



植物工場運営 超入門

Shohei Imamura

PFBoost

Operación de Granjas Verticales: Guía para Principiantes

Índice

Prefacio

Capítulo 2: Fundamentos del manejo del cultivo

- ¿Cuáles son los puntos para elegir el cultivo óptimo para una granja vertical?
- Uso de la iluminación LED
- Luz
- Sistema de hidroponía
- Control de temperatura

Capítulo 3: Práctica de gestión de operaciones

- Elaboración del plan de producción
- Siembra
- Producción de plántulas
- Trasplante y trasplante definitivo
- Cosecha y deshoje
- Trabajo posterior a la cosecha
- Gestión y educación de empleados
- Aplicación rigurosa de la higiene de instalaciones
- Análisis de datos
- Más allá de los conocimientos básicos: cómo crear una granja vertical rentable
- La «práctica» que está más allá de los conocimientos básicos
- Hacia un mayor crecimiento

Prefacio

Una granja vertical no es un negocio en el que se gana solo por tener el equipo preparado. Desde que entré en esta industria en 2011, he visto más de 10 sitios de producción, grandes y pequeños. Mientras que incluso grandes empresas con capacidad financiera se han retirado en pocos años, también hay fábricas que han estabilizado su rentabilidad acumulando mejoras discretas. La diferencia se concentra casi por completo en «cómo mover el sitio de producción».

Este libro es una introducción para que puedas captar esa sensación del sitio de producción en poco tiempo.

- Acabas de entrar en una granja vertical y no ves el panorama completo del trabajo
- Quieres cubrir primero, de una vez, los fundamentos necesarios para un administrador
- Aunque tengas poca experiencia, quieres una base para poder tomar decisiones en el sitio de producción

Para personas así, he organizado solo el conocimiento necesario tomando como referencia «entender los fundamentos de la granja vertical en 3 horas». De forma amplia y superficial, pero en una forma que se pueda usar de verdad en el sitio de producción.

Como está dirigido a principiantes, hay pocas explicaciones profundas para personas experimentadas. Los temas relacionados con la rentabilidad los trato por separado en el sitio web (<https://pfboost.com/es/>). Allí ofrezco plantillas de gestión de operaciones, herramientas de programa de fertilización y artículos especializados en rentabilidad, así que échale un vistazo después de terminar este libro.

Cómo usar este libro

El lector previsto es alguien que acaba de entrar en una granja vertical. Me gustaría que se usara como material introductorio para entregar a una persona nueva en el sitio de producción diciendo: «lee esto primero». Puedes copiarlo y redistribuirlo libremente. Sin embargo, como no renuncio a los derechos de autor, te pido que no modifiques el contenido.



Autor

Shohei Imamura

Entró en la industria de la granja vertical en 2011. Como operario y gerente de equipo de soporte, ha participado en la puesta en marcha y operación de más de 10 granjas verticales, grandes y pequeñas. Ha formado a más de 600 miembros del personal en total. A partir de esa experiencia, está convencido de que lo que determina la rentabilidad de una granja vertical no son los equipos ni los sistemas, sino las habilidades y el conocimiento de las personas que los manejan. Actualmente trabaja de forma independiente, ofreciendo consultoría, soporte y contenidos para mejorar la rentabilidad de granjas verticales.

Capítulo 1: Futuro y perspectivas de la granja vertical

Conocer el «ahora» de la granja vertical

Entré en la industria de la granja vertical en 2011, durante el llamado «boom de la granja vertical». Grandes empresas entraban una tras otra, se construían nuevas fábricas en distintas regiones y los medios la presentaban como «la agricultura del futuro».

Sin embargo, lo que vino después no avanzó como se esperaba. Incluso entre grandes empresas con capacidad financiera y fuerza de marca, hubo una serie de casos de retirada en pocos años. No era cierto que bastara con introducir equipos de última generación para tener éxito. En los últimos años, la construcción de nuevas fábricas también ha disminuido bastante.

Lo que cambió y lo que no cambió

En estos más de 10 años, también hay cosas que cambiaron con claridad. El rendimiento de la iluminación LED mejoró mucho. Cuando entré en los sitios de producción, todavía había fábricas que usaban lámparas fluorescentes. También avanzaron la gestión de datos de cultivo y la eficiencia de los sistemas. El progreso tecnológico existe de forma constante.

También hay cosas que no cambiaron. Lo que siento con fuerza después de más de 10 años en esta industria es que **lo que determina la rentabilidad de una granja vertical no son los equipos ni los sistemas, sino las «personas» que los mueven**. Junto a sensores IoT de última generación, el personal revisa a mano el estado de las hojas. Junto al control ambiental por IA, sigue viva la «intuición» de una persona veterana. Una granja vertical es un lugar así.

Aun así, la granja vertical tiene potencial

Sinceramente, no creo que la situación permita ser optimistas. Pero incluso en un entorno difícil, sí existen fábricas que generan beneficios. Lo que tienen en común es que conocen «cómo mover el sitio de producción». No se trata de si el equipo es bueno o malo, sino de cuánto entiende el personal de operaciones sobre el cultivo y hasta qué punto puede acumular decisiones diarias. He visto muchas veces fábricas que cambiaron mucho a partir de una mejora muy pequeña. Producción estable sin depender del clima, alta productividad en terrenos limitados, gran reducción del uso de pesticidas. Estas fortalezas tienen valor en

cualquier región del mundo. En este libro, voy a transmitir el conocimiento básico que sirve de base para todo eso, como una visión general.

¿Por qué una granja vertical termina en números rojos?

Aunque tiene potencial, en la realidad muchas fábricas operan en condiciones difíciles.

- «La inversión en equipos costó demasiado»
- «Las verduras no crecen como esperaba»
- «Las produce, pero no se venden»

Son voces que se escuchan a menudo en el sitio de producción. ¿Por qué tantas fábricas terminan en números rojos?

La dura realidad que muestran los datos

El problema de rentabilidad de la granja vertical no se limita a Japón. Se reportan retos similares en distintas partes del mundo. Aquí veremos datos de investigación de Japón, que es un mercado pionero, como referencia. Desde alrededor de 2010, muchas empresas japonesas entraron en la granja vertical y vivieron tanto éxitos como fracasos. Esas lecciones se aplican a cualquier región que vaya a trabajar con granjas verticales a partir de ahora. En la investigación de la Japan Greenhouse Horticulture Association, al clasificar a los operadores por rendimiento de cultivo por unidad de superficie, aparece una tendencia clara: cuanto mayor es el rendimiento de cultivo, mayor es la proporción de operadores con beneficios.

- invernadero · rendimiento de cultivo alto: beneficios 46%, pérdidas 31%
- invernadero · rendimiento de cultivo bajo: beneficios 25%, pérdidas 58%
- granja vertical · rendimiento de cultivo alto: beneficios 27%, pérdidas 27%
- granja vertical · rendimiento de cultivo bajo: beneficios 6%, pérdidas 83%

En particular, la tasa de pérdidas de los operadores de granja vertical con bajo rendimiento de cultivo llega al 83%. La cantidad de verduras que se puede producir desde la misma superficie influye mucho en la rentabilidad.

Estructura de costos

Veamos también la estructura de costos a partir de la misma investigación.

- invernadero: mano de obra 34-37%, depreciación 10-11%, agua, electricidad y otros servicios 12-16%, materiales 15-16%

- granja vertical: mano de obra 29-34%, depreciación 14-17%, agua, electricidad y otros servicios 29-31%, materiales 7-9%

En ambos tipos de cultivo, la mano de obra ocupa la mayor proporción del costo total. Esto no es un reto exclusivo de la granja vertical, sino un reto común para la agricultura en todo el mundo. En la granja vertical, el costo del agua, la electricidad y otros servicios ronda el 30%, casi el doble que en el invernadero. Tampoco se puede ignorar el costo de climatización para mantener constantes la temperatura y la humedad en un espacio cerrado. Según mi experiencia, hay un límite para reducir los costos del agua, la electricidad y otros servicios. Para los cultivos, estos son casi como alimento; si los reduces, también cae el rendimiento de cultivo.

Causas de caer en números rojos

La causa de que una granja vertical caiga en números rojos no son solo los costos. Las causas que se observan con frecuencia en granjas verticales de todo el mundo son las siguientes.

Falta de tecnología de cultivo

- Fallos en el control ambiental: no se pueden controlar adecuadamente la temperatura, la humedad, la luz, la concentración de dióxido de carbono, etc., y eso provoca mal crecimiento o enfermedades.
- Errores en el manejo de la solución nutritiva: en la hidroponía, la gestión de la concentración (CE) y de los componentes de la solución nutritiva no es adecuada, y eso lleva a mal crecimiento o deterioro de la calidad.
- Insuficiente higiene de las instalaciones: no se puede prevenir la aparición de plagas y enfermedades, y se sufren daños graves.

Errores en la estrategia de ventas

- Falta de desarrollo de canales de venta: no se encuentran compradores estables y las ventas se vuelven difíciles.

- Quedar atrapado en la competencia de precios: se entra en competencia con verduras de cultivo al aire libre de bajo precio y no se puede asegurar suficiente beneficio.
- Desajuste entre demanda y oferta: no se entiende la demanda del mercado y se generan excedentes sin vender.

Presión de la inversión inicial y los costos operativos

- Fallos en la inversión en equipos: se introducen equipos más allá de lo necesario y aumentan los costos iniciales.
- Falta de financiación: en muchos países y regiones existen subsidios y programas de apoyo para granjas verticales, pero hay muchos casos en los que no se aprovechan lo suficiente.

Falta de personal

- Dificultad para asegurar personal: se necesitan personas con conocimientos y técnicas especializados, pero no es fácil asegurar personal con experiencia.
- Falta de formación del personal: la formación de los empleados es insuficiente, no se adquieren técnicas ni conocimientos, y no suben la productividad ni la calidad.

Todo esto se entrelaza de forma compleja y lleva a una gestión con números rojos.

La realidad de una granja vertical rentable

Hemos visto una realidad dura, pero incluso dentro de ella hay fábricas que generan beneficios. ¿Dónde está la diferencia entre una fábrica en números rojos y una fábrica que gana?

La escala no lo resuelve todo

La «escala» es uno de los factores que influyen en la rentabilidad. En instalaciones grandes, se puede esperar una reducción de costos por economías de escala y una mejora de la capacidad de venta gracias a un suministro estable. Sin embargo, al observar en una investigación japonesa la relación entre superficie y rentabilidad, aparece un resultado inesperado.

- invernadero · superficie pequeña: beneficios 50%, pérdidas 23%
- invernadero · superficie grande: beneficios 41%, pérdidas 50%

- granja vertical · superficie pequeña: beneficios 6%, pérdidas 78%
- granja vertical · superficie grande: beneficios 19%, pérdidas 50%

En el invernadero, las instalaciones pequeñas tienen incluso una tasa de beneficios más alta. No se puede decir que una gran escala siempre tenga alta rentabilidad. Si la escala aumenta, también aumentan la inversión inicial y la carga de gestión de personal. Cómo se pueden contener costos fijos como la mano de obra y el agua, la electricidad y otros servicios influye mucho en la rentabilidad. Ampliar la escala no es más que una de las formas de mejorar la rentabilidad.

Lo que tienen en común las granjas verticales rentables

Después de participar en sitios de producción de distintos tamaños, lo que siento es que lo común en las fábricas que ganan no es la novedad del equipo ni la escala.

- Entienden los fundamentos del cultivo y acumulan día a día una gestión ambiental constante
- Hay alguien que, cuando ocurre un problema, puede rastrear la causa tanto desde los datos como desde la observación
- Encuentran desperdicios en el trabajo y siguen mejorando poco a poco

En una frase, la mayor diferencia es si hay personas que pueden mover el sitio de producción. Aunque se introduzcan equipos de última generación, si no hay personal capaz de dominarlos, eso no se traduce en beneficios. En muchos casos de retirada de grandes empresas, la causa está aquí.



Granja vertical: ¿cuál es la diferencia decisiva con el cultivo al aire libre y la horticultura protegida?

¿En qué se diferencia una granja vertical de otros tipos de agricultura? Lo resumo junto con la perspectiva del sitio de producción.

Control ambiental: de depender de la naturaleza al control completo

El entorno en el que se cultivan los productos es muy diferente.

