ブドウの生体情報の測定と解析による土壌水分管理法の指標化(第1報)

環境要因の影響による茎径変化の分析

今井俊治・岩尾憲三*・藤原多見夫

広島県果樹試験場・*中部電力電気利用技術研究所

Measurements of Plant Physiological Information of Vine Tree and Indexation of Soil Moisture Control

(1) Analysis of Stem Diameter Variation Affected by Environmental Factors

Shunji IMAI, Kenzo IWAO* and Tamio FUJIWARA

Hiroshima Fruit Tree Experiment Station, Akitu-cho, Hiroshima 729-24, Japan

**Electrotechnological Applications R & D Center, Chubu Electric Power Co., Inc.,
Nagoya 459, Japan*

This paper reports the method to measure the stem diameter variation of vine tree (Kyoho) by using a strain-gauge type micro-displacement detector and its application to analyze water content in plant tissue. Our purpose is to establish how to control soil moisture conditions for the restricted root sphere cultivation of Kyoho tree. The results of this study are as following.

- (1) The optimal measuring portion of stem diameter variation were the cane.
- (2) The relationship between stem shrinkage and water potential in stem tissue were expressed as linear regression lines with high coefficient of correlation.
- (3) The water deficit of the tested vine trees were easily analyzed by the stem diameter measurement.
- (4) The water content variation was mainly affected by the irradiation intensity and secondarily by maturing to the soil.

(Received March 14, 1990)

1990年3月14日受付

緒 言

植物工場に代表される栽培技術の最先端では、環境条件に対応する植物体の変化を電氣的に計測し、生育を制御する手法が進んでいる。果樹栽培においても、技術の高度化、施設化が進む中で、生体の状況変化を非破壊で、連続的に監視し、生育をコントロールすることができれば、高品質な果実を的確にかつ効率よく生産する技術体系が短期間に確立できると考えられる。

本課題は、ブドウの早期成園化を目的とした根域制限栽培¹⁻³⁾において、根群が土壌水分と鋭敏に対応していることに着目し、樹体の水分生理に関する生体情報を測定、解析することにより、土壌水分管理法の指標化を図

ろうとするものである。本報では、茎径変化測定法を用いてブドウ樹の体内水分動態を非破壊で把握する手法の確立を試みた。まず、樹体各部位の茎径変化量、変化パターン、変位センサーの取付けやすさ、測定の安定性等を評価し、ブドウの体内水分指標としての茎径変化測定の適正な部位を決定し、次に、環境要因が茎径変化に及ぼす影響を検討した。

材料と方法

屋根かけのパイプハウス内に75 cm×115 cm間隔で配置したコンテナ植え結果巨峰樹(4年生, 3309台, コンテナ内土壌容積32 cm×48 cm, 土壌の深さ22 cm, 約33 l, 1987年3月中旬に尺鉢植えからコンテナに移植)30樹のうちから、生育の状態が標準的な個体を選び供試樹とし

た。また、茎径の光照射に対する基本的反応の測定はビニールポット（長径 30 cm, 底径 23 cm, 高さ 33 cm, 土壌容積約 12 l）植えの結果樹を人工気象室内に搬入して行った。樹体管理は 14 節で摘心を行い、副梢葉は 2 枚を限度に摘心した。灌水は土壌分張力 pF 値 1.8 で自動とし、円形ノズル散水方式とした。

茎径変化の測定には歪ゲージ式変位計（UL ゲージ、定格変位 ± 0.4 mm, 定格荷重 20 g）を用いた。変位計の取付けは岩尾ら⁴⁾の方法に従った。つまり、変位計本体をゴムバンドで茎にしぼり固定する。次に、変位感知レバーへ茎径の変化が伝達されるように、ピンチコックを取り付ける。ピンチコックのネジでレバーの傾きを任意に調節することにより、茎の肥大に伴うゼロ点のシフトを定期的に補正することができる。なお、茎径の変化が、確実に変位感知レバーへ伝達されるように、茎と同レバーの間にゴム管片を挿入し、スプリングの働きをさせる。変位感知レバーの傾きは変位計のケースに収納されている歪ゲージの抵抗の変化に変換され、さらにブリッジ回路を介して、電圧変化として増幅記録される。

