突出了。在我参与启动的现场，从别的行业转进来的新人非常多。这些人并不是凭本能就懂植物生理的，却背着一大笔设备投资跨进这一行。站在这个立场上，头一件摆在眼前的事就是"不能失败"。挑一种就算手忙脚乱也不至于崩盘、学习成本又低生菜作为第一步，与其说是在追求利润最大化，不如说是为了不破产而做出的极其自然的判断。

所以，眼前这片以生菜为主的景象，不是"盈利的答案"，而是"在工厂形式下不易崩盘的方案"被挑中的结果。反过来说，对那些驾驭得了果菜类难度的种植者，或是手里握着唯有果菜才成立的销路的人，余地恰恰在这片整齐划一的格局之外。新人从生菜起步，是有这层道理在的，请记住在心里。

### 大米、小麦、根菜不见踪影的原因——面积 $\times$ 天数 $\div$ 单价

反过来，为什么植物工厂里看不到大米、小麦、白萝卜、胡萝卜？不是因为种不了。技术上，根菜类和谷物都能在工厂里长。可它们几乎不出现在市场上。原因不在能不能种。

植物工厂的成本，大部分作用于面积和时间。照明和空调系统就像按占用多少面积、多少时间来收的租金，关键是"那片面积被占了多少天，能产出多少采收物"。生菜株型低矮、分量轻，约30~40天就能轮转一茬。根菜类要膨大得花上好几个月，论重量和体积单价又偏低。胡萝卜从播种到采收要大约70~120天。同样一片面积，一边占一个月，另一边占三四个月。光凭这一点，就能想见"每面积每天能挣多少"的差距有多大。所以根菜类不是技术不够，而是在算账这一关就被悄悄刷掉了。

到了谷物，这一点体现得最极端。大米、小麦、玉米单价低、栽培期长、株型高又难以叠层，论工厂适宜性，三项条件一项都不沾。有一个很说明问题的测算：即便在瑞典的垂直农场种小麦、条件最优，光电费一项就估算相当于每吨4万美元——约为当时世界小麦价格的100倍。这不是栽培技术的问题，而是在算除法这一关就已经见了分晓。你也许会想"总有一天技术会把成本压下来"，但从数据看，整个行业规模铺开成本下降的趋势几乎看不到。

根菜类在盈利之前还横着一道墙。胡萝卜和白萝卜要让笔直粗壮的根往土里扎，可眼下植物工厂的主流设备是冲着叶菜类来的，由薄薄的定植板和循环式营养液组成。培养基的深度和支撑力都不够，根域被液体灌满，氧气还容易不足。站在设计新生产线的人这边，根菜类在盈利的算账上就先输了，话还没说到设备就结束了；站在已经有了叶菜类设备、盘算着"空架子也拿来种根菜"的人这边，则是连盈利都谈不上，它根本塞不进现有设备。哪道墙先来，看你站在哪个位置。我在现场得出的结论直说就是：根菜适合在土里种，这是再自然不过的归宿。

有例外，但只在满足条件时成立

前面写到"不适合"的那些作物，其实也有例外。但例外之所以成立，是因为满足了某种条件，而那个条件未必能原封不动搬到你自己的作物上。

一个方向是靠周转盈利的例外。微型蔬菜（蔬菜的幼苗嫩叶）从播种到采收只要7~14天，快得惊人。生菜要30~40天，而它在同样的面积上一年能周转很多次。每克单价也容易往高处走，近来还出现了把它定位成强化营养素的功能性食材来做差异化的动向。如果是新建的工厂，作为一个品类很值得考虑。但要直接叠到现有的生菜工厂上就没那么容易了。在多达10层的架子上怎么采收——是连培养基一起取出，还是让作业人员爬到上层去切——这套动线和生菜完全是两回事。真要认真做，现实的办法是从建设阶段就设计专用的搬运和采收设备。

另一个方向是靠单价盈利的例外。只要每面积每天的单价够高，周转慢的作物也照样能上架。药用的人参这类单价极高的根菜类，还有山葵，就是如此。山葵单价高、稀缺、在海外也有人气——这些话本身都没错。但这里要留个神。我的判断是，山葵的高单价并不附着在山葵这种作物本身上，而是附着在和买家的关系上："这个产地、这个人、这种品质、稳定供货"。越是高价

进货的客户——料亭、寿司店之类——越是早有固定的进货商，不会轻易换成一个不知底细的新种植者。所以，新人能种出山葵时，到手的只是高单价里"作物"这一部分，最要紧的那层关系，还得从零开始建。何况高价进货的渠道吃不下大量货，于是拿"单价×预计出货量"去估年销售额的算法，往往落空。能种出来，和能当作生意转起来，是两码事。

大米也一样，"不可能"并不是放之四海都一样地不可能。电费异常便宜的地方、附近有肯出高价收的买家、像医药品原料这样能卖到普通价格数倍的出口——这三点凑齐到什么程度，结论就会不同。海外大米工厂栽培成功的案例，往往是建在水资源匮乏而电力便宜的地方——恰好和日本相反。看似在谈技术，其实在谈选址，这种情况并不少见。

### 首先从自己的销路排列

那么，从哪儿入手？不是从品类。排行榜和成功案例可以拿来参考，但不能直接当设计图。市面上流通的信息偏向"成功故事"，撤退的工厂几乎不会留下数据。实际上，据说日本的PFAL中相当比例的工厂在十年左右就已经换了一茬。成功的背后，藏着相当数量不为人知的撤退。

所以，最先写在纸上的不该是种植计划，而是一行除法算式，这样就够了。以架子的同一面积为基准，算出"预计售价÷占用天数"，再以生菜为基准，在同样的条件下把候选作物排进同一张表。表上填进周转天数、栽培难度、产出率，以及维持销路的人工成本，用每面积年利润来比。这是第一步。排的时候以周转快、好把控的叶菜类为中心，果菜类和高单价的利基市场放在第二顺位。果菜类和山葵虽然在单价上有余地，但得条件具备才成立，现实的顺序是先用叶菜类把底盘数字定下来，再往上叠别的。

新作物的话题很有意思，能做到的事也一年比一年多。但这要在已经迈过盈利这道门槛的作物里谈才有意义，摆在门槛之前谈就会走弯路。什么适合、什么不适合，不靠品类排行榜来看，而靠这套"销路的单价×周转×难度"和"每面积每天能挣多少"来看——只要守住这个视角，下回再冒出新作物，你也不会慌，能从第一张纸重新算起。

再往下——哪条销路配哪种作物才盈利、怎么打通高单价的出口、转去做果菜类值不值得投入——这些就深入到收益设计本身了。本书只讲到思路的入口，更深的判断让位给《提升植物工厂盈利能力的172个要点》。

种什么蔬菜定下来了，下一步就是怎么种。植物工厂种菜的三大支柱是光、水和空气——我们先从植物工厂最具代表性的设备"光"开始。

### LED植物照明的应用





植物工厂最具代表性的设备，就是那一排排整齐的LED植物照明。传统农业只能靠太阳光，而植物工厂可以用LED人工营造最适合生长的光照环境。

### LED植物照明为植物工厂带来的3个优势

#### 1. 节能省成本

电费是植物工厂不能忽视的一块成本。LED植物照明节能性出色，能省下相应的电费。

#### 2. 寿命长，省维护

荧光灯要定期更换，每换一次都要搭上成本和人力。LED寿命大幅拉长，更换频率随之降低。植物工厂用灯量大，这点成本差距很可观。

#### 3. 可按植物选光色

植物种类不同、生长阶段不同，所需的光波长（颜色）也不同。LED有红、蓝、白等各种波长的产品，可以按所种的作物来挑。过去植物工厂以红光和蓝光组合的LED植物照明为主流，但近年来，接近太阳光的白色LED也在普及。

### 安装和运营的窍门

要把LED的效果充分发挥出来，安装方式和照射时间这些细节上的窍门也很重要。

- 多层栽培：为了把有限的空间用足，把栽培架叠成多层的"多层栽培"是常规做法。
- 照射角度与距离：调好LED的照射角度以及与植物的距离，可以提高光合效率。
- 照射时间：植物靠交替进行光合作用的"光照期"和进行呼吸及养分转流的"黑暗期"来生长。

"越亮越好"未必正确

一说到LED，人很容易以为"光越强长得越好"。刚入行那会儿我也是这么想的。把架子的某一层使劲调亮，采收量确实涨了，分量和卖相也变好。感觉调亮果然是对的——直到月末看见电费账单。光提了1.5倍，产量却没到1.5倍。增加的销售额减去增加的电费，留在手里的反而比从前少。这样的月份是会出现的。在PFAL的生菜水培里，把光调强后到手的钱反而变少的场面，我自己经历过好几回。

这里要弄懂的，是表示光量的PPFD这个词。把它当成到达叶片的光粒子数量就够了。关键在于，PPFD和产量的关系不是成正比的。从弱处往上提时，一开始猛涨，但越往上，再调亮一档带来的增量就越小。可电费却几乎跟着光照量成正比往上走。于是，增加的销售额"渐渐变缓"，增加的电费却"直线上扬"。到了某个节点，再追加光照，回报抵不上电费。那里就是该停下增光的地方。

麻烦的是，这个停止点并不固定在某个数值上。电费便宜的时候，调强一点看着完全是赚的；电价一涨，同样的设定立刻变得沉重。同样的架子、同样的品种、同样的光照，可能只是月份不同，"这样对"和"这样过头了"就掉了个个儿。所以，把最优PPFD记成一个数值、贴在墙上照着来，是行不通的。光的停止点会随电费上下移动——趁还是新人时就把这种感觉养出来，是该早早装进脑子里的意识。

再往深里走，根据电价动态推算最优PPFD、按发光效率选机型，这些判断就是直接关系到收益的深层话题了。具体怎么判断，《提升植物工厂盈利能力的172个要点》里有详细介绍。

## 光

LED不过是造光的工具。对植物真正重要的，是这工具给的是什么样的光、强度多大、照多久——也就是光本身的内容。上一节讲的是机器，这里退一步，把植物怎么接收光的基础理一理。这并不难懂。光有"强度""颜色""时间"三个刻度，三者相乘决定了一天的光照总量，知道这一点就够了。

### 强度——越强未必越好

先说强度。光对植物生长不可或缺，但并不是越强长得越好那么简单。超过一定程度，光合作用的增量就趋于饱和，再往上加，叶片反而会受损，起负面作用。在用电买光的PFAL里，超出必要的那部分光照，电费也是白白浪费。

所以基本原则是，按所种作物需要的光照强度来选LED。结果的果菜类需要强光，而生菜这样的叶菜类用不着那么强的光。它株型低矮，光弱一点也能长。这也是叶菜类在植物工厂受青睐的原因之一。



## 颜色——植物有各自能利用的波长

再说颜色。光的颜色随波长而变，植物对不同颜色的利用方式也不一样。

简单说，红光（大约600~700nm）是光合作用效率最高的光，促进生长。蓝光（400~500nm）也用于光合作用，有助于叶片增厚、茎秆变壮。绿光（500~600nm）据说对光合作用的效果较小，但容易钻到叶片深处，据说也与植物的形态构建有关。正因如此，过去植物工厂主流是只有红蓝两色、很有"植物工厂感"的紫色光，而近年来含绿光的、或接近白色的LED也多了起来。

各种LED我自己也都用过，感觉比起只有红蓝两色的，加了绿光的、或接近白色的，生长状态看着更好。叶片的色泽和姿态更自然，这是我的切身感受。哪种颜色怎么搭配对哪种作物最有利，是与成本直接挂钩的深层话题，这里只留下"颜色各有各的用途"这个入口。

## 时间——照亮的时间和遮暗的时间

第三是时间。植物并不是整天开着灯照着就好。它靠交替进行照光的"光照期"和关灯的"黑暗期"来生长。光照期靠光合作用制造养分，黑暗期把这些养分输送到全身用来生长——白天挣钱、夜晚归整，有这么一套呼吸节律。一天照多少小时——这种设计叫做光周期。

在PFAL里，不像太阳，照多久由我们说了算。这是个强大的优势，但反过来也意味着"必须自己定"。照得久，光合作用的时间长了，可电费也跟着上去，黑暗期太短又会影响植物的状态。所以得判断哪个位置对作物和收益最合适。真要往深里判断最优点，就进了收益设计的范畴，本书只停在"照亮的时间和遮暗的时间都得有"这个基础上。

## 一天的光照量——三者相乘的DLI

最后，只介绍一个把这三者串起来的概念。强度乘以时间，就得出这种作物一天接收到的光照总量。这叫做DLI（日积算光量）。

不用想得太复杂。弱光照得久，总量也会上去；强光照得短，总量未必高。植物一天接到多少光，不是只看那一瞬的亮度，也不是只看开灯多久，而是看两者的乘积——这本是顺理成章的道理。现场之所以会出现"加强了光照却没像预想那样长""倒是减了照射时间也没怎么掉产量"这种情况，往往就是因为我们习惯只盯着强度，没从一天总量去看。把强度、颜色、时间当成三个独立的刻度去掌握，最后再回到一天总量上审视一遍。作为光照的基础，先有这个视角就够了。

如果说光是在植物头顶上自成一体的话题，那么接下来就是植物根部——根所浸泡的那汪水的话题。在植物工厂里，水本身就是栽培的根基。

## 水培系统



和照明一样，水培也是植物工厂的一大特色。不用土，把根直接浸进水 and 养分里种。这既是它能种得又快又齐的原因，也是现场每天最要费心的地方。

### 为什么植物工厂使用水培

不用土的好处有这么几点。不需要土，所以无论是在城市还是在土地条件差的地方，选址都不受限。根始终与水和养分接触，长得快，周转效率高。还能降低经土壤传播的病虫害风险，也不必每天忙着浇水，只要管好营养液的浓度和用量，就能自动供给。

有一个常见的误解，先说清楚。"水培不容易烂根"这话是有前提的。只要水里的溶解氧（DO）保持充足，根就能吸到新鲜氧气，保持健康。可一旦氧气不够，水培照样会烂根。尤其水温一升高，水里能溶的氧气就变少。所以请记住：让根安全的不是"泡在水里"，而是"氧气充足"。

### NFT和DFT——薄膜流动还是深液存储

植物工厂里常用的是NFT和DFT两种方式。

NFT（薄膜水培）是把植物固定在倾斜的栽培床上，用泵让营养液薄薄地连续流过。因为水在流动，氧气容易接触，用的营养液也少。缺点是水量少，容易受外界影响，水温也容易波动。

DFT（深液水培）是在水槽状的栽培槽里大量存住营养液，让植物浮在上面。水量大，耐温度变化，容易种得稳。缺点是设备变大，底部容易缺氧。

两者都属于用泵循环营养液的"循环式"。此外，把根深浸在深水里的DWC（深水培），就存水这一点看，基本可归为DFT的同类。对根喷雾的雾培，因为根暴露在空气中，氧气最为充足，但它没有存水，一旦停机干得也最快，只适合那种能在停机瞬间就察觉、备用方案又准备充分

的现场，属于限定用途。

不是哪种更优越的问题

新建或改建时，头一个碰到的问题往往是"NFT还是DFT"。翻开比较表，几乎每一项都是一边占优，加起来大体打平。这个问题上犹豫好几天的人，我见过不少。

这里我直说：方式本身没有绝对的优劣。这些年看生菜，追究产量或品质起伏的原因，几乎每次都不是"方式"，而是"当天水的状态"。NFT烂根不怪方式，是流量掉了、根尖干了的时候才烂；DFT变弱也不怪方式，是水温上来、氧气跑掉的时候才弱。无论选哪个，结果都看选定之后的水管理。

那方式到底怎么定？这个可以干脆点：由手头的约束来定。如果想在断电或故障时撑过几分钟，把水量当成那份安心的底牌，就偏DFT；如果想多叠几层架子、想轻量化、配管也想简单，就偏NFT。由规模和你自己能接受的风险范围，答案几乎是自动出来的。这不是值得纠结好几天的岔路口。把纠结的工夫花在选定之后的水管理上，对采收量的影响要大得多。

可逆还是不可逆——水培中真正有效的界线

用一根轴去把握NFT和DFT的差异，之后的管理就会轻松许多。这根轴就是"可逆还是不可逆"。偏了，但只要察觉到并出手处理，就能拉回正轨、根也能恢复——这类可逆的事，是用运营来承接的。DFT底部氧气变薄、水温上升，都是每天盯着、偏了就拉回来的事。这是靠人和记录来做的活儿。

另一方面，NFT一旦流量中断、根尖干掉，那种干是回不来的。受损的尖端，就算重新供水也复原不了。这是不可逆的。光靠每天目视检查防不住，所以要让机器检测到停机并报警，靠应急电源或备用泵，把停机这件事本身提前消掉。这属于从设备和备用措施这一侧来消除的领域。界线就是这样：可逆的事用运营来承接；不可逆的事别交给运营，提前用设备和备用措施消除。慢慢逼近的可逆偏差由人来盯，骤然降临的不可逆故障由机器和备用措施来止。

补充一点：可逆还是不可逆，不是贴在方式上的标签。哪怕是NFT，只要有能立刻察觉停机的机制，那点速度就不可怕了；哪怕是DFT，要是放着夏天的高水温或停滞不管，那一大池水就会变成温水，根开始腐烂——你不去管它，水量大这个优势反倒会翻过来咬你。所以不能断言"DFT水量大所以安全"。挪动这条界线的，不是方式的属性，而是"偏差有多大、放了多久"这一侧。

"选定之后，每天看什么、怎么看"——按什么顺序去看流量、水温、溶解氧，在哪里划下"还行"和"有问题"的界线——这才是真正决定采收量的地方。具体内容在《提升植物工厂盈利能力的

172个要点》里有详细整理。

水的状况理清楚之后，与水分不开的，就是充满根周围和叶周围的那些空气。温度、湿度、CO<sub>2</sub>，还有运送它们的风——从这里开始，我们转到植物周围的空气这个话题。

