

キュウリの初期生長と無機栄養に及ぼす高気温と高地温の影響

王 玉海・橘 昌司

三重大生物資源学部 514 津市上浜町

Growth and Mineral Nutrition of Cucumber Seedlings as Affected by Elevated Air and Root-zone Temperatures

Yu Hai Wang and Shoji Tachibana

Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu, Mie 514

Summary

Relative contributions of supraoptimal air and root-zone temperatures on the growth inhibition of cucumber (*Cucumis sativus* L.) during hot seasons were evaluated. Seedlings of a Chinese cultivar, Sangoh (Ji huang gua 3) and a Japanese cultivar, Sharp I were grown in water culture for 8 days in controlled environment rooms. The environmental conditions were: 26/26 °C, 26/37 °C, 37/26 °C or 37/37 °C daytime air/root-zone temperature regimes (air temperature in the night was 5 °C lower than that in the day), 80/90 % relative air humidity, and a 15-hr photoperiod of ca. 480 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD.

Temperature of leaves was approximately equal to air temperature during the daytime. Although plants thrived best at 26/26 °C and worst at 37/37 °C combinations, when growth at 26/37 °C and 37/26 °C regimes was compared, high air temperature was more inhibitory than high root-zone temperature. Root growth, leaf expansion rate, leaf water content, photosynthetic rate and leaf mineral concentrations were reduced more severely by high root-zone temperature. Seedlings of 'Sangoh' were significantly more tolerant to high root-zone temperature than were those of 'Sharp I'. Possible causes of growth inhibition by high air temperature compared to that by high root-zone temperature and the mechanisms of the cultivar difference in thermotolerance of cucumber plants are discussed.

緒 言

野菜や花きの施設栽培では、夏季には室内温度が非常に高まり、養液栽培では培地への蓄熱によって、根域温度が長時間 35 °C を越えることも珍しくない（並木ら, 1972; 佐々木・板木, 1989）。また、鉢物栽培では、直射光を受けた鉢の土壌温度が 50 °C 以上になることもある（Ingram, 1981）。作物はこのような高温にさらされると、生育や着果の不良、生理障害、収量および品質の低下といったさまざまな障害を受ける。

こうした高温障害を回避するために、種々の対策が講じられているが、野生種や栽培品種のなかには高温耐性の高いものがあり（Abdul-Baki, 1991; Caldwell, 1993; Rudich ら, 1977; Stevens・Rudich, 1978）、こ

れらの遺伝資源を利用して高温耐性の高い品種を育成することは、これからの課題であると考えられる。

高温耐性育種を効果的に進めるには、高温耐性の生理・生化学的機構に関する情報が必要である。一般に、気温が高いときは地温も高いので、植物の高温耐性を問題にするときには、それが主として高気温に対する耐性であるのか、あるいは高地温に対する耐性であるのかを明確にしておく必要があると考えられる。

この点に関連して、根域の高温による根の生育や機能の減退が、高温期の生育不良の主な原因であるという見解がある。例えば、出穂後のコムギでは、高温によって茎葉の生長や登熟の抑制、葉の枯れ上がりなどの障害が起こるが、気温が高くて地温が適温であれば正常に生育することが認められている（Kuroyanagi・Paulsen, 1988）。トマトやキュウリでも、地下部の

冷却によって高温期の生育や収量が高まる (佐々木・板木, 1989). このように根が高温の影響を受けやすいのは, 一般に根は葉より高温耐性が小さい (Aloni ら, 1992) うえに, 葉温は蒸散冷却によって気温より低くなることが多いのに対して, 根温は地温以下にはならないことが関係していると考えられる.

しかし, 野菜類の生育に及ぼす高気温と高地温の影響を, 厳密に気温と地温を制御して比較検討した研究は見当たらない. そこで, 本研究では高温耐性が異なると考えられるキュウリ 2 品種を供試して, 初期生長と無機栄養に及ぼす高気温と高地温の影響を調べた.

材料および方法

品種には 'シャープ I' と中国品種の '冀黄瓜三号' ('三号' と略記) を用いた. '三号' は著者の一人である王らが育成した品種で, 中国では夏季に栽培される高温耐性の大きい品種である.

10 月に, 催芽した種子をバーミキュライトに播種し, 子葉展開時にれきを詰めた素焼鉢に移植して, ホーグランド液 (1/2 倍) を用いてガラス室で湛液れき育苗した. 本葉 2 枚展開時の苗を, 2 機の人工気象室にそれぞれ 2 台ずつ設置した 120 liter 容の栽培槽に 10 株ずつ定植し, ホーグランド液 (1/2 倍, 液温 26 °C) で栽培した. 人工気象室は, 明/暗期の気温を 26/21 °C, 相対湿度を 80/90% に設定した. 光は陽光ランプと BOC ランプの混合光 (ワット比 3:1, 約 $480 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPFD) で 15 時間照明とした.

