

## A-5 紫外線増加が生態系に及ぼす影響に関する研究

### (2) 紫外線増加が作物・野菜・花卉に及ぼす影響の評価に関する研究

#### ② 紫外線増加が野菜・花卉に及ぼす影響の評価に関する研究

研究代表者 農林水産省中国農業試験場地域基盤研究部気象資源研究室 大原 源二

農林水産省中国農業試験場

地域基盤研究部気象資源研究室 米村 健・植山 秀樹

平成8～10年度合計予算額 38,460千円

(平成10年度予算額 12,808千円)

[要旨] オゾン層破壊による紫外線の増加が、我が国の重要な露地野菜であるアブラナ科葉根菜類の生育・収量に及ぼす影響を調査した。供試した品種数は、キャベツ類、ハクサイ、ダイコン合わせて230品種である。これらのうちキャベツ、ブロッコリー、ハナヤサイとダイコンの12品種は収穫期までの数ヶ月間という長期間、他は定植直後の2-4週間程度の短期間紫外線増加の影響を調査した。紫外線照射は、圃場に自動調光型UV-B照射装置を設置して、処理区の紫外線生物学的影響量が常時対照区の2倍(想定されるオゾン層破壊量の4倍相当)になるように、紫外線ランプを調光して行った。このような照射条件下でも、供試した全ての品種で可視的な障害は一切観察されなかった。短期間の試験に供試して統計検定を行った品種数は、繰り返しを含む延べで145品種である。このうち乾物増加量に有意差が認められたのは16品種であった。そのうち、13品種では乾物増加量が減少したが、3品種で逆に増加した。これらのうち14品種は繰り返し実験に供したが、2度以上繰り返しして有意差が認められたものはなかった。長期間紫外線を照射した12品種のうちハナヤサイ1品種とブロッコリー1品種に有意な影響が認められた。前者は収量が減少したが、後者は増加した。このように、紫外線増加の影響は、減少だけでなく、増加に働く場合もあることが明らかにされた。また、生育に及ぼす影響について品種群毎に検討したが、品種群による大きな差は認められなかった。こうしたことから、中緯度帯で想定される10%程度のオゾン層破壊が、野菜生産量に及ぼす影響は小さいと推定された。

[キーワード] オゾン層破壊、紫外線、圃場試験、アブラナ科、野菜、生育、収量

### 1. 序

オゾン層の破壊が年々進んで<sup>1)</sup>、これに伴う紫外線の増加が野菜・花卉などの生育・収量に大きな影響を及ぼすことが懸念されている。そのため、調査事例は多いが、室内実験で評価されたものが主体である<sup>2)</sup>。室内実験は、紫外線が植物の生育に及ぼす影響の機作などの解明については再現性も高く有意義であるが、光合成有効放射(PAR)が圃場に比べて小さく、紫外線のPARに対する比率が大きいために影響を過剰に評価しやすい<sup>3)</sup>。しかしながら、圃場での紫外線の調光コストが極めて高いこともあって、圃場試験の事例は少なく、紫外線の増加が圃場での生育・収量に及ぼす影響については不明の点が多い。また、希に圃場で紫外線を照射しても、自然のPARや紫外線の強度変化と関わりなく照射強度を一定とし、オゾン層破壊時の紫外線環境を模した試験例は極めて少ない<sup>4)</sup>。そのため、将来の野菜生産量に及ぼすオゾン層破壊の影響を正

確に推定するには、オゾン層破壊時の紫外線環境を人工的に実現する圃場条件で、紫外線の増加が野菜類の生育・収量へ及ぼす影響を調査することが強く望まれている。

生育・収量への影響は、紫外線照射装置の都合上少数の品種でその種類全体の結論が出されやすい。しかし、野菜類は様々な国々の生活様式や嗜好によって多くの種類が栽培されるために、双子葉類で 58 科約 620 種、単子葉類で 20 科約 210 種と多い<sup>1)</sup>だけでなく、同一の種類でも地域や季節で生態型が大きく異なる品種が多数存在する。そのため、将来の野菜生産量に及ぼす影響を推定するには、様々な生態特性をもつ多数の品種群を用いて評価する必要がある。

## 2. 研究目的

重要な野菜の多くはアブラナ科、ナス科、ウリ科、キク科などに属するが、わが国ではナス科、ウリ科野菜の多くは被覆下で栽培されており、アブラナ科野菜が主たる露地野菜である。また、わが国のアブラナ科野菜の品種改良は国際的にも高い評価を受け、かつ遺伝資源的にも豊富である。そこで、本研究ではオゾン層破壊時の紫外線環境を、圃場で人工的に作り出す実験系を用いて、わが国だけでなく世界的にも重要であるアブラナ科野菜の様々な生態型の品種群を供試して、紫外線の増加が生育・収量に及ぼす影響を調査して、将来のアブラナ科野菜の生産量に及ぼすオゾン層破壊の影響を推定することを目的とする。

## 3. 研究方法

### 1) 供試野菜の選定

我が国における主要野菜類の生産で上位 3 位を占めるダイコン、キャベツ、ハクサイ<sup>2)</sup>を調査対象として、様々な生態型の品種を試験に供した。キャベツについては、生態的変異を増大させるためにキャベツの類縁であるブロッコリー、ハナヤサイ、コールラビー、メキャベツ、ケールも調査対象に加えた。なお、これらの生産量は、世界の野菜生産量の 28%を占め、ナス科とウリ科の果菜類の 39%につぐシェアを占めている<sup>3)</sup>。

### 2) 処理法及び調査法

#### (1) 圃場におけるオゾン層破壊時の紫外線環境の人工的实现

圃場に Nouchi ら (1995) が開発した図 1 の自動調光型紫外線照射装置を設置した。本装置の紫外線照射部は、幅 150cm、長さ 275cm の枠に、紫外線ランプ (40W、120cm 長、UVB-313、Q-Panel) を約 40cm 間隔に 4 列ずつ、2 組配置したものである。そして、処理区では紫外線ランプを 290nm 以下の波長域の紫外線をカットするセルロースアセテートフィルムで覆った。そして、処理区となる照射装置の下の B 領域紫外線の生物学的影響量<sup>4)</sup> (以下単に UV-B とする) を、対照区の 2 倍に増加させた。

処理区の UV-B の調光は、Nouchi ら (1995) が開発した方法を参考にして以下のように行った。予め、2 台の医学・生化学用 B 領域紫外放射計 (MS-210D、英弘精機) を用意して、分光放射計 (MSR7000、オプトリサーチ) を用いて、太陽光と紫外線ランプの検定定数を得た。そして、1 台を処理区用、もう 1 台を全天用とした。調光に際して 6 分ごとに 15 秒間だけ紫外線ランプを消して、全天からの UV-B と処理区の UV-B を測定して、照射装置の UV-B 透過率を算定した。そして、この透過率が次の消灯時まで変わらないと仮定して、調光時の処理区に全天から到達する UV-B を、全天からの UV-B と透過率から算定した。この UV-B に起因する出力を処理区の紫

外線計の出力から差し引いた出力が、紫外線ランプに由来する UV-B である。そこで、この出力を紫外線ランプの検定定数で換算して、紫外線ランプに由来する UV-B を算定し、全天から到達する UV-B を加えて処理区の UV-B とした。そして、処理区の UV-B が対照区の 2 倍になるように目標値を設定して、紫外線照射装置の電力を制御することで調光した。これらの制御は、5 秒周期で行った。この目標値は、中緯度ではオゾン層の 40% の破壊に相当する。

## (2) 短期間の照射試験 I

短期間の照射試験 I として、できるだけ多数の品種群、品種の生育に及ぼす UV-B 増加の影響を同時に調査するために、利用可能な全ての照射装置を処理区に用いる 2 回の実験 I-1-2 を行った。しかし、処理区は照射装置によって日射が遮光され、対照区は照射装置がないため遮光されなかったため、処理区の日射量は対照区の 88% に減少した。

実験に供試した品種数、栽培時期、処理期間を表 1 に示す。育苗はセルトレイを用いてハウス内で行い、2-3 葉期の定植適期に達した品種から順次、黒塩ビ製ポット（内容積 500cm<sup>3</sup>）に鉢上げした。その後、2-4 週間 UV-B を照射する処理を施した。定植後の追肥は液肥を用い、その他の栽培管理は慣行に従った。

調査項目は、葉色および形態・可視障害の観察、地上部の生体重と乾物重などの測定として、さらに実験 I-1 では葉数、実験 I-2 では 32 品種の葉面積を測定した。各区 18 株の 2 反復とし、処理期間の中程で栽植密度を調整して、最終的に 50 株/m<sup>2</sup>とした。処理終了時に各区生育の揃った 14-16 株を調査した。葉数は葉長 10mm を基準として数えた。生体重、乾物重、葉面積は区毎に一括して測定したので、有意差検定は行わなかった。生体重と乾物重は電子天秤で測定し、葉面積は葉面積計（A400 型、林電工製）で測定した。乾燥は 60-80 °C の熱風乾燥とした。

