

# ブドウの盛土式根圏制御栽培法に関する研究

金原 啓一<sup>1)</sup>

## 目 次

総合要旨	1
summary	3
第1章 序論	5
第2章 システムの概要	7
第3章 ブドウ‘巨峰’の盛土式根圏制御栽培における吸水量測定と日射量に基づく灌水管理法	10
第4章 栽植様式および培土量の違いが、ブドウ‘巨峰’の根圏制御栽培樹の根系パラメーターおよび地上部の生育に及ぼす影響	19
第5章 ブドウ‘巨峰’の根圏制御栽培における秋期施肥窒素の樹体内分配および翌年の移行	29
第6章 総合考察	32
謝 辞	35
引用文献	35

1) 現栃木県農政部経営技術課

## 総合要旨

栃木県におけるブドウ栽培の現状を打開し、後継者に魅力あるブドウ経営を提案するために、早期多収、結実安定、環境負荷低減を同時に実現できる技術を、データと理論に基づいて開発し、"盛土式根圏制御栽培" (以下、本栽培法) と名付けた。

### 1. ブドウ'巨峰'の盛土式根圏制御栽培における吸水量測定と日射量に基づく灌水管理法

本栽培法における、生育ステージの日射量に応じた灌水管理による、設定が簡便で、しかも環境負荷も低減することができる、節水型の灌水管理法を開発した。本論文では、水ストレスが無い条件下での平均吸水量を気象的に推定し基準吸水量を求めた。次に、相対吸水量および相対灌水量という2種類の係数を導入して、実際の吸水量や灌水量を、基準吸水量×相対吸水量、あるいは基準吸水量×相対灌水量で表現し、相対吸水量や相対灌水量の大小によって吸水・灌水量の多寡を議論した。日積算日射量 (x) と樹体の日吸水量 (y) の間に、 $y=0.250x$  ( $r=0.671$ ,  $p<0.001$ ) の密接な比例関係があることを明らかにした。晴天日の1樹当たりの日吸水量および相対吸水量は、生育ステージが進むに伴って増加し、成熟期には基準吸水量以上の吸水量となった。また、曇雨天日の相対吸水量は生育ステージとともに減少することを明らかにした。水ストレスの無い条件下での樹体の吸水量を基に、高品質・多収を実現できる灌水管理法を生育時期別に検討し、日射条件の異なる地域や作期に応用する場合を考え、葉面積4.5 m<sup>2</sup>/樹程度の、本栽培法における基準吸水量、および相対灌水量に基づいた、量的灌水管理法を開発した。本管理法は、生育ステージに応じて年3回、日灌水量を設定するのみであることから、簡便な方法である。本制御法により、発芽期から収穫終期までの総灌水量は、pFセンサーによる灌水管理と比較して、46～47%の節水が図られるとともに、成熟期では、系外への排水が大幅に減少し、環境負荷軽減が図られた。

### 2. 栽植様式および培土量の違いが、本栽培法の根系パラメーターおよび地上部の生育に及ぼす影響

地上部の仕立て方および樹冠面積を同程度とし、樹体生育、収量および画像解析に基づく根系パラメーターの特徴について比較検討した。本栽培法では、地植え栽培と比較して、より根系が発達していた。とくに養水分吸収に重要な役割を持つ細根は、地植え樹と比較し、総根長は4.7倍、総表面積は3.8倍であった。本栽培法では、1枚の葉を維持するために地植え樹の5倍の細根表面積を必要とすることを明らかにした。また、培土量が多いほど、地上部の生育は旺盛となり果実品質は劣り、培土量が少ないほど地上部の生育が抑制され、結実安定、果実品質向上が図られた。用いた培土量の範囲では、単位葉面積に対し1.4～1.6倍の細根の表面積が必要であることを明らかにした。根径 0.5 mmの細根が養水分吸収に主要な役割を担っていることを明らかにした。

### 3. 本栽培法における秋季施肥窒素の樹体内分配および翌年の移行

本栽培法における、秋季施肥窒素の樹体各器官への分配および新器官への移行を15Nトレーサー法を用いて定量的に検討した。本栽培法では、施肥窒素の吸収効率が高く、秋季施肥窒素の利用率は32.6%と、地植え樹と比較して高い。その内22.3%が葉へ分配され、収穫後の光合成能維持に利用されるとともに、69.9%が枝や根などに貯蔵された。翌年、枝や根などに貯蔵された窒素の31.0%が、葉や新梢などの地上部の新器官に再移動し、特に展葉時期の早い低位の1, 2, 3葉では寄与率が含有窒素の38.8%と非常に高くなることから、秋季施肥窒素は初期生育確保のため貯蔵態窒素として機能していることを明らかにした。

ブドウの日射量に応じた水分吸収特性，根系の発達および窒素吸収特性に関する知見はブドウの研究に大きく寄与し，それらを総合して開発した，本栽培法は，早期成園化，多収，環境負荷低減など，ブドウ生産の課題を一気に解決できる技術であると期待される。

**キーワード：**ブドウ，環境負荷低減，量的灌水管理法，生育ステージ，節水

# Studies on a new root restriction culture with soil mounding for grapes

## Summary

### 1. Measurement of water consumption in 'Kyoho' grapes under soil-mound rhizosphere restricted culture and their irrigation management program based on the amount of solar radiation

Water consumption of 'Kyoho' grape at each growing stage was studied to develop a simple and practical irrigation program for the soil-mound rhizosphere restricted culture in a plastic house to reduce the load on the environment. It was considered that any management by tension meters would be difficult due to the uneven water content in the soil-mound and the large fluctuation in the water content depending on the location of the tension meters in the plastic house. A correlation of  $y=0.250x$  ( $r=0.671$ ,  $p<0.001$ ) was observed between the solar radiation intensity ( $x$ :  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) and water consumption ( $y$ :  $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{tree}$ ). Average water consumption (AWC) per  $\text{m}^2$  leaf area on fine days was 1.3 L at flowering, 1.0 L as the berry enlarged, and 1.3 L at the ripening stage, respectively. AWC did not differ in relation to the growth stage on cloudy/rainy days. Suitable amounts of daily irrigation were investigated. By controlling the daily irrigation based on the water consumption of the grapes and the amount of solar radiation, annual irrigation could be reduced by 46 to 47 % of the conventional irrigation method based on the tension meter, proving the efficiency in lowering the load on the environment while producing high quality grapes.

### 2. Image analysis of root system and vine of 'Kyoho' grapes growing on rhizosphere restricted culture

The parameter of the root system was evaluated from the growth of the vine and the yield by adopting the image analysis method of the vine, by growing the vines on the same training system with similar canopy surface, but in different soil volumes. The soil used in this experiment had good water permeability owing to its high ratio of the gaseous phase, thus could not hold water and was apt to be dry, but the soil humidity was considered to be controlled easily. As 40% of the total dry matter was distributed to the roots in the rhizosphere restricted culture (RRC), the root system developed and the T/R ratio decreased than in on-the-ground culture (OGC). Total length and total surface of root in the RRC with a soil volume of 150 L was 4,323 m and  $12.2 \text{ m}^2$ , which were longer 4.5 times and longer 2.9 times respectively of the OGC vines. Total length and total surface of fine roots which have significant role in water absorption were 4.7 and 3.8 times respectively of the OGC vines. Data suggested that vines in the RRC which are apt to encounter heavy water deficiency need good development of fine roots to form a mat to maintain a root surface/leaf ratio of 5 fold compared to the OGC which is free from heavy water deficiency. In soil volumes of 30, 60, and 90 L, the larger the soil volume, the higher was the vigour and the T/R ratio, but fruit quality decreased. When the vine canopy surface was maintained on decreased soil volumes, fruit set and fruit quality both increased. As the vine encounter heavier water deficiency, more surface of fine roots than

surface of leaf is necessary to maintain the vine. A ratio of 1.4 to 1.6 in surface of fine root/leaf was considered necessary in the range of soil volumes tested. Fine roots with a diameter of 0.5 mm was estimated to have a major role in water absorption. A correlation of  $y = 571.05x$  ( $r = 0.475$ ,  $p < 0.001$ ) and  $y = 143.78x$  ( $r = 0.859$ ,  $p < 0.001$ ) was observed between dry weight of fine roots ( $x$ ) and root length and root surface ( $y$ ), thus showing a high efficiency of estimating the root length and root surface by root dry weight.

### **3. Distribution of autumn fertilized nitrogen and its translocation the next year within grape vines under rhizosphere restricted culture**

Reserve nutrition is an important element in tree fruit production, by improving early growth in spring. Absorption, distribution and translocation of nitrogen fertilizer applied in autumn were studied quantitatively by using  $^{15}\text{N}$ -Nitrogen. Absorption rate by grape vines was stimulated under rhizosphere restricted culture owing to the high density of fine roots: 32.6% of autumn applied nitrogen was absorbed in one month by the vine under rhizosphere restricted culture. Twenty two% of the absorbed autumn nitrogen was distributed to the leaves and used for maintaining the ability of photosynthesis, and 69.9% was stored in the canes and the roots.

Thirty one percent of the stored nitrogen was redistributed to new shoots and leaves in spring.

As the three basal leaves of the new shoots contained 38.8% of the redistributed nitrogen, it was apparent that autumn fertilizer contributes as a source of nitrogen for early growth.

**Key words** : grape, growth stage, lowering the load on the environment, quantitative irrigation, water saving

## 第1章 序 論

世界のブドウ生産は、温帯を代表する果樹として、ヨーロッパ、アメリカを中心に生産されており、柑橘類やリンゴとともに世界で最も栽培されている果樹類の一つである。日本においても柑橘類、りんごに次いで生産量の多い代表品目である。

栃木県の2007年度における農業産出額は2634億円となっており、その内、園芸作物が956億円、果樹生産は102億円、3.9%を占めている。果樹生産の内訳は日本ナシが67億円で65.7%、ブドウが20億円で19.6%を占めている（栃木県農政部，2009）。

栃木県におけるブドウ生産は、昭和30年代には畑作の換金作物として作付けされ、昭和40年代には水田転換作物として‘キャンベルアーリー’等の作付けにより面積が増加し、昭和50年代からは‘巨峰’への更新が進んだ。しかし、栽培面積は昭和51年の438 haをピークに減少に転じてきた。2008年には265 ha栽培され、生産量は200 t、産出額20億円、京浜市場の占有率1.5%となっており、全国8位の生産県である（栃木県農政部，2009）。主な産地は県南部の岩舟町や大平町であり、水田転換とともに増反が図られ、現在では両町で栃木県全体のブドウ栽培面積の80%を占めている。品種構成は‘巨峰’や‘キャンベルアーリー’が中心であるが、近年では、‘キャンベルアーリー’が減少傾向であり、‘ピオーネ’、‘シャインマスカット’、‘安芸クイーン’など多様な品種が導入されている。特に‘巨峰’は、生産量の約60%を占める主力品種であり、品種が導入された昭和50年代頃から今日まで30年以上にわたって、本県ブドウ生産の中心的な品種となっている。また、‘巨峰’だけの生産量は171 t、京浜市場の占有率は3.2%と、長野県、山梨県に次ぐ、全国3位の主産県である（栃木県農政部，2009）。また、栃木県におけるブドウ生産は施設化が進み、全栽培面積の28%の73.3 haが施設栽培となっている。作型は加温、無加温、雨よけ栽培など多様に分化し、品質向上、作業分散、経営安定に寄与している。

栃木県では、ブドウ生産の主産地の大半が黒ボク土壌であるため、主力の4倍体品種の、‘巨峰’は、樹勢が旺盛となり新梢の徒長や花振るいによって結実が不良となりやすく生産が不安定であった（中田，1966；中田ら，1976）。このため、栃木農試では生産安定対策として‘巨峰’の強勢な新梢に対する生育調節剤の開発（中田，1969）、樹冠拡大と弱せん定および施肥

改善技術等（中田ら，1979；粕谷ら，1981；松浦ら，1982）を開発し、産地の発展に寄与してきた。しかし、近年では老木化の進行により、収量（生産量/結果樹面積）が2006年度には10 a 当たり939 kgと1000 kgを下回り、2005年度対比で83.5%と年々深刻な低下傾向にある。また、生産性を回復させるためには、老木園を改植する必要があるが、紋羽病などの土壌病害の発生などによって、思うように進まないのが現状である（栃木県農政部，2008a）。また、近年の経済状況の悪化により需要は伸び悩み、結果として単価は低迷しており、生産量の低下および低単価の両方が組み合わさった、厳しい経営環境が続いている。このため、最近10年間の新規就農者でブドウを志向した者はわずか3名で、新規就農者に占める割合は0.1%と、栃木県の主要農作物の中でも最も低い、魅力のない作物になっているのが現状である。

ブドウ栽培における根域制限栽培および水気耕栽培は早期成園化、果実品質向上、多収を目的として、4倍体ブドウの密植・根域制限栽培（今井，1991）、‘巨峰’の水気耕栽培（安田・小豆沢，1997）、‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の人工培地と底面給液・培養液循環栽培（田村・藤井，2003）など、これまで多くの研究が行われており実用化されている。栽培の方式は、埋め込み式（王ら，1997）や盛土式（今井，1991）、ポット式（今井，2009）など多岐にわたっている。

栃木県農業試験場では、以上述べた栃木県におけるブドウ栽培の現状を打開するとともに、後継者に魅力あるブドウ経営を実践してもらうために、早期多収、結実安定を同時に実現できる技術として根域制限栽培（金原ら，2000；2001；2002；2004；2005；2009；金原・岸，2001；岸・金原，2003）の研究を行ってきた。実験には、栃木県内で60%以上を占める主要品種の‘巨峰’を使用し、さらには導入コストの低減を図るために盛土式根域制限栽培法を採用し、生産現場への普及を第一に考えた技術開発を行った。とくに、灌水制御は根域制限栽培の生命線であるが、これまでの研究では、テンシオメータによる制御が一般的であり、灌水量的管理法の研究は行われていない。そこで、盛土式根域制限栽培において、生育ステージ毎の日射量に応じた灌水管理による、設定が簡便で、しかも環境負荷を低減することもできる節水型の灌水制御法を、データと論理に基づいて開発した。

著者らは、本方式を“盛土式根圏制御栽培”（以下、

本栽培法)と名付け、栃木県内への普及を図っている。

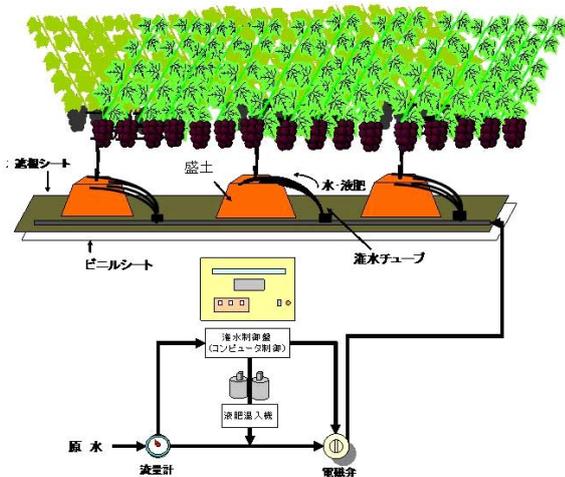
本論文では、第2章で、本栽培法のシステムの概要、培土の種類、盛土の設置方法、栽培棚の設置方法、灌水装置等を詳述した。第3章ではブドウ‘巨峰’の生育ステージ別吸水量と日射量の関係を明らかにし、それに基づく灌水管理法を確立した。第4章では本栽培法における地上部と地下部の相互関係を明らかにする目的で、画像解析法による根系の特徴の解明した。第5章では、本栽培法におけるブドウ樹体内の窒素の動態を安定同位体を使用して解明した。

## 第2章 システムの概要

本章では、本栽培法のシステムの概要（第1図）および設置方法、樹体管理法等について詳説する。

### 1. 本栽培法の主な特長

- ① 本栽培の特長は、遮根シートの上に培土を盛り根圏を制御する方法である。そのため、過剰灌水による湿害の発生がなく、樹勢をコントロールすることができる。
- ② 本栽培法の灌水は、1回当たりの灌水量を少なくし、1日の必要量を数回に分けて与えるドリップ灌水法であり、植物の生育に合わせた養水分コントロールが可能であり、なおかつ、過剰灌水を抑えることにより、余剰水（廃液）を出さないために、環境負荷を低減することが可能である。
- ③ 樹勢コントロールにより超密植栽培ができ、従来4～5年かかって成園になるところが、植え付け初年目から $1.0 \text{ t} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 程度の収量が得られ、2年目から慣行成園（ $1.2 \text{ t} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ）以上の $2.0 \text{ t} \cdot 10\text{a}^{-1}$ の早期多収が可能となる。



第1図 盛土式根圏制御栽培システムの概要

- ④ 仕立て方は、垣根仕立てにより、日当たりが良く、さらに軽労化が図られる

### 2. 遮根シートおよび栽培棚の設置

植え付け予定の地表面に、厚さ0.075mm幅150cm以上の塩化ビニルのシートを敷設する。その上に耐久性の高い資材を使用した遮根シート（ルートラップ30A、トスコ）を敷設し、栽培樹の根域を土壌から完全に遮断した。遮根シートの中がせまいと根が下の土壌に達して樹勢が強くなるので、コストは高くなるが遮根シ

ートの中は広いほど良い。

### 3. 培土および栽植本数

本栽培法に使用した培土は、赤玉土とバーク堆肥を容積比2：1で混合し作成した。栽植本数は $500 \text{ 本} \cdot 10\text{a}^{-1}$ となるよう、栽植間隔を畝間2m×株間1mとした。

### 4. 定植

盛土の形成は、目標の培土量に合わせ、取り外しが可能な木枠などにより行った（第2図）。遮根シートの上に、高さ20cmの四角錐台の盛土を形成し、苗木を定植した。盛土の底面の形状は、植え付け時は正方形であるが、植え付けから2～3年後経過すると風化等により円形となる。



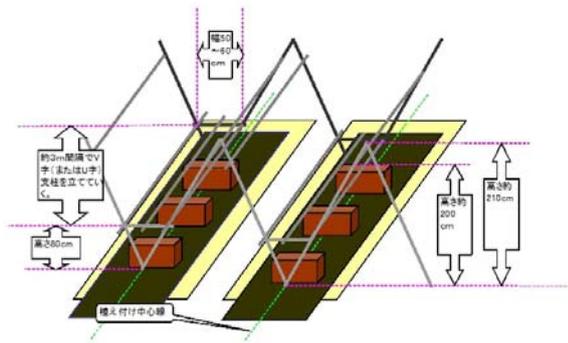
第2図 植え付け方法

### 5. 樹の仕立て法

実験に使用した栽培棚は、直径19mmの野菜用のV字またはU字支柱を利用し、仰角約60度のV字支柱を連続して立て、V字の内側に、植え付け中心線の上方、高さ80cmに主枝、結果母枝を誘引する直径19mmの直管パイプを取り付けた（第3図）。

樹の仕立て方は、単位面積あたりの葉面積をより多く確保するため、垣根仕立てとし、主幹長60cm、主枝長100cmの片側1本だけの一文字整枝とした（第4図）。結果母枝の整枝法は、志村(1999)の方法に従い中梢剪定とした。植え付け初年度は、主枝から直接発生した新梢に着果させた。植え付け2年目は、主枝から発生した新梢の中で、充実したものを結果母枝とし、片側2～3本ずつ主枝の両側に配置した。結果母枝の長さは30～40cmとし、誘引は主枝の延長と逆方向に行った（第5図）。植え付け3年目以降は、主枝に近い場所から発生した、充実した新梢に結果母枝を更新した。新梢は、斜め上方に誘引し、130cmで摘心した。摘心

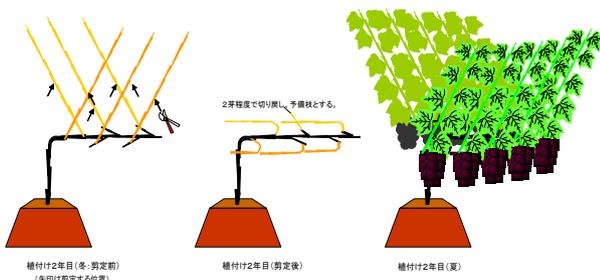
後発生する副梢は基部から切除した。落花後、果実が着生しなかった枝および結実不良の枝を明るさ確保のために芽かきを実施した。



第3図 栽培棚の設置



第4図 盛土式根圏制御栽培の仕立て方



第5図 植え付け2年目の剪定方法

## 6. 着果管理

実験では全て有核栽培とした。本栽培法において着生する花穂は、慣行栽培と比べると小さく数も少なくなるため、花穂成形は、着生した全ての花穂に行い、大きさは12~13段程度、長さ約6cmとした。

