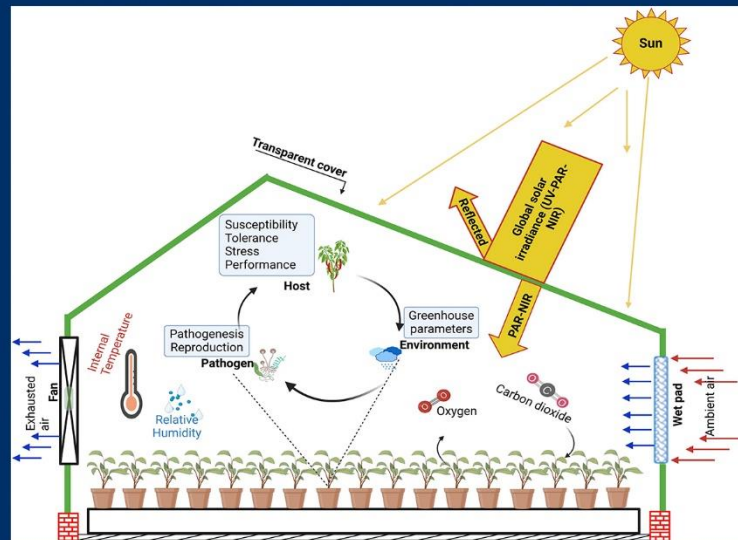


دستورالعمل فنی:

روش‌های اندازه‌گیری و گزارش پارامترهای محیطی در آزمایش‌های گلخانه‌ای

حمید سلیمانی و حسنا کیافر



بسم الله الرحمن الرحيم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

دستورالعمل فنی:

روش‌های اندازه‌گیری و گزارش پارامترهای
محیطی در آزمایش‌های گلخانه‌ای

تهیه و تدوین:

حمید سلیمانی و حسنا کیافر

به ترتیب محقق مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و
کارشناس کشاورزی سازمان بنیاد مستضعفان انقلاب اسلامی

سال انتشار

۱۴۰۴



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی



نوع نوشتار: دستوالعمل فنی
عنوان نوشتار: روش‌های اندازه‌گیری و گزارش پارامترهای محیطی در آزمایش‌های گلخانه‌ای
نگارنده: حمید سلیمانی و حسنا کیافر
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
صفحه‌آرا: شبنم جباری
طراح جلد: سمیه وطن‌دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۴



مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ۶۸۴۰۶ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۴/۰۹/۰۸

مخاطبان نشریه/دستورالعمل

کارشناسان گلخانه، دانشجویان رشته‌های باغبانی و گیاهپزشکی و گلخانه‌داران

هدف‌های آموزشی

شما خوانندگان گرامی در این دستورالعمل:

- متغیرهای مهم در کنترل اقلیم گلخانه
- روش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی گلخانه
- نحوه گزارش نویسی آزمایش‌های گلخانه‌ای

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	مقدمه
۳.....	انطباق و تضمین کیفیت
۴.....	تعاریف
۴.....	۱- تشعشع
۶.....	۲- دما
۶.....	۳- غلظت گاز در هوا
۶.....	بخار آب موجود در هوا
۷.....	دی اکسید کربن در هوا
۸.....	اکسیژن در محلول آبی
۸.....	۴- آب مایع
۸.....	۵- مواد مغذی
۹.....	ابزارها و حسگرهای توصیه شده
۹.....	۱- تشعشع
۱۰.....	۲- دما
۱۱.....	۳- گازها
۱۱.....	بخار آب
۱۳.....	دی اکسید کربن
۱۴.....	اکسیژن محلول
۱۵.....	۴- آب مایع
۱۶.....	۵- مواد مغذی
۱۹.....	پارامترهایی که باید نظارت و ثبت شوند (جدول ۲)
۲۰.....	۱- تشعشع
۲۰.....	اندازه گیری ها
۲۱.....	منابع نور
۲۱.....	تاثیر بر رشد گیاه
۲۲.....	تاثیر بر نمو گیاه
۲۲.....	تأثیر بر مورفوزنر گیاه
۲۲.....	۲- دما

۲۲	اندازه‌گیری‌ها
۲۳	تاثیر بر رشد گیاه
۲۴	تاثیر بر نمو گیاه
۲۴	۳- گازها
۲۴	۳-۱- بخار آب
۲۵	۳-۲- دی اکسید کربن (CO_2)
۲۶	۳-۳- اکسیژن
۲۷	۳-۴- تأثیر آلاینده‌های گازی بر رشد و نمو گیاهان
۲۷	۴- آب مایع
۲۷	مشخصات فنی
۲۸	اندازه‌گیری‌ها
۲۹	تاثیر بر رشد گیاه
۲۹	تاثیر آب بر توسعه گیاه
۲۹	۵- مواد مغذی
۳۰	اندازه‌گیری‌ها
۳۱	۶- ساختار گلخانه، سیستم رشد و سیستم کنترل محیطی / استراتژی
۳۱	۶-۱- تشعشع
۳۵	۶-۳- گازها (از جمله بخار آب)
۳۸	۶-۴- آب مایع
۴۰	۶-۵- تغذیه
۴۱	نحوه گزارش شرایط آزمایشی
۴۵	جدول الف: پارامترهای اولیه - حداقل مجموعه
۴۷	جدول ب: پارامترهای اولیه - پارامترهای مازاد
۴۸	منابع
۵۱	پیوست ۱: ملاحظات اضافی
۵۷	پیوست ۲: مقدمه‌ای بر دستورالعمل‌ها

مقدمه

اهمیت اندازه‌گیری و گزارش‌دهی مناسب و دقیق پارامترهای زیست‌محیطی در علوم گیاهی یکی از جنبه‌های مهم تضمین کیفیت برای همه محققین و تحقیقات آنهاست. نیاز آشکاری برای اطمینان از اینکه تحقیقات در سراسر جهان قابل مقایسه، درک و در صورت لزوم مورد استفاده توسط محققان همکار است، وجود دارد. مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های مشترک برای آموزش، کمک و تشویق مقایسه، اهمیت زیادی دارند. از سوی دیگر، میزان تلاش و توجه به جزئیات توسط یک محقق باید با تحقیق خاصی که در حال انجام است، متناسب باشد. برای مثال، محقق که بر تعاملات نور و دما تمرکز دارد، باید تمام پارامترهای مربوطه را اندازه‌گیری و خلاصه‌ای از آنها را گزارش کند که شامل جزئیات کافی برای تکرار باشد. پژوهشگران می‌بایست ارزیابی از متغیرهایی که در تحقیقات آنها اهمیت اولیه دارند و چگونگی اندازه‌گیری و گزارش آنها، انجام دهند.

این نشریه مجموعه‌ای از پارامترها را گرد هم می‌آورد که باید هنگام انتشار داده‌های علمی آزمایش‌های انجام شده در گلخانه‌ها، ثبت و گزارش شوند. توصیه‌هایی به کاربران نهایی در مورد زمان، چگونگی و مکان اندازه‌گیری این پارامترها همراه با واحدهای استاندارد بین‌المللی مناسب که باید مورد استفاده قرار گیرند، ارائه می‌دهد.

گلخانه‌های تحقیقاتی ابزار مهم محققان برای مطالعه اثرات پارامترهای محیطی بر رشد و نمو طیف وسیعی از گونه‌های گیاهی زراعی و زینتی هستند. علاوه بر این، محیط گلخانه اجازه می‌دهد تا تحقیقات در طول سال ادامه یابد به‌طوری‌که عوامل محیطی خارجی کمترین تأثیر را بر نتایج تحقیقات داشته باشد. طراحی و بهره‌برداری از تأسیسات گلخانه تحقیقاتی به‌طور قابل توجهی از یک مرکز به مرکز دیگر متفاوت است (آدر و اروین^۱، ۲۰۰۸). بنابراین، کنترل دقیق محیطی و جمع‌آوری داده‌ها برای اطمینان از این‌که آزمایش‌ها

¹ Adair and Irwin

می‌توانند به‌اندازه کافی توسط همکاران پژوهشی ارزیابی شوند و در میان امکانات مختلف تکرار شوند، ضروری است.

محقق باید با اصول عملیاتی حسگر(های) مورد استفاده در طول آزمایش آشنا شود. اصل کار و طراحی حسگر توسط سازنده و نصب حسگر خاص، همگی می‌توانند بر خوانش‌های جمع‌آوری شده تأثیر بگذارند. این اثرات باید در هنگام ارزیابی اندازه‌گیری‌ها درک شده و در نظر گرفته شوند. با توجه به تنوع مکانی و زمانی بسیاری از پارامترهای اقلیمی در محیط‌های گلخانه‌ای، بررسی دقیق قرارگیری حسگر، روش پردازش داده‌ها و تأثیری که این تنوع ممکن است بر نتایج تجربی ارائه شده داشته باشد، مهم است.

هنگام گزارش نتایج آزمایشی، توصیه می‌شود که اطلاعات تجهیزات و ابزار (مدل، سازنده، شهر، کشور) شامل اطلاعات مربوط به دقت و صحت، زمانی که برای آزمایش(های) انجام شده اهمیت خاصی دارد، لحاظ شود. علاوه بر این، روش کالیبراسیون و زمان آخرین کالیبراسیون باید گزارش شود. کالیبره کردن حسگرها قبل و بعد از آزمایش، تمرین خوبی است تا هرگونه تغییر در کالیبراسیون را بتوان ارزیابی کرد و در تحلیل داده‌ها گنجانده. کالیبراسیون مجدد کارخانه‌ای حسگرها توصیه می‌شود (توصیه‌های سازنده را دنبال کنید)، و کالیبراسیون مناسب را می‌توان با مقایسه خروجی حسگر با خروجی حسگرهای کالیبره شده که فقط برای کالیبراسیون استفاده می‌شوند، تأیید کرد. حسگرهای کالیبراسیون به کالیبراسیون مجدد دوره‌ای نیاز دارند. در همه موارد، کالیبراسیون چند نقطه‌ای حسگرها توصیه می‌شود (باث^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

این دستورالعمل پارامترهای محیطی را که بر رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارند، توصیف و تشریح می‌کند. پارامترهای مورد بررسی در نوشتار حاضر به پنج دسته تشعشع، دما، گازها، آب و مواد مغذی تقسیم‌بندی شده‌اند. به دلیل اهمیت ساختار گلخانه، سامانه‌های رشد و کنترل محیطی نیز به عنوان ششمین پارامتر بررسی شده است. طراحان گلخانه، مدیران و

¹ Both

محققانی که آزمایش‌های گیاهی را در گلخانه‌ها انجام می‌دهند، تشویق می‌شوند تا شیوه‌های نظارت و گزارش‌دهی مورد بحث در این دستورالعمل‌ها را بررسی و اجرا کنند. دستورالعمل‌ها با یک گزارش نمونه به پایان می‌رسد که توضیح می‌دهد چگونه شرایط محیطی در طول یک آزمایش باید در ادبیات گزارش شود.

انطباق و تضمین کیفیت

تولیدکنندگان (از جمله آنهایی که در مراکز تحقیقاتی فعالیت می‌کنند) در هنگام پرورش گیاهان معمولی، ارگانسیم‌های اصلاح شده ژنتیکی^۱ و یا محصولات قرنطینه‌ای، باید از طیف فزاینده‌ای از مقررات، کدهای عملکرد، قوانین و/یا استانداردها پیروی کنند. برای مثال، انطباق در مورد مدیریت مواد و زباله‌های خطرناک و/یا مقررات محیط زیستی و بهداشتی و ایمنی، مورد نیاز است.

برای آزمایش‌های گلخانه‌ای، هیچ استاندارد وجود ندارد که معادل ISO/IEC 17025 سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) برای آزمایشگاه‌ها و کالیبراسیون تجهیزات باشد (استاندارد ISO/IEC 17025). با این حال، برخی از شیوه‌هایی که آزمایشگاه‌ها برای برآوردن الزامات این استاندارد اتخاذ می‌کنند، می‌توانند برای تحقیقات در تأسیسات گلخانه‌ای مفید باشند. برخی از این شیوه‌ها شامل روش‌های مستندسازی (به‌عنوان مثال کالیبراسیون و اندازه‌گیری)، فهرست کردن تمام کارکنانی که در آن روش‌ها مهارت دارند، سوابق آموزش آنها، و شناسایی حسگرها و تجهیزات است. برای هر مورد از تجهیزات اندازه‌گیری باید یک دفترچه ثبت گزارش وجود داشته باشد که چه زمانی و چگونه کالیبره شده‌اند، چه کسی کالیبراسیون و ثبت هرگونه مشاهدات مربوط به عملکرد را انجام داده است. سوابق مشروح تمام اندازه‌گیری‌ها باید در چندین مکان نگهداری شود.

¹ Genetically Modified Organisms (GMOs)

توصیه می‌شود برای اندازه‌گیری پارامترهای محیطی در محیط‌های گلخانه‌ای از مجموعه‌ای مستقل از حسگرها جدا از حسگرهای نظارت و کنترل، استفاده گردد. دلایل آن عبارتند از:

- حسگرهایی که برای نظارت و کنترل استفاده می‌شوند، ممکن است مشخصات و/یا الزامات عملیاتی مشابه آنچه برای اندازه‌گیری‌های آزمایشی توصیه می‌شود را نداشته باشند (مانند زمان پاسخ، وضوح^۱، مکان فیزیکی).
- حتی اگر حسگرهایی که برای نظارت و کنترل استفاده می‌شوند سرویس و کالیبره شوند، باز هم ممکن است در طول آزمایش دچار اختلال شوند. بنابراین، مجموعه‌ای مستقل از حسگرها اطمینان بیشتری را فراهم می‌کند.
- بسیاری از حسگرها علاوه بر خود پروب، شامل الکترونیک و نرم‌افزاری هستند که سیگنال‌ها را تفسیر و در برخی موارد نمایش می‌دهند. استفاده از پروب‌های مختلف در یک بسته سخت‌افزاری مشابه، تضمین واقعاً مستقلانه‌ای ارائه نمی‌دهد.
- برخی نهادهای نظارتی لازم است که آزمایش‌ها تحت شرایط کنترل شده و همراه با نظارت انجام شوند. در این شرایط، داده‌های ثبت شده از محیط باید یکپارچگی اطلاعات را تضمین کنند؛ به این معنا که داده‌های خام جمع‌آوری شده توسط کاربر نباید تغییر یا دست‌کاری شوند. با این حال، سامانه‌های موجود برای پایش و کنترل محیط گلخانه ممکن است همیشه توانایی تأمین چنین سطحی از یکپارچگی داده را نداشته باشند.

تعاریف

۱- تشعشع^۲

تابش^۳: شار انرژی تابشی در واحد سطح ($\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$ or Wm^{-2})

¹ Resolution

² Radiation

³ Irradiance

فوتون^۱: کوچک‌ترین بسته (ذره) تابش الکترومغناطیسی بدون جرم و بدون بار الکتریکی (تیمیجان^۲ و همکاران، ۱۹۸۳)

تابش فوتون^۳: شار فوتون در واحد سطح (همچنین به‌عنوان چگالی شار فوتون شناخته می‌شود؛ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

تابش فعال فتوسنتزی^۴ (PAR): بخشی از طیف تابش است که طبق تعریف توسط گیاهان برای فتوسنتز استفاده می‌شود (طول موج بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر؛ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

انتگرال تشعشع^۵: تابش تجمعی در یک دوره زمانی مشخص (واحد متداول برای آزمایش‌های گیاهی: $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

نسبت قرمز^۶: قرمز دور^۷ (R:FR): نسبت قرمز به قرمز دور (نسبت تابش ساطع شده در طیف ۶۶۰ و ۷۳۰ نانومتر یا نزدیک به آن).

تابش خورشیدی^۸ (تابش موج کوتاه): تابش ساطع شده از خورشید (تقریباً طول موج بین ۲۸۰ تا ۳۰۰۰ نانومتر؛ Wm^{-2})

طیف^۹: توزیع انرژی (نور) ساطع شده از منبع تابش مربوط به طول موج دسته امواج^{۱۰}: بخش متوالی از طیف تابش

• ۱۰۰ الی ۳۸۰ nm (UV) فرابنفش^{۱۱}

۱- ۱۰۰ الی ۲۸۰ nm (UVC)

۲- ۲۸۰ الی ۳۱۵ nm (UVB)

۳- ۳۱۵ الی ۳۸۰ nm (UVA)

• ۳۸۰ الی ۷۷۰ nm (نور مرئی)

¹ Photon

² Thimijan

³ Photon irradiance

⁴ Photosynthetically active radiation

⁵ Radiation integral

⁶ Red

⁷ far red

⁸ Solar radiation

⁹ Spectrum

¹⁰ Waveband

¹¹ Ultra violet

- ۴۰۰ الی ۷۰۰ nm (PAR)
- ۷۷۰ الی ۳۰۰۰ nm (مادون قرمز نزدیک، NIR)
- ۳۰۰۰ nm mm⁻¹ (مادون قرمز، موج بلند)
- طول موج^۱: فاصله بین یک قله موج نور و قله متناظر بعدی (nm)

۲- دما

- حسگر تنفسی^۲: حسگری درون محفظه‌ای مجهز به فن در پایین آن تا حرکت مداوم هوا در اطراف حسگر (با سرعت هوا تقریباً ۳ متر بر ثانیه) فراهم شود. حسگر باید در مکانی در نزدیکی سایبان محصول قرار گیرد.
- حسگر بدون محافظ^۳: حسگری که کاملاً در معرض محیط قرار دارد.
- حسگر دارای محافظ^۴: حسگری که در برابر تشعشعات خورشیدی محافظت می‌شود اما در معرض حرکت غیرفعال هوا قرار دارد.
- دمای سطح^۵: دمای سطح یک جسم برحسب درجهٔ سلسیوس که براساس قانون استفان بولتزمن، تعیین می‌کند چه مقدار انرژی به محیط اطراف خود می‌تاباند.

