

植物工場のあるべき姿と可能性

古在 豊樹

KOZAI Toyoki

植物工場研究会 (NPO)

【キーワード】 植物工場、資源利用効率、土地生産性、都市農業、資源循環

1 はじめに

植物工場に関する社会的・産業的・教育的な関心が高まっている。そこで、その社会的背景、資源の利用効率と循環、あるべき姿と要件ならびに将来における可能性などを概説する。植物工場は人工光型植物工場（以下、人工光型）と太陽光型植物工場（以下、太陽光型）に大別されるが、本稿では前者について主に述べる。

2 社会的背景

近年、食料（家畜用飼料を含む）、環境、エネルギー・資源・富の不均衡（不足、偏在、変動および過剰消費）に関する地球規模および地域規模の3すくみ問題（1つの問題を解決すると他を2つの問題の状況が悪化する問題）の深刻度が増しつつあり、その根本的解決法が望まれている。そして、植物工場は、この3すくみ問題に関わる以下の課題を同時並行的に解決するためのキーテクノロジーの1つを提供し得ると期待されている。

- 1) 気候変化（地球温暖化）に伴う異常気象（台風・強風、豪雨・洪水、干ばつ、豪雪など）の頻発およびそれに伴う作物の収量および品質の変動。
- 2) 都市人口の増大。2050年には地球人口90億人超の70%が都市に居住する。
- 3) 農村人口の減少と農業従事者の高齢化。2050年には、地球の都市人口に対する農村人口の比率が半減する。日本では、2015年の農業就業者約225万人の平均年齢は66歳である。2010年に約300万人だった農業就業者は2040年に150万人になり、その2/3は65歳以上となる。
- 4) 農業用水と化石燃料の不足にともなうそれらの価格の上昇への世界的懸念。
- 5) 生鮮食料を遠隔地で生産し大都市に輸送することに伴う燃料消費量、CO₂排出量、交通量。また、長距離輸送に伴う生鮮食品の傷みとロスを軽減するための低温輸送、厳重包装による資源消費量の増大。
- 6) 都市化、塩類集積土壌地域および土壌汚染地域の増大に伴う農地面積の減少。
- 7) 食料安全保障と食品の質の安全保障の強化のための地産地消の要求増大。
- 8) 健康と生活の質の向上志向に伴う、生鮮食品、機能的食品への需要増大。
- 9) 都市住民が植物生産、食料生産の現場を見るまたは経験する機会の減少、およびそれに関連する食料廃棄率30%超への無関心の増大。他方では、市民農園、家庭園芸、田園回帰、地域おこし、農業への関心増大。

3. 都市における資源消費と都市内生鮮食料生産による資源循環

施設園芸・植物工場は畑地栽培に比較してかん水用水資源を大幅に節減する。他方、施設園芸・太陽光型植物工場では寒期に暖房用燃料を必要とし、また人工光型植物工場では照明と冷房に電気を相当に消費する。

さて、植物の光合成による成長には、光、水、CO₂、肥料、種苗ならびに適温が必須である。適時に適量を適所にそれらを与えれば、植物は十分に成長する。他方、都市では石油、水、電気、食料などの有用資源が大量に消費され、同時に下水、CO₂、生ごみ、排熱などの劣化資源が大量に排出される。そして、その排出物の処理に有用資源とコストを消費している。

都市内で、下水を浄化して植物生産のためのかん水に用い、生ごみから水と肥料を分離して、排出されたCO₂を植物の光合成促進に利用すれば、植物の生産に必要な資源は、光を除いて、都市からの排出物でほぼまかなえる。同時に、都市からの排出物が大幅に削減される。さらに、オフィスや工場からの低温排熱は、温室の暖房熱源や農産物の乾燥・加工の有用熱源となる（暖房等には低温熱源で十分である）。また、都市では夜間の電力消費が昼間に比較して低下するので、人工光型植物工場は夜間の低価格な余剰電力を利用しているのが一般である。

