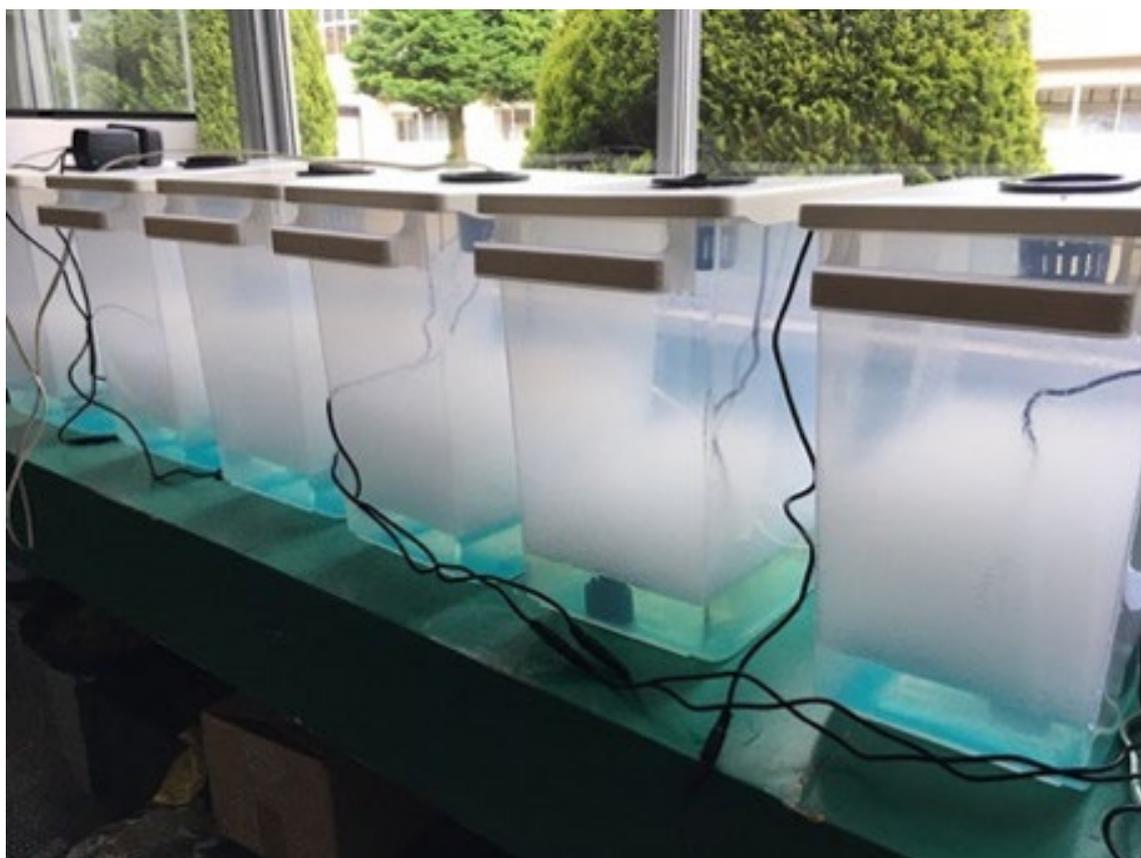


水資源の有効利用を目指して ～節水型ミスト水耕栽培技術の開発～



FLORA HUNTERS & Jr.

鈴木奨梧、平山昊也、中居くらら、赤石紫音、小泉涼花

【はじめに】

世界の年間水消費量は 3,900k m³。その約 70%が農業用水に使われている（図 1）。しかし気候変動や途上国の工業化などで世界的な水不足が起きている。また 2030 年には世界の人口が 85 億人を超えると予想されており、食糧生産における水不足は、ますます深刻な問題になると考えられる。日本は雨が多く水に恵まれているが、河川水・地下水の約 66%が農業用水に使われている。また地域によっては、夏場の渇水により不作になることも多い（図 2）。このような現状のため、世界はもちろん日本においても、限られた水資源を有効利用する新技術が求められている。水不足の心配は、安定した農業用水を確保できない乾燥地や半乾燥地の開発途上国では、より深刻である。従来、作物は用水路やスプリンクラー灌漑、ドリップ灌漑などの施設設備を使い、たくさんの水を与えて栽培してきた。しかし導入には多額のコストがかかるうえ、与えた水分が蒸発するため、地域によっては塩害が起きている。また近年、乾燥地でも導入が検討されている養液栽培も大量の水とコストが必要である。

