

ブドウ属植物の光合成速度に及ぼす温度の影響

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/10.15017/23585>

出版情報 : 九州大學農學部學藝雜誌. 51 (3/4), pp.111-115, 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温度の影響

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)

Effects of Temperature 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

温度はブドウの乾物生産量と直接的な関係があり、ひいては樹勢、果実の収量や品質に強く影響を及ぼすことが知られている (Buttrose, 1968). 近年ブドウの栽培適地及び栽培体系に関する温度条件の資料を得るために、乾物生産量の基礎となる光合成速度に及ぼす温度の影響について、ブドウの栽培品種を中心に研究が行われている (Alleweldt *et al.*, 1982). Berry and Bjorkman (1980) は、光合成速度に及ぼす温度の影響は同一種の植物においても原生地により違いがあると報告しているが、ブドウにおいてこのような原生地の異なる種・品種の光合成速度と温度との関係に関する研究は見当らない。そこで本研究では、分布地域が異なる野生型ブドウ属植物を供試し、温度に対する光合成速度、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差異及び葉の形態との関係について調査を行った。

材料及び方法

本研究に用いた材料は、野生種 *Vitis coignetiae*, *V. coriacea*, *V. cordifolia*, *V. arizonica*, *V. aestivalis*, *V. caribaea* の6種で、鉢植えの自根3年苗を1985年3月、無加温ガラス温室に入れ、標準的な栽培管理を行った。同年6月中旬、開放型光合成測定装置 (SPB-Z型, 鳥津社製) を用い、光照度40klx, 同化箱内温度15℃, 20℃, 25℃, 30℃, 35℃における

見かけの光合成速度、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効率を測定した。

生体重及び乾物重は常法で測定した。気孔長径及び気孔密度の測定は陰刻法により、調査部位を葉の裏面の葉先中央部、葉脚の3ヶ所とし、市販のマニキュア液を薄く塗って陰刻をとり、光学顕微鏡下で気孔数 (3葉の平均数)、気孔長径 (120個の平均) を算出した。葉緑素含量の測定は、Holden (1965) の方法に従った。

結 果

供試した6種の中で *V. coignetiae* は20℃で、*V. coriacea*, *V. cordifolia* および *V. arizonica* は25℃で、*V. aestivalis* および *V. caribaea* は30℃でそれぞれ最大光合成速度を示した (Table 1)。*V. coriacea* および *V. caribaea* の最大光合成速度は供試した6種中最も高く、約17mgCO₂/dm²/hrであったが、*V. coignetiae* はどの温度区でも12mgCO₂/dm²/hr未滿で、供試した6種中最も低い値であった。

各種の最大光合成速度値を100としたそれぞれの光合成速度の相対値を Fig. 1 に示した。いずれの種も温度の上昇につれて光合成速度を増加し、20℃~30℃の間で光合成の最適温度に達した後再び低下した。

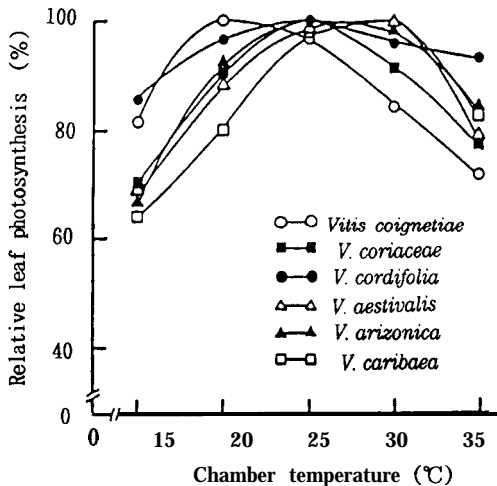
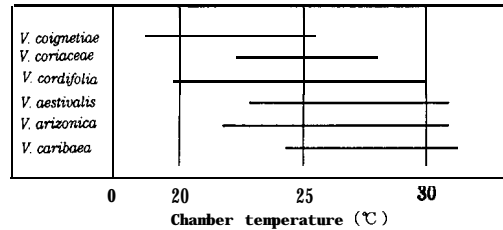
V. coignetiae と *V. cordifolia* では15℃においても最大値の80%以上の光合成速度を維持できたが、他の4種はいずれも70%以下であった。35℃高温下では *V. coignetiae* における低下の割合が最も大で、*V.*

Table 1. Effect of temperature on leaf apparent photosynthesis ($\text{mgCO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$), transpiration ($\text{gH}_2\text{O}/\text{dm}^2/\text{hr}$) and stomata conductance (cm/sec) in *Vitis*.

