

報告

遺伝子組換え作物実験施設
の環境構築



平成23年（2011年）4月28日

日本学術会議

農学委員会

農業生産環境工学分科会

この報告は、日本学術会議農学委員会農業生産環境工学分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

農学委員会農業生産環境工学分科会

| | | |
|------|---------------|---------------------------------|
| 委員長 | 真木 太一（第二部会員） | 筑波大学 北アフリカ研究センター客員教授、九州大学名誉教授 |
| 副委員長 | 橋本 康（連携会員） | 愛媛大学名誉教授 |
| 幹事 | 野口 伸（第二部会員） | 北海道大学大学院農学研究院教授 |
| 幹事 | 奥島 里美（特任連携会員） | （独）農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所・上席研究員 |
| | 青木 正敏（連携会員） | 東京農工大学大学院農学研究院教授 |
| | 礪田 博子（連携会員） | 筑波大学大学院生命環境科学研究科北アフリカ研究センター教授 |
| | 大政 謙次（連携会員） | 東京大学大学院農学生命科学研究科教授 |
| | 後藤 英司（連携会員） | 千葉大学大学院園芸学研究科教授 |
| | 鈴木 義則（連携会員） | 九州大学名誉教授 |
| | 高辻 正基（連携会員） | （財）社会開発研究センター理事 |
| | 野並 浩（連携会員） | 愛媛大学農学部教授 |
| | 橋口 公一（連携会員） | 第一工業大学教授、九州大学名誉教授 |
| | 早川 誠而（連携会員） | ときわミュージアム企画監、山口大学名誉教授 |
| | 三野 徹（連携会員） | 鳥取環境大学教授、京都大学名誉教授、岡山大学名誉教授 |
| | 村瀬治比古（連携会員） | 大阪府立大学教授 |
| | 山形 俊男（連携会員） | 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻教授 |

要 旨

1 作成の背景

遺伝子組換え作物の利用は、地球規模の食料・環境・エネルギーに関する諸問課題の解決策の一つとして期待されている。我が国においては各種の事情により遺伝子組換え作物の商業栽培は実施されていないが、国際的な厳しい研究開発競争を勝ち抜くためにも研究の継続は必須である。そして実際に我が国でも新たな遺伝子組換え作物の作出を目指して様々な基礎実験と栽培試験が行われている。遺伝子組換え作物を実際に圃場で栽培し作物生産を行う場合には、野外の実験圃場で検定試験を行う必要があるが、その前に環境調節された実験施設内で試験を行い、再現性のある精確な実験データを蓄積する必要がある。この試験研究を実施するには、関係法令に基づき、環境中への遺伝子組換え生物等の拡散を防止しつつ行う第2種使用（閉鎖系の施設内での利用）として閉鎖系温室および特定網室を用いる。しかしこれらの実験施設の現状は理論的にも、経験的にも、国際的な比較からもきわめて不十分であり、今後の遺伝子組換え作物の研究開発の促進のためには、新たな視点で安全かつ効率的に実験施設を整備・運営することが必要である。

2 現状及び問題点

我が国では現在、病害抵抗性を付与した作物、多収性作物、不良環境耐性作物、機能性を高めた作物、医薬品原材料になる作物などの遺伝子組換え作物の研究開発が進められている。今後様々な遺伝子組換え作物を実用化するためには、遺伝子組換え作物の作出から系統選抜、生育試験、圃場栽培試験、生態系への影響評価、安全性評価に至るプロセスを効率的に行う必要がある。このうち系統選抜と生育試験で用いられる施設が閉鎖系温室と特定網室である。

閉鎖系温室には太陽光型と人工光型がある。いずれの場合も、室内を陰圧制御して空調コストの増加を招いたり、作物の生育を促進したりするためのCO₂施用、補光、湿度制御等の環境制御技術を取り入れていないのが現状であり、高価な施設の割には環境工学的視点が欠けている。また閉鎖系温室の通年利用を考えると、生育環境制御の観点および空調負荷の観点から人工光型が優位と思われるが、このことは設計者および利用者に十分に理解されていない。しかし欧米の施設の中には、環境工学的視点にくわえて運転コストを削減する技術を盛り込んだ運用例がみられる。

特定網室は本格的な特性評価を行うために、閉鎖系温室よりも広い栽培面積と自然に近い環境条件の確保が必要となる。特定網室は、施設構造上は施設園芸の商業温室に近いが、目的が異なるため別の施設として構築・利用されてきたため、商業温室の環境制御技術を取り入れておらず、本格的な特性

評価を行うには不十分な環境であるが、具体的な改善策が講じられていない。他方、欧米では商業温室の最新技術を取り入れた特定網室の事例がみられる。

以上のように、現在の施設利用は遺伝子組換え作物の研究開発が停滞する一因になっており、その解決が求められている。

3 報告の内容

(1) 閉鎖系温室の利用と特定網室実験のデータベース化を推進する

閉鎖系温室の環境の特徴を踏まえた施設設計、施設構造、陰圧制御、遮光、光環境制御、病虫害管理・衛生管理の技術の導入が不可欠である。また人工光型が太陽光型よりも実験データの信頼性、コスト、運用管理等において優位であることから、人工光型の閉鎖系温室の利用を推進する必要がある。

