

長崎県型イチゴ高設栽培システムにおける 光反射資材設置による「ゆめのか」の増収効果

堀田修平，松本尚之¹⁾，芋川あゆみ²⁾， 峰 孝介²⁾，前田 衡

キーワード：光反射資材，イチゴ，長崎県型イチゴ高設栽培システム，ゆめのか

Effect of Increasing the Yield of Strawberry "Yumenoka" by Installing Light-reflecting
Materials in the Nagasaki Prefecture Type Strawberry Elevated Cultivation System.

Shuhei HORITA, Naoyuki MATSUMOTO, Ayumi IMOKAWA,
Kousuke MINE, Hitoshi MAEDA

目 次

1. 緒言
2. 材料および方法
 - 1) 光反射資材の特性および生育への影響
 - 2) 光反射資材設置による増収効果
3. 結果
 - 1) 光反射資材の特性および生育への影響
 - 2) 光反射資材設置による増収効果
4. 考察
 - 1) 光反射資材の特性および生育への影響
 - 2) 光反射資材設置による増収効果
5. 摘要
6. 引用文献

Summary

¹⁾現長崎県壱岐振興局 ²⁾現長崎県五島振興局

1. 緒言

長崎県のイチゴは2023年の作付面積271haのうち高設栽培が80haと31%を占めている。その割合は10年前の19%から12ポイント上昇し、今なお高設栽培の面積が拡大している。背景として、本県の高設栽培の主流である長崎県型イチゴ高設栽培システムは1997年から全県的に導入されて以降、地床栽培より高収量が見込めること(藤田ら, 2009)、作業負担は地床栽培の半分程度に減少すること(宮寄・片岡, 2004)から新規就農者を中心に導入が進んでいる。

しかしながら資材費の高騰により高設栽培装置の取得価格は10aあたり9,969千円(長崎県林部, 2024)と、10年前の5,480千円(長崎県農林部, 2014)より4,500千円近く増加している。導入コストが増加する状況の中、低コストかつ増収が見込

める技術開発が求められている。

また、冬季に寡日照条件となる地域がある本県のイチゴ栽培では、光環境の改善技術の開発が必要である。そのような中、高輝度LEDによる日中の補光処理により収量が顕著に増加することが報告されている(日高ら, 2013)。しかし高輝度LEDは導入に高い経費を要することから本県では普及していない。

そこで、高輝度LEDより安価にイチゴへの受光量の増加が見込める光反射資材の特性について調査し、長崎県の主要品種である「ゆめのか」(番・矢部, 2005)の長崎県型イチゴ高設栽培システムにおける光反射資材の設置による増収効果について知見が得られたので、ここに報告する。

2. 材料および方法

1) 光反射資材の特性および生育への影響

(1) 屋外における反射光による紫外線強度と照度

調査は2018年10月24日13時30分頃の晴天時に実施した。長崎県農林技術開発センター(長崎県諫早市)敷地内屋外の地表面に表1に示した4種類の光反射資材を敷き、地上から高さ10cmの位置に照度・紫外線センサ(T&D社製ISA-3151)を上方と下方に向けた2か所に設置し、データロガー(T&D社製おんどとりTR-74Ui)を用いて直射光および反射光を記録した。測定項目は、果実硬度への影響が考えられる紫外線強度と、光合成に関わる照度とした。光反射資材および照度センサーの設置方法は図1に示した。

(2) 葉裏および果実への積算日射量と展開葉数および頂花房果実の成熟日数

試験は本センタービニルハウスの長崎県型イチゴ高設栽培システムで実施した。暗黒低温処理苗を用い、2018年9月10日に株間20cm、条間20cmの2条千鳥植え(700株/a)で定植した「ゆめのか」を各区10株供試した。基肥窒素施肥量は16.6kg/10aとした。CO₂は9時~11時および15時~16時30分の時間帯に濃度500ppm設定で11月から翌年3月まで施用した。加温機の設定は、11月中旬から翌年3月中旬まで、7時~8時を10℃、8時~9時を13℃、

