

ブドウ栽培品種の光合成速度に及ぼす光強度の影響

白石, 眞一
九州大学農学部果樹生産学研究室

熊, 同銓
九州大学農学部果樹生産学研究室

白石, 美樹夫
九州大学農学部果樹生産学研究室

北崎, 真紀子
九州大学農学部果樹生産学研究室

<https://doi.org/10.15017/23574>

出版情報：九州大學農學部學藝雜誌. 51 (1/2), pp.1-7, 1996-11. 九州大學農學部
バージョン：
権利関係：

ブドウ栽培品種の光合成速度に及ぼす光強度の影響

白石 眞一・熊 同 銓

白石 美樹夫・北 崎 真紀子

九州大学農学部果樹生産学研究室

(1996年 7月31日受理)

Effects of Light Intensity on the Photosynthetic Rate of *Vitis* Cultivars

Shin-ichi SHIRAISHI, Tung Chuan HSIUNG,
Mikio SHIRAISHI and Makiko KITAZAKI

Fruit Science Laboratory, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 811-23

緒 言

ブドウの葉によって作られる光合成産物の生成量は、直接のエネルギー源である日光の強度や光合成を支配する温度と密接な関係がある。日射量の多少や温度は、樹の生長及び果実の収量、品質に大きな影響を与える (Buttrose, M.S., 1968, 1969; 小林, 1970)。すなわち、いかにして光エネルギーを有効に利用し、光合成産物を増し果実の生長に効率よく利用するかが、ブドウの生産における最も重要な課題の一つである。

近年、光強度とブドウの光合成反応について栽培品種を中心として、数多くの研究が行なわれたが、品種間における光合成の違い及びそれに関連する蒸散速度、気孔拡散伝導度、水利用効率、細胞間隙内二酸化炭素濃度の変化については、まだ十分に明らかにされていない。

そこで本研究では多数のブドウ栽培品種を用い、光強度に対する光合成反応について調査を行い、ブドウの栽培適地、栽培技術、育種選抜、施設栽培に関する基礎資料とするために実験調査を行った。

材料及び方法

供試したブドウ品種は、'Seibell 9110'、'ブラックオリンピア'、'Sweet Muscat'、'ネオマスカット'、'DK151'、'Iona'、'Campbell Early'、'Concord'、'Delaware'、'巨峰'の10品種については1984年6月

中旬～7月中旬の間に見かけの光合成速度、蒸散速度、気孔拡散伝導度、水利用効率及び細胞間隙内二酸化炭素濃度を測定した。

供試材料は何れも鉢植え状態で、測定する前日に光合成測定室に移し、土壤乾燥による気孔閉鎖を避けるために、測定前に適当な灌水を行った。測定葉は上位成熟葉で未結果枝に着生したまま同化箱にセットした。測定葉数は、葉面積の大きさによって2～5枚に調整した。測定葉の葉面積は自動面積測定装置 (HAYASHI DENKO, AAM-5) によって測定した。

光合成、蒸散速度の測定は Fig. 1 に示したように同化箱内温度、湿度、風速を制御できる島津 SPB-Z 型光合成測定装置をもちいて行った。同化箱内温度は各実験によって15～35℃の間に調節した。相対湿度約60%下で、暗黒から強光へ6段階に分け、各段階約20分間隔で大気二酸化炭素濃度、同化箱内二酸化炭素濃度、入り口露点、出口露点、空気流速、葉温、同化箱内温度を記録した。光源には陽光ランプ (東芝 D-400) を用い、熱線を制限するために、同化箱とランプの間に深さ10cmの水槽を設けた。光照度は東芝5号照度計により、また葉温は0.1mmの熱電対 (cc線) を測定葉の裏面3か所にビニルテープで貼りつけて測定した。同化箱への通気量は16 l/minとした。見かけの光合成速度、蒸散速度、気孔拡散伝導度、水利用効率は下記の式によって計算した。

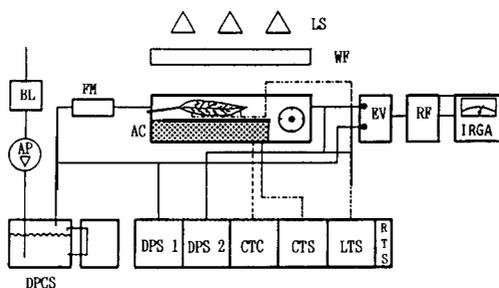


Fig. 1. Schematic diagram of the open system used for measurement of leaf gas exchange rate.

