ブドウ ‘巨峰’ の盛土式根域制限栽培における吸水量測定と 日射量に基づく灌水管理法

金原啓一^{1,2a*}, 岸 祐子^{1b}, 須藤貴子¹, 八巻良和³

¹ 栃木県農業試験場 320-0002 栃木県宇都宮市瓦谷町

² 東京農工大学大学院連合農学研究科 183-8509 府中市幸町

³ 宇都宮大学農学部 321-8505 栃木県宇都宮市峰町

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

Keiichi Kanehara^{1,2a*}, Yuuko Kishi^{1b}, Takako Sudou¹ and Yoshikazu Yamaki³

¹ Tochigi Prefectural Agricultural Reserch Station, Utsunomiya, Tochigi 320-0002

² United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509

³ Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Utunomiya, Tochigi 321-8505

Abstract

We studied the water consumption of ‘Kyoho’ grape at each growing stage 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 tensionmeters 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 tensionmeters in the plastic house. A correlation of $y = 0.250x$ was observed between the solar radiation intensity (x : $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) and water consumption (y : $\text{L} \cdot \text{day}^{-1}/\text{tree}$). Average water uptake (AWU) per 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. AWU 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 tensionmeter, proving the efficiency in lowering the load on the environment while producing high quality grapes.

Key Words : growth stage, lowering the load on the environment, quantitative irrigation, water saving

キーワード : 環境負荷低減, 量的灌水管理法, 生育ステージ, 節水

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, 灌水管理方法については, 根域内部の土壌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, テンシオメータを何か所か設置し, 土壌水分を正確にモニターする必要がある (岡本, 1996)。土壌水分を基にした灌水管理については, 発芽期～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も高く, 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, 場所ごとに換気や日射透過量が異なるので, 同じ灌水を行なったとしても, 土壌水分の水平・垂直分布に大きな差異があると考えられる。また, 1

2009 年 12 月 28 日 受付. 2010 年 6 月 2 日 受理.

本報告の一部は園芸学会平成 21 年度春季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: kaneharak01@pref.tochigi.lg.jp

^a 現在: 栃木県農政部経営技術課 320-8501 栃木県宇都宮市埴田

^b 現在: 栃木県塩谷南那須農業振興事務所

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、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、前述の水気耕栽培や人工培地と底面給液・培養液循環栽培など、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、土壌水分張力を基にした灌水管管理が一般的となっている。このため、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管理の目安として使われているが（倉橋，2008）、根域制限栽培においては蒸散量に基づく灌水管管理は行われていない。

そこで筆者らは、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制御法について検討したので報告する。

材料および方法

1. 実験に共通する事項

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 m² の 3 連棟式 2 棟で、フッ素系フィルム（旭硝子，エフクリン GR80）を展開した。根域制限栽培の方式は、地表面にビニルシートと遮根シート（トスコ、

ルートラップ）を敷き、栽植本数が 10 a 当たり 500 本となるよう、栽植間隔を畝間 2 m × 株間 1 m とした。栽培に使った土は、赤玉土とバーク堆肥を容積比 2 : 1 で混合して作成し、遮根シートの上に木枠により高さ 20 cm、下部直径 82 cm となる円錐台の土量 60 L の盛土を形成し、‘巨峰’自根樹を定植した。樹の仕立て方は第 1 図のとおり、垣根仕立てとし、仰角約 60 度の V 字支柱を連続して立て、V 字の谷の部分に高さ 80 cm に主枝および結果母枝を誘引するパイプを取り付けた。仕立て法は、主幹長 60 cm、主枝長 100 cm の片側 1 本だけの一文字整枝とし、結果枝は V 字状に斜め上方に誘引した。灌水は調圧弁のついた灌水量 4 L・h⁻¹ のドリッパー（NETAFIM）を使用したドリップ式で、灌水点は 4 点／樹とし、午前 5 時～午後 2 時 30 分まで 30 分おきに行い、20 回を最大灌水回数とした。また、1 回当たりの灌水量は、日灌水量を 20 で除した量を毎回均等に灌水した。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

第 1 図 盛土式根域制限栽培の仕立て方

第 1 表 実験における温度管理および生育経過一覧（1999，2000，2002，2003，2004，2008 および 2009 年）

		生育ステージ					
		加温 開始	発芽期	開花始	落花	ベレゾーン 開始	収穫始
温度管理	夜間 昼間	13℃ 35℃	15℃ 30℃	18℃ 30℃	16℃ 30℃	16℃ 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 ^y	1/9	2/13	2/19	4/6	5/23
	2004 年	12/24 ^y	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） ^z	12/8 ^y	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

