

光合成促進機能などを持つ農業用ネットに関する研究(2)

Research on the Agricultural Net Having Promotion Effect of Photosynthesis (2)

高村泰雄*¹ 小松範彦*² 平田陽一*³ 谷 辰夫*⁴ 谷内利明*⁵
 Yasuo KOMURA Norihiko KOMATSU Youichi HIRATA Tatsuo TANI Toshiaki YACHI

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 outdoor using the agricultural nets which stimulates promotion of photosynthesis. As a result, the weight of the radish increased about 36% 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：農業用ネット、光合成促進、蛍光染料

Keyword : agricultural net, promotion effect of photosynthesis, fluorescent dye

1. はじめに

先に筆者らは太陽エネルギーを有効に利用して食糧増産等を図ることを目的として、光合成促進機能などを持つ農業用ネットを提案し、この農業用ネットによる基礎研究について報告した。その内容はネットの光学特性を把握するとともに、照明付きインキュベータで栽培した、さくらんぼ甘日大根の実験データについて論述したものであった。提案した農業用ネットはネットを使用しない場合に比べ、R/B 比（入射光の赤色光波長帯域に対する青色光波長帯域の光子密度の比）を約 17% 増加させ、それに伴って収穫量を約 22% 増加させることができたことであった¹⁾。

これらのデータは光合成促進が確認できたとはいえ、限られた栽培条件におけるインキュベータでの栽培実験の結果であった。本論文は、第 2 報として先に提案した農業用ネットを、露地栽培へ適用した結果について論述したものである。実験に用いた作物の種類は甘日大根、ハウレン草、小松菜である。また、栽培実験を行った場所は長野県上伊那郡箕輪町中箕輪である。さらに、栽培期間は平成 19 年 8 月より 12 月までの 4 ヶ月余りである。栽培実験の結果、実験回数が少ないものの、明らかに筆者等が提案している農業用ネットは収穫量を増加させる効果があることを示した。

2. 植物の光合成反応スペクトル

図 1 はさくらんぼ甘日大根の葉の吸光特性である。図の横軸は波長 λ (nm) であり、縦軸は 100% の吸光度を 1.0 とした際の相対値である。試料として栽培（栽培期間 28 日）後の甘日大根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作成した。図の特性はこの溶液を用いて吸光度を測定した結果である。測定装置は分光光度計（島津製作所製 UV-2500）を使用している。図から 500nm 以下と 650~700nm の波長の吸光度が高く、500~650nm と 700nm 以上の吸光度が低いことが分る。このことは甘日大根の葉は波長選択性を有しており、植物の光合成反応において太陽光スペクトルは限られるとの報告にも一致している^{2) 3)}。

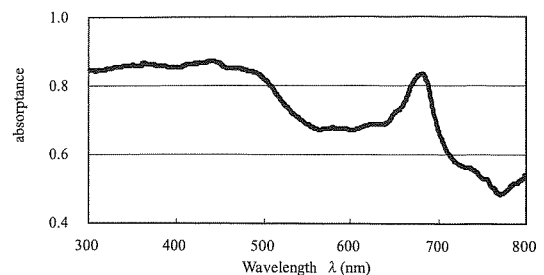


Fig.1 Absorption spectrum of radish leaf

一方、植物の生育に関する照射光の強さの指標として PPFD が用いられる⁴⁾。この値は入射光の赤色、青色波長帯域のそれぞれの光が単位時間単位面積に入射する光子数をアボガドロ数で除し、それぞれの波長帯域で積分した値で定義されている。本論文では、この値が植物の生育における光環境を表す指標であることから、式(1)で定義される R/B 比を用いた⁵⁾。なお、青色光 (B) の波長範囲は 380~580nm であり、赤色光 (R) のそれは 580~780nm である。

*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 システム工学部准教授

*4 諏訪東京理科大学 システム工学部教授

*5 東京理科大学 工学部教授

(原稿受付：2008年3月25日)

