

UV-C 照射によるイチゴのナミハダニに対する防除効果

野村研¹⁾・嶋村南璃

Effect of UV-C Irradiation on the Control of Two-spotted Spider Mites on Strawberries.

Ken NOMURA and Minori SHIMAMURA

摘 要

イチゴの重要害虫であるナミハダニに対する UV-C の防除効果を調べた。まず、LED 光源による UV-C (265 nm) 照射機を使用し、光強度（以下、放射照度： W m^{-2} ）および照射時間を調節し、積算強度を一定にしてイチゴ苗に照射した。その結果、放射照度を高くして照射時間を短くした場合にはイチゴ生育への影響は認められなかった。一方、放射照度が低くても照射時間が長い場合には葉焼け等の生理障害が認められた。このことから、積算強度が同一であっても、放射照度より照射時間の影響をより大きく受けることが示された。次に UV-C を、反射シートを利用してナミハダニが主に寄生する葉裏に反射させることで防除効果を調べた。その結果、アルミホイルを用いて UV-C を反射させた場合に高い防除効果が認められた。しかしイチゴの生育に伴い、防除効果は低下し、生育が進展した場合にも葉裏に UV-C を効果的に照射することが必要と考えられた。

キーワード： UV-C 照射， ナミハダニ， イチゴ， 防除

Summary

We investigated the effectiveness of UV-C radiation against the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), a major pest of strawberry. First, we used an UV-C LED (265 nm) to irradiate strawberry transplants with constant cumulative intensity, adjusting the irradiance and irradiation time. Higher irradiance and shorter irradiation time did not affect strawberry growth. On the other hand, lower irradiance and longer irradiation time caused leaf burn and other physiological disorders. This suggests that irradiation time is more important than irradiance, even when the cumulative irradiance is the same. Next, we investigated the effectiveness of UV-C radiation reflected by a reflective sheet onto the underside of leaves, where spider mites primarily infect. High control was achieved when UV-C was reflected by aluminum foil. However, the control effect decreased as the strawberry plants matured, suggesting that effective UV-C irradiation of the underside of leaves is necessary even when growth progresses.

Key words: Pest control, Strawberries, Two-spotted spider mite, UV-C irradiation

¹⁾現神奈川県政策局いのち未来戦略本部室

緒言

農業生産の環境負荷を軽減するために化学合成農薬を削減することは喫緊の課題である。そのため、多様な化学合成農薬代替技術が開発されており、紫外線 (UV) の利用もその一つとして技術開発が進められている。UV は、その波長によって UV-A (315~400 nm)、UV-B (280~315 nm) および UV-C (100~280 nm) に分類されている。イチゴの病害虫防除を目的とした UV 利用についてはこれまでに UV-B と反射シートを組合せて利用したハダニ類およびうどんこ病に対する防除効果が明らかにされており、すでに実用化されている (農研機構 2019, 神頭 2024, 内橋 2024, 内橋ら 2024)。一方、UV-B と比較して殺菌力などが高く、イチゴ病害虫に対するより高い防除効果が期待できる UV-C については、各種機器の殺菌を目的として利用されているものの、人体に対するリスクがあり、取扱に一層の注意が必要である (日本照明工業会 2020)。そのため、農作物における地上部の病害虫に対する防除を目的とした国産機器は開発されていない。そのような中、スタンレー電気株式会社 (以下、委託会社) では、自社開発した LED 光源による UV-C 照射技術を利用し、ハダニ等の病害虫を防除する装置の開発を進めており、これまでに室内試験ではナミハダニに対する高い防除効果を確認している (喜多羅ら 2025)。そこでこの装置の実用化に資するため、UV-C の照射によるイチゴ植物体への影響およびイチゴ葉におけるナミハダニに対する防除効果を検討した結果を取りまとめ、報告する。なお、本研究は委託会社からの受託試験により実施した。

材料および方法

神奈川県農業技術センター (神奈川県平塚市) 所内の 25 坪温室において、2024 年 6 月~2025 年 1 月にかけて、試験を実施した。イチゴ品種には‘かなこまち’を用いた。イチゴ苗は温室室内ベンチ上のプランターで栽培した親株からランナーを誘引し、イチゴ育苗専用培土 (大柿園芸) を使用して 9 cm ポットに採苗・育苗し、実験に供試した。

