

葉緑素計 (SPAD 値) によるホウレンソウ品種のオゾン感受性の推定

太田友代*・印南ゆかり*・三輪 誠**

Estimate of Ozone Sensitivity of Spinach Cultivars by Chlorophyll Meter (SPAD)

Tomoyo OTA, Yukari INNAMI and Makoto MIWA

要約 オゾンによるホウレンソウの可視障害の程度(被害度)と葉緑素計による測定値(SPAD値)との関係を検討したところ、春先に両者の間に負の相関が認められた。このことから、SPAD値は、ホウレンソウ品種のオゾン感受性を推定する簡便な指標として利用できると考えられた。実際に推定する場合には、実施時期は春先とし、比較する品種の播種日、栽培管理を同一にし、草丈約15cmの時期に行う。

1970年代に健康被害をもたらした問題となった光化学オキシダントの濃度は、1980年代には汚染物質排出規制などにより一時的に低減されたが、1990年代以降上昇を続けている。本県の光化学オキシダント濃度は全国的にみても高く、県内全域に50局以上設置されている一般環境測定局の全局において、光化学オキシダントの環境基準値(60ppb)を超えており、光化学スモッグ注意報発令(120ppb)日数は、全国トップクラスである(埼玉県環境部, 2013)。

このような光化学オキシダント濃度の上昇は、近年様々な農作物に影響を及ぼしており(埼玉県環境科学国際センター, 2008)、ホウレンソウでは2005年頃から可視被害が顕在化し始め、2008年には新座市内で50a以上のホウレンソウが、光化学オキシダントによる可視障害のため販売不能になるなど大きな被害が発生した。本県の光化学オキシダント濃度は現在も増加傾向にあり、今後も農作物被害の拡大が懸念されている。

そこで、2010年度～2012年度(平成22～24年度)の3年間、農林総合研究センターと環境科学国際センターが共同で、「ホウレンソウおよびコマツナを対象に光化学オキシダント被害の軽減技術の確立」に取り組んだ。光化学オキシダントは、その主成分が

オゾンであることから、本研究においてはオゾンに絞って、次の3点を目標に試験を実施した。

- ①ホウレンソウ及びコマツナ品種のオゾン感受性を調査して被害を受けにくい品種を選定する
- ②新品種の導入に当たってオゾン感受性を推測できる指標となる形質を明らかにする
- ③品種以外にオゾン被害を軽減できる栽培方法を明らかにする

光化学オキシダントの農作物に対する影響については、1970～1980年代にかけて、地方公設機関、農林水産省、環境庁等により活発な調査研究が実施された結果、多くの知見が得られている(埼玉農試他, 1977)。ホウレンソウのオゾン感受性についても、品種間差があることが明らかにされているが(久野, 1988)、栽培される品種は年により変遷していくことから、品種ごとのオゾン感受性を、暴露試験をすることなく推定するための形質を明らかにできれば、導入する品種を決定するための一助となる。

本研究の中で、印南ら(2013)は葉の気孔密度とオゾン暴露時における可視障害の程度を数値化したもの(以下「被害度」とする)との関係性を明らかにした。本報では、品種によるSPAD値の違いと被害度との関係について、また、「栽培時期」、「生育ス

テージ」,「施肥量」,および「遮光」が SPAD 値に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

材料および方法

1 品種別オゾン被害度と SPAD 値

ハウレンソウは、鶴ヶ島市にある園芸研究所鶴ヶ島試験地(表層腐植質黒ボク土)において、縦 49cm×横 18cm×深さ 18cm のプランターに、場内の黒ボク土に 1 m²当たり成分 N・P₂O₅・K₂O とともに 20g, 苦土石灰 100g を施用し混和したものを詰めて栽培した。播種は、2010 年 11 月 17 日, 2011 年 2 月 10 日および 3 月 25 日の計 3 回行った。供試した品種は、24 品種(「改良パニック」,「早生スイング」,「スライダーセブン」,「リピート」,「クローネ」(以上, 中原採種場),「ハンター」(カネコ種苗),「メガセブン」(雪印種苗),「サプライズ7」,「スーパーアリーナ7」(以上, トーホク種苗),「スクープ」,「パスワード7」(以上, ナント種苗),「バザール・フォー」(横浜植木),「スパイダー」,「ヴィジョン」(トキタ種苗),「デュエル」,「次郎丸」,「新日本」,「日本」(以上, タキイ種苗),「トラッド7」,「ミラージュ」,「アクティブ」,「豊葉」(以上, サカタのタネ),「サマンサ」(渡辺農事),「日本ほうれんそう」(野口種苗)で、1 プランター当たり 6 品種を栽培した。厳寒期(12~2 月)はガラス室内(無加温), それ以外の時期は網室内に置いた。本葉 4~6 枚目が展開時に、各品種 6 株に間引いた。

