

高温時の空気湿度と土壌水分がキュウリの葉緑素蛍光発生に及ぼす影響

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
著者	小田, 雅行 李, 智軍 辻, 顕光 市村, 一雄 佐々木, 英和
巻/号	62巻2号
掲載ページ	p. 399-405
発行年月	1993年9月

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

小田雅行・李 智軍*・辻 顕光・市村一雄・佐々木英和

農林水産省野菜・茶業試験場生理生態部 514-23 三重県安芸郡安濃町草生360

Effects of Humidity and Soil Moisture Content on Chlorophyll Fluorescence of Cucumber Seedlings Exposed to High Air Temperature

Masayuki Oda, Zhijun Li, Kenkou Tsuji, Kazuo Ichimura and Hidekazu Sasaki

Department of Applied Physiology, National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea, Ano, Mie 514

-23

Summary

Effects of atmospheric humidity and soil moisture content on the relative intensity of chlorophyll fluorescence of cucumber (*Cucumis sativus* L.) exposed to high air temperatures were assessed as a measure of heat stress or injury.

1. After exposure to 25 °(control) and 42°, 44° and 46°C for two to three hours, the intensity of fluorescence decreased a little at 42° and 44°C but markedly at 46°C. However, there was no significant difference in seedling growth among those grown for 12 days at the three high temperature treatments and those at 25°C.

2. Chlorophyll fluorescence decreased significantly in plant kept at a humidity of 0.3 kPa of vapor pressure deficit (VPD) and 46°C, compared with those held at the same temperature but at 4.8 kPa VPD. The intensity decreased to 5% of that at 25°C immediately after a high humidity and 46°C treatment. It recovered to 55% of the control two days after the treatment was terminated but never attained more than 70% of control even after 5 days at 25°C. The reduction in chlorophyll fluorescence is attributed to the high leaf temperature and humidity which depressed transpiration.

3. Chlorophyll fluorescence intensity of seedlings exposed to 46°C and 55% soil moisture content for one to three hours decreased significantly, whereas it decreased just slightly when cucumbers were grown at the same high atmospheric humidity but in soils with 97% moisture content. The leaf temperature of plants grown at the low soil moisture level gradually increased and surpassed that of plants grown at high soil moisture content; the transpiration rate was apparently higher in moister soil than in drier soil.

These results indicate that determining chlorophyll fluorescence may be a method of detecting heat stress or injury to the photosynthetic apparatus. They support the idea that heat injury may be avoided by maintaining low atmospheric humidity and high soil moisture content which hasten the transpiration and thereby tend to keep the leaf temperature low.

緒 言

植物にとって異常な温度のうち、低温については、光合成酸素交換速度(青木, 1981)や光合成電子伝達系活性(Smille, 1979)が光合成能に対するストレスや障害の指標として利用できることが明らかにされて

いる。その光合成電子伝達系の反応時に発生する葉緑素蛍光は、非破壊で容易に測定できるので、各種ストレスの生理研究や耐性育種素材の検索の指標として注目されている。これまでに、レタスの葉緑素蛍光強度が光合成酸素交換速度に比例すること(Aoki・Oda, 1988)、キュウリの低・高温耐性が葉緑素蛍光強度の測定によって簡易に検出でき(Aokiら, 1988)、低温処理後の葉緑素蛍光強度の測定によるキュウリの低温伸長性の分類が慣行のそれとかなり一致すること

1992年7月31日 受理

*熱帯農業研究センター招へい研究員として中国広東省農業科学院経済作物研究所より派遣され、野菜・茶業試験場において研究を実施した。

(Aoki ら, 1989) が明らかにされている。

一方, キュウリの高温障害については, $42^{\circ}\sim 44^{\circ}\text{C}$ 以上で葉緑素蛍光強度が低下し, その後の生育も同じ温度で抑制された (Aoki ら, 1988). この場合, 相対湿度 100% で高温処理しているので, 水分ストレスの影響はほとんどないと考えられるが, 高温ストレスに水分ストレスが伴って障害が大きく現れることの多い圃場条件とは異なると考えられる. しかし, 高温障害の発生について温度の影響と水分ストレスの影響を分離して研究した例は少なく, 不明な点が多い。

