

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450037

研究課題名(和文) 熱線透過抑制機能を持つ長期展張型農業用光学フィルムで高温対策

研究課題名(英文) Countermeasure to heat using the long service life optical film for agriculture with function to prevent heat ray transmission

研究代表者

西村 安代 (NIHIMURA, Yasuyo)

高知大学・教育研究部自然科学系農学部門・准教授

研究者番号：20435134

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：施設栽培は、高温期を含むほぼ周年で行われ、施設内の高温による悪影響が問題となっている。そのため、高温対策が喫緊の重要課題となっているが、遮光資材を用いた対策では、光合成に必要な光が減少してしまう。本研究では、可視光の透過量を極力低下させずに近赤外線透過を抑制するフィルムを用いて栽培環境並びに作物に及ぼす影響について検証した。熱線透過抑制フィルムの高温時における利用では、気温には影響はなかったが、地温および植物体温が低下し、ナス、パプリカなどの果菜類では収量が増加した。高温対策での利用価値は高いことが明らかとなったが、極寒期には、減収などの課題が認められ、周年利用においては注意が必要である。

研究成果の概要(英文)： Horticultural crops are cultivated in greenhouses almost year-round, including during periods of high temperature. However, high temperatures in a greenhouse can have negative effects on plants. Therefore, measures to counter heat are becoming an urgent issue. However, the common method of using shading material decreases the amount of light available for photosynthesis. In this study, we examined the influence of a film that limits near-infrared light transmission without reducing the transmission of visible light to the cultivation environment and crops. This heat-barrier film was used during periods of high temperature. While the temperature in the greenhouse was not affected, the soil and plant temperatures decreased, and the yields of crops such as eggplant and paprika increased. The film was a valuable countermeasure to heat, but it is necessary to be careful when using the film year-round, because it might decrease the crop yield during very cold periods.

研究分野：農学

キーワード：高温対策 熱線遮断フィルム 高機能性フィルム 施設園芸 光制御 園芸作物

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化や異常気象に伴い、気候変動に影響を受けない安定した農業が求められている。施設栽培においては、従来低温期のみビニルで囲い保温と加温により冬季の栽培が行われていた。しかし、近年は長いものでは15年以上にも及ぶ長期展張型の外張り用フィルムが多くなり、周年展張のハウスが一般的となってきた。また栽培の前進化に伴い促成栽培では8月頃から定植し、翌年の長いときでは7月頃まで栽培を延長する場合も出てきている。さらに、周年施設内で栽培を行う自然光利用型の植物工場が注目されるようになり、夏季高温期の昇温抑制対策が重要課題となっている。早い年では3月に真夏日を記録し、4～5月においてもハウス内は高温になるときも珍しくない。野菜の高温障害の例として、日焼けやひび割れ果、花粉の不稔、落蕾・落花・落果や着色不良、養分吸収のアンバランスによる生理障害などがあり、高温は植物の生育を阻害するだけでなく、収穫物にも重大な障害を来す。そのため、施設栽培での高温対策は不可欠である。

2. 研究の目的

高温対策として、強制換気、寒冷紗で被覆、フィルムに遮熱剤を塗布、細霧冷房やヒートポンプの利用など、ハウス内の昇温抑制の方法はさまざまある。本研究者は、ハウス内の光環境を外張り資材を用いて制御する研究を進めている。今までに紫外線カットフィルムの害虫の忌避効果、ナスの果皮色への影響や波長変換フィルムの収量増加効果などについて学会発表や論文で報告しているが、熱の根源である太陽光の熱線域の赤外線波長域がハウス内に透過する量を減少させることにより、昇温抑制を図ることを考えた。外張り資材を利用することで初期投資は多少かかるもののランニングコストはかからないため、省コストであり、15年以上耐候性を持つ長期展張型のフィルムを利用すれば張り替えの手間が省け、省力化にもつながる。今までに、熱線(赤外線)吸収型フィルム展張ハウス内でメロンやナスを栽培試験し、この際に利用したフィルムは赤外線波長域だけでなく、光合成有効波長も大幅に減少し、収量品質ともに低下した。