実験 1 : UV-C 照射によるイチゴ植物体への影響

LED 光源による UV-C (ピーク波長: 265 nm) 照射

機をベンチ上に設置し、UV 放射照度 ($W m^{-2}$) および照射時間を調節して 1~3 回照射し、‘かなこまち’のポット苗を用いてイチゴ植物体への影響を調査した (図 1)。照射実験は 2024 年 8 月 20 日から 8 月 27 日にかけて実施した。ナミハダニ成虫の LD_{90} (90%致死強度) である $1.5 kJ m^{-2}$ (喜多羅ら 2025) になるように、照射条件を調整した。照射条件①~⑥では放射照度と照射時間は異なるが、1 回当たり照射強度は $0.5 kJ m^{-2} day^{-1}$ であり、3 日間照射することで積算強度が $1.5 kJ m^{-2}$ に達することになる。また、⑦~⑩では放射照度を $1.5 W m^{-2}$ に統一し、照射時間の長短による影響を調べた。これらの条件設定により放射照度と照射時間のどちらがイチゴ生育に影響を与えるかを調査した。照射条件①, ②および④については 1 日 1 回 3 日間, ③, ⑤については 1 日 1 回 2 日間照射し, ⑥~⑩については 1 回照射を行った (表 1)。

UV 照射後に葉焼け症状および葉巻症状の有無を以下の 4 段階で評価した。

なお、照射時には UV を防御できるフェイスシールド (理研オプティック, FS-2100UV) を着用して目を保護するなど、細心の注意をしながら試験を実施した。

葉焼け症状および葉巻症状の評価

- :葉焼け (葉巻) を認めない
- +:軽微な葉焼け (葉巻) 症状を認める
- ++:中度の葉焼け (葉巻) 症状を認める
- +++ :重度の葉焼け (葉巻) 症状を認める



図 1 ハダニ類防除のための UV-C 照射試験装置
赤矢印は UV 光源を示す。

実験 2 : UV-C 照射によるナミハダニに対する防除効果

イチゴの一部の葉に、イチゴ苗で増殖したナミハダニ 3~5 頭を小筆ですくい上げて放虫した。実験 1 の UV-C 照射条件を参考に、イチゴ生育への影響を極力防ぐため、1 回当たり放射照度 3.7 W m^{-2} 、照射時間 80 s、積算強度 296 J m^{-2} ($\approx 0.3 \text{ kJ m}^{-2}$) とし、1 日 1 回、連続した 5 日間照射することで積算強度 (1.5 kJ m^{-2}) を確保することとした。照射試験装置は光源が機器の上部に設置されており、構造上、ハダニが主に寄生しているイチゴの葉裏には UV-C を直接照射はできない。そこでイチゴの株下に反射シートを設置し、UV-C を反射させることで葉裏への照射を試みた (図 2)。反射シートにはタイベック 400WP (デュボン)、アルミホイルまたは高反射 PTFE シート (THO RLABS PMR10P2) を供試した。9 cm ポットで育成した 4 株を育苗トレー上の 4 隅に配置、または育苗培土を満したプランターに 2 株を定植した。ナミハダニの寄生状況を確認し、各試験について、ポットおよびプランターに定植したイチゴから計 6 株を選び、調査に用いた。照射前後のナミハダニ寄生状況については、各株の 3 葉に油性マジックでマークし、寄生しているナミハダニの幼虫および成虫数を調査した。

日本植物防疫協会による新農薬実用化試験の評価方法に従い、以下の式により幼虫、成虫およびその合計数について補正密度指数を算出することで対無処理区比の効果を一般害虫の評価基準で評価した。試験は照射期間 1~3 の 3 回実施した。

補正密度指数

$$= \frac{\text{処理区のX日後の虫数}}{\text{処理区の処理前の虫数}} \times \frac{\text{無処理区の処理前の虫数}}{\text{無処理区のX日後の虫数}} \times 100$$