また、光量子束密度の比である R/B 比は植物の生育に大きく関与し、特に赤色光の重要性が報告されている²⁾。

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

E_{λ} : 波長 λ における放射照度 (W/m^2)
 h : プランク定数
 ν_{λ} : 周波数 (Hz)
 N_a : アボガドロ数

3. 農業用ネットの特性

図 2 は試作した農業用ネットの外観の一例である。ネットはポリエチレンテレフタレート (PET) の細糸 (0.2mm ϕ) に蛍光染料 Lumogem F RED-300 (ドイツ BASF 社製) を 0.02% の重量% で混入させたものを約 10 本撚り合わせて、縦糸、横糸を構成した。その間隔は横約 15.0mm、縦約 25.0mm となるように設計し編んである。これは細線を撚り合わせることで、光の吸収率を増加させることと波長変換後、多方向に蛍光させ植物へより多量照射させるためである。

農業用ネットとして 2 種類を構成した。A タイプは単層構造であり、単層構造のネットを 3 枚重ねた 3 層構造のネットを B タイプとした。

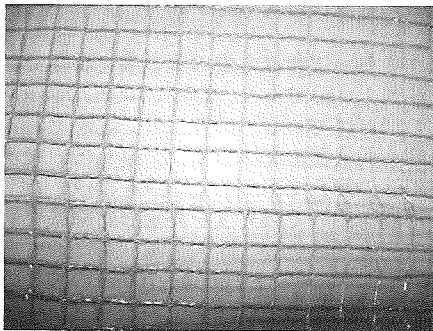


Fig.2 Agricultural net with promotion effect of photosynthesis

図 3 は農業用ネットの光学 (吸光度、蛍光度) 特性である。図の横軸は波長であり 300~800nm の波長範囲が目盛られている。図の縦軸は、波長変換後の蛍光度の最大値を 1.0 とした相対値であり、正の値は蛍光度、負の値は吸光度を表わしている。農業用ネットの吸光度の測定には、先に述べた分光光度計を用い、蛍光度の測定には分光蛍光光度計 (株式会社日立ハイテクノロジー製 F-2500) によっている。この特性と図 1 の特性を比較することにより、農業用ネットは、甘日大根葉の吸光度の低い波長範囲 (500~600nm) の光を吸収し、光合成に寄与する波長範囲にある約 610nm をピークにした、鋭い蛍光を発していることが分る。また、図より青色帯域の光を大幅に吸収していることから、R/B 比の増大を図る事が可能である。

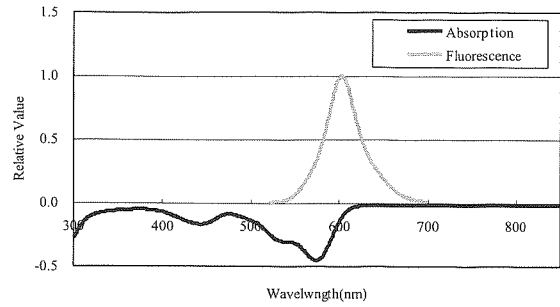


Fig.3 Spectral distribution characteristics of fluorescent dye (Lumogem F RED-300)

図 4 は太陽光スペクトル分布と農業用ネット (B タイプ) のスペクトル分布の測定値である。本学キャンパス (長野県茅野市豊平 5000-1) の校舎屋上で、平成 18 年 5 月 3 日午後 2 時 29 分 (水平面全天日射強度 870W/m²) に測定した結果である。測定は回折格子型分光放射計 (MS-700 英弘精機 (株) 製) によっている。この特性より、農業用ネットは入射光を減光する一種のフィルタとはなっているが、R/B 比が大きくなっていることが分る。表 1 は 2 種類 (A、B タイプ) の農業ネットの R/B 比と遮光率とを測定結果をベースにして比較したものである。入射光として太陽光基準スペクトル分布 (日射強度 1,000W/m², エアマス AM 1.5) を用いた。表中の free とは農業用ネットを用いない場合を意味しており、R/B 比は 0.94 である。ネットを多層にすることにより、ネットの網目が密になり遮光率が増すが、B タイプの農業用ネットの R/B 比は使用しない場合に比べ、12.8% 増加する⁶⁾。