9時~16時30分を16℃、16時30分~翌7時を6℃とし、3月中旬以降は7時~9時を16℃、9時~翌7時を6℃とした。培地加温設定温度は16℃とした。電照は日没後の日長延長で11月中旬から2hr、12月上旬から4hr、2月上旬から3月上旬まで2hrとした。10月16日に白黒ダブルマルチを被覆し(図2)、その上から光反射資材を被覆した。株元から床面へ100cmはスカート部とし、光反射資材をスカート部まで展張した。ただし対照区はスカート部へ展張せず、栽培槽までの被覆とした。通路部は幅90cmに通路部資材を設置した。側面の資材と通路部資材の組み合わせは表2に示した。なお全面白Ⅰおよび全面白Ⅱは株元から通路まで光反射資材で全面を覆い、隣同士の高設栽培槽が太陽光を反射し合うように設置した(図3)。

葉が受光する積算日射量(以下、積算受光量)を求めるため、2018年12月17日に「ゆめのか」の第2, 4, 6, 8, 10葉の中央葉の表裏両面に縦2cm×横1cmの日射計フィルム(大成ファインケミカル社製オプトリーフ R-3D)を設置した。また、果実の表面に日射計フィルムを設置することが困難であったため、果実表面と裏面の日照量を想定して果梗枝折れ防止器具の上面と下面に日射計フィルムを設置した。日射計フィルムを設置し

て10日後の2018年12月27日に吸光度測定器（大成ファインケミカル社製オプトリーフ計測器D-Meter R-470）を用いて吸光度を記録した．環境計測装置（ネボン社製アグリネット）で得られた日射量の実測値を基に施設内に水平に設置した日射計フィルムを継時的に計測した減色率からハウス内の積算日射量を推定する回帰式を求め（図4）、葉位別および果梗枝折れ防止器具に設置した日射計フィルムの減色率から推定した積算日射量を積算受光量とした．

表2の条件で11月から3月まで2か月おきに展開葉数を調査した（n=10）．また頂花房における各花が開花日から収穫までにかかる日数（以下、成熟日数）を調査した（n=10）．

2）光反射資材設置による増収効果

試験は2019年，2020年，2021年に本センタービニルハウスの長崎県型イチゴ高設栽培システムで実施した．暗黒低温処理した「ゆめのか」を2019年および2020年は9月10日，2021年は9月13日に

定植した．栽培様式は株間25cm，条間20cmの2条千鳥植え（560株/a）とし，以降，1）（2）と同様の栽培管理とした．2019年および2020年は10月16日，2021年は10月13日に白黒ダブルマルチを被覆し，以降，1）（2）と同様の区を設定した．

試験規模は1区5株4反復とし，収穫期間は11月から翌年5月中旬まで2～3日間隔で収穫し，収量調査は収穫当日に行った．

供試した資材の耐用年数は，メーカー聞き取りによりリフレモを4年，白黒ダブルマルチを1年，シャインホワイトを5年，防草シート（黒）を5年とし，2023年1月時点のメーカー聞き取りの価格で設置コストを試算した．資材の設置面積は10aあたりの高設栽培の長さを700mとし，高設栽培槽の側面が1512m²，通路が810m²で試算した．イチゴの販売額は試験区の月別商品果収量に月別単価を乗じて算出した．なお，月別単価はJA全農ながさきの実績から3か年（2019～2021年産）の平均の販売単価を引用した．

表1 光反射資材の特徴

供試資材名	材質	色	用途	商品名	メーカー
シャインホワイト	ポリプロピレン	白	防草シート	シャインホワイト	日本ワイドクロス株式会社
リフレモ	ポリエチレン	白	被覆資材	リフレモ	大日本印刷株式会社
白黒ダブルマルチ	ポリエチレン	白(表面), 黒(裏面)	被覆資材	こかげマルチ	大倉工業株式会社
黒マルチ(参考)	ポリエチレン	黒	被覆資材	FC-50(黒)	大倉工業株式会社

