

A-5. 紫外線の増加が植物に及ぼす影響に関する研究

研究代表者 農業環境技術研究所 野内 勇

農業環境技術研究所

環境資源部 大気保全研究室 野内 勇・小林和彦・細野達夫

平成2-4年度合計予算額 30,369千円

〔要旨〕紫外線、特にUV-B (280-320 nm) の農作物への影響を調べるため、紫外線ランプによる紫外線照射実験を行った。平成2~3年度は自然光利用のガラス製人工気象室内で、キュウリ、ハツカダイコン、チンゲンサイを用いて3~4週間のUV-B照射実験(紫外線強度は0, 244, 381 mW m^{-2} UV-B_{BE}の3段階)を行い、その生長影響を検討した。なお、この照射実験では、紫外線ランプ器具が植物の真上にあり、その遮蔽で直達光がほとんどなく、日射量が自然状態に比べ1/2から1/3と非常に少ない状態であった。また、つくば市(北緯36度)における夏至の快晴日正午におけるUV-B_{BE}は、約200 mW m^{-2} であった。照射実験の結果、キュウリとチンゲンサイはUV-Bに対し感受性が高かったが、ハツカダイコンは何らの影響も受けなかった。キュウリはUV-Bにより生長が大きく阻害されたが、この生長阻害が認められた場合は秋から冬にかけての実験の場合であった。夏季の実験ではその生長阻害はほとんどなかった。このことは、UV-Bの植物に対する影響がUV-B量と可視光量とのバランスによって大きく変化することが考えられた。すなわち、人工気象室内のUV-B照射実験では、可視光が少ないため、UV-Bによる生長阻害が生じやすく、農作物の生長や収量に及ぼすUV-Bの影響を正しく評価することはできないと判断した。平成4年度は、野外におけるUV-Bの農作物への影響を評価するために、太陽紫外線強度に追随し、太陽紫外線に対し常に一定の割合でUV-Bを増加させる調光型フィールドUV-B照射装置を制作した。そして、自然光下における世界の代表的な水稲17品種を用いてUV-B照射実験(50%増加)を行った。その結果、供試した17品種すべて、葉面積、草丈、分けつ数、穂重および個体乾物重などの生長パラメータはUV-Bの影響をほとんど受けなかった。この野外でのUV-B照射実験の結果は、UV-Bの植物への影響が当初考えられていた程は、強い影響を及ぼしていないことを示唆するものである。

〔キーワード〕紫外線、UV-B、農作物、生長、バイオマス

1. 序

近年、フロンガス等の大気中への大量の放出により、成層圏のオゾン層が破壊されつつある。この成層圏のオゾン層の減少により、地表に到達する紫外線の放射量が増加するが、なかでも280-320 nmのUV-Bと呼ばれる波長領域の紫外線が特異的に増加する。温帯では、オゾン量が1%減少すると、UV-Bの生物学的影響量(UV-B_{BE})は2%増加するといわれている¹⁾。大気中に放出されたフロンは成層圏のオゾン層まで到達するのに10年かかるといわれている。これまでに放出されたフロンによりオゾン層は今後も、数十年にわたって破壊され続けると考えられ、

増加が予想されるUV-Bの農業生態系への影響を明らかにすることは重要である。

2. 研究目的

UV-Bによる各種農作物の生長や収量減少を室内および野外下でのUV-B照射実験により明らかにし、紫外線強度と農作物の生長・収量減少とのドーズ・レスポンス（量-反応）関係を定式化し、今後、予想されるUV-B増加量における農作物の生長・収量減少を予測する。また、UV-Bに対する作物の感受性や抵抗性を見だし、品種間差異等を利用して、UV-Bによる農業被害を軽減するための対応戦略に資する。

3. 研究方法

(1) 太陽紫外線の生物学的影響量の測定：UV-B_{BE}

ラジオスペクトロメーター（オプトリサーチ社、MSR-7000-3）を用いて、太陽光のUV-B_{BE}の季節変化と日変化を測定した。200-400 nmの波長の紫外線を透過光測定法と反射光測定法により測定した。光センサーに透過拡散板を被せ、太陽の天頂角に合わせた透過光測定により直達紫外線を、拡散板をはずしたセンサーを硫酸バリウムを塗布した白色板に45度の角度で取付けた反射光測定法により水平面における全天紫外線を測定した。なお、UV-B_{BE}は300nmの影響を1.0とした影響度の重みづけ係数（波長が短いほど係数は大きい）を乗じて280-313 nmを積算した値である。

(2) 人工気象室内における紫外線照射実験装置

UV-B照射光源として紫外線ランプ（東芝、FL-20SE）6灯を18cm間隔（ランプボックス間隔は7cm）でチェーンで吊り下げ、植物の真上25cmより照射した（Fig. 1）。この紫外線ランプは310nmにピークをもち、270nmから400nmの波長の範囲の紫外線を発出する。UV-B照射では、ステンレス製のランプボックス下面3cmにカットングシート（中川ケミカル：000C）のフィルターを取りつけた。ランプを上下することにより紫外線強度を調節した。対照区では400nmの紫外線をすべてカットする厚さ3mmのアクリル板（協和ガス化学、パラグラス）をフィルターとして取りつけた。この紫外線照射装置を3棟の自然光利用のガラス製人工気象室内に各1基ごと設置し、UV-B照射実験を行った。なお、カットングシートは強烈な紫外線により劣化するため、1週間毎に交換した。このフィルターの劣化により、紫外線の透過率が変化する

（照射前の透過率を100%とすると、8時間後：75%、16時間後：59%、24時間後：50%、32時間後：44%、40時間後：39%、48時間後：36%、56時間後：34%）ため、紫外線強度（UV-B_{BE}）は1週間の平均値とした。UV-B_{BE}は反射測定法で測定し、UV-B_{BE}:381 mW m⁻²ではカットングシートのみを、UV-B_{BE}:244 mW m⁻²ではランプとカットングシートの上に2枚の寒冷紗（1枚の透過率80%）を挿入した。

(3) キュウリの生長に及ぼすUV-B照射の季節的影響（人工気象室内照射実験）

1990年7月17日～8月3日に「つけみどり」、9月1日～9月25日に「霜知らず地這いキュウリ」、9月27日～10月17日に「四葉」、1991年12月3日～12月26日に「つけみどり」のUV-B照射実験を行った。これら3品種とも一般家庭菜園用のキュウリである。系統としては「四葉」と「つけみどり」は華南系、「霜知らず地這いキュウリ」は華北系である。芽だし後、500gの培養土（クレハ園芸培土）をつめたプラスチックポット（面積100cm²、深さ6cm）に播種し1株仕

