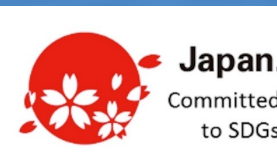


# 使えば資源 ～富栄養化池沼と水耕廃液の有効利用～

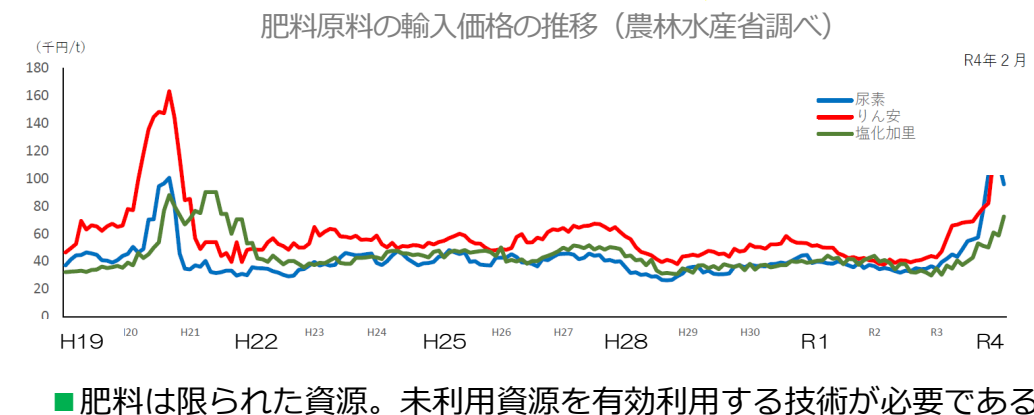


青森県立名久井農業高等学校 栽培環境班 \* 鈴木奨梧、平山昊也、中居くらら

## 1 みどり戦略との関連性

資源のリユース・リサイクルに向けた体制構築・技術開発

- 国際紛争で不安定な肥料原料
- 経営の低コスト化が必要
- 途上国では食料増産が急務



■肥料は限られた資源。未利用資源を有効利用する技術が必要である

## 2 目的

＜富栄養化池沼＞

- 過剰な栄養流入で水質汚染の原因
- 栄養分（窒素他）は植物の肥料成分
- 途上国で深刻、日本でも発生

＜水耕廃液＞

- 普及する水耕栽培（途上国でも導入）
- 廃液による水質汚染が懸念

富栄養化池沼と水耕廃液を液肥化にして資源として有効利用する技術開発に挑戦

■食問題に国境はない。地球を私たちの地域と捉え活動する！

## 3 取り組み内容（富栄養化池沼編）

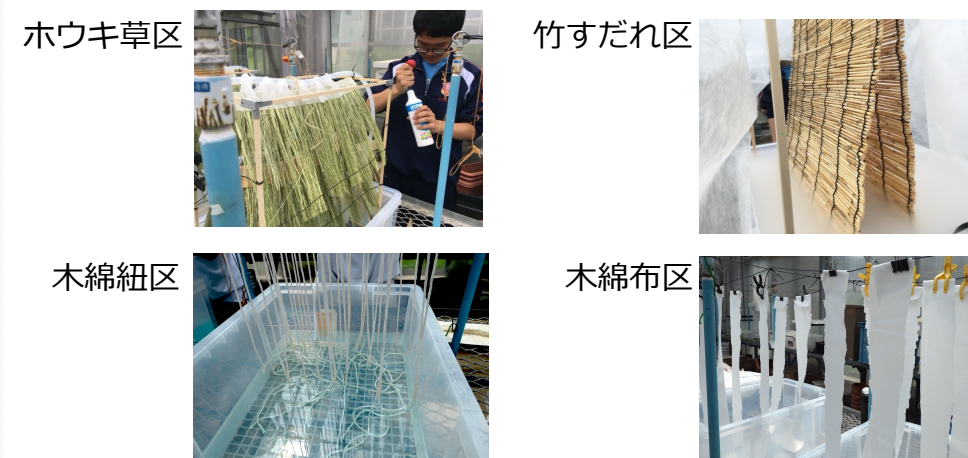
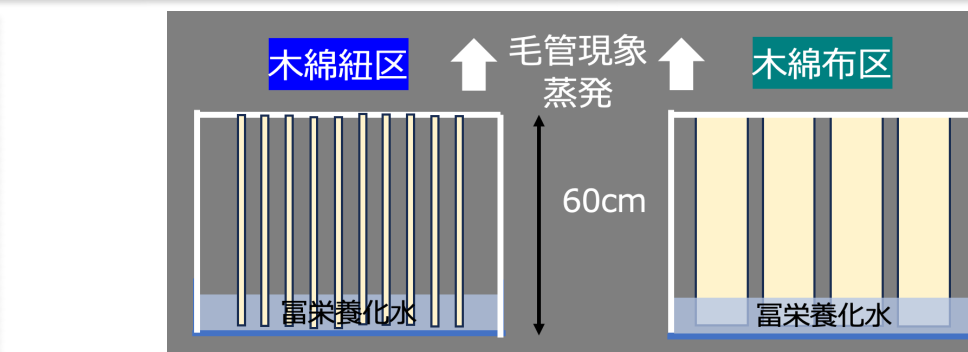
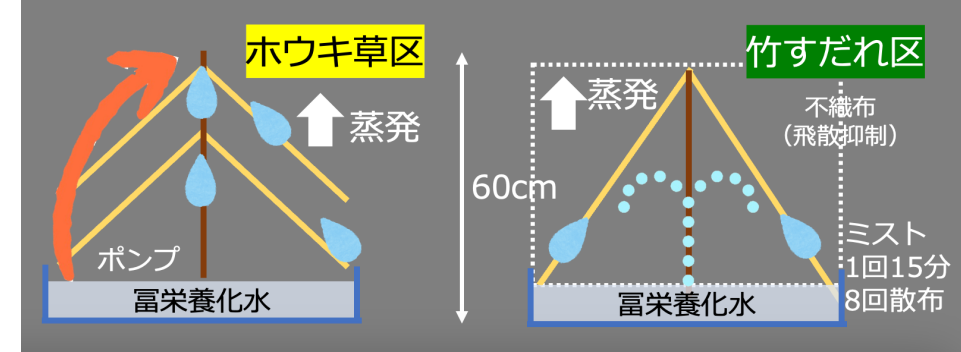
(1) 試験区と濃縮方法

