

光合成促進機能などを持つ農業用ネットに関する研究 (3)

Research on the photosynthesis promotion by using wavelength shifting material of sunlight (3)

召田隼都 *¹
Hayato MESUDA

光沢良太 *¹
Ryota KOZAWA

平田陽一 *²
Youichi HIRATA

谷 辰夫 *³
Tatsuo TANI

Abstract

The agricultural net and sheet doped the fluorescent dye have been developed. They have effect which reduces light of ultraviolet range and is able to promote photosynthesis. Radish are grown in the incubator with the light source and the outdoor field by using net, sheet and white mulch. Moreover, these nets were applied to cultivation of the apple named sunlight Youko in the apple garden.

As a result, the harvest of radish and apple has increased and the sugar content has increased, too. It was clarified that the net and sheet where have been developed to cultivation of agriculture were useful and effective to promote photosynthesis.

キーワード：農業ネット、光合成促進、蛍光染料、波長変換材料

Keywords : agricultural net, promotion effect of photosynthesis, fluorescent dye, wavelength shifting material

1. はじめに

先に、筆者らは太陽エネルギーの有効利用を目的として、光合成促進機能などを持つ、光合成促進シートとネット（以下農業用シート、ネットという）を開発し、これらを適用して照明付きインキュベータや露地で廿日大根などを栽培してその結果を報告した¹⁾²⁾³⁾。その内容はこれらのシート、ネットを用いることにより、野菜の増産、早期収穫、糖度の向上が認められ、適用の有効性を定量的に示したものであった。本論文は第3報として、先ず野菜の光合成促進をさらに促すため、農業用ネット、

シートに加えて白マルチ（White Mulch）と農業用シートを併用して栽培した廿日大根の露地栽培実験結果について述べる⁴⁾。

また、太陽光の短波長領域（紫外線領域 UV-A,B,C）の成分が植物の成長を阻害するとの報告がある⁵⁾⁶⁾。

開発した農業用ネット、シートは紫外線帯域の成分を吸収して、より長波長帯域へ波長変換する作用があり、ネットを用いることにより紫外線領域の成分が廿日大根の成長に与える影響について、ブラックライトを併用した照明付きインキュベータを用いて実験を行ったその結果を示す。さらに、2年に亘り実施した農業用ネットのりんご栽培への適用効果についても報告する。これらの一連の実験結果より、農業用ネット、シートを使用することにより廿日大根の量産や糖度の増加、りんご糖度や品質の向上が期待できることが分かった。

*¹ 諏訪東京理科大学 電子システム工学科 学部生

*² 諏訪東京理科大学 電子システム工学科 准教授

*³ 諏訪東京理科大学 電子システム工学科 教授
(〒 391-0292 長野県茅野市豊平 5000-1)

E-mail : tani@rs.suwa.tus.ac.jp

(原稿受付：2010年2月24日)

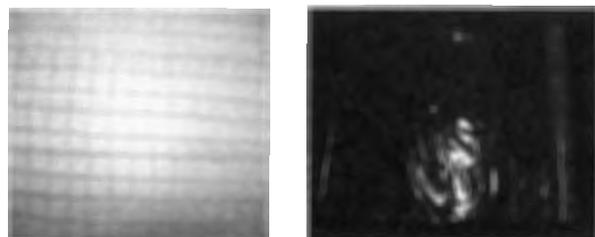
2. 光合成と農業用ネット・シートの基本特性

2.1 植物の光合成

植物の光合成反応には光、CO₂、水が必要であり、光に関しては限られた波長領域が有効である。光合成反応は植物の光合成色素（クロロフィル、カロチノイド等）が光を吸収することによって行われるが、波長領域の赤色波長帯域 R(580~780nm)の光は光合成促進に有効であり、青色波長帯域 B(380~580nm)は形態形成などに有効な光であるとされている。特にこれら波長帯域は植物の光合成に重要であり、本論文では前報に従い R/B 比(入射光の青色波長帯域に対する赤色波長帯域の光量子密度の比)を定義して用いている¹⁾。

