

ブドウ属植物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/10.15017/23584>

出版情報 : 九州大學農學部學藝雜誌. 51 (3/4), pp.103-109, 1997-03. 九州大學農學部
バージョン :
権利関係 :

ブドウ属植物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10月31日受付, 1996年12月17日受理)

Effect of Light Intensity on the Photosynthetic Rate of *Vitis*

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。

ブドウ属植物は広い地域に分布し、異なった環境下で進化した結果、光に対する光合成反応には原生地環境により変異が生じているといわれている (Geisler, G., 1963)。ブドウ属植物の種及び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属植物を用い、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

供試したブドウ属植物は、全て自根苗 2~3 年の幼木で、無加温ガラス温室で育成した。灌水は毎日行い、施肥は大塚液肥 OKF-1 の 500 倍溶液を与え、慣行栽培方法にしたがって管理した。

欧米雑種 ('レッドポート', 'Scarlet'), 欧州種

('Hiline', 'Flame Tokay'), 及び *Vitis vinifera* × *V. amurensis* から育成した 'BUP-6946', 四倍体欧米雑種 (Early Niabell) の 6 品種について見かけの光合成速度を測定した。

ブドウ属野生種 *Vitis amurensis*, *V. coignetiae*, *V. vulpina*, *V. cordifolia*, *V. longii*, *V. aestivalis*, *V. rupestris*, *V. arizonica* については、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。

供試材料は鉢植えで、測定する前日に光合成測定室に移し、土壌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。測定葉として未結果枝に着生した上位成熟葉を同化箱にセットした。測定葉の枚数は葉面積の大きさに応じて 2~5 枚とした。光合成測定後に測定葉の葉面積を自動面積測定装置 (HAYASHI DENKO, AAM-5) によって測定した。

光合成、蒸散速度の測定には、同化箱内温度、湿度、風速を制御できる開放型の光合成測定装置 (SPB-Z 型, 島津社製) を用いた。同化箱内温度は 15~35℃ の間に調節した。光条件は相対湿度約 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 (コンスタンタン線) 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16l/minとした。見かけの光合成速度、蒸散速度、気孔拡散伝導度、水利用率効率は前報（白石ら、1996）によって算定した。

結 果

1. 光強度とブドウの光合成速度との関係

供試した6品種の中で‘BUP-6946’を除く他の品種は全てレッドポートと同様な光合成速度曲線を示した（Fig. 1）。即ち見かけの光合成速度は、光強度上昇に伴って促進され、28~40klxの間で光飽和点に達した後はほぼ一定の値を保持した。一方、‘BUP-6946’では他の品種より光飽和点が低く、同化箱内温度15℃、25℃区においては約15klx、35℃区では約25klxに光飽和点があり、それ以上の光強度では光合成速度が低下する傾向にあった。60klxの高照度下の光合成速度は最大光合成速度と比較して15℃区において約5%、25℃区では35%、35℃区では50%低下し、温度が高いほど低下割合が大きかった（Fig. 2）。

光補償点は品種間差異があり、400~2000klxの間であった（Table 1）。いずれの品種とも高温下ほど光補償点の光強度は高くなった。暗呼吸速度も同様に同化箱内温度が高くなるにつれて増加した。光飽和点

の光強度は同化箱内温度によって異なっていた。即ち、Scarlet では15℃で光補償点の光強度が40klxであり、25℃及び35℃区に比べ約7klx高くなった。

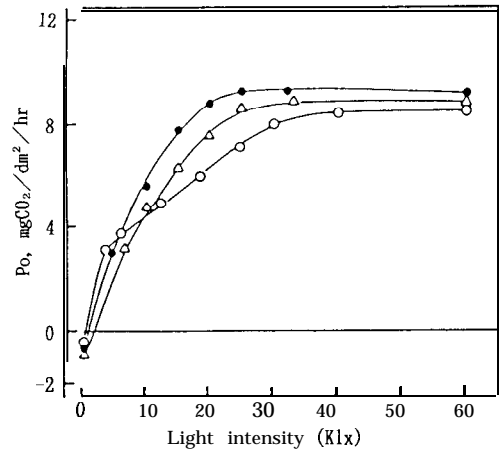


Fig. 1. Influence of light intensity on leaf apparent photosynthesis of *Vitis* cultivars, 'Red port' under temperature 15°C (○-○), 25°C (●-●), 35°C (A-A).