## 7. 灌水装置

灌水は、コンピューター制御による灌水制御装置

(KISB-IV, SSB), 液肥混入機, 流量計, 電磁弁を組み合わせた, 灌水装置を使用した。盛土に均等に灌水を行うために, 調圧弁のついたドリッパー (NETAFIM, 吐出量 $4.0 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ ) を使用したドリップ式で, 灌水点は4点/樹とし, 1ドリッパーにつき4本のマイクロチューブを取り付け, その先端にアロドリッパーを取り付け灌水を行った。1日の最大灌水回数は20回とした。また, 1回当たりの灌水量は, 日灌水量を20で除した量とし, 毎回均等に灌水した。なお, 地面の高低差や灌水チューブのたわみの影響を受けて, 水の吐出量に違いが出るのを防ぐため, ドリッパーは調圧弁付きを使用した。

### 第3章 ブドウ‘巨峰’の盛土式根圏制御栽培における吸水量測定と日射量に基づく灌水管理法

#### 緒言

ブドウ栽培における根域制限栽培および水気耕栽培は早期成園化、果実品質向上、多収を目的として、4倍体ブドウの密植・根域制限栽培(今井, 1991), ‘巨峰’の水気耕栽培(安田・小豆沢, 1997), ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の人工培地と底面給液・培養液循環栽培(田村・藤井, 2003)など、これまで多くの研究が行われており実用化されている。根域制限栽培の最も重要な管理は灌水である。本栽培法に用いたドリップ灌水法は、わが国においても近年増加がみられ、灌水と同時に施肥を行なう栽培方式などに用いられている(東出, 2003)。これはイチゴ(三木ら, 2006)、メロン(福元ら, 2001)、キク(後藤ら, 2001)、カンキツ(森永ら, 2004)、ブドウ(今井, 1991)など多くの園芸作物で行なわれている一般的な灌水法である。また、灌水管理法については、根域内部の土壤水分の変化に応じた精密な灌水が必要である。そのためには、テンシオメータを数か所に設置し、土壤水分を正確にモニターする必要がある(岡本, 1996)。土壤水分を基にした灌水管理法については、発芽期から結実期までpF 2.2で、幼果期はpF 1.5、着色期から再びpF 2.2で灌水すると、果粒の肥大は劣ることなく可溶性固形物含量が高く、着色の良い果実が生産された(今井, 1991)。しかし、現在、一般に普及しているテンシオメータによる灌水管理法は、経済的制約から広いハウスを1本のテンシオメータで制御している場合が多い。ハウス内は使用部材や構造により、

場所ごとに換気や透過日射量が異なるので、同じ灌水を行なったとしても、土壤水分の水平・垂直分布に大きな差異が生じると考えられる。また、1樹が独立した盛土式の根域制限栽培の場合は、盛土内のテンシオメータを設置する適正な位置を決めるのも難しい。テンシオメータは、灌水開始点のみを設定できるタイプがほとんどであることから、土壤は、湿潤と乾燥状態を繰り返していると考えられる。

一方、トマトやイチゴなどの野菜類の養液栽培においては、作物の蒸散量に見合う以上の培養液が与えられ、培地を通過中に作物に吸収されなかった培養液が廃液となり環境への負荷を与え問題となることから、廃液を系外へ排出しない閉鎖型の栽培方法が確立している(石原ら, 2006; 植木ら, 1999)。ブドウ栽培においては、前述の水気耕栽培(安田・小豆沢, 1997)や人工培地と底面給液・培養液循環栽培(田村・藤井, 2003)など、閉鎖型栽培装置による養液栽培などの報告がある。しかし、培地を使用した大半の開放型根域制限栽培では、今井(1991)の報告のとおり、植物の生育や果実品質、収量が高くなることを基準として、土壤水分張力を基にした灌水管理が一般的となっており、余剰排液の環境への負荷に着目した研究は行われていない。

ブドウの蒸散量に関する研究はこれまで多く行われ、地植えのハウス栽培の灌水管理の目安として使われている(倉橋, 2008)が、根域制限栽培においては蒸散量に基づく灌水管理法は行われていない。

そこで著者らは、早期多収、結実安定を目的とし、ブドウ‘巨峰’の盛土式根域制限栽培の生産現場への普及を考えた技術開発の一環として、より簡便で環境負荷を低減できる節水型の灌水管理法について検討した。

第1表 実験における温度管理および生育経過一覽(1999, 2000, 2002, 2003, 2004, 2008, 2009年)

		生育ステージ					収穫始
		加温開始	発芽期	開花始	落花	ベレゾーン開始	
温度管理	夜間	13℃	15℃	18℃	16℃	16℃	
	昼間	35℃	30℃	30℃	30℃	30℃	
生育経過	1999年	2/5	2/12	4/22	3/29	5/23	7/10
	2000年	1/24	2/19	3/20	3/29	5/12	6/30
	2002年	1/26	2/18	3/22	3/27	5/10	6/27
	2003年	12/9 <sup>y</sup>	1/9	2/13	2/19	4/6	5/23
	2004年	12/24 <sup>y</sup>	1/24	2/28	3/6	4/21	6/7
	2008年	2/19	3/13	4/15	4/19	6/9	7/24
	2009年(作期①) <sup>z</sup>	12/8 <sup>y</sup>	1/8	2/26	3/3	4/13	6/1
2009年(作期②)	3/2	3/25	4/27	5/2	6/17	8/1	

<sup>z</sup> 作期① 成熟期の曇雨天の日灌水量の調整を行わず、晴天日と同量とした  
作期② 成熟期の日灌水量を晴天日6.0 L・d<sup>-1</sup>/樹、曇雨天日1.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とした

<sup>y</sup> 前年12月

## 材料および方法

### 1. 実験に共通する事項

実験に使用した施設は、間口6 m、奥行き30 m、高さ4.0 m、面積540 m<sup>2</sup>の3連棟式ハウス2棟で、フッ素系フィルム（エフクリンGR80、旭硝子）を展帳した。根圏制御栽培の方式は、第2章の方法により行った。実験に使用した盛土は、培土量60 L/樹とし、高さ20 cm、下部直径82 cmとなる円錐台とし、‘巨峰’自根樹を定植した。温度管理は、夜温は加温開始～発芽期まで13℃、発芽期～開花前は15℃、開花始期～開花終期は18℃とした。落花期～収穫始期は16℃で管理したが、この時期の平均夜温が16℃を越える作型で実験を行なった年には、側窓を開放し外気温とした。また、昼温は、加温開始～発芽期は換気を行わず35℃程度とし、発芽期以降は30℃以下となるように天窓および側窓による換気を行なった(第1表)。すべての実験で、着房数は1樹当たり12房とした。

開花期に新梢長を測定した。葉色は、第6葉を葉緑素計（SPAD502、ミノルタ）を用いて測定した。また、収穫時に慣行法により果房重、果粒重、果皮色（農林水産省監修カラーチャート）、糖度、葉面積（LI3100、LI-COR）を測定した。裂果果粒率は、収穫時に裂果果粒数を全粒数で除して求めた。1樹当たりの収量は果房重の合計とし、10 a当たりの植え付け本数により換算収量を求めた。日射量を、ハウス内に設置した日射計（HT-0、ハイテック）により測定した。なお、灌水管理の必要上、便宜的に曇雨天日の基準を、午前8～9時の積算日射量が1.7 MJ・m<sup>2</sup>以下である日とし、その日は9時以降の灌水を停止して日灌水量を1.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とした。但し、9時以降に晴れた時には灌水を再開した。

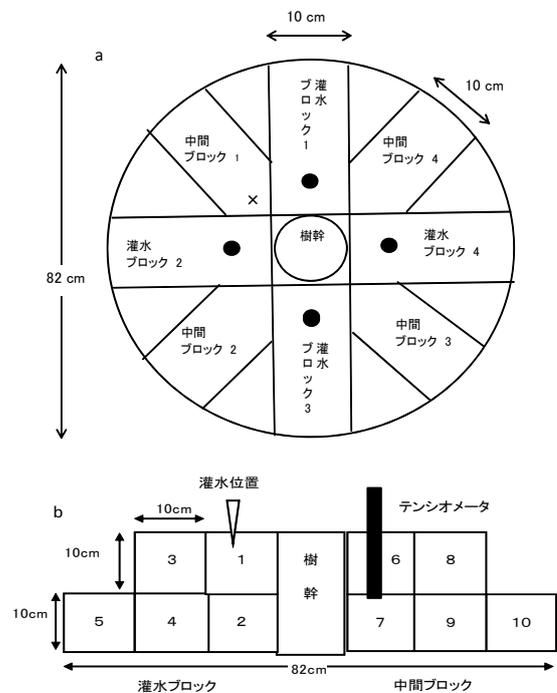
### 2. 盛土内の土壌水分、根の分布およびハウス内の土壌水分の推移の測定（実験1:1999年）

1997年に挿し木し、1998年に上記の方法によりハウスに定植した3年生樹を供試し、

1999年2月5日に加温を開始した。施肥は、窒素成分を硝酸アンモニウム液肥とし、発芽期～収穫終期までの150日間1樹当たり0.13 g・d<sup>-1</sup>（年間施肥量19.5 g/樹）施与した。その他、熔リン300 g/樹、苦土炭カル48 g/樹、微量元素（FTE）30 g/樹を加温開始時に全量施用し、表面土壌と混和した。1999年2月12日の発芽期～幼果期の4月5日まで、ハウス内に南北に植えた8列の樹列のうち、南東、中心、北西地点にある3樹の盛土にテンシオメータを設置し、午前9時および午後

5時に土壌水分を測定した。盛土内の設置位置は、灌水点と灌水点の中間で底部から10 cmとした（第6図）。1日当たりの最大の灌水量は、発芽期の2月12日～落花期の3月29日を4.0 L・d<sup>-1</sup>/樹、3月30日～ベレゾーン期前の5月5日までの幼果期を8.0 L・d<sup>-1</sup>/樹、ベレゾーン期の5月5日～収穫終期までを10.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とした。その際、テンシオメータを用いて今井（1991）の方法により、灌水開始点を発芽期～落花期まではpF 2.2、落花期～ベレゾーン開始期前をpF 1.5、ベレゾーン開始期以降収穫終期までをpF 2.2と設定し、灌水開始点未満であれば灌水しないように管理した。

収穫直後の1999年7月21日に2樹分の盛土を第6図aのとおり、灌水ブロックおよび中間ブロックに分割した。灌水ブロックは、まず灌水位置を含む縦断面を幅10 cmに切り取り、樹幹直下の部分を除き4ブロックとした。中間ブロックは、灌水ブロックを切除後、残ったブロックより灌水位置と灌水位置の中間の縦断面を幅10 cmに切り取り、4ブロックとした。切り取ったブロックは第6図bのとおり、さらに幅10 cm×長さ10 cm、高さ10 cmに切り取り、灌水ブロックを1, 2, 3, 4および5区、中間ブロックを6, 7, 8, 9および10区とした。分割時のブロック6における土壌水分はpF 1.5であった。解体後土壌と根を分け、土壌のみ105℃で24時間乾燥させ、ブロックごとの湿土重量当たりの土壌含水率の平均を求



第6図 解体した盛土の概要（1999年）

a 上からの平面図

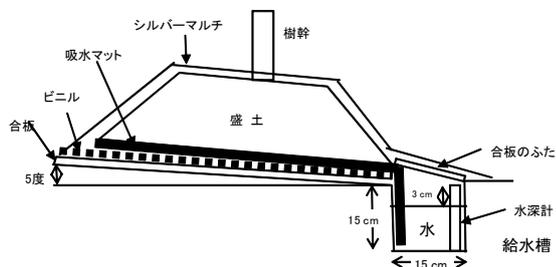
b 横からの断面図

●は灌水点、×はテンシオメータ設置位置を示す

めた。根は水洗後、スキャナーでパソコンに読み取り、根系画像解析ソフト（Win Rhizo, REGENT INSTRUMENTS INC）で画像解析により測定し、ブロックごとの乾土10 g当たりの根長の平均を求めた。

### 3. 樹体の吸水量の生育期間および日内の変化（実験2：2000年，2002年）

実験1と同じ方法により、根域制限栽培した中央部の樹列にある5年生の2樹を供試し、2000年1月24日から加温開始した。施肥は、NKロング100日タイプ（窒素、リン酸、加里、20-0-13）を窒素成分で20.0 g/樹、加温開始時に施用した。その他、熔リン300 g/樹、苦土炭カル48 g/樹、微量元素（FTE）30 g/樹を休眠期に全量施用して表面から約2 cmの土壌と混和した。第7図に、水ストレスが無い条件下での樹体吸水量を測定するために使用した装置を示す。給水槽は、幅60 cm×奥行15 cm×高さ15 cm、容量13.5 Lのコンクリート製の側溝の内部に、水漏れしないよう厚さ0.1 mmの農業用塩化ビニル（以下、農ビ）を張った。給水槽は盛土の端に隣接させ、上面を地表面に合わせて埋設した。盛土の底面に厚さ12 mmの合板を敷き、給水槽端面から5度の傾斜を付け、その上に厚さ0.1 mmの農ビを展張し、余剰水がすべて給水槽に流入するようにした。



第7図 樹体吸水量および排水量測定装置  
（2000年，2009年）

農ビの上に吸水マット（ラブマットU，ユニチカ）を敷き、その上に盛土式栽培樹を設置した。吸水マットの一端を水槽内の底に達するように垂らし、給水槽内に水を入れ底面吸水とした。盛土表面からの蒸発を防ぐため、盛土表面をシルバーマルチで覆った。1樹当たりの日吸水量（以下、日吸水量）の測定は、第8葉展葉期の2000年3月12日～収穫終期の7月23日まで行った。1日1回午後5時に、地表面から3 cm下の位置まで給水した。給水直前に測定した水深より減水量を求め、この値を日吸水量とした。吸水量の日変化については、2000年5月25日午前5時～26日午後6時まで1時間おきに減水量を測定した。同時に積算日射量を測定した。

2002年6月24～25日の成熟期後半に、盛土の土壌水分がpF 1.5となるようあらかじめ灌水した1樹を、大型台秤（GP-100K，エー・アンド・ディー）に乗せ、2日にわたり重量の変化を測定することにより蒸発散量を求めた。

### 4. 樹体吸水量を踏まえた日射量に基づく量的灌水管理法の実証（実験3：2003年，2004年，2008年，2009年）

実験2で明らかになった水ストレスのない条件下での樹体の吸水量を基に、高品質・多収を実現できる灌水管理法を生育時期別に検討した。2003年および2004年は、発芽から落花期までの生育初期の日灌水量について検討した。2003年は1.5 L・d<sup>-1</sup>/樹および3.0 L・d<sup>-1</sup>/樹、2004年は1.0 L・d<sup>-1</sup>/樹および0.5 L・d<sup>-1</sup>/樹とする処理区を設け、8年生および9年生樹をそれぞれ3樹供試し、3反復として比較検討した。

2008年は、幼果期～成熟期の1樹当たりの日灌水量を検討するため、14年生樹を1処理区3樹供試して2反復とし、2月19日に加温を開始した。落花期～処理開始時までの幼果期の日灌水量を8.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とし、満開後30日の5月19日～収穫終期の8月8日まで6.0 L・d<sup>-1</sup>/樹灌水する処理区、およびベレゾーン開始期の6月9日～収穫終期の8月8日まで6.0 L・d<sup>-1</sup>/樹灌水する処理区を設けた。曇雨天日には午前9時以降の灌水を停止し、日灌水量を1.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とした。

2009年は、前年の結果を踏まえ、日灌水量が増加する幼果期以降の盛土からの1樹当たりの日排水量（以下、日排水量）を2作期にわたって検討した。15年生‘巨峰’を各2樹ずつ供試した。作期①では、2008年12月8日に加温開始し、落花期の3月3日～ベレゾーン開始期前の4月12日までの幼果期の日灌水量を8.0 L・d<sup>-1</sup>/樹、ベレゾーン開始期の4月13日～収穫開始期の6月1日までの

成熟期を6.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とし、曇雨天の日灌水量の調整は行わず、晴天日と同量の灌水を行った。作期②では、2009年3月2日に加温開始し、落花期の5月2日～ベレゾン開始期の6月16日までの幼果期を8.0 L・d<sup>-1</sup>/樹、ベレゾン開始期の6月17日～収穫開始期の8月1日までの成熟期の晴天日を6.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とし、曇雨天日には午前9時以降の灌水を停止し、日灌水量を1.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とした。実験に使用した測定装置は、吸水量測定と同様の装置（第7図）とし、吸水マットを使用せず、合板上に敷いた農ビの上に直接盛土を設置し、盛土上部からドリップ灌水し余剰水を排水槽内に設置した大型ビーカーにすべて流入させた。午前9時と午後5時の2回、排水槽内の大型ビーカーに捕集した水量を測定し、この値を排水量とした。なお、2008および2009年の実験では、発芽期～落花期までの日灌水量を1.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とした。

結果

1. 盛土内の土壌水分、根の分布およびハウス内の土壌水分の推移（実験1）

盛土内の土壌水分の分布は、盛土内の下層を含むブロックの2, 4, 7および9区で多かった（第8図）。また、分割時の観察では盛土表面は著しく乾燥しており、表層部を含むブロックである上層部の3, 8区および外周部の5, 10区では土壌水分は低かった。根は、土壌水分の多かった盛土の下層部にマット状に分布しており、特に灌水点直下の2区および4区で多かった。また、土壌水分の最も低かった8区では最も少なかった（第9図）。

1999年に測定した栽培ハウス内3か所の土壌水分の変動をみると、発芽期の2月12日～展葉期の2月19日まで

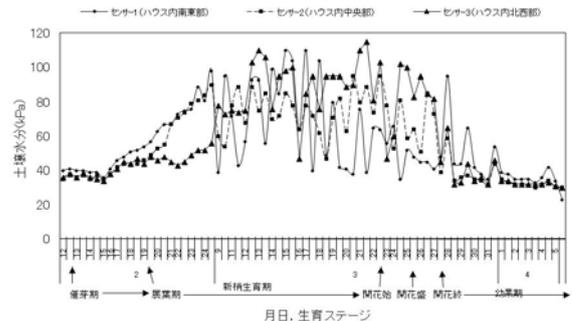
灌水ブロック			灌水位置	中間ブロック		
	3	4	樹	6	8	
	44±5.0	49±1.0	幹	46±2.0	41±3.0	
	de	bcd <sup>z</sup>		cde	e	
5	4	2		7	9	10
44±4.1	52±3.0	55±1.0		53±3.0	51±1.0	42±1.0
de	ab	a		ab	abc	e

第8図 盛土内の湿土重量当たりの土壌含水率(%) (1999年)  
±は標準偏差を表す(n=4)  
<sup>z</sup> TUKEY法により同一英小文字間に有意差無し(p<0.05)

灌水ブロック			灌水位置	中間ブロック		
	3	4	樹	6	8	
	87±13	118±37	幹	108±22	63±24	
	ab	ab <sup>z</sup>		ab	b	
5	4	2		7	9	10
100±12	122±21	126±20		114±36	121±30	72±8
ab	a	a		ab	ab	ab

第9図 盛土内の乾土10g当たりの根長の分布(cm) (1999年)  
±は標準偏差を表す(n=4)  
<sup>z</sup> TUKEY法により同一英小文字間に有意差無し(p<0.05)

は35～57 kPaと差はなかったが、展葉期以降、落花期の3月29日までは35～115 kPaの間で大きく変動した（第10図）。3月30日に日灌水量を8 L・d<sup>-1</sup>/樹と増加させたことにより、4月1日以降変動幅は収れんした。発芽期～収穫終期までの総灌水量は、462,500 L・10a<sup>-1</sup>であった。なお、テンシオメータを設置した3樹の開花期における新梢長は65 cm程度であり、調査期間中には目立った葉面積の増減はなかった。



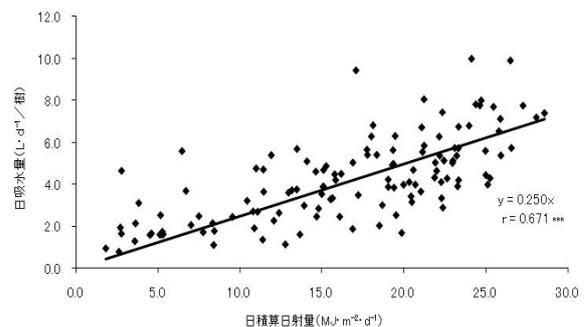
第10図 土壌水分の推移(1999年)