＜電気必要＞

- ホウキ草区：ポンプで上から散水して蒸発
- 竹すだれ区：下からミストを1日8回噴霧

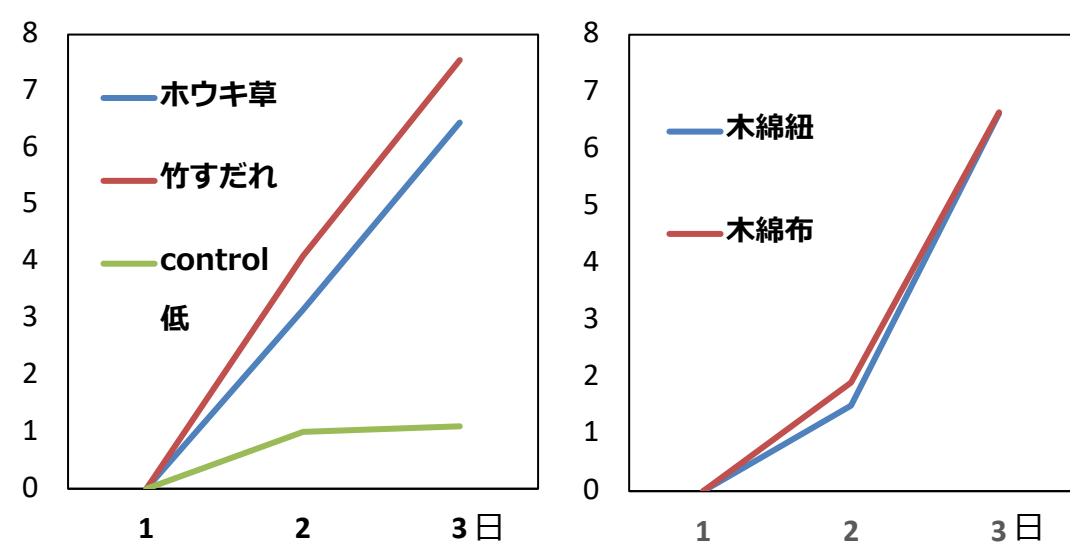
＜電力不要＞

- 木綿紐区：太さ3mm木綿糸60本垂らす
- 木綿布区：幅25cm木綿布を8枚垂らす



■富栄養化水15Lを蒸発濃縮させる装置を4種類自作した。実験は温室内で実施。富栄養化水は、国内外の池沼を参考に低濃度と高濃度を製作。

## 4 結果 (1) 蒸発試験 (単位：L)



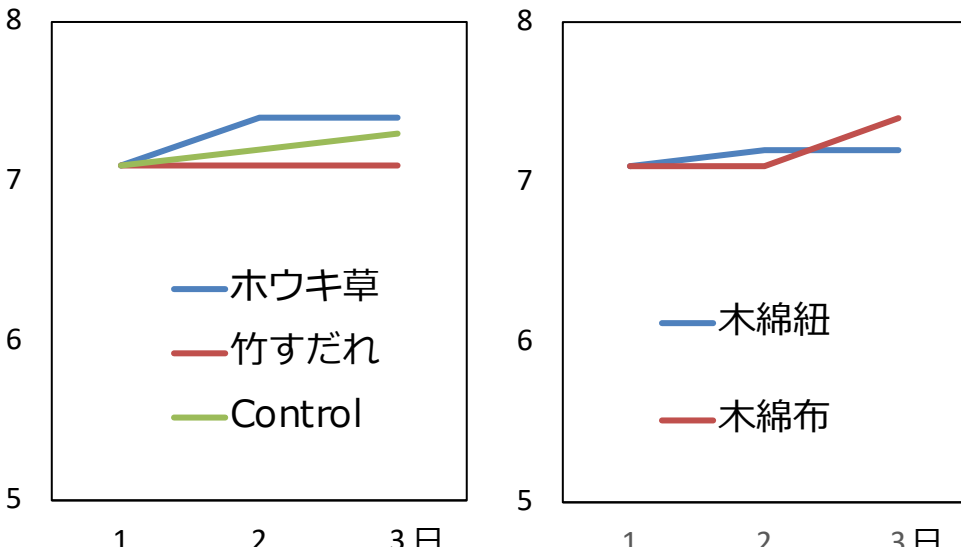
■3日間で無処理のControlが1Lの蒸発に対し、電力を使う左2区は7～8L、電力不要の右2区は6～7L蒸発した。青天時では両区とも良好。