۳- غلظت گاز در هوا

بخار آب موجود در هوا

- دمای نقطه شبنم^۶: دمایی که هوا باید قبل از اینکه بخار آب موجود در هوا شروع به متراکم شدن کند، خنک شود (°C).

¹ Wavelength

² Aspirated sensor

³ Exposed sensor

⁴ Shielded sensor

⁵ Surface temperature

⁶ Dew point temperature (T_{dp})

- دمای حباب خشک^۱: دمایی که توسط یک دماسنج که آزادانه در معرض هوا قرار دارد اما در برابر تشعشع و رطوبت (T_{db}) محافظت می‌شود، اندازه‌گیری می‌شود (درجه سلسیوس).
- نسبت رطوبت^۲: نسبت جرم بخار آب به واحد جرم هوای خشک (حالی بخار آب و سایر اجزای گازی) (kg/kg)
- فشار بخار جزئی^۳: فشار بخار آبی که به تنهایی حجمی از هوا را اشغال کند (به استثنای فشار حاصل از سایر اجزای هوا) (برحسب Pa)
- رطوبت نسبی^۴: نسبت فشار بخار جزئی (e) به فشار بخار اشباع (e_{sat}) در دمای حباب خشک.
- کمبود فشار بخار^۵: تفاوت بین فشار اعمال شده توسط بخار آب در حجمی از هوا در دمای معین و فشاری که بخار آب آن حجم می‌تواند در صورت اشباع بودن هوا در همان دما اعمال کند (kPa).
- دمای حباب مرطوب^۶: کمترین دمایی است که می‌توان پس از تبخیر آدیاباتیک آب خالص از فتیله‌ای که در اطراف حباب دماسنج تنفسی (T_{wb}) قرار می‌گیرد، اندازه‌گیری کرد (درجه سلسیوس).

دی اکسید کربن در هوا

غلظت دی اکسید کربن اتمسفر^۷: غلظت مولکول‌های دی اکسید کربن در مخلوطی از هوا $[CO_2] (\mu mol\ mol^{-1})$.

¹ Dry bulb temperature

² Humidity ratio (w)

³ Partial vapour pressure (e)

⁴ Relative humidity (RH)

⁵ Vapour pressure deficit (VPD)

⁶ Wet bulb temperature

⁷ Atmospheric CO₂ concentration

اکسیژن محلول در آب

غلظت اکسیژن محلول^۱: میزان غلظت مولکول‌های اکسیژن در یک محلول آبی
 $[O_2] \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$.

۴- آب مایع

محتوای حجمی آب (یا رطوبت)^۲: حجم آب موجود در یک واحد حجم خاک که به‌طور گسترده مورد استفاده بوده و با انواع حسگرهای رطوبت خاک به‌صورت کسر بدون بعد اندازه‌گیری و گزارش می‌شود (θ_v).

محتوای آب (یا رطوبت) وزنی^۳: عبارت است از نسبت جرم آب موجود در خاک به جرم خشک همان خاک. برای اندازه‌گیری این شاخص، ابتدا خاک توزین می‌شود، سپس در دمای ۱۰۵ درجه سلیسیوس خشک می‌گردد و دوباره توزین انجام می‌شود. اختلاف جرم نمونه قبل و بعد از خشک شدن بیانگر مقدار آب موجود در خاک است. این شاخص به‌صورت یک کسر بدون بعد گزارش می‌شود (θ_m).

پتانسیل ماتریک^۴: مکش رطوبت خاک در محیط رشد (خاکی و یا بسترکشت مصنوعی) است که حاصل برهمکنش بین آب و ماتریس ذرات جامد می‌باشد (برحسب kPa یا ψ_m).

۵- مواد مغذی

غلظت مواد مغذی: غلظت یک عنصر معدنی در محلول مایع یا در محیط رشد {عناصر}
 $(\text{mmol L}^{-1}, \text{mol kg}^{-1}, \text{g L}^{-1})$.

¹ Dissolved oxygen concentration

² Volumetric water (or moisture) content

³ Gravimetric water (or moisture) content

⁴ Matric potential

ابزارها و سنسورهای توصیه‌شده

۱- تشعشع

انتخاب حسگر تشعشع بستگی به بررسی محتوای انرژی یا محتوای فوتون کمیت مورد نظر دارد. حسگرهای تشعشع اصولاً برای هدف خاصی انتخاب می‌شوند. برای جلوگیری از سایه یا اغتشاش ناشی از سطوح بازتابنده، باید موقعیت حسگر را به دقت در نظر گرفت (مرکز محیط‌زیست لنکستر، بریتانیا).

رادیومتر خالص^۱: تفاوت بین تشعشعات ورودی و خروجی را برحسب وات بر مترمربع (Wm^{-2}) اندازه‌گیری می‌کند. این حسگر معمولاً برای ارزیابی محیطی انرژی تابشی در گلخانه استفاده می‌شود.

پیرانومتر^۲: تابش کل خورشید را بر حسب وات بر مترمربع (Wm^{-2}) اندازه‌گیری می‌کند. این حسگر معمولاً برای ارزیابی انرژی تابشی دریافتی از خورشید استفاده می‌شود.

حسگر کوانتومی^۳: تابش فعال فتوسنتزی را برحسب میکرومول بر مترمربع در ثانیه ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$) اندازه‌گیری می‌کند (شکل ۱).

طیف رادیومتر^۴: این حسگر شار را در فواصل طول موج مجزا در یک باند موج خاص اندازه‌گیری می‌کند. این حسگر هنگام ارزیابی تشعشعات ساطع شده از سیستم‌های روشنایی LED توصیه می‌شود، زیرا باند موج باریک ساطع شده از منابع LED همیشه به‌طور دقیق توسط حسگرهای تابشی دیگر اندازه‌گیری نمی‌شود.

¹ Net radiometer

² Pyranometer

³ Quantum sensor

⁴ Spectroradiometer



شکل ۱. حسگر کوانتومی نصب شده روی یک صفحه تراز در بالای پوشش گیاهی برای اندازه‌گیری تابش فعال فتوسنتزی (PAR).

۲- دما

- دماسنج مادون قرمز: یک حسگر غیرتماسی مناسب برای اندازه‌گیری دمای سطح است (به عنوان مثال برگ). دماسنج‌های مادون قرمز معمولاً دارای میدان دید مخروطی هستند که به ساخت و مدل حسگر و فاصله از سطح اندازه‌گیری شده، بستگی دارد.
- دستگاه دمای مقاومتی^۱ (RTD): این حسگر بر اساس این اصل عمل می‌کند که مقاومت الکتریکی در یک سیم یا فیلم نازک تابعی از دما است. سیم یا فیلم نازک اغلب از پلاتین ساخته شده و در مواد دیگری (مانند سرامیک یا شیشه) محصور می‌شود.

¹ Resistance temperature device

- ترمیستور^۱: این حسگر بر اساس تغییر مقاومت الکتریکی در یک ماده سرامیکی یا پلیمری که تابع دما است، کار می‌کند. ترمیستورها معمولاً دقت بالاتری در محدوده دمایی محدودتری نسبت به دستگاه‌های دمای مقاومتی (RTD) دارند.
- ترموکوپل^۲: این حسگر از دو سیم ساخته شده از فلزات مختلف تشکیل شده است که در یک انتها به هم جوش خورده‌اند و یک اتصال (جوشگاه) را تشکیل می‌دهند. این اتصال ولتاژی تولید می‌کند که تابعی از اختلاف دما بین این اتصال و انتهای دیگر دو سیم است. برای اندازه‌گیری دقیق دما، نیاز به اندازه‌گیری دمای مرجع دقیق در نقطه اتصال این دو سیم به دستگاه (ترمینال) است.

۳- گازها

بخار آب

- رطوبت سنج خازنی^۳: حسگری که تغییرات مقاومتی یا خازنی مواد را اندازه‌گیری می‌کند (شکل ۲). یک حسگر رطوبت خازنی از یک لایه پلیمر نازک تشکیل شده است که بین دو الکترود قرار گرفته است و ظرفیت آن را ثبت می‌کند. این حسگرها ارزان و کوچک هستند و نیاز به نگهداری کمی دارند. آنها دارای محدوده اندازه‌گیری گسترده (۰-۱۰۰٪)، محدوده دمایی گسترده، پایداری بالا، زمان پاسخ سریع بوده و در برابر آلودگی بسیار مقاوم هستند. این حسگرها در رطوبت کم ($>0.5\%$) دقت خود را از دست می‌دهند و برای تبدیل ظرفیت خازنی به رطوبت نسبی نیاز به محاسبات دارند.

¹ Thermistor

² Thermocouple

³ Capacitance hygrometer



شکل ۲. نمونه‌هایی از حسگرهای بخار آب (رطوبت)، سمت چپ رطوبت سنج خازنی نسبتاً ارزان قیمت و سمت راست روان سنج اولیه گران‌تر

- رطوبت‌سنج نقطه شبنم^۱ (نم سنج متراکم): حسگری است که پراکندگی نور منعکس شده از آینه‌ای که تا حدی سرد می‌شود تا تراکم آب اتفاق می‌افتد را اندازه‌گیری می‌کند. حسگرهای دمای نقطه شبنم گران هستند و نیاز به تمیز کردن مکرر دارند زیرا آلودگی روی آینه می‌تواند باعث خطا شود. این حسگرها جز ادوات اندازه‌گیری دقیق هستند (± 0.1 درجه سلسیوس) و در محدوده وسیعی (-100 تا $+100$ درجه سلسیوس) قابل استفاده هستند و فرآیند اندازه‌گیری بین تشکیل یخ یا شبنم روی آینه باعث ایجاد تمایز نمی‌گردد.
- سایکرومتر^۲: وسیله‌ای است که از دو دماسنج همسان تشکیل شده است که هوا از روی آن عبور می‌کند (شکل ۲). مخزن یکی از دماسنج‌ها با پارچه یا فتیله خیس شده (با آب خالص) پوشیده شده است. این حسگرهای به اصطلاح لامپ مرطوب و خشک

¹ Dew point hygrometer

² Psychrometer

نسبتاً ارزان هستند، پایداری خوبی دارند و تراکم را بدون آسیب تحمل می‌کنند و دقت عملکرد آن‌ها در محدوده $\pm 2\%$ تا $\pm 5\%$ از مقدار واقعی است لیکن تحت تأثیر آلودگی (کثیفی یا رسوبات) روی پارچه/فیلته قرار گرفته و نیاز به رطوبت اتمسفر دارند. با استفاده از معادلات سایکرومتریک یا به راحتی با جدول سایکرومتریک (نمودار مولیر) دما به وسیله آن‌ها محاسبه می‌شود.

دی اکسید کربن

• حسگر دی اکسید کربن مادون قرمز غیر پراکنده (NDIR)^۱: گاز دی اکسید کربن، تابش مادون قرمز بین ۴۰۰۰ تا ۴۵۰۰ نانومتر را جذب می‌کند (شکل ۳). این جذب را می‌تواند مبنای اندازه‌گیری غلظت دی اکسید کربن حجمی با حسگرهای دی اکسید کربن مادون قرمز غیرپراکنده (NDIR) باشد. از آنجایی که بخار آب به‌ویژه در باند موج ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ نانومتر، تشعشعات مادون قرمز را نیز جذب می‌کند، بخار آب باید قبل از اندازه‌گیری حذف گردد (مثلاً با خشک کردن با یک ماده خشک‌کن). قرائت حسگر باید با در نظر گرفتن وجود بخار آب تنظیم گردد، یا به‌طور متناوب، یک فیلتر عبور (تداخل سنچ) در جلوی آشکارساز مادون قرمز نصب کرد تا مطمئن شد که تنها طول موج‌هایی که توسط دی اکسید کربن جذب می‌شوند، قادر به رسیدن به آشکارساز هستند. کالیبراسیون صفر حسگر با تامین گاز نیتروژن خالص انجام می‌شود. سپس کالیبراسیون اضافی را می‌توان با استفاده از گاز کالیبراسیون با غلظت دی اکسید کربن شناخته شده در انتهای بالای محدوده اندازه‌گیری انجام داد. هنگامی که نمونه‌های هوا از بخش‌های گرم گلخانه گرفته شده و به حسگر دی اکسید کربن که در بیرون گلخانه (و در دمای پایین‌تر) قرار دارد پمپ می‌شوند، باید مراقب بود که در لوله نمونه‌گیری، سیستم پمپاژ و اجزای حسگر تراکم (کندانس شدن بخار آب) رخ ندهد.

¹ Non-dispersive infrared (NDIR)
CO2 sensor



شکل ۳- حسگر دی اکسید کربن مادون قرمز غیر پراکنده (NDIR)

اکسیژن محلول

اکسیژن سنج محلول^۱: غلظت اکسیژن محلول (DO) در یک محلول غذایی به راحتی با دستگاه DO متر اندازه گیری می شود (شکل ۴). جزء حسگر یک DO متر، یک کاوشگر پلاروگرافی، شامل یک آند و یک کاتد غوطه‌ور در یک الکترولیت (مثلاً کلرید پتاسیم) است که توسط یک غشای نیمه‌تراوا در جای خود نگه داشته می‌شود. حسگرهای بسیار کوچک DO اکسیژن بسیار کمی مصرف می‌کنند و نیازی به هم زدن محلول نمی‌باشد. یک پروب DO به مراقبت ویژه نیاز دارد و غشاء باید مرطوب نگه داشته شود و پروب با الکترولیت پر شود. الکترودها را می‌توان با فرو بردن آنها در هیدروکسید آمونیوم تمیز کرد. کنترل باید به طور منظم کالیبره شود (به‌عنوان مثال با استفاده از کالیبراسیون دو نقطه‌ای صفر و ۱۰۰٪ آب اشباع از هوا).

¹ Dissolved Oxygen meter



شکل ۴- اکسیژن سنج محلول

۴- آب مایع

برای خواص محیط ریشه‌زایی و/یا آب آبیاری:

- دستگاه اندازه‌گیری اکسیژن محلول (به بخش «۳. اکسیژن محلول» در بالا مراجعه شود)
- دستگاه اندازه‌گیری رسانایی الکتریکی (EC): این حسگر، رسانایی الکتریکی محلول غذایی را بر اساس میزان کل نمک‌های محلول (مواد مغذی) و غلظت یون‌های حاصل را اندازه‌گیری می‌کند. در محلول‌هایی که شامل یون‌های چندین عنصر مختلف هستند، این حسگر قادر به اندازه‌گیری غلظت هر عنصر به صورت جداگانه نیست. اندازه‌گیری EC نشان‌دهنده غلظت کلی مواد مغذی در محلول است. اگر نیاز به اندازه‌گیری غلظت عناصر فردی باشد، می‌توان از حسگرهای یون انتخابی استفاده کرد (به بخش «۵. مواد مغذی» در پایین مراجعه شود). دستگاه‌های EC متر کم‌هزینه هستند و می‌توان آنها را با محلول‌های کالیبراسیون تجاری، کالیبره کرد. اندازه‌گیری‌های EC معمولاً همراه با اندازه‌گیری pH انجام می‌شود تا ارزیابی سریع و آسانی از کیفیت شیمیائی منطقه ریشه یا آب آبیاری به دست آید.
- حسگر دمای خاک / محیط / مایع (به بخش «۲. دما» در بالا مراجعه شود).

