

## イチゴ品種“とよのか”の着色に関する研究 (第2報)

## 果実日裏面の受光程度および受光波長分布と着色の関係

前川 寛之

## Studies on Fruit Coloring in Strawberry cv. 'Toyonoka' (2)

## Relationship between Coloration and Light Intensity and Quality on the Sun Averse Surface.

Hiroyuki MAEGAWA

## Summary

Characteristics of color development on the sun averse surface were examined in fruits laid on several mulching materials which varied in intensity and quality of reflection light and structure.

Light intensity on the grounding part of the surface of a fruit was the least among on other parts around a fruit and was stronger with a transparent mat on the mulching film than without it. The level of anthocyanin on the sun averse surface was increased as light intensity on the surface was increased with high reflecting mulching materials.

Quality of light affected the level of anthocyanin. Anthocyanin level on the sun averse surface was increased as the intensity of ultraviolet light in the reflection from mulching materials was increased. Removal of UV light from sun light decreased the sun faced surface in anthocyanin level as compared with general sun light. This indicates that the light of UV region is indispensable for developing coloration in 'Toyonoka'.

**Key words:** light intensity, mulching, reflection, anthocyanin, ultraviolet

## 緒 言

前報<sup>9)</sup>で、促成栽培における“とよのか”果実は、冬季には日裏面と日表面の色が収穫を遅らせても同一にはならないことや、果実反転処理により日裏面が強光を受光する状態に置かれると、日表面と同様の着色となることなどを明らかにした。しかし、実際栽培においては果実反転処理を実施することは労力面で問題が大きく実用的とは言えない。そこで、果実反転処理を行わないで日裏面に光を当てる方法として、マルチ資材からの反射光を利用することが考えられる。この技術は、モモ<sup>4)</sup>などの果樹栽培ではすでに実用化されているが、果樹栽培では、マルチ資材と果実の間に大きな空間があることや果実自体がマルチ面に対する光の遮蔽物とはなっていない。しかし、イチゴ栽培では、果実はマルチ資材に接し、

果実自体がマルチ面への光を遮っており、果樹栽培における利用とは異なる面がある。そこで、イチゴ栽培におけるマルチ資材の種類と果実日裏面の着色との関係を、マルチ資材の構造や反射光強度および反射光の波長特性の面から検討した。

## 材料および方法

本実験は、当農業試験場内の二重被覆無加温イチゴ促成栽培圃場において、1991年1~2月に実施した。被覆フィルム資材は、外張りにはクリンテート(住友化学工業)0.075mm厚を、内張りには同じく0.05mm厚のものを用いた。フィルム被覆後のハウス換気温度は25°Cとした。

実験 1. 暗黒条件下の果実着色

供試品種は“とよのか”および“女峰”とした。開花10日目の果実を、アルミ箔で覆った直径約4cmの紙製円筒内に入れ、着生状態で暗黒条件とした。約30日後に無処理果とともにL\*a\*b\*表色系値およびアントシアニン量を前報<sup>9)</sup>の方法で測定した。

実験 2. マルチ資材と果実着色

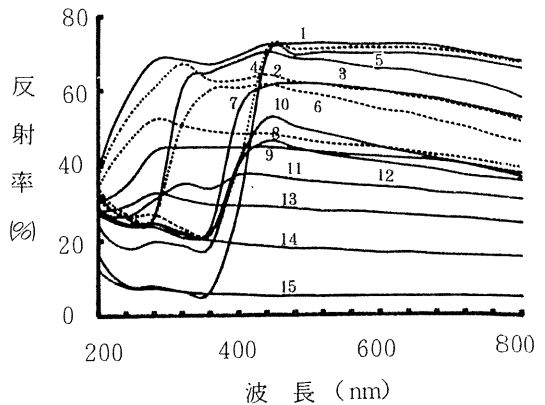
供試品種は“とよのか”とした。日裏面の受光量を変化させる目的で反射率の違うと考えられる資材として、黒色ポリエチレンフィルム(黒マルチ)およびアルミ箔裏面(つや消し面)の2種を用いた。また、それぞれの上面に透明エアーマット(ミナバック、酒井化学)を組み合わせ、合計4種類をマルチング資材とした。エアーマットは、ポリエチレンで覆われた直径10mm、厚さ3mmの気泡が、中心間隔約11mmで規則正しく並んだ資材である。これらのマルチ資材は、果実がそれらの上に接地するように設置した。