立てとした。出芽後、3～5日後よりUV-B照射を開始し、その後、3週間の間毎日8時間（8～16時）紫外線を照射した。1週間毎に13個体をサンプリングし、葉、茎、根に分割し、葉面積測定後、乾燥し、各器官別乾物重を測定した。照射2週間後には2.4kgの培養土を詰めた5000分の1のワグネルポットに移植し、照射を続行した。人工気象室内の温度は日中（6時～18時）および夜間（18時～6時）はそれぞれ $27 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ および $22 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ であり、湿度は昼夜とも $70 \pm 10\%$ であった。

（4）UV-Bに対するキュウリ3品種の品種間差異（人工気象室内照射実験）

1991年3月19日から4月2日と5月3日から5月17日までキュウリの3品種（四葉、つけみどり、霜知らず地這いキュウリ）を同時に日中8時間の紫外線照射を2週間行った。2週間後に8～10個体のサンプリングを行い、葉、茎、根に分割し、葉面積測定後、器官別に乾物重量を測定した。

（5）チンゲンサイの生長に及ぼすUV-Bの影響（人工気象室内照射実験）

1991年9月24日に播種したチンゲンサイを10月1日より、10月28日まで4週間 160 mW m^{-2} のみのUV-B_{BE}強度（人工気象室1室が故障のため）の照射実験を行い、2、3、4週間照射後、葉面積と各器官の乾物重量を測定した。

（6）水稻の生長に及ぼすUV-Bの影響（野外における紫外線照射実験）

農業研究センターのヘテロシス育種研究室より、分与された世界の代表的な水稻17品種をUV-B照射実験に用いた。水稻は7月4日に芽だしを行い、7月6日に播種し、育苗床で育成し、8月6日に5000分の1アールポットに3個体を1株として移植した。UV-Bの照射は8月25日から開始し、10月20日までの約2か月間毎日行った。

調光型フィールドUV-B照射装置をFig. 2に示した。180 cm×100 cmの照射面上に40 WのUV-Bランプ（Philips, F40UVB）8本を水稻葉先端の真上30 cmに水平に吊り下げた。本調光型UV-B照射装置は、太陽UV-B強度をB領域紫外線計（英弘精機, MS-210D）で測定するとともに、UV-Bランプ下に置いたもう一つのB領域紫外線計との測定値との差を検出し、あらかじめ指示しておいた設定値（コントロールに対して50%増加）になるようにUV-Bランプの発光強度をフィードバック制御により調節するものであり、太陽UV-B強度に比例して、常に一定の割合で増加させたUV-B強度を照射するものである。なお、UV-Bランプの発光強度は、与えられた電圧に比例した位相制御出力によりバラストの出力を変えることによって行った。なお、この紫外線ランプは280 nm以下のUV-C領域の波長をも含むので、その波長をカットするため、フィルターとしてUV-B照射区では厚さ0.10 mmのセルローズアセテート膜（290 nm以下をカット）、コントロール区では厚さ0.10 mmのマイラー膜（320 nm以下をすべてカット）をランプに巻付け、使用した。なお、フィルターは劣化し、UV-B透過量が変化するため、1週間に1度交換した。

（7）紫外部吸収物質およびクロロフィル含量

UV-B照射開始より1か月後に、水稻の最上位葉より、直径1 cmのリーフディスクを8枚打ち抜き、99.5%エタノール25 mlに浸漬し、暗所で30°C、48時間静置して紫外部の340 nmにおける吸収極大ピークの吸光度を測定した。また、649 および 665 nm の吸光度よりクロロフィル量を測定した。

4. 実験結果および考察

(1) 太陽のUV-B強度

1991年6月から1992年5月にかけての晴天時の最も紫外線の強い正午のUV-B_{BE}の季節変化を Fig. 3 に示した(反射光測定法による)。なお、反射光測定法によるUV-B_{BE}は透過光測定法によるUV-B_{BE}の2.5倍程度となった。すなわち、ここで用いたセンサーはコサイン特性が悪く、指向性が強いため、透過光測定ではほぼ直達光しか測定できず、散乱光が欠落する。そのため、白色板反射法による測定が太陽光のUVを測定するのに適していることがわかった。つくば市での夏至日周辺の晴天南中時のUV-B_{BE}は、200 mW m⁻² であり、UV-B_{BE}は夏期に最も強く、冬では非常に弱かった(10~20 mW m⁻²程度)。

6月下旬の快晴日正午にUV-B_{BE}が200 mW m⁻²であった日の1日の積算太陽UV-B_{BE}は4.0 kJ m⁻² day⁻¹であった。この太陽UV-B_{BE}値はGreenらのモデル²⁾によって計算された値(1987年6月21日のつくば館野のアルベド、成層圏のオゾン濃度などから計算した値で、6.60 kJ m⁻² day⁻¹)の約60%であり、つくば市での実測値とGreenらのモデルによる計算値との間には大きな違いがあった。この違いの理由は明らかではないが、エアマス、エアロゾル、対流圏の大気汚染物質(特にオゾン)のような地域的な地理的、気象的要因によっているものと推定された。

(2) 紫外線照射装置下でのUV-B測定法

ランプからの距離とその照射面におけるUV-B_{BE}を透過光測定法と反射光測定法により測定した。反射測定法で測定した場合の方が10倍もUV-B_{BE}が強かった。反射法測定によるランプ下22 cmでのUV-B_{BE}は600 mW m⁻²であった。4.(1)で述べたようなセンサーのコサイン特性から、透過光測定は電球のような点光源の測定に適し、蛍光灯のような長い光源における水平面照射強度を測定する場合には適さない。このようなコサイン特性のセンサーでは実験装置の紫外線強度測定には、反射法による測定が必要であることがわかった。

(3) UV-B透過フィルターの選択

UV-B照射実験には、UV-Bの波長である280-320 nmの範囲の波長の紫外線を通すフィルターが必要であり、各種フィルターの特性を各波長における透過率を測定した。その結果を Fig. 4 に示した。UV-B照射実験には、290 nm以下をカットするカットティングシートとセルロースアセテート膜が適していることがわかった。なお、セルロースアセテート膜はアメリカのUV-B照射実験によく使われている。