## 温度管理

温度管理是关系到植物工厂成败的头等大事之一。

植物有适合生长的温度带。一旦偏离这个区间，生长就会变慢、叶色变差，严重时甚至枯死。果菜类还可能结出形状不好的果实，植株一虚，对病虫害的抵抗力也跟着减弱。

### 各作物的适宜温度

植物工厂不易受外界气候影响，能把温度维持得很稳。各作物的大致目标如下。

- 生菜等叶菜类：喜欢偏凉的环境，大约15~25℃
- 番茄等果菜类：喜欢温暖的环境，大约20~30℃
- 罗勒等香草类：大约20~25℃，但也有喜高温的和耐低温的

按所种蔬菜的种类和生长阶段做好相应的温度管理，是稳定生产的基础。

管理的是空气，植物响应的是叶片

这里先放进一个现场遇到麻烦时会派上用场的区分。我们设定和管理的是栽培室的"空气温度"，但植物实际响应的是"叶片温度"。

平时这两者大致一致，所以不分也照样运转。可一旦设定明明守得严严的、架子上却长得不齐，这个区分就显出来了。比如，同一个架子的上层和下层出现了生长差异。一开始你会怀疑是风，还是LED的距离，但还有一个原因：上层容易积照明的热。LED虽说节能，可它耗掉的电里有相当一部分是以热的形式散出去的。所以哪怕设定是25℃，靠近照明的上层，叶片本身的温度有时会比空气温度高。

为什么叶片温度更要紧？因为光合作用和呼吸都是酶反应，决定它们快慢的不是空气，而是叶片本身的温度。同样是"设定25℃"，要是上层叶片实际有27℃，那对那片叶子来说，温度就不是25℃了。设定一致却长得不一致——这往往以"空气整齐了，叶片却没整齐"的形式冒出来。

空调系统能直接动的是空气这一侧，于是就成了以空气为"输入"、以叶片为"结果"，两头都要看的两段式结构。拿辐射温度计对准上层和下层的叶片，实测一下和空气设定值差几摄氏度，自己架子的脾性就会以数字的形式露出来。顺便提一句，这种偏差在光强的白天大，在熄灯的夜

晚小。

## 降低夜温是为了"收紧"

植物工厂能用LED植物照明人工造出昼夜，所以可以靠温差来调节生长。这里的"白天"指照明亮着（光照期），"夜晚"指熄灯（黑暗期），光照期和黑暗期之间的温差叫做"DIF"。

夜里照明一灭，叶片温度和空气温度就几乎一致了，因为没有白天那样的光源热量单独把叶片温度抬高。问题在于，很多人降夜温只是凭"夜里该降点温"的感觉，并没真弄懂为什么要降。

从"夜晚是干什么的时间"去想，就豁然开朗了。白天接受光照，靠光合作用造糖；夜里没光，造不出新糖，只能拿白天攒下的糖来呼吸。温度越高，这种呼吸进行得越快，所以把夜晚降下来，就能压住夜间糖的消耗本身。

这里要留个神：别想当然地把"压住消耗=那部分就留下来催生长"画等号。实际上，越冷未必越长。叶菜类反倒是偏暖（在一定范围内）更利于生长。那降夜温图什么？与其说是为了增产，不如说是一种品质上的调节：抑制徒长、把株体收紧。夜温降得不够，茎就容易拉长节间，株型变差。所以与其把夜温当成调"生长量"的杠杆，不如把它当成调"生长得紧不紧实"的杠杆，更贴近现场的感觉。

而且也不是降得越低越好。降过头，徒长是止住了，可生长的节奏也跟着慢下来。夜温要在"收紧"和"好好长"之间权衡着定。以生菜为例，夜间18℃左右就是这种折中的一个例子。

## 设定的判断基准，最终是作物的状态

盛夏温度容易往上蹿，空调的电费也沉。想把设定哪怕提1℃来减轻负担，可又说对生长有什么影响，于是不敢动——这是夏天现场常有的犹豫。实际上，这1℃是提在白天还是提在夜里，效果的方向完全不同，而温度的不均匀，最后还是要靠风来抹平。怎么主动去动，本身就是一个专门的主题，这里只停在思路的入口：空气和叶片是两回事；降夜温是为了收紧。

考量栽培室内的温度时，设定值的判断基准，归根结底是"作物的状态"。不是照着一张设定值标准表去套，而是在自己的现场看叶片温度和空气的偏差、看昼夜温差、看叶片和根的状态，从中读出合不合适。负责定温度的我们，需要一双能准确把握植物状态的眼睛。白天和夜晚各动1℃怎么个动法、偏差和昼夜温差怎么判断，这些更深入的操作话题，《提升植物工厂盈利能力的172个要点》里有介绍。

和温度分不开的，是空气里含了多少水——湿度。温度一样，湿度不同，叶片的状态会判若两样。

## 湿度管理

和温度一样，湿度的管理也不可或缺。植物从叶片排出水分，这叫"蒸腾作用"，水分和养分就随着这股流动从根部被吸上来、送往全身各处。湿度直接左右这种蒸腾作用。

### 湿度计的60%，内容随温度变化

在PFAL里，我想很多现场的做法是：室温大体保持恒定，一直靠除湿把水培里升起来的湿气压住。湿度按"目标60%"之类的范围去看，只要湿度计在那附近，大致就放心了吧。

但你有没有这样的经历：同样是"60%"，株子的状态却时好时坏。叶片的张力，有的日子精神，有的日子蔫，可湿度计的数字一动没动。

这大概不是错觉。湿度计上的"60%"是个比例：在那个温度下，空气能装多少水，现在装满了几成。既然是比例，温度一变，哪怕同样是60%，空气"还能吸收的余量"本身也变了。暖空气能装很多，所以即便是60%，还留着很大的吸收余地；室温一降，满载量本身缩小，同样是60%，吸收余地也少了。

从叶片这一头看，这个"空气还能吸收的余量"，正是蒸腾作用排出水分的那股拉力本身。这就是所谓的VPD（饱差）。室温偏高的日子，株子看着状态好，是因为空气的拉力在使劲，蒸腾作用转起来了，养分随着这股流动送到了叶尖。而那种"虽是60%、今天却觉得有点闷"的日子，是室温下降、拉力变弱，叶片想排水却排不尽，内部有些堵着了——这么一看，大体就说通了。

换句话说，我们以为自己在看湿度计，可真正起作用的，是它背后那个和温度一起决定的"拉力"。相对湿度的%只是结果的一个截面，和株子实际感受到的那根连续的轴，根本是两码事。

### 除湿和室温，是从不同侧面移动同一个拉力

说到这儿，有一种看法会变。我们把"室温恒定、湿度60%"当成两个独立的旋钮在管，可从株子这头看，除湿和室温并不是两样东西，而只是从不同侧面去拨动同一根轴——那股拉力——罢了。降湿度也好、升温度也好，空气"还能吸收的余量"都会变大；从叶片这头看，两种操作都朝着加强拉力的方向走。

但两者并不能随便互换。温度这一侧，不光拨动拉力，还会一并拨动株子的代谢本身——生长速度和呼吸。除湿这一侧不大碰那些，只够得着拉力。两者都作用在同一根轴上，带动的范围却不同。所以，如果目标只是拉力这一点，通常先用没有额外牵连的除湿来调，把温度留作最后的余地——就是这么个顺序。

这里我把话说明白：我亲身验证过的，只是PFAL叶菜类这个范围。除湿和温度都作用在这一根轴上，这个大框架我心里是有数的；但具体在哪个VPD上转得最好，会随品类和生长阶段而变，那就不是我敢断言的了。

VPD可以用现有的两种计量器读取

拉力这根轴一旦清楚了，你或许会想"那是不是得添台新仪器"。结论是：不用。VPD是由温度和湿度决定的量，所以挂在墙上的温度计和湿度计这两样，本就近在手边。查速查表也好，用换算式算也好，得出来的值都一样。与其说要添新机器，不如说只是把现有的两个数字从"比例"重新读成"拉力"而已。

真要说缺什么，缺的不是仪器，而是"哪里的"拉力。墙上的温度计和湿度计，量的通常是房间中央的空气。可拉力，是珠子——是叶片——感受到的东西。珠子排得密、叶片长得茂时，那片密叶里的空气和外头是两种感觉，把手伸进去，能觉出几分闷。同一个房间里，拉力强的地方和弱的地方是并存的。房间里某一个点的读数，看到的不过是它们的平均值。

为什么湿度管理重要——封闭空间特有的陷阱

PFAL不易受外界气候影响，但因为是封闭空间，湿气容易积。在弱化拉力的那一侧，也就是湿度过高的一侧，有几点要防。

头一个是结露。空气装不下的水分，会以水珠的形式出现在变凉的墙壁、设备或叶片上。结露的地方容易成霉菌的温床，叶片上挂着水珠，病原菌也容易繁殖；还会引起电气系统短路、金属腐蚀。微生物本来就无处不在，归不了零。所以目标不是"不让它进来"，而是不让它借结露或积聚来增殖、扩散。说到底，就是别造出通风不良的密植状态，或是因室温骤变而易结露的状态。

另外，湿度过高这一侧，也是珠子蹿高徒长的入口（徒长在本章后半介绍）。反过来，拉力过强的那一侧也有另一种陷阱，那就是接下来要讲的叶尖焦枯。

与叶尖焦枯的区分——同样是"先端枯死"，原因却相反

湿度上头一个会碰到的麻烦，多半就是叶尖焦枯了——叶尖干枯变焦的叶尖焦枯。而且遭殃的不是老叶，恰恰是长得最旺的新叶尖端。

接着拉力这个话题，这里要做个区分。叶尖焦枯，拉力偏弱还是偏强都会出现。所以光看症状的外观，根本判断不出是从哪一侧来的。



真正的原因，一句话说就是钙没送到叶尖。钙随着蒸腾作用的流动被运送，一旦到了某处就不再挪窝——是一种定居型养分。所以，离得最远、需求又最大的新叶尖，最先闹缺乏。越是长得旺的叶片越遭殃，这个谜，谜底正是它需求最大。

在此基础上，两侧分属截然相反的原因。

- 拉力弱的一侧（密叶里积着湿气的地方）——流动本身根本不发生，所以运不过去。是出口被堵住的那种堵塞。

- 拉力过强的一侧（风吹得到、容易干、正猛长的时期）——整片叶子都在排水，可生长更快，流动还没到叶尖，主体那头就先把钙用光了。流动是有的，只是末端被甩在了后头，可以说是配送不足。

送不到的结果一样，可究竟是堵了还是配送不足，原因却恰好相反。所以判断时，不看症状本身，而是把"在哪儿出现的"和"当时拉力朝哪个方向"合起来看。要是在空气积着、整排都发闷的日子里、靠里那排出的，就怀疑偏弱那一侧；要是在风吹得到、又正长得旺的时期出的，就怀疑偏强那一侧——就是这么个判法。

还有一点请记住：既然是配送的问题，那么光把营养液里的钙浓度提上去，也很难送到内侧的幼叶。比起总量，输送的流动更关键。关于叶尖焦枯本身更复杂的对策，本章后半还会再讲。

### 不增加机器、明天就能做的第一步

读到这儿，要说明天不添新机器就能做的第一步，我会从把手伸进去、感受一下拉力最弱的地方开始。

不用工具。把手伸进长得最密、看着空气最闷的最里面那排。和外头比，是闷沉沉的，还是空气在流动？光凭这一点，就能用皮肤感知自己房间里哪儿有"弱的地方"。墙上的数字只告诉我们房间的平均值，所以先用手去找那些被平均值落下的地方。顺手再根据当下的温度和湿度算一算VPD，"自己现在大致在哪个状态下运转"也就有数字可看了。

找到之后，下一步就是风。不添新机器，把现在转着的风扇方向或摆位稍微挪一挪，看能不能把空气引进那个深处。要是闷劲散了，最弱处的拉力就会向房间平均值靠拢，不均匀也就小了。

顺便说一句，一到夏天，准有人问"除湿的电费能不能省点"。放松除湿，就是往弱化拉力那一侧摆。一律全场放松，最先叫苦的不是平均值，而是最弱的、最里面那排。所以在"砍多少"之前，先把不均匀砍下去、把弱处的天花板抬上来——放松的事搁到那之后再说也不迟。这里头的判断，即最优拉力范围和成本之间的权衡，往深里讲足够写一本书。思路的延续就让位给《提升植物工厂盈利能力的172个要点》。

最后一点。我亲身验证过的，只是PFAL叶菜类这个范围，今天讲的也都是这种切身感受里的判断。品类或设备一变，弱处怎么冒出来、风又管不管用，也会跟着变。所以这第一步，也请别当成答案，而当成怀疑自己现场的头一个切入点来接受。

温度和湿度之后，我们把目光转向空气本身的内容——植物拿来当光合作用原料的CO<sub>2</sub>。这里起作用的，同样不只是"有多少"，而是"有没有送到叶片"。

## CO<sub>2</sub>的利用



植物靠光合作用吸收空气中的CO<sub>2</sub>，制造糖等营养物质来生长。普通空气里的CO<sub>2</sub>浓度约为400ppm，而在植物工厂中，把这个浓度提上去可以促进光合作用、加快生长。作为室内浓度的目标，一般最终提到1,000ppm左右（这个"1,000ppm"指的是目标最终浓度，不是增加的量）。

提高浓度，大致能指望以下几样效果。

- 光照和温度充足时，生长加快，可以缩短到采收的时间
- 这些条件具备时，同一面积的采收量也能增加
- 光合作用变活跃，株子长得茁壮

### 提高浓度的方法

提高CO<sub>2</sub>浓度的这道工序叫"CO<sub>2</sub>施用"。供给方式主要有三种。

1. 二氧化碳气瓶：适合较小规模的设施。引入成本低，但要换瓶、要占存放空间
2. 液态二氧化碳：适合中至大规模设施。能大量供给，但引入成本较高
3. 燃烧式CO<sub>2</sub>发生装置：靠燃烧灯油或城市燃气来产生CO<sub>2</sub>。运行成本相对较低，但产生CO<sub>2</sub>的同时也会冒出热量、水蒸气和燃烧废气，封闭型PFAL还得另行处理这部分排热、湿度上升和燃烧废气（适用条件和温室不一样）

选哪种方式，要看规模、预算和所种的作物。但选装置有个前提，就是后面会讲到的"能不能送到"——无论选哪种，CO<sub>2</sub>要是送不到叶片周围，效果照样打折扣。各方式的成本比较和取舍，只要把思路的框架抓住，再到172个要点里深入就够了。

浓度本身的管理，通常是把CO<sub>2</sub>传感器和控制装置配在一起用。传感器实时测室内浓度，控制装置据此自动调供给量。

仪表显示1,000，但只有里面那排长不出来

从这里开始，是现场最容易卡住的地方。

CO<sub>2</sub>"保持在1,000ppm"、空调系统"维持设定值"，在很多现场是不同的人、不同的仪表分头管的。然而，仪表指着1,000，同一个房间里偏偏只有里面那排长得慢——这种事是会发生的。一开始以为是光合作用到了饱和点，可仔细一看，靠近出风口的那排没毛病，慢的只是空气不流动的里面那排。到这一步，与其说是CO<sub>2</sub>量的问题，不如说是空气流不流动的问题。

为什么会这样？正在进行光合作用的叶片，会把表面附近的CO<sub>2</sub>吸掉，在那儿形成薄薄一层。这叫"叶面边界层"。这里的空气不流动，被吸走的部分补不回来，于是只有叶片周围的浓度一直偏低。叶片周围的浓度，归根结底是由"空气能补多少"减去"叶片已吸多少"来决定的。所以哪怕房间的仪表指着1,000ppm，里面无风地带的叶片表面，实际能拿到的量有时比这还低。你有没有遇到过类似的情形？

在全封闭PFAL的叶菜类里，光照若是LED固定的，那各排的生长差异就没法用"光不够"来解释。仪表上的数字是房间某一个点的值，里面那排叶片周围的情况未必一样。问题在于"实际有多少送到了叶片周围"，可只要把那个点的仪表、CO<sub>2</sub>施用机和空调系统各看各的，这种差异就显不出来。

浓度和气流是不同的问题

这里需要记住的是，CO<sub>2</sub>的浓度和气流是不同的问题。

不管加多少台施用机，把整个房间的浓度提到1,200、1,300ppm，只要叶片周围没有流动，边界层就还是薄薄的，里面那排照旧长得慢。反过来，靠近出风口的那排哪怕气流微弱，空气也在更新，所以同样是1,000ppm，那边送得到。也就是说，能送到多少，不取决于输入的量，而取决于施用的方式和怎么造气流。在加量之前，先去怀疑"送不送得过去"。

而且，CO<sub>2</sub>也不是加得越多越有效。光合作用能用的CO<sub>2</sub>有上限，在PFAL这种光照和温度固定的情况下，超过一定浓度，再加，产量的增量也会变小。这里容易混淆的，是"饱和后触顶"和"送不到里面、看着像触顶"这两种状态。明明只是输送堵了，却当成已经饱和，添施用机、提气

瓶浓度，月末留下的只是"CO<sub>2</sub>费用涨了、产量没动"这样的数字。这是最烧钱的模式。

要区分这两种，入手并不难。把轻薄的纸或纸巾剪成细条，绑在棒尖上，举到叶片那个高度。光看"前面飘、里面垂着不动"，就能一眼看出"这里送不过去"。在已经发现里面无风的现场，与其再加CO<sub>2</sub>，不如把风向改朝那个无风的里面，或者添几台小型循环风扇，往往更见效。风怎么造，后面的"空调系统和风的管理"里会讲。

CO<sub>2</sub>是和光、水、温度并列的植物工厂基本要素之一。光照和温度整得再好，没有CO<sub>2</sub>植物也长不起来。但请记住，施用时要紧的不只是"把房间浓度设到多少"，更是"那些能不能送到里面的叶片"。关于最优浓度的判断、各方式的成本和回收等更深入的内容，《提升植物工厂盈利能力的172个要点》里有详细介绍。

CO<sub>2</sub>这一节里反复出现的"能不能送到叶片"——那个送货的就是风。温度、湿度、CO<sub>2</sub>，最终都是搭着空气的流动才到达叶片的。下面，我们就来看看把它们汇总送达的风本身。