特定網室は、再現性のある精確な実験データを蓄積するための環境構築にあたり、気流制御、補光、高温抑制、病虫害管理・衛生管理および環境と作物生育との関係のデータベース化等の積極的な導入が不可欠である。

(2) 組換え作物の生産圃場としての利用を推進する

組換え作物を用いる医薬品原材料等の高付加価値物質生産では人工光型の閉鎖系温室、園芸作物（主に野菜・花卉（かき））の生産では大型の特定網室が生産圃場になることから、(1)を踏まえた閉鎖系温室と特定網室の施設の効率的な利活用および計画的な整備が必要である。

関係行政機関はこれらの施設の性能を正しく評価し、これらの施設を用いた組換え作物の商業栽培を実用化する方策等の整備が必要である。

本報告は、施設内で安全かつ効率的に組換え作物を育成するために必要な技術を整理し、今後進めるべき環境構築について農林水産省、経済産業省、文部科学省その他の関係行政機関、産官学の研究機関に対する報告として取りまとめたものである。

目 次

| | | |
|-----|----------------------|----|
| 1 | はじめに | 1 |
| 2 | 施設内の環境 | 4 |
| (1) | 閉鎖系温室 | 4 |
| ① | 閉鎖系温室（太陽光型）の特徴 | 4 |
| ② | 閉鎖系温室（人工光型）の特徴 | 4 |
| ③ | 太陽光型の問題点 | 4 |
| (2) | 特定網室 | 4 |
| ① | 特定網室の特徴 | 4 |
| ② | 特定網室の問題点 | 5 |
| 3 | 環境構築 | 6 |
| (1) | 閉鎖系温室 | 6 |
| ① | 陰圧制御 | 6 |
| ② | 光環境制御 | 6 |
| ③ | 病害虫管理・衛生管理 | 7 |
| (2) | 特定網室 | 7 |
| ① | 施設の設計と構造 | 7 |
| ② | 気流 | 7 |
| ③ | 遮光 | 8 |
| ④ | 補光 | 8 |
| ⑤ | 高温抑制 | 8 |
| ⑥ | 病害虫管理・衛生管理 | 9 |
| ⑦ | 環境と作物生育との関係のデータベース化 | 9 |
| 4 | 組換え作物の生産圃場としての利用 | 10 |
| 5 | まとめ | 11 |
| (1) | 閉鎖系温室と特定網室実験のデータベース化 | 11 |
| (2) | 組換え作物の生産圃場としての利用 | 11 |
| | <用語の説明> | 12 |
| | <参考文献> | 14 |
| | <参考資料> | 15 |

1 はじめに

日本学術会議基礎生物学委員会・統合生物学委員会・農学委員会合同植物科学分科会は、2010年7月に提言「我が国における遺伝子組換え植物研究とその実用化に関する現状と問題点」[1]を発表した。その中で地球規模の食料・環境・エネルギーに関する諸課題解決のため遺伝子組換え作物の実用化の重要性を説明し、関連する植物科学の基礎研究のより一層の進展と、応用研究への幅広い展開について言及している。そして、(1) 植物遺伝子機能解析の戦略的な取組、(2) 遺伝子組換え技術の安全性の検証と野外圃場試験地の整備、(3) 若手の人材育成、(4) 遺伝子組換え植物の社会的な受容に向けての取組、の4点について提言をまとめている。

農林水産技術会議の「遺伝子組換え農作物等の研究開発の進め方に関する検討会」の最終取りまとめ[2]では、研究開発を効率的・効果的に推進する観点から重点開発課題として下記を挙げ、具体的にその実用化にかかる工程を示している。

1. 複合病害抵抗・多収性農作物
2. 不良環境耐性農作物
3. 機能性成分を高めた農作物
4. 環境修復植物

このような背景のもと、第1世代と呼ばれる遺伝子組換え農作物に加えて、我が国でも第2世代、第3世代の組換え農作物の研究開発が盛んになっている。同答申では、実用化に向けた具体的プロセスと研究システムの改革として3つを挙げている。

1. 遺伝子組換え関連研究の重点化と工程管理体制の強化
2. 研究の円滑・迅速な橋渡しシステムの構築
3. 研究体制等の整備

上記2. では、専門分野が異なる研究者同士の連携を図るための学会横断的な連携の場の必要性、研究成果を商品として流通・販売させるためには民間企業との連携が不可欠であること、開発された農作物の普及のためには生産現場に近い地方公共団体の協力が必要であることを記している。

我が国では現在、病害抵抗性を付与した作物、多収性作物、不良環境耐性作物、機能性を高めた作物、医薬品原材料になる作物などの遺伝子組換え作物の研究開発が進められている。今後様々な遺伝子組換え作物を実用化をするためには、遺伝子組換え作物の作出から系統選抜、生育試験、圃場栽培試験、生態系への影響評価、安全性評価に至るプロセスを効率的に行う必要がある(図1)。遺伝子組換え作物を実際に圃場で栽培し作物生産を行う場合には、カルタヘナ議定書に基づく「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律(平成15年6月18日法律第97号)」によ