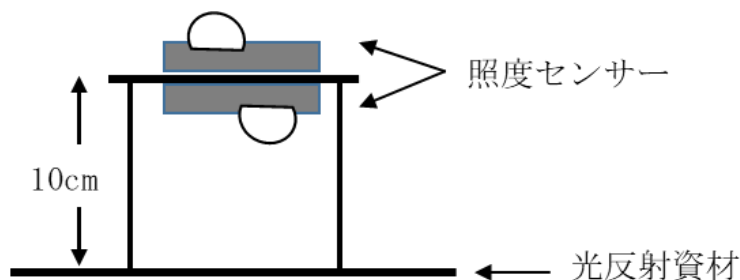


図1 反射光の測定方法

表2 光反射資材の組み合わせ

試験区	側面資材(スカート部)	通路部資材
全面白Ⅰ	リフレモ	シャインホワイト
全面白Ⅱ	白黒ダブルマルチ	シャインホワイト
対照(慣行)	なし	防草シート(黒)

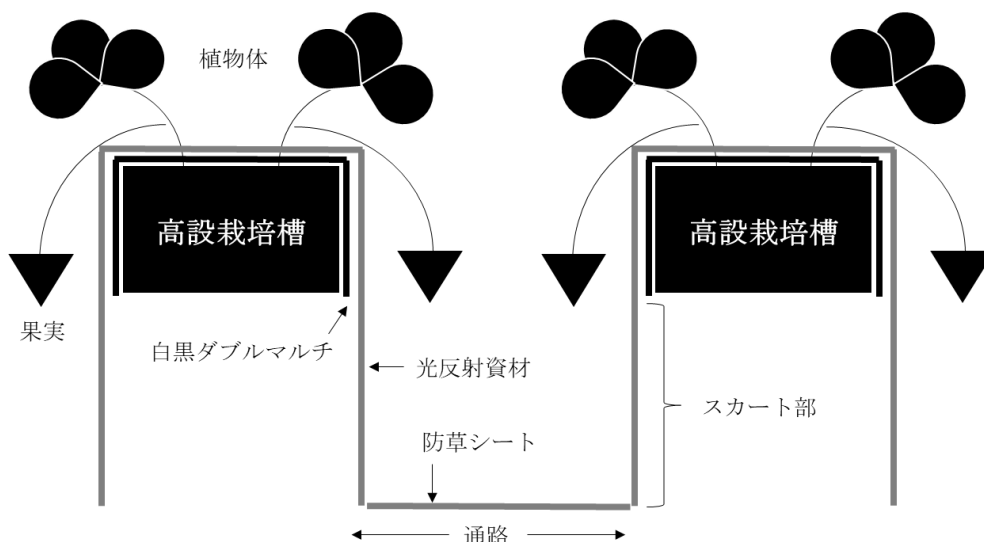


図2 光反射資材の設置方法



図3 光反射資材設置の状況

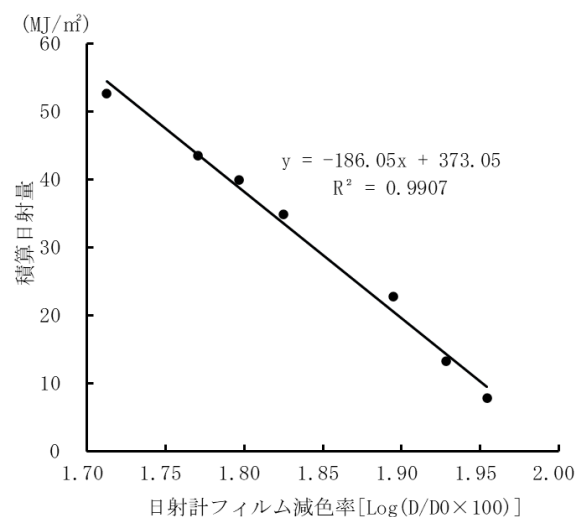


図4 ビニルハウス内における12月17日～27日の日射計フィルム減色率と積算日射量

3. 結果

1) 光反射資材の特性および生育への影響

(1) 屋外における反射光による紫外線強度と照度

光反射資材別に自然光の反射による紫外線強度と照度を図5に示した。反射光の紫外線強度は、最も高いシャインホワイトでも2割以下であり、すべての資材で低かった。反射光の照度は、直射光の照度100.4klxに対し、シャインホワイトは8割程度、リフレモは7割程度、白黒ダブルマルチは6割程度であった。黒マルチの反射光の照度は1割以下で、ほとんど反射しなかった。