AC : Assimilation chamber	IRGA : Infra-red gas analyzer
LS : Light source	DPCS : Dew point control system
WWF : Water filter	DPS 1 : Dew point sensor (Induced air)
BL : Blower	DPS 2 : Dew point sensor (Outlet air)
AP : Air pump	CTC : Chamber temperature controller
FM : Flowmeter	CTS : Chamber temperature sensor
EV : Electronic valve	LTS : Leaf temperature sensor
RF : refrigerator	RTS : Room temperature sensor

$$\text{みかけの光合成} = \frac{\Delta \text{CO}_2 \times 3219.268 \times \text{FL}}{(273.15 + \text{CT}) \times \text{LA}}$$

$$\text{蒸散速度} = \frac{(D_2 - D_1) \times \text{FL} \times 6}{\text{LA}}$$

$$\text{気孔拡散伝導度} = \frac{1}{\{(VPD/Tr) \times 3.6\} / 10}$$

$$\text{水利用効率} = P_o / Tr$$

$$\text{入口露点の絶対湿度} = \{0.794eb / (1 + 0.00366 \times RT)\} \times \frac{\text{dew in} + 273.15}{RT + 273.15}$$

$$\text{出口露点の絶対湿度} = \{0.794ec / (1 + 0.00366 \times CT)\} \times \frac{\text{dew out} + 273.15}{CT + 273.15}$$

$$\text{葉温の絶対湿度} = 0.794ea / (1 + 0.00366 \times LT)$$

$$\text{葉面飽差} = Dd - D_2$$

A CO₂ : 大気中二酸化炭素濃度 - 同化箱内二酸化炭素濃度

LA : 測定葉面積 dew in : 入口露点

FL : 同化箱へ空気流速 dew out : 出口露点

RT : 室温 ea : 葉温の飽和水蒸気圧

CT : 同化箱内温度 Tr : 蒸散速度

LT : 葉温 eb : 入口露点の飽和水蒸気圧

P_o : 見かけの光合成速度

D₂ : 出口露点の絶対湿度

D₁ : 入口露点の絶対湿度

Dd : 葉温の絶対湿度

ec : 出口露点の飽和水蒸気圧

VPD : 葉面飽差

結 果

光強度に対する光合成反応の栽培品種間差異について検討した。‘Seibell 9110’の光飽和点は同化箱内温度20℃においては30klx、30℃においては37klxであった (Fig. 2)。また、光合成速度は30℃より20℃でやや高かった。蒸散速度、気孔拡散伝導度及び水利用効率も光強度上昇に伴って高くなり、それぞれの飽和する光強度 (蒸散速度20~25klx、気孔拡散伝導度20klx、水利用効率15~20klx) に達した後、ほぼ一定の値を保持した。

蒸散速度は同化箱内温度30℃のほうが高く、気孔拡散伝導度及び水利用効率は20℃のほうが高かった。細胞間隙内二酸化炭素濃度は、光強度の上昇により15~20klx前後まで低下し、それ以上の光強度下ではほぼ一定の値を示した。四倍体欧米雑種‘ブラックオリンピア’の光強度に対するこれらの反応は‘Seibell 9110’とはほぼ同様な傾向を示した。‘Seibell 9110’と‘ブラックオリンピア’を除く他の品種は、同化箱内温度30℃のほうが光合成速度が高かった。 Fig. 3