定植 4 日後に, 1 機の人工気象室の気温を 37/32 °C に上げ, 同時に各室の 1 台の水槽の液温を 37 °C に高めて, 26/26 °C, 26/37 °C, 37/26 °C, 37/37 °C の 4 区の気温/地温 (気温は明期の温度で, 暗期は明期より 5 °C 低い. 地温は終日一定) を設定して栽培を続けた. なお, 明暗期を通じて毎時 15 分間空気を通気した. 培養液の溶存酸素濃度は, 地温 26 °C 区では 6~7 ppm で推移したのに対して, 37 °C 区では 4 ppm 前後で推移した. 処理期間中, 2 日ごとに明期の中間で, 葉温, 葉の蒸散速度および気孔拡散抵抗をポロメーター (LICOR, LI-1600 型) で, 光合成速度を携帯用光合成・蒸散同時測定器 (島津 SPB-H 2 型) でそれぞれ測定した. これらの測定に用いた葉は最上位展開葉の下 3~4 枚目の葉とした.

温度処理後 8 日目に, 葉, 葉柄と茎, 根に分けて採取した. 葉身は生体重を測定し, 葉面積計 (林電工, AAM-8 型) で葉面積を測定したのち凍結乾燥した. 根は水道水と純水で洗浄し, 5 °C の純水に 10 分間漬

けて細胞間隙のフリースペースに存在する無機イオンを洗い出したのち (Epstein・Leggett, 1954), 凍結乾燥した. 葉柄と茎は 60 °C で 48 時間通風乾燥した. これらの試料は乾物重を測定したのち, 葉と根については前報 (Du・Tachibana, 1994) と同様にして無機養分を定量した.

結 果

1. 生 育

葉温は気温の影響を強く受け, 地温の影響は小さかった. 葉温は気温 37 °C のときには両品種ともに 36 °C 前後で, 26 °C のときには '三号' では気温とはほぼ同じであったが, 'シャープ I' の葉温は気温よりやや高かった (第 1 図). しかし, 人工気象室の気温制御の精度が ± 1.5 °C であることを考慮すると, 本実験の環境条件下では葉温は両品種とも気温とはほぼ同じであったと思われる.

株当たりの生長量は, 26/26 °C 区で最も優れ, 37/37 °C 区で最も劣った (第 1 表). 37-26 °C 区と 26/37 °C 区を比較すると, 高気温のほうが生長抑制作用が大きく, 特に '三号' の生長は地温のみの高温の影響はあまり受けなかった. また 'シャープ I' では, 高気温に高地温が加わると生育がいっそう不良になったが, '三号' ではそのようなことはなかった. 全般的にみて, '三号' は 'シャープ I' より高温による生長阻害程度が小さかった.

根の生長は, 37/37 °C 区と 26/37 °C 区で顕著に阻害された (第 1 表). しかし, 阻害程度は品種によって異なり, 'シャープ I' のほうが大きな影響を受けた. また, 気温のみの高温によっても根の生長は阻害されたが, この場合も '三号' より 'シャープ I' のほうが阻害程度が大きかった. また, 37/37 °C 区と 26/37 °C 区では根と茎葉の乾物重の比率 (R/T) が非常に小さくなった (第 1 表).

1 株当たりの葉面積は, 37/37 °C 区で著しく小さくなった (第 2 表). 葉面積は地温のみの高温によっても減少したが, 気温のみの高温の影響はそれに比べると小さかった. 両品種を比較すると, 'シャープ I' のほうが大きな影響を受けた. 高地温は葉の厚さにも影響し, 高地温によって両品種ともに葉が有意に厚くなった (第 2 表). 'シャープ I' では気温のみの高温によっても葉がやや厚くなったが, '三号' では高気温のみの影響はみられなかった.

