

第9回 環境制御と栽培技術 1. 地上部環境と生育

施設栽培の生産で最も重要なのが光合成能を高めて、収穫目的とする器官にいかにか合理的に移行・集積させるかである。そのため、光、温度、湿度、CO₂濃度などの地上部環境の制御と、培土の性質、培養液、土壌水分、土壌温度などの地下部環境の制御を、両方の相互作用の結果として現すのが施設栽培における栽培技術である。

1. 地上部環境と生育

a) 光

光は作物の生育に関わる光合成と発芽、休眠、開花、球茎形成などの形態形成に重要な役割を果たしている。

光合成と光

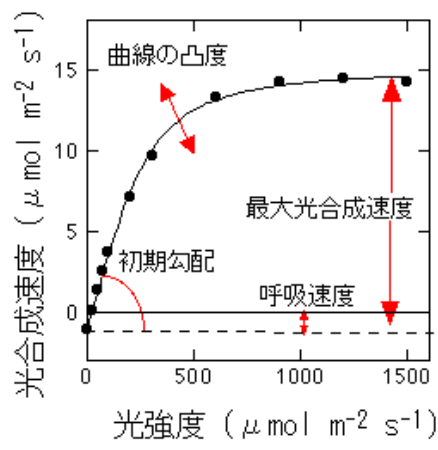
光合成は光エネルギーを化学エネルギーに変換して蓄積する高エネルギー光化学反応なので、量的な光エネルギーによって生産性が異なる。

光合成が活発に行われているかどうかの活性の指標を光合成速度という。光合成速度は光、CO₂濃度、温度、湿度に対してそれぞれ最適条件があり、この最適条件は対象の作物によって異なる。一般には、強光条件、高CO₂濃度、高湿度条件ほど高く、温度に対しては山型のカーブを示す。したがって、弱光下では光合成速度は低く、強光下では光合成速度は高くなるが、光強度が高くなると光合成速度はある一定以上にはならなくなる。

光合成に有効な光の強度は、熱量として表示する時は放射束密度(W/m²)を、光量子量として表示する時は光量子束密度(mol/m²/s)を使用する。照度(lx)は可視光の明るさの指標で、作物の反応を解析する時の単位としては適当ではない。しかし、一般には太陽光の下で栽培することが多く、太陽光の波長エネルギー分布がすでによく知られていることと、その時の作物の反応を認識するには、ヒトが目でとらえる明るさの尺度で見たほうが認識しやすいことから、照度がなお多く用いられている。

光合成の反応は、色素によるエネルギーの吸収→吸収エネルギーの化学エネルギーへの変換→化学エネルギーを利用してCO₂の還元からグルコースを合成

する 3 工程からなるが、1 連の反応は 5 秒で完結し、6 分子の CO₂ から 1 分子のグルコースが合成される。



第 1 図 光の強さと光合成速度の関係

光の強さに関係なく呼吸速度は一定なことがわかる。光合成速度と呼吸速度が同じになる光強度は光補償点という。

光飽和点は作物の種類によって異なる（第 1 表）。イチゴは 20～30klx と他の果菜類と比べて明らかに低い。夏秋どり栽培では、夏季には 10 万 lx を越える日

第 1 表 野菜の光飽和点と生育適

種 類	光飽和点(klx)	昼間の適温(°C)
ピーマン	40～50	27～28
ナス	40	25～30
メロン	50～60	25～30
スイカ	80	25～30
キュウリ	50～60	25～28
トマト	70	24～28
ゴボウ	—	20～25
ハクサイ	40	18～20
カボチャ	30	17～20
イチゴ	20～30	17～23
エンドウ	—	15～20
キャベツ	40	15～20
レタス	20～30	15～20
ホウレンソウ	—	15～20
アスパラガス	—	15～20
ネギ類	—	15～20
ダイコン	40～50	15～20

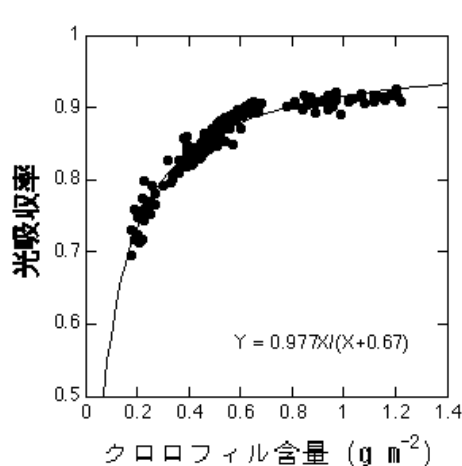
第 1 図は、光の強さと光合成速度の関係を示している。この研究結果は、モデル植物を使って温度、湿度、CO₂ 濃度が一定条件のもとで、光の強さだけを変えた時の結果で、光の強さを徐々に上げていくと光合成速度はどんどん上がっていくが、次第に光合成速度は緩やかになり、やがてそれ以上進まなくなる光の強さがある。これを光飽和点といい、この時の光合成速度を飽和光合成速度という。また、この図からわかるように、温度、湿度、CO₂ 濃度が変わりなければ、