1. 茎径変化の適正測定部位の決定

コンテナ植え樹 1 個体を供試し、(1) 母枝、(2) 果房着生部の下部茎（第 3, 4 節間）、(3) 果房着生部の上部茎（第 7, 8 節間）の茎径変化を測定した。測定は 1987 年 6 月 5 日から開始した。供試樹の生育段階は果粒初期肥大期である。

2. 茎径変化の基本的反応

茎径変化の測定部位は母枝の茎径とし、6 月 21 日に測定を行った。人工気象室内の気温は 24°C, 照度は 20 klux で 10 時間明期、14 時間暗期とした。なお、供試樹の結果枝長は 82 cm であった。

3. 茎径の日変化特性と自然環境要因との関係

コンテナ植え樹を供試した。6 月 3 日以降連続して行っている茎径の日変化測定の中から、とくに晴天（6 月 17 日）、曇天（6 月 13 日）、雨天（6 月 15 日）の代表的な測定結果について検討を加えた。茎径の測定部位は母枝とした。日射強度の測定は農試電試式日射計を用いた。

4. 遮光に対する茎径反応

試験 3 の供試樹について 6 月 11 日の晴天日に午後 1 時過ぎよりパイプハウスの屋根に水田シートをかぶせ 3 時間遮光した。茎径の測定部位は母枝と果房着生下部（第 3, 4 節間）とした。

5. 灌水に対する茎径反応

試験 3 と同じ供試樹を用いた。土壌への灌水指令は電気接点式のテンシオメーターにより行い、動作点は pF 1.8 とした。測定は 6 月 12 日で、12 時 30 分に灌水が

行われた。1 回の灌水時間は 90 秒で灌水量は約 20 mm とした。茎径の測定部位は母枝と果房着生下部（第 3, 4 節間）とした。

6. 体内水分状態と茎径変化の関係

材料はコンテナ植え樹 6 個体を用いた。供試樹は果房着生樹で、あらかじめ本葉を 20~25 枚に維持し管理を行った。体内水ポテンシャルの測定はプレッシャーチャンパーを用い、6 時から 24 時まで約 1 時間ごとに、本葉を 2~3 枚無作為に採集して行った。測定日は 8 月 11 日で快晴であった。なお、茎径変化の測定は体内水ポテンシャル測定以外のコンテナ植え樹の母枝とした。

結 果

1. 茎径変化の適正測定部位の決定

Fig. 1 に示すように、各部位の茎径の日変化は日射強度の増加に伴って収縮し、逆に日射強度の低下により膨張した。また、そのパターンは日射強度の変化パターンに強く依存することを認めた。各部位の茎径の日変化は、木質化した母枝および果房着生部の下部で安定した曲線を示し、果房着生部の上部ではやや不安定であった。このことは、茎の組織が軟弱なことによる茎の変形または圧平によるものと観察された。

2. 茎径変化の基本的反応

Fig. 2 に示すように、茎径は光照射により収縮し、明期の間持続した。これに続く暗期に収縮の回復と肥大が見られた。収縮開始直後に見られる一時的な回復は、さらに収縮が進むのを防ごうとする気孔の能動的閉塞によるものと考えられた。

3. 茎径の日変化特性と自然環境要因との関係

Fig. 3 に示すように、茎径の日変化は晴天日で最も大きく、次いで曇天日、雨天日の順であった。雨天の日変化はほとんど見られなかったが、時折天空が白む程度の日射強度の増加（6 月 15 日 15 時~16 時）でも、わずかではあるが明瞭な茎径の収縮が生じることがわかった。日変化における茎径の最大の収縮量は晴天日で最も大きく 0.26 mm, 次いで曇天日の 0.11 mm であった。ただし、収縮量は日の出直前、すなわち収縮開始前の茎径との差とした。雨天日での収縮はほとんど見られず、単調な肥大直線に重畳しているため判読は困難であるが、肥大直線からの低下としてとらえると、わずかな日射強度の増加により 0.04 mm の収縮が生じていることがわかった。

4. 遮光に対する茎径反応

Fig. 4 に示すように、日射強度は遮光により 0.5 cal/cm²・min から 0.1 cal/cm²・min 以下に減少した。茎径は遮光後ただちに膨張を始め、3 時間後遮光を解除するこ

Fig. 1 Daily diameter variation of cane, upper and lower part of fruit cluster on stem.