太陽光型植物工場および人工光型植物工場の土地面積当たりの植物生産量は、畑地での栽培に比較して、それぞれ、およそ10倍、およそ100倍である。また、どちらも養液栽培であり、自然土を用いないので、生産性はその土地の土壌の性質や土壌伝染性微生物に影響されない。人工光型の場合は、日陰でも地下室でも構わない。すなわち、都市内の植物工場で生鮮食料・植物苗・機能性植物の生産をすれば、食料の消費地・ゴミの排出地であった都市が、ごみ排出量の少ない食料・植物の生産地に変わる。

4. 持続的食料生産システムの要件

1) 食料・環境・資源・エネルギーの問題解決に貢献する、2) 省資源的・省エネルギー的・低CO₂排出的である、3) 環境保全的で、汚染物質・ゴミ・残さを環境に排出しない、4) 投入資源利用効率（投入資源量に対する価値生産量の比）が可能最大値に近い、5) 高品質・安全な生産物が安定的・計画的に低コストで得られる、6) 外乱（異常気象など）や異物混入（薬品、ゴミ）が最小である、7) 作業員・地域住民に対して、安全であり、作業員に創意工夫を促す快適なシステムで、生活の質を向上させる、8) 作業員を含むシステム全体が自然環境および社会環境の変化に適応的で、進化的（自己組織化）である、9) システム内に発生する熱を最小にし、排熱は再利用される。10) 生物、環境、情報、経営・経済・社会、医療・福祉などに関する知見を、ローカルかつグローバルに統合したネットワーク（人的かつIT的）を通じて、環境健康共生福祉に基づく社会変革の実現に貢献する、11) 植物の望ましい遺伝的性質を最大限に発揮させる環境の下で、人類の生活の質（広義の健康）の向上に必要な機能成分を豊富に含む植物を、最小量の資源と最小量の廃棄物で、環境保全的・内部循環的に生産し、自然と共生しつつ、最大多数の市民に届ける。

5. 人工光型植物工場

5.1 対象植物

1) 草丈が30cm前後で商品になる(刈り取り再生方式でも可)。2) 比較的弱い光強度と高いCO₂濃度(1000~2000 ppm)で良く成長する。3) 苗の定植から収穫までの日数が短い(10~30日)(狭いスペースで可能な、播種・育苗には数週間必要でも可)。4) 苗栽植密度が一平米当たり50~500本と高くても良く成長する。5) 植物体の90%前後が商品になる(商品にする)。6) 植物体の生体重量当たりに商品単価が比較的高い(1000円/kg以上)。7) 機能性成分(ビタミン、リコピン、薬効成分等)の濃度を環境調節(光質、気温、水分、気流速度等)によって高めることが出来る。

5.2 特徴と課題

- 1) 無農薬、夾雑物ゼロ、収穫物の殺菌・洗浄不要で加工工程の大幅簡略化可能。
- 2) 養液(肥料溶液)の排出がわずかである。その結果、肥料と水の使用量が節減。
- 3) 葉からの蒸散水を冷房時結露水として95%回収し、かん水量は温室の約1/50。
- 4) 冬期の外気温-20℃の夜間でもランプ発熱により、暖房コストはゼロ(冷房が必要)。
- 5) 地産地消。生産地と消費地の接近による輸送の資源・コスト、野菜傷みの節減。
- 6) 周年にわたり気温20~25℃の気温の中で、快適安全軽作業のみ。
- 7) 気象・季節等によらず、計画生産、安定収量、安定品質、安定生産コスト。
- 8) 土地面積当たりの年間生産量は露地の約100~200倍。狭い土地で高生産量。土地面積あたりの初期・運転コストは100倍だが、土地面積当たりの生産額はそれ以上で、必要土地面積は1/100以下。
- 9) 環境管理により野菜の品質と生産性を経年的、体系的に向上し得る。
- 10) 栽培と環境管理のノウハウを気候・地域にあまりよらず標準化し得る。
- 11) 同じ植物種でも、商品の外見、味、利用部位が異なり、事実上の新商品となる。
- 12) 2015年時点では、日本の研究水準、技術水準、普及水準は世界一。
- 13) 商品化率(商品重量/植物重量)が高い。病虫害や枯死による損失がほぼ皆無。
- 14) 高度技術が必要で設計・管理の人材不足。各種研修プログラムの開発が必要。
- 15) 栽培品目が機能性植物に限定される。機能性を高める環境調節法が未開発。
- 16) 現状では初期コストと運転コストが高い。今後の開発要素が多い。