- cultivo al aire libre: depende de las fuerzas de la naturaleza, como la lluvia, el viento y la luz solar. Requiere grandes extensiones de tierra y trabajos pesados como la gestión del suelo y el riego. Es fácil que se vea afectado por el clima y convive con riesgos como tifones y sequías.
- horticultura protegida: usa invernaderos de plástico o de vidrio y protege los cultivos del clima hasta cierto punto. Permite ajustar temperatura y humedad, y puede producir de forma más estable que el cultivo al aire libre. Requiere costos de construcción y mantenimiento de instalaciones, además de combustible.
- granja vertical: cultiva en un espacio interior cerrado. Controla artificialmente la temperatura, la humedad, la luz, la concentración de dióxido de carbono y otros factores, y crea el entorno óptimo para el crecimiento. No depende del clima y permite producción estable durante todo el año. Requiere inversión en equipos y costo de electricidad, además de técnicas y conocimientos avanzados.

En una granja vertical, no se toma prestada la fuerza de la naturaleza; se crea el entorno con manos humanas. El administrador ajusta temperatura, humedad, luz, CO₂ y otros factores, y controla el crecimiento de las plantas.

Contenido del trabajo: de la intuición y la experiencia a decisiones basadas en datos

El método de cultivo y el contenido del trabajo también son distintos.

- cultivo al aire libre: desde la preparación del suelo hasta la cosecha, tienen mucho peso la experiencia acumulada durante años y la intuición. Hay mucho trabajo pesado y los picos de trabajo según la estación también son grandes.
- horticultura protegida: además de la experiencia del cultivo al aire libre, se necesita técnica de control ambiental dentro de la instalación. La gestión de temperatura, la

ventilación y el riego requieren observación y ajuste frecuentes.

- granja vertical: avanza la automatización por control informático y hay menos trabajo pesado que en la agricultura tradicional. El centro es el control ambiental y la gestión del crecimiento basados en datos, y se requieren capacidad de análisis y habilidades de TI.

También hace falta una perspectiva de gestión que vea toda la fábrica, desde el plan de producción hasta la gestión de los envíos.

En una granja vertical, se entiende el estado de crecimiento mediante datos y, si hay un problema, se responde rápido. Se requieren conocimientos sobre el crecimiento de las plantas, técnica de control ambiental, capacidad de análisis de datos y también capacidad de gestión para reunir al equipo. Entonces, ¿qué roles tiene el administrador que dirige un sitio de producción así?

Tres roles del administrador de una granja vertical

Los roles que se exigen al administrador de una granja vertical se dividen en tres grandes grupos.

1. Proteger la producción estable y la calidad

En una granja vertical, las personas gestionan todos los elementos ambientales: temperatura, humedad, luz, concentración de CO₂, etc. Como estos elementos se influyen entre sí, si se cambia uno, repercute en otros. Seguir enviando verduras de calidad estable todos los días dentro de ese entorno complejo. Este es el rol más básico del administrador.

2. Reunir al equipo

Una granja vertical no funciona con una sola persona. La mayor parte del trabajo diario se mueve con las manos del personal de operaciones. Sacar la capacidad de cada miembro del personal y hacer girar el trabajo diario es el trabajo del administrador. Esto incluye transmitir al personal conocimientos de control ambiental y cultivo, y aumentar el número de personas que pueden tomar decisiones por sí mismas.

3. Asegurar la rentabilidad

Elaborar el plan de producción, gestionar costos y preparar la estrategia de ventas. Leer las necesidades del mercado y seguir probando nuevas iniciativas. Una granja vertical no

continúa solo con sueños e ideales. Si no puede asegurar la rentabilidad, el sitio de producción tampoco continúa.

Resumen del capítulo 1

- La granja vertical está en un entorno difícil, pero las fábricas que tienen personas capaces de mover el sitio de producción generan beneficios
- Las principales causas de números rojos son la falta de tecnología de cultivo, los errores en la estrategia de ventas y la falta de personal
- La granja vertical es distinta de la agricultura tradicional, y requiere capacidad de análisis de datos y capacidad de gestión
- Los roles del administrador son tres: «producción estable», «formación del equipo» y «asegurar la rentabilidad»
- Más que los equipos, «la fuerza de las personas» determina la rentabilidad

En el próximo capítulo veremos los fundamentos de la tecnología de cultivo necesaria en el sitio de producción.

Capítulo 2: Fundamentos del manejo del cultivo

¿Cuáles son los puntos para elegir el cultivo óptimo para una granja vertical?

A partir de aquí pasamos a los conocimientos prácticos para cultivar verduras. Como una granja vertical puede controlar artificialmente el entorno, en teoría se puede cultivar cualquier producto. Sin embargo, cuando se intenta generar beneficios reales en el sitio de producción, los cultivos que se pueden elegir se van reduciendo.

Punto 1. Necesidades del mercado y rentabilidad

Lo primero que hay que tener claro es que «una granja vertical es un negocio».

Probablemente este sea el punto más difícil al operarla. El cultivo que se va a producir debe decidirse después de identificar las necesidades del mercado.

- Qué tipo de verduras se demandan
- Cuáles son las preferencias y tendencias de los consumidores
- A qué precio se pueden vender

Se realiza una investigación de mercado de antemano y se elige el cultivo teniendo en cuenta la rentabilidad.

Cultivos que se producen con frecuencia

- Hortalizas de hoja: lechuga, lechuga coreana, komatsuna, espinaca, etc.
- Hierbas: albahaca, perejil, menta, cilantro, etc.
- Brotes tiernos: mezcla de hojas jóvenes de distintas verduras. Son populares por su colorido y valor nutricional
- Hortalizas de alto valor: variedades raras, productos con componentes funcionales reforzados, productos de alta conveniencia, etc.

Como tienen un período de cultivo corto y alta rotación, estos cultivos son adecuados para una granja vertical.

Punto 2. Facilidad de cultivo

Aunque el entorno se pueda controlar artificialmente, eso no significa que cualquier cultivo sea fácil de producir.

- Período de cultivo: cuanto más corto, mayor rotación y mayor rentabilidad
- Entorno de crecimiento: los valores óptimos de temperatura, humedad, luz, etc., varían según el cultivo
- Técnica de cultivo: incluso en variedades fáciles de cultivar, se necesitan conocimientos y técnicas mínimos

Cuando la experiencia todavía es limitada, recomiendo empezar con cultivos de período corto y con ajustes ambientales relativamente fáciles. Cuando se habla de granja vertical, muchas instalaciones cultivan hortalizas de hoja, y en particular lechuga.

Punto 3. Compatibilidad con el equipo

«Lo que quieres cultivar» y «lo que puedes cultivar» no siempre coinciden. Primero hay que comprobar las restricciones del equipo.

- Altura del equipo: para cultivos altos, se necesita margen en la altura de la instalación
- Iluminación: según el tipo de LED, cambian la intensidad y las longitudes de onda que se pueden emitir, y también cambian los cultivos adecuados
- Control de temperatura: si es difícil controlar bien la temperatura, conviene elegir cultivos resistentes a los cambios de temperatura

Muchas instalaciones que producen hortalizas de hoja introducen equipos especializados para hortalizas de hoja. Para aumentar la eficiencia de producción, es necesario especializarse en determinados productos.

Tres tipos

Las granjas verticales se dividen, en términos generales, en tres tipos.

- Tipo con uso de luz solar: aprovecha al máximo la luz solar. Permite reducir la inversión inicial, pero es fácil que dependa del clima. Puede cultivar muchos productos, como hojas y hortalizas de fruto.
- Invernadero con iluminación artificial suplementaria: combina luz solar y luz artificial. Permite apuntar a una producción estable y a la reducción de costos operativos al mismo tiempo. Puede cultivar muchos productos, como hojas y hortalizas de fruto.

- Granja vertical de luz artificial: cultiva solo con luz artificial. Permite una producción estable sin depender del clima, pero aumenta el costo operativo. Se centra en hojas, y también puede cultivar algunas hortalizas de fruto.

Los cultivos que se pueden producir cambian según el tipo de instalación y el equipo introducido. La elección del cultivo se decide por el equilibrio entre tres elementos: «rentabilidad», «facilidad de cultivo» y «compatibilidad con el equipo».

A partir de aquí veremos, uno por uno, las técnicas y equipos que se usan en el cultivo en granja vertical.

Uso de la iluminación LED



El equipo más simbólico de una granja vertical es la iluminación LED alineada en filas. En la agricultura tradicional no quedaba más opción que depender de la luz solar, pero en una granja vertical se puede crear artificialmente con LED el entorno lumínico óptimo para el crecimiento.

Tres beneficios que la iluminación LED aporta a una granja vertical

1. Reducción de costos por ahorro energético

La factura eléctrica es un costo que una granja vertical no puede ignorar. Como la iluminación LED tiene una excelente eficiencia energética, se puede esperar una gran reducción del costo de electricidad.

2. Larga vida útil y menor trabajo de mantenimiento

Las lámparas fluorescentes requieren recambio periódico, y cada vez generan costo y trabajo. Los LED tienen una vida útil mucho más larga y permiten reducir la frecuencia de reemplazo. En una granja vertical que usa una gran cantidad de luces, esta diferencia de costos es grande.

3. Se puede elegir el color de la luz según la planta

Las plantas necesitan distintas longitudes de onda de luz (colores) según la especie y la etapa de crecimiento. Los LED existen en productos de distintas longitudes de onda, como rojo, azul y blanco, y se pueden elegir según el cultivo. En las granjas verticales tradicionales, la iluminación LED que combinaba luz roja y luz azul era la corriente principal, pero en los últimos años también se ha extendido el LED blanco, cercano a la luz solar.

Ideas para instalación y operación

Para aprovechar al máximo los LED, también son importantes los detalles finos, como el método de instalación y el tiempo de iluminación.

- Cultivo multinivel: para aprovechar eficazmente un espacio limitado, es común el «cultivo multinivel», que apila los estantes de cultivo en varios niveles.
- Ángulo y distancia de irradiación: al ajustar el ángulo de irradiación del LED y la distancia con la planta, se puede aumentar la eficiencia de la fotosíntesis.
- Tiempo de iluminación: las plantas crecen repitiendo el «período de luz», en el que realizan fotosíntesis, y el «período de oscuridad», en el que respiran y trasladan nutrientes.

Luz

El LED no es más que una herramienta para crear el entorno lumínico. Lo importante es cómo recibe esa luz la planta. Aquí repasamos los fundamentos de la luz en sí.

Intensidad de la luz: no basta con que sea fuerte

La luz es indispensable para el crecimiento de las plantas, pero si es demasiado fuerte, al contrario, causa daño. Lo básico es instalar LED con una intensidad adecuada al cultivo que se va a producir. Las hortalizas de fruto necesitan luz intensa, pero las hortalizas de hoja se pueden cultivar incluso con luz relativamente débil. Esta es una de las razones por las que se

prefieren las hojas en la granja vertical.

Longitud de onda de la luz: las plantas tienen colores preferidos

La luz cambia de color según la longitud de onda, y las plantas usan cada longitud de onda para fines distintos.

- Luz roja (600-700 nm): una de las longitudes de onda más eficaces para la fotosíntesis. Promueve el crecimiento y también tiene efecto en la floración y la fructificación
- Luz azul (400-500 nm): eficaz para la fotosíntesis, promueve el desarrollo de cloroplastos y también tiene efecto en engrosar los tallos
- Luz verde (500-600 nm): contribuye poco a la fotosíntesis, pero se considera que participa en la morfogénesis y en la respuesta al estrés de las plantas

En los últimos años han aparecido luces LED de diversas longitudes de onda, como luz verde y luz blanca. Yo también he usado muchos tipos de LED, y siento que el crecimiento es mejor con los tipos que incorporan verde o se acercan a la luz solar que con los tipos solo de rojo y azul.

Irregularidad de la luz: hacer que todos los cultivos reciban bien la luz

En el cultivo multinivel, inevitablemente aparecen lugares donde llega poca luz y se producen diferencias de crecimiento. Hay medidas que se pueden tomar en el sitio de producción para evitar esas irregularidades.

- Instalación de reflectores: si se instalan reflectores en los estantes de cultivo, se evita que la luz se escape hacia el pasillo y se desperdicie, y se puede llevar luz también a los lugares donde llega con dificultad
- Disposición de la iluminación: instalar varias iluminaciones LED o ajustar el ángulo de irradiación para iluminar de forma uniforme
- No aumentar demasiado el número de cultivos: si la densidad es excesiva, la luz llega con dificultad a cada planta. Hay que tener cuidado con apretar demasiado por perseguir productividad

Sistema de hidroponía



Junto con la iluminación, si hablamos de una característica de la granja vertical, es la hidroponía.