Table 1. Effect of temperature on light compensation point, dark respiration, light saturation point, photosynthetic rate under 60 klx light intensity.

Cultivar	Chamber temp. (°C)	Light compensation point ($\times 10^2$ lx)	Dark respiration ($\text{mgCO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$)	Light saturation point (klx)	Photosynthetic rate ($\text{mgCO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$)
Redport	15	4	0.49	35	8.60
	25	7	0.64	29	9.21
	35	18	0.89	30	8.80
Scarlet	15	7	0.12	40	6.30
	25	8	0.68	33	10.60
	35	13	0.80	33	9.86
Hiline	15	6	0.10	30	4.22
	25	7	0.42	30	4.64
	35	15	0.52	32	4.74
Flame Tokay	15	5	0.66	32	6.81
	25	7	0.57	30	12.54
	35	10	0.80	38	12.18
Early Niabell	15	5	0.66	30	8.67
	25	8	0.80	28	7.64
	35	12	1.42	30	7.20
BUP-6946	15	5	0.59	15	7.95
	25	10	0.66	15	6.52
	35	20	1.37	20	3.70

欧州種の 'Flame Tokay' では逆に35℃区では38 klxで、15℃および25℃より6~8 klx高くなった。'BUP-6946' 及び欧米雑種四倍体品種 'Early Nisbell' の最大光合成速度は15℃区のほうが高く、残りの4品種では25℃区のほうが高かった。

2. 光強度に対する光合成速度の種間差異

V. amurensis では20℃及び30℃の同化箱内温度下において、光合成速度、蒸散速度、気孔拡散伝導度がともに光強度の上昇につれて高くなり、約20klxで最大値に達した後、ほぼ一定の値を示した (Fig. 3)。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、20℃より30℃区において低下の速度が大であった。しかし15~20klxの間で最小値を示してからはほぼ一定の値であった。水利用効率は二つの同化箱内温度とも20klx前後で最大値を示し、光強度の上昇に伴ってやや低下した。

V. coignetiae 及び *V. vulpina* では、*V. amurensis* と同様に30℃より20℃のほうが光合成速度が高かった。光強度の上昇による蒸散速度、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は両種とも *V. amurensis* と類似した傾向であった。

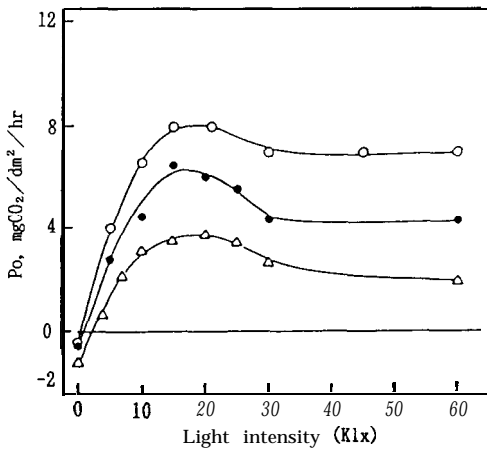


Fig. 2. Influence of light intensity on leaf apparent photosynthesis of 'BUP 6946' (*Vitis vinifera* × *V. amurensis*) under temperature 15°C (O-O), 25°C (●-●), 35°C (A-A).

