

اجزای اصلی محیط گلخانه عبارتند از:

۱. نور
۲. ترکیب هوا
۳. دما
۴. رطوبت نسبی هوا
۵. محیط کشت

در این درس به طور مفصل به هر کدام از این اجزا و محاسبات مربوطه پرداخته می‌شود.

نور

منبع اصلی تأمین نور گلخانه خورشید است. بنابراین شایسته است که ابتدا کمی راجع به خورشید و انرژی تابشی آن به سطح زمین بحث شود.

گفته می‌شود که مقدار انرژی تابشی خورشید بر واحد سطح در مدار زمین (آهنگ تابش خورشید در مدار زمین) برابر است با $1367 \frac{W}{m^2}$.

سؤال: این عدد چطور محاسبه شده است؟

جواب: در فیزیک قانونی تحت عنوان استفان-بولتزمن راجع به تشعشع از اجسام وجود دارد که عنوان می‌کند: مقدار انرژی تابشی بر واحد سطح از یک جسم که دمای T (برحسب کلوین) دارد، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H = \epsilon \sigma T^4$$

که در آن:

H: آهنگ تابش ($\frac{W}{m^2}$)

T: دمای ترمودینامیکی (برحسب °K)

ϵ : ثابت گسیلندگی جسم و

σ : ثابت استفان-بولتزمن ($\frac{W}{m^2 K^4}$) است.

ثابت گسیلندگی جسم (ϵ) همواره بین صفر و یک است و مقدار آن به صافی و ناصافی سطح و رنگ آن بستگی دارد. جسمی که ثابت گسیلندگی آن برابر با ۱ باشد، جذب کننده و گسیلنده کامل تابش است. ϵ خورشید برابر با ۱ است.

مقدار ثابت استفان-بولتزمن برابر است با:

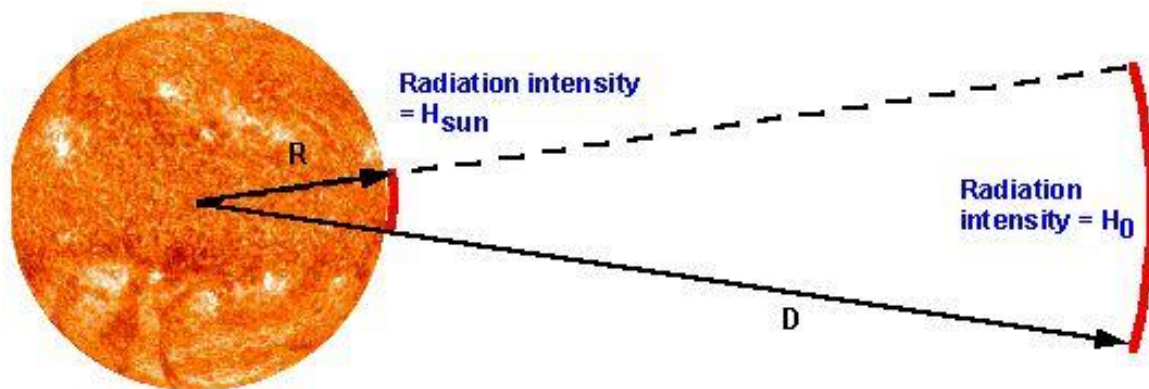
$$\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} J s^{-1} m^{-2} K^{-4} = 5.6704 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

بنابراین قانون استفان-بولتزمن درباره خورشید که دمای سطح آن 5785 °K است به مقدار زیر منجر می‌شود:

$$H_{sun} = \epsilon \sigma T^4 = 1 \times 5.6704 \times 10^{-8} \times 5785^4 = 63507812 \frac{W}{m^2}$$

دقت کنید که این عدد آهنگ تابش را در سطح خورشید که شعاع آن 696×10^6 متر است می‌دهد. در مدار زمین که فاصله آن از خورشید 150×10^9 متر است، عدد آهنگ تابش از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H_{earth} = H_{sun} \times \frac{4\pi R^2}{4\pi D^2} = 63507812 \times \left(\frac{696 \times 10^6}{150 \times 10^9}\right)^2 = 1367 \frac{W}{m^2}$$



کاربرد: با توجه به اینکه آهنگ تابش خورشید در مدار زمین برابر با $1367 \frac{W}{m^2}$ است، در صورت داشتن مساحت ناحیه، می‌تون توان دریافتی تابش خورشیدی در جو زمین را به دست آورد.

$$H_{earth} \times A = \text{توان تابشی دریافتی در جو زمین}$$

A: مساحت ناحیه مورد نظر است.

نکته ۱- چون قطر کره زمین برابر با $12.75 \times 10^6 m$ است، مقدار کل توان تابشی دریافتی از خورشید توسط جو زمین تقریباً $1.74 \times 10^{17} W$ می‌شود.

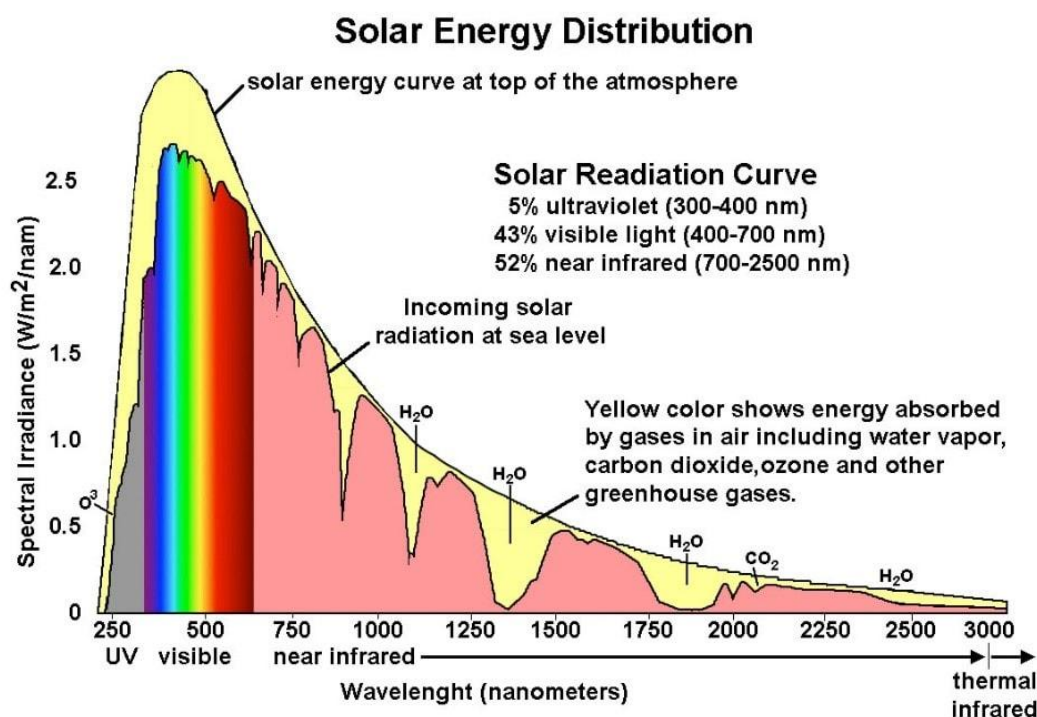
نکته ۲- اگر فرض کنیم که کل این توان توسط زمین جذب شود، متوسط دمای زمین با محاسبه زیر تقریباً برابر با $5^\circ C$ خواهد شد که $10^\circ C$ کمتر از متوسط دمای زمین است. بنابراین با این محاسبه به خاصیت جو زمین در حفظ گرمای آن (همان اثر گلخانه‌ای) پی می‌بریم:

$$\frac{1367}{4} = 5.6704 \times 10^{-8} \times T^4 \xrightarrow{\text{yields}} T = 278.6^\circ K = 5.6^\circ C$$

سؤال: چرا در رابطه بالا عدد 1367 تقسیم بر 4 شده است؟

جواب: به علت به حساب آوردن اثر سطح کروی زمین که مساحت آن 4 برابر مساحت دایره عظیمه زمین است. به بیان دیگر در محاسبه بالا فرض شده است که تابش خورشید روی کل سطح زمین اتفاق می‌افتد که مساحت آن 4 برابر مساحت دایره عظیمه است بنابراین شدت تابش یک چهارم می‌شود.