オゾン暴露は、本葉 10 枚程度になった段階で、加須市にある環境科学国際センターの人工光型環境制御ガス暴露チャンバー内に移し、数日間チャンバー内で順化させた後、2010 年 11 月 17 日に播種したものは 1 月 23 日から、2011 年 2 月 10 日に播種したものは 4 月 18 日から、3 月 25 日播種したものは 5 月 16 日から、60ppb および 120ppb で 1 日当たり 5 時間を 3 日間連続で処理した。なお、チャンバー内の日長は 13 時間(6:00~19:00), 気温は 22℃(昼温)~15℃(夜温)の変温管理, 湿度は 65%の一定で管理した。

可視障害の調査は、3 回ともオゾン暴露終了 2 日後に、各品種の個体ごとに全葉数と可視障害が生じた葉数を調査し、それに基づき日本植物防疫協会の農薬害試験に準じて次式により「被害度」を算出

した。

$$\text{被害度} = 100 \times \Sigma (\text{可視被害発現葉率別株数} \times \text{指数}) \div (\text{調査株数} \times 4)$$

なお、式中の指数は、被害がない時は「0」、1 株当たりの可視被害葉発現率が 35%未満の時は「1」、1 株当たりの発現率が 35~55%未満の時は「2」、1 株当たりの発現率が 55~75%未満の時は「3」、1 株当たりの発現率が 75%以上の時は「4」とした。

SPAD 値は、オゾンに暴露しない対照区から、最大葉に近い葉位から 1 品種当たり 5 枚(1 株当たり 1 枚)採取し、葉身の葉先近くの葉脈間の葉色を、葉緑素計(SPAD-502: ミノルタ社製)を使って測定した。測定に当たっては、数回試行した中の中庸な値を採用した。

2010 年 11 月 17 日に播種したものは 2 月 2 日に、2011 年 2 月 10 日に播種したものは 4 月 25 日に、3 月 25 日に播種したものは 5 月 20 日に行った。

2 SPAD 値に影響する要因の検討

(1) 栽培時期

鶴ヶ島試験地の鉄骨ハウス(無加温, 硬質プラスチックフィルム展張)内に、18 品種(「改良パニック」,「早生スイング」,「スライダーセブン」,「リピート」,「クローネ」,「ハンター」,「メガセブン」,「サプライズ7」,「スーパーアリーナ7」,「スクープ」,「パスワード7」,「バザール・フォー」,「スパイダー」,「デュエル」,「トラッド7」,「ミラージュ」,「ヴィジョン」,「アクティブ」)を播種した。播種は、①2011 年 8 月 24 日, ②9 月 20 日, ③11 月 4 日, ④11 月 16 日, ⑤2012 年 1 月 16 日, ⑥2 月 21 日, ⑦4 月 4 日, ⑧4 月 23 日の計 8 回行い、有孔ポリマルチ(6 条, 条間 15cm×穴間 15cm)を用いて 1 品種 18 穴, 1 穴当たり 4 粒播種した。施肥は、1a 当たり成分 N・P₂O₅・K₂O とともに 1.5kg, 苦土石灰 10kg を施用した。

草丈が 20~30cm に達したそれぞれ①10 月 4 日, ②10 月 29 日, ③1 月 19 日, ④2 月 22 日, ⑤3 月 22 日, ⑥4 月 19 日, ⑦5 月 17 日, ⑧5 月 28 日に、任意に選んだ 6~16 株について、最大葉の SPAD 値を測定した。