## (3) 短期間の照射試験 II

短期間の照射試験 I では、対照区と処理区の日射強度の差が大きな生育差をもたらした。そこで、対照区にも処理区の紫外線照射装置と同じ形状の装置を設置して、紫外線ランプを 320nm 以上の波長域の紫外線を透過するルミラーフィルムで覆い、両者の日射環境を同じにした。しかし、調光装置の能力上対照区では調光できなかった。こうして、苗に対する短期間の照射実験を 11 回行った。これらのうち、実験 II-1-1-7 の 7 回はキャベツ類、実験 II-2 の 1 回はハクサイ、実験 II-3-1-3 の 3 回はダイコンを供試した。実験に供試した品種数、栽培時期、処理期間を表 1 に示す。

キャベツ類とハクサイを供試した実験 II-1-2 では、苗を黒塩ビ製ポットに鉢上げした後、2-4 週間処理した。ダイコンを供試して圃場に直播した実験 II-3-1 では栽植密度を 8.9 株/m<sup>2</sup>とし、プランター（幅 28.5cm・長さ 55cm・高さ 32cm）に直播した実験 II-3-2-3 では 6.7 株/m<sup>2</sup>として、播種直後から処理を開始した。その他は実験 I と同様に管理した。

処理終了後、照射試験 I と同様の調査項目について、統計解析のため個体ごとに調査した。実験 II-1-2 では各区 18 株の 2 反復で生育の揃った中庸な 10-20 株を、実験 II-3-1 では各区 2 反復であるが生育の揃った 10 株をまとめて、実験 II-3-2-3 は各区反復なしで 10 株を調査対象とした。実験 II-1-7 では、供試した 12 品種でフラボノイド、クロロフィル a・b の含量も調査した。最大葉とその下位 2 葉から直径 6mm のリーフディスクを 6 枚ずつ打ち抜き、10ml の 99% エタノールに浸漬し、冷蔵庫に 2 日間静置後、よく攪拌して吸光度を測定した。フラボノイド含量の測定は Nouchi ら（1995）に従い、クロロフィル a・b の測定は Knudson ら（1977）に従った。

#### (4) 長期間の照射試験Ⅲ

定植あるいは播種から収穫までの数カ月間という長期間の UV-B の増加が、生育・収量に及ぼす影響を調査した。処理時に、UV-B 以外の UV-A、日射などの光環境がほとんど同じで、なおかつ処理区の UV-B が対照区の 2 倍になるように、処理区では紫外線ランプを 290nm 以上の波長域を透過するセルロースアセテートフィルムで覆い、対照区では 320nm 以上の波長域を透過するルミラーフィルムで覆って、両区とも紫外線ランプの照射強度が同じになるように調光して、表 2 に示す実験を行った。

実験Ⅲ-1 では、約 2 ヶ月間ハウスで育苗した苗を再生紙マルチを施した圃場に畝幅 120cm・株間 30cm・条間 45cm で定植した。同様の栽植様式で、実験Ⅲ-2 では直播し、実験Ⅲ-3-1-3 では約 25 日間ハウス育苗した苗を定植した。そして、何れの場合も、その後収穫期まで UV-B を照射し、施肥や灌水、病虫害防除はほぼ慣行に従って行った。

適時可視障害の発生状況を観察するとともに、収穫時に、収量、生体重、乾物重、葉数、葉面積を調査した。照射可能面積が限られたので、反復なしで、各区生育の揃った中庸な 9-14 株を調査した。

#### (5) 有意差検定

対照区と処理区の平均値について有意差検定をも検定で行い、危険率が 5%以下の場合を有意差ありとした。

### 4. 結果及び考察

#### 1) UV-B の制御状態

UV-B の制御状態と日射量の測定値を図 2、3 に示す。実験期間中の UV-B の日平均積算値は実験Ⅰ-1 の対照区で  $3.15\text{kJ/m}^2$ 、処理区で  $6.15\text{kJ/m}^2$  で、その比は 1:1.95 であった。実験Ⅰ-2 では  $2.49\text{kJ/m}^2$  と  $4.61\text{kJ/m}^2$  で、1:1.85 であった。瞬間瞬間の UV-B の調光は、紫外線ランプの最大出力の 40~100% の範囲に限られるために、UV-B が比較的強い時間しかできない。しかし、調光には、UV-B の目標値からの偏差だけでなく、偏差の積算値にも比例する制御アルゴリズムを用いたために、一定時間の平均では UV-B がやや弱くても調光できた。だが、これも図 2 の朝夕のように UV-B がごく弱くなると困難であったが、もともと UV-B が少ないので、これらが生育に及ぼす影響は小さいと見なした。調光は、UV-B の測定精度が 10% と低いにもかかわらず、一定時間照射装置の陰が動かないと想定して、2 台の測器で測定した UV-B の収支式を解きながら行われる。こうしたことを考慮すると、得られた制御精度は本研究の目的に対して十分と判断される。

#### 2) 短期間の照射試験Ⅰ

##### (1) 実験Ⅰ-1 の結果

UV-B を 2 倍に増加しても、キャベツでは可視的な障害は全く生じなかった。また、葉色や形態の観察でも影響を認めることができなかった。処理期間中の増加葉数は、供試した 72 品種の品種毎の平均で処理区は 5.0~10.2 枚、対照区は 4.9~10.7 枚であった。その差は -0.6~0.6 枚、標準誤差は 0.1~0.3 枚で、増加葉数に有意差が認められた品種はなかった。

処理期間中の乾物増加量は、供試した品種毎の平均で処理区は 0.88~3.10g/株、対照区は

0.94~3.33g/株で、その差は-0.60~0.32g/株であった。品種毎の乾物増加量の比（処理区/対照区、以下同様）を図4に示す。図中の●印は、各品種毎の比を示し、破線で囲んだ楕円内は同一の品種群に属する。供試した72品種中62品種で対照区を下まわり、処理区で乾物増加量が減少する傾向を示した。生体重の増加量は、供試した72品種中53品種で対照区を下まわった。処理終了時の乾物率は、図5に示すように処理区は7.1~9.0%の範囲に分布して平均は8.1%、対照区は6.4~8.7%の範囲に分布して平均は7.7%と処理区で小さい傾向を示した。

供試した品種には、生育日数が非常に長いオータムキング群、丸球の早生種であるコペンハーゲンマーケット群、一般に冬キャベツと呼ばれる寒球群と春キャベツと呼ばれる中野早生群、欧米で古くから栽培されているアーリーサマー群、台湾土着の品種から育成された葉深群、寒地型の晩抽系であるフラットダッチ群、葉色が赤紫~深紅色の紫キャベツ群、結球が縦長になる筍キャベツ群、葉面のしわとワックスが多く外葉の大きい札幌群、葉にしわがあり葉肉が厚いサボイキャベツ群など形態や生態に特徴のある様々な品種群が含まれる。しかしながら、乾物重増加量の比は、品種群ごとに平均すると0.89~1.01に分布して、各々が0.02~0.16程度のばらつきをもち、品種群レベルでみると図4のようにほぼ同じ範囲に分布して、品種群による大きな差は認められなかった。これは、生体重の増加量や乾物率でも、同様であった。

## （2）実験I-2の結果

ハクサイでも、UV-Bを2倍に増加しても、キャベツと同様に可視的な障害は全く生じなかった。また、葉色や形態の観察でも影響を認めることができなかった。

処理期間中の乾物増加量は、供試した53品種の品種毎の平均で処理区は2.90~5.83g/株、対照区は3.29~6.53g/株で、その差は-1.09~0.01g/株であった。品種毎の乾物増加量の比を図6に示す。図4と同様に、図中の●印は供試品種毎の比を示し、破線で囲んだ楕円内は同一の品種群に属する。比は0.82~1.00の範囲に分布して、平均は0.92であった。供試した53品種の全てが対照区を下まわり、処理区で対照区より乾物増加量が減少する傾向を示した。生体重の増加量は、供試した53品種中48品種で対照区を下まわり、供試品種の平均では0.94と減少傾向を示した。乾物率は、処理区で4.7~7.6%の範囲に、対照区で4.7~7.5%の範囲に分布して、供試品種の平均は処理区が対照区の0.98倍とほぼ等しかった。比葉重は、調査した32品種中22品種で対照区を下まわったが、処理区の平均は対照区の0.98倍とほぼ等しかった。

供試した品種は、育種親としてしられる古い品種群、現行のF1品種群、葉球が小型のミニハクサイ群、葉球が細長い筍ハクサイ群、半結球の山東菜群、大型であるが結球しない花心群など様々な品種群に属する。しかしながら、乾物増加量の比はいずれの品種群でも属する品種の平均値をとると0.90~0.94とほぼ同じ範囲にあり、各々が0.07~0.09というばらつきをもったために、図6に示されるように品種群による大きな差は認められなかった。これは、生体重の増加量や乾物率でも、同様であった。