(4) UV-B照射によりキュウリ葉に生じた可視被害症状

「四葉」「つけみどり」「霜知らず地這いキュウリ」の3品種とも、UV-B_{BE}が244~381 mW m⁻²で本葉の葉縁や葉脈間に黄色の可視被害症状が発現した。この被害症状は、本葉出葉後の1~3日の葉がまだ小さい時に、葉縁付近に黄色の小さな斑点が生じ、葉の拡大とともにその黄色斑は拡大した。そして、この黄色斑は下位葉に発生することが多かった。また、子葉では表面が光沢化したり、子葉が上面へ巻き上がって湾曲化する症状を呈した。このような子葉および本葉の可視被害は、「霜知らず地這いキュウリ」で特に著しかった。

(5) キュウリの生長に及ぼすUV-B照射の季節的影響(人工気象室内照射実験)

キュウリ3品種へのUV-B照射実験日と3週間照射による個体乾物重への影響の結果を Fig. 5 に示した。3品種とも個体乾物重はUV-B_{BE}が244 mW m⁻²で減少し、さらに381 mW m⁻²

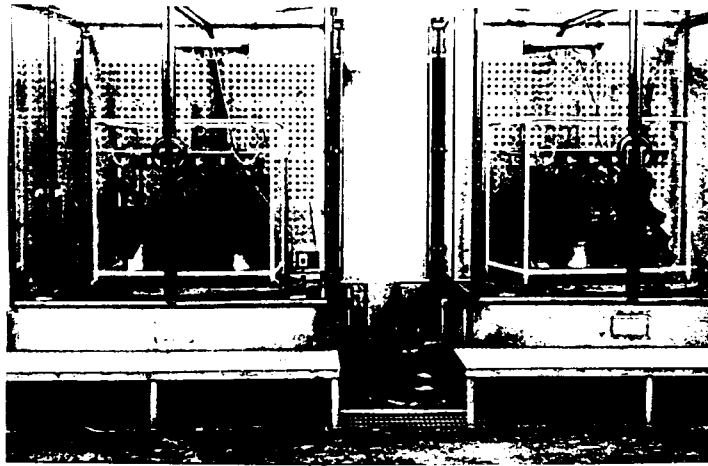


Fig. 1. Apparatus for UV-B irradiation in naturally-lit, environmentally controlled glass chamber.

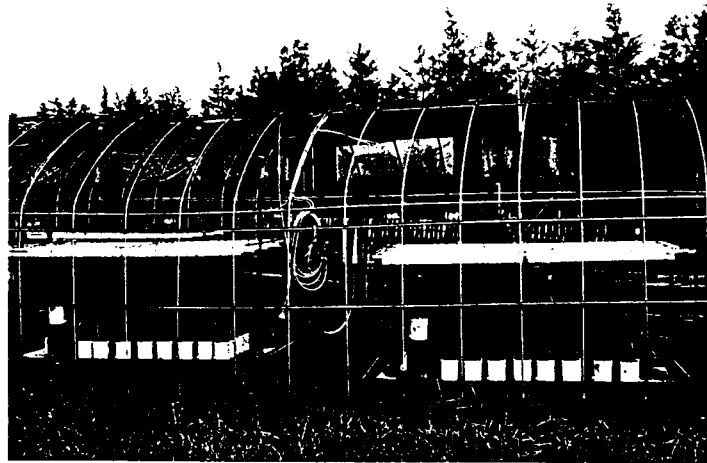


Fig. 2. Apparatus for UV-B irradiation modulation system in the field.

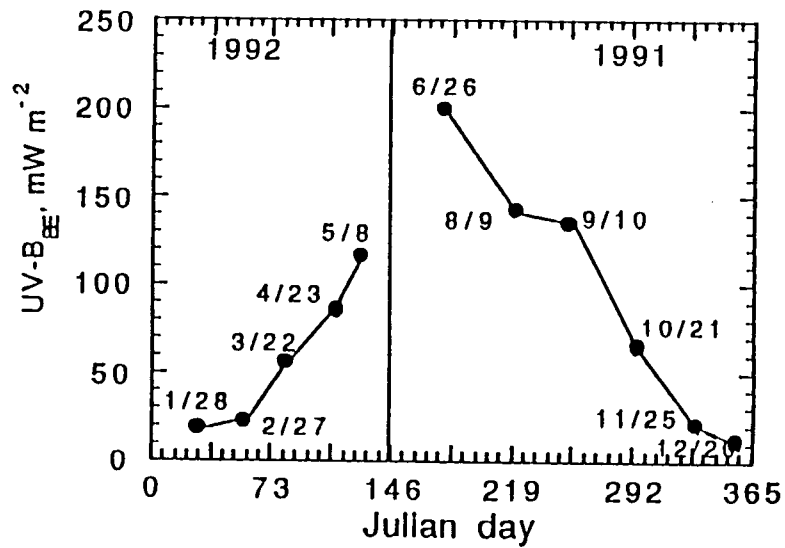


Fig. 3. Seasonal variations in global solar UV-B radiation at Tsukuba.

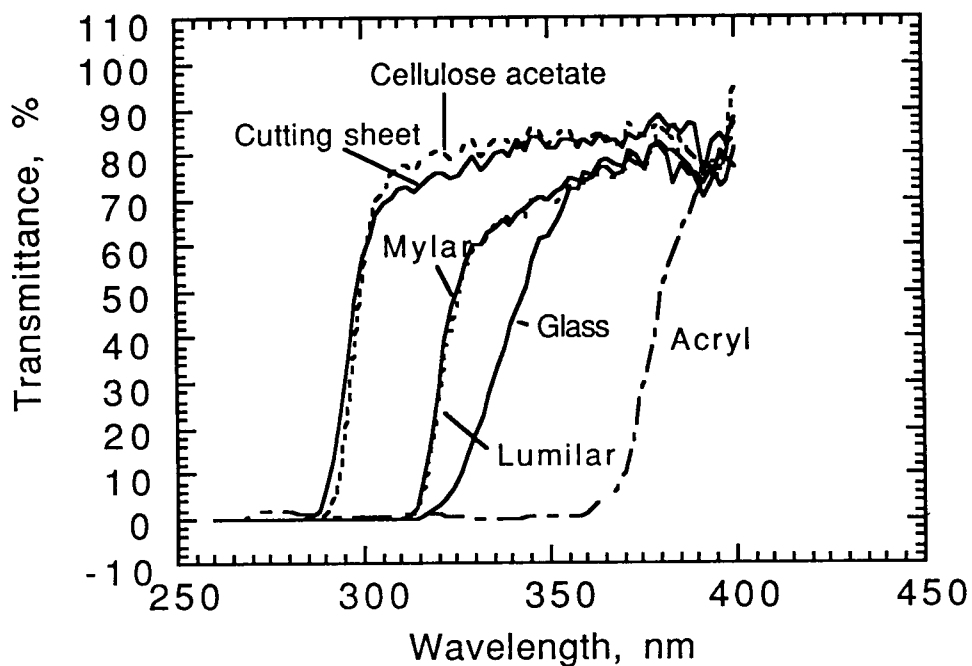


Fig. 4. Percent transmittance of various filters.