光飽和点を示す光強度は *V. amurensis* (約20~22 klx) より高かった。 *V. cordifolia*, *V. aestivalis*, *V. rupestris*, *V. longii*, 及び *V. arizonica* では同化箱内温度20℃及び30℃において、光合成速度が高かった (Table 2)。この中で原生地における分布緯度がやや高い *V. cordifolia* および *V. longii* については、同化箱内温度の違いによる光合成速度の差異が小さかった。両種の蒸散速度及び気孔拡散伝導度は、30℃において光強度の上昇につれて増加し20klx前後で最大値を示した。それ以上の光強度下ではほぼ同じ値を保持した。しかし20℃における *V. cordifolia*

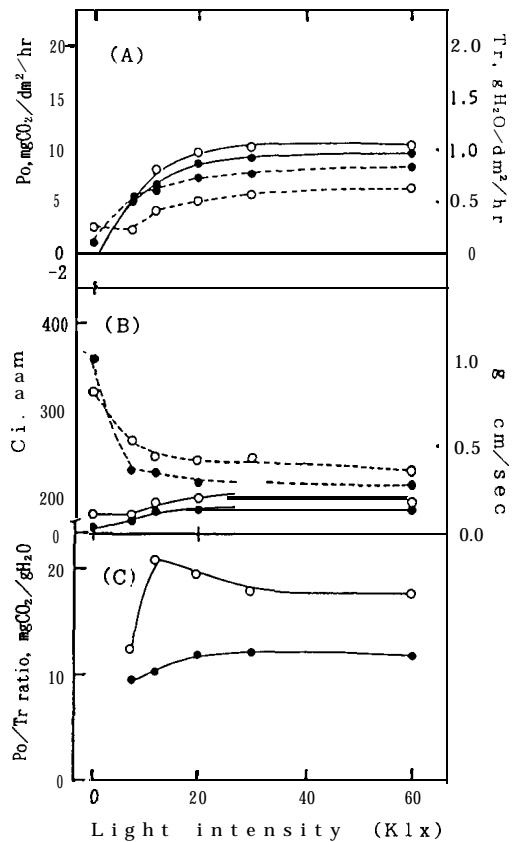


Fig. 3. Influence of light intensity on (A): leaf apparent photosynthesis (P_o : —) and transpiration (Tr : - - -). (B): stomatal conductance (g_l : —) and intercellular CO_2 concentration (C_i : - - -). (C): water use efficiency (P_o/Tr ratio) of *V. amurensis* under temperature 30°C (●) and 20°C (○).

Table 2. Effect of temperature on light compensation point (C.P), light saturation point (S.P), dark respiration (D.R), photosynthetic rate (Po), transpiration (Tr), stomata conductance (gl), water use efficiency (Po/Tr ratio) and intercellular CO₂ concentration (Ci) in *Vitis* species under 60 Klx light intensity.

Species	Chamber temperature	c. P ($\times 10^2$ 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)
<i>Vitis amurensis</i>	20	2	20	0.27	10.33	0.56	0.18	17.64	228.1
	30	5	22	0.38	9.60	0.83	0.14	11.56	213.8
<i>V. coignetiae</i>	20	5	26	0.15	11.05	0.62	0.38	11.82	253.6
	30	7	30	0.45	7.92	0.77	0.14	10.22	227.8
<i>V. vulpina</i>	20	4	25	0.11	11.09	0.58	0.25	19.05	240.1
	30	10	31	0.31	8.89	1.00	0.22	8.92	253.4
<i>V. cordifolia</i>	20	6	26	0.73	12.32	0.65	0.22	18.82	231.4
	30	9	26	1.05	13.68	1.47	0.34	9.29	256.4
<i>V. longii</i>	20	20	30	2.35	16.39	1.24	0.27	13.26	224.7
	30	22	28	2.59	17.58	1.39	0.21	12.69	184.8
<i>V. aestivalis</i>	20	11	35	0.29	12.86	0.64	0.25	20.04	229.3
	30	10	31	0.83	16.61	1.56	0.32	10.63	237.8
<i>V. rupestris</i>	20	17	38	0.45	13.68	0.69	0.37	19.98	259.9
	30	18	35	0.87	19.06	2.19	0.57	8.70	266.4
<i>V. arizonica</i>	20	12	34	0.54	14.03	0.82	0.71	19.12	275.4
	30	7	30	1.57	17.22	2.23	0.64	7.52	276.8