2.2 農業用ネット、シート

図1は農業用シート、ネットの外観である。農業用ネットを構成している細糸はポリエチレンテレフタレート(PET)に、蛍光染料 Lumogem F RED-300(ドイツ、BASF社製)を0.02重量%配合したものである。農業用ネットは0.2mmφ細糸に加工したものを横糸15.0mm、縦糸15.0mmの間隔で編まれ構成されている。その細線を撚りあわせることにより、光の吸収率を増加させるとともに波長変換後、植物へ多量の光を照射させることができる。農業用シートはポリエチレンテレフタレート(PET)に上記の蛍光染料を0.02重量%配合した厚さ0.5mmのシートである。実験に用いた農業用ネット、シートには2種類あり、単層構造のAタイプ、2枚重ねた2層構造のBタイプである。



(a) Net (b) Sheet

Fig.1 Agricultural net and sheet with fluorescent dye

2.3 シートの光学特性

農業用ネット、シートの太陽光に対するスペクトル分布の一例を図2に示す。測定場所は本学キャンパス内であり、測定は回折格子型分光放射計(MS-700 英弘精機(株)製)を用いた。図は平成21年10月12日11時30分の測定データである。図の横軸は波長(nm)であり、縦軸は日射強度(W/m²/μm)である。図には太陽光スペクトル分布(図ではFreeと表示)、農業用ネット(Bタイプ)、農業用シート(Aタイプ)のスペクトル分布が示されている。

測定したスペクトル分布より求めた R/B 比の値と減光率を表1に示す⁴⁾。

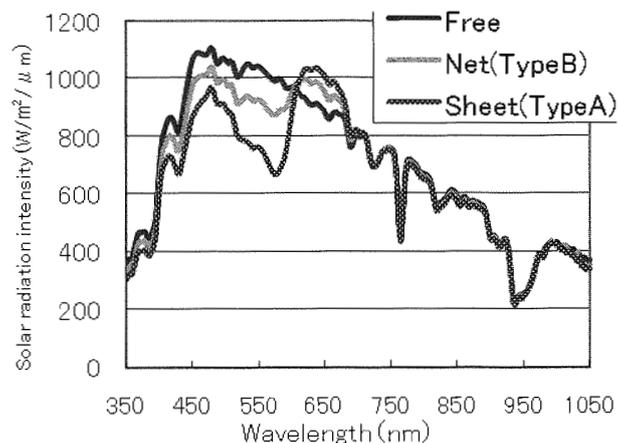


Fig.2 Comparison of various spectrum distributions for sun light

Table 1 Ratio of R/B (sun light)

		Ratio of R/B Shading rate	
Free	-	0.63(1.00)	0
Net	TypeA	0.66(1.04)	0.14
	TypeB	0.70(1.10)	0.20
Sheet	TypeA	0.68(1.07)	0.15
	TypeB	0.73(1.15)	0.21

これらの特性より、農業用ネット、シー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、その減光率はおよそ20%程度である。しかし R/B 比が1.15倍程度増大していることが分かる。

3. 実験概要と実験方法

3.1 露地実験と方法(白マルチ併用)

露地実験は本学キャンパスの栽培場で大型プランタ(幅40cm 長さ70cm 高さ25cm)を用いて行った。実験期間は平成21年5月16日から平成21年8月5日であり、実験回数は2回である。図3は各種シート、ネットを適用した栽培中の大型プランタの写真である。



Fig.3 Cultivation scenery

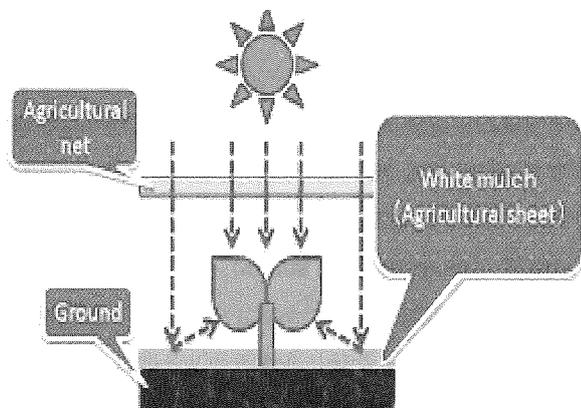


Fig.4 Illustration of cultivation with white mulch sheet or agricultural net

図4は農業用ネット、シートと白マルチシートとを併用した栽培の概要図である。従来、白マルチは野菜や花などを栽培する際に、土壌の上に敷き使用されており次のような特徴がある。