۵- مواد مغذی

- ترازو: علاوه بر سنسورهای توضیح داده شده در بخش «۴. آب مایع»
 - باید از ترازویی با دقت کافی (برای مثال 0.01 گرم یا وضوح نمایش $1 \pm$) جهت توزین مقدار صحیح کود (حاوی یک یا چند ماده غذایی) استفاده شود. همچنین باید دوره‌های کالیبراسیون ترازو ثبت گردد.
 - اگرچه برخی حسگرهای یون‌گزین (Ion-selective) به‌تازگی در دسترس قرار گرفته‌اند، اما به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرند؛ دلیل آن نگرانی از قیمت، پایداری و طول عمر آن‌هاست. این وضعیت ممکن است در آینده تغییر کند. با این حال، در صورت استفاده از این سنسورها، باید شرکت سازنده و مدل، همراه با دقت اندازه‌گیری و تناوب کالیبراسیون گزارش شود.
- در جدول شماره (۱) ابزار و حسگرهای اندازه‌گیری و کالیبراسیون آن‌ها بیان شده است

جدول ۱: ابزار و حسگرهای اندازه‌گیری و کالیبراسیون آن‌ها (بات و همکاران، ۲۰۰۸)

کمیت مورد اندازه‌گیری	واحد‌ها	اندازه‌گیری شده توسط	دقت ابزار ۲	دقت خواندن ۲	نحوه کالیبراسیون
تابش – تشعشع (PAR^1)	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	حسگر کوانتومی	$\pm 1\%$	$\pm 10\%$	مقایسه با یک حسگر مرجع یا با یک لامپ کوارتز هالوژن استاندارد قابل ردیابی به یک استاندارد ملی (مثلاً NIST ایالات متحده). یک بار در سال
تابش – تشعشع (خالص)	W m^{-2}	رادیومتر خالص	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	مقایسه با یک دستگاه مرجع یا در یک محفظه کالیبراسیون با دمای کنترل شده که قادر به ارزیابی هر دو باند موج کوتاه و بلند باشد. این کار باید سالی یک‌بار انجام شود.
تابش – تشعشع (طیفی)	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{nm}^{-1}$	اسپکترو رادیومتر	$\pm 1\%$	$\pm 5\%$	مقایسه با یک دستگاه مرجع یا در برابر یک منبع استاندارد تابش (مانند استاندارد ASTM G138-06). این فرآیند باید سالی یک‌بار انجام شود.
چگالی تابش (خورشیدی)	W m^{-2}	پیرانومتر	$\pm 1\%$	$\pm 5\%$	مقایسه با یک دستگاه مرجع یا در برابر یک منبع تابش استاندارد (قابل ردیابی به مرجع تابش‌سنجی جهانی (<i>World Radiometric Reference</i>) - در یک کره انتگرالی (<i>integrating sphere</i>)). این فرآیند باید سالی یک‌بار انجام شود.
تابش – تشعشع (انتگرال)	MJ m^{-2} یا $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$	محاسبه شده از داده‌های تشعشع تجمعی	-	-	-
دمای هوا	$^{\circ}\text{C}$	RTD، ترموکوپل یا ترمیستور (سایه‌دار و تنفس شده در هوا با سرعت $\leq 3 \text{ m s}^{-1}$)	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$	مقایسه با یک دماسنج مرجع (برای مثال قابل ردیابی به NIST ایالات متحده) از طریق قرار دادن در یخ خردشده در حال ذوب و آب مقطر در حال جوش. این فرآیند باید سالی یک‌بار انجام شود.
دمای بستر	$^{\circ}\text{C}$	RTD، ترموکوپل یا ترمیستور (از تماس خوب با بستر اطمینان حاصل کنید)	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	مانند شرایط بالا.

۱- به‌عنوان تابش فعال فتوسنتز $400 - 700$ (نانومتر) برای استفاده عمومی و توصیف چگالی شار فوتون فتوسنتزی (PPFD) توسط بسیاری از مجلات، انجمن‌های حرفه‌ای و تولیدکنندگان حسگرهای کوانتومی.

۲- دقت میزان نزدیکی مقادیر اندازه‌گیری شده به یکدیگر است. دقت این است که یک مقدار اندازه‌گیری شده چقدر به مقدار واقعی (واقعیت) نزدیک است.

ادامه جدول ۱: ابزار و حسگرهای اندازه‌گیری و کالیبراسیون آن‌ها

کمیت مورد اندازه‌گیری	واحد‌ها	اندازه‌گیری شده توسط	دقت ابزار ۲	دقت خواندن ۲	نحوه کالیبراسیون
دمای سطح	°C	حسگر دمای مادون قرمز، ترموکوپل سیم ریز	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$	حسگر مادون قرمز: مقایسه با یک دماسنج سطح مرجع نصب شده بر روی همان سطح در میدان دید حسگر مادون قرمز. ترموکوپل: مانند بالا.
رطوبت اتمسفر؛ رطوبت نسبی یا کمبود فشار بخار (VPD)	درصد یا کیلو پاسکال (kPa)	ظرفیت الکتریکی (Capacitance)، حسگر نقطه شبنم، رطوبت‌سنج، یا آنالایزر گاز مادون قرمز	رطوبت نسبی: $\pm 2\%$ دمای نقطه شبنم: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی گراد $\pm 3\text{VPD}$ کیلو پاسکال	$\pm 5\%$ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.5\text{ kPa}$	مولد رطوبت؛ استانداردهای کالیبراسیون محلول نمک غیراشباع (رطوبت نسبی ۳۵٪ و ۸۰٪) یک بار در سال.
سرعت هوا	m.s^{-1}	بادسنج (محدوده ۰.۱ – ۱۵.۰ m.s^{-1})	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	تونل باد، یک بار در سال.
pH		پروب pH محدوده (۱۰–۳)	$\pm 0.1\text{ pH}$	$\pm 0.1\text{ pH}$	راه حل های استاندارد قبل از هر اندازه‌گیری، یا هفتگی در برنامه های اندازه‌گیری مداوم.
هدایت الکتریکی (EC)	S.m^{-1}	سنجش هدایت الکتریکی	$\pm 3\%$	$\pm 5\%$	مانند شرایط بالا.
اکسیژن محلول	Mg. L^{-1}	اکسیژن سنج محلول (حفظ سرعت جریان محلول مناسب و اطمینان از جریان دما)	$\pm 3\%$	$\pm 5\%$	مانند شرایط بالا.
غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر	$\mu\text{mol.mol}^{-1}$	حسگر NDIR مبتنی بر سیلیکون (غیر پراکنده مادون قرمز) به عنوان بخشی از IRGA (آنالایزر گاز مادون قرمز)	$\pm 1\%$	$\pm 3\%$	گازهای کالیبراسیون تایید شده برای محدوده اندازه‌گیری پایین و بالا و/یا ابزار اختلاط گاز دقیق. یکبار در هفته.

۱- به‌عنوان تابش فعال فتوسنتز ۷۰۰ – ۴۰۰ (نانومتر) برای استفاده عمومی و توصیف چگالی شار فوتون فتوسنتزی (PPFD) توسط بسیاری از مجلات، انجمن‌های حرفه‌ای و تولیدکنندگان حسگرهای کوانتومی.

۲- دقت میزان نزدیکی مقادیر اندازه‌گیری شده به یکدیگر است. دقت این است که یک مقدار اندازه‌گیری شده چقدر به مقدار واقعی (واقعیت) نزدیک است.

پارامترهایی که باید نظارت و ثبت شوند

با توجه به نوسانات مکانی و زمانی در محیط گلخانه، تمام اندازه‌گیری‌ها باید در مکان‌هایی که عملاً امکان‌پذیر است، به دفعات و ترجیحاً پیوسته انجام شود. هنگام استفاده از سیستم ثبت داده‌ها، تواتر اندازه‌گیری می‌تواند بیشتر از تواتر ثبت داده‌ها باشد. در این مورد، نوع پردازشی که برای ثبت داده‌ها استفاده شده است (به‌عنوان مثال، اسکن و میانگین فواصل زمانی) جهت گزارش مهم است.

در این خصوص نکات زیر باید گزارش شوند:

- ۱- مکان(های) حسگر یا نقاط نمونه‌برداری، اعم از تنفسی یا محافظ (شکل ۵)،
- ۲- میانگین و انحراف استاندارد اندازه‌گیری‌ها
- ۳- روش و فرکانس اندازه‌گیری‌های کالیبراسیون حسگر (جدول ۲ و ۳)



شکل ۵. یک جعبه حسگر تهویه‌شده که به‌صورت مرکزی در هوای آزاد برای ثبت پارامترهای محیطی آویخته شده است. حسگرها داخل جعبه قرار دارند درحالی‌که هوا به‌طور مداوم از داخل جعبه مکیده می‌شود. نوع و محل حسگر (جعبه) همراه با فرکانس نمونه‌برداری و جزئیات یکپارچه‌سازی داده‌ها باید گزارش شود (عکس مرکز محیط‌زیست لانکستر، انگلستان).

۱- تشعشع

اندازه‌گیری‌ها

حسگرهایی برای اندازه‌گیری تشعشعات درون گلخانه‌ها که به دلیل تغییرات روزانه و فصلی ارتفاع (زاویه) تابش خورشید، درجه پوشش ابر و سایه‌های ناشی از اجزای ساختاری و بالای سر (پوشش و غیره)، دائماً در نوسان است، مورد نیاز است (فیشر و رانکل^۱، ۲۰۰۴). علاوه بر این، شار و طیف تابش زمانی که در مکان‌های مختلف در تاج گیاه اندازه‌گیری می‌شود، تغییر می‌کند. لذا باید انتقال نور در تاج گیاه مورد نظر باشد، تابش فعال فتوسنتزی و مقدار تجمعی آن باید در بالای تاج گیاه اندازه‌گیری شود و در عین حال اطمینان حاصل شود که هیچ قسمتی از تاج گیاه روی حسگر سایه نمی‌اندازد. محل بالای پوشش گیاهی باید نسبت به یک جسم یا نقطه ثابت در گلخانه (مثلاً کف گلخانه و یا پایین وسایل روشنایی مکمل ثابت) ارجاع داده شود.

هنگامی که ترکیبی از نور خورشید و نور تکمیلی برای رشد یک محصول استفاده می‌شود، تعیین کمیت هر منبع از کل نور بسیار مهم است. اگر این کار انجام نشود، تکرار آزمایش در شرایط مشابه عملاً غیرممکن است. تابش خورشیدی را می‌توان با عبور از مواد پوشش گلخانه و یا برهمکنش با سایبان گیاه تغییر داد. در نتیجه، تغییراتی که ممکن است در میزان UV و یا نسبت طیف‌های نور قرمز به قرمز دور رخ دهند و بر رشد گیاه تأثیر گذارند، باید تحت نظارت و گزارش قرار گیرند.

هنگام انجام آزمایش‌های نورپردازی تکمیلی یا دوره نوری، محققان باید از تأثیری که این تیمارها می‌توانند بر عبور ناخواسته نور به بخش‌های گلخانه‌ای مجاور داشته باشند، آگاه باشند. همچنین ممکن است برای محافظت از بخش‌های مختلف آزمایشی، لازم باشد تا از پرده استفاده شود.

¹ Fisher and Runkle

حسگرهای اندازه‌گیری تشعشع خارجی اضافی، اغلب برای مقایسه محیط‌های تشعشع داخل و خارج گلخانه استفاده می‌شوند. این مقایسه اطلاعاتی را در مورد انتقال تشعشع از طریق ساختار گلخانه ارائه می‌دهد. تشعشعات خارجی نیز می‌توانند به عنوان ورودی برای استراتژی کنترل گلخانه استفاده شوند (فیشر و رانکل، ۲۰۰۴).

منابع نور

برای تکمیل نور خورشید، منابع تامین نور گلخانه عبارتند از: لامپ‌های سدیم فشار بالا^۱ (HPS)، لامپ‌های متال هالید^۲ (MH)، لامپ‌های رشته‌ای^۳ (INC)، لامپ‌های فلورسنت^۴ (FL) و دیودهای ساطع نور^۵ (LED).

هر منبع تابشی طیف انتشار منحصر به فرد خود را دارد که می‌تواند منجر به پاسخ‌ها و اکشن‌های گیاهی منحصر به فردی شود (سالزبری و راس^۶، ۱۹۹۱). بنابراین، مهم است که نوع منبع تابش تکمیلی استفاده شده، طیف خروجی آن (به‌ویژه در موارد غیرمعمول) و درصد ترکیب برحسب توان هر منبع در منابع ترکیبی گزارش شوند. همچنین گزارش مدت زمان استفاده از دوره روشنایی تکمیلی نیز اهمیت دارد.

تأثیر بر رشد گیاه

سرعت فتوسنتز طبق تعریف به مقدار تابش فعال فتوسنتزی (PAR) جذب شده توسط تاج گیاه بستگی دارد. در حین اندازه‌گیری تابش فعال فتوسنتزی، محققان باید به نقطه جبران نور (جایی که نرخ خالص فتوسنتز مثبت می‌شود) و سطح اشباع مرتبط با شرایط محیطی و گونه‌های گیاهی مورد بررسی، توجه داشته باشند (سالزبری و راس، ۱۹۹۱). در بیشتر موارد گزارش سهم نسبی نور خورشید و نور مکمل به مقدار تجمعی نور روزانه به‌دست آمده، مفید است (سالزبری و راس، ۱۹۹۱).

¹ High Pressure Sodium (HPS)

² Metal-Halide

³ Incandescent

⁴ Fluorescent lamps

⁵ light emitting diodes

⁶ Salisbury and Ross

تأثیر بر نمو گیاه

برای بسیاری از گونه‌های گیاهی، به‌ویژه گیاهان زینتی، تغییرات در طول روز می‌تواند باعث واکنش‌های فیزیولوژیکی شود (به‌عنوان مثال: فرایند گلدهی). بنابراین، گزارش طول دوره نوری اعمال شده و همچنین روش استفاده شده برای اجرای دوره نوری (به‌عنوان مثال: با پرده خاموش یا با نور اضافی) مهم هستند. هنگام افزایش طول طبیعی روز یا ایجاد وقفه در شب، منبع نور، شار و طیف تابش آن و همچنین زمان شروع و مدت دوره روشنایی خصوصاً اگر با منبع نور تکمیلی برای رشد متفاوت باشد، باید گزارش شود (سالزبری و راس، ۱۹۹۱).

تأثیر بر مورفوزن گیاه

برای برخی گونه‌های گیاهی، ویژگی‌های طیفی تابش می‌تواند بر مورفولوژی آنها تأثیر بگذارد (مانند طول‌شدن میان‌گره‌ها و چرخش گل به سمت خورشید). هنگامی که این تغییرات مورفولوژیکی بر رشد و نمو تأثیر می‌گذارند، ویژگی‌های طیفی موثر باید کمی شده و گزارش شوند.

۲-دما

اندازه‌گیری‌ها

دمای هوای گلخانه توسط عوامل مختلفی از جمله دمای خارج، تابش ورودی و خروجی، انتقال حرارت تابشی، هدایتی و همرفتی مرتبط با سازه، و عملکرد سیستم گرمایش و سرمایش گلخانه، تعیین می‌شود. نوسانات مکانی و زمانی قابل‌توجه ممکن است در اثر تغییرات روزانه یا فصلی شرایط خارجی ایجاد شود. در مورد اندازه‌گیری‌های تابشی، عناصر سازه‌ای می‌توانند سایه‌هایی ایجاد کنند که به‌صورت موقت بر اندازه‌گیری دما تأثیر بگذارند. این نوسانات می‌تواند همچنین نتیجه استراتژی مدیریتی مورد استفاده برای مدیریت گلخانه باشد که از آن جمله می‌توان به سیستم‌های گرمایشی، تهویه، سرمایش و همچنین سیستم‌های گردش هوای داخلی مانند فن‌های جریان هوا افقی یا سیستم‌های توزیع

لوله‌های پلی‌اتیلن سوراخ‌دار (پلی‌تیوب) اشاره نمود. در طول تهویه و خنک‌سازی (به‌ویژه هنگام استفاده از پد خنک‌کننده تبخیری یا خنک‌کننده مه‌پاش)، معمولاً شیب دمایی قابل توجهی از ورودی هوا به خروجی تجربه می‌شود. به حداقل رساندن این شیب‌ها مستلزم درک الگوهای جریان هوا ناشی از سیستم تهویه و یا گردش هوای داخلی اضافی است. در نتیجه، اندازه‌گیری‌های مداوم، ترجیحاً در مکان‌های متعدد، برای ارزیابی میانگین دمایی که گیاهان تجربه می‌کنند، مورد نیاز است. اگر تنها امکان پایش فقط در یک نقطه وجود داشته باشد، باید در انتخاب مناسب‌ترین مکان برای نصب حسگر دقت شود (که معمولاً نزدیک تاج گیاه و در مرکز ناحیه کشت است).

حفظ دمای بهینه منطقه ریشه می‌تواند برای تولید به موقع و حداکثری بسیاری از گونه‌های گیاهی، حیاتی باشد. لذا برای گونه‌های گیاهی، دمای ناحیه ریشه باید حداقل در یک مکان (ترجیحاً بیشتر) اندازه‌گیری و ثبت شود. شیب‌های دمای عمودی را می‌توان انتظار داشت و معمولاً هنگامی که گیاهان روی زمین رشد می‌کنند (چه سطح زمین گرم شده باشد یا نه)، تغییرات مشهود هستند. لازم به ذکر است برای سیستم‌های هیدروپونیک، دمای محلول غذایی (در حال گردش) باید گزارش شود.

تأثیر بر رشد گیاه

سرعت واکنش‌های شیمیایی معمولاً با بالا رفتن دما، افزایش می‌یابد. در گیاهان، بیشتر واکنش‌های شیمیایی، از جمله فتوسنتز، توسط آنزیم‌ها هدایت می‌شوند. به دلیل آسیب دمای بالا به آنزیم‌ها، سرعت واکنش اغلب در دمای بالاتر از حد مطلوب، کاهش می‌یابد. بسیاری از گیاهان ترکیباتی را برای محافظت در برابر دماهای بالا و پایین تولید می‌کنند. از سوی دیگر، در برخی از گونه‌های گیاهی، دمای شدید می‌تواند منجر به خصوصیات مورفولوژیکی غیرعادی شود.

در برخی موارد، نه تنها ثبت دمای متوسط و انحراف معیار، بلکه حداکثر و حداقل مقادیری که گیاهان در معرض آنها قرار گرفته‌اند نیز مفید است. برای تولید محصولات

زراعی مانند ذرت در گلخانه‌ها، محاسبه واحدهای حرارتی محصول (درجه-روز رشد و دمای پایه مرتبط) باید گزارش شوند.