## (2) -1 低濃度富栄養化水の濃縮

項目	低濃度富栄養化水
pH	7.1
EC(μS/cm)	402
NH4-N(mg/L)	13.0
NO3-N(mg/L)	4.4
PO4-P(mg/L)	1.46
TH(mg/L)	40

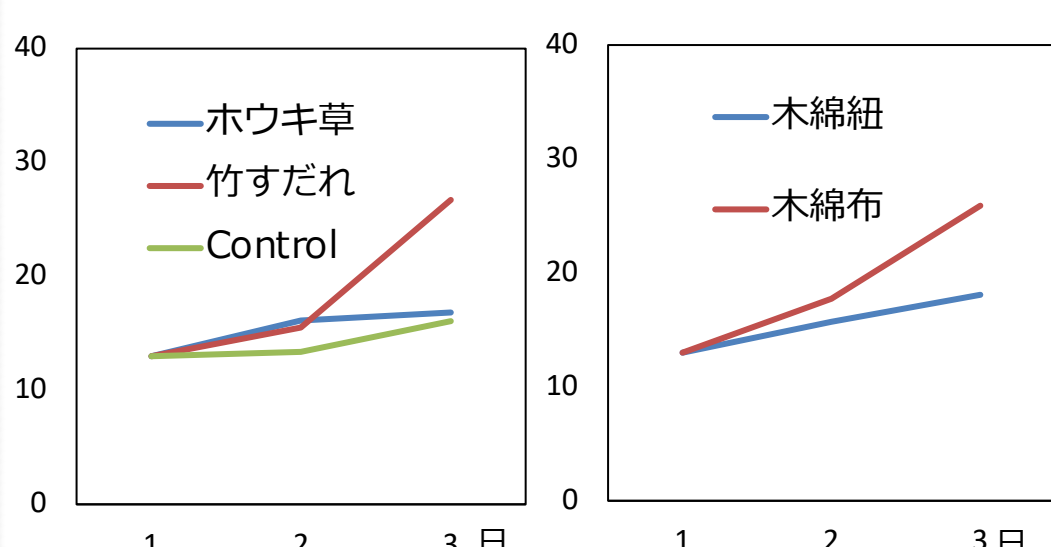
■低濃度富栄養化水の濃縮試験を行う。この富栄養化水は、青森県小川原湖や千葉県印旛沼のデータを参考に再現した。

## (2) -2 pHの推移



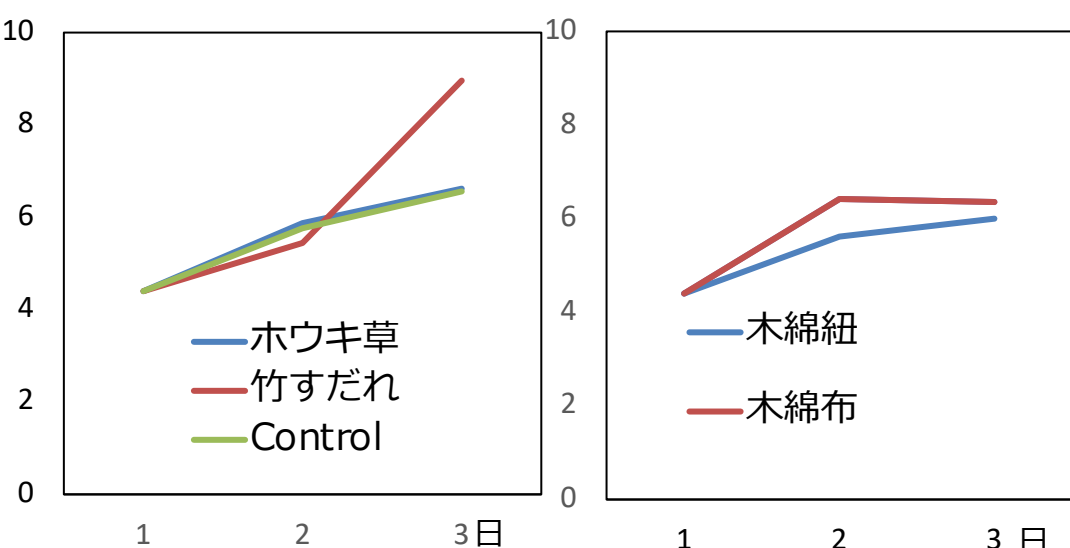
■各方法で3日間濃縮した際のpHの推移は、いずれも中性付近で変化しなかった。また栽培には問題ないことがわかった。