Fig. 2 Basal response to lighting of stem diameter of vine tree (Kyoho).
Rem) Growth chamber, Temp. 24°C, 21. June.

Fig. 3 Typical patterns of stem diameter variation under various weathers.

Fig. 4 Response of stem diameter to shading.

Fig. 5 Response of stem diameter to watering.

とによって直ちに収縮をはじめた。ただし、日没が始まったため収縮から膨張に転じた。茎径変化量は、木質化した母枝径より組織の柔らかい結果枝で大きかった。

5. 灌水に対する茎径反応

Fig. 5 に示すように、土壌水分張力は日射強度とともに増加し、12時30分に灌水指令値 $pF\ 1.8\ (63\ \text{cm}\cdot\text{H}_2\text{O})$

Fig. 6 Daily variation of water potential in plant tissue and stem diameter (Kyoho).

に達し灌水が行われた。これは日射により葉面からの蒸散が増加し、土壌の水分が失われていくことに対応すると考えられた。茎径の変化は灌水により過渡的な膨張後、横ばいで推移し、日没とともに通常観察される膨張のパターンを示した。その変化量は母枝に比べて、果房着生下部の茎で大きかった。

6. 体内水分状態と茎径変化の関係

体内水ポテンシャルの推移は Fig. 6 に示すように、日の出とともに高まり、12時には最高値 -12.8 barに達した。15時以降は徐々に回復に向かい午前0時には -0.5 barまでに回復した。つまり、ブドウ樹の体内水分ストレスは日中には相当に厳しくなり、夕方から回復に向かい早朝にはなくなった。茎径変化と対比して見ると、体内水分欠乏に伴う茎径の収縮過程と体内水分回復に向う茎径の膨張過程は類似の変化パターンを示した。茎径収縮量と体内水ポテンシャルの関係は Fig. 7 に示すように、ヒステレシス曲線を描くが、全体としてはほぼ直線的な関係が認められ、その回復式は、 $Y=0.099X-0.6$ 、相関係数 $r=0.912$ で示された。なお、ヒステレシス曲線は、茎径変化が水ポテンシャルの変化に対し、時間遅れを伴うためである。

考 察

植物の体内水分状態を測定、評価するために、古くからさまざまな方法が開発、利用されている。Kozlowski⁵⁾は1957年に移植後の苗木の体内水分欠乏程度を評価するために、デンドログラフを利用して茎径の日変化を測定している。また、1971年にはKlepperら⁶⁾は、茎径変化の測定に差動トランスを利用している。しかしながら、両方法は取扱いやセンサー部の温度ドリフトの変動等で測定器としては限界をもっている。

関山ら⁷⁾はストレンゲージ式変位-電圧変換器を用い、変換器のレバーが茎径の変化に伴い変位するように、金

Fig. 7 Relationship between water potential (Y) and stem diameter shrinkage (X).

属線を巻いてセットし、茎径変化の測定に好成績を得ている。本試験では、岩尾ら⁴⁾が考案した金属線のかわりにピンチコックを利用した方法に従った。

まず、ブドウ巨峰の茎径変化測定法を確立するため、樹体各部位の茎径変化量、変化パターン、変位センサーの取付けやすさ、測定の安定性などを検討した。新梢の茎は組織が軟弱なことによる茎の変形、圧平が観察され本方法では不安定と認められた。しかし、母枝は測定の安定性が高く、適正な部位と考えられた。

植物の茎径が膨縮変化することから、体内水分変化状態を検討した試験はこれまでに多く見られる⁵⁻¹³⁾。長野ら¹⁰⁾は、水耕栽培のブドウ、キャンベルアーリーとロシアヒマワリについて、葉の水ポテンシャルと茎径変化との関係を報告し、水欠量と茎径収縮がほぼ比例関係にあるとした。また、岩尾ら¹³⁾のブドウ巨峰を用いた報告とも一致する。本試験においても、ブドウ巨峰の茎径の日

変化と葉柄部における水ポテンシャルは類似したパターンを示し、高い相関を示した。以上から、茎径変化の測定により樹体内水分欠乏を非破壊で連続的に把握できることが確認された。もちろん、容易に茎の肥大を非破壊連続測定できることはいうまでもない。