تاثیر بر نمو گیاه

برای بسیاری از گونه‌های گیاهی، به ویژه گیاهان زینتی، تغییرات دما می‌تواند پاسخ-های فیزیولوژیکی (مانند شروع گلدهی) را تحریک کند. برای این دسته از گیاهان، گزارش حداکثر دمای ثبت شده در طول دوره نوری و در طول شب، مهم است.

۳- گازها

۳-۱- بخار آب

بخار آب فاز گازی آب است و می‌تواند از تبخیر یا جوشاندن آب و یا از تصعید یخ، تولید شود. بخار آب تنها زمانی روی سطح دیگری متراکم می‌شود که آن سطح سردتر از دمای نقطه شبنم باشد یا زمانی که تعادل بخار آب در هوا از حد معمول فراتر رود. هنگامی که بخار آب روی سطحی متراکم می‌شود، یک گرم شدن خالص روی آن سطح اتفاق می‌افتد (سالزبری و راس، ۱۹۹۱).

هنگامی که بخار آب از یک سطح تبخیر می‌شود، خنک‌سازی در سطح و هوای اطراف رخ می‌دهد. تراکم بخار آب روی سطوح گیاه باید به حداقل برسد تا باعث افزایش بیماری و آفات نشود. در گیاهان، از دست دادن آب از روزنه‌ها در اثر تبخیر و انتشار، تعرق نامیده می‌شود. از تعرق بیش از حد گیاه باید اجتناب شود زیرا می‌تواند باعث پژمردگی آن شود (سالزبری و راس، ۱۹۹۱).

اندازه‌گیری‌ها: غلظت بخار آب معمولاً در هوای داخل یا اطراف تاج گیاه اندازه‌گیری می‌شود. مقدار بخار آب موجود در هوای گلخانه را می‌توان به روش‌های مختلفی بیان کرد. رطوبت نسبی تابعی از دما است و بنابراین پارامتری کمتر مطلوب برای گزارش است. این پارامتر اغلب برای بیان میزان رطوبت هوای گلخانه استفاده می‌شود (باث و همکاران، ۲۰۱۵).

بسیاری از محصولات زمانی که رطوبت نسبی محیط بین ۵۰ تا ۸۰ درصد است، عملکرد خوبی دارند. مقادیر بهینه کمبود فشار بخار (VPD) برای اکثر گونه‌های گیاهی بین ۰/۸ و ۱/۰ کیلو پاسکال است. مقادیر کوچک کمبود فشار بخار شرایط مرطوب را نشان می‌دهد و تعرق گیاه را دشوارتر می‌کند. مقادیر بزرگ کمبود فشار بخار شرایط خشک را نشان و گیاهان را مستعد پژمردگی می‌کند. در حالی که بسیاری از محققان رطوبت نسبی مشاهده شده و حفظ شده در طی آزمایشات گلخانه‌ای خود را گزارش می‌دهند، استفاده از شاخص کمبود فشار بخار به دلیل استقلال آن از دما و به دلیل این که نیروی محرکه برای تعرق است، مناسب‌تر است (باث و همکاران، ۲۰۱۵).

۳-۲- دی اکسید کربن (CO_2)

دی اکسید کربن گازی کمیاب است که تقریباً ۰/۰۴ درصد حجم جو زمین را تشکیل می‌دهد. گاز دی اکسید کربن در غلظت‌های بالاتر از ۱٪ برای انسان سمی است و ممکن است باعث خواب آلودگی شود و غلظت بیشتر از ۵٪ برای انسان خطرناک است. در طول فتوسنتز، گیاهان، جلبک‌ها و سیانوباکترها، دی اکسید کربن، نور خورشید و آب را جذب کرده و کربوهیدرات تولید می‌کنند. در این فرآیند اکسیژن به عنوان یک محصول فرعی تولید می‌شود. در طی تنفس (تاریکی)، گیاهان در این فرآیند معکوس، اکسیژن جذب و دی-اکسید کربن را آزاد می‌کنند. در گلخانه‌ها، غلظت دی اکسید کربن می‌تواند به عامل محدودکننده فتوسنتز در شرایط نوری بالا تبدیل شود که نیاز به تهویه کافی یا غنی سازی فعال دارد (باث و همکاران، ۲۰۱۵).

اندازه‌گیری‌ها:

غلظت دی اکسید کربن معمولاً در هوای داخل یا اطراف تاج گیاه اندازه‌گیری می‌شود. هنگامی که اطلاعات دقیق در مورد فتوسنتز و تنفس مورد نیاز است، اندازه‌گیری‌های مداوم ضروری است. از آنجایی که اندازه‌گیری دقیق دی اکسید کربن به تجهیزات گران قیمت نیاز

دارد، می‌توان یک حسگر منفرد را با نمونه‌های هوای برداشت‌شده از مکان‌ها یا بخش‌های مختلف گلخانه، تغذیه کرد. این نمونه‌های هوا را می‌توان با کمک یک واحد انتقال گاز^۱ به‌طور متوالی به حسگر رساند. خواندن غلظت‌ها را می‌توان با استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری داده‌ها (داده نگار) ذخیره نمود. کالیبراسیون حسگر را می‌توان با استفاده از گازهای کالیبراسیون با دقت آماده شده، انجام داد. توصیه می‌شود کالیبراسیون در حداقل دو غلظت: یکی در انتهای پایین و دیگری در انتهای بالای محدوده اندازه‌گیری، انجام شود. بسته به نوع حسگر، نوسانات دما (به‌عنوان مثال به‌دلیل نوسان قرار گرفتن در معرض تابش خورشیدی) می‌تواند بر اندازه‌گیری‌ها تأثیر بگذارد. در این صورت، حسگرها باید از چنین نوساناتی محافظت شوند (باث و همکاران، ۲۰۱۵).

۳-۳- اکسیژن

در محلول‌های غذایی مورد نیاز گیاه، غلظت اکسیژن محلول می‌تواند شاخص مهمی از توانایی ریشه‌ها برای تنفس باشد. به‌طور مشابه، در محیط‌های ریشه‌زایی، تخلخل به‌عنوان شاخصی از در دسترس بودن اکسیژن در ناحیه ریشه استفاده می‌شود (باث و همکاران، ۲۰۱۵).

اندازه‌گیری‌ها: غلظت اکسیژن هوای گلخانه اغلب نگران‌کننده نیست و بنابراین تقریباً هرگز اندازه‌گیری نمی‌شود. در محیط‌های ریشه‌زایی، دسترسی ریشه‌ها به اکسیژن اغلب با تعیین کسر فضای منافذ حجمی محیط ارزیابی می‌شود. در محلول‌های غذایی، اکسیژن موجود به ریشه‌ها با اندازه‌گیری غلظت اکسیژن محلول ارزیابی می‌شود. غلظت اکسیژن در محلول غذایی با گرم‌تر شدن، کاهش می‌یابد، بنابراین، زمانی که دمای محلول غذایی کنترل نمی‌شود، اندازه‌گیری‌های مکرر احتیاج است. غلظت اکسیژن محلول در تعادل با غلظت اکسیژن موجود در هوای بالای محلول، غلظت اشباع نامیده می‌شود (باث و همکاران، ۲۰۱۵).

¹ Sequencer

۳-۴- تأثیر آلاینده‌های گازی بر رشد و نمو گیاهان

گزارش شده است که انواع آلاینده‌های گازی، برخی در مقادیر بسیار کم، اثرات منفی بر رشد و نمو گیاه دارند، به ویژه در محیط‌های کنترل شده که میزان تهویه هوا محدود است. بسیاری از پلاستیک‌ها، رنگ‌ها، درزگیرها، چسب‌ها و غیره با گذشت زمان ترکیبات شیمیایی آزاد می‌کنند که می‌توانند منجر به اثرات تجمعی شوند. همچنین مواد شیمیایی مورد استفاده در گلخانه و اطراف آن نیز می‌توانند ترکیبات مضر را آزاد کنند.

دماهای بالا ناشی از تشعشعات خورشیدی یا ناکارآمدی در تبدیل انرژی (به‌عنوان مثال در کوره‌های هوای گرم) باعث افزایش انتشار آلاینده‌های گازی مانند CO ، SO_x و NO_x می‌شوند. برخی از گونه‌های گیاهی به گاز اتیلن که توسط سیستم‌های گرمایش با احتراق نادرست کار می‌کنند، تولید می‌شود، بسیار حساس هستند. تنفس افراد در فضاهای کوچک می‌تواند باعث افزایش دی‌اکسیدکربن موجود گردد. موثرترین استراتژی برای کاهش اثر آلاینده‌های گازی، به حداقل رساندن استفاده از موادی است که مواد شیمیایی (فرار) آزاد می‌کنند و نیز بهبود وضعیت تهویه هوا است. اندازه‌گیری دقیق مقادیر (کوچک) آلاینده‌های گازی می‌تواند به تجهیزات گران‌قیمتی (مانند کروماتوگرافی گازی) نیاز داشته باشد (استاندارد ANSI/ASABE EP411.5).

۴- آب مایع

مشخصات فنی

میزان آب موجود در محیط ریشه‌زایی را می‌توان برحسب حجم، جرم، فضای خالی پرشده^۱، پتانسیل ماتریکس^۲ (مکش) یا پتانسیل آب بیان کرد. انتقال و نگهداشت آب در بستر کشت، اهمیت زیادی دارد و باید به‌طور دقیق اندازه‌گیری شود.

¹ Filled Pore Space

² Matric potential

مشخصه‌های آب آبیاری، از جمله اسیدیته^۱، قلیائیت^۲، هدایت الکتریکی^۳، کل مواد جامد محلول^۴ یا شوری^۵، می‌توانند تأثیر زیادی بر رشد گیاه داشته باشند. منبع آب می‌تواند بر مشخصه‌های محتوای آب و در نتیجه رشد گیاه تأثیر بگذارد. علاوه بر این، دمای آب می‌تواند بر رشد گیاه و همچنین گازهای محلول در آب مانند غلظت اکسیژن محلول، تأثیر بگذارد.

اندازه‌گیری‌ها

در سیستم‌های کشت بدون خاک، مانند هیدروپونیک، اندازه‌گیری خواص آب معمولاً ساده است. در سیستم‌های کشت مبتنی بر خاک، می‌توان از روش موسوم به جریان عبوری (flow-through) برای ارزیابی ویژگی‌های کسر آبی محیط ریشه استفاده کرد. در هر مورد، فرض بر این است که مشخصات آب در سراسر سیستم یکنواخت است (تیواری، ۲۰۰۳). رسانایی الکتریکی (برحسب زیمنس بر متر) و pH آب باید ثبت شوند، همچنین نوع منبع آب نیز باید مشخص گردد، برای مثال: آب زیرزمینی، آب رودخانه یا جویبار، آب تصفیه‌شده (مثلاً آب آشامیدنی تهیه‌شده از شرکت محلی آب)، آب دیونیزه یا تقطیرشده، آب باران جمع‌آوری شده از سقف، و همچنین این که آیا شامل آب باز یافتی از گلخانه (مثلاً آب کندانس شده) می‌باشد یا نه، باید ثبت شود.

هنگامی که محتوای آب خاک یا پتانسیل آب خاک کنترل می‌شود، جزئیات مربوط به فاصله کنترل و دقت (نسبت زمانی که پارامتر کنترل در بازه کنترل باقی می‌ماند) باید گزارش شود. دمای آب آبیاری باید ثبت شود (به‌ویژه زمانی که در طول روز دما تغییر می‌کند). همچنین نوع اندازه‌گیری باید منعکس‌کننده احتمال تغییر باشد. مقدار آب آبیاری (در هر مترمربع، گلدان)، زمان‌بندی، استراتژی آبیاری و نحوه دفع زه‌آب آبیاری (خروج آب اضافی یا گردش دوباره آن) باید گزارش شود.

¹ pH

² Alkalinity

³ Electrical conductivity

⁴ Total dissolved solids

⁵ Salinity

تأثیر بر رشد گیاه

آب بزرگترین جزء تشکیل دهنده گیاهان است که معمولاً ۷۰ تا ۹۵ درصد از توده گیاهی تازه را تشکیل می‌دهد و با فشار آماس مثبت باعث ایجاد شکل و استحکام برگ و افزایش طول سلول می‌شود. همچنین آب وسیله انتقال مواد مغذی از خاک به داخل گیاه است. تبخیر آب از روزه، باعث خنک شدن سطحی گیاه می‌شود و از گرم شدن بیش از حد برگ‌ها جلوگیری می‌کند. مقدار آب موجود در گیاه می‌تواند بر شروع گل‌دهی، رشد رویشی و اندازه میوه تأثیر بگذارد (تیواری، ۲۰۰۳).

تأثیر آب بر توسعه گیاه

کاهش ۱۰ درصدی در محتوای آب گیاه می‌تواند به‌طور چشمگیری بر رشد آن اثر بگذارد. کمبود آب ممکن است موجب کاهش استحکام گیاه، کاهش گسترش برگ و در صورت استمرار، سبب ایجاد آسیب‌های غیرقابل بازگشت در بافت‌های گیاهی شود.

۵- مواد مغذی

گیاهان برای رشد و نمو مناسب به مواد مغذی معدنی (انواع کودها) نیاز دارند. محتویات گیاهان معمولاً برحسب توده خشک، برای کربن، هیدروژن و اکسیژن به‌ترتیب تقریباً ۴۱، ۶ و ۴۲ درصد است. تمام مواد مغذی ضروری دیگر (۱۱٪ باقیمانده) معمولاً به طرق مختلف در اختیار محیط ریشه قرار می‌گیرند تا بتوانند توسط ریشه جذب شوند (۱۹ و ۲۰).

این مواد مغذی ضروری بر اساس مقادیر مورد نیاز گیاه به دو گروه ماکرو (پرمصرف) و میکرو (کم مصرف) تقسیم می‌شوند. مواد مغذی پرمصرف شامل نیتروژن (N)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و گوگرد (S) هستند. عناصر کم‌مصرف نیز شامل آهن، منگنز، روی، مس، بور، مولبیدات، کلر، کروم و نیکل هستند که برخی از آنها فقط در مقادیر بسیار کم، مورد نیاز هستند.

زمانی که مواد مغذی از طریق سیستم آبیاری تأمین می‌شوند (کودآبیاری)، لازم است که به‌صورت یون‌های محلول در آب درآیند (با چند استثناء مانند اوره و اسید بوریک). وقتی

کودها به صورت جامد ارائه می‌شوند (مثلاً به صورت کودهای با رهش آهسته که با محیط اطراف ریشه مخلوط و یا روی آن قرار داده می‌شوند)، باید ابتدا در آب حل شوند تا گیاه بتواند آن‌ها را از طریق ریشه جذب کند. در برخی موارد، از محلول پاشی برگ‌ها نیز برای تأمین مواد مغذی مورد نیاز گیاهان استفاده می‌شود.

برای کاربرد مواد مغذی به صورت محلول، به منظور تهیه مخلوطی با غلظت‌های مناسب از مواد مغذی، ترکیبات شیمیایی با ترکیب شناخته شده می‌توانند در آب حل شوند. این ترکیبات به صورت تجاری و در فرمولاسیون‌های خاصی در دسترس هستند و اغلب دارای تجزیه کامل از ترکیب مواد مغذی می‌باشند.

مواد شیمیایی می‌توانند با هم ترکیب شده و در یک محلول غلیظ (Solution Stock) حل شوند، اما در کنار هم قرار گرفتن برخی ترکیب‌ها ممکن است منجر به رسوب‌دهی شوند (که در این صورت، مواد مغذی برای گیاه غیرقابل دسترس می‌شوند). برای جلوگیری از این مشکل، معمولاً از دو مخزن محلول استوک استفاده می‌شود که هر کدام حاوی ترکیب متفاوتی از مواد هستند تا از تشکیل رسوب جلوگیری شود.

pH بخش آبی محیط ریشه تأثیر مستقیمی بر میزان دسترسی گیاه به مواد مغذی دارد. بنابراین این پارامتر معمولاً به طور منظم کنترل و در یک بازه نسبتاً محدود (به عنوان مثال ± 0.2 حد مجاز) تنظیم می‌شود.

اندازه‌گیری‌ها

ترکیب، نسبت و دفعات مصرف مواد مغذی باید در ابتدای آزمایش و هر زمانی که نسبت‌ها مجدداً تنظیم می‌شوند، ثبت شوند. اندازه‌گیری‌های توصیه شده از کسر آبی محیط ریشه قبلاً در بخش با عنوان "آب" توضیح داده شده است. هنگامی که اندازه‌گیری‌ها مربوط به تحقیق است، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل مواد مغذی و همچنین روش‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل نمونه‌ها باید گزارش شوند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل بافت گیاهی را می‌توان برای تأیید/تنظیم برنامه‌های کاربردی مواد مغذی استفاده کرد (باث و همکاران، ۲۰۱۵).

تأثیر بر رشد و نمو گیاهان

وقتی گیاهان از سطح مناسبی از مواد مغذی برخوردار نباشند، علائم خاصی از کمبود یا سمیت ممکن است ظاهر شوند (مارشئر، ۱۹۹۵). این علائم خاص گونه‌های گیاهی هستند و اغلب با میزان کمبود یا سمیت مرتبط هستند. این علائم شامل: تغییر رنگ، لکه‌دار شدن، بافت مرده، رشد غیرطبیعی و کوتولگی گیاه می‌باشند.