そこで, 葉緑素蛍光強度の低下を光合成に対するストレスあるいは障害の指標とし, 高温時の生育抑制に及ぼす高温ストレスと水分ストレスの影響を明らかにしようとした. このため, キュウリ苗を異なる水蒸気飽差, あるいは異なる土壌水分条件下で高温処理し, 処理中および処理後の葉緑素蛍光強度と生育の変化を調べた. その結果に基づき, キュウリの高温障害に及ぼす空気および土壌中の水分の影響ならびに高温期におけるキュウリの合理的栽培法を検討した。

材料および方法

1. 供試材料と栽培条件

1992年1月14日および2月18日にキュウリ '南極2号' (とさわ研究場) を3号黒ポリ鉢に詰めた黒ボク土壌に播種し, 最低気温を 15°C に保ったガラス温室で育てた. 鉢土には, 1鉢当たり 1g の化成肥料 (14 N-18 P-16 K) を施用した. 高温処理の1日前に気温 $25.3\pm 0.8^{\circ}\text{C}$, 水蒸気飽差 $0.8\pm 0.2\text{ kPa}$ (相対湿度 $76\pm 6\%$), 風速約 $0.5\text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$, 光強度 $126\pm 32\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ のグロースチャンパー (小糸製作所, 3 HN-35 DA) 内にキュウリ苗を搬入して前処理した. 光源には, メタルハライドランプ (三菱, BOC ランプ) を用い, 連続照明した. この前処理条件を対照 (25°C) とした.

1月14日に播種した苗は2月26日に実験1に, 2月18日に播種した苗は3月2日および3月9日に実験2および3に供試した.

2. 高温処理の方法

グロースチャンパー内の気温を一定に保ち, その中に置いた厚さ 5 mm の透明アクリル容器 ($460\text{L}\times 300\text{W}\times 400\text{Hmm}$) にキュウリ苗を入れ, 厚さ 0.5 mm の透明塩化ビニルフィルムで蓋をした. それを実験1, 2および3の温度に設定したグロースチャンパーに搬入して処理した. グロースチャンパー内の空気を送気流量 $1\text{ liter}\cdot\text{min}^{-1}$ のエアポンプでアクリル容器

内に送る際に, 1 liter のシリカゲルまたは水を通わせて空気湿度を制御した. 処理中の光強度は, 対照区と同じとした.

3. 葉緑素蛍光強度の測定

予備試験に基づきキュウリ苗を室温暗黒下に 2.5 時間において暗適応させた. そのまま室温暗黒条件下で, Aoki ら (1988) の方法に従って赤色光 ($25\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$) を 5 秒間照射し, その直後に発生する葉緑素蛍光をフルオロメータ (Richard Brancher, SF-20) で測定した. 測定部位は, 各個体の展開葉のうち茎頂から第2葉の任意の4か所とした.

4. 高温障害の発生温度 (実験1)

高温障害が発生する温度を明かにするために, グロースチャンパーを 25° (対照), 42° , 44° および 46°C に設定し, それぞれ $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ の範囲で制御されていることを確かめた. その条件で, 本葉が3枚展開したキュウリ苗を1, 2および3時間処理した. 高温処理直前の灌水は行わなかったため, 処理後の土壌はやや乾燥気味であった. 高温処理中の水蒸気飽差は, 全処理区で $4.4\pm 0.3\text{ kPa}$ となり, ほぼ一定であった. 処理温度および処理時間ごとに3個体の葉緑素蛍光強度を測定し, それらを育苗したガラス温室に戻して12日目に葉数, 生体重および乾物重を調査した.

5. 高温下における水蒸気飽差の影響 (実験2)

本葉3枚が展開した苗4個体ずつを高温 (アクリル容器内実測値 $45.6\pm 2.0^{\circ}\text{C}$) で高湿度 (同 $0.3\pm 0.3\text{ kPa}$, $97\pm 3\%\text{ RH}$) または低湿度 (同 $4.8\pm 0.5\text{ kPa}$, $54\pm 8\%\text{ RH}$) にした透明アクリル容器に入れ, 3時間処理した. 処理直後から 25°C 対照条件下に移して, 5日間の葉緑素蛍光強度の経日変化を調べた. その後, 苗をガラス温室に移し, 処理から12日目に生育を調査した. 葉温は, 葉の裏面に直径 0.3 mm の銅・コンスタンタン熱電対を白色テープで固定し, 処理開始後30分から30分おきに2時間30分まで測定した.

