ロックウール培地用水分センサの開発

田中和夫・石黒義昭*・安井秀夫

野菜・茶業試験場・* 矢崎計器株式会社

Development of Moisture Sensor for Rockwool Culture

Kazuo TANAKA, Yosiaki ISIGURO* and Hideo YASUI**

*National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea,
Chita, Aichi 470-23, Japan***Yazaki Keiki Co. Ltd, Tenryu, Sizuoka 431-33, Japan****National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea,
Aki, Mie 514-23, Japan*

This study was carried out in order to develop a moisture sensor for rockwool culture. The moisture sensor consists of a small cylindrical plastic probe ($50 \times 4 \times 4$ mm), in which a thermocouple and nichrome wire were buried and isolated from each other by a plastic resin. The probe was placed in the rockwool block, heated by the nichrome wire during 3 min, and the temperature was measured just before and after heating by the thermocouple. When the heat was transmitted to the rockwool block, the difference between the two measured values decreased in proportion to the thermal conductivity which depended directly on the degree of water saturation in the block. This difference was indicated as mV by the controller. Consequently, the reciprocal of the mV value showed a close linear correlation with the degree of water saturation. It was essential for standard monitoring in the rockwool culture that the probe remained in close with the lower part of the rockwool mat. The degree of water saturation which was measured automatically gave adequate information for the irrigation control system of rockwool culture.

(Received August 30, 1990)

1990年8月30日受付

結 言

ロックウール栽培では、つねに培地内の気相を確保し、根への酸素供給を図ると同時に、過度の乾燥による養水分の偏在化を防ぐために、培地として使用するマットの平均飽水度を 50% 以上に保つ必要がある¹⁾。マットへの給液方法が適切であれば、マット内の養水分分布が均一化するとともに、給液と排水の養分濃度を測定することにより、マット内の濃度を推定することができ、給液量を作物の吸収量より多くすることで、栽培を続けることができる²⁾。しかし、実際の栽培では、作物の養水分吸収が天候などにより変化するとともに、マット内の不均一な養液の移動が、作物の根の影響だけでなく、マット内の繊維密度の不均一およびマットの親水性の局所的な変化などの影響によっても発生する。また給・排水系の異常などでマット内の養水分が変動するなど、上述した好適な養液濃度および水分状態を維持できない例が多い。そのため、ロックウール栽培では培地内の養水分の量や組成を随時測定し、その変動に即応して養水分管理に必要な修正を加えることが望ましい。

培地の水分量の測定について、いくつかの方法が提案されているが³⁻⁶⁾、煩雑で実用性に欠けるか、定量的測定が困難であるなどの欠点がある。本論文ではロックウール培地用の水分センサの開発を行い、培地の養水分制御に使用が可能な結果を得たのでここに報告する。

材料および方法

1. 水分センサの構造および作製方法

長さ 4 cm のテフロンチューブ ($\phi 2.0$) の中央部に熱

Fig. 1 Structure of sensor of moisture meter produced for rockwool culture.

電対（銅とコンスタンタン， ϕ 0.3）を固定し，テフロンチューブの上をニクロム線（ ϕ 0.02）で巻き付けた．これを PBT（ポリブチルテレスタレート）樹脂で断面が 4 mm 角の棒状に成形した（Fig. 1）．水分測定の場合はニクロム線に 3 V の電圧を 1 分間かけ，その加熱前後の温度を熱電対で測定し，その出力の差をアンプで約 8000 倍に増幅し，ボルト（V）単位で出力させた．

2. 水分センサの校正および実測

水分センサとロックウールの水分量との関係をみるため 10×10×7.5 cm の育苗用ロックウールブロックの中央部に水分センサを挿入し，水分センサの出力値と重量変化から求めたブロックの平均飽水度との関係求めた．なお，水分センサの出力値はセンサからロックウール培地への熱伝導の大きさに依存するため，センサとロックウール培地の接触の程度によって出力値は違ってくる．実際の栽培ではロックウール培地を变形させることなく，水分センサーと一定の強さで密着させることが重要となる．そのため，Fig. 2 に示したように，ロックウールマットの上面と下面に水分センサを置く方法を検討した．マットは根を通さない布（ナイロンタフタ，東洋

Fig. 2 Rockwool mat wrapped in polyethylene film and position set up of EC sensor and moisture sensor.