り野外の実験圃場で試験を行う必要があるが、その前に環境調節された実験施設内で試験を行い、再現性のある精確な実験データを蓄積する必要がある。同答申では「施設等の開放的有効利用と計画的整備」の中で、同法律による第一種使用（非閉鎖系での利用）のための隔離圃場や第二種使用（閉鎖系の施設内での利用）のための閉鎖系温室・特定網室の施設の必要性と効率的な利活用、および中長期的視点に立った計画的な整備が必要としている。我が国では現在、関連研究を行う大学、独立行政法人系研究機関、地方自治体研究機関および民間企業において、80施設以上の閉鎖系温室*と特定網室*が運用されている。遺伝子組換え作物の実用化に取り組む欧米等の諸外国でも閉鎖系温室と特定網室を用いて研究開発を行っている。

このように、遺伝子組換え作物の開発から実用化に至るには、従来から取り組んでいる前述のプロセスに加えて、異分野の研究者同士の連携や産学官の連携による開発力の向上と、より精度の高い実験データを得るための施設の整備と効率的活用が必要である。ここで施設利用について着目すると、現在の閉鎖系温室や特定網室の内部は、温湿度、光、気流などの環境要因の空間のばらつきが大きく、季節変動もあるため、栽培試験を行う環境としては十分とはいえない。他方、欧米の施設の中には、環境工学的視点にくわえて運転コストを削減する技術を盛り込んだ運用例がみられる。また商業温室の最新技術を取り入れた特定網室の事例がみられる。このように、現在の施設利用は遺伝子組換え作物の研究開発が停滞する一因になっており、その解決が求められている。遺伝子組換え作物の研究開発とその実用化に向けた取り組みが急がれる中であって、先進諸国に比べて遅れた我が国の施設利用の現状は、取り組みの停滞を助長する一因となっており、その解決は重要な課題であると本分科会は認識する。

日本学術会議農業環境工学研究連絡委員会は、2005年6月に対外報告「気候変動条件下および人工環境条件下における食料生産の向上と安全性」[3]を発表した。その中で「農業環境工学から見た生産の向上と安全性の課題」の1つとして、農・工に関わる技術を集大成して実現できる植物工場を取り上げた。光、温湿度、二酸化炭素濃度、培養液などの環境条件を人為的にコントロールして作物を生産する植物工場は、食料安全保障になるのみならず、安全性に関しても理想的な作物の生産システムであり、今後さらに発展させる必要性を示した。

閉鎖系温室と特定網室の施設構造は商業利用の植物工場やガラス温室に似ている。このような植物工場および植物工場技術を導入した商業温室は高度な環境制御技術を用いており、組換え実験施設に応用すれば、よりよい環境を創造し、質の高い植物実験を行うことが可能になる。今後の遺伝子組換え作物の研究開発の促進のためには、新たな視点で安全かつ効率的に実験施設を整備・運営することが必要である。

そこで本報告では、組換え実験施設と商業温室・植物工場の相違点と共通点を示し、組換え実験施設内で安全かつ効率的に組換え作物を育成してデータを蓄積するために必要な技術を整理し、閉鎖系施設の環境構築の重要性を示した。

なお、遺伝子組換え作物を実際に圃場で栽培し、作物生産を行う場合には、野外の実験圃場で検定試験を行う必要があるが、本報告では、まずは環境調節された実験施設内で試験を行い、データ蓄積を主目的とし、野外での環境耐性検定は次の目的とすることで、ここでは実験施設内での試験の必要性に関して報告するものである。

2 施設内の環境

遺伝子組換え作物実験で用いられる施設には、閉鎖系温室（図2）と特定網室（図3）がある。閉鎖系温室は、利用する光源の観点から太陽光型と人工光型に分類できる（図4、図5）。これらの環境工学的な視点での特徴を述べる。

(1) 閉鎖系温室

① 閉鎖系温室（太陽光型）の特徴

既存の閉鎖系温室の多くは太陽光型が使われている（図4）。太陽光型は床面と壁面は断熱壁を用い、それ以外は気密性の高いガラス張り採光面を持つ温室で、太陽光を主光源とするが、補光ランプを備える場合もある。

② 閉鎖系温室（人工光型）の特徴

光源に人工光のみを用いる人工光型の閉鎖系温室（図5）は、壁面に光を透過しない断熱性のよい資材を用いる。温室内外のガス交換およびエネルギー交換を抑えることができるため、太陽光型に比べて冷暖房費を低減することができる。最近では、太陽光と類似のスペクトルを持つ高出力型のランプを用いて自然条件下と同等の作物育成ができる。人工光型ではCO₂施用と加湿が可能である。

③ 太陽光型の問題点

太陽光型の閉鎖系温室は、夏季は冷房、冬季は暖房、また春季と秋季は外気温に応じて冷房または暖房を行う。作物生育に必要な光量を得る場合に太陽光型と人工光型を比較すると、太陽光はより多くの赤外線を含むため施設内が高温化しやすく冷房負荷が増えるという短所がある。また、ガラス張りの温室は断熱性が低いため、夏季に室内気温を外気温よりも低い温度に設定すると、屋外から熱が流れ込むため、冷房負荷は増大する。冬季は、室内気温を外気温よりも高い温度にすると、屋外に熱が逃げるため、暖房負荷は増大する。したがって太陽光型を利用することに優位性はないと考えるべきである。

(2) 特定網室

① 特定網室の特徴

特定網室（図6）は、施設構造上は施設園芸の商業温室に近い。施設園芸で用いられる温室の採光面（被覆材）にはガラスとプラスチックがあるが、特定網室の場合はガラスが多く使われる。一般の温室と異なり、

