特集

風と気流を利用する温室

温室の環境調節 —風と気流に関連して— Greenhouse Environment Control – related to wind and airflow –

高倉 直^{*1}

Tadashi TAKAKURA

1. 温室効果 (Greenhouse Effect)

温室は古くはガラス室ともいわれ、ガラスで囲った建物内に植物を入れて、寒冷な気候から守って栽培することから始まった。その原型は2000年以上も前の古代ローマ時代に始まり、ガラスがもちいられたものが、1717年にイギリスで建設された¹⁾。近年、被覆材として、ガラスだけでなく、多くのプラスチック資材が用いられるようになり、その面積は急激に増大し、わが国でも一時は6万haを超えて世界一の面積であったが、その後、中国が急激に伸び、今や世界一の面積を誇る。

晴天日に温室に入ると外より気温が高いことから名前通りの施設であり、何もしないでも、温室内の気温が外気より高いと思われてきたが、夜間放射冷却が強い日は、温室が外気より低温になることも観測された²⁾。通常、昼間に温室がなぜ高くなるか、その原理は近年になるまで明確ではなかった。そのために、地球の温暖化でよく使われる温室効果ガスなどの表現が温室とはあまり関係ないことは意外と知られていない。原因は温室の場合は、地球の温暖化のように、放射収支によるのではなく、被覆材によって外の風の影響が抑えられ、温室内外の換気量が少なくなることが主原因であることが証明されている³⁾。もし、温室に外と同じくらい風があれば、温室の温度は外と同じ程度になるということである。

2. 暖房

もっとも古くからおこなわれ、最も重要な環境調節である。高温のパイプからの放射熱を利用することも試み

られたが、一般には温室内の空気を温める方式で、温風暖房や温湯暖房が主である。いずれの場合も、温室内の空気の流れが重要で、できるだけ均一な空気温度をえるために、ダクトや循環扇、温湯暖房の場合はファンコイルユニットを用いる場合もある。省エネルギーを考えて、作物付近だけの局所暖房というやりかたもある。作物の近辺で、暖かい空気の上昇流を利用する。

3. 高温抑制・冷房

昼間温室が高温にならないようにするには、まずは換気を十分にすることである。開口部を設けて、空気の流入流出をはかるが、外の風速と温室の上下の温度差を利用する自然換気、ファンを設置して強制的に換気する方法がある。

前述したように、換気量が大きくなれば、内外の温度差は小さくできるが、強制換気の場合は運転コストからあまり大きな換気量は得策ではない。温室で温度に比較して、湿度制御はあまり積極的には行われていないが、夜間に高い湿度を下げるために、乾燥した外気を温めて、取り込む方式や、昼間乾燥しすぎや多湿の時には飽差(同じ温度での飽和水蒸気と現存の水蒸気の差)を適度な範囲に収めるための制御がヒートポンプなどを用いて行われる。

自然換気の場合は、天窓を利用して効率よい換気をどのように行うかが問題であろう。

積極的に冷房する場合、外気の湿度が低ければ、水の蒸発冷却機能を利用することが効率的である。パッドアンドファン方式やフォッグ噴霧方式など、外気を理想的

* 1 東京大学・長崎大学名誉教授
The Univ. of Tokyo and Nagasaki Univ., Prof. Emeritus

には湿球温度まで冷却して、温室内空気を加湿冷却するため、常に外気の流入が必要である。さらに冷房したい場合は、ヒートポンプを利用するが、昼間であれば、熱負荷を減らすために遮光が必要である。

温室内作物の光合成には温室内の二酸化炭素濃度が大きく影響し、それはまた温室の換気量にも左右されることは古くから研究されている⁴⁾。温室が閉め切つてあれば、換気によるのではなく、二酸化炭素の施用を行うことも行われている。二酸化炭素発生装置からできるだけ、均一になるように発生させる必要があり、ダクトを用いて均一化をはかることも行われている。

レタスやトマトでみられるチップバーンは吸収されたカルシウムが部分的に届かないために、蒸散の弱いところに発生するが、そのような部署にチューブで気流を送り、その部分の蒸散を盛んにすると、発生を抑制することができることが明らかにされている^{5,6)}。