(2) 葉裏および果実への積算日射量と展開葉数および頂花果実の成熟日数

光反射資材の違いによる葉および果実への積算日射量を表3に示した。葉裏および果実表面の積算日射量はすべての葉位において光反射資材による差は認められなかった。全面白Ⅰの果実裏面における積算日射量は対照の約2.4倍となり有意に多かった。

展開葉数の推移を表4に示した。11月6日から翌年1月8日にかけての展開葉数は全面白Ⅰが対照より多く、有意差が認められた。それ以降調査期

間での展開葉数は光反射資材の種類に関わらず同等であった。

頂花房の成熟日数を表5に示した。気温による成熟日数の影響を考慮し試験区間においてほぼ同日に咲いた花で比較すると、全面白Ⅰおよび全面白Ⅱが対照より1～3日程度成熟日数が短くなった。調査した13花の平均では全面白Ⅰが1.5日、全面白Ⅱが2日対照よりも成熟日数が短くなった。

2) 光反射資材設置による増収効果

頂花房の出蕾日、開花日、収穫開始日、花房間葉数は試験区間に差は認められなかった(表6)。第1次腋花房の収穫開始日は花房間葉数が少なかった2020年を除くと全面白Ⅰおよび全面白Ⅱが対照より早まる傾向がみられた。

月別商品果収量を図6に示した。12月までの商品果収量に差はなかったが、高単価時期にあたる2月までの商品果収量は、2020年を除いて全面白Ⅰおよび全面白Ⅱが対照より多かった。5月までの商品果収量は有意差がないものの3か年と

も全面白Ⅰおよび全面白Ⅱが対照より多い傾向となり、全面白Ⅰで6～16%、全面白Ⅱで7～15%の増収が認められた。

商品果の収穫果数は収量と同様、有意差は無いものの全面白Ⅰおよび全面白Ⅱが対照より多い傾向となった(図7)。一方で平均1果重は商品果収量や収穫果数と比較して試験区間は差がなかった。

光反射資材の被覆にかかる費用と試験区の商品果収量を基に試算したイチゴの販売額(2019-2021年平均)を表7に示した。なお光反射資材の単価は100m²あたりリフレモが18,315円、白黒ダブルマルチが3,381円、シャインホワイトが20,174円、防草シート(黒)が20,020円である。設置面積に基づき算出した費用を減価償却年数で除した金額は、全面白Ⅰは年間102千円、全面白Ⅱは年間84千円、対照は32千円である。販売額から被覆資材にかかる費用を差し引くと、対照より全面白Ⅰは706千円、全面白Ⅱは771千円の増益となった。

