

水を有効利用する節水型ミスト栽培システムの開発

青森県立名久井農業高等学校 FLORA HUNTERS (青森県)

1. はじめに

「水の惑星」といわれる地球だが、淡水は2.5%しかない。また、そのほとんどが極地の雪水のため、人間が使える淡水は地球の水の0.01%と極めて少ない。ところが人間は、その貴重な水の70%を農業用水として使っている(図1)。気候変動や人口増加もあり、使用できる淡水は今後ますます減少すると考えられる。現在、作物は用水路を用いた灌漑、スプリンクラーやドリップ装置を用いた灌漑などさまざまな施設設備を使い、たくさんの水を与えて栽培されている。なぜなら水は栽培するうえで欠かせないものだからである。また近年、気候変動に左右されにくいことから乾燥地でも水耕栽培が導入され始めているが、装置を動かすために大量の水とコストが必要で、水の有効利用には結びついていない。私たちは環境システム科で水耕栽培を学んでいる(写真1)。そこでこのような課題解決に貢献できる水を有効利用する新しい水耕栽培技術の開発に取り組むことにした。

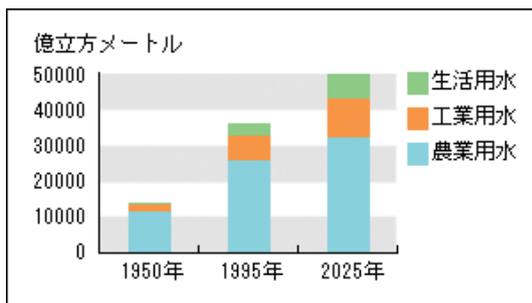


図1 世界の水の使用量

2. 研究材料と研究方法

(1) 節水ミスト栽培装置の製作

10Lのポリ容器(長さ360mm×幅228mm×深さ420mm)を加工し、装置を自作した。養液は、市販の液肥(N6%、P10%、K5%)の500倍液を3L入れ、養液槽を兼ねた栽培槽の底に、小型の超音波発生装置(気化能力400ml/h)を1台設置して自作した(図2)。

ミストはON-OFFタイマーを用いて試験区毎に決められた回数ミストを噴霧させた。1回の噴霧時間は15分とし、気化量は100mlとした。容器内でむき出しの根がと養液に触れないよう注意した。また養液の温度が上昇しないようアルミホイルで覆った。

(2) 蒸発抑制試験

装置の節水性能を評価するために4日間の蒸発量を温室内で測定する。鉢には赤玉土3Lを充填し300mlかん水した。水耕栽培装置には規定の10Lの水を入れ、ポ



写真1 環境システム科の水耕栽培

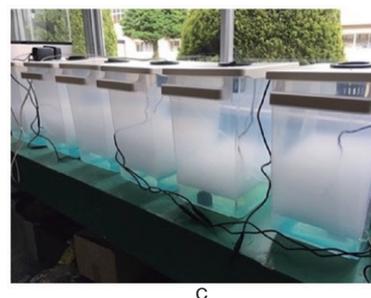
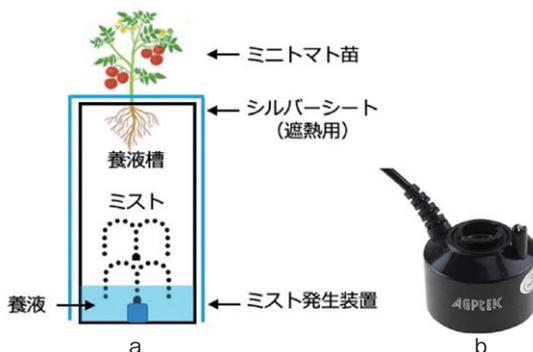


図2 自作栽培装置 (a: システム図 b: ミスト発生装置 c: ミスト発生装置)

ンプで常に循環させた。節水ミスト栽培装置は水を3L入れ、1回15分、1日12回ミストを発生させた。なお蒸散の影響を受けないよう作物は植えずに行った(図3)。

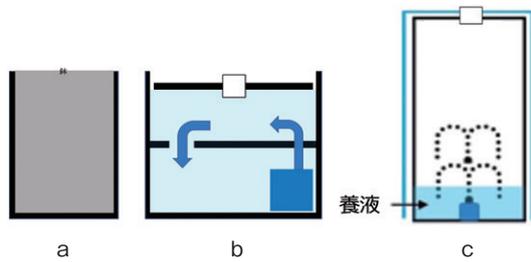


図3 蒸発抑制試験に用いた栽培装置
(a:土耕 b:水耕栽培 c:ミスト栽培)