آشنایی با طیف الکترومغناطیسی نور خورشید و سهم نور مناسب برای رشد محصولات کشاورزی از این طیف:

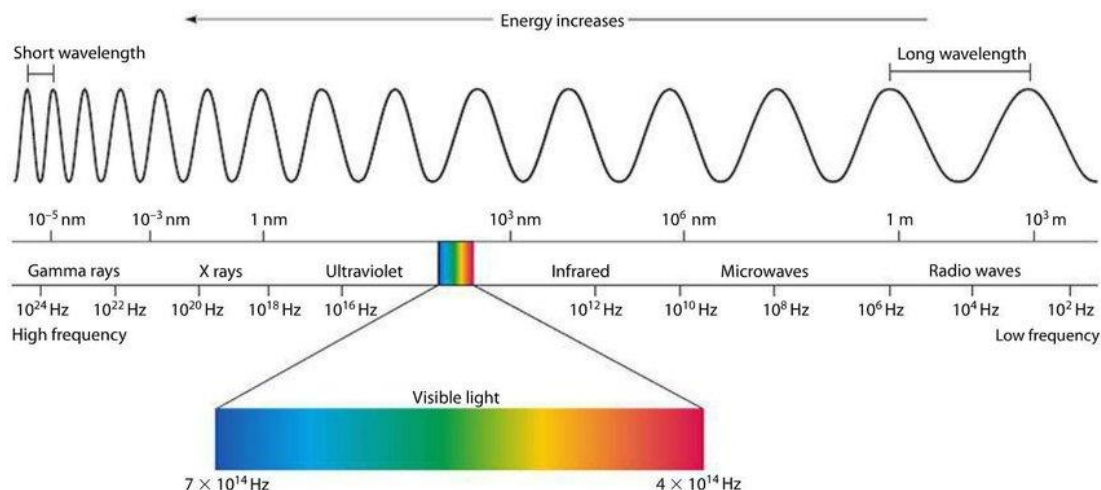


با توجه به شکل بالا به اثر جو روی کاهش سطح طول موجهای مضر در طیف نور خورشید توجه کنید. لایه ازن باعث کاهش قابل توجه در تابش ماوراءبنفش (ultraviolet) می شود و حضور بخار آب و دی اکسید کربن باعث جذب مقدار زیادی از تابش در ناحیه زیرقرمز (infrared) می شود.

نکته: عمل فتوسنتز در گیاهان به طور عمده در طیف نور مرئی (visible light) که دارای طول موج ۳۹۰ تا ۷۰۰ نانومتر است اتفاق می افتد. به این طیف از نور در اصطلاح Photosynthetically Active Radiation (PAR) گفته می شود.

به طور کلی نور فرابنفش (طول موج ۲۹۰-۳۹۰ نانومتر) برای رشد گیاهان زیان آور است. بنابراین بخش عمده انرژی خورشید که توسط گیاهان استفاده شده و به عمل فتوسنتز می انجامد شامل یک بخش کوچک از طیف نور خورشید می باشد.

رابطه کیفی بین طول موج و انرژی قابل انتقال در طیف الکترومغناطیسی در شکل زیر نشان داده شده است:



از نظر کمی با مثال زیر ارتباط بین طول موج، فرکانس و انرژی قابل انتقال توسط موج الکترومغناطیسی توضیح داده می‌شود.

What is the frequency and energy of electromagnetic radiation with a wavelength of 1.22 km?

Explanation:

There are two parts to this question. The first part determines what the frequency will be. The second part determines what the energy will be.

Part 1: Determining Frequency

The speed of light is directly proportional to wavelength and frequency. $c = \lambda \cdot f$, where c is the speed of light, λ is the wavelength, f is the frequency.

The speed of light c is a constant. $c = 3.00 \times 10^8$ m/s to three significant figures.

Since c is in m/s, the wavelength needs to be converted from kilometers to meters.

$$1.22 \text{ km} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 1220 \text{ m}$$

Now we're ready to determine the frequency.

Known/Given

$$c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\lambda = 1220 \text{ m}$$

Unknown

f

Solution

Rearrange the equation to isolate f , substitute the known/given values into the equation.

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

$$f = \frac{3.00 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1220 \text{ m}} = \frac{2.459 \times 10^5}{\text{s}} = 2.459 \times 10^5 \text{ Hz}$$

Part 2: Determine the Energy

The energy in a photon is determined by multiplying the frequency by Planck's constant. Planck's constant, h , is $6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. The unit for energy is the Joule (J).

The equation for determining the energy of a photon is shown below.

$$E = hf, \text{ where } E \text{ is energy, } h \text{ is Planck's constant, and } f \text{ is the frequency.}$$

Substitute the known values into the equation and solve.

$$E = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}) \left(\frac{2.459 \times 10^5}{\text{s}} \right) = 1.63 \times 10^{-28} \text{ J}$$

ثابت کنید که انرژی پرتویی با طول موج ۵۰۰ نانومتر، ۵۷ کیلوکالری بر مول است.

$$\lambda = 500 \text{ nm} = 500 \times 10^{-9} \text{ m} \xrightarrow{\text{yields}} f = \frac{\text{light velocity}}{500 \times 10^{-9} \text{ m}} = \frac{3 \times 10^8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}{500 \times 10^{-9} \text{ m}} = 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E = hf = 6.63 \times 10^{-34} \times 6 \times 10^{14} = 39.78 \times 10^{-20} \text{ J} \\ 1 \text{ mole} = 6.02 \times 10^{23} \end{array} \right. \xrightarrow{\text{yields}} \text{انرژی یک مول فوتون} = 39.78 \times 6.02 \times 10^3 = 239475.6 \text{ J}$$

$$1 \text{ Kcal} = 4200 \text{ J} \xrightarrow{\text{yields}} \text{انرژی یک مول موج} = \frac{239475.6 \text{ J}}{4200 \frac{\text{J}}{\text{Kcal}}} = 57.018 \text{ Kcal}$$

عمل فتوسنتز در گیاهان در طیف نور مرئی صورت می‌گیرد. طیفهای نور آبی و قرمز راندمان بالایی برای فتوسنتز گیاهان دارند. در بسیاری از گیاهان تغییر فاز از رویشی به زایشی توسط نورهای سرخ ($\lambda=660\text{ nm}$) و فرورسرخ ($\lambda=730\text{ nm}$) انجام می‌گیرد.

اندازه‌گیری نور:

اندازه‌گیری نور به دو روش انجام می‌شود:

- اندازه‌گیری فتومتری
- اندازه‌گیری رادیومتری

اندازه‌گیری فتومتری عبارتست از واکنش چشم انسان نسبت به نور که با دو اصطلاح جریان تشعشع و درخشندگی بیان می‌شود.

اندازه‌گیری رادیومتری عبارتست از واکنش گیاهان نسبت به نور که با دو اصطلاح تابش و ضریب تأثیر تشعشع بیان می‌شود.

جریان تشعشع (Luminous Flux): عبارتست از شدت انتشار نور از منبع نوری نسبت به حساسیت چشم انسان که بر حسب واحد لومن (Lm) محاسبه می‌شود. برای درک مفهوم جریان تشعشع ابتدا باید اصطلاح توان تابش تعریف شود.