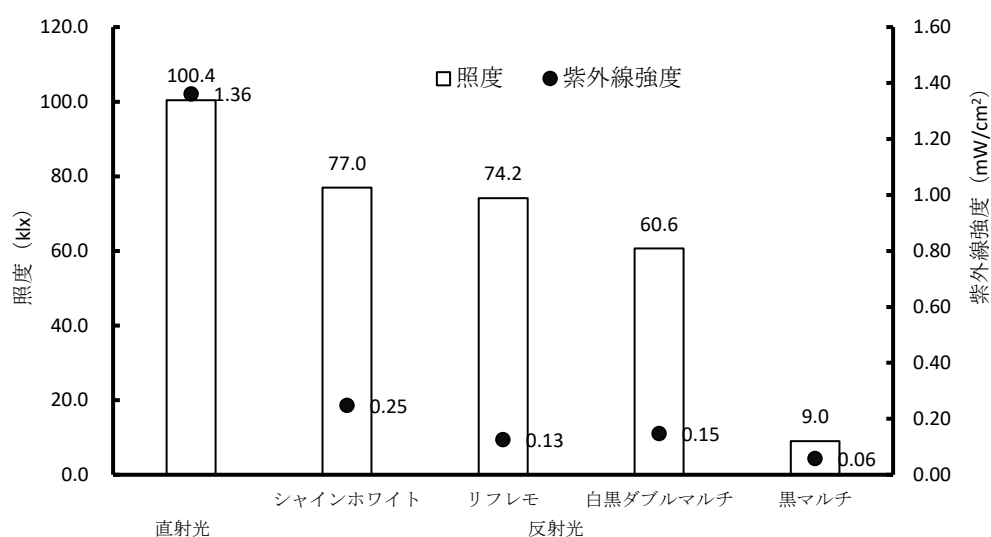


図5 光反射資材の違いによる反射光の紫外線強度および照度

表3 光反射資材の違いが葉裏および果実の積算日射量におよぼす影響(MJ/m²)

試験区	葉位					果実	
	第2葉	第4葉	第6葉	第8葉	第10葉	表	裏
全面白Ⅰ	3.33 a ^z	3.29 a	3.88 a	2.78 a	1.88 a	21.20 a	9.28 a
全面白Ⅱ	3.07 a	4.09 a	3.04 a	1.99 a	1.99 a	22.99 a	7.57 ab
対照(慣行)	2.65 a	3.30 a	3.12 a	2.44 a	2.62 a	20.64 a	3.87 b

^z Tukeyの多重検定により同列の異符号間に5%水準で有意差あり

表4 光反射資材の違いが展開葉数に及ぼす影響

試験区	展開葉数(枚)	
	11/6~1/8	1/8~3/7
全面白Ⅰ	6.8 a ^z	4.8 a
全面白Ⅱ	5.8 ab	5.1 a
対照(慣行)	5.5 b	4.8 a

^z Tukeyの多重検定により同列の異符号間に5%水準で有意差あり

表5 光反射資材の違いが頂花房の成熟日数に与える影響^z

全面白Ⅰ			全面白Ⅱ			対照(慣行)			
開花日 (月/日)	収穫日 (月/日)	成熟日数 (日)	開花日 (月/日)	収穫日 (月/日)	成熟日数 (日)	開花日 (月/日)	収穫日 (月/日)	成熟日数 (日)	
11/6	12/13	37.3	11/5	12/12	36.9	11/7	12/17	39.9	
11/10	12/19	39.0	11/9	12/18	39.2	11/9	12/19	40.1	
11/12	12/23	41.1	11/11	12/21	40.4	11/11	12/23	41.9	
11/15	12/26	41.0	11/15	12/23	37.8	11/15	12/27	42.3	
平均	11/4	12/11	36.5	11/3	12/9	36.0	11/6	12/14	38.0

^z 第1花から第13花まで調査しほぼ同日に咲いたものを抜粋して掲載. 平均は第1花から第13花までの平均値

表6 光反射資材の違いが出蕾日, 開花日, 収穫開始日, 花房間葉数に与える影響

年次	試験区	頂花房			花房間 葉数 (枚)	第1次腋花房 収穫開始日 (月/日)
		出蕾日 (月/日)	開花日 (月/日)	収穫開始日 (月/日)		
2019	全面白Ⅰ	10/5 ±1 ^z	10/16 ±2	11/12 ±2	6.1 a ^y	1/26 ±4
	全面白Ⅱ	10/6 ±1	10/17 ±1	11/14 ±1	6.1 a	1/23 ±2
	対照(慣行)	10/5 ±1	10/16 ±1	11/12 ±2	5.9 a	1/28 ±4
2020	全面白Ⅰ	10/11 ±1	10/22 ±1	11/20 ±1	4.6 a	1/27 ±5
	全面白Ⅱ	10/13 ±2	10/24 ±2	11/22 ±3	4.2 a	1/21 ±6
	対照(慣行)	10/12 ±1	10/23 ±1	11/21 ±2	4.6 a	1/22 ±6
2021	全面白Ⅰ	10/9 ±1	10/18 ±1	11/19 ±1	7.7 a	2/6 ±3
	全面白Ⅱ	10/9 ±1	10/18 ±1	11/20 ±1	7.5 a	2/5 ±3
	対照(慣行)	10/9 ±0	10/17 ±1	11/19 ±1	8.0 a	2/13 ±5