図1 柏の葉スマートシティは、「農」のある農耕文化都市
千葉県柏市柏の葉キャンバス駅周辺



図2 柏の葉キャンパス街は、あちこちに、「農」のある街

6. 光型植物工場

3.1 環境制御の問題とその解決法

解決すべき課題	解決への方向性
① 高湿度の高湿度	① CO ₂ 濃度連続可変の制御冷房
② 高湿度の高CO ₂ 濃度	② 高湿度時のゼロ濃度差CO ₂ 施用法
③ 高湿度の高湿度	③ ヒートポンプによる夜間冷房
④ 高湿度の高湿度	④ 網路環境連続可変の加湿
⑤ 高湿度の高湿度	⑤ ヒートポンプによる除湿
⑥ 高湿度の高湿度	⑥ ヒートポンプによる暖房・冷房・除湿
⑦ 高湿度の高湿度(1)	⑦ 木質バイオマス等の地域資源利用
⑧ 高湿度の高湿度(2)	⑧ 人工光閉鎖型生産システム
⑨ 高湿度の高湿度	⑨ 環境の新制御法による高品質・高収量・省資源・環境保全
⑩ 高湿度の高湿度	⑩ ICTによる分散情報の知能的統合化
⑪ 高湿度の高湿度	
⑫ 高湿度の高湿度	
⑬ 高湿度の高湿度	
⑭ 高湿度の高湿度	
⑮ 高湿度の高湿度	
⑯ 高湿度の高湿度	
⑰ 高湿度の高湿度	
⑱ 高湿度の高湿度	
⑲ 高湿度の高湿度	
⑳ 高湿度の高湿度	
㉑ 高湿度の高湿度	
㉒ 高湿度の高湿度	
㉓ 高湿度の高湿度	
㉔ 高湿度の高湿度	
㉕ 高湿度の高湿度	
㉖ 高湿度の高湿度	
㉗ 高湿度の高湿度	
㉘ 高湿度の高湿度	
㉙ 高湿度の高湿度	
㉚ 高湿度の高湿度	
㉛ 高湿度の高湿度	
㉜ 高湿度の高湿度	
㉝ 高湿度の高湿度	
㉞ 高湿度の高湿度	
㉟ 高湿度の高湿度	
㊱ 高湿度の高湿度	
㊲ 高湿度の高湿度	
㊳ 高湿度の高湿度	
㊴ 高湿度の高湿度	
㊵ 高湿度の高湿度	
㊶ 高湿度の高湿度	
㊷ 高湿度の高湿度	
㊸ 高湿度の高湿度	
㊹ 高湿度の高湿度	
㊺ 高湿度の高湿度	
㊻ 高湿度の高湿度	
㊼ 高湿度の高湿度	
㊽ 高湿度の高湿度	
㊾ 高湿度の高湿度	
㊿ 高湿度の高湿度	

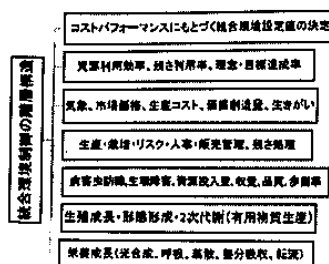


図1 統合環境制御システムの階層構造

7. おわりに

いかなる科学技術・システム・商品も妥当な理念・目標・使命の下に研究・開発・利用しなければ、無用または害をもたらす。逆に、科学技術の進展成果の適切な利用を拒否しては人類の未来はあやうい。農業および教育においてははかりである。

参考文献 (引用文献ではない)