(3) 栽培試験-1 (葉菜類)

葉菜類は、非結球のリーフレタス (*Lactuca sativa var. crispata*) とスイスチャード (*Beta vulgaris var. cicla*) とした(写真2)。試験区は、1時間に1回、15分間ミスト状で100mlかん水する24回区と2時間間隔でかん水する12回区とした(表1)。栽培は各3株とし、根を浸漬する水耕栽培区と生育と収量を比較した。

表1 葉菜類の試験区

試験区	かん水
24回区	1回15分100mlを24回/日 噴霧
12回区	1回15分100mlを12回/日 噴霧
Control	水耕栽培 (根は養液に浸漬)



写真2 左:レタス、右:スイスチャード

(4) 栽培試験-2 (果菜類)

果菜類はミニトマト (*Lycopersicon esculentum*) を用いた(写真3)。トマトは世界で最も生産量が多い野菜で、吸水制限することで糖度が高くなることがわかっている。栽培試験は、商品価値の高い高糖度トマトの生産を目指し1日11回、15分間ミスト状で100mlかん水した。試験区は、ほぼ均等な時間で噴霧する11回-1区、そして日中に9回、夜間に2回と変則的に噴霧する11回-2区を設定し、水耕栽培区と生育と収量を比較した(表2)。

表2 トマトの試験区

試験区	かん水
11回-1区 (M11-1)	1回15分100mlを11回/日 噴霧 (発生:0,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21時)
11回-2区 (M11-2)	1回15分100mlを11回/日 噴霧 (発生:2,8,9,10,11,12,13,14,15,16,21時)
Control	水耕栽培 (根は養液に浸漬)



写真3 ミニトマト

(5) 養液の変化

作物の根に定期的にミスト状で噴霧し続ける栽培法はない。そこで養液の成分が変化しないか水質分析を行なった。測定項目はpH、EC、NH₄-N、PO₄-Pとし3週間行なった。

(6) エネルギーと二酸化炭素排出量

水耕栽培は露地栽培と違い、酸素補給をするため養液を常に循環させるため、電力を消費する。そこで実験に用いた水耕栽培装置のポンプとミスト発生装置の消費電力を測定し、そこから二酸化炭素排出量を求めて環境への影響を比較した。

3. 結果と考察

(1) 蒸発抑制試験

水を入れた容器の重量を4日間測定し、水の蒸発量を推測した(図4)。その結果、蒸発量は赤玉土を充填した土耕、水耕栽培、節水ミスト栽培の順に多かった。特に土では4日間で60%も蒸発することがわかった。しかし節水ミスト栽培では、蓋にゴムパッキンが入った密閉容器を使っているため、まったく減少しなかった。実際の蒸発量は植物からの蒸散量や気温で変化するが、この装置からは蒸散蒸散以外はほぼ蒸発しないことがわかった。

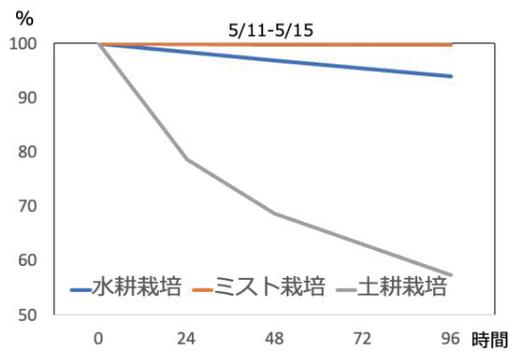


図4 蒸発抑制率

(2) 栽培試験-1 (葉菜類)

<レタス>

1日あたり24回ミストを散布して栽培した区は、従来

の水耕栽培 (Control) と草丈、葉数と比較しても大差がないことがわかった (図5)。しかし12回区は、草丈は小さく、葉数は少なくなった。これはレタスが葉の薄い野菜のため、日中に気温が上がった際にすぐ萎れ、中には枯れる葉が出たからだと考える。根は節水ミスト栽培で大きくなった。水耕栽培は、常に根が養液に浸っているため水中根が発達する。しかし根が空中に浮いている節水ミスト栽培では水中根に加え、空気中の水分を吸収する細い湿気中根も発達したからだと考えられる (写真4)。この現象は、特に24回区で顕著に現れた。1株重量では、24回区、12回区、Controlの順になった。しかしどの区も十分に出荷できる収量と品質だった。