もあるが、実際には 1 個体の全葉が光飽和点に達することは相互遮蔽が生じることからほとんどない。したがって、施設全体の収量や果実品質を考えるには、光合成能が最大となる午前中の遮光は行わないことと、群落としての CO₂ 固定が最大となる栽植密度を検討すべきである。‘信大 BS8-9’の 3 芽仕立てを基本とする場合では、群落としての生産性も考慮すると株間を 30cm にするのが最もよいと考えられる。

形態形成と光

光がない状態では光合成は行われず、暗呼吸による二酸化炭素の放出だけが起る。多くの植物では呼吸の基質である糖の濃度が高いときに呼吸速度が高くなる。一般に、太陽が沈んで夜が始まった頃は、昼間の光合成によって生産された糖がまだ葉に蓄積していて呼吸速度が高い。しかし、時間が経つと糖の含量は転流と呼吸消費によって徐々に低下するため呼吸速度も低くなる。呼吸速度は光合成速度と相関があることが知られていて、気温 25 度前後で、だいたい最大光合成速度の 1/20～1/10 である。

葉は受けた光を全て吸収できるわけではない。多くの場合、受けた光のうち 5～10%は反射され、5～10%は透過する。



第2図 クロロフィル含量と光吸収率の関係

したがって、残りの 80～90%が吸収された光ということになる（光吸収率）。光吸収率の大小に最も重要なのは葉のクロロフィル含量である。クロロフィルが多ければ多いほど葉が光を吸収できるチャンスが多く、吸収率が高くなる（第2図）。

植物は光を光合成だけに利用しているわけではなく、栄養成長や生殖成長に関わる重要な情報源として利用している。たとえば、発芽、芽生えの緑化、光屈性（茎を光の方向に曲げる反応）、避陰反応（光合成

のためのよりよい光環境を求める反応）、気孔の開閉などである。こうした形態形成には太陽光のすべての波長が有効なのではなく、660nm 付近の赤色光と 730nm 付近の遠赤色光および 450nm 付近にピークを示す青色光のどちらかである。これはヒトの視覚が 550nm 付近の緑色光に対して最も敏感であることと対照的である。この2極の波長の受光部は葉肉細胞内に多く存在するフィトクロム(phytochrome)と呼ばれる受光体であることが明らかとなっている。たとえば、花芽形成の日長による制御では、葉肉→維管束→茎頂へと情報が伝達される。

b) 温度

一般に、作物は昼夜一定温度よりも昼と夜の温度が周期的に変化するほどよく

成長する。昼間の生育適温は光合成速度が最大となる温度か、それよりも 2～3℃低い温度である（第 1 表）。

光合成にとっての光合成速度が最高値になる温度は、作物の種類によって異なりイチゴでは 20℃前後であるが、一季成り性品種、四季成り性品種にかかわらず、これより 2～3℃低い方が高収量が得られる。これは、同化産物の呼吸による消耗を抑制すると同時に、葉温を下げることによって光合成速度を促進するためである。実際に、夏秋どり栽培では 20℃以上に温度が上がる時間が短くなる 10 月、11 月に高収量が得られる。一方、冬春どり栽培ではそれよりはるかに低い温度で管理している。これは経済適温の概念、つまり、経済的見地からの燃料費節約と光合成産物の果実への転流促進、呼吸代謝の抑制を目的としているためである。

夏秋どり栽培のハウス内環境で生育と果実発育に大きな障害となるのが高温期の温度である。特に、最大光合成能に達する 10 時前後を中心として、日の出から 13 時までの光合成産物は、果実や根の貯蔵器官に蓄積されるので、その間の温度を少しでも下げたいところである。方法としては細霧冷房や赤外線カットフィルムの展張、天井フィルムへの冷水の掛け流しなどがある。

c) 湿度

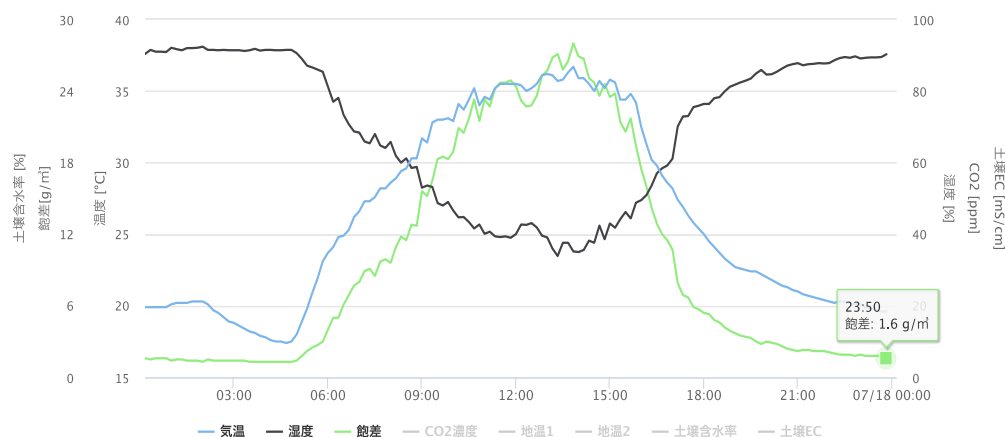
湿度は大気中の水蒸気量を示す用語で、体積 1m³の空気中に含まれる水蒸気量をグラム(g)で表したものを絶対湿度(absolute humidity)といい、一定体積の空気中に実際に含まれている水蒸気量の飽和水蒸気量に対する比を%で表したものを相対湿度(relative humidity)という。単に湿度という時は相対湿度を指している。