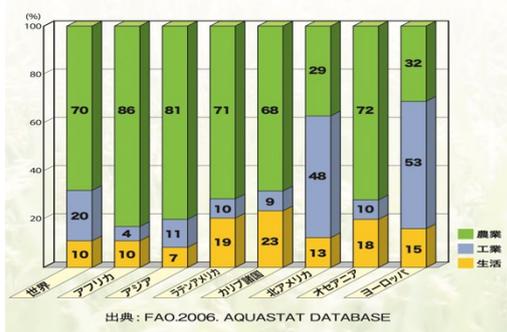


図 1 世界の分野別水使用量



図 2 渇水した日本のダム

そこで私たちは、超節水方式の水耕栽培の開発を目指した。これは少しだけ養液が入った密閉容器に作物の苗を植え付ける方法である。作物の根は養液に浸かっているが、定期的に超音波発生装置を作動させ、ミスト状の養液を作物に供給するので生育が可能になる。また密閉されているので、従来の露地栽培や水耕栽培のように養液の蒸発が抑えられ、栽培に使用する水量が大幅に節減することができる。さらに養液を循環させる大規模なポンプ装置が不要で低コストになる他、ミストの発生回数や時間帯を制御することで、節水栽培ながら良質な栽培も可能だと考えたからである。

【方法】

(1) 水耕栽培装置の製作

本研究で用いる深い養液槽の水耕装置はまだ世の中にはない。そこで 10L のポリ容器 (37cm×36cm×22.8cm) を加工し水耕栽培装置を自作した。中にはハイポネックス (N6%、P10%、K5%) の 500 倍液を 1L だけ入れ、養液槽の底に小型のミスト発生装置 (超音波発生装置 気化能力 400ml/h) を 1 台設置した (図 3)。ミストは ON-OFF タイマーを用いて各試験区の決められた発生回数に合わせて作動させた。ミスト発生時間が過ぎると装置は止まり、むき出しの根には養液が供給されないよう注意した。1 回の発生時間は 15 分とし、気化量は 100ml とした。また小型装置を窓辺に設置するため、養液の温度が上昇しないようシルバーシートで覆った。作物はトマト、レタスなどとした。



図 3 自作栽培装置(左：システム図 中：ミスト発生装置 右：ミスト発生装置)

(2) ミスト発生回数の違いによる生育及び糖度の比較試験

トマトは水を制限して栽培すると糖度が高くなる。しかし水不足が過ぎると果実の肥大が遅れ、さらに茎葉が褐変してくる。また水分とともに吸収していたカルシウムが不足するため果実の下部が腐敗する生理障害の「しり腐れ病」が発生しやすい。そこでミストの発生をどの程度まで抑制しても正常に栽培するのか、ミスト発生数を変えた試験区を設けて生育状況を探ることにした。また Control は常に根を養液に浸漬させる従来の水耕栽培とした。試験区とその概要は表 1 に、また各区のミスト発生タイムラインは図 4 に示した。

表 1 試験区

試験区	発生数	散布量/日
M1	1 回/24h	100ml
M3	3 回/24h	300ml
M5	5 回/24h	500ml
M8	8 回/24h	800ml
Control	-	養液に浸漬

※Control は 24h エアレーションを行う

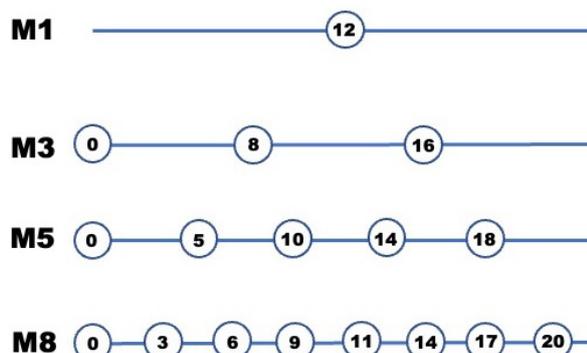


図 4 ミスト発生時間 (単位: 時)

(3) ミスト発生時間の違いによる生育及び糖度の比較試験

水耕栽培では常に根を養液に浸している。そのため吸水時間帯の制御は、簡単にはできない。しかし植物は日中、光合成を行い、糖を合成する。私たちは、この生理作用に水分が少なからず影響を与えていると考え、今度はミスト発生時間帯を変えて栽培することにした。1つの区は 1 日 11 回、1 時間 30 分間隔に水分を均等に供給する。もう 1 つの区も 1 日 11 回発生させるが、朝 8 時から夕方 16 時までの日中は 1 時間に 1 回、そして夜間は 5 時間おきに 2 回だけと極端に日中を多くし、夜間に減らす変則的な計画を立てた (図 5)。試験区の概要は表 2 に示す。