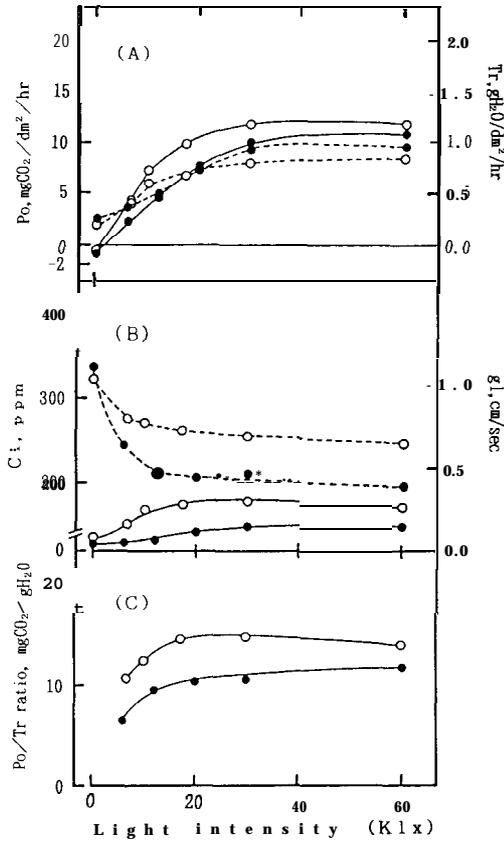


Fig. 2. Influence of light intensity on (A): leaf apparent photosynthesis (Po: —) and transpiration (Tr: ----). (B): stomatal conductance (g: —) and intercellular CO₂ concentration (Ci: ----). (C): water use efficiency (Po/Tr ratio) of *Vitis* cultivar, 'Seibel 9110' under temperature 30°C (●) and 20°C (○).

に示したように 'Concord' では32klxで光飽和点に達した後、光合成速度はほぼ一定の値を示した。蒸散速度は光強度の上昇に伴って高くなり、同化箱内温度20℃より30℃における値が高かった。一方、気孔拡散伝導度は20klxまでいずれの温度区においても、光強度の上昇につれて高くなった。'Concord'、'巨峰'、'Delaware'、'ネオマスカット' 4品種では同化箱内温度30℃下で気孔拡散伝導度の値が高かったのに対し、'DK-151'、'Sweet Muscat'、'Iona' および 'Campbell Early' では20℃で高かった。

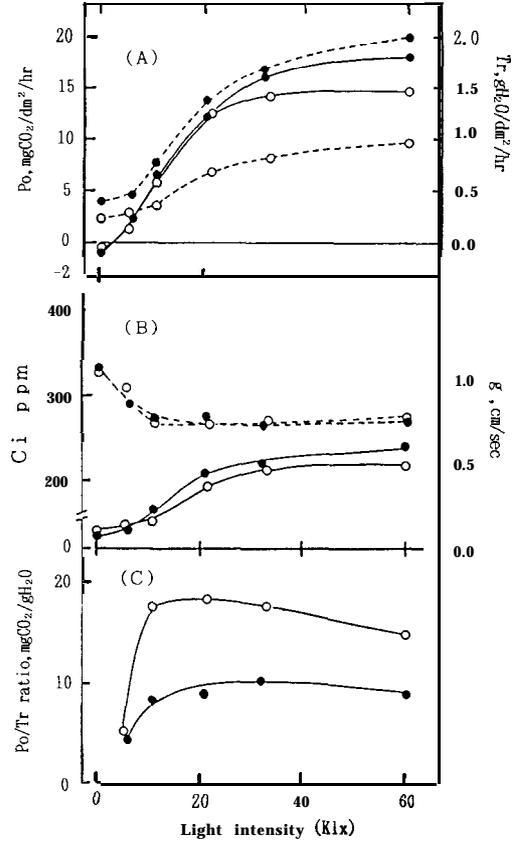


Fig. 3. Influence of light intensity on (A): leaf apparent photosynthesis (Po: —) and transpiration (Tr: ----). (B): stomatal conductance (g: —) and intercellular CO₂ concentration (Ci: ----). (C): water use efficiency (Po/Tr ratio) of *Vitis* 'Concord' under temperature 30°C (●) and 20°C (○).