## (2) -3 NH4-Nの推移 (単位：mg/L)



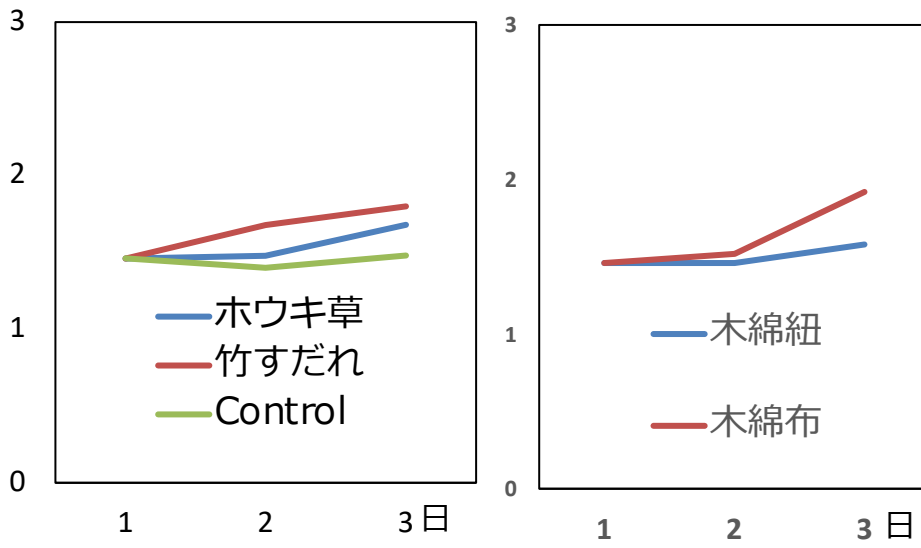
■各区ともControlより濃縮された。特に竹すだれ区が約3倍に濃縮された。また木綿布区も晴天では竹すだれに匹敵する濃縮力があった。

## (2) -4 NO3-Nの推移 (単位：mg/L)



■竹すだれ区と木綿布区が濃縮された。特に竹すだれ区はControlの約40%と顕著であった。しかしホウキ草区、木綿紐は大差なかった。

## (2) -5 PO4-Pの推移 (単位：mg/L)



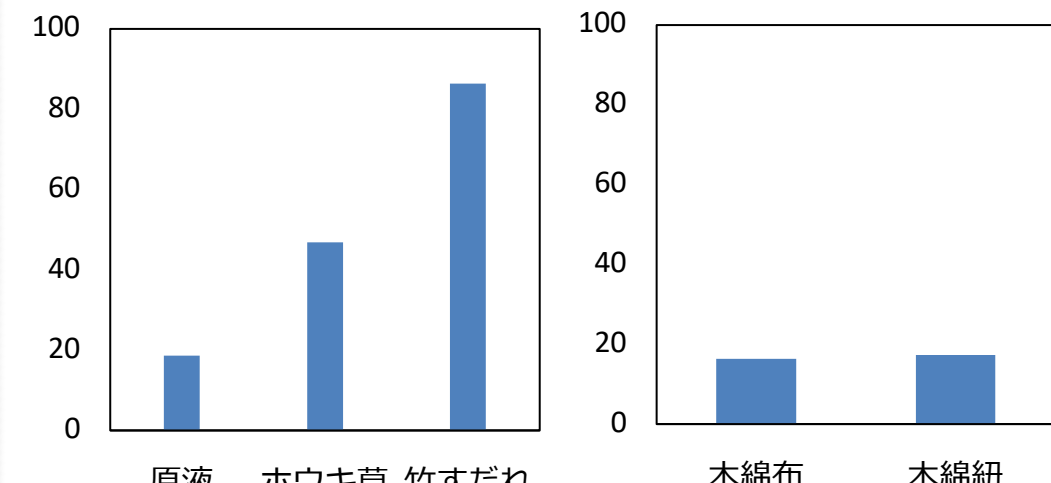
■窒素と同様、リン酸もControlより濃縮された。これにより晴天時では電力不要な装置でも濃縮可能なことがわかった。