供試したマルチ資材からの反射による果実日裏面の受光程度を推定するため、湿式SD感光紙(リコー)の反応波長ピークが420nm~440nmであり、感光程度が光強度と露光時間に比例していることを利用し、受光モデルを作成した。すなわち、直径4.9cm、長さ18.3cmの円筒形に加工した感光紙をマルチ資材上に置き、2.4cm上空から青色光(ナショナルFL-20S・B、20W×2本)を1分間照射後直ちに現像した。感光紙は接地点を180°として30°の幅で切り取り、5mlの1%塩酸メタノール中で2分30秒間抽出後、抽出液の522nmでの吸光度を測定した。本方法では、吸光度が小さいほど感光程度が大きいことを表している。

果実の着色特性の差異を知るため、日表面中央部を0°とし60°毎の果実表面のアントシアニン量を測定するとともに、日表面と日裏面のL\*a\*b\*表色系値、日裏面の白色スポット<sup>9)</sup>の大きさおよび日裏面全体に対する日裏面に緑色のまま残っているそう果の割合である緑色そう果率<sup>9)</sup>を測定した。

実験 3. 反射光波長分布とアントシアニン量

供試品種は“とよのか”とした。第1図に示すように反射光波長特性の異なる15種類のマルチ資材を用い、果実日裏面のアントシアニン量と反射波長特性の関係を調査し、相関分析によりアントシアニン量の増加と反射光の波長別光強度との関係を考察した。波長別光強度は、各マルチ資材の各波長域の反射率に大気透過度<sup>5)</sup>および大気外太陽放射エネルギー<sup>3)</sup>を乗じて計算した値を用



第1図 マルチ資材の反射特性

図中番号は第3表のマルチ資材に対応

Fig. 1. Reflectance characteristics of mulching materials.

いた。なお、ハウス被覆資材の透過率は、新品時には200~800nmの波長域ではほぼ均等であるので、マルチ資材からの反射光の波長別光強度の計算から除外した。

また、UVカットフィルム(グローマスターH、住友化学工業)下で成熟した果実の日表面のアントシアニン量およびL\*a\*b\*表色系値を、紫外線透過フィルム(クリンテート、住友化学工業)下の開花時期が同じものと比較した。

結 果

実験 1. 暗黒条件下の果実着色

“とよのか”、“女峰”ともに暗黒条件下では、果実全体にわずかな着色は認められるが、無処理果実と比べアントシアニン量が著しく減少した(第1表)。暗黒処理果実のそう果はまったく着色しておらず、黄白色であった。

第1表 暗黒条件下の果実の着色  
Table 1. Fruit coloration under the dark condition

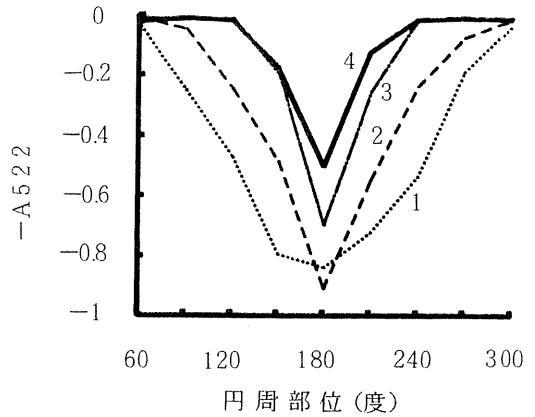
処理	アントシアニン (A 508)	L*	a*	b*
とよのか				
暗黒	0.096	58.9	30.3	36.8
(±SE)	(0.015)	(1.39)	(2.38)	(1.92)
対照	0.427	41.1	37.2	28.2
(±SE)	(0.049)	(0.93)	(0.34)	(0.83)
女 峰				
暗黒	0.300	47.0	36.2	32.6
(±SE)	(0.018)	(1.15)	(0.43)	(0.73)
対照	0.579	37.5	35.1	23.9
(±SE)	(0.092)	(1.50)	(1.13)	(2.16)