全ての開口部（窓および換気扇*）に昆虫の侵入を防ぐための防虫網をかけている。

② 特定網室の問題点

近年、我が国の温暖地域でトマト黄化葉巻ウイルスの媒介虫であるシルバーリーフコナジラミの温室内侵入による黄化葉巻病が多発生して大きな問題になっている。従来から昆虫侵入防止には防虫ネットが使われ、主に目合い*が1 mm前後のネットが使われてきた。しかしコナジラミやハダニ等の進入を防ぐために最近では0.2～0.6 mmの細かい目のネットが使用されている。このネットは夏季の温室をさらに高温化するため、高温障害を受けやすいトマト等の作物では、夏季の栽培が難しくなっている。特定網室は当然、同様の問題が生じる。室内空気を循環扇*（攪拌扇）でよく攪拌し、天窗を通じて外気との空気交換を行うだけでは不十分であり、後述する高温抑制の対策を講じない施設では、夏季に満足な実験をできないケースが少なくない。

3 環境構築

閉鎖系温室および特定網室で考慮すべき施設の機能および環境管理についてまとめる。

(1) 閉鎖系温室

前述のように、閉鎖系温室の通年利用を考えると、冷暖房負荷および環境制御の容易さの観点では、太陽光型の閉鎖系温室よりも断熱性の高い人工光型の閉鎖系温室の方が運転経費は少なく、安定した環境制御を行える。このように人工光型の優位性は明らかであり、今後閉鎖系温室を建設する場合には、人工光型の閉鎖系温室の利用を推進する必要がある。そこで本節では、人工光型の閉鎖系温室に限定して述べる。

① 陰圧制御*

組換え作物を扱う実験の多くはP1Pレベル*であり必ずしも室内を陰圧に維持しなくてもよいのであるが、施設の機能として陰圧機能が加えられていることがある。実際、必要がないのに陰圧制御をしているケースがある。陰圧制御とは、一定量の外気をフィルタを通して取り込み、その空気を冷房または暖房して目標温度に調節してから室内に送る。そして同一量の室内空気を別のフィルタを通して排気する。この運転を連続的に行い、陰圧を維持する。しかしこれは室内外の空気の交換頻度（換気回数）が高いために空調コストが増加する。

他方、CO₂施用は多くの作物で光合成を促進する効果がある。光強度と気温が適値であれば、700～1000 ppmで光合成速度が20～100%程度増加するため、組換え作物の栽培試験でも積極的に導入すべきである。そのためにも陰圧制御を外して、換気回数を低くすることが望ましい。空調コストを抑えるためには、花粉等の外部への拡散を防止をしつつ、換気回数を最小限に抑える閉鎖系温室に特化した空調技術の開発が必要である。

② 光環境制御

遺伝子組換え作物のホモ化や組換え形質の後代にわたる継続の確認のためには世代交代が早いほうが望ましい。この場合、日射については、光合成促進による収量確保は必要ないので適度な日射量があれば十分である。近年光源として人工気象室に用いられるメタルハライドランプ*や蛍光灯には太陽光に近いスペクトルを持つものがある。また、青色光、赤色光、遠赤色光のいずれかの割合を高めたものがある。

これらの光源を太陽光に付加したり、人工光だけの光環境を構築したりすることにより、花成促進や花成制御が可能である。一般に、短日性

植物（イネ、ダイズなど）では青色光割合の高い光質下で花成促進し、長日性植物（ハウレンソウなど）では赤色光割合の高い光質下で花成促進することが多い。この特徴を活かせば、世代交代の促進による種子採取試験の短縮や、種子生産工場としての利活用も可能になる。これらを実現するために、人工光環境下の作物の光応答メカニズムの解明とその実用化の技術開発が不可欠である。

③ 病害虫管理・衛生管理

閉鎖系温室を陰圧に制御すれば花粉等の組換え体の外部への流出防止の効果はあるが、逆に、少しでも隙間があると外部から病害虫は侵入しやすくなるので注意が必要である。人工光型の商業植物工場では、全身型の作業着と頭にビニルキャップをかぶり、手袋をして立ち入る例もある。多くの施設は、見学者用通路とのぞき窓を設けてあり、見学者の栽培室への立ち入りを禁じている。このような植物工場は、大学・研究所等の閉鎖系温室よりも管理レベルは高いと考えられる。閉鎖系温室は作物だけでなく病害虫にも好適環境であるため、一度侵入すると防除は難しいため、出入り口で厳密にブロックすることが必要であり、商業植物工場の機能を導入することを検討すべきである。

(2) 特定網室

① 施設の設計と構造

特定網室は、一般に、研究温室の特殊な利用法として設計・建設される。共同利用施設の場合は、低温性植物と高温性植物、光要求量の低い植物と光要求量の高い植物などいずれの植物も栽培可能にするための仕様を策定するが、オーバースペックになりやすい。この理由として、ユーザ（実験者）と発注者が異なるケース、仕様策定時に試験研究の詳細が開示されないケース、設計に必要な栽培環境条件の範囲が明確でないケース、竣工後の改造経費が認められにくい点などが考えられる。すでに述べたように、特定網室は組換え作物の評価試験を実施する温室であり、農園芸系の研究温室とは利用法が異なることを十分に認識した上で施設を構築するのがよい。