葉身の含水率は両品種ともに地温の高い 37/37 °C 区と 26/37 °C 区で低下したが, 気温のみの高温は含

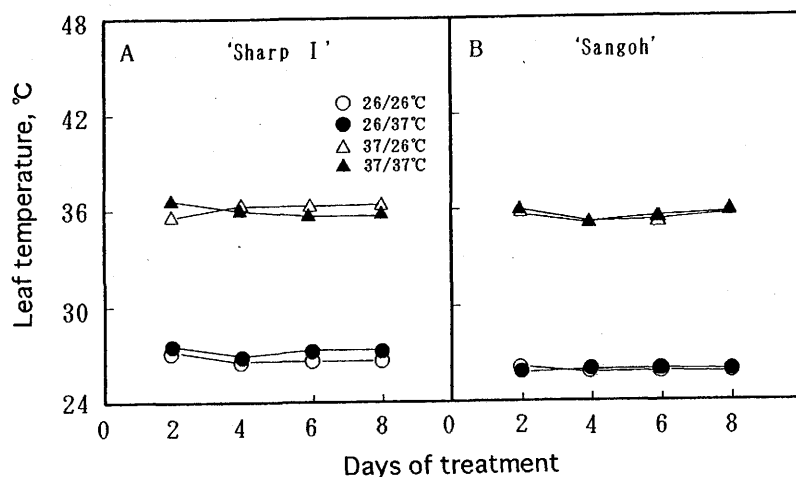


Fig. 1. Effect of high temperature in the air and/or root-zone on leaf temperatures of 'Sharp I' (A) and 'Sangoh' (B) cucumber seedlings. Plants were grown for 8 days in water culture in growth rooms with $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD. Standard errors are all smaller than the symbols.

Table 1. Effect of high temperatures in the air and/or root-zone on the growth of cucumber seedlings^z.

Cultivar	Air/root-zone temperatures (°C)	Plant height (cm)	Dry weight (g·plant ⁻¹)			Root/shoot dry wt. ratio
			Shoot	Root	Total	
Sharp I	26/26	62.7a ^y	14.53a	2.00a	16.53a	0.14a
	26/37	44.3b	10.82b	0.52c	11.34b	0.05b
	37/26	33.2c	8.68c	1.12b	9.80c	0.13a
	37/37	21.7d	6.41d	0.53c	6.94d	0.08b
Sangoh	26/26	53.8a	12.01a	2.15a	14.16a	0.18a
	26/37	49.0ab	11.19a	0.90b	12.09ab	0.08b
	37/26	38.8bc	8.42b	1.74a	10.16b	0.21a
	37/37	37.2c	8.75b	0.88b	9.63b	0.10b

^z Growth conditions are as shown in Fig. 1.

^y Means in columns followed by different letters are significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

水率にはほとんど影響しなかった (第2表). 高地温による葉身の含水率の低下程度は 'シャープ I' のほうが明らかに大きかった. 一方, 葉からの蒸散は高気温によって著しく促進され, 地温の影響は小さかった (第2図). 'シャープ I' では, 高気温に高地温が加わるといっそう蒸散が促進されたが, '三号' では, 処理後4日目にピークに達したあと次第に低下して, 8日目には気温のみ高温の区の蒸散速度より小さくなった. また, 'シャープ I' では地温のみが高温であっても葉の蒸散は僅かに促進されたが, '三号' では一定した傾向はみられなかった.

葉の光合成については, '三号' の実験途中で計器が

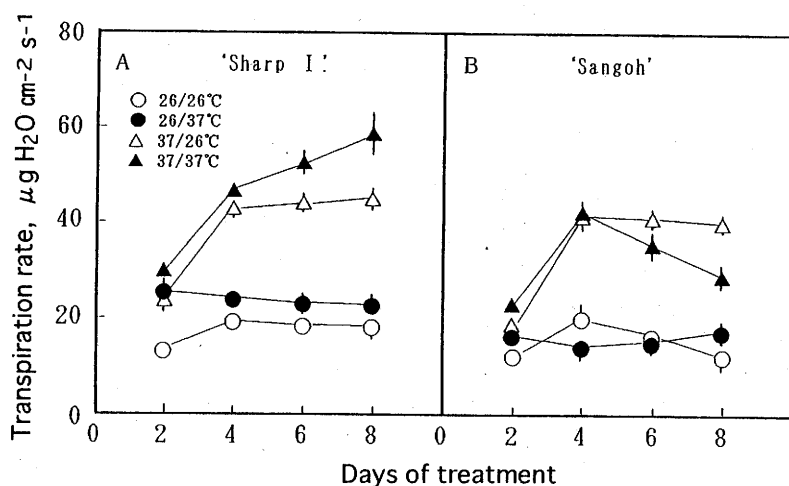
故障したために, 'シャープ I' のデータしか得られなかった. 'シャープ I' では, 37/37°C 区の光合成速度が4日目以降に 26/26°C 区のそれより顕著に低くなった. 地温のみが高い区でも低下がみられたが, 気温のみが高い場合には低下程度は小さかった (第3図). また, 葉の気孔拡散抵抗は, 両品種とも 37/37°C 区と 26/37°C 区で顕著に低下した (第4図). この傾向は 'シャープ I' において特に著しく, 処理後4日目以降にはゼロ近くにまで低下した.