紡製）で包み，水分センサに根が回らないようにするとともに，マットの下面に置く場合は，水分センサの下に 3 cm 厚さの発泡スチロールを埋め込んだ．マットの上面に置く場合は同様に厚さ 3 cm の発泡スチロールでセンサの上からセンサとマットが密着するように押さえた．この方法でマット（厚さ 7.5 cm，幅 30 cm，長さ 91 cm）の平均飽水度を変えて水分センサの出力値との関係求めた．次に，キュウリを定植後 40 日間栽培した Fig. 2 の構造のロックウール栽培ベッドで，マットの下面に水分センサを設置し，マットへの給液を停止させた後，30 分ごとに水分センサの出力値を求めた．

結 果

育苗用ロックウールブロックの中央部に挿入した水分センサの示す値と，ブロックの平均飽水度との関係を Fig. 3 に示した．水分センサの周辺に水分量が多いほど培地への熱伝導が大きくなり，ニクロム線の加熱によるセンサ部分の温度上昇が小さくなる．このため，加熱前後の温度差（水分センサの示す値）はロックウールの水分量とは逆比例する．ロックウールブロックの平均飽水度が 100% から 10% に低下すると，水分センサの出力値は 1 V から 2 V の範囲でほぼ直線的に変化した．次に，試作した 7 本の水分センサを各ブロックの中央部に挿入し，おのおののセンサの出力値から求めた値と，重量変化から求めた値と比較し，その測定精度をみると $\pm 10\%$ 以内であった（Fig. 4）．ただし，ブロック内へ

Fig. 3 Output of moisture sensor produced as a trial.

Output of moisture sensor was obtained as follows. Temperature rise by nichrome wire applied 3V for 3 min was measured by CC thermocouple, and its output was amplified 8000 times.

のセンサの挿入には注意を必要とし、ロックウールブロックと水分センサの接触が不十分であると、測定精度が著しく低下した。そこで Fig. 2 に示したように、ロックウールマットの下面に水分センサを置く方法で、水分センサの出力値を求めた。作成した 10 本の水分センサの平均値を Fig. 5 に示した。水中に入れたときのセンサの出力値は 0.60 V、空気中での出力値は 3.82 V であった。このセンサをマットの下面に設置し、マットの平

Fig. 4 Accuracy of the measured value obtained by seven moisture sensors.

Same symbol is value obtained by same moisture sensor. Solid line shows a expected value. Dotted lines shows $\pm 10\%$ range.

Fig. 5 Output of moisture sensor set up at bottom of rockwool mat.

(a): Output of moisture sensor in air,
(b): Output of moisture sensor in water.

均飽水度を変化させたときの水分センサの出力値は 95 % で 2.11 V, 80 % で 2.15 V, 60 % で 2.39 V, 40 % で 2.65 V, 20 % で 3.22 V, 0 % で 4.65 V であった。水分センサをマットの下面に置いた場合の出力値は、マットの平均飽水度に対して直線的には変化せず、平均飽水度の低い領域ではその値の変化が大きく、逆に平均飽水度の高い領域での変化が小さくなった。また、栽培ベッド内に過剰水がある場合の水分センサの出力値は、自由水面の高さが 2 mm で 1.71 V, 5 mm で 1.36 V, 10 mm で 1.15 V であった。このように栽培ベッド内に過剰水がある場合は、過剰水がない場合に比べ明らかにセンサの出力値が小さくなった。

次に、ロックウールマットの上に置く方法で求めたときの 10 本の水分センサの平均出力値は、マットの平均飽水度が 80 % で 2.41 V, 60 % で 2.91 V, 40 % で 3.33 V, 20 % で 3.64 V, 0 % で 4.57 V であった。栽培ベッド内に 5 mm 高さの過剰水がある場合の出力値は 2.28 V であった。水分センサをマットの上に置いた場合は、マットの下に置いた場合とは逆に、平均飽水度の高い領域での出力値の変化が大きくなった。

栽培中のマットの水分量の変化を水分センサで連続的に計測するため、キュウリを 40 日間栽培したロックウール栽培ベッドの下面に水分センサを設置し、給液停止後のマットの水分量の低下に伴う、水分センサの出力値の変化を求めた (Fig. 6)。給液停止後、キュウリの蒸散によりマットの水分量は低下し、それに伴い水分センサの出力値は上昇した。この上昇速度は最初は緩やかで、

Fig. 6 Change of output of moisture sensor set up at bottom of rockwool mat in cucumber culture after irrigation was stopped.

Two cucumber plants per mat ($30 \times 91 \times 7.5$ cm) were planted in May. Output of moisture sensor was measured at interval of each 30 min for five days after irrigation was stopped.