نقش‌های گوناگون مواد مغذی در رشد و توسعه گیاهان به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، اما با این حال، هنوز هم در بسیاری از موارد به‌طور کامل این ارتباط درک نشده‌اند. (مارشئر، ۱۹۹۵).

۶- ساختار گلخانه، سیستم رشد و سیستم کنترل محیطی/استراتژی

۶-۱- تشعشع

ساختار: ساختار گلخانه و جهت‌گیری آن (که معمولاً به‌صورت جهت قرارگیری سقف شیروانی نسبت به شمال واقعی بیان می‌شود) تأثیر قابل‌توجهی بر عبور تابش خورشیدی دارد (فیشر و رانکل، ۲۰۰۴). به‌ویژه، این عوامل اندازه، شکل و حرکت سایه‌ها در سطح کشت را تعیین می‌کنند. در میان اجزای سازه‌ای، جنس پوشش (شیشه، پلاستیک و غیره) بیشترین تأثیر را بر شدت تابش و توزیع طیفی نوری که به سطح گیاهان می‌رسد، خواهد داشت. بنابراین، جهت‌گیری گلخانه و ویژگی‌های سازه‌ای آن، از جمله نوع پوشش و این که آیا پرده سایه‌انداز به آن اضافه شده یا نه، باید گزارش شوند. لازم به ذکر است که تجمع گرد و غبار یا آلودگی روی پوشش می‌تواند عبور نور را کاهش دهد، اما این مسئله با نظافت دوره‌ای قابل کنترل است. از آنجا که خواص فیزیکی برخی از مواد پوششی در طول زمان تغییر می‌کند، توصیه می‌شود سن ماده و وضعیت کلی آن نیز گزارش شود. در صورت وجود داده‌های بلندمدت، گزارش میانگین عبور تابش به‌صورت درصدی از تابش بیرونی نیز می‌تواند مفید باشد.

سیستم رشد: یکنواختی فضایی تابش ناشی از سیستم‌های روشنایی تکمیلی کمتر از تابش خورشیدی است. محققان باید این یکنواختی را کمی و گزارش کنند تا بتوان اثر آن بر رشد و نمو گیاه را ارزیابی کرد (سپارگارن، ۲۰۰۷). طراحی و مدیریت سیستم رشد، طراحی و مکان سطح رشد (به عنوان مثال نیمکت‌ها، کف، و ویژگی‌های سطح آن‌ها، وجود تجهیزات بالایی سر، مواد گیاهی و تعداد فاصله‌ها یا جابجایی‌های مجدد در طول آزمایش) می‌تواند بر محیط پرتو تأثیر بگذارد (سپارگارن، ۲۰۰۷).

سیستم کنترل محیطی: بهره‌برداری از یک سیستم روشنایی و سایه‌انداز تکمیلی، تأثیر قابل‌توجهی بر محیط تابش خواهد داشت. بنابراین، روش‌های عملیاتی و استراتژی‌های کنترل باید گزارش شوند. مشخصات طراحی و مقادیر اندازه‌گیری شده (مانند شار تابش، نسبت سایه) نیز باید گزارش شوند (سپارگارن، ۲۰۰۷).

۲-۶-۲ دما

ساختار: ساختار گلخانه، به ویژه نوع مواد پوشش (شیشه، پلاستیک سخت یا فیلم)، تأثیر قابل توجهی در انتقال حرارت آن خواهد داشت (پورتر و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین نوع مواد پوشش گلخانه باید گزارش شود. از آنجایی که خواص فیزیکی برخی از مواد پوشش در طول زمان تغییر می‌کند، توصیه می‌شود طول عمر مواد و وضعیت کلی آن گزارش شود. سیستم‌های گرمایش، تهویه و سرمایش: بسته به نوع پژوهش و میزان مفید بودن داده‌ها برای سایر زمینه‌های مطالعاتی، گزارش نوع سیستم گرمایشی، ظرفیت حداکثری آن و راهبرد کنترلی مورد استفاده، می‌تواند مفید باشد. همچنین، اطلاعات مربوط به اقدامات اضافی برای بهبود توزیع انرژی مانند استفاده از لوله‌های پلی‌اتیلن سوراخ‌دار یا فن‌های جریان هوای افقی باید ارائه شود.

بسته به نوع تحقیق و سودمندی داده‌ها برای سایر رشته‌های مطالعاتی، ارائه گزارش در مورد نوع سیستم گرمایش، حداکثر ظرفیت آن و استراتژی کنترلی اجرا شده، می‌تواند

مفید باشد. علاوه بر این، اطلاعاتی در مورد اقدامات اضافی اجرا شده برای بهبود توزیع انرژی، مانند استفاد از لوله‌های سوراخ‌دار یا فن‌های جریان هوا افقی باید گزارش شوند. گزینه‌های رایج گرمایش گلخانه شامل سیستم‌های هوای اجباری (مانند بخاری‌های تکی یا کوره‌های هوای گرم)، آب گرم (مانند گرمایش کف، لوله‌های محیطی یا لوله‌های بالاسری) و سیستم‌های مادون قرمز می‌باشند (شکل ۶). گزینه‌های رایج تهویه شامل تهویه طبیعی (با استفاده از دریچه‌های جانبی یا سقفی) و تهویه مکانیکی (با استفاده از فن‌های برقی و بازشوهای دیواره‌ای) هستند. سیستم‌های خنک‌کننده متداول (تبخیری) نیز شامل سامانه‌های پد - فن و سامانه‌های مه‌پاشی با فشار بالا می‌باشند.



شکل ۶. نیمکت‌های فلزی مشبک با سیستم گرمایش از کف که توسط لوله‌های پره‌دار در زیر آنها نصب شده است (عکس با اجازه از آزمایشگاه ساینزبری، دانشگاه کمبریج، بریتانیا)

سیستم رشد: برای ایجاد یک محیط رشد یکنواخت برای گیاهان، ارزیابی توزیع دما و پخش آن بسیار مهم است. تعداد و ظرفیت (در یک فشار استاتیکی خاص) همه فن‌ها و جهت جریان هوا نیز باید به منظور ارزیابی وجود شیب دما، گزارش شوند.

علیرغم افزایش جریان هوا برای بهبود یکنواختی توزیع دما در سراسر گلخانه، سیستم کشت (به‌ویژه محصولات بلند) می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر توزیع دما داشته باشد. یک پوشش گیاهی متراکم می‌تواند به طور قابل توجهی حرکت هوا را کاهش دهد و تعرق شدید محصول می‌تواند (به‌صورت منطقه‌ای) دمای هوا را کاهش دهد (تبدیل گرمای محسوس به گرمای نهان). هنگام اندازه‌گیری و گزارش دمای هوا در محیط‌های گلخانه‌ای، باید این عوامل را در نظر گرفت و مورد بحث قرار داد (پورتر و همکاران، ۲۰۱۲).

سیستم کنترل محیطی: برای صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش سرعت تنفس گیاه، بسیاری از عملیات گلخانه‌ای با تنظیم دما در طول روز و شب (فوتوپریود) اجرا می‌گردند (فیشر و رانکل، ۲۰۰۴). این تفاوت دما همچنین می‌تواند برای کنترل مراحل خاص رشد استفاده شود (به عنوان مثال: کنترل طول شدن ساقه). همچنین می‌توان از رژیم‌های دمایی خاص برای بهاره‌سازی^۱ برخی گونه‌های گیاهی (که منجر به القای جوانه‌زنی یا گل‌دهی می‌شود) استفاده کرد (فیشر و رانکل، ۲۰۰۴).

در سامانه‌های اتوماسیون گلخانه، از استراتژی‌های کنترلی مختلفی برای حفظ دمای مطلوب استفاده می‌شود. هر یک از این استراتژی‌ها از الگوریتم‌های کنترلی متفاوتی بهره می‌گیرند که بسته به نوع سیستم (مانند فن، پد خنک‌کننده، گرمایش، پرده‌های سایه‌انداز و)، منجر به الگوهای زمانی و مکانی متفاوتی در توزیع دما درون گلخانه می‌شوند. برخی از استراتژی‌های کنترلی عمده‌اً اجازه می‌دهند دما بسته به شرایط بیرونی در نوسان باشد، مشروط بر این‌که بتوان به دمای متوسط روزانه دست یافت. به دلیل تأثیر سیستم‌ها و استراتژی‌های کنترل مختلف، اطلاعات مربوط به سیستم‌ها و الگوریتم‌های کنترل باید گزارش شوند (شکل ۷).

در تمام موارد، باید مقادیر اندازه‌گیری‌شده گزارش شوند، نه نقاط تنظیم (set points).

¹ Vernalise

۶-۳- گازها (از جمله بخار آب)

سازه: میزان درزبندی و عایق‌بندی سازه گلخانه بر غلظت گازها و بخار آب درون گلخانه تأثیرگذار است. شرایط باد در محیط بیرونی، در ترکیب با یک سازه گلخانه‌ای نفوذپذیر، می‌تواند اثر بیشتری بر تغییرات غلظت گازها و بخار آب داشته باشد. میزان نشتی سازه گلخانه‌ای را می‌توان با بازرسی بصری به‌منظور یافتن شکاف‌ها یا نشتی‌ها، به‌کارگیری روش‌هایی برای آشکارسازی جریان هوا، یا اندازه‌گیری تغییرات غلظت گازهای ردیاب که به‌صورت عمدی آزاد شده‌اند، ارزیابی کرد.

سطوح سرد پوشش گلخانه ممکن است باعث ایجاد میعان و در نتیجه، کاهش رطوبت هوا شوند، اما قطرات آبی که در اثر میعان تشکیل می‌شوند، در صورت سقوط روی برگ گیاهان جوان (به‌جای هدایت شدن به سیستم جمع‌آوری)، می‌توانند به آن‌ها آسیب وارد کنند.



شکل ۷- سیستم‌های کنترل محیطی گلخانه متنوع هستند و الگوریتم‌های کنترل غالباً به اندازه، ساختار، جهت و مکان خاص تأسیسات اختصاص دارند. اطلاعات مربوط به سیستم باید گزارش شود (عکس از آزمایشگاه Sainsbury، دانشگاه کمبریج، U.K.).

سیستم رشد: سیستم رشد (برای مثال طراحی نیمکت‌هایی که امکان حرکت عمودی هوا را فراهم می‌کنند یا نمی‌کنند) و همچنین حجم و تراکم پوشش گیاهی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر توزیع غلظت گازها در سراسر گلخانه داشته باشد. سیستم‌های توزیع هوا (مانند فن‌های جریان هوای افقی یا سیستم‌های توزیع لوله‌ای پلاستیکی) می‌توانند به توزیع بهتر هوا کمک کرده و در نتیجه یکنواختی را بهبود بخشند. با این حال، یکنواختی توزیع گاز و بخار آب باید به صورت مکانی و زمانی اندازه‌گیری و ارزیابی شود تا اطمینان حاصل شود که مقادیر گزارش شده، نمایانگر شرایطی هستند که تمام گیاهان در طول آزمایش‌ها تجربه کرده‌اند.

سیستم‌های تزریق/ حذف بخار آب: بخار آب می‌تواند با استفاده از دستگاه‌های رطوبت‌ساز یا رطوبت‌گیر به محیط گلخانه افزوده یا از آن حذف شود. رطوبت‌سازها قطرات آب با اندازه‌های مختلف تولید می‌کنند که به طراحی و نحوه عملکرد آن‌ها بستگی دارد. در حالت ایده‌آل، اندازه قطرات باید به حداقل برسد تا تبخیر سریع‌تر انجام شود و از خیس شدن بافت‌های گیاهی جلوگیری شود. برای بهبود توزیع هوای مرطوب‌شده، اغلب از جریان گردش هوا استفاده می‌شود. باید توجه داشت که سیستم‌های سرمایش تبخیری، چه از نوع پد و فن و چه از نوع مه‌پاش با فشار بالا، علاوه بر خنک کردن هوا، رطوبت گلخانه را نیز افزایش می‌دهند.

رطوبت‌گیری با استفاده از چرخه تبرید برای حذف بخار آب روشی انرژی‌بر و بنابراین پرهزینه است. در عوض، گلخانه‌ها می‌توانند با استفاده از راهبرد "گرمایش و تهویه" رطوبت‌زدایی شوند: هوای گرم‌شده که ظرفیت نگهداری رطوبت بیشتری دارد، با تهویه از محیط خارج می‌شود. هرچند این روش نیز به انرژی نیاز دارد، اما منافع آن ممکن است از هزینه‌ها پیشی بگیرد.

سیستم‌های تزریق یا حذف دی‌اکسید کربن: افزایش دی‌اکسید کربن می‌تواند از طریق توزیع گاز دی‌اکسید کربن خالص در ناحیه رشد گیاهان انجام شود. این گاز می‌تواند از منابع مختلفی تأمین شود: از جمله تبخیر مایع دی‌اکسید کربن که در مخزن خنک و تحت فشار

در نزدیکی گلخانه نگهداری می‌شود، یا از طریق سوزاندن گاز طبیعی و رهاسازی گازهای خروجی تصفیه‌شده در داخل گلخانه (Scrubbed). برای دستیابی به توزیع یکنواخت، معمولاً گاز از طریق لوله‌های پلی‌اتیلنی قابل تورم کوچکی که در طول آن‌ها سوراخ‌های ریزی وجود دارد، توزیع می‌شود. غلظت‌های هدف معمولاً ۲ تا ۴ برابر غلظت محیطی طبیعی هستند (تقریباً بین ۷۵۰ تا ۱۵۰۰ میکرومول بر مول). اغلب، در مواقعی که فضای رشد نیاز به تهویه برای حفظ دمای تنظیم‌شده دارد، غنی‌سازی دی‌اکسید کربن متوقف می‌شود. با این حال، افزایش دی‌اکسید کربن تا حد معینی از نرخ حداقل تهویه ممکن است همچنان مفید باشد و باعث افزایش رشد گیاهان گردد.

سیستم‌های غنی‌سازی/حذف (اکسیژن): افزایش غلظت اکسیژن محلول یک محلول غذایی را می‌توان با حباب‌زدن هوا یا گاز اکسیژن خالص به محلول (به‌عنوان مثال استفاده از سنگ‌های هوا)^۱ انجام داد. هنگام استفاده از هوا، حداکثر غلظت اکسیژن محلول قابل دستیابی طبق تعریف، غلظت اکسیژن اشباع (وابسته به دما) است. هنگام استفاده از گاز اکسیژن خالص، حداکثر غلظت اکسیژن قابل دستیابی تقریباً پنج برابر غلظت اشباع است، زیرا هوا به طور معمول حاوی تقریباً دارای ۲۱٪ اکسیژن است.

این که آیا گیاهان از غلظت اکسیژن محلول فوق اشباع در محلول غذایی سود می‌برند، ثابت نشده است، اما استفاده از اکسیژن خالص (تحت فشار) معمولاً به مصرف انرژی اضافی برای حرکت گاز نیاز ندارد. هنگام استفاده از هوا، اغلب از کمپرسورها استفاده می‌شود و در این صورت باید مراقب بود که گاز با ذرات روانکاری که به طور ناخواسته از اجزای مکانیکی کمپرسور آزاد شده اند، آلوده نشود.

سیستم‌های غنی‌سازی/حذف - اکسیژن: افزایش غلظت اکسیژن محلول در یک محلول غذایی می‌تواند با حباب‌دار کردن هوا یا گاز اکسیژن خالص در محلول انجام شود (مثلاً با استفاده از سنگ‌های هوا). هنگام استفاده از هوا، حداکثر غلظت اکسیژن محلول که

¹ air stones

قابل دستیابی است، به تعریف، غلظت اشباع اکسیژن است (وابسته به دما). هنگام استفاده از گاز اکسیژن خالص، حداکثر غلظت اکسیژن قابل دستیابی تقریباً پنج برابر غلظت اشباع است (زیرا هوا تقریباً ۲۱٪ اکسیژن دارد). هنوز مشخص نشده است که آیا گیاهان از غلظت اکسیژن محلول فوق اشباع در محلول غذایی بهره‌مند می‌شوند یا خیر، اما استفاده از اکسیژن خالص (تحت فشار) معمولاً به انرژی اضافی برای جابجایی گاز نیاز ندارد. هنگام استفاده از هوا، اغلب از کمپرسورها استفاده می‌شود و در این حالت باید مراقب بود تا گاز با ذرات روغن کاری که به‌طور تصادفی از اجزای مکانیکی کمپرسور آزاد شده‌اند، آلوده نشود.

۶-۴- آب مایع

سیستم رشد: هنگام آبیاری چندین گلدان یا سطوح بزرگ، واریانس مورد انتظار یا اندازه‌گیری شده در کاربرد آب باید گزارش شود، برای مثال: آبیاری بیش از حد، زمانی که خاک یا گلدان به ظرفیت مزرعه‌ای برسد و یا حتی در آب مانده‌اند. همچنین نشانه‌ای از یکنواختی مورد انتظار یا دلایلی که باید انتظار یکنواختی خوب را داشت، باید ارائه شود. انتخاب سیستم آبیاری می‌تواند روی رشد و نمو گیاه تأثیر بگذارد، به‌ویژه به این دلیل که برخی از سیستم‌ها می‌توانند خطر ابتلا به بیماری را در نتیجه مرطوب کردن شاخ و برگ افزایش دهند (مانند سیستم‌های اسپری از بالا سر).