- (1) 地温の上昇を防ぐとともに、照射量の増加
- (2) 土壌水分の蒸発防止
- (3) 雑草生育の防止

本実験で用いた白マルチシートは、商品名パンダ白黒マルチ(丸井加工(株)製)、厚さ0.3mmのポリ塩化ビニ

ールシートであり、350~1100nmの波長範囲の反射率は約90%である。露地栽培実験では、予め芽が出る場所に直径2cm程度の穴を約5cm間隔であけ床に敷いた。また、白マルチシートの他に農業用シートについても、発芽箇所白マルチシートと同様に穴をあけて床に敷いた。

使用した栽培野菜はアブラナ科ダイコン属である廿日大根(サカタのタネ(株)製)であり、各プランタ容積の80%に土(ニッセイファーム(株)製 花と野菜の土)を入れて床とした。栽培の種類は表2に示すように9種類である。①-(a)は上部に農業用ネットやシート、床に白マルチシートや農業用ネットを用いないケースであり、このときの収穫量を基準にした。また、②、③は上部に農業用ネットやシートを掛け、床に白マルチシートや農業用シートを敷いたケースである。

Table 2 Cases of cultivation with agricultural sheet and net

Net, Sheet(upper)	Sheet(lower)
① —	(a) —
	(b) White mulch sheet
	(c) Sheet
② Net(TypeB)	(a) —
	(b) White mulch sheet
	(c) Sheet
③ Sheet(TypeA)	(a) —
	(b) White mulch sheet
	(c) Sheet

栽培は廿日大根の種をプランタに5cm間隔で6箇所植え、発芽後間引きして1個のプランタ当たり6株とした。1回の栽培期間は28日間で灌水は2日に1度行った。この間の水平面全天日射量積算値は第1回実験期間中(2009年6月23日まで)では98.6kWh/m²、平均外気温度は17.5℃であり、第2回実験期間中(2009年8月5日まで)では87.1kWh/m²、平均外気温度は22.6℃であった。本実験では、上部の農業用ネット、シートに加え白マルチシートあるいは農業用シートを床に敷き、栽培する廿日大根への太陽照射量を増やした。

太陽照射量の測定は、前述した回折格子型分光放射計を白マルチシートが敷かれた床に対して45度傾斜させて設置し、農業用ネット、シートを経た後の照射量の増加を測定した。測定日は2009年8月6日で水平面全天日射強度が650~680W/m²であり、白マルチシートを床に敷い

た場合の照射増量は14%~17%であった。廿日大根への照射増量は正確には測定されていないが、本文では15%程度増加したと考えた。一方、農業用シートを敷いた場合のスペクトル分布から求めたR/B比は農業用シートを敷かない場合に比べ約25%増加した。

3.2 室内実験と方法 (ブラックライト併用)

紫外線領域の光が植物の光合成に影響し、例えば緑色野菜の退色や収穫量の減少が報告されている^{5) 6)}。筆者らは照明付インキュベータを用いてこれらの影響について検討した。

まず、開発した農業用ネットの照射光の紫外線領域の減衰特性を測定した。使用した光源はキセノンランプ(パルス UV 照射装置 米国 Xenon Corporation 製 RC-500B)であり、その最高出力は756W/cm²、10秒間で100パルス照射するパルス発光方式である。また、積算光量照度計はPower Puck(EIT社製)を用いた。

図5はその測定結果である。図の横軸はネットの重ねた枚数(なし、1~4重)であり、図の縦軸は照射強度の相対値で表した減衰特性である。100はネットなしの時の照射強度であり単位は(%)である。図のパラメータはUV-A(315~400nm)、UV-B(280~315nm)、UV-C(250~289nm)である。農業用ネット(Bタイプ)は紫外線領域(UV-A、UV-B、UV-C)の光を約25~30%吸収することが分かる。