^z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・day⁻¹／樹、曇雨天日 1.0 L・day⁻¹／樹とした

^y前年 12 月

平均夜温が 16°C 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°C 程度とし、発芽期以降は 30°C 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。また新梢管理として、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し、新梢は 130 cm に達した時点で摘心し、その後発生する副梢は基部から切除した。

開花期に新梢長を測定した。葉色は、第 6 葉を葉緑素計（ミノルタ、SPAD502）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（LI-COR, LI3100）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。ハウス内に設置した日射計（ハイテック、HT-0）により、全天日射量を測定した。なお、灌水管の必要上、便宜的に曇雨天日の基準を、午前 8～9 時の積算全天日射量が $1.7 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 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 $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹とした。但し、9 時以降急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 $0.13 \text{ g} \cdot \text{day}^{-1}$ （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 2 図）。1 日当たりの最大の日灌水量は、発芽期の 2 月 12 日～落花期の 3 月 29 日を $4.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹、3 月 30 日～ベレゾーン期前の 5 月 5 日までの幼果期を $8.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹、ベレゾーン期の 5 月 5 日～収穫終期までを $10.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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、灌水開始点以下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 2 図のとおり、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

第 2 図 解体した盛土の平面図（1999 年）

●は灌水点、×はテンシオメータ設置位置を示す

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、さらに幅 10 cm × 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°C 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めた。根は水洗後、スキャナーでパソコンに取り込み、根系画像解析ソフト（REGENT INSTRUMENTS INC, Win Rhizo）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の測定（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 日から加温を開始した。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土壌と混和した。第 3 図に、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、その上に厚さ 0.1 mm の農ビを展張し、給水槽端面から 5 度の傾斜を付け、余剰水がすべて給水槽に流入するようにした。合板の上に吸水マット（ユニチカ、ラブマット U）を敷き、その上に盛土式栽培樹を設

第3図 樹体吸水量および排水量測定装置 (2000 および 2009 年)

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。同時に積算全天日射量を測定した。

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（エー・アンド・ディー、GP-100K）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 年および 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 $1.5 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹および $3.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹、2004 年は $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹および $0.5 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹とする処理区を設け、8 年および 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 $8.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹とし、満開後 30 日の 5 月 19 日～収穫終期の 8 月 8 日まで $6.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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 $6.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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 $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹とした。

2009 年は、前年の結果を踏まえつつ、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 $8.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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 $6.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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～ベレゾーン開始期の 6 月 16 日までの幼果期を $8.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹、ベレゾーン開始期の 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 $6.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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 $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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 3 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 $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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 4 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。根の分布は、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 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 5 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 日までは差はなかったが、展葉期以降、落花期の 3 月 29 日までは $35 \sim 115 \text{ kPa}$ の間で大きく変動した（第 6 図）。3 月 30 日に日灌水量を $8 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹と増加させたことにより、変動幅は収束した。発芽期～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。なお、テンシオメータを設置した 3 樹の

灌水ブロック			灌水位置	中間ブロック		
	3	1	樹 幹	6	8	
	44±5.0 de	49±1.0 bcd ^z		46±2.0 cde	41±3.0 e	
5	4	2		7	9	10
44±4.1 de	52±3.0 ab	55±1.0 a		53±3.0 ab	51±1.0 abc	42±1.0 e

第4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)

^z多重比較は 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	1	樹 幹	6	8	
	87±13 ab	118±37 ab ^z		108±22 ab	63±24 b	
5	4	2		7	9	10
100±12 ab	122±21 a	126±20 a		114±36 ab	121±30 ab	72±8 ab

第5図 盛土内の乾土 10 g 当たりの根長の分布 (cm) (1999年)

±は標準偏差を表す

^z多重比較は TUKEY 法により同一英小文字間に有意差無し (p<0.05)

第6図 土壌水分の推移 (1999年)

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.