## 空调系统和风的管理

温度、湿度、CO<sub>2</sub>都看完了，这些看似各用各的设备分头管，实则被一条线串在一起。那条线就是空气的流动，也就是风。植物工厂不易受外界气候影响，但因为是封闭空间，空气容易停滞，放着不管就会出现死角。温度、湿度、CO<sub>2</sub>整得再好，那些空气要是流不到叶片所在的地方，也是白搭。风，就是把它们全部汇总、送到叶片的那个送货人。

### 风所发挥的作用

风大致起这么几样作用。

- 把CO<sub>2</sub>送到叶片：哪怕室内仪表指着1,000ppm，那也只是房间某一点的值。在空气不流动的地方，叶片吸走的部分补不回来，只有叶片周围变薄。有时与其加施用量，不如先让空气流起来更有效。
- 抹平温湿度不均匀：受照明和空调系统影响，各处的温度和湿度会有差异。多层架子的上层和下层尤其容易出温差，风能把这种差异抹平。
- 更换叶片表面的空气：叶片表面有一层叫"叶面边界层"的薄空气，这层不流动，CO<sub>2</sub>和水分的进出就会停滞。风把这层搅动起来，帮它进出。
- 不让湿气积聚：在湿度容易升高的封闭空间里，把积在叶片周围的水蒸气带走，也是风的活儿。微生物总是存在，与其拦着不让它进来，不如不让它积、不让它散更有效。

风要的是"分配方式"而不是"总量"

制造风主要使用"送风机"和"空调系统设备的送风功能"。送风机的作用是在局部，空调系统的作用是让风在整个工厂内循环，这就是分工。

这里要记住的是，风并不是越强越好。为了把风送到里面而一味加大风量，这下前面的叶片又会被吹得过度干燥、或者受压。风量是一个旋钮牵动全场，里面立起来了，前面就立不住了。真正管用的，不是把总量加上去，而是"分配方式"。比如，只在容易停滞的里面或架子缝隙处添几台小型循环风扇，只去拨动那一处变薄的地方，这样就不必抬高整体风量了。

分配方式的门道也不难。

- 别把送风机面对面放，要让全场的风朝同一个方向兜一圈（两股流动会相互抵消，反倒留下死角）
- 风绕不进去的角落是死角的常客，要重点照顾
- 想消掉架子各层的温差，用上下方向的风；想让宽大的栽培床均匀，用水平方向的风——看目的换方向
- 别一直对着叶片直吹，要让风从植物上方或侧面掠过（一直直吹会伤叶片）

## 靠温湿度找出死角

空调系统和风的管理，门道一旦掌握就很简单。空气停滞的地方，测一测温度或湿度就看得出来。同一个房间里，唯独里面那排温度高、湿度高的地方，就是死角。把一张薄纸粘在棒尖上，举到叶片的高度——前面飘、里面垂着不动，无风用眼睛就能看出来。发现不均匀，就调整送风方式去改善。多数情况下，这就够了。

但如果是架子的搭法或房间的形状作怪，加了风扇风也转不进去，那就进了"靠计算重新设计气流本身"的领域。这也会牵出一笔大额投资的判断，所以这里只掌握思路的入口，深入的设计交给《提升植物工厂盈利能力的172个要点》介绍。

光、水、空气都备齐了，最后一个要素就是营养。水培中，植物需要的全部营养，都得靠人亲手溶进水里供给。我们先从原料——肥料本身的处理说起。

## 肥料的处理

水培里，把肥料溶进水中调成营养液。这一节，我们来看肥料本身该怎么处理。营养液怎么测、怎么更新，留到下一节；这里只盯住"配什么、怎么配"。

## 植物工厂对肥料的要求

在植物工厂里选肥料，有以下三个前提。

- 水溶性：水培中，肥料要溶进水里才能到达植物。所以得易溶于水、易吸收
- 纯度：用杂质少的高纯度肥料，营养液的成分平衡才稳，能降低生长障碍的风险
- 速效性：因为追求的是短期内采收，所以适合用植物能立刻吸收的速效肥

## 单一肥料和复合肥料

肥料有"单一肥料"和"复合肥料"两种。单一肥料只含氮、磷酸、钾等某一种特定营养素，复合肥料则是把需要的营养素预先混合好的肥料。

### 使用复合肥料的优点

- 省事：需要的成分已经配好，免去了配制和管理的麻烦
- 有现成的对路产品：市面上有针对叶菜类、果菜类等、按作物和生长阶段配好的产品

### 使用单一肥料的优点

- 精准补给：根据营养液分析的结果，只补缺什么补什么
- 自配配方：把多种单一肥料组合起来，能调出自己的专属配方

用哪一种，取决于栽培方针。但刚起步、还拿不准用哪种的阶段，建议先从复合肥料入手。自配单一肥料的配方，要等运营走上正轨之后才谈得上。

## "便宜所以用单一肥料"不一定成立

用单一肥料的动机，通常是"想比市售的复合肥料便宜"。原料单价本身确实容易压下来。但作为代价，调配的工时、称量的麻烦、同时存放多种原料的库存、用不完的废弃，都会叠加到肥料成本上。如果只是少量、偶尔配一次，复合肥料的便利有时反而更划算。到底便不便宜，要看规模和运营，光盯着肥料费是分不出高下的。

单一肥料真正的价值，与其说在便宜，不如说在那份自由度——能按作物和生长阶段自由调整配方内容。复合肥料里早已一锅定死的配比，到了单一肥料这里可以精确到离子去调。需不需要这份自由度，正是要不要进阶到单一肥料的分水岭。

## EC合格不代表内容也合格

这里先点出一个现场常见的误区。

营养液的浓度用EC（电气传导率）来测，但EC只反映溶解的离子整体的总量。哪怕总量相同，里头的明细EC计也看不出来。无论是氮多钾少还是反过来，仪表上跳出的都是同一个数字。

这一点在循环使用营养液的循环式系统里会带来影响。作物吸收各种离子并不均匀，如果一直用固定配方循环，就会出现EC没怎么动、某种离子却在悄悄减少的情况。尤其是氯、铁、锰这些微量元素，往往在不惊动EC的情况下先耗尽。碰上"EC明明合格，却不知为何生长不振"，幕后黑手可能正是这种明细上的失衡。所以，把那些EC上不显眼、又容易减少的离子挑出一两种，时不时单独测一测——光是这样，也能比只看EC更早察觉它们的亏空。

分成A液、B液，是为了隔开钙与磷酸、硫酸

无论复合肥料还是单一肥料，都有一种做法是把母液分装到两个水箱（A液、B液）来配制。别弄错了它为什么要这么做。

分开，是为了不让钙在高浓度下与磷酸、硫酸碰面。钙在高浓度下和磷酸或硫酸共处一处，就会析出沉淀。沉在水箱底部的白色物质，多半就是这种磷酸钙。所以把硝酸钙放进一个水箱，把磷酸类、硫酸类放进另一个，原液之间不直接混合。等稀释之后浓度降下来，在最终营养液里钙与磷酸、硫酸就能相安无事地共存。会析出沉淀的，只是浓缩原液这一种情形。

另外，常听人说"要把钙和镁分开"，但真正该分开的是钙和磷酸、硫酸。而且水温越高越容易析出沉淀（磷酸钙加热后反倒更难溶），所以夏天配制原液时要格外当心。

配方从"离子"而不是"目标EC"出发

那么，关键的配比该怎么定？

不熟练的时候，往往是照着配比表把量填进去、让EC对上往年差不多的数值，用EC计一对就算完事。可正如前面所说，EC看不出明细。正确的做法恰好反过来：先定下各种离子的目标浓度，再由此倒推出每种单一肥料该用多少。EC不是一开始就要去对准的目标，而是最后拿来核对"有没有跑偏"的工具——顺序就是这样。

这时有个诀窍，是按离子的反应性、而不是按重量来对齐，于是就引出了mEq/L（毫当量/升）这个单位。一价的钾和二价的钙，哪怕重量相同，反应性也差着大约一倍。话虽如此，每次都手算在现场并不现实，实际是用电子表格或营养液配方设计工具来算。

肥料配比是植物工厂的一项重要工作。它要靠经验和数据双管齐下，最终长成你自己的一门手艺。作为参考，我也准备了一份根据现场经验做的免费营养液配方设计表"SimpleFert"，只要填入必要信息，就能算出配比。

用mEq/L倒推的具体步骤——先从哪种单一肥料下手填补、如何把随之带进来的离子再减掉、如何随生长阶段和水温做调整——这些配方设计的细节，都汇总在《172个要点》里了。这里先只揣着这样一个态度："配比表不是要背下来的固定数值，而是前提一变就要重搭的设计图。"



将肥料溶入水就成了营养液。每天如何测量、如何维持那个营养液——这是水培每天的核心工作。

## 营养液管理



把肥料溶进水里，得到的就是营养液。在植物工厂里，这汪营养液是左右植物生长的生命线。上一节谈的是肥料本身怎么选，这一节谈的是溶解之后的营养液该如何做日常管理。

### 营养液里含有的营养素

水培中，用水和肥料调成的营养液取代了土壤。营养液里的主要营养素如下。

- 氮（N）：促进叶片和茎的生长，对蛋白质和叶绿素的合成不可或缺。不足则叶片变黄
- 磷酸（P）：促进根的发育和花、果实的形成，与能量代谢有关。不足则根的发育变差
- 钾（K）：促进光合作用，提高对病害的抵抗力。也与细胞内的水分调节有关。不足则叶的边缘枯死
- 钙（Ca）：强化细胞壁，稳定生长。不足则新叶变形或果实尖端腐烂
- 镁（Mg）：是叶绿素的组成成分，对光合作用不可或缺。不足则叶脉间变黄
- 硫（S）：是蛋白质的组成成分，也与酶的活化有关。不足则叶片整体变黄

这些叫大量元素，缺了任何一种植物都长不成。此外还有一类叫微量元素的营养素，量虽少，却同样重要。

### 营养液管理的基础：EC和pH值

营养液管理里特别要紧的指标，是EC和pH值这两个。先把这两个掌握好。



## EC（电气传导率）

EC是"Electrical Conductivity（电气传导率）"的缩写，表示电流通过的难易程度。肥料溶于水后电流更容易通过，所以看EC，就能间接掌握营养液里溶了多少肥料。

- EC高：营养液浓

- EC低：营养液稀

EC太高，植物吸不进水，有枯死之虞；反过来太低，又会因肥料不足而停止生长。按植物的种类和生长阶段把EC调到合适的浓度，是营养液管理的起点。

## pH值（氢离子浓度）

pH值表示营养液的酸碱程度。多数作物吸收养分效率最高的，是弱酸性的pH 5.5~6.5一带。一旦偏离这个范围，就会冒出下面这些问题。

- 养分吸收障碍：营养液里的营养素变得难以吸收

- 生育障碍：根发育不良，或叶色变差

- 微量元素吸收不足：铁、锰等变得难以吸收，导致生育不良

由于pH值直接左右营养素的溶解性，先把它收在这个范围内是基本功。不过，pH值会随着根吸收离子而自行漂移，并不是调一次就一劳永逸的数值，而且随作物和培养基不同，漂移幅度也不一样，所以请把它当成每天都要盯的对象。

## 配制营养液

配制营养液，要把水和肥料按合适的比例调和。

1. 备水：自来水、井水、过滤水都行，多数情况下用的是自来水。如果用含铵态氮的肥料，要先靠静置或硫代硫酸钠等手段去掉余氯  
2. 备肥：用复合肥料的话，按产品说明把适量溶进水里。如果是循环式系统，先配一份浓度约为最终营养液100倍的母液（浓缩液），再用注射泵或自动供给装置边稀释边调成最终营养液，这样效率更高（这里说的是稀释前的100倍浓缩液，不是"稀释100倍"）  
3. 调和：把肥料一点点溶进水里，同时充分搅拌。由于钙与磷酸、硫酸在高浓度原液里会析出沉淀，有一种做法是把母液的水箱分成A、B两个来配（稀释后的最终营养液里，钙与磷酸、硫酸能够共存）  
4. 调EC和pH值：用EC计和pH计测量，需要时再调。EC比目标低就补肥料，高就加水稀释；pH值低就少量加pH提升剂，高就少量加pH降低剂

## 维护营养液

栽培过程中，营养液一直在变。日常维护的流程如下。

1. 测量：每天至少测一次EC值和pH值（测得稀疏，就会迟迟察觉不到变化）。把测量时间固定在每天的同一时刻，便于比较每日的起伏。规模一大，人工测量就顾不过来  
2. 记录：测出来的值一定要记下来。这样既能掌握变化趋势，出了问题也便于追查原因。记在本子上还是电子表格里都行  
3. 调整：偏离目标值就动手调。pH值一次加太多会让肥料成分沉淀，所以要少量分次地加  
4. 更新营养液：栽培持续一段时间后，肥料成分的平衡会失调，不需要的成分也会越积越多。要定期"更新营养液"，把旧液换掉。频率随作物和季节而变，一般以每2~3个月一次为目标。生长快的叶菜类消耗快，要勤换些；夏天微生物活跃、劣化加快，也要提早更换

"说不上哪儿不对，就是总觉得长得不好"的情况很常见。有了经验能猜出几分原因，新手就没那么容易。这时不妨碰碰运气换一缸营养液，也是一招。难关当头还能有这么个选择，正是水培的好处之一

5. 观察：别只盯着EC值和pH值，植物本身的状态也要细看。叶片的颜色、形状、长势一有变化，可能就是营养液出了问题

## 卫生管理的思路

储液罐和管路要定期清洗。藻类或污垢一积，病原菌就容易滋生。

不过，一谈卫生，话头往往偏到"怎么不让菌从入口进来"上，可现场的体会稍有不同。菌本来就归不了零，到处都是。所以要紧的不是杜绝，而是不让它"增殖"、不让它"扩散"。藻类也一样，惦记的人不少，但它怎么都会冒出来。看着是不好看，与其一门心思要清零，不如抱着"别让它多到失控"的心态去管，这样就没什么问题。比起靠杀菌一遍遍去压制，让营养液不停滞、正常循环起来，到头来反倒更稳。

## 光把数字对上还不够——DO和明细的偏移

以上是营养液管理的基础。每天早上拿仪表一对，EC和pH值都达标，日报上的数字整整齐齐——可就是总觉得状态不对。你有没有过这样的经历？

很多现场把这两个数字对上也就八九不离十了，但一旦出现连"数字都对上了"也解释不了的别扭，有两个容易被忽略的点。一个是溶解氧（DO），另一个是养分"明细"的偏移。

溶解氧（DO）不是用来对准的数值，而是用来监控的数值

就算把EC和pH值并排管起来，平时盯的也只是这两个，DO往往就被晾在一边。麻烦的是，麻烦未必每回都换着张老面孔来。EC和pH值都达标，偏偏状态不对，回头一看，那段日子往往正赶上水温上升，或是根越长越密，DO悄悄掉了下去——它就是这么个冒头法。

EC和pH值，要等根真能把养分吸进去才有意义。而这种吸收靠的是根的呼吸，呼吸离不开氧气。所以DO一旦掉下来，哪怕EC和pH值都对到了目标，根那头也消化不掉。棋子摆得好好的，手却动不了，就是这么个状态。

而且DO不像EC、pH值那样是每天往目标上推的数值，它是水温、根量、流量、曝气等条件凑出来的结果。能拨动它的手段——改曝气方式、调水温——通常也握在设备那一侧，不是现场每天能拧的旋钮。所以对DO能做的，与其说是去操控它本身，不如说是盯住它有没有下滑、尽早读出它往坏处偏的苗头。请别把它当成每天往某个目标推进的对象，而要把它当成监视它有没有跌破某条线的对象。

在我用PFAL叶菜类运营的范围里，溶解氧不要低于5 mg/L，能保持在8 mg/L上下更好，这是我的安全目标。但这不是放之四海皆准的硬阈值，只是一条下限。与其说越高越好，不如把它看成一条"别掉到这条线以下"的底线。记录的时候，与其把DO的绝对值孤零零记一个点，不如把水温和DO成对地记。水温一升，水里能溶氧的上限本身就降了，所以同样的DO，水温高时已经没有余量了。

有一点要记牢：麻烦时期EC和pH值看着达标，这个事实本身，并不是"所以营养液没问题"的凭据。恰恰相反，DO流失、吸收变慢时，没被消耗掉的那部分会让EC和pH值看起来稳稳当当。数字乖乖地待在那儿，背后也可能正是它没被用上的反面——这种可能是存在的。

### EC只说总量

和DO一样容易被忽略的，是EC本身的性质。EC把整体浓度归成一个数字，硝酸、钾、钙、镁等各种离子的浓度，全被合并进一个导电率里。所以哪怕总量达标，里头的比例也未必对路。

而且这份明细放着不管也会自己偏掉。根吸收离子并不均匀，随生长阶段和品类不同，有的吸得多、有的吸剩下。比如在大量吸钾的时期，就算用补给液把EC补回原来的数值，可在补充亏掉的钾来凑总量的过程中，那些没被吸收、剩下来的离子会慢慢积起来。EC还是那个EC，内容却已经偏成了和最初配的液不一样的东西。在循环式里把同一缸液反复用得越久，这种偏移就攒得越多。

也就是说，"EC合格、状态却不好"不只是凭感觉说说。从归成EC这一个数字的那一刻起，明细的信息就已经丢了。话虽如此，每天把每种离子都单独测一遍也不现实。倒不如就接受EC，把它当总量管理的工具接着用，同时心里揣着一条前提："总量合格，明细也可能偏。"然后靠运营——定期更新营养液、一有苗头就提前重配——把明细的偏移压住，这就够了。下面列出几样可以拿来提前判断的苗头。

| 苗头 | 详情 || --- | --- || EC不稳 | 要频繁调整, 或出现意外的波动 || pH值剧烈变化 | 调好pH值后马上又跳回异常值, 或波动很大 || 营养液的颜色或气味 | 浑浊、变色, 或有难闻的气味 || 生长停滞 | 新芽长得慢、叶片小、茎细 || 根的状态变差 | 出现褐变、软化、根尖枯死 || 发生病害 | 烂根或叶片病害增多 |