マットの水分量が低下するにつれ速くなった。また、給液停止5日後にキュウリがしおれ始めた。この水分センサの出力値は Fig. 5 で求めたマットの平均飽水度と水分センサの出力値との関係からみて、マット内の水分量にほぼ対応して変化した。なお、Fig. 6 で水分センサの出力値が蒸散の多い日中で小さく、逆に、蒸散が少なくなる前夜半に大きくなる傾向が認められた。また、給液が頻繁に行われる日中は、マット内の水分量の不均一分布も予想されることから、水分センサの信頼性の高い出力値は、日中から前夜半を除いた時間帯が好ましいと考えられる。

考 察

ロックウールマットは固相が約3%と小さく、ほぼ液相と気相の2相からなる培地である⁵⁾。水分センサは熱伝導の差からセンサ周辺の水分量を推定するもので、固相の小さなロックウールマットでの水分センサの出力値はほぼ水分量に比例して変化する。水分量と水分センサの出力値の関係は Fig. 3 にみられるように逆比例の関係が成立する。マットの平均飽水度を求めるにはマットの中央部にセンサを設置することが望ましいが、センサの出力値の精度を保つために、ロックウールマットとつねに十分に接触していることが前提となり、実際栽培ではマット内でのセンサの固定が問題となる。マットの中でなく上面や下面に水分センサを置く方法はセンサの固定が容易で、多少のセンサの移動も出力値に影響しがたい利点がある。マットの上にセンサを置く方法は、高い平均飽水度の領域での出力変化が大きくなる長所があるが、マットが一度乾燥しマットの上と下で毛管水が断ち切られた場合には、その後の出力値がマットの水分量を反映しない問題がある。次に、マットの下にセンサを置く方法は、高い平均飽水度の領域での出力変化が小さくなるが、過剰水の有無および出力値の経日変化により、センサ周辺の水分環境の推移を把握することができ、過剰水の防止とマットの平均飽水度の推定が可能であった。実験に使用した水分センサの出力値でマットの水分状態を示すと 1.0~1.4 V ではマットが完全に過湿状態、1.4~2.0 V ではマットが飽水状態、2.0~2.2 V では平均飽水度が約80%、2.2~2.5 V では約60%、2.5~2.8 V では約40%、2.8~3.4 V では約20%、3.4 V 以上では20%以下となった。

ロックウール栽培では日射量をベースにした給液方法が基本となっているが⁷⁾、さらに生育時期や生育ステージを考慮した給液管理方法も開発されてきた¹⁾。また、

実用場面では、マットの水分状態を毛管連絡の保たれている自由水面の高さから検知する方法も用いられている。しかしながら、マット内の水分状態を直接、測定する実用的な方法はなく、試作した水分センサはこれに対応しうる簡易で実用性の高いものである。とくに、マットの水分状態の変化を、メンテナンスフリーで連続的に定点計測できることは、精度の高い培地管理技術を確立するのに有効である。マットの水分状態は給液量、水分センサの出力値および排液量を検知し、これらの値をもとに給液量を調整することで合理的な培地管理が成立する。また、以上の水分センサの出力値はすべてコンピュータによる入出力ができ、自動制御による高精度の培地管理も可能である。

摘 要

ロックウール栽培の培地管理を安定化させるために、培地内の水分状態を検知できるセンサを作製し、その実用性を検討した。

1. 水分センサは一定時間内のニクロム線の加熱による温度上昇幅を熱電対で測定し、その大きさにより水分量を求める方法を用いた。形状は長さ50 mmで4 mm角の棒状の樹脂の中にニクロム線と熱電対を埋め込んだ。

2. 水分センサの出力値の逆数は、ロックウール培地の水分量と直線的な関係が成立した。なお、実用的には培地とセンサとの接触面をつねに安定化させるため、センサをマットの下に設置することが適していた。

3. 培地内の水分状態および水分センサの出力値は、後夜半から早朝にかけてが安定しており、この時間帯での水分センサの出力値の経日変化から給液量を修正する方法が培地管理の精度の向上に役立つことを認めた。

文 献

- 1) 青柳光昭. 1990. 「施設園芸における高度化技術の活用」135-178, 全国農業協同組合中央会, 東京.
- 2) 佐々木皓二. 1987. 水分センサを用いた給液制御法による数種固形培地耕. 園学要旨, 昭 62 秋 350-351.
- 3) 菅沼健二・青柳光昭. 1988. ロックウール栽培における給液管理技術の開発 (第1報). 愛知農試研報 20: 200-204.
- 4) 田中和夫. 1987. 固形培地新素材およびセンサの開発. 農及園 62: 111-118.
- 5) 田中和夫・安井秀夫. 1990. 養液栽培用ロックウール培地の利用. 生物環境調節 28: 165-170.
- 6) 田中和夫・安井秀夫. 1990. 養液栽培用ロックウール培地内の養液の移動および排出. 生物環境調節 28: 171-176.
- 7) 安井秀夫. 1986. 固形培地式養液栽培の理論. 農及園 61: 147-159.