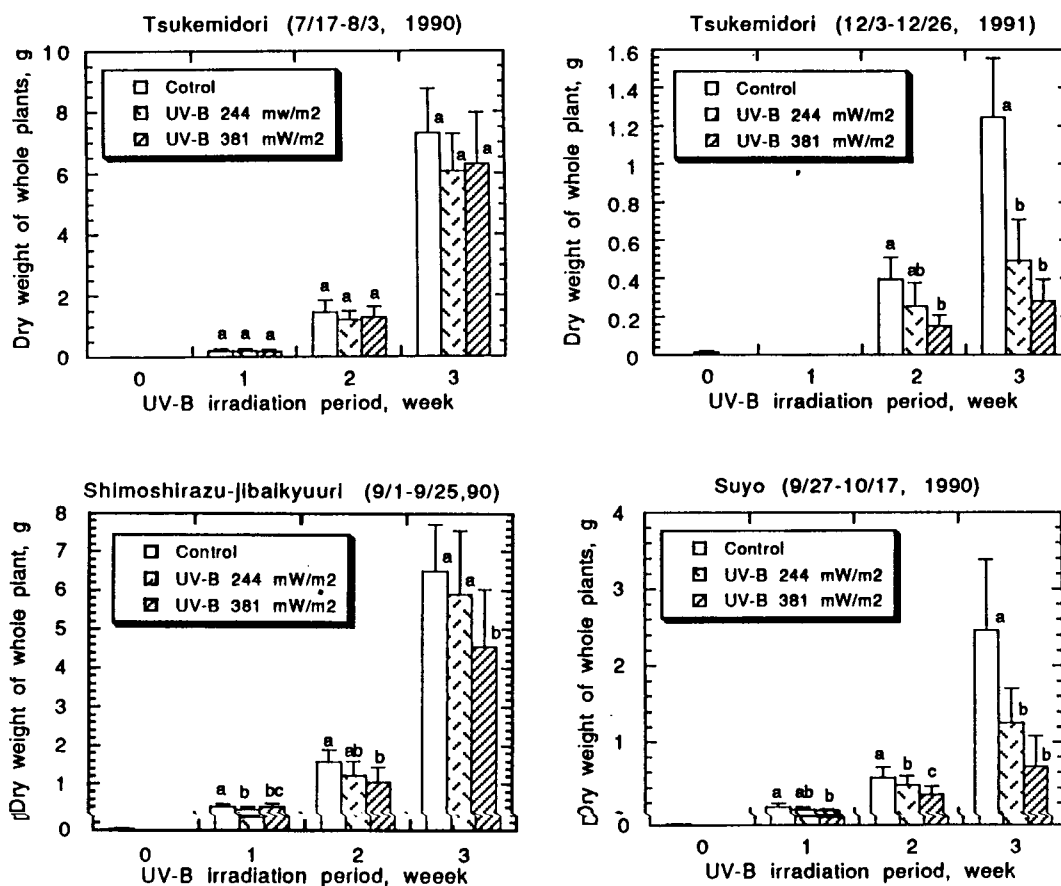


Fig. 5. Changes in dry weight of the whole plants of three cucumber cultivars irradiated with 0, 244 and 381 mW m^{-2} UV-B_{BE} for 3 weeks. Each bar is the mean of 10 to 13 plants \pm SD. The treatments at each time-point marked by the same letters are not significantly different at the 5 % level using Scheffe F-test.

と増加するにつれてより減少した。3品種の個体乾物重の減少は、コントロールに対して 244 mW m^{-2} では14~49%であり、 381 mW m^{-2} では17~77%であった。しかし、UV-B照射による個体乾物重の減少は照射実験の時期によって大きく異なった。「つけみどり」では、照射実験が夏（7月17日~8月3日）の場合には、個体乾物重がわずかに減少しただけであったが、冬（12月3日~12月26日）の場合には、個体乾物重は非常に大きく減少した。この結果はUV-Bによる生長低下が日射量の減少とともに大きくなることを示唆するものである。光合成有効放射量（400-700 nm）が少ないほどUV-Bに対し感受性が大きいことはすでに知られている。このような低い光合成有効放射量でのUV-Bに対する感受性の増加は、可視光による光保護効果や光回復機構の低下によっているのかもしれない。

UV-Bによるキュウリの Fig. 5のデータを生長解析によりさらに検討した。「つけみどり」（7/17-8/3）を除いて、個体乾物重が低下した「四葉」「つけみどり」「霜知らず地這いキュウリ」の3品種とも、相対生長速度（RGR）、純同化率（NAR）と葉面積比（LAR）はUV-B照射によって3週間の間低下した（Table 1）。RGRはNARとLARの積で表される（ $RGR = NAR \times LAR$ ）ので、UV-Bの照射を受けたキュウリのRGRの低下は、NARとLARの両者の減少の結果である。NARの低下はUV-Bが光合成速度を低下させたことを示している。LAR（葉群構造の指標、葉面積/個体乾重）はさらに比葉面積（SLA、葉面積/葉重）と葉重比（LWR、葉重/個体乾重）に分けられる（ $LAR = SLA \times LWR$ ）。SLAはUV-Bにより顕著に減少し、UV-B_{BE}が増加するにつれて減少した（Table 2）。一方、LWRはUV-Bによりわずかに減少しただけである。したがって、UV-Bを照射されたキュウリでの、LARの低下は、主にSLAの低下に起因していた。SLAの逆数は葉の厚さを示す指標であるので、UV-Bを照射されたキュウリのSLAの大きな低下は葉が厚くなったことを意味している。そして、葉の厚みが増加したことは、葉肉組織中のUV-Bに感受性が高い器官（葉緑体など）にUV-Bが到達するのを阻むような働きをしようと思われ、これはUV-Bに対する適応化機構の一つと考えられた。