実験 2. マルチ資材と果実着色

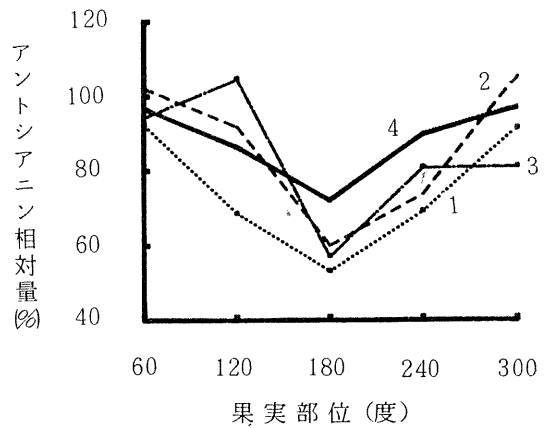
マルチ資材からの反射による果実表面の受光モデルを第2図に示した。522 nmの吸光度が大きいほど、受光量が少ないことを示している。各マルチ資材とも、接地部の受光量が最も少なく、接地点から離れるにしたがい果実面の受光量が急激に多くなった。マルチ資材間の比較では、マルチ資材からの反射量を最もよく表していると考えられる150°または210°付近の吸光度で比較すると、アルミ箔+エアーマットでの受光程度が最も大きく、次いでアルミ箔単独、黒マルチ+エアーマット、黒マルチの順で受光程度が少なくなった。反射率の高いアルミ箔でも、単独では接地部の受光程度は小さく、エアーマットを併用して果実を浮かせると接地部の受光程度が増大した。

果実周囲のアントシアニン量を日表面中央に対する割合で表すと第3図のようになる。全てのマルチ資材で180°付近のアントシアニン量が最も少なく、周囲ほど多くなった。マルチ資材間では日裏面中央のアントシアニン量が最も多いものはアルミ箔+エアーマットで、最も少ないものは黒マルチであり、他の資材も比較的低い値であった。黒マルチでは120°および240°付近でも低い値を示した。

各マルチ資材を用いたときの果実の着色特性を第2表に示した。アントシアニン量の日表面に対する日裏面の比率は、黒マルチ+エアーマットおよび黒マルチではそれぞれ49%と52%であった。一方、反射率の高いアルミ箔では67%、アルミ箔+エアーマットでは71%まで日裏面の着色が向上した。L\*a\*b\*表色系値から計算され、2色間の色の違いの程度を表す色差値<sup>8)</sup>でも、アルミ箔やアルミ箔+エアーマットでは小さくなっていった。日裏面の緑色そう果率についても、黒マルチまたは黒マルチ+エアーマットに比べ、アルミ箔やアルミ箔+エアーマットでは明らかに小さくなった。接地部付近に発生



第2図 マルチ資材からの反射による果実の受光モデル  
1:黒マルチ 2:黒マルチ+エアーマット  
3:アルミ箔裏面 4:アルミ箔裏面+エアーマット  
Fig. 2. Exposure model of fruits to reflection from mulching materials.



第3図 異なるマルチ資材上の果実の部位別アントシアニン量  
図中番号はマルチ資材、第2図参照  
Fig. 3. Relative anthocyanin level around a fruit on mulching materials.

第2表 マルチ資材によるイチゴ果実の着色特性の差異

Table 2. Effects of mulching materials on characteristics of fruit coloration

マルチ資材	n	日表面		日裏面		日裏/日表面	
		A 508	A 508 <sup>z</sup>	白スポット <sup>y</sup> (mm)	緑色そう果率 (%)	A 508 (%)	色差 (%)
1 黒マルチ (±SE)	33	0.831(0.024)	0.433(0.017)	9.3 (0.85)	93.3 (1.28)	52.2 (1.56)	15.7(0.48)
2 黒マルチ+エアーマット (±SE)	16	0.837(0.022)	0.410(0.031)	2.5 (1.11)	85.6 (4.38)	48.9 (3.36)	16.4(1.20)
3 アルミ箔裏 (±SE)	13	0.781(0.021)	0.520(0.034)	10.2 (1.19)	18.8 (2.41)	66.7 (3.86)	10.3(1.02)
4 アルミ箔裏+エアーマット (±SE)	24	0.773(0.020)	0.544(0.024)	0.5 (0.35)	11.7 (3.27)	70.7 (2.88)	8.5(0.87)