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 m², 落花期が 4.2 m², 収穫終期では 4.5 m² 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, ベレゾーン開始期が 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・day⁻¹

／樹) と日積算全天日射量 (x : MJ・m⁻²・day⁻¹) 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 7 図), 日積算全天日射量 1 MJ・m⁻²・day⁻¹ 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, ベレゾーン開始期を区切りとして, 生育ステージ別の日吸水量の平均を求めたところ, 第 8 葉展葉期～開花始 1.9 L・day⁻¹／樹, 開花始～開花終 2.9 L・day⁻¹／樹, 落花～ベレゾーン開始期前 4.4 L・day⁻¹／樹, ベレゾーン開始期～収穫終期 5.9 L・day⁻¹／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に増加はみられず, 1.8～2.3 L・day⁻¹／樹であった. 第

第7図 日積算全天日射量と樹体日吸水量の関係（2000年）

第2表 生育ステージ別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 ^z (L・day ⁻¹ /樹)	1.9 ± 0.4	2.9 ± 0.4	4.4 ± 0.8	5.9 ± 1.5
	単位葉面積あたり 平均日吸水量 (L・day ⁻¹ ・m ⁻²)		1.3	1.0	1.3
	日積算全天日射量 (MJ・m ⁻² ・day ⁻¹)		18.0	20.7	22.1
	基準吸水量 ^y (L・day ⁻¹ /樹)		4.5	5.2	5.5
	相対吸水量 ^x	0.4	0.7	0.8	1.1
曇雨天日	平均日吸水量 (L・day ⁻¹ /樹)		2.3 ± 0.3	1.9 ± 0.6	1.8 ± 0.4
	日積算全天日射量 (MJ・m ⁻² ・day ⁻¹)		6.8	7.3	7.9
	基準吸水量 (L・day ⁻¹ /樹)		1.7	1.8	2.0
	相対吸水量		1.4	1.1	0.9

^z 平均値 ± 偏差 (n = 2 樹)^y 日積算全天日射量 × 0.250^x 平均日吸水量 / 基準吸水量

1 式の回帰係数に生育ステージの平均日積算全天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が $4.5 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ 、相対吸水量 $0.4 \sim 0.7$ 、曇雨天日が $1.7 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ 、相対吸水量 1.4 であった。落花期～ベレゾーン開始期前までの晴天日が $5.2 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ 、相対吸水量 0.8 、曇雨天日が $1.8 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ 、相対吸水量 1.1 であった。ベレゾーン開始期～収穫終期までの晴天日が $5.5 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ 、相対吸水量 1.1 、曇雨天日が $2.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ 、相対吸水量 0.9 であった。

なお、調査樹の果実品質および収量は、果房重 274 g 、果粒重 10.1 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時間当たりの積算全天日射量（以下、時間積算全天日射量），および樹体吸水量（以下、時間吸水量）を第8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°C 、平均湿度 71.9% 、午後1～6時までの平均気温は 27.0°C 、平均湿度 59.5% であった。日積算全天日射量は5月25日が $26 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 、5月26日が $25 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ であった。午前6時～午後6時までの昼間の樹体吸水量の合計は、両

第8図 時間日射量と時間吸水量の推移
(2000年5月25日午前5時～26日午後6時)

第9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)

日とも $6.7 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ 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、 $0.9 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ であった。時間積算全天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、時間積算全天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。

時間積算全天日射量 ($x: \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) 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(データ略)、回帰式は第1式とほぼ同様であった。

2002年6月24～25日の時間積算全天日射量と蒸発散量を第9図に示す。6月24日は晴天で日積算全天日射量は $17.8 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 、6月25日は雨天で日積算全天日射量は $2.9 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 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 $9.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ 、6月25日が $1.3 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ であ

た。葉面積は $6.1 \text{ m}^2 / \text{樹}$ であった。

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の実証(実験3)

実験3における年度別・生育ステージ別の平均日積算全天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 $3.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ (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 $1.5 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ (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値相当量である $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ (相対灌水量 0.3)、およびその半量の $0.5 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ (相対灌水量 0.2) としたところ、開花期の新梢長は $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ では81 cm、 $0.5 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1} / \text{樹}$ では72 cmと

第3表 実験における日積算全日射量, 基準吸水量および相対灌水量 (2003, 2004, 2008 および 2009 年)

生育ステージ	年		日積算全日射量 (MJ・m ⁻² ・day ⁻¹)	日灌水量 (L・day ⁻¹ ／樹)	基準吸水量 ^y (L・day ⁻¹ ／樹)	相対灌水量 ^x
生育初期	2003		11.2	3.0	2.8	1.1
				1.5		0.5
	2004		13.2	1.0	3.3	0.3
				0.5		0.2
				1.0	3.6	0.3
幼果期	2008		15.8	8.0	4.0	2.0
	2009	作期① ^z	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