Species (Chamber temp.)	Photosynthesis					Transpiration					Stomata conductance				
	15	20	25	30	35	15	20	25	30	35	15	20	25	30	35
<i>V. coignetiae</i>	9.60	11.80	11.42	9.92	8.45	0.43	0.88	0.90	1.08	1.24	0.34	0.58	0.30	0.23	0.17
<i>V. coriaceae</i>	12.20	15.65	17.37	15.80	13.52	0.75	1.05	1.10	1.30	1.44	0.81	0.67	0.33	0.25	0.20
<i>V. cordifolia</i>	11.34	12.83	13.29	12.72	12.51	0.42	0.58	0.70	0.95	1.37	0.38	0.29	0.21	0.18	0.19
<i>V. aestivalis</i>	9.80	12.59	14.03	14.20	11.17	0.34	0.78	0.89	1.10	1.38	0.22	0.44	0.29	0.24	0.21
<i>V. arizonica</i>	10.43	14.38	15.49	15.23	13.01	0.76	1.10	1.06	1.48	1.43	0.77	0.70	0.35	0.31	0.20
<i>V. caribaea</i>	11.22	13.93	17.11	17.41	14.35	0.47	1.12	1.32	1.40	1.65	0.49	0.99	0.50	0.32	0.24

Table 2. Effect of temperature on water use efficiency and intercellular CO_2 concentration in *Vitis*.

Species (Chamber temp.)	Water use efficiency					Intercellular CO_2 concentration				
	15	20	25	30	35	15	20	25	30	35
<i>V. coignetiae</i>	23.30	13.45	12.74	9.15	6.82	285.4	297.4	268.0	261.6	252.0
<i>V. coriaceae</i>	16.29	14.92	15.75	12.16	9.39	305.9	292.6	244.5	227.8	219.4
<i>V. cordifolia</i>	27.11	22.24	18.91	13.34	9.10	281.6	258.6	227.1	216.9	222.7
<i>V. aestivalis</i>	28.50	16.18	15.69	12.94	8.12	258.4	284.6	251.8	233.4	243.2
<i>V. arizonica</i>	13.67	13.13	14.62	10.32	9.11	308.4	297.1	259.2	250.5	223.7
<i>V. caribaea</i>	23.99	12.48	12.98	12.41	8.71	293.6	318.7	275.2	241.4	236.0

**Fig. 1.** Differences in relative values of apparent photosynthesis in 6 *Vitis*.**Fig. 2.** Characteristics of temperature range showing more than 95% photosynthesis ability of the maximum in 6 *Vitis*.

cordifolia は最小であった。

これら6種の光合成速度の最大値の95%範囲から推定した光合成適温域をFig. 2に示した。即ち、冷涼な地域または高緯度に自生する *V. coignetiae* および *V. coriaceae* の適温域は比較的低温側であり、逆に低緯度に分布する種や生育環境温度が高い種の適温域は高温側であった。適温域の最高値は、最も低緯度に分布する *V. caribaea* の32°Cであり、逆に適温域の最低値は中国東北部、日本に分布する *V. coigneti-*

Table 3. Leaf morphological characteristics of *Vitis*.