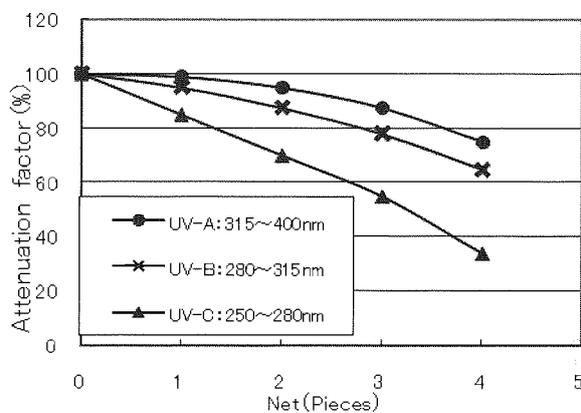


Fig.5 Attenuation factor of agricultural Net

筆者等は照射強度、庫内温度、庫内湿度が制御できる照明付きインキュベータを用いて、廿日大根栽培の紫外線領域の影響について検討した。使用したインキュベータは東京理化工機(株)製 光安定性試験器 FLI-301NH、三洋電機(株)製 植物組織培養器 MLR-351Hの2台であり、昼光蛍光灯(三菱電機(株)製 FL40SS・W/37 40W)15本を点灯して光源とした。紫外線領域の光を強く照射する実験では、ブラックライト(NEC(株)製 FL40BL-B 40W)3本を昼光蛍光灯に換えて光源とした。

栽培に用いた光源の種類は表3に示すように4種類である。①-(a)は農業用ネットなしで昼光蛍光灯15本、①-(b)は農業用ネットなしで昼光蛍光灯12本とブラックライト3本を用いた光源である。また、②のケースは2種類の光源で上部に2種類の光源を用いたケースである。インキュベータ内で昼光蛍光灯のみとブラックライトを3本換えた時のR/B比を表4に示す。表より農業用ネット、シートには紫外線のカット効果が期待できる。庫内の環境は、温度20℃、湿度50%一定とし、1日のサイクルは、点灯時間16時間、消灯時間8時間とした。点灯時の照射強度は60W/m²である。

栽培実験は平成21年4月27日から平成21年8月5日にかけて3回行った。28日間の照射光積算値は約27kWh/m²である。栽培種類は表4に示す。また、同一のポリポット(直径:100mm×高さ:90mm)を使用した。土壌、廿日大根は露地栽培と同一である。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。灌水は2日に1度行い、実験期間を28日とした。

Table 3 Cases of light sources

Net(upper)	light sources
① -	(a)Fluorescent lamp (b)Fluorescent lamp(12)+Black light(3)
② Net(TypeB)	(a)Fluorescent lamp (b)Fluorescent lamp(12)+Black light(3)

Table 4 Ratio of R/B (with or without black light)

	R/B	
	without Black light	with Black light
Free	0.48(1.00)	0.44(0.91)
Net(TypeB)	0.56(1.16)	0.56(1.16)
Sheet(TyoeA)	0.63(1.32)	0.67(1.39)

3-3 りんご栽培実験と方法

筆者等は農業用ネットをりんご栽培に適用し、品質向上に関するデータを2年にわたり取得した。りんごの品種は陽光であり、栽培実験は諏訪市内（傾斜面全天日射量 1610kW/m²年 平均外気温度 11.5℃）のりんご園である。

第1回の実験は2008年7月2日から10月14日までであり、開花後の小粒りんごの間引きを終えた、直径約6cmのりんご15個に2種類の農業用ネット(タイプA,B)を袋掛けし、目視観察を行いながら栽培した。収穫時の10月14日に農業用ネットの袋がけの有り無しによるりんごの重量や糖度を測定し比較した。

また、第2回の実験は2009年5月30日から10月14日までである。前年と同一のりんごの樹について、やはり同じく開花後の小粒りんごの間引きを終えた5月30日に樹の一部の枝に農業用ネット(タイプA、B)を付設して栽培し、合計21個のりんごについて前年と同様のデータを取得した。図6、図7はそれぞれ2008年、2009年のりんご栽培の1例である。いずれも収穫したりんごの1個当たりの重量と糖度を測定した。重量測定に用いたはかりはデジタルはかり(AND(株)HL-400)であり、糖度測定には糖度計(アタゴ(株)製 PAL-1)を使用した。併せて、色彩輝度計(コニカミノルタホールディングス(株)製 CS-100A)によって農業用ネットの有り無しによるりんご外皮の色度や色つやを測定したが、大きな違いが認められなかった。