## (3) -1 継ぎ足し法の考案

■濃縮スピードを上げるため蒸発したら継ぎ足し方法を考案。なお実験はインドのビムタム湖を想定した高濃度富栄養化水とした。

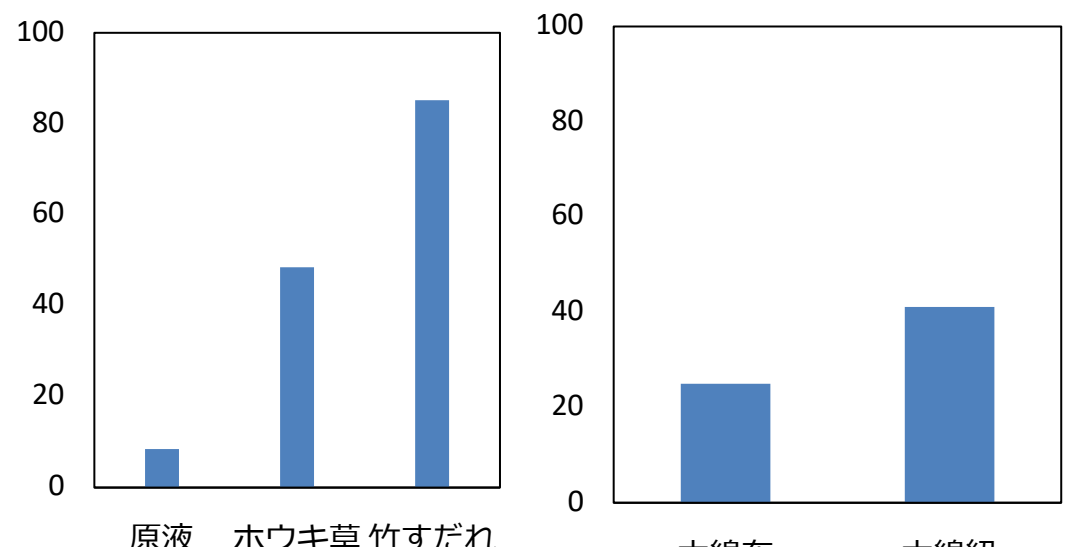
項目	高濃度富栄養化水
pH	7.1
EC(μS/cm)	1,001
NH4-N(mg/L)	18.48
NO3-N(mg/L)	8.48
PO4-P(mg/L)	1.52
TH(mg/L)	45

## (3) -2 NH4-Nの推移 (単位：mg/L)



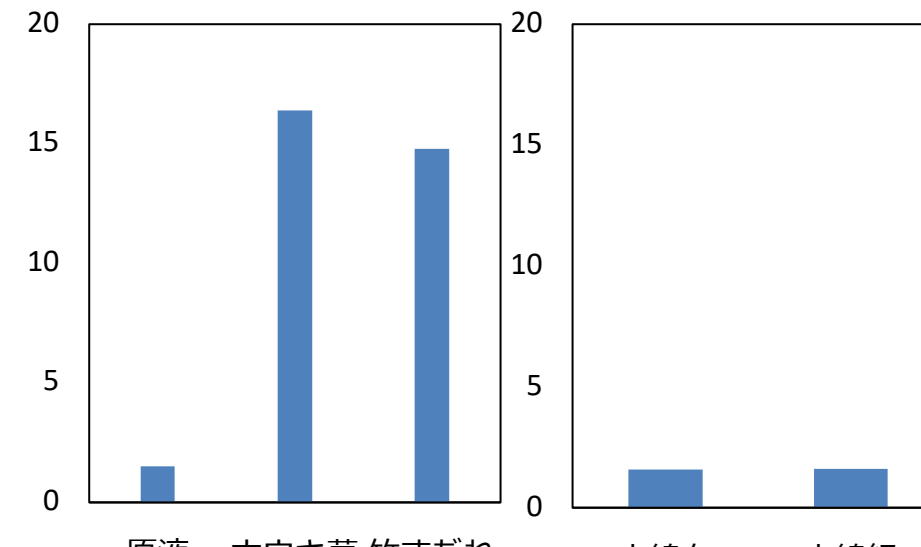
■継ぎ足し量は11日間で竹すだれ区6L、ホウキ草、木綿紐、木綿布区は3Lであった。そのため竹すだれ区は原液の4.5倍も濃縮した。

## (3) -3 NO3-Nの推移 (単位：mg/L)



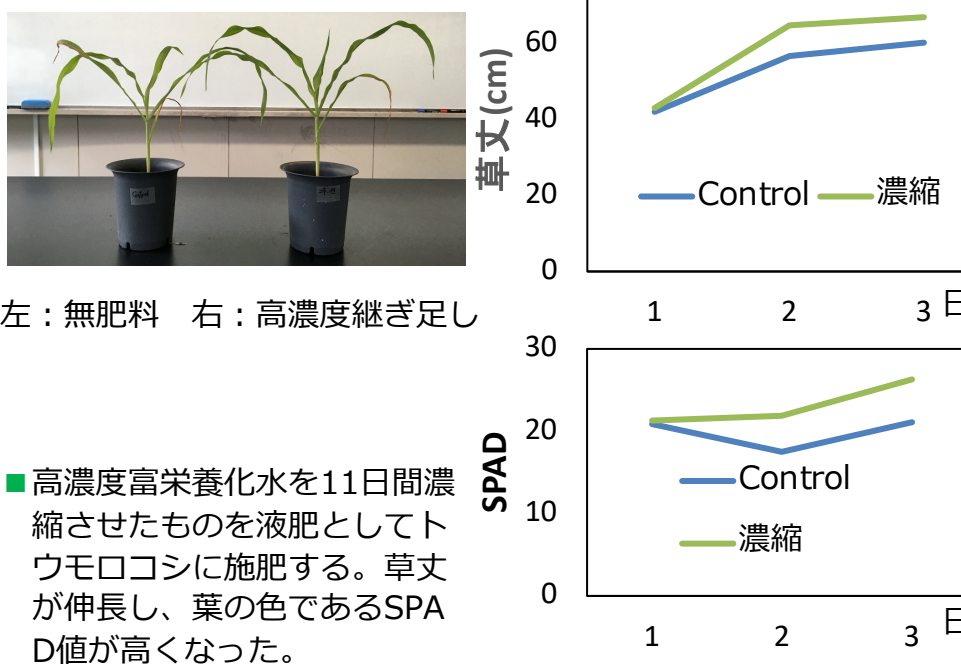
■竹すだれ区の濃縮効果が高く、原液の8倍にもなった。高濃度富栄養化水とはいえ、わずか11日間で使用可能な濃度まで濃縮した。