茎径収縮、すなわち体内水分欠乏に及ぼす自然環境因子として、天候の異なる環境条件をとりあげた。自然条件下では日射が環境変化の主要因と見られることから、茎径収縮は日射強度に強く依存しているといえる。このことは、遮光により茎径収縮の回復が見られることから明らかである。岩尾ら¹³⁾はトマトを用いた試験で、茎径変化は蒸散流量の変化により生じていることを推察している。つまり、日射の強さに応じ、気孔の開閉が生じて、蒸散量の変化と木部の負圧変化をもたらし、茎径が変化することが推察される。したがって、ブドウ樹の体内水分動態は天候に左右され、樹体もこれに敏感に反応していることは明らかである。なお、空気湿度も茎径変化とよく似た変化を示すものの、日射強度に対して付随的なものと考えられる。また、土壌への灌水は茎径収縮を抑制させることから、茎径の収縮は体内水分の減少に依存し、土壌の灌水は体内水分回復への一要因と考えられた。なお、茎径変化に関与する主要な環境要素の要因分析の結果については、いずれ報告したい。

摘 要

茎径変化測定法をもちいて、ブドウ巨峰樹の体内水分動態を非破壊で把握する手法を確立するとともに、茎径変化に及ぼす環境要因の影響について調査した。

1. 茎径変化の測定部位は母枝が安定で、適正部位と考えられた。

2. 茎径収縮量と体内水ポテンシャルの関係は、一次の回帰式で表され、高い相関を示した。

3. したがって、茎径変化の測定により、体内水分欠乏を非破壊で連続的に把握できることが確認された。

4. ブドウ樹の体内水分動態は日射強度に強く依存し、土壌への灌水は体内水分回復への従属的な一要因と考えられた。

文 献

- 1) 今井俊治・藤原多見夫・古井シゲ子. 1986. ブドウの早期成園化に関する研究(第3報) 根域制限法の相違と植え付け当年の収量, 樹体生育. 園学要旨. 昭61秋: 110-111.
- 2) 今井俊治・岡本五郎・遠藤融郎. 1987. 密植・根域制限による4倍体ブドウの早期成園化と結実安定. 広島県試研報 12: 1-9.
- 3) 今井俊治・藤原多見夫・古井シゲ子. 1987. ブドウの早期成園化に関する研究(第4報) 根域制限栽培による樹生育と収量の年次変化. 園学要旨. 昭62秋: 106-107.
- 4) 岩尾憲三・高野泰吉. 1988. 植物生体情報の計測手法の開発とその応用に関する研究(第1報) 植物体内水分の非破壊連続測定法の開発. 生物環境調節 26: 139-145.
- 5) Kozłowski, T. T. 1957. Diurnal variations in stem diameters of small trees. Bot. Gaz. 128(1): 60-65.
- 6) Klepper, B., V. D. Browning and H. M. Taylor. 1971. Stem diameter in relation to plant water status. Plant Physiol. 48: 683-685.
- 7) 関山哲雄・岡部勝美・羽生広道・岩尾憲三・藤野安朗・野口和揮. 1980. 植物生体情報の工学的計測と処理に関する研究(第2報) 茎の膨張特性ならびに葉身の電気特性と葉温振動. 電中研研報 479011: 1-18.
- 8) Kozłowski, T. T. and C. H. Winget. 1964. Diurnal and seasonal variation in radii of the tree stems. Ecology 45: 149-155.
- 9) ニノ方兼武・宮里 満. 1959. 歪計による樹幹直径の日変化測定. 鹿児島大農学報 9: 76-88.
- 10) 長野敏英・島地英夫. 1976. 植物の水分状態とその制御に関する研究(1) 水分状態の測定について. 農業気象 32(2): 66-71.
- 11) Kadoya, K., K. Kameda, S. Chikaizumi and K. Matsumoto. 1975. Studies on the hydro physiological rhythms of citrus trees. Cyclic fluctuations of leaf thickness and stem diameter of natsudaikai seedling. J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. 44: 260-264.
- 12) 関山哲雄・羽生広道・岡部勝美. 1982. 環境ストレスに対する植物生体反応の連続的測定法の開発. 電中研研報 481016: 1-33.
- 13) 岩尾憲三・高野泰吉. 1988. 植物生体情報の計測手法の開発とその応用に関する研究(第2報) 植物体内水分動態の諸特性. 生物環境調節 26: 163-170.