توان تابش، کل توان ناشی از تابش بر حسب وات است که واژه انگلیسی آن Radiant Power می‌باشد. این توان باید در حساسیت چشم انسان به نور ضرب شود تا **جریان تشعشع** (Luminous Flux) بر حسب لومن (Lm) به دست آید. به زبان ریاضی داریم:

$$\text{Luminous Flux for visible light (Lm)} = \text{Radiant Power (W)} \times 683 \left(\frac{\text{Lm}}{\text{W}} \right)$$

$$\text{Luminous Flux for sun light (Lm)} = \text{Radiant Power (W)} \times 96 \left(\frac{\text{Lm}}{\text{W}} \right)$$

$$\text{Luminous Flux for an electric lamp (Lm)} =$$

$$\text{Radiant Power of lamp (W)} \times \text{Luminous Efficiency of lamp} \left(\frac{\text{Lm}}{\text{W}} \right) =$$

$$\text{Electric Power of lamp (W)} \times \text{Luminous Efficiency of lamp} \times \text{Efficiency of lamp} \left(\frac{\text{Lm}}{\text{W}} \right)$$

$$\text{Luminous Efficiency of an electric lamp} = \frac{\text{equivalent Light Power (Radiant Power)}}{\text{Electric Power}}$$

برای یک لامپ رشته‌ای معمولی ۱۰۰ وات که جریان تشعشع آن ۱۷۰۰ Lm است و نور مرئی تولید می‌کند، بازده تشعشع بر حسب درصد برابر است با:

$$\text{Luminous Efficiency of lamp} = \frac{\text{equivalent "Light" Power}}{\text{Electric Power}} \times 100 = \frac{\frac{1700 \text{ Lm}}{683 \frac{\text{Lm}}{\text{W}}}}{100 \text{ W}} \times 100 = \frac{2.49 \text{ W "Light" Power}}{100 \text{ W Electric Power}} \times 100 = 2.49\%$$

نکته: هر نوع نوری ضریب تبدیل وات به لومن مخصوص خود (ضریب تأثیر و یا efficacy مخصوص به خود) را دارد که در حل مسائل باید به این نکته توجه کرد.

درخشندگی:

درخشندگی عبارتست از شدت جریان تشعشع (Luminous Flux) در واحد سطح که بر حسب واحد لومن بر متر مربع (لوکس) و یا واحد لومن بر فوت مربع (فوت کندل) محاسبه می‌شود. هر لوکس معادل ۱۰/۷۶ فوت کندل است.

تابش:

تابش عبارتست از نرخ زمانی انرژی تابشی (یعنی توان تابشی) بر واحد سطح و معمولاً بر حسب واحد وات بر متر مربع بیان می‌شود.

ضریب تأثیر تشعشع:

عبارتست از نسبت جریان تشعشع (بر حسب واحد لومن) به توان معادل نوری منبع تابشی (بر حسب وات). بنابراین ضریب تأثیر تشعشع بر حسب واحد لومن بر وات بیان می‌شود.

علاوه بر خورشید، امکان استفاده از منبع نور مصنوعی نیز در تولید محصولات گلخانه‌ای وجود دارد. در فهرست زیر به برخی از اثرات طیف نوری بر رشد گیاهان اشاره شده است:

- رشد گیاهان در نور فرابنفش (طول موج کمتر از 400 nm) متوقف می‌شود،
- نور فروسرخ (طول موج بالای 800 nm) گیاهان طویل و ضعیف به وجود می‌آورد،
- در نسبت $\frac{\text{نور سرخ } (\lambda=610-750 \text{ nm})}{\text{نور فروسرخ } (\lambda=700-800 \text{ nm})}$ پائین، گیاهانی با طول ساقه کوتاه و ریشه بلند به وجود می‌آید،
- در نسبت $\frac{\text{نور سرخ } (\lambda=610-750 \text{ nm})}{\text{نور فروسرخ } (\lambda=700-800 \text{ nm})}$ بالا، گیاهانی بلند با برگهایی طویل به وجود می‌آید،
- اثر سطح تابش پائین در مدت زمان طولانی، مساوی و بیشتر از اثر سطح تابش بالا در مدت زمان اندک است،
- عمل فتوسنتز در طیف نوری آبی و قرمز شدیدتر انجام می‌شود،
- عمل فتوسنتز در طیف نوری زرد و سبز با شدت کمتری انجام می‌شود،
- به واکنش گیاهان نسبت به طول نسبی روز و شب، فتوپریودیسم گفته می‌شود و این پدیده در رشد و گلدهی گیاهان تأثیرگذار است،
- گیاهان روز بلند برای رشد مطلوب به ۱۸-۱۴ ساعت دوره روشنایی احتیاج دارند،

- گیاهان روز کوتاه برای رشد مطلوب به ۱۵-۱۳ ساعت دوره روشنایی احتیاج دارند،
- یکی از دلایل استفاده از منبع نور مصنوعی در گلخانه‌ها، تنظیم فتوپریودیسم در گیاه مورد نظر است.

ویژگیهای برخی از منابع نوری مصنوعی در گلخانه:

۱- لامپهای معمولی

- بازده تشعشع این لامپها پائین است (حدود ۷ درصد)،
- این لامپها طیف نوری سرخ و فروسرخ تولید می‌کنند که باعث نرم و طویل شدن بافتهای گیاهی می‌شود،
- از این نوع لامپها عمدتاً در تنظیم ویژگی فتوپریودیسم گیاه استفاده می‌شود.

۲- لامپهای فلورسنت (نور سفید)

- ضریب تأثیر تشعشع این لامپها ۶۰-۴۰ لومن بر وات است،
- بازده تشعشع این لامپها در حدود ۲۰٪ است،

۳- لامپهای با شدت بالای تخلیه الکتریکی (High Intensity Discharge (HID) lamps

این لامپها که راندمان تبدیل انرژی الکتریکی به فتوسنتز بالایی دارند عبارتند از:

- لامپهای سدیمی (فشار بالا و فشار پائین)،
 - لامپهای سدیمی فشار بالا طیف نوری زرد و نارنجی تولید می‌کنند،
 - لامپهای سدیمی فشار پائین طیف نوری زرد تولید می‌کنند،
 - در لامپهای سدیمی فشار بالا بازده تشعشع ۲۵٪ است،
 - در لامپهای سدیمی فشار پائین بازده تشعشع ۵۰٪ است.
- لامپهای جیوه‌ای،
 - لامپهای جیوه‌ای، طیف نوری آبی-سفید به همراه بخش کوچکی از نور قرمز را تولید می‌کنند.
- لامپهای هالوژن.
 - لامپهای هالوژن طیف نوری آبی و بنفش را تولید می‌کنند، بنابراین از آنها در ترکیب با لامپهای سدیمی فشار بالا استفاده می‌شود،
 - مقدار بازده لامپهای هالوژن حدود ۲۰٪ است.

مثال: میزان نور مورد نیاز گلخانه‌ای به مساحت $50m \times 50m$ را در صورتیکه میانگین نور مورد نیاز آن $25 \frac{W}{m^2}$ باشد را محاسبه کنید.

$$50m \times 50m = 2500 m^2 = \text{مساحت گلخانه}$$

$$\text{میزان نور مورد نیاز} = 2500 \text{ m}^2 \times 25 \frac{W}{\text{m}^2} = 62500 \text{ W} = 62.5 \text{ kW}$$

مثال: تعداد و اندازه (توان) لامپهای فلورسنت مورد نیاز جهت گلخانه‌ای به ابعاد $20\text{m} \times 10\text{m}$ را مشخص کنید
در صورتیکه ۲۰۰۰ لوکس نور مرئی برای گلخانه مورد نیاز باشد و لامپهای مورد استفاده ۴۰ وات بوده و قابلیت تبدیل ۲۵ درصد از انرژی الکتریکی به نور را داشته باشد.