6. 高温下における土壌水分の影響 (実験3)

本葉4枚が展開した苗を供試した. 土壌水分は, 十分に灌水 (対照区および湿潤区), または2日間灌水を中断 (乾燥区) して処理した. その結果, 対照区, 湿潤区および乾燥区の含水比 (乾土重量に対する水分の百分率) は, それぞれ $97\pm 2\%$, $97\pm 5\%$ および $55\pm 10\%$ の範囲にあった. 高温処理中の植物に水分ストレスがかかりやすい条件として水蒸気飽差 7.0 kPa 以上 ($30\%\text{ RH}$ 以下), 風速約 $0.5\text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ のグロース

チャンバーで直接高温処理し. 処理時間は, 1, 2 および 3 時間とし, 処理時間ごとに 3 個体を供試し, 処理中の葉温および処理時間ごとの葉緑素蛍光強度を測定した. 葉温は, 実験 2 と同じ方法で測定した. 蒸散速度は, 高温処理前後の鉢および植物体の全重量差 (減水量) を葉面積と処理時間で割って算出した. なお, 鉢はビニル袋で包んで鉢土面からの蒸発を防いだ.

結 果

1. 高温障害の発生温度

葉緑素蛍光強度でみたキュウリの高温障害の発生と高温 (気温) との関係を図 1 に示した. 42°, 44° および 46°C で処理を始めてから 2 および 3 時間後の葉緑素蛍光強度は, 対照 (25°C) のそれと比較して 42° および 44°C ではほとんど低下せず, 46°C では明らかに低下した. 高温処理の終了から 12 日後の生育を調査した結果を図 1 表に示した. 本実験の範囲の高温では, 葉数, 生体重および乾物重に対する影響は小さく, 有意差は認められなかった.

2. 高温下における水蒸気飽差の影響

46°C で 3 時間処理したキュウリの葉緑素蛍光強度は, 水蒸気飽差が大きい場合には高温の影響を受けなかったが, 小さいと処理直後に対照 (25°C) の約 5% まで低下し, 2 日後までに 55% 程度まで回復した. しかし, その後の回復はわずかであり, 葉緑素蛍光強度

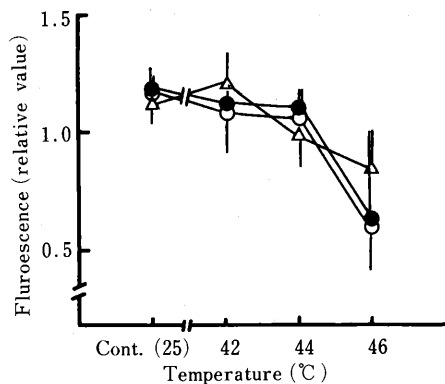


Fig. 1. Chlorophyll fluorescence intensity as a function of the duration of exposure of cucumber seedlings to high temperatures. (Δ), One hr; (\circ), two hr; and (\bullet), three hr. Vertical bars represent standard deviation.

Table 1. Effects of high air temperature treatments on the growth of cucumber 12 days after the treatment.

Temperature (°C)	period (hr)	No. of leaves	Top fresh weight (g)	Top dry weight (g)
Cont. (25)	—	6.7	17.9	2.05
42	1	6.7	16.3	1.69
	2	7.0	17.9	1.97
	3	7.3	20.0	2.15
44	1	7.0	17.5	1.99
	2	7.0	16.9	1.83
	3	7.0	17.8	1.95
46	1	7.0	17.3	1.96
	2	7.0	18.3	1.80
	3	7.0	20.0	2.04
DUNCAN'S-TEST		NS	NS	NS

NS Nonsignificant at $P < 0.05$.

は 5 日後で対照 (25°C) の約 70% にとどまった (第 2 図).

高温処理中の葉温を測定した結果, 高湿度区ではアクリル容器内の気温とほぼ同じ (約 46°C) であったが, 低湿度区では $40.5 \pm 2.2^\circ\text{C}$ と低かった (第 3 図). 高温処理後 12 日目の生育は, 葉数, 葉面積, 生体重, 乾物重とも, 高温高湿度区が対照区および高温低湿度区より小さかった (第 2 表). 観察によれば, 高温高