細胞間隙内二酸化炭素濃度は光強度の上昇に伴って低下し、10~20klxを越えるとほぼ一定の値を示したが、同化箱内温度20℃下では光強度が20klx以上になるとやや高まる品種もあった。水利用効率はほとんどの品種において、10klx以上の光強度条件下では同化箱内温度30℃より20℃のほうが高く、20klx以上の光強度下ではいずれの温度条件下においても緩やかに低下する傾向にあった。光補償点の光強度及び暗呼吸速度は、ともに同化箱内温度30℃のほうが20℃より高かった (Table 1)。'Iona' の光飽和点は高く、両温度条

Table 1. Effect of temperature on light compensation point (C.P), saturation point (S.P), dark respiration (D.R), leaf apparent photosynthesis (Po), transpiration (Tr), stomata conductance (gl), water-use efficiency (Po/Tr ratio) and intercellular CO₂ concentration (Ci) in *Vitis* cultivars under 60 Klx light intensity.

Cultivars	Chamber temperature (°C)	C.P (10 ² lx)	S.P (Klx)	D.R (mgCO ₂ /dm ² /hr)	PO (mgCO ₂ /dm ² /hr)	Tr (gH ₂ O/dm ² /hr)	gl (cm/sec)	Po/Tr ratio (mgCO ₂ /gH ₂ O)	Ci (ppm)
Seibell 9110	20	3	30	0.17	11.60	0.82	0.26	14.07	247.5
	30	10	37	0.32	11.22	0.95	0.14	11.84	195.1
Black Olympia (4n)	20	5	28	0.19	8.59	0.66	0.23	12.94	259.0
	30	12	36	0.56	8.31	0.81	0.13	10.23	217.5
Sweet Muscat	20	3	33	0.19	12.77	0.68	0.49	18.74	278.5
	30	10	30	0.29	13.62	1.53	0.35	8.87	256.8
Neo Muscat	20	15	30	0.75	8.76	0.81	0.32	10.83	275.8
	30	15	36	1.03	11.45	1.50	0.38	7.65	271.7
DK-151	20	15	35	0.42	9.08	0.61	0.24	14.98	260.0
	30	15	30	0.44	9.10	1.13	0.20	8.03	246.2
Iona	20	3	40	0.14	10.52	0.79	0.32	13.29	267.1
	30	4	43	0.20	13.32	1.35	0.24	9.86	232.0
Campbell Early	20	12	30	0.44	12.23	0.77	0.37	15.78	267.4
	30	14	30	0.43	12.85	1.28	0.29	10.06	248.8
Concord	20	8	33	0.30	14.59	1.00	0.49	14.63	271.9
	30	15	32	0.46	18.24	2.09	0.61	8.74	272.2
Delaware	20	10	33	0.31	14.76	0.83	0.35	17.75	252.4
	30	12	36	0.48	16.95	1.60	0.42	10.58	254.7
Kyoho (4n)	20	10	34	0.32	13.93	0.84	0.29	16.65	241.8
	30	20	33	0.96	16.16	1.66	0.38	9.73	251.4

件下ともに40klx以上であった。他の品種は、約30～36klxで光飽和点を示した。また、同一の品種においては、光飽和点の光強度は同化箱内温度によって異なった。

‘ブラックオリンピア’と‘Seibell 9110’の両品種では、60klx下において、30℃より20℃下での光合成速度が高かったが、他の品種では30℃のほうが高い値を示し、‘DK-151’ならびに‘Campbell Early’では光合成速度の両温度間の差は僅かであった。供試品種中、‘ブラックオリンピア’の光合成速度の値はいずれの温度条件においても9 mgCO₂/dm²/hr未滿で、両温度条件下ともに最小値を示したが、同じ四倍体欧米雑種である‘巨峰’では、他の二倍体品種とはほぼ同じ値を示した。

