

はじめに

平成 21 年度政府補正予算「植物工場普及・拡大総合対策費」にて総額 150 億円近い額が計上されて以来、第 3 次植物工場ブームが起こっていると言われている。しかしこれまでも植物工場が注目されたことはあった(第 1・2 次ブーム)にも関わらず、またこれまで多くの書籍などで、植物工場における農作物の生産には多くのメリットがあることが指摘されているにも関わらず、我が国にはそれが定着してこなかった。その理由は様々考えられるが、もっとも大きいと推察されるのは、イニシャル・ランニングコストを削減することが困難で、結果的にそこで生産される生産物の価格を抑えることができず、経営が成り立たなかったからではないかということが考えられる。そこでこの第 3 次ブームをブームで終わらせることがないよう、農水省・経産省挙げて植物工場の普及・推進のための研究を行っている。そこでは多くの新しい技術開発・実証が行われており、多くの成果が挙がってきている。

本著ではこれまで研究が進み多くの知見が存在する太陽光併用型植物工場ではなく、完全人工光型植物工場を中心に話を進めるが、植物そのものを取り扱うため、太陽光併用型においても考え方は適用できると考える。

1. 植物の面から見た植物工場における生産の方向性

植物工場とは狭義には「太陽の光ではなく人工の照明(ランプ)を使用して、温度など環境を制御した建物内で野菜などを栽培する場」とある。この定義には「ランプ」、「環境を制御した建物」、「野菜など」というキーワードが出てくる。これまでの多くの植物工場に関する研究とは「ランプ」、「環境を制御した建物」という個々の技術(ハード)開発に特化していることが多く、「野菜など」という「植物」をキーワードとした資料は散見される程度である。

言うまでもなく植物工場とは「野菜等売って成り立つ」産業であり、販売する対象は野菜などの植物である(もちろんハードを販売するという戦略もあるが、結果的にその納品先は野菜等売って経営が成り立つことになる)。そこで、どういった植物(生産物)を、どのように生産(栽培)していくのかということは経営上大変重要である。

そこで植物工場における植物生産を考えた場合、戦略が幾つか考えられる。まずどういった生産物を販売していくのかということであるが、これには大きく分けて2つあると考えられる。

- ・ 単価がある程度安くても大量に生産する
- ・ 少量となっても単価の高いものを生産する

もちろん単価の高いものを大量にというのがベストではあるが、ここではこの2つを取り扱う。このことは植物工場を経営していく上で、特に完全人工光型は天候依存型ではないため、計画的に栽培が可能であることから生産予測が立てやすく、前もって何をいつ頃に出していくか(いけるか)が分かっていることから、販売ルートの確保なども考えると経営戦略上、ある程度事業初期に決定しなければならない非常に重要な事項の一つである。

植物工場における野菜生産を事業化する上でもっとも大きな問題は、前述のように植物工場における農作物生産はインシヤル・ランニングコストが高く、結果的にそれを生産物に上乗せしなければならないところにある。このことは植物工場経営を大きく圧迫する最大要因となっている。この高コスト体質をいかに改善していくのかということが喫緊の課題であり、国の植物工場事業計画の目標にも「生産コスト3割減」が強調されている。

2. 単価がある程度安くても大量に生産する

植物の生産(出荷)量を上げコスト削減を行うには、生産物(植物)の収量を多くすることが必要である。このためにはここでも大きく2つに分けることができ、

- ・ 植物を早く収穫サイズに成長させて、在圃期間(植物工場内の栽培棚を占有している時間)を短くし回転を速くする(年に何作も採れるようにする)
- ・ 植物(生産物)自体の重さを重くする(重量を稼ぐ)

があると考えられる。ここでも植物の成長を早くしながら植物の重さを重くするというのがベストであるが、それらを同時に極限まで高めるための工夫が必要となってくる。

2.1 植物生長と植物工場内環境ストレス

一般的な環境で生育する植物は、常に種々の環境ストレスにさらされている。すなわち、温度ストレス(高温、低温、凍結)、水ストレス(干ばつ、冠水)、養分ストレス(過多、欠乏)、塩類ストレス、光ストレス(強光、弱光、夜間照明、紫外線)、物理ストレス(振動・接触)などである。動物と違って植物は成長している場所から逃げることができないため、それらストレスに対する耐性を身につけなければならないが、それについては後述する。