z: 白スポット以外の最も色の薄い部分を測定

y: 白色部分の面積を円形に換算した時の直径

する白色スポットの大きさは、黒マルチおよびアルミ箔ともに単独で用いた場合に大きく、エアーマットを併用した場合にはほとんど発生しなかった。実験圃場での観察では、白色スポットが大きかった黒マルチやアルミ箔には朝9時頃でもマルチ表面に結露が認められた。

**実験3. 反射光波長分布とアントシアニン**

マルチ資材の全反射エネルギー量と果実日裏面のアントシアニン量およびそう果色指数との関係を第3表に示した。日裏面のアントシアニン量が最も多かったのは、アルミ箔+エアーマットで日表面の81.4%であり、次い

にあった。そこで、240 nm から長波長側に80 nm毎に分類し、その波長域の反射エネルギー量とアントシアニン量の相関分析を行ったところ、最も相関の高かった波長域は240～320 nmで、次いで320～400 nmであり、紫外部域の光エネルギー量とアントシアニン量との関係が高いことが認められた(第4表)。

紫外線カットフィルム下でのアントシアニン量を第5表に示した。400 nm以下の紫外光を95%除去するフィルム下で成熟した果実の日表面のアントシアニン量は、対照フィルム下でのものに比べ約61%まで減少した。

表3 マルチ資材の種類と日裏面アントシアニン量(A 508)、そう果色および反射エネルギー量

Table 3. Relationship between anthocyanin level and achene color of fruits and reflection energy from mulching materials

マルチ資材	A 508(±SE)	そう果色 <sup>z</sup> (±SE)	800 - 200 nm
1 アルミ箔裏+エアーマット	0.713 (0.030)	2.5 (0.17)	0.604 <sup>y</sup>
2 ラミパック 438 R	0.681 (0.029)	2.3 (0.22)	0.502
3 ラミパック 438 R裏+エアーマット	0.614 (0.022)	2.1 (0.25)	0.552
4 アルミ箔裏+グローマスター H +エアーマット	0.610 (0.018)	2.0 (0.18)	0.570
5 アルミ箔裏+エアーマット+グローマスター H	0.537 (0.027)	1.6 (0.17)	0.547
6 ピアレスフィルムS 3000 表+エアーマット	0.624 (0.030)	2.4 (0.17)	0.468
7 ピアレスフィルムS 3000 裏+エアーマット	0.624 (0.026)	2.2 (0.19)	0.485
8 シルバーマルチ+エアーマット	0.647 (0.024)	1.8 (0.24)	0.376
9 ムシコン+エアーマット	0.586 (0.028)	1.6 (0.27)	0.358
10 白クロダダブル白(ミカド)+エアーマット	0.555 (0.021)	1.4 (0.20)	0.373
11 サンシルバー(三菱)+エアーマット	0.604 (0.022)	1.4 (0.29)	0.290
12 白エアーマット	0.614 (0.019)	1.9 (0.20)	0.336
13 コーテ-コンビシルバー(ミカド)+エアーマット	0.595 (0.027)	1.9 (0.22)	0.231
14 黒マルチ+エアーマット	0.562 (0.023)	0.8 (0.21)	0.144
15 黒マルチ	0.487 (0.031)	0.0 ( - )	0.043
(日表面)	0.876 (0.015)	3.0 ( - )	0.845

z: 黄(0)~赤褐色(4)、y: cal/cm<sup>2</sup>/min

第4表 果実日裏面のアントシアニン量と反射光の波長別光強度の相関

Table 4. Correlation coefficients between anthocyanin level and light intensity.