2. 樹体の吸水量の生育期間中および日内における変化（実験2）

実験に使用した樹の1樹当たりの総葉面積は、開花始めの展葉12枚期が2.3 m<sup>2</sup>、落花期が4.2 m<sup>2</sup>、収穫終期では4.5 m<sup>2</sup>であった。生育ステージは実験を開始した2000年3月12日が第8葉展葉期、開花始めが3月20日、開花終わりが3月28日、ベレゾン開始期が5月12日、収穫始めが6月30日であった。

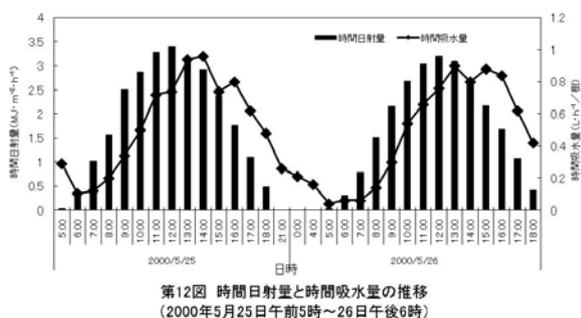
2000年3月12日～7月23日の日吸水量 (y: L・d<sup>-1</sup>/樹) と日積算日射量 (x: MJ・m<sup>-2</sup>・d<sup>-1</sup>) との間には、  
y=0.250x (以下、第1式, r=0.671, p<0.001)

の密接な比例関係が認められ（第11図）、日積算日射量1 MJ・m<sup>-2</sup>・d<sup>-1</sup>当たりの日吸水量は0.25 Lであった。晴天日での開花始め、落花期、ベレゾン開始期を区切りとして、生育ステージ毎の日吸水量の平均を求めた



第11図 日積算日射量と樹体日吸水量の関係(2000年)

ところ、第8葉展葉期～開花始 $1.9 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ 、開花始～開花終 $2.9 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ 、落花～ベレゾーン開始期前 $4.4 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ 、ベレゾーン開始期～収穫終期 $5.9 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ と、生育ステージが進むに伴って増加した(第2表)。曇雨天日での日吸水量は $1.8\sim 2.3 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ で、増加はみられなかった。第1式の回帰係数に生育ステージの平均日積算日射量を乗じた推定吸水量(以下、基準吸水量)、および基準吸水量に対する実測された吸水量の比率(以下、相対吸水量)は、8葉展葉期～開花終期までの晴天日で、それぞれ $4.5 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ および $0.4\sim 0.7$ 、曇雨天日で $1.7 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ および $1.4$ であった。落花期～ベレゾーン開始期前までの晴天日では $5.2 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ および $0.8$ 、曇雨天日では $1.8 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ および $1.1$ であった。ベレゾーン開始期～収穫終期までの晴天日では $5.5 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ および $1.1$ 、曇雨天日では $2.0 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ および $0.9$ であった。

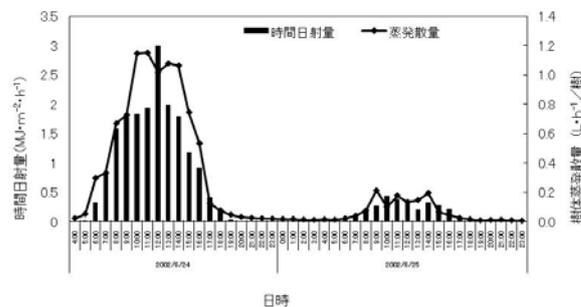


なお、調査樹の果実品質は、果房重 $274 \text{ g}$ 、果粒重 $10.1 \text{ g}$ 、糖度 $17.4 \%$ 、収量は $3.8 \text{ kg}/\text{樹}$ であった。

2000年5月25～26日の1時間当たりの積算日射量(以下、時間積算日射量)、および樹体吸水量(以下、時間吸水量)を第12図に示す。試験を行った2日間ともに

晴天であり、2日間の午前6時～正午の平均気温は $24.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、平均湿度 $71.9\%$ 、午後1～6時までの平均気温は $27.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、平均湿度 $59.5\%$ であった。日積算日射量は5月25日が $26 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 、5月26日が $25 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ であった。6時～18時までの昼間の樹体吸水量の合計は、両日とも $6.7 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ であった。また、午後7時～翌日午前5時までの夜間の樹体吸水量は、 $0.9 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ であった。時間積算日射量は正午に最大となり、時間吸水量は午後1～2時にピークがみられたことから、時間積算日射量のピークと時間吸水量のピークの間には1～2時間のタイムラグがあった。時間積算日射量( $x: \text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )と時間吸水量( $y: \text{L}\cdot\text{h}^{-1}/\text{樹}$ )との間には、 $y = 0.259x$ 、 $r = 0.663 (p < 0.01)$ の密接な比例関係が認められ(図表省略)、回帰式は第1式とほぼ同様であった。

2002年6月24～25日の時間積算日射量と蒸発散量を第13図に示す。6月24日は晴天で日積算日射量は $17.8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 、6月25日は雨天で日積算日射量は $2.9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ であった。蒸発散量は、2000年5月25～26日の測定と同様に日射量が増加するに従い増加した。また、6～18時までの日中の蒸発散量の合計は6月24日が $9.0 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ 、6月25日が $1.3 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ であった。葉面積は



第13図 時間日射量と蒸発散量の推移 (2002年6月24日午前4時～25日午後11時)

第2表 生育ステージ毎の平均日吸水量と基準吸水量および相対吸水量(2000年)

天候	日吸水量	生育ステージ			
		8葉展葉～開花始 3/12～19	開花始～開花終 3/20～28	落花～ベレゾーン開始期前 3/29～5/11	ベレゾーン開始期～収穫終 5/12～7/23
晴天日	平均日吸水量 <sup>z</sup> ( $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ )	$1.9 \pm 0.4$	$2.9 \pm 0.4$	$4.4 \pm 0.8$	$5.9 \pm 1.5$
	単位葉面積あたり 平均日吸水量 ( $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ )		1.3	1.0	1.3
	日積算日射量 ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )		18.0	20.7	22.1
	基準吸水量 <sup>y</sup> ( $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ )		4.5	5.2	5.5
	相対吸水量 <sup>x</sup>	0.4	0.7	0.8	1.1
曇雨天日	平均日吸水量 ( $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ )	$2.3 \pm 0.3$		$1.9 \pm 0.6$	$1.8 \pm 0.4$
	日積算日射量 ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )		6.8	7.3	7.9
	基準吸水量 ( $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}/\text{樹}$ )		1.7	1.8	2.0
	相対吸水量		1.4	1.1	0.9

<sup>z</sup> 平均値±偏差(n=2樹)

<sup>y</sup> 日積算日射量 $\times 0.250$

<sup>x</sup> 平均日吸水量/基準吸水量

第3表 生育時期毎の日積算日射量, 基準吸水量および相対灌水量  
(2003, 2004, 2008, 2009年)

生育 ステージ	年	日積算日射量 (MJ・m <sup>-2</sup> ・d <sup>-1</sup> )	日灌水量 (L・d <sup>-1</sup> ／樹)	基準吸水量 <sup>y</sup> (L・d <sup>-1</sup> ／樹)	相対灌水量 <sup>x</sup>
生育初期	2003	11.2	3.0 1.5	2.8	1.1 0.5
	2004	13.2	1.0 0.5	3.3	0.3 0.2
	2008	14.3	1.0	3.6	0.3
	2009	18.3	1.0	4.6	0.2
	2008	15.8	8.0	4.0	2.0
幼果期	2009 作期① <sup>z</sup>	17.1	8.0	4.3	1.9
	作期②	16.4	8.0	4.1	2.0
成熟期 晴天日	2008	20.7	6.0	5.2	1.2
	2009 作期①	23.7	6.0	5.9	1.0
	作期②	21.7	6.0	5.4	1.1
成熟期 曇雨天日	2008	9.4	1.0	2.4	0.4
	2009 作期①	9.4	6.0	2.3	2.6
	作期②	11.0	1.0	2.7	0.4

<sup>z</sup> 作期① 成熟期には曇雨天の日灌水量の調整を行わず, 晴天日と同量とした  
作期② 成熟期には日灌水量を晴天日6.0 L・d<sup>-1</sup>／樹, 曇雨天日1.0 L・d<sup>-1</sup>／樹と

<sup>y</sup> 日積算日射量×0.250

<sup>x</sup> 日灌水量／基準吸水量

第4表 生育初期の灌水量が開花期の新梢長, 葉色,  
着粒数に及ぼす影響(2003, 2004年)

年	生育初期 灌水量 (L・d <sup>-1</sup> ／樹)	開花期 新梢長 (cm)	着粒数 (粒／房)	開花期 葉色 (SPAD値)
2003	1.5	129	21.2	39.4
	3.0	116	21.7	37.7
2004	1.0	81	35.8	35.2
	0.5	72	35.3	33.0

6.1 m<sup>2</sup>／樹であった。

### 3. 樹体吸水量を踏まえた, 日射量に基づいた量的灌水管理法 (実験3)

実験3における年度別・生育ステージ毎の平均日積算日射量および基準吸水量, 基準吸水量に対する灌水量の比率 (以下, 相対灌水量) を第3表に示す。また, 発芽期～開花期まで生育初期の日灌水量が新梢長, 葉色, 着粒数に及ぼす影響を第4表に示す。2003年に, 日灌水量を実験2により求めた生育初期の吸水量の最大値である3.0 L・d<sup>-1</sup>／樹 (相対灌水量1.1), または, 吸水量から標準偏差相当分を引いた1.5 L・d<sup>-1</sup>／樹 (相対灌水量0.5) としたところ, 新梢は116～129 cmと強勢となり, 着粒数も約21粒と花ぶるいがみられた。2004年は, 日灌水量を実験2により求めた生育初期の吸水量の下限值相当量である1.0 L・d<sup>-1</sup>／樹 (相対灌水量0.3), およびその半量の0.5 L・d<sup>-1</sup>／樹 (相対灌水量0.2) としたところ, 開花期の新梢長は1.0 L・d<sup>-1</sup>／樹では81 cm, 0.5 L・d<sup>-1</sup>／樹では72 cmと抑制され, 0.5 L・d<sup>-1</sup>／樹では, 開花期に花房の萎れがみられた。着粒数はいずれの処理区でも36粒程度となった。なお, 葉色には両年とも差

がみられなかった。

第5表に満開後30日以降の日灌水量が果実品質, および収量に及ぼす影響を示す。果実品質は, 落花期からベレゾーン開始期前までの幼果期を8.0 L・d<sup>-1</sup>／樹 (相対灌水量2.0) とし, ベレゾーン開始期から収穫終期まで6.0 L・d<sup>-1</sup>／樹 (相対灌水量1.2) に減じることにより, 果皮色はカラーチャート値10.7, 糖度17.3%となり, 満開後30日～収穫終期まで6.0 L・d<sup>-1</sup>／樹に減じる灌水管理よりも果実品質が優れ, 換算収量も2.3 t・10a<sup>-1</sup>であった。裂果果粒率は, 日灌水量を満開後30日から6.0 L・d<sup>-1</sup>／樹にすると14.5%と高く, ベレゾーン開始期から6.0 L・d<sup>-1</sup>／樹にすることにより5%と低下した。裂果が観察された日は, 雨天日の後や曇天が続いた後であった。2009年に前年度の結果に従い, ベレゾーン開始期から収穫終期の日灌水量を6.0 L・d<sup>-1</sup>／樹 (相対灌水量1.1) で管理したところ, 2008年よりも糖度が低く裂果果粒率がやや高かったものの, 1粒重13.6 gで着色も良好で, 換算収量も2.1 t・10a<sup>-1</sup>であった。なお, 平均葉面積は2008年が4.6 m<sup>2</sup>／樹, 2009年が5.1 m<sup>2</sup>／樹であった。

第6表に2008および2009年の発芽期～収穫終期までの10 a当たりの総灌水量を示す。曇雨天日の日灌水量を減らすことにより, 10 a当たりの発芽期から収穫終期までの総灌水量は, 満開後30日から6.0 L・d<sup>-1</sup>／樹とした処理区では172,000 L・10a<sup>-1</sup>, ベレゾーン開始期から6.0 L・d<sup>-1</sup>／樹とした処理区では, 2008年が245,500 L・10a<sup>-1</sup>, 2009年は248,127 L・10a<sup>-1</sup>であった。

第5表 満開後30日以降の日灌水量が果実品質・収量に及ぼす影響(2008, 2009年)

年	成熟期の1樹 当たりの日灌水量	着粒数	房重 (g)	1粒重 (g)	果皮色 カラーチャート値	糖度 (Brix %)	裂果果粒率 (%)	収量 (kg・m <sup>-2</sup> )	換算収量 (t・10a <sup>-1</sup> )
2008	満開後30日から 6.0 L・d <sup>-1</sup> /樹	26.6	425	15.4	10.0	16.8	14.5	5.1	0.0
	ベレゾーン開始期か ら 6.0 L・d <sup>-1</sup> /樹	28.4	375	13.3	10.7	17.3	5.0	4.5	0.0
	有意性 <sup>z</sup>	NS	NS	*	*	NS	NS	NS	NS
2009	ベレゾーン開始期か ら 6.0 L・d <sup>-1</sup> /樹	26.7	358	13.6	10.7	16.6	8.4	4.1	0.0

<sup>z</sup> t検定により\*は5%で有意差あり, NSは有意差なし

第6表 発芽期から収穫終期までの総灌水量(2000, 2008, 2009年)

年	処理時期 <sup>z</sup>	晴天 日数	曇雨天 日数	発芽期から収穫終期 総灌水量 (L・10a <sup>-1</sup> )
2000	テンシオメータによる灌水制御			462,500
2008	満開後30日～ 収穫終期	24	58	172,000 (37) <sup>y</sup>
	ベレゾーン開始期～ 収穫終期	18	43	245,500 (53)
2009	ベレゾーン開始期～ 収穫終期	9	48	248,127 (54)

<sup>z</sup> 2008, 2009年の処理時期の灌水量を6.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とし, 発芽～  
開花終期は1.0 L・d<sup>-1</sup>/樹, 幼果期は8.0 L・d<sup>-1</sup>/日とした

<sup>y</sup> ( )内は対2000年比

第7表 幼果期以降の盛土からの排水量(2009年)

生育 ステージ	期間	晴天日				曇雨天日				
		日数	日射量 (MJ・m <sup>-2</sup> )	排水量 <sup>z</sup> (L・d <sup>-1</sup> /樹)	排水率 (%)	日数	日射量 (MJ・m <sup>-2</sup> )	排水量 <sup>z</sup> (L・d <sup>-1</sup> /樹)	排水率 (%)	
①	幼果期	3/3~4/12	18	22.1	3.6 ± 0.8	45	7	12.0	5.4 ± 1.0	67
	成熟期	4/13~6/1	24	23.7	0.9 ± 0.5	16	26	9.4	3.4 ± 1.0	56
②	幼果期	5/2~6/16	11	20.7	3.8 ± 1.7	47	13	12.0	4.5 ± 0.9	56
	成熟期	6/17~8/1	9	21.7	0.5 ± 0.7	8	48	11.0	0.3 ± 0.2	26

<sup>z</sup> 平均値±標準偏差(n=日数)

2009年において, 幼果期の日灌水量を8.0 L・d<sup>-1</sup>/樹 (相対灌水量1.9~2.0) とし, 成熟期の曇雨天日に日灌水量の調整は行わず晴天日と同量の6.0 L・d<sup>-1</sup>/樹 (相対灌水量2.6) の灌水を行った場合 (以下, 作期①), および, 成熟期の晴天日に日灌水量を6.0 L・d<sup>-1</sup>/樹 (相対灌水量1.1), 曇雨天日の日灌水量を1.0 L・d<sup>-1</sup>/樹 (相対灌水量0.4) とした場合 (以下, 作期②) の日排水量を, 期間中の日射量とともに第7表に示す. この時期の日灌水量を8.0 L・d<sup>-1</sup>/樹とした場合, 晴天日の日排水量は3.6~3.8 L・d<sup>-1</sup>/樹, 排水率は45~47%であった. 曇雨天日の日排水量は4.5~5.4 L・d<sup>-1</sup>/樹, 排水率は56~67%であった.

成熟期の場合, 晴天日に日灌水量を6.0 L・d<sup>-1</sup>/樹にすることにより, 排水量は0.5~0.9 L・d<sup>-1</sup>/樹, 排水率は8~16%となった. 曇雨天日では, 日灌水量を減じた

い作期①の場合, 日排水量は3.4 L・d<sup>-1</sup>/樹, 排水率56%であり, 日灌水量を1.0 L・d<sup>-1</sup>/樹に減じた作期②では, 0.3 L・d<sup>-1</sup>/樹, 排水率26%であった. 1樹当たりの葉面積は4.5 m<sup>2</sup>であった.

## 考 察

### 1. 盛土内の土壌水分, 根の分布およびハウス内の土壌水分の推移

単独盛土式の本栽培法では, 盛土内の土壌水分の分布は不均一であり, ハウス内のテンシオメータの設置位置によっても土壌水分に差がみられた. また, 粗孔隙の大きい培土を使用したため, 日灌水量の少ない生育初期ではpF値がテンシオメータの測定限界である2.9を越え, 正確な土壌水分の測定が困難であったことから, 少数箇所設置のテンシオメータによる水分管理は

困難と考えられた。

## 2. 樹体の吸水量の生育期間および日内の変化

ブドウ樹の年間の生育様式は、開花期まで旺盛な生育を示した茎葉と根は、果粒の着生を境に生長が緩慢になり養分は果粒に集中し、ブドウの果粒の生長曲線は典型的な二重S字を描く(尾形, 1996)。2000年の晴天日における1樹当たりの生育ステージ毎の日吸水量の推移について、樹体生育の変換点と考えられる開花始め、落花期およびベレゾーン開始期を区切りとして平均を求めたところ、生育ステージが進むに伴って増加した。新梢が130 cmに達して摘心を行ったのは落花期であり、その後発生した副梢はすべて摘心したため、収穫時まで葉枚数の変化はなかった。この間に個葉がやや拡大したものの、葉面積の増加はわずかであった。落花期～収穫期にかけての吸水量の増加は、果実成熟に伴う水分要求量の増加、および太陽高度と日長時間の変化に付随した積算日射量の増加に起因していると考えられた。

また、実験2における晴天日の葉面積1 m<sup>2</sup>当たりの日平均吸水量は、展葉12枚期が1.261 L、落花～ベレゾーン開始期前が0.978 L、ベレゾーン開始期～収穫期が1.311 Lであった。安田・小豆沢(1997)は、‘巨峰’の水気耕栽培の早期加温栽培における晴天日の水分消費量は、展葉10枚期が1.651 L・m<sup>-2</sup>、開花期が0.973 L・m<sup>-2</sup>、開花20～30日後が1.642 L・m<sup>-2</sup>、ベレゾーン開始期が0.963 L・m<sup>-2</sup>、成熟期が1.078 L・m<sup>-2</sup>であったと報告している。本実験における晴天日の葉面積1 m<sup>2</sup>当たりの日平均吸水量の推移はこれとは異なり、幼果期に減少し、成熟期に再度増加する傾向がみられた。安田・小豆沢(1997)の実験は、水ストレスが比較的少ないと考えられる水気耕栽培であり、また、幼果期に日射量が最大であったのに対して、本実験では独立した盛土式栽培であるため、樹体は水ストレスを受けやすく、また、安田・小豆沢(1997)の実験と作期が1か月違い、成熟期に日射量が最大となったため、日射量、温度や湿度の違いが蒸発散量・吸水量に影響を与えたと考えられた。

最近の作物の蒸発散に関する研究では、まずPenman-Monteith式などを利用して、基準となる水ストレスが無い条件下での仮想植生の蒸発散量E<sub>To</sub>(mm・d<sup>-1</sup>)が気象学的に推定される。そして対象作物の実蒸発散量をE<sub>To</sub>×K<sub>c</sub>(作物係数)で表現し、K<sub>c</sub>の大きさを葉面積の大小や水ストレスの有無と関連づけて、あるいは生育ステージ間、作物間で比較して論じる例が多

い(Allenら, 1998)。本研究でもこの方法にならない、水ストレスが無い条件下での平均吸水量を、実験2により提起した第1式により気象学的に推定して、これを基準吸水量とした。そして、相対吸水量および相対灌水量という2種類の係数を導入して、実際の吸水量や灌水量を基準吸水量×相対吸水量、あるいは基準吸水量×相対灌水量で表現し、相対吸水量や相対灌水量の大小によって吸水・灌水量の多寡を議論しようとした。

晴天日における相対吸水量は、生育初期が0.4～0.7、幼果期が0.8、成熟期が1.1となり、生育ステージが進むに伴って増加し、成熟期には1.0以上と基準吸水量以上の吸水量となった。また、曇雨天日では生育初期が1.4、幼果期が1.1、成熟期が0.9と生育ステージとともに減少し、晴天日とは逆の傾向であった。相対吸水量が1.0以下となった時期は、生育初期の晴天日および成熟期の曇雨天日であり、この時期の基準吸水量に基づく灌水量の設定は、排水量が増加する可能性があることが示唆された。