露地と比較して人工的に環境を変更・制御しやすい植物工場内においても、植物にとってストレスとなる要因は存在する。そこで植物が受けうるストレスとして考えられるのは、

- ・ 弱光
- ・ 高温
- ・ 水(湿潤、乾燥)
- ・ 養分欠乏、過剰、養分バランス
- ・ 炭酸ガス欠乏
- ・ 湿度
- ・ 無風
- ・ 振動・接触

などが挙げられる。このうち弱光ストレスは完全人工光型では解決が大変難しい問題として

ように光合成のために炭酸ガスが気孔から入る必要があるが、炭酸ガスの葉内への移動は物理的拡散に依存している。そのため完全無風状態では葉内へのその取り込みの効率が悪くなる。

振動・接触ストレスとは、例えば植物が空調機の近くなどに存在して常に風で揺れる等の影響を受けたり、植物工場内を管理する人が歩いたり作業したりする際に葉などに触れることによって、植物が物理(機械)的なストレスを受けることがある。

上記を総合すると、植物にとっての植物工場環境とは、

- ・ 暗い、光の来る方向が一定、量が均一でない
- ・ 暑い、熱源が近すぎる
- ・ 空気が動かない、動きすぎる
- ・ 湿度が高い、低い
- ・ 炭酸ガス濃度が低い
- ・ 液肥の調整不足の可能性

などが挙げられ、決して快適とは言えない。

一般的にストレスを受けると植物は成長などが阻害されることから、最終的な収量に大きな影響が出ることとなる。そこでこれら植物が受けうるストレスへの反応を理解しその対策を講ずることで、ストレスから植物をフリーにする必要がある。

2.2 植物の成長生理

ここでは植物の成長を早くするという点について述べる。植物の成長とは、言い換えると植物の体積が増加することである。植物の体積が増加するためには、それを構成する細胞の数が増える(細胞増加)ことと個々の細胞の大きさが大きくなる(細胞拡大)ことを必要とする。植物細胞は大変小さいことから、細胞の数が増えても植物の体積そのものには大きく影響しない。そこで分裂した細胞がいかに大きくなるか(細胞増大)が植物の成長を大きく左右し、ひいては植物の成長を支配する要因となる。特に葉菜類のように葉の大きさがすべての収量(根を除く)となる品目においては、植物の成長量がそのまま収量に繋がることから細胞拡大の率・量が大変重要となる。

- ・組成成分の若干の変更
- ・滅菌技術の必要性
- ・藻などの発生抑制

などが考えられる。「組成成分の若干の変更」とは、完全人工光型植物工場では、気温上昇や湿度環境等の影響により、液肥の蒸発や植物を介する蒸散による水のロスが、太陽光併用型と比べて少ないことが予想される。そのため液肥濃度をやや高めにするなどの策を講じる必要があると考えられる(もし閉鎖空間内が低湿度ならばその逆もありうる)。「滅菌技術の必要性」とは、完全人工光型植物工場ではある程度の密閉とフィルター設置などにより、露地や太陽光併用型よりも菌密度が低いクリーンな生産物を特徴とすることができることから、求める菌密度レベルにもよるが、液肥を滅菌して使用することもある。「藻などの発生抑制」も洗浄工程を省きクリーンな生産物を出していくためには必要な要素であると考えられる。滅菌技術に関しては、後述する明治大学植物工場基盤技術研究センターにおける研究推進課題である。藻の発生抑制に関しても液肥の浄化技術として超音波などを使う例が見られる。

光・二酸化炭素に関しては光合成に関わる重要な要素である。植物はそれらを使って糖を生産し、エネルギー源や細胞壁など植物を構成する物質の材料として使用することから、植物の重量を重くするためには、光合成をいかに効率よくさせるのかも重要となってくる。特に前述のように完全人工光型植物工場では光がどうしても弱いことから、コストとの関係も絡めて、光源(ランプ)から出た光をいかに無駄なく植物に当てるか、など多くの工夫・技術開発がなされている。これらはLEDなどにより単波長のみ与える、ランプハウスの工夫により光を集約する、など技術的に進んでいる面が多いが、植物にいかに効率よく光合成をさせるのかという点においては、まだ研究の余地が多く残されていると考えられる。例えば群落に関して、植物と植物の間をどれくらい空ければ、より葉面に光が当たるかに関してなどである。あまり狭いと植物同士が相互遮蔽し光合成効率が落ちるが、あまり広いと面積あたりの植物の数が減ってしまい、収量が減ってしまう結果となる。群落に関しては湿度ストレス(植物が密集すると植物周辺の湿度が高くなり蒸散が抑えられる)や無風(ストレス)条件(植物が密集すると空気の流れ(風)が起こりにくくなる)との関係もあり、光条件だけで設定できない難しさがある。

また光合成により葉で作られた糖を必要とする部位(根・茎など)に移動させること(転流)