（6）キュウリ3品種のUV-Bに対する品種間差異（人工気象室内照射実験）

「四葉」「つけみどり」「霜知らず地這いキュウリ」を同時に紫外線照射し、キュウリ3品種の間の品種間差異を調べた。同時照射実験は2回行い、その1例を Fig. 6に示した。「つけみどり」の個体乾物重の低下がやや少なく、UV-Bに対しやや強い傾向を示した。「四葉」と「霜知らず地這いキュウリ」では個体乾物重の低下はほとんど同じであった。2回の同時照射実験で、2回とも「つけみどり」がやや生長低下が少ないが、品種間による差異は大きなものではなかった。なお、可視被害は「霜知らず地這いキュウリ」が特に著しく、可視被害に関しては、品種間差が明らかであった。

（7）チンゲンサイの生長に及ぼすUV-Bの影響

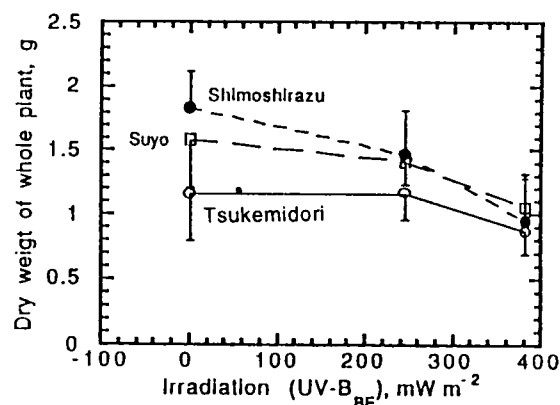


Fig. 6. Difference in UV-B sensitivity among three cultivars of cucumber plants.

Table 1. Effects of UV-B irradiation on relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR) of the three cultivars of cucumber.

Cultivars	UV-B _{BE} irradiance, mW m ⁻²	RGR, g g ⁻¹ day ⁻¹			NAR, mg cm ⁻² day ⁻¹		
		Irradiation period, week			Irradiation period, week		
		0-1	1-2	2-3	0-1	1-2	2-3
Suyo (9/27-10/17)	0	0.258	0.179	0.216	0.880	0.513	0.652
	244	0.230	0.178	0.149	0.772	0.583	0.486
	381	0.208	0.155	0.109	0.729	0.555	0.373
Shimoshirazu- jibaikyuri (9/1-9/25)	0	0.284	0.192	0.201	1.114	0.571	0.660
	244	0.256	0.183	0.225	1.044	0.614	0.846
	381	0.283	0.136	0.207	1.194	0.473	0.813
Tsukemidori (7/17-8/3)	0	0.356	0.278	0.228	1.336	0.906	0.865
	244	0.365	0.243	0.228	1.520	0.871	0.894
	381	0.353	0.264	0.224	1.474	0.968	0.920
Tsukemidori (12/3-12/28)	0		(0-2) 0.223	0.163		(0-2) 0.819	0.502
	244		0.191	0.095		0.819	0.346
	381		0.155	0.089		0.703	0.369

Table 2. Effects of UV-B irradiation on leaf area ratio (LAR) and specific leaf area (SLA) of the three cultivars of cucumber.

Cultivars	UV-B _{BE} irradiance, mW m ⁻²	LAR, cm ² g ⁻¹			SLA, cm ² g ⁻¹		
		irradiation period, week			irradiation period, week		
		1	2	3	1	2	3
Suyo (9/27-10/17)	0	292	348	331	443 ^{ab}	548 ^a	475 ^a
	244	298	308	305	460 ^a	456 ^b	470 ^a
	381	282	279	294	429 ^b	406 ^c	444 ^a
Shimoshirazu- jibaikyuri (9/1-9/25)	0	256	348	305	440 ^a	593 ^a	528 ^a
	244	245	301	266	433 ^b	474 ^b	438 ^b
	381	237	291	255	398 ^a	440 ^b	409 ^b
Tsukemidori (7/17-8/3)	0	267	305	264	487 ^a	504 ^a	436 ^a
	244	240	283	256	397 ^b	464 ^a	419 ^a
	381	239	274	245	409 ^b	444 ^a	400 ^a
Tsukemidori (12/3-12/28)	0		308	328		491 ^a	514 ^a
	244		253	278		389 ^b	424 ^a
	381		235	242		354 ^b	361 ^b

$$\text{LAR (L/W)} = \text{SLA (L/L}_w) \times \text{LWR (L}_w\text{/W)}$$

where L, W and L_w represent leaf area, total dry weight and leaf weight, respectively. The data show average values of 10 to 13 plants. The differences at each sampling point in SLA marked by the same letters are not significant at the 5 % level.

UV-B_{BE}強度は 160 mW m⁻²とキュウリの時ほど強くはなかったが、チンゲンサイの個体乾物重は2週間照射でコントロールの67%、3週間照射で81%、4週間照射で78%となった。また、葉面積も2週間照射でコントロールの73%、3週間照射で78%、4週間照射で77%であり、個体乾物重および葉面積ともUV-B照射により低下した。この場合も紫外線照射時期が10月であることを考慮する必要がある。

(8) 調光型フィールドUV-B照射装置の制作

調光型フィールドUV-B照射装置のコントロールシステムを Fig. 7 に示した。英弘精機のB領域紫外線計 (MS-210D)はUV-B域 (280-315 nm) の間の日射量を連続的に計測する全天候型の日射計であり、DNAの作用スペクトルに類似した相対分光特性をもっている。7月10日にラジオスペクトロメータで各波長毎の太陽のUV-B強度を測定し、UV-B_{BE}を計算するとともに、B領域紫外線計 (MS-210D)の出力電圧を測定し、キャリブレーションを行った。UV-B_{BE} (y)は英弘精機のB領域紫外線計の出力電圧 (x)に係数 0.895を乗じた直線で表された (y=0.895x, r=0.97, n=6)。この紫外線計を用いてUV-B照射強度を制御した。UV-B照射実験における照射UV-B_{BE}が太陽のUV強度よりも低下することがある。その理由は、ランプの影になり、実際の太陽UV-B_{BE}よりも低く見積もったためである。Fig. 8 に照射約2か月間のUV-B_{BE}とコントロールに対する相対的なUV増加率を示した。なお、UV-B照射区およびコントロール区もランプや紫外線ランプ取付け枠、ビニールハウスパイプ (ビニールフィルムは張っていない) の影になり、実際の太陽UVより25%低下していた。UV-B照射区のUV-B増加量は、コントロールに対して48%の増加であり、当初予定していた50%増をほぼ達成できた。しかし、UV-B量の多い真夏では、ランプの発光強度が追いつかず、制御値を下回ることがあった。