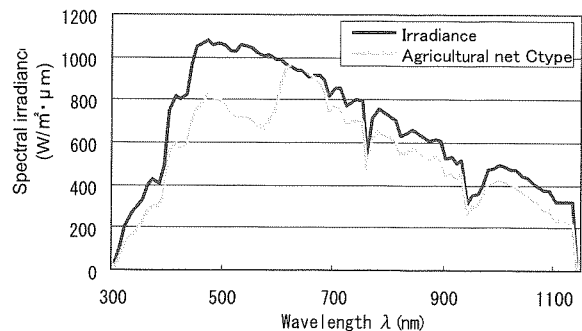


Fig.4 Spectral distribution characteristics of irradiance

Table.1 R/B ratio and shading rate of agricultural nets

	R/B	Shading rate (%)
Free	0.94	0
A type	0.98	14
B type	1.06	20

4. 露地栽培実験と結果

4. 1 実験方法

屋外における農業用ネットの有効性を明らかにするため、長野県南部の上伊那郡箕輪町中箕輪(海拔 750m)にある農地で栽培実験を行った。図5は栽培実験の外観の一部を示したものである。栽培に用いた1区画は畝幅が約1.3m、長さが2.0mであり、この区画内に1枚の面積が2m×2mの農業用ネットをかまぼこ型に配置した。高さは約0.5mであり、栽培面積は2.6m²(幅約1.3m×長さ2m)である。なお、農業用ネットの縁は塩化ビニール状の帯で縁取りしてあるため、かまぼこ型のトンネルの端部は二等辺三角形形状になった。以下に示す3種類の野菜の栽培実験に用いた農地の区画はそれぞれ農業用ネットなし、農業用ネット(A、Bタイプの2種類)使用の合計9区画用意した。これらの区画は互いに農業用ネットの光学特性が干渉しないように、また通路も加味して上下左右の離間距離を各々0.6m取った。

農地は予めトラクターで整地して土壌を均一にするとともに、栽培開始日から9月末日までは、雨天日を除き毎日18時より19時まで散水ポンプで灌水し、農地が乾かないようにした。その後は、常に農地が乾かないように不定期に灌水した。同時に農場の外気温度と水平面全天日射量(回折格子型分光放射計MS-700 英弘精機社製)をも測定した。

栽培実験に用いた野菜の種類は甘日大根(品種:コメット)、ホウレン草(品種:トライ)、小松菜(品種:夏楽天)であり、製造所はいずれもタキイ交配製である。栽培期間は8月7日から12月20日までで、この間の栽培期間は表2に示すと通りである。表2には栽培期間の水平面全天日射量、外気温度(最高温度、最低温度、平均温度)を併せて記載してある。

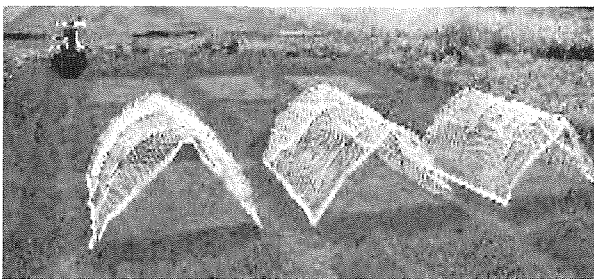


Fig.5 Experiment place of outdoor in Minowa city

Table.2 Experiment condition of outdoor in Minowa town

Plant	Term (2007)	Days	Solar radiation (kWh/m ²)	Ambient Temperature (°C)		
				Max	Average	Min
Radish	Aug 8.7~Sep 9.4	28	104.8	33.8	23.8	15.7
	Oct 10.11~Nov 11.22	43	50.2	21.4	9.4	-3.8
Spinach	Aug 8.9~Sep 9.26	49	154.6	34.9	23	13.1
	Sep 9.19~Nov 11.7	49	118.1	33.1	14.2	0.1
	Oct 10.11~Dec 12.20	71	84.8	21.4	6.8	-7.2
Komatsuna	Aug 8.9~Sep 9.11	33	104.6	34.9	23.6	15.7
	Sep 9.19~Nov 11.7	49	118.1	33.1	14.2	0.1