2. 葉と根の無機養分含有率

処理後3~4日目以降に, 地温が高い 37/37°C 区と 26/37°C 区で上位葉の葉肉部を中心にクロロシス症状

Table 2. Effect of high temperatures in the air and/or root-zone on leaf area, leaf thickness and leaf water content of cucumber seedlings^z.

Cultivar	Air/root-zone temperatures (°C)	Leaf area (cm ² ·plant ⁻¹)	Index of leaf thickness (mg·cm ⁻²)	Leaf water content (g·100g ⁻¹ fw)
Sharp I	26/26	2653a ^y	4.0c	84.6a
	26/37	1336c	5.6a	77.4c
	37/26	1493b	4.4b	83.4b
	37/37	749d	5.7a	78.3c
Sangoh	26/26	2147a	4.0b	86.2a
	26/37	1553b	5.4a	81.1b
	37/26	1823a	3.9b	84.9a
	37/37	1243c	5.2a	80.2b

^z Growth conditions are as shown in Fig. 1.^y Means in columns followed by different letters are significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.**Fig. 2.** Effect of high temperature in the air and/or root-zone on transpiration rate of leaves in 'Sharp I' (A) and 'Sangoh' (B) cucumber seedlings. Growth conditions are as shown in Fig. 1. Vertical bars indicate standard errors.

が発生したので、葉の無機養分含有率は上位葉と下位葉に分けて調べた。なお、クロロシスの症状は「三号」より「シャープ I」のほうが激しかった。

葉の窒素含有率は、37/37 °C 区と 26/37 °C 区で著しく低くなった。しかし、気温が高くても地温が低い場合には含有率の低下は起こらなかった (第 3 表)。この傾向は上位葉と下位葉とではほぼ同じであった。一方、根の窒素含有率は、両品種ともに気温と地温のいずれの高温の影響もほとんど受けなかった (第 4 表)。窒素以外の多量要素の含有率も、窒素の場合とほぼ同じように温度の影響を受けたが、その程度はリンで最も大きく、マグネシウムはほとんど影響を受けなかった。また、根のカリウムとカルシウムの含有率は、

窒素の場合と違って生育温度によってわずかながら変動した。

葉の微量元素含有率は、鉄、マンガン、亜鉛ともに地温が高いときに低下したが、マンガン含有率は地温が低く気温が高いときに著しく高くなった (第 3 表)。一方、根の微量元素含有率は、多量要素の場合と異なり、鉄、マンガン、亜鉛ともに、高気温や高地温に遭遇した植物で高くなる傾向が認められた (第 4 表)。この傾向は「シャープ I」で顕著であった。両品種を比較すると、高温遭遇による養分含有率の低下は、多量要素、微量元素ともに「三号」より「シャープ I」のほうが大きかった。

考 察

野菜の実際栽培において、作物が本実験のような温度条件に数日間も連続して遭遇することはありえないが、高温による野菜の生育抑制の原因が主として高気温にあるのか高地温にあるのかという点は明らかにすることができた。本実験では、高地温より高気温のほうがキュウリに対する生育抑制作用が大きかった。この結果は、コムギの生長は高気温より高地温の影響を強く受けたとする Kuroyanagi・Paulsen (1988) の結

果と一致しない。この不一致は、作物の種類の違いや、彼らの用いた温度 (35℃) と本実験で用いた温度 (37℃) の 2℃ の違いが関係している可能性も否定できないが、それ以上に、葉温の違いが大きく関係していると思われる。葉温は、空気湿度が低くて蒸散量が多いときには、蒸散冷却によって気温より低くなるが (小田ら, 1993), 本実験では、夏季の高温高湿を想定して明期の空気湿度を 80% としたために、葉温は気温とほぼ同じであった。Kuroyanagi・Paulsen (1988) は葉温のデータを記載していないが、相対湿度が 40% であったことから、蒸散冷却によって葉温は気温より数℃低くなっていたと推察される。いずれにしても、本実験の結果から、キュウリでは、葉温が 37℃ に達するような高気温に長期間さらされると、地温が適温であっても生育は著しく抑制されると結論できる。ただし、この結果は、空気湿度が低くて葉の蒸散冷却が働く場合には、37℃ の高気温が続いても根域を冷却することによって高温障害を軽減できるという可能性を否定するものではない。今後、この点についてさらに検討する必要がある。

