資 料

植物工場の栽培システム(1)—自然光併用型—

田中 功夫*

1. 植物工場とは

植物工場の明確な定義はないが、水耕栽培技術を中心に生産設備技術、環境制御技術、自動化技術を組合わせて、天候に左右されずに1年間、計画的に、品質一定の植物を安定して生産、出荷するシステムを植物工場とよんでいる。水耕栽培と植物工場の相違点は、水耕栽培が地下系因子のみの制御の為、計画生産、安定生産が難しいのに対し、植物工場は地上因子の環境も制御する為に1年中非常に安定して植物生産ができる点である。計画生産する為には、特に植物の光合成・生育に影響を与える太陽光が不足する梅雨、曇りの日・日長が短い冬に補光をする必要が生じる。このタイプの植物工場を太陽光・人工光併用型という。

2. 太陽光・人工光併用型の特徴

太陽光・人工光併用型は、人工光のみで、野菜を生産する場合に比較して次の特徴を有する。

- ① 現在は、根茎植物を除く作物の生産が可能である。
(人工光のみでは果菜等は難しい)
- ② 太陽の影響を受けるので四季により、若干生産日数が増える可能性がある。
- ③ 太陽光併用型なので、生産植物の形態が自然条件で栽培したものと差異が少ない。
- ④ 太陽の熱エネルギーの影響で3月～10月迄は殆ど冷房期間である。冷房方法の工夫が人工光に比べて経済的にもより求められる。最近パッド&ファンと呼ばれる水の蒸発潜熱を利用した冷房方式が採用されてきたのでこれも解決されつつある。
- ⑤ しかしながら、夏のガラスを通してガラス温室内に入る熱量は1000㎡規模当り100万 kcal/h 程度である。これを冷房、冷却装置だけで除去し温度を維持することは経済的に困難である。従って遮光を行い入熱を低減することが大切である。通常は2層のカーテンを用いて30～60%遮光を行う方法が用いられている。
- ⑥ 一方、冬は外気が-5℃程度になることも珍しくない。ガラス又はプラスチック1枚を隔てた室温を20℃程度に保つ為には保温カーテンが必要である。
- ⑦ 植物は午前中、とりわけ日の出から数時間迄が光合

成が盛んであるが、この時間帯にCO₂を欠くことは植物の生育に悪影響を与える。とりわけ11月～2月迄のこの時間帯にCO₂を供給することが重要である。

このように地上部の環境を制御することに工夫、苦心するのが太陽光・人工光併用型の特徴である。

しかしながら近年、技術革新が進み、今後の野菜生産の主流はこの併用型だと考えられる。このため、現在最も進んでいるシステムの一つである準完全自動化植物工場について経済性等を中心に以下概要を述べる。

3. 準完全自動化植物工場システムの特徴

植物工場の普及速度が遅い要因の一つに野菜の製造原価が高く、市場卸売価格の約2倍となっている点があげられる。毎日食する野菜の消費者購入価格が上昇したり、海外からの輸入品にコスト競争力で負けるようなシステムでは消費者、システム購入者の利益に反することとなる。この為1,000㎡規模の標準タイプで、全国64市場の市場卸平均価格で生産野菜を販売した時に経済性が成立するシステムとする必要がある。製造原価を下げるには、野菜生産の回転率アップ、栽植密度をアップして面積の有効活用による生産量アップ、冷房設備のコストダウン等が不可欠である。

3.1 特 徴

- (1) 特に中心となる養液栽培技術は噴霧式水耕栽培装置を用いていることで、空気中の酸素が充分吸収できるため、①病気の発生がない、②周年栽培が可能、③2軸のスペーシングが可能、④コストダウンが図れる。
- (2) ①準完全自動化により定植から収穫・調整迄の効率化・省力化が図られ、50～60名程度要する作業従事者がホウレン草生産の場合3～4名で良い。
- ②収量・品質アップの為に栽培技術
◇栽培密度アップの為、植物の生長段階に応じて順次株間をX・Y両軸に広げる2軸スペーシング方法が採用されている。
◇大苗化による回転率アップ…ウレタン培地のサイズアップによる育苗期間の延長を図り、大面積を有する本圃滞在期間の短縮化を図っている。
- ③冷房、照明、養液栽培設備の工夫による設備費・変動費コストダウン。