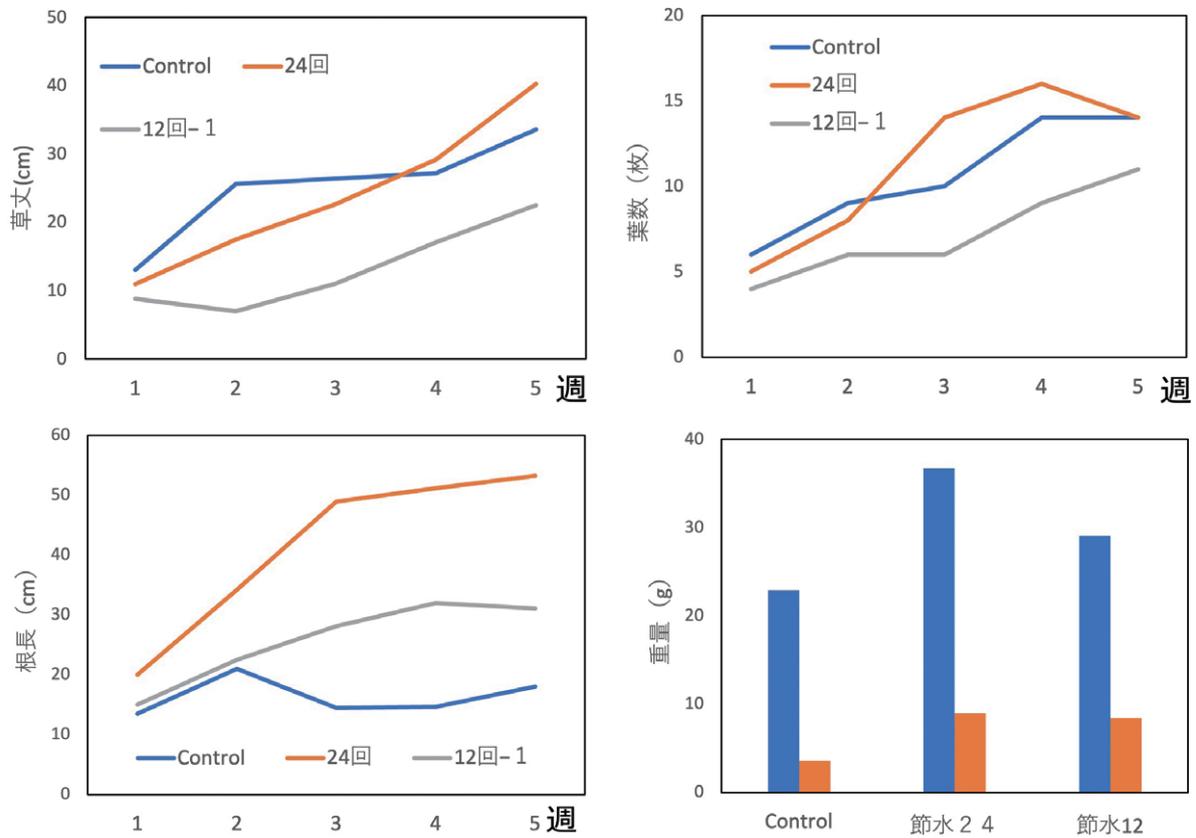


図5 レタスの生育と収量 (横軸: 週)