床面については、多くの特定網室は一般に床面を全面コンクリート敷きにするが、これは必ずしも必要ないと思われる。床面コンクリートは、夏季は日射を吸収蓄熱して室内の高温化の原因になるため、熱の伝導性が良く防水機能の高い資材を敷く方法を検討すべきである。

② 気流

植物の生育に好適な気流速は0.5～1.0 m/sとされている。特定網室は

防虫ネット張りにより換気が抑制され、空気流動が低下しやすい。その結果、葉温の上昇、蒸散の抑制、群落内CO₂濃度低下による光合成速度の低下が生じる。それを防ぐために、換気扇の能力強化だけでなく、循環扇の数を増やして群落内外に気流を作ることが必要である。

③ 遮光

光要求量の低い（たとえば葉菜類や花卉類）作物を夏季に育成する場合には、温室内に入る日射は屋外の半分程度で十分である。余剰の日射エネルギーは室内で熱エネルギーに変換されて、気温上昇の原因になる。そこで、余剰の日射を温室内に入れないことが重要である。商業温室で用いられる遮光カーテンや遮光ネットを張る内部遮光は、作物の受光量を減少させる効果はあるが、資材が吸収した日射は室内に残るため温室内の冷房負荷はあまり削減できない。

効果的な方法は、天井および側面のガラス面の外側に外部遮光を設けて日射を反射または吸収し、温室内に必要量だけを透過させる方法である。外部遮光装置は取り外すことができるため、光要求量の高い作物の育成にも柔軟に対応できる。赤外線などの作物育成に不必要な波長の光を反射し、必要な光だけを透過する光選択性被覆資材の利用も有効である。

④ 補光

日射量の少ない季節において光合成に基づく成長を確保したい場合は、補光が必要である。特定網室を通年またはなるべく長い期間利用するためには、たとえば日射量の少ない秋季を日射量の多い春季に「季節を変える」必要がある。東京の例では、10月と5月、11月と4月の平均気温はほぼ等しいため、光量を付加すれば同一の季節を作ることができる。10月を5月の光環境にするためには約43%の光量増加が必要である。11月を4月の光環境にするためには約46%の光量増加が必要である。

特定網室にこの光量を付加すれば、年間を通じて日射量の多い季節を作ることができる。つまり、ほぼ1年中、夏型の作物の試験ができる。これはメタルハライドランプ400 W型を1 m²に1日に12時間点灯すると実現できる。点灯の必要な日数は年200日程度なので、照明コストは1 m²で年間約20,000円であり、導入を検討する価値がある。

⑤ 高温抑制

温室は、一般に、暖房で加温することは技術的には難しくない。他方、夏季の高温期に秋～春の作型の作物の試験するためには、気温と日射を低下させる必要がある。そのためには外部遮光が有効である（前出）。室

内の気温上昇の原因である日射を半分程度までカットすれば、冬季の日射条件を作ることができ、また気温上昇をある程度抑制できる。遮光と換気を組み合わせれば温室内気温を屋外気温まで下げることが可能である。しかし冷房を導入しない限り、内気温を屋外気温以下にすることはできない。

温室では、夏季の高温期に高温障害が問題になる作物が多い。特定網室は防虫ネットの設置によりさらに高温化する可能性があるため、積極的に高温抑制技術を導入することが望ましい。たとえば水の気化熱を利用して空気を冷やす方法として細霧冷房*がある。高機能なノズルを用いる細霧冷房は、夏季の日中に、室内気温を外気温よりも平均で1℃から4℃程度下げることができる。

⑥ 病害虫管理・衛生管理

商業温室の中でも病害虫管理と衛生管理を徹底する施設では、栽培室内に立ち入る前に、まず上着を脱いで作業着（または白衣）を着る、エアシャワーを通る、手の洗浄と消毒、室内作業靴の消毒などを行ってから栽培室内に入る。このようにして病害虫の侵入防止と雑菌対策に細心の注意を払っている。これと比較すると、現状の特定網室は厳密な管理をしているとは言えない。網をかける目的は、訪花昆虫の侵入防止および花粉等を持ち出す昆虫の防除であるが、開口部（窓や換気扇）に網をかけるだけでは不十分であり、商業温室の機能を取り入れることが望ましい。

⑦ 環境と作物生育との関係のデータベース化

遺伝子組換え作物の試験においては精度の高い実験データを得る必要がある。特定網室の内部は、前述の環境制御を施したとしても、温湿度、光、気流などの環境要因の空間のばらつきがあり、季節変動および年変動もある。そのため、試験時には気温、湿度、日射量などの環境要素の測定を行い、植物データとあわせて記録保存することが不可欠である。また、特定網室内部の環境の変化は独特であるため、予期しない生理障害や病虫害が発生しやすい。これを予防するためには作物の生育診断を行う必要があるため、関連分野で研究開発され、実用化段階になっている各種の生育計測技術を積極的に導入することが望ましい。

4 組換え作物の生産圃場としての利用

特定網室は商業温室と構造上かなり似ている。周年生産を目指す 1000 m²以上の商業温室は、電気、ガス、水、資材などあらゆる点でコスト削減の努力をしつつ、高品質の野菜・花卉を生産している。目合い 0.4mm メッシュのネットで完全に覆った温室でもトマト等の商業生産が行われている。