^z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・day⁻¹／樹, 曇雨天日 1.0 L・day⁻¹／樹とした^y日積算全日射量 × 0.250^x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・day ⁻¹ ／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

抑制されたが, 0.5 L・day⁻¹／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, 葉色には兩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・day⁻¹／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・day⁻¹

／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・day⁻¹／樹に減じる灌水量よりも果実品質が優れ, 換算収量も 2.3 t・10 a⁻¹ 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・day⁻¹／樹にすると 14.5% と高く, ベレゾーン開始期から 6.0 L・day⁻¹／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・day⁻¹／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・10 a⁻¹ であった。なお, 平均葉面積は 2008 年が 4.6 m²／樹, 2009 年が 5.1 m²／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

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 ⁻²)	換算収量 (t・10 a ⁻¹)
2008	満開後 30 日から 6.0 L・day ⁻¹ ／樹	26.6	425	15.4	10.0	16.8	14.5	5.1	2.6
	ベレゾーン開始期から 6.0 L・day ⁻¹ ／樹	28.4	375	13.3	10.7	17.3	5.0	4.5	2.3
	有意性 ^z	NS	NS	*	*	NS	NS	NS	NS
2009	ベレゾーン開始期から 6.0 L・day ⁻¹ ／樹	26.7	358	13.6	10.7	16.6	8.4	4.1	2.1

^zt 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 および 2009 年)

年	処理時期 ^z	晴天日数	曇雨天日数	発芽期から収穫終期総灌水量 ($L \cdot 10 a^{-1}$)
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) ^y
	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)

^z2008, 2009 年の処理時期の灌水量を $6.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹とし, 発芽～開花終期は $1.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹, 幼果期は $8.0 L \cdot day^{-1}$ / 日とした
^y() 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 ($MJ \cdot m^{-2}$)	排水量 ^z ($L \cdot day^{-1}$ / 樹)	排水率 (%)	日数	日射量 ($MJ \cdot m^{-2}$)	排水量 ^z ($L \cdot day^{-1}$ / 樹)	排水率 (%)
① 幼果期 成熟期	3/3 ~ 4/12	18	22.1	3.6 ± 0.8	45	7	12.0	5.4 ± 1.0	67
	4/13 ~ 6/1	24	23.7	0.9 ± 0.5	16	26	9.4	3.4 ± 1.0	56
② 幼果期 成熟期	5/2 ~ 6/16	11	20.7	3.8 ± 1.7	47	13	12.0	4.5 ± 0.9	56
	6/17 ~ 8/1	9	21.7	0.5 ± 0.7	8	48	11.0	0.3 ± 0.2	26

^z平均値 ± 標準偏差 (n = 日数)

灌水量は, 満開後 30 日から $6.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹とした処理区では $172,000 L \cdot 10 a^{-1}$, ベレゾーン開始期から $6.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹とした処理区では, 2008 年が $245,500 L \cdot 10 a^{-1}$, 2009 年は $248,127 L \cdot 10 a^{-1}$ であった.

2009 年において, 幼果期の日灌水量を $8.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹 (相対灌水量 1.9 ~ 2.0) とし, 作期①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 $6.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹 (相対灌水量 2.6) の灌水を行った場合, および, 作期②成熟期の晴天日に日灌水量を $6.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹 (相対灌水量 1.1), 曇雨天日の日灌水量を $1.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹 (相対灌水量 0.4) とした場合の日排水量を, 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 $8.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹とした場合, 晴天日の日排水量は $3.6 \sim 3.8 L \cdot day^{-1}$ / 樹, 排水率は 45 ~ 47% であった. 曇雨天日の日排水量は $4.5 \sim 5.4 L \cdot day^{-1}$ / 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 $6.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹にすることにより, 排水量は $0.5 \sim 0.9 L \cdot day^{-1}$ / 樹, 排水率は 8 ~ 16% となった. 曇雨天日では, 日灌水量を減じない作期①の場合, 日排水量は $3.4 L \cdot day^{-1}$ / 樹, 排水率 56% であり, 日灌水量を $1.0 L \cdot day^{-1}$ / 樹に減じた作期②では, $0.3 L \cdot day^{-1}$ / 樹, 排水率 26% であった. 1 樹当たりの葉面積は $4.5 m^2$ 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, 粗孔隙の大きい用土を使用したため, 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的変化