ここで、X は処理後日数である。

評価基準

効果は高い : 10 以下

効果はある : 10~30

効果はやや低い : 30~50

効果は低い : 50 以上

照射期間 1: 11 月 11 日~11 月 15 日 (反射シート: タイベック 400WP)

照射期間 2: 12 月 2 日~12 月 6 日 (反射シート: アルミホイル)

照射期間 3: 1 月 6 日~1 月 10 日 (反射シート: 高反射 PTFE シート)



図 2 イチゴ株下に設置したアルミホイル (左) と高反射 PTFE シート (右)

結果及び考察

実験 1 : UV-C 照射によるイチゴ植物体への影響

各照射日における電流値 (mA)、放射照度 (W m^{-2}) および照射時間 (s)、葉焼けおよび葉巻症状の有無について表 1 に示した。照射条件①,②, 及び④の結果から、 1.5 W m^{-2} 、324 s の 1 回照射では葉焼けおよび葉巻症状は認められず、 0.04 W m^{-2} 、11,363 s および 0.06 W m^{-2} 、8,620 s の 1 回照射では中度の葉焼けおよび軽微な葉巻症状が観察された。また、同条件により 3 回照射後では、 1.5 W m^{-2} 、324 s では葉焼けおよび葉巻症状はいずれも認められず、 0.04 W m^{-2} 、11,363 s および 0.06 W m^{-2} 、8,620 s ではいずれも重度の葉焼けおよび葉巻を示した (図 3)。照射条件③および⑤の 2 回照射では生理障害は認められなかった。また、照射条件⑦~⑩ (放射照度 1.5 W m^{-2}) による 1 回照射では、照射時間が長くなるとともに生理障害が重度化した (表 1, 図 4)。これらの結果、UV-C の照射によるイチゴ生育への影響は、照射強度が低くても積算時間が長くなるとイチゴの生育に障害が生じ、積算時間の影響をより強く受けることが明らかとなった。そこでハダニの成虫に殺虫効果が期待され、イチゴの生育には影響が出にくい照射強度を実験 2 の方法で示した通り設定し、ナミハダニに対する防除効果を検証した。

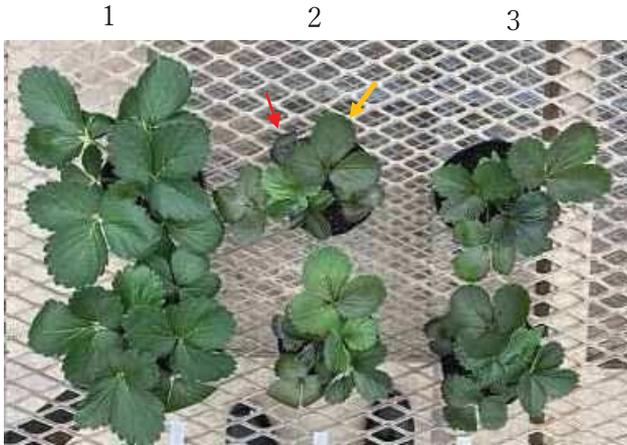


図3 UV-C 照射後のイチゴにおける葉焼け及び葉巻症状 (8月20日~27日照射, 8月30日撮影)

- 1 照射条件① (1.5 W m⁻², 324 s×3)
 - 2 照射条件② (0.04 W m⁻², 11,363 s×3)
 - 3 照射条件④ (0.06 W m⁻², 8,620 s×3)
- 赤矢印は葉巻症状, 黄矢印は葉焼け症状を示す.