我が国ではまだその動きはないが、施設園芸（主に野菜・花卉）の組換え作物の生産であれば、1000 m²以上の大型の特定網室を作れば、そのまま生産圃場として商業化が可能になる。また医薬品原材料のような高付加価値物質を組換え作物で生産する場合には、我が国が世界的に優位に立つ完全制御型の植物工場の技術を導入して人工光型の閉鎖系温室を作れば、そのまま生産圃場として商業化が可能になる。これらの施設は、商業栽培を行う場合、ラボ実験～閉鎖系温室／特定網室～隔離試験圃場の試験を一貫して行うことができるため、各種安全性影響試験の申請・審査、商業栽培の申請・認可、販売の申請・認可に至る開発工程の期間短縮が図れ、また社会的受容性を得やすい生産システムになると期待される。

我が国の商業温室および植物工場の建築資材、栽培装置、栽培管理技術、環境制御技術等は世界のトップクラスである。オランダや北欧の施設園芸国は冷涼で日射が少ないために暖房と補光の技術に優れているが、我が国はこれに加えて冷房技術も持っている。人工光利用の知見も多い。したがって、より質の高い組換え実験を行えるように、環境工学の研究者、ハードメーカーの専門家等が組換え作物研究者・開発者と一緒になって低コストで精度の高い栽培環境を構築する努力をし、閉鎖系温室・特定網室の施設の効率的な利活用および計画的な整備を進めることが望まれる。また生産圃場として利用できる 1000 m²以上の大型の特定網室や人工光型の閉鎖系温室を運用するためには、室内環境の均一化、遺伝子組換え体を扱う農作業の自動化・機械化、遺伝子組換え体の効率的な不活性化などの技術開発が必要である。またこれらの施設を用いる商業化には、施設の環境構築とその低コスト化に加えて、対象作物の生産技術の確立と省資源・省エネルギーの取り組みも不可欠である。

国や都道府県の関係行政機関はその利活用と整備を進めることに加えて、これらの施設の性能を正しく評価し、これらの施設を用いた組換え作物の商業栽培を実用化する方策等の整備が必要である。

5 まとめ

(1) 閉鎖系温室の利用と特定網室実験のデータベース化

閉鎖系温室の環境の特徴を踏まえた施設設計、施設構造、陰圧制御、遮光、光環境制御、病虫害管理・衛生管理の技術の導入が不可欠である。また人工光型が太陽光型よりも実験データの信頼性、コスト、運用管理等において優位であることから、人工光型の閉鎖系温室の利用を推進する必要がある。

特定網室は、再現性のある精確な実験データを蓄積するための環境構築にあたり、気流制御、補光、高温抑制、病虫害管理・衛生管理および環境と作物生育との関係のデータベース化等の積極的な導入が不可欠である。

(2) 組換え作物の生産圃場としての利用

組換え作物を用いる医薬品原材料等の高付加価値物質生産では人工光型の閉鎖系温室、園芸作物（主に野菜・花卉）の生産では大型の特定網室が生産圃場になることから、(1)を踏まえた閉鎖系温室と特定網室の施設の効率的な利活用および計画的な整備が必要である。

関係行政機関はこれらの施設の性能を正しく評価し、これらの施設を用いた組換え作物の商業栽培を実用化する方策等の整備が必要である。

<用語の説明>

(本文に*印)

閉鎖系温室（太陽光型と人工光型、図2）

植物等使用実験の拡散防止措置の区分*の一つであるP1Pレベル*で用いられる閉鎖系実験施設のこと。

太陽光型は、遺伝子組換え植物が環境中に拡散しないよう考慮されている閉鎖された温室。空気・水などが直接生態系に流出しない仕組みになっている。一般に、ガラス面は密閉で、年間を通して空調を行い、温室内は陰圧に制御することが多い。

人工光型は、遺伝子組換え植物が環境中に拡散しないよう考慮されている閉鎖型の植物栽培施設。光源に太陽光を用いないため採光の窓はなく、外界とは断熱壁で分離されている。

我が国で運用されている閉鎖系温室の施設規模は栽培面積で10～30 m²程度である。

特定網室（図3）

植物等使用実験の拡散防止措置の区分*の一つで、遺伝子組換え作物が環境中に拡散しないよう考慮されている栽培施設。開放系のため空気は外気と交換可能であるが、水などが直接外気に流出しない仕組みが取られ、昆虫等の侵入を防ぐ網戸が設置されている。一般に、床面は全面コンクリートで、開口部はすべて1 mm以下のメッシュの網をかけている。花粉拡散時期は開口部を閉めて空調を行うことが多い。

我が国で運用されている特定網室の施設規模は栽培面積で50～500 m²程度である。

目合い

ネット（網）の網目の大きさ。目合いが小さいほど害虫等の出入りを制限できるが、開口面積が小さくなるため空気交換は低下する。

換気扇と循環扇

換気扇は温室の壁面に取り付けて内外空気の交換を行う。循環扇は室内に設置して室内空気の流動、攪拌を行う。

陰圧制御

室内の気圧を室外より若干低く保つ気圧の制御方法で、室内空気に含まれる花粉等の遺伝子組換え生物等の野外への拡散を防ぐ手段の1つ。

P1P レベル

「研究開発等に係る遺伝子組換え生物等の第二種使用等に当たって執るべき拡散防止措置等を定める省令」（文部科学省・環境省令）で規定する植物等使用実験の拡散防止措置の区分*の一つ。

