

遮光と放熱による地温上昇抑制が地中パイプ内の結露回収量に及ぼす影響
Effects of suppressing ground temperature rise to volume of condensed water
in the underground pipes by cutting out sunlight and heat radiation

○池浦 弘* 藤巻晴行**

Ikeura Hiroshi* Fujimaki Haruyuki**

1. 背景

世界の淡水の約 70%は灌漑に利用されており、その不足は農業生産の制限要因となっている (FAO, 2020). それを補うために、作物栽培には適さない塩類を含む河川水、地下水、農業排水及び都市排水、さらにそれらの不適な水を脱塩・浄化して生産した淡水が灌漑水として用いられている。著者らは石川ら (1996) が考案した地気熱交換蒸留システムの地中パイプを改良し、ビニルトンネル内で生じた水蒸気の約 46%を結露として回収して淡水を得ることに成功した (池浦・藤巻 2023)。一方、ビニルトンネル内で暖められた空気の連続的な送風により地中パイプの内壁温度が上昇する傾向を示し、地温と気温の差が小さくなることによる結露回収量の減少が想定された。そこで本研究では、地温上昇の抑制により結露の回収効率を維持・向上することを目的として、地中パイプ埋設部の被覆による遮光と夜間の放熱促進の効果を検証した。

2. 方法

茨城県つくば市の国際農林水産業研究センター八幡平圃場に設置したビニルトンネル3棟を使用した。地中パイプは池浦・藤巻 (2023) の実験で最も高い水蒸気回収率を示したφ50 mm のPVC管4本 (L=8.0 m, 埋設深20 cm) とした (以下「地中パイプ」とする)。またビニルトンネル内の結露を回収するために、ビニルフィルム内側に密着するようにアルミ製L型アングルを設置した。さらに水蒸気の供給源としてプラスチック製トレーに灌漑水 (EC = 0.29 dSm⁻¹) を約3~4 cmの深さで湛水して蒸発させた。ビニルトンネル内で暖められた湿潤空気は送風口からファンで地中パイプに送風され、パイプ末端側の排気口からビニルトンネル内へ戻して循環させた。ファンは太陽光稼働式のため空気の循環は日中のみである。回収した結露の水量は地中パイプとL型アングルの末端に設置した転倒マス式雨量計 (HOBO UA-003-64, Onset社) で計量した。

日中の遮光・断熱と夜間の放熱が地温及び水蒸気回収率に及ぼす効果を明らかにするために(a)被覆なし、(b)昼間被覆、(c)昼夜全被覆の3条件を設定し、(b)と(c)の地中パイプ埋設部の土壌表面を厚さ8 mmのスポンジ製アルミ蒸着マットで被覆した。3棟のビニルトンネルに対しそれぞれ異なる被覆条件を与え1回当たり4日間の晴天条件で実験を実施した。基本的には4日連続の晴天日とするが、雨天・曇天の場合にはその日を除外した4日間の晴天日を採用した。被覆条件を組み替えて2023年5, 6, 8, 9月に12回反復し、48日分のデータを得た。ビニルトンネル内の蒸発散量はPenman-Monteith式により推定し、水蒸気の回収率 (回収水量/蒸発水量) を算定した。