蒸散速度は全ての品種において、同化箱内温度30℃と20℃より高かった。

‘Seibell 9110’及び‘ブラックオリンピア’の蒸散速度は20℃条件下よりも30℃条件下で約20%促進され、他の品種では、40% (‘Sweet Muscat’)～60% (‘Campbell Early’)も増加した。温度上昇(20℃～30℃)による気孔拡散伝導度の低下の割合は、‘ブラックオリンピア’及び‘Seibell 9110’において他の品種より高く、また、温度上昇による水利用効率の低下割合は他の品種より低かった。細胞間隙内二酸化炭素濃度は‘Concord’、‘Delaware’及び‘巨峰’の3品種で20℃より30℃条件下でやや大きかったが、他の品種では20℃条件下のほうが高かった。

考 察

ブドウの生育には、太陽光の強度、光質及び日長が大きく影響を及ぼすことが知られている (Inada, 1976)。特に光強度は同化産物の生成量や果実の品質

に直接的な影響を及ぼす (Buttrose, 1968, 1969). 太陽光強度を適切な範囲に制御できれば樹勢, 収量及び品質の向上が期待できる. 近年, ブドウの栽培適地及び施設栽培に関する基礎資料を得るために, 栽培品種を中心にして光強度と光合成との関係を調査した多数の報告が見られる. しかし, 同一の品種においてもその測定値に差がある. 高橋と倉橋 (1983) 及び姫野ら (1983) は, 約10~20klxの間に '巨峰' と 'Delaware' の光飽和点があると報告しているが, 鴨田ら (1986) は約40~50klxの間にあると報告している. '巨峰' における光合成速度の値は 5~10mgCO₂/dm²/hr (平野, 1984; 高橋, 1983), あるいは16~27mgCO₂/dm²/hr (本条ら, 1983, 1984) とかなり異なる結果が得られている. このような差異は, ひとつには光合成測定方法の違いによるものと考えられる. 即ち, 自根樹または切り枝を供試した場合, 材料の水ストレスに違いを生じ, その結果が光合成速度に直接反映したと思われる. Lakso (1982) は供試枝の切除方法の差異が, 光合成速度に影響を与えると述べている.

本研究ではガラス温室で生育させた鉢植え材料を用いたために, 生育過程での環境要因の制御は比較的容易であった. また, 測定中の温度, 湿度及び風速は全て一定に制御可能であった. このため, 測定結果は, 個々のブドウの最適条件における光合成特性に近似的であると考えられる. 従って多くのブドウの種, 品種の光補償点は0.2~2.0klx, 光飽和点は25~40klx, 6月から7月までの間の最大光合成速度は8~20mgCO₂/dm²/hrの間にあると考えられる.

本実験においても供試した全ての種及び品種で, 温度が高いほど暗呼吸速度は増加した. 従って, 温度に対する光合成及び暗呼吸の両反応により決定される光補償点の光強度も高温ほど高くなった. 光呼吸速度と光強度及び温度との間には正の相関があり, これは光合成速度に直接影響を及ぼすと言われている (森永ら, 1984). このことから, 同一ブドウの種, 品種において, 異なる温度による光飽和点の違いは, 光呼吸速度の変化によるものと思われる.

一般に植物は同一種でも生育, 繁殖システムの遺伝因子が分布地の環境に適応した結果, 光強度に対する光合成反応にも差異が見られることが知られている (稲田, 1984; Boardman, 1977). ブドウにおいても Geisler (1963) は陽地に自生する種より陰地に自生する種のほうが光補償点及び光飽和点の照度は低く, 光合成反応は原生地の光環境条件を反映していること