朝倉(1990)は‘リザマート’を使い、ブドウ樹の蒸散量を茎熟収支法により求め、晴天日の蒸散流量は、日射量の増加につれ増加し正午頃最大となり、その後減少し、午前と午後ではほぼ対称であった。本実験で2000年5月25～26日に測定した晴天日の時間吸水量は午後1～2時を最大にほぼ対称となり、1～2時間の差こそあったが朝倉(1990)と同様の傾向がみられた。朝倉(1990)の実験が茎内の蒸散流量を直接計測したのに対し、本実験では、底面給水法による減水量を測定して樹の吸水量とみなしたため、水分が吸水シート、土壌、根、茎内、葉へと順次移動するのに時間がかかることにより、日射量と吸水量との間にタイムラグが生じたものと考えられる。

植物の蒸散速度の測定では、一般に重量法およびチャンパー法が用いられる(織田, 1981)ことから、2002年6月24～25日に重量法による樹体の蒸発散量を測定した。2002年6月24日は晴天であり、日中の葉面積1 m<sup>2</sup>当たりの蒸発散量は1.5 Lであった。この値は、2000年に行った実験のベレゾーン開始期～収穫期の晴天日の葉面積1 m<sup>2</sup>当たりの日平均吸水量1.3 Lと近似していた。このことから、2000年に測定した吸水量は蒸発散量とほぼ一致していると考えられた。なお、重量法により測定した時には蒸発散量と日射量のタイムラグはみられなかった。朝倉(1990)の実験や2002年に測定した結果からも明らかのように、本来日射量と蒸発散量のピーク

は同一になる。しかし、土壌を用いた根域制限栽培では、灌水された水分が樹体に吸水され蒸散に至るまでに1～2時間を要すると考えられることから、日内の灌水プログラムは、積算日射量が最大となる正午までに灌水量が最大となるように設定することが望ましいと考えられた。実験1および3で用いた日内の灌水プログラムは、午前5時～午後2時30分まで30分間隔で毎回等量の灌水であるが、正午までに日灌水量の75%が灌水されるプログラムとなっていたことから、樹体の生育に障害を及ぼすことがなかったと考えられた。

### 3. 樹体吸水量を踏まえ、日射量に基づいた量的灌水管理法（実験3）

根域制限栽培における発芽期から結実期までの生育初期の灌水管理として、今井（1991）はpF 2.2と乾燥気味にすると良いとしている。本実験においては、実験2で測定した樹体の日吸水量は、開花期には $2.9 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ ／樹、相対吸水量0.7であった。2003年は、日灌水量を $1.5 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ ／樹（相対灌水量0.5）および $3.0 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ ／樹（相対灌水量1.1）に設定したが、花振るい性の強い‘巨峰’では、相対灌水量0.5の灌水量でも新梢を徒長させ、結実不安定になった。2004年は、日灌水量を $1.0 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ ／樹（相対灌水量0.3）以下とすることにより結実が安定した。このことから、この時期の灌水管理は、土壌を乾燥気味に管理することが重要であり、相対灌水量0.3、吸水量下限値相当量の日灌水量 $1.0 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ ／樹まで少なくした灌水管理が適当であると考えられた。14年生となる2008年においても、 $1.0 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ ／樹（相対灌水量0.3）の日灌水量により、28粒程度着粒して結実は安定していた。

落花～ベレゾーン開始期前の幼果期の灌水管理は、2008年の実験では硬核開始期の満開後30日に日灌水量を $6.0 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ ／樹に減らしたところ、盛土内の乾湿の差が大きくなり（データ略）、成熟期における裂果果粒率が高まった。ブドウでは水ストレスの影響は、成熟期に比べ幼果期に大きい。また、ベレゾーン開始期前では導管流と果実蒸散の寄与が大きく、導管流が主体の時は、水ストレスにより果実から茎葉への逆流が起こり、夜間の肥大も抑制されるので果実生長が抑制される（朝倉，2006）ことが知られている。本栽培法においても、幼果期に水ストレスを与えることにより果実の萎縮症状がみられ、その後の生育が著しく劣ることが観察された。萎縮症状は、主に曇雨天日が続いた後の晴天日に起こりやすかった。水ストレスを極力軽減

させるため、日灌水量を $8.0 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ ／樹（相対灌水量2.0）とし、晴天、曇雨天日とも同量とした。排水率は、晴天日で45～47%、曇雨天日で56～67%と高くなったが、幼果の果実肥大が優れ、生理障害などの発生もみられなかった。

ベレゾーン開始期以降の成熟期では、根域制限栽培では慣行地植え栽培以上に極端な土壌乾燥により、新梢基部葉の葉縁部の葉焼け症状による早期落葉や、果実の赤熟れが発生した。逆に、極端な土壌の湿潤は、裂果の発生や副梢の徒長を引き起こすため、灌水管理には細心の注意が必要である。実験2において、成熟期の相対吸水量は1.1（晴天日）あるいは0.9（曇雨天日）であり、日射量に追従した吸水が認められた。このことを踏まえ、2008および2009年の実験では、午前5時～午後2時30分まで30分間隔で毎回等量を灌水し、正午までに日灌水量の75%が灌水される灌水プログラムとし、日灌水量を晴天日は $6.0 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ ／樹（相対灌水量1.0～1.2）、曇雨天日は $1.0 \text{ L}\cdot\text{d}^{-1}$ ／樹（相対灌水量0.4）としたところ、果粒肥大、着色とも優れる果実が生産でき、収量も $2 \text{ t}\cdot 10\text{a}^{-1}$ を超えた。

根域制限栽培では、本実験の結果からも明らかのように、成熟期の灌水管理が直接的に果実品質や樹の生育に影響を及ぼすことから、画一的な管理は困難であり、日射量に応じたきめ細かな管理が必要であると考えられた。

以上の実証事例を日射条件の異なる地域や作期に応用する場合を考え、本実験における平均的な葉面積 $4.5 \text{ m}^2$ ／樹程度の本栽培法における、基準吸水量および相対灌水量に基づいた量的灌水管理プログラムを以下の通り設定した（第8表）。すなわち、各生育ステージ毎の日灌水量は、日積算日射量の平均値に第1式より求めた0.25を乗じて基準吸水量を求め、発芽期～落花期までの生育初期は基準吸水量×相対灌水量0.3、落花期～ベレゾーン期前までの幼果期は基準吸水量×2.0、ベレゾーン期～収穫期までの成熟期の晴天日は基準吸水量×1.0～1.2、曇雨天日は基準吸水量×0.4で管理することにより、高品質な果実生産ができると考えられた。

根域制限栽培の生命線である灌水管理は、本栽培法の普及を考えると、現場生産者にもわかりやすい方法にしておかなければならない。その点、今回開発した樹体吸水量を踏まえた日射量に基づく量的灌水管理プログラムは、生育ステージに応じて年3回日灌水量を設定するのみであることから、簡便な方法といえる。

1999年にpFセンサーを使用して、灌水管理を行なっ

第8表 基準吸水量および相対灌水量に基づいた量的灌水管理プログラム

生育ステージ <sup>z</sup>	生育初期	幼果期	成熟期	
	(発芽期～ 落花期)	(落花期～ ベレゾーン開始 期前)	晴天日	曇雨天日
基準吸水量 <sup>y</sup>	3.3～3.6	4.0～4.3	5.2～5.9	2.4～2.7
相対灌水量 <sup>x</sup>	0.3	2.0	1.0～1.2	0.4
日灌水量 (L・d <sup>-1</sup> /樹)	1.0	8.0	6.0	1.0

<sup>z</sup> 盛土式根域制限栽培，葉面積4.5m<sup>2</sup>/樹程度で，第1表に示した温度管理および生育経過の場合

<sup>y</sup> 平均日積算全天日射量×0.250

<sup>x</sup> 日灌水量/基準吸水量

た場合の発芽期から収穫終期までの総灌水量は462,500 L・10a<sup>-1</sup>であったが，2008および2009年に上記の方法による管理では，1999年と比較して46～47%の節水が図られた。倉藤ら（2008）は，根域を制限しない灌水同時施肥栽培において，年間の総灌水量の目安は114,560 L・10a<sup>-1</sup>としている。本栽培法では，この値と比較して発芽期から収穫終期まで約2倍の灌水量であるが，水ストレスが大きい根域制限栽培としては，節水型の灌水管理法であると考えられる。また，2009年の実験から，排水量は幼果期には多かったものの，日射量による灌水調節を行なった成熟期では，系外への排水が大幅に減少し環境負荷軽減が図られたと考えられた。

## 要 旨

ブドウ「巨峰」の加温ハウスにおける盛土式根域制限栽培における，より簡便で環境負荷を低減できる節水型の灌水管理法について検討した。単独盛土式における盛土内の土壌水分の分布は不均一であり，また，ハウス内のテンシオメータの設置位置によっても土壌水分の変動状況に大きな差がみられたことから，多点測定を行わない，少数箇所のテンシオメータによる水分管理は困難と考えられた。日積算日射量（ $x$  : MJ・m<sup>-2</sup>・d<sup>-1</sup>）と樹体の日吸水量（ $y$  : L・d<sup>-1</sup>/樹）の間には，密接な比例関係， $y=0.250x$ が認められた。樹体生育の変換点と考えられる生育初期，開花期，幼果期および成熟期の晴天日の樹体吸水量は，生育ステージが進むに伴って増加した。葉面積1 m<sup>2</sup>当たりの晴天日の日平均吸水量は，開花期1.3 L，幼果期1.0 L，成熟期1.3 Lで，幼果期に減少し，成熟期に再度増加する傾向であった。また，曇雨天日の日吸水量は，生育ステージが進んでも増加はみられなかった。生育初期は1 L・d<sup>-1</sup>/樹，幼果期は8 L・d<sup>-1</sup>/樹，成熟期の晴天日は6.0 L・d<sup>-1</sup>/樹，

曇雨天日は1.0 L・d<sup>-1</sup>/樹で管理したところ，pFセンサーを使用した場合の年間総灌水量と比較して46～47%の節水が図られ，日射量による灌水調節を行なった成熟期では，排水が大幅に減少して環境負荷軽減が図られ，高品質な果実生産ができた。この事例を踏まえ，生育初期は基準吸水量×0.3，幼果期は基準吸水量×2.0，成熟期の晴天日は基準吸水量×1.0～1.2，曇雨天日は基準吸水量×0.4という灌水プログラムを提案した。

## 第4章 栽植様式および培土量の違いの 違いが、ブドウ‘巨峰’の根圏制 御栽培樹の根系パラメーターおよ び地上部の生育に及ぼす影響

### 緒言

植物の根の研究は、地上部と比べて、計測できるパラメーターに限られ、その上なおかつ計測に多大な労力と時間を要する。とくに、木本である果樹類では、1年生作物であるイネやダイズと違い、根系を広大に発達させている。一般に、果樹類の根系調査では根系全体を掘りあげることが多いが、この作業は多くの労力を必要とするため、これらの影響についての研究は、10年生にみえない幼木や若木を対象にされることが多く、樹齢20年を越える成木の根系を調査した事例はブドウ（高橋ら，1998）、ウンシュウミカン（菊池ら，1966）、ナシ（小豆沢・伊藤，1983）やカキ（佐藤ら，1956）など著しく少ない。

根系を現すパラメーターとして、根重は比較的容易に測定することができ、根系の発達程度を大雑把に把握するのに有効であるため、従来からよく利用されてきた。また、根重は、乾物生産や地上部—地下部関係を検討する場合に必須であるが、養水分吸収や支持機能との関係を考察する場合は、根長や表面積の方が適切である（下田代ら，2003）。根長の計測はこれまで、直接法（山内，1998）、ライン交差法（Newman，1966）およびルートスキャナー法（森田ら，1988）、により行なわれてきた。また、根の表面積および根径の測定については、根生重、根長および根比重の関係式から推定により求められてきた（岩間，1985）。

しかし、近年ではパーソナルコンピュータの高性能化により、根長だけではなく、他のパラメータも同時に計測・算出できる画像解析法が実用化されており、直接法に比べ、ダイズやトウモロコシでは、ほぼ正確な近似値が得られ、高い精度で根長測定が可能となり、根長測定にかかる時間および労力もはるかに少なく有効な方法であることが認められている（田中ら，1993；筑紫，1994）。これまで根系の画像解析法による研究は、1年生作物では、水稻（有馬・最所，2002；安田・渡辺，1990）、トウモロコシ（何ら，1998）、ハウレンソウ（安田，1991）など、果樹類では、オウトウ（押田ら，2002）、ウメ（猿橋ら，2001）、ウンシュウミカン（杉山ら，2001；梅宮ら，

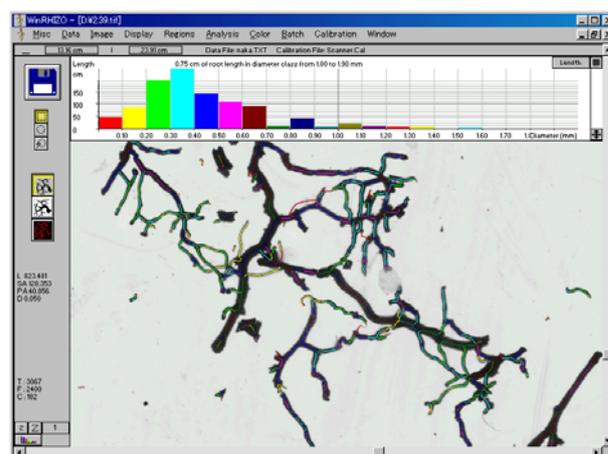
2000）について行われている。しかし、ブドウ樹に関する研究はこれまで行われていない。

そこで、本章では、本栽培法における地上部—地下部の相互作用に及ぼす影響を解析することを目的とし、地上部の仕立て方、樹冠面積を同程度とし、まず、乾物の分配や根系の特徴が大きく異なると考えられる、慣行地植え栽培と根圏制御栽培における樹体生育、収量および画像解析法を用いた、根長や根表面積等の根系パラメーターの特徴について比較検討を行った。また、根圏制御栽培において、培土量を変化させた場合について同様の検討を行った。

### 材料および方法

#### 1. 実験に共通する事項

樹体の解体調査は、実験2では、収穫終了後の1999年9月16日および10月1日に、各1樹を地上部は部位別に、地下部は直径約4 m、深さ1 mの範囲を掘取り、篩により目視で根を全て回収した。実験3では、収穫直後の1999年7月21日および10月21日に、各1樹を解体した。樹体は地上部と地下部に分け、地下部はさらに、根幹、2 mm以上の太根、2 mm未満の細根に分けて解体し、105℃で24時間乾燥後、乾物重を測定した。根系の解析は、根系画像解析ソフト（Win Rhizo, REGENT INSTRUMENTS INC）により行った（平岡・梅宮1998）。解体後土壌と根を分け、根を水洗後、スキャナーでパソコンに読み取り、根径別の根長、根表面積を画像解析法により測定した（第14図）。分割時の土壌水分はpF 1.5であった。



第14図 パーソナルコンピュータによる根系画像解析

全ての実験で、着房数は1樹当たり12房とした。開花期に新梢長および第6葉の葉色値（SPAD502、ミノ

ルタ)を測定した。収穫時に果房重、果粒重、果皮色(農林水産省監修カラーチャート)、糖度、葉面積(LI 3 1 0 0, LI-COR)を慣行法により測定した。収量は1樹当たりは果房重の合計とし、10a当たりの植え付け本数により換算収量を求めた。

## 2. 根圏制御栽培に使用した培土の物理性(実験1)

実験に使用したハウスは、間口6 m、奥行き30 m、高さ4.0 m、面積540 m<sup>2</sup>の3連棟式で、フッ素系フィルム(エフクリーンGR80, 旭硝子)を展開した。根圏制御栽培の方法は第2章のとおりとした。処理区は、培土量を30 L/樹、60 L/樹、90 L/樹の3処理とし、1997年に挿し木繁殖した3年生の‘巨峰’の自根樹をそれぞれ2樹供試した。1999年2月5日に加温開始した。施肥は窒素成分のみ硝酸アンモニウムを液肥として、発芽期～収穫終期まで150日間、1樹当たり0.13 g・d<sup>-1</sup>、年間施肥量19.5 g/樹施用した。他成分は基肥時に施用した。

盛土の2カ所から容量100 ccの採土円筒を用いて培土を採取し、各測定値の平均値を求めた。また、対照として、栃木農試場内ブドウ園の表層および深さ20 cmから、採土円筒を用いて表層腐植質黒ぼく土を採取した。

pF水分曲線の測定は寺沢(1976)の方法により行った。pF 1.5は、採土円筒をあらかじめ飽水状態とし、その後pF 1.5の砂柱に入れ、1日おいて採土円筒重量を測定した。pF 1.8～pF 2.7は、採土円筒をポンプによりそれぞれのpFに対応した吸引圧により加圧し、採土円筒より出てくる水を12時間おきに測定した。pF 3.0～pF 4.2は、大型遠心分離器により水分を飛ばし、1時間おきに採土円筒の重量を測定した。pF 4.3以上は、乾熱器に遠心法が終了した採土円筒を2～3日入れ、乾燥重を測定した。1樹当たりの培土量が60 L/樹で、pF 1.8の土壤三相の測定は、横井(1976)の方法により、ピクノメーター法で培土の真比重を測定し、固相率を求めた。液相率はpF-水分曲線で求めたpF 1.8時の水分率を使用した。飽和透水係数の測定は横井・中谷(1976)の方法により、土壤透水性測定装置(DIK-2型, 大起理化)を使用し、定水位による測定を行った。

## 2. 栽植様式の違いが根系パラメーターおよび地上部の生育に及ぼす影響(実験2)

パイプハウスを使用し、樹体上部のみを1999年5月13日に農ビにより被覆し、雨よけ栽培とした。栽植本数は10 a当たり133本となるよう、うね間3 m、株間

2.5 mとした。

処理区は、赤玉土とバーク堆肥を容積比2:1で混合した培土を使用した。培土量150 L/樹の盛土式根圏制御栽培および慣行地植え栽培とし、1995年に挿し木繁殖した5年生の‘巨峰’自根樹をそれぞれ2樹供試した。仕立て法は、片側主枝長1.25 mの二本主枝とした。

1樹当たりの施肥は、前年の1998年10月に尿素10 g、休眠期の1998年3月20日に肥効調節型肥料(ノストレスNPK, 窒素-リン酸-カリ, 16-8-8) 250 g, 尿素20 g, 熔りん120 g, 微量要素肥料(FTE) 15 gを施用した。灌水は調圧弁のついたドリッパー(NETAFIM, 吐出量4 L・hr<sup>-1</sup>)を使用したドリップ式で、灌水点は4点/樹とし、午前5時から14時30分まで30分おきに20回行い、テンシオメータを用い今井(1991)の方法により、灌水開始点を、発芽期～結実期まではpF 2.2、幼果期をpF 1.5、ベレゾーン開始期から収穫期までをpF 2.2と設定し、灌水開始点未満であれば灌水しないように管理した。

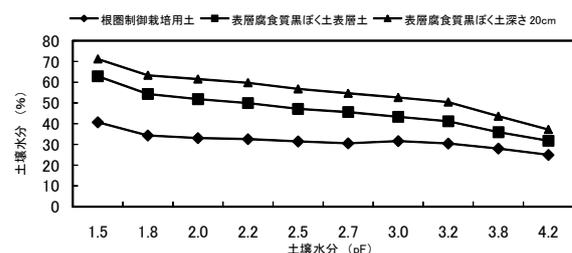
## 2. 培土量の違いが根系パラメーターおよび地上部の生育に及ぼす影響(実験3)

1997年に挿し木繁殖した3年生の‘巨峰’の自根樹を、培土量30 L/樹、60 L/樹、90 L/樹の3処理区、それぞれ2樹ずつ、実験1の方法により根圏制御栽培した。また、1996年に挿し木し、1998年にハウス内に定植した、培土量30 L/樹および60 L/樹の根圏制御栽培樹3樹について、15年生となる2010年まで、栽植間隔を畝間2 m×株間1 mを維持し、盛土に培土や堆肥を足すことなく栽培を行った。2010年は、加温開始が前年の2009年12月9日、満開日が2010年3月1日、収穫始期が2010年6月7日であった。