سیستم کنترل محیطی: جزئیات مربوط به سیستم کنترل در صورتی که توسط حسگر آب/ باران، حسگر رطوبت برگ، تانسومتر، حسگر هدایت الکتریکی خاک، لایسیمتر یا وزن گلدان کنترل می‌شوند، باید گزارش گردد. استراتژی آبیاری یعنی اینکه آیا توسط یک برنامه بر اساس ورودی حسگر تعیین می‌شود، زمان بندی شده است، وابسته به انتگرال نور است یا مدت و دور آبیاری به صورت دستی تنظیم می‌شود یا نه، باید گزارش شود.

سیستم کنترل محیطی: جزئیات مربوط به سیستم کنترل، در صورتی که با استفاده از حسگرهایی مانند حسگر آب/باران، حسگر رطوبت برگ، تنزیومتر، حسگر هدایت خاک، لایسیمتر یا وزن گلدان عمل کند، باید گزارش شود. همچنین استراتژی آبیاری باید مشخص گردد، یعنی آیا آبیاری توسط برنامه‌ای مبتنی بر داده‌های حسگر تعیین می‌شود، زمان‌بندی

شده است، به مجموع تابش نور وابسته است، یا زمان و دفعات آن به صورت دستی تنظیم می‌شود.

سیستم‌های آبیاری: نوع سیستم آبیاری، دفعات و زمان‌بندی آن (مدت و ساعت انجام آبیاری) باید گزارش شود. نوع و جزئیات می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

سیستم‌های آبیاری: نوع سیستم آبیاری، دفعات آبیاری (دور آبیاری) و زمان هر آبیاری (دوره آبیاری) باید گزارش شوند. نوع و جزئیات ممکن است شامل موارد زیر باشد:

آبیاری دستی (توسط لانس یا شلنگ): به سطح آب در زیر گلدانی، آبیاری در هنگام خشک شدن زیرگلدانی، زمانی که سطح خاک خشک گردد، آبیاری برای خارج شدن آب از گلدان.

سیستم آبیاری قطره‌ای: نوع و سازنده قطره چکان، دبی و فشار کارکرد نازل و تعداد قطره چکان در هر گلدان.

آبیاری قطره‌ای زیرسطحی: نوع و سازنده، عمق کارگذاری شلنگ (نوار آبیاری)، طرح، میزان آب خروجی در هر متر طولی از نوار آبیاری.

اسپری از ارتفاع: نوع و سازنده، الگوی اسپری نازل‌ها، میزان آب خروجی و فشار کارکرد نازل‌ها.

نیمکت سیلابی (جزر و مدی)^۱: سازنده (در صورت وجود)، تناوب سیلاب‌دهی، مدت‌زمان ماندگاری (مدت زمان سیلاب‌گیری و عمق آب‌گرفتگی).

نیمکت مرطوب^۲: نوع سطح مرطوب (نوع ماسه و تخلخل)، میزان مویبندی آب (نوع و ظرفیت نگهداری آب)، نحوه حفظ سطح آب، جزئیات هر پوشش برای کاهش شیب تبخیر. سیستم هیدروپونیک با جریان مواد غذایی^۳: جزئیات سیستم باید شامل محیط رشد، میزان جریان، شیب جریان اکسیژن‌رسانی در صورت لزوم باشد.

¹ Flood bench (tide)

³ Nutrient Film Technique

² Wet bench

کشت آئروپونیک^۱ یا هواکشت: جزئیات سیستم، حجم آب، اندازه محفظه ریشه، اندازه قطرات استفاده شده، متناوب بودن مه پاشی و فراوانی آن.

لایسیمتر وزنی: جزئیات سیستم، گیاهانی که به صورت خودکار یا دستی برای حفظ پتانسیل آب خاک آبیاری می‌شوند.

جزئیات سیستم آبیاری باید شامل میزان تخمینی مصرف آب در هر گلدان یا در هر مترمربع در روز باشد. در سیستم‌های هیدروپونیک میزان جریان آب روی ریشه (به حجم یا درصد مقدار آب در گردش) باید لحاظ و گزارش شود (باث و همکاران، ۲۰۱۵).

۶-۵- تغذیه

سیستم رشد: روش تحویل و محل انتشار عناصر غذایی در محیط ریشه می‌تواند بر توزیع عناصر غذایی و رشد ریشه، تاثیر داشته باشد. برای مثال، از بالا به پایین (مانند مه پاشی) یا از پایین به بالا (مثلاً آبیاری جزر و مدی) بر حرکت آب و مواد مغذی از طریق محیط کشت تأثیر می‌گذارد و می‌تواند منجر به ایجاد مناطقی با غلظت مواد مغذی بیشتر یا کمتر شود. نوع محیط کشت مورد استفاده می‌تواند بر دسترسی گیاهان برای جذب مواد مغذی تأثیر بگذارد، به عنوان مثال برخی مواد مغذی به ذرات رس متصل می‌شوند و آنها کمتر در دسترس گیاهان قرار می‌گیرند.

سیستم‌های کشت هیدروپونیک معمولاً برای کاهش محدودیت سرعت دسترسی آب و مواد مغذی طراحی شده‌اند. هنگام رشد در گلدان، محققان باید توجه داشته باشند که اندازه، شکل، مواد و حتی رنگ سطح می‌تواند بر شرایط ناحیه ریشه تأثیر بگذارد و این موارد باید هنگام اندازه‌گیری و گزارش واکنش‌های گیاه، در نظر گرفته شوند.

سیستم کنترل محیطی: جزئیات مربوط به سیستم کنترل مواد مغذی (در صورت استفاده) باید گزارش شوند. هنگامی که داده‌ها در دسترس هستند، میزان جذب مواد مغذی

¹ Aeroponics

باید گزارش شود. دمای ناحیه ریشه بر میزان جذب عناصر غذایی توسط ریشه تأثیر می‌گذارد و بنابراین برای برخی از گونه‌های زراعی با دقت بیشتری کنترل می‌شود. در برخی موارد، دمای ناحیه ریشه به‌طور فعال کنترل می‌گردد.

سیستم‌های توزیع: مواد مغذی مایع را می‌توان با سیستم آبیاری تلفیق کرد (کودآبیاری). در بیشتر موارد، حجم کمی از محلول‌های مغذی غلیظ با سرعتی به جریان آبیاری تزریق می‌شود که دوز مناسب مواد مغذی را تأمین نماید. بسته به طراحی و پیچیدگی سیستم تحویل مواد مغذی، می‌توان مواد مغذی را ترکیبی یا به صورت مجزا به آب آبیاری تزریق نمود.

تزریق می‌تواند غیرفعال (به عنوان مثال با استفاده از یک سیستم ونتوری و یا فعال (به عنوان مثال با استفاده از پمپ تزریق) باشد. برای اطمینان از توزیع یکنواخت مواد مغذی، اختلاط مناسب در سراسر سیستم رشد مورد نیاز است. تأمین کافی مواد مغذی در سرتاسر محیط ریشه‌زایی بسیار مهم است زیرا جذب عناصر غذایی توسط ریشه منجر به شیبی می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش مواد مغذی گردد.

نحوه گزارش شرایط آزمایشی

در اینجا نمونه‌ای از گزارش مناسب برای انتشار آورده شده است (باث و همکاران،

۲۰۱۵):

این آزمایش در یک بخش از گلخانه‌ای تحقیقاتی با جهت‌گیری شمالی-جنوبی و در عرض جغرافیایی ۴۰ درجه شمالی، طول جغرافیایی ۹۰ درجه غربی و در ارتفاع ۱۸۰ متری از سطح دریا انجام شد. مساحت کف گلخانه ۲۰ در ۲۰ متر و مساحت میزها ۲۴۰ مترمربع و به ارتفاع ۰/۷۵ متر بالاتر از کف بود. تاج گلخانه به جهت شمال-جنوب قرار داشت. این بخش از سمت شرق و غرب با بخش‌های گلخانه‌ای مشابه اما با کنترل متفاوت و از سمت شمال با یک راهروی مرکزی محدود شده بود. ارتفاع لبه‌ی سقف (ناودان) ۲/۵ متر و ارتفاع تاج گلخانه تا کف ۴/۵ متر بود.

تهویه گلخانه به صورت مکانیکی و با استفاده از فن‌های ورودی نصب شده در دیوار جنوبی انجام می‌شد و امکان تأمین حداکثر نرخ جریان هوای 0.06 مترمکعب بر ثانیه به ازای هر مترمربع از سطح زمین را فراهم می‌کرد.

علاوه بر در ورودی، تمام دیوار جانبی رو به شمال با $18/9$ مترمربع دریچه تهویه لووردار مجهز شده بود و با یک پد خنک کننده تبخیری و یک توری محافظ حشرات (برای جلوگیری از مگس سفید) پوشیده شده بود. بخش گلخانه پوشش شیشه سکوریت 4 میلی متری داشت و به سایبان خودکار (با کاهش 50 درصدی نور) مجهز شده بود.

این گلخانه به یک سیستم روشنایی تکمیلی (لامپ‌های سدیم فشار قوی) مجهز بود و قادر به فراهم نمودن شار تابش فعال فتوسنتزی $(20 \pm \text{s.d.})$ 200 میکرومول بر مترمربع در ثانیه (در فاصله $1/75$ متری زیر لامپ‌ها) بود. در طول دوره نوری، هنگامی که شار تابش نور خورشید زیر 300 میکرومول بر مترمربع در ثانیه در سطح کشت بود، سیستم روشنایی تکمیلی روشن، و زمانی که شار تابش فعال فتوسنتزی به 750 میکرومول بر مترمربع در ثانیه می‌رسید، خاموش می‌شد. یک تاخیر کنترلی 15 دقیقه‌ای برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد سیستم روشنایی تکمیلی استفاده می‌گردید.

سیستم گرمایشی گلخانه از یک سامانه توزیع آب گرم تشکیل شده بود که از طریق لوله‌های هوایی، لوله‌های محیطی و لوله‌های کار گذاشته شده در کف بتنی، گرما را به فضای گلخانه منتقل می‌کرد. دمای هوا در ارتفاع تاج در روز $20 (\pm 1)$ و شب $15 (\pm 1)$ درجه سلسیوس بود. یک دوره نوری 16 ساعته با استفاده از سیستم روشنایی تکمیلی در زمانی که نور خورشید در دسترس نبود، وجود داشت. کمبود فشار بخار در بخش آزمایشی گلخانه با استفاده از یک رطوبت ساز مستقل یا با استفاده از استراتژی کنترل گرما، حفظ می‌گردید. کمبود فشار بخار به طور مداوم در $1 (\pm 0.1)$ کیلو پاسکال حفظ می‌گردید. در سلسله مراتب کنترل، کنترل کمبود فشار بخار بر کنترل دما اولویت داشت. همه حسگرها و ابزارها سالانه مطابق با مشخصات سازنده، کالیبره شده و بخش گلخانه مجهز به دو فن جریان هوای افقی بود که به طور مداوم برای بهبود اختلاط هوای گلخانه، کار می‌کردند.

از اول ماه مارس (یازده اسفند)، شمعدانی (*Pelargonium x hortorum*, cv. Maverick) (Red) در بخش آزمایشی گلخانه کشت شده بود. دو قلمه در یک مخلوط بدون خاک پیت-ورمیکولیت (۱:۱ پیت اسفاگونوم: ورمیکولیت حجمی و با ۵/۰ کیلوگرم سنگ آهک دولومیتی آسیاب شده در هر مترمکعب مخلوط) در گلدان‌های پلاستیکی ۷۵/۰ لیتری قرار داده شده بودند. هر گلدان یک دوز (به میزان معادل ۳ کیلوگرم در مترمکعب) کود آهسته رهش (۱۰-۱۰-۱۰) دریافت و با سیستم قطره‌ای تغذیه شده با آب دیونیزه، آبیاری می‌گردید. تراکم اولیه گلدان روی سکوی کشت برای شش هفته اول ۶۴ گلدان بر مترمربع و به دنبال آن تراکم ۳۶ گلدان بر مترمربع برای بقیه آزمایش بود. آزمایش در ۱۵ ماه می (۲۵ اردیبهشت) خاتمه یافت.

این مثال تنها گزارش آن پارامترهایی را توصیف می‌کند که محقق برای آزمایش خاص انجام شده، مهم تشخیص داده است. در حالی که اطلاعات گزارش شده ممکن است برای مخاطب مورد نظر کافی باشد (به عنوان مثال، محققان همکار که آزمایش‌های مشابهی انجام می‌دهند). سایر محققان ممکن است گزارش را ناکافی بدانند، به ویژه زمانی که پارامترهای محیطی را مطالعه می‌کنند که به طور خاص در گزارش مورد بحث قرار نگرفته است. بنابراین، محققان به شدت تشویق می‌شوند که به دقت بررسی کنند که کدام پارامترها را اندازه‌گیری و گزارش کنند و تأثیری که این تصمیم ممکن است بر سودمندی کار آنها برای سایر محققان از جمله آنهایی که مستقیماً در زمینه مورد علاقه آنها درگیر نیستند، داشته باشد.

جدول (۲ و ۳) دو مجموعه پارامتر را فهرست کرده است. مجموعه حداقل شامل مجموعه پایه و پیشنهادی پارامترهایی است که باید در طول بیشتر آزمایش‌ها اندازه‌گیری و ثبت شده و در گزارش‌ها و مقالات منتشر شوند. مجموعه اضافی شامل پارامترهایی است که در صورت دسترسی به حسگرهای مناسب و مرتبط بودن با نوع آزمایش انجام شده، می‌توان آن‌ها را اندازه‌گیری و گزارش کرد. همچنین این مجموعه شامل پارامترهایی است

که به عنوان فراداده (متادیتا)^۱ محسوب می‌شوند و محتوای داده‌ها و زمینه فایل‌های ذخیره‌شده را توصیف می‌کنند و توسط مدیران نگهداری شده و در صورت نیاز در اختیار کاربران قرار می‌گیرند.

¹ metadata

جدول ۲: پارامترهای اولیه - حداقل مجموعه

کمیت مورد اندازه گیری	واحد	مکان اندازه گیری	زمان اندازه گیری	موارد گزارش
دمای هوا	°C	در سطح تاج، در مرکز منطقه رشد (مکان حسگر بسیار مهم است و باید مستقل از حسگر کنترل دمای گلخانه باشد. یک حسگر دیگر برای دمای بیرون قرار دهید).	ترجیحاً پیوسته (حداقل ساعتی)	میانگین و انحراف معیار برای دوره های روشن و تاریک. تعداد مکان ها ترجیحاً بیشتر از ۱ عدد
دمای بستر	°C	ظرف داخل گیاه برای بسترهای جامد و مایع	مانند بالا	مانند بالا
تابش - تشعشع (PAR ^۱)	$\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	در بالای سایبان، در مرکز منطقه رشد	ترجیحاً پیوسته (حداقل ساعتی)	میانگین و انحراف معیار. تعداد مکان های اندازه گیری (ترجیحاً بیش از ۱ عدد). هنگام استفاده، منابع تشعشع تکمیلی (نوع، مدل و سازنده، توزیع، مصرف انرژی، راندمان تبدیل) و مدت زمان کارکرد آنها
دوره نوری	ساعت		روزانه یا زمانی که شرایط تغییر می کند.	مدت زمان نور (شامل هرگونه وقفه شبانه)
رطوبت اتمسفر؛ رطوبت نسبی یا کمبود فشار بخار (VPD)	درصد یا کیلو پاسکال	در سطح تاج، در مرکز منطقه رشد و مستقل از حسگر کنترل رطوبت گلخانه	ترجیحاً پیوسته (حداقل ساعتی)	میانگین و انحراف معیار برای دوره های روشنایی و تاریکی. تعداد مکان های اندازه گیری (ترجیحاً بیش از یک مکان).
غلظت دی اکسیدکربن اتمسفر ^۲	$\mu\text{mol mol}^{-1}$	در سطح سایبان، در یک مکان معرف	ترجیحاً به طور مداوم (در صورت استفاده از غنی سازی CO ₂ ، حداقل ساعتی)	میانگین و انحراف معیار. تعداد نقاط اندازه گیری و موقعیت آنها نسبت به تاج گیاه
pH	-	در محیط ناحیه ریشه یا در محلول غذایی که مستقیماً به محیط ناحیه ریشه اعمال می شود.	ترجیحاً پیوسته (حداقل ساعتی)	میانگین و انحراف معیار. محل اندازه گیری ها

۱ - به عنوان تابش فعال فتوسنتزی (PAR) بین ۴۰۰ الی ۷۰۰ نانومتر) برای استفاده عمومی و توصیف چگالی شار فوتون فتوسنتزی (PPFD) توسط بسیاری از مجلات، انجمن های حرفه ای و تولیدکنندگان حسگرهای کوانتومی اشاره دارد.