## （3）考察

処理区の日射量は、紫外線照射装置の影となることで、対照区より12%少なかった。また、実験期間の後半で生長が急激に進み、処理終了時に葉面積指数が6を越えた品種が多かった。この値は広葉性植物の最適葉面積指数を越えており、処理期間の末期には日射不足に近い状態であったと推定される。これらの相乗作用で、乾物率と比葉重が処理区で減少したと推定される。そ

のため、UV-B の処理を行う場合には、日射強度が処理区と対照区で同一であり、なおかつ日射不足に陥らぬように栽植密度に十分注意する必要があることが明らかにされた。

キャベツ、ハクサイともに多数の様々な品種群を供試したが、図 4 と図 6 に示されるように UV-B の増加が生育に及ぼす影響に品種群による一定の傾向を認めることはできなかった。これら野菜は春から夏の紫外線の強い時期にも栽培され、この時期の強い紫外線に対して既に耐性を獲得していることが、こうした実験結果をもたらした一因と考えられる。

### 3) 短期間の照射試験 II

#### (1) 実験 II-1-1~7 の結果

UV-B を 2 倍に増加しても、供試したキャベツ類の全ての品種で可視的な障害は全く観察されず、葉色や形態の観察でも影響を認めることができなかった。7 回の実験に供した品種数は、正味で 59、繰返しを含む延べ数では 111 である。延べ 111 品種の処理期間中の葉数の増加数は、処理区で 3.8~16.0 枚、対照区で 3.8~15.4 枚、その差は -0.6~0.6 枚、標準誤差は 0.1~0.5 枚で、有意差が認められた品種はなかった。

延べ 111 品種の処理期間中の乾物増加量は、品種毎の平均で処理区で 0.97~7.37g/株、対照区で 0.89~7.52g/株、その差は -0.47~0.57g/株、標準誤差は 0.03~0.31g/株であった。有意差が認められたのは 15 品種で、延べ数に対して 14%に相当する。内訳は、12 品種（キャベツ 6 品種、メキャベツ 1 品種、ハナヤサイ 1 品種、ブロッコリー 4 品種）で乾物増加量が減少して、3 品種（キャベツ 1 品種、メキャベツ 1 品種、ハナヤサイ 1 品種）で逆に増加した。乾物増加量の比を 0.05 毎の階級値に分けた場合の出現頻度分布を図 7 に示す。比は 0.86~1.18 の範囲に分布して平均は 0.99 であった。そして、UV-B が増加すると乾物増加量が減少した品種の数は 63、増加した品種の数は 48 と、減少した品種の数がやや多かった。

7 回の実験に供した全品種の乾物率の比（処理区/対照区）は 0.86~1.06、平均 0.99 となって、日射環境が同じになると両区の乾物率の平均値はほぼ等しくなった。生体重の増加量の比は 0.88~1.21、平均で 1.00 と乾物率と同様に日射環境が同じになると両区の平均値は等しくなった。葉面積を測定した延べ 99 品種全体では、増加した品種数が 49、減少した品種数が 50 と、両区はほぼ等しかった。比葉重の比は、0.83~1.23 の範囲に分布して平均は 0.98 とほぼ等しかったが、品種数で見ると減少した品種が 67 に対して、増加した品種は 32 とやや少ない傾向を示した。これは図 8 に示されるように、一部の品種で比葉重が大きく増加したためである。

単位葉面積あたりのフラボノイド含量は、図 9 に示されるように実験 II-1-7 に供試した 12 品種すべてで増加し、3 品種で統計的に有為に増加した。しかし、クロロフィル a の含量は、図 10 に示されるように 8 品種で増加したが、4 品種で減少するというように増減に一樣な傾向は認められなかった。クロロフィル b 含量も同様の結果であった。

#### (2) 実験 II-2 の結果

ハクサイでも、キャベツ類と同様に供試した全ての品種で UV-B 増加による可視的な障害、形態的变化は観察されなかった。また、実験期間中の葉数の増加にも影響は認められなかった。

処理期間中の乾物増加量は、供試した 27 品種の品種毎の平均で処理区で 3.00~4.62g/株、対照区で 3.10~4.82g/株、その差は -0.60~0.67g/株、標準誤差は 0.09~0.24g/株であった。有意差が認められた品種はなかった。乾物増加量の比を 0.05 毎の階級値に分けた場合の出現頻度分布を図 11 に

示す。比は 0.87~1.17 の範囲に分布して平均 0.98 となった。UV-B の増加で減少する品種が 16、増加する品種が 11 で、減少する品種数がやや多かった。生体重の増加量の比は 0.82~1.17、平均 0.99 となって、減少した品種が 15、増加した品種 12 と、減少する品種がやや多かった。

### (3) 実験Ⅱ-3-1~3の結果

ダイコンでも、キャベツ類やハクサイと同様に供試した全ての品種において紫外線増加による可視的な障害、形態的变化は観察されなかった。

実験Ⅱ-3-1 に供試したダイコン 44 品種の処理期間中の乾物増加量は、供試品種毎の平均で処理区で 13.1~27.3g/株、対照区で 12.6~26.8g/株、その差は-6.9~3.1g/株であった。乾物増加量の比は、図 12 に示されるように 0.68~1.18 の範囲に分布して平均で 0.98 であった。そして、UV-B の増加によって増加量が減少した品種数は 23、増加した品種数は 21 で、ほぼ等しかったが、20%以上減少したものが 2 品種、20%以上増加したものが 1 品種あった。処理終了時の乾物率の比は 0.92~1.08 の範囲で、平均で 1.02 であった。乾物増加量とその比が大きくばらついた原因として、直播であるため個体間の変異が大きくなりやすいのと、降雨の多い秋雨期に排水の悪い水田転換圃場で実験を行ったため局所的に過湿になったことが考えられた。そこで、土壌水分の不均一や過湿が生育に及ぼす影響を避けるために、実験Ⅱ-3-2~3 ではプランターを用いて実験を行った。

実験Ⅱ-3-2~3 では、実験に供試する品種として実験Ⅱ-3-1 で乾物増加量の比が小さかったものから順に 5 品種と中庸な 1 品種を選択した。これらの実験の乾物増加量は、供試品種毎の平均で処理区で 12.8~25.8g/株、対照区で 17.4~26.5g/株、その差は-4.6~0.5g/株、標準誤差は 0.5~1.0g/株となって、統計的に有意な品種が 1 品種認められた。有意に減少した“紅筋”(図 13 に●印で示した)は、実験Ⅱ-3-1 では乾物増加量が最も大きく減少したが、実験Ⅱ-3-2 では UV-B 増加の影響をほとんど受けなかった。そして、実験Ⅱ-3-3 では乾物増加量が著しく減少して、その減少が統計的に有意と判定された。実験Ⅱ-3-1 の結果は部分的な土壌の過湿によってもたらされた可能性があるが、実験Ⅱ-3-3 の栽培環境は、実験Ⅱ-3-2 の時期より約 30%強く、平均気温も 30.8℃と生育適温の 17~20℃を大きく上まわる状態で、より生育に不適な環境であった。そのため、生育に不適な環境では UV-B 増加による生育抑制がより顕著になる可能性がある。

実験Ⅱ-3-1 で供試した品種には、わが国最大の品種群で華南大根の遺伝形質を濃厚にとどめる練馬群、大阪近郊に土着した早生の四十日群、江戸時代の中期に練馬群から派生したみの早生群、根身が極めて細長い守口群、近畿の浅い粘質土で成立した白上り群、華北大根の遺伝形質を伝える宮重群、宮重から派生した聖護院群、紫大根の系統を引く東北地大根群、小型で葉数の少ない信州地大根群、わが国独特の品種群と考えられている南九州地大根群、極晩抽性の二年子群、早生・小型で韓国で栽培の多い華北小大根群など多数の品種群が含まれる。品種群毎の平均値でみた場合、乾物重の増加量の比は 0.78~1.07 で、各々が 0.03~0.16 程度ばらついた。

## 4) 長期間の照射試験

### (1) キャベツ

実験Ⅱ-1 では作期の都合上、年を越してからでも定植できる作型をもつ 4 品種を供試した。供試した品種の短期間の照射試験の乾物増加量の比は、“秋蒔極早生 2 号”で 1.04 (実験Ⅱ-1-1 とⅡ-1-6 の平均)、“富士早生”で 1.02 (実験Ⅱ-1-6 とⅡ-1-7 の平均)、“秋蒔中早生”で 0.99 (実験Ⅱ-1-1 とⅡ-1-6 の平均)、“SE”で 1.01 (実験Ⅱ-1-6 とⅡ-1-7 の平均) であった。これらの比は、実験Ⅱ-1 の結果が 0.86~1.06 とばらついた中では平均的なものに限られたが、作型的に栽培できる品種が限られた