の蒸散速度、気孔拡散伝導度の光強度の上昇による増加はほとんど見られなかった (Fig. 4). *V. aestivalis* も *V. cordifolia* と同様な傾向であった。これに対し、*V. arizonica* では20℃及び30℃における蒸散速度及び気孔拡散伝導度の値に差異が見られたが、光強度の上昇に伴うそれらの値には大きな変動はなかった (Fig. 5)。*V. longii* 及び *V. rupestris* も *V. arizonica* と同様な傾向であった。細胞間隙内二酸化炭素濃度は供試した全ての種において、20℃では光強度の上昇に伴って徐々に低下し、30℃でも同様な傾向がみられたが、一部の種 (*V. amurensis*, *V. coignetiae* など) ではその濃度が20klx まで急速に低下し、その後照度の上昇につれてやや回復する現象が認められた。

水利用効率は同化箱内温度を問わず光強度の上昇に伴って高くなり、20klx を越える頃からほぼ一定の値、あるいはやや低下した (Fig. 3~5)。また、多くの種では10klx を越えるとも同化箱内温度20℃における水利用効率は30℃におけるよりも高かったが、*V. longii* では50klx まで30℃における水利用効率は20

℃の場合よりも高かった。光飽和点を示す照度は同化箱内温度により異なるが、殆どの種が25~38klx の間であった (Table 2)。しかし、*V. amurensis* は約20klx で光飽和点に達し、全供試種中最も低い値であった (Fig. 3)。暗呼吸速度の値は種を問わず、同化箱内温度20℃よりも30℃のほうが高かった (Table 2)。また *V. amurensis*, *V. coignetiae* および *V. vulpina* は他の種より暗呼吸速度が低かった。光補償点の光強度も同化箱内温度30℃のほうが20℃より高かった (Table 2)。

60klx 区における蒸散速度は、供試した全ての種で同化箱内温度20℃より、30℃のほうが高かった (Table 2)。20℃区では種による蒸散速度の差異は少なかったが、30℃では低緯度に原生する種で蒸散速度の値が高かった。*V. cordifolia*, *V. aestivalis*, *V. rupestris* を除く他の種では、20℃より30℃において気孔拡散伝導度が低かった (Table 2)。また、分布緯度が低い *V. arizonica* および *V. rupestris* では、同化箱内温度30℃における気孔拡散伝導度は他の種より高かった。*V. amurensis*, *V. coignetiae*, *V.*

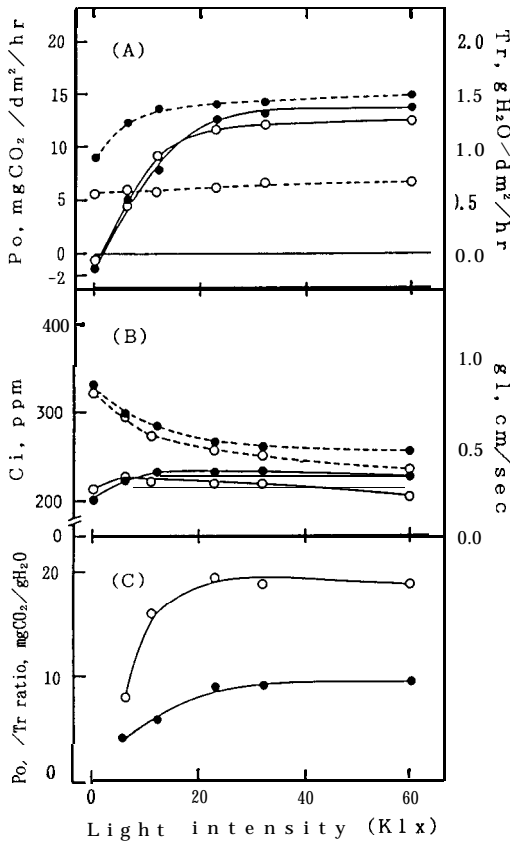


Fig. 4. Influence of light intensity on (A) : leaf apparent photosynthesis (Po: —) and transpiration (Tr: —). (B): stomatal conductance (gl: —) and intercellular CO₂ concentration (Ci: ----). (C): water use efficiency (Po/tr ratio) of *V. cordifolia* under temperature 30 °C (●) and 20°C (○).

