

屋上水耕栽培における熱環境緩和効果と熱収支の関係

Relationship between thermal mitigation effect and heat balance by the hydroponic system on roof

○田中宣多*・川島茂人*・濱武英**・中村公人*

○TANAKA Yoshikazu・KAWASHIMA Shigeto・HAMA Takehide・NAKAMURA Kimihito

1. はじめに 都市でのヒートアイランド現象の対策や景観向上を目的として屋上緑化や壁面緑化が導入されている。都市での気温が高くなることを防ぐためには、顕熱フラックスならびに建物に流入する伝導熱を抑えることが重要視される。我々は屋上でイネを水耕栽培することによる高温抑制を目的に研究を行ってきており、これまでに日射量が熱環境緩和に重要な要素であることを明らかにした。本報告では、熱収支項を説明変数として水耕栽培での熱環境緩和効果を評価するモデルについて示す。

2. 材料と方法

1) 観測方法 2013年は大阪市内の(株)大阪ガスの本社ビル、2014年は京都市内の京都大学農学部総合館の屋上で、水槽(2013: 75cm×90cm×20cm, 2014: 90cm×135cm×20cm)3個をホースで接続した系を3つ設置し、水槽内でイネの水耕栽培を行った。水槽はブロックの上に置くことで、屋上面と水槽底面には10~20cm程度の隙間が開くようにした。それぞれの系では下流側から上流側に水を循環させた。これら設置区の3つの水槽それぞれで気温1点(水面から高さ3cm)、水温1点(水面から深さ20cm)、水槽の下の屋上表面温度1点、2つの水槽の下の屋上表面で伝導熱フラックスを測定した。また、水槽を設置していない屋上面を対照区として、気温2地点(表面から高さ3cm)、表面温度2地点、伝導熱フラックス2地点で測定を行った。屋上の気象要素として、屋上空気の気温と水蒸気圧、全天日射量、降水量、風向、風速の測定を行った(測定高度2m)。温度センサにはT型熱電対、熱フラックスセンサには熱流板(PHF-01, プリード製)、全天日射量計にはS-LIB-M003(Onset社製)を用いた。気温、表面温度、水温の観測では、日射の影響を直接受けないように、熱電対に白色の筒型遮光を施した。データは、30分間隔で収集した。

2) 潜熱フラックスの推定 設置区における潜熱フラックスをボーエン比法により推定した。本報告では、潜熱フラックスを日単位で示す。対照区では考慮しない。

$$LE = \frac{R_n - G - S}{1 + \beta} \quad \left(S = cd\Delta T_w \times 1000, \quad \beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (1)$$

ここで、 LE は潜熱フラックス(W m^{-2})、 R_n は純放射量(W m^{-2})、 G は伝導熱フラックス(W m^{-2})、 S は水体貯熱量の時間変化(W m^{-2})、 β はボーエン比、 d は水深(m)、 c は比熱($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)、 ΔT_w は栽培水槽内水温の差($^{\circ}\text{C}$)、 ΔT は設置区の水温と屋上空気の気温の差($^{\circ}\text{C}$)、 γ は乾湿計定数($\text{hPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)、 Δe は水面の飽和水蒸気圧と屋上空気の水蒸気圧の差(hPa)、純放射量 $R_n(\text{W m}^{-2})$ は、以下の式で計算した。

$$R_n = (1 - \alpha) S_r^{\downarrow} + L^{\downarrow} - L^{\uparrow} \quad (L^{\uparrow} = \varepsilon \sigma T_s^4, \quad L^{\downarrow} = 287.7 + 2.098 T_a + 2.748 e) \quad (2)$$

*京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University.

**熊本大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University.

キーワード: 緑化, 熱収支, 蒸発・蒸発散

ここで、 R_n は純放射量(W m^{-2}), α はアルベド (0.25), S_r は全天日射量(W m^{-2}), $L^\uparrow$ は上向き長波放射量(W m^{-2}), $L^\downarrow$ は下向き長波放射量(W m^{-2}), ε は射出率, σ はステファン・ボルツマン定数, T_a は屋上空気の気温(K), T_s は設置区表面温度(K) (水槽内の水温とした) である. 屋上の下向き長波放射量については, 高層気象台 (館野) の気温と水蒸気圧から推定された近似式を代表値として用いた.