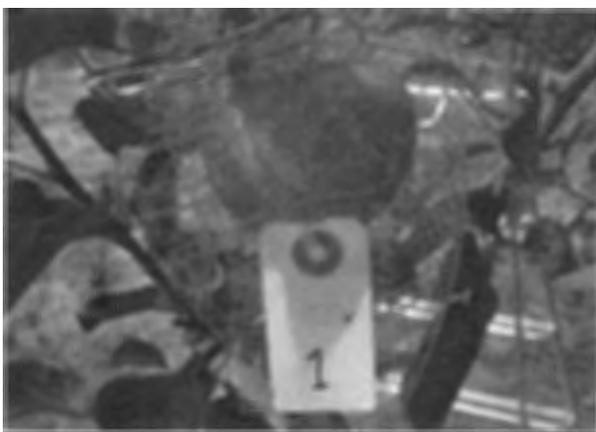


Fig.6 Apple garden with agricultural net(July,2008)



Fig.7 Apple garden with agricultural net (October,2009)

4. 結果と考察

4-1 露地栽培実験

廿日大根の露地栽培の評価項目として、収穫重量(大根と葉の合計)、糖度を取り上げた。図8、図9は各ケースに対する収穫重量と糖度の比較である。図8、図9の横軸は表2で示したように①-(a)から③-(c)の9種類のケースであり、図8の縦軸は収穫量[g]、図9の横軸は糖度[%]である。なお、両図中の数字は①-(a)の農業用ネット、シート無しの結果を基準にして比で示したものである。①、②、③のいずれも床に敷いた白マルチ、農業用シートによって廿日大根への照射量が増え、収穫量も増えていることが分かる。

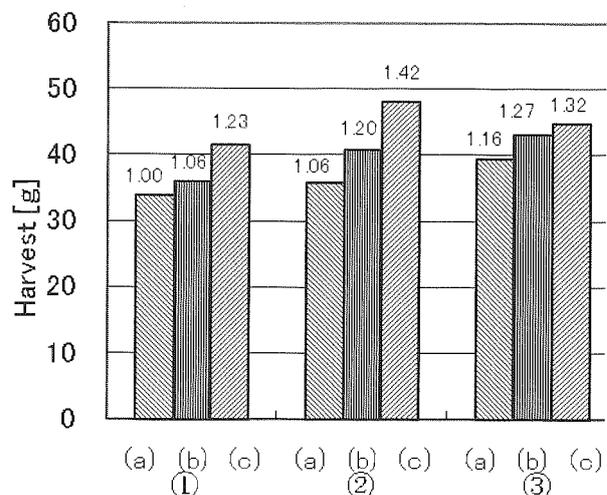


Fig.8 Harvest of radish (outdoor cultivation)

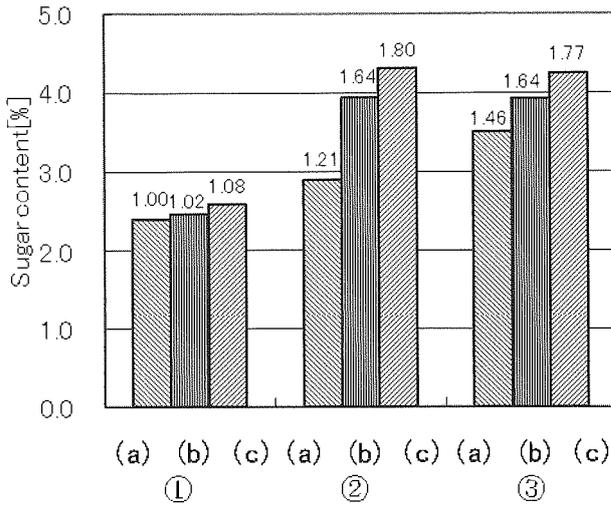


Fig.9 Sugar content of radish (outdoor cultivation)

図 8 から農業用ネット、シート、白マルチシートを適用した甘日大根の総重量はこれらを用いない総重量に比べ、平均すると 21.5% 増量した。図 9 の糖度の比較においても同様の結果が得られ、平均して 45% 程度上昇した。このことは R/B 比が上昇し光合成が促進されているためであり、農業用ネット、シートが有効であることを示している。また、白マルチシートを床に敷くことによって全天日射強度 R/B 比がそれぞれ 15%、25% 程度増加し、相乗効果が得られていることも分かった。