$$\text{مساحت گلخانه} = 20\text{m} \times 10\text{m} = 200\text{m}^2$$

$$\text{کل نوری که بایستی تأمین شود} = 2000 \text{ lux} \times 200\text{m}^2 = 2000 \frac{\text{Lm}}{\text{m}^2} \times 200\text{m}^2 = 400000\text{Lm}$$

$$\text{توان الکتریکی مورد نیاز} = \frac{\text{وات نوری مورد نیاز}}{0.25} = \frac{400000 \text{ Lm}}{683 \frac{\text{Lm}}{\text{W}} \times 0.25} = 2343 \text{ W}$$

$$\text{تعداد لامپهای مورد نیاز} = \frac{2343}{40} = 58.5 \approx 59$$

مثال: انرژی نوری چه مساحتی از گلخانه می‌تواند توسط ۵۰ عدد لامپ فلورسنت ۴۰ وات تأمین شود، در صورتیکه راندمان تبدیل انرژی آنها ۲۰ درصد بوده و میزان نور مناسب گلخانه ۲۵ وات بر متر مربع باشد؟

$$\text{کل نور در دسترس گلخانه} = 50 \times 40\text{W} \times 0.2 = 400 \text{ W}$$

$$\text{اندازه گلخانه} = \frac{\text{کل نور در دسترس}}{\text{نور مورد نیاز}} = \frac{400\text{W}}{25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 16 \text{ m}^2$$

مثال: کل نور مورد نیاز گلخانه‌ای به ابعاد $6\text{m} \times 4\text{m}$ ، ۵۳۰۰۰ لوکس می‌باشد که به این گلخانه ۵۰۰ وات بر متر مربع نور خورشید می‌رسد و مابقی بایستی از طریق نور مصنوعی تأمین شود.
الف: میزان کل وات لامپ فلورسنت لازم را محاسبه کنید.

ب: تعداد لامپهای فلورسنت مورد نیاز را در صورتیکه ۲۰ درصد از انرژی الکتریکی را به انرژی نور تبدیل کند و قدرت آنها ۱۲۵ وات باشد را محاسبه کنید (ضریب تأثیر تشعشع برای نور مرئی ۶۸۳ و برای نور خورشید ۹۶ است)

$$\text{کل نور مورد نیاز گلخانه} = 53000 \frac{\text{Lm}}{\text{m}^2} \times 6\text{m} \times 4\text{m} = 1272000 \text{ Lm}$$

$$\text{نور دریافت شده از خورشید} = 500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 96 \frac{\text{Lm}}{\text{W}} \times 6\text{m} \times 4\text{m} = 1152000 \text{ Lm}$$

$$\text{نور تأمین‌ی از طریق لامپ} = 1272000 - 1152000 = 120000 \text{ Lm}$$

$$\text{وات نوری مورد نیاز} = 120000 \text{ Lm} \div 683 \frac{\text{Lm}}{\text{W}} = 175.69 \text{ W}$$

$$\text{تعداد لامپهای مورد نیاز} = \frac{175.69 \text{ W}}{125 \text{ W} \times 0.2} \approx 7$$

تولید گرما توسط لامپهای روشنایی:

گرما می‌تواند به صورت غیر مستقیم توسط نور مصنوعی تولید شود. میزان گرمایی که به این روش توسط لامپ تولید می‌شود با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$H = n \times P \times \eta$$

در این رابطه H توان گرمایی تولید شده بر حسب ژول بر ثانیه (وات) است، P توان لامپ، η فاکتور راندمان گرمایی و n تعداد لامپ می‌باشد.

مثال: میزان گرمای تولیدی توسط ۶ لامپ فلورسنت ۱۰۰ وات و چهار لامپ ۴۰ وات که در درون گلخانه نصب شده است را محاسبه کنید، در صورتیکه فاکتور راندمان ۷۵٪ باشد:

$$H = n \times P \times \eta = (6 \times 100W + 4 \times 40W) \times 0.75 = 570W$$

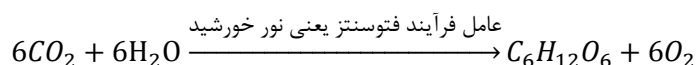
کنترل نور به وسیله سایه‌دهی:

شدت نور بالا را می‌توان با استفاده از سایه‌دهی کاهش داد که این عمل می‌تواند با اسپری کردن رنگ روی پوششهای شفاف گلخانه و یا نصب توری و یا پرده در درون و یا بیرون گلخانه صورت گیرد که روش اخیر بیشتر کاربرد دارد. سایه‌دهی به‌ویژه در طول تابستان که عمل خنک کردن گلخانه انجام می‌شود ضروری است. از موادی که برای پرده‌های سایه‌دهی در گلخانه استفاده می‌شود می‌توان به پلی پروپیلن و پلی استر اشاره کرد. در سالهای اخیر از پوششهای پلاستیکی مقاوم در برابر UV استفاده زیادی می‌گردد.

دی اکسید کربن:

تقریباً ۴۰٪ از مواد گیاهی خشک شده از کربن تشکیل شده است. گیاهان کربن موردنیاز خود را از CO₂ موجود در هوا به دست می آورند. بیشترین سهم از نفوذ CO₂ به گیاه از طریق روزنه های برگ صورت می گیرد که وقتی باز هستند می توانند CO₂ را به داخل برگ بکشند. وقتی CO₂ وارد برگ می شود، کربن آن وارد سلولها شده، جاییکه در حضور نور خورشید و آب برای تولید کربوهیدرات (قند) و اکسیژن مورد استفاده قرار می گیرد. فرآیندی که در آن CO₂ توسط گیاه استفاده می شود فتوسنتز نامیده شده که در کلروپلاستهای سبز داخل سلول صورت می گیرد. فرآیند فتوسنتز در معادلات زیر خلاصه می شود:

اکسیژن + کربوهیدرات $\xrightarrow{yields}$ انرژی نور خورشید + آب + دی اکسید کربن



قبل از پرداختن به روشهای غنی سازی هوای گلخانه با CO₂، شایسته است که به واحدهای سنجش این ماده و سایر مواد گازی در هوا و فرمولهای مربوطه اشاره شود.

معمولاً غلظت CO₂ در هوا برحسب واحدهای جرمی (W_c)، حجمی (Y_c)، قسمت در میلیون (Y_{ppm}) و چگالی (ρ_c) سنجیده شده که به صورت زیر تعریف می شوند:

$$W_c = \frac{\text{جرم دی اکسید کربن}}{\text{مجموع جرمهای دی اکسید کربن و هوا}} = \frac{m_c}{m_c + m_a}$$

$$Y_c = \frac{\text{حجم دی اکسید کربن}}{\text{مجموع حجمهای دی اکسید کربن و هوا}} = \frac{V_c}{V_c + V_a}$$

$$Y_{ppm} = Y_c \times 10^6$$

چون عدد حاصل از محاسبه غلظت حجمی خیلی کوچک است، آن را در عدد 10^6 ضرب می کنیم و غلظت را بر حسب واحد ppm (قسمت در میلیون) بیان می کنیم.

$$\rho_c = \frac{\text{جرم دی اکسید کربن}}{\text{مجموع حجمهای دی اکسید کربن و هوا}} = \frac{m_c}{V_c + V_a}$$

بین غلظت قسمت در میلیون و چگالی رابطه هایی به شکل زیر وجود دارد:

$$Y_{ppm} = \frac{22.4 \text{ (lit)}}{M_c \text{ (g)}} \times \rho_c \left(\frac{\mu g}{lit} \right)$$

$$Y_{ppm} = \frac{24.4 \text{ (lit)}}{M_c \text{ (g)}} \times \rho_c \left(\frac{\mu g}{lit} \right)$$

که رابطه اول در شرایط دمای 0°C و فشار 1 atm و رابطه دوم در شرایط دمای 25°C و فشار 1 atm برقرار است. اثبات: می دانیم که تحت شرایط دمای 0°C و فشار 1 atm طبق قانون آواگادرو، یک مول از گازهای مختلف حجم یکسان 22.4 (lit) را دارند. بنابراین اگر برای گاز دی اکسید کربن جرم مولی را به $M_c \text{ (g)} = 44 \text{ (g)}$ نشان دهیم، داریم:

$$Y_{ppm} = Y_c \times 10^{+6} = \frac{V_c \text{ (lit)}}{(V_c + V_a) \text{ (lit)}} \times 10^{+6} = \frac{\frac{m_c}{\rho_c}}{V_c + V_a} \times 10^{+6} = \frac{1}{\rho_c} \times \frac{m_c}{V_c + V_a} \times 10^{+6} = \frac{1}{\frac{M_c(g)}{22.4 \text{ (lit)}}} \times$$

$$\frac{m_c}{(V_c + V_a)} \left(\frac{g}{\text{lit}} \right) \times 10^{+6} = \frac{22.4 \text{ (lit)}}{M_c \text{ (g)}} \times \rho_c \left(\frac{\mu g}{\text{lit}} \right)$$

نکته: در انتقال از مرحله یکی به آخر به مرحله آخر به جای واحد $\left(\frac{g}{\text{lit}} \right)$ از واحد $\left(\frac{\mu g}{\text{lit}} \right)$ استفاده شده است، این امر باعث حذف ضریب 10^{+6} در مرحله آخر شده است.