ادامه جدول ۲: پارامترهای اولیه - حداقل تنظیمات

کمیت مورد اندازه گیری	واحد	مکان اندازه گیری	زمان اندازه گیری	موارد گزارش
هدایت الکتریکی (EC)	$S\ m^{-1}$	در محیط ناحیه ریشه یا در محلول غذایی که مستقیماً به محیط ناحیه ریشه اعمال می شود.	ترجیحاً پیوسته، اما حداقل ساعتی.	میانگین و انحراف معیار. محل اندازه گیری ها
تغذیه - رسانه مایع	$mmol\ L^{-1}$	-	روزانه یا زمانی که دوباره پر شود.	غلظت یونی در محلول اضافه شده فراوانی اضافات هوا دهی در صورت وجود
تغذیه - رسانه جامد	$Mol\ kg$	-	وقتی اضافه شد یا دوباره پر شد.	عناصر غذایی و شکل آنها به محیط خاک اضافه شده است. فراوانی عناصر
آبیاری	لیتر (L)	سیستم کشت	در شروع آزمایش و زمانی که تغییر کرد	فراوانی، مقدار، مدت و نوع آب اضافه شده در واحد سطح یا هر بوته. میانگین و انحراف معیار- نوع سیستم آبیاری
نحوه چیدمان گیاهان	-	روی سطح کشت/کف/ سیستم آویزان	در شروع آزمایش و زمانی که شرایط تغییر می کند.	تعداد گیاهان در واحد سطح و تعداد جابجایی.
مشخصات گلخانه	-	گلخانه	در شروع آزمایش	طول و عرض جغرافیایی. جهت محور طولی گلخانه نسبت به شمال جغرافیایی. اندازه و یا مساحت کف (مترمربع)، مساحت قابل کشت (مترمربع)، ارتفاع گاتر، ارتفاع سقف (نوع، مستقل و یا متصل از طریق گاتر)، شکل (سقف منحنی، سقف شیب دار). نام سازنده (در صورت امکان) و مدل گلخانه. مشخص کردن ویژگی های خاص مانند نوع پوشش، سیستم تهویه، پرده سایه/حرارتی.

جدول ۳: پارامترهای اولیه – پارامترهای مازاد

کمیت مورد اندازه گیری	واحد	مکان اندازه گیری	زمان اندازه گیری	موارد گزارش
دمای سطح	°C	بافت گیاهی: در تاج پوشش یا سطح برگ منفرد گلخانه: به سطح سازه اشاره دارد.	ترجیحاً پیوسته (حداقل ساعتی)	میانگین و انحراف معیار- محل و جهت حسگر فاصله حسگر تا سطح اندازه گیری شده، میدان دید حسگر
تابش – تشعشع (خالص)	Wm ⁻²	در بالای سایبان، در مرکز منطقه رشد	مانند بالا	میانگین و انحراف معیار- در صورت اندازه گیری، تابش خورشیدی را نیز گزارش دهید تا بتوان تابش موج بلند (خالص) را تعیین کرد.
تابش – تشعشع (طیفی)	μmol m ⁻² s ⁻¹ nm ⁻¹	در بالا مکان مورد علاقه (به عنوان مثال در داخل سایبان)	هر چند وقت یکبار عملی است.	میانگین و انحراف معیار - سهم مطلق یا نسبی یک طول موج یا باند موج خاص در تابش کلی
تابش خورشیدی	Wm ⁻²	بیرون (بدون مانع)، داخل (در بالای سایبان، در مرکز منطقه رشد)	ترجیحاً پیوسته (حداقل ساعتی)	میانگین و انحراف معیار- در صورت امکان، انتقال (متوسط) تابش از طریق پوشش گلخانه را محاسبه کنید.
تابش – تشعشع (انتگرال)	MJm ⁻² or mol m ⁻² d ⁻¹	از داده های ذخیره شده محاسبه می شود.	به طور مداوم در طول فاصله اندازه گیری	مقادیر انباشته شده (معمولاً روزانه) سهم نسبی تشعشعات تکمیلی و خورشیدی به انتگرال (روزانه)
گردش هوا	m.s ⁻¹	در سطح سایبان	در شروع آزمایش و در صورت تغییر شرایط بیشتر	میانگین و انحراف معیار- طراحی سیستم گردش هوا جهت غالب جریان- عداد نقاط اندازه گیری و موقعیت آنها نسبت به تاج پوشش گیاه- گلخانه باز یا بسته را گزارش دهید.
محتوای آب بستر/ محتوای آب حجمی یا وزنی یا پتانسیل ماتریکی	% or kPa	بستر	روزانه	میانگین و انحراف معیار - تعداد مکان های اندازه گیری
اکسیژن محلول	mg L ⁻¹	در محیط ناحیه ریشه یا در محلول غذایی که مستقیماً به محیط ناحیه ریشه اعمال می شود.	ترجیحاً پیوسته (حداقل ساعتی)	میانگین و انحراف معیار- محل اندازه گیری (ها)

۱- به عنوان تابش فعال فتوسنتزی (PAR بین ۴۰۰ الی ۷۰۰ نانومتر) برای استفاده عمومی و توصیف چگالی شار فوتون فتوسنتزی (PPFD) توسط بسیاری از مجلات، انجمن های حرفه ای و تولیدکنندگان حسگرهای کوانتومی اشاره دارد.

۲- در صورت موجود بودن سوابق و همیشه زمانی که متغیری در دست بررسی است، گزارش دهید.

منابع

- Both, A. J., Benjamin, L., Franklin, J., Holroyd, G., Incoll, L. D., Lefsrud, M. G., & Pitkin, G. (2015). Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for experiments in greenhouses. *Plant Methods*, 11(43). <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0083-5> BioMed Central
- ASHRAE. (2007). Environmental control for animals and plants. In *ASHRAE Handbook—HVAC Applications* (Chapter 22, pp. 22.1–22.24). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Tiwari, G. N. (2003). *Greenhouse technology for controlled environment*. Alpha Science International.
- von Zabeltitz, C. (2010). *Integrated greenhouse systems for mild climates: Climate conditions, design, construction, maintenance, climate control*. Springer. [ResearchGate+2VitalSource+2Google Books+2](#)
- Adair, D., & Irwin, R. (2008). *A practical guide to containment: Plant biosafety in research greenhouses*. Information Systems for Biotechnology.
- Poorter, H., Fiorani, F., Stitt, M., Schurr, U., Finck, A., Gibon, Y., Usadel, B., Munns, R., Atkin, O. K., Tardieu, F., & Pons, T. L. (2012). The art of growing plants for experimental purposes: A practical guide for the plant biologist. *Functional Plant Biology*, 39(11), 821–838. <https://doi.org/10.1071/FP12028> [The Australian National University+1PubMed+1](#)
- International Committee for Controlled Environment Guidelines (ICCEG). (2004). *Minimum guidelines for measuring and reporting environmental parameters for experiments on plants in growth rooms and chambers*. <http://www.controlledenvironments.org/Guidelines/minimum-guidelines.htm>
- International Committee for Controlled Environment Guidelines (ICCEG). (2008). *Guidelines for measuring and reporting*

- environmental parameters for experiments in plant tissue culture facilities.* <http://www.controlledenvironments.org/Guidelines/TC-guidelines.htm>
- American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). (2012). *ANSI/ASABE EP411.5: Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for plant experiments in growth chambers.*
- Langhans, R. W., & Tibbitts, T. W. (Eds.). (1997). *Plant growth chamber handbook* (NCR Research Publication No. 340). Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station Special Report No. 99. http://www.controlledenvironments.org/Growth_Chamber_Handbook/Plant_Growth_Chamber_Handbook.htm
- Standards Australia/Standards New Zealand. (2010). *AS/NZS 2243.3:2010: Safety in laboratories—Part 3: Microbiological safety and containment.* standards.org.au+1ia802906.us.archive.org+1
- Research Councils UK. (2013). *RCUK policy and guidelines on governance of good research conduct.* <http://www.rcuk.ac.uk/RCUK-prod/assets/documents/reviews/grc/RCUKPolicyandGuidelinesonGovernanceofGoodResearchPracticeFebruary2013.pdf>
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra). (2012). *Joint code of practice for research.* https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69512/pb13725-research-code-practice.pdf
- International Organization for Standardization (ISO). (2005). *ISO/IEC 17025: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.*
- Thimijan, R. W., & Heins, R. D. (1983). Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: A review of procedures for interconversion. *HortScience*, 18(6), 818–822.
- Fisher, P., & Runkle, E. (Eds.). (2004). *Lighting up profits: Understanding greenhouse lighting.* Meister Media Worldwide.

- Spaargaren, J. J. (2007). *Supplemental lighting for greenhouse crops*. P.L. Light Systems, Inc.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1991). *Plant physiology* (4th ed.). Wadsworth Publishing.
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). *Plant nutrition of greenhouse crops*. Springer.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants* (2nd ed.). Academic Press.
- National Greenhouse Manufacturers Association (NGMA). (2011). *Standards and guidelines*.

پیوست ۱: ملاحظات اضافی

معرفی

شرایط در اتاق‌ها و محفظه‌های رشد گیاه در محیط کنترل‌شده (CE) باید به‌طور مفصل برای مقایسه نتایج و تکرار آزمایش‌ها گزارش شوند. جدول حداقل دستورالعمل‌ها، همراه با این یادداشت‌ها، باید به دستیابی به این اهداف کمک کند و حداقل مقدار اطلاعات مورد نیاز را نشان و گزارش دهد. آنها همچنین ممکن است پارامترهایی را که مهم هستند اما ممکن است برای اندازه‌گیری در نظر گرفته نشده را برجسته کنند. میانگین اندازه‌گیری‌ها و انحراف استاندارد زمانی آنها (S.D.) باید گزارش شوند. همه حسگرها باید به‌طور منظم طبق رویه‌های سازنده و فرکانس پیشنهادی T کالیبره شوند.

تابش - تشعشع

- خروجی تمام منابع تشعشع الکتریکی با ساعات کار کاهش می‌یابد. خروجی برخی از لامپ‌های فلورسنت ممکن است پس از پنج ماه اول استفاده تا ۲۰ درصد کاهش یابد.
- تابش به‌طور قابل توجهی در سراسر منطقه رشد در بسیاری از واحدهای محیط کنترل شده متفاوت است.
- غیریکنواختی تابش عمودی در تمام واحدهای محیط کنترل‌شده، بسته به اندازه محفظه، نوع لامپ، توزیع لامپ و شکل لامپ T رخ می‌دهد.
- طیف لامپ‌های الکتریکی به‌طور کلی در مقایسه با خورشید، متفاوت است. نسبت‌های غیرطبیعی قرمز به نور قرمز دور ممکن است بر مورفوژن در برخی از گیاهان تأثیر بگذارد و هنگام تفسیر نتایج باید اثرات فوتومورفونیک در نظر گرفته شود.

درجه حرارت

- ممکن است بین دمای هوا محیط و گیاه، به‌ویژه تحت تشعشع زیاد، تفاوت وجود داشته باشد.

- سیستم‌های کنترل روشن-خاموش قدیمی‌تر می‌توانند تا ± 5 درجه سلسیوس از دمای نقطه تنظیم شده اختلاف ایجاد نمایند.
- یک گرادیان دمای عمودی در اکثر واحدهای محیط کنترل‌شده، بسته به نرخ جریان هوا و سایر عوامل، رخ می‌دهد.
رطوبت اتمسفر
- رطوبت هوا روی گیاهان در واحدهای محیط کنترل‌شده به‌طور مستقیم (از طریق تعرق و تبادل گاز) و به‌طور غیرمستقیم (از طریق تعادل انرژی و محیط فیزیکی و بیولوژیکی گیاه) تأثیر می‌گذارد.
- چرخه‌های گرمایش و سرمایش که فقط ۱ تا ۳ دقیقه طول می‌کشند، می‌توانند رطوبت مطلق را ۱ تا ۲ درصد و رطوبت نسبی را ۲۰ تا ۴۰ درصد تغییر دهند.
- رطوبت هوا یک پارامتر چالش برانگیز برای نظارت است، اما برای روابط آبی گیاه و آلودگی توسط پاتوژن‌های برگ، بسیار مهم است. رطوبت نسبی (RH) برای گزارش رطوبت تا زمانی که واحدهای محیط کنترل‌شده نتوانند کمبود فشار بخار (VPD) را کنترل کنند، یا ابزارهای قابل حمل برای اندازه‌گیری و نمایش VPD در دسترس باشند، قابل قبول است.
دی‌اکسیدکربن
- دی‌اکسیدکربن (CO_2) احتمالاً کمترین پارامتر محیطی کنترل‌شده در مطالعات محیط کنترل‌شده است. متأسفانه، تا زمانی که گیاهان شروع به نشان دادن علائم خسارت نکنند، میزان کمبود یا بیش‌بود دی‌اکسیدکربن مشخص نخواهد شد.
- تغییرات کوچک غلظت دی‌اکسیدکربن می‌تواند رشد و نمو گیاه را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد. افراد داخل یا اطراف واحدهای محیط کنترل‌شده و حتی گلخانه‌ها همانطور که وسایل نقلیه موتوری، سیستم‌های گرمایشی و سایر منابع مجاور که دی-اکسیدکربن تولید می‌کنند، می‌توانند باعث افزایش دی‌اکسیدکربن شوند.

• امروزه تعداد کمی از واحدهای محیط کنترل شده که تولید شده، دارای تجهیزات کنترل یا نظارت بر دی‌اکسیدکربن به عنوان یک ویژگی استاندارد، هستند. با این حال، اکثر آنها درجاتی از تهویه یا تبادل هوا را دارند و تبادل هوای خوب می‌تواند تجمع یا کاهش دی‌اکسیدکربن را تعدیل کند.

• حتی اگر یک واحد محیط کنترل شده به خوبی تهویه شود، مهم است که ناحیه اطراف که با آن هوا تبادل می‌کند نیز باید به خوبی تهویه شود.

مسائل طراحی تجربی

• در حالت ایده‌آل، یک واحد محیط کنترل شده باید به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شود. تکثیر واقعی مستلزم استفاده از چندین واحد محیط کنترل شده، یا تکرار تیمار در هر واحد زمان، گزینه‌های گران قیمت و زمان‌بر است.

• انتقال منظم گیاهان بین واحدهای محیط کنترل شده ممکن است جایگزینی برای جلوگیری از مخدوش شدن مستقیم اثرات یک محیط تحمیلی با یک واحد محیط کنترل شده باشد.

• تکرار آزمایش‌ها در یک واحد رشد با محیط کنترل شده (CE) که پارامترهای محیطی آن به درستی کنترل یا پایش نمی‌شوند، ممکن است به برداشت‌های نادرست از شرایط تیمار و داده‌های حاصل منجر شود.

نمونه‌ای از گزارش مناسب برای انتشار

این آزمایش در یک اتاق رشد ۳ متر در ۴ متر مجهز به لامپ‌های فلورسنت سفید خنک (مدل ۸۳۰، فیلیپس) بالای یک پوشش شیشه‌ای شفاف نصب شده و یک سیستم توزیع جریان هوا به سمت بالا با استفاده از گردش هوای کافی برای فراهم کردن شرایط مناسب دی‌اکسیدکربن محیط بود. دمای هوای اتاق در طول دوره در روز 20 ± 1 و شب 15 ± 1 درجه سلسیوس حفظ شد. تابش فعال فتوسنتزی (PAR) در بالای تاج در طول

دوره نوری ۱۲ ساعته در ۴۰۰ میکرومول در مترمربع بر ثانیه حفظ شد. رطوبت نسبی در اتاق در ۷۰ درصد ($s.d. \pm 10$) حفظ شد. گیاهان در گلدان‌های ۱ لیتری با مخلوطی از پیت-ورمیکولیت (نسبت حجمی ۲:۱) رشد کردند. گیاهان روزانه با یک محلول غذایی هوگلند کامل با pH برابر آب‌آبیاری شدند.

حداقل دستورالعمل برای اندازه گیری و گزارش پارامترهای محیطی برای آزمایشات روی گیاهان در اتاق های رشد و اتاق ها

کمیت مورد اندازه گیری		واحد ^۱	محل اندازه گیری	زمانی اندازه گیری	نحوه گزارش دهی
تابش - تشعشع	تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) ^۲	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	بالای تاج گیاه در مرکز منطقه رشد	در شروع و پایان و هر ۲ هفته از آزمایش	میانگین و انحراف معیار، منبع تابش (نوع، مدل و سازنده)
	دوره نوری	H	-	-	طول دوره های روشن و تاریک
دما	هوا	°C	بالای تاج گیاه در مرکز منطقه رشد	روزانه در طول هر دوره روشن و تاریک، حداقل ۱ ساعت پس از تغییر نور/تاریکی	میانگین و انحراف معیار
	محیط کشت	°C	داخل محلول زیر گیاهان	همانطور که در بالا برای دمای هوا ذکر شد.	میانگین و انحراف معیار
رطوبت اتمسفر	کمبود فشار بخار آب (VPD)	kPa	بالای تاج گیاه در مرکز منطقه رشد	روزانه در طول هر دوره روشن و تاریک، حداقل ۱ ساعت پس از تغییر نور/تاریکی	میانگین و انحراف معیار
	رطوبت نسبی (RH)	%	همانطور که در بالا برای VPD وجود دارد.	همانطور که در بالا برای VPD وجود دارد.	میانگین و انحراف معیار
دی اکسید کربن ^۳		$\mu\text{mol.mol}^{-1}$	بالای پوشش گیاه	حداقل هر ساعت	میانگین و انحراف معیار
سرعت هوا ^۳		m.s^{-1}	در یک یا چند مکان منتخب در پوشش گیاهی	حداقل یک بار در طول آزمایش	میانگین و انحراف معیار
آبیاری		لیتر (L)	-	روزانه	دفعات، مقدار و نوع آب اضافه شده
pH	محلول کشت مایع	pH	در محلول عمده	قبل و بعد از اصلاح pH	میانگین و انحراف معیار
هدایت الکتریکی ^۳ (EC)		S.m^{-1}	در محلول عمده	قبل و بعد از اصلاح EC	میانگین و انحراف معیار

کمیت مورد اندازه گیری	واحد ^۱	محل اندازه گیری	زمانی اندازه گیری	نحوه گزارش دهی
بستر	–	–	در شروع آزمایش	نوع و حجم در هر ظرف، اجزای بستر بدون خاک، ابعاد ظرف
تغذیه				
محیط جامد	Mol.kg ⁻¹ (dry)	–	وقتی اضافه شد یا دوباره پر شد	عناصر غذایی و شکل آنها که به محیط خاک اضافه شده است.
کشت در مایع	mmol L ⁻¹	–	روزانه یا زمانی که دوباره پر شود.	غلظت یونی در محلول اولیه و اضافه شده هوادهی در صورت وجود حجم محلول اولیه
ویژگی های اتاق	مشخصات فنی	–	–	مساحت طبقه، سازنده و مدل در صورت موجود بودن
	مانع زیر لامپها	–	–	مشخص کردن وجود و ترکیب آن
	جریان هوا	–	–	مشخص کردن جریان بالا، پایین یا افقی

۱- جهت راحتی، یک یا چند واحد فرعی دیگر را گزارش دهید.