^z ±は95%信頼区間の幅

^y 同一年度においてTukeyの多重検定により同列の異符号間に5%水準で有意差あり

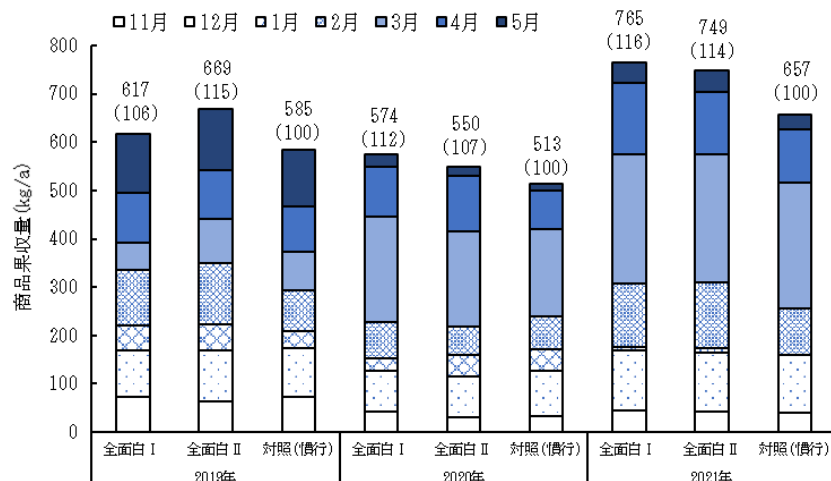


図6 光反射資材の違いによる月別商品果収量

※ () 内の数字は各年度において対照(慣行)を100とした場合の割合

※同一年度において Tukey の多重検定により 5%水準で有意差なし

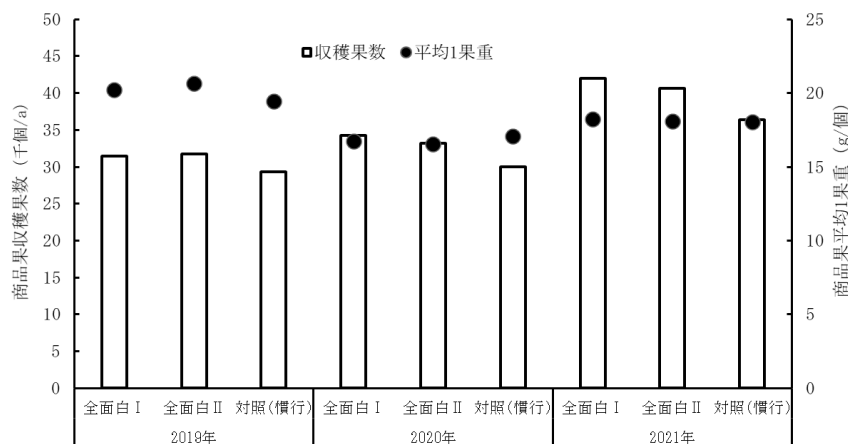


図7 光反射資材の違いによる商品果の収獲果数と平均1果重

※ 同一年度において Tukey の多重検定により収獲果数,平均1果重とも 5%

水準で有意差なし

表7 各資材の費用と販売額(2019~2021年平均)

試験区	側面資材		通路部資材		償却費 (千円/10a/年)	販売額 (千円/10a)	差引 (千円/10a)	対照との差 (千円/10a)
	資材	耐用年数 (年)	資材	耐用年数 (年)				
全面白 I	リフレモ	4	シャインホワイト	5	102	8,697	8,595	706
全面白 II	白黒ダブルマルチ	1	シャインホワイト	5	84	8,744	8,660	771
対照(慣行)	なし	-	防草シート(黒)	5	32	7,921	7,889	0