植物等使用実験の拡散防止措置の区分

「研究開発等に係る遺伝子組換え生物等の第二種使用等に当たって執るべき拡散防止措置等を定める省令」（文部科学省・環境省令）の別表第五（第四条第四号関係）で規定する植物等使用実験の拡散防止措置の区分には P1P レベル、P2P レベル、P3P レベル、特定網室の 4 種類がある。P1P レベル、P2P レベル、P3P レベルは閉鎖系で、この順に拡散防止の厳格度が高くなる。特定網室は開放系である。

メタルハライドランプ

金属のハロゲン化物を蒸気中でアーク放電により励起して金属特有の光を利用する高輝度の放電ランプで、白色系の光を得られる。野球場や体育館などの大規模施設の照明に用いられる。白色蛍光灯と並んで植物育成に適する光源である。

細霧冷房

水の気化熱を利用して空気を冷やす方法で、温室内の天井部に配管分岐したノズルに加圧した水を与えて、ノズルの先端で水を細かい粒子化して空気中に噴霧する。電気を使う冷房よりもコストが安いいため、夏季の温室の気温を下げる手段として用いられる。

<参考文献>

[1]日本学術会議 基礎生物学委員会・統合生物学委員会・農学委員会合同 植物科学分科会、提言『我が国における遺伝子組換え植物研究とその実用化に関する現状と問題点』、2010年7月1日.

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-t99-2.pdf>

[2]農林水産技術会議、「遺伝子組換え農作物等の研究開発の進め方に関する検討会」最終取りまとめ、2008年1月

http://www.s.affrc.go.jp/docs/committee/gm/pdf/last_summary.pdf

[3]日本学術会議 農業環境工学研究連絡委員会、報告『気候変動条件下および人工環境条件下における食料生産の向上と安全性』、2005年6月23日.

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-t1030-14.pdf>

[4]農林水産省、「遺伝子組換え農作物の開発・商業化の流れと安全性確保の枠組み」

http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/carta/c_about/pdf/framework.pdf

< 参考資料 >

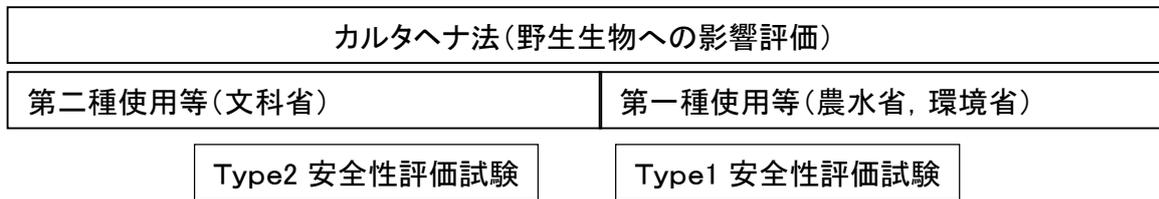
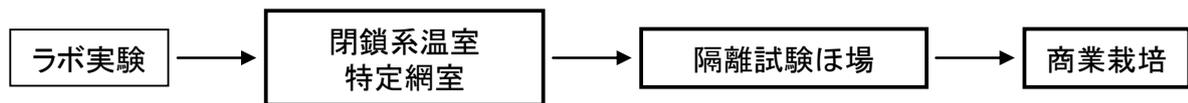