今回利用するフィルムは光合成有効波長域の透過量を改善したフィルムを開発し、さらにフィルムが赤外線波長域を吸収するのではなく、反射するタイプでの利用も考えた。そこで、反射型と吸収型の熱線透過抑制フィルムを展張したハウス内抑制効果の検証、並びにさまざまな作物における生育・収量・品質への影響を調査し、実用化ならびに普及に向けた基礎情報を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

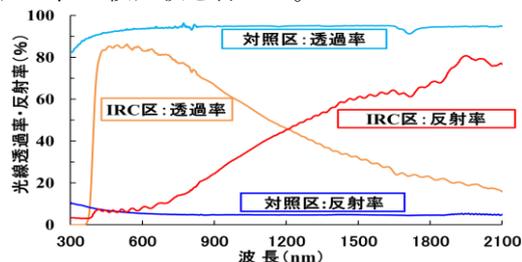
(1) 供試フィルムの特性

本試験では熱線反射フィルム(厚さ171 μ m、

F-Clean IRC X-8、(株)旭硝子; IRC区)と熱線吸収フィルム(厚さ60 μ m、(株)旭硝子)を供試し、またそれらの対照区として熱線を減少させていない自然光型のフィルム(厚さ60 μ m、F-Clean クリア、(株)AGC グリーンテック; 対照区)を用いた。いずれのフィルムもフッ素樹脂(ETFE)である。

① 熱線反射フィルム

熱線反射フィルムは近赤外線域の波長を反射させて、熱線のハウスへの透過を減少させる。その光透過特性は、可視光線透過率が84.5%、日射透過率64.4%、日射反射率24.1%であり、反射率と透過率の波長特性については第1図に示した。なお、対照フィルムの光透過特性は、可視光線透過率が93.3%、日射透過率93.7%、日射反射率5.3%である。熱線反射フィルムを使用した試験は、ハウス(幅5.5m、奥行き12m、高さ3.5m)2棟を供試し、比較試験を行った。



第1図 試験フィルムの光透過・反射特性

② 熱線吸収フィルム

熱線吸収フィルムは、近赤外線波長域をフィルムが吸収し、熱線のハウス内への透過を抑制する。フィルムに吸収された熱はハウス内よりもハウス外のほうが温度は低いいため、外に熱が逃げる。その光透過特性は、可視光線透過率が85%、日射透過率73%、近赤外線透過率63%である。なお、対照フィルムの近赤外線透過率は95%である。試験ハウスを南北に2分割して南側に熱線吸収フィルムと自然光型フッ素樹脂フィルムを展張した。

③ 試験フィルムの分光放射量の実測

供試フィルムのハウス展張後の特性を調査するため、携帯型分光放射計(MS-720、英弘精機(株))を用いて定期的に測定した。また、各ハウス内の日射および温湿度について試験期間中測定した。

(2) 栽培試験

① 熱線反射フィルム下におけるイチゴ栽培

イチゴ‘さちのか’を供試し、10月22日に株間、条間20cmで各試験ハウスに定植し、無加温で土耕栽培を行った。ハウス内の気温、湿度、日射、地温を観測し、また、イチゴの生育状況および果実収量・品質について調査し、定期的に果実および葉をサンプリングして乾燥後、無機分析に供した。

② 熱線反射フィルム下におけるナス栽培

ナス‘くろわし’(米ナス)、『竜馬’(普通ナス)、『長岡長’(長ナス)の3品種を供試し、2014年5月7日に株間55cm、各品種20

株を各試験ハウスに育成苗を定植し、土耕栽培をした。‘くろわし’は2本仕立て、‘竜馬’と‘長岡長’は4本仕立てで整枝を行った。試験ハウス内の日射、気温、湿度、地温を栽培期間中測定し、さらにサーモグラフィーを用いて植物体の表面温度を測定した。収穫果実は、収量、果形を調査し、果皮色についても色彩色差計を用いて測定した。また、葉のSPAD値は定期的に測定し、試験終了時には、植物体の生育調査を行い、収穫果実と葉は無機分析に供した。