(2) 生育ステージ

a 同一播種日

2011 年 1 月 20 日に、23 品種(「改良パニック」,「早生スイング」,「スライダーセブン」,「リピート」,「ク

ローネ」,「ハンター」,「メガセブン」,「サブライズ7」,「スーパーアリーナ7」,「スクープ」,「パスワード7」,「バザール・フォー」,「スパイダー」,「デュエル」,「トラッド7」,「ミラージュ」,「ヴィジョン」,「アクティブ」,「豊葉」,「次郎丸」,「新日本」,「日本」,「日本ほうれんそう」を,鶴ヶ島試験地のパイプハウス(無加温,農 PO フィルム展張)内に播種した。栽培には有孔ポリマルチ(5条,条間15cm×穴間15cm)を用い1品種25穴,1穴当たり4粒播種した。施肥は,1a当たり成分N・P₂O₅・K₂Oともに1.8kg,苦土石灰10kgを施用し,最高気温30℃に設定して管理した。草丈が13~16cmに達した3月8日および草丈が22~25cmに達した3月22日に,任意に選んだ10株について,最大葉のSPAD値を測定した。

b 同一調査日

同時期に2つの生育ステージを設定するため,2012年3月9日および4月2日に,6品種(「ミラージュ」,「パスワード7」,「クローネ」,「改良パニック」,「バザール・フォー」,「トラッド7」)を,鶴ヶ島試験地の鉄骨ハウス(無加温,硬質プラスチックフィルム展張)内に播種した。栽培には有孔ポリマルチ(5条,条間15cm×穴間15cm)を用い1品種25穴,1穴当たり4粒播種した。施肥は,1a当たり成分N・P₂O₅・K₂Oともに1.5kg,苦土石灰8kgを施用し,最高気温30℃に設定して管理した。3月9日播種のもものが葉数11~13枚,草丈27~35cmに,4月2日播種のもものが葉数4~5枚,草丈13~14cmに達した4月26日に,それぞれ任意に選んだ10株の最大葉のSPAD値を測定した。

(3) 施肥量

2011年1月27日および2012年3月5日に,鶴ヶ島試験地のガラス室(無加温)内に,5品種(「ハンター」,「パスワード7」,「バザール・フォー」,「早生スイング」,「クローネ」)を播種した。栽培には有孔ポリマルチ(6条,条間15cm×穴間15cm)を用い,1品種24穴,1穴当たり4粒播種した。施肥量(1a当たり成分)は,N・P₂O₅・K₂Oともに2.5kg/a(多肥区)とN・P₂O₅・K₂Oともに1.25kg/a(少肥区)の2水準を設けた。1年目は草丈が20~26cmに達した2011年3月22日,2年目は草丈が29~39cmに達した2012年4月26日に,任意に選んだ10株について,最大葉のSPAD値を測定した。

(4) 遮光

2011年1月20日および2012年2月6日に,鶴ヶ島試験地の雨よけパイプハウス(無加温,農 PO 展張)内に,8品種(「ミラージュ」,「クローネ」,「ハンター」,「パスワード7」,「改良パニック」,「トラッド7」,「バザール・フォー」,「早生スイング」)を播種した。栽培には有孔ポリマルチ(5条,条間15cm×穴間15cm)を用い,1品種20穴,1穴当たり4粒播種した。施肥は,1a当たり成分N・P₂O₅・K₂Oともに1.8kg,苦土石灰10kgを施用した。播種直後から,調査までの全期間,遮光率30%(タフベル3000S)および遮光率45%(タフベル3800S)の長繊維不織布資材でトンネル被覆した。対照区は,無被覆とした。2011年は草丈22~30cmに達した3月22日,2012年は草丈20~35cmに達した4月12日に,それぞれ任意に選んだ10株について,最大葉のSPAD値を測定した。

(5) 葉位

ホウレンソウは,2012年4月2日に6品種(「ミラージュ」,「パスワード7」,「クローネ」,「改良パニック」,「バザール・フォー」,「トラッド7」)を,鶴ヶ島試験地の鉄骨ハウス(無加温,硬質プラスチックフィルム展張)内に播種した。栽培には有孔ポリマルチ(5条,条間15cm×穴間15cm)を用い,1品種25穴,1穴当たり4粒播種した。施肥は,1a当たり成分N・P₂O₅・K₂Oともに1.5kg,苦土石灰8kgを施用し,最高気温30℃に設定して管理した。草丈が15~16cmに達した4月29日および草丈が25~28cmに達した5月7日に,任意に選んだ5株について,葉位別にSPAD値を測定した。