4. 考察

1) 光反射資材の特性および生育への影響

水上ら(2021)は「福岡S6号」の果実硬度は日射が当たる果実面の方が当たらない果実面より高くなること、果皮硬度は収穫前の果実に照射される日

射中のUV量に強く影響を受ける可能性があることを報告している。本試験で供試した資材の反射光における紫外線強度は全ての資材で2割以下と少なかった。また2019年から2021年の3か年において果実

硬度に差はなかった(データ略)。このことから、本試験の条件における紫外線の反射によるイチゴの果実硬度への影響は少ないと考えられる。

高設栽培で光反射資材を図2のように設置すると、果実裏の積算日射量は多くなり、表6で示すように頂花房頂花の収穫開始日は対照と同等であるものの、表5で示すように頂花房全体では成熟日数が短くなった。また、11月上旬から1月上旬までの展開葉数は対照より多くなる傾向であった。このことは、高設栽培で光反射資材を設置すると頂花房の受光量が増加し成熟日数が短縮され、その後の着果負担が軽くなることにより葉の展開が早まったのではないかと推察される。

2) 光反射資材の増収効果

日高ら(2017)は「紅ほっぺ」へのLED補光により収穫果実数が増加することを報告している。また宇都ら(2020)は、「あまおう」の高設栽培の玉受けネットに反射シートを設置すると、葉裏へ反射光が照射されイチゴ葉の光合成速度が上昇し収量が増加すること、頂花房の成熟日数が短縮されることを報告している。

本試験では図2のように光反射資材を設置し、葉裏の積算日射量に明確な差は見られなかった。しかしながら、光反射資材を設置すると2019年から2021年まで3か年とも対照より商品果収量が増加した。試験区間で平均1果重は差が小さかった一方で、収穫果数は商品果収量と同様で光反射資材を用いた場合に多かったことから、収穫果数の増加が収量の増加に大きく関与していると考えられた。収穫果数の増加の要因は果実への受光量が高まり成熟日数が短縮されることで着果負担が軽減され葉の展開が早まったこと、第1次腋花房以降の花房が充実し着果数が増加したものと推察できる。また、表4では1月上旬から3月上旬までの展開葉数に試験区間で差は認められなかったが、これは光反射資材を用いた場合に第1次腋花房以降の着果負担が増加することで展葉速度が鈍り、対照と同等となったものと推察される。これらの結果は前述した日高ら(2017)および宇都ら(2020)の報告と一致している。

なお2019年から2021年の3か年のうち、2020年のみ2月までの収量に差は無く、光反射資材を用いても第1次腋花房の収穫開始は早まらなかった(表6, 図6)。この要因として、2020年は、2019年および2021年より花房間葉数が少なく、頂花房と第1次腋花房が連続していた。そのため2月まで着果負担がかかり続けることで第1次腋花房の果数や充実度に差が生じなかったものと考えられる。一方で3月以降は光反射資材を用いた場合に常に対照より収量が多かった。これは光反射資材により第1次腋花房以降の成熟日数が短縮し着果負担が軽減され、対照よりなり疲れが軽微であったのではないかと推察される。

本試験において光反射資材の設置にかかる資材費の慣行との差は全面白Ⅰで70千円、全面白Ⅱで52千円であった。宇都ら(2020)の方法による対照との差は71千円と、全面白Ⅱの場合は既報より資材費を抑えることができた。これは全面白Ⅱに用いた白黒ダブルマルチが既報や全面白Ⅰで用いられたりフレモより安価であるためだと考えられる。なお、3か年平均の販売額は全面白Ⅱが8,744千円と最も高く、資材費の差を差し引いても8,660千円と対照より771千円増益する試算となった。全面白Ⅰは対照より706千円増益となるが、「ゆめのか」における高設栽培にはより安価な白黒ダブルマルチを用い、通路部にはシャインホワイトの設置が有効であると考えられる。