اثبات رابطه دوم مشابه رابطه اول است:

می‌دانیم که تحت شرایط دمای 25°C و فشار 1 atm طبق قانون آواگادرو، یک مول از گازهای مختلف حجم یکسان 24.4 (lit) را دارند. بنابراین اگر برای گاز دی اکسید کربن جرم مولی را به $M_c(g) = 44(g)$ نشان دهیم، داریم:

$$Y_{ppm} = Y_c \times 10^{+6} = \frac{V_c \text{ (lit)}}{(V_c + V_a) \text{ (lit)}} \times 10^{+6} = \frac{\frac{m_c}{\rho_c}}{V_c + V_a} \times 10^{+6} = \frac{1}{\rho_c} \times \frac{m_c}{V_c + V_a} \times 10^{+6} = \frac{1}{\frac{M_c(g)}{24.4 \text{ (lit)}}} \times$$

$$\frac{m_c}{(V_c + V_a)} \left(\frac{g}{\text{lit}} \right) \times 10^{+6} = \frac{24.4 \text{ (lit)}}{M_c \text{ (g)}} \times \rho_c \left(\frac{\mu g}{\text{lit}} \right)$$

مثال: فرض کنید اتمسفر هوا دارای 300 ppm گاز دی اکسید کربن باشد. مقدار ρ_c و Y_c را در شرایط دمای صفر درجه سلسیوس و فشار ۱ اتمسفر به دست آورید.

$$Y_{ppm} = \frac{22.4 \text{ (lit)}}{M_c \text{ (g)}} \times \rho_c \left(\frac{\mu g}{\text{lit}} \right) \xrightarrow{\text{yields}} \rho_c \left(\frac{\mu g}{\text{lit}} \right) = \frac{Y_{ppm}}{\frac{22.4 \text{ (lit)}}{M_c \text{ (g)}}} = \frac{300}{\frac{24.4}{44}} \approx 541 \left(\frac{\mu g}{\text{lit}} \right) = 0.541 \left(\frac{g}{m^3} \right)$$

$$Y_{ppm} = Y_c \times 10^{+6} \xrightarrow{\text{yields}} Y_c = Y_{ppm} \times 10^{-6} = 300 \times 10^{-6} = 0.0003 \left(\frac{m^3}{m^3} \right)$$

مثال: اگر غلظت دی اکسید کربن در گلخانه در دمای 25°C و فشار یک اتمسفر $1 \frac{g}{m^3}$ باشد، غلظت این ماده بر حسب قسمت در میلیون چقدر است؟

$$Y_{ppm} = \frac{24.4 \text{ (lit)}}{M_c \text{ (g)}} \times \rho_c \left(\frac{\mu g}{\text{lit}} \right) \xrightarrow{\text{yields}} Y_{ppm} = \frac{24.4 \text{ (lit)}}{44 \text{ (g)}} \times 1000 \left(\frac{\mu g}{\text{lit}} \right) \approx 554 \text{ (ppm)}$$

مثال: حجم گاز CO_2 را در گلخانه‌ای به حجم محصور شده $200(m^3)$ محاسبه کنید در صورتیکه غلظت این گاز $350(\text{ppm})$ باشد؟

$$Y_{ppm} = Y_c \times 10^{+6} \xrightarrow{\text{yields}} Y_c = Y_{ppm} \times 10^{-6} = 350 \times 10^{-6} = 0.00035 \left(\frac{m^3}{m^3} \right)$$

$$Y_c = \frac{V_c}{V_c + V_a} \xrightarrow{\text{yields}} V_c = Y_c \times (V_c + V_a) = 0.00035 \times 200 (m^3) = 0.07 (m^3)$$

به طور متوسط هوا کمی بیشتر از 0.03% دی اکسید کربن دارد. مقدار متوسط آن در حال حاضر 345 ppm است. در نتیجه احتراق سوخت‌های فسیلی و کاهش تدریجی جنگلها، غلظت CO_2 از سال 1980 که مقدار متوسط آن 294 ppm بوده است، سالانه 1 تا 2 ppm افزایش داشته است. غلظت CO_2 در نواحی مثل مردابها و بستر رودخانه‌ها که در آنجا مقادیر زیادی مواد گیاهی درحال تجزیه شدن است، بالاتر خواهد بود چون میکروارگانیسمهایی که از باقیمانده جانوران و گیاهان تغذیه می‌کنند، همانند انسانها که از غذاهای گیاهی و

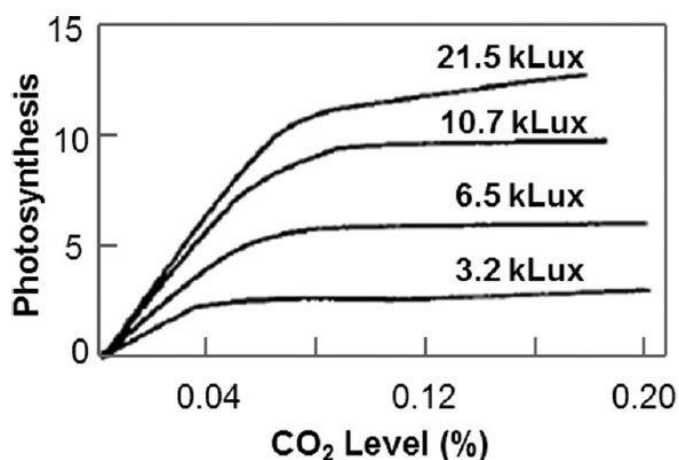
جانوری استفاده می‌کنند در بازدم CO_2 تحویل محیط می‌دهند. همچنین خود گیاهان با انجام عمل تنفس CO_2 تولید می‌کنند. تنفس نقطه مقابل عمل فتوسنتز است.

غلظت CO_2 برابر با 300 ppm برای رشد گیاهان کافی است. البته بیشتر گیاهان توانایی استفاده از غلظتهای بیشتر CO_2 را هم دارند که تحت این شرایط سرعت رشد بیشتری خواهند داشت. حتی غلظتهای در حد ۳ تا ۵ برابر مقدار CO_2 معمول برای رشد گیاهان مفید تشخیص داده شده است، اما شیب مقدار رشد در مقادیر بالاتر کمتر می‌شود. بنابراین امکان فعال کردن رشد بیشتر گیاهان در محیط گلخانه با افزایش دادن غلظت CO_2 وجود دارد. اما ذکر این نکته هم اهمیت دارد که سود واقعی افزایش غلظت CO_2 هنگامی که دیگر فاکتورهای رشد (مثل مقدار نور در دسترس) محدود باشند، حاصل نخواهد شد. سطح پیشنهادی غلظت CO_2 برای تعدادی از گیاهان در جدول زیر نشان داده شده است.

CO_2 Requirements for Some Crop Species.