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 樹当たりの日吸水量の生育ステージ別推移について, 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全天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 $1 m^2$ 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 $1.651 L \cdot m^{-2}$, 開花期が $0.973 L \cdot m^{-2}$, 開花 20 ~ 30 日後が $1.642 L \cdot m^{-2}$, ベレゾーン開始期が $0.963 L \cdot m^{-2}$, 成

熟期が $1.078 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ 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^2 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、水分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、幼果期の日射量が最大であったにに対して、本実験では独立した盛土式栽培であるため、樹体に水分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_{To} ($\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$) が気象的に推定される。そして対象作物の実蒸発散量を $E_{\text{To}} \times K_c$ (作物係数) で表現し、 K_c の大小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い、水ストレスが無い条件下での平均吸水量を第1式により気象的に推定して、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 $\times$ 相対吸水量、あるいは基準吸水量 $\times$ 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 $0.4 \sim 0.7$ 、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 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熱収支法により求め、晴天日の蒸散流量の日変化は、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、午前と午後でほぼ対称になったと報告している。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の日変化 (第8図) 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) の報告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バー法が用いられる (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^2 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^2 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、積算全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 $\text{pF } 2.2$ 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 $2.9 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹、相対吸水量 0.7 であった。2003年は、日灌水量を $1.5 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹 (相対灌水量 0.5) および $3.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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 $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹 (相対灌水量 0.3) 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 $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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、 $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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 $6.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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で影響が大きくなる。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ことが知られている (朝倉, 2006)。本栽培法においても、幼果期に水分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

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 ^z	生育初期 (発芽期～落花期)	幼果期 (落花期～ベレゾーン開始期前)	成熟期 (ベレゾーン開始期～収穫期)	
			晴天日	曇雨天日
基準吸水量 ^y	3.3 ～ 3.6	4.0 ～ 4.3	5.2 ～ 5.9	2.4 ～ 2.7
相対灌水量 ^x	0.3	2.0	1.0 ～ 1.2	0.4
日灌水量 (L・day ⁻¹ /樹)	1.0	8.0	6.0	1.0

^z盛土式根域制限栽培，葉面積 4.5 m²/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

^y平均日積算全日射量 × 0.250

^x日灌水量/基準吸水量

日が続いた後の晴天日に起こりやすかった。水分ストレスを極力軽減させるため，日灌水量を 8.0 L・day⁻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が 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 L・day⁻¹/樹（相対灌水量 1.0 ～ 1.2），曇雨天日は 1.0 L・day⁻¹/樹（相対灌水量 0.4）としたところ，果粒肥大，着色が優れる果実が生産でき，収量も 2 t・10 a⁻¹ を超えていた。

根域制限栽培では，本実験の結果からも明らかなように，成熟期の灌水管理がダイレクトに果実品質や樹の生育に影響を及ぼすことから，1つの指標による管理は困難であり，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，葉面積 4.5 m²/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，各生育ステージ別の日灌水量は，日積算全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，灌水管理を行なった場合の発芽期～収穫終期までの総灌水量は 462,500 L・10 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 L・10 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 倍の灌水量であるが，水分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しており，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。

なお，栃木県では本方式を“根圏制御栽培”と名付け，県内への普及を図っている。

摘 要

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制御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。日積算全日射量 (x: MJ・m⁻²・day⁻¹) と樹体の日吸水量 (y: L・day⁻¹/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 m² 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 $1 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹、幼果期は $8 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹、成熟期の晴天日は $6.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 樹、曇雨天日は $1.0 \text{ L} \cdot \text{day}^{-1}$ / 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 $\times 0.3$ 、幼果期は基準吸水量 $\times 2.0$ 、成熟期の晴天日は基準吸水量 $\times 1.0 \sim 1.2$ 、曇雨天日は基準吸水量 $\times 0.4$ という灌水プログラムを提案した。

引用文献

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Chapter 6-ET_c-Single crop coefficient (K_c). 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>>.
- 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: 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ブドウ基本技術編. 農文協. 東京.
- 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・景山詳弘・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: 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.
- 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. 広島県試特研報. 3: 1–94.
- 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: 265–270.
- 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: 425–431.
- 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: 45–49.
- 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. 果実の発育とその調節. p. 191–195. 養賢堂. 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: 83–88.
- 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.
- 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.