Por qué se elige la hidroponía en la granja vertical

La mayor ventaja de la hidroponía es que no usa suelo.

- Ahorro de espacio y libertad de ubicación: como no se necesita suelo, se puede cultivar incluso en zonas urbanas o en regiones con condiciones de terreno difíciles
- Mejora de la velocidad de crecimiento: como las raíces pueden absorber siempre agua y nutrientes, el crecimiento es rápido y se conecta con un aumento de la cosecha
- Reducción del riesgo de plagas y enfermedades: se puede reducir mucho el riesgo de plagas y enfermedades transmitidas por el suelo
- Riego fácil: no hace falta regar todos los días. Si se controla la concentración y cantidad de la solución nutritiva, se puede suministrar automáticamente
- Bajo riesgo de pudrición de raíces: si el oxígeno disuelto (DO) en la solución nutritiva se mantiene suficiente, las raíces pueden tomar siempre oxígeno fresco. Sin embargo, si falta DO, la historia cambia, y también en hidroponía se produce pudrición de raíces (especialmente cuando la temperatura del agua es alta, el DO tiende a bajar)

Principales tipos de sistema de hidroponía

Los dos que se usan con frecuencia en la granja vertical son los siguientes.

1. NFT (hidroponía de película delgada)

Sistema en el que se fijan las plantas en una cama de cultivo inclinada y se hace circular la solución nutritiva con una bomba.

- Ventaja: se necesita poca cantidad de solución nutritiva, lo que se conecta con la reducción de costos
- Desventaja: es fácil que se vea afectado por los cambios de temperatura de la solución nutritiva

2. DFT (hidroponía de solución profunda)

Sistema en el que se llena con solución nutritiva un tanque de cultivo parecido a un depósito y se cultivan las plantas flotando sobre ella.

- Ventaja: como la cantidad de solución nutritiva es grande, es resistente a los cambios de temperatura y permite un cultivo estable
- Desventaja: comparado con NFT, usa más solución nutritiva y el equipo se hace más grande

NFT y DFT son sistemas de «hidroponía recirculante» que se usan con frecuencia en la granja vertical.

Hidroponía y otros controles ambientales

La hidroponía es una de las características de la granja vertical, pero no se completa solo con eso. También se controlan artificialmente elementos ambientales como temperatura, humedad, luz y concentración de CO₂.

- Control de temperatura: las plantas tienen distintas temperaturas óptimas según la especie
- Control de humedad: la humedad también influye mucho en el crecimiento y está relacionada con la aparición de enfermedades
- Aplicación de CO₂: las plantas absorben CO₂ mediante la fotosíntesis. Si se eleva la concentración, se promueve la fotosíntesis y se acelera el crecimiento

En una granja vertical se gestionan varios elementos ambientales combinados. Veremos cada elemento en detalle a partir de la siguiente sección.

Control de temperatura

El control de temperatura es uno de los puntos más importantes que determina en gran medida el éxito de una granja vertical.

Por qué es importante el control de temperatura

Las plantas tienen rangos de temperatura adecuados para crecer. Si se sale de ellos, el crecimiento se ve afectado.

- Mal crecimiento: el crecimiento se vuelve lento, el color de las hojas empeora y, en casos graves, la planta se seca
- Aparición de frutos deformes: en hortalizas de fruto como tomate o fresa, se forman frutos deformes
- Aumento del riesgo de plagas y enfermedades: al bajar el vigor, se debilita la resistencia a enfermedades y plagas

Temperatura adecuada por cultivo

La granja vertical recibe poca influencia del aire exterior y puede mantener constantes la temperatura y la humedad. Estas son referencias por cultivo.

- Hortalizas de hoja como lechuga: prefieren un entorno relativamente fresco, y unos 15-25 °C es lo óptimo
- Hortalizas de fruto como tomate: prefieren un entorno cálido, y unos 20-30 °C es lo óptimo
- Hierbas como albahaca: unos 20-25 °C es lo óptimo. Sin embargo, también hay algunas que prefieren altas temperaturas o son resistentes a bajas temperaturas

El control de temperatura ajustado al tipo de verdura que se cultiva y a la etapa de crecimiento es la base de una producción estable.

Aprovechar la diferencia de temperatura entre día y noche (DIF)

En la granja vertical, como se pueden crear artificialmente los horarios de día y noche con la iluminación LED, existe un método para controlar el crecimiento ajustando la diferencia de temperatura. Aquí, «día» se refiere al tiempo con iluminación encendida (período de luz), y «noche» al tiempo con iluminación apagada (período de oscuridad). A la diferencia de temperatura entre período de luz y período de oscuridad se la llama «DIF».

- Temperatura del período de luz > temperatura del período de oscuridad (DIF positivo): el tallo se alarga

- Temperatura del período de luz < temperatura del período de oscuridad (DIF negativo): se suprime el alargamiento del tallo

En hortalizas de hoja como lechuga, si el tallo se alarga demasiado, las hojas se hacen pequeñas o baja la calidad. Si se usa bien el DIF negativo, se puede prevenir la etiolación de las plántulas y aumentar la eficiencia de producción. Sin embargo, para obtener resultados con DIF se necesitan práctica y experiencia, y lo que se puede hacer también cambia según el equipo.

Ejemplos de fallos en el control de temperatura

Control de temperatura en verano

En pleno verano, la temperatura tiende a subir.

- Ajustar adecuadamente la temperatura del aire acondicionado. Según el equipo, incluso con la misma temperatura configurada, el valor medido puede cambiar según la estación
- Usar cortinas de sombreo y materiales aislantes para reducir el efecto de la temperatura exterior

Irregularidad de temperatura

Es frecuente que una lechuga sembrada el mismo día sea grande en un lado y pequeña en el lado contrario.

- Usar ventiladores de circulación para hacer circular el aire dentro de la instalación
- Instalar varios sensores de temperatura y entender la distribución de temperatura
- Ajustar la disposición de artículos y estantes para que el aire fluya con facilidad

El criterio para definir la temperatura es el estado del cultivo

Al pensar en la temperatura dentro de la sala de cultivo, el criterio final para decidir el valor configurado es «el estado del cultivo». Quienes configuramos la temperatura necesitamos capacidad de observación para captar correctamente el estado de las plantas.

Control de humedad

Junto con la temperatura, la humedad es otro elemento indispensable de gestionar. Las plantas liberan agua desde las hojas mediante la «transpiración» y regulan su propia temperatura. La humedad influye directamente en esta transpiración.

Por qué es importante el control de humedad

La granja vertical recibe poca influencia del entorno exterior, pero por ser un espacio cerrado tiene la característica de que la humedad sube con facilidad.

Riesgo de condensación

En una granja vertical totalmente cerrada, hay que prestar especial atención a la condensación.

- Foco de moho: el moho prefiere lugares con alta humedad, y los lugares con condensación son un hábitat ideal
- Propagación de enfermedades: si las gotas de agua condensada se adhieren a las hojas, los patógenos proliferan con facilidad y aumenta el riesgo de enfermedades
- Fallos del equipo: la condensación provoca cortocircuitos en sistemas eléctricos y corrosión de piezas metálicas

Control de humedad en una granja vertical totalmente cerrada

En una granja vertical totalmente cerrada es difícil ajustar la humedad mediante ventilación, así que se deben tener claros los siguientes puntos.

1. Usar eficazmente el deshumidificador

- Elección del deshumidificador: elegir uno con capacidad adecuada al tamaño de la fábrica y al tipo de plantas que se cultivan
- Lugar de instalación: es eficaz instalarlo en lugares donde se produce condensación con facilidad

2. Revisar el entorno de cultivo

No depender solo del deshumidificador. También es importante revisar el propio entorno de cultivo.

- Densidad de plantación: si se planta con demasiada densidad, empeora la ventilación y la humedad alrededor sube con facilidad. Ajustar a una densidad adecuada observando el

estado de crecimiento

- Control de temperatura: temperatura y humedad están estrechamente relacionadas.

Como la condensación se produce con facilidad cuando la temperatura ambiente cambia bruscamente, hay que controlar la temperatura con cuidado

3. Observar el estado de las plantas

No mirar solo los valores del higrómetro, sino también el estado de las plantas. Si se observan síntomas como hojas marchitas, manchas en las hojas o crecimiento lento, la humedad puede ser la causa.

La humedad está profundamente relacionada con la quemadura de puntas

La humedad tiene una relación estrecha con la quemadura de puntas (tipburn). Esto se debe a que en un entorno de alta humedad se suprime la transpiración de las hojas y también baja la actividad de las raíces (la quemadura de puntas se tratará en la segunda mitad de este capítulo). El control de humedad no es fácil en un espacio cerrado, pero si se lo toma a la ligera, afecta directamente al crecimiento.

Uso del CO2



Por qué las plantas se vuelven vigorosas al aumentar la concentración de CO2

Las plantas absorben CO2 del aire mediante la fotosíntesis, producen nutrientes como azúcares y crecen. La concentración normal de CO2 en el aire es de unos 400 ppm, pero en una granja vertical, al elevar la concentración final dentro de la sala hasta unos 1.000 ppm, se

promueve la fotosíntesis y el crecimiento se acelera («hasta 1.000 ppm» es la concentración final objetivo, no la cantidad de aumento).

Beneficios de elevar la concentración de CO₂

- Aumenta la velocidad de crecimiento y se puede acortar el período hasta la cosecha
- Incluso con la misma superficie, se pueden cosechar más verduras
- Se pueden producir verduras con mejor sabor y aroma, y con mayor valor nutricional

Métodos de aplicación de CO₂

En la granja vertical, para elevar la concentración de CO₂, por lo general se realiza «aplicación de CO₂». Hay principalmente tres métodos.

1. Cilindros de gas carbónico: adecuados para granjas verticales relativamente pequeñas
 - Ventaja: se pueden introducir con un costo relativamente bajo
 - Desventaja: aparece trabajo de cambio de cilindros y también se necesita espacio de almacenamiento
2. Gas carbónico líquido: para instalaciones medianas a grandes
 - Ventaja: puede suministrar grandes cantidades de CO₂
 - Desventaja: requiere una inversión inicial
3. Generador de CO₂ por combustión: genera CO₂ quemando queroseno o gas urbano
 - Ventaja: el costo operativo es relativamente bajo
 - Desventaja: como junto con el CO₂ también se generan calor, vapor de agua y subproductos de combustión, en instalaciones cerradas de luz artificial se requiere gestionar el calor residual, el aumento de humedad y los gases de combustión (las condiciones de aplicación son distintas de las de un invernadero)

El método óptimo cambia según la escala, el presupuesto, el cultivo, etc.

Gestión de la concentración de CO₂

En la aplicación de CO₂, la gestión de la concentración es importante. Es común usar un sistema que combina sensores de CO₂ y dispositivos de control.

- Sensor de CO₂: mide en tiempo real la concentración de CO₂ dentro de la sala de cultivo

- Dispositivo de control: ajusta automáticamente la cantidad de suministro de CO₂ según los valores medidos

Costo y efecto de la aplicación de CO₂

La aplicación de CO₂ requiere inversión inicial y costo operativo. Aun así, por mucho que se ajusten la luz y la temperatura, si no hay CO₂, las plantas no crecen. El CO₂ es uno de los elementos básicos de la granja vertical, junto con la luz, el agua y la temperatura.

Gestión del aire acondicionado y del viento

Junto con temperatura, humedad y CO₂, lo que conviene tener claro es el flujo de aire.

En un espacio cerrado, el aire se estanca con facilidad

La granja vertical recibe poca influencia del entorno exterior, pero por otro lado, el flujo de aire tiende a estancarse, y si no se gestiona adecuadamente aparecen diversos problemas.

Papel del viento en una granja vertical totalmente cerrada

El flujo de aire cumple las siguientes funciones. 1. **Hacer más eficiente el suministro de CO₂**: aunque se eleve la concentración de CO₂, si no hay flujo de aire no se distribuye de manera uniforme y baja la eficiencia de la fotosíntesis 2. **Eliminar irregularidades de temperatura y humedad**: por efecto de la iluminación y el aire acondicionado, aparecen irregularidades de temperatura y humedad según el lugar. En particular, es fácil que haya diferencias de temperatura entre los niveles superiores e inferiores de los estantes de cultivo 3. **Romper la capa límite foliar**: en la superficie de la hoja existe una fina capa de aire llamada «capa límite foliar», y si esta es gruesa se dificulta el intercambio de CO₂ y vapor de agua 4. **Reducir el riesgo de aparición de enfermedades**: en un espacio cerrado donde la humedad tiende a subir, el flujo de aire también es importante para suprimir la proliferación de moho y bacterias

Métodos para generar viento

Como métodos para generar viento en una granja vertical totalmente cerrada, se usan principalmente «ventiladores» y «equipos de aire acondicionado».