## 結果

### 1. 根圏制御栽培に使用した培土の物理性(実験1)

根圏制御栽培に使用した培土および栃木農試場内ブドウ園の表層および深さ20 cmから採取した表層腐植質黒ぼく土のpF-水分曲線を第15図に示す。土壤水分率は、



第15図 用土のpF-水分曲線

表層腐食質黒ぼく土の表層土および深さ20 cmでは、pF 1.5~pF 3.8までの、同一のpFにおける差は8~10%であり、深さ20 cmの水分率が培土に対して高かった。表層腐食質黒ぼく土の深さ20 cmと培土は、pF 1.5~pF 2.7までの易有効水の範囲では、同一のpFでは培土が24~30%低く、表層腐食質黒ぼく土の深さ20 cmに対する培土の水分率は54~57%であったが、pF 3.0~pF 4.2では、それぞれの差は21~12%と徐々に低下した。培土のpF1.8における土壌三相分布は、固相率が15.0%と低く、気相率が52.8%と極めて高かった。また、液相率は34.3%であり、表層腐食質黒ぼく土の深さ20 cmの63.4%の54%であった。

飽和透水係数は、表層腐食質黒ぼく土表層土では、 $4.6 \cdot 10^{-3}$ であった。地植え樹の主要根群域である深さ20 cmから採取した土では、 $8.0 \cdot 10^{-4}$ であり、透水性はやや不良であった。培土の飽和透水係数は $3.1 \cdot 10^{-2}$ であり、細れきや粗砂と同程度と極めて透水性は良好であった。

## 2. 栽植様式の違いが根系パラメーターおよび地上部の生育に及ぼす影響 (実験2)

樹体内の乾物の分配およびT/R比 (地上部乾物重/地下部乾物重) を第9表に示す。1樹当たりの総乾物重は、地植え樹が根圏制御栽培樹の1.2倍と高かった。地上部の乾物重は、根圏制御栽培樹では2313 g、地植え樹は3152 gであり、根圏制御栽培樹に対し1.4倍で強勢であった。総乾物重に対する割合は地植え樹が60%、根圏制御栽培樹が71%であった。

部位毎の乾物重は、両栽培方法ともに、旧枝である主枝・結果母枝が占める割合が高く、地植え樹では根圏制御栽培樹の1.5倍の1378gであった。総乾物重に対

する割合は31%と最も高かった。葉は、乾物重にも総乾物重に対する割合にも差はみられなかった。新梢の乾物重は、地植え樹は根圏制御栽培樹の1.3倍であったが、総乾物重に対する割合に差はみられなかった。地下部の乾物重は、根圏制御栽培樹が地植え樹の1.2倍と大きかった。とくに、根圏制御栽培樹の直径2.0 mm未満の細根 (以下、細根) 重は、地植え樹の2.7倍と大きく、根圏制御栽培樹の地下部の乾物重に占める細根の乾物重の割合は45%と高かった。また、細根の乾物重の総乾物重に対する割合は、根圏制御栽培樹の18%に対し、地植え樹では6%ととくに低かった。直径2.0 mm以上の太根 (以下、太根) 重では逆に地植え樹が根圏制御栽培樹の1.2倍と大きかったが、総乾物重に対する割合に差はなかった。このため、樹体全体の乾物の分配を表すT/R比は、地植え樹では2.4、根圏制御栽培樹では1.5となり、地植え樹で地上部の割合が高かった。

栽植様式の違いが根系パラメーターおよび葉面積に及ぼす影響を第10表に示す。総根長は、地植え樹の969 mに対し、根圏制御栽培樹が4323 mと、地植え樹の4.5倍であった。また、総根表面積は地植え樹4.2 m<sup>2</sup>に対し、根圏制御栽培樹が12.2 m<sup>2</sup>と地植え樹の2.9倍であった。とくに、養水分吸収に関係する細根については、根長は、地植え樹では総根長の92%の887 m、根圏制御栽培樹では総根長の96%となる4163 mで地植え樹の4.7倍であった。また、細根表面積は根圏制御栽培樹が10.6 m<sup>2</sup>で、地植え樹の2.8 m<sup>2</sup>の3.8倍であった。太根については、根長は、地植え樹が82 m、根圏制御栽培樹が160 mと2.0倍であったが、表面積は地植え樹が1.6 m<sup>2</sup>と根圏制御栽培樹の1.4m<sup>2</sup>の1.1倍であった。細根表面積と葉面積の比は、地植えでは0.2に対し、根圏制御裁

第9表 栽植様式の違いが乾物重およびT/R比に及ぼす影響

栽植様式	総乾物重 (g/樹)	地上部乾物重 (g/樹)							地下部乾物重 (g/樹)			T/R比	
		葉	主枝・結果母枝	新梢	地上部合計	細根	太根	地下部					
根圏制御栽培樹	3852	688 (18) <sup>z</sup>	915 (24)	710 (18)	2313 (60)	687 (18)	853 (22)	1539 (40)	1.5				
地植え樹	4451	876 (20)	1378 (31)	898 (20)	3152 (71)	258 (6)	1041 (23)	1299 (29)	2.4				
有意性	* <sup>y</sup>	NS	NS	*	*	*	NS	*	*	*	*	*	*

<sup>z</sup> ( )は総乾物重に対する各部位の乾物重の割合 (%)

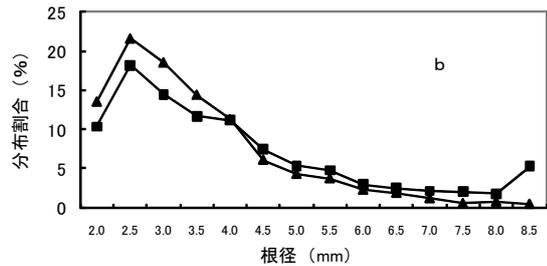
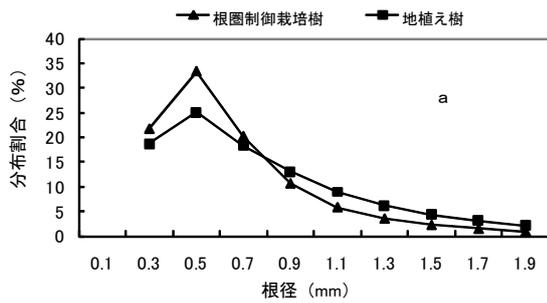
<sup>y</sup> t検定により\*\*は1%、\*は5%で有意差あり、NSは有意差なし

第10表 栽植様式の違いが根系パラメーターおよび葉面積に及ぼす影響

	総根長 (m/樹)			根総表面積 (m <sup>2</sup> /樹)			葉面積 (m <sup>2</sup> /樹)	細根表面積 / 葉面積
	細根	太根	合計	細根	太根	合計		
根圏制御栽培樹	4163 (4.7) <sup>z</sup>	160 (2.0)	4323 (4.5)	10.6 (3.8)	1.6 (1.1)	12.2 (2.9)	10.4	1.0
地植え樹	887	82	969	2.8	1.4	4.2	12.4	0.2
	** <sup>y</sup>	**	**	**	NS	**	NS	**

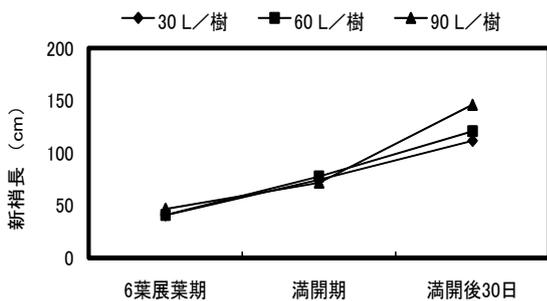
<sup>z</sup> ( )は同一部位の根圏制御栽培樹の値を地植え樹で除した値

<sup>y</sup> t検定により\*\*は1%で有意差あり、NSは有意差なし

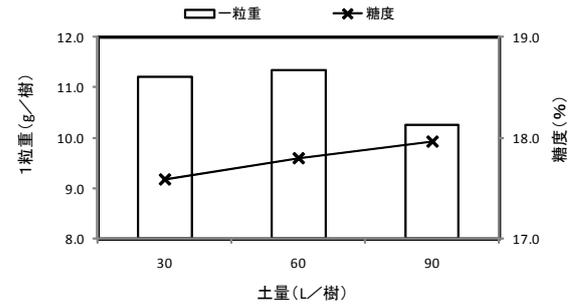
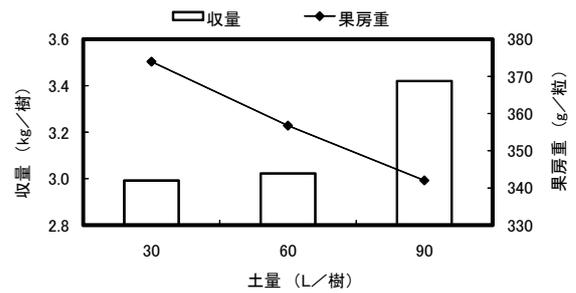


第16図 細根および太根の根径別分布割合

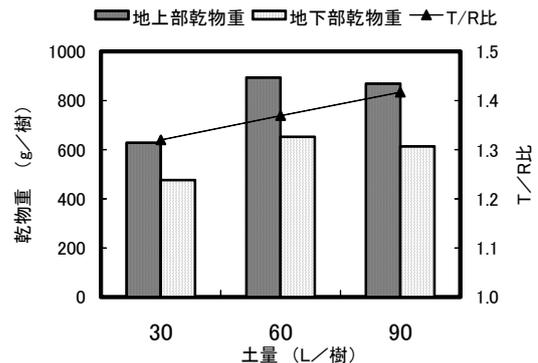
a 細根  
b 太根



第17図 生育期における新梢長の推移



第18図 収量および果実品質



第19図 地上部及び地下部の乾物重とT/R比

培樹では 1.0と5倍であった。

細根および太根の根径別分布割合を第16図に示す。細根の根径別最大分布は、根径 0.5 mmであったが、根圏制御栽培樹では地植え樹よりも割合が高く、細根の分化がより進んでいた。太根の根径別最大分布はいずれも根径 2.5 mmであったが、地植え樹では根径 8.5 mmの根の割合が、根圏制御栽培樹と比べて高かった。

### 3. 培土量の違いが根系パラメーターおよび地上部の生育に及ぼす影響 (実験3)

生育時期における新梢長の推移を第17図に示す。新梢の生育は、第6葉展葉期の1999年3月19日および満開期の4月4日では培土量による差が見られなかったが、満開後30日の5月4日では培土量が多いほど旺盛であり、90 L/樹では140 cm以上と強勢であった。収量および果実品質を第18図に示す。収量は30 L/樹、60 L/樹

ともに3.0 kg/樹で差が無かったが、90 L/樹では着房数が多かったため3.4 kg/樹と多くなった。果房重は培土量が少ないほど大きかった。1粒重は、30 L/樹と60 L/樹では収量同様差が無かったが、90 L/樹では逆に低かった。糖度は培土量による有意な差は認められなかった。また、30 L/樹では裂果が多く観察された(データ省略)。

地上部および地下部の乾物重とT/R比を第19図に示す。T/R比は、培土量が少ないほど低くなった。地上部および地下部の乾物重は、30 L/樹で最も少なかった。樹全体の乾物に対する地下部の乾物の割合は、30 L/樹で52%、60 L/樹で41%、90 L/樹で33%であり、T/R比同様、培土量が少ないほど地上部に対して地下部の割合が増加した。また、根での乾物の割合は、培土量が少ないほど細根の割合が高かった(データ省略)。

第11表 培土量の違いが根系パラメーターおよび葉面積に及ぼす影響

培土量 (L/樹)	根長 (m/樹)			根表面積 (m <sup>2</sup> /樹)			葉面積 m <sup>2</sup> /樹	細根表面積 /葉面積
	細根	太根	合計	細根	太根	合計		
30	1531	96	1627	3.4	0.8	4.1	2.4	1.4
60	1953	129	2082	4.9	1.1	6.0	3.5	1.4
90	2098	182	2279	4.6	1.0	5.6	2.9	1.6

第12表 培土量が根長および根表面積密度に及ぼす影響

培土量 (L/樹)	根長密度 (m・L <sup>-1</sup> )		根表面積密度 (m <sup>2</sup> ・L <sup>-1</sup> )	
	細根	太根	細根	太根
30	51.0 a <sup>y</sup>	3.2 a	0.13 a	0.03
60	32.6 b	2.1 b	0.08 b	0.02
90	23.3 c	2.0 b	0.06 b	0.02
150	27.8 c	1.1 c	0.07 b	0.01
有意性	* <sup>z</sup>	*	*	NS

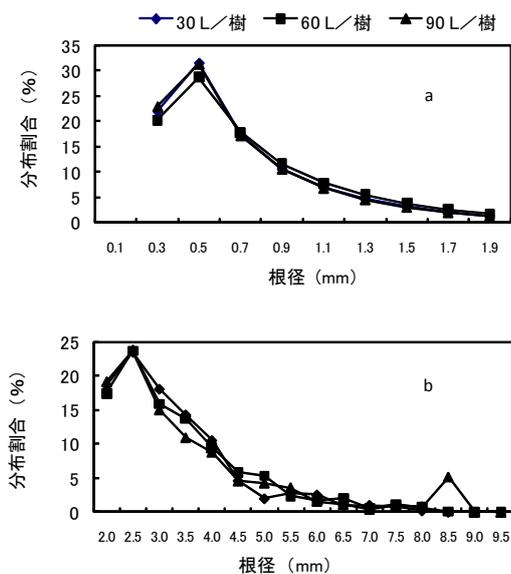
<sup>z</sup> 分散分析により\*は5%で有意差有り, NSは有意差無し

<sup>y</sup> TUKEY法により同一英小文字間に有意差無し(p<0.05)

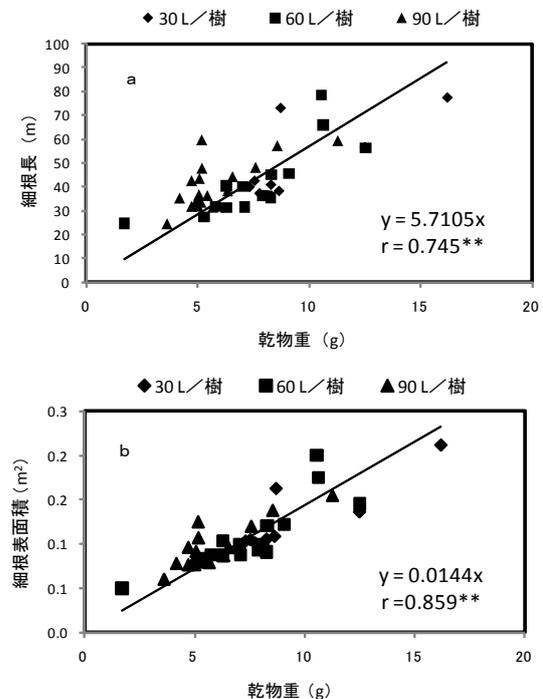
培土量の違いが根系パラメーターおよび葉面積に及ぼす影響を第11表に示す。1樹当たりの総根長は、90 L/樹では2279 m、60 L/樹では2082 m、30 L/樹では1627 mであり、培土量が多いほど長かった。根総表面積は、90 L/樹で5.6 m<sup>2</sup>、60 L/樹では6.0 m<sup>2</sup>、30 L/樹では4.1 m<sup>2</sup>であり、30 L/樹で最も少なかった。養水分の吸収に関する細根長および細根総表面積は、30 L/樹で最も少なく、地上部同様、生育が抑制されていた。また60 L/樹と90 L/樹の差は少なかった。細根葉面積と細根表面積の比は、培土量による差は少なく、1.4~1.6であった。

培土量の違いが、培土量1 L当たりの根長および根表面積の密度に及ぼす影響を第12表に示す。なお、培土

量150 L/樹は実験2のデータを使用した。細根長密度は、30 L/樹で最大の51.0 m・L<sup>-1</sup>と最大になり、培土量が多くなるほど低くなった。細根表面積密度は同様に30 L/樹で0.13 m<sup>2</sup>・L<sup>-1</sup>と最大となったが、60 L/樹以上では差がなかった。太根は、根長では30 L/樹で最大となり、培土量が多くなるほど低い傾向が認められたが、表面積は培土量による有意な差は認められなかった。細根と太根の根径別分布割合を第20図に示す。細根の根径別最大分布は、培土量による差はみられず、根径 0.5 mmが最大であった。太根の根径別最大分布



第20図 細根および太根の根径別分布割合  
a 細根  
b 太根

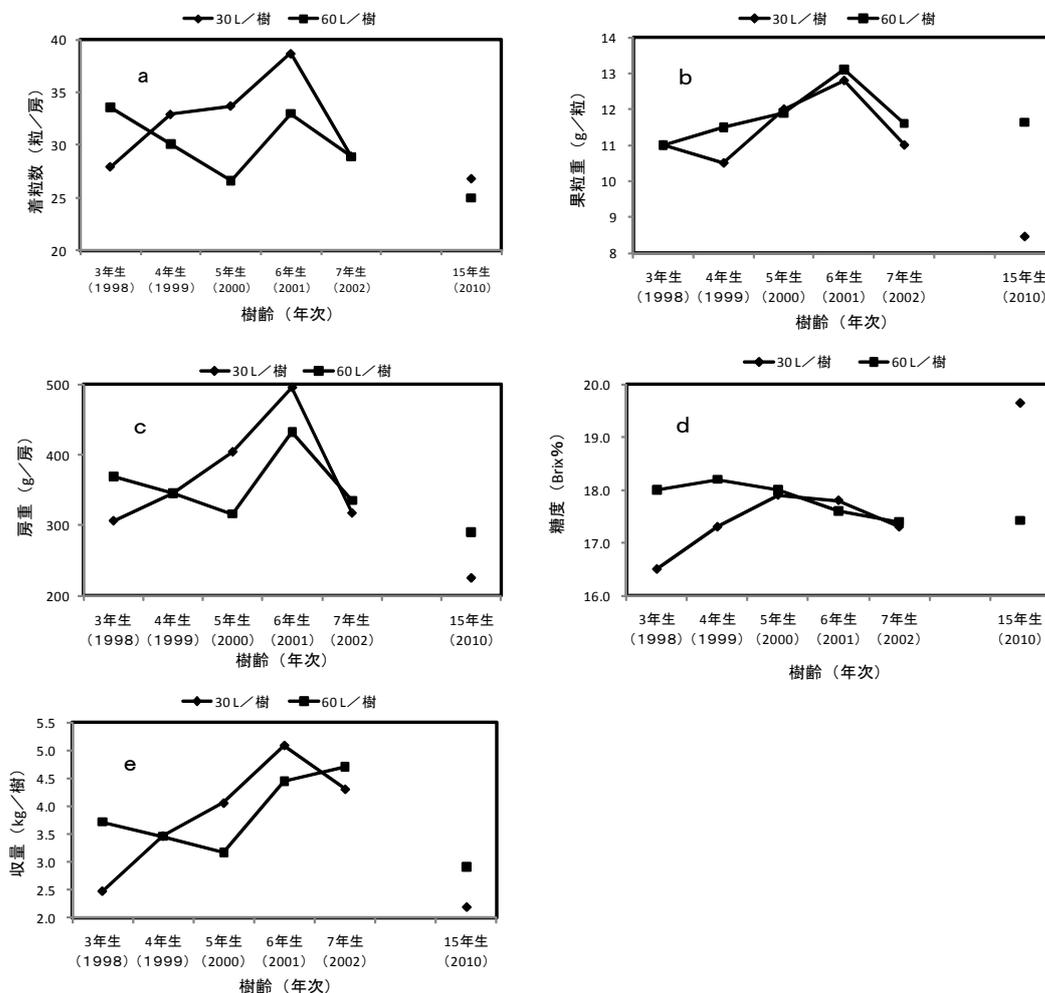


第21図 細根長および細根表面積と乾物重との関係  
a 細根長と乾物重  
b 細根表面積と乾物重

は、根径 2.5 mmで最大となった。培土量の違いでは、90 L/樹で根径 8.5 mmの根の割合が高かった以外は大差なかった。細根の乾物重と根長、根表面積との関係を第21図に示す。細根の乾物重 (x : g) と根長 (y : m) の関係は $y=5.7105x$  ( $r=0.745$ ,  $p<0.01$ )、細根の乾物重 (x : g) と根表面積 (y : m<sup>2</sup>) の関係は $y=0.0144x$  ( $r=0.859$ ,  $p<0.01$ ) と密接な比例関係がみられた。

樹齢3年生以降の果実品質および収量の推移を第22図に示す。培土量30 L/樹の樹は、3年生では着房数が少なかったため収量は低かったが、4年生以降7年生までは、培土量60 L/樹の樹よりも花穂の着生が多く、新梢伸長が抑制されて結実が安定していた。15年生では樹勢の低下がみられ、着粒数、粒重ともに低く、房重

