

# 光合成促進機能などを持つ農業用ネットに関する研究(1)

Research on the Agricultural Net Having Promotion Effect of Photosynthesis (1)

高村 泰雄 \*1

Yasuo KOMURA

平田 陽一 \*3

Youichi HIRATA

伊藤 光洋 \*2

Mitsuhiro ITO

谷 卍夫 \*4

Tatsuo TANI

河野 光咲 \*2

Misaki KONO

谷内 利明 \*5

Toshiaki YAUCHI

## Abstract

By using the promotion technology of photosynthesis into growth of plant, energy conservation is possible. It is expected that this will contribute to solution of the global warming issue in this century. In this paper, the nets for agriculture with the effect urged to the photosynthesis developed by the authors are described. The radish was grown in the incubator using the agricultural nets which stimulates promotion of photosynthesis. As a result, the weight of the radish increased about 15% applied the agricultural nets compared with the case where the nets are not used. These experimental results showed that the agricultural nets was effective.

キーワード：光合成、蛍光染料、波長変換素子

Keyword : photosynthesis, fluorescence dye, wavelength shift material

## 1. はじめに

近年、途上国を中心とした人口爆発が続いている。一説によれば、地球人類の人口は 2050 年には 100 億近くに達するといわれる。それらの人々を飢えさせることなく、人類の持続的な発展を続けることを可能とするだけの食料を確保することは、21 世紀における地球人類にとっての最重要課題といえる。

しかし、世界規模で頻発する異常気象、進行する砂漠化は衰える様子を見せない。加えて、我が国をはじめとする一部の先進国では、農業従事者数の大幅な減少が続いている。更に、近い将来には石油をはじめとする化石燃料が枯渇するといわれている。

農地面積、労働力、投入エネルギーが限られるという制約条件のある中、如何にして課題を克服していくのか。この課題克服の方策として、筆者らは太陽光の有効活用による農作物の増産を提案する。

植物の光合成反応において必要とされる太陽光スペクトルは限られる<sup>1) 2)</sup>。そこで、光合成反応への作用の小さい波長帯の光を波長変換し、作用の大きい波長帯の光を農作物へと照射する。これにより、農作物の収穫量増加、栽培期間短縮などが期待できる。また、太陽光を有効活用する手法であるため、電気エネルギーなどの投入が最小限で済み、省エネルギー効果も期待できる。

筆者らは、このような観点から光合成促進機能などを持つ農業用ネットの開発に関する基礎研究を行ってきた。

すなわち、波長変換特性を持つ蛍光染料を混入した、光合成促進機能などを持つ農業用ネットの試作品（以下、農業用ネットという）を用い、農作物の光合成を促進することにより、食糧生産能力向上を目指す。

本論文は第一報として、農業用ネットをさくらんぼ廿日大根（株式会社サカタのタネ製）育成に適用して栽培実験を実施し、光合成促進効果があることを論述したものである。なお、日照時間、外気温、降雨量、病害虫等による影響を排し、農業用ネットによる光合成促進効果にのみ注目した実験とするため、本実験は照明付インキュベータ（東京理化機械株式会社製：LST-300 型）内部にて実施した。

本論文の構成はまず、光合成反応スペクトル分布について概説するとともに、農業用ネットの構成と光学的特性を述べた。

次いで、照明付インキュベータ内部にて、農業用ネット、遮光ネット（スウェーデン、LS Svensson 社製）を適用しての栽培した廿日大根の収穫量を比較し考察している。

## 2. 植物の光合成反応スペクトル

図 1 は植物の光合成反応スペクトルであり、横軸は波長(nm)、縦軸は光合成に対する相対効率である。

波長が 600~700nm の光は、他に比べ植物の光合成への効果が大きく、400~500nm の光の約 2 倍である。

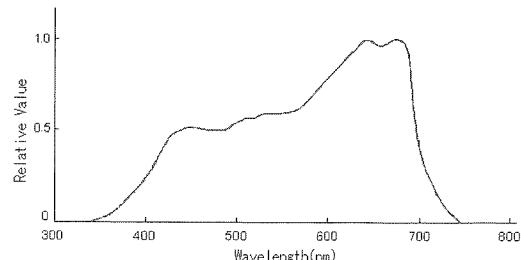


Fig.1 Spectrum distribution available for photosynthesis<sup>3)</sup>

\*1 諏訪東京理科大学大学院 工学・マネジメント研究科学生  
(〒391-0292 長野県茅野市豊平5000-1)

e-mail : jgh06612@ed.suwa.tus.ac.jp

\*2 諏訪東京理科大学 システム工学部学生

\*3 諏訪東京理科大学 システム工学部講師

\*4 諏訪東京理科大学 システム工学部教授

\*5 諏訪東京理科大学 工学部教授

(原稿受付：2007年3月5日)