3.2 設備内容

このシステムの鳥瞰図を図1に示すが、主な設備内容は次のとおりである。

*出光興産㈱ Isao Tanaka
〒289-12 千葉県山武郡山武町森下内野1095-5
紹介者：小原章男

図1 葉菜栽培システム

- ①グリーンハウス型式 オランダのダッチライト方式
(軒高3.8m)
- ②冷 暖 房 (冷) Pad & Fan 方式
(暖) 温風式
- ③遮 光 二重カーテン方式
- ④育 苗 方 式 水重し育苗
- ⑤養 液 栽 培 方 式 移動式噴霧水耕
- ⑥栽 培 レ ー ン 数 15~20レーン(40m/レーン)
- ⑦自 動 化 機 器 定植機 1台
(ロボット) スペースングマシン 1台
収穫調整機 1台
包装機 1台
その他 5台

なお、照明設備については、照明学会誌 VOL.78 NO.7, 1994照明のデータシート NO.1017を参照されたい。

3.3 生産量と生産日数例

生産物は葉菜類全般が可能である。生産量は例えばホウ

レン草では75トン/年・10a, リーフレタスでは80トン/年・10aで、露地の約10倍程度である。生産日数例を表1に示す。

また、スペースングを行わない通常の簡易植物工場と、スペースングを行う準完全自動化植物工場を生産量で比較すると、ホウレン草の場合、49.6トン/年と75.1トン/年となり、2軸スペースングを行うことによる栽培効率アップは50%~60%となり、その効果は大きい。

4. 設備費・ユーザー経営収支概要

全設備面積1,000㎡ベースの設備投資例を表2に示す。設備費は約15,000万円程度である。設備費をみると水の蒸発潜熱を用いた、Pad & Fanの設備費が安価であること、養液栽培設備が安価であることから、自動化設備(ロボット)を除けば、1.1億強の設備となっている。従来のシステムはロボットなしで1.5億程度であるため、このシステムの設備費が大幅に削減されていることが理解できる。

2軸スペースングシステム導入ユーザーの経営収支例を表3に示す。販売経費、変動費がほぼ同程度の800万円~900万円程度かかっている。変動費は照明配列の工夫(栽培後半3日間は人工光なし)・Pad & Fan採用による空調費節減等の電力代金減が大きく寄与している。この為、収益がほぼ1千万円に達する見込みである。農林水産省等からモデル事業として50%の補助金が出るケースも併せて表3に付記している。

表1 ホウレン草・リーフレタス類の生産日数例

	水重し育苗	育 苗	栽 培				回 転 数
			第1ステージ	第2ステージ	第3ステージ	第4ステージ	
ホウレン草	4	10	3	7	3	なし	28
リーフレタス	4	21	4	4	4	4	23

表2 植物工場設備費概要

番号	品名仕様	金額(千円)	
		簡易植物工場 (ノンスペーシク)	準完全自動植物工場 (スペースシクあり)
1	電気設備工事	15,000	15,000
2	環境制御ワークユニット センサー等	5,000	5,000
3	暖房設備工事	3,500	3,500
4	養液栽培設備	14,000	14,000
5	配管工事 育苗設備 養液供給設備	12,000	12,000
6	自動化・ロボット工事	18,200	44,200
7	ハウス工事 基礎、建方 Pad & Fan カーテン込み	36,000	36,000
8	保冷库	2,000	2,000
9	経費・管理費等	20,000	20,000
	計	125,000	151,700
	生産量	49.6トン	75.1トン

表3 ユーザー(農家)経営収支

1,000㎡規模(千円)