1. Ventilador: dirigir el flujo de aire a un punto concreto. El ventilador es eficaz cuando se quiere enviar viento de forma localizada.

- Hacer circular el CO₂ que tiende a acumularse en la parte inferior de los estantes de cultivo
- Enviar viento a lugares donde se producen irregularidades de temperatura y uniformarlos
- Reducir la humedad de un área específica

2. Función de ventilación del equipo de aire acondicionado: hacer circular el viento en toda la fábrica. El aire acondicionado, además de ajustar temperatura y humedad, también tiene la función de enviar aire.

Si se combinan ventiladores y la función de ventilación del equipo de aire acondicionado, se puede controlar eficazmente el entorno de aire. Hay que pensar en crear viento en la misma dirección en toda la instalación para que los flujos no se cancelen entre sí.

Velocidad y dirección del viento

Al generar viento, también hay que prestar atención a la velocidad y a la dirección. 1.

Velocidad del viento: si es demasiado fuerte, causa estrés a las plantas y dificulta el crecimiento 2. **Dirección del viento:** al cambiarla, se puede aumentar la eficiencia de circulación del aire

- Dirigirlo hacia la pared para facilitar la circulación del aire
- Enviarlo a lo largo de los estantes de cultivo para distribuir el CO₂ de forma eficiente

El flujo de aire se entiende con temperatura y humedad

La gestión del aire acondicionado y del viento es simple si se dominan los fundamentos. Las áreas donde el aire tiende a estancarse se pueden identificar midiendo temperatura y humedad. Cuando se encuentra un lugar con irregularidades, se ajusta la forma de aplicar el viento y se mejora.

Manejo de fertilizantes

En la hidroponía, junto con la solución nutritiva, los fertilizantes son importantes.



Condiciones que se exigen a los fertilizantes en una granja vertical

Los puntos que sirven de premisa al elegir fertilizantes para usar en una granja vertical son los siguientes.

- Solubilidad en agua: en hidroponía, el fertilizante se suministra a las plantas disuelto en agua. Debe disolverse fácilmente en agua y ser fácil de absorber
- Pureza: si se usa un fertilizante de alta pureza con pocas impurezas, se estabiliza el equilibrio de componentes de la solución nutritiva y se reduce el riesgo de inhibición del crecimiento
- Acción rápida: como se apunta a cosechar en poco tiempo, son adecuados los fertilizantes de acción rápida que la planta puede absorber enseguida

Fertilizante simple y fertilizante compuesto

Los fertilizantes que se usan en una granja vertical se dividen en dos tipos: «fertilizante simple» y «fertilizante compuesto». El «fertilizante simple» es un fertilizante que contiene solo un nutriente específico, como nitrógeno, fosfato o potasio. El «fertilizante compuesto» es un fertilizante en el que los nutrientes necesarios ya vienen mezclados.Cuál usar cambia según la situación y la política de cultivo.

Ventajas de usar fertilizante simple

- Aporte nutricional puntual: según el resultado del análisis de solución nutritiva, se pueden complementar nutrientes faltantes con fertilizante simple

- Reducción de costos: en general, el fertilizante simple es más barato que el fertilizante compuesto
- Formulación original: combinando varios fertilizantes simples, se puede crear una formulación propia

Ventajas de usar fertilizante compuesto

- Facilidad: los nutrientes necesarios ya están formulados, y se ahorra trabajo de preparación y gestión
- Productos adecuados al objetivo: existen productos para hortalizas de hoja, para hortalizas de fruto, etc., según el cultivo y la etapa de crecimiento

Referencia para elegir

Cuando acabas de empezar a cultivar y todavía no sabes qué fertilizante conviene usar, recomiendo empezar con fertilizante compuesto.

Formulación de fertilizantes

La formulación de fertilizantes es uno de los trabajos importantes en la granja vertical. Requiere tanto experiencia como datos, y con el tiempo habrá que adquirir habilidad para formular. Como referencia, presento «SimpleFert», una hoja de cálculo gratuita para programas de fertilización que preparé a partir de mi experiencia en el sitio de producción. Solo con introducir la información necesaria, se puede calcular la cantidad de fertilizantes a mezclar. <https://pfboost.com/es/how-to-simplefert/>

Manejo de la solución nutritiva



La solución nutritiva se prepara disolviendo fertilizantes en agua. En una granja vertical, la solución nutritiva es un elemento vital que determina el crecimiento de las plantas.

Nutrientes contenidos en la solución nutritiva

En hidroponía, en lugar de suelo se usa una solución nutritiva hecha con agua y fertilizantes.

Los principales nutrientes contenidos en la solución nutritiva son los siguientes.

- Nitrógeno (N): promueve el crecimiento de hojas y tallos, y es indispensable para la síntesis de proteínas y clorofila. Si falta, las hojas se vuelven amarillas
- Fosfato (P): promueve el desarrollo de raíces y la formación de flores y frutos, y participa en el metabolismo energético. Si falta, el desarrollo de las raíces empeora
- Potasio (K): promueve la fotosíntesis y aumenta la resistencia a enfermedades. También participa en la regulación del agua dentro de las células. Si falta, se secan los bordes de las hojas
- Calcio (Ca): fortalece las paredes celulares y estabiliza el crecimiento. Si falta, las hojas nuevas se deforman o se pudre la punta de los frutos
- Magnesio (Mg): componente de la clorofila e indispensable para la fotosíntesis. Si falta, se amarillea entre las nervaduras
- Azufre (S): componente de las proteínas y también participa en la activación de enzimas. Si falta, las hojas se vuelven amarillas en general

Estos se llaman macronutrientes, y si falta cualquiera de ellos la planta no crece. También son importantes otros nutrientes llamados micronutrientes.

Fundamentos del manejo de la solución nutritiva: CE y pH

Los indicadores especialmente importantes en el manejo de la solución nutritiva son dos: «CE» y «pH».

CE (conductividad eléctrica)

CE es la abreviatura de «Electrical Conductivity» (conductividad eléctrica) y expresa la facilidad con que fluye la electricidad. Como cuando el fertilizante se disuelve en agua la electricidad fluye con más facilidad, al mirar la CE se puede conocer indirectamente la concentración de fertilizante disuelto en la solución nutritiva.

- CE alta: la solución nutritiva está concentrada
- CE baja: la solución nutritiva está diluida

Si la CE es demasiado alta, la planta deja de poder absorber agua y existe riesgo de que se seque. Ajustar a una concentración de CE adecuada según el tipo de planta y la etapa de crecimiento es el punto más importante del manejo de la solución nutritiva.

pH (concentración de iones de hidrógeno)

pH es la abreviatura de «power of Hydrogen» (concentración de iones de hidrógeno) e indica el grado de acidez o alcalinidad de la solución nutritiva. En general, las plantas crecen mejor cerca de un pH ligeramente ácido (pH 5,5-6,5). Si el pH se sale del rango adecuado, aparecen los siguientes problemas.

- Inhibición de la absorción de nutrientes: los nutrientes de la solución nutritiva se vuelven difíciles de absorber
- Trastornos de crecimiento: empeora el desarrollo de las raíces o el color de las hojas
- Daño en las raíces: las raíces se dañan y se dificulta la absorción de agua y nutrientes
- Falta de absorción de micronutrientes: hierro, manganeso y otros elementos se vuelven difíciles de absorber, lo que lleva a mal crecimiento

Como el pH también influye en la solubilidad de los nutrientes en la solución nutritiva, es importante mantenerlo en un rango adecuado.

Preparar la solución nutritiva

Para preparar la solución nutritiva, se mezclan agua y fertilizantes en una proporción adecuada. 1. **Preparación del agua:** se usa agua de red, agua de pozo, agua filtrada, etc.,

pero es frecuente usar agua de red. Si se usa un fertilizante que contiene nitrógeno amoniacal, hay que eliminar el cloro residual dejando reposar el agua o usando tiosulfato de sodio, entre otros métodos 2. **Preparación del fertilizante:** si se usa fertilizante compuesto, se disuelve en agua la cantidad adecuada siguiendo las instrucciones del producto. Si se aprovecha un sistema recirculante, es eficiente preparar una solución madre (solución stock) con una concentración de unas 100 veces la solución nutritiva final, y convertirla en solución nutritiva final diluyéndola con un inyector o un dispositivo automático de suministro (no es una «solución diluida 100 veces», sino una solución concentrada 100 veces antes de diluir) 3.

Mezcla: disolver el fertilizante poco a poco en el agua mientras se mezcla bien. Como el calcio produce precipitación con fosfatos y sulfatos en soluciones madre de alta concentración, hay tipos que se preparan dividiendo el tanque de solución madre en dos, A y B (en la solución nutritiva final después de diluir, el calcio y los fosfatos o sulfatos coexisten) 4.

Ajuste de CE y pH: medir con medidor de CE y medidor de pH, y ajustar si es necesario

- Valor de CE: si está por debajo del objetivo, agregar fertilizante; si está por encima, agregar agua y diluir
- Valor de pH: si está por debajo del objetivo (inclinado hacia la acidez), agregar un producto pH up para subir el pH; si está por encima del objetivo (inclinado hacia la alcalinidad), agregar un producto pH down para bajar el pH

Gestionar la solución nutritiva

Durante el cultivo, la solución nutritiva no se mantiene siempre en el mismo estado. 1.

Medición: medir el valor de CE y el valor de pH al menos una vez al día (si se reduce la frecuencia, se retrasa la detección de cambios). Si se mide todos los días a la misma hora, es más fácil comparar los cambios diarios. En entornos de gran escala, la medición manual tiene límites 2. **Registro:** registrar siempre los valores medidos. Permite entender los cambios y también ayuda a investigar causas cuando ocurre un problema. Puede ser en un cuaderno o en una hoja de cálculo 3. **Ajuste:** si se sale del valor objetivo, ajustar

- Valor de CE: si está bajo, agregar fertilizante; si está alto, agregar agua y diluir. En fábricas grandes, el sistema de suministro automático es indispensable, y cuando cae por debajo de la configuración se realiza automáticamente la reposición de nutrientes

- Valor de pH: agregar regulador de pH poco a poco y acercarlo al valor objetivo mientras se mezcla bien. Hay que tener cuidado porque, si se agrega una gran cantidad de golpe, los componentes del fertilizante pueden precipitar

4. Renovación de solución nutritiva: cuando se continúa cultivando durante un tiempo, el equilibrio de los componentes del fertilizante se rompe o se acumulan componentes innecesarios. Se realiza periódicamente una «renovación de solución nutritiva», sustituyendo la solución nutritiva. La frecuencia depende del cultivo y de la estación, pero en general la referencia es una vez cada 2-3 meses.

«No sé la causa, pero siento que el crecimiento no está bien». Esta situación ocurre a menudo. Cuando se acumula experiencia, se puede imaginar la causa, pero al principio no es tan sencillo. En esos casos, probar una renovación de solución nutritiva como apuesta también es una opción. Poder elegir esto cuando hay problemas es una de las fortalezas de la hidroponía

5. Observación: observar bien no solo el valor de CE y el valor de pH, sino también el estado de las plantas. Si hay cambios en el color o forma de las hojas, o en el estado de crecimiento, quizá haya un problema en la solución nutritiva

Precauciones en el manejo de la solución nutritiva

1. Exceso o falta de fertilizante: si se sube demasiado la CE, el exceso de fertilizante inhibe el crecimiento. En especial, el exceso de nitrógeno hace que las hojas tiendan a la etiolación. Por el contrario, si la CE es demasiado baja, se produce mal crecimiento por falta de fertilizante

2. Cambio brusco de pH: si se agrega una gran cantidad de regulador de pH de una vez, el pH cambia bruscamente y causa estrés a las plantas. Ajustar despacio, poco a poco

3. Temperatura del agua (temperatura de la solución nutritiva): la temperatura de la solución nutritiva influye en la solubilidad del fertilizante y en la actividad de las raíces y el crecimiento. En general, alrededor de 20 °C es la temperatura adecuada del agua. Si la temperatura del agua es demasiado baja, empeora la absorción de nutrientes y el crecimiento se retrasa. Si es demasiado alta, baja el oxígeno disuelto (DO), las raíces se dañan y las enfermedades aparecen con más facilidad. Básicamente no hay problema si está cerca de la temperatura del aire dentro de la sala de cultivo (se habla de temperatura ambiente, no de temperatura exterior)

4. Higiene del sistema de solución nutritiva: limpiar periódicamente el tanque de solución nutritiva y las tuberías. Si se acumulan en exceso algas o suciedad, los

patógenos proliferan con facilidad.