③熱線反射フィルム下におけるパプリカ栽培
試験区は熱線反射フィルムを展張したハウス（IRC区）と自然光型フィルムに遮光率30%の寒冷紗を被せたハウス（寒冷紗区）を設けた。パプリカ‘スペシャル’（赤色）、‘フェアウェイ’（黄色）、‘プレジデント’（橙色）を供試し、育成苗を2016年4月22日に株間50cm1条で各ハウス内の3畝に定植した。パプリカは主枝4本仕立てとし、側枝1果採りで整枝した。試験ハウス内環境並びに、植物体並びに収穫果実の調査は②のナス栽培試験と同様に行った。

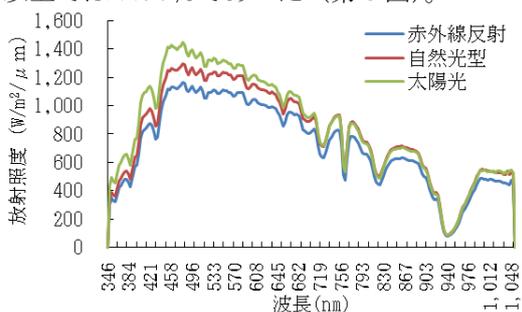
③ 熱線吸収フィルム下におけるピーマン栽培および低温対策

ピーマンは‘京ゆたか’と‘みはた2号’を供試し、2014年11月29日に90cm×15cm×75mmロックウールバッグに3株/バッグで育成苗を定植し、各処理区各品種6株とした。フィルム比較試験に加えて低温期における、熱線吸収フィルムの欠点を補足するため、低温回避効果があるといわれているトレハロースの葉面散布処理を併せて行った。トレハロース処理は、葉面散布を週に一度行い、処理濃度は0.02%、0.1%、0.5%と対照区として水のみ4処理区とした。ピーマンの整枝は、2本仕立てとし、20節上で主枝を摘心した。収穫は1月中旬から5月下旬まで行い、収量・品質を調査した。また、葉および収穫果実内の無機成分含有率を調査した。

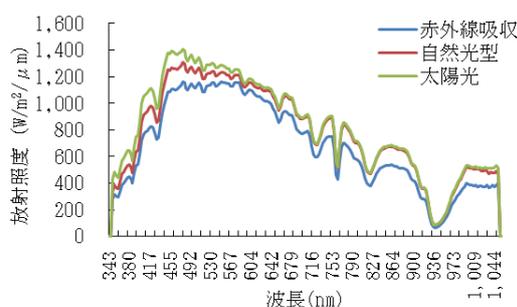
4. 研究成果

(1) 供試フィルムの分光特性の測定

2015年7月24日に測定した分光放射は、熱線反射フィルムでは、400-700nmの透過量は太陽光の83.0%、800nm以上では89.0%であった（第2図）。熱線吸収フィルムでは、400-700nmの透過量は太陽光の85.9%、800nm以上では77.0%であった（第3図）。



第2図 熱線反射フィルムの分光特性(7月24日)

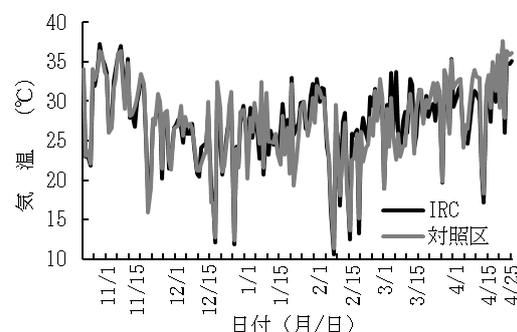


第3図 熱線吸収フィルムの分光特性(7月24日)