4-2 室内実験

図 10、図 11 は室内インキュベータによる甘日大根の収穫重量と糖度の特性である。図 10、図 11 の横軸は表 4 で示したように①-(a)から②-(b)の 4 種類のケースであ

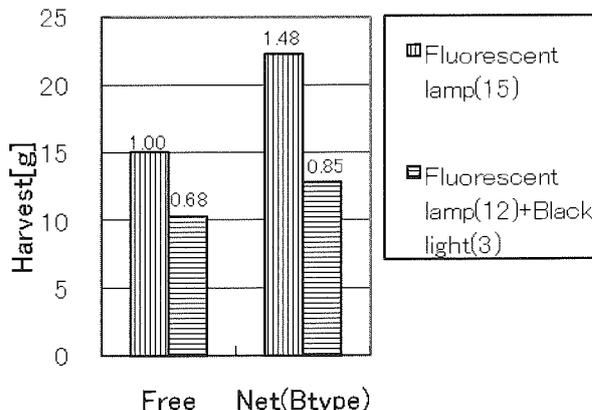


Fig.10 Harvest of radish (Indoor cultivation)

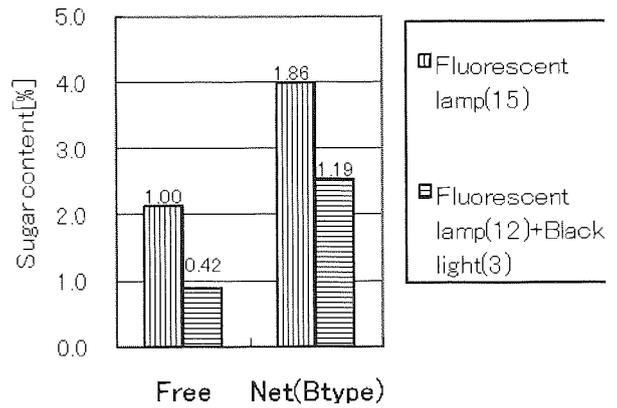


Fig.11 Sugar content of radish (Indoor cultivation)

り、図 10 の縦軸は収穫量[g]であり、図 11 の縦軸は糖度 [%]である。使用したデジタルはかり、糖度計は露地栽培で用いた機器と同一である。

図から明らかなように、ブラックライトを点灯させた時の甘日大根に比べ昼蛍光灯だけの時より総重量が 32%、糖度に至っては 58% 減少し、紫外線の有無で総重量、大根の糖度が変化することが確認できた。また、農業用ネットを用いることによって総重量の低下を 15% に抑えることができた。なお露地栽培と室内実験での甘日大根の総重量が同じ栽培期間なのに大きく違うのは、室内実験でのインキュベータの光源である昼光蛍光灯の照射量が露地栽培の日射量にくらべ 25% 程度であることが主な原因である。

4-3 りんご栽培実験

図 12、図 13 は 2008 年、2009 年に栽培したりんごの 1 個の重量と糖度の関係である。図の横軸は収穫時のりんご 1 個の重量[g]であり、図の横軸はその時の糖度[%]である。糖度は 1 個のりんごについて測定箇所を変えて 3 回測定してその平均値をプロットした。