Hay muchas personas que se preocupan por las algas que aparecen en la solución nutritiva. Es cierto que tienen mal aspecto y dan sensación de suciedad, pero son algo que aparece sí o sí. No hay problema con una postura de gestionarlas para que no aumenten demasiado

Aumentar la precisión usando datos

Si se usan datos, la precisión del manejo de la solución nutritiva sube aún más.

- Registros de cultivo: registrar valores de CE, valores de pH, temperatura del agua, tipo y cantidad de fertilizante y estado de crecimiento, para entender la relación entre el estado de la solución nutritiva y el crecimiento
- Análisis de solución nutritiva: si se encarga a una institución especializada, se puede conocer con precisión la concentración de cada componente en la solución nutritiva. Al ajustar la formulación según el resultado del análisis, se puede hacer una gestión más adecuada
- Uso de datos ambientales: si se analizan vinculando datos ambientales como temperatura, humedad y concentración de CO₂ con valores de CE, valores de pH y estado de crecimiento, sube la precisión del control ambiental y del manejo de la solución nutritiva

Quemadura de puntas



«La lechuga venía creciendo bien, pero justo antes de la cosecha las puntas de las hojas empezaron a secarse y ponerse marrones». Al trabajar en una granja vertical, la quemadura

de puntas es un trastorno de crecimiento que no se puede evitar.

Qué es la quemadura de puntas

La quemadura de puntas es un trastorno fisiológico en el que las puntas y bordes de las hojas se secan y se vuelven marrones. En la etapa inicial, apenas se decolora la punta de la hoja, pero si avanza, la parte seca se expande y a veces se seca toda la hoja. Si sientes que «la punta de la hoja está un poco negra», puede ser una señal de aparición de quemadura de puntas.

Causas de aparición de la quemadura de puntas

La quemadura de puntas no es un problema simple que se resuelva con una sola solución. Los principales factores son los siguientes.

Punto 1. Falta de calcio

Una de las causas más grandes es la falta de calcio dentro de la planta.

- La concentración de calcio en la solución nutritiva es baja
- La absorción de calcio está inhibida por baja función de las raíces
- Dentro de la planta, el calcio no se transporta hasta la punta de las hojas

Según mi experiencia, los casos en los que falta la concentración de calcio en la propia solución nutritiva son raros. En muchos casos, el Ca en la solución nutritiva es suficiente, y la verdadera causa es que, por algún motivo, el Ca dentro de la planta no se está trasladando hasta la punta de las hojas (falta de traslado de Ca). De vez en cuando hay personas que piensan de forma simplista: «si falta calcio, aumentemos el fertilizante de Ca». Pero mientras la causa no sea la concentración de Ca en la solución nutritiva, aumentar el fertilizante de Ca tiende a ser contraproducente (subida de CE, precipitación, antagonismo con otros iones).

Punto 2. Humedad alta

Puede parecer que si la humedad es alta las plantas crecerán vigorosas, pero no siempre es así.

- Baja de actividad de las raíces: cuando la humedad es alta, ya no hace falta absorber agua a la fuerza y baja la actividad de las raíces

- Supresión de la transpiración: cuando se suprime la transpiración, se dificulta el movimiento de calcio hacia las hojas

Punto 3. Crecimiento brusco

Que el crecimiento sea rápido es algo positivo, pero el crecimiento rápido requiere muchos nutrientes. Si la absorción de nutrientes no alcanza la velocidad de crecimiento, en particular tiende a faltar calcio y se vuelve más fácil que aparezca quemadura de puntas.

Punto 4. Otros factores

Además de lo anterior, también participan factores como los siguientes.

- Variedad: hay variedades en las que la quemadura de puntas aparece con facilidad
- Temperatura: estrés térmico por altas o bajas temperaturas
- Luz: luz demasiado fuerte o un entorno lumínico con mala eficiencia fotosintética
- Viento: si la circulación de aire es mala, la humedad tiende a subir

Como los factores se entrelazan de forma compleja, a veces es difícil identificar la causa.

Medidas contra la quemadura de puntas

Al pensar en medidas, las palabras clave son «transpiración» y «velocidad de crecimiento». Se mantiene adecuadamente la transpiración con control de humedad, y si el crecimiento es demasiado rápido, se revisan las condiciones ambientales como cantidad de luz, temperatura y CO₂ para reducirlas (dirección de suprimir el crecimiento) (si se acelera todavía más el crecimiento, los síntomas empeoran, por eso aquí no se aumenta, se reduce). Sin embargo, que el cultivo crezca rápido en sí mismo es algo agradecido para el productor. Si eso provoca demasiada quemadura de puntas, también se necesitan medidas para suprimir el crecimiento. Este equilibrio es también la dificultad de las medidas contra la quemadura de puntas.

Yo también sufrí con la quemadura de puntas

He escrito el mecanismo y las medidas, pero la quemadura de puntas no se resuelve fácilmente. Yo también sufrí mucho con ella. Para aumentar la rentabilidad de una granja vertical, hay que entender la quemadura de puntas y aprender a convivir bien con ella. Los detalles del ajuste fino del entorno los explico en el siguiente contenido.

172 consejos para aumentar la rentabilidad de una granja vertical: conocimiento práctico pulido durante más de 10 años en el sitio de producción

Etiolación

Junto con la quemadura de puntas, otro trastorno de crecimiento representativo es la «etiología». La etiología es el fenómeno en el que la planta alarga el tallo más de lo necesario buscando luz. Es parecido a imaginar una planta de interior junto a la ventana estirándose débilmente hacia el lado donde hay luz.



Cuando aparece etiología en una granja vertical, se producen los siguientes efectos.

- Disminución del rendimiento de cultivo: solo se alarga el tallo y las hojas importantes se vuelven pequeñas.
- Disminución de la calidad: los tejidos se vuelven blandos y se reducen la vida útil y el sabor.
- Menor eficiencia de trabajo: se vuelven fáciles de tumbar y aumentan las tareas de cosecha y gestión.

Lo problemático es que las hojas que sufrieron etiología en la etapa inicial de crecimiento no se recuperan por completo aunque después se ajuste el entorno.

Causas de la etiología

Las principales causas de la etiología son tres.

- Falta de cantidad de luz: si la cantidad de luz de la iluminación LED no alcanza, la planta alarga el tallo buscando luz.
- Desequilibrio del espectro lumínico: no solo rojo y azul; si se rompe el equilibrio de longitudes de onda, como verde o luz rojo lejano, la etiolación aparece con facilidad.
- Plantación densa: si la densidad es demasiado alta, las plantas compiten entre sí por la luz. Entiendo el deseo de aprovechar el espacio limitado, pero apretar demasiado es contraproducente.

Medidas contra la etiolación

Revisión del entorno lumínico

- Aumentar la cantidad de luz: asegurar la cantidad de luz adecuada al cultivo y a la etapa de crecimiento. Si es posible, considerar añadir iluminación.
- Ajuste del espectro lumínico: elegir iluminación LED con equilibrio de longitudes de onda.
- Disposición de la iluminación: si se ilumina no solo desde arriba sino también desde los lados, disminuyen las irregularidades de luz.
- Uso de reflector: como permite usar la luz de forma eficiente, sirve de apoyo cuando falta cantidad de luz.

Ajuste de la densidad de plantación

- Mantener una densidad adecuada al cultivo y a la etapa de desarrollo. En especial, hay que determinar con precisión el momento del trasplante.

Otros factores ambientales

- Si la temperatura es demasiado alta, la etiolación aparece con facilidad. Realizar un control de temperatura adecuado.
- La humedad demasiado alta también favorece la etiolación. Ajustar mediante ventilación y deshumidificación.

Como la etiolación no se puede revertir una vez aparece, la detección temprana y la respuesta son lo más importante.

Para subir más el nivel del manejo del cultivo

Hasta aquí he explicado los fundamentos del manejo del cultivo. Son conocimientos importantes, pero cuando se sale al sitio de producción aparecen momentos en los que uno se pregunta: «tengo conocimiento, pero ¿por dónde empiezo concretamente?».

Como apoyo para eso, presento la «plantilla de gestión de operaciones» que he preparado.

- **Plantilla para diseñar el proceso de cultivo:** herramienta que calcula hacia atrás, desde el objetivo de cosecha, el número necesario de camas, tipos de panel y días de cultivo. También permite simular cambiando el número de trasplantes y los días de operación.
- **Herramienta de programa de fertilización:** permite calcular el diseño de fertilizantes que combina fertilizante compuesto y fertilizante simple solo introduciendo la información necesaria. Es algo que lleva a una forma reproducible una parte que en sitios de producción veteranos tiende a depender de una persona.
- **Plantilla de calendario de trabajo:** a partir del proceso de cultivo, determina el contenido del trabajo diario y el personal necesario. Sirve para prevenir excesos o faltas de personal y ordenar la asignación.

Estas herramientas no son universales. Para usarlas en el sitio de producción también hace falta personalización. Pero como primer punto de partida para «llevar el conocimiento a procedimientos reales», son útiles. La propia estructura de la plantilla también permite entender qué puntos hay que dominar en la gestión de operaciones.

<https://pfboost.com/es/templateform/>

Resumen del capítulo 2

- La elección del cultivo se juzga por tres elementos: «necesidades del mercado», «facilidad de cultivo» y «compatibilidad con el equipo»
- La iluminación LED tiene tres beneficios: ahorro energético, larga vida útil y selección de longitud de onda
- En hidroponía, NFT (hidroponía de película delgada) y DFT (hidroponía de solución profunda) son los sistemas principales
- Como la gestión de temperatura, humedad, CO₂ y viento se influyen entre sí, hay que pensarla de forma integral
- En el manejo de la solución nutritiva, los dos indicadores más importantes son CE y pH

- La quemadura de puntas y la etiolación son los trastornos de crecimiento que aparecen con más frecuencia en una granja vertical

Sobre métodos de mejora y referencias numéricas más concretas para cada tema, los explico en detalle en «172 consejos para aumentar la rentabilidad de una granja vertical».

Capítulo 3: Práctica de gestión de operaciones

Elaboración del plan de producción

A partir de aquí veremos el contenido del trabajo de gestión en una granja vertical. El primer tema es el plan de producción.