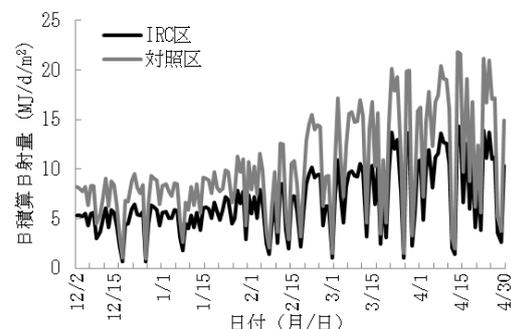
(2) 栽培試験

①熱線反射フィルム下におけるイチゴ栽培

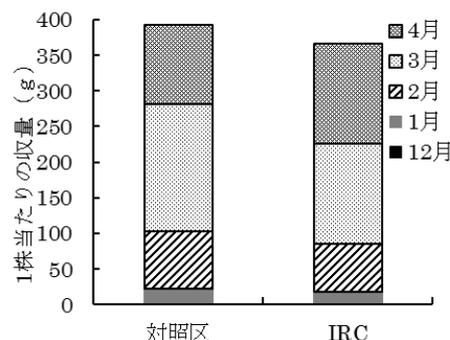
気温（第4図）および相対湿度は、試験期間中ほとんど差異は認められなかった。一方、地温は平均して約1.9℃、日積算日射量（第5図）は32.8%ほどIRC区で、対照区よりも低くなった。



第4図 ハウス内における日最高気温の推移



第5図 ハウス内日積算日射量の推移



第6図 熱線反射フィルムがイチゴ果実収量に及ぼす影響

イチゴの果実総収量は、IRC区で6.5%ほど低下した（第6図）が、可販果率ならびに平均果実重は、2月以降ではIRC区が高く、また、気温が上昇してきた4月は対照区の収

量を上回った。果実品質は、糖度、クエン酸、糖酸比ともに1月に有意差が認められたが、試験期間中の平均では有意差はなかった(第1表)。果実内無機成分濃度は、対照区よりも熱線反射区でPは高く、Mgは低い傾向が認められた。生育について、葉の乾物率ならびに葉の厚さは、対照区よりも熱線反射区で低くなった。また、3月10日に調査した出葉角度(地面と水平を 0°)は、対照区では 39.2° 、熱線反射区では 65.7° と有意差が認められ、熱線反射区で葉が立ち上がった。

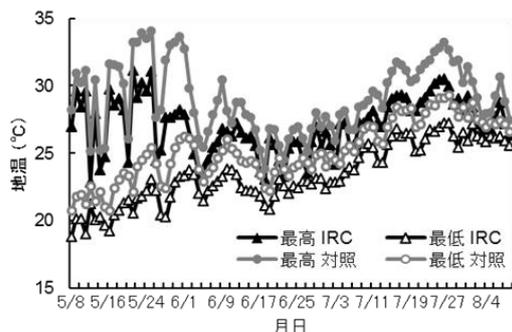
第1表 熱線反射フィルムがイチゴ果実品質に及ぼす影響

品質	処理区	月別				全期間平均
		1月	2月	3月	4月	
糖度 (Brix%)	対照	11.1	10.6	9.6	10.4	10.4
	IRC	10.8	10.6	9.7	10.0	10.3
	t検定	**	ns	ns	**	ns
クエン酸 濃度 (%)	対照	0.65	0.53	0.51	0.50	0.54
	IRC	0.56	0.57	0.53	0.51	0.54
	t検定	*	ns	*	ns	ns
糖酸比	対照	17.1	20.0	19.0	21.0	19.3
	IRC	19.4	18.6	18.4	19.6	19.0
	t検定	*	ns	ns	ns	ns