4. 2 評価方法

筆者等が提案している光合成促進機能を持つ農業用ネットの有効性の評価は、栽培後の収穫重量とした。栽培した野菜は、甘日大根の根菜、ホウレン草、小松菜の葉菜であることや実験区画の数が限られていることから、栽培中の重量を定期的にしかも定量的に測定し比較することはできなかった。今後の課題である。

一方、農業用ネットは減光する特性を併せ持つが、本論文で用いたA、Bタイプの農業用ネットは減光による収穫量に大きな影響を受けないとした。これはすでに筆者等が遮光ネットによる入射光の遮光率と収穫量の実験から、遮光率が20%程度までであれば、収穫量に大きな差異が認められないと報告していることによる¹⁾。

4. 3 根菜(甘日大根)の栽培結果

図6は甘日大根の結果を纏めたものである。栽培期間は8月7日から9月4日(1回目・28日間)と10月11日から11月22日(2回目・43日間)の2回である。図では農業用ネットなしの甘日大根1個の重量(平均値)を基準(1.0)にしてA、Bタイプの農業用ネットを用いて収穫した、甘日大根1個の重量(平均値)を比較し図示してある。栽培実験2回の農業用ネットなしの1個の重量(平均値)はそれぞれ4.10g(1回目)と0.77g(2回目)であった。1回目の収穫個数はいずれも30個、2回目のそれはいずれも6個である。表2に示すように、2回目の栽培期間は1回目のそれに比べ約1.5倍長い、水平面全天日射量は約48%に過ぎず、外気温度(最高、最低、平均温度)も低かった。その結果、両者の収穫個数、1個当たりの重量に大きな差が見られた。しかし、同一の栽培期間では、農業用ネットを使用することにより収穫量は、1.01から1.74倍に増えており、露地栽培においても農業用ネットの効果があることが分った。また、目視観察では、農業用ネットを使用することにより、栽培中の甘日大根の葉はより生き生きしており、収穫された大根は色艶がよく、実の直径も大きかった。図7は農業用ネットあり、なしによる甘日大根収穫時の外観の一例である。