(9) 調光型フィールドUV-B照射期間中における水稻葉のクロロフィルの変化

クロロフィルaとクロロフィルbの合計値の全クロロフィル含量は、UV-B照射により、減少したものはなく、すべての品種で増加する傾向を示した (データ省略)。しかし、有意に減少したものは、ササニシキ、南京11, Ketan, Jamuna と Lemont のみであった。これらのものでは、UV-B照射によりコントロールよりも40~50%も増加した。

(10) 水稻葉の紫外部吸収物質の変化

水稻葉の紫外部吸ピークのうち、340 nmの極大ピークが、UV-B照射により大きく変動した。供試した17品種のうち、この吸光度がUV-B照射によりコントロールとほぼ同じか減少したのは、Jamuna, Kele, Lemontの3品種のみであり、その他の品種はすべて20~50%増加した (Fig. 9)。しかし、有意に増加したのは、アケノホシ, アキヒカリ, コシヒカリ, Bantenのみであった。この紫外部吸収物質は表皮に存在し、UV-Bを吸収するフラボノイド物質と思われ、UV-Bが葉緑体などの重要なオルガネラに到達しないようにするための防御物質と考えられる。水稻はUV-Bの悪影響を防御するために、これら物質の生合成を高めたものと考えられ、このUV-B吸収物質の増加はUV-Bに対する適応化反応と考えられる。

(11) 野外におけるUV-B照射による水稻の生長への影響

使用した17品種名と草丈や分けつ数などの特徴およびUV-Bの草丈および個体乾物重への影響の結果を Table 3 に示した。供試した17品種すべて、草丈、分けつ数、穂重および個体乾物重など生長パラメータはUV-Bの影響をほとんど受けなかった。このように、野外でのUV-B

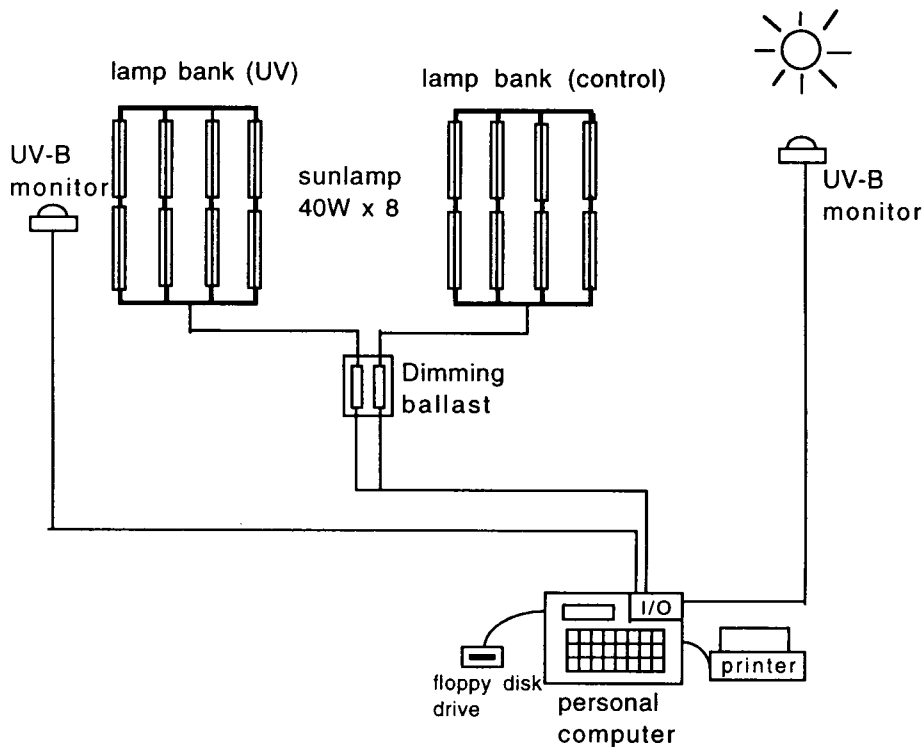


Fig. 7. Outline of the continuous proportional control system of supplemental UV-B radiation in the field.

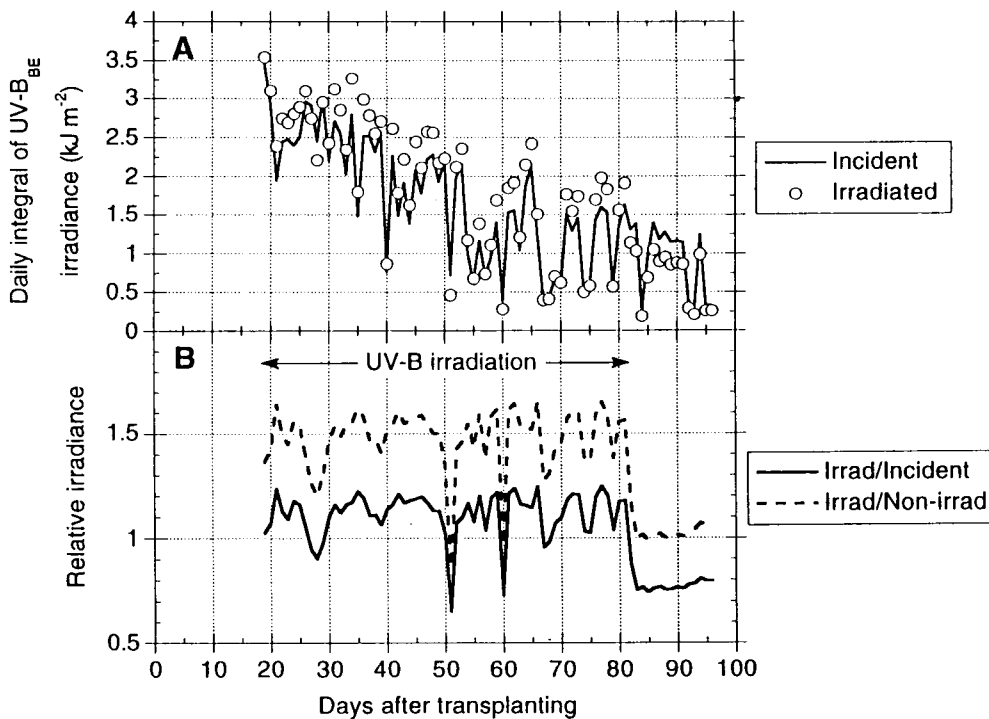


Fig. 8. Seasonal changes of UV-B irradiation in UV-B irradiation modulation system in the field.