また本試験で使用した長崎県型イチゴ高設栽培システムは、栽培層に内蔵されている温湯管にボイラーで加温した温湯を流すことにより地温のコントロールが可能である。そのため被覆資材による保温効果は考慮しておらず、本試験で得られた効果は積極的に地温コントロールをしない他の栽培装置においては適用できない。

光反射資材は太陽の直射光を反射し、イチゴへ照射することで効果を発揮するため、その効果は天候に左右される。より安定した光の供給のためには、LED補光との組み合わせが想定されるため、今後はより安価なLEDと光反射資材を組み合わせた増収技術開発が求められる。

5. 摘要

光反射資材の特性や、長崎県型イチゴ高設栽培システムにおける光反射資材の設置がイチゴ「ゆめのか」の生育および収量への影響について調査し、その結果以下のことが明らかとなった。

1) 光反射資材における自然光の反射光照射度は、直射光に対しシャインホワイトは8割程度、リフレモは7割程度、白黒ダブルマルチは6割程度となる。紫外線強度はすべての資材で直射光の2割以

下となる。

2) 光反射資材を全面に設置すると、果実の裏面の積算日射量が増加し、頂花房果実の成熟日数は短くなり、展開葉数が多くなる。その結果、収穫果数が増加し収量が増加する。

3) 光反射資材の設置費用は安価で、販売金額から費用を差し引いても増益が見込まれる。

6. 引用文献

番 喜宏・矢部和則. 2005. イチゴ新品種「ゆめのか」の育成. 愛知農総試験報. 37:17-22
藤田晃久・木山浩二・重松 武・野口浩隆・大井義弘・居村正博・岡野剛健・梁瀬十三夫. 2009. 長崎県型イチゴ高設栽培システムの開発と栽培技術の確立. 長崎県総合農林試験場研究報告（農業部門）. 35：9-45
日高功太・岡本章秀・荒木卓哉・三好悠太・壇和弘・今村 仁・北野雅治・鮫島國親・沖村誠. 2013. 配光制御型高輝度LEDによる補光時間がイチゴの光合成と収量に及ぼす影響. Environ. Control Biol. 51(1)：41-47
日高智美・三好悠太・犬房弘樹・日高功太・田中泰洋・岡安崇史・安武大輔・北野雅治. 2017. イチゴ栽培ハウスにおける冬季日照不足の改善策としてのLED補光の検討. Eco-Engineering. 29(2)：45-51

水上宏二・奥 幸一郎・小賦幸一. 2021. 日射および紫外線がイチゴの果皮硬度に及ぼす影響. 福岡県農林業総合試験場研究報告. 7：14-20
宮寄朋浩・片岡正登. 2004. イチゴ栽培システムにおける作業姿勢に基づく農作業の労働負荷測定および評価法の確立. 長崎県総合農林試験場研究報告（農業部門）. 30：29-29
長崎県農林部. 2014. 長崎県農林業基準技術. 98-110
長崎県農林部. 2024. 長崎県農林業基準技術. 155-164
宇都俊介・益田良輔・佐伯由美・佐藤公洋・末吉孝行・宮原謙二・後藤大介. 2020. 高設栽培における光反射シートの利用がイチゴ「あまおう」の収量および品質に及ぼす影響. 福岡県農林業総合試験場研究報告. 6：35-40

Summary

We investigated the characteristics of light-reflecting materials and the effect of installing light-reflecting materials in the Nagasaki Prefecture-type elevated strawberry cultivation system on the growth and yield of the strawberry variety "Yumenoka". As a result, the following became clear.

1) The reflected light illuminance of natural light on light reflective materials is about 80% for Shine White, about 70% for Refremo, and about 60% for black and white double multi compared to direct light.

2) When reflective materials are installed on the entire surface of "Yumenoka" in elevated cultivation, the accumulated solar radiation on the underside of the fruit increases, the number of days for the fruit to mature on the terminal inflorescence decreases, and the number of expanded leaves increases. As a result, the number of harvested fruits increases and the yield increases.

3) The cost of installing light-reflecting materials is low, and profits are expected to increase even after deducting the costs from the sales amount.