第 3 図は晴天日での伊那市のイチゴ栽培ハウス内の温度と相対湿度の関係を表したものである。

日の出とともにハウス内温度が上昇すると相対湿度は低下するが、15 時以降から温度が下がると相対湿度は上昇する。温度が 1℃上昇すると相対湿度は約 5% 変化する。

野菜類の生育と湿度の関係を飽差値からみると、飽差値が 1.4～10 では発育と代謝にはほとんど影響がないが、これより飽差値が上昇すると水ストレスが生じて成長が抑制される。また、1.4 以下の低飽差値条件下では発育などに障害が発生すると同時に、病害の発生が多くなる。しかし、適正な飽差値の範囲内での

比較的高い湿度条件下では、若い葉や果実などの低蒸散器官への水移動が根圧により促進され、それに伴ってカルシウム欠乏などが抑制される。

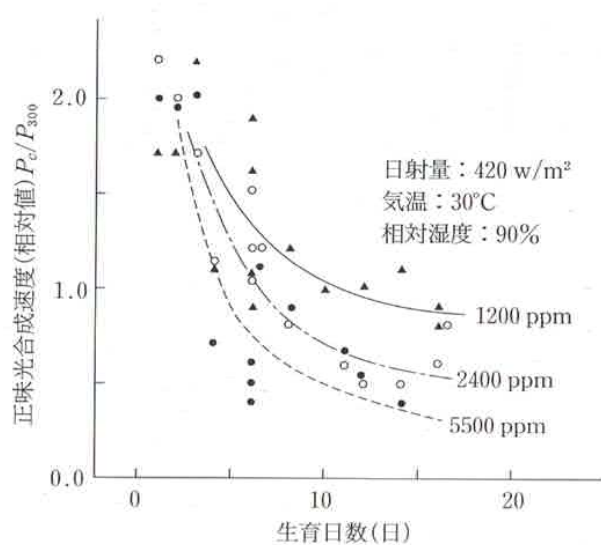


第3図 盛夏期におけるハウス内温度、湿度、飽差の推移（伊那市、2021.7.17）

d) CO₂

作物の光合成速度は CO₂ 濃度を高めると増大する。現在の大気の CO₂ 濃度は 410~420ppm で、ここ 20 年の間に 100ppm 近く上昇している。作物の栽培ハウス内や群落内では、夏季の栽培で換気がされていても日中この濃度より低下することがある。自然条件下での CO₂ の供給源は土壤にあり、土壤微生物による有機物の分解過程で生じる CO₂ が地上部に放出される。イチゴでは、冬春どり栽培のハウス土耕で、稲わらを 3t/10a 投入すると地表の CO₂ 濃度が上昇して収量が増大することが報告されている。しかし、有機物の少ない高設栽培用培土や、多く含まれていても微生物の活動を抑制するような条件下では CO₂ の発生は少ない。高設栽培のイチゴでは植物体が小さく、培土から葉までの距離が短いので、有機質と有機物分解微生物の投入と培土の温度、通気、水分および pH を適正に保つことによって微気象の CO₂ 濃度をある程度上げることが可能である。

CO₂ の好適濃度は作物によって異なる。一般に、一時的な処理であれば 1500ppm 程度まで光合成速度は直線的に上昇する。第4図は CO₂ 処理日数に伴うキュウリの葉の光合成速度の推移を示している。このように、高濃度での処理日が続くと、次第に光合成速度は低下する。この傾向は処理する CO₂ 濃度が高いほど著しいとされる。



第4図 CO₂施肥に伴うキュウリの葉の光合成速度の変化

植物体が小さく、しかも、生育期間を通してほぼ一定であるので、液化炭酸ガスやCO₂発生装置と、CO₂を植物体まで供給する資材の工夫でCO₂実用も可能となってきた。

これまでのCO₂濃度に関する多くのデータから、成熟果を収穫するイチゴを始めとしたスイカ、メロン、トマトについての適正施肥CO₂濃度は、800ppm前後とされている。

光環境には恵まれるイチゴの夏秋どり栽培では、適正な飽差値にあることを前提とすれば、葉裏へのCO₂施与は光合成速度の上昇を誘起する。イチゴは