A: Daily integral of UV-B_{BE} irradiance.
 B: Relative daily integrals of the UV-B irradiation.

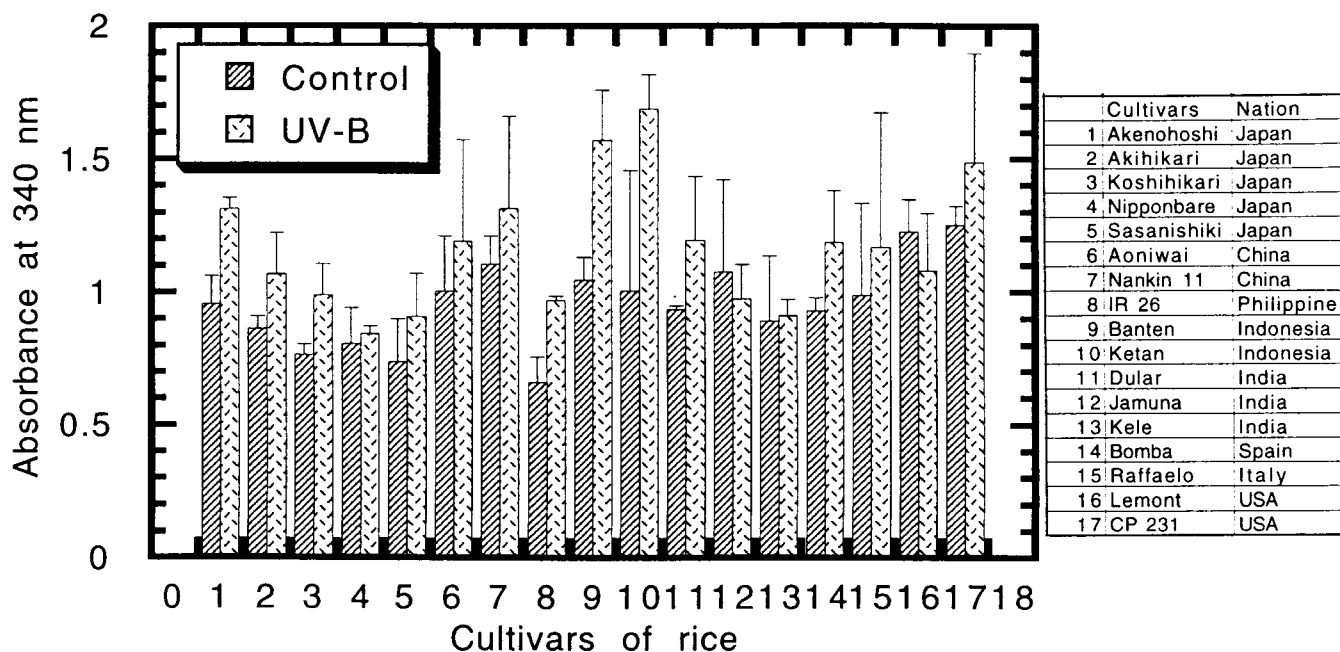


Fig. 9. UV-absorbing pigment in top leaves of 17 rice cultivars affected by 1 month of UV-B treatment. Each values is average of three plants.

Table 3. Effects of UV-B on plant height, tiller number and panicle of rice plants in the fields.

No.	Cultivars	Country of origin	Plant height, cm		Tiller number		Panicle, g	
			Control	UV-B	Control	UV-B	Control	UV-B
1	Akenohoshi	Japan	84.5±4.9	85.0±2.8	19.3±2.3	20.0±2.3	10.39±3.98	10.75±2.18
2	Akihikari	Japan	85.0±4.1	85.4±1.8	17.0±3.0	18.9±2.0	8.71±2.24	7.16±1.95
3	Koshihikari	Japan	96.1±3.2	93.6±4.9	18.9±3.6	20.9±3.7	10.25±2.35	9.96±2.90
4	Nipponbare	Japan	84.1±5.7	81.8±4.8	20.1±5.1	24.0±3.9	8.61±2.47	9.61±2.81
5	Sasanishiki	Japan	92.1±4.5	93.1±4.1	27.7±4.9	25.5±4.9	7.79±2.14	10.23±3.84
6	Aoniwai	China	77.5±4.4	79.4±4.8	26.2±2.5	28.4±2.0	2.56±0.72	2.83±0.67
7	Nankin 11	China	75.6±3.4	74.3±4.6	25.1±4.1	26.7±3.5	3.37±0.75	3.87±1.17
8	IR 26	Philippine	70.0±6.8	70.6±6.0	39.7±3.8	37.5±7.1	0	0
9	Banten	Indonesia	93.4±6.7	92.5±4.4	23.8±3.5	23.9±3.2	0	0
10	Ketan	Indonesia	99.1±7.5	98.0±2.6	18.6±4.5	18.7±2.8	0	0
11	Dular	India	105.2±7.1	107.4±7.2	19.4±2.7	20.3±3.7	7.24±1.25	7.78±2.29
12	Jamuna	India	69.1±5.0	67.1±3.1	33.5±3.0	32.5±3.5	0.88±0.31	0.59±0.47
13	Kele	India	96.6±6.0	92.4±7.3	38.9±3.4	43.5±6.3	2.72±0.51	2.88±0.59
14	Bomba	Spain	105.9±4.6	101.2±4.1	19.2±3.9	22.1±2.7	1.26±0.77	0.96±0.42
15	Raffaello	Italy	90.4±4.3	88.3±4.6	19.8±3.0	19.3±2.6	1.34±0.59	0.81±0.43
16	Lemont	USA	77.3±3.3	76.8±3.0	17.6±4.8	18.0±2.5	0.04±0.09	0.10±0.23
17	CP 231	USA	99.9±7.7	99.9±6.0	15.1±3.5	15.4±3.8	1.10±0.37	1.15±0.33

