

# 黄河流域河套灌区の灌漑トウモロコシ畑における蒸発散量の算定 Estimation of Evapotranspiration in an Irrigated Maize Field in Hetao Irrigation District

田本 敏之\* 大上 博基\*\* 伊川 浩樹\* 高瀬 恵次\*\*  
Toshiyuki Tamoto Hiroki Oue Hiroki Ikawa Keiji Takase

1. はじめに 黄河中流域にある河套灌区(総面積 119 万 ha, 農地面積 56.7 万 ha)は,黄河から年間約 50 億 m<sup>3</sup>(毎秒約 160m<sup>3</sup>)もの膨大な灌漑用水を取水し,黄河の断流等,下流の水資源に大きな影響を与えてきた.これらの問題を解決するために,中国水利部から灌漑水量を 20%削減するという目標が掲げられた.そこで,取水削減が河套灌区とその下流の水循環に及ぼす影響を検討することが大きな課題となっている.本研究では,河套灌区の水収支構造を明らかにするための基礎として,灌漑トウモロコシ畑における蒸発散量の微気象学的な算定を行った.

2. 観測地と観測方法の概要 観測地は河套灌区杭錦后旗の灌漑トウモロコシ畑(東西方向 53m,南北方向 26m の長方形)で,周囲はヒマワリ畑やトウモロコシ畑であった.観測期間は 2002 年 7 月 31 日~9 月 15 日までであった.観測項目は,群落上における放射収支項目,群落内部と上部における気温,湿度,風速の鉛直分布,地中熱フラックスなどである.なお,観測中のトウモロコシの草丈は約 3.5m であった.

3. ポーエン比熱収支法による蒸発散量の算定 高度 3.5m と 4.5m の気温と湿度からポーエン比(B)を計算し,ポーエン比熱収支法を用いて蒸発散量(ET)を算定した.ET と B の日変化を Fig. 1 に示す.8 月と 9 月の日平均蒸発散量はそれぞれ 3.2(mm d<sup>-1</sup>), 1.4(mm d<sup>-1</sup>)であった.9 月には,日射量が減少し気温が低下したという気象条件の変化,8 月 4 日以降灌漑が行われなかったことによる土壌水分の減少に加え,トウモロコシが収穫直前であったため,蒸散が大きく低下したと考えられる.ポーエン比熱収支法は,従来の研究によって実蒸発散量推定法としての妥当性がすでに検証されているので,ここで算定された蒸発散量を実蒸発散量と位置づける.

4. 蒸発散推定法の適用性 流域全体の ET を推定するためには,一般気象データを用いた推定法や,衛星データの表面温度分布を利用した推定法が望まれる.このような目的に適した蒸発散推定法である蒸発散比法(式(1)),バルク法(式(3)),Penman-Monteith(PM)法(式(4))の適用性を検討した.

$$ET_k = k E_p \quad (1)$$

$$E_p = \frac{\ddot{A}(R_n - G) + c_p \tilde{n} [e_{sat}(T) - e_a] / \gamma / r_a}{\ddot{A} + \gamma} \quad (2)$$

$$ET_B = \frac{c_p \tilde{n} [e_{sat}(T_s) - e_a]}{\tilde{a}(r_a + r_{c1})} \quad (3)$$

$$ET_{PM} = \frac{\ddot{A}(R_n - G) + c_p \tilde{n} [e_{sat}(T) - e_a] / \gamma / r_a}{\ddot{A} + \tilde{a}(r_a + r_{c2}) / r_a} \quad (4)$$