を報告している. 本研究においても, 高緯度又は冷涼な地域に原生する *V. amurensis*, *V. coignetiae*, 及び *V. vulpina* では, 高温よりも低温のほうが光合成速度は高く, また, 光飽和点の光強度は低温より高温で高かった. さらに, 光補償点の光強度もやや低い傾向があった. これら3種より分布緯度が低い *V. cordifolia* 及び *V. longii* では, 低温より高温における光合成速度がやや高かった. さらに低緯度に分布する *V. aestivalis*, *V. arizonica* 及び *V. rupestris* では高緯度種とまったく逆の傾向を示した. 即ち, 低温より高温条件下で光合成速度は高く, その時の光飽和点の光強度は30klxを越し, 高緯度種より高い傾向にあった. これらのことは, 温帯果樹と言われるブドウ属植物でもそれぞれ種の原生地の光, 温度環境に適応した結果, 光合成反応に差異を生じていることを示唆している.

光合成反応には, 多数の栽培品種間に差が認められたが, 品種の類縁と光合成反応の間には一定の傾向は見られなかった. このことは, それぞれの栽培地域の環境条件に適するように栽培品種が選抜されてきた結果, 同じ類縁関係のある品種であっても, 光-光合成反応は必ずしも同一ではないことを示唆していると考えられる.

多くの作物において光合成機能向上を目的とした育種選抜がなされてきたが, 果樹ではそのような事例がほとんどない (山木, 1984). ブドウの光合成特性に関する遺伝は, 詳細な交雑実験の結果を待って判断すべきであるが, 同じ類縁関係を持つ品種群においても光合成特性には差異がみられることから, 多くの果樹と同様にブドウも高度のヘテロ性を有していると考えられ, その解析は難しいと思われる. また光合成特性は恐らく単一の遺伝子によって決定されるものではないことも解析の困難な理由の一つである.

原生種は, 原生地に適応する過程で光合成機能に関する遺伝子のホモ化が進んでいると考えられる. このために原生種を用いた交雑では, F1の光合成特性が両親のいずれかに近い性質を表す可能性があるものと考えられる. 一方, 栽培品種は *V. vinifera* と *V. labrusca* の2種を基にして欧州種で1万以上, アメリカ種で2千以上の品種が自然交配或いは人工交配により作出されており, 光合成機能に関する遺伝子がかかりヘテロ化しているものと推測される. しかも世界中の栽培地に適する品種の選抜が加わっているため, これらの品種の光合成特性は極めて複雑な様相を示していた. これらのことから, 栽培品種の育種において

後代の光合成特性の様相はかなり多様になるであろうと思われる。これに関する育種を行なう場合には、光合成能力の高い両親を交配して可能なかぎり多数固体を作出し、その中から栽培地域の環境条件に最も適した雑種を選抜するのが、現時点での最良の方法である。

本実験に供試したブドウ品種の内、四倍体品種と二倍体品種における葉の形態相違はあるが、光-光合成反応の差は少なかった。このことから、倍数体の違いが光合成反応に及ぼす影響は小さいものと考えられる。カンキツ類においても同様な結果が報告されている(Khariand Hall, 1976)。

葉に到達する光の一部は光合成作用に用いられるが、大部分は熱エネルギーとなり葉温を高める。このため、植物の蒸散作用は昼間に活発となり、夜間は僅かである(増田, 1977)。本実験では、ブドウの種、品種を問わず30℃の高温において光-蒸散曲線の傾きは、光強度が強くなるほど高くなった。一方、強光下で光合成速度が高い品種は、蒸散速度、気孔拡散伝導度も高く、その際気孔拡散伝導度が高いほど、細胞間隙内二酸化炭素濃度も高い傾向をしめした。特に、高温ほどこれらの相関が高かった。従って、高温、強光で高い気孔拡散伝導度を示す品種では、葉の内部への炭酸ガスの侵入が活発なために、それが高い光合成能力を示す一因となっていると考えられる。しかし、このような品種は外気への水分流出も大きく、水利用率はむしろやや低下した。以上のことからブドウ品種間の光合成速度および蒸散速度の差異は、環境要因に対する気孔の開閉反応と密接な関係があると考えられる。