Species	Leaf thickness (10^{-2} cm)	Special leaf weight (10^{-3} mg/cm)	Dry weight (%)	Chlorophyll content (mg/dm ²)	Stomata density (1 mm ²)	Length of stomata (μ m)
<i>V. coignetiae</i>	1.48	3.21	22.11	6.38	180.63	26.0
<i>V. coriaceae</i>	1.46	3.98	27.31	8.17	245.39	22.4
<i>V. cordifolia</i>	1.61	4.51	21.97	7.73	302.58	24.9
<i>V. aestivalis</i>	1.31	3.48	29.15	7.22	233.01	26.1
<i>V. arizonica</i>	1.49	3.42	23.02	6.73	170.26	27.0
<i>V. caribaea</i>	1.30	3.03	23.30	7.14	237.02	22.8

aeの26℃であった。また、最も広い適温域を示すのは *V. cordifolia* で、20℃～30℃までの間であった。

蒸散速度は各種とも温度上昇につれて高くなった (Table 1)。温度15℃条件下では *V. coriaceae* および *V. arizonica* の値が高く、高温の35℃条件下では分布緯度が最も低い *V. caribaea* が高い値を示した。

気孔拡散伝導度は15℃あるいは20℃で最大値を示した後温度上昇とともに低下した (Table 1)。高温35℃では蒸散速度と同様に *V. caribaea* における値が大きかった。水利用効率および細胞間隙内二酸化炭素濃度 (Table 2) は温度が高くなるにつれて各種とも低下したが、種の原生地との間に一定の傾向はみられなかった。

形態形質では、Table 3 に示したように、ブドウ属植物の種における葉の厚さは $1.30\sim 1.61\times 10^{-2}$ cm、単位葉面積当たりの乾物量 $3.03\sim 4.51\times 10^{-2}$ mg/cm、乾物率は22～29%の間で、種による差異がみられた。気孔密度は *V. cordifolia* が最も高く、約300/mm² であった。*V. arizonica* の気孔密度は供試種類中最も低く、約17/mm² であったが、気孔長は逆に最大で、約27 μ m であった。葉緑素含量は6.38～8.17mg/dm²の間で違いがみられたが、葉緑素 a と葉緑素 b との割合の種による差異はあまりみられなかった。ブドウ属植物の種間の葉の形態とそれぞれの種の原生地における光、温度環境との間には有意な差異は認められず、また光合成速度、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の値とこれらの種の葉の形態の間にも相関関係を認めなかった。

考 察

本研究に供試した全ての種において、光合成速度は温度の上昇に伴って高まり、20～30℃の間で最大光合成速度を示した後再び低下する傾向が見られた。また、

ブドウの乾物生産量も20～30℃の間で大となることから、ブドウの光合成適温は生育適温と近似的関係があると考えられる。

多くの植物の場合、光合成反応における最適温度、最低および最高限界温度はそれらの原生地の温度環境を強く反映することが知られている (Berry and Björkman, 1980; Fitter and Hay, 1981)。熊ら (1985) はブドウ属植物の分布緯度による光合成能力の差異を報告した。本研究においても低緯度に分布する野生種ブドウ属植物 *V. caribaea*, *V. arizonica* および *V. aestivalis* の光合成適温域は、高緯度、または冷涼な地域に原生する *V. coignetiae* および *V. coriaceae* より高温側にあることが確かめられた。従って、これらブドウ属植物はそれぞれの分布地域の温度環境に順応する過程において、温度に対する光合成反応に差異を生じたと考えられる。ブドウの蒸散作用には温度が最も重要な制限因子であるが (Alleweldt and Ruhl, 1982)、土壌含水量が異なると温度の蒸散作用に及ぼす影響も異なると言われている (Beran, 1982)。本研究では適当な灌水を行って、土壌含水量を常に高い状態に維持しながら調査した。この結果、殆どの種の蒸散速度は温度上昇に伴って高まった。

Beran (1982) は、土壌含水量が十分な場合には蒸散速度と温度との間に正の関係があるとの報告をしている。本研究でも同様な結果が得られた。一方、35℃高温条件下では一部の種の蒸散速度はやや低下する傾向があったが、これは地温の上昇により根の吸水活動が著しく低下したか、あるいは高温によって気孔開度が低下したことによるものと思われる。一般に、温度上昇に伴う光合成速度の増加よりも蒸散速度の増加の割合が高かった。これは高温条件下ほど水利用効率が低くなるのが原因であると考えられる。