表 2 試験区

試験区	発生数	散布量
M11-1	11 回/24h	1100ml
M11-2	11 回/24h	1100ml
Control	-	養液に浸漬

※Control は 24h エアレーションを行う

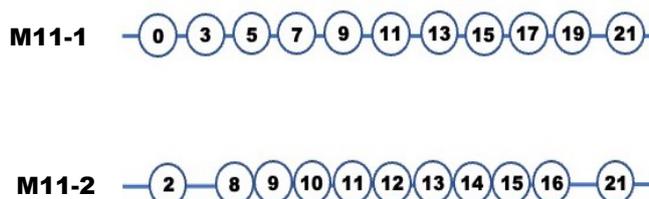


図 5 ミスト発生時間 (単位: 時)

【結果と考察】

(1) ミスト発生回数の違いによる生育及び糖度の比較試験

ミストの発生回数が 1 回、3 回、5 回は、草丈の伸長が抑制された (図 6)。また茎も 1 回、3 回、5 回は、細くなった (図 7)。これは水分不足で萎れているためである。しかし 8 回と Control では、草丈や茎の伸長は止まらなかった。また葉の色を数値化した SPAD 値でも同様に、1 回、3 回、5 回の区で葉が黄変している (図 8)。水不足はトマトの生育に大きな影響を与えているのがわかる (図 9)。さらに結実も、節水した区が Control に比べて 10 日以上も早かった。水ストレスにより結実が促された可能性がある。しかし 3 回区、5 回区の果実で、しり腐れ病が発生した (図 10)。また 8 回区でも発生こそしないが兆候が見えた。トマトは水分不足になるとカルシウム不足となり、果実下部が腐敗する生理障害を起こす。以上のことから節水による影響を受けるのは生育では 5 回と 8 回の間であり、節水栽培とはいえ、生理障害を防いで安全な経営をするには 8 回以上の発生が必要と考えられる。

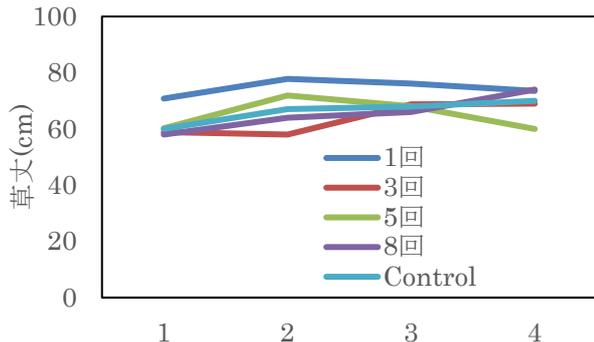


図6 草丈の推移(横軸単位は週)

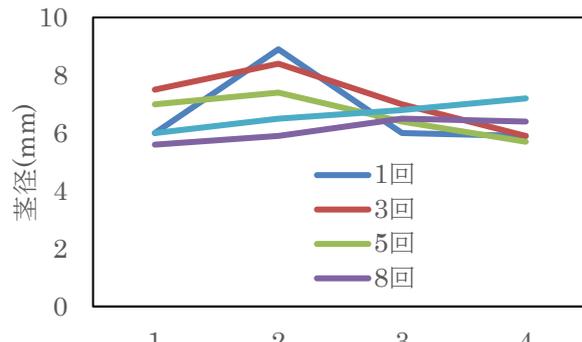


図7 茎径の推移(横軸単位は週)

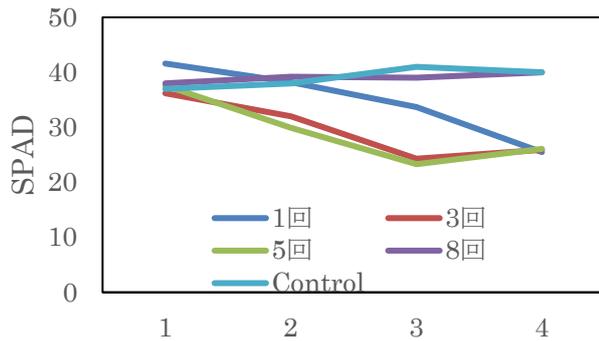


図8 葉色値の推移(横軸単位は週)



図9 黄変した葉 (3回区)