は219 gと低く、収量は2.2 kg/樹と低かった。培土量60 L/樹の樹は、早期から多収となり安定した品質であったが、樹齢が経過し5年生になると、生育がやや旺盛になり、着粒数が減少して収量が低下した。このため、着房数を多くすることで樹勢を落ち着かせることにより6年生以降、着粒数は向上し、収量は7年生で最も多くなった。15年生では、着粒数がやや低下したのに伴い、房重がやや低下したため、収量は2.9 kg/樹と低かった。糖度は培土量30 L/樹の樹、培土量60 L/樹の樹ともに7年生までは、17~18%であった。培土量30 L/樹の15年生では粒重が低かったため糖度は19.6%であった。



第22図 培土量および樹齢が果実品質および収量に及ぼす影響

- a 着粒数
- b 果粒重
- c 房重
- d 糖度
- e 収量

## 考 察

### 1. 根圏制御栽培に使用した培土の物理性

これまでのブドウの根域制限栽培における培土は、まさ土（今井1991）や人工培地であるパーライト（田村・藤井，2003）などが使用されてきた。根域制限栽培法を生産現場レベルで行うには、密植栽培とすることから、1樹当たりの培土量を極力少なくしたとしても、大量の土が必要となる。このため、品質が安定しており、比較的安価に入手できる培土を使用することが望ましいと考えられる。今井(1991)が用いた、まさ土は花崗岩質の土壌であり、広島県において広く分布する比較的簡単に入手できる培土である。また、田村・藤井（2003）が用いた、人工培地のパーライトも一般に購入可能であり、品質も安定している。本実験に使用した赤玉土は、関東ローム層である黒ボク土の下層土として栃木県に広く分布しており、一般に水稻や野菜の育苗培土として使用され、入手しやすく価格も比較的廉価である。このため、本実験では当初から培土として、購入した赤玉土を使用した。観察では、赤玉土は直径1~2 mmの小粒だけで使用した場合は、圧密化すると粘土状となる特性があった。直径2~5 mmの中粒および5~10 mmの大粒は、植え付けから5年程度は崩壊することなく粒状を保っていた。このため、培土に使用する赤玉土は植え付け前にロータリー耕をかけ、ベルトクラッシャーを通すことにより、小粒、中粒、大粒が同程度に混合されたものが望ましいと考えられ、さらに、バーク堆肥を容積比で赤玉土の50%混合することにより、物理性が良好に保たれていたと考えられる。また、盛土を踏み固めることのない本栽培法においては、植え付けから数年経ても、赤玉土の粒状は保たれているものと考えられる。

以上から、本実験に使用した培土は、気相率が高いため透水性は極めて良いが、表層腐食質黒ぼく土と比較すると、水持ちが悪く乾燥の影響を受けやすいが、比較的、盛土内の水分のコントロールが容易であると考えられた。

### 2. 栽植様式の違いが根系パラメーターおよび地上部の生育に及ぼす影響

パーソナルコンピュータによる根系画像解析法は、直接法に比べ高い精度で根長測定が可能となり、多くのパラメーターを計測することが可能である。また、根長測定にかかる時間および労力もはるかに少なく有効な方法である（田中ら，1993）ことが認められてい

る。本実験において実施した画像解析法は、根圏制御栽培した培土量60 L/樹の1樹の解析を行うのに、A4サイズのガラス板に根を重ねならないよう並べなくてはならず、約500枚分を要した。1枚並べるのに要した時間は約5分であった。また、1999年当時のパーソナルコンピュータの性能では、ガラス板1枚を解析する時間は、スキャナで取り込む時間と合わせると約8分を要した。1樹当たりの総所要時間は、根を並べる時間42時間、画像解析時間は67時間で、合計約109時間を要した。従来の直接法と比較すれば、解析に要する労力は大幅に軽減されるものと推察されるが、依然、多くの時間を要し、根気と忍耐力が必要な解析であると考えられる。

高橋（2000）の実験では、3年生‘巨峰’をドラム缶半切り鉢で露地栽培した場合、生育過程は新梢の生長は生育初期から旺盛で成熟期まで成長し続け総新梢長は20 mに達した。葉面積は新梢よりも増加のカーブは緩やかであるが、S字曲線を描いて順調に増加して成熟期を過ぎると緩やかになり、1樹当たり9m<sup>2</sup>になった。また、1樹当たりの乾物重は発芽後やや減少気味で、開花期頃から増え始め、その後は急激に増加し、落葉期までに約3.6 kgに達した。器官別の分配率は果実と葉が25~27%で最も高く、ついで当年枝の19%で、旧枝・旧根は10~11%、新根は9%であった。本実験は4倍体で樹勢が強勢な‘巨峰’を用い、さらに強勢になりやすい黒ボク土壌に植栽した地植え栽培は、1樹当たりの樹冠面積を株間3.0 m、樹間2.5 mに維持するために冬期にかなりの強剪定を行うとともに、新梢は130 cmに達した時点で摘心を行った。このため、果実の乾物重の測定は行っていないものの、高橋（2000）の実験のように、自然形仕立てで、樹冠面積を制限せずに主枝や新梢を伸ばした場合と異なり、主枝・結果母枝などの旧枝の肥大が著しく、乾物分配率が高くなったと考えられた。また、根圏制御栽培では、地植え栽培と比較して、樹冠面積を同程度としても、樹体の生育は抑制され、同じ樹間でも強剪定となることはなかった。このため旧枝の乾物分配率は高くならず、T/R比が低くなったものと考えられた。

根域制限栽培の特徴として、栄養生長が抑制されるため、結実が向上する（岡本，1996）。これは細根の密度が高まるため、土壌中の肥料分が短期間に吸収され、長く肥効が続かないことおよび根の周囲の土壌水分が日照により急速に減少し、頻繁に水ストレス状態となることなどが原因であると報告している。本実験

においても、地下部の乾物割合は、根圏制御栽培樹では樹体全体の40%を占め、T/R比が低く、地植え樹と比較してより根系が発達していた。特に細根の乾物割合は18%と、地植え栽培の6%より高く、葉や新梢と同程度の乾物割合であり、岡本（1996）の報告と同様の結果であった。

根域制限栽培した果樹類の樹体の根系をみると、限られた土壌全体に伸長・分岐した細根が多数密集しマット状になっている（平岡・増田，2003）。岡本（2000）の‘マスカット’を使った実験では、発芽期からpF 1.5または2.3で灌水して育て、6月下旬に標準的な根を比較すると、水分の多い土壌（pF 1.5）では根の伸びが旺盛で分岐せずにまっすぐに伸びるが根毛は少ない。これに対し乾燥気味の土壌（pF 2.3）では、根の伸びが遅く1本の新根は長くはならないが、次々に分岐し、根毛は長く密生しており、皮層の発達がよいと報告されている。また、トマトの水ストレスのない養液栽培の実験で、作物の根の形態は、土耕栽培のものより大きく異なっている（景山・小西，1988）。一般に、養液栽培では土耕よりも根の伸長が早く、それぞれの根は細長くなる。また、側根が少ないため根端数は少ないが、一次側根の根端分裂組織の細胞数は土耕のものより多い。本栽培法における画像解析により求めた、培土量150 L/樹の根圏制御栽培における総根長は4323 mで、地植え樹の4.5倍、総表面積は12.2 m<sup>2</sup>で地植え樹の2.9倍に達していた。とくに、養水分吸収に重要な役割を持つ細根は、総根長の96%を占め、地植え樹の4.7倍であり、表面積は地植え樹の3.8倍と、地植え栽培と比較してより細根の分化が進んでいた。盛土内の根の分布は、平岡・増田（2003）同様に、細根が多数密集し、マット状に分布していた。また、岡本（2000）同様に、根の分布は土壌水分の多少と密接な関係があり（金原，2009）、土壌水分が少ない盛土の上部では、白色の根は少なく分岐が多くみられ、潤沢に養水分がある盛土の底部では、マット状に多数密集していた。盛土底部では、景山・小西（1988）のトマト同様に養液栽培に準じた養水分状態であったと考えられ、白色で太く分岐が少ない根が多数密集した状態になったものと考えられた。

太根では乾物分配率に差はなかったものの、総乾物重は地植え樹は根圏制御栽培樹の1.2倍であった。植物の根の機能は、①植物体の支持②水分の吸収③養分の吸収④物質の通導⑤物質の合成⑥物質の貯蔵⑦物質の分泌⑧微生物との関係⑨環境センサーなど、多くの機

能を果たしているが、中でも進化的にみてとくに重要である養水分の吸収、植物体の支持、微生物との相互関係は作物栽培を考えるときには忘れてならないものである（下田代ら，2003）。地植え樹が植栽されていた、表層腐植質黒ボク土は、土壌水分を多く含んでおり、樹体への水分のストレスは少ないものと推察された。このような土壌では、主に養水分吸収のための機能を持つ細根よりも、植物体の支持を主な機能とする太根を発達させているものと考えられた。

細根表面積と葉面積の比は、根圏制御栽培樹では1.0、地植え樹では0.2であった。このため、培土量150 L/樹の根圏制御栽培樹では葉面積と同程度の細根表面積が必要であり、また、地植え樹では葉面積の1/5の細根表面積が必要と考えられた。

以上のことから、粗孔隙の大きい培土を使用し、ドリップ式により1日20回の灌水を行う本栽培法では、樹体にかかる水ストレスは大きいものと考えられる。樹体を維持するために、水ストレスの少ない地植え樹と比較して、細根の分化がより進み、密集してマット状となり、1枚の葉を維持するために、地植え樹の5倍の細根表面積を必要とすると考えられた。

### 3. 培土量の違いが根圏制御栽培樹の根系パラメーターおよび地上部の生育に及ぼす影響

地上部の生育は、培土量が多くなるほど、新梢の生育が旺盛となり、T/R比も高くなったが、90 L/樹では、果房重や1粒重などの果実品質が劣った。培土量を増加させることにより、盛土中に保持できる水分は増加し、水ストレスに遭遇する機会は減少するものの、樹勢をコントロールし、結実安定、果実品質向上を図ることは困難になると考えられた。一方、30 L/樹では、乾物重、T/R比は最も低く、地上部の栄養成長が抑制されていたことにより、結実安定、果実品質向上が図られたと考えられるが、反面、盛土内に土壌水分は少なく、水ストレスに遭遇しやすい環境であったと考えられる。裂果の発生は土壌水分の変動に起因しているものと考えられた。総根長および総根表面積は低かったものの、根長密度は51.0 m/L、根表面積密度は0.13 m<sup>2</sup>/Lと最も高くなったことから、30 L/樹の少ない培土量では、樹体を維持するために細根をより発達させ、水ストレスに順応しているものと考えられた。

梅宮ら（2000）は、ウンシュウミカンの根系画像解析により、細根表面積/葉面積比は、2年生の‘宮川早生’においては培土量20Lの根域制限栽培では3.1であり、

12年生の‘青島温州’においては培土量300Lの根域制限栽培では0.9であったことを明らかにしている。また、杉山ら（2001）は、地植え栽培の4年生および13年生のウンシュウミカン‘青島温州’の根系画像解析において、細根表面積／葉面積比は0.8であったことを報告している。このように、ウンシュウミカンの実験では、細根表面積／葉面積比は、地植え栽培では低く、根域制限した場合、培土量が少なくなると高くなる傾向であった。本実験においても、細根表面積／葉面積比は、地植え栽培樹では0.2と最も低く、培土量150 L／樹では1.0、培土量30～90 L／樹では1.4～1.6であったことから、ウンシュウミカンと同様な傾向となった。

以上により、樹冠面積を同程度とした場合、培土量を少なくすることにより水ストレスの影響を受けやすくなると考えられ、葉や果実などの樹体を維持するために、葉面積と比較してより多くの細根表面積が必要になると考えられる。このため、用いた培土量の範囲では、細根表面積／葉面積比から、単位葉面積に対し1.4～1.6倍の細根の表面積が必要と考えられた。

細根および太根の根径別最大分布は、実験2、3ともに、細根では根径 0.5 mm、太根では根径 2.5 mmと同様な結果であった。梅宮ら（2000）および杉山ら（2001）は、ウンシュウミカンを使用した実験で細根の根系別最大分布が0.3～0.6mmであったことを報告している。本実験においても、細根の根径別最大分布は、根径0.5 mmにピークがみられ、同様の結果であった。このことから、樹種は異なるが、養水分吸収には根径0.5 mmの細根が主要な役割を担っているものと推察された。

細根の乾物重と根長の関係は、密接な比例関係がみられたことから、細根乾物重から高い精度で細根の総根長および総表面積を推測できると考えられた。

果樹類の根域制限栽培は、一般に培栽培期間が短くなり、長期間の栽培を考えると、苗を更新する経費が高くなる（平岡・増田、2003）とされている。これは、植え付けから数年が経過すると、根詰まりにより樹勢が著しく低下することが原因と考えられ、著者の観察では、特に鉢植えやコンテナ栽培にしたときに顕著であった。根域制限栽培の経済寿命に関する知見はこれまでのところない。多くの研究が、植え付けから数年経過した後、樹の更新を行うか、または、培土や堆肥を新たに加えるなどして、新根の発生を促し、樹勢の維持を図る方法を行っている。この方法では、培土や堆肥の補充に、多くの労力と経費を

要する。また、根域制限栽培を長期間行うために培土量を多くし、これに従い樹冠面積も拡大しながら行う場合が多い。培土量が多くなると、本実験の結果が示すとおり、培土の水分保持量が高く、樹体への水ストレスは少なくなる一方、豊富な水分により地上部の生育は旺盛となり、地植え樹と変わらない樹勢コントロールが必要であり効率的ではないと考えられる。また、密植を基本とする本栽培法では、コストの面からも盛土の培土量は少ない方が望ましいと考えられる。一方、今井(1991)はブドウにおいて密植型根域制限栽培の最適培土量は40～80 L／樹であると報告しており、培土量40 L／樹は、これまでの根域制限栽培に関する研究の中では、最小の培土量での栽培例である。本実験に用いた培土量60 L／樹と一致している。岸・金原（2003）は、樹冠面積2 m<sup>2</sup>の根圏制御栽培における最適培土量は30～60 L／樹であり、樹冠面積当たりの培土量は今井（1991）の報告の1/2～1/4であったと報告している。本実験における、15年にわたる培土量30 L／樹での栽培は、今井（1991）の報告よりもさらに少ない培土量であり、植え付けから15年間果実生産が可能であったことは、これまで報告にはない栽培例である。

2010年は作型を超早期加温の2009年12月9日加温開始としたため、30 L／樹、60 L／樹ともに果実品質が低下し、収量は2.0kg／樹程度であった。また、樹齢10年を越えた頃から、樹勢低下による枯死樹もみられている。しかし、30 L／樹の樹の大半は、2010年現在、植え付けから15年を経過しても、樹勢を保ち続け生産が可能な状況であり、経済寿命と判断するまでには至っていない。本栽培における経済寿命については、今後の研究に期待をしたい。

## 要 旨

地上部の仕立て方および樹冠面積を同程度とし、培土量を変えた場合の、樹体生育、収量および根系パラメーターの特徴について比較検討を行った。本実験に使用した培土は、気相率が高いため透水性は極めて良く、水持ちが悪く乾燥の影響を受けやすいが、盛土内の水分のコントロールは容易であると考えられた。根圏制御栽培では、地植え栽培と比較して、地下部の乾物分配率が樹体全体の40%と、より多くを占め、T/R比が低く、より根系が発達していた。培土量150 L／樹の根圏制御栽培における総根長は、4323 mで地植え樹の4.5倍、総表面積は12.2 m<sup>2</sup>で地植え樹の2.9倍であ

った。養水分吸収に重要な役割を持つ細根は、地植え樹に対し総根長は4.7倍、総表面積は3.8倍であった。本栽培法では、樹体を維持するために、水ストレスの少ない地植え樹と比較して、細根の分化がより進み、密集してマット状となり、1枚の葉を維持するために地植え樹の5倍の細根表面積を必要とすると考えられた。培土量を30, 60, 90 L/樹の3処理とした実験では、培土量が多くなるほど、地上部の生育は旺盛となりT/R比も高くなったが、果実品質は劣り、樹勢をコントロールし、結実安定、果実品質向上を図ることは困難であると考えられた。樹冠面積を同程度とした場合、培土量を少なくすることにより地上部の生育が抑制され、結実安定、果実品質向上が図られた。反面、水ストレスの影響を受けやすくなるため、樹体を維持するために、葉面積と比較してより多くの細根表面積が必要になると考えられ、用いた培土量の範囲では、細根表面積/葉面積比から、単位葉面積に対し1.4～1.6倍の細根の表面積が必要と考えられた。根径 0.5 mmの細根が養水分吸収に主要な役割を担っているものと推察された。細根の乾物重 (x) と根長 (y) および根表面積 (z) の関係は、密接な比例関係がみられたことから、細根乾物重から高い精度で細根の総根長および総表面積を推測できると考えられた。

## 第5章 ブドウ‘巨峰’の根圏制御栽培における秋期施肥窒素の樹体内分配および翌年の移行

### 緒言

果樹生産において貯蔵養分は、翌春の初期生育を良好にして安定した果実生産を行うための大きな要素である。ブドウにおいても秋期の施肥が翌年の新梢の初期生育を促進させる（広保，1963；小林，1970；古川，1974；岡本ら，1984；小豆沢，1995）。また，ブドウ‘巨峰’の根域制限栽培においては，植え付け2年目以降には秋肥の施肥が有効で，新梢の生育と開花後の子房の発育を促進する（今井，1991）ことが明らかにされている。しかし，栽培様式の異なる，本栽培法での施肥窒素と貯蔵態窒素の関係は明らかではない。

そこで，本章では，根圏制御栽培したブドウ樹を用い，秋季に施肥した窒素の樹体各器官への分配および新生器官への移行を<sup>15</sup>Nトレーサー法を用いて定量的に検討した。

### 材料および方法

根圏制御栽培の方式は第2章に記した方法とした。苗木は，1996年に挿し木繁殖した‘巨峰’を使用し，1997年1月にハウス内に定植して育てた，4年生樹を4樹供試した。2000年1月24日から加温開始した。灌水は，1999年9月1日から10月31日までは毎日8 L/樹を午前5時から午後2時30分まで30分間隔で行った。11月1日以降は加温開始まで2週間に1度，8 L/樹/日を同様に灌水した。翌2000年は，加温を開始した1月24日から4月13日まで毎日3 L/樹を灌水した。施肥管理として，1999年は，催芽期の2月27日から収穫期の7月27日までの150日間，年間窒素成分総施肥量を19.5 g/樹とし，硝酸アンモニウムを窒素成分で0.13 g/樹を，1日の最初の灌水時に液肥として施肥した。2000年は催芽期の2月15日から4月13日までの59日間，窒素成分施肥量を7.7 g/樹とし，硝酸アンモニウムで窒素0.13 gを，1日の最初の灌水時に液肥として施肥した。

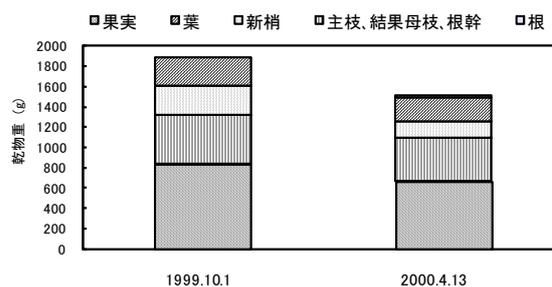
秋肥は1999年9月1日に，重窒素で標識した硫酸アンモニウムを窒素成分で9.8 g/樹施肥し，表面土壌と混和した。重窒素標識硫酸アンモニウム(3 atom%)を施肥した2樹を施肥1か月後の1999年10月1日に，重窒素標識硫酸アンモニウム(5 atom%)を施肥した2樹を翌春の幼果期の2000年4月13日に，それぞれ果実，葉（葉位別），新梢（節別），副梢，結果母枝，主枝および

根幹，太根（直径2 mm以上），細根（同2 mm未満）に区分して解体し乾物重を調査した。重窒素同位体比および全窒素量は試料を洗浄後，105℃で24時間熱風乾燥し，振動ミルで100メッシュ以下に粉碎し，同位体用質量分析計ANCA-MSを用いて測定した