図2はさくらんぼ廿日大根(株式会社サカタのタネ製)の葉の吸光特性である。その特性はこの大根の葉を乳鉢ですりつぶして、純水100ccに対して1ccの割合で溶かした溶液を測定したものである。測定器は分光光度計(島津製作所製:UV-2550)を使用した。図の横軸は波長(nm)であり、縦軸は吸光度である。波長が500nm以下および650~700nmの光の吸光特性は高く、500~650nmおよび700nm以上の光の吸光特性は低いことが分かる。

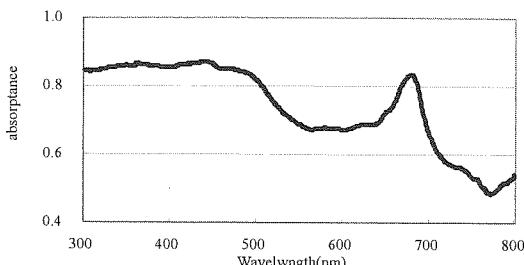


Fig.2 Absorption spectrum of radish leaf

一方、380~580nmの青色帯、580~780nmの赤色帯について、式(1)で定義されるR/B比がある。この値が大きいほど光合成の効率が向上する可能性があると報告されている<sup>4)</sup><sup>5)</sup>。

$$R/B = \frac{\int_{380}^{580} \{E_\lambda / (h v_\lambda)\} / N_a d\lambda}{\int_{580}^{780} \{E_\lambda / (h v_\lambda)\} / N_a d\lambda} \quad (1)$$

E<sub>λ</sub> : 波長λにおける放射照度 (W/m<sup>2</sup>)  
h : プランク定数  
ν : 周波数 (Hz)  
N<sub>a</sub> : アボガドロ数

なお、太陽光の基準スペクトル分布(日射強度1kW/m<sup>2</sup>, エアマスAM=1.5)におけるR/B比は0.94である。

### 3. 農業用ネットの基礎特性

図3は農業用ネットである。ネットを構成している糸はポリエチレンテレフタレート(PET)に対し、蛍光染料Lumogem F RED-300(ドイツ、BASF社製)を0.02%の濃度で混入したものである。

図3の場合、0.2mm細糸に加工したものが横糸13.5mm、縦糸23.0mmの間隔で編まれている。

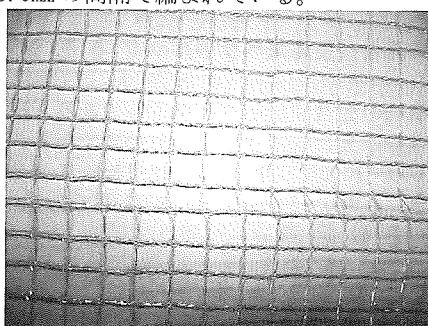


Fig.3 Agricultural net with promotion effect of photosynthesis

図4は蛍光染料Lumogem F RED-300の300~800nmの波長範囲で測定した吸光、蛍光特性である。図の横軸は波長(nm)である。縦軸は入射光の強度を1.0とした相対値であり、正は蛍光度、負は吸光度を意味する。測定は分

光蛍光光度計(日立ハイテクノロジーズ製:F-2500)および、先に説明した分光光度計により行った。

この特性より廿日大根の葉の吸光度の低い500~600nmの光を吸光し、それよりも光合成への寄与の大きい603nmを頂点とした光を蛍光しており、光合成促進が期待できる。