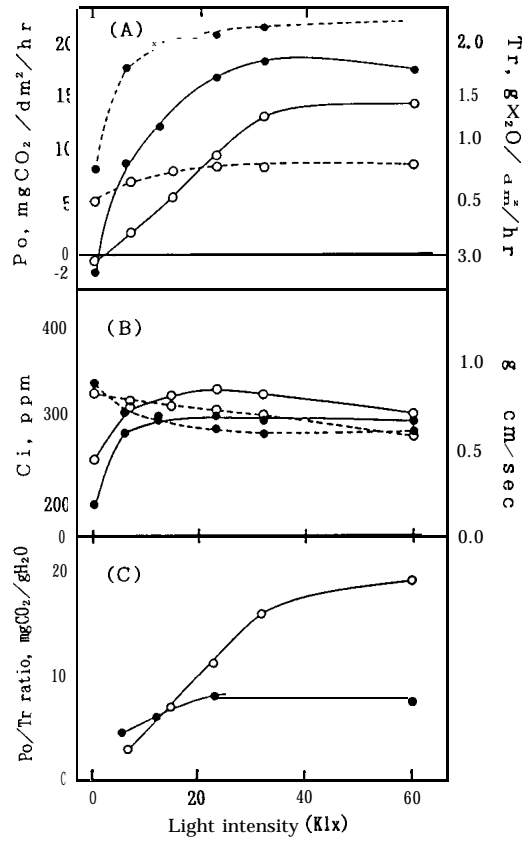


Fig. 5. Influence of light intensity on (A) : leaf apparent photosynthesis (Po: —) and transpiration (Tr: —). (B): stomatal conductance (gl: —) and intercellular CO₂ concentration (Ci: ----). (C): water use efficiency (Po/Tr ratio) of *V. arizonica* under temperature 30 °C (●) and 20°C (○).

longii を除く他の種では、細胞間隙内二酸化炭素濃度の値は20°Cより30°Cにおいて高かった。

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、'巨峰' と 'Delaware' の光飽和点は約10~20klxの間に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、自根樹または切枝を供試した場合、材料の水ストレスの差を生じ、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、'BUP-6946'を除く欧米雑種における光飽和点が、同化箱内温度15~35℃の範囲において28~40klxであり、鴨田(1986)の結果に近い。また、光合成速度の値は、5~10mgCO₂/dm²/hrであり、平野(1980)、高橋ら(1983)の値とはほぼ一致している。本研究では、再現性を考慮してガラス温室で生育させた鉢植え材料を用いたために、生育過程及び測定中の温度、湿度及び風速は全て一定に制御した。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た。増田(1977)の報告でも、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であるとし、本速度には温度が大きな影響を及ぼすとしている。

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、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。

一般に植物の種レベルにおいて生育、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にあった。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30 klx 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と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。

例えば、旧ソ連邦において、*V. vinifera* × *V. amurensis* から選抜された 'BUP-6946' では光飽和点における光強度が低く、25klx を越えると光合成速度は低下し、特に高温ほどその低下の割合が大きかった。このことは本種が比較的冷涼な地域を生育適地としていることを示唆している。'BUP-6946' の生育に関与している *V. amurensis* は極東、中国東北部などの低温地域に自生する。本種の光飽和点は低く、また 'BUP-6946' と同様に高温、強光下では光合成速度が低下した。

光強度に対するブドウ属植物の光合成速度、蒸散速度及び気孔拡散伝導度の反応は、原生地域の光環境によって異なると考えられる。このことは、栽培品種においても育成の過程において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異が生じているものと考えられる。