1 2 3 4 5 6 7 8



図4 UV-C 照射後のイチゴにおける葉焼け及び葉巻症状 (8月20日~27日照射, 8月30日撮影)

- 1 コントロール (UV 照射無)
- 2 照射条件① (1.5 W m⁻², 324 s×3)
- 3 照射条件③ (1.2 W m⁻², 426 s×2)
- 4 照射条件⑤ (0.8 W m⁻², 643 s×2)
- 5 照射条件⑦ (1.5 W m⁻², 1,800 s)
- 6 照射条件⑧ (1.5 W m⁻², 3,600 s)
- 7 照射条件⑨ (1.5 W m⁻², 5,434 s)
- 8 照射条件⑩ (1.5 W m⁻², 8,620 s)

表1 UV-C照射後のイチゴにおける葉焼けおよび葉巻症状

条件	電流値 (mA)	UV放射照度 (W m ⁻²)	照射時間 (s)	照射回数	第1回照射		第2回照射		第3回照射	
					葉焼け	葉巻	葉焼け	葉巻	葉焼け	葉巻
①	500	1.5	324	3	-	-	-	-	-	-
②	100	0.04	11,363	3	++	+	+++	++	+++	+++
③	400	1.2	426	2	-	-	-	-	nd	nd
④	110	0.06	8,620	3	++	+	++	++	+++	+++
⑤	300	0.8	643	2	-	-	-	-	nd	nd
⑥	120	0.09	5,434	1	+++	++	nd	nd	nd	nd
⑦	500	1.5	1,800	1	+	-	nd	nd	nd	nd
⑧	500	1.5	3,600	1	+	+	nd	nd	nd	nd
⑨	500	1.5	5,434	1	+	+	nd	nd	nd	nd
⑩	500	1.5	8,620	1	+++	++	nd	nd	nd	nd

nd: 照射せず

実験 2 : UV-C 照射によるナミハダニに対する防除効果

UV-C 照射によるナミハダニ成虫および幼虫への防除効果を調べた。照射実験は照射期間 1~3 までの 3 回実施した。

(1)照射期間1

イチゴは、トレー上のポットによる育苗株を、また、反射シートとしてタイベック 400WP を用いた。UV 照射によるイチゴの病害虫防除については UV-B の波長を用いた先行研究があり、タイベック 400WP は UV-B を効果的に反射するシートとして推奨されている (農研機構 2019)。しかし本試験で使用した UV-C の波長 265 nm についてはタイベックでは効率的に反射しないことが試験実施後に判明した。事実、照射試験では明確な殺虫効果は認められなかった (表 2)。そこで次の実験では、UV-C を反射できるアルミホイルまたは高反射シートを供試することとした。

(2)照射期間 2

反射シートとしてアルミホイルを用いた。ポットへの照射では補正密度指数 7.4 となり、高い防除効果が確認された (表 2)。一方、プランターへの照射では補正密度指数 49.0 となり、防除効果はやや低くなるなど、その効果にばらつきが生じた。プランター上のイチゴはポットによる育苗株よりも生育がやや進み、UV-C の反射が充分行き届かなかったことが要因と考えられる。

(3)照射期間 3

反射シートには UV-C を高率で反射できる高反射 PTFE シートを用いた。本シートの規格は 34 cm²、厚さ 5 mm 程度となっている。そのままの状態ではイチゴの株下に均一に敷くことができないため、1/2~1/3 程度に切断して設置した (図 2)。なお、厚さがある分、アルミホイルよりもイチゴ葉面とシートとの距離が短くなった。そのため、反射シートにより反射した UV-C がイチゴの葉裏に充分行き届かないことが危惧された。実際、プランターでは補正密度指数が 116.7 となり効果は認められない結果となった。(表 2)。しかし、ポットでの試験では補正密度指数が 39.8 となり、一定の防除効果は認められ、UV-C を葉裏に反射させることによる防除効果について再現性が確認された。