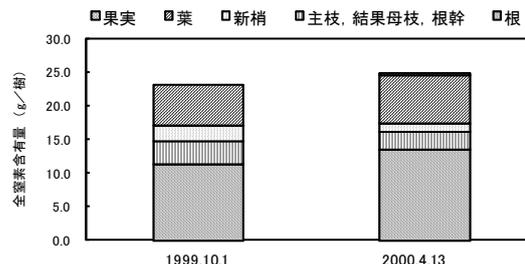
### 結果および考察

樹体部位別乾物重を第23図に，樹体部位別全窒素含有量を第24図に示した。また，樹体における部位別の乾物重および全窒素含有量の割合を第13表に示した。

施肥1月後の1999年10月1日の，樹体における部位別の乾物重は根が837 g，次いで，主枝，結果母枝，根幹が482 g，新梢が290 g，葉が275 gであった。樹体における部位別の全窒素含有量は，根が11.2 gと最も高く，ついで葉が6.1 gであった。乾物重の割合は，根が44.4%で最も高く，次いで，主枝，結果母枝，根幹が25.6%であった。樹体における部位別の全窒素含有量の割合は，根が48.3%と最も高く，次いで，葉が26.4%であった。翌春の幼果期の2000年4月13日の，樹体における部位別の乾物重は根が666 g，次いで，主枝，結果母枝，根幹が429 g，新梢が168 g，葉が228 gであった。樹体における部位別の全窒素含有量は，根が13.4gと最も高く，ついで葉が7.1 gであった。乾物重の割合は，根が43.7%で最も高く，次いで，主枝，結果母枝，根幹が28.4%であった。樹体における部位別の全窒素含有量の割合は，根が53.4%と最も高く，次いで，葉が29.4%であった。このように施肥1月後の1999年10月1日と翌春の幼果期の2000年4月13日の樹体における部位別の乾物



第23図 解体時における樹体部位別乾物重



第24図 解体時における樹体部位別全窒素含有量

重および全窒素含有量の割合は同様の傾向であった。これは解体時期が収穫後および幼果期であり果実の影響が少ないためと考えられた。

1999年10月1日から2000年4月13日の期間の全窒素含有量の増加分1.7 gは、施肥を開始した催芽期から解体時までの59日間の施肥窒素量7.7 gおよび培土由来の窒素と考えられ、4月13日の全窒素量に対する割合は6.9%であった。粕谷ら(1981)の実験では、総窒素保有量(貯蔵窒素、土壌由来の窒素、基肥由来の窒素の合計量)に対する吸収窒素量(土壌由来の窒素、基肥由来の窒素の合計量)の割合を生育時期別に見ると、萌芽期8.0%、開花期26.0%、成熟期が40.5%であった。開花期の値と比較すると、本実験における幼果期の土壌由来の窒素、基肥由来の窒素割合6.9%は非常に低いといえる。粕谷ら(1981)の実験では施肥前の窒素保有量5.9 gに対し開花期までの窒素吸収量は2.1 gであり、本実験の窒素増加量1.7 gと差は少なかった。しかし、本実験では粕谷ら(1981)と同一樹齢の4年生樹を使用しているにも関わらず、10月1日の全窒素量が23.1 gと3.9倍の窒素を保有し、とくに根にその48.3%が保有されていた。根系が非常に発達する本栽培法の特徴と考えられ、このため、幼果期における土壌由来の窒素、基肥由来の窒素の割合が非常に低くなったと考えられた。

第14表に1999年10月1日および2000年4月13日の重窒素標識秋肥窒素の吸収量と利用率を示した。施肥1か月後の10月1日の重窒素標識秋肥窒素吸収量は1樹当たり平均3.20 gで、利用率は32.6%であった。翌春の幼果期の4月13日の重窒素標識秋肥窒素の吸収量は1樹当たり平均2.90 gで、利用率は29.6%であった。1999年10月1日と、2000年4月13日の重窒素標識秋肥窒素の吸収量に差がないことから、秋肥の休眠期間および翌春の再吸収はほとんど無いと考えられた。また、10月1日から4月13日までの重窒素標識秋肥窒素の減少分は落葉および剪定によるものと考えられた。中田ら(1979)は、施肥窒素の利用率について、施肥時期試験で47%、施肥量試験で57%であったとしている。本実験における施肥窒素の利用率が低いのは、中田ら(1979)の実験では施肥後6か月経過後の解体であったのに対し、本実験では施肥1か月後の解体と短期間であったためと考えられる。しかし、短期間の吸収としては、比較的高い窒素の吸収率であると考えられる。この要因として、根圏制御栽培では第4章で明らかにしたように、細根の密度が非常に高くなるため、施肥窒素の吸収効率が高くなることが考えられた。

部位別では、施肥1か月後の10月1日に、離脱器官である葉へ0.70 g、割合で22.3%が分配された。施肥後、

第13表 樹体における部位別の乾物重及び全窒素含有量の割合

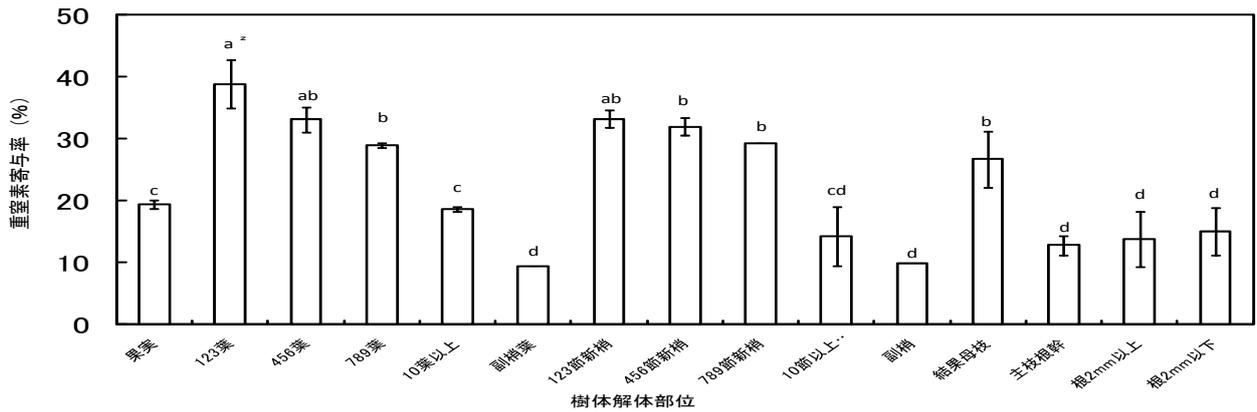
樹体における部位	樹体における部位別 乾物重の割合 (%)		樹体における部位別 全窒素含有量の割合 (%)	
	1999.10.1	2000.4.13	1999.10.1	2000.4.13
根	44.4	43.7	48.3	53.1
主枝, 結果母枝, 根幹	25.6	28.4	15.3	10.6
新梢	15.4	11.3	10.0	5.5
葉	14.6	15.2	26.4	29.4
果実		1.4		1.5

第14表 施肥1月後(1999年10月1日)及び翌春幼果期(2000年4月13日)の部位別重窒素標識秋肥窒素吸収量と利用率

部 位	1999.10.1 (g)		2000.4.13 (g)	
根	1.88 ± 0.46 <sup>z</sup>	(59) <sup>y</sup>	1.77 ± 0.09	(61)
主枝, 結果母枝, 根幹	0.37 ± 0.10	(11)	0.23 ± 0.01	(8)
新 梢	0.25 ± 0.08	(8)	0.14 ± 0.02	(5)
葉	0.70 ± 0.09	(22)	0.73 ± 0.08	(25)
果 実	—	—	0.03	0.01 (1)
合 計	3.20 ± 0.73		2.90 ± 0.18	
施肥窒素利用率 (%)	32.6 ± 7.5		29.6 ± 1.9	

<sup>z</sup> 2樹の平均値±偏差

<sup>y</sup> ()内は樹全体吸収量に占める各部位の吸収量の割合



第25図 重窒素標識秋肥窒素の2000年4月13日における部位別寄与率  
 縦線は標準誤差を示す(n=2)  
 z TUKEY法により同符号間に有意差なし(P<0.05)

落葉まで約2ヶ月の期間があり、収穫後の光合成能維持に利用されたと考えられた。古川(1974)は、秋肥は休眠期までは同化養分の芽への移行を促し

て芽の充実を図ると共に、根への移行も促して、全樹体としての貯蔵養分の量を増加させ

ると報告しているが、本実験においても根に1.88 g、割合で58.6%、主枝、結果母枝、根幹に0.37 g、割合で11.3%と合計69.9%の秋肥窒素が分配され貯蔵された。

翌春の幼果期の4月13日の地上部の新生器官の重窒素標識秋肥窒素は、新梢で0.14 g、葉で0.73 g、果実で0.03 gであり、樹体全体の重窒素標識秋肥窒素の31.0%であった。古川(1974)は、萌芽期から新梢伸長期にかけて貯蔵養分の移行および消費には、主として根における貯蔵養分が使われたと報告しており、また、粕谷ら(1981)は、生育が進むにつれて貯蔵窒素が地上部の新生器官へ移行すると報告している。このことから、本実験における翌春の新生器官の重窒素標識秋肥窒素は、前年秋季に、根や旧枝に貯蔵されていた秋肥由来の窒素が再移動したものと考えられた。

第25図に重窒素標識秋肥窒素の2000年4月13日における部位別寄与率を示した。寄与率は、その器官内に存在する全ての窒素のうち施用窒素の占める割合を意味している(赤尾ら, 1978)。葉では、1, 2, 3葉および4, 5, 6葉では寄与率は30%を上回り、特に展葉時期の早い低位の1, 2, 3葉では寄与率が高く38.8%であった。また、上位になるに従い寄与率は低くなり、副梢葉では最も低い9.4%であった。新梢では、9節までは平均31.5%であり、葉ほど差は無かったが、10節以上の新梢および副梢では平均12.0%と有意に低くなった。また、果実の寄与率は19.3%であり、9節までの葉や新梢より低かった。結果母枝の寄与率は26.7%と、4~9

葉、1~9節までの新梢との差はなかったが、根では9節までの葉や新梢、果実より低かった。各器官の秋肥窒素の寄与率の変化から、供給源として根や枝の貯蔵態窒素の移動によることが示唆され、秋肥窒素が展葉など初期生育に及ぼす影響は非常に大きいと考えられた。

本実験の結果より、地下部に吸収根が非常に発達する根圏制御栽培において秋肥窒素は速やかに吸収され、収穫後の光合成能維持に利用されるとともに、枝や根などに貯蔵された。翌年、枝や根に貯蔵された窒素の31.0%が葉や新梢などの地上部の新生器官に再移動し、特に展葉時期の早い低位の1, 2, 3葉では寄与率が含有窒素の38.8%と非常に高くなることから、初期生育確保のため貯蔵態窒素として機能していると考えられた。

### 要 旨

果樹生産において貯蔵養分は、翌春の初期生育を良好にして安定した果実生産を行うための大きな要素であることから、根圏制御栽培したブドウ樹を用い、秋季に施肥した窒素の樹体各器官への分配および新生器官への移行を<sup>15</sup>Nトレーサー法を用いて定量的に検討した。根圏制御栽培では、細根の密度が非常に高くなるため、施肥窒素の吸収効率が高く、秋肥窒素の利用率は32.6%であった。吸収された秋肥窒素は葉へ22.3%が分配され、収穫後の光合成能維持に利用されるとともに、69.9%が枝や根などに貯蔵された。翌年、枝や根に貯蔵された窒素の31.0%が葉や新梢などの地上部の新生器官に再移動し、特に展葉時期の早い低位の1, 2, 3葉では寄与率が含有窒素の38.8%と非常に高くなることから、秋肥は初期生育確保のため貯蔵態窒素として機能していると考えられた。

## 第6章 総合考察

### 1. 樹体吸水量を踏まえた、日射量に基づいた量的灌水量管理法

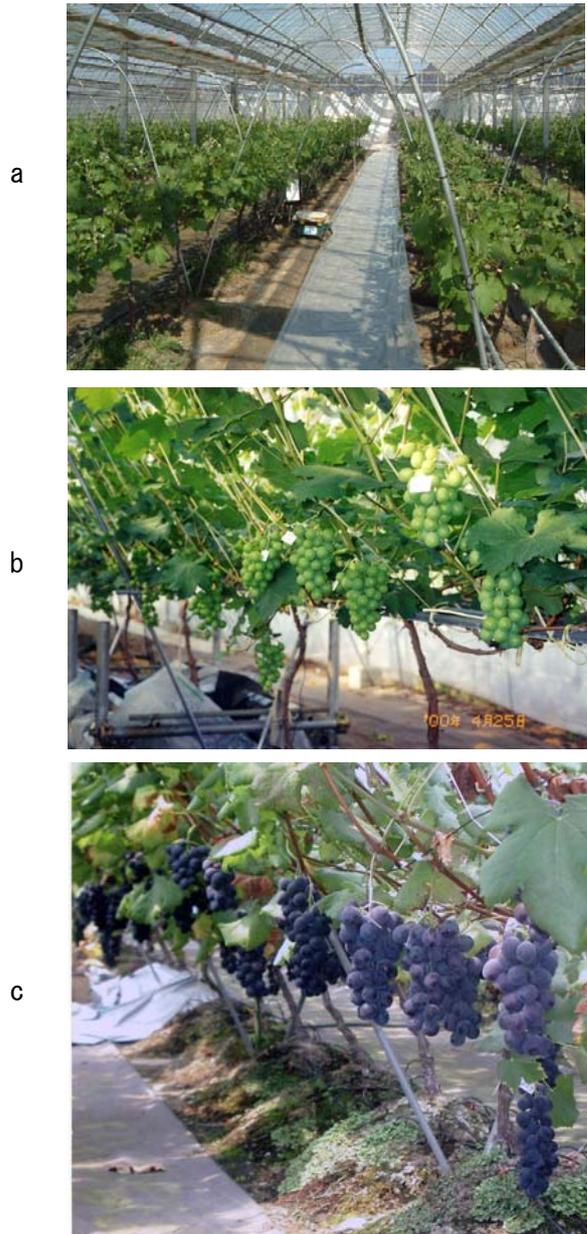
現在、普及している、ブドウの根域制限栽培法は、テンシオメータを使用した灌水量管理（今井，1991）が一般的である。しかし，第3章，実験1で，単独盛土式の本栽培法における盛り土内の土壌水分の分布を調査したところ，水分分布は不均一であり，ハウス内のテンシオメータの設置位置によっても土壌水分に差がみられた。また，粗孔隙の大きい培土を使用したため，日灌水量の少ない生育初期ではpFがテンシオメータの測定限界である2.9を越え，正確な土壌水分の測定が困難であった。本栽培法では，第3章の実験3の結果からも明らかのように，成熟期の灌水量管理が直接的に果実品質や樹の生育に影響を及ぼすことから，少数箇所設置のテンシオメータによる水分管理など，画一的な管理は困難であり，日射量に応じたきめ細かな管理が必要であると考えられた。

生育時期別の樹体吸水量測定の実験から，日積算日射量（ $x$ ）と樹体の日吸水量（ $y$ ）の間に， $y=0.250x$ （ $r=0.671$ ， $p<0.001$ ）の密接な比例関係があることを明らかにした。晴天日の1樹当たりの日吸水量は，生育ステージが進むに伴って増加し，また，曇雨天日の相対吸水量は生育ステージとともに減少することを明らかにした。その実験結果に基づき，本研究では，水ストレスのない条件下での樹体の吸水量を基に，高品質・多収を実現できる灌水量管理法を生育時期別に検討し，日射条件の異なる地域や作期に応用する場合を考え，葉面積 $4.5\text{ m}^2$ /樹程度の本栽培法における基準吸水量，および相対灌水量に基づいた量的灌水量管理プログラム（第8表）を設定した。すなわち，各生育ステージ毎の日灌水量は，日積算日射量の平均値に第1式より求めた0.250を乗じて基準吸水量を求め，発芽期～落花期までの生育初期は基準吸水量×相対灌水量0.3，落花期～ベレゾン期前までの幼果期は基準吸水量×2.0，ベレゾン期～収穫期までの成熟期の晴天日は基準吸水量×1.0～1.2，曇雨天日は基準吸水量×0.4で管理することにより，高品質な果実生産ができると考えられた。

根域制限栽培の生命線である灌水量管理は，本栽培法の普及を考えると，現場生産者にもわかりやすい方法にしておかなければならない。その点，今回開発した樹体吸水量を踏まえた日射量に基づく量的灌水量管理プログラムは，生育ステージに応じて年3回（第26図）日

灌水量を設定するのみであることから，簡便な方法といえる。

1999年にpFセンサーを使用して，灌水量管理を行なった場合の発芽期から収穫終期までの総灌水量は $462,500\text{ L}\cdot 10\text{a}^{-1}$ であったが，2008および2009年に上記の方法による管理では，1999年と比較して46～47%の節水が図られた。倉藤ら（2008）は，根域を制限しない灌水同時施肥栽培において，年間の総灌水量の目安は $114,560\text{ L}\cdot 10\text{a}^{-1}$ としている。本栽培法では，この値と比較して発芽期から収穫終期まで約2倍の灌水量である



第26図 灌水量を設定する生育ステージ

- a 生育初期
- b 幼果期
- c 成熟期

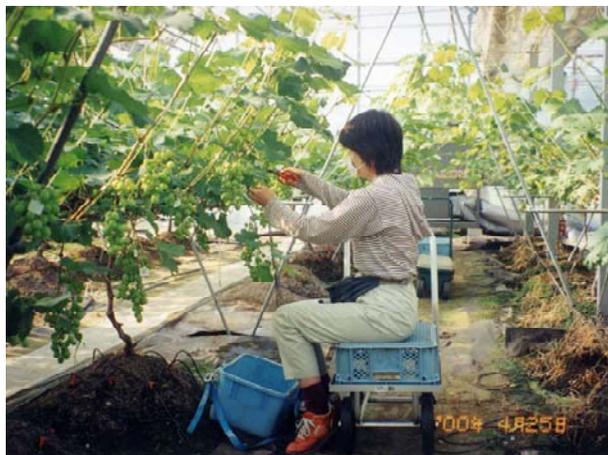
が、水ストレスが大きい根域制限栽培としては、節水型の灌水管理法であると考えられる。また、2009年の実験から、排水量は幼果期は多かったものの、日射量による灌水調節を行なった成熟期では、系外への排水が大幅に減少し環境負荷軽減が図られた。

現在、日射センサー連動型灌水制御装置も一般に市販されており、平均的な日射量の地点を見極めることにより日射センサーを設置すれば、制御を行う日射センサーも1台用意すればよいことから、ハウス内に複数のpFセンサーを設置するより安価に灌水を制御することが可能であると考えられる。

## 2. 本栽培法の仕立て方が葉面積確保および作業者の軽労化に及ぼす影響

慣行平棚仕立ては、日本国内のブドウ栽培で行われている優れた仕立て法であるが、常に腕を上げて作業を行うために、栽培者の両肩や両腕等への負担が大きいという問題がある。また、密植を基本とする根域制限栽培では、樹体を小型化するために、1樹当たりの葉面積を確保することが困難である。このため、本栽培法では、単位面積当たりの葉面積の確保による早期多収と、樹体管理の単純化および栽培者の軽労化を目的として、樹の仕立て法に垣根仕立てを採用した。

無加温ハウスで栽培したデラウェアを使った実験で、果実生産のための最適葉面積指数は3.0程度である（高橋，1986）。栽植本数500本・10a<sup>-1</sup>の本栽培法における、1樹当たりの樹冠面積は2m<sup>2</sup>/樹であり、成熟期の葉面積は4.5m<sup>2</sup>程度であったことから、葉面積指数は2.3であり、最適葉面積指数を下回っていた。今後、さらなる多収および果実品質の向上を図るためには、最適葉面積指数3程度の葉面積確保が必要であり、1樹当たり6m<sup>2</sup>/樹の葉面積が必要である。このためには、個葉を



第27図 台車を使用しての管理作業

小型化させて枚数を確保することや副梢の利用法等、新梢管理法の検討が必要と考えられる。

垣根仕立ては、果房の位置を胸から目の高さにも揃えて作業姿勢を改善することができる（佐藤ら，1979）。また、ほとんどの作業を作業台車に座ったまま行うことができ、作業の軽労化が図られる（第27図）。岸（2000）は、垣根仕立ての根域制限栽培と慣行棚仕立ての労働時間の比較において、特に、ブドウ栽培で最も作業時間を要する、花穂の切りつめ、摘粒などの着果管理は、棚仕立てと比較して約30%と大幅な短縮、また、剪定作業は約20%の短縮が図られ、新梢管理にかかる時間は増加するものの、総労働時間は約10%短縮され省力化が図られることを報告している。本栽培法の樹体管理は、樹形が単純でわかりやすく、マニュアル化されているため容易に修得でき、栽培経験のない人が新規に導入した場合でも、パート作業者のみによる作業も可能であると考えられる。本栽培法を導入した生産者からの聞き取り調査では、棚栽培を長年経験した栽培者にとっては、自由に動き回れる棚栽培と異なり、列での作業となるため最初は戸惑うが、慣れてしまえばこちらの方が楽であり、新品種への切り替えも簡単にできるとの感想であった（データ未発表）。また、これまで身障者による園内での作業や観光摘み取りなどは困難であったが、この方法であればバリアフリーのブドウ栽培にも対応が可能であると考えられる。