Crop	Optimum CO_2 Range (ppm)
Tomato	1000–2000
Cucumber	1000–3000
Lettuce	1000–2000
Roses	1000–2000
Chrysanthemums	400–1200

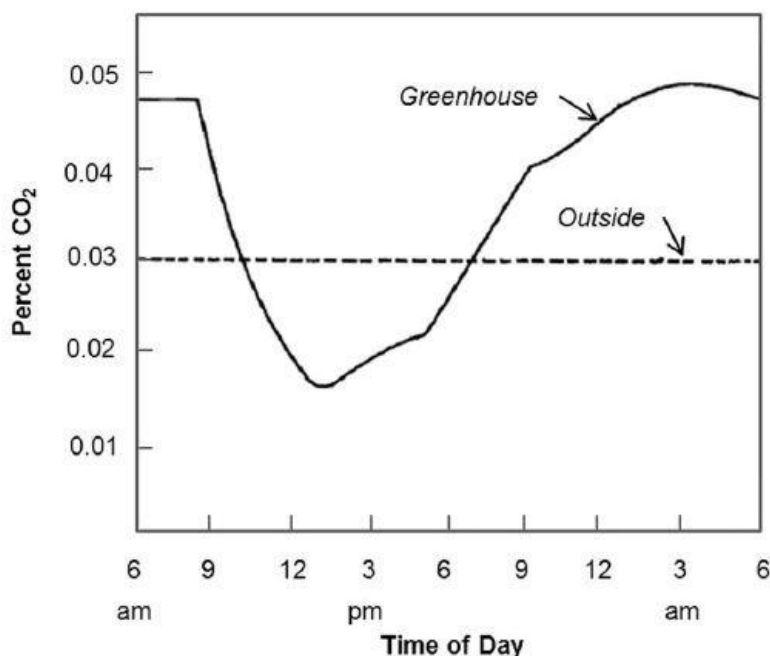
هنگامی که انرژی نور دریافتی از خورشید افزایش می‌یابد، باید تأمین CO_2 برای گیاهان نیز افزایش یابد تا روند رشد گیاه محدود نشود. رابطه عمومی بین مقدار غلظت CO_2 ، شدت نور و میزان فتوسنتز در شکل زیر نشان داده شده است:



Relationship between CO_2 , Light and Photosynthesis in Wheat.

در شرایط گلخانه‌ای، هوای به دام افتاده در محیط گلخانه می‌تواند غلظت CO_2 تا 1000 ppm را هم در نتیجه CO_2 حاصل از تنفس گیاهان در طول شب تجربه کند. هنگامی که در صبحگاهان نور خورشید به گلخانه می‌تابد،

فرآیند فتوسنتز شروع می‌شود و CO_2 موجود در هوای گلخانه تخلیه می‌شود. به دلیل این اتفاق، سطح غلظت CO_2 در محیط گلخانه خیلی زودتر از ظهر حتی به پائین‌تر از 300 ppm هم می‌رسد. به وضوح اگر برای هوای گلخانه CO_2 به کمک یک منبع دیگر تأمین نشود، گیاهان از نظر CO_2 در دسترس دچار کمبود خواهند شد. نمودار کلی تغییرات روزانه CO_2 در گلخانه در شکل زیر نشان داده شده است:



Variation of CO_2 Concentration in Greenhouse.

اگر لازم باشد که گلخانه از نظر غلظت CO_2 غنی‌سازی شود، این کار باید در طول روز انجام شود. غنی‌سازی محیط گلخانه با CO_2 بندرت در زمان انجام عمل تهویه صورت می‌گیرد. بنابراین غنی‌سازی توسط CO_2 در طول فصل تابستان انجام نمی‌شود، مگر اینکه گلخانه با یک سیستم کاملاً بسته از نظر جریان هوا خنک شود. در نتیجه بر طبق شرایط آب و هوایی محلی، دوره زمانی غنی‌سازی هوای گلخانه با CO_2 به طور کلی از مهر ماه تا اسفند ماه است.

روشهای غنی‌سازی هوای گلخانه با CO_2 :

روشهای غنی‌سازی هوای محیط گلخانه با CO_2 عبارتند از:

۱- تجزیه کاه و کلش

یکی از روشهای افزایش CO_2 در گلخانه، ریختن کاه و کلش در میان ردیفهای کشت و غنی کردن آن با آب و کود می‌باشد. تجزیه این مواد سبب آزاد شدن CO_2 می‌شود ولی عیب این روش این است که امکان کنترل میزان CO_2 آزاد شده وجود ندارد.

۲- سوزاندن مواد دارای کربن

در صورتیکه هیدروکربنها در مجاورت اکسیژن کافی سوزانده شوند تولید CO_2 و H_2O می‌کنند. از این روش هم می‌توان برای افزایش CO_2 گلخانه استفاده کرد. در زمان استفاده از این روش بایستی مراقبتهای ویژه صورت گیرد زیرا در اثر سوختن ناقص این سوختها گاز سمی اتیلن و دی اکسید گوگرد تولید می‌شود که برای گیاهان زیان آور است. از سوزاندن گاز طبیعی نیز برای افزایش CO_2 گلخانه می‌توان استفاده کرد. ولی گازهای خروجی که از سوختن روغن و ذغال به وجود می‌آیند، به دلیل داشتن میزان بالای دی اکسید گوگرد نمی‌توانند جهت افزایش CO_2 در گلخانه استفاده شوند.

استفاده از گازهای خروجی جهت افزایش CO_2 به دو روش زیر امکانپذیر است:

- مکش گازهای خروجی از سیستم گرم کننده مرکزی به درون گلخانه
- نصب بخاری در درون گلخانه و استفاده از گازهای خروجی که در اثر سوختن گازها به وجود می‌آید.

۳- CO_2 مایع

یکی دیگر از روشهای افزایش CO_2 گلخانه استفاده از CO_2 مایع است که در اثر فشار بسیار بالا به حالت مایع در درون تانکها و ظروف ویژه‌ای قرار دارند و زمانی که CO_2 مایع در فشار پائین هوای گلخانه قرار می‌گیرد، براحتی آزاد شده و در گلخانه پخش می‌گردد.

۴- CO_2 جامد

استفاده از یخ خشک که همان CO_2 تحت فشار در دمای بسیار پائین می‌باشد یکی دیگر از روشهای افزایش CO_2 گلخانه‌هاست. کاربرد این روش در زمانی است که لازم است سطح CO_2 در یک حد ثابت نگه داشته شود. در هر صورت یک سیستم گردش هوای مناسب جهت توزیع یکسان CO_2 در زمان اضافه شدن CO_2 به هوای گلخانه مورد نیاز است.

استفاده از CO_2 مایع و جامد بسیار گرانتز از روش سوزاندن سوختهای فسیلی است. از طرف دیگر سوزاندن سوختهای فسیلی علاوه بر تولید CO_2 باعث گرم شدن محیط گلخانه هم می‌شود. همچنین تولید CO_2 به این روش به تجهیزات خاصی هم احتیاج ندارد.

مثال: اگر یک گلخانه‌دار بخواهد میزان CO_2 درون گلخانه ۸۰ مترمکعبی خود را از ۱۰۰ ppm به ۸۰۰ ppm برساند مقدار گاز طبیعی مصرفی لازم را محاسبه کنید (یک متر مکعب از گاز طبیعی مصرفی می‌تواند ۵۳۸/۷۱۵ مترمکعب گاز CO_2 تولید کند).

$$\text{مقدار افزایش غلظت} = (800 - 100) \text{ ppm} = 700 \text{ ppm}$$

$$Y_c = 700 \times 10^{-6} \left(\frac{m^3}{m^3} \right) \xrightarrow{\text{yields}} \text{حجم دی اکسید کربن لازم} = \text{حجم گلخانه} \times Y_c = 80 \times 700 \times 10^{-6} = 0.056 \text{ m}^3$$

$$\text{مقدار گاز طبیعی لازم} = \frac{0.056 \text{ m}^3}{538.715} \approx 1.04 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

مثال: اگر در یک گلخانه با حجم ۱۵۰ متر مکعب بخواهیم غلظت CO₂ را 600 ppm بالاتر از 300 ppm موجود در هوا ببریم میزان نفت سفید لازم برای این افزایش را محاسبه کنید (با فرض اینکه هر یک مترمکعب نفت سفید ۱۳۹۹/۱۶۵ مترمکعب گاز CO₂ تولید می‌کند).