ためである。収穫時の生育状態の調査結果を表3に示す。各品種ともほぼ標準的な生育状態を示し、供試した4品種で収量に有意差を示すものはなかった。

“秋蒔極早生2号”では、収量、地上部乾物重、葉球への乾物分配率、葉面積とも処理区が対照区の1.02~1.06倍で、UV-Bの増加でやや増加する傾向を示したが、有意差は認められなかった。“富士早生”では、葉球への乾物分配率が処理区で対照区の0.91倍とやや低下する傾向を示したが、収量、地上部乾物重、葉面積は0.96~1.04倍で、乾物分配率を含む何れも有意差は認められなかった。“秋蒔中早生”では、収量および葉球への乾物分配率は0.97~0.99倍とほとんど変わらず、地上部乾物重と葉面積は1.05~1.11とやや増加する傾向が認められた。しかし、有意差は何れの場合も認められなかった。“SE”では、収量が1.09倍と増加する傾向がみられたが有意ではなく、地上部乾物重が0.87倍と唯一統計的に有意に減少した。しかし、葉球への乾物分配率は1.09倍と増加する傾向がみられ、葉面積は0.99倍とほとんど変化しなかった。

## (2) ダイコン

供試した“四十日ダイコン”は四十日群に属し、“耐病総太”は宮重群、“高農聖護院”は聖護院群、“吸込二年子”は二年子群に属する品種で、実験Ⅱ-3-1に供試した際は、乾物増加量の比が各々1.15、1.00、0.76、1.06であった。また、“高農聖護院”は、実験Ⅱ-3-2に供試した際の比は1.03であったので、2回の実験の平均では0.90であった。これらの結果、UV-Bに対して相対的に強い品種が1、やや強い品種が1、中庸な品種が1、弱い品種が1という構成であった。収穫時の生育状態の調査結果を表4に示す。実験の都合上、本来の作型より遅い作期であったため、生育状態は標準的な状態に較べてかなり劣った。UV-Bを増加させると、実験Ⅱ-3-1ではUV-Bに強いと推定された“四十日ダイコン”では、収量が1.10倍と増加する傾向が認められたが統計的には有意でなく、収穫部位の長さおよび太さ、収穫部位の糖度、全乾物重、地上部/地下部比、葉面積、葉数は0.96~1.05倍とほとんど影響がみられなかった。UV-Bに対してやや強いと推定された“吸込二年子”は、収量、収穫部位の太さ、全乾物重および葉面積に0.82~0.92倍と減少の傾向がみられたが統計的に有意ではなく、収穫部位の長さ、収穫部位の糖度、全乾物重、地上部/地下部比、葉数は0.96~1.03倍とほとんど影響がみられなかった。UV-Bに対して中庸と推定された“耐病総太”は、収量、収穫部位の長さおよび太さ、収穫部位の糖度、全乾物重、地上部/地下部比、葉面積、葉数は0.95~1.04倍とほとんど影響がみられなかった。UV-Bに対して弱いと推定された“高農聖護院”は、収量、収穫部位の長さおよび太さ、収穫部位の糖度、全乾物重、地上部/地下部比、葉面積が0.94~1.02倍とほとんど影響がみられず、葉数が1.07倍と増加する傾向がみられたが統計的に有意ではなかった。

## (3) ブロッコリーとハナヤサイ

供試したブロッコリー2品種およびハナヤサイ2品種への紫外線照射の影響を表5に示す。実験の都合上作期が遅れたため、生育は通常に較べてやや劣った。これらの4品種の短期間の照射試験の乾物増加量の比は、“まさ緑67号”(ブロッコリー)が1.06(実験Ⅱ-1-4、Ⅱ-1-5、Ⅱ-1-6の平均)、“ハイツ”(同)が0.92(実験Ⅱ-1-6)、“ブライダル”(ハナヤサイ)が1.03(実験Ⅱ-1-4、Ⅱ-1-5、Ⅱ-1-6の平均)、“しらたま”(同)が0.92(実験Ⅱ-1-2、Ⅱ-1-5の平均)であった。

実験Ⅲ-3-1では、“まさ緑67号”の収量が対照区の1.30倍、花蕾への乾物分配率が1.24倍と有意に増加し、花蕾の高さと径が1.05~1.08倍と有意ではないが大きくなる傾向を示した。地上部



乾物重、葉面積、比葉重、葉数は 0.98~1.04 倍と UV-B が 2 倍に増加してもあまり変化しなかった。“ハイツ”では、収量が 0.78 倍と大きく低下したが有意差は認められなかった。花蕾への乾物分配率と葉面積は 0.87~0.90 倍と統計的に有意に減少して、比葉重は 1.12 倍と有意に増加した。小花の花蕾が処理区の大きい花蕾では対照区より明らかに濃い青緑色をおび、対照区は未開花状態なのに処理区の一部の小花がに開花するなど、生育が促進されている傾向が観察された。しかし、花蕾の高さや径、地上部乾物重、葉数は 0.94~1.02 とあまり変化しなかった。

実験Ⅲ-3-2 では、処理区の“ブライダル”の収量は対照区の 1.05 倍と UV-B 増加の影響は大きくは認められなかった。地上部乾物重は 1.08 倍と増加傾向を示し、花蕾の高さは 0.80 倍、花蕾への分配率は 0.90 倍と減少する傾向をしめしたが、有意差は認められなかった。葉数には影響はみられなかった。

実験Ⅲ-3-3 では、“しらたま”の収量が対照区の 0.88 倍となって有意に減少し、分化葉数は 1.07 倍で、有意な増加がみられた。また、有意ではないが地上部乾物重に減少傾向がみられた。花蕾の大きさおよび花蕾への分配率には影響はみられなかった。

## 5) 総合考察

短期間の照射試験Ⅰでは、処理区の日射量は紫外線照射装置の影となって対照区より 12%減少したが、照射試験Ⅱでは対照区と等しくなった。試験Ⅰのキャベツ類 72 品種の乾物増加量の比（処理区/対照区）の平均は 0.93 で、ハクサイ 53 品種の平均は 0.92 であった。そして、試験Ⅱでは、キャベツ類延べ 111 品種の平均は 0.99 で、ハクサイ 27 品種の平均は 0.98 であった。これら結果を比較すると、試験Ⅰの乾物増加量の比は試験Ⅱより 0.06 小さい。試験Ⅰと試験Ⅱの差は乾物率や比葉重の両区間の差などから日射量の差によってもたらされたと推定される。そのため、キャベツ類とハクサイの苗の生長に及ぼす UV-B の 2 倍の増加の影響は、日射量 12%の減少の影響より小さいと推定できる。

短期間の照射試験Ⅱに供して、統計的検定を行った 92 品種、繰り返しを含めると総計 145 品種中、有意差が認められたのは 16 品種であった。これは供試した延べ品種数に対して 11%に当たり、9%で生育が抑制されて、2%で生育が促進された。しかし、同一品種を供試した場合の乾物増加量の比のばらつきは最も大きい場合には 14 ポイントに達した。そこで、有意差検定結果から差が±10%未満のものを除くと、残るのは 10 品種であった。また、有意差が認められた 16 品種中 14 品種は 2~4 回繰り返し実験に供したが、2 回以上繰り返し有意差が認められた品種は全くなかった。そのため、紫外線増加の影響は大きくなく、有意差の有無は実験環境に大きく左右される場合があると推定された。

キャベツとダイコンでは、収量に及ぼす統計的に有意な影響は認められなかった。しかし、ブロッコリー 1 品種が有意に収量が増加して、ハナヤサイ 1 品種が有意に減少した。

短期間照射試験時の乾物増加量の比と長期間照射試験時の乾物増加量の比の関係を図 16 に示した。全体としては 0.42 という正の相関が得られた。キャベツ単独では -0.57 という負の相関が得られたが、ハナヤサイ類では 0.94 という高い正の相関が得られた。これらの結果、紫外線増加が生育・収量にある程度の影響を及ぼす場合には、短期の影響と長期の影響に高い相関を期待することは可能と考えられる。そのため、苗を用いて短期間の照射試験を行って、紫外線増加に対して幅広い変異を得て、それらの品種を収穫までの長期間の照射試験に供することは、紫外線増加が様々な作物の生育・収量に及ぼす影響を調査するのに妥当と判断される。

また、品種群ごとに UV-B の影響を検討すると、ほぼ同じ範囲に分布して、品種群による差はないと推定された。これらの結果、想定されるオゾン層 10%の破壊条件では、仮に UV-B 増加で生育が抑制される品種が見いだされても、同一の品種群に属して影響をほとんど受けない品種を選ぶことが可能であると推定された。本研究では、長期間の試験に供した品種数は 12 品種と少なく、実験も繰り返していない。そのため、収量に対する影響の評価が不十分なので、正確な評価のためにはさらに調査が必要なことはいうまでもない。しかし、本研究の結果からは紫外線増加がアブラナ科野菜の生産量に及ぼす影響は無視できるほど小さいと評価される。