結果

1 品種別オゾン被害度とSPAD値

24品種のSPAD値について,暴露試験に用いた株で調査した結果,SPAD値と被害度の間には,11月17日播種2月2日調査では,有意な相関が認められなかったが,2月10日播種4月25日調査および,3月25日播種5月20日調査では有意な負の相関がみられた(図1~3)。

2 SPAD値に影響する要因の検討

(1) 栽培時期

太田ら：葉緑素計によるハウレンソウ品種のオゾン感受性の推定

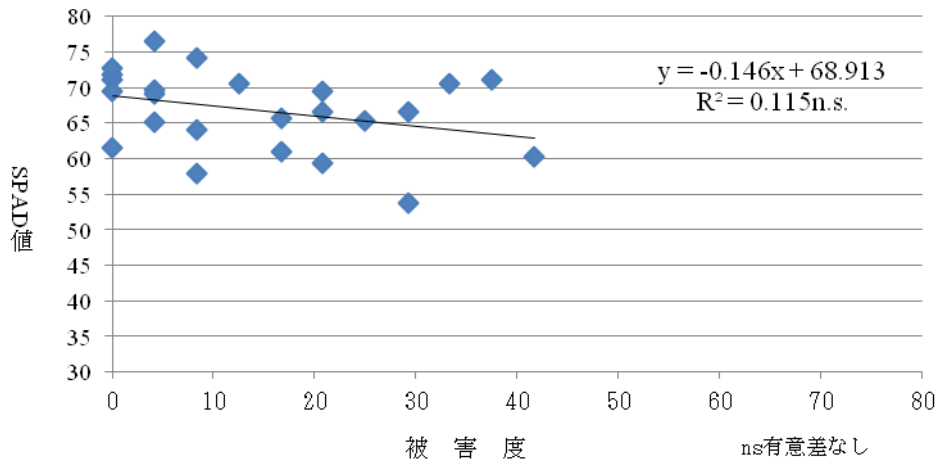