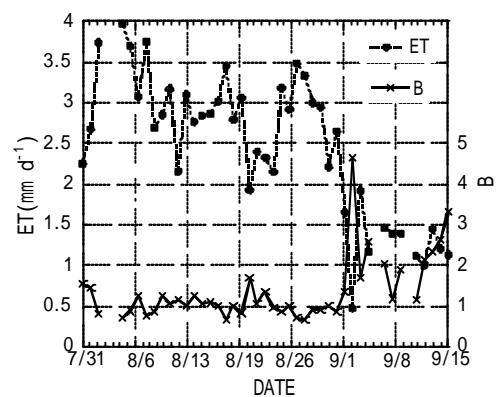


Fig. 1 蒸発散量(ET)とポーエン比(B)の日変化  
Daily variations of ET and Bowen Ratio

\*愛媛大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Ehime University

\*\*愛媛大学農学部 Faculty of Agriculture, Ehime University

キーワード 灌漑トウモロコシ畑の蒸発散, 群落抵抗モデル, 圃場レベルの水収支, 黄河流域河套灌区

ここで  $ET_k$ ,  $ET_B$ ,  $ET_{PM}$  は、それぞれの方法で推定した潜熱フラックス(蒸発散量)である。また  $k$ ,  $E_p$ ,  $\ddot{A}$ ,  $R_n$ ,  $G$ ,  $c_p$ ,  $\tilde{n}$ ,  $e_{sat}(T)$ ,  $e_{sat}(T_s)$ ,  $e_a$ ,  $\tilde{a}$  は、それぞれ蒸発散比、可能蒸発量、飽和水蒸気圧曲線の気温  $T$  における傾き、純放射量、地中熱フラックス、空気の定圧比熱、空気の密度、 $T$  および  $T_s$  における飽和水蒸気圧、空気中の水蒸気圧、乾湿定数(=0.66hPa<sup>-1</sup>)を表す。 $r_a$ は風速の関数である大気境界層抵抗( $s\ m^{-1}$ )である。 $r_c$ は葉面積や気孔開度の関数である群落抵抗( $s\ m^{-1}$ )を表し、バルク法の  $r_c$ を  $r_{c1}$ , PM法の  $r_c$ を  $r_{c2}$ とする。 $k$ ,  $r_{c1}$ ,  $r_{c2}$ をあらかじめ関数化しておけば、一般気象データや衛星データ( $T_s$ )を用いて蒸発散を推定できる。そこで本研究では、 $ET_k$ ,  $ET_B$ ,  $ET_{PM}$ にボーエン比熱収支法によって算定された  $ET$ を適用して  $k$ ,  $r_{c1}$ ,  $r_{c2}$ を逆算した。気象条件と  $k$ ,  $r_{c1}$ ,  $r_{c2}$ の関係を検討した結果、 $r_{c1}$ と  $r_{c2}$ は  $SR$ との間に高い相関が得られ[Fig. 2(b), (c)],  $k$ はどの気象条件との間にも低い相関しか得られなかった[一例を Fig. 2(a)に図示]。Fig. 2(b), (c)に示された関係は、 $r_c$ と気孔開度との間に負の相関があることを考慮すると、気孔開度が日射量の増加につれて漸的に増加するという植物生理学的な知見と一致する。しかも、灌漑前後における  $r_{c1}$ および  $r_{c2}$ を比較すると、灌漑後に  $r_{c1}$ および  $r_{c2}$ が低下している。すなわち、十分な水分供給による気孔開度の増大が明確に表れている。以上の検討結果より、群落抵抗の関数化が有効であることが明らかになった。そこで、 $SR$ と  $r_{c1}$ および  $r_{c2}$ との関係に双曲線を適用し、群落抵抗モデルを構築した。

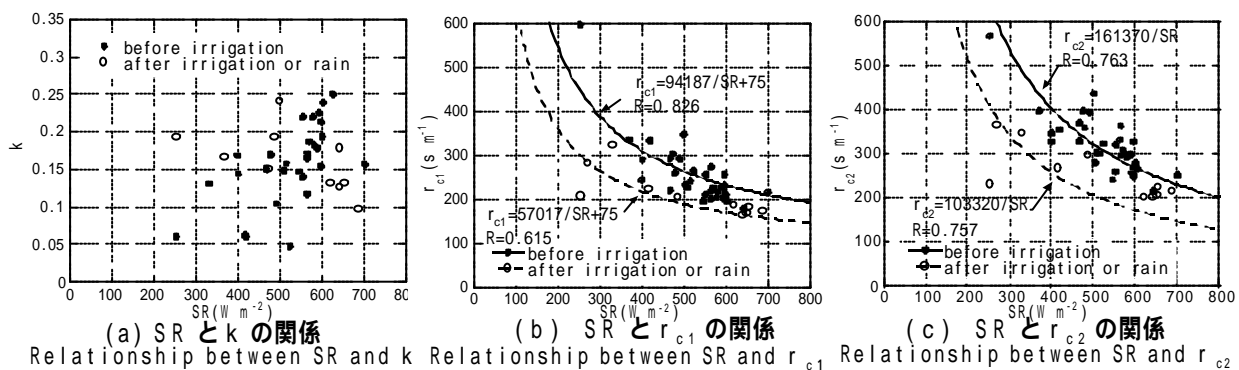


Fig. 2 全日射量 ( $SR$ ) と蒸発散比 ( $k$ ) および群落抵抗 ( $r_c$ ) の関係  
Relationships between daytime average of  $SR$  and  $k$ ,  $rc1$ ,  $rc2$

**5. 適用結果** 群落抵抗モデルで  $r_{c1}$ と  $r_{c2}$ を求め、それぞれをバルク法とPM法に適用し、 $ET_B$ と  $ET_{PM}$ を計算した。そして、それぞれの方法による推定値と、ボーエン比熱収支法によって算定した  $ET$ を比較した。その結果、悪天候の日に誤差が大きく、PM法では湿度が低い日に  $ET$ を過大評価する場合があった。ただし、観測期間全体における  $ET$ と  $ET_B$ および  $ET_{PM}$ との相対誤差は、バルク法では0.6%、PM法では4.2%であった。したがって、20%という取水削減の目標に対し、現状の圃場水収支における蒸発散の位置づけを評価する目的では、これらの蒸発散推定法が十分に有効であるといえる。

**6. まとめ** 8月4日に行われた灌漑後40日間合計の蒸発散量は97.3mmであった。一方、この期間における灌漑取水量は100mmであり、降水量は9.4mmであった。したがって、補給された水量の約90%が蒸発散によって消費されたといえる。このことから、本実験トウモロコシ畑における圃場レベルの水収支の特徴は、灌漑水量のほとんどが蒸発散によって消費されていることであるといえる。

**謝辞** 本研究は、科学技術振興事業団CREST「黄河流域の水利用・管理の高持続性化」(研究代表者：楠田哲也)の補助を受けて遂行された。関係各位に感謝申し上げる。