項目	240 -	320 -	400 -	480 -	560 -	640 -	720-(nm)
単相関係数	0.9189	0.8849	0.7522	0.7366	0.7432	0.7466	0.7568
偏相関係数	0.5429	0.2905	0.1536	-0.0959	0.0989	-0.2297	0.2866

でラミパック 438 R の77.7%であった。最も少なかったのは黒マルチの55.6%であった。全反射エネルギー量とアントシアニン量およびそう果色指数の関係は、概ね比例関係にあったが、400 nm以下の紫外部の反射率が低いマルチ資材ではアントシアニン量が少なくなる傾向

第5表 紫外線除去フィルム下のイチゴ果実の着色

Table 5. Fruit coloration under the UV cut film

フィルム資材	A 508	L*	a*	b*
グローマスターH 流テキ075 (±SE)	0.324 (0.0354)	52.5 (1.77)	35.8 (1.20)	35.6 (0.76)
クリンテ-ト流テキ075 KOH (±SE)	0.529 (0.0323)	42.0 (0.79)	38.6 (0.32)	28.9 (1.02)

## 考 察

果実表面の受光モデルから、マルチ資材の反射率に関係なく接地部から離れるに従い果実表面の受光量が増大していることが明かとなった。果実周囲のアントシアニン量は、接地部から離れるほど多くなっていたことから、アントシアニンは受光量の増大とともに増加しているものと考えられた。光量とアントシアニン量の関係は、リング<sup>1)</sup>やぶどう<sup>6, 7)</sup>、ナス<sup>10)</sup>などの果実やペニタデ<sup>11)</sup>においても同様のことが報告されている。しかし、暗黒条件下でもわずかではあるがアントシアニンが認められることから、イチゴのアントシアニンの生成が光のみによって決定されているのではないことも示唆された。

反射率の低い黒マルチを用いた資材ではアントシアニン量が少なく、反射率の高いアルミ箔を用いた資材ではアントシアニン量は高かった。このようにマルチ資材間で日裏面のアントシアニン量が異なることから、マルチ資材の反射光の強度が影響していることが明かである。

果実日裏面の接地部付近に、着色せずに残る白色スポットが認められることは前報<sup>9)</sup>で報告したが、マルチ資材を変えてその発生程度を比較したところ、マルチフィルム単独で白色スポットが大きく、エアーマット併用によりスポットの大きさが著しく減少した。マルチフィルム単独では接地点にはまったく光が届いていないが、エアーマット併用ではエアーマットの形状により果実とマルチフィルム面の間に空間を作り出しており、接地点にも反射光が届いている。このことから、果実日裏面の白色スポットは、果実がマルチフィルムと接する部分が暗黒状態となり光が届かないために発生するものと推定できる。しかし、マルチフィルム単独使用でフィルム面に結露が多いことや暗黒条件下でもアントシアニンは生成されること、高温期には白色スポットが認められないこと、さらに、マルチ資材としてアルミ箔単独で使用した場合に接地部の受光量が多いにも関わらず白スポットが大きいことや、黒マルチ+エアーマットでの接地部受光量は少ないが白スポットが小さいことなどから、白色スポットの発生と光以外の要因、例えば結露あるいは結露発生の原因である温度較差との関係が存在するのではないかと考えられるが、これらを明らかにする情報は本実験では得られなかった。受光モデルでは、黒マルチ+エアーマットでの接地部受光量が最も少なかったが、果実接地部のアントシアニン量がマルチフィルム単独区より多くなっている。これは、受光モデル作成時には円筒形の果実モデルを用いたのに対し、果実面は球面に近い形状をしていること、および、受光モデルでは光源は静止