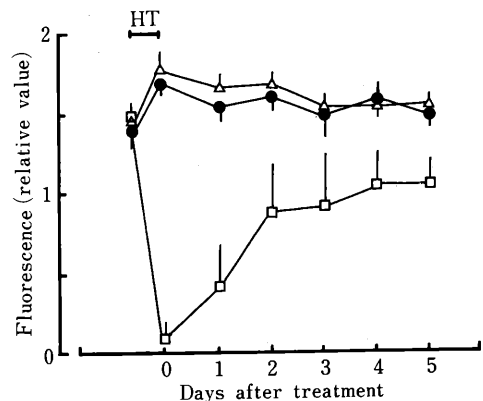


Fig. 2. After-effects of the interaction between humidity and exposure of cucumber seedlings to high temperatures on chlorophyll fluorescence. (\bullet), control (0.8 kPa of vapor pressure deficit, 25°C of air temperature); (Δ), low humidity (4.8 kPa, 46°C, 3 hr); (\square), high humidity (0.3 kPa, 46°C, 3 hr); HT, period of exposure to 46°C. Vertical bars represent standard deviation.

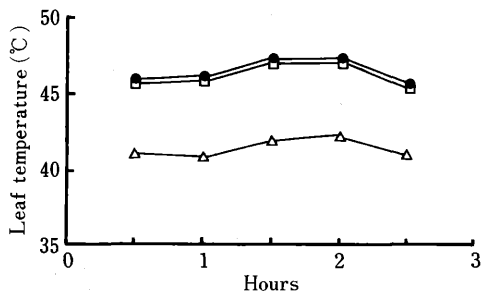


Fig. 3. Comparison of leaf temperatures of cucumber seedlings grown under low (\triangle) and high (\square) humidities and 46 °C vs. those grown at ambient temperature (\bullet). Low humidity=4.8 kPa VPD; high humidity=0.3 kPa VPD.

湿度区の幼葉および頂芽は、既に枯死していたが、他の区では障害は認められなかった。

3. 高温下における土壤水分の影響

葉緑素蛍光強度は、土壤水分の乾燥区では気温 46 °C で処理を始めてから 1 時間で低下し始め、3 時間で大きく低下した (第 4 図)。しかし、土壤水分の湿潤区では、葉緑素蛍光強度の低下は明らかでなかった。高温処理中の葉温は、処理 30 分後に両区とも気温 (約 46 °C) より 3~4 °C 低かったが、その後湿潤区が一定で推移したのに対し、乾燥区ではしだいに上昇する傾向を示した (第 5 図)。高温処理中の蒸散速度は、湿潤区で大きく、乾燥区で小さく、両区とも 3 時間後に著しく低下した。これに対して、対照区はほぼ一定の値で推移した (第 6 図)。また、高温で 3 時間処理した場合の蒸散速度と葉緑素蛍光強度には $r = 0.866$ ($p < 0.05$) の相関が認められた (第 7 図)。

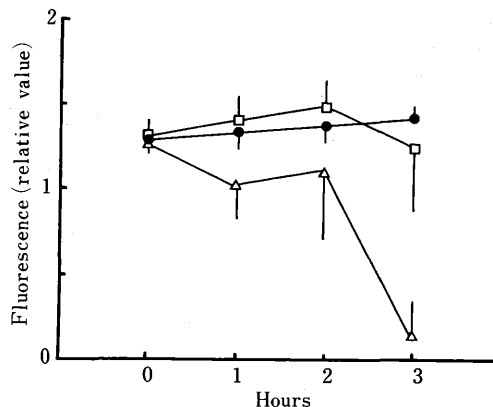


Fig. 4. Time-course study on the effects of different soil moisture content on the chlorophyll fluorescence intensity of cucumber seedlings exposed to different air temperatures and low humidity (7.0 kPa VPD). (\bullet), control, 97% soil moisture content on a dry weight basis and 25 °C air; (\triangle), 55% soil moisture content and 46 °C air; and (\square), 97% soil moisture content and 46 °C air. Vertical bars represent standard deviation.

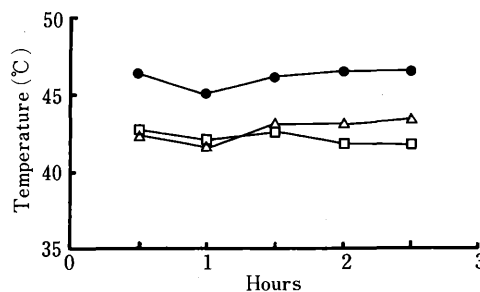


Fig. 5. Time-course study on the effects of different soil moisture content on leaf temperature of cucumber seedlings exposed to different air temperatures and low humidity (7.0 kPa VPD). The symbols represent the same parameters as those in Fig. 4.