また、図より明らかのように青色帯に含まれる380~580nmに含まれる光を吸光し、580~780nmに含まれる光を蛍光しており、R/B比の増大が期待できる。

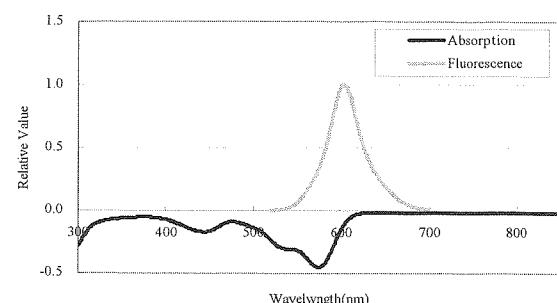


Fig.4 Spectral distribution characteristics of fluorescent dye (Lumogem F RED-300)

### 4. 遮光ネットの基礎特性

遮光ネットは作物栽培において作物への入射光が強すぎる場合、入射光を減光させるために使用するネットである。本研究では、入射光の減光に対する光合成作用の減退割合を定量的に測定するために、サンプル1から5の5種類の遮光ネット(スウェーデン、LS Svensson社製)を用いた。図5にサンプル4の概要を示す。

図6はサンプル4の太陽光スペクトルに対する遮光特性であり、横軸は波長(nm)、縦軸はスペクトルの放射束密度(W/m<sup>2</sup>·μm)である。なお、測定場所は諏訪東京理科大学構内、測定日時は平成19年2月21日13時48分であり、測定機器は回折格子型分光放射計(英弘精機製:MS-700、測定範囲:350~1050nm)を用いた。図から明らかのように、測定範囲において均一に減光されており、この範囲の遮光率は45.0%である。

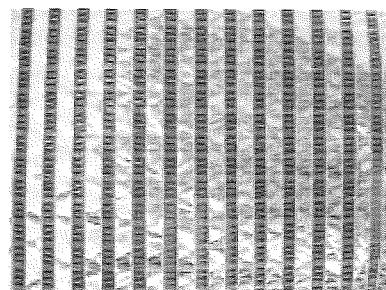


Fig.5 Appearance of shading net for No. 4 sample

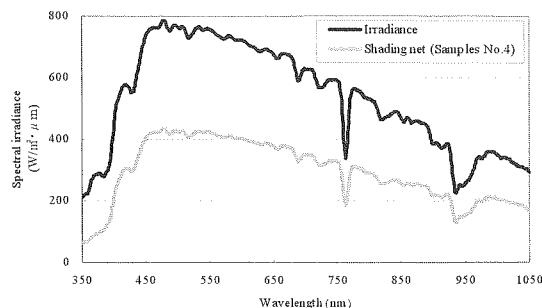


Fig.6 Spectral distribution characteristics of shading net for No.4 sample

## 5. 照明付インキュベータ

### 5. 1 概要

図7は、本実験で用いた照明付インキュベータ（東京理化機械株式会社製：LST-300型）である。

内部容積は0.306m<sup>3</sup>（高さ：1.05m×幅：0.53m×奥行：0.55m）であり、光源として40Wの白色蛍光灯15本が装着されている。また、内部は3つの育成スペースから構成されており、各育成スペースの容積は0.087m<sup>3</sup>（高さ：0.30m×幅：0.53m×奥行：0.55m）である。

この機器は内部の入射光強度、温度、湿度などを自由に制御可能である。また、内部は密閉空間であるため、外気温、病害虫などの影響も排することができる。このことから、農業用ネットによるR/B比の変化のみに注目した実験を可能にする機器といえる。

なお、回折格子型分光放射計により測定した結果、機器内部の入射光のR/B比は0.54であった。



Fig.7 Incubating apparatus with light source

### 5. 2 入射光スペクトル

図8は照明付インキュベータ内部の各育成スペースにおける入射光スペクトルであり、表1にその積算値を示す。図8の横軸は波長(nm)であり、縦軸はスペクトルの

放射束密度(W/m<sup>2</sup>·μm)である。測定は折格子型分光放射計により行った。

図8、表1から明らかなように、育成スペース間において入射光スペクトルの積算値が異なる。このことによる影響を排するため、実験期間中は2日間隔でローテーションを行うこととした。