以上の結果、反射シートを用いて UV-C を葉裏に照

表2 UV-C(265nm)を照射したイチゴにおけるナミハダニの防除効果

照射期間 ^a	調査株	処理方法 ^b (反射シート)	寄生頭数						
			処理前			最終処理4日後			
			幼虫	成虫	計	幼虫	成虫	計	
1	ポット	UV-C照射 (タイベック400WP)	計	194	340	534	189	268	457
		補正密度指数	計	100.8	67.7	79.2			
		無処理	計	148	200	348	143	233	376
		補正密度指数	計	100	100	100			
2	ポット	UV-C照射 (アルミホイル)	計	29	28	57	0	3	3
		補正密度指数	計	0.0	16.3	7.4			
		無処理	計	30	35	65	23	23	46
		補正密度指数	計	100	100	100			
	プランター	UV-C照射 (アルミホイル)	計	20	29	49	5	5	10
		補正密度指数	計	118.8	26.6	49.0			
無処理		計	19	17	36	4	11	15	
	補正密度指数	計	100	100	100				
3	ポット	UV-C照射 (高反射PTFEシート)	計	5	21	26	8	22	30
		補正密度指数	計	0.0	37.4	39.8			
		無処理	計	0	10	10	1	28	29
		補正密度指数	計	100	100	100			
	プランター	UV-C照射 (高反射PTFEシート)	計	3	10	12	6	9	14
		補正密度指数	計	0.0	247.5	116.7			
無処理		計	0	11	11	7	4	11	
	補正密度指数	計	100	100	100				

^a 照射期間1 ポット6株×3葉の計18葉に寄生していたナミハダニの幼虫・成虫の頭数。

照射期間2,3 ポットでは4株×3葉の計12葉、プランターでは2株×3葉の計6葉に寄生していたナミハダニの幼虫・成虫の頭数。

^b UV-Cは1回当たり放射照度3.7 W m⁻², 照射時間80 s, 積算強度296 J m⁻² (≒0.3 kJ m⁻²) とし, 1日1回, 連続した5日間照射。

射することによりナミハダニの防除効果は得られることが明らかとなった。一方, 照射期間2~3のプランターで栽培したイチゴではUV-C照射の効果が得られにくかった。プランターで栽培したイチゴでは12月以降, イチゴの生育とともに葉数が増加し, 下から反射させる方法では葉裏全体にUVを十分届けることが困難になったことが要因と推察される。また, 照射期間中にUV-Cの照射が行き届かない葉でハダニの数が経時的に増加し, 調査葉に移動していったことも考えられる。今後, UV-C照射によるハダニの防除を実用化するためには, 光源からのUV-Cを可能な限り直接葉裏に当てるようにUV-C照射機を改良することが課題となる。また, UV-Cが葉裏に届きやすい育苗期または定植初期の使用に限定して使用することなどが考えられる。本研究ではアザミウマ類やコナジラミ類, UV-Bで認められているようなどんこ病に対する防除効果は検証できなかった。UV-C照射機の改良により, イチゴで問題となる微小害虫の他, うどんこ病をはじめ, 炭疽病などの重要病害を含めた防除効果が期待される(内橋ら2024)。さらに, トマト等果菜類の育苗期にUV-Cを照射することで, 化学合成農薬の使用量を低減した病害虫防除に広く寄与できるようになることが期待される。

謝辞

本研究を実施するに当たり, スタンレー電気株式会社からUV-C照射機の貸与を受けるとともに, 調査に協力いただいた。また, 東京農工大学教授 鈴木丈詞博士には本研究の取りまとめに際しご指導をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

引用文献

- 一般社団法人日本照明工業会. 2020. 殺菌用UV-C照射に関するポジションステートメント UV-C安全ガイドライン https://www.jlma.or.jp/anzen/covid-19/pdf/GLA_UV-C_Safety_Position_Statement_japanese.pdf
- 神頭武嗣. 2024. ヒトの目には見えない紫外線を浴びたイチゴは病気に強くなる. iPlant. 2 (1)
- 喜多羅大暉・宮園 治・山口 歩・山本 和彦・野村研・嶋村南璃・山本 雅信・鈴木丈詞. 2025. UV-Cに対するナミハダニの感受性と定位行動. 第69回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集:61
- 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター. 2019. 紫外光照射を基幹としたイチゴの病害虫防除マニュアル~技術編. https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/fi

les/kakisigaisennwebmain.pdf

内橋嘉一. 2024・イチゴうどんこ病および炭疽病の抑制には LED による UV-B 照射を活用できる. iPlant. 2 (7)

内橋嘉一・高野仁・田中雅也・田坂勝次・神頭武嗣.
2024. LED 光源を用いた UV-B 照射によるイチゴうどんこ病およびイチゴ炭疽病の抑制. 日植病報. 90:5-13