Table 2. Interaction between humidity and exposure of cucumber seedlings to 46°C for 3 hr on their subsequent growth for 12 days after the treatment.

Treatment ^z	Temperature (°C)	No. of leaves	Leaf area (cm ²)	Top fresh weight (g)	Top dry weight (g)
Control	25	9.5 a ^y	637 a	27 a	2.4 a
Low humidity	46	8.3 a	455 a	20 a	2.3 a
High humidity	46	3.6 b	245 b	11 b	1.3 b

^z Vapor pressure deficit was 0.8 ± 0.2 , 4.8 ± 0.5 and 0.3 ± 0.3 kPa in control, low humidity and high humidity, respectively.

^y Different letters within columns represent significant difference ($P < 0.05$).

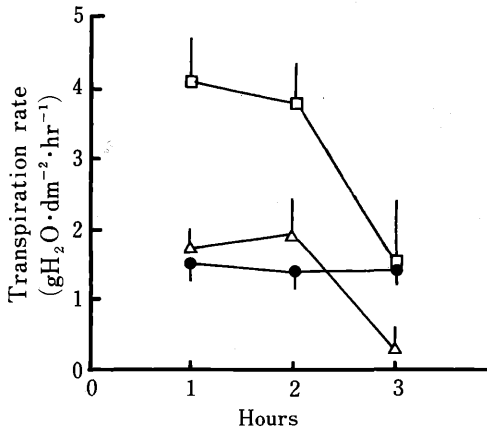


Fig. 6. Time-course study on the effects of different soil moisture content and varied temperatures and low humidity on the transpiration rate of cucumber. The symbols represent the same parameters as those in Fig. 4.

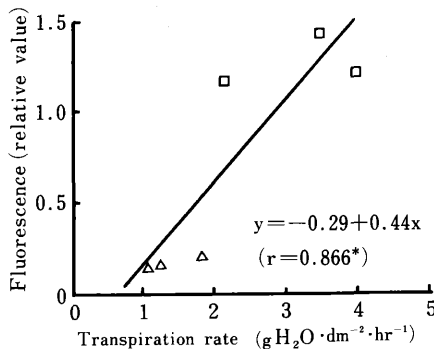


Fig. 7. Relationship between transpiration rate and chlorophyll fluorescence of cucumber plants kept at 46 °C and low humidity (7.0 kPa). (△) and (□) represent soil moisture contents of 55% and 97%, respectively, on dry weight basis.

考 察

葉緑素蛍光は、光化学系IIの反応中心で吸収される光エネルギーが他のエネルギーに変換される際に、その変換効率に依存して発生するものである。したがって、光化学系II近傍の電子伝達反応が抑制されたり機能が障害を受けると、葉緑素蛍光強度が低下する。短時間の高温処理では、実験1のようにこの機能が一時的に抑制されるだけで、その後の生長に対する影響が少ない場合や、実験2のように高温条件のほか

湿度条件を与えると、光合成の機能が元の水準まで回復せず、生長が抑制される場合もある。このように、葉緑素蛍光強度のみでみる限り、ストレスと障害を明確に区別することはできない。しかし、一時的なストレスにより光合成が抑制されることも、障害を受けて光合成能が恒久的に低下することも、栽培の現場では生育の抑制として捉えられる。したがって、ここでは高温によるストレスおよび障害をみかけ上連続した現象と考え、両者の影響を連続的な値として検出できる葉緑素蛍光強度を高温によるストレスまたは障害の指標とした。

光化学系IIが反応するためには、その近傍の成分が十分に酸化されている必要がある。このため、被検植物は、葉緑素蛍光強度の測定直前に暗黒条件において十分に暗適応させる必要がある。Aokiら(1988)は、葉緑素蛍光強度を測定する際の暗適応時間は、30分で十分であるとしたが、著者らの予備実験の結果では、2~2.5時間を必要とした。これは、本実験のキュウリの方がAokiら(1988)のそれよりも処理前の受光量が多かったことに起因すると考えられる。これらの結果から、本実験の暗適応時間は2.5時間とした。