1.施設設備仕様														
エリア	ベッド数	1ベッド面積	使用ベッド数	稼働率										
育苗	20ベッド	7.6㎡	10ベッド	50.00%										
生育	160ベッド	27.0㎡	131ベッド	81.56%										
2.原価計算														
	月間(30日)	1日あたり	フリル	ロメイン	サンチュ	グリーン								
使用ベッド	育苗	10.00	4.00	0.67	0.67	3.14								
	生育	130.50	62.00	11.00	11.00	44.00								
	育苗面積	3520㎡	1704㎡	302㎡	302㎡	1212㎡	0㎡	0㎡	0㎡					
	生育面積比率	100.00%	48.41%	8.58%	8.58%	34.42%	0.00%	0.00%	0.00%					
	人件費	¥6,900,000	¥230,000	¥111,353	¥19,737	¥19,737	¥79,174	¥0	¥0					
	原材料費(選種)	¥2,375,400	¥79,180	¥21,900	¥20,440	¥20,440	¥16,800	¥0	¥0					
	原材料費(栽培)	¥3,519,158	¥117,305	¥56,793	¥10,066	¥10,066	¥40,380	¥0	¥0					
	水道光熱費	¥6,245,104	¥208,170	¥100,784	¥17,863	¥17,863	¥71,659	¥0	¥0					
	その他	¥7,199,660	¥239,989	¥116,189	¥20,594	¥20,594	¥82,612	¥0	¥0					
	製造原価	¥26,239,322	¥874,844	¥406,620	¥88,700	¥88,700	¥290,628	¥0	¥0					
	製造原価/面積	¥2245	¥245	¥239	¥294	¥294	¥240	¥0	¥0					
3.栽培工程設計														
※種・フィルム代など、品目固有のもの														
品目名	栽培工程	使用資材	ベッド原価	ベッド数	作業枚数/日	稼働日数/種	日数	株数	苗の準備率	原材料費(選種)	原材料費(栽培)	計画の日数	ベッド数の逆算	作業枚数の逆算
フリル	種所発芽	300株	16枚	1.9ベッド	15枚	7.0日	2.0日	4500株	¥3.00	¥13,500	2日	1.88ベッド	15枚	
フリル	育苗	300株	42枚	4.0ベッド	15枚	7.0日	11.2日	4500株	100.00%	¥0	11日	3.93ベッド	15枚	
フリル	生育	50株	50枚	18.0ベッド	82枚	7.0日	11.0日	4100株	91.20%	¥0	11日	18.04ベッド	82枚	
フリル	生育	20株	50枚	44.0ベッド	200枚	7.0日	11.0日	4000株	97.60%	¥2.00	¥8,000	11日	44.00ベッド	200枚
								0株	0.00%	¥0	¥0			
ロメイン	種所発芽	300株	16枚	0.3ベッド	6枚	3.0日	2.0日	1800株		¥3.00	¥12,600	2日	0.32ベッド	6枚
ロメイン	育苗	300株	42枚	0.7ベッド	6枚	3.0日	10.9日	1800株	100.00%	¥0	¥0	11日	0.67ベッド	6枚
ロメイン	生育	50株	50枚	3.0ベッド	34枚	3.0日	10.3日	1700株	94.50%	¥0	¥0	10日	2.91ベッド	35枚
ロメイン	生育	20株	50枚	8.0ベッド	84枚	3.0日	11.1日	1680株	98.90%	¥2.00	¥7,840	11日	7.92ベッド	85枚
								0株	0.00%	¥0	¥0			
サンチュ	種所発芽	300株	16枚	0.3ベッド	6枚	3.0日	2.0日	1800株		¥3.00	¥12,600	2日	0.32ベッド	6枚
サンチュ	育苗	300株	42枚	0.7ベッド	6枚	3.0日	10.9日	1800株	100.00%	¥0	¥0	11日	0.67ベッド	6枚
サンチュ	生育	50株	50枚	3.0ベッド	34枚	3.0日	10.3日	1700株	94.50%	¥0	¥0	10日	2.91ベッド	35枚
サンチュ	生育	20株	50枚	8.0ベッド	84枚	3.0日	11.1日	1680株	98.90%	¥2.00	¥7,840	11日	7.92ベッド	85枚

Por qué se necesita un plan de producción

La forma de trabajar ajustándose a las estaciones y al clima, como en la agricultura tradicional, no funciona en una granja vertical. A cambio de poder crear el entorno por nuestra cuenta, hay que decidir de antemano qué producir, cuándo y en qué cantidad.

Si se lleva adelante el cultivo sin preparar un plan de producción, aparecen problemas como los siguientes.

1. Desajuste entre demanda y oferta: se producen cultivos o cantidades que no encajan con la demanda del mercado, y quedan sin vender.
2. Fallo en la gestión de costos: los costos de electricidad, agua, mano de obra, fertilizantes, etc., se generan antes de obtener ingresos y puede no quedar margen. En especial, los costos de materiales y mano de obra deben prepararse antes de la siembra. Si no hay una previsión previa, aumentan los gastos no planificados.
3. Variación de la calidad: la gestión de las condiciones ambientales y de las tareas se vuelve improvisada, y el acabado de las verduras no queda uniforme.

Tres pasos del plan de producción

Qué verduras producir, cuándo y cuánto. Lo ordenamos en tres pasos.

Paso 1. Previsión de demanda

Primero, investigación de mercado. Hay que entender qué verduras se demandan, cuándo y en qué cantidad.

- Mercado objetivo: supermercados, restaurantes, consumidores particulares; a quién se venderá
- Precio de venta: a cuánto se puede vender en cada mercado
- Variación estacional de la demanda: cambios en la demanda según la estación
- Competencia: situación de otras empresas que producen el mismo cultivo

Se hace una previsión tomando como referencia los datos de ventas pasadas y las tendencias del mercado, pero nadie sabe la respuesta de «si produces esto, seguro que se vende». En definitiva, es un trabajo de formulación de hipótesis.

Paso 2. Formulación del plan de producción

Con base en la previsión de demanda, se concreta en un plan específico.

Cultivo que se va a producir: juzgar por tres puntos: necesidades del mercado, período de cultivo y rentabilidad. Volumen de producción objetivo: decidir una cantidad realista a partir del tamaño de la instalación, la capacidad del equipo, la mano de obra y los canales de venta.

Calendario de cultivo: alinear el momento de cosecha con la demanda del mercado y calcular hacia atrás el período de cultivo. Recursos necesarios: estimación de semillas y plántulas, fertilizantes, materiales, personal, electricidad y agua.

Es importante mirar todo esto de forma integral y elaborar un plan realista.

Cultivo	Fecha	Cosecha	Cultivo 1				Cultivo 2				Cultivo 3				Cultivo 4							
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
2024/05/01	水	4500					1800					1800					3600					
2024/05/02	木	4500															3600	3600	3600			
2024/05/03	金	4500	4500	4500			1800	1800	1800			1800					3600	3600	3600			
2024/05/04	土	4500	4500	4500								1800	1800	1800			3600	3600	3600			
2024/05/05	日	4500	4500	4500													3600	3600	3600			
2024/05/06	月	4500	4500	4500			1800					1800	1800	1800			3600	3600	3600			
2024/05/07	火	4500	4500	4500								1800					3600	3600	3600			
2024/05/08	水	4500	4500	4500			1800	1800	1800								3600	3600	3600			
2024/05/09	木	4500	4500	4500								1800	1800	1800			3600	3600	3600			
2024/05/10	金	4500	4500	4500			1800	1800	1800			1800	1800	1800			3600	3600	3600			
2024/05/11	土	4500	4500	4500								1800	1800	1800			3600	3600	3600			
2024/05/12	日	4500	4500	4500													3600	3600	3600			
2024/05/13	月	4500	4500	4500			1800					1800	1800				3600	3600	3600			
2024/05/14	火	4500	4500	4500	4500	4100					1800	1700					3600	3600	3600	3		
2024/05/15	水	4500	4500	4500	4500	4100					1800	1800	1800			1800	1700			3		
2024/05/16	木	4500	4500	4500	4500	4100										1800	1800	1800	1700		3	
2024/05/17	金	4500	4500	4500	4500	4100					1800	1800	1800							1700	3	
2024/05/18	土	4500	4500	4500	4500	4100										1800	1800	1800		1700	3	
2024/05/19	日	4500	4500	4500	4500	4100					1800	1800	1800								3	
2024/05/20	月	4500	4500	4500	4500	4100										1800	1800	1800	1700		3	
2024/05/21	火	4500	4500	4500	4500	4100					1800					1800	1800	1800	1700		3	
2024/05/22	水	4500	4500	4500	4500	4100					1800	1800	1800			1800	1700				3	
2024/05/23	木	4500	4500	4500	4500	4100										1800	1800	1800	1700	1680	3	
2024/05/24	金	4500	4500	4500	4500	4100					1800	1800	1800			1800	1700				3	
2024/05/25	土	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000								1800	1800	1800	1700	1680	3	
2024/05/26	日	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000				1800	1800	1800						1700	1680	3
2024/05/27	月	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000				1800				1800	1800	1800	1700	1700	1680	3
2024/05/28	火	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000								1800	1800	1800	1700	1700	1680	3
2024/05/29	水	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000				1800	1800	1800			1800	1700				3
2024/05/30	木	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000								1800	1800	1800	1700	1700	1680	3
2024/05/31	金	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000				1800	1800	1800			1800	1700				3
2024/06/01	土	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000								1800	1800	1800	1700	1680		3
2024/06/02	日	4500	4500	4500	4500	4100	4100	4000				1800	1800	1800								3

Paso 3. Gestión del avance y revisión

Un plan no termina al elaborarlo. Es algo que se corrige mientras se ejecuta.

- Monitoreo del estado de crecimiento: observar y registrar de forma periódica.
- Confirmación de la situación de ventas: si se está vendiendo según el plan y si el inventario es adecuado.
- Identificación de problemas: si aparece una desviación, analizar la causa.
- Revisión del plan: corregir el calendario y el volumen de producción según sea necesario.

El plan de producción es la parte que se convierte en el eje de la operación de una granja vertical.

Siembra



A partir de aquí veremos el conocimiento práctico de las tareas en el sitio de producción para cultivar verduras de verdad.

Qué es la siembra

«Siembra» es sembrar semillas. Como en una granja vertical no se usa suelo, el método es distinto al de la agricultura tradicional.

Método de siembra en una granja vertical

La siembra en hidroponía parte de premisas distintas al cultivo en suelo.

- Cultivo en suelo: sembrar directamente en la tierra
- Hidroponía: sembrar en un sustrato

El sustrato es el material que, en lugar del suelo, sostiene las raíces de la planta y suministra agua y nutrientes.

Procedimiento de siembra

El flujo de siembra en hidroponía es el siguiente.

1. Preparación del sustrato: colocar el sustrato en una bandeja dedicada, sumergirlo en agua y humedecerlo suficientemente. 2. Siembra: sembrar en el sustrato con pinzas o con una sembradora dedicada.

- La densidad de siembra varía según el cultivo.
- Después de sembrar, mantener la humedad, por ejemplo cubriendo el recipiente, para evitar que se seque o que las semillas se desplacen.

3. Riego: aplicar agua suavemente con pulverizador u otro método. 4. Reposo: gestionar adecuadamente temperatura, humedad y luz, y esperar la germinación.

Puntos para aumentar la tasa de germinación

Cuando la germinación no va bien, se revisan los siguientes cinco puntos.

- Calidad de las semillas: elegir semillas frescas y con alta tasa de germinación. La temperatura y humedad durante el almacenamiento también influyen.
- Elección del sustrato: según el tipo, cambian la tasa de germinación y el crecimiento.
- Hidratación: asegurarse de que el sustrato absorba suficiente agua. En especial, en los sustratos de espuma de poliuretano, la falta de hidratación tiende a convertirse en una causa principal de mala germinación.
- Gestión de temperatura: la temperatura adecuada para germinar varía según el cultivo.
- Riego uniforme: si la presión de agua es demasiado fuerte o hay irregularidad, las semillas se desplazan o la germinación se vuelve irregular. Regar de forma suave y uniforme.

La siembra es el primer paso del manejo del cultivo. Una desviación aquí afecta a todos los procesos posteriores.

Producción de plántulas



El proceso siguiente a la siembra es la «producción de plántulas». Se refiere al período en el que las plántulas germinadas se cultivan hasta que pueden soportar el trasplante.

Por qué es importante la producción de plántulas

Después de la siembra, al período en que las plántulas crecen hasta cierto tamaño se lo llama «período de producción de plántulas». En una granja vertical, a veces se instala una sala dedicada de producción de plántulas o estantes de producción de plántulas.

La calidad en la etapa de producción de plántulas se conecta directamente con los resultados de cultivo posteriores.

- Aumento de la tasa de prendimiento: en el trasplante y trasplante definitivo, las raíces se establecen con más facilidad y se adaptan mejor al nuevo entorno.
- Aumento de la velocidad de crecimiento: una plántula fuerte sigue creciendo bien después, y se acorta el período hasta la cosecha.
- Mejora de la calidad: una plántula con buen estado nutricional es resistente a enfermedades.
- Aumento del rendimiento de cultivo: criar plántulas sanas aumenta el rendimiento de cultivo final.

Procedimiento de producción de plántulas

La preparación del entorno de producción de plántulas en hidroponía es la siguiente.

- **Temperatura:** configurarla según el cultivo y la etapa de crecimiento. En lechuga, es común gestionar la temperatura del aire de la sala de producción de plántulas, no la

temperatura del agua, alrededor de 25 °C. Como las plántulas pequeñas son débiles frente a bajas temperaturas, hay que tener cuidado de no bajarla demasiado.

- **Humedad:** si es demasiado alta, las enfermedades aparecen con facilidad. Como referencia, una humedad relativa (HR) de alrededor del 60-70 %.

- **Luz:** muchas variedades no necesitan luz para la germinación de la semilla en sí, pero cuando después de germinar se expanden los cotiledones y empieza la fotosíntesis, hay que asegurar una cantidad de luz adecuada. Si durante el período de germinación se opera sin aplicar luz, hay que cuidar que no se retrase el inicio de la iluminación después de la expansión de los cotiledones (si se retrasa el inicio de la iluminación, se convierte en causa de etiolación y plántulas débiles).