别扭不在当天, 而在几周之后才冒出来

无论是DO还是明细的偏移, 都有一个共同的脾性: 垮, 不在当天垮, 而是拖后才显出来。哪怕今天的数值都在正常范围内, 那场崩溃也会在几周后以产量或等级的形式反馈回来。所以重看营养液的记录, 不能只问"今天是多少", 要换一种眼光去重读——"有没有哪一周垮了? 那时条件这一侧又有什么在动?"——这样才头一回把它和生长接上。再往深处, 把KPI当作设计记录、用单一肥料把偏掉的明细重新搭起来, 这类更深的运营判断, 在172个要点里有详细介绍。

味道是被运营拨动的, 不是被方式拨动的

营养液管理的话题, 直接连着"味道"的话题。"工厂出来的菜水水的""没有苦味、不够味"——室内种的蔬菜总背着这类评价, 而且一般都被归咎于设施类型。

可是, 在现场种过、卖过的人越多, 越明白没那么简单。味道随采收后时间的长短变化很大, 哪怕同一株, 早上摘的和傍晚摘的甜度都不一样。出货前怎么管, 苦味的轻重也大不相同。设施类型本身固然会带来味道差异, 但同一种方式里, 运营能拨动的幅度也很大。

就拿苦味来说。如果是水培生菜, 只要在采收前2~4天停止施肥, 作为苦味来源的叶片硝酸盐就会大幅下降。而且只要条件好, 这几天产量几乎不掉。人们容易担心"要调味就得牺牲产量", 可单论苦味, 是有办法在保住产量的同时把它去掉的。对叶菜类、PFAL而言, 采收前几天做什么, 是一根容易读懂、能拨动味道的杠杆。但它不是万能的, 氮压得太狠还会招来叶色发淡之类的别的代价。

这里关键的一点是: 甜味、苦味、香气, 各自在不同的条件下才达到顶点。糖积累的条件, 和硝酸盐最少的条件, 并不是同一套。"让产量最大的设定"和"让甜味最浓的设定", 也落在同一个旋钮的不同位置上。所以, 不先把目标收窄到一个, 哪个旋钮都只能停在不上不下的位置。不定目标就种出来的菜, 最后落得个"没特色、寡淡"的味道, 不是因为贪心, 而是因为没有一根轴, 每道工序都在模模糊糊地来回晃。被人说水水的工厂菜, 真面目不是方式, 而是这个目标的缺席。

所以头一件该做的, 不是急着去摆弄光照或肥料, 而是先摸清自己的品种和那座设施"能出什么、出不了什么"。香气尤其容易被品种自身的上限封顶, 运营再精细, 不香的品种也很难变香。头几茬别动目标, 在同样的条件下平平稳稳地种出来, 直接尝——"这品种本来就不香""甜味一上

手就出得来"——品种的底色自然就显出来了。知道了哪几根轴能拨动，才谈得上挑哪一根立起来。

至于瞄准哪种味道能换成单价、和什么样的销路搭、味道溢价在什么条件下才成立——这些和收益直接挂钩的话题，在172个要点里有深入介绍。

## 借助数据提高精度

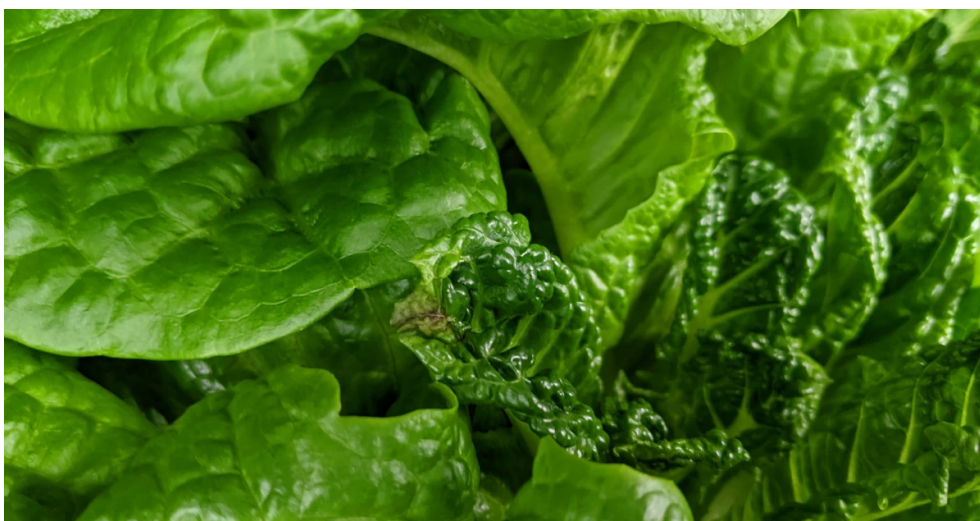
用上数据，营养液管理的精度还能再上一层。

- 栽培记录：把EC值、pH值、水温、肥料的种类和用量、生育状况记下来，摸清营养液状态和生育之间的关系
- 营养液分析：委托专业机构，能准确测出营养液里各成分的浓度。再照分析结果去调配方，就能管得更到位
- 用好环境数据：把温度、湿度、CO<sub>2</sub>浓度等环境数据，和EC值、pH值、生育状况放在一起做关联分析，能同时提高环境控制和营养液管理的精度

只要还把营养液当成每天用仪表对好、写进日报就完事的数字，它就只是一道"对数字的活儿"。可一旦把眼光换成"这套对法会牵动几周后的采收"，营养液管理就摇身一变，成了读懂生育的线索。请带着这副眼光，把这一周的记录重新读一遍。

到这里，光、水、空气、营养这些栽培的基础已经大体齐全了。即使基础整備好了，现场也会出现生育问题。最后，让我们看一下新人最早遇到的两种情况——叶尖焦枯和徒长。

## 叶尖焦枯



"长得好好的生菜，临到采收，叶尖却开始卷缩、变褐、枯焦。"在植物工厂种叶菜类，叶尖焦枯是绕不过去的生育障碍。我自己也为它苦恼过很久。

## 什么是叶尖焦枯

叶尖或叶缘变褐枯焦的一种生理障碍。起初只是尖端稍微变色，往后枯焦的范围会扩大。在生菜上，尤其爱出在结球芯部附近、内侧的幼叶上。外圈的大叶精神抖擞，偏偏当中那几片小叶的边缘卷缩枯焦。"叶尖好像有点发黑了"这种感觉，可能就是信号。

都说是"缺钙"，可是……

在现场，第一反应总是"缺钙"，于是补Ca。可补完，它又冒出来了。要是你有过这种经历，那原因八成在别处。

照我的经验，营养液里钙浓度本身真不够的情况，其实并不多。多数时候，液里的Ca是足的，可症状照样出。也就是说，叶尖焦枯与其说是Ca的总量不够，不如说是Ca没送到内侧的叶片——不是量本身的问题，而是它在株体内怎么分配的"配送"问题。

所以，抱着"不够就加"的念头一个劲补Ca肥，通常反而坏事。就算把液配浓，目的地不对，照样到不了芯部。不仅如此，EC还会跟着往上窜，或者跟别的离子抢道，惹出别的毛病来。

## "配送"为什么会垮

Ca跟着水走，经植物的导管输送。而水，被蒸腾作用旺的地方往那头拉。

这里起作用的，是各架子之间的差异。光照足的强势架子上，外圈的大叶蒸腾旺，于是Ca就一个劲被往外叶那边拉。另一头，芯部的幼叶蒸腾还很弱，株体内侧湿度高、空气也不流通，水流本身就细，Ca于是到不了。最旺、最盼着采收的强势架子，偏偏正中间在枯焦——道理就在这儿。

越是猛攻生长越容易出，也是同一个道理。长得越快，内侧的幼叶就一茬接一茬地冒，配送这头还在往里送，新叶那头又添了出来，送到芯部的速度追不上生长的速度。"又快又大"和"稳稳送达芯部"，刨到根上，本就不是一个方向。这也正是叶尖焦枯难对付的地方。

关键词是"蒸腾作用"和"生长速度"

对策的入口就是这两点。

- 蒸腾作用：湿度过高会压住蒸腾，也会让根的活动变弱；反过来湿度过低，水分又只往外叶那头被拉走，芯部反而干。湿度和叶尖焦枯关系紧密，要在这里好好把住（详见湿度管理

一节)。

- 生长速度：如果是生长太快让症状加重，那就往调低光量、温度、CO<sub>2</sub>的方向，也就是稍稍给生长踩点刹车的方向去重新审视（加速会恶化，所以这里是减、不是加）。

风怎么吹也有关系。让稳定的气流沿着架子水平、均匀地走，送到芯部的配送就会变样。反过来，只把外叶边缘吹干的那种乱糟糟的强风，反而有害。同样叫"风"，均匀的稳定气流和紊乱的强风，是两码事。

## 出现之后怎么处理

预防做得再足，该出的还是会出。

叶尖焦枯就算出了，对口感本身影响有限，但外观明显变差。蔬菜是按卖相挑的，所以对出货品质有影响。于是你被逼着做判断：是把症状轻的株子剔出去，还是把受损部分去掉再出货。

这里只说一句：别一门心思去抠掉每一丁点叶尖焦枯。白白撕叶片，伤口有时反而引来腐烂。与其见一处除一处，不如先掂量它有没有到影响出货品质的程度再动手，整体算下来更划算。

## 从"配送"这一条线索去看

品种之间耐受性有差异。叶形宽展的类型，水分容易流到内侧；长势不容易乱的品种，配送也垮得更晚。但这顶多是把整个联动系统稍稍松一档，太激进的话，再强势的品种照样会出。这事不是说到品种就完了。

同理，"光降湿度""光加风"地只动一个因素，压力就会甩到别的因素上。光降湿度，芯部更干；光加风，外叶边缘受损。叶尖焦枯，是光、生长速度、气流、蒸腾作用、根域、营养液彼此牵连才闹出来的症状。不去单点强攻，而是当成一条线索来看，是最不容易把自己逼进死胡同的办法。

面对发病的株子，从哪儿入手、按什么顺序去怀疑。采收前几天收窄范围的最后那一道环境调节。是流动出了问题，还是液里的Ca真的耗尽了，又怎么去判断。这些具体内容都是和收益直接挂钩的判断要点，所以在下面这本实用技巧集里有详细汇总。

### 《提升植物工厂盈利能力的172个要点》

如果说叶尖焦枯是"到达·到不了"的话题，另一个代表性麻烦徒长就是"伸长·不伸长"的话题。趁还是新人，把这两个成套记住，会让人心里有底。

## 徒长

和叶尖焦枯并列的另一种典型生育障碍，是"徒长"。徒长是指幼苗细瘦拔长、茎超出必要地伸长的现象。想想窗边的观叶植物朝着有光的方向细细长长地探出去的样子，就差不多是那个意思。植物工厂里一旦发生徒长，会带来下面这些影响。

- 产量下降：光是茎在长，要紧的叶片反而变小。
- 品质下降：组织变得软弱，保鲜性和口感都跟着下降。细胞壁变薄，抗病也变差。
- 作业效率下降：容易倒伏，采收和日常管理的工作量增加。

而且麻烦的是，节间一旦拔长就再也缩不回来。哪怕把环境重新整好，拔长了的胚轴还能收紧变短——这种事，在我现场见过的范围里，一次都没有过。所以请把徒长理解成：与其"出了再修"，不如"出之前就先读出来"。

### 先怀疑密度，再去看环境

徒长一冒头，人会条件反射地去找环境的旋钮——"怎么把它摁住"。可在那之前，观察是有先后次序的。

最先该怀疑的不是环境，而是品种、播种密度、穴数。哪怕环境一模一样，爱拔长的品种就是会拔长。在育苗盘里密密麻麻地播，苗与苗相互挤这件事本身，就会逼着幼苗往上蹿。育苗盘的穴数（72穴、128穴、200穴等），也不只是"能育多少株"，更是左右"能育出什么模样的幼苗"的因素。穴越小，根能伸展的余地越窄，对育苗期长的作物越不利。

在我现场见过的范围里，还没轮到为环境发愁，光凭"那个育苗盘，是不是单纯播太密了／穴是不是太小了"就能解释的徒长，并不少见。所以第一步，先把品种、密度、穴数捋清楚。这是第一阶段。

在此之上，剩下的部分再用环境的旋钮——光、夜温、湿度这三个因素去分析。反过来说，真正的元凶是密度或品种时，这三个环境旋钮再怎么拧都是空转。要是只把"徒长=光、湿度、温度这三样"记在脑子里，就会跳过最管用的第一阶段。顺序是：密度在先，环境在后。

### 从幼苗的姿态分析解读3个环境因素

茎伸长，是幼苗感受到光后引发的反应。被相邻叶片挤着遮着，或者光本身就弱，幼苗就会拔长茎去够光。这才是徒长的真面目。剩下那三个因素，要以幼苗的姿态为线索来判断。它们没法完全切割开，但可以当作"下一步先怀疑哪个"的次序来用。

- 光弱：不是茎变长，而是叶片本身容易变薄、颜色也发淡，是一副把身子往光那边投过去的姿态。



- 夜温降不下来：熄灯后余热积着而拔长，这种情况下叶片厚度和颜色都还在，只有节间伸长。当地点（下层）和时段（夜间）撞到一起时尤其容易出。

- 湿气积聚：在除湿不给力的时段或架子上，蒸腾停了，叶片张力还在、略显肥大而柔软地铺开，底下的茎却松松垮垮地往上抽。

也就是说，别光看茎有多长，要把什么时候、什么地方、叶片是什么样合在一起看。叶片又薄又淡，就偏光；叶片正常、单单节间伸长，就偏夜温；湿气积着的架子上叶片发软，就偏过湿——就这么个判法。

不过，这套不是用来一锤定音找出主因的工具，而是判断的方向。尤其栽培架的下层，是光、夜温、除湿同时容易变弱的地方，偏偏在你最想利用的地方最容易垮。垮了，就别死咬着某一个原因不放。

正在出现的徒长和下次不让它出现，是不同的话题

这里有一点我想区分清楚：眼下正在拔长的这一茬怎么应付，和不让下一茬再出同样的徒长，是两个不同的话题。

已经开始拔长的幼苗，是在和时间赛跑，要是非等把原因缩到一个再动手，这段工夫里它还在接着长。所以对眼下冒出来的徒长，别等原因查清，先整体往保守那边偏：把光提一提、把夜温降一降、把除湿加一加。但猛地大幅度去动，本身又是一种压力，所以要一档一档来，而且别在光照已经够的架子上再往上加。光不是越多越好，要提的是弱势架子，不是本就够的架子。

另一头，把原因缩到一个的那套判断，是给下一茬用才有意义。一早把上层和下层的幼苗并排着看，按茎的长短、叶色和厚薄、叶片的软硬，判断是哪个因素叫得最响。然后到下一批，只动那一个可疑的因素，看症状的出法怎么变，就能把主因坐实。在同一茬里同时动三个，根本分不清是哪个在起作用。一个一个地试，恰恰要分到不同批次去做才有意义。

如何处理伸长的幼苗

已经拔长的幼苗，处在哪个阶段，补救的意义也不一样。

如果拔长还停在胚轴初期、本叶刚要展开的阶段，把环境整一整还是很有价值的。这时候能拦住节间继续伸长，往后叠出来的本叶那一侧，还有余地把姿态重新理顺。反过来，如果节间已经拉得老长、有些倒伏，连本叶都开始接着这股徒长劲儿展开，那就得拿主意，把这株按次品处理了。这条界线，核心落在“本叶有没有把徒长接过去”上，同时还要看生长点、根的死活和这一茬所处的阶段。育苗早期，有时改作移栽更划算；要是采收在即，与其硬把它扳回来，干脆就以徒长株的样子收掉，反倒更合算的情况也有。

## 不让下一茬再出——播种前的确认

既然拔长了的茎缩不回来，补救的价值就还是落在"不让下一茬再出"这一侧。确认的顺序也一样：先密度，再环境。

- 播种密度和穴数：对着目标幼苗的样子和育苗期长短，看是不是播太密了、穴是不是太小了？相邻植株的叶片开始相互搭叠、或下部叶开始发黄，就到了间苗或移栽的时候。
- 光：事先把各架子各个位置的光量测一遍。同样的LED，下层的到达量也可能打折，弱势架子会用徒长来回应。
- 夜温：分架子看看熄灯后温度是怎么往下走的。下层夜里容易积余热。
- 湿度：把那些除湿不给力的时段或架子拎出来。

在播种前按架子把这些一项项写下来——与其等徒长出来再手忙脚乱，不如在它出来之前就把弱处读出来、备好对策。不是冲着拔长的茎去问罪，而是先怀疑密度，对剩下的部分，把它当成幼苗在回应哪种设定的信号来读。这么一想，每天早上看育苗盘的眼神，就会有点不一样了。徒长直接关系到产量。怎么把密度、光、夜温、湿度组合起来读，攻到哪儿、在哪儿舍——这个判断，本身就是植物工厂盈利的话题。想在现场更广泛地拿到能用的视角，请看这里。

《提升植物工厂盈利能力的172个要点》

## 为了进一步提升栽培管理水平

到这里，从作物选择到光、水、温度、湿度、CO<sub>2</sub>、风，再到肥料和营养液，以及叶尖焦枯和徒长，我们大体上看完了栽培管理的基础。每一项单独看起来像是独立的话题，但在现场，所有这些都相互影响着。移动湿度会影响叶尖焦枯，增强光照会改变温度和水的使用方式。只要把这种"关联"放在心中，遇到麻烦时的判断就会大不相同。

但是，说实话，到目前为止写的，终究只是基础。到了现场，"知识是有的，但具体从哪里下手、以哪里为目标"这一点，一定会遇到迷惑的场面。

例如，光和温度的"适宜范围"这本书可以展示，但自己的工厂、自己的作物的最优值在哪里，只能边种边摸索。即使是削减电费 and 人工费，削减哪里才能不降低品质而留住收益——那种判断，只有在掌握了基础之后才有意义。我自己，在这方面摸索了很长时间。