図1 ハウレンソウにおけるSPAD値と被害度の関係（11月17日播種2月2日調査・120ppb）

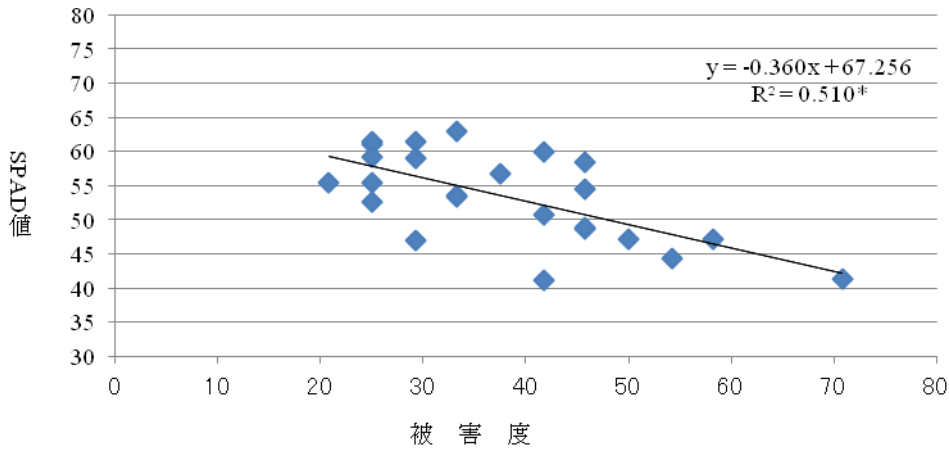


図2 ハウレンソウにおけるSPAD値と被害度の関係（2月10日播種4月25日調査・120ppb）

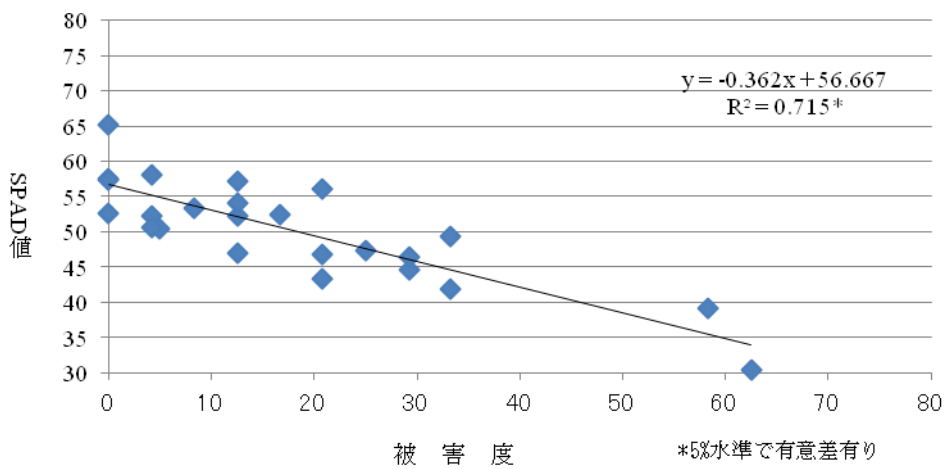
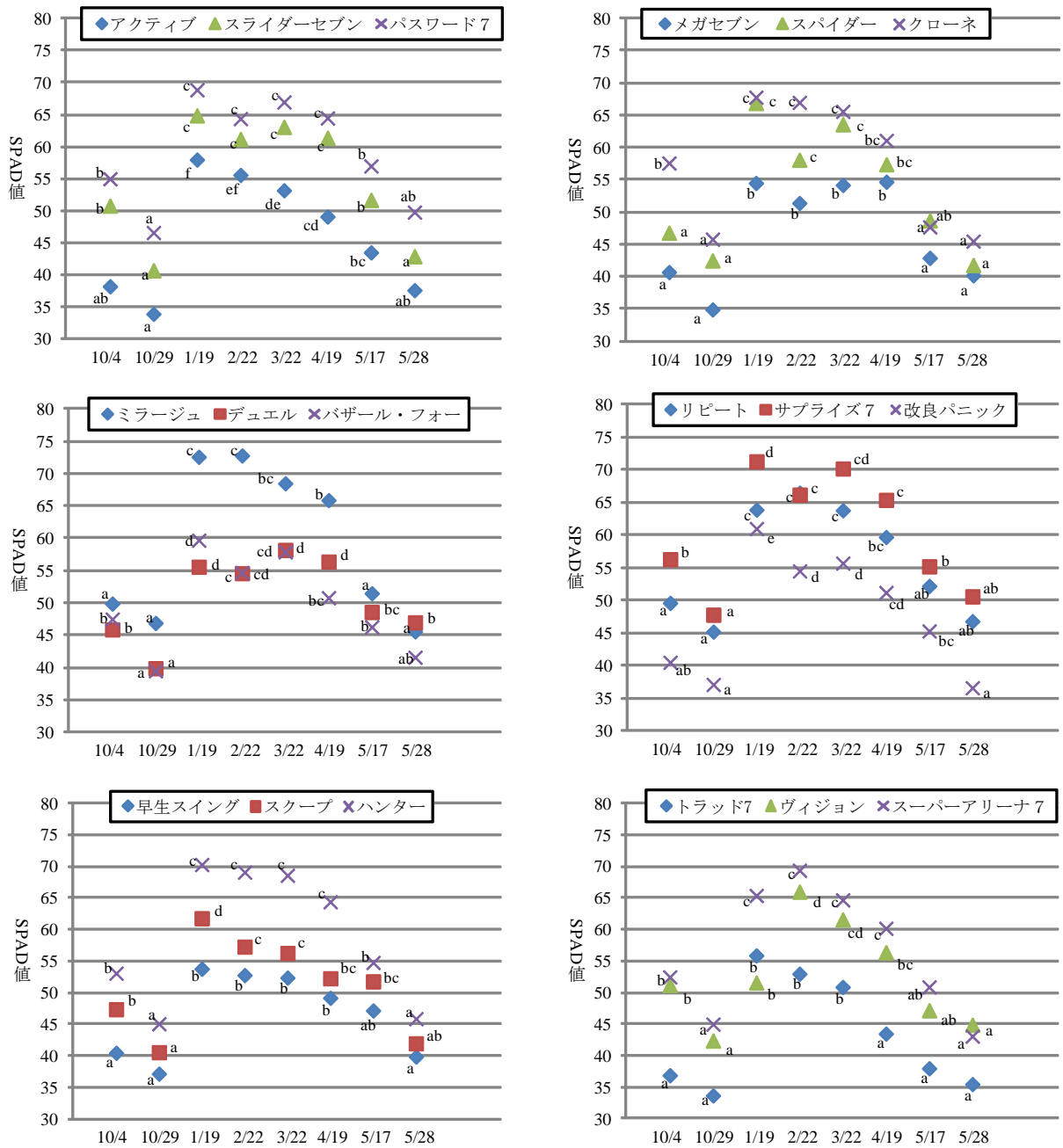