3. 結果と考察

1) 潜熱フラックスと高温抑制効果の関係 屋上での熱環境観測と気象観測の結果からボーエン比法を用いて水耕栽培設置区での潜熱フラックスを推定した. 屋上における熱環境緩和指標として, 設置区の日平均気温と対照区の日平均気温の差を対照区の日平均気温で割った値を求め, 高温抑制効果の評価を試みた. これを気温緩和指標と定義した. 設置区における潜熱フラックスと気温緩和指標の関係を図 1 に示す. 2013 年と 2014 年の両年で, 潜熱フラックスと気温緩和指標の間には, ほぼ線形の関係が存在することが示された. しかし, 2013 年と 2014 年で潜熱フラックスと気温緩和指標の関係を表す分布は一致しなかった. 観測年次と場所の違いが表れたと考えられる. この傾向は, 表面温度の緩和効果においてもみられた. よって, 年次の異なるデータに対しても熱環境緩和指標を統一的に評価できるような, 潜熱フラックスよりも良く説明できる変数を次に検討した.

2) 熱環境要因を考慮した説明変数と高温抑制効果の関係

水耕栽培の設置区と対照区の違いは, イネや水による潜熱フラックス, 水体貯熱の時間変化量, 栽培水槽の熱遮蔽による伝導熱フラックスの区間差 (設置区屋上面での値 G_{gin} —対照区屋上面での値 G_{bin}) が考えられる. これらを考慮した説明変数を熱環境緩和要因として新たに定義する. 2013 年と 2014 年の熱環境緩和要因と気温緩和指標の関係をみると (図 2), 潜熱フラックスのみで評価した場合と比べ, 両年の分布は近づき, 決定係数は改善された. 同様の結果が, 表面温度の緩和効果においても得られた. よって, 年次に関わらず, 水耕栽培を用いた緑化による屋上気温低下ならびに表面温度低下は, 熱環境緩和要因を説明変数とすることで, 統一して説明できると考える. 今後は, 本報告で明らかとなった関係を用いたモデルを構築する予定である. 謝辞: 大阪ガス (株) の調査ご協力に感謝申し上げます.

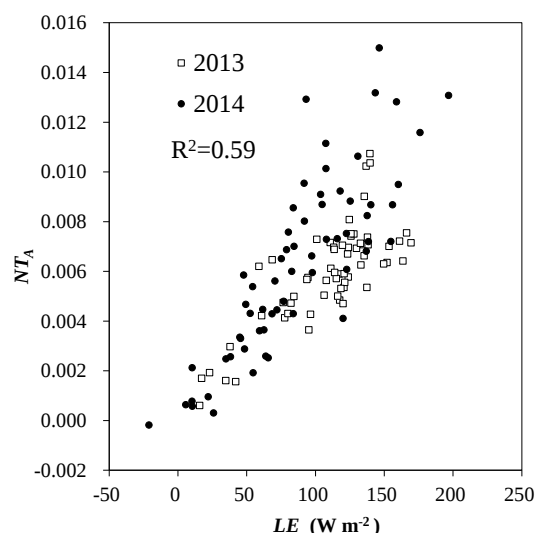


図 1 潜熱フラックスと気温緩和指標の関係

Fig.1 Relationship between latent heat flux and air temperature mitigation index (NT_A)

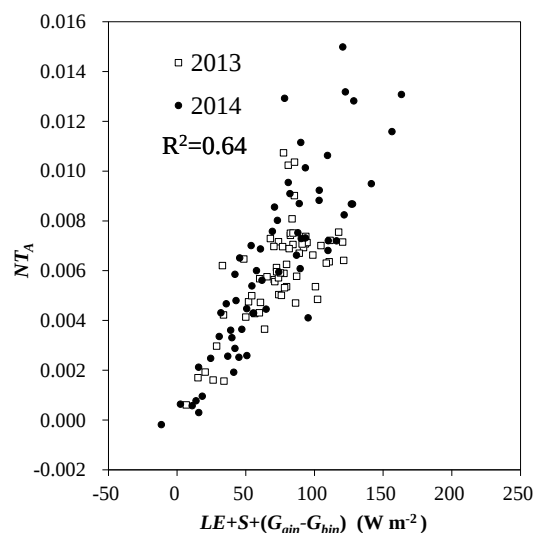


図 2 熱環境緩和要因と気温緩和指標の関係

Fig.2 Relationship between thermal mitigation factor and air temperature mitigation index (NT_A)