这本书彻底做到了，只到那之前的"思路的入口"为止。最优值的判断、降低成本的决策、数值的精细打磨等，与收益直接挂钩的更深一步的内容，我让位给另外整理的《提升植物工厂盈利能力的172个要点》。首先用这本书夯实基础，感觉想再踏进一步时，希望届时能打开那本书。

## 第2章总结

- 作物选择不是看品类，而是看"销路的单价×周转×难度"和"每面积每天能挣多少"。以生菜为中心不是盈利的答案，而是在工厂形式中不易崩盘的方案被选中的结果。新作物要在通过盈利入口之后。
- 从光的强度、颜色、时间三者的乘积（DLI）来理解光。越亮未必越好，停止点随电费变动。
- 水培方式（NFT/DFT）没有绝对的优劣。起作用的是选定之后的水管理。可逆的偏移用运营来承接，不可逆的事故提前用设备和备用措施来消除。
- 不要把空气的温度、湿度、CO2分开来看，而是看它有没有到达叶片。管理的是空气，响应的是叶片。湿度不是比例而是"拉力（VPD）"，CO2不是浓度而是"能不能输送到里面"。把它们全部汇总输送的是风，起作用的是分配方式而不是总量。
- 营养方面，以EC和pH值为基础，监视仅靠对齐还不够的两点（溶解氧和明细的偏移）。EC只说总量，配方从离子逆算。卫生不是让菌归零，而是"不增殖·不扩散"，不依赖杀菌而靠正常循环。
- 生育问题不要单独攻打。叶尖焦枯不是Ca的总量而是"配送"，徒长先怀疑密度，然后再看环境。两者都是多个因素相互关联而发生的。

每一项单独看起来像是不同的话题，但在现场，所有这些都相互影响着。在这一章打好基础后，下一步就是根据自己的工厂、自己的作物来精细打磨数字的阶段。那更深一步的实践，交给姊妹篇《提升植物工厂盈利能力的172个要点》。

## 第3章 现场运营管理的实践

在前面几章里，我们看了植物工厂这套系统是如何构成的。从这里开始，话题转向那个箱子里每天都在发生什么、站在现场的人具体做什么。知道设备和原理，与真正能把现场运转起来，二者之间还隔着一层。这一层，就在这里补上。

### 现场运营管理从何学起——苗、数值、人的三层

「说到底只能靠经验去学。」关于现场运营管理，刚入行的人往往会得出这样的结论。而且有一半是对的。只是，这句话通常和一个成见捆在一起——要学的东西是一整块。

实际上，现场运营管理可以分成性质不同的三层：读懂苗的生长、盯住数值、把人和工序安排妥当。这三者各自习得，相互咬合，现场才转得起来。从何学起，用这三层来想，也就有了头绪。

#### 读苗的层、盯数值的层、理顺人的层

在现场看了不少人，我注意到一件事。新来的人里，有人一看苗就能立刻察觉「这棵有点没精神」。可同一个人，对EC（营养液浓度的参考指标）或营养液数值的变化却毫无反应。反过来，也有人数值追得一丝不苟，看到实物却什么感觉都没有。起初我以为是经验之差，但似乎并不是一条线。

看苗的眼力和看数值的眼力，是两种不同的能力。看苗察觉「没精神」，属于读植物生长的层——叶片的挺括与色泽、芯的伸展方式，是靠身体去记住的世界。而追EC和营养液的数值，属于盯数值的层——读的不是实物，而是作为走势去把握的一种脑力活。不是因为经验浅所以两样都做不到，而是因为层不同，所以各自习得。所以一样在行、另一样却完全略过，是很常见的。

更棘手的是，越是对实物在行的人，越容易说「不看数值，看叶子就知道」。心情能理解，但这里有个陷阱。有些异常是数值先告诉你的；反过来，也有些异常是数值全部正常、却先在叶子上显出来的。比如干烧心（叶缘枯死的症状），诱因是骤然生长时钙来不及分配到内侧的嫩叶，即便营养液里的钙数值正常，只要分配方式（蒸腾作用的流动）跟不上，就会先在叶子上显现。所以只看其中一样，就会漏。两样都看，遗漏才开始减少。

还有一层，和生长、数值都不同：人与工序——把谁在何时做什么这件事运转起来的感觉。有人苗也懂、数值也追得住，却偏偏不擅长给人下指示、编排流程。反过来，也有人栽培一般，唯独安排一绝。这也不稀奇。

安排又是另一回事。生长和数值面对的是植物，安排面对的却是人和物的流动，用脑的方式不同。只是，它看着像凭直觉，其实是可以计量、可以理顺的对象。把一天的作业写出来，在我自己的现场，是采收前后最吃时间。谁在何时进哪道工序、台子的高度、采收物放在哪——这些都能看、能量。别用「那个人会安排」一句话带过，而是去看人在哪里等着、哪里姿势别扭，然后重排配置。这是和生长、数值不同的、可计量可理顺的层。

三层就这样凑齐了。读苗的层、盯数值的层、理顺人与工序的层。现场运营管理，就是这三者叠在一起运转的。

### 从何学起——能先交付的层，和只能在现场积累的层

三层一旦看清，「说到底该先学什么」就骤然变得具体。不是一次性把三者都学会，而是每一层的入口都不一样。

论顺序，先把机制装进脑子是第一位的。三层的入口，都混着「能先作为知识交付的部分」和「只能在自己现场积累的部分」。生长的层，光和养分如何被吸收、叶子如何长成，那条脉络可以读来记住。数值的层，EC和pH代表什么、怎么动就该怀疑什么，那套读法本身也能先交付。安排的层，把作业写出来去计量这种思路，也是教得会的。到这里为止，都是站上现场之前就能交给对方的部分。

能交付的一侧和要积累的一侧，界线相当清楚。比如把光加强产量就增加，这个机制能讲清楚。但在哪里收手才划算，取决于自家的电费和单价，那是没法当作数字交付的。EC的最优值也一样，作物或系统一变就会动，别人的值不能照搬。所以「机制和读法」先作为知识交付，「自家条件下调到几」则对照自己现场的良品率去积累。按这条线来分着想，就顺。

其次，轮到你该长哪一层。这不是靠擅长与否来定的。而是从现场此刻实际卡壳的地方——出现拖延和返工的地方压在哪一层——倒推出来。实物也看得见、数值也看得见的话，堵住的多半在安排那一环，那里就作为此人现在该长的层显现出来。挑出最显眼的一处返工，看它离哪一层的入口最近，据此来选，就足够了。

再者，单单一样出类拔萃，现场也转不起来。三层既是各自习得，在现场就唯有咬合才出结果。生长读得再完美，若没有盯数值的人和安排到位，良品率也守不住。只把一层最优化，未必整体最优——这在任何规模的工厂都以同一种形态出现。

### 本章的读法

从这里往后，本章顺着这三层依次走。用生产计划定下整体的安排；顺着播种、育苗、移植、定植、采收，追苗被养大的工序。用采收后的作业把品质作为商品送达；用员工的管理与教育、

卫生管理，整好人与现场的地基。最后用数据分析，把至此的记录接到判断上。

不必想着一次全装进脑子。把三层放在心里，从此刻自己卡壳的层、轮到自己的层读起，明天在现场试一次。这种推进方式，到头来最能学到手。

另外，这里谈的仅止于「机制和读法」。最优值定在几、如何与成本权衡、怎么卖这类直接关系到盈利的判断，超出本书的范围。若你感到那道入口，请踏进另一本书《提升植物工厂盈利能力的172个要点》。

## 生产计划的拟定

| 品目    |   |  | フリル   |      | フリル   |      | フリル   |      | フリル  |      |
|-------|---|--|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| パネル穴数 |   |  | 300 穴 |      | 300 穴 |      | 120 穴 |      | 40 穴 |      |
| 栽培工程  |   |  | 暗所発芽  |      | 育苗    |      | 生育1   |      | 生育2  |      |
| 日数    |   |  | 1 日   |      | 12 日  |      | 7 日   |      | 7 日  |      |
| 作業    |   |  | 播種    | 苗取出し | 苗移動   | 苗取出し | 移植1   | 苗取出し | 移植2  | 苗取出し |
| 12/01 | 水 |  | 3600  |      |       |      |       |      |      |      |
| 12/02 | 木 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/03 | 金 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/04 | 土 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/05 | 日 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/06 | 月 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/07 | 火 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/08 | 水 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/09 | 木 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/10 | 金 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/11 | 土 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/12 | 日 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |
| 12/13 | 月 |  | 3600  | 3600 | 3600  |      |       |      |      |      |

三层之中，先从定下整体安排——「何时做什么、做多少」开始。从这里起，我们把植物工厂的管理业务一项项看下去。最先是生产计划。

### 为什么需要生产计划

顺着季节和天气来动的传统农业做法，在植物工厂行不通。作为能自己造环境的代价，你必须先定好何时、做什么、做多少。

不定计划就运转，通常会以三种形态栽跟头。供需错位，做出来的东西滞销。电、水、人工、资材的成本先花出去，利润没剩下（资材费和人工费是在种植前就要备好的，没有预判，计划外的开支就会膨胀）。环境和作业的管理变成临时应付，成品不齐整。这些，都是事先定好就能避免的。

### 从出货倒推来编排

我长期从事人工光型植物工厂（PFAL）里生菜等叶菜的生产与启动，编排计划时的顺序只有一个：以出货为起点，从那里往回倒推栽培。若是想「按设备满负荷来编，出货迁就它就行」，

那首先就转不起来。以产能为基准，就会交替出现做得出却卖不掉的周，和想卖却不够卖的周。倒推的流程是这样的。

1. 需求预测：读出何时、多少、以什么价大概能卖。2. 生产计划的制定：从那个出货量，倒推所需的种植量和栽培排程。3. 进度管理与复盘：一边运转，一边看着偏差勤加修正。

#### 步骤1. 需求预测

先把卖到哪、卖多少、以什么价卖搞清楚。是超市、餐厅还是个人，那条销路上能卖多少钱，需求随季节如何变动，做同样作物的同行怎么做的。参照过去的销售数据和市场动向来读，但「做这个就一定卖得掉」的答案谁也给不了。就当这纯粹是立假设的活儿，想开了才行。

#### 步骤2. 生产计划的制定

把读出的需求，落成具体的计划。以市场需求、栽培周期、盈利性这三点来定作物，从设施规模、设备产能、劳动力、销路，放一个不勉强的目标产量。再把采收时期对准市场需求，倒推栽培周期定下播种日。最后估算种苗、肥料、资材、人员、电、水。从出货一侧往回倒推，这个顺序自然就出来了。

#### 步骤3. 进度管理与复盘

计划不是定完就完了，是要一边运转一边修的。定期观察并记录生长，确认是否按计划在售、库存是否合适，一旦出现偏差就查原因，必要时修正排程或产量。

#### 会偏，不是精度的错

这里，有一个想让你在新人阶段就握住的想法。工序表转不动时，多数人会想「计划太糙了」「该编得再细些」。可无论编得多细，偏差有时就是消不掉。那是因为，一个计划里混进了速度不同的东西。

出货被需求牵着，以周为单位细细晃动。栽培是活物的周期，要慢得多。叶用生菜从播种到采收约35天上下。今天就算多定植，那些株上架也要等一个周期之后。而人手的忙闲，又在与这两者都不同的峰上起伏。硬把这三样放上工序表这同一把刻度尺，迁就快的波就把栽培甩得团团转，迁就慢的周期就漏了出货。所以偏差不是精度的问题，而是把本该各自运转的东西硬凑到一起同步的结构问题——我是这么看的。

那么，各自运转是指做什么？是有意在三者之间放上缓冲（垫子）。出货侧的垫子，是能在架上等采收的适期宽度，以及能出的规格上下的摆幅。栽培侧的垫子，是播种、定植的时间刻度的宽度。人手侧的垫子，是余力。生鲜叶菜不耐放，很难把库存堆上好几天，所以出货侧靠「采收适期能前后摆多少」而非「加厚库存」来握住垫子。

而要看的，不是工序表本身，而是那块垫子现在还剩多少。出货的波用采收适期的宽度来接，那点余地快见底时，就往栽培的刻度上动手。只是唯独栽培，等缓冲见了底就来不及了。接出货的余裕枯了之后再多播种，那些株上架也要约35天之后。所以唯有栽培这一手，要连采收前的提前期一起预估，提前动。

最难动的那根轴，恰恰最能添垫子

有意思的是，三者之中最难动的栽培，恰恰是能添垫子的地方。一株生长的周期本身改不了。可「何时播」「分几次播」是能改的。一次大量播，采收也挤在一点，就没法迁就出货的波。但错开时期一点点播，架上就会阶梯状地排着「即将进入采收期的株」「快要上架的株」。出货多的周提早，想收着点的周稍晚——那点幅度就生出来了。硬的是每一株的周期，软的是在时间轴上怎么散布。把动不了的单位错开、叠起来，整体上就成了垫子。

复盘的节奏，随波的快慢来变

看的频率，也可以按轴来变。接出货的采收适期宽度，受的是快波，就每天或隔几天瞄一眼「现在架上有能摆的株」。栽培侧就算每周量也没回音，所以每隔几周去检视「现在这个播种刻度对不对」这个设定本身。若把间隔调成一样，快的一侧会看漏，慢的一侧则白白晃动。

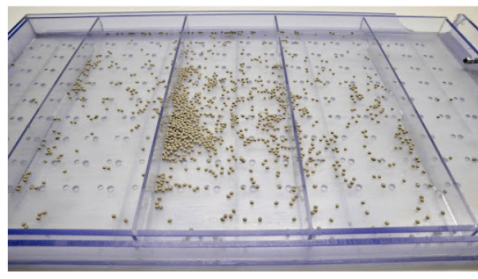
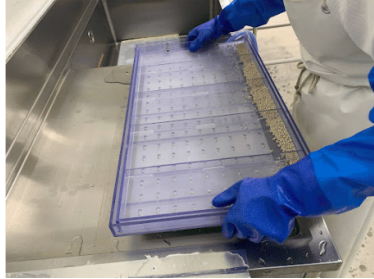
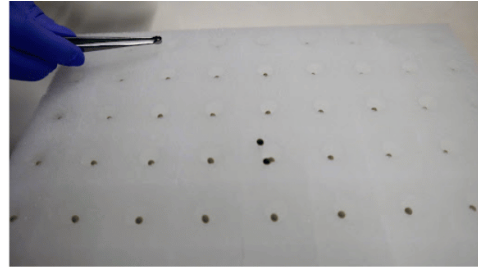
而哪块垫子在减，就径直指向原因的所在。采收适期宽度总是越来越细，就是播种刻度没跟上出货的波。人的余力总是紧绷，就是人员估算没吸下采收的峰。别把偏差笼统归成「计划不周」，而能按从哪根轴先崩来切分。这才是分三份来看的最大实利。连最初的偏差，都不再当作失败，而能作为三台钟开始走动的信号，沉住气去看。

另外，每次都从零编起是件苦差事。我把自己在现场用的栽培排程模板公开了，请拿它当摸清算式搭法的抓手。株数、周转、良品率各厂都不同，所以不是照搬，而是以按自己环境改造为前提。

再往后，「那么播种具体隔几天」「兼顾采收量该怎么定种植密度」「压着电费怎么产」这类直接关系到收支的拿捏，是要用自己工厂的数字去磨的领域。想法的入口就到这里，深入的判断让给《172个要点》。生产计划，是植物工厂运营的轴心部分。

## 播种





计划把播种日定下来，就正式进入养苗的工序了。从这里起，我们依次看实际把蔬菜养大的现场作业。最先是播种，也就是把种子播下去的工序。

播种是栽培管理的第一步。植物工厂不用土。往培养基——代替土来支撑根、供给水分和养分的材料——上播种。流程本身很简单。把培养基装进专用育苗盘、在水里充分浸透，用镊子或播种机把种子放上去。播下之后，为防干燥和种子流失，用盖子或罩子保湿，用喷雾轻轻洒水，一边管理温度、湿度、光一边等发芽。播种密度因作物而异。

新人阶段，这里大概会被教着去在意「发芽率」。有几成出了芽。近九成出来，就满足一回「这批不错」。这本身没错。只是，我回看自己现场里良品率一般的那些批次，比起发芽率低，更常想到的是「那时候，没齐整啊」。这里想让你学到的视角转换，是这个：播种真正该看的，与其说是「出了百分之几」，不如说是「有多齐地立起来」。

发芽率这个数字，映不出「齐整」

发芽率，只数了种子出没出芽。是把出、没出这个二选一汇总出来的数字，里面没有「何时出」这个时间信息。所以，一齐整整立起来的盘，和用三天零零星陆续出的盘，只要最后都到九成，就并列成同样的九成。

可这两者之后完全不同。若说发芽率是「高度」，那齐整就是「宽度」——每颗种子出芽时刻的离散。同样的高度，宽窄不同，后工序的好打理程度就变。有时间差、没齐整的盘，从移植前后就变得怎么都难打理。迁就大苗，小的就被撂下；等小的，整批又拖沓。

这里是要紧处。播种和发芽看着是几天内闭合的工序，但那里做出的苗的齐整，会穿过移植、生长，把尾巴一直拖到几周后的良品率上。发芽不是终点，是通往一直延续到采收的漫长工序的入口。所以说看齐整，与其说是多添一个指标，不如说是把判定播种好坏的时点，从发芽刚

过，往后挪到后工序的良品率上。

## 齐整在「入口」决定

那么，散掉的齐整能在后工序挽回吗？这里能清楚划一条线。不能。

因为齐整不是大小的「差」，而是「时间差」。发芽晚了半天的苗，不是单纯小，而是在发育上晚了半天。它比抢先的苗更年轻。之后补肥料或光，也只是整体往前挪那么多，领头和末尾之间照旧敞着往前走。一旦形成的时间差，没法在后工序里连时间一起倒回来。