なお、この環境下において28日間の栽培実験を行った場合の入射光の積算値は22.5kWh/m<sup>2</sup>となる。

## 5. 3 農業用ネットの光学的特性

図9は照明付インキュベータ内部における農業用ネットのスペクトル特性であり、表2は照明付インキュベータ内部における入射光に対する農業用ネットのR/B比および遮光率である。図9の横軸は波長(nm)であり、縦軸はスペクトルの放射束密度(W/m<sup>2</sup>·μm)である。測定は照明付インキュベータ内部を空にし、回折格子型分光放射計により行った。

図9、表2のFreeはネット適用なし、農業用ネット(A)は農業用ネットを単体で、農業用ネット(B)は3枚重ねて、農業用ネット(C)は5枚重ねて、適用した状態を指す。

農業用ネットを適用することでR/B比を増大させることができるのである。また、同時に農業用ネットを適用したことにより入射光の減光が発生している。

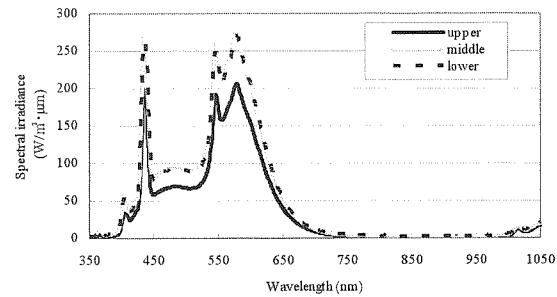


Fig.8 Spectral distribution characteristics of irradiance in incubator

Table.1 Scatter of irradiance in incubator

Position	Irradiance (W/m <sup>2</sup> )	Relative value
Upper	27.24	1.00
Middle	37.11	1.36
Lower	36.12	1.33

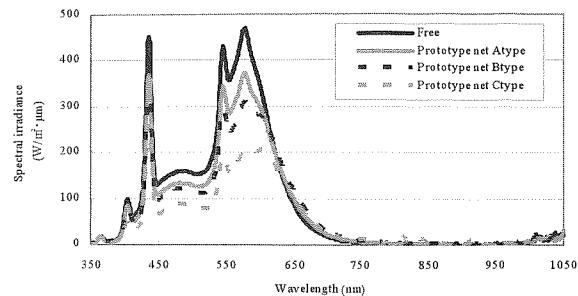


Fig.9 Spectrum distribution characteristics of agricultural net in incubator

Table.2 R/B ratio and shading rate of agricultural nets in incubator

	R/B	Shading rate (%)
Free	0.54	0
A type	0.63	14
B type	0.74	20
C type	0.85	40

#### 4. 4 遮光ネットの光学的特性

表3は照明付インキュベータ内部の入射光に対する遮光ネットの遮光率である。測定は回折格子型分光放射計により行った。

太陽光スペクトルとは性質が異なるため、図6に比べサンプル4の遮光率は11.2%低下している。

Table.3 Shading net (LS Svensson Co)

Samples No.	Shading rate (%)	Trade name
1	3.0	Mikado Chouju
2	12.0	SLS30
3	19.1	SW-40
4	33.8	XLS15F
5	47.6	SLS70

### 6. 栽培実験

#### 6. 1 概要

筆者らは農業用ネットの有効性を確認するため、照明付インキュベータを用い、農業用ネット、遮光ネットを適用しての栽培実験を実施した。実験は下記の2つについて行った。

##### 1) 遮光ネットによる光合成減退効果の定量的評価

表2に示したように、農業用ネットを用いることにより入射光の減光が発生する。例として図6に示したような遮光ネットを用い、入射光を減光させての栽培実験を行い、減光による光合成減退効果の定量的評価を行うことにより、農業用ネットによる減光の許される範囲について検討した。

##### 2) 農業用ネットの光合成促進効果の定量的評価

実験(1)を踏まえ、農業用ネットを適用しての実験栽培を行う。農業用ネットによる光合成促進効果の定量的評価を行うことにより、ネットの有効性について検討した。

### 6. 2 実験方法

照明付インキュベータ内部環境は温度20°C、湿度50%、1日のサイクルは点灯時間16時間、消灯時間8時間で一定とした。

試験区は農業用ネット(A)、農業用ネット(B)、農業用ネット(C)を適用した試験区およびFreeの4種類を設定した。また、各試験区への入射光の積算値が等量となるように、2日間隔で位置のローテーションを行った。