図1 遺伝子組換え作物の開発・商業化の流れ

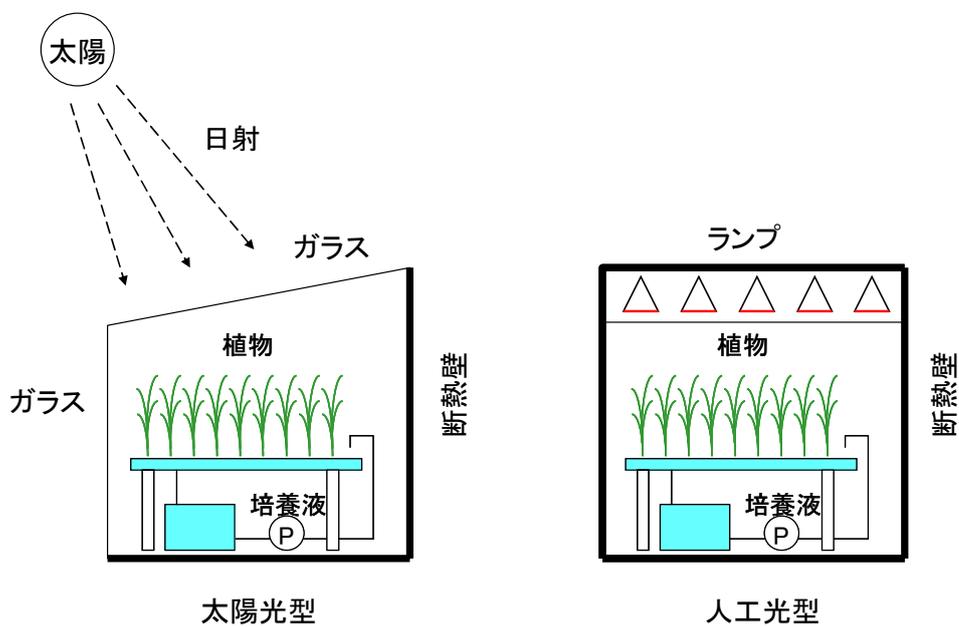


図2 閉鎖系温室

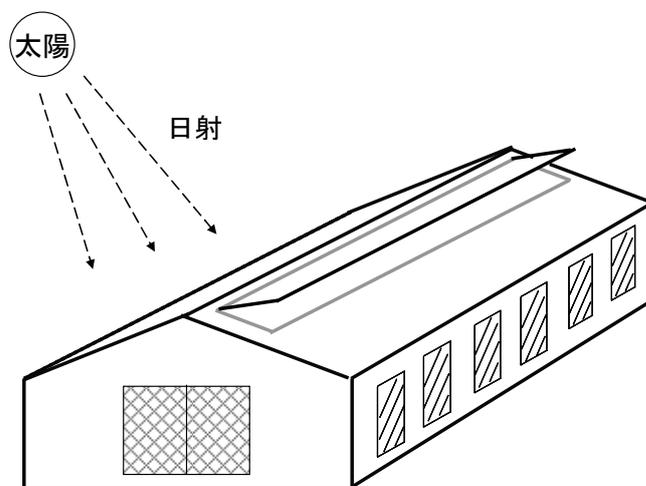


図3 特定網室

<閉鎖系温室と特定網室の写真>



図4 閉鎖系温室（太陽光型）



図5 閉鎖系温室（人工光型）



図6 特定網室

<資料 1> 農業生産環境工学分科会審議経過

平成 19 年

- 11 月 27 日 農業生産環境工学分科会 (第 20 期第 8 回)
公開シンポジウムの素案検討

平成 20 年

- 3 月 14 日 農業生産環境工学分科会 (第 20 期第 9 回)
公開シンポジウムの実施の決定
- 5 月 8 日 農業生産環境工学分科会 (第 20 期第 10 回)
公開シンポジウム実施報告
提言の作成に向けて意見交換
- 9 月 24 日 農業生産環境工学分科会 (第 20 期第 11 回)
提言の趣旨と概要について審議
- 12 月 17 日 農業生産環境工学分科会 (第 21 期第 1 回)
提言案の内容について審議

平成 21 年

- 3 月 18 日 農業生産環境工学分科会 (第 21 期第 2 回)
提言案の具体的内容について審議
- 6 月 2 日 農業生産環境工学分科会 (第 21 期第 3 回)
提言修正案の具体的内容について審議
修正の上、農学委員会へ提出することを承認
- 9 月 29 日 農業生産環境工学分科会 (第 21 期第 4 回)
提言案の見直し内容について意見交換
- 12 月 3 日 農業生産環境工学分科会 (第 21 期第 5 回)
提言案の見直し内容について意見交換

平成 22 年

- 4 月 13 日 農業生産環境工学分科会 (第 21 期第 6 回)
提言案の見直し内容について審議
- 7 月 5 日 農業生産環境工学分科会 (第 21 期第 7 回)
報告案の内容について審議
農学委員会へ提出することを承認

平成 23 年

- 4 月 28 日 日本学術会議幹事会 (第 123 回)
農学委員会農業生産環境工学分科会報告「遺伝子組換え作物実
験施設の環境構築」について承認

<資料2>シンポジウム「遺伝子組換え作物実験施設の環境構築」

日本学術会議農業生産環境工学分科会主催

公開シンポジウム「遺伝子組換え作物実験施設の環境構築」

日 時：平成20年5月8日（木）9：30～12：30

場 所：日本学術会議講堂

主 催：日本学術会議農業生産環境工学分科会

後 援：日本農業気象学会、日本生物環境工学会、農業施設学会

プログラム

開会挨拶

真木 太一（琉球大学農学部教授、日本学術会議会員、農業生産環境工学分科会委員長）

趣旨説明

後藤 英司（千葉大学大学院園芸学研究科教授、日本学術会議連携会員、農業生産環境工学分科会委員）

講演

座長

野並 浩（愛媛大学農学部教授、日本学術会議連携会員、農業生産環境工学分科会委員）

（1）閉鎖系温室および特定網室を用いた多様な組換え植物の特性評価実験

江面 浩（筑波大学大学院生命環境科学研究科教授）

（2）閉鎖系温室および特定網室での遺伝子組換えイネ等の栽培試験

笠原さおり（日本製紙株式会社研究開発本部森林科学研究所主任研究員）

座長

奥島 里美（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 上席研究員、日本学術会議連携会員、農業生産環境工学分科会委員）

（3）閉鎖系温室および特定網室に必要な環境制御と今後の施設構築

後藤 英司（千葉大学大学院園芸学研究科教授、日本学術会議連携会員、農業生産環境工学分科会委員）

（4）閉鎖系制御環境下における植物利用型有用物質生産

村瀬治比古（大阪府立大学大学院生命環境科学研究科教授、日本学術会議連携会員、農業生産環境工学分科会委員）

総合討論

閉会挨拶 橋本 康（愛媛大学名誉教授、日本学術会議連携会員、農業生産環境工学分科会副委員長）