温室の換気を利用して、温室内群落の蒸発散量や光合成を算出することも行われている⁷⁻¹⁰⁾。

4. おわりに

温室の環境調節研究は約 50 年に大きく進展した¹¹⁻¹⁵⁾。先進国オランダなどヨーロッパの技術も十分紹介され導入されてきた¹⁶⁻²⁰⁾。

ここでは、風や気流が直接的に関係しない、養液栽培に代表される地下部の環境調節や人工光植物工場には触れなかった。

参考文献

- 1) 三原 義秋 (編著), 「温室設計の基礎と実際」, 養賢堂, 東京, pp. 267, (1980)
- 2) Takakura, T., "Temperature gradients in the greenhouse", *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 6, pp. 956-957, (1967)
- 3) 高倉 直, 「植物の生長と環境—新しい視点と環境調節の課題—」, 農山漁村文化協会, pp.194 (2003)
- 4) Takakura, T., "The effect of room ventilation on net photosynthesis rate", *The Botanical Magazine, Tokyo*, Vol. 79, pp. 143-151, (1966)
- 5) Goto, E. and Takakura, T., "Prevention of lettuce tipburn by supplying air to inner leaves." *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 35, pp. 641-645, (1992)
- 6) Goto, E. and Takakura, T., "Promotion of Ca accumulation in inner leaves by air supply for prevention of lettuce tipburn." *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 35, pp. 647-650, (1992)
- 7) Takakura, T., Kubota, C., Sase, S., Hayashi, M., Ishii, M., Takayama, K., Nishina, H., Kurata, K. and Giacomelli, G.A., Measurement of evapotranspiration rate in a single-span greenhouse using the energy-balance equation. *Biosystems Engineering*, 102, pp. 298-304, (2009)
- 8) Akutsu, M., Sunagawa, H., Usui, T., Tamaki, M., Taniai, N., Hirata, M., Kaiho, A. and Takakura, T., "Non-destructive, real-time, and automatic measurement of transpiration from a plant canopy stand." *Journal of Advances in Agriculture*, Vol 5, pp. 677- 683, (2015).
- 9) Takakura, T., Sunagawa, H., Tamaki, M., Usui, T. and Taniai, N., Estimation of net photosynthesis of the plant canopy in a greenhouse. *Journal of Advances in Agriculture*, 7, pp.1015-1020, (2017)
- 10) 高倉 直, 「温室内植物群落光合成の算出」 農業および園芸, Vol. 92, pp. 849-852, (2017)
- 11) 杉 二郎, 高倉 直, 「温室による植物環境条件制御に関する基礎的問題について (1)」, 農業気象, Vol. 20, pp. 147-153, (1965)
- 12) 高倉 直, 杉 二郎, 「温室による植物環境条件制御に関する基礎的研究について (2)」, 農業気象, Vol. 20, pp. 147-153, (1965)
- 13) Takakura, T., "Predicting air temperatures in the glasshouse (I)", *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 45, pp. 40-52, (1967)
- 14) Takakura, T., "Predicting air temperatures in the glasshouse (II)", *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 46, pp. 36-44, (1968)
- 15) Takakura, T., Chapter 6, "Artificial Climate" in *Agricultural Meteorology of Japan* (Ed. by Mihara, Y.). University of Tokyo Press, Tokyo, pp. 126 -153, (1974)
- 16) 高倉 直, 「ヨーロッパの施設園芸環境調節技術1」, 農業及び園芸, Vol. 49, pp. 623-626, (1974)
- 17) 高倉 直, 「ヨーロッパの施設園芸環境調節技術2」, 農業及び園芸, Vol. 49, pp. 728-732, (1974)
- 18) 高倉 直, 「ヨーロッパの施設園芸環境調節技術3」, 農業及び園芸, Vol. 49, pp. 853-856, (1974)
- 19) 高倉 直, 「ヨーロッパにおける環境調節及び施設園芸1」 農業気象, Vol. 29, pp. 249-254, (1974)
- 20) 高倉 直, 「ヨーロッパにおける環境調節及び施設園芸2」 農業気象, Vol. 31, pp. 43-49, (1975)