- **Solución nutritiva:** cuando las plántulas son pequeñas, es común configurar la CE (concentración de solución nutritiva) baja y subirla según el crecimiento. Sin embargo, según mi experiencia, si la gestión es difícil, mantener constante una CE configurada baja tampoco genera problemas prácticos (no significa mantenerla constante en la misma CE alta que en la zona de cultivo principal. Se trata de mantenerla constante en un valor bajo a medio).

Lo importante en la gestión posterior a la germinación es el momento del trasplante. Cuando las plántulas crecen y empiezan a solaparse con las hojas vecinas, es señal de trasplante. Si se dejan así, la luz no llega bien y se dificulta el crecimiento normal.

	A	B	C	D	E	F	G
1		フリル	フリル	フリル	フリル	フリル	フリル
2	播種日	播種数	5日目発芽率	発芽苗	移植数	過不足	備考 ※異常時の対応等
3	2024/05/01	4500	95%	4275	4100	175	
4	2024/05/02	4500	95%	4275	4100	175	
5	2024/05/03	4500	95%	4275	4100	175	翌日の不足分に充当
6	2024/05/04	4500	85%	3825	4100	-275	前日分から充当、不足は翌日分を使用
7	2024/05/05	4500	95%	4275	4100	175	
8	2024/05/06	4500	95%	4275	4100	175	
9	2024/05/07	4500	95%	4275	4100	175	移植時、葉の黄変確認
10	2024/05/08	4500	95%	4275	4100	175	移植時、葉の黄変確認
11	2024/05/09	4500	95%	4275	4100	175	移植時、葉の黄変確認

Llevar registros de producción de plántulas

La producción de plántulas se convierte en el punto de partida del período de cultivo posterior. Si aquí hay errores o problemas, el impacto negativo queda durante mucho tiempo.

Al registrar los datos ambientales y el estado de crecimiento de las plántulas durante el período de producción de plántulas, se obtienen los siguientes beneficios.

- Detección temprana de problemas: se pueden captar antes las señales de mal crecimiento o enfermedad.
- Investigación de causas: cuando ocurre un problema, es más fácil identificar la causa revisando los registros.
- Acumulación de conocimiento práctico: tomando como referencia registros pasados, se puede mejorar el método de producción de plántulas.
- Gestión basada en datos: se puede gestionar con números, no solo con experiencia e intuición.

Al principio, registrar datos puede resultar tedioso. Pero la acumulación cambia mucho la precisión del cultivo. Basta con empezar dentro de lo que se pueda hacer.

Trasplante y trasplante definitivo



Las plántulas que terminaron la producción de plántulas se trasladan a un espacio más amplio.

Trasplante

El trasplante es la tarea de trasladar plántulas a un espacio más amplio. Si las raíces y hojas siguen apretadas, aparecen los siguientes problemas.

- Falta de nutrición: las raíces no pueden absorber suficientes nutrientes y se produce mal crecimiento.
- Falta de luz: las hojas vecinas estorban y disminuye la cantidad de luz por planta.
- Aumento del riesgo de enfermedades: baja la resistencia y se vuelve más fácil enfermar.

Cuando la plántula crece, al trasladarla a un espacio amplio puede absorber suficientes nutrientes y el crecimiento se acelera.

Trasplante definitivo

El trasplante definitivo es el último trasplante que se realiza hacia la cosecha. Al repetir el trasplante por etapas, se elevan tanto la cantidad de cosecha como la calidad.

El problema de una distancia entre plantas demasiado estrecha ya se mencionó, pero si por el contrario es demasiado amplia, ocurre esto.

- Desperdicio de espacio: no se aprovecha el espacio de cultivo limitado.
- Disminución de la cantidad de cosecha: baja la cantidad de cosecha por unidad de superficie.

La granja vertical es un sistema que aumenta la eficiencia de producción apilando camas de cultivo en vertical. Se quiere usar el espacio al máximo, pero si se aprieta demasiado, afecta al crecimiento. Compatibilizar estas dos cosas es importante.

El punto clave del trasplante definitivo es encontrar la «distancia entre plantas óptima» que permita maximizar el número de plantas cultivadas mientras el cultivo crece sin estrés. Es una parte que se ajusta en el sitio de producción para cada combinación de cultivo y equipo.

Cosecha y deshoje



Los procesos finales del cultivo son la cosecha y el deshoje. Es el momento en que las semillas que sembraste se convierten en verduras, pero al mismo tiempo también es el punto de partida de un nuevo proceso hacia la venta.

Cómo avanzar la cosecha en una granja vertical

El trabajo de cosecha en una granja vertical es bastante distinto al cultivo al aire libre. Lo básico es repartir tareas como en una línea de trabajo.

- Cosecha: cosechar las verduras desde la cama de cultivo.
- Transporte: llevar las verduras cosechadas al área de deshoje.
- Deshoje: retirar las hojas que no serán producto.

Se parece a una línea de trabajo de productos industriales, y la división de tareas influye mucho en la eficiencia.

Qué es el deshoje

El deshoje es la tarea de acondicionar las verduras cosechadas. No es una simple cuestión de apariencia; se relaciona con el valor del producto en sí.

Las verduras con una forma ordenada y bien deshojadas tienen efectos como estos:

- se ven frescas y sabrosas
- transmiten sensación de seguridad
- dan una impresión de alta calidad



Fundamentos del deshoje

En el deshoje se presta atención a los siguientes tres puntos.

- Retirar hojas dañadas o descoloridas
- Ordenar la forma
- Ajustarse al estándar

En hortalizas de hoja, se retiran algunas hojas dañadas del exterior y se dejan las hojas limpias del centro. Los criterios de número de hojas, longitud, peso, forma, etc., a veces están definidos con detalle según la fábrica o el cliente.

Un deshoje descuidado recorta los beneficios

Si el deshoje se hace de forma descuidada, impacta directamente en los beneficios de la siguiente manera.

- Disminución del rendimiento de cultivo: se quitan más hojas de las necesarias y disminuye la cantidad que se puede vender.
- Disminución de la calidad: si se hacen heridas o se arrancan hojas, cae el valor del producto.
- Menor eficiencia de trabajo: el trabajo descuidado genera retrabajo y al final toma tiempo.

El deshoje es un proceso conectado directamente con el rendimiento de cultivo, la calidad y la eficiencia de trabajo.

La cosecha y el deshoje son la culminación del cultivo

La cosecha y el deshoje son la parte que corresponde al acabado en el sitio de producción. Se necesitan ambas cosas: velocidad y precisión. Por más cuidadoso que haya sido el manejo del cultivo hasta aquí, si el acabado final es descuidado, todo se arruina.

Trabajo posterior a la cosecha

Con las verduras cosechadas no basta con dejarlas tal como están. La serie de trabajos hasta el envío decide la calidad.



Una carrera contra el tiempo por la frescura

Las verduras empiezan a perder frescura desde el momento en que se cosechan. Cuando baja la frescura, ocurren cambios como los siguientes.

- Apariencia: se pierde la jugosidad y se marchitan.
- Sabor: baja el aroma y aumentan el amargor y la aspereza.
- Valor nutricional: disminuyen vitaminas y minerales.
- Seguridad: las bacterias proliferan con más facilidad y aumenta el riesgo de intoxicación alimentaria.

Para proteger la frescura, hay que realizar adecuadamente el procesamiento posterior a la cosecha.

Cuatro procesos posteriores a la cosecha

El trabajo posterior a la cosecha se divide, en términos generales, en cuatro partes.

1. **Transporte:** llevar las verduras desde el área de cultivo hasta el área de trabajo.

- Gestión de temperatura: mantener una temperatura adecuada también durante el traslado.
- Medidas contra impactos: usar contenedores y carros para absorber golpes.



2. **Pesaje y selección:** garantizar una calidad uniforme. Los estándares de tamaño, forma, peso, etc., varían según la fábrica o el cliente. Se retiran las verduras fuera de estándar. También se puede hacer a mano, pero introducir una seleccionadora automática mejora la eficiencia.

3. **Envasado y embalaje:** colocar las verduras en bolsas o packs.

- Conservación de frescura: con el envase se moderan la respiración y la evaporación de agua.
- Protección: proteger de impactos y heridas durante el transporte.
- Mejora del valor del producto: ordenar la apariencia y transmitir información también con el material de envasado.
- Materiales de envasado: elegir film, bandejas, redes, etc., según el cultivo y el método de venta.

4. **Almacenamiento:** almacenar con temperatura y humedad adecuadas.

- Mantenimiento de frescura: suprimir la respiración con baja temperatura.
- Prevención del deterioro de calidad: evitar secado y pudrición mediante gestión de humedad.

- Higiene de instalaciones: método para prevenir la aparición de enfermedades y plagas
- Gestión de calidad: método para suministrar de forma estable verduras de alta calidad
- Gestión de seguridad: puntos de atención relacionados con la seguridad del trabajo

En especial, a los nuevos empleados se les hace hincapié en que aprendan higiene de instalaciones y gestión de calidad. Mientras participen en el trabajo, los conocimientos mínimos son indispensables.

Educación especializada: principalmente para administradores

Dirigida a empleados que completaron la base, para adquirir conocimientos y habilidades especializados.

- Técnicas de cultivo: método de cultivo de determinados cultivos y control ambiental
- Gestión de equipos: gestión y mantenimiento del sistema de hidroponía, iluminación y equipos de climatización
- Análisis de datos: analizar datos de cultivo y usarlos para detectar problemas y mejorar
- Gestión de calidad: métodos de gestión de calidad y técnicas de inspección más avanzados

La gestión y educación de empleados es un elemento que influye mucho en los resultados de una granja vertical. Comparado con la inversión en equipos, parece discreto, pero en realidad es lo que más funciona.

Aplicación rigurosa de la higiene de instalaciones

El sitio de producción de una granja vertical siempre convive con patógenos y plagas.



Por qué es importante la higiene de instalaciones

Como la granja vertical es un espacio cerrado, una vez que aparece una enfermedad se extiende de golpe. Para mohos y bacterias que prefieren alta temperatura y alta humedad, una granja vertical que no está bien gestionada es un lugar de proliferación ideal.

Tres pilares de la higiene de instalaciones

1. Separación de zonas (configuración de zona limpia)

Es un método que divide las áreas dentro de la fábrica según el grado de limpieza, y es la base de la higiene de instalaciones.

- Zona sucia: exterior de la fábrica, entrada de materiales, vestuario, etc.; zonas con mucho contacto con el exterior
- Zona de transición: zona donde se hacen los preparativos para entrar al área de cultivo. Cambio a ropa de trabajo, lavado de manos y desinfección.
- Zona limpia: áreas como el área de cultivo, donde es necesario mantener el mayor grado de limpieza

El flujo de personas se fija en una sola dirección, zona sucia → zona de transición → zona limpia. Antes de entrar en la zona limpia, siempre se pasa por la zona de transición, se eliminan allí las fuentes de contaminación mediante cambio de ropa, lavado de manos y desinfección, y luego se entra en la zona limpia (no se entra en la zona limpia pasando de largo la zona de transición). Si solo se depende de que los empleados «tengan cuidado», el entorno sanitario se desordena enseguida. Es importante ordenarlo con reglas y mecanismos.

2. Limpieza, desinfección y esterilización

Todos los lugares y equipos dentro de la fábrica se limpian y se someten periódicamente a desinfección y esterilización. El principio es realizar primero la limpieza (lavado físico) y después la desinfección (esterilización). Si se rocía desinfectante mientras quedan materia orgánica o restos vegetales, el efecto cae mucho, por eso no se debe invertir el orden del proceso.

- Limpieza (lavado): quitar físicamente la suciedad y los restos vegetales. El alcance es amplio: área de cultivo, área de trabajo, equipos de hidroponía, piso, paredes, luminarias, equipos de climatización, etc.

- Desinfección (esterilización): después de la limpieza, eliminar con desinfectante los patógenos que no se pueden retirar con el lavado.
- Forma de pensar la frecuencia: no es realista limpiar a fondo todos los lugares todos los días. Dar prioridad a lugares con humedad alta, lugares que se ensucian con facilidad y lugares que las personas tocan con frecuencia.
- Registro: dejar registro de los lugares limpiados y la fecha y hora ayuda a evitar omisiones y a investigar causas.