葉の高温障害の生理的機構については、光合成の面からの研究が多く行われており、光合成の障害 (Berry・Bjorkman, 1980), 葉緑素蛍光強度の低下 (Aoki ら, 1988; Burke・Oliver, 1993; 小田ら, 1993; Santarius・Muller, 1979), 炭酸固定酵素活性の低下 (Lyutova ら, 1985) などが報告されている。本実験では、高気温による生長抑制が大きかった 'シャープ

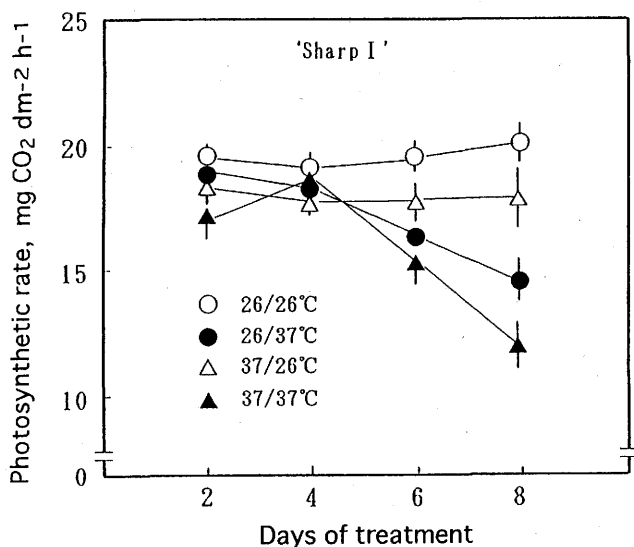


Fig. 3. Effect of high temperature in the air and/or root-zone on photosynthetic rate of leaves in 'Sharp I' cucumber seedlings. Growth conditions are as shown in Fig. 1. Vertical bars indicate standard errors.

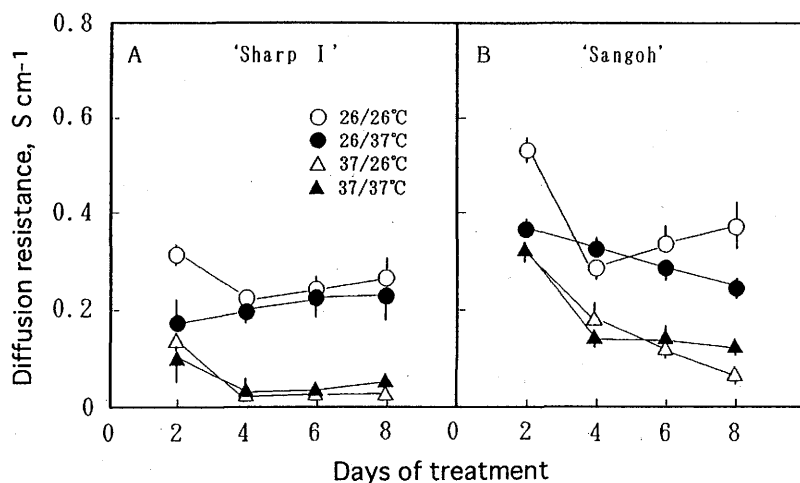


Fig. 4. Effect of high temperature in the air and/or root-zone on diffusion resistance of leaves in 'Sharp I' (A) and 'Sangoh' (B) cucumber seedlings. Growth conditions are as shown in Fig. 1. Vertical bars indicate standard errors.

Table 3. Effect of high temperatures in the air and/or root-zone on mineral nutrient concentrations in leaves of cucumber seedlings^z.

Leaf position ^y	Cultivar	Air/root-zone temperatures (°C)	Macronutrients					Micronutrients		
			N	P	K (g·100g ⁻¹ dw)	Ca	Mg	Fe	Mn (μg·g ⁻¹ dw)	Zn
Upper leaves	Sharp I	26/26	5.51a ^x	1.22a	2.85b	2.77b	0.54a	192.6a	93.3b	61.6a
		26/37	3.25b	0.42c	1.44c	1.46c	0.48b	86.4b	69.8c	30.6c
		37/26	5.41a	0.97b	3.14a	3.00a	0.54a	98.0b	123.7a	57.7b
		37/37	3.68b	0.41c	1.87c	1.64c	0.33b	69.1b	63.2c	33.8c
	Sangoh	26/26	5.12a	1.23a	3.16a	2.96ab	0.44ab	83.8a	74.3b	45.9b
		26/37	3.87b	0.49c	1.87b	2.35c	0.36b	50.5b	39.4c	29.8c
		37/26	5.14a	1.01b	3.06a	3.45a	0.50a	83.4a	113.8a	55.2a
		37/37	3.85b	0.55c	2.32b	2.76ab	0.42ab	50.5b	42.6c	36.6c
Lower leaves	Sharp I	26/26	3.93b	1.13a	3.15a	6.11a	0.94a	161.1a	203.0b	72.2b
		26/37	2.91d	0.27d	1.82d	4.10b	0.67b	115.8b	153.3c	35.1d
		37/26	4.64a	1.02b	2.65b	6.15a	1.04a	142.0a	259.7a	89.8a
		37/37	3.44c	0.43c	2.06c	4.22b	0.81b	101.1b	149.7c	54.2c
	Sangoh	26/26	4.31a	1.22a	2.91a	6.72ab	0.77b	95.9b	200.1b	64.6b
		26/37	3.09c	0.36b	1.35d	5.37c	0.68b	66.5c	132.2c	38.6c
		37/26	4.58a	1.26a	2.45b	7.00a	0.94a	115.3a	248.3a	75.5a
		37/37	3.38b	0.53b	1.93c	5.93bc	0.87a	69.5c	141.5c	34.1c