## 5. 本研究により得られた成果

我が国で重要な露地栽培野菜であるアブラナ科葉根菜類を多種（キャベツ類 113 品種、ハクサイ 73 品種、ダイコン 44 品種の総計 230 品種）供試して、圃場条件で紫外線の増加が生育・収量に及ぼす影響を調査した。これらのうちキャベツ類（キャベツ 4 品種とブロッコリー 2 品種、ハナヤサイ 2 品種）とダイコン（4 品種）は収穫期までの数ヶ月間という長期間、他は定植直後の 2-4 週間程度の短期間紫外線増加の影響を調査した。紫外線は、圃場で紫外線生物学的影響量が常時自然条件の 2 倍（想定されるオゾン層破壊量の 4 倍相当）になるように、自動調光型 UV-B 照射装置を用いて、紫外線ランプを調光すること増加させた。この結果、以下のことが明らかにされた。

1) 紫外線の照射実験に供試した 230 品種の全てで可視的な障害および形態的变化は一切観察されなかった。

2) 短期間の実験に供試して、統計的検定を行った 92 品種、繰り返しを含めると延べ 145 品種中、有意差が認められたのは 16 品種であった。これは供試した延べ品種数に対して 11%に当たり、9%で生育が抑制されて、2%で生育が促進された。有意差が認められた 16 品種中 14 品種は 2-4 回繰り返し実験に供した。しかし、有意差が繰り返し認められるものはなかった。また、生育に及ぼす影響について品種群毎に検討したが、品種群による特定の傾向は認められなかった。

3) 供試した多数の品種の全体平均では、日射量が 12%減少した場合の影響は紫外線が 2 倍に増加した場合の影響より大きかった。

4) 長期間の処理では、供試した 12 品種の全てを統計処理したが、有意差が認められたのはハナヤサイ 1 品種とブロッコリー 1 品種だけであった。これらのうち、前者は収量が増加して、後者は減少した。

以上の結果から、中緯度帯で想定される 10%程度のオゾン層破壊がアブラナ科葉根菜類の生産量に及ぼす影響は、品種レベルでは希にあるとしても、品種群・品目のレベルでみた場合、無視できる程度であると推定された。

## 6. 参考文献

- 1)Caldwell,M.M., 1971, Solar UV radiation and the growth and development of higher plants, In *Photophysiology*, Edited by Giese,A.C., Vol. 6, 131-177, Academic Press, New York
- 2)Caldwell,M.M., Flint,S.D. and Searles,P.S., 1994, Spectral balance and UV-B sensitivity of soybean: a field experiment, *Plant Cell and Environment*, 17, 267-276.
- 3)Caldwell, M.M. and Flint,S.D., 1994, Stratospheric ozone reduction, solar UV-B radiation and terrestrial ecosystems, *Climatic Change* 28, 375-394.

- 4) Corlett, J.E., Stephen, J., Jones, H.G., Woodfin, R., Mepsted, R. and Paul, N.D., 1997, Assessing the impact of UV-B radiation on the growth and yield of field crops, In *Plants and UV-B*, ed. P.J. Lumsden, Cambridge University Press, United Kingdom, 195-211.
- 5) Flint, S.D., Jordan, P.W. and Caldwell, M.M., 1985, Plant protective response to enhanced UV-B radiation under field conditions, Leaf optical properties and photosynthesis, *Photochem. Photobiol.*, 41(1), 95-99.
- 6) Grubben, G.J.H. 1978. Tropical vegetables and their genetic resources, International Board for Plant Genetic Resources, FAO-UN
- 7) Knudson, L.L., Tibbitts, T.W. and Edwards, G.E., 1977, Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration, *Plant. Physiol.*, 60, 606-608.
- 8) Krupa, S.V. and Kickert, R.N., 1989, The greenhouse effect: Impact of ultraviolet-B (UV-B) radiation, Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) and Ozone (O<sub>3</sub>) on vegetation, *Environmental Pollution*, 61, 263-393.
- 9) Mcleed, A.R., 1997, Outdoor Supplementation System for Studies of the Effects of Increased UV-B Radiation, *Plant Ecology*, 128, 78-92.
- 10) Murali, N.S. and Teramura, A.H., 1985, Effects of ultraviolet-B irradiance on soybean. VI. Influence of phosphorus nutrition on growth and flavonoid content, *Physiol. Plant.*, 63, 413-416.
- 11) 西貞夫、1972、野菜の種類、野菜の生態と作型、誠文堂新光社(608p)、5-9
- 12) 農水省統計情報部、1999、平成9年産野菜生産出荷統計、農林統計協会、p277
- 13) Nouch, I. and Kobayashi, K., 1995, Effects of Enhanced Ultraviolet-B Radiation with a Modulated Lamp Control System on Growth of 17 Rice Cultivars in the Field, *J. Agric. Meteorol.*, 51(1), 11-20.
- 14) 莊村多加志、1996、オゾン層破壊、環境庁地球環境部、p17-20
- 15) Teramura, A.H., 1980, Effects of ultraviolet-B irradiance on soybean I. Importance of photosynthetically active radiation in evaluating ultraviolet-B irradiance effects on soybean and wheat growth, *Physiol. Plant.*, 48, 333-339

【研究成果の発表状況】

(1) 口頭発表

- ① 大原源二、米村健、植山秀紀：1997年度農業気象学会(1997)  
「紫外線増加がキャベツ・ハクサイの生育に及ぼす影響」
- ② Yonemura, T. and Ohara, G., 1997, ISHS International Symposium on Brassicas (1997), at Rennes, France.  
"Effects of UV-B supplement on growth of cabbages and Chinese cabbage"
- ③ Yonemura, T., Ohara, G. and Ueyama, H., 1998, XXV International Horticultural Congress (1998) at Brussels, Belgium.  
"Effects of UV-B supplement on growth of Brassica"

(2) 論文発表

- ① Yonemura, T. & Ohara, G.: "Effects of supplemental UV-B in a field on growth of some vegetables seedlings" (投稿準備中)

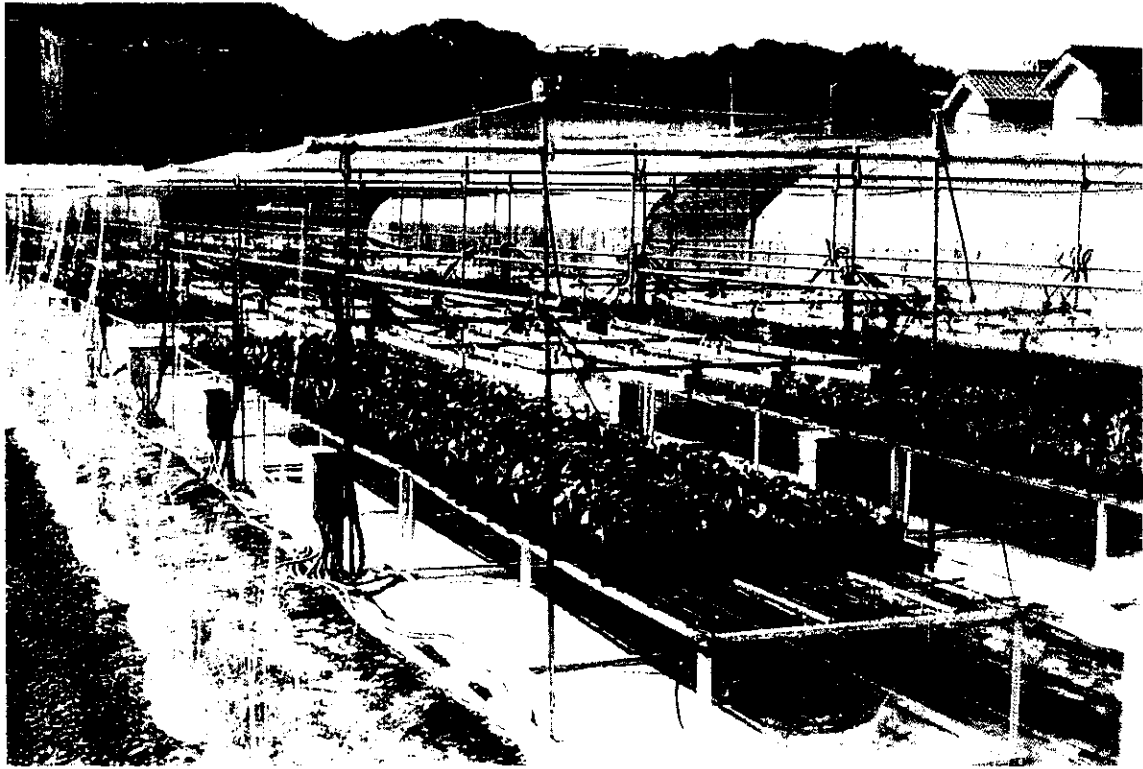


Fig.1 The outdoor UV-B supplementation system

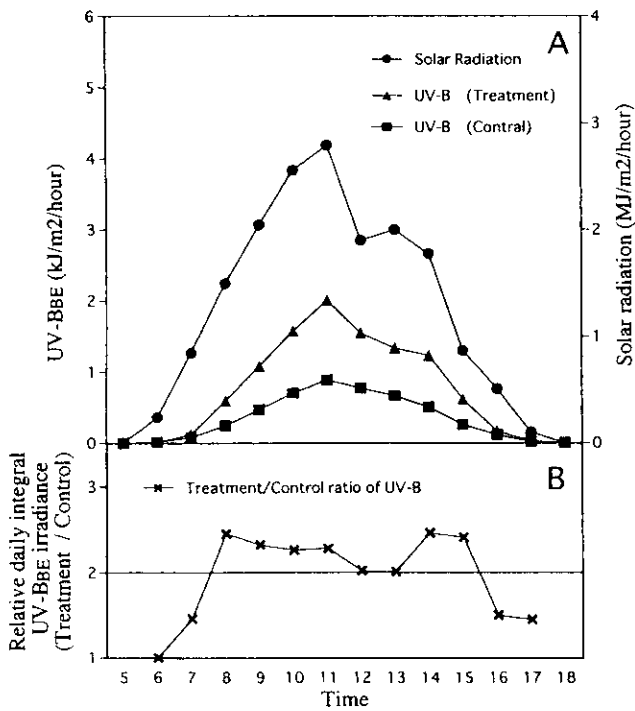


Fig.2 Diurnal change of UV-B irradiance (1996.Sep.23)