B照射は水稲17品種とも明らかな生長影響は示さず、水稲の生長に大きな影響はないものの、クロロフィル含量や紫外部吸収物質が増加したように、生化学的な代謝変動を起こしていることがわかった。この生化学的な変化が水稲のUV-Bに対する防御的なものであるのか、あるいは生長や収量にどのような影響をもたらすかは今後の問題である。

5. まとめ

(1) ラジオスペクトロメーターを用いて、つくば市(北緯36度)で太陽のUV-B_{BE}の季節変化、紫外線照射装置のUV-B_{BE}強度とフィルターの特性を測定した。太陽光のUVでは測定期間中で最高のUV-B_{BE}は、6月下旬の正午で、200 mW m⁻²であった。また、紫外線照射装置では、ランプ直下22 cmの距離でUV-B_{BE}は600 mW m⁻²であり、ランプと植物との距離の調節および寒冷沙の挿入により、UV-B_{BE}強度の調節は可能である。

(2) キュウリの発芽後3~5日後より1日あたり日中8時間、3段階のUV-B_{BE}強度(0, 244, 381 mW m⁻²)で毎日、3週間照射した(人工気象室内実験)。UV-B照射によりキュウリの生長は阻害され、UV-B_{BE}強度の増加につれて、生長阻害の程度が大きくなった。しかし、このUV-B照射実験で、日射の強い夏期(4月~9月中旬)と日射の弱い秋から冬季(10月~12月)では、UV-Bに対するキュウリの感受性が異なることがわかった。すなわち、日射が強い時期ではUV-Bによるキュウリの生長低下は小さく、日射の弱い秋から冬季ではUV-Bにより大きな生長低下を示した。UV-Bと可視光のバランスが大きいくずれるグリーンハウスや人工気象室内でのUV-B照射実験では、自然光に近いUV-BとUV-Aや可視光のバランスを保つ必要があることが示唆された。

(3) UV-Bによるキュウリの生長阻害の原因を生長解析法により解析すると、相対生長率(RGR)、純同化率(NAR)、葉面積比(LAR)の生長パラメータは照射期間中すべて低下した。そして、比葉面積(SLA、葉面積/葉重)はUV-Bにより著しく低下した。SLAの逆数は葉の厚みを示すものであり、SLAの著しい低下は葉の厚みが増したことを意味している。このように葉の厚みが増したことはUV-B照射に対する適応化機構の一つと考えられた。

(4) 3段階のUV-B_{BE}強度(0, 244, 381 mW m⁻²)の紫外線でキュウリ3品種(四葉、つけみどり、霜知ず地這いキュウリ)に同時照射を行って、UV-Bに対する品種間差異を調べた。3品種ともUV-B_{BE}の増加により、キュウリの個体乾物重は低下した。その個体乾物重の低下率は3品種ともほぼ同様であり、用いた3品種間の品種間差異はほとんどなかった。しかし、可視被害は「霜知ず地這いキュウリ」で特に著しく、可視害に関しては明らかな品種間差異があった。

(5) 太陽紫外線強度に追随した調光型のフィールドUV-B照射装置を制作し、自然光下における世界の代表的な水稲17品種のUV-B照射実験(8月25日~10月20日)を行った。供試した17品種すべて、葉面積、草丈、分けつ数、穂重および個体乾物重など生長パラメータはUV-Bの影響をほとんど受けなかった。一方、数種の品種ではクロロフィル含量や紫外部吸収物質が増加するものがあった。このように、野外でのUV-B照射は水稲17品種とも明らかな生長影響は示さず、水稲の生長に大きな影響はないものの、生化学的な代謝変動を起こしていることがわかった。この生化学的な変化が水稲のUV-Bに対する防御的なものであるのか、あるいは生長や収量に何らかの影響をもたらすものかどうかは今後の問題である。

6. 参考文献

- 1) Caldwell, M. M. 1977: The effects of solar UV-B radiation (280-315 nm) on higher plants: implications stratospheric ozone reduction. In Research in Photobiology (edited by A. Castellani), pp.597-607. Plenum, London.
- 2) Green, A. E. S., Cross, K. R. and Smith, L. A. 1980: Improved analytical characterization of ultraviolet skylight. Photochem. Photobiol., 31, 59-65.

7. 研究発表

- 野内 勇, 細野達夫, 1991: 紫外線 (UV-B) 照射強度とキュウリの生長阻害の関係, 日本農業気象学会講演要旨集, p. 66-67.
- 野内 勇, 小林和彦, 細野達夫, Cha, Don-Won, 1991: 太陽紫外線量及び紫外線照射装置の特性とキュウリの生長に及ぼす影響, 大気汚染学会講演要旨集, p. 290
- 野内 勇, 1991: 紫外線 (UV-B) がキュウリ, ハツカダイコンおよびインゲンマメの生長に及ぼす影響, 農業気象, 46, 205-214.
- 野内 勇, 1992: 紫外線 (UV-B) のキュウリの生長に及ぼす影響. 大気汚染学会講演要旨集, p. 485
- 野内 勇, 小林和彦, 細野達夫, 1993: 野外における水稻の生長に及ぼす UV-B の影響, 大気汚染学会講演要旨集, p.
- Nouchi, I. 1993: Effects of ultraviolet-B radiation on the growth of cucumber plants. J. Agr. Met., 48, 731-734
- 野内 勇, 1991: オゾン層破壊に伴う紫外線放射量の増加が植物に及ぼす影響, 農業環境研究所編「農業環境技術研究所叢書第7号-地球環境と農林業」, pp. 103-119, 養賢堂
- 野内 勇, 1994: オゾン層破壊, 日本農業気象学会編「新しい農業気象・環境学」, 養賢堂
- Nouchi, I., Kobayashi, K. and Hosono, T., 1993: Effects of ultraviolet-B radiation on growth of rice plants in the fields. Abstract of XV International Botanical Congress, p.316, Tokyo, August 28-September 3, 1993.
- Nouchi, I., Kobayashi, K. and Hosono, T., 1994: Effects of ultraviolet-B radiation on growth of rice plants in the fields. International Symposium of Climate Change and Rice, Ros Banos, Philippines, March 14-18, 1994.