^z Growth conditions are as shown in Fig. 1.^y Upper leaves include all unfolded leaves above the 4th or 5th node depending on the treatments.^x Means in columns followed by different letters are significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.**Table 4.** Effect of high temperatures in the air and/or root-zone on mineral nutrient concentrations in roots of cucumber seedlings^z.

Cultivar	Air/root-zone temperatures (°C)	Macronutrients					Micronutrients		
		N	P	K (g·100g ⁻¹ dw)	Ca	Mg	Fe	Mn (μg·g ⁻¹ dw)	Zn
Sharp I	26/26	5.06a ^y	1.18c	6.95a	0.75d	0.23a	1028d	566d	143d
	26/37	4.52b	1.26b	5.52b	1.43a	0.24a	1702b	686c	188c
	37/26	4.05c	1.28b	5.66b	1.01c	0.23a	1534c	1022b	233b
	37/37	4.58b	1.37a	5.88b	1.31b	0.22a	2544a	1135a	278a
Sangoh	26/26	4.75b	1.19b	6.37a	0.88b	0.24a	1174c	561ab	167b
	26/37	4.89a	1.32a	4.55b	1.30a	0.26a	2235a	583ab	288a
	37/26	4.81b	1.21b	6.61a	0.94b	0.26a	1863ab	664a	192b
	37/37	4.79b	1.20b	4.89b	1.26a	0.26a	1772b	468b	195b

^z Growth conditions are as shown in Fig. 1.^y Means in columns followed by different letters are significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test.

I'でも、光合成速度は気温のみの高温によってはわずかしき低下しなかった。したがって、高気温による生長抑制は、光合成以外の要因、例えば、酵素活性の低下 (Caldwell, 1993; McNaughton, 1966), 酵素のKm値の増大 (Kidambi ら, 1990; Mahan ら, 1990), 炭水化物の消耗 (Levitt, 1980), 膜の物理性の変化 (Chen ら, 1982) などによってもたらされる葉の代謝

異常によるところが大きいと考えられる。しかし、気温のみ高温の区では葉面積が減少しているの、株当たりの光合成量の減少が二次的に生長抑制の原因になっていることは間違いない。また、葉分析の結果からみて、葉の無機栄養は高気温による生長抑制には関与していないと思われる。

‘三号’は高気温による生長抑制程度が‘シャープI’

より小さかったが、37/26℃区では特に‘シャープI’において根の生長が顕著に抑制されたことから、高気温による両品種の生長抑制程度の違いが、葉の高温耐性の違いによっているのか、高気温による根の生長抑制程度の違いによっているのかについては、さらに検討を要する。

一方、地温のみの高温は、気温のみの高温より生育抑制作用は小さかったが、根の生長、光合成速度、葉面積の拡大などに対しては高気温より阻害作用が大きかった。葉の無機養分含有率ももっぱら高地温の影響を受けて低下し、高気温の影響はほとんど受けなかった。この結果から、高温遭遇によって葉の無機養分含有率が低下した場合、それは主として高地温の影響によると判断して良いと思われる。根においては、鉄、マンガン、亜鉛の微量元素に限って、地温の高い区で含有率が著しく高くなったが、これは、これらの元素の根から茎葉への移行が高地温によって阻害されたことによると考えられる。また、葉の含水率も地温が高い区でのみ有意に低下した。気温のみが高い区において、葉の蒸散が顕著に促進されたにもかかわらず含水率が低下しなかったのは、蒸散による水損失量の増加が根による吸水量の増加によって補われたためであろう。