有靠选别或采收宽度来「吸收」的办法：把落后的个体间苗掉、齐到领头，用图像分选，把采收宽度取宽——这些都是现场的标准工序，不是糊弄。只是它们共通的一点是：并没有在消掉时间差本身。间苗，那份苗就得扔掉；把采收宽度放宽，架的周转就有了幅度。也就是说，看着像重新齐整的批次，多半是付出了良品率或工夫这种成本，来吸收时间差，离散并没有凭空消失。

所以齐整，不是「以后修就行」，而要当作「以后吸收要花成本」。那份成本，不会在单据上记成「齐整不良费」。间掉落后苗的工夫、补足缺口的补植、移植前的选别工时——越是齐整差的批次，这些看不见的成本越会一点点累起来。齐整要在入口就去做出来。这才是把日后要付的隐形成本，提前减掉的最靠得住的办法。

## 把齐整以「立起来的宽度」记录

宽度，两点的记录就足以把握。每天在固定的时间只看一次盘，记下「最初的芽冒出的日子」和「大致出齐的日子」这两点。两者之差，就是立起来所花的宽度。与其提高观察的精度，不如每次在同一时刻看、把条件对齐，要有效得多。因为这样才能用同一把尺子去比不同批次。

有一个诀窍。「大致出齐的日子」，最好按「出到八成左右的日子」来取，而不是九成。最后那一成会被迟来的粒和终究不出的粒拖着，日期容易糊。而且这个八成不只是为记录用的数字。播种后盖的保湿罩（罩子），大致在八成发芽处取下。取晚了，光照不到、苗徒长得瘦长，过湿也易生病。「八成取罩」这个作业的信号，和「八成记出齐日」这个观察的信号，在同一点上重合。取罩顺手把日期记下，操作和记录就一笔搞定。

最初的芽的日子，和八成的日子。只把这两点之差按批次排下去，齐整的批次和散掉的批次，就相当清楚地分出来了。细致的观察，等出现让人在意的批次之后再做，也就够了。

## 离散的原因，先从温度去疑

立起来会散的原因里，现场最好下手的是环境的不匀。种子本身的个体差确实有，这划定了齐整的「下限」。条件对得再齐，也齐不过种子的离散。只是，在我从人工光型育苗里看过的范围内，散掉的批次，更多是没把环境压到那个下限。播后的温度和水分，在盘的边和中、架的上层和下层没有对齐。同一个盘里，某颗处在发芽开关打开的条件下，某颗还没到。那就成了时间差冒出来。

所以论顺序，先把环境的不匀压掉。要就近下判断，先看温度。发芽的适温因作物而异，以我养叶菜的感觉，比起生菜，小松菜和水菜在略高一点的温度带里立得更齐——大概有这么点差别。与其记细数，不如在发芽慢的批次上，先怀疑是不是偏离了眼下所用作物的适温带，这值得。水分的不匀也影响齐整，但温度和水分容易联动——暖的地方易干——所以先看温度的不匀，水分也大致有了谱。尤其吸水期的水分很关键，初期要充分含足，确认发芽后稍降一点。这个升降若因地方而不匀，也会连到立起来的差上。

看的地方，不必全测。只要最可能出差的两点就行。是架就上层和下层，是单盘就边和中央。这里是结构上最易出差的地方。各放一支温度计，和立起来的宽度对一对。若偏慢的批次总偏在固定的层、固定的位置，那就是不匀的真身。之后就是把偏慢那层的温度提上去、把摆放位置对调，仍匀不掉的不匀就用循环扇动一动空气，然后用同一把尺子一批批攢下去。

对策的菜单本身——压温度不匀、复盘种批——和平时没两样。不同的是时机。以往察觉温度不匀，多半是苗散掉、在移植上犯了难之后——是后手。若在入口就看着立起来的宽度，同样一手，就能在苗长起来之前先手打出。这就是握住齐整这一个视角的实利。

### 压到底仍留的离散，是种批的事

温度不匀压到底，仍有留下的离散。那是种子自身实力的下限，是靠播法越不过的墙。追到那份上还是一批批散，就不再是播法的问题，而切换到从种批、采购一侧去看的事。现场的对策，和从进货、批次挑选去看的事，最好把线分开。

为此，保管也要以低温、低湿、遮光为本，彻底做到旧库存先用的先进先出，把批号记下。种子会在外观看不出活力的情况下活力下降，日后作为发芽不良冒出来。齐整散掉时，要切分那是播法还是种批，不留下哪一批何时用过的记录，事情就没法开始。

到这里，是想让你在播种上握住的视角。最优的发芽条件、种子的挑选要磨到哪一步、变成利润，那份拿捏是各现场自己去解的领域，所以本书只停在入口。深入的判断让给《172个要点》。

## 育苗



播种结束、芽出来了，就进入把那些芽养到能经得住移植的苗的时期。这就是「育苗」。作为工序，它是夹在播种和移植之间那段不起眼的时期，但这里的好坏，几乎就把此后的生长成绩定死了。新人阶段，采收和移植看着更显眼，可以在现场干了很久的感觉来说，在苗的阶段栽了跟头的区块，往往到最后都追不回来。有的工厂会专设育苗室或育苗架，唯独这里把环境做足。

为什么在苗上这么较劲。理由很简单：壮实的苗，之后全都省事。根扎得实的苗，容易适应移植处的环境，缓苗快。生长也就顺势往前推，采收前的周期缩短。营养状态好的苗也抗病。反过来，把瘦弱的苗照原样送出去，移植后就参差、易生病，结果影响产量。育苗，就当作是为托起最终产量而下的投资吧。

养苗最要当心的，是别让它徒长。徒长，就是茎单方面瘦长地伸、变软弱。原因多半在光不够和温度过高。发芽后，子叶张开、开始光合作用的时期，照明上得晚，就一下子徒长。若采用发芽期间不给光的做法，子叶一张开，就要在来不及之前开始照明。这里的时机，是該在现场磨清的要点。

环境要按住的地方，和播种时一脉相承，是温度、湿度、光、营养液这四样。

- 温度：配合作物和生长阶段。生菜的话，育苗室的室内气温（不是水温）白天管在25℃上下是常见做法（想压徒长，夜里稍降来收紧）。小苗怕低温，别降过头。
- 湿度：过高易生病。相对湿度60~70%左右为目标。
- 光：防徒长上起作用的是光。发芽本身不需要光的品种虽多，但子叶张开后要确保适当的光量。照明开始晚，单这一点就会养出软弱的苗。
- 营养液：苗还小时把营养液浓度（EC）放低，随生长往上提，是基本。不过以我的经验，若管理起来吃力，把设低的EC恒定运行，在实用上也没问题（不是说恒定在和本栽培区一



样的高EC，而是恒定在低到中等的值上）。

养苗要奔的，不是单纯大的苗，而是齐整的苗。同一个盘里生长参差，就没法把移植的时机对齐，之后的管理会一直麻烦。浇水的不匀、因架位而生的光或温度的不匀、播种密度的离散——不齐的原因大致都在这一带。抽出一个盘时，苗的高矮和叶的展开看着齐整——把这个状态每次都能做出来。这就是育苗见真章的地方。

苗长到和邻叶开始交叠，就是下一道工序移植的信号了。

## 移植与定植



育苗结束的苗，往更宽的空间移。把已和邻叶交叠的苗照原样搁着，光就照不透，根也逼仄、吸不足养分。移到宽的空间，每株的受光就回来了，生长重又加速。一边分阶段重复这种移，最后按能带到采收的间隔来植，就是定植。

株距，不按「植的方便」而从「出货」来定

定植时，「一平米放几株」，你是不是在用当下作业的方便——植得快不快、会不会出损耗——来定？一人能理几盘，缓苗时掉多少。那把尺子本身很要紧。只是唯独株的密度，一旦用那种速度的感觉来定，采收的顺手程度、每架能卖的重量，就会在后头被削掉。

植的时候能快快塞进去、挺爽，采收时手下却变慢。塞满的架看着密实、像很有产量，可每株都长得偏小，一称，「够到目标尺寸的株」并没有想的那么多。种植的间隔，不只关系当下作业的方便，还关系到最后称出来能卖的重量。

为什么会这样。落到架上的光量，密度提上去也不会增。到头来，只是那份固定的光被株数分掉罢了。所以株一多，每株的分得就少、长得偏小。这里容易搞错的是：每单位面积的采收总量——毛重——在增加株数时，到某个密度为止反而是持续上升的。触顶的不是总量，而是「够到目标成品尺寸、能作为规格出货的重量＝能卖的重量」这一边。看着密实、可用重量却没涨，多半就是掉出规格的偏小株在增多的证据。

反过来，株距取得太宽，有限的栽培空间就用不足，每单位面积的采收量下降。植物工厂是把栽培床纵向叠起来提高生产效率的系统，所以空间想满打满用。可塞过头，生长又会出岔子。让这两者两全，就是定植的关窍。

所以把顺序倒过来。先把奔的每株成品尺寸，和采收的手能舒坦伸进去的空隙放在前头。从那里倒推定间隔，植的速度最后再来折中。「不是从植的一侧的上限，而是从采收一侧和每架能卖的重量里减出来」——按这个顺序想，密度的看法就变了不少。

另外，这个「塞过头是亏」，说的是按每株成品尺寸出货的结球叶菜或大株叶菜。像婴儿菜那样按棵数或总量卖的品目，一株掉出规格的亏不易出，所以恰好的密度会偏向更密的一侧。只是平衡点因品目而不同罢了。

### 不看棵数，而看「一株摊开的圆」

话虽如此，现场的手总容易被「再塞点就能多挣棵数」牵着走。这不是因为贪。植了几株当场就能数，采收的秒数、够到规格的重量，却要老半天以后才出得来。只是被眼前的数字牵住了缰绳。

于是，该放在手边的，不是棵数，而是「一株摊开的圆」这个意象。植的时候，把奔的尺寸下叶张的圆一株株画在脑子里，只看那个圆和邻株叠了多少。圆撞上、开始咬进去，那就是「争光而掉出规格」和「采收的手伸不进」两样的预支。想再留点实物做记号，就在定植的板上，画一个和奔的尺寸的叶张同直径的圆。每植一株，就拿那个圆和眼前的株距比一比，比圆还密就是在预支——做成一眼可辨的标记。就算孔距固定、当场动不了，在定下一次用哪块板时，也成了个参照。

### 层差、良品率、自动化是另一回事

有一个常见的卡点，顺带说一下。「同样的间隔植，上层和下层长起来却有点不同。」这个差的凶手，多半不是光。人工光型的架，通常是按每层都装同样的板、同样的高度、让光不随层而变的前提来设计的。留下来起作用的，是温度和气流的不匀——热易积在上层，风和CO<sub>2</sub>的绕法在层和位置上不齐——这一边。所以某一层老是长得偏小，就算按层去动密度想让它追上，也是定植和板的管理都变繁琐，而要紧的原因照旧没碰。那是要用HVAC、送风、设备去修的事，不是株距。

还有一样，塞得叶子交叠，促蒸腾作用的空气就难送到株的内侧，某些品种内叶的尖会枯——干烧心那样的出法会增多。叶片挺立、株距间易留空隙的品种，塞一点也扛得住；叶片伏倒卷进去的品种，中心易封住，怕塞。所以「越易崩的品种，越把圆看大一点，在交叠之前就停手」

。塞密度的判断和品种的挑法，是要连起来看的。

一旦在意起人工费，话就容易往「干脆把移植自动化」的方向去，但这里把期望值降一档来看才稳妥。机器快的是「植的速度」，而定着产量的受光面积和采收的空隙——配置的质——就算植得快，也不会自己变好。

最优株距的拿捏、填层差的设备投资判断、移植自动化划不划算——这一带，是用每架出货重量这把尺子实测过，才判得了的领域。把三个出口（够到规格的重量、采收的秒数、良品率）联动起来测的步骤、按品种的分拣、对自动化的现实评估，在《172个要点》里有详述。作为现场新人，先把每植一株就拿板上的圆和眼前的株距比一比这一瞬的习惯带回去——就够了。

## 采收与修整



定植的株长到位，就是栽培的最后一道工序——采收和修整。是自己播的种作为蔬菜完工的瞬间，同时也是通往销售的新工序的出发点。

我在人工光型的植物工厂（PFAL）里，从事叶菜采收十年以上。这道工序上被问得最多的一件事，是「割得快品质就掉、做得细数量就出不来」这场拔河。编一条割得快的线，摆上货架时叶尖已经伤了。为了不伤而放缓手，这回一天的产量又够不到目标。哪边立起来、另一边就崩——对这种感觉有印象的人，应该不少。

可这，只是因为把效率和品质放上了同一杆秤，才看着像二选一。细看，采收有好几根能各自转的旋钮。何时割、怎么动、用什么割——一旦切分开来看，可打的手就多了。像光和温度那样的大机关先搁一边，单用现场今天就能动的东西，话就不再是「快还是好」这一根了。

转旋钮之前，先铺好卫生的地板

转旋钮之前，还有一样要先放。「品质的地板」。把器具和采收容器洗净晾干，把采收区的水和垃圾勤加清理——在水培叶菜上，这成了切口之前的品质的地基。带着水汽就打包，就成了霉和腐的入口。这也是我在现场磨破嘴皮的地方。

洗净、晾干、收拾，不花钱、今天就能做、又能重来。所以也是最能先转的旋钮。这里松着就谈切口，脚下就一直是空的。卫生的思路本身，留待后面「卫生管理的彻底」一并处理，但在采收的现场，与其说「把菌从某处断掉」，不如以不留水汽和残渣、不增、不散的姿态，就够了。

### 何时割——时段和割的日子

先是一天中的时段。在我见过的现场，一到下午疲劳上来，割下的那批，事后在装箱阶段会被发现切口粗、长短参差。反过来从开工到晌午，注意力续着，手快也齐整。

只是，哪个时段会毛糙，因现场和人而异。也一定有那种一大早手和眼都是凉的、头一个钟头最毛糙的现场。所以与其把时段一口咬定，不如看自己现场何时毛糙，只把那个带往齐整上使劲。摸清了毛糙的带，就把那段当作另一回事想开——把速度的旋钮先降下来，只专注在把长短对齐。状态在线时，提速也易齐。同一道采收，也按时段把着眼分开。

有意思的是，毛糙带的品质一稳，之后的速度反倒会跟上来。因为在装箱阶段修的返工少了，后工序变快。与其把速度和品质正面相撞，不如按时段先定好谁优先，就有一个两样都自己跟上来的带。

再慢一档的「割的日子」——第几天割——也有起作用的东西。把采收预定日挪了一天，头一天还混着小株，第二天却齐整，割和装箱都利索收尾。你没有过这种经验吗。只是，光凭直觉挪了一天，成不了可复现的安排。归根到底，株的齐整，很大程度由定植的密度、前工序，再往回追由发芽的齐整来定，不是割这一侧单方面的事。即便如此，挑齐整的日子来割，是采收现场能做的判断。

### 怎么动——切口的齐整因动线而变

下午，累起来，就只用手腕在咔嚓咔嚓。一边把割下的往左手里攥，一边往下一株伸手，那个动作哪里别扭。可上午，来了状态时，是连着胳膊、整个身子朝株转过去。明明是同一个人。那个「怎么动」，就作用在切口的齐整上。

手腕咔嚓会毛糙，大概是割的范围太宽、只把手往远处的株伸。所以在把株移到作业台或传送带上处理的场面，把作业台的高度对到胳膊肘微屈，把伸手的范围收窄到一步之内。够得着的范围割完，就整个身子凑过去。这样刃入的角度每次都齐，切口就不易散——这是在人工光型



叶菜的现场看过好多次的手感。

姿势的负荷降下来这件事本身，研究里也测过。有一份对植物工厂里叶菜采收做动作解析的报告，和站着或高作业台相比，坐着把作业台对到胳膊肘的高度、把作业范围收窄，仰脖的角度、前送肩的角度都变小了。只是，这测的是坐在独立作业台前的场面，并不直接套用到在多层架上层就地割的局面。起作用的，是把株移到台或传送带上处理、分选的局面。

### 用什么割——比起工具，动作的一致

工具的事。割叶菜时，有人用剪刀，有人用刀那样的刃「唰」地一拉。与其说剪刀还是刃决定齐整，不如说两者都是「刃是不是以同样的角度入在同样的位置」更起作用。剪刀合口的位置易定，长度就好对齐。断面有时「唰」地拉更光滑。不是谁更优的事，而是选合自己动线那一种的思路。

工具这一带还有一样，牵扯到卫生。刀、剪刀、采收容器，用完就赶紧洗净晾干。不只为保持锋利，也是为在水培叶菜上断掉不想带进去的脏——是现场的基本。

### 修整——理顺的工序，造出商品价值

割完，就是修整。修整，是把采收下来的蔬菜理顺的作业。不单是外观的事，而关系到商品价值本身。形状齐整、修整得干净的蔬菜，看着新鲜诱人、有安心感、给人高品质的印象。叶菜的话，把外侧伤了的叶和根部落掉几片，留下中心干净的叶。叶的枚数、长度、重量、形状等基准，有时按工厂或销售对象定得很细。

这里想留意的是，修整过了头反而起反作用。是落掉伤了的叶和根部的作业，可去除过多，能卖的重量就照样减——往拉低良品率的方向使。反过来，弄出伤或把叶撕掉，商品价值就掉。而且潦草的作业会出返工，结果还是费时。所以选别，先把尺寸和品质的基准定好、分好等级，判断就不会因人而异。

### 看着像手艺之差的，和靠设计能托起的

最后，留下一个察觉。老手和新人在采收量或品质上出了差，就容易用「那个人手艺还没到」带过。可顺着至此的话来看，那也许不是手艺的问题，而只是作业台的高度不合、割的日子的安排因人而不齐、卫生的步骤没发下去而已。

这里把两样分开看。设计——作业台的高度、割的日子的安排、卫生和修整的步骤——托起的是老手和新人的「下限」。步骤只要用一张纸发下去，新人的最低线就抬高。另一边「上限」，也就是熟练者的出活、难局面下的拿捏、力道的分寸，那是靠手艺定的一侧。设计对齐也消