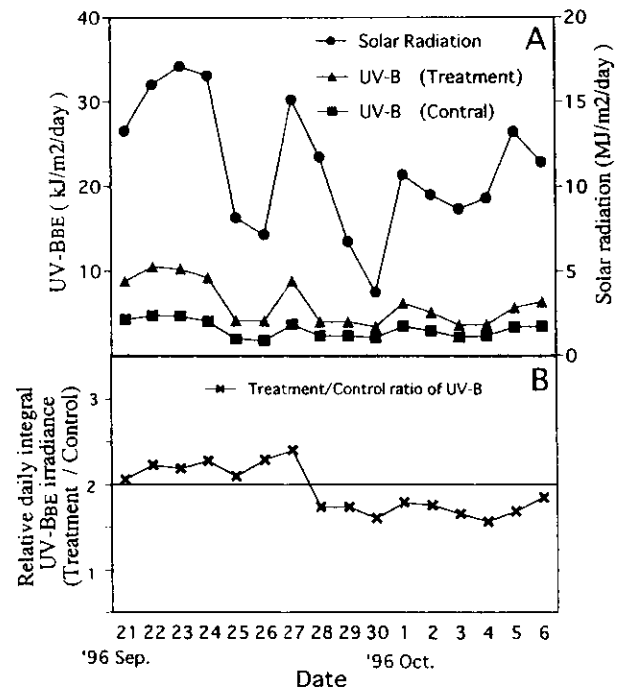


Fig.3 Daily integral UV-B irradiance and solar radiation during Exp.I-1

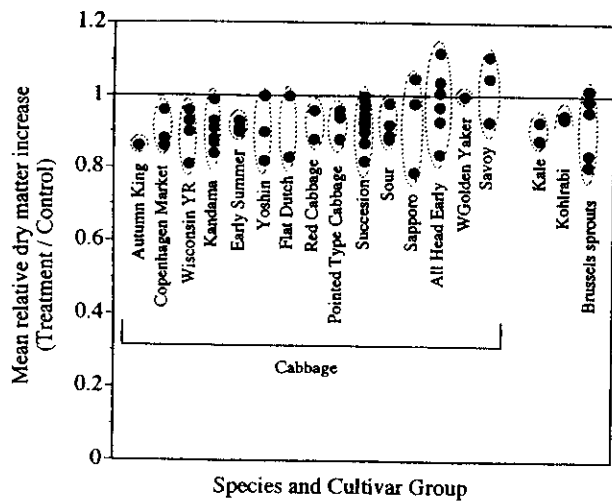


Fig.4 Effect of the treatment on dry matter increase of seedlings of *Brassica oleracea* (cabbage, Brussels sprouts, kale and kohlrabi) in Exp. I-1. One data point shows one cultivar. Data points in a same circle with Brake line belong to a same cultivar group of cabbage or a same species.

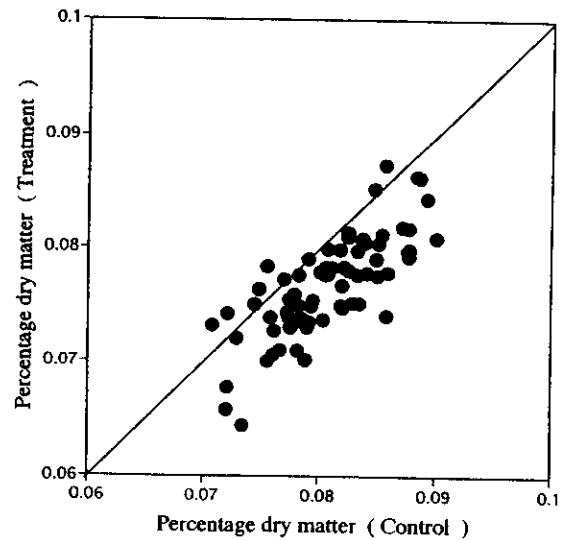


Fig. 5 Effect of the treatment on percentage dry matter of seedlings of *Brassica oleracea* (cabbage, Brussels sprouts, kale and kohlrabi) in Exp.I-1. One data point shows one cultivar.

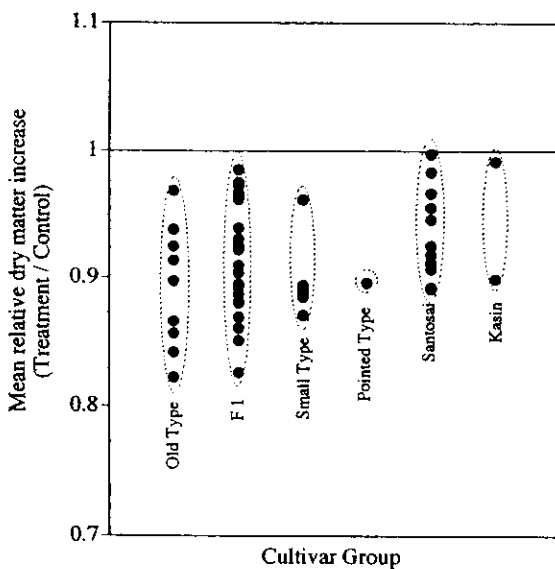


Fig.6 Effect of the treatment on dry matter increase of seedlings of *Brassica campestris* (Chinese cabbage) in Exp. I-2. One data point shows one cultivar. Data points in a same circle with Brake line belong to a same cultivar group.

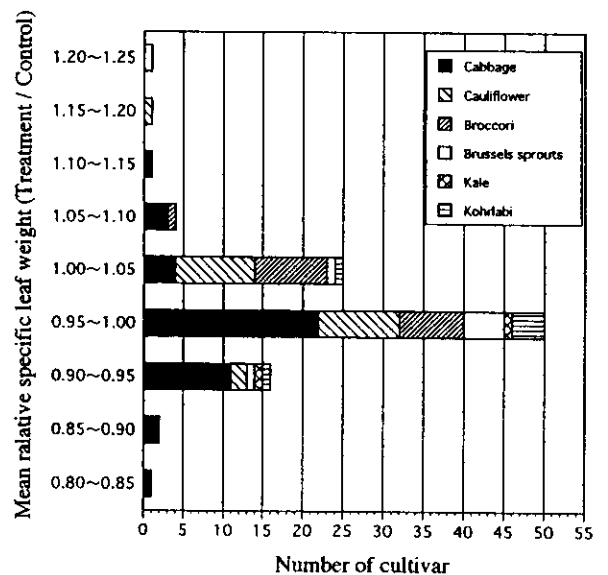


Fig.7 Effect of the supplemental UV-B on specific leaf weight of seedlings of *Brassica oleracea* (cabbage, cauliflower, broccoli, Brussels sprouts, kale and kohlrabi) in Exp. II-1-1~6

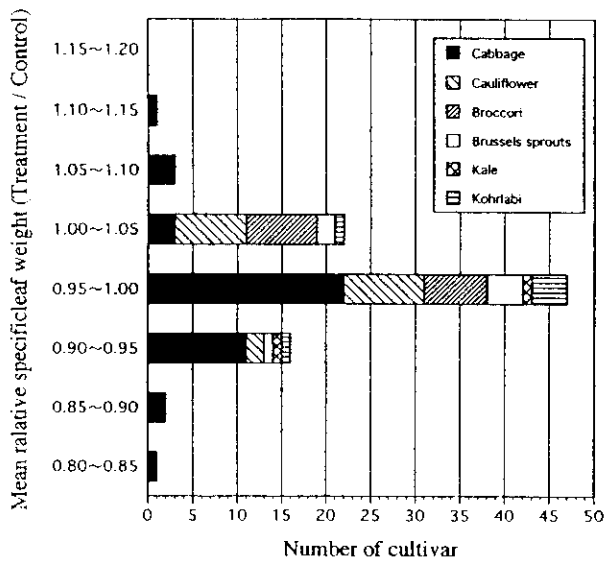


Fig. 8 Effect of the supplemental UV-B on specific leaf weight of seedlings of *Brassica oleracea* (cabbage, cauliflower, broccoli, Brussels sprouts, kale and kohlrabi) in Exp. II-1-1~6