高温耐性の品種間差異については、中国で夏季の露地栽培用に育成された‘三号’は、日本の‘シャープI’より高温耐性が大きかった。26/26℃区に対する37/26℃区的全乾物重の比率は、‘シャープI’では59%であったが、‘三号’では72%であった。また、26/26℃区に対する26/37℃区的全乾物重の比率は、‘シャープI’の69%に対して‘三号’では85%であった。これらのことから、‘三号’は特に根の高温耐性が‘シャープI’より大きいと考えられる。根の生長についてみると、26/26℃区に対する26/37℃区の根の生長量の比率は、‘シャープI’では26%に過ぎなかったが、‘三号’では42%であった。一般に、根の生長量と茎葉の生長量の間に正の相関が認められることが多い(Richards, 1981)ことから、高地温下での根の生長量の違いが、両品種の高地温耐性の違いの主要な要因になっていると考えられる。

根はサイトカイニンの主要な合成の場であり、高地温による植物の生長阻害は根のサイトカイニン合成とその茎葉への移行の阻害に起因するという考えもある(Itaiら, 1973)。キュウリでは、葉のサイトカイニン濃度は35℃の地温では低下しないが、38℃では顕著に低下する(杜, 1994)。根で合成されたサイトカ

イニンは蒸散流に伴って地上部に移行し、葉での葉緑素合成や葉緑体形成に関与するとともに、細胞の生長促進を介して葉の拡大生長にも関与している(Skene, 1975)。本実験では、地温が高い26/37℃区と37/37℃区において葉面積が顕著に減少し、上位葉にクロロシスが発生した。Gosselin・Trudel (1985)も、地温が36℃以上になるとキュウリの葉面積が著しく減少することを認めている。恐らく、高地温による葉面積の減少やクロロシスの発生には、サイトカイニンの根からの移行量の不足が関係していると推察される。この意味で、高温による根のサイトカイニン合成の阻害程度が‘三号’と‘シャープI’で異なるかどうかを明らかにすることは興味深い。

‘三号’は高地温による葉の無機養分含有率の低下程度が‘シャープI’より小さく、また、葉の含水率の減少程度も小さかった。これらのことは、‘三号’は根の養分水分吸収が高温によって阻害される程度が小さいことを示唆する。高地温による養分水分吸収の阻害には、細胞膜の透過性の低下(Ingram, 1986)や、根のチトクロム呼吸の減退やABA濃度の低下が関係していると考えられている(Du・Tachibana, 1994, 1995)。根のこれらの機能の高温感受性の違いが両品種の根の高温耐性の違いに関与している可能性は十分にあると思われる。

摘 要

高温によるキュウリの生育阻害が主として高気温の影響によるのか、あるいは高地温の影響によるのかを知るために、人工気象室(空気湿度80/90%, 光強度 $480 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 明期15時間)に、26/26℃, 26/37℃, 37/26℃, 37/37℃の気温/地温条件(気温は明期の温度で、暗期は明期より5℃低い。地温は終日一定)を設定し、‘シャープI’と‘冀黄瓜三号’(中国品種)の幼植物を8日間水耕法で栽培した。明期の葉温は、両品種ともに気温とほぼ同じであり、蒸散作用による葉温低下はほとんどみられなかった。茎葉の生長は気温と地温がともに高温のときに最も強く抑制された。気温のみの高温と地温のみの高温を比較すると、根の生長、葉面積の拡大、葉の光合成速度は地温が高いときにより強く抑制され、葉の含水率や無機養分含有率も地温が高いときのみ有意に低下した。しかし、茎葉の生長は高地温より高気温の影響を強く受けた。また、‘冀黄瓜三号’は‘シャープI’に比べて、高温、特に高地温に対する耐性が大きかった。