栽培する農作物はさくらんぼ廿日大根(株式会社サカタのタネ製)とし、同一のポリポット(直径:100mm×高

さ:90mm)、同一の土壌を使用した。各ポリポットに種を3粒ずつまき、発芽した後に各ポリポットに1株となるように間引きするものとした。

なお、灌水は定期的には行わず、土壌が乾燥した場合に行うものとした。実験期間が28日と短期間であるため、追肥は行わないこととした。

#### 6. 3 評価方法

各試験区で収穫された廿日大根の実の重量を比較し、遮光ネットによる光合成減退効果および、農業用ネットの光合成促進効果について評価する。

本実験では、農業用ネットおよび、遮光ネットを適用したこと以外の栽培条件はすべての試験区において同様であるため、収穫量に変化が生じた場合、それは適用したことによるものである。

これまで述べてきたとおり、農業用ネットは波長変換特性によりR/B比を増大させ、光合成に有効な波長帯の光を植物に照射する効果を持つ。つまり、この状況下で収穫量が増加した場合、それは農業用ネットを適用したことにより、光合成が促進された結果であるといえる。

また、遮光ネットを使用した場合についても、同様に収穫量の低下から、減光による光合成減退効果について評価することができる。

#### 6. 4 遮光ネットによる栽培実験

図10はH18.1.16からH18.12.27にかけ2回行った、遮光ネットによる光合成減退効果の定量的評価に関する実験結果である。図10の横軸はR/B比であり、縦軸はネットFreeを1.0とした収穫量の相対値である。なお、ここでいう収穫量とは、収穫した廿日大根の実の重量のことである。また、Freeの収穫量が第1回栽培実験では42.8g、第2回栽培実験では59.0gとばらついたため、収穫量を相対値で示すこととした。

入射光を減光した場合、収穫量が低下しているが、近似曲線を見ても分るように、直線的に低下するのではなく、なだらかな曲線の形で低下している。

このことから、減光による光合成の減退効果は、減光が少ない場合には小さいといえる。

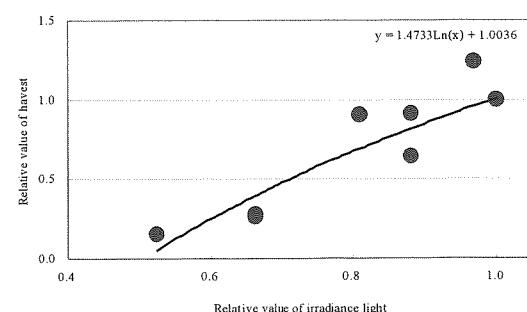


Fig.10 Experimental results of radish harvest applied shading nets

図11は第2回栽培実験において、Free、サンプル2、サンプル4の試験区にて、H18.11.29から3週間生育させた廿日大根である。遮光率が上昇するにつれ、葉の色が薄くなり、生育が不良となっている。