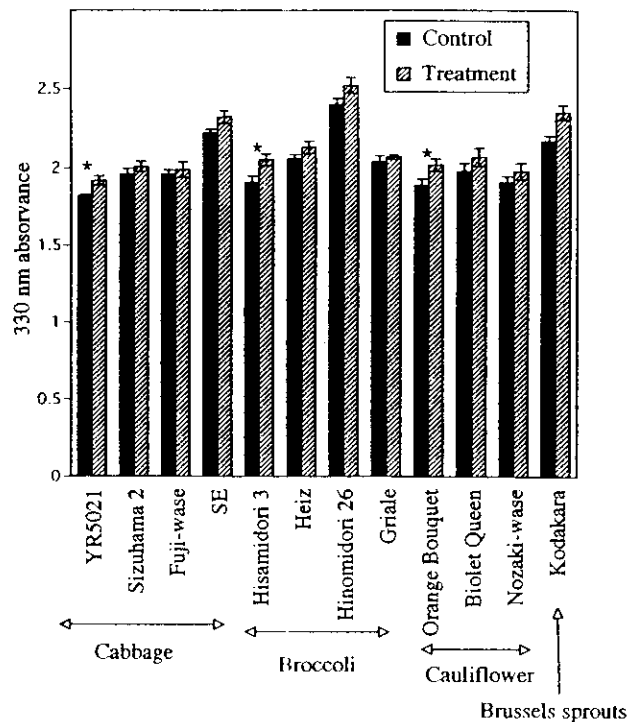


Fig. 9 Effect of the supplemental UV-B on flavonoids level of seedlings of *Brassica oleracea* (cabbage, cauliflower, broccoli and Brussels sprouts) in Exp. II-1-7. Flavonoids are represented by the leaf extract absorbance peak at 330 nm. Each bar is a mean of 16 plants ( $\pm$  SE). The value of the pair of bars below \* were significantly different at  $P < 0.05$ .

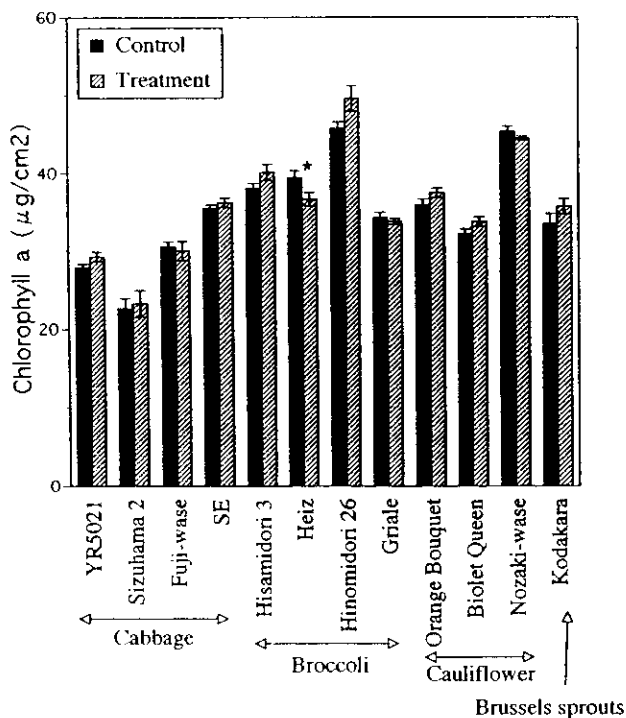


Fig. 10 Effect of the supplemental UV-B on chlorophyll a content of seedlings of *Brassica oleracea* (cabbage, cauliflower, broccoli and Brussels sprouts) in Exp. II-1-7. Each bar is a mean of 16 plants ( $\pm$  SE). The value of the pair of bars below \* were significantly different at  $P < 0.05$ .

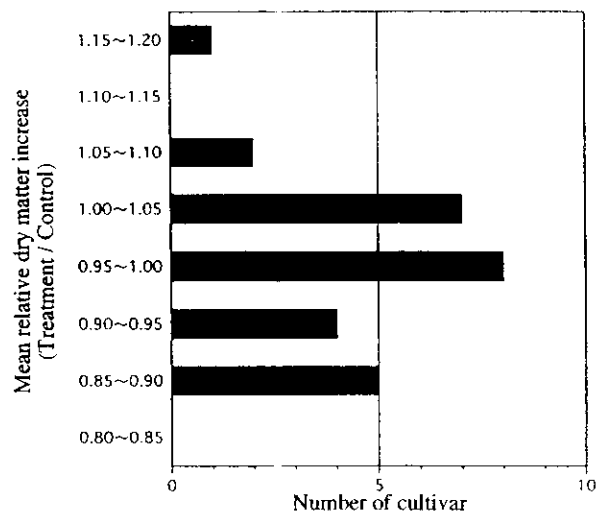


Fig. 11 Effect of the supplemental UV-B on dry matter increase of seedlings of *Brassica campestris* (Chinese cabbage) in Exp. II-2

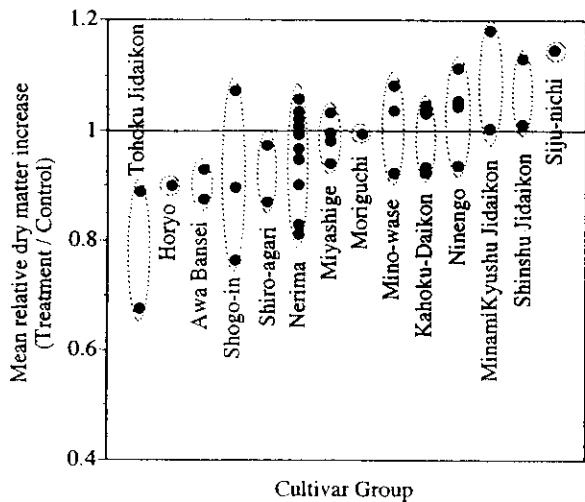


Fig.12 Effect of the supplemental UV-B on dry matter increase of seedlings of *Raphanus sativus* (radish) in Exp. II-3-1. One data point shows one cultivar. Data points in a same circle with Brake line belong to a same cultivar group.

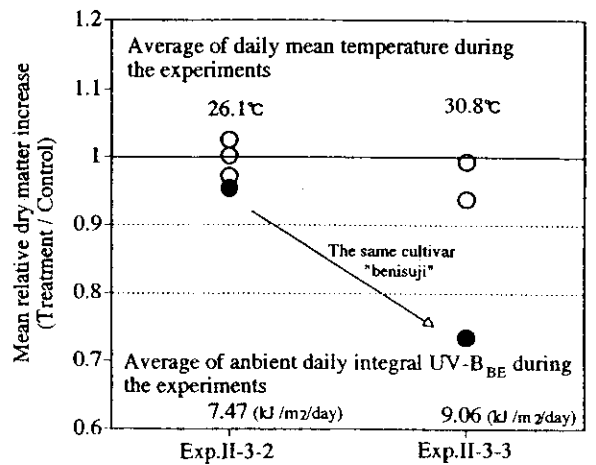


Fig.13 Effect of the supplemental UV-B on dry matter increase of seedlings of *Raphanus sativus* (radish) in Exp. II-3-2~3. One data point shows one cultivar. Data points in a circle with Brake line belong to a same cultivar group.