写真4 葉と根の比較 (左からControl、24回区、12回区)、収量調査の様子

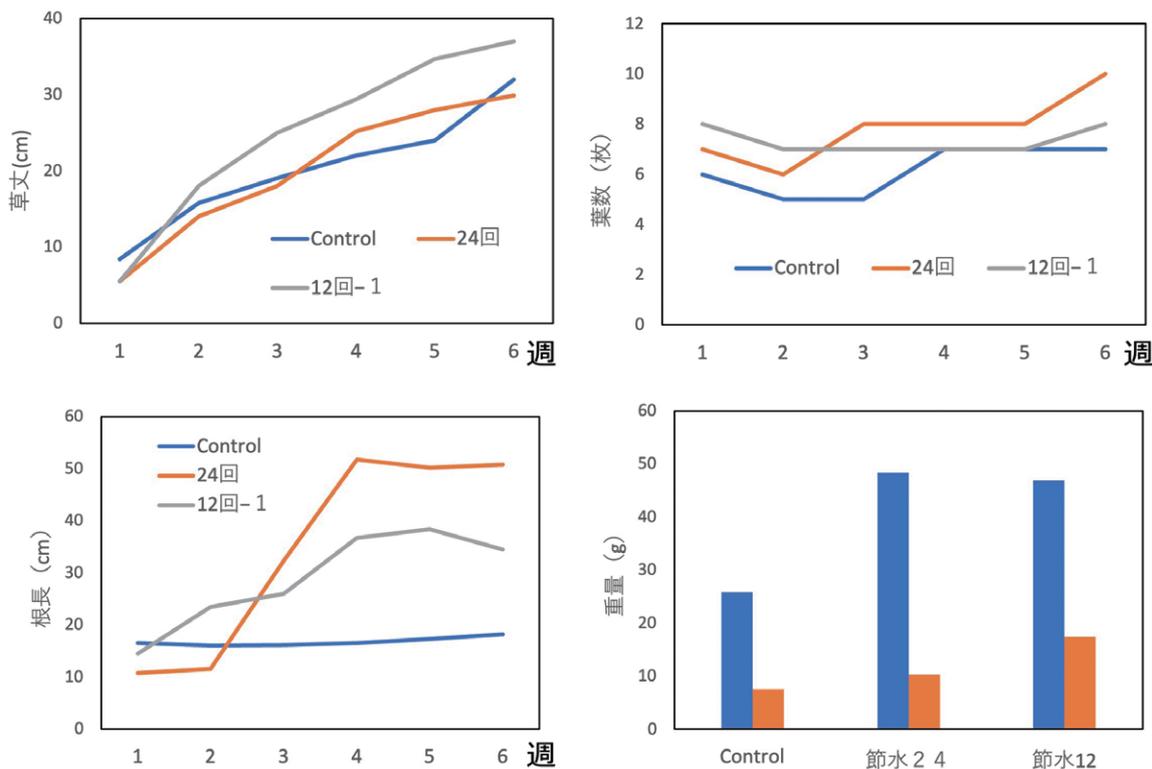


図6 スイスチャードの生育と収量

<スイスチャード>

結果を(図6)に示した。Controlよりも節水ミスト栽培の草丈が伸び、葉数も多くなった。スイスチャードは、レタスに比べて茎が太く葉が厚いので、水分不足になっても影響がなかったと考えられる。根はレタス同様、節水ミスト栽培が伸長した(写真5)。湿気中根が発達したからだと考えられる。その結果、重量においても24回区、12回区、Control区の順となった。いずれも十分出荷できる収量と品質である。



写真5 スイスチャードの根(左からControl、24回区、12回区)

(3) 栽培試験-2(トマト)

草丈は一定間隔でミストを散布した11回-1が伸長した。根は、葉菜類と同様に湿気中根が発達するのでミスト栽培区の方が伸長した(図7)。しかし1果や1房

の重量はControlがやや多かった。これはControlが十分に水分を吸収し、肥大したからだと考えられる。ところが糖度では、日中に多く噴霧し、夜間に抑制した11回-2が平均糖度11.5と高くなった。糖度8以上は高糖度トマトといわれ、日本では高値で取引される。節水した効果によるものだと考えられる。なおControlとの比較を(表3)に示した。

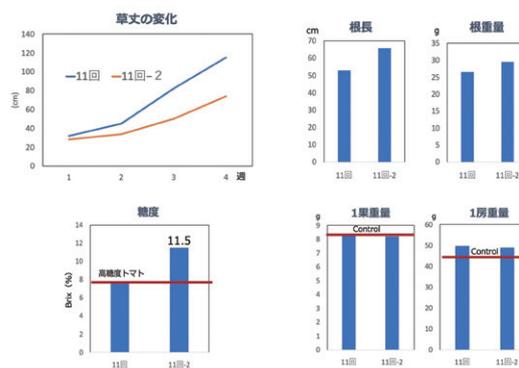


図7 トマトの生育と糖度の比較

表3 トマトの収量調査

試験区	Control	11回-1	11回-2
根長 (cm)	39.4	53.0	65.7
根重 (g)	20.0	26.5	29.5
1果重量 (g)	8.8	8.3	8.2
1房重量 (g)	54.0	49.8	49.0
糖度Brix	7.6	7.8	11.5