名前ボックス (Ctrl + J)		B	C	D	E	F	G	H	I
1			【日次・週次】栽培室						
2	清掃実施期間:	から	まで						
3	清掃箇所	詳細	清掃方法	月	火	水	木	金	土
4	栽培ラック	プラスチック部	ゴミ取り→ワイパー						
5	栽培ラック	金属部	アルコール拭き						
6	高所作業車	全般	ゴミ取り						
7	コンベア	全般	アルコール拭き						
8	計量器	全般	アルコール拭き						
9	計量台	全般	アルコール拭き						
10	脚立	全般	アルコール拭き						
11	床	全般	ほうきがけ→水洗い→ワイパー						
12	排水溝	全般	ゴミ取り→水洗い						
13	ゴミ箱	本体	ゴミ取り→水洗い						
14	除湿機	フィルター	水洗い						
15	除湿機	内部	アルコール拭き						
16	除湿機	外装	アルコール拭き						
17	高所作業車	全般	アルコール拭き						
18	スイッチ	全般	アルコール拭き						
19	清掃用具	全般	アルコール拭き						
20	清掃用具ラック	全般	アルコール拭き						
21									
22			清掃担当者						

Como en muchas hortalizas de hoja no se lava después de la cosecha, el entorno sanitario durante el cultivo se convierte tal cual en el estado higiénico del producto.

3. Higiene del personal

Las acciones de cada persona que trabaja en el sitio de producción determinan la entrada y propagación de patógenos y plagas.

- Lavado de manos: hacerlo a fondo y con frecuencia, antes de entrar a la fábrica, antes y después de trabajar, después de ir al baño, etc.
- Uso de ropa dedicada: usar ropa de trabajo, gorro, mascarilla y guantes dedicados.
- Gestión de salud: en caso de resfriado o malestar físico, descansar sin forzarse.



Sin embargo, lograr que todos tengan una alta conciencia sanitaria requiere tiempo y educación. En el corto plazo, es realista pensar en garantizarlo mediante mecanismos.

Puntos clave de la higiene de instalaciones

Los puntos dentro de la fábrica que requieren especial atención son los siguientes.

- **Entradas y salidas:** rutas de entrada por las que entran y salen personas y objetos con frecuencia. Evitar la entrada de plagas y otros contaminantes con cortinas de aire y trampas adhesivas.
- **Piso:** tienden a acumularse suciedad y gotas de agua, y se convierte en foco. Son importantes la limpieza, desinfección y esterilización periódicas, y asegurar el drenaje.
- **Paredes:** por la condensación, aparece moho con facilidad. Tener presente la prevención de condensación y el secado.
- **Equipos de hidroponía:** el tanque de solución nutritiva y las tuberías son lugares donde los patógenos proliferan con facilidad. Son puntos donde se acumulan fácilmente restos de hojas y raíces, y son difíciles de limpiar. Limpiarlos y someterlos a desinfección y esterilización de forma consciente.
- **Equipos de climatización:** la obstrucción de filtros y la suciedad interna causan baja eficiencia de climatización y averías. Realizar periódicamente limpieza y cambio de filtros, y limpieza interna.
- **Mesas de trabajo y materiales de cultivo:** la adhesión de suciedad y restos se convierte en fuente de proliferación de patógenos y aparición de plagas. Después de usarlos, limpiarlos siempre y someterlos a desinfección y esterilización.

La higiene de instalaciones es un trabajo discreto, pero es una tarea que sostiene desde la base la calidad y seguridad de una granja vertical.

Análisis de datos

El otro pilar de la gestión de operaciones es el análisis de datos. Al oír «análisis», quizá uno se ponga en guardia, pero la idea básica es simple.

Por qué es importante el análisis de datos

En una granja vertical se pueden tomar diversos datos: temperatura, humedad, luz, concentración de CO₂, componentes de la solución nutritiva, etc.

En la agricultura tradicional, el manejo del cultivo basado en la experiencia y la intuición era la corriente principal. También en la granja vertical la experiencia y la intuición son importantes, pero con eso solo hay límites. Si se usan datos, se vuelve posible lo siguiente.

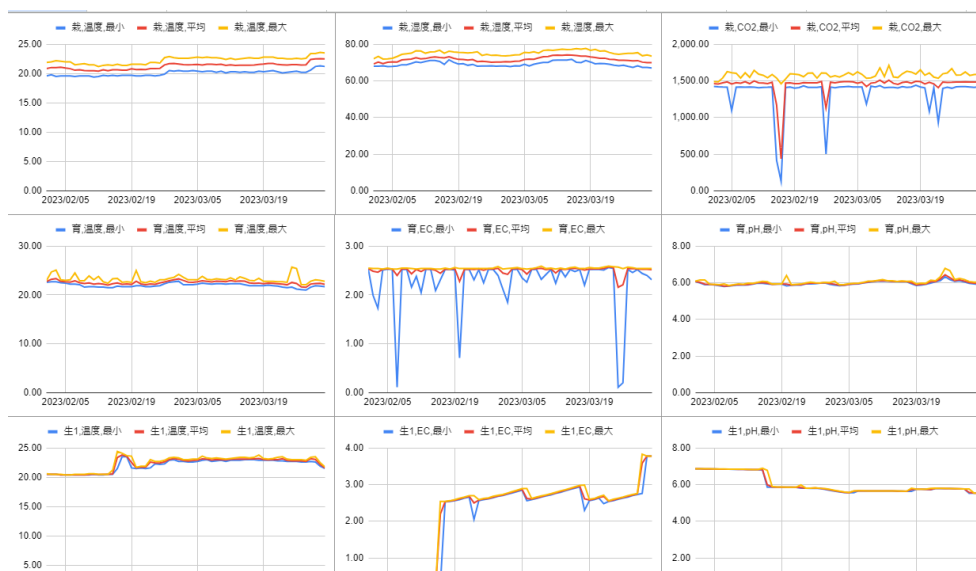
- Detección temprana de problemas: se pueden captar antes las señales de mal crecimiento o enfermedad.
- Identificación de la causa: cuando ocurre un problema, se puede acotar la causa a partir de los datos.
- Ejecución de medidas de mejora: las mejoras basadas en datos también son fáciles de verificar en cuanto a su efecto.
- Acumulación de conocimiento práctico: la acumulación de datos se convierte en el conocimiento práctico propio de esa fábrica.

Datos que se deben recopilar en una granja vertical

Los datos que se deben recopilar principalmente son de tres tipos.

1. Datos ambientales: datos que cuantifican el entorno dentro de la fábrica. 2. Datos de crecimiento: datos que cuantifican el crecimiento y el estado de las plantas. 3. Datos de trabajo: registros del contenido de trabajo relacionado con el manejo del cultivo.

Al gestionar estos datos en un cuaderno dedicado o en una hoja de cálculo como Excel, se va formando la «historia clínica» de la fábrica. (Los anteriores son ejemplos representativos; hay muchos otros)



Fundamento del análisis de datos: primero, «visualización»

Los datos no tienen sentido solo por recopilarlos. El primer paso es visualizarlos en gráficos.

- Gráfico de líneas: adecuado para ver cambios con el paso del tiempo
- Gráfico de barras: adecuado para comparar tamaños de varios datos
- Gráfico de dispersión: adecuado para investigar la relación entre dos datos

Cualquier herramienta sirve, pero las hojas de cálculo como Excel son fáciles para empezar porque tienen bajo costo y cualquiera puede usarlas.

Ejemplo práctico de análisis de datos

Forma de pensar cuando aparece mucha quemadura de puntas

Supongamos que en el cultivo de lechuga aparece mucha quemadura de puntas.

Se recopilan los datos ambientales del área de aparición y los datos de análisis de la solución nutritiva, y se comparan a lo largo del tiempo. Entonces se ve una tendencia como «la aparición coincide con períodos de humedad alta».

Al revisar la literatura, se encuentra que en un entorno de humedad alta baja la transpiración y se obstaculiza el suministro de calcio hacia las hojas. Si se entiende que la causa es la combinación de humedad y calcio, eso permite definir medidas concretas como introducir deshumidificadores o revisar la gestión de humedad.

Ese es el flujo completo del análisis de datos. Se avanza en el orden hipótesis → datos → verificación → medidas.

Resumen

El análisis de datos es un método para introducir reproducibilidad y verificabilidad en el mundo agrícola, que se ha basado en la experiencia y la intuición. Es indispensable para aprovechar la fortaleza de una granja vertical.

La «plantilla de gestión de operaciones» que ofrezco en mi sitio es una herramienta para recopilar y analizar datos.

■Gratis■13 tipos de plantillas para usar en la gestión de operaciones de una granja vertical
<https://pfboost.com/es/templateform/>

Resumen del capítulo 3

- El plan de producción se elabora en tres pasos: «previsión de demanda → formulación del plan → gestión del avance»
- Desde la siembra hasta la producción de plántulas, el trasplante, el trasplante definitivo y la cosecha, cada proceso influye en la calidad posterior
- El transporte, la selección, el envasado y el almacenamiento posteriores a la cosecha son el último bastión para proteger la «frescura»
- La educación de empleados avanza con dos pilares: «educación básica» y «educación especializada»
- La higiene de instalaciones tiene tres pilares: «separación de zonas», «limpieza, desinfección y esterilización» e «higiene del personal»
- El análisis de datos permite la detección temprana de problemas y la identificación de causas

Más allá de los conocimientos básicos: cómo crear una granja vertical rentable

Hasta aquí he explicado los conocimientos básicos de gestión de operaciones. Todos son contenidos importantes para trabajar, pero lo que finalmente se exige a un administrador de sitio de producción es la «rentabilidad». Es el indicador de cuánto beneficio puede generar el negocio.

La brecha entre conocimientos básicos y rentabilidad

Cuando se aprenden los conocimientos básicos, después surgen preguntas como estas.

Por ejemplo, en este libro expliqué políticas contra la etiolación como «aumentar la cantidad de luz», «ajustar la densidad de plantación» y «aplicar a fondo la gestión de temperatura».

Pero en un sitio de producción real surgen preguntas como:

- concretamente, qué cantidad de luz debe configurarse
- si hay algún método para aumentar la cantidad de luz mientras se contiene la factura eléctrica
- cómo decidir el ajuste de la densidad de plantación en equilibrio con la cantidad de cosecha
- cómo equilibrar un control estricto de la temperatura y el costo

Para elevar la rentabilidad, hay que resolver estas preguntas ajustándolas a la situación de la propia fábrica.

Los puntos que se convierten realmente en temas de discusión son diversos, por ejemplo:

- diseñar minuciosamente el proceso de cultivo y eliminar desperdicios
- ajustar finamente los componentes de la solución nutritiva y reducir el costo de fertilizantes
- introducir herramientas y sistemas que mejoren la eficiencia de trabajo
- construir canales de venta propios y vender a un precio más alto

Hacia el siguiente paso

En este libro he seleccionado cuidadosamente los puntos y los he explicado con el objetivo de cubrir en poco tiempo los conocimientos básicos como administrador de una granja vertical.

Como siguiente paso, hay otro libro que reúne en un solo volumen conocimiento práctico especializado en rentabilidad.

172 consejos para aumentar la rentabilidad de una granja vertical: conocimiento práctico pulido durante más de 10 años en el sitio de producción

<https://pfboost.com/es/profitability-of-plant-factories/>

Epílogo

Hasta aquí hemos visto, de forma general, los fundamentos de la granja vertical. Quienes terminaron de leer ya no son principiantes.

La «práctica» que está más allá de los conocimientos básicos

Sin embargo, el conocimiento de este libro no es más que el punto de partida. Solo con esto no basta para lograr que una granja vertical tenga éxito.

- Usar los conocimientos de gestión de temperatura para encontrar la configuración de temperatura óptima para cada cultivo
- Usar los conocimientos de manejo de la solución nutritiva para mejorar la formulación de fertilizantes y compatibilizar reducción de costos y mejora de calidad
- Usar los conocimientos de higiene de instalaciones para construir un sistema riguroso de higiene de instalaciones

Así, asimilar el conocimiento a través de la práctica es el camino más corto hacia el crecimiento.

Hacia un mayor crecimiento

Incluso después de terminar este libro, deberían quedar muchas partes que no se entienden. Como este libro se limita a contenidos básicos, casi no entra en cómo operar concretamente el sitio de producción.

Lo que se conecta directamente con los beneficios es la parte de conocimiento práctico que está más allá de la base.

Si quieres aprender conocimiento práctico más aplicado, o si quieres saber concretamente qué hacer para aumentar los beneficios, visita mi sitio web.

Aunque en algunos lugares se dice que la granja vertical «no gana dinero», según cómo se gestione, yo considero que todavía hay margen de mejora. En el sitio de producción he visto muchas veces escenas en las que pequeñas mejoras se conectan con grandes resultados.

<https://pfboost.com/es/>