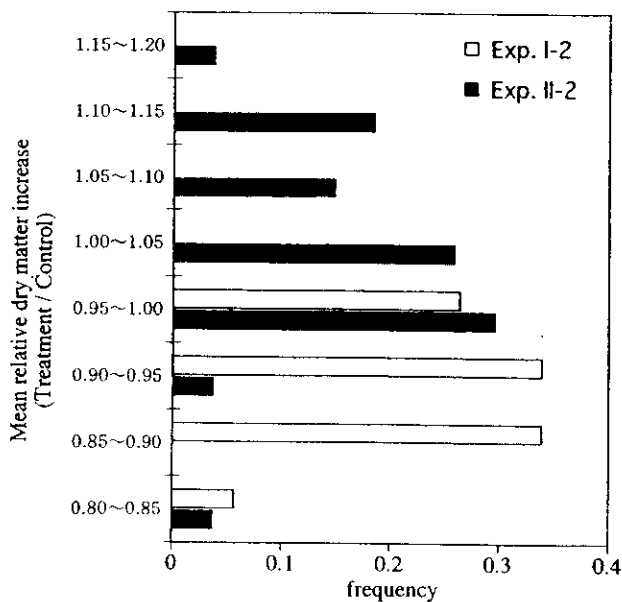


Fig.14 Effect of the difference of solar radiation in the control plots between Exp. I-2 and Exp. II-2 on dry matter increase of seedlings of *Brassica campestris* (Chinese cabbage)

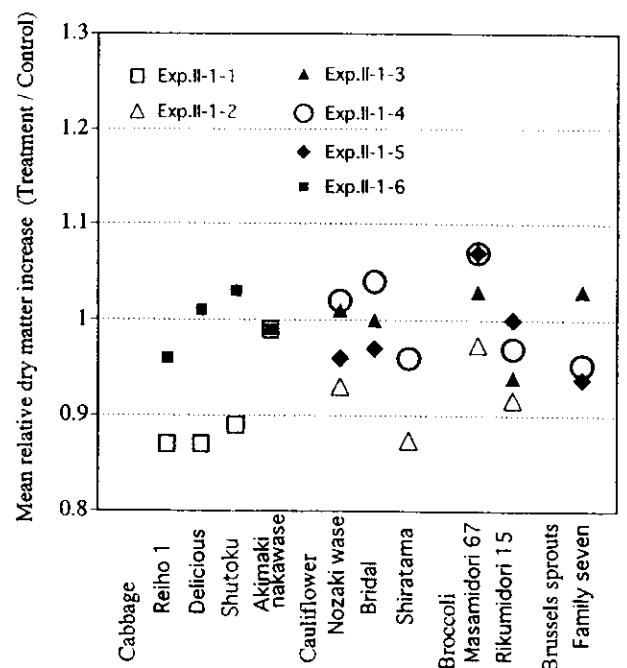


Fig.15 Diversity of the results of the same cultivars of *Brassica oleracea* (cabbage, cauliflower, broccoli and Brussels sprouts) which seedlings were exposed to the supplemental UV-B repeatedly during Exp. II-1-1~6

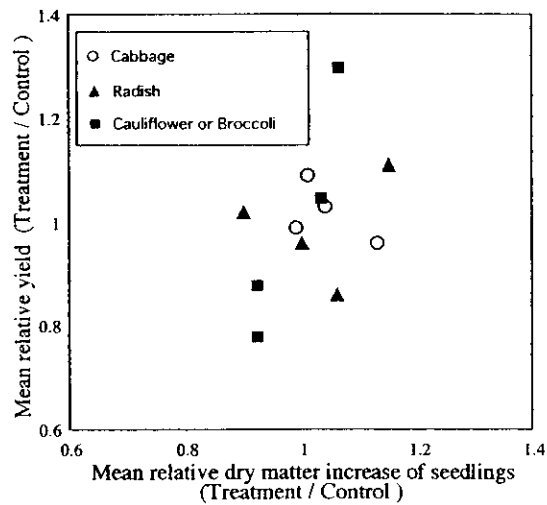


Fig.16 Relation between dry matter increase of the experiments with seedlings and yield of the yield experiments

Table 1 Summary of the experiments with seedlings

No. of Exp.	Species(No. of cultivar)	Date of seeding	Period of Exp.
I - 1	cabbage(61),Brussels sprouts(5),Kohlrabi(4),kale(2)	1996,Aug.26 to 28	Sep.21 to Oct. 8
I - 2	Chinese cabbage(53)	1996,Oct. 3	Oct.21 to Nov.19
II - 1 - 1	Cabbage(33),Brussels sprouts(2),Kohlrabi(1)	1997,May 6	May 28 to Jun.20
II - 1 - 2	cauliflower(8),broccoli(8),cabbage(3), Brussels sprouts(3),Kohlrabi(4),kale(2)	1997,Oct. 3	Oct.30 to Nov.25
II - 1 - 3	califlower(4),broccoli(4),Brussels sprouts(1)	1998,Mar.19	Apr.13 to May 8
II - 1 - 4	califlower(6),broccoli(3),Brussels sprouts(1)	1998,Apr.10	May 2 to May 26
II - 1 - 5	califlower(3),broccoli(4),Brussels sprouts(1)	1998,May 15	Jun. 2 to Jun.30
II - 1 - 6	cabbage(7),cauliflower(1)	1998,Jun.16	Jul.13 to Jul.28
II - 1 - 7	cabbage(4),cauliflower(3),broccoli(4), Brussels sprouts(1)	1998,Oct.23	Nov.16 to Dec.18
II - 2	Chinese cabbage(27)	1997,Sep. 1 to 2	Sep.16 to Oct. 6
II - 3 - 1	radish(44)	1997,Sep.10	Sep.10 to Oct. 9
II - 3 - 2	radish(4)	1998,May.19	May.19 to Jun.18
II - 3 - 3	radish(3)	1998,Jun.26	Jun.26 to Jul.23

Table 2 Summary of the yield experiments

No. of Exp.	Species(No. of cultivar)	Date of seeding	Period of Exp.
III - 1	cabbage(4)	1996,Nov. 8	1997,Jan.13 to May.22
III - 2	radish(4)	1997,Oct.22	1997,Oct.25 to Feb.26
III - 3 - 1	broccoli(2)	1998,Mar.12 or 19	1998,Apr. 8 to Jun. 5
III - 3 - 2	cauliflower(1)	1998,Jun.12	1998,Jul. 8 to Aug.28
III - 3 - 3	cauliflower(1)	1998,Sep.10	1998,Oct. 5 to Nov.13



Table 3 Effects of the supplemental UV-B on the yield and growth of cabbage (Exp. III-1)

cultivar	plot	yield(fresh weight of leafy head, g)	total dry weight (g)	dry matter allocation (leafy head/total)	leaf area (cm <sup>2</sup> )
Akimaki-gokuwase 2	treatment	1248±56	148±4	0.54±0.01	8821±434
	control	1216±51	140±4	0.53±0.01	8659±344
	ratio	1.03	1.06	1.02	1.02
Fuji-wase	treatment	1774±44	145±2	0.54±0.01	9492±250
	control	1849±64	142±3	0.59±0.02	9125±358
	ratio	0.96	1.02	0.91	1.04
Akimaki-nakawase	treatment	1218±39	154±5	0.45±0.01	11144±360
	control	1235±35	147±2	0.47±0.01	10056±245
	ratio	0.99	1.05	0.97	1.11
SE	treatment	1242±46	196±6	0.40±0.01	12155±386
	control	1137±49	224±3	0.36±0.01	12282±260
	ratio	1.09	0.87	1.09	0.99

Mean±S.E.

Table 4 Effects of the supplemental UV-B on the yield and growth of radish (Exp. III-2)

cultivar	plot	yield(fresh weight of edible root, g)	total dry weight (g)	root length (mm)	leaf area (cm <sup>2</sup> )
Shijunichi-daikon	treatment	383±16	41.6±1.9	307±10	2800±213
	control	350±17	39.7±2.3	298±9	2723±237
	ratio	1.10	1.05	1.03	1.03
Taiyo-sobutori	treatment	559±22	52.8±1.3	257±18	4036±123
	control	586±27	54.6±1.7	263±18	4028±90
	ratio	0.95	0.97	0.98	1.04
Kono-shogoin	treatment	367±26	55.3±2.6	109±4	5354±298
	control	365±23	57.5±2.3	113±4	5243±177
	ratio	1.00	0.96	0.97	1.02
Suikomi-ninengo	treatment	436±40	52.3±4.8	280±12	2940±197
	control	530±49	56.7±4.4	290±7	3551±321
	ratio	0.82	0.92	0.96	0.83

Mean±S.E.

Table 5 Effects of the supplemental UV-B on the yield and growth of broccoli and cauliflower (Exp. II-3-1~3)

cultivar	plot	yield(fresh weight of flower bud, g)	height of flower bud (mm)	diameter of flower bud (mm)	total dry weight (g)	leaf area (cm <sup>2</sup> )	specific leaf weight(mg/cm <sup>2</sup> )	No. of leaf
Masa-midori	treatment	205±20	123±5	114±7	89.2±3.5	5710±247	8.9±0.2	20.6±0.4
	control	158±10	117±4	106±3	86.2±1.8	5842±166	9.0±0.1	20.7±0.4
	ratio	1.30	1.05	1.08	1.04	0.98	0.99	0.99
Haitsu	treatment	80±6	73±3	96±4	115.8±4.4	6936±239	11.6±0.2	28.0±0.4
	control	103±16	75±6	102±7	118.5±4.2	7999±175	10.4±0.3	27.4±0.4
	ratio	0.78	0.97	0.94	0.98	0.87	1.12	1.02
Bridal	treatment	161±20	72±3	107±6	66.6±3.6	—	—	36.4±1.2
	control	154±15	90±14	108±6	61.5±4.6	—	—	35.7±0.5
	ratio	1.05	0.80	0.99	1.08	—	—	1.02
Shira-tama	treatment	100±4	55±1	100±1	18.3±1.1	—	—	25.1±0.6
	control	114±4	56±1	102±2	20.9±1.7	—	—	23.4±0.4
	ratio	0.88	0.98	0.98	0.87	—	—	1.07

Mean±S.E.