要 約

光強度に対する光合成反応について調査するために、ブドウ野生種8種、栽培品種6品種の計14系統を供試した。ブドウ葉の光合成速度は光強度の上昇に伴って高くなる傾向が見られた。ブドウ属植物の種、品種又は温度条件によって異なるが、ほとんどは20~40klxの間で光飽和点に達し、光補償点は0.2~2.0klxの間であった。暗呼吸速度及び光補償点は高温ほど高くなった。

蒸散速度及び気孔拡散伝導度は、20~30℃でも傾向は同じで、光強度の上昇に伴って高くなるが、その後は増加の傾向が緩やかになった。

水利用効率は全ての種・品種において、20klx 前後まで光強度の上昇に伴って増加した。高温ほど水利用効率は低くなる傾向にあった。一方、細胞間隙内二酸化炭素濃度は光強度上昇に伴って低下した。ブドウ属植物において、高緯度地域に自生する種は高温で光合成速度が低下し、光補償点及び光飽和点も低い傾向があった。低緯度地域に自生する種は逆の傾向を示した。また、高温下では、高緯度地域に自生する種の蒸散速度及び気孔拡散伝導度は低かった。

栽培品種では、同じ類縁関係をもつ品種間でも、光

合成速度, 蒸散速度, 気孔拡散伝導度, 細胞間隙内に酸化炭素濃度及び水利用効率の反応には違いがみられた。

文 献

- Buttrose, M. S. 1968 Some effects of light intensity and temperature on dry weight and shoot growth of grapevine. *Ann. Bot.*, 32: 753-765
- Buttrose, M. S. 1969 Vegetative growth of grape vine varieties under controlled temperature and light intensity. *Vitis*, 8: 280-285
- Farquer, G. D. and T. D. Sharkey 1982 Stomatal conductance and photosynthesis. In "Ann. Rev. Plant Physiol." (ed. by Briggs, W.T.), Palo Alto, pp.317-345
- Geisler, G. 1963 Art- und sortenspezifische CO₂-assimilationsraten von reben unter berticksichtigung weschselnder beleuchtungsstarken. *Mitt. Ser.*, A.8(6): 301-305
- 姫野周二・豆塚茂実・浜地文雄 1983 4 3 イ7ルート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
- 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
- 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
- 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
- Inada, K. 1976 Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant & Cell Physiol.*, 17: 355-365
- 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
- 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. *Hort Science*, 17: 368-370
- 増田茂雄 1977 植物生理学. 培風館, 東京
- 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
- 白石眞一・熊同銓・白石美樹夫・北崎真紀子 1996 ブドウ栽培品種の光合成速度に及ぼす光強度の影響. 九大農学芸誌, 51(1・2): 1-7
- 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

Summary

A total of 14 grapevine accessions (8 *Vitis* species and 6 cultivars) were examined in order to elucidate the relationships between photosynthetic activity and light intensity. Photosynthetic rate (P_o , mgCO₂/dm²/hr) of grapevine leaves increased in accordance with the level of light intensity.

Although great differences were observed within genus *Vitis*, light saturation point (S.P) and light compensation point (C.P) generally ranged from 20 to 40klx and from 0.2 to 2.0 klx, respectively. In general, dark respiration (D.R, mgCO₂/dm²/hr) and C.P were higher in high temperature than in low one. Until 20 klx of light intensity, transpiration (Tr, gH₂O/dm²/hr) and stomatal conductance (gl, cm/sec) linearly increased in consistent with the increase of intensity, and thereafter increased progressively. Water use efficiency (P_o/Tr ratio, mgCO₂/gH₂O) increased linearly until 20 klx of light intensity. The P_o/tr ratio was low in high temperature. Intercellular CO₂ concentration (C_i, ppm) decreased with the increase of light intensity.

Compared with grapevine accessions which are grown in low latitudes, those in high latitudes showed the low P_o under high temperature together with the low S. P, C. P, Tr and gl. In the cultivars eventhough having the same parentage, large varietal differences in the P_o , Tr, gl, and P_o/Tr ratio were found.