図10 しり腐れ病



図11 根の伸長

糖度と収量比較を表3に示す。結果は1回、3回、5回の区の糖度が高い。糖度8%以上を高糖度トマトというが、この3区はいずれも基準を満たしている。特に1日1回だけミスト散布をした区では10.6%と極めて甘いトマトになった。逆に水分が多かった8回、Controlでは8%以下となった。1回、3回、5回の糖度が高くなったのは、重量が軽いことからわかるように、水分不足のため果汁が濃縮されたためだと考えられる。ところが1房重量では8回、Controlが重くなった。これは1回、3回、5回の区は水分不足のため生育障害を起こしたのに対し、水分不足にならず正常に生育したからと考えられる。以上の実験から100mlのミストを1回15分間発生させる栽培法では、5回と8回の境で生育、糖度、収量が区別されることがわかった。また1回、3回、5回の区で高糖度トマトが栽培できるとはいえ、収量がなければ経済栽培はできない。そこで実用化を目指すため、ミストを発生させる時間帯を変えると糖度や収量がどのように変化するか新たに探ることとした。

表3 収量及び糖度調査

試験区	糖度 (Brix%)	1果重量 (g)	1房重量 (g)
1回	10.6	8.3	25.2
3回	8.2	8.5	17.0
5回	8.6	8.5	17.6
8回	7.7	8.7	41.5
Control	7.6	8.8	44.0

(2) ミスト発生時間の違いによる生育及び糖度の比較試験

本試験ではミストの発生回数ではなく、水分を供給する時間帯によって糖度や生育が変化するかを調査する目的で行った。なおミスト発生回数は8回でも「しり腐れ病」の兆候があったことから11回発生させることにした。

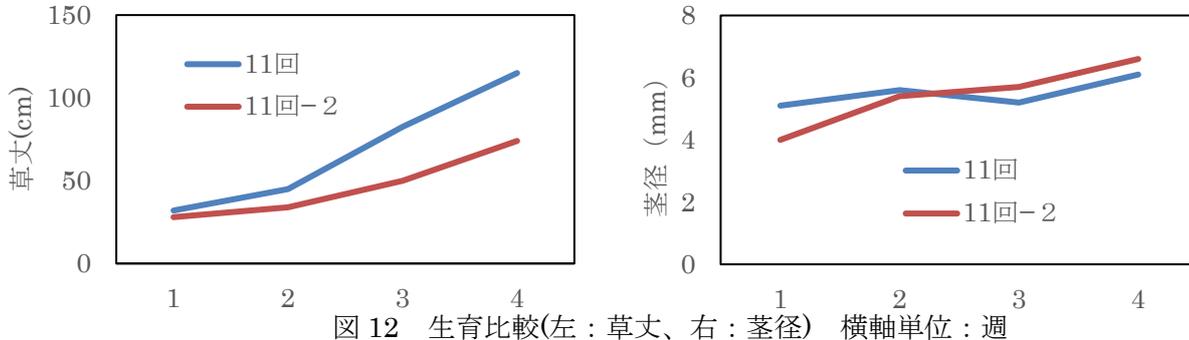


図12 生育比較(左：草丈、右：茎径) 横軸単位：週

表4 根の生育比較

試験区	根長 (cm)	根重 (g)
11回	53	26.5
11回-2 (昼9、夜2)	65.7	29.5



図13 11回-2の根

その結果、水分不足によって草丈及び茎径の伸長が大きく妨げられることなく、正常に成長した(図12)。また花数も果房も正常であった。さらに根の伸長もよく旺盛に生育している(表4)。特に日中に集中してミストを発生させた11回-2区では湿気中根が多く、根全体のボリュームもあった(図13)。1房重量では1日均等にミストを11回発生させても、日中を増やし夜間を減らしても大差なかった。しかし糖度においては昼夜の発生回数を変えた11回-2の方が32%以上高くなった(表5)。平均糖度11.5は最高級の高糖度トマトで、ミスト発生回数1回のものよりも高い。ではなぜ11回もミストを発生させたのに、糖度が高くなったのか考察してみた。

表5 収量及び糖度調査

試験区	糖度 (Brix%)	1果重量 (g)	1房重量 (g)
11回	7.8	8.3	49.8
11回-2 (昼9、夜2)	11.5	8.2	49.0

(3) 総合考察

高糖度トマトを作るポイントは、吸水の制限である。節水することで濃縮されたトマトになるからである。しかしトマトが糖度を蓄積するには、そもそも光合成でデンプンをたくさん合成する必要がある。図13で示したように光合成とは、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、夜間を減らした11回-2が高糖度となったのは、その光合成が行われる日中に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からだと考えられる。また夜間にミスト発生回を減らしたことで、従来の高糖度トマトの栽培技術のように水分