引用文献

- Abdul-Baki, A. A. 1991. Tolerance of tomato cultivars and selected germplasm to heat stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116 : 1113-1116.
- Aloni, B., L. Karni and J. Daie. 1992. Effect of heat stress on the growth, root sugars, acid invertase and protein profile of pepper seedlings following transplanting. *J. Hort. Sci.* 67 : 717-725.
- Aoki, S., M. Oda and M. Nagaoka. 1988. Chilling and heat sensitivities in cucumber seedlings measured by chlorophyll fluorescence. *Bull. Natl. Res. Inst. Veg., Orn. Plants Tea.* A 2 : 81-92.
- Berry, J. and O. Bjorkman. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31 : 491-543.
- Burke, J. J. and M. J. Oliver. 1993. Optimal thermal environments for plant metabolic processes (*Cucumis sativus* L.). *Plant Physiol.* 102 : 295-302.
- Caldwell, C. R. 1993. Estimation and analysis of cucumber (*Cucumis sativus* L.) leaf cellular heat sensitivity. *Plant Physiol.* 101 : 939/945.
- Chen, H. H., Shen, Z. Y. and P. L. Li. 1982. Adaptability of crop plants to high temperature stress. *Crop Sci.* 22 : 719-725.
- Du, Y. C. 1994. Studies on physiological basis of growth inhibition by supraoptimal root temperature in cucumber plants. Ph. D. Thesis. Mie Univ., Tsu, Mie.
- Du, Y. C. and S. Tachibana. 1994. Effect of supraoptimal root temperature on the growth, root respiration and sugar content of cucumber plants. *Scientia Hort.* 58 : 289-301.
- Du, Y. C. and S. Tachibana. 1995. Effect of supraoptimal root temperature on ABA levels in cucumber plants and its control by exogenous ABA applied to roots. *Acta Hort.* 394 : 227-234.
- Epstein, E. and J. F. Leggett. 1954. The absorption of alkaline earth cations by barley roots : kinetics and mechanism. *Amer. J. Bot.* 41 : 785-791.
- Gosselin, A. and M. J. Trudel. 1985. Influence of root-zone temperature on growth, development and yield of cucumber plants cv. Toska. *Plant Soil* 85 : 327-336.
- Ingram, D. L. 1981. Characterization of temperature fluctuations and woody plant growth in poly bags and conventional black containers. *HortScience* 16 : 762-763.
- Ingram, D. L. 1986. Root cell membrane heat tolerance of two dwarf hollies. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111 : 270-272.
- Itai, C., A. Ben-Zioni and L. Ordin. 1973. Correlative changes in endogenous hormone levels and shoot growth induced by short heat treatments to the root. *Physiol. Plant.* 29 : 355-360.
- Kidambi, S. P., J. R. Marhan and A. G. Matches. 1990. Purification and thermal dependence of glutathione reductase from two forage legume species. *Plant Physiol.* 92 : 363-367.
- Kuroyanagi, T. and G. M. Paulsen. 1988. Mediation of high-temperature-injury by roots and shoot during reproductive growth of wheat. *Plant Cell Environ.* 11 : 517-523.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. I. Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. p. 363-366. Acad. Press, New York.
- Lyutova, M. I., I. F. Karpilova, V. E. Sharkova and A. K. Romanova. 1985. Effect of temperature on activity of ribulose diphosphate carboxylase from cucumber and muskmelon leaves. *Soviet Plant Physiol.* 32 : 791-794.
- Marhan, J. R., J. J. Burke and K. A. Orzech. 1990. Thermal dependence of the apparent K_m of glutathione reductase from three plant species. *Plant Physiol.* 93 : 822-824.
- McNaughton, S. J. 1966. Thermal inactivation properties of enzymes from *Typha latifolia* L. ecotypes. *Plant Physiol.* 41 : 1736-1738.
- 並木隆和・西 新也・伊藤哲英・矢崎邦子・杉本則雄・高嶋四郎. 1972. 蔬菜水耕栽培の実用化に関する研究. I. 夏期の高温が生育に及ぼす影響. 京府大学報, 農学 24 : 13-19.
- 小田雅行・李 智軍・辻 顕光・市村一雄・佐々木英和. 1993. 高温時の空気湿度と土壤水分がキュウリの葉緑素蛍光発生に及ぼす影響. 園学雑. 62 : 399-405.
- Richards, D. 1981. Root-shoot interactions in fruiting tomato plants. p. 373-380. In : R. Brouwer, O. Gasparikova and B. C. Loughman (eds.). *Structure and Function of Plant Roots*. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Pub., Hague.
- Rudich, J., E. Zamski and Y. Regey. 1977. Genotypic variation for sensitivity to high temperature in the tomato : Pollination and fruit set. *Bot. Gaz.* 138 : 448-452.
- Santarius, K. A. and M. Muller. 1979. Investigations in heat resistance of spinach leaves. *Planta* 146 : 529-538.
- 佐々木皓二・板木利隆. 1989. 養液栽培における夏期の地下部冷却が果菜類の生育, 収量に及ぼす影響. 生物環境調節 27 : 89-95.
- Skene, K. G. M. 1975. Cytokinin production by roots as a factor in the control of plant growth. p. 365-396. In : J. J. Torrey and D. T. Clarkson (eds.). *The Development and Function of Roots*. Acad. Press, London.
- Stevens, M. A. and J. Rudich. 1978. Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield, and quality in the tomato. *HortScience* 13 : 673-677.