## (3) -4 PO4-Pの推移 (単位：mg/L)



■リン酸ではホウキ草と竹すだれの濃縮率が高かった。しかし木綿布、木綿紐区では原液と大差なかった。

## (4) 生育状況



■高濃度富栄養化水を11日間濃縮させたものを液肥としてトウモロコシに施肥する。草丈が伸長し、葉の色であるSPAD値が高くなった。

## (5) 富栄養化水の濃縮のまとめ

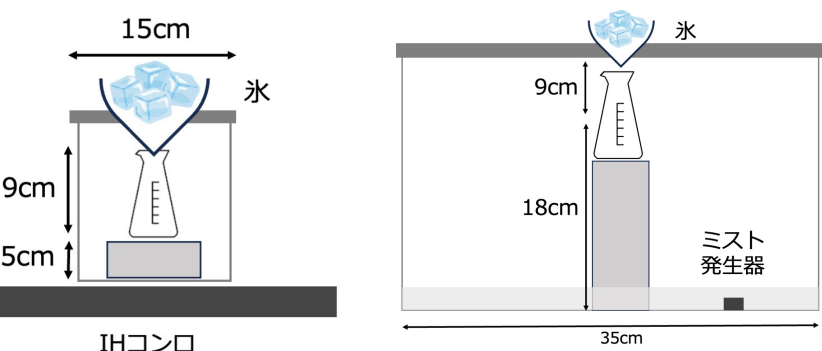
項目	高富栄養化水	竹すだれ継ぎ足し	1/2煮沸後
pH	7.1	6.9	6.5
EC(μS/cm)	1,001	1,909	3,848
NH4-N(mg/L)	18.56	45.28	60.8
NO3-N(mg/L)	8.48	19.84	61.44
PO4-P(mg/L)	1.52	1.72	2.04
TH(mg/L)	45.0	52	91

濃縮法	消費電力wh/日
竹すだれ	200
ホウキ草(枝葉架法)	9
木綿布	0
木綿紐	0

■高濃度富栄養化水の継ぎ足し濃縮液(液肥1500倍相当)  
■上記濃縮液を1/2まで煮沸濃縮(液肥500倍相当)  
■竹すだれ区は電力を使用するが、濃縮力の高い木綿布区なら電力不要で低環境負荷技術となる。

## 5 取り組み内容（水耕廃液編）

- 水耕廃液を蒸発させ、肥料分を濃縮する
- 蒸発した水蒸気を水として回収する

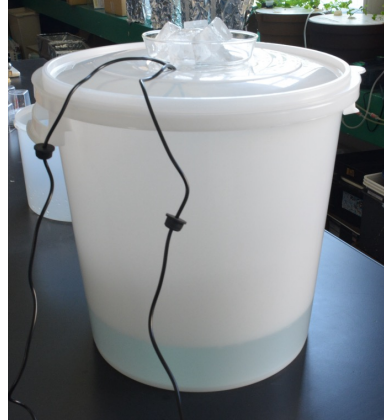


■水耕廃液を蒸留することで肥料と水の2つに分けて回収し、再利用する技術開発に挑戦した。方法は従来のヒーターで加熱する方法と超音波でミスト化して蒸発させ、水で水回収する霧化分離技術を採用。

■水耕廃液の水質

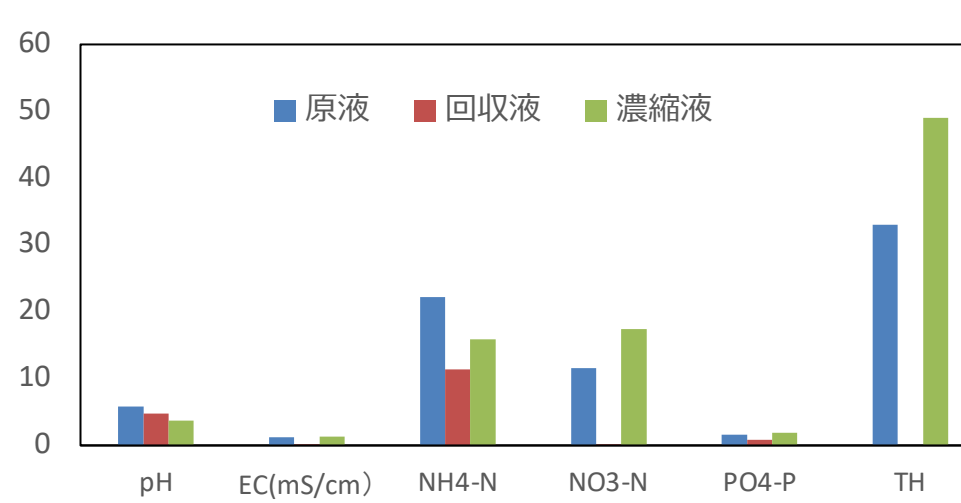
項目	測定値
pH	5.1
EC(μS/cm)	0.98
NH4-N(mg/L)	15.3
NO3-N(mg/L)	10.4
PO4-P(mg/L)	1.5