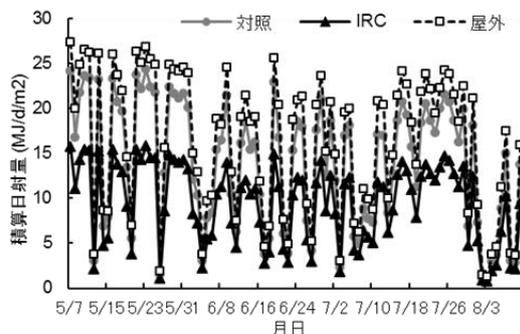
t検定において*5%、**1%レベルで有意差あり

②熱線反射フィルム下におけるナス栽培

ハウス内の気温は、日平均・最高・最低ともにIRC区が対照区よりも若干低い傾向となり、日平均湿度はIRC区でやや高くなった。



第7図 試験期間中の積算日射量の推移



第8図 試験期間中の地温の推移

日射量と地温はIRC区で有意に低くなり、IRC区の日積算日射量(第7図)は対照区の約64%、地温(第8図)では平均 1.9°C の差

異が認められた。サーモグラフィーによるナス植物体の表面温度はIRC区で明らかに低かった(第9図)。収量は、‘くろわし’と‘長岡長’では対照区でやや高く、‘竜馬’ではIRC区が有意に高くなった(第2表)。また、障害果の発生は全体的に少なかったが、IRC区で低くなった。



第9図 熱線反射フィルムが‘竜馬’の果実表面温度に及ぼす影響(上段:IRC区、下段:対照区)

第2表 熱線反射フィルムがナスの収量および果形に及ぼす影響

品種	処理区	果実数 (果/株)	平均果重 (g/果)	総収量 (g/株)
竜馬	対照	37.9	83.0	3148.1
	IRC	37.3	88.8	3309.5
	t検定	n. s.	**	**
長岡長	対照	23.0	134.1	3091.7
	IRC	15.8	133.9	2121.8
	t検定	**	n. s.	*
くろわし	対照	8.6	321.5	2747.6
	IRC	8.2	314.2	2580.1
	t検定	n. s.	n. s.	n. s.

**1%水準で有意差あり、*5%水準で有意差あり、n. s.有意差なし

第3表 熱線反射フィルムが‘長岡長’の果皮色に及ぼす影響

処理区	L*値	a*値	b*値
対照	26.2±2.0	3.7±2.2	0.0±0.7
IRC	27.9±2.7	7.2±3.6	0.1±0.8
T検定	**	**	n. s.

**1%水準で有意差あり、*5%水準で有意差あり、n. s.有意差なし



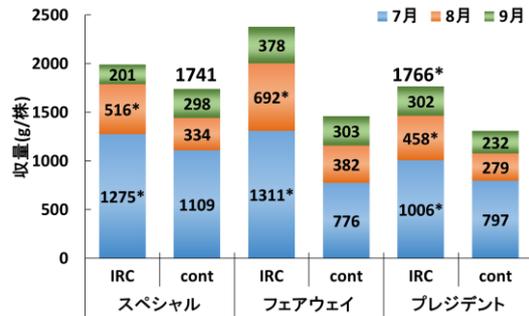
第10図 ‘長岡長’ナスの収穫果実(上:対照区、下:IRC区)

しかし、試験した年は、例年よりも日射量および気温が低く、また8月10日の高知に上陸した台風によって試験フィルムに被害がおよび、試験を中断せざるを得ず、盛夏時

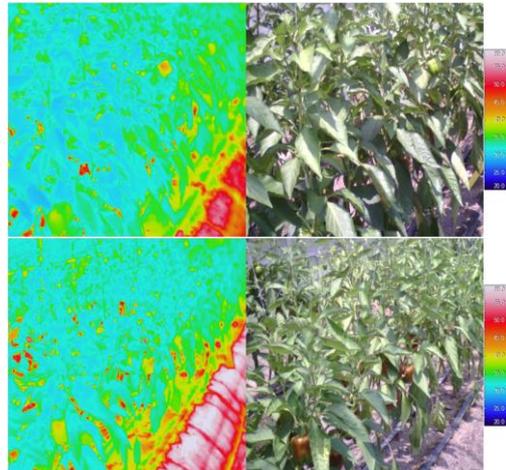
の影響を調査することができなかつた。果皮色は、IRC 区の‘竜馬’、‘長岡長’で a*値が有意に高くなり、対照区よりも赤みが増した（第 3 表、第 10 図）。全品種の葉の SPAD 値は、対照区が IRC 区よりも有意に高くなった。無機成分について、‘竜馬’と‘長岡長’の葉内 P 含有率は IRC 区で有意に高くなった。