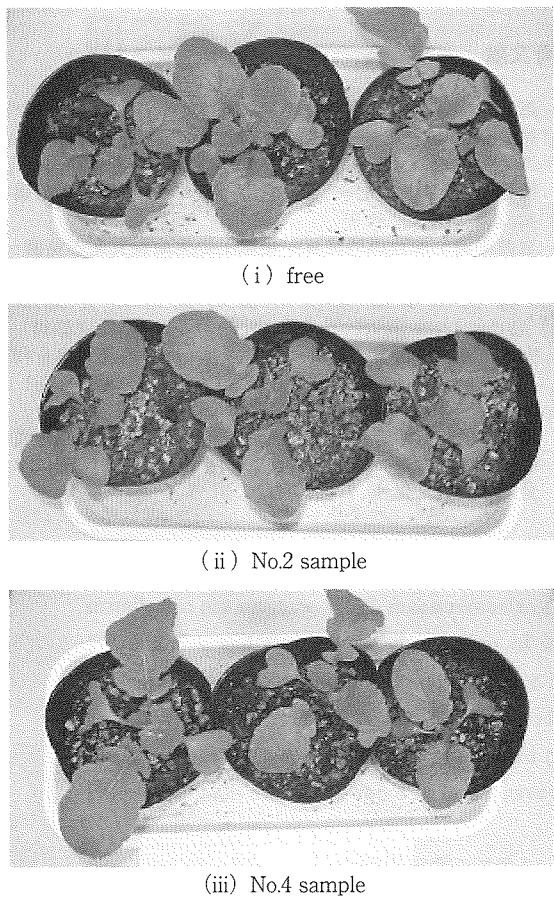


Fig.11 Photographs of radish leaves applied shading nets

### 6. 5 農業用ネットによる栽培実験

図12はH18.4.19からH19.2.6にかけ5回実施した農業用ネットの光合成促進効果の定量的評価に関する実験結果である。図12の横軸はR/B比であり、縦軸はネットFreeを1.0とした収穫量の相対値である。なお、図10と同様に、収穫量とは収穫した甘日大根の実の重量のことであり、図中の曲線は図10中の近似曲線と同一の曲線である。また、Freeの収穫量が5回の栽培実験において30.9gから93.9gとばらついたため、収穫量を相対値で示すこととした。

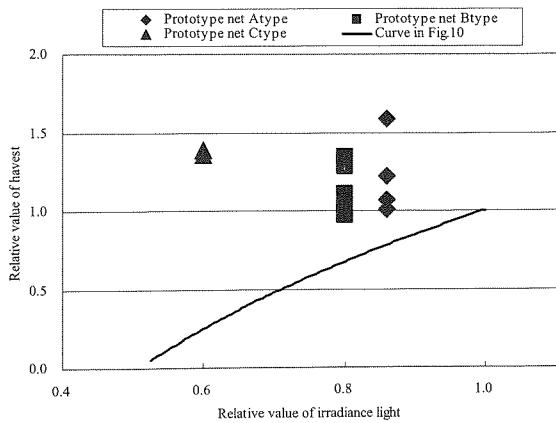


Fig.12 Experimental results of radish harvest applied agricultural nets in incubator

図12より明らかなように、第4回栽培実験の農業用ネット(B)の1点を除き、他のすべての点において農業用ネットを適用することにより甘日大根の収穫量が上昇している。これは農業用ネットを適用することによりR/B比が増大し、甘日大根の光合成が促進されたためであり、農業用ネットが有効であることを示している。

ただし、表2で示したように農業用ネットを用いることでR/B比が増大すると同時に、入射光の減光が発生する。図10より明らかなように入射光が減光されれば収穫量は減少する。筆者らはこの2つの効果の間、すなわちR/B比増大による光合成促進効果と、減光による光合成減退効果の間に、収穫量が最大となる最適条件が存在すると考えている。

図13は第1回栽培実験において、Free、農業用ネット(A)、農業用ネット(B)、農業用ネット(C)の試験区にて、H18.4.19から4週間生育させた甘日大根である。農業用ネットを適用した甘日大根の葉は色付きがよく、Freeに比べ、大きく育っている。