■自作霧化分離装置



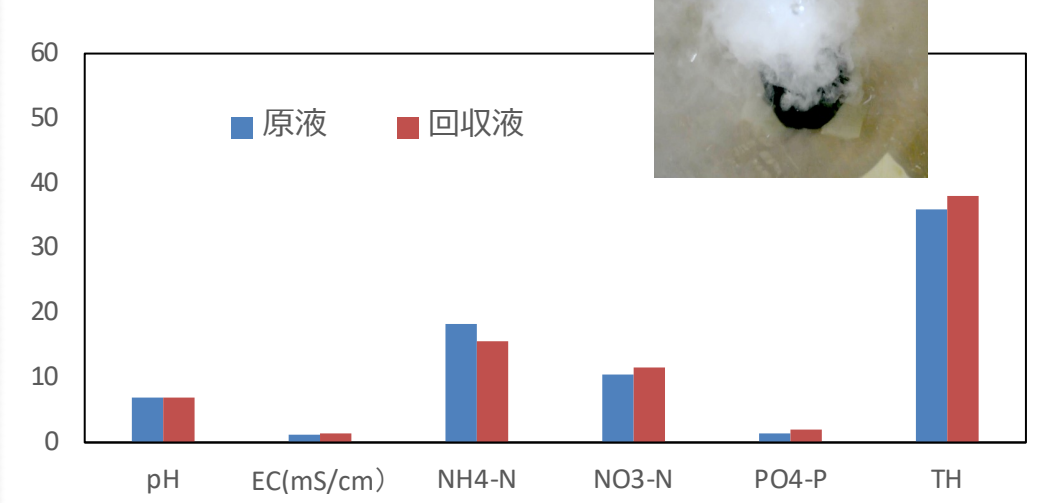
■霧化分離は1995年に日本で開発された技術で、熱源を使わずに蒸留する優れた環境技術である。まだ農業での試験例が少なく参考のできるものがなかったので試行錯誤して取り組んだ。

## 6 結果 (1) IH蒸留後の水質



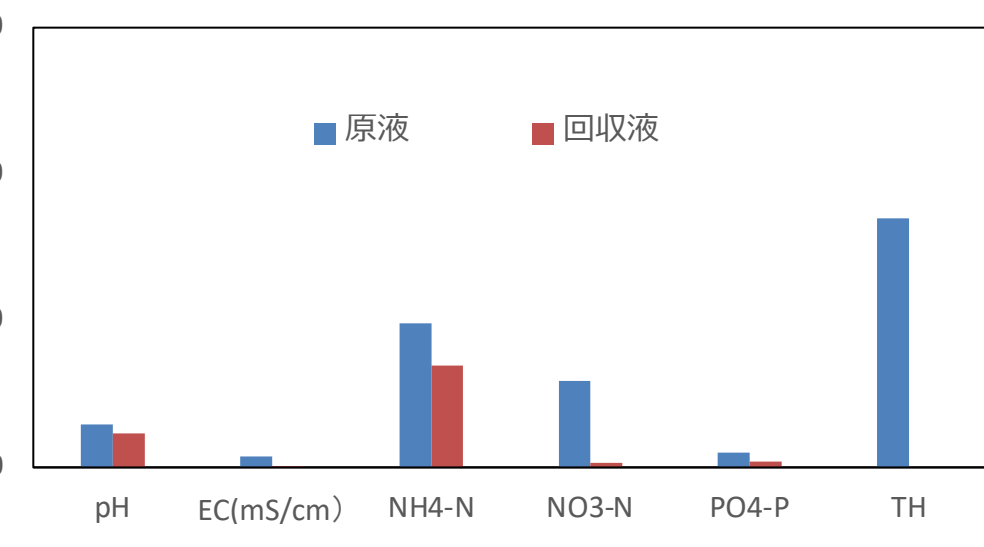
■原液（水耕廃液）をIHコンロで蒸発させた。蒸発させ濃縮したものを濃縮液、水蒸気を冷却回収したものを回収液とした。すると回収液のNH4-Nが残留していて、農業用水には使えない。