図 12 に 2008 年度栽培のりんご総重量と糖度、また 2009 年度の結果を図 13 に示す。測定に用いた機器は露地栽培実験、室内実験と同一とした。

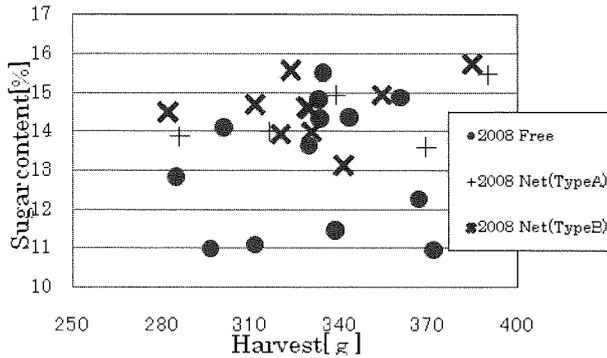


Fig.12 Relationship between weight and sugar content of apples in 2008

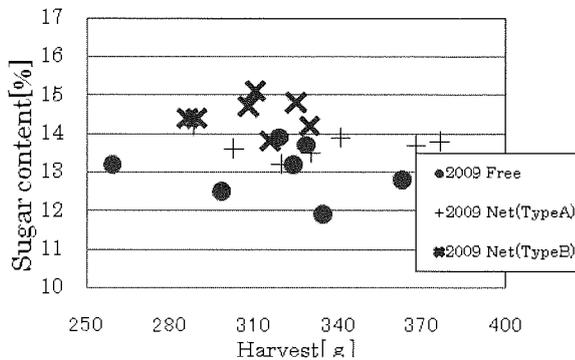


Fig.13 Relationship between weight and sugar content of apples in 2009

Table 5 Deflection of sugar content

	Free	Net(TypeA)	Net(TypeB)
Average[%]	13.2	14.0	14.5
Deflection[%]	1.38	0.63	0.63

図中のデータは農業用ネットなし、農業用ネット（1重、2重）有りの3種類である。両図から農業用ネット（1重、2重）のりんごの袋掛けや、農業用ネット（1重、2重）で枝を包むように掛けた事による効果に大きな差異がなかった。すなわち、農業用ネット無しのりんご1個の重量は約260~370gであるのに対し、農業用ネット有りの場合は、約280~380gであった。

一方、糖度については、農業用ネット無しのりんごの糖度は約11~15.5%であったが、農業用ネット有りの場合では、約13~18%となり増加した。2年間栽培したりんごの糖度の平均値と標準偏差を表5に示す。これらの事により、糖度については、農業用ネットを用いること

によって、糖度が増加するとともに糖度のばらつきが小さくなり、均一でしかも品質向上が図れた。

なお、両図に見られるように、農業用ネット適用の違いによる重量、糖度の違いはほとんど見られなかった。これは果樹の光合成反応は、葉のみならず果実の表面において生じていることによる。今後さらにデータを蓄積する必要があるが、作業の効率化、資材の簡素化などの観点から採用する方法を考える必要がある。

5. おわりに

著者らは、光合成促進機能を持つ農業用ネット、シートを野菜栽培（廿日大根）に適用し、その有効性を検討した。その結果次のことが分かった。

- 1) 露地実験より、上部の農業用ネットやシートに加え大型プランタの床に白マルチシートや農業用シートを敷くことによって廿日大根の重量や糖度を6~80%増加させることができた。
- 2) 照明付インキュベータによる屋外実験では、紫外線による廿日大根の成長阻害が確認できた。また、農業用ネットは紫外線をカットする効果があり、ネットを用いることによって廿日大根の重量や糖度の減少を50%程度（32%から15%）抑えることができた。
- 3) 2年間にわたるりんご栽培実験では、糖度を10%上昇させることができた。また糖度のばらつきも適用なしにくらべ53%小さくなり品質の均一化が図られた。

今後、栽培実験を積み重ね農業用シート、ネットとマルチや農業用シートを組み合わせによるさらなる光合成促進について明らかにする予定である。

参考文献

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 高村、小松、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(2) 太陽エネルギー Vol.34 No.4 71~75 (2008.7)

- 4) 召田、光沢、谷：太陽光の波長変換を利用した光合成促進に関する研究、太陽/風力エネルギー講演論文集 2009 No.139 (2009.11)
- 5) 田中 淳：植物の新しい紫外線耐性遺伝子を発見－生きるために紫外線で生じたDNA損傷を乗り越える遺伝子－(独)日本原子力研究開発機構 高崎研究発表 (<http://www.jaea.go.jp/jaeri/jpn/open/press/2003/030922/index.html>) (2010.2.取得)
- 6) 生物研究室：植物色素の紫外線カット効果 (2008.11.30) (<http://www2.tokai.or.jp/seed/seed/seibutsu>) (2010.2.取得)
- 7) 朽津 和幸氏からの私信 (2009.8)

謝意

本研究を進めるに当たり、ご支援とご協力頂いた(有)マテリアルサイエンス・ナガノ 中澤 富夫社長並びに関係各位、諏訪市豊田 北澤りんご園代表 北澤 倭巻氏に深謝いたします。