気孔は光強度、温度、湿度及び二酸化炭素濃度の変化に対し敏感であることが知られている (Sheriff,

1979). また、温度上昇に伴って気孔の開度は低くなることが知られている (Dowes, 1970). Sheriff (1979) は陽光、高温条件下における気孔の開塞は、気孔開度に対する二酸化炭素の作用、及び水ストレスのフィードバック機構により間接的に引き起こされると報告している。Shulze *et al.* (1975) は、蒸散作用が増加すると葉内水ストレスも高まり、その結果気孔開度が低下すると報告している。これらのことから、高温条件におけるブドウの気孔拡散伝導度の低下は、その蒸散速度の促進及び細胞間隙内二酸化炭素濃度の低下と密接な関連があると考えられる。

一般に、葉緑素または窒素の含量が多く、単位葉面積当たりの乾物重または乾物率が高く葉面積が小さい、または葉が厚いほど光合成速度も高いと言われている (Sasahara, 1984; Gosiewski *et al.*, 1982; 稲田, 1984). 本研究ではブドウの種により葉の形質、形態がかなり多様であることが認められた。即ち、光合成速度に及ぼす葉の形態、形質の影響は種間に一定の傾向がなかった。このことから植物の光合成速度に及ぼす葉の形態の影響は、さまざまな形態要因の組合せによって異なると考えられる。また、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効率と葉の各形態要因との間にも直接的な関係が認められなかった。このことも同様に葉の形態の組合せによって影響が異なることを意味している。ブドウ属植物の気孔は、葉の裏面にのみ分布している (Dring, 1980) と報告されているが、本研究の観察でも同様であった。Pathak *et al.* (1976) および Beakbane and Majumder (1975) は、葉面の気孔分布からリンゴの生育力を判断することができると述べている。また、リンゴヤツツジにおける品種間の気孔形態の差異は、その光合成速度、蒸散速度、気孔拡散伝導度に影響を及ぼすと報告している (Ceulemans *et al.*, 1980; Slack, 1974)。

気孔の大小及び密度は、栽培環境、葉令、葉面上の分布によって差異が生じることが知られている。また、Liu *et al.* (1978), Loveys and Kriedemann (1974) によると、生育上の水分管理による植物体内アブジン酸 (abscisic acid) とファゼイック酸 (phaseic acid) の変化は気孔開度に影響を与え、これによって光合成速度は変化すると報告している。これらのことから、光合成に及ぼす気孔の影響は、外部形態や密度よりもむしろ環境に対する気孔の生理反応のほうが重要であると思われる。

摘 要

最大光合成速度を示す同化箱内温度は種によって異なるが、ほぼ20~30℃の間であった。これより低い、または高い温度条件下での光合成速度は顕著に低下した。ほとんどの種の蒸散速度は温度上昇に伴って高くなり、30~35℃の間で最大値を示した。気孔拡散伝導度、細胞間隙内二酸化炭素濃度及び水利用効率は、15~20℃で最大値に達した後、温度上昇に伴って低下した。

野生型ブドウ属植物において、冷涼な地域または高緯度地域に自生する種の光合成適温域は低温側であった。温暖な地域または低緯度に自生する種の光合成適温域は高温側であった。従って、温度に対する光合成反応はそれらの原生地の温度条件と密接な関連があるものと考えられる。

葉の厚さ、単位葉面積当たりの乾物重、乾物率、葉緑素含量、気孔長及び気孔密度の値は種により多様であった。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効率とこれら葉の形態との間には、密接な関連は認められなかった。