$$\text{مقدار افزایش غلظت} = 600 \text{ ppm}$$

$$Y_c = 600 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} \right) \xrightarrow{\text{yields}} \text{حجم دی اکسید کربن لازم} = \text{حجم گلخانه} \times Y_c = 150 \times 600 \times 10^{-6} = 0.09 \text{ m}^3$$

$$\text{مقدار نفت سفید لازم} = \frac{0.09 \text{ m}^3}{1399.165} \approx 6.43 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

تعیین میزان افزایش CO₂ جهت غنی‌سازی:

میزان CO₂ که برای گلخانه بایستی تأمین شود عبارتست از حاصلجمع میزان CO₂ که توسط گیاه استفاده می‌شود و میزان CO₂ که از سطح گلخانه از طریق پدیده انتشار از دست می‌رود. میزان CO₂ که توسط گیاهان جذب می‌شود به عواملی چون نوع محصول و سطح تغذیه بستگی دارد و به طور کلی این میزان حدود ۱/۲-۰/۶ لیتر بر ساعت بر متر مربع از مساحت کف گلخانه می‌باشد.

شرایط پوشش گلخانه و سرعت وزش باد مشخص کننده میزان CO₂ می‌باشد که در گلخانه با پدیده انتشار از دست می‌رود. جدول زیر متوسط تبادل هوایی که در پوششهای مختلف گلخانه صورت می‌گیرد را نشان می‌دهد. میزان CO₂ که از طریق پدیده انتشار از دست می‌رود را می‌توان با معادله زیر محاسبه کرد:

$$I_L = V_g \times N \times 10^{-6} \times (D_L - 300)$$

N = تعداد تبادل هوا در ساعت

D_L = میزان دی اکسید کربن مطلوب گلخانه (ppm)

I_L = میزان از دست رفتن دی اکسید کربن در ساعت (متر مکعب بر ساعت)

V_g = حجم گلخانه (متر مکعب)

میزان تبادل هوا در گلخانه‌های با پوششهای مختلف

نوع پوشش	میزان تبادل هوا در ساعت
گلخانه با پوشش دو لایه پلاستیک	۰/۵-۱
گلخانه با پوشش اکریلیک یا پلی کربنات	۱
گلخانه با پوشش شیشه‌ای نو	۰/۷۵-۱/۵
گلخانه با پوشش شیشه‌ای قدیمی با شرایط نگهداری خوب	۱-۲
گلخانه با پوشش شیشه‌ای قدیمی با شرایط نگهداری ضعیف	۲-۴

تبادل هوا عبارتست از تعداد دفعاتی که کل هوای گلخانه در یک ساعت جایگزین می‌شود. برای مثال در گلخانه‌های با پوشش اکریلیک و یا پلی کربنات در هر ۶۰ دقیقه یک بار تبادل هوا صورت می‌گیرد، درحالی‌که در گلخانه‌های شیشه‌ای نو در هر ۴۰ دقیقه یک بار، گلخانه شیشه‌ای قدیمی با شرایط نگهداری خوب هر ۳۰ دقیقه یک بار و در گلخانه شیشه‌ای قدیمی با شرایط نگهداری ضعیف در هر ۱۵ دقیقه یک بار کل هوای گلخانه جایگزین می‌شود.

مثال: تعداد دفعاتی که تبادل هوا در یک گلخانه با حجم ۱۰۰ مترمکعب صورت می‌گیرد را محاسبه کنید. میزان CO_2 مطلوب گلخانه 1300 ppm و میزان انتشار CO_2 از گلخانه ۰/۳ مترمکعب بر ساعت می‌باشد.

$$I_L = V_g \times N \times 10^{-6} \times (D_L - 300) \xrightarrow{\text{yields}} 0.3 \left(\frac{m^3}{h} \right) = 100(m^3) \times N \times 10^{-6} \times (1300 - 300) \xrightarrow{\text{yields}} N = 3$$

مثال: در گلخانه‌ای با حجم ۱۰۰ مترمکعب میزان تبادل هوا ۲ بار در هر ساعت می‌باشد. در صورتیکه میزان انتشار CO_2 برابر با ۰/۲ مترمکعب بر ساعت باشد، غلظت CO_2 در این گلخانه را محاسبه کنید؟

$$I_L = V_g \times N \times 10^{-6} \times (D_L - 300) \xrightarrow{\text{yields}} 0.2 \left(\frac{m^3}{h} \right) = 100(m^3) \times 2 \times 10^{-6} \times (D_L - 300) \xrightarrow{\text{yields}} D_L = 1300 \text{ ppm}$$

مثال: یک گلخانه‌دار می‌خواهد میزان انتشار CO_2 از گلخانه خود را که ابعاد $10 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ دارد را محاسبه کند. گلخانه او دارای پوشش اکریلیک بوده و غلظت CO_2 گلخانه او 1400 ppm است.

$$I_L = V_g \times N \times 10^{-6} \times (D_L - 300) \xrightarrow{\text{yields}} I_L \left(\frac{m^3}{h} \right) = (10 \times 5 \times 3)(m^3) \times 1 \times 10^{-6} \times (1400 - 300) \xrightarrow{\text{yields}} I_L = 0.165 \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

مثال: یک گلخانه‌دار دارای گلخانه‌ای با ابعاد ۳۰ متر عرض، ۶۰ متر طول و ۳ متر ارتفاع بوده و نوع پوشش گلخانه پلی‌اتیلن دو لایه می‌باشد. او می‌خواهد 1200 ppm دی اکسید کربن را برای گلخانه فراهم کند. در صورتیکه شدت مصرف CO_2 توسط گیاهان ۰/۸ لیتر بر ساعت بر مترمربع از مساحت کف گلخانه باشد. اولاً میزان CO_2 که بایستی تولید شود را محاسبه کنید. ثانیاً چه مقدار نفت سفید و یا گاز LP در هر ساعت بایستی استفاده شود؟ (حجم CO_2 تولیدی از سوختن یک متر مکعب نفت سفید و گاز LP بترتیب ۱۳۹۹/۱۶۵ و ۸۰۸/۰۷۳ مترمکعب است).

دبی انتشار + دبی مصرف گیاه = دبی دی اکسید کربن موردنیاز

$$\text{دبی مصرف گیاه} = 0.8 \left(\frac{\text{lit}}{h \times m^2} \right) \times \text{مساحت گلخانه} = 0.8 \left(\frac{\text{lit}}{h \times m^2} \right) \times (60 \text{ m} \times 30 \text{ m}) = 1440 \left(\frac{\text{lit}}{h} \right) = 1.44 \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

$$\text{دبی انتشار} = I_L \left(\frac{m^3}{h} \right) = V_g \times N \times 10^{-6} \times (D_L - 300) \xrightarrow{\text{yields}} I_L = (60 \times 30 \times 3)(m^3) \times 0.75 \times 10^{-6} \times (1200 - 300) = 3.645 \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

= دبی دی اکسید کربن موردنیاز

$$\text{دبی دی اکسید کربن موردنیاز} \xrightarrow{\text{yields}} \text{دبی انتشار} + \text{دبی مصرف گیاه} = 1.44 + 3.645 = 5.085 \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

$$\text{مقدار نفت سفید موردنیاز} = \frac{\text{دبی دی اکسید کربن موردنیاز}}{1399.165} = \frac{5.085 \left(\frac{m^3}{h} \right)}{1399.165} \approx 3.63 \times 10^{-3} \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

$$\text{مقدار گاز LP موردنیاز} = \frac{\text{دبی دی اکسید کربن موردنیاز}}{808.073} = \frac{5.085 \left(\frac{m^3}{h} \right)}{808.073} \approx 6.29 \times 10^{-3} \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

اقتصاد تغذیه با CO₂

هزینه تغذیه با CO₂ را می‌توان از میزان نیاز سالانه CO₂ و میزان سوختی که در واحد زمان می‌سوزد، تخمین زد. به عنوان مثال یک بخاری تولید CO₂ نیاز است به تعداد h ساعت در روز برای m ماه در سال کار کند. بنابراین کل زمان مورد نیاز h×m ساعت می‌باشد. اگر قیمت سوختی را که بخاری مصرف می‌کند با $X \left(\frac{\text{Rial}}{h} \right)$ داده شده باشد و مساحت کف گلخانه A باشد، هزینه سالیانه افزایش CO₂ در هر مترمربع گلخانه با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید.

$$\text{هزینه سالانه تغذیه با CO}_2 \text{ بر حسب هر مترمربع مساحت گلخانه} = \frac{h \times m \times X \left(\frac{\text{Rial}}{h} \right)}{A}$$

دما

اثر دما روی گیاهان در این بخش بررسی می‌شود.