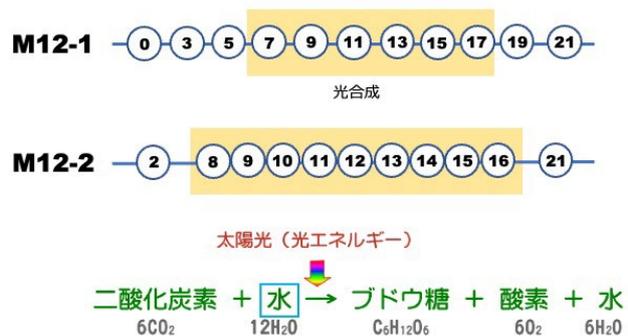


図14 ミスト発生時間帯と光合成の関係

の吸収が抑制され濃縮し、高糖度になったと思われる。つまりミスト栽培は、旺盛な光合成と水分吸収の抑制という2つの効果によって、水耕栽培ながら高糖度トマトを実現させたと考えられる。

【結論】

高糖度トマトは、一般のトマトの2～3倍の高値で取引されている。また高糖度トマトをブランド化し、地域の活性化を図ろうとする自治体もある。このように高糖度トマトは、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。しかし水耕栽培の場合は、基本的に養液に根を浸漬させて栽培するため、吸水を制限して糖度を高めるには複雑な技術などが必要なうえ、私たちの目標である貴重な水資源を有効に利用する節水農業ではない。

しかしこのミスト栽培法は、光合成の仕組みに基づいてトマトに供給する水分を直接制限するものであり、仕組みが簡単のため安価でとても管理しやすい。また一般に土耕で高糖度トマトを栽培する場合のかん水量は、1株あたり1日250mlが必要である。しかし土耕栽培では、供給した水は作物による吸収と蒸散以外は、ほとんどが土壤に染み込んだり蒸発するため、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1日10分間2回、合計300mlの養液が必要となる。ところがミスト栽培法では、1日1,100mlと4倍多く必要となる。これは水分を保持する土壤がないからである。しかし作物に吸収されなかった養液は、ミストの発生が止まるとすべて密閉容器内に戻るため回収できる。このように容器内で養液の再利用ができるので、1週間に約500mlの補給だけでよく、土耕の高糖度栽培やドリップ栽培よりも70%以上も少ない養水分で栽培できるのである(表6)。これは目標であった水資源の有効利用、節水という観点から見て極めて有利である(図15)。

表6 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

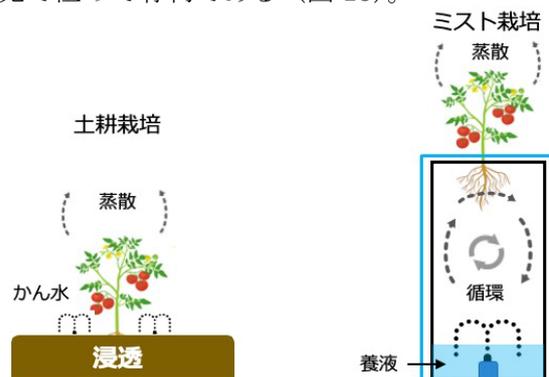


図15 水の行方(土耕栽培、ドリップ栽培：水の使捨て
ミスト栽培：水の繰り返し利用)

通常露地栽培はもちろん、乾燥地で現在行われているドリップ栽培、そして増えている水耕栽培においても作物は与えた水の3%しか吸収しない。しかし私たちが開発したミスト栽培では、本実験に用いた水耕栽培装置のわずか約30%の水で栽培できる。また超音波発生装置は省電力のため、エネルギー使用やCO2排出量を90%も削減できた(図16)。さらにミストの発生回数や時間をプログラムすれば、換金性の高い高糖度トマトも生産できることがわかった。紙面の関係から記載できなかったが、消費量の多いレタス、乾燥地で食べられるスイスチャードなどの葉菜、途上国の主食にもなるインゲンでも、この節水栽培で従来と同量の収穫量を得ることができた。以上のことから、この節水栽培技術は、貴重な水資源の有効活用と環境保全の2つの面からSDGsの実現に大いに貢献できるとも考えている。今後は栽培経験を重ね、新しい農業技術、環境技術として確立し、普及に努めるつもりである。

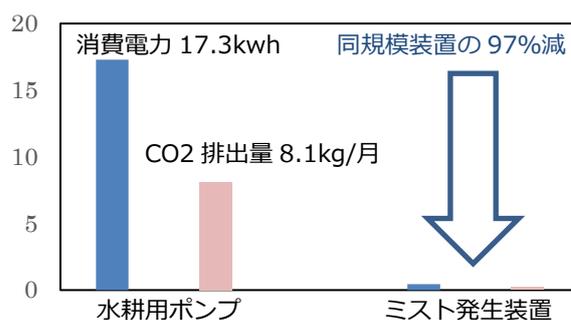


図16 消費電力とCO2排出量比較