文 献

- Alleweldt, G., R. Eibach and E. Rühl 1982 Investigation on gas exchange in grapevine. I. Influence of temperature, leaf age and daytime on net photosynthesis and transpiration. *Vitis*, 22: 93-100
- Alleweldt, G. and E. Rühl 1982 Investigation on gas exchange in grapevine. II. Influence of extended soil drought on performance of several grape vine varieties. *Vitis*, 21: 313-324
- Beakbane, A. B. and P. K. Majumder 1975 A relationship between stomatal density and growth potential in apple rootstocks. *J. Hort. Sci.*, 50: 285-289
- Beran, N. 1982 Transpiration of the grapevine (*Vitis vinifera*) as a function of leaf temperature with special regard to the soil water content. *Wein-Wiss.*, 37: 291-309
- Berry, J. and Björkman 1980 Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plant. In "Ann. Rev. Plant Physiol." Vol. 31. ed. by W. R. Briggs, Ann. Rev. Inc., Palo Alto, pp. 491-543
- Ceulemans, R., I. Impens and R. Gabriëls 1980 Comparative study of photosynthesis, transpiration, diffusion resistances and water use efficiency of two azalea

- cultivars. *Scientia Hort.*, 13 : 283-288
- Dowes, R. W. 1970 Effect of light intensity and leaf temperature on photosynthesis and transpiration in wheat and sorghum. *Aust. J. Biol. Sci.*, 23 : 775-782
- During, H. 1980 Stomata frequency of leaves of *Vitis* species and cultivars. *Vitis*, 19 : 91-98
- Fitter, A. H. and K. M. Hay 1981 *Environmental physiology of plants*. Academic Press London.
- Gosiewski, W., H. J. M. Nilwik and J. Bierhuizen 1982 The influence of temperature on photosynthesis of different tomato genotypes. *Scientia Hort.*, 16 : 109-115
- Holden, M. 1965 Chlorophylls. In "Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments." ed. by T. W. Goodwin, Academic Press London, New York, pp.461-485
- 熊同銓・白石眞一・上本俊平 1985 ブドウ品種の光合成能力の温度適応性. 園学要旨, 昭60春, 501
- Liu, W. T., R. Pool, W. P. Wenkert and E. Kriedemann 1978 Change in photosynthesis, stomatal resistance and abscisic acid of *Vitis labrusca* through drought and irrigation cycles. *Amer. J. Enol. Vitic.*, 29 : 239-246
- Loveys, B. R. and P. E. Kriedemann 1974 Internal control of stomatal physiology and photosynthesis. I. Stomatal regulation and associated changes in endogenous levels of abscisic and phaseic acids. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1 : 407-415
- Pathak, R. K., D. Pandey and V. S. Pandey 1976 Stomatal distribution as an index for predicting the growth potential of apple stocks. *J. Hort. Sci.*, 51 : 429-431
- Sasahara, T. 1984 Varietal variations in leaf anatomy as related to photosynthesis in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Japan. J. Breed.*, 34 : 295-303
- Schulze, E. D., O. Lange, L. Evenari, M. L. Kappen and U. Buschbom 1975 The role of air humidity and leaf temperature in controlling stomatal resistance of *Prunus armeniaca* L. under desert conditions. I. A simulation of the daily course of stomatal resistance. *Oecologia.*, 17 : 159-170
- Sheriff, D. W. 1979 Stomatal aperture and the sensing of the environment by guard cells. *Plant Cell and Environment*, 2 : 15-22
- Slack, E. M. 1974 Studies of stomatal distribution on the leaves of four apple varieties. *J. Hort. Sci.*, 49 : 95-103

Summary

The temperature at which the highest photosynthetic rate of *Vitis* species was obtained was at a range of 20-30°C, though the optimum temperature varied depending on the species. The photosynthetic rate obviously declined at lower or higher temperature than that.

Transpiration rates of the species generally increased as temperature increased, and the rate was the highest between 30-35°C. Stomatal conductivity, CO₂ concentration inside cell spaces and water-use efficiency reached the maximum at 15-20°C. Thereafter, they decreased as temperature increased. The photosynthetically optimum temperature zone of the wild species grown in cool regions or higher latitudes was in low temperature one. In contrast, that of the species grown in warm regions or lower latitude was in high temperature zone. Therefore, the photosynthetic response to temperature might be closely related to the temperature in the source regions.

Leaf thickness, dry weight per unit leaf area, percentage of dry matter, chlorophyll content, stomatal length and stomatal density varied depending on the species. We found no close relationship among the photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductivity, CO₂ concentration in cell space, water-use efficiency and shape of the leaf.