- 1) 大山克己・古在豊樹・久保田智恵利・全昶厚・長谷川智行・横井真悟・西村将雄 (2002) システムに設置した家庭用エアコンの冷房時成績係数, 植物工場学会誌, 14(3), 141-146
- 2) 古在豊樹編著 (2011) 太陽光型植物工場, オーム社、東京、p.186. (2009)
- 3) 古在豊樹. 知能的太陽光植物工場の新展開[13]、一省資源・環境保全と高収量・高品質を両立させるサステナブル植物工場―、農業および園芸、86(1): 41-50.
- 4) 古在豊樹 (2012) 人工光型植物工場, オーム社、p.228
- 5) 古在豊樹 (2013) 植物工場の背景、課題および動向、冷凍、88(1025). 143-150
- 6) 古在豊樹・糠谷綱希・渋谷俊彦・丸尾達 (2014a) 施設園芸におけるゼロ濃度差CO₂施用(1)、その原理と実際、農業および園芸、89(6), 643-652.
- 7) 古在豊樹・糠谷綱希・渋谷俊彦・丸尾達 (2014) 施設園芸におけるゼロ濃度差CO₂施用(2)、その原理と実際、農業および園芸、89(7), 749-758.
- 8) 古在豊樹 (2014) 都市における生鮮食料生産の多面的意義、農業および園芸、89(10)、994-1006.
- 9) 古在豊樹 (監修) (2014) 図解でよくわかる植物工場のきほん、誠文堂新光社、p. 159.
- 10) Kozai, T. (2013) Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. Proceedings of the Japan Academy, Ser. B. Vol.89 No.10, 447-461.
- 11) Kozai, T., G. Niu and M. Takagaki (2015) Plant Factory, Academic Press, p.445.
- 12) Kozai, T., C. Kubota, M. Takagaki and T. Maruo (2015) Greenhouse Environment Control Technologies for Improving the Sustainability of Food Production. Acta Horticulturae (in press)

植物工場に関わる人材育成への取り組み

千葉大学における研修の特徴と問題点

塚越 寛

TSUKAGOSHI Satoru

千葉大学環境健康フィールド科学センター

1 千葉大学拠点の概要

千葉大学植物工場拠点は、農林水産省モデルハウス型植物工場実証・展示研修事業として平成23年3月に竣工した。それまで、日本の試験研究機関には10a以上の実用規模の試験温室がなかったが、千葉大拠点の太陽光利用型植物工場はいずれも1棟10aを超える。さらに計0.6aの人工光型植物工場も設置されている。同事業で整備された拠点のうち、同一の敷地内に太陽光と人工光の両方の植物工場を備えるのは千葉大のみである。この点が千葉大拠点での研修を特徴付けることになる。

2 千葉大学での研修の特徴

1) 多種多様な栽培システム、人材によって、非常に幅広く、かつ実践的な研修が可能

太陽光型・人工光型植物工場の両方が設置されているため、両方式について、コンソやNPOの協力も得ながら、講義だけでなく実習や演習も含めた研修ができる。また、実際には日程などの関係で難しいが、その気になれば植物工場関連分野の研修のほとんどを千葉大拠点の関係者のみで行うことができる。講師は現役の研究者でもあるので、まだ研究段階の技術についても情報を得られる。

2) 研修会の開催回数(日数)が非常に多い

千葉大主催とNPO主催の研修を合わせて、2014年度は11テーマ(のべ44日)の研修を行った(受講生330人)。他の拠点での研修は無料だが、千葉大では参加費をいただいている。それでも、ほとんどの研修会で、募集人数を上回る参加申込みがある。

3) 各研修会が独自のテーマを持つが、全研修会を通じて1つの研修会とも言える

各研修会には特定のテーマがあり、各回で完結する。一方、一年を通じて見ると基礎から始まり、植物工場関連のトピックス全般を取り上げる研修会とも言える。受講生は、興味や抱えている問題などに応じて研修を選択できるし、関連する知識全般も習得できる。

4) 受講生の意見を積極的に取り入れ、実践的、体系的な内容となるように工夫している

「植物工場に興味があるが何から勉強してよいのかわからない」という意見を受けて開講したのが「一から学ぶ植物工場の基礎用語と基礎知識」である。また、「研修名を見ても何が学べるのかわからず、研修に出ても大丈夫か不安だった」という意見があった。そこで、例えば「経営管理者研修」に副題の「実例から学ぶビジネスとしての植物工場経営のノウハウ」を付け、ある程度内容がイメージできるようにした。