دما نشان دهنده مقدار گرمای موجود است. همه گیاهان دارای یک دامنه دمایی هستند که در آن دامنه می‌توانند رشد کنند. در بازه زیر این دامنه دمایی، فرآیندهای مرتبط با زنده ماندن گیاه متوقف می‌شود؛ یخ در بافت‌های گیاهی تشکیل می‌شود که باعث عدم انتقال آب مورد نیاز برای انجام فرآیندهای حیاتی گیاه می‌شود و حتی ممکن است باعث پارگی سلول‌ها در اثر فشار ناشی از کریستال‌های یخ شود. در بالای بازه دمایی، آنزیم‌های گیاهی غیرفعال می‌شوند و در نتیجه فرآیندهای لازم برای زنده ماندن گیاه متوقف می‌شود.

نیازهای دمایی گیاه:

تمام واکنش‌های بیوشیمیایی در گیاهان به‌وسیله آنزیم‌ها کنترل می‌شوند. آنزیم‌ها به گرما حساس هستند. تا رسیدن به دمای بهینه، نرخ واکنش‌های تحت کنترل آنزیم‌ها با افزایش دمای ۱۰ درجه سانتیگرادی، در هر مرتبه ۲ تا ۳ برابر می‌شود. افزایش بیشتر دما از دمای بهینه باعث کاهش و نهایتاً توقف واکنش‌های بیوشیمیایی می‌شود.

در فرآیند فتوسنتز واکنشهای بیوشیمیایی متنوعی دخیلند. اثر خالص این فرآیند ساخته شدن کربوهیدراتها و ذخیره انرژی است. فتوسنتز در ساعات روز انجام می‌گیرد چون این فرآیند وابسته به نور خورشید است.

فرآیند تنفس هم شامل فرآیندهای بیوشیمیایی متنوعی می‌شود. اثر خالص تنفس شکسته شدن کربوهیدراتها و آزاد شدن انرژی است. تنفس در همه سلولهای زنده و به صورت دائم صورت می‌گیرد.

هنگامی که فتوسنتز از تنفس پیشی می‌گیرد، رشد خالص گیاه اتفاق می‌افتد. وقتی این دو با هم برابر باشند، رشد گیاه متوقف می‌شود. اگر مقدار تنفس از فتوسنتز بیشتر شود، گیاه ضعیف شده و در نهایت می‌میرد. برای اطمینان از اینکه فتوسنتز از تنفس پیشی گرفته، گیاهان در طول شب به منظور کاهش تنفس در دمای پائین نگه داشته می‌شوند و در طول روز به منظور افزایش فتوسنتز در معرض دمای بالا قرار داده می‌شوند.

به عنوان یک قانون کلی، در روزهای ابری گیاهان گلخانه‌ای در طول روز در دمای ۳ تا ۶ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای شب و در روزهای صاف در طول روز در دمای ۸ درجه سانتیگراد بالاتر از دمای شب نگه داشته می‌شوند. اگر در گلخانه غنی سازی دی اکسید کربن اتفاق افتاده باشد، یک افزایش دمای ۳ درجه سانتیگرادی دیگر برای دمای روز قابل انجام است. دمای شبانه در گلخانه به طور کلی در بازه ۷ تا ۲۱ درجه سانتیگراد و دمای روزانه در بازه ۲۴ تا ۲۷ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود. البته اگر دمای روز در گلخانه از ۲۸ تا ۲۹ درجه بالاتر برود، رشد و توسعه گیاه کاهش می‌یابد.

نکته مهم اینجاست که این دمای گیاه است که فرآیند رشد را کنترل می‌کند، نه دمای هوای اطراف گیاه. البته ما به طور مستقیم و با تنظیم ترموستات دمای هوای محیط گلخانه را تنظیم می‌کنیم نه دمای خود گیاه را. به هر حال رابطه بین دمای هوا و دمای گیاه ثابت نیست و در طول روز و شب رابطه‌های بین این دو دما متفاوت هستند. هنگامی که در طول روز نور خورشید به برگها می‌خورد تشعشع زیر قرمز باعث افزایش ۴ درجه سانتیگرادی دمای برگ نسبت به دمای هوای اطراف می‌شود. اگر این افزایش دمای برگ با هوای داغ محیط همراه شود، می‌تواند به کلروفیل صدمه زده، باعث آفتاب سوختگی گلها و برگها شده و نیاز به انرژی خنک سازی را افزایش دهد. برای اجتناب از این وضعیت باید از روشهای سایه‌اندازی گلخانه‌ای استفاده کرد. در روزهای ابری اختلاف بین دمای هوا و گیاه خیلی کمتر است. در طول شب دمای گیاه پائین‌تر از دمای هوای اطراف است چون رطوبت از بافتهای گیاهی تبخیر شده که باعث کم شدن دمای گیاه نسبت به دمای محیط می‌شود. مسئله تفاوت بین دمای هوا و دمای گیاه با ورود حرارت به محیط گلخانه حادث می‌شود. بنابراین لوله‌های زیرزمینی و زیرسکوپی نسبت به لوله‌های حرارتی فوقانی بیشتر می‌توانند محیط ریشه و خود گیاه را گرم کنند. این مسئله باعث کمک به متعادل کردن دمای پائین گیاه در طول شب و روزهای ابری شده که در نهایت باعث رشد بهتر گیاه خواهد شد. دمای محیط ریشه هم می‌تواند بالاتر و پائین‌تر از دمای هوای محیط گلخانه باشد. هنگامی که خورشید به بدنه گلدانها و یا سکوهای کاشت گیاهان می‌تابد، دمای محیط ریشه بیشتر از دمای هوای اطراف می‌شود. در طول شب و یا روزهای ابری، دمای محیط ریشه به علت پدیده تبخیر می‌تواند پائین‌تر از دمای هوای اطراف باشد. دوباره ذکر این مطلب مناسب است که سایه‌دهی گلخانه در طول روز و حرارت دهی از کف و یا از زیر سکوهای کاشت در طول شب، باعث متعادل شدن اختلاف دمای خود گیاه و هوای اطراف آن خواهد شد.

جوانه‌زنی بذر به شرایط دمایی ویژه‌ای احتیاج دارد. بذر بیشتر گیاهان گلخانه‌ای در دمای محیط کشت ثابت شبانه‌روزی ۲۲ تا ۲۳ درجه سانتیگرادی به خوبی جوانه می‌زند. حسگرهای کنترل دمای مربوط به شرایط جوانه‌زنی بذر باید در محیط ریشه نصب شوند چون تبخیر از محیط ریشه می‌تواند ۱/۷ تا ۲/۸ درجه سانتیگراد دمای محیط ریشه را نسبت به دمای هوای اطراف کمتر کند. دمای محیط ریشه بیشتر از ۲۶ درجه سانتیگراد می‌تواند به ممانعت از جوانه‌زنی بذر منجر شود. این وضعیت وقتی اتفاق می‌افتد که نور خورشید به طور کامل محیط ریشه را گرم کند. با محدودسازی شدت نور در سطح مطلوب در بازه جوانه‌زنی بذر می‌توان از بروز این وضعیت جلوگیری کرد.