## (2) ミストの水質



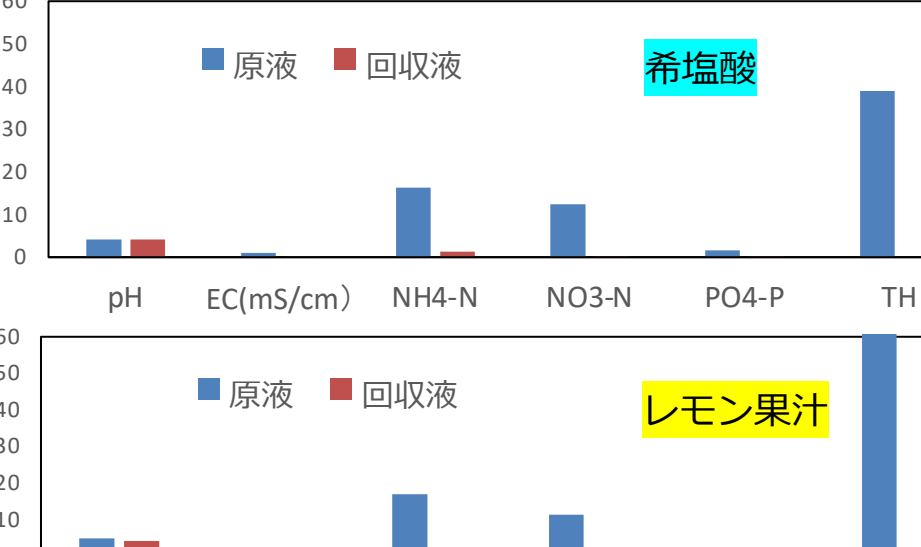
■霧化分離蒸留をする前に、超音波発生器で作ったミスト（写真）の水質を原液と比較した。するとほぼ同じであることがわかった。したがってミスト回収では、水と肥料が分離できないことがわかった。

## (3) -1 霧化分離後の水質



■原液（水耕廃液）を霧化分離で蒸発させた。蒸発させ濃縮したものを濃縮液、水蒸気を冷却回収したものを回収液とした。すると回収液のNH4-NがIH蒸留と同様に残留していて、減らさないと廃棄も再利用もできないことがわかった。

## (3) -2 霧化分離後の水質 (pH調整)



■原液を希塩酸とレモン果汁でpH4.5に調整するとNH4-N大幅減少！

## (3) -2 霧化分離後の水質

装置の種類	NH4-N(mg/L)
蒸留	11.4
霧化分離	13.9
霧化分離+希塩酸	1.34
霧化分離+レモン果汁	1.32

項目	pH	EC(μS/cm)	NH4-N(mg/L)	NO3-N(mg/L)	PO4-P(mg/L)
原液	4.1	1.03	16.32	11.44	1.6
回収液	4.2	0.1	1.32	0.2	0.23
濃縮液	4.6	1.12	19.1	12.19	1.92

■NH4-Nは酸性条件では揮発しにくい。レモン等で調整した結果、課題が解決され、水と肥料に分けることができた。

## (4) 霧化分離による水、肥料分離のまとめ

- 霧化分離技術を用いると廃液の分離可能
- 加熱しないことからCO2排出量も削減

回収方法	二酸化炭素排出量(月)
蒸留装置(0.5時間)	6.62kg-CO2
霧化分離装置(4時間)	0.37 kg-CO2



## 7 まとめ (1) 富栄養化池沼編

- 蒸発濃縮すると液肥になる。
- 電力使用では竹すだれ（ミスト噴霧）が効果的。霧状にするので蒸発が早い。
  - ミストサイズ0.01～0.1mm
  - 1日の発生量6,000ml
  - 省電力なので太陽光発電で電力の自給可能
- 無電源では木綿布（毛管現象）が効果的。
  - 表面積 木綿紐区 1,880cm<sup>2</sup>
  - 木綿布区16,000cm<sup>2</sup>
  - 蒸発量、濃縮率は表面積に比例する
  - 無電源は気温に左右されるが途上国の乾季であれば支障ない

## (2) 水耕廃液編

- 超音波を用いた霧化分離技術を用いると水と肥料を分けて回収できる。
- 超音波霧化分離の長所は次の通り
  - 従来の蒸留法などと比べ、非加熱のためエネルギー消費、CO2排出量が少ない
  - スイッチ1つで即開始、即停止で便利
  - 熱に弱い物質、低温での分離が可能
- 廃液を酸性化させることでアンモニア態窒素の除去可能
  - ※気候変動対策で途上国の水耕栽培が始まったが途上国で栽培しているレモン残さなどを利用できる

## 7 今後の展望

- 国際紛争で不安定な肥料原料→資源循環が可能になる。
- 経営の低コスト化が必要→自然エネルギーを使うことで途上国でも導入しやすく食と雇用に貢献できる。
- SDGsへ貢献→世界課題の気候変動や人口増加対策、循環型・環境共生型社会への移行に貢献。
- 実用化に向けての改善
  - 蒸発濃縮→現地での実証試験
  - 霧化分離→装置の大型化、冷却方法の改善

## (5) 世界に情報発信 (NPO法人ハンガーフリーワールドと連携)

- 富栄養化池沼の資源化
    - 富栄養化池沼
    - 肥料の地産地消
    - 水質汚染抑制
  - 水耕廃液の資源化
    - 農業用水などに
    - 水
    - 肥料
    - 液体肥料に
- ※環境化学会2025入賞  
環境甲子園入賞  
Frau SDGs Edu大賞受賞