実験1では、葉緑素蛍光強度は42~44°Cでほとんど低下しなかったが、46°Cで明らかに低下した。しかし、その後の生育に対する影響は認められなかった。Aokiら(1988)がキュウリの切除葉を5分間高温で処理したときの結果と比較すると、本実験の葉緑素蛍光強度が低下する温度は2°C程度高く、生育への影響が認められなかった点も異なった。これは、両実験で供試した植物体の前歴や処理条件が異なることに起因すると考えられる。本実験1では、46°Cで葉緑素蛍光強度の低下が最も顕著であったので、これを実験2および3における高温処理温度とした。

実験2では、高温に遭遇しても水蒸気飽差が大きければ、キュウリの葉緑素蛍光強度は低下しなかった。適温域では、水蒸気飽差の増大につれて作物の蒸散速度が増加して葉温が低くなり、逆に蒸散速度が低下すると葉温が高くなることが明らかにされている(Hoffmanら, 1970; 鴨田ら, 1974, 1975; O'Leary・Knecht, 1971; 須藤・安藤, 1975)。遠山ら(1985)は、温湿度、照度とラッキョウの光合成、蒸散速度および水利用効率との関係を調べ、光強度の増加に伴って蒸散速度、葉温とも上昇するが、光条件を一定にした場合には温度の上昇にともなって蒸散が急激に増加し、低湿度では高湿度より蒸散速度が大きいことを報

告した。小田ら (1988) も、水蒸気飽差の低下によりリーフレタスの蒸散速度が大きくなり、葉温が低下することを明らかにしている。本実験の結果では、高温処理の際に水蒸気飽差を小さくすると、葉温が気温とほぼ同じになったが、水蒸気飽差を大きくすると、葉温は気温よりも 5°C 程度低下した。このような現象は、Kinbacher (1962) がエンバクを用いて報告した結果と一致した。これらのことから、水蒸気飽差が大きい場合に高温障害の発生が少ない原因は、水蒸気飽差の増大にともなって蒸散速度が大きくなり、その際に葉から気化熱が奪われて葉温が低下することによると考えられる。

実験 3 では、低湿度の風を与えて蒸散速度を大きくした条件で、3 時間の高温処理の影響を土壤水分条件と組み合わせて調べた。その結果、土壤の乾燥区の葉緑素蛍光強度が大きく低下した。葉温の上昇と植物体の萎凋の様子からみて、高温処理の開始から 3 時間後に植物体が水分ストレス状態になり、葉緑素蛍光強度を低下させたと考えられる。適温域では、土壤水分の減少によって蒸散速度と光合成速度が低くなること (Denmead・Shaw, 1962; Gavande・Taylor, 1967; Hoffman ら, 1970; 鴨田ら, 1974; 長岡ら, 1984; 須藤・安藤, 1975) が明らかになっている。実験 3 は、高温域でも同様の現象のあることを示している。

以上の実験結果は、葉緑素蛍光強度の変化が蒸散速度や葉温の変化によって合理的に説明できることを示している。したがって、葉緑素蛍光強度は高温によるストレスや障害を表す一つの指標になり得ると判断された。そして、土壤水分が十分にある場合には、空気湿度が低いと葉温が低下して高温の影響を受けにくくなるが、土壤水分が不足しやすい乾燥土壤条件で空気湿度が低くなると、根からの吸水量が蒸散量に及ばなくなり、植物体に水分ストレスが生じ、葉温の低下が阻害されて一層大きなストレスまたは障害を受けることが明らかになった。

これらの現象は、熱帯や亜熱帯の高温期の露地栽培や暖地の施設栽培でみられる高温障害の現象と一致している。したがって、このような地域でキュウリ苗を育成したり栽培する場合には、土壤への十分な灌水が不可欠であり、施設栽培では、ある程度の換気と除湿も行う必要があると考えられる。

摘 要

キュウリ '南極 2 号' を異なる水蒸気飽差と土壤水分条件で高温 (46°C) 処理し、葉緑素蛍光を指標とし

て、高温によるストレスまたは障害に及ぼす空気中および土壤中の水分の影響を検討した。

対照 (25°C) と比較して、42°C および 44°C に 2~3 時間遭遇させて処理したキュウリの葉緑素蛍光強度は、ほとんど低下しなかったが、46°C では顕著に低下した。しかし、処理後 12 日では生育への影響は認められなかった。気温 46°C で処理中の葉温は、低湿度 (水蒸気飽差 4.8±0.5 kPa) では気温よりも約 5°C 低く、葉緑素蛍光強度は高く保たれた。これに対し、高湿度 (水蒸気飽差 0.3±0.3 kPa) では葉温が気温とほぼ同じで、葉緑素蛍光強度は対照 (25°C) の約 5% まで低下したが、処理後 2 日間で 55% 程度まで回復した。しかし、その後の葉緑素蛍光強度の回復はわずかであり、処理後 5 日で対照 (25°C) の約 70% にとどまった。処理後 12 日の生育も、葉緑素蛍光強度と同様の結果であった。