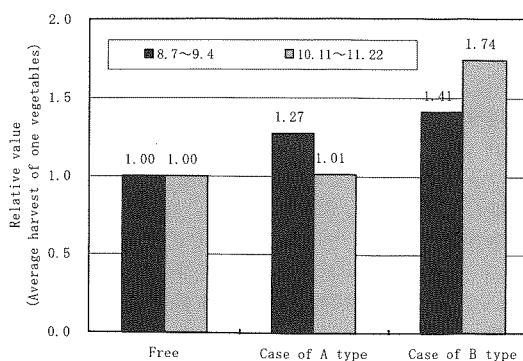


Fig.6 Experimental results of Radish harvest applied agricultural nets



(a) Free



(b) Case of A type net application



(c) Case of B type net application

Fig. 7 Experimental results of Radish harvest applied agricultural nets

4. 4 葉菜（ホウレン草、小松菜）の栽培結果

4. 4. 1 ホウレン草

図 8 はホウレン草の栽培結果を比較して示したものである。栽培期間は 8 月 9 日から 9 月 26 日（1 回目・49 日間）、9 月 19 日から 11 月 7 日（2 回目・49 日間）、10 月 11 日から 12 月 20 日（3 回目・71 日間）の 3 回であり、農業用ネットなしの 1 株当たりの重量（平均値）を基準（1.0）にして図示してある。使用した農業用ネットは A タイプと B タイプとの 2 種類である。1 回目、2 回目の収穫株数は、それぞれすべて 20 株、15 株である。その際の農業用ネットなしの 1 株当たりの重量（平均値）は、1 回目が 55.8g、2 回目が 27.9g であった。また、3 回目については、収穫株数はすべて 6 株であり、1 株当たりの重量（平均値）は 5.6g であった。表 2 に見られるように、水平面全天日射量は栽培回数を経るごとに減少するとともに外気温度も低くなっている。特に、3 回目の収穫株数はこれらの影響により、発芽しなかった種、成長が止まり腐った株が生じ、極端に少なくなった。しかし、農業用ネットを使用することにより、いずれの栽培期間とも、1 株当たりの重量は確実に増えていることが分かる。

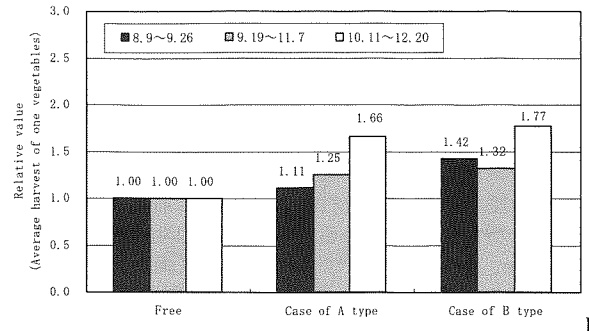
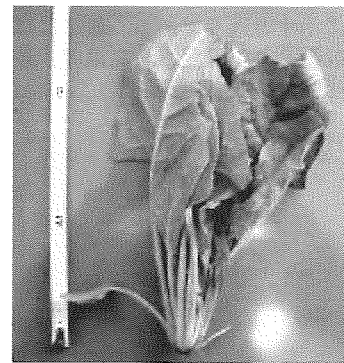


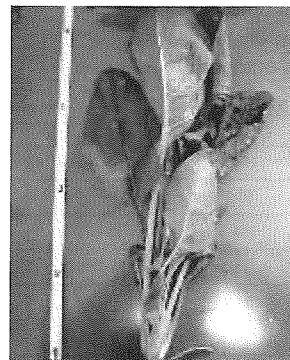
Fig. 8 Experimental results of Spinach harvest applied agricultural nets

一方、収穫したホウレン草の葉の長さを測定した。1 回目の農業ネットなしの、葉 20 枚の長さの平均値は 253.7mm であった。A、B タイプの農業用ネットを使用した際、20 枚の葉の長さ（平均値）は、農業用ネットなしの場合の 253.7mm を基準（1.0）にすると、それぞれ 1.09、1.21 倍であった。2 回目、3 回目の栽培においても、農業用ネットを使用することによって、1.03 倍から 1.23 倍長くなった。

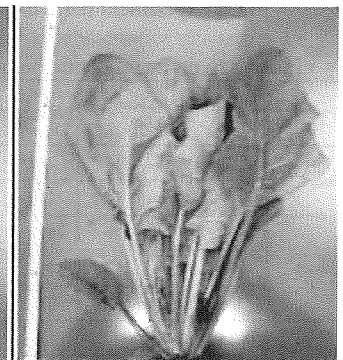
また、ホウレン草の葉の厚さは 0.41mm から 0.48mm であったが、この違いは栽培期間の違いによる厚さであり、同一の栽培期間では両者に差異はほとんど認められなかった。さらに、目視観察では農業ネットを使用することにより、葉の緑色が濃くて茎が太く、葉面積が増え、生き生きしたホウレン草が収穫できた。図 9 は収穫したホウレン草の外観の 1 例である。



(a) Free



(b) Case of A type net application



(c) Case of B type net application

Fig. 9 Experimental results of Spinach harvest applied agricultural nets in outdoor