摘 要

栽培品種では、同じ類縁関係を持つ品種間でも、光合成速度、蒸散速度、気孔拡散伝導度、細胞間隙内二酸化炭素濃度及び水利用率の反応には違いがみられた。これは栽培地域の光条件に適した後代実生を選抜してきた結果、品種レベルにおいても、光の要求量に差が生じているものと考えられた。

四倍体品種と二倍体品種との間における光強度に対する光合成速度、蒸散速度、気孔拡散伝導度、細胞間隙内二酸化炭素濃度及び水利用率の反応の差は、小であった。従って、これら諸生理反応と倍数性の差異との関連は特に認められなかった。

文 献

Boardman, N. K. 1977 Comparative photo-

- synthesis of sun and shade plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 28: 355-377
- Buttrose, M. S. 1968 Some effects of light intensity and temperature on dry weight and shoot growth of grapevine. *Ann. Bot. (Oxford)*, 32: 753-765
- Buttrose, M. S. 1969 Vegetative growth of grapevine varieties under controlled temperature and light intensity. *Vitis*, 8: 280-285
- Geisler, G. 1963 Art- und sortenspezifische CO₂-assimilationsraten von reben unter berücksichtigung wechselnder beleuchtungsstärken. *Mitt. Ser. A.*, 8(6):301-305
- 姫野周二・豆塚茂実・浜地文雄 1983 キウイフルーツおよびブドウの個葉用同化箱の試作と測定結果について。園学要旨。昭58春, 120-121頁
- 平野 暁 1984 果樹における物質生産研究の方法論。園芸学会シンポジウム講演要旨。昭59秋, 49-59 a
- 本条 均・鴨田福也・朝倉利員 1983 施設栽培ブドウの生育と気象環境。(第1報) ガラス室ブドウの葉位樹齡と光合成特性。園学要旨。昭58春, 122-123頁
- 本条 均・鴨田福也・朝倉利員 1984 施設栽培ブドウの生育と気象環境。(第2報) 果実の發育と葉位別光合成特性の変化。園学要旨。昭59春, 70-71頁
- Inada, K. 1976 Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant & Cell Physiol.*, 17: 355-365
- 稲田勝美 1984 光と植物生育。一光選択利用の基礎と応用。養賢堂, 東京
- 鴨田福也・本条 均・朝倉利員 1986 果樹の光合成・呼吸特性に関する研究。第1報。落葉果樹の光合成・呼吸特性について。園学要旨。昭61春, 84-85頁
- Khairi, M. M. A. and A. E. Hall 1976 Comparative studies of net photosynthesis and transpiration of some citrus species and relatives. *Physiol. Plant.*, 36: 35-39
- 小林 章 1970 ブドウ園芸。養賢堂, 東京
- Lakso, A. N. 1982 Precautions on the use of excised shoots for photosynthesis and water relations measurements of apple and grape leaves. *HortScience*, 17: 368-370
- 森永邦久・池田富喜夫 1984 カンキツの光合成に関する研究。(第1報) カンキツの気孔密度の差異について。園学要旨。昭59秋, 566頁
- 高橋国昭・倉橋孝夫 1983 ブドウ個葉の光合成特性。園学要旨。昭58春, 120-121頁
- 山本昭平 1984 果実への同化産物の集積のLくみ。遺伝, 38: 9-14

Summary

The grapevine cultivars, even in the same family, showed differences in photosynthetic rate, ET rate, stomatal conductivity, CO₂ concentration in cell spaces and water-use efficiency. Those might be due to the results of selection conducted for seedlings to suit the light conditions in the cultivated areas, and, even on the level of variety, variation on light requirements might be produced.

Among tetraploid and diploid varieties, there were little differences in the responses of photosynthetic rate, ET rate, stomatal conductivity, CO₂ concentration in cell spaces and water-use efficiency to light intensity. Therefore, no relation between those physiological responses and ployploidy was found.