④ 熱線反射フィルム下におけるパプリカ栽培

⑤ 試験期間中のハウス内気温において差異はなかつたが、日射量は IRC 区で低く、また湿度は IRC 区で有意に高くなった。さらに 8 月下旬から 9 月上旬における地温は IRC で低く、有意差が認められた。葉の SPAD 値、茎径は IRC 区が有意に高く、栽培終了時の茎長は IRC 区が有意に高かつた。総収量は、全品種において IRC 区で有意に高く（第 11 図）、果実数は、黄、橙において IRC 区が有意に高かつた。



第 11 図 熱線反射フィルムがパプリカの収量に及ぼす影響



第 12 図 熱線反射フィルムがパプリカの果実表面温度に及ぼす影響 (上段：IRC 区、下段：Cont. 区)

しかし、50g 以下の小果や障害果、奇形果を除いた可販果実の収量、果実数は、‘フェアウェイ’のみ IRC 区が有意に高かつた。障害果として最も多かつた日焼け果の発生率は、全品種において有意差はなかつたが、ひび割れ果の発生率は‘スペシャル’、‘プレジデント’の 2 品種では Cont. 区が有意に高かつた。果実品質としては、糖度、アスコルビ

ン酸ともに全品種で有意差はなかつた。無機成分について、全品種で IRC 区が果実内の Ca、Zn 含有率が有意に高かつた。

③ 熱線吸収フィルム下におけるピーマン栽培および低温対策

両品種の収量は収穫初期においては IRC 区で低かつたが、日射量の増加に伴い増収し、総収量では自然光区と同等となつた。また、いずれのフィルム区もトレハロースを葉面散布することで、収量は有意な増収が認められた。‘みはた 2 号’において自然光区ではトレハロースの濃度の影響は認められなかつたが、IRC 区ではトレハロースの濃度が高いほど収量は高くなる傾向にあり、0.1%および 0.5%散布することで自然光区と同等の収量となつた（第 4 表）。果実品質について、果形、果皮色、Bx.、アスコルビン酸濃度はフィルムの種類やトレハロース濃度にかかわらず有意差は認められなかつた。葉の SPAD、厚さ、葉面積は IRC 区で若干高かつたが、トレハロースの影響は認められなかつた。また、果実内の無機成分は IRC 区で Mg 含有率が有意に高かつたが、それ以外ではフィルムやトレハロースの濃度の違いによる一定の傾向は認められなかつた。

第 4 表 熱線吸収フィルムおよびトレハロースが‘みはた 2 号’の収量に及ぼす影響

濃度	果実数(個/株)		収量(g/株)		平均果重(g/個)	
	自然光	IRC	自然光	IRC	自然光	IRC
対照	110.3	107.5	3327.2	3324.5	30.1	30.9
0.02	132.3	115.8	4003.9	3370.6	30.3	29.1
0.1	132.2	125.3	3959.8	3846.4	30.0	30.6
0.5	131.2	122.8	3915.8	3997.4	29.9	32.5

(3) まとめ

熱線反射フィルムは、気温よりも地温ならびに植物体表面温度を低下する効果が高いことが認められた。可視光の透過量は自然光型のフィルムと比較して低い、寒冷紗を用いた栽培試験では熱線反射フィルムでの収量が高かつたため、高温対策としては利用効果が高いと示唆された。しかし、本試験で使用したフィルムは、紫外線透過量が低かつたため、発色に紫外線を必要とするナスの果皮色に影響を与えるため、注意が必要である。また、高温対策としては一定の効果が得られたが、低温期には地温が下がり、暖房費の増加が予想されるため、高温期の利用のみが適すると思われる。低温期の利用は、トレハロースの葉面散布を併用することで収量の改善が認められたことから、寡日照時には遮熱フィルムの欠点を補うような栽培技術などの利用が必須である。