* 国際農林水産業研究センター Japan International Research Center for Agricultural Sciences

**鳥取大学乾燥地研究センター Arid Land Research Center, Tottori University

キーワード 地中パイプ, 昇温抑制, 水蒸気回収率

3. 結果及び考察

被覆なし、昼間被覆、昼夜全被覆の各条件のパイプ内結露とフィルム結露を合計した日平均回収水量は 11.6 Ld^{-1} , 12.3 Ld^{-1} , 12.0 Ld^{-1} , 日最大回収水量は8月3日の昼間被覆による 27.8 Ld^{-1} であった。パイプ内結露の水蒸気回収率は被覆なし 29.0%, 昼間被覆 30.6%, 全被覆 29.2% となり, 昼間被覆が被覆なし及び全被覆に対し 5~6%大きくなる傾向を示した (Fig. 1)。パイプ内結露とフィルム結露の合計回収率は被覆なしが 44.1%, 昼間被覆が 46.2%, 全被覆が 44.9% であった。実験開始後の回収率の経時変化を見ると, いずれも3日目から回収率が下がり始めるが, 昼間被覆は他の処理よりも小さな低下幅を示した (Fig. 2)。昼間被覆の深さ 10 cm の地温とパイプ内壁温度の平均値は被覆なし及び全被覆よりも低く保たれており, ハウス内気温とパイプ内壁温度の差は有意に大きくなった (Table 1)。全被覆は昼間被覆よりもパイプ内壁温度が約 1°C 高くなった。昼間被覆と被覆なしのパイプ内壁温度の差はそれよりも小さく, このため両者の水蒸気回収率に顕著な差が生じなかったと推定している。日本のように降雨が頻繁な条件では, 被覆がない場合は湿潤土壌面からの気化冷却効果により地温上昇が緩和されると考えられる。

4. まとめ

ビニルトンネル内の蒸発で生じた水蒸気を地中パイプ内で結露させて回収する場合, パイプ及び周囲の温度上昇により回収率が低下するが, 日中の遮光・断熱と夜間の放熱で地中パイプの温度上昇と水蒸気回収率の低下を抑制できることが示唆された。水蒸気回収率を維持するためには, 放熱効率を考慮したパイプの埋設深度や遮蔽・被覆の構造等の最適化が必要である。

【参考文献】FAO (2020) The state of food and agriculture – Overcoming water challenges in agriculture.

池浦弘・藤巻晴行 (2023) 第72回農業農村工学会大会講演要旨集, 2-48.

石川将之・大槻恭一・神近牧男 (1996) 農土誌 64(3):225-230.

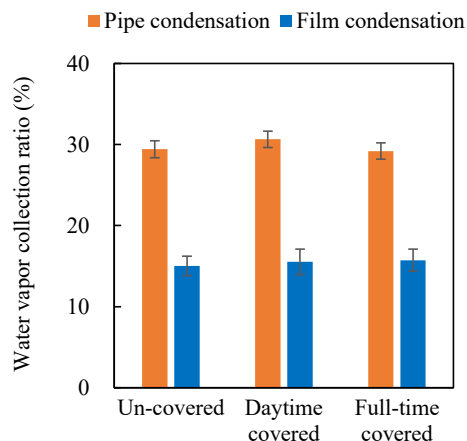


Fig. 1 地中パイプ埋設部の土壌面被覆条件による水蒸気回収率

Water vapor collection ratio by different ground covering conditions above underground pipes. Error bar shows standard error (n=48). No significant difference among treatments (Tukey-Kramer HSD test).

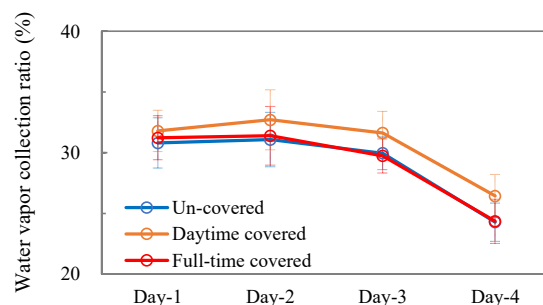


Fig. 2 実験開始後の経過日数と水蒸気回収率

Water vapor collection ratio at the days after starting experiment. Error bar shows standard error (n=12).

Table 1 ビニルハウス内気温, 地中パイプ内気温, パイプ内壁温度及び地温
Air temperatures in greenhouse and underground pipes, pipe inner wall temperature and soil temperature.

	Un-covered	Daytime covered	Full-time covered
i) Air temperature in greenhouse	35.04	34.91	35.06
ii) Pipe inner air temperature	34.08	33.38	34.25
iii) Pipe inner wall temperature	33.21	32.44	33.47
iv) Soil temperature at 10 cm depth	28.92 ^{ab}	27.44 ^b	29.81 ^a
Difference i) - iii)	1.83 ^b	2.47 ^a	1.59 ^b
Difference ii) - iii)	0.87 ^{ab}	0.94 ^a	0.78 ^b

Significant difference is found between a and b ($p < 0.05$, Tukey-Kramer HSD test).