不掉，也不该消。

一混淆，就可惜了。本来靠设计能修的层差，用「那个人手艺还没到」带过，就漏看了本可用一张纸填平的差。所以先用设计把下限托起，之后仍留下的差，才头一回叫作手艺。顺序是这么回事。

另外，从这里往后，还有些旋钮是采收现场单方面动不了的。割前几天收着施肥、把叶的硝酸盐降下去的备料，像光和营养液那样提产量就掉营养价值的取舍，以及要不要上自动化机器的判断——都是直接关系到产量和收支的深挖，要拿捏「多少才划得来」。这些是越过采收入口的话题，所以只放个想法的入口，详情让给《172个要点》。采收工序的改善，到最后是作用在工厂整体的盈利上的。

## 采收后的作业



割下的蔬菜，不是照原样搁着就行的。蔬菜从采收的瞬间起就在掉鲜度。外观失了水灵、发蔫，味道风味下降、苦味和涩味增多，营养价值也往下掉。到出货为止的一连串作业，定着这份鲜度能守到哪一步。

采收后的作业，大致四样。从栽培区往作业区搬的搬运（搬出途中也保温，用容器和台车吸收冲击）。把大小、形状、重量对齐规格的计量与选别。装进袋或盒的包装与打包。以及在适当温湿度下静置的保管。作为步骤，就按这个顺序流下去。

只是，这里有一件想换个看法的事。

确认品质的瞬间，和顾客确认的瞬间

计量、包装、验货、出货。一项项都规规矩矩地在转。可就在出货之后，来了「叶子蔫了」「被水滴伤了」的投诉。计量是照规格，包装和验货也是照步骤。可到了那头就被说。

细想想，我们这边确认品质的最后一个瞬间是在验货台，而顾客确认它的头一个瞬间，是打开送到的箱子时。这两者之间，横着运输的时间、温度和摇晃，整整一段。验货漏看了水滴、放它过去，密封的箱子里那份水分就没了退路，运输途中一直把叶子焖着。出货时点上没问题，到了那头却已经伤了。

也就是说，采收后的作业，不是只确认当下状态的工序，而是就在此时此地、把几小时后、几天后的状态定死的工序。所以验货的基准，也从「在不在规格内」，改成从「打开时会是什么样」倒推着重新划。

那道倒推的第一步，是自己去当一回顾客。从今天出的货里抽一箱。别搁在出货架上不管，按同样的运输时间、同样的温度带静置，在那头会打开的时刻自己打开。于是「装箱时没问题、半天后水滴、一天后发蔫」，自家工序的出口会发生什么，就沿时间轴排出来。这不是要连物流的那头都算准。而是为把交给物流之前、在自己工序里已经埋下的伤单独切出来的、一次很便宜的验证。

### 变坏的三种型

随时间显出的变坏，最好别笼统归成「鲜度掉了」。用手一摸，会分成几种型。因为里头运作的物理，各是各的。

发蔫（脱水），叶子没挺劲、发轻。一称重，应该比出货时目减了。这是在冷却之前的阶段，水分从叶子里在逃的信号。我的现场出发蔫时，多半是从采收到预冷、包装之间，把叶子光着放在干空气里的时间变长了。可打的手是，冷却前、包装前别让它干，把让叶子暴露的工序收紧。包装前易出发蔫，就用加湿压住叶子周围的干，也有效。只是要当心，这个加湿有效的，只在「包装前、发蔫这一侧」。装进袋、封口之后再让湿气闷着，这回就往下面两侧偏了。同样是「水分」，局面一变，可打的手就相反。

水滴（结露），以粒附在袋内侧的形式显出来。是趁热就密封的型。把没凉透芯的叶子装进袋封口，里头的水分没了退路，就在内侧结露。可打的手是，密封前把温度落到底，或换成能放气的包装。反过来，凉透芯再封，密封倒有保住水分、往有利处使的一面。不是密封本身坏，而是凉透之前就封，在起作用。

腐败（焖坏），易出在箱的底层和中心。是没凉透就堆上去、中心的热没抽掉的型。可打的手是，堆之前把芯温落下去，用透风的堆法。这里还有一条，是光靠温度和堆法说不通的路径。腐，也受本来就附在叶面上的菌数影响。器具或容器脏了，就在那儿沾上菌，之后袋里的湿气

和温度把它往前推。所以腐败对策，不是上特别的杀菌设备——先是把用过的器具、容器洗净晾干，把作业台的水汽擦掉，出的碎屑别攒着这种理所当然的收拾。菌本来就到处都有，归不了零。所以「不增、不散」重于「不让进」。这是在谈型之前、属于品质地板的卫生例行。

几度、几分钟型会切换，会因作物、因包装、因物流条件而动。这里没法一口咬定。在自己现场追一箱，确认在哪儿出型，才靠得住。

可打的手按「运用→耗材→设备」的顺序

按型出好可打的手，这回换一根轴来排。按改动所费的工夫和钱的大小，可打的手分成三层。

头一层，是顺序、时机、动线的层。冷却的顺序、堆法、叶子暴露的时间，今天就能靠运用来改。不花钱，定好就转。出库存的顺序也在这里。先进的先出。破了这个、让旧库存滞留在架上，就等于多给它脱水和腐败往前推的时间。把器具洗净、收拾水汽的卫生，也并排在这个免费的层里。

第二层，是耗材、治具的层级。把包装资材换成能放气的、把架的高度改一改、加保冷剂。用小投资就能试，收在耗材的范围内。

第三层，是设备、合同的层。预冷库、包装机、物流班次的温度带，是要往上头递的案子。

要紧的是顺序。先把头一层的运用磨到底。靠它就消掉的型，用不着设备。把顺序倒过来，对本该靠运用消掉的型先买预冷库，那型花了钱也消不掉。不过，这不是说「光靠运用就全消」。落芯温的速度、密封的方式这类，光靠运用的小修补够不着的型也有。所以从运用起步，不是因为运用能消掉一切，而是为在买之前，便宜地切出「哪种型靠运用消、哪种型要设备」。而头一层切分了型、留下记录，往上递设备或合同时，也就能说「为止住哪种伤，花多少」。判断的材料就齐了。

采收后能防的伤，和上游就定下的伤

分层磨过，仍留下一个问。采收后的工序，并不是把「全部」都定了。

分辨的法子是这样。追一箱，出货时没问题，半天后、一天后出型。发蔫、结露、焖坏。这是采收后能改的一侧。随时间显出的伤，是自己这边的处置造出来的。反过来，一打开切口就已经发褐、叶子已经有伤、本来就挺劲弱、一下就蔫。这不是随时间出来的，是从一开始就带进去的。品种的挑法、采收的时机、切法——是在采收本身，或它的前头就定了的，采收后再怎么细心处置也追不回。前头带进的伤，还给前头。

采收后的作业，不是背下一切的地方。上游定下的底子、价格和品牌，都在这里改不了。可自己在这里确定下来的范围——顾客打开箱子时的状态——单是那里，要干干净净地做到底。买

过一回的货下次还选不选、还是变成投诉、把交易做细——分开这两者的，是打开时有没有以约好的状态送到。

另外，把够不到规格的叶不作废弃、而留一条转去切用或加工原料的出路，运用防不尽的那份就不会一直是净亏。能收回到哪一步，看销路怎么搭，但这个出口设计、以及把设备投资往哪种型上转的拿捏，是直接关系到盈利的判断。这里只放个想法的入口，深入的磨法让给《172个要点》。

## 员工的管理与教育

到这里为止，主要是苗和数值的话。从这里进三层的最后，人与工序的层。光靠技术和设备，植物工厂转不起来。转动它的是人，而怎么育人，悄悄地左右着现场的成绩。和设备投资相比看着不起眼，实际上这里最起作用。

教的时候，头一堵墙是「那个人的直觉」。产量不稳。追起理由，最后总归到某个特定的人的判断上。那人在的日子和不在的日子，现场就变样。加了人也出不来可复现，想教，本人又说不清——这份不安的根上，大概有一个成见。就是那个前提：直觉是个人的经验和巧思，整个是那人的，取不出来给外人。先把那个前提摘掉一次。

## 直觉可以分成三层

老手忽地就定下何时采收。那份拿捏，怎么递给下一个人。不是做本手册就了事，可要说「看着学」，那人一走现场就停。

试着问「你看着什么定的」，回来的多半是「就那么个感觉」。可细看，叶的色、株的姿、架每层生长的不同——本人是看了好几样的。只是说不成话，其实是在看固定的线索。这个「那么个感觉」，既不是撒谎也不是偷懒、大概是事实，但「说不成话」和「做不成型」并不等同。

我把老手的判断，按标准化的难易分成三层来想。

- 第一层：仪器读的值。不经本人的感觉，就那样以数字留着。只是，那个数字怎么读——校没校准、在哪儿测的、多层架的话每层的差怎么处理——已经是下一层的话了。就算人工光型的叶菜，同一间屋里，气流淤住的层和不淤的层，生长会错开，光一点的数字会漏了实况。

- 第二层：按条件分叉的判断。叶色这样、这个时期、这个出货对象就采——这类分叉的部分。就算本人说不出，在旁边把「这会儿为什么没采」问上好多回，线索的候选就捡得出来。只是事后的说明有时会 and 实际的判断错开，所以要多、多人对照着看。

- 第三层：手的感触。真正难数值化、到最后留在手里的部分。

关窍，是别一开始就想把全部做成型。把三层混着一并叫「直觉」，才难递。第一层和第二层里能说成话的份先捡出来，直觉相当大的部分，就能往寻常的交接事项上靠。剩下的，只有留在手里的第三层。不把那里切分开、只说「全都看着学」，才会在人一走的瞬间停摆。

采收时机的拿捏，恰是这三层交叠的场面。有从播种和定植算起的生长天数这个接近仪器的参照（第一层）。可最后还是看叶色、株姿这类外观，定这会儿采还是等一天。这份对外观的读，说不尽、易留在手里（第三层）。把数字垫在底下，最后的拿捏在旁边以实演来递——分开看，就能理到这么顺。

说成话，溶进平时的日报里

要把第二层在旁边问上几十回、拉出个轮廓，得费相当的时间和人手。而且不趁老手还在现场时做，就来不及。可现场，往往是知道那人要走了才慌忙开始。

所以，别立成特别的项目，而把它溶进每天的作业里。要是把现场停下、让老手坐旁边听取，本人一绷着就续不下去。不是那样，而是在日报或交接的一行里，只在判断分叉的日子添上一个理由。「今天没采，因为叶色还没到。」想每天都写，忙的时候头一个被省。一行的话，就以日常业务的延长转起来。

写的人，比起让老手本人说成话，不如让在旁边作业的年轻人把「做了什么、何时、怎么做」用一行记下来，更转得起来。本人既然只能说「那么个感觉」，就由揣着问题的一侧来记。只是「为什么」那部分，不靠老手当场答一句就填不上，所以要趁还配合的平时推进。攒起来了，就时不时把反复出现的理由重读，重新束成条件分叉，年轻人写的一行「这么理解对不对」，之后让老手一句话确认一下。与其说赶得上，不如说是在平时就把赶得上的状态做出来。

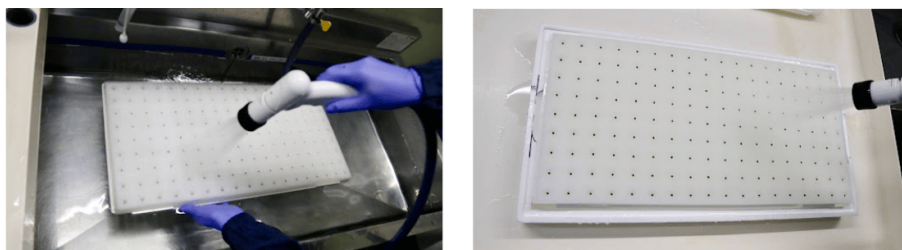
新人教育也搭在这个切分上。基础发给所有人——植物工厂和传统农业的不同，温度、湿度、光、CO<sub>2</sub>、营养液这类栽培管理的基础，各工序的步骤，卫生管理，品质管理，安全管理。既然加入作业，最低限的知识是必须的，尤其卫生和品质要重点。再往上的栽培技术、设备管理、数据分析这类专门，是分阶段递给已修完基础的人。这个专门的部分，恰是前面第二层、第三层扎堆的领域。

有一件想老实摆出来的事。在问「直觉怎么递」之前，也有一手是问：能不能干脆不递就了事。把仪器能测的部分加多，把第二层往第一层顶上去。把作业重新设计，减少要判断的场面。把基准简化，落成谁做都一样的步骤。这样能把直觉的总量本身减下来，递的工夫也就不用了。这是作为主线正确的方向，能减的份，往那边靠更好。只是，自动化和标准化够不尽的部分，总归会留。所以这里处理的是「能靠的份靠上去之后，仍留下的份怎么递」。往机制上靠到哪、

把人和成本花在哪——那份拿捏，就是削减运营成本（opex）的判断本身，深入的想法让给《172个要点》。

这个切分一旦能做，直觉就不再是「随人各自消失的东西」了。

## 卫生管理的彻底



把人整好，就移到那些人干活的现场的地基——卫生。植物工厂的现场，总缠着和病原菌、害虫的打交道。新人阶段最容易栽跟头的，就是这个卫生管理。因为，若一口咬定卫生是「洗多少」这种打扫的量的事，就一定会在某天撞上那堵墙——洗了又洗，数字还是下不去。先把我的立场写下来。菌，归不了零。楼建得再隔离，自来水和营养液的水里也会掺进一丁点，温度和水一凑齐，哪儿总会有。所以对我来说，把菌是「从哪儿进来的」查个水落石出，我不大觉得有意义。该按住的只有两样。有没有在造那个让菌增的地方（温床）。以及，有没有把在一处变浓的污染，往本该干净的地方散。卫生管理，是从换个脑筋开始的：它不是增加洗的次数的活，而是不增、不散的活。

### 增加洗的次数也会下不去的缘由

「从每周三次增到每天，栽培区的菌的数字却和以前没两样。」把手册加厚、把要擦的地方添上，还是又在同一个数字上卡住下不去。新人阶段，这里容易愁「是不是我打扫得糙」，但多半不是打扫的量的问题。

在现场走走，会注意到桩怪事。每天擦的台子还算干净，而人不大碰的架下、管道的接缝——没进打扫步骤的地方，菌的数字反而差。洗的地方，和菌在增的地方，本来就错着位。这与其说是洗得不够，不如说是结露和有机物积着、干不了的地方，菌容易住下——我是这么看的。叶菜要用水。低处、接缝、排水一带，怎么都会积下水和营养液的残剩。那儿温度湿度对菌都便利。把手册加厚、把要擦的地方添上，只要繁殖的温床本身还留着，就会下不去——这在现场看过好多次。所以先看的，不是打扫的表，而是「水在哪儿停住、干不了」。若设计成会干的，本来就轮不到拼洗的次数。



在水培里，还有一样要当心。有一种指出：营养液在设施里循环这件事本身，可能成为一种推着能在水里动的菌繁殖的结构。只是，这里容易被误解，循环本身不是恶。只要确保够的流量、不让它淤、正常转着，循环并不会让风险陡增，这是我的判断。成问题的，是流停下、水淤住的地方，迟迟干不了的地方。营养液系统里菌好不好增，在洗的次数之前，很大程度是水有没有好好流、有没有滞留这个结构的一侧在起作用。

## 别把浓的污染运进洁净域——苗和动线

按住了增的地方，接着起作用的，是把那菌在哪儿弄浓、往哪儿散。菌本身，到处都薄薄地、多少有一点。问题是，那本该薄的菌在一处变浓、再被运进本该干净的栽培区的路径，在设施里还留没留着。

搬运的手，大致两样。一是苗。培养基和根周围，本来就是菌偏多的、浓的地方。照原样放进栽培区，就等于把浓的污染搁进本该干净的地方。屋里洗得再勤，随苗带上的那份，靠打扫的次数减不掉。另一是人和物的动线。育苗、移植、采收、包装，本来洁净度不同的屋子，被台车和人来回横穿。台车的轮、长靴、手套，把脏那一侧的浓菌，照原样运到干净那一侧。所以该按住的，是把接收苗的地方定在一点、把动线编成从洁净度高往低的单向这个结构。别让它倒流、别让它折回。别把浓处的菌，带进薄处。那里用设计按住，之后的打扫就省事不少。

检点动线时，把设施暂且按洁净度分成三份来看，哪里在交叉就看出来了。

| 区 | 洁净度 | 主要场所 | 该按住的 | | --- | --- | --- | --- | | 污染区 | 低 | 设施入口、办公室、洗手间、休息室 | 挡住从外带进的污染 | | 过渡区 | 中 | 资材准备室、更衣与洗手的地方 | 别把污染移进洁净区 | | 洁净区 | 高 | 播种、栽培、采收区 | 把这里保得最净 |

动线，固定成污染区→过渡区→洁净区的单向。进洁净区之前，必经过渡区，更衣、洗手把脏落掉再进。别越过过渡区直接进洁净区，这是基本。要看自己的设施，要点大致定的。人和物有没有从洁净度高的屋往低的屋规规矩矩地单向走。有没有台车或人从低那侧往高那侧倒流折回的场面。苗的接收口是不是定在一点，还是从这儿那儿都进。就算只是把边界用地面的颜色区分和标识做成看得见的，人的动法也会变。员工光「留着神」，卫生环境很快就乱。用规则和机制来整，才现实。

## 靠结构消的问题，和靠运用动的问题

到这里，无论是菌增的地方，还是变浓的污染扩散的路径，都看出来是在设施的结构那一侧。那接着起作用的，是划线。眼前这个，是「不修结构就消不掉的问题」，还是「改改打扫或消毒的做法就够得到的问题」。



这里能用的，是「先叩一叩」这个顺序。就算先谈结构，现有设施的墙也没法马上动。所以，先把不花钱、今天就能动的洗净、晾干的做法改改试试。数字爽快地下去，那就是运用够得到的问题。反过来，打扫翻了倍，却在特定的地方、特定的季节规规矩矩地复发——比如只在梅雨时回到同一条南侧线——那我看就是结构侧的信号。叩了又叩还在同一个地方出，那份下不去，正告诉你温床在结构侧。另一条线索，是换了担当，还在不在同一个地方一样地出。换人就变的，是作业者侧；谁做都在同一个地方出的，是结构侧——这么切分。