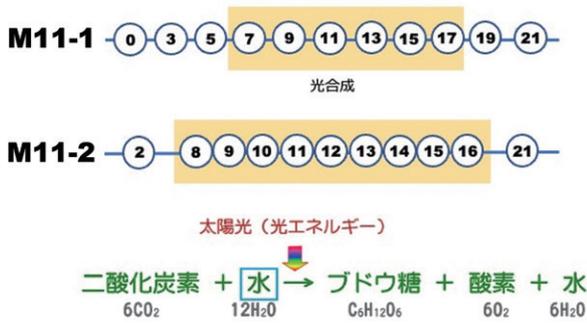


図8 ミスト発生時間帯と光合成の関係

高糖度トマトを作るポイントは、吸水制限である。節水することで濃縮されたトマトになるからである。しかしトマトが糖分を蓄積するには、光合成を旺盛に行う必要がある。(図8)で示したように光合成は、二酸化炭素と水を光エネルギーによってブドウ糖と酸素と水を作る反応である。つまり光合成を行うには、水が必要不可欠である。日中にミスト発生を増やし、光合成が行われる材料である水を集中して供給したことで、ブドウ糖合成が旺盛に行われたため高糖度になったと考えられる。また夜間にミスト発生回を減らしたため、日中に合成した糖分が水分で希釈されることなく朝まで保たれるので、水耕栽培ながら高糖度になったと考えられる。このように節水ミスト栽培は、旺盛な光合成と吸水抑制という昼夜の2つの効果によって、高品質のトマトを生産できたと考えられる

(4) 養液の変化

ミスト栽培では養液の消耗を削減できるが、成分が変化してしまうと交換しなければならない。そこで3週間に渡って成分変化を測定した(図9)。その結果、pH、EC、PO4-Pとも大きな変化はなかったが、NH4-Nは少し増加した。根がむき出しになっているの

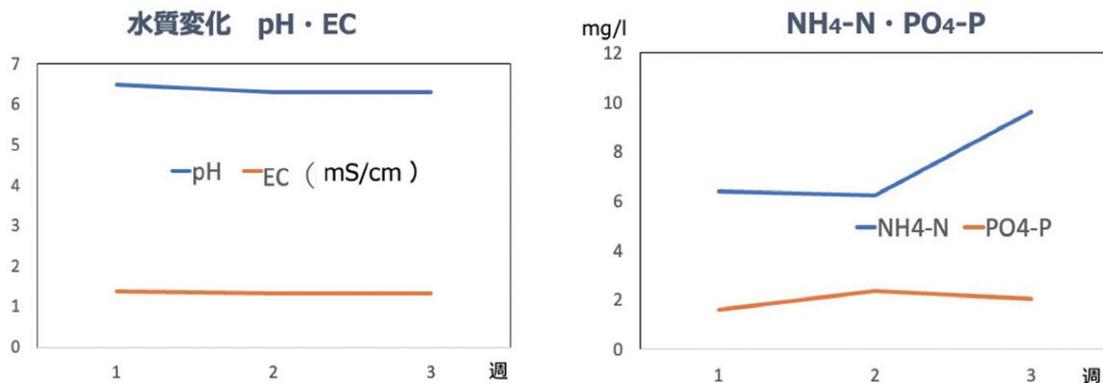


図9 養液の成分変化

で、枯死した根などが養液槽に落ちるなど影響した可能性がある。しかし成分は大幅に減少することはないため、蒸散によって養液が減るまで補充する必要がないことがわかった。

(5) エネルギーと二酸化炭素排出量

従来の水耕栽培装置は、養液の酸素を確保するのを防ぐため、常に養液をポンプで循環させる必要がある。しかし自作した節水ミスト栽培装置では、1日のべ数時間ミストを発生させるだけでよい。そこで消費電力と二酸化炭素発生量を装置で測定した。実験に用いた水耕栽培装置は4.2w、24時間連続作動、節水ミスト栽培装置は24w、1日12回(1回15分)作動とした。その結果、(表4)のように消費電力、二酸化炭素発生量とも同規模の水耕栽培装置より3分の2も少ないことがわかった。これにより温暖化抑制にも貢献できることがわかった。