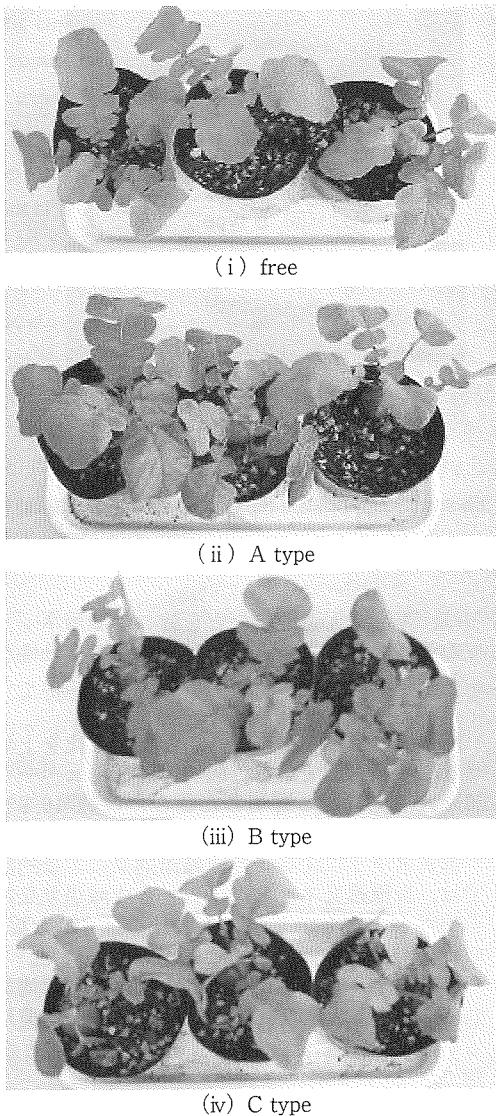


Fig.13 Photographs of radish leaves applied agricultural nets

図14は第2回栽培実験において、Free、農業用ネット

(A)、農業用ネット(B)、農業用ネット(C)の試験区にて、H18.5.23から30日間させた廿日大根の実である。農業用ネットを適用した廿日大根の実は、Freeの実に比べ、大きく育っている。

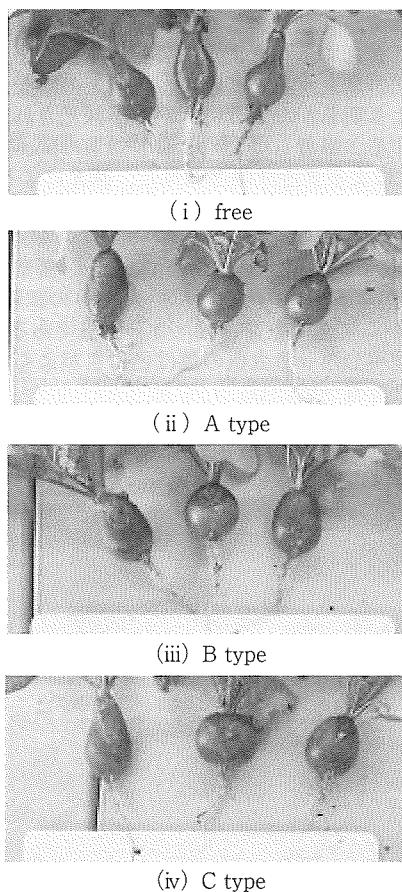


Fig.14 Photographs of radish harvest applied agricultural nets

## 7. おわりに

筆者らは、光合成促進機能などを有する農業用ネットを適用しての廿日大根の栽培実験を行い、その有効性を検討した。その結果は次のようなことが分かった。

- 1) 農業用ネットを適用することでR/B比を上昇させることが可能である。照明付インキュベータ内部の入射光に対し適用した場合には約16.6%増大させる。
- 2) 遮光ネットによる光合成減退効果の定量的評価では、各種遮光ネットによる光合成減退効果特性を取得することができ、入射光を遮光した場合、収穫量が急激に低下することが確認された。
- 3) 農業用ネットを適用することにより、平均して21.9%収穫量が増加した。これにより、農業用ネットは明らかに光合成促進効果を持つことが確認できた。

今後は、屋外での栽培実験の実施、農業用ネットの耐久性の取得等を行い、農業用ネットの有効性を更に明らかにし、光合成促進、減退効果の間に存在する最適条件について検討する予定である。

## 参考文献

- 1) 西村、Zobayed、古在、後藤；青色および赤色蛍光ランプの光質がセントジョンズワート(Hypericum perforatum L.)の生長に及ぼす影響、植物環境工学—植物工場の実用化/情報化/システム化— 第18巻第3号、日本植物工場学会、225-229、(2006, 9)
- 2) 岩波洋造：光合成の世界—地球上の生命を支える秘密—、株式会社講談社、73-107、(1970. 9)
- 3) 植物工場研究所 <植物栽培用光源>。  
(<http://www.sasrc.jp/kougen.htm>) . 2007. 3. 2 取得
- 4) 安部、油谷、西方、平田、谷内、谷：光の波長変換を利用したクロレラの增幅に関する研究、太陽エネルギー、Vol. 30, No. 1, 35-40 (2004. 1)
- 5) 高村、伊藤、河野、松田、伊東、奥、平田、谷；光合成促進機能などを有する農業用ネットに関する研究(5)、電気学会全国大会論文集No. 7-001 (2007. 3)