就算知道是结构侧，在现有设施里把隔断或坡度重划，就近于重建了。没法马上动手。那时，就用运用来「代替结构」使。把放苗的地方固定在一点，把台车按洁净度高低分开、不混用。没有物理的墙，带进和交叉也靠它按得住。或者用时间来隔。把干净的作业归到上午、脏的作业归到下午，用时间造出单向。只是下午的脏作业之后，不夹一道打扫和晾干来重置，那份脏就会带到第二天早上、把单向弄崩。隔了就一定重置一次，到这才算一组。水一带也是，就算坡度或排水没法马上修，光是把收工后不再用的管道、槽、低处的积水抽掉晾干，淤着增的那份就弱下去不少。

消毒不是万能——比起杀菌，正常的循环管理

在打扫和晾干之上，也有加消毒（臭氧、UV、营养液的氯处理）的场面。打扫是把脏物理地冲走的工序，消毒是之后、用药剂杀掉洗了还残的病原菌的工序。顺序不能对调。有机物或植物残渣还留着就撒消毒剂，效果会大掉。

只是，这里有件想强调的事。消毒，不是上了就了事的万能手。氯系、二氧化氯、UV、臭氧这些消毒，确实能减菌。可效法，会随对手菌的种类、药剂的浓度、接触时间大变，没有一样就对全部有效的标准处理。而且有副作用。臭氧处理会让营养液里的铁和锰降下去，或者不光目标病原菌，连在营养液里帮着忙的有益微生物都一并减掉。目标的菌是减了，可把营养液的养分和菌的平衡这个「养的一侧」削掉了。

所以我站在这一边：与其靠杀菌设备压住，不如把正常的循环管理做彻底。确保够的流量、不淤、正常转着，洗净晾干。在那份地基之上，只加所需那份的消毒。顺序始终是这个。别一味靠消毒，而是在用结构断掉温床和路径的地方，把消毒作为辅助添上。不是「上了杀菌设备所以安全」，而是「因为正常转着所以保得住干净」——请按这个顺序想。

「安全」这个词捆着的三层

把卫生管理钻到底，早晚会撞上「咱家的菜安不安全」这个问。会出现从出货对象的买家或消费者那儿被这么问的场面。这里有一件想让你在新人阶段就理清的事。「安全」这一个词，其

实捆着性质不同的三层。

头一层，是无农药这一层。这是「在入口没放进什么」的话，接近商品标签。只说了没用农药这一点。水的事、虫的事、卫生的事，无农药这个词什么都没保。「无农药所以安全」，也可以说，只是把最好说的一句话，贴到所有的担心上。

第二层，是微生物这一层。是菌在设施里增、能顺水路扩散的这种运用的风险。常说植物工厂因为封闭所以安全，可封闭也意味着，里头一旦出点什么，靠水和HVAC全都连着。一个架上出了菌，就能乘水路绕到隔壁线。看安全的单位，从「一株」变成「靠水路连着的范围」——这就是这一层。只是，这不是「封闭=必定全灭」的话。倒是反过来，以够的流量正常循环、管得妥当的水培设备，病原菌蔓延的风险本来就低。要害是，那条水路怎么隔、循环怎么保得正常，是被问的这个。

第三层，是合同这一层。出了点什么时，要回溯到哪一批去召回。设备停了、一带都废了时，合同和保险怎么动。出货对象真正在意的，多半不是农药的有无，而是这个——扩散时，谁负担到哪个约定的话。

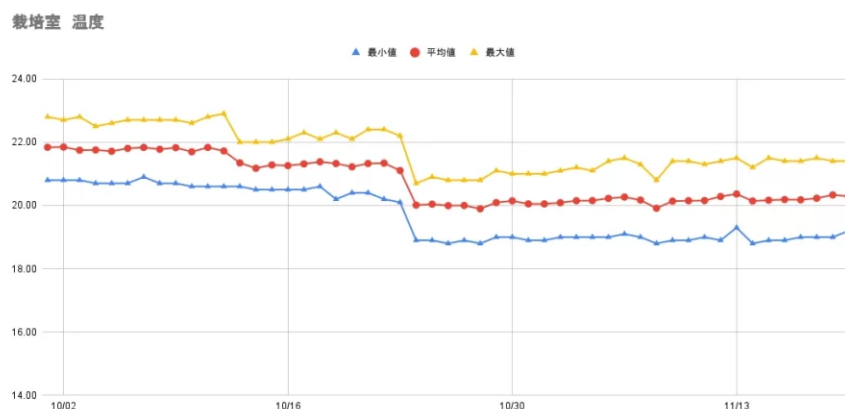
同一个「安全」的词，其实捆着层不同的三样。所以被问时若混着答，就对不上。消费者在说「总觉得人工的、不安」，你却把「我们分开水系」这种技术的内里回过去，就会反倒把人弄得更不安：「要管到那个份上是不是就危险。」新人阶段想学到手的，是这个架势：把对方担心的那一根轴引出来，只就那根轴回以事实。问农药就「没用」。问水就「是溶了肥料的营养液，浓度和更换是这么管的」。问卫生，就分区和晾干的话。比起一口咬定安全，把在做什么、没做什么并排摆出来，更能实实在在地够到对方的不安。

还有，用自己的话能回的范围，和该交给检测的范围是两回事，也请记住。营养液的浓度和更换的频率、采收日、栽培环境，是自己的记录，被问就能用自己的话回。另一边，残留农药的检测值、菌数、产地的溯源，就算自己说「在做」「没用」，那也只是自己的话，成不了对方能当作交易依据的证据。这里是该交给第三方的检测和记录的范围。拿不出的，早点说「没做」，比硬用「安全」压过去，到头来更被信。

叶菜采收后多半不洗，栽培中的卫生环境，就照原样成了商品的卫生状态。卫生管理是不起眼、没有尽头的活。拿到认证的时点、检测阴性的时点，都不是终点。先洗、晾、叩，仍留的过不去，读作结构的信号。断掉菌增的地方和浓污染扩散的路径，把能消的和要动的分开，盯住在哪儿反复出。这份不起眼的架势，最后起作用。另外，检点项目按原因、结果、态度三段怎么搭，按出货对象（量贩、外卖、团餐）各要在哪儿加厚，采购规格的基准值、合同和保险的磨合这类话，与其说是现场运营管理，不如说进了事业设计的领域。这里只放个想法的入口，深

入的实务让给《172个要点》。

## 数据分析



到这里为止的工序，都是一边转一边留着记录的。最后，把那记录接到判断上的，是数据分析。一听「分析」也许就绷起来，但出发点不是买新机制，而在更近的手边。这是想在被供应商说「先加传感器、把数据攒起来」之前，先按住的顺序的话。

记录攒着一堆，看却是在事故之后

温度、湿度、采收量记在每天的日报上，电费也每月记着。光这本身在续着，这样的现场应该不少。问题在记下之后。要说有没有人好好在看，就悬。采收掉了才头一回回溯，事后才察觉「那时数字确实不对劲」。电费也是瞅一眼「挺高」就完。数据手边已经一大堆，看却尽是在「出了点什么之后」。

缺的不是新传感器。手头已有的东西，谁在何时看，那里漏了。看法有两种，事故出了才回溯的「后追」，和什么都没出的平时时定点看的「定期检点」。后追是来不及了，只成了原因的对答案。

所以买新机制之前该定的，是谁在何时看，就这个。我在人工光型叶菜的现场续下来的一个做法：早上十五分钟，一个人把前一天的日报出声读出来。温度、湿度、采收量，就算没异常也每天早上。于是「比平时高呢」，就在成为事故之前那点小小的别扭的阶段被拦住。电费也不按每月一回、而每周大致看看，「单这周怪高」就能作为HVAC开过头或门忘关而看出来。在封闭环境里照明和HVAC一直转着的人工光型，在我的现场，这一带出得最早。

同样的数字，出了事之后看只是记录，平时时每天看，就成了量「和平时之差」的尺子。用数据，光凭这一个切换在先，就大有进展。

拿平常的幅当尺子，别让判断压在一个人身上

最低限要凑齐的记录是什么。以能成为经营判断之本的观点来排，是生产（每天的采收量，能的话加良品率）、成本（电费，以及人手和资材的用法）、品质（出货的等级，规格外出了多少）这三样。这些多半各自零散地留在不同的账本和收据上，所以不是新开始测，而是把已有的排到同一个地方。做最小集，先从那儿起。

早上十五分钟的读上，天天续下去，过一阵读就成了仪式。惯了，就流过去。在我看过的范围内，这几乎必定会发生。所以要两个巧法。

头一个，是最初的尺子怎么做。什么是「和平时不同」，最初谁也不知道。所以起头就想开不去判断，只做把数字排出来这一件事。同一时刻、同一地方的温度天天早上排下去，「咱家大概在这一带」的幅就自然显出来。把那个幅「早上的气温在这一带」用自己现场的实际值写一行在纸上。把平常的幅一旦落成字，尺子就脱开个人的感觉、谁读都一样。诀窍是别一开始就想定个正解的基准。

第二个，是看的人只一个，感觉就会偏。读，让一个人读；判断，不让一个人来。读的人天天固定就行。只在「这个觉着和平时不一样」时，当场往另一个人那儿抛一句「这你怎么看？」。防它惯了流过去的，其实也是这个。天天完美集中是不可能的，所以定成只在卡住时出声、把第二个人卷进来的规矩。哪怕是扫读，只要是一卡就能停的机制就行——是这个思路。

会惯，是前提。惯了也做成能捡起来的形。靠完美的集中力的运用，首先续不下去。把看的人和判断的人分开定好，不起眼，却是起作用的地方。

添计测，是撞上切分的墙之后

早上的读和每周的电费能捡起「和平时不同」了，就必来下一堵墙。差看得见，为什么成这样却在手头的记录里分不开，这堵墙。比如采收掉了、电费也涨了，可日报的温度在平常的幅里。这里说不出「是HVAC、是水、还是别的什么」。手头的记录，切分就停了。那儿才头一回是「添计测」的信号。反过来，在撞上那堵墙之前先加传感器，因为没有看的习惯，结果还是瞅着就完。顺序反了。

这个顺序爽快起作用的，是像人工光型叶菜那样的封闭环境。因为变量比较少，日报和电费能捡起大半。在被外气和日照电来电去的太阳光型，或变量多的果菜领域，也一定有那种不从一开始就多个计测就没法谈的场面，所以请把我拿来想的，就当作只是封闭环境这一侧的话。

还有一样，要添计测的话，「它谁在何时读」能不能搭上运用，也一并看。早上十五分钟的框里能加一行的计测，续得下去。不每天另开专用画面就看不见的东西，功能再高，早晚都没人

看。这也是我在现场看过好多次的。所以添了，就一定想想能不能落掉哪一行旧的。读的框固定十五分钟，行数也不加。最初排的温度，若「大概在这一带」稳住、长久不偏，就不必每天出声了。可以落到每周偶尔确认那边。别加框，换里头。添的判断和落的判断是一套。

### 另设一路转着的计测——故障检知和校准

到这里都是「为切分的计测撞上墙才添」的话，但另设一路，也有从一开始就转着的计测。

像故障或病害那样，等察觉时已经来不及、追不回的异常，靠平常时的读来不及。连续监视、报警的计测，是不等麻烦就先放着的。夜里或缺员、人的眼够不到的时段，也别想用手运用去填，交给连续监视。

另一样，是尺子本身的校准。传感器返了偏的值，好不容易写下的平常的幅都会歪，在数据这一侧造出「后追」。仪器出正确的值这个保，作为运用的前提要定期重取。连带地，写着幅的纸，每换人都要更新着交接。这两样，是属人运用会崩的典型，所以一开始就定好，省事。

### 开头不是传感器，而是一张纸

「咱家本来就没上传感器也没上IoT，用数据什么的还早着呢。」有人这么觉着、在入口就停了，但开头不是传感器，是一张纸。要是还什么都没记，别急着去买IoT，先把本来就在意的一个数字挑一个，天天在同一时刻记下来。光是温度计的值和采收量，或每月来的电费，都行。最好进的是电费。它作为账单每月来着，所以只把「瞅一眼归档」，换成「把这个月的数字写在上个月旁边、排到一处」。就这，已经是像样的用数据了。「谁在何时看」这个问，从可比的数字变成两个的那一刻起，就开始了。

读排开的数字的力，就算把项目收窄也长得起来。我在人工光型的现场常看的，是修整出的垃圾的比例。「今天垃圾多」一句了事就什么都不留，可从同一个数字，能读出好几个侧面——那天作业的细致、栽培工序某处的疏漏、株是不是塞得太密。哪怕一个数字，只要和平常的幅并排、问一句「今天为什么高」，能打的手的幅就变了。比起贵的机材，先是这个读法更起作用。

最后，是老实的划线。手头记录的运用能覆的，是「察觉差、自己能出手」的范围。温度和平时不同、门开着、忘了关给水——原因在自己每天运用的里头，差看得见就能伸手去修的那些。那儿是这做法最起作用的地方，而且比很多人想的要宽。

放手的只有两处。一处是切分的墙。差看得见、手头的记录却分不出原因，凭直觉猜错就真要花钱，这种时候。那儿才头一回添计测，能的话请以读这种数据为生的专家进来。另一处，是电的容量、布线、药剂、结构这类，碰到安全或设备本身的话。那儿绝不用自己的尺子做实验。

因为失败的代价不是「采收掉」，而是追不回的东西。大致的准绳是这样。读了数字能明白「该做什么」，就留在自己的框里。读了能明白的只是「需要比自己更懂的人」，那儿就是分界。而能早早察觉那道分界这件事本身，正是天天看的习惯教给你的东西之一。

另外，若在哪些项目怎么排上从零犯难，我把自己在现场用过的记录格式，作为「现场运营管理模板13种」照原样发出去了。与其说是拿来严丝合缝套用的，不如当作一张照出自己现场缺什么、多什么的检查表来看，我觉得更好。踏进最优值的拿捏和成本削减的判断的话，让给《172个要点》。把手头的记录变成尺子之后，就作为下一步来读读看吧。

### 第3章小结

- 现场运营管理，分成读苗、盯数值、理顺人与工序这三层。各自习得，唯有咬合现场才转。先把机制和读法装进脑子，从此刻卡壳的层下手。
- 生产计划从出货倒推来编。出货、栽培、人手是速度不同的三台钟，所以缓冲（垫子）各自握着，唯独栽培要连提前期一起提前动。
- 播种该看的，比起发芽率是「齐整」。立起来的宽度在入口决定，之后要吸收得花成本。离散，先从温度的不匀去疑。
- 育苗是对最终产量的投资。别让它徒长，比起大小要做出齐整。叶子一开始交叠，就是移植的信号。
- 定植的株距，不按植的方便、而从出货（奔的尺寸和能卖的重量、采收的顺手）倒推来定。
- 采收不是「快还是好」的二选一。把何时割、怎么动、用什么割切分开，先铺好卫生的地板。用设计把下限托起，留下的差才叫手艺。
- 采收后的作业，是就此定下顾客打开箱子时状态的工序。按型分辨变坏，可打的手按运用→耗材→设备的顺序。前头带进的伤，还给前头。
- 人的直觉可以分三层，仪器读的值、按条件分叉的判断能溶进平时的日报里递出去。能靠机制的份靠上去，剩的份递出去。
- 卫生不是「堵住入口」而是「不增、不散」。断掉温床（干不了的地方）和搬运的手（苗、动线），别靠杀菌、以正常的循环来管。
- 数据分析，比起新传感器，「谁在何时看」在先。拿平常的幅当尺子，在事故之前捡起别扭。开头一张纸就行。

成为现场地基的知识，这就大致齐了。从这里往后，把学到的基础在自己现场做扎实，再在其上垒起「怎么造出能剩利润的工厂」——那具体的判法，让给专注在盈利性上汇总的《提升植

物工厂盈利能力的172个要点》。先把这一章的基础，磨到自己的手和眼都熟。

## 结语

到这里为止，我们已经把植物工厂这份工作的全貌走了一遍——从行业的未来，到栽培的基础，再到现场的实践。读完本书的你，已经不再是那个"还没搞清楚正在发生什么，就站上现场的新人"了。无论是看设备、看数值，还是看别人的作业安排，你现在大致都能判断出，它们各自落在整体的哪个位置上。首先，请为自己走到了这一步，给自己一份肯定。

不过，我要坦白地说。本书终究只是一块地基。写在这里的东西，光是读过，也只能学到一半。剩下的另一半，要靠明天你在现场亲手试一次，发现不如预期，再试一次——只有在这样反复的过程中才能真正长在你身上。知识，只有用起来，才第一次成为你自己的东西。所以我写这本书，不是想让它书桌上就画上句号，而是希望你把它带进现场，让它沾上你手上的油污，留下翻用的磨痕。

接下来，当你还要在这块地基之上，进一步搭建"如何做出一座能留下利润的植物工厂"时，那些直接关系到盈利、更深入一层的诀窍，我已经整理在姊妹篇《提升植物工厂盈利能力的172个要点》里了。最优值该定在哪里、如何与成本相权衡——本书里我几次划下过一条线：“从这里往后，就是要用你自己现场的数字去抠的领域”。姊妹篇讲的，正是这条线之后的部分。如果你一个人抠不到底，或者希望有人来看一看你自己的现场，也可以通过我的咨询服务与我直接携手同行。至于该往哪条路走，会由你此刻的现场替你决定。

最后再说一点。人们有时会说植物工厂"赚不到钱"。但我在人工光型的现场看了十几年叶菜，我认为只要方法得当，还能变好的余地依然充足。我曾无数次看到，一个小小的改善，出乎意料地化作巨大的回报回馈过来。在你即将站上的现场，也一定还有尚未着手的余地。找到它、让它动起来——这就是从这里开始的工作。

那么，出发吧。我在现场等你。