以上のことから、遮熱フィルムは高温対策としての効果は高いが、寡日照時での利用は懸念されるため、カーテンなどの可動式の利用が適当であり、周年利用に関しては、温度感応型の遮熱フィルムの開発が期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 西村安代、機能性農業用フィルム、機能材料、査読無、36 (4)、2016、3-13.
- ② 有賀広志・小田康一・西村安代・福元康文、熱伝導率測定装置を用いた簡便な農業用被覆資材の断熱性評価方法の検討、植物環境工学、査読有、27(1)、2015、14-23.
- ③ Y.Nishimura, T. Nojima, M. Mori, H. Aruga, Y. Fukumoto and Y. Yamasaki, Cucumber Plant Responses and Cultivation Environment Effects under Near-infrared Reflecting Greenhouse Film, Proceedings of the International Symposium on Innovation and New Technologies in Protected Cropping, ISHS Acta Horticulturae, 査読有, 1107, 2015.
DOI:10.17660/ActaHortic.2015.1107.35
- ④ 西村安代、農業に求められる光学特性とプラスチックフィルムの可能性、コンバーテック、査読無、509、2015、92-98.

[学会発表] (計 9 件)

- ① 西村安代・田植ちはる・岡添敏子・有賀広志・森牧人、低温期のピーマン栽培におけるトレハロースの効果、園芸学会平成 29 年度春季大会研究発表、2017 年 3 月 19-20 日、日本大学生物資源科学部 (神奈川県藤沢市)
- ② 西村安代、岡添敏子、田植ちはる、森牧人、温度感応型散乱光フィルムを用いたトマト栽培、2016 年度農業施設学会大会、2016 年 8 月 29 日~31 日、高知大学農林海洋科学部 (高知県南国市)
- ③ 西村安代・吉良瑞穂・有賀広志・阿野秀朔、熱線反射フィルム展張下におけるナス栽培、園芸学会平成 28 年度春季大会研究発表、2016 年 3 月 26-27 日、東京農業大学厚木キャンパス (神奈川県厚木市)
- ④ 西村安代・吉良瑞穂・楠瀬真央・森牧人、熱線反射フィルムがハウス内環境およびイチゴ栽培に及ぼす影響、農業生産技術管理学会平成 27 年度大会、2015 年 9 月 11-12 日、鳥取大学 (鳥取県鳥取市)
- ⑤ 西村安代・水田一樹・福元康文・森牧人・能島知宏、シシトウ養液栽培における熱線遮光フィルムの効果、園芸学会平成 27 年度春季大会研究発表 2015 年 3 月 28 日-3 月 29 日、千葉大学 (千葉県千葉市)
- ⑥ 西村安代・有賀広志・能島知宏・森牧人・福元康文、長期展張型赤外線反射フィルム

下におけるスイカの栽培試験、園芸学会平成 26 年度秋季大会研究発表、2014 年 9 月 27-28 日、佐賀大学 (佐賀県佐賀市)

- ⑦ Yasuyo Nishimura, Hiroshi Aruga, Yuko Yamasaki, Makito Mori, Tomohiro Noujima, Cucumber Plant Responses and Cultivation Environment Effects under Near-infrared Reflecting Greenhouse Film. 29th International Horticultural Congress, 17-22, August 2014, Brisbane (Australia).
- ⑧ Makito Mori, Tomohiro Nojima, Tuneo Ogata, Daisuke Yasutake, Yasuyo Nishimura, Motoki Nishimori, Numerical Simulation of the Long-Wave Radiation Environment Under the Roof of a Greenhouse in the Mountain Range, Shikoku, Japan. 29th International Horticultural Congress, 17-22, August 2014, Brisbane (Australia).
- ⑨ Makito Mori, Shogo Nakamura, Yasuyo Nishimura, et. al. An Observation Study of Water Consumption of Eggplant in a Greenhouse During the Summer Season of 2013. 29th International Horticultural Congress, 17-22, August 2014, Brisbane (Australia).

[図書] (計 1 件)

西村安代 (監修) 他、(株)AndTech、国内外の農業用フィルム・被覆資材・園芸施設の技術開発と機能性・評価、市場および政策動向、2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 安代 (NISHIMURA, Yasuyo)
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号：20435134

(2) 研究分担者

森 牧人 (MORI, Makito)
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号：60325496

(3) 連携研究者なし

(4) 研究協力者

有賀 広志 (ARUGA, Hiroshi)
福元 康文 (FUKUMOTO, Yasufumi)