表4 消費電力とCO2発生量

試験区	水耕栽培	節水ミスト栽培
消費電力/日 (wh)	43.2	113.4
CO2排出量/月 (kg-CO2)	1.42	0.54

4. 結論と今後の展望

近い将来、世界は人口増加のため水不足になる不安を抱えている。さらに気候変動も激しくなり、地球の水が枯渇するDay-ZERO問題も現実味を帯びてきている。そこで、この水問題に農業からアプローチする節水ミスト栽培システムの開発に取り組んできた。私たちの目指した節水栽培は、(1) 少ない水で安定して栽培するだけでなく(2) 限られた水を有効利用して品質の良

い作物を提供するという2つの目標があった。

一般に土耕でトマトを栽培する場合、かん水は1株あたり1日250ml前後必要である。しかし作物による吸収と蒸散以外は、ほとんどが土壤に染み込み、最終的に蒸発するため、毎日かん水が必要となる。また乾燥地で行われているドリップ栽培でも、高い気温で蒸発しやすいため、300ml前後必要となる。ところがこのミスト栽培法では、1日1,200ml前後とさらに4倍も多く水をトマトに供給している。これは水分を保持する土壤がない水耕栽培だからである。それでも節水になるのは、ミストを稼働させるための養液が一般の水耕栽培より少量であること、そして作物に吸収されなかった養液が、すべて密閉容器内で回収できるからである。このように容器内で養液を何度も再利用できるのが長所である。本研究では、作物の種類や大きさにもよるが、トマトでは1週間に約500mlの補充だけで栽培できる。これは土耕栽培やドリップ栽培より70%以上も少ない養水分量である(表5)。これは目標(1)節水の観点から見て極めて有利である(図10)。

表5 高糖度トマト栽培に必要な7日間の養液量

試験区	養液量(1株あたり)
土耕栽培	1,750ml
ミスト栽培	500ml

乾燥地でのドリップ栽培に必要な7日間の養液量	
試験区	養液量(1株あたり)
ドリップ栽培	2,100ml

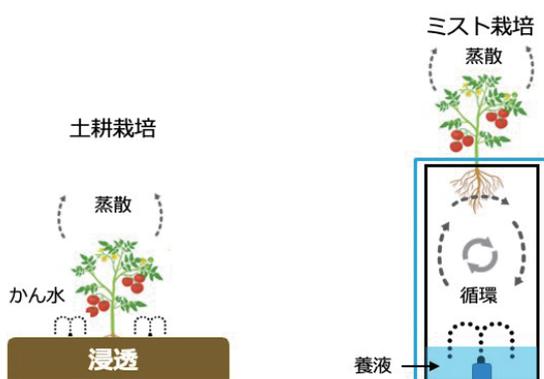


図10 水の行方(土耕栽培、ドリップ栽培：水の使用捨て、ミスト栽培：水の繰り返し利用)

またミスト栽培では、トマトの品質向上にも貢献できる。高糖度トマトは、日本において一般のトマトの2~3倍の高値で取引されている。つまり先進国において高糖度、高品質なトマトは、消費者はもちろん、生産者にとってもたいへん魅力的な作物となっている。しかし従来の水耕栽培では、吸水制限して糖度を高めようとしても、根が常に養液に浸漬しているため、制御するには複雑なシステムが必要となる。しかし私たちが考案した節水ミスト栽培システムは、水の有無を直接、安価な超音波発生装置のオンオフだけで簡単に制御できるため、目標(2)である水を有効利用した高品質のトマト生産が可能となる。

以上のことからこのシステムは、開発途上国や先進国を問わず、広く世界で活用できる新発想の栽培法といえる。2030年、月に基地を建設するアルテミス計画が進んでいる。また日本のJAXAも世界と協力して、月周回有人拠点「Gateway」計画に参画している。しかし月や宇宙ステーションでは運搬コストが高いため、水1L1億円ともいわれている。SDGsの考え方に基づいて、定住に不可欠な貴重な水を大切に何度も回収して利用するこのシステムは、宇宙開発にも大いに貢献できる可能性がある。作物は種類によって根の長さは異なる。残念ながら、これらの栽培に適したデザインの養液槽は世の中にないため自作しているが、既製の容器を使うため不具合もまだ多い。しかし広く世界に公開することで実現できると私たちは期待している。現在は、途上国のタンパク源である豆類のインゲンの栽培にも取り組んでいる。今後も私たちは研究を続け、農業高校生の視点から世界の水問題に発信していくつもりである。

青森県立名久井農業高等学校
FLORA HUNTERS (青森県)