۲- به عنوان تابش فعال فتوسنتزی (PAR بین ۴۰۰ الی ۷۰۰ نانومتر) برای استفاده عمومی و توصیف چگالی شار فوتون فتوسنتزی (PPFD) توسط بسیاری از مجلات، انجمن های حرفه ای و تولیدکنندگان حسگرهای کوانتومی اشاره دارد.

۳- در صورت موجود بودن سوابق و همیشه زمانی که تغییری در دست بررسی است، گزارش دهید. برای اطلاعات بیشتر، به دستورالعمل های دقیق منتشر شده با عنوان (ANSI/ASAE Engineering Practice EP411.4, 2002) و راهنمای اندازه گیری و گزارش پارامترهای محیطی برای آزمایش های گیاهی در اتاقک های رشد مراجعه کنید (ASAE, 2950, Niles Road, St. Joseph, MI 49085-9659, USA).

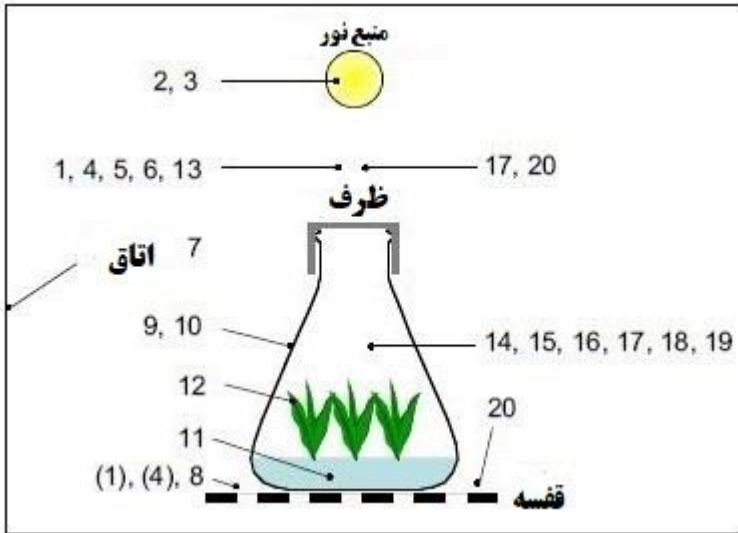
پیوست ۲: مقدمه‌ای بر دستورالعمل‌ها

کشت بافت ابزاری بسیار مهم برای تکثیر گیاهان و زیست‌فناوری است و به عنوان روشی تحقیقاتی در فیزیولوژی گیاهی و زیست‌شناسی مولکولی به کار می‌رود. امکانات مورد استفاده در کشت بافت می‌توانند از تجهیزات ساده و ابتدایی گرفته تا انکوباتورهای آماده و مجموعه‌های پیشرفته‌ای از کابین‌ها و اتاق‌های تخصصی متغیر باشند. در تمامی این موارد، ثبت دقیق شرایط محیطی ضروری است تا رشد کشت‌ها استاندارد و بهینه شود و همچنین امکان تکرار معتبر آزمایش‌ها در میان مراکز مختلف فراهم گردد.

پارامترهای حیاتی اولیه مشترک در اکثر تأسیسات کشت بافت گیاهی را می‌توان نسبتاً آسان کنترل و ثبت کرد. جدول ۲ و ۳ راهنمایی در مورد نحوه نظارت و ثبت این پارامترهای اولیه را ارائه می‌دهد، که بیشتر آنها در حالت ایده آل باید در محل کشت‌ها نظارت شوند (شکل زیر). تجهیزات با سیستم‌های کنترل خودکار معمولاً دما را در ورودی گردش هوا، اندازه‌گیری می‌کنند که می‌تواند به‌طور قابل توجهی در مقایسه با دمای بالای قفسه، متفاوت باشد. اگر در یک آزمایش از چندین قفسه استفاده می‌شود، هر قفسه باید به صورت جداگانه نظارت شود.

بسیاری از مراکز تحقیقاتی تجهیزات ضبط دقیق‌تری دارند یا ممکن است بتوانند طیف وسیع‌تری از پارامترهای آزمایشی را ثبت کنند. محیط واقعی کشت بافت داخل قفسه است. آزمایشگاه‌های پیشرفته ممکن است تجهیزاتی برای انجام اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق و فنی دشوار در داخل قفسه‌ها، از جمله توزیع طیفی تشعشع، در دسترس داشته باشند. در شکل (۸) سیزده پارامتر اولیه و هفت پارامتر محیطی تخصصی شناسایی شده و محل اندازه‌گیری آن‌ها نشان داده شده‌است. برای جزئیات بیشتر در مورد پارامترهای خاص و تعاملات آن‌ها با پارامترهای اصلی، به ¹Fujiwara and Kozai (1995) مراجعه کنید. اگر پارامترهای خاص اندازه‌گیری شوند، باید گزارش شوند.

¹ Fujiwara, K. and Kozai, T. (1995) Physical microenvironment and its effects p. 319-369. In: J. Aitken-Christie, T. Kozai and M.A.L. Smith (eds) Automation



شکل ۸- محل اندازه گیری پارامترها

کلید شکل:

پارامترهای اولیه	پارامترهای تخصصی
۱. تشعشع	۱۴. دمای هوا
۲. منبع نور - ویژگی‌ها	۱۵. رطوبت اتمسفر
۳. دوره نوری	۱۶. تشعشع
۴. دمای هوا	۱۷. توزیع طیفی تابش
۵. رطوبت اتمسفر	۱۸. غلظت CO_2
۶. گردش هوا	۱۹. نرخ مبادله هوایی شناورها
۷. اتاق - ویژگی‌ها	۲۰. سرعت هوا
۸. قفسه - ویژگی‌ها	یادداشت:
۹. ظرف - ویژگی‌ها	سطح قفسه = تا حد امکان نزدیک به بالای قفسه.
۱۰. ظرف - تراز	
۱۱. محیط کشت	

and Environmental Control in Plant Tissue Culture, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

روش‌های اندازه‌گیری و گزارش پارامترهای محیطی در آزمایش‌های گلخانه‌ای

۱۲. تعداد ریز نمونه	سطح قفسه = بالاتر اما تا حد امکان نزدیک به بالای قفسه.
۱۳. غلظت CO ₂	پارامترهای تخصصی ۱۴ تا ۱۹ در داخل یک ظرف اندازه‌گیری می‌شوند. () = اختیاری

نحوه گزارش شرایط آزمایشی

نمونه اول:

آزمایش در یک اتاق رشد با امکان ورود و خروج (مدل، سازنده) انجام شد (مساحت کف ۱۱.۲ مترمربع و ارتفاع سقف ۲.۱ متر)، با گردش هوای افقی از طریق دیوارهای جانبی سوراخ‌دار و چهار قفسه مشبک فولادی انباشته‌شده (۲۴ مترمربع فضای کل قفسه‌ها). هوای کافی از بیرون تأمین شد تا غلظت دی‌اکسیدکربن محیطی در اتاق حفظ شود. لامپ‌های فلورسنت سفید سرد (مدل، سازنده) که ۴۰ سانتی‌متر بالای هر قفسه نصب شده بودند، میانگین تابش فعال فتوسنتزی (PAR) برابر با ۵۰ (± 7) مول بر مترمربع بر ثانیه بود. دمای هوای قفسه‌ها در طول روز ۲۰ (± 1) و شب ۱۵ (± 1) درجه سلسیوس حفظ شد. رطوبت نسبی بالای ظروف کشت ۶۷ (± 10) درصد بود.

۱۰ گیاهچه در فلاسک‌های ارلن شیشه‌ای ۲۰۰ میلی‌لیتری که با فیلم پلاستیکی شفاف بسته شده بودند، کشت شدند. هر فلاسک حاوی ۴۰ میلی‌لیتر محیط کشت پایه موراشیگه و اسکوگ (۱۹۶۲)، حاوی ۳۰ گرم در لیتر ساکارز، ۵ گرم در لیتر ذغال فعال و ۸ گرم در لیتر آگار بود. pH محیط روی ۵/۸ تنظیم شد. فلاسک‌ها یک ردیفه در هر قفسه با فاصله کافی برای حرکت هوا در اطراف هر فلاسک قرار داشتند. هیچ پارامتر محیطی در داخل فلاسک‌ها ثبت نشد.

نمونه دوم:

آزمایش در یک اتاق رشد با امکان ورود و خروج (مدل، سازنده) انجام شد (مساحت کف ۱۱/۲ مترمربع و ارتفاع سقف ۲/۱ متر)، با گردش هوای افقی از طریق دیوارهای جانبی سوراخ‌دار و چهار قفسه مشبک فولادی انباشته‌شده (۲۴ مترمربع فضای کل قفسه‌ها).

هوای کافی از بیرون تأمین شد تا غلظت دی‌اکسیدکربن محیطی در اتاق حفظ شود. لامپ‌های فلورسنت سفید سرد (مدل، سازنده) که ۴۰ سانتی‌متر بالای هر قفسه نصب شده بودند، میانگین تابش فعال فتوسنتزی (PAR) برابر با ۵۰ (انحراف معیار ± 7) میکرومول بر متر مربع بر ثانیه بالای ظروف کشت در طول دوره نوری ۱۶ ساعته فراهم کردند. دمای هوا بالای ظروف کشت در طول دوره روشن/تاریک ۲۰/۲۵ (انحراف معیار ± 1) درجهٔ سلسیوس بود. رطوبت نسبی بالای ظروف کشت ۶۷ (انحراف معیار ± 10)٪ بود.

۱۰ گیاهچه در ارلنمایرهای^۱ شیشه‌ای ۲۰۰ میلی‌لیتری کشت داده شدند که با فیلم پلاستیکی نیمه‌شفاف پوشانده شده بودند. هر ارلن شامل ۴۰ میلی‌لیتر محیط کشت با ترکیبات پایه مرشیگه و اسکوک (۱۹۶۲)، ۳۰ گرم در لیتر ساکارز، ۵ گرم در لیتر زغال فعال و ۸ گرم در لیتر آگار بود. pH محیط کشت به ۵.۸ تنظیم شد. ارلن‌ها در یک لایه روی هر قفسه قرار داشتند و فاصله کافی برای جریان هوای مناسب اطراف هر ارلن در نظر گرفته شد. هیچ پارامتر محیطی داخل ارلن‌ها ثبت نشده است.»

¹ - Erlenmeyer

اندازه‌گیری و گزارش پارامترهای محیطی برای آزمایش‌ها در تأسیسات کشت بافت گیاهی: جدول پارامترهای اولیه

کمیت مورد اندازه‌گیری	واحد ^۱	محل اندازه‌گیری	زمانی اندازه‌گیری	نحوه گزارش‌دهی
تشعشع (PAR ^۱)	$\mu\text{mol mol}^{-1}$	الف) در سطح ظرف، در ارتفاع یکنواخت در سراسر (شکل را ببینید).	در شروع آزمایش و هر ۴ هفته یکبار ^۲	میانگین و انحراف معیار تابع تشعشع (نوع، مدل و سازنده، و فاصله از قفسه)
		ب) اختیاری، در سطح قفسه، در مرکز قفسه خالی ^۳	مانند بالا	مانند بالا
دوره نوری	H		در شروع آزمایش	طول دوره‌های روشن و تاریک
دمای هوا	°C	الف) در سطح ظرف (مکان حسگر بسیار مهم است و باید مستقل از حسگر کنترل دمای تأسیسات باشد).	روزانه در طول هر دوره روشن و تاریک، حداقل ۱ ساعت پس از تغییر نور/تاریکی	میانگین و انحراف معیار برای دوره‌های روشن و تاریک
		ب) اختیاری، در سطح قفسه، در مرکز قفسه، ظرف بیرونی	مانند بالا	مانند بالا
رطوبت اتمسفر (رطوبت نسبی یا کمبود فشار بخار)	% or kPa	در سطح ظرف و مستقل از حسگر کنترل رطوبت تأسیسات	روزانه در طول هر دوره روشن و تاریک، حداقل ^۱ ساعت پس از تغییر نور/تاریکی	میانگین و انحراف معیار برای دوره‌های روشن و تاریک
گردش هوا	-	در سطح ظرف	در شروع آزمایش	قفسه‌ها، دیوارها، سقف، کف یا کانال‌های سوراخ شده و جریان افقی یا عمودی را ثبت کنید. منبع هوای تازه را ثبت کنید.
ویژگی‌های اتاق یا کابینت	-	-	در شروع آزمایش	اندازه (مساحت کف برحسب مترمربع، ارتفاع سقف برحسب متر) و نوع (راه رفتن به داخل/دسترسی به داخل) - سازنده و مدل در صورت موجود بودن، مشخص کنید که آیا ویژگی‌های خاصی

کمیت مورد اندازه گیری	واحد ^۱	محل اندازه گیری	زمانی اندازه گیری	نحوه گزارش دهی
				دارد یا خیر؟ قفسه های چرخان، بازتابنده های نور، خنک کننده پایین قفسه ها
ویژگی های قفسه	-	-	در شروع آزمایش	مساحت (مترمربع)، نوع (جامد یا مشبک، فولاد، چوب یا شفاف)، تعداد (انباشته، انباشته نشده) و ساخت و ساز. توجه داشته باشید که آیا قفسه ها از پایین با هوا یا آب خنک می شوند.
مشخصات ظرف (این قابل تصور است که طیف وسیعی از ظرف ها ممکن است در حال استفاده باشند.)	-	-	در شروع آزمایش	انواع (گلدان، ظروف، بطری، شیشه) و مواد (شیشه، پلاستیک) اندازه/حجم (میلی لیتر) نوع بسته شدن و آب بند یا دریچه اضافی
تراز ظرف	-	در هر قفسه	در شروع آزمایش	تعداد ظروف و تعداد لایه ها (اگر ظروف روی هم چیده شده اند) در هر قفسه
محیط کشت	-	حجم به ازای هر ظرف (میلی لیتر) ترکیب معدنی (ریز و درشت مغذی ها) منبع کربن، تنظیم کننده های رشد، ویتامین ها و غلظت های آن ها؛ همچنین مشخص شود که آیا زغال فعال یا سایر زیرلایه های اضافی استفاده شده است یا خیر.	در شروع آزمایش	جامد، ژل، یا مایع (یا ترکیبی از آن ها). نوع و برند عامل ژله ای کننده. pH حجم به ازای هر ظرف (میلی لیتر) ترکیب معدنی (ریز و درشت مغذی ها) منبع کربن، تنظیم کننده های رشد، ویتامین ها و غلظت های آن ها؛ همچنین مشخص شود که آیا زغال فعال یا سایر زیرلایه های اضافی استفاده شده است یا خیر.

کمیت مورد اندازه گیری	واحد ^۱	محل اندازه گیری	زمانی اندازه گیری	نحوه گزارش دهی
تعداد ریز نمونه	–	در هر ظرف	در شروع آزمایش	تعداد اولیه ریز نمونه ها
غلظت CO ₂ اتمسفر	$\mu\text{mol mol}^{-1}$ ₁	در سطح ظرف، در مرکز قفسه	روزانه اما فقط در صورتی که غنی سازی CO ₂ در مرکز نصب شده باشد.	میانگین و انحراف معیار

۱- به عنوان تابش فعال فتوسنتز 400 – 700 (نانومتر) برای استفاده عمومی و توصیف چگالی شار فوتون فتوسنتزی (PPFD) توسط بسیاری از مجلات، انجمن های حرفه ای و تولیدکنندگان حسگرهای کوانتومی.

۲- راندمان لامپ فلورسنت در عرض چند هفته پس از نصب و به تدریج پس از آن به طور قابل توجهی کاهش می یابد و بنابراین چنین لامپ هایی نیاز به نظارت و برنامه جایگزینی منظم دارند.

۳- اگر لامپ ها به جای بالای قفسه در پشت قفسه چیده شده اند، PAR در پشت و جلوی یک قفسه خالی اندازه گیری شود.