	クレーンリフ 等	ハウレン草	
		補助金なし	補助金あり
収	販売金額	41,250	41,250
	生産量	75トン	75トン
支	単価	55円/100g	55円/100g
支	販売経費	12,400	7,940
	変動費	6,040	9,510
出	固定費	13,630	8,070
	計	32,070	31,580
	所得	9,180	15,730
	製造コスト/100g	42.8円	42.1円

これからわかるように、ここまで徹底した合理化を追求しないと中途半端なシステムでは経済性のある経営は中々難しいことが理解できよう。

5. 経済性アップ対策

植物工場で生産される野菜は、表4・表5に示すように露地物野菜と比べても栄養価は同等・硝酸態窒素・菌数が少ないという高値で有利販売できる利点を有している。又、植物工場の本質的強味である年間を通じて、計画的に生産・出荷が可能で、且つ無農薬という特性を活かすことで契約栽培が可能となり、更に値がとれる利点がある。流通形態も契約栽培が可能となることで段ボール箱から通い箱への変換等でコストダウンが図れる環境が生じてくる。生産者、流通業者、システム提供者の相互協力で経済性アップ対策が更に図れる余地は充分にある。植物工場が普及するには再投資可能な状況を作り出す経済性アップにつなげる対策が必要になるが、この為には当然ながら更なるコストダウン、販売金額アップにつなげる努力が必要である。一例として、現在のシステムはロボットの稼働が8時間で計画されているが、生産設備を3倍にして、ロボットのみ24時間稼働させることで規模メリットや、設備コストダウンを図ることを今後検討することも重要である。

表4 ハウレン草の成分分析例
(カロチンは μg ・A効力はIU) ビタミン単位=mg

	ビタミン			硝酸態窒素 mg/100g	シュウ酸 %
	カロチン	A効力	C		
植物工場	3060	1700	18	86	0.58
土耕	3100	1700	65	(-)	(1)

表5 ハウレン草の菌数分析例

	一般生菌数 (/g)	大腸菌群数 (/g)	黄色ブドウ球菌
植物工場	5.9×10^3	2.8×10^3	陰性
土耕	$< 10^5$	(-)	陰性

表6 トマト・イチゴのテスト実績
(トン/1,000㎡)

		トマト	イチゴ
	収量	従来 目標 実績	24 100 83
	品質度	従来 目標 実績	4 20 15
		5 6 6.0~7.2	9 9 9.0~11.0

6. おわりに

通常の努力をしていたのでは植物工場の経済性は仲々成り立たない。栽培技術、生産設備技術、環境制御技術、自動化技術が巧みに組み合わせられ、斬新なアイデアを具現化してはじめて経済性が成り立つ。

太陽光・人工光併用型であるために生産が可能であるトマト、イチゴについても栽培技術が確立されつつある。その実績を表6に示す。しかしながら、2万lx程度の照度を要する葉菜類生産に比較すれば、トマトで5~7万lx程度の照度が必要となる為、人工光照明の数を増やさなければならなくなる。又、品質面から考えても、昼と夜の温度差をつけて糖度を上げる等の工夫が必要となる。この為、基本的な地上部の環境制御の考え方は葉菜類・果菜类等共に同じであるが制御機器の種類・能力等が異なってくる為、尚一層の工夫が必要である。即ち葉菜類で得た知見をベースに、果菜類へ拡大していくことが大切である。

(受付日1995年1月12日)

たなか いきお
田中 功夫

昭和24年6月1日福岡県春日市生。昭和48年3月鹿児島大学工学部応用化学科を卒業。昭和48年4月出光石油化学(株)に入社。工場の生産管理、プラント設計、教育、TQC指導等に従事。昭和61年7月出光興産(株)総合計画部に転属。新規事業開発担当。昭和62年12月植物工場プロジェクトを設立し、リーダーとして現在に至る。平成6年4月植物工場普及振興会幹事事務局、日本植物工場学会理事を兼務。