4. 4. 2 小松菜

図10は小松菜の栽培結果を比較したものである。栽培期間は1回目が8月9日から9月11日の33日間であり、2回目が9月19日から11月7日の49日間である。ホウレン草と同様にA、Bタイプの農業用ネットを使用した。図では農業用ネットなしの1株当たりの重量(平均値)を基準(1.0)にして図示してある。1回目、2回目の収穫株数は、それぞれすべて42株、7株であり、1株当たりの重量(平均値)は、1回目が13.7g、2回目が5.7gであった。ホウレン草と同様に小松菜においても、農業用ネットを使用することにより、同一栽培期間で1株当たりの重量が1.02から2.28倍の範囲で増えていることが分る。

小松菜の葉の長さ、葉の厚さについても測定した。その結果、農業用ネットなしの葉20枚の平均値は171.8mm(1回目)と100.5mm(2回目)であったが、農業用ネットを使用することにより、これらの値が1.04から1.50倍長くなった。

また、2回の栽培期間における小松菜の葉の厚さ(平均値)は0.40と0.46mmであり、栽培期間による厚さの違いが認められたが、農業用ネットあり、なしではほとんど差異は認められなかった。さらに、栽培中の観察ではホウレン草とほぼ同じであった。

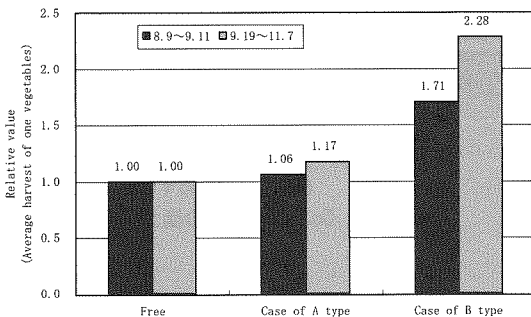


Fig.10 Experimental results of Komatsuna harvest applied agricultural nets

5. 終わりに

光合成促進機能などを持つ農業用ネットを用いて、根菜(廿日大根)と葉菜(ホウレン草、小松菜)の露地栽培実験を行った。限られた栽培期間と回数ではあるが、次のような結果を得た。

- 1) 単層構造ネット(Aタイプ)と3層構造ネット(Bタイプ)の農業用ネットを使用することにより、ネットなしの栽培に比べ大根1個の重量、ホウレン草と小松菜の1株の重量は、1.06から2.28倍に増加した。
- 2) 根菜については、農業用ネットを使用することにより、色艶が良く、実の直径も大きい大根が収穫された。
- 3) 葉菜については、農業用ネットを使用することにより、葉の緑色が濃く、茎が太く、生き活きたホウレン草、小松菜が収穫された。また、葉の長さが1.2倍以上長くなり、葉面積が広がった。
- 4) 農業用ネットの使用による、葉菜の葉の厚さには

ほとんど変化が見られなかった。

以上のことより、筆者等が提案した光合成促進機能などを持つ農業用ネットは露地栽培においても有効であることがわかった。今後、栽培実験を重ねて定量的なデータを取得することや収穫物の含有栄養素の分析などを行い、さらに有効性を明確にするとともに、農業用ネットの最適条件を明らかにすることとしている。

参考文献

- 1) 高村、伊藤、河野、平田、谷、谷内：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)、太陽エネルギー、Vol.33、No.4、63~68(2007.7)
- 2) 森、高辻：LDEとLD光がサラダナ生育に及ぼす影響、植物工場学会誌、第11巻、第1号46~49p(1999)
- 3) 岩波：光合成の世界—地球上の生命を支える秘密—、講談社73~107(1970.9)
- 4) (社)照明学会編：光バイオインダストリー、オーム社(1992)
- 5) 安部、油谷、西片、平田、谷内、谷：光の波長変換を利用したクロレラの増殖に関する研究、太陽エネルギー、Vol.30、No.1、35~40(2004.1)
- 6) 高村、伊藤、河野、松田、伊東、置く、平田、谷：光合成促進機能などを持つ農業用ネットに関する研究(その5)、平成19年電気学会全国大会論文集 No.7-001(2007.3)