高温 (46°C) 処理時の土壤の乾燥および湿潤の影響を比較すると、乾燥区では高温処理開始から 3 時間後には 1 時間後と比較して蒸散速度が小さく、葉温が高くなり、萎凋が認められて葉緑素蛍光強度が著しく低下した。そして、蒸散速度は葉緑素蛍光強度と正の相関があった。

以上の結果から、キュウリは、土壤水分が十分にある場合には、水蒸気飽差に比例して蒸散速度が増大し、葉温が低下して高温の影響を受けにくくなるが、土壤水分が不足しやすい乾燥土壤条件で水蒸気飽差が大きいと、根からの吸水量が蒸散量に及ばなくなり、植物体に水分ストレスが生じ、葉温の低下が阻害されて一層大きなストレスまたは障害を受けることが明らかになった。また、葉緑素蛍光の測定によって光合成能からみた高温ストレスまたは障害を検出できることが明らかになった。

引用文献

- 青木 智. 1981. 酸素電極法による茶葉小片の光合成酸素発生速度の測定法. 茶業技術研究, 6: 1-5.
- Aoki, S., and M. Oda. 1988. Sensing of photosynthetic capacities of lettuce with chlorophyll fluorescence. *Acta Hort.*, 230: 363-370.
- 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* 2: 81-92.
- Aoki, S., M. Oda and K. Hosino. 1989. Varietal difference in chilling-induced depression of photosynthesis and leaf growth in cucumber seedlings. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 58: 173-179.

- Denmead, O. T. and R. H. Shaw. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological condition. *Agron. J.* 54 : 385-390.
- Gavande, S. A. and S. A. Taylor. 1967. Influence of soil water potential and atmospheric evaporative demand on transpiration and the energy status of water in plants. *Agron. J.* 59 : 4-7.
- Hoffman, G. J., S. L. Rawlins, M. J. Garber and E. M. Cullen. 1970. Water relations and growth of cotton as influenced by salinity and relative humidity. *Agron. J.* 63 : 822-826.
- 鴨田福也・伴善之・志村清. 1974. 野菜の光合成及び蒸散に関する研究. I. 光合成・蒸散の作物間差異及び土壌水分との関係. *野菜試報.* A 1 : 109-139.
- 鴨田福也・内藤文男. 1975. 野菜の光合成及び蒸散に関する研究. II. 差動トランス利用による生長記録装置及びこれを用いてのトマト, キュウリなどの伸長肥大の測定. *野菜試報.* A 2 : 33-47.
- Kinbacher, E. J. 1962. Effect of relative humidity on the high temperature resistance of winter oats. *Crop Sci.* 2 : 437-440.
- 長岡正昭・高橋和彦・新井和夫. 1984. トマト・キュウリの光合成, 蒸散に及ぼす環境条件の影響. *野菜試報.* A 12 : 97-117.
- 小田雅行・星野和生・野中正義・青木智. 1988. リーフレタス生体重のモニタリングによる環境-生長反応の解析. *野菜茶試研報.* A 2 : 29-80.
- O'Leary, J. W. and G. N. Knecht. 1971. The effect of relative humidity on growth, yield and water consumption of bean plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96 : 263-265.
- 須藤憲一・安藤隆夫. 1975. ピーマン, トマトの蒸散及び体内水分状態に及ぼす空気湿度, 土壌水分及び土壌塩類濃度の影響. *野菜試報.* A 2 : 49-63.
- Smille, R. M. 1979. The useful chloroplast : a new approach for investigating chilling stress in plants. p. 187-202. In : J. M. Lyons, D. Graham and J. K. Raison (eds.) . *Low temperature stress in crop plants. The roll of the membrane.* Academic Press, New York.
- 遠山枉雄・竹内芳親・黒柳直彦・杉本勝雄. 1985. 温湿度, 照度とラッキョウの光合成, 蒸散速度及び水利用効率との関係. *園学雑.* 53 : 444-452.