しているのに対し、圃場レベルでは太陽の移動により光の入射角が変わるため、エアーマット併用により果実接地点まで光が届いていたためであると推定される。

リングでは、光質とアントシアニン生成との関係が詳しく調べられ、UV-Bと呼ばれる290~320 nmの紫外光がアントシアニン生成には効果が高いことが明らかにされている<sup>2)</sup>。イチゴにおいても、分光反射特性の異なるマルチ資材の利用により、“とよのか”のアントシアニン生成には紫外光のエネルギー量が大きく影響していることが明かとなった。慣行栽培において果実日裏面の着色が日表面に比べ少ないのは、黒色ポリエチレンマルチの反射率、特に紫外光の反射率が低いことが原因であることが明かである。ただし、被覆フィルム資材は、老化や水滴の付着により紫外部の透過率が低下することが予想されるため、イチゴのアントシアニン生成に関与する紫外光波長の特定にはさらに調査する必要がある。

実用的に可能な方法で果実日裏面の着色を日表面に近づけるという目的は、アントシアニン量の日裏/日表比が大きく白色スポットのほとんど発生しない資材である反射率の高いマルチフィルムとエアーマットの併用では達成できると考えられる。しかし、マルチ資材の全反射率が高い場合には地温の昇温を抑制する効果があり、利用場面が低温期にあたることから、高反射率マルチ資材が地温や草勢、収量に及ぼす影響を把握しておく必要がある。この意味では、現時点では市場に見あたらぬが、地温上昇効果の高い可視部以上の光を吸収し、紫外部のみを反射する資材が利用できれば、果実日裏面の着色を向上させるとともに、地温に及ぼす影響を軽減することができると考えられる。また、エアーマットにより果実をマルチ面から浮かせることが日裏面の白スポット減少や日裏面のアントシアニン量の増加に効果的であったことから、養液栽培等にもみられるような果実に接地面の出来ない高床式栽培なども果実の着色を向上させると考えられた。

## 摘 要

果実を反転せずに“とよのか”果実の日裏面の着色を向上させることを目的に、果実の下に反射特性の異なるマルチ資材を設置し、マルチ資材の種類と果実日裏面のアントシアニン量などの着色特性との関係を、反射光強度および反射光の波長分布の面から検討した。

果実周囲の受光程度は接地部が最も低く、接地部から離れるほど高くなった。マルチフィルムとエアーマットの組合せで果実を浮かせることにより、果実の接地部に

も受光し、反射率が高いマルチフィルムほど受光強度も高かった。受光程度の増加にともなって果実表面のアントシアニン量が増加し、日裏面のアントシアニン量は紫外光の反射エネルギー量と比例関係にあった。

### 引用文献

1. 荒川 修. 1990. リンゴ果実のアントシアニン生成 [1]. 農及園. 65: 246-250.
2. ARAKAWA, O., Y. HORI and R. OGATA, 1985. Relative effectiveness and interaction of ultraviolet-B, red blue light in anthocyanin synthesis of apple fruit. *Physiol. Plant.* 64: 323-327.
3. 坪井八十二. 1969. 農業気象ハンドブック. 養賢堂. 東京. 800.
4. 鶴田富雄. 1984. モモ. 無袋栽培での管理の要点. 農業技術体系. 果樹編. 農文協. 6: 枝 69-71.
5. 東京天文台. 1987. 理科年表 昭和63年(机上版) 丸善. 172.
6. 内藤隆次. 1964. ブドウ果実の着色に関する研究. 第5報 黒色種および赤色種の果皮ならびに色素含量に及ぼす光度の影響. 園学雑. 33: 213-220.
7. \_\_\_\_\_ . 1966. \_\_\_\_\_ . 第7報 果皮中の Anthocyanin および Leucoanthocyaninの消長に及ぼす光度の影響. 園学雑. 35: 325-232.
8. 日置隆一・佐藤雅子. 1985. 表色系. 日本色彩学会編. 色彩科学ハンドブック. 東京大学出版会. 83-146.
9. 前川寛之. 1992. イチゴ品種“とよのか”の着色に関する研究. 第1報 着色特性の品種間差異および“とよのか”の果実成熟に伴う着色様相の変化. 奈良農試研報. 23: 13-20.
10. 松丸好次・上浜龍雄. 1971. 光質および光の強度がナスの果色におよぼす影響. 埼玉園試研報. 2: 1-11.
11. 三浦周行・岩田正利. 1981. ベニタデのアントシアニン含量に及ぼす光の影響. 園学雑. 50: 44-52.