以上より、根圏制御栽培法と組み合わせた垣根仕立て法は、果実生産の向上ならびに栽培者の軽労化も同時に図れる栽培法であることから、これまで棚栽培一辺倒であった日本のブドウ生産に変革をもたらす可能性は大いにあるものと考えられる。

## 3. 本栽培法の実用性

本栽培法は栃木県内において、現在数件の生産者が導入している。導入の経緯としては、①ブドウ生産者がハウスの改植として取り入れる、②ナシなど他作物の後継者が、就農時に複合作目として取り入れる、③新規参入者が取り入れる、の3タイプに大別できる。特筆すべきは③の新規参入者が導入したことである。慣行のブドウ栽培では、成園まで数年を要し、導入に多くの経費がかかることから、初期の経営が不安定であること、技術の修得に長年の経験と勘が必要であることから、新規の栽培者がほとんどなく暫減しているのが現状である（栃木県農政部，2009）。栃木県における現在のぶどう経営は、生産に必要な投資を先送りし、

第15表 根圏制御栽培に必要な経費(10a当たり)

栽培棚関係資材	V支柱(19mm)	430	150	本	64,500
	棚用直管(19mm)	410	400	本	164,000
	棚用金具	15	1,300	個	19,500
用土	赤玉土	5,000	20	m <sup>3</sup>	100,000
	バーク堆肥	16,500	5	t	82,500
遮根シート等	遮根シート (ルートラップ <sup>2</sup> 2m×100m)	79,000	5	本	395,000
	止具	35	380	個	13,300
	ビニール (1.5m×100m)	6,500	5	本	32,500
灌水関係資材	灌水装置(KISBIV)	738,000	1	台	738,000
	ドリッパー(NETAFIM)	115	1,000	個	115,000
	4分岐ヘッター	25	1,000	個	25,000
	アロードリッパー	30	4,000	個	120,000
	ポリパイプ(20mm)	12,500	5	本	62,500
	マイクロチューブ(5mm)	3,700	40	本	148,000
	継ぎ手	1,000	50	個	50,000
工事費		600,000	1	式	600,000
消費税					136,490
合計					2,866,290

耐用年数の過ぎた農業機械や施設を利用して、経営努力で所得を確保しているにすぎない。このため、経営資産は減価償却により減少しつつあり、非常に不安定な経営状態にある。今後のぶどう経営や産地の維持発展のためには、単収の向上が唯一の対応策であると考えられる。本栽培法について詳細な経営分析は実施していないが、密植と養水分の制御により慣行栽培と比較して早期から2 t・10a<sup>1</sup>を超える多収が可能となることから、経営改善効果が高いと期待される。

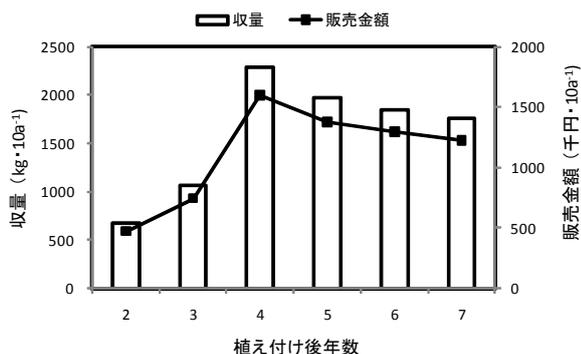
本栽培法の導入に伴い、植え付け本数、収量の増加による肥料費、出荷経費や諸材料に要する流動費をはじめ、施設導入による減価償却費が増加する。しかし、単収が増加するため、売り上げが約60%増加することにより、所得は現状よりも大幅な増加となり、比較的早期に初期投資分は回収できるものと考えられる。しかし、新規栽培者を対象としているものの、導入に当たり、約287万円の初期投資が必要となる(第15表)。現在ブドウ生産は単価が安値安定であり、この金額は新規導入の足かせとなることから、今後は、さらに低コストなシステムの開発が課題となってくると考えられる。

栃木県のT園における、本栽培法を導入してから7年

間の収量および販売金額の推移を第28図に示す。T園は、栃木県東部に位置し、県の中心的なニホンナシ産地のなかで、3世代にわたり3.5 haのニホンナシを栽培している、栃木県を代表する生産者である。T園の場合上記②に該当し、2003年に長男が就農するのに当たり、新規作目の導入を希望したことから、栃木県農業試験場で開発中であった本栽培法を導入することとなった。

当園では、導入2年目は675 kg・10a<sup>-1</sup>、4年目には2286 kg・10a<sup>-1</sup>の収量を上げ、栃木県の慣行成園の平均収量1200 kg(栃木県農政部、2008b)の約2倍の収量となった。販売金額は4年後には160万円となった。収量は、その後も1751~1966 kg・10a<sup>-1</sup>の間で推移している。後継者は、新規作目のブドウの栽培を任せられ、早期に栽培技術を修得するとともに、新品種の導入にも意欲的であり、経営の安定向上に大きく寄与している。

以上により、ブドウの盛土式根圏制御栽培法は、これまでのブドウ栽培の課題であった、早期成園化、多収、技術修得の容易さ、作業者の軽労化、環境負荷低減など、これまでのブドウ栽培の課題を一気に解決できる技術であると考えられ、今後のブドウの生産振興に大きく寄与するものと期待される。



第28図 収量と販売金額の推移 (栃木県T園)

## 謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、終始親切丁寧な御指導と御教示を賜りました宇都宮大学農学部八巻良和教授に、衷心より深謝の意を表します。

宇都宮大学農学部本條均教授、東京農工大学農学部萩原勲教授、宇都宮大学農学部山根健治准教授、茨城大学農学部井上栄一准教授には本論文の校閲を賜りました。記して厚くお礼申し上げます。

元宇都宮大学農学部吉田智彦教授、栃木県上都賀農業振興事務所経営普及部長小林俊一博士には終始暖かい励ましをいただきました。記して厚くお礼申し上げます。

本研究にあたり、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所、元根圏機能研究室長梅宮善章氏、果実鮮度保持研究チーム中村ゆり博士、経営データを提供いただいた栃木県芳賀郡芳賀町の生産者、田口敬久氏には深謝の意を表します。

本研究の遂行に当たり、栃木県農業試験場元場長江修氏、関一男氏、元園芸技術部長高橋建夫氏には終始暖かい励まし、御支援をいただき感謝申し上げます。園芸技術部果樹研究室で、ともに栽培管理等に携わり、多大な御尽力をいただきました栃木県塩谷南那須農業振興事務所岸祐子氏、須藤貴子主任研究員をはじめ職員ならびにパート職員の皆様に深謝いたします。

本研究のとりまとめに際して、栃木県下都賀農業振興事務所水沼裕治参事兼所長、農政部経営技術課安納義雄課長ならびに普及情報担当原利浩課長補佐には、御理解をいただき終始暖かい励ましを賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

- 赤尾勝一郎・久保田収治・林田至人. 1978. 温州ミカン樹の春季新器官形成時における樹体内貯蔵窒素, 特に秋肥窒素の利用について(その1). 園学雑. 47(1): 31-38.
- Allen, R.G.L.S.Pereira, D.Raes and M.Smith. 1998. Chapter 6- ET<sub>c</sub>-Single crop coefficient(K<sub>c</sub>). IN: Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements - FAO irrigation and drainage paper 56. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. ISBN 92-5-104219-5.  
<<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>>.
- 有馬 進・最所一雅. 2002. 画像解析を利用した水稲根系の形態解析とその品種間差異. 日本作物学会九州支部会報. 68: 15-18.
- 朝倉利員. 1990. 茎内蒸散流量計によるブドウ樹の蒸散量測定. 農及園. 65(9): 1086-1088.
- 朝倉利員. 2006. RDIとPRDによる灌水管理. p. 72. 農業技術体系果樹編2ブドウ基本技術編. 農文協. 東京.
- 小豆沢 斉. 1995. 施設栽培ブドウにおける土壌肥料的的研究. 島根農試研報. 29: 1~107.
- 小豆沢 斉・伊藤武義. 1983. 二十世紀ナシの乾物生産と養分吸収. 島根農試研報. 18: 31-47.
- 福元康文・西村安代・島崎一彦. 2001. メロンの点滴灌水施肥栽培における養液濃度と灌水量に関する研究. 園学雑. 70(別1): 116.
- 後藤丹十郎・高谷憲之・吉岡直子・吉田裕一・景山祥弘・小西国義. 2001. 根域制限下でのキクの生育抑制に及ぼす養水分ストレスの影響. 園学雑. 70(6): 760-766.
- 東出忠桐. 2003. 灌水機器・装置. p. 228-236. 日本施設園芸協会編集. 施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会. 東京.
- 平岡潔志・増田欣也. 2003. 果樹の栽培と根系. p. 133-150. 根のデザイン. 森田茂紀編. 養賢堂. 東京.
- 平岡潔志・梅宮善章. 1998. 根画像解析ソフト WinRHIZOの測定特性. 根の研究. 7(4): 127.
- 広保 正. 1963. ブドウ樹の栄養生理的研究(第5報)

- 窒素, リン酸, 加里, 石灰の供給時期および期間がブドウ樹の生長, 収量, 品質に及ぼす影響について. 園学雑. 32(1) : 20-26.
- 古川良茂. 1974. 秋肥および冬肥がブドウの秋季の同化養分の移行・配分と翌春の生長に及ぼす影響. 農及び園. 49(8) : 1041-1042.
- 今井俊治. 1991. 密植・根域制限栽培による4倍体ブドウの早期成園化の実証. 広島果試 特研報. 3 : 1-94.
- 今井俊治. 2009. 苗の定植と樹体の管理. p13-21. カラー版ブドウの根域制限栽培～写真・図表でみる理論と実際～. 創森社. 東京.
- 石原良行・人見秀康・八巻良和. 2006. 毛管給液を併用したトマトの閉鎖型養液栽培における培養液組成が培地内溶液濃度および収量に及ぼす影響. 園学研. 5(3) : 265-270.
- 岩間和人. 1985. 根表面積と根径の推定方法. 日本作物学会東海支部研究発表梗概. 99 : 79-81.
- 景山詳弘・小西国義. 1988. 土耕との比較でみた水耕トマトの形態的・生理的特徴. 園学雑. 57(3) : 408-417.
- 金原啓一・梅宮善章・中村ゆり・小川祐子. 2000. 根域制限栽培ブドウの根系画像解析. 第1報, 培土量の違いが根系パラメーターおよび地上部の生育に及ぼす影響. 園学雑. 69(別1) : 202.
- 金原啓一・梅宮善章・中村ゆり・岸祐子. 2001. 根域制限栽培ブドウの根系画像解析. 第2報, 栽培方式の違いが根系パラメーターおよび地上部の生育に及ぼす影響. 園学雑. 70(別1) : 228.
- 金原啓一・岸祐子. 2001. ドリップ灌水によるブドウの根圏制御栽培における窒素およびリン酸施肥量の違いが樹体生育, 果実品質および収量に及ぼす影響. 栃農試研報. (50) : 69-77.
- 金原啓一・小島耕一・執行盛之. 2002. ドリップ灌水によるブドウ根圏制御栽培における水分制御と新梢管理の違いが収量および果実品質に及ぼす影響. 園学雑. 71(別1) : 215.
- 金原啓一・梅宮善章・岸祐子・中村ゆり. 2004. ブドウ根圏制御栽培における秋期施肥窒素が樹体内分配および翌年の移行に及ぼす影響. 園学雑. 73(別1) : 235.
- 金原啓一・梅宮善章・岸祐子・中村ゆり. 2005. ブドウ根域制限栽培における生育ステージ毎の施肥窒素が樹体内分配に及ぼす影響. 園学雑. 74(別1) : 267.
- 金原啓一・八巻良和・岸祐子・須藤貴子. 2009. ブドウ「巨峰」の根域制限栽培における蒸散量に基づく灌水管理法. 園学雑. 8(別1) : 92.
- 粕谷光正・松浦永一郎・青木秋広・茂木惣治. 1981. ブドウ巨峰の施肥改善に関する研究. 第2報. 基肥窒素の生育時期別吸収. 栃農試研報. 27 : 61-68.
- 菊池重次・堀田徳治・野村秋夫. 1966. 温州ミカンの根群分布に関する研究. 大阪農技 研報. 3 : 127-138.
- 岸祐子. 2000. ぶどう「巨峰」の垣根仕立て根域制限栽培による軽労・省力化. 栃農試研究成果集. 19 : 27-28.
- 岸祐子・金原啓一. 2003. ドリップ灌水によるブドウ「巨峰」の根圏制御栽培における樹冠面積, 土量および樹齢が樹体生育, 果実品質, 収量に及ぼす影響. 栃農試研報. 52 : 55-61.
- 小林章. 1982. 栄養と施肥. p. 321-387. ブドウ園芸. 養賢堂. 東京.
- 倉橋孝夫. 2008. ブドウ=施設栽培新梢伸長期温湿度・水分管理, 養液土耕栽培. p. 33-41. 最新農業技術 果樹vol. 1. 農文協. 東京.
- 倉藤祐輝・尾頃敦郎・藤井雄一郎・小野俊朗・久保田尚浩・森茂郎. 2008. ブドウのマルチと灌水同時施肥による超密植栽培システムの開発. 園学研. 7(3) : 425-431.
- 松浦永一郎・青木秋広・粕谷光正・中田隆人. 1982. ブドウ巨峰の施肥改善に関する研究. 第5報. 樹相と結実および品質との関係. 栃農試研報. 28 : 109-120.
- 三木敏史・板東一宏・今井健司・米本謙悟・山下ルミ. 2006. 親水性不織布を用いたイチゴドリップ灌水育苗法. 園学雑. 75(別2) : 550.
- 森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・村松昇・長谷川美典. 2004. 露地栽培ウンシュウミカンにおける周年マルチ点滴灌水同時施肥法の開発(土壌管理・施肥・灌水). 園学研. 3(1) : 45-49.
- 森田茂紀・菅徹也・春木康・山崎耕宇. 1988. ルートスキャナーを用いて評価した水稻根の形態的諸形質. 日作紀. 57(2) : 371-376.
- 中田隆人. 1966. ブドウ巨峰の花振るい防止法. 農及園. 41(12) : 1781-1783.
- 中田隆人. 1969. ブドウ(巨峰)に対するB9処理効果と樹勢との関係. 農及園. 44(6) : 545-546.
- 中田隆人・粕谷光正・坂本秀之・茂木惣治. 1976. ブドウ巨峰の施肥改善に関する研究. 第2報. せん

- 定の強弱が結実に及ぼす影響. 栃農試研報. 21 : 85-90.
- 中田隆人・粕谷光正・坂本秀之・茂木惣治. 1979. ブドウ巨峰の施肥改善に関する研究 第1報 施肥窒素のブドウ樹への吸収移行と樹体に及ぼす影響. 栃農試研報. 25 : 39-48.
- 何 偉生・中山敬一・于 貴瑞. 1998. トウモロコシの根表面積が水吸収および蒸散に及ぼす影響. 千葉大園芸学部学術報告. 52 : 157-164.
- Newman, E. I. 1966, A method of estimating the total length of root in a sample. J appl. Ecol. 3 : 139-145.
- 織田弥三郎. 1981. 気孔の開閉と蒸散. p. 114-116. 大阪府立大学農学部園芸学教室編. 園芸学実験・実習. 養賢堂. 東京.
- 尾形凡生. 1996. 生活環. p. 132-136. 中川昌一監修. 堀内昭作・松井弘之編集. 日本ブドウ学. 養賢堂. 東京.
- 岡本五郎. 1996. 成熟を助ける技術. p. 188-207. 果実の発育とその調節. 養賢堂. 東京.
- 岡本五郎・E, Omutere・吉田輝倫・島村和夫. 1984. ブドウ‘巨峰’に対する施肥時期に関する研究. 岡山大学農学部学術報告. 63 : 1-7.
- 岡本五郎. 2000. 年間の生育過程. p. 39-64. 果樹園芸大百科3ブドウ. 農文協. 東京.
- 押田正義・梅宮善章・中村ゆり・増田斤也. 2002. 画像解析法によるオウトウ‘佐藤錦’の根系解析. 園学雑. 71(別2) : 293.
- 王 世平・岡本五郎・平野 健. 1997. 埋込み方式, 盛土方式で根域制限栽培したブドウ‘ピオーネ’樹の生育と果実発育の比較. 園学雑. 66(2) : 253-259.
- 王 世平・岡本五郎・平野 健. 1998. 根域制限したブドウ‘巨峰’樹の休眠期から開花期に至る炭水化物と窒素栄養の変化. 園学雑. 67(4) : 577-582.
- 猿橋由恵・梅宮善章・渡辺 毅・冬廣吉郎・中村ゆり・増田欣也. 2001. 画像解析法によるウメ‘紅サシ’の根系計測. 園学雑. 70(別1) : 205.
- 佐藤公一・石原正義・原田良平. 1956. 柿樹の養分吸収量について (第2報). 園学雑. 24(3) : 217-221.
- 佐藤幹夫・八巻良和・沢登晴雄. 1979. 省力栽培を前提とした果樹の図形 (第2報). 改良マンソンだなによるブドウ巨峰系品種の栽培. 農作業研究. 35. 71-78.
- 下田代智英・稲永 忍・森田茂紀. 2003. 根系形態の測定と評価. p. 18-29. 根のデザイン. 森田茂紀編. 養賢堂. 東京.
- 志村富男. 1999. 雨よけ垣根栽培方式によるブドウ栽培法の開発. 日醸協誌. 94(11) : 897-904.
- 杉山泰之・福田雅仁・梅宮善章・吉川公規・中村ゆり・増田欣也. 2001. 画像解析法による樹齢の異なるウンシュウミカンの根系構成解析. 園学雑. 70(別 1) : 183.
- 高橋国昭. 1986. ブドウの適正収量に関する研究. 島根農試研報. 21 : 1-104.
- 高橋国昭. 1998. 実際的な物質生産の測定法. p. 33-44. 落葉果樹の高生産技術. 農文協. 東京.
- 高橋国昭. 2000. ブドウの物質生産と品質収量. p. 103-122. 果樹園芸大百科3ブドウ. 農文協. 東京.
- 田村史人・藤井雄一郎. 2003. 底面給液および培養液非循環を組み合わせた養液栽培法 がブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’の新梢生長, 果実品質および収量に及ぼす影響. 園学研. 2(2) : 83-88.
- 田中実秋・山内 章・河野恭廣. 1993. コンピューター画像解析による根長測定法の検討. 日本作物学会東海支部会報. 116 : 33-34.
- 寺沢四郎. 1976. 保水性. p. 134-159. 土壌物理性測定法委員会編. 土壌物理性測定法. 養賢堂. 東京.
- 筑紫次郎. 1994. 画像解析による根量把握. 農及園. 69(5) : 91-98.
- 栃木県農政部. 2008a. まるごと栃木の農林水産物2008 (統計資料編). 2-3.
- 栃木県農政部. 2008b. 農業経営診断指標, 平成20年版. 78-81.
- 栃木県農政部. 2009. まるごと栃木の農林水産物2009 (統計資料編). 2-3.
- 植木正明・栃木博美・畠山昭嗣・稲葉幸雄・重野 貴. 1999. 杉パーク「クリプトモス」を培地としたイチゴの高設ベッド栽培・(第1報)非循環による閉鎖型養液管理システムの開発. 園学雑. 68(別1) : 233.
- 梅宮善章・中西正憲・吉川公規・中村ゆり. 2000. 画像解析法による根域制限栽培温州みかんの根系計測. 園学雑. 69(別1) : 201.
- 山内 章. 1998. 根長の測定法. 根の事典, 根の事典編集委員会編. 朝倉書店. 東京.
- 安田典夫・渡辺公夫. 1990. パーソナルコンピュータによる水稻根表面積の簡易測定法. 土肥学雑.

61 (2) : 196-197.

- 安田典夫. 1991. 画像処理によるハウレンソウの根表面積測定. 土肥学雑. 62(4) : 410-416. 安田雄治・小豆沢 斉. 1997. ブドウ‘巨峰’の水気耕栽培における水分消費量. 園学雑. 66 (別2) : 216.
- 横井 肇. 1976. 土壌の固相. p42-47. 土壌物理性測定法委員会編, 土壌物理性測定法. 養賢堂. 東京.
- 横井 肇・中谷紀男. 1976. 透水係数. p177-182. 土壌物理性測定法委員会編, 土壌物理性測定法. 養賢堂. 東京.