図3 ハウレンソウにおけるSPAD値と被害度の関係（3月25日播種5月20日調査・60ppb）



tukey検定：同一品種の調査日間について、異符号間に5%水準で有意差有り

図4 ホウレンソウにおける栽培時期がSPAD値に及ぼす影響

太田ら：葉緑素計によるハウレンソウ品種のオゾン感受性の推定

表1 同一播種日のハウレンソウにおける生育ステージの違いがSPAD値に及ぼす影響

品 種	SPAD値		有意水準 ^{z)}
	3月8日調査	3月22日調査	
スライダーセブン	54.4	58.8	*
早生スイング	41.6	50.5	**
改良パニック	47.0	55.3	**
次郎丸	39.0	47.9	**
新日本	40.5	47.0	**
日本	38.3	44.9	**
日本ほうれんそう	42.7	47.7	**
豊葉	40.2	44.4	**
アクティブ	47.3	49.8	ns
ヴィジョン	52.6	61.8	**
ミラージュ	54.0	67.4	**
トラッド7	43.6	48.2	**
デュエル	49.2	59.9	**
スパイダー	51.3	58.5	**
バザール・フォー	51.5	58.5	**
パスワード7	55.2	64.0	**
スクープ	51.0	58.0	**
スーパーアリーナ7	58.5	66.2	**
サブライズ7	59.2	67.0	**
メガセブン	49.2	52.7	ns
ハンター	54.3	64.3	**
クローネ	55.9	64.5	**
リピート	53.1	61.5	**

^{z)}t検定：**1%，*5%水準で有意差有り．ns有意差なし

表2 ハウレンソウにおける生育ステージの違いがSPAD値に及ぼす影響

品 種	SPAD値		有意水準 ^{z)}
	3月9日播種	4月2日播種	
ミラージュ	54.4	40.1	** ^{z)}
パスワード7	55.1	41.3	**
クローネ	49.8	41.5	**
改良パニック	38.0	34.7	*
バザール・フォー	42.5	37.2	**
トラッド7	36.6	33.6	**

^{z)}t検定：**1%，*5%水準で有意差有り．

表3 ハウレンソウにおける施肥量の違いがSPAD値に及ぼす影響

品 種	2011年			2012年		
	SPAD値		有意水準 ^{z)}	SPAD値		有意水準 ^{z)}
	多肥区	少肥区		多肥区	少肥区	
早生スイング	55.0	52.4	ns ^{z)}	42.1	40.2	ns
クローネ	62.4	64.5	ns	51.9	50.9	ns
ハンター	62.6	65.0	ns	49.3	49.9	ns
パスワード7	63.5	64.3	ns	52.6	49.9	ns
バザール・フォー	57.7	57.7	ns	42.7	42.9	ns

^{z)}t検定：ns有意差なし

表4 ホウレンソウにおける遮光率の違いがSPAD値に及ぼす影響

品種	2011年				2012年			
	SPAD値			有意水準 ^{z)}	SPAD値			有意水準 ^{z)}
	遮光率 0%	遮光率 30%	遮光率 45%		遮光率 0%	遮光率 30%	遮光率 45%	
早生スイング	50.5	50.6	51.0	ns ²⁾	56.8	57.1	51.6	ns
改良パニック	55.3	52.4	53.1	ns	56.6	54.2	52.7	ns
クローネ	64.5a	59.5b	58.9b	*	74.7a	68.0b	62.1b	*
ハンター	64.3	58.8	60.5	ns	72.3	67.1	62.9	ns
パスワード7	64.0	60.1	63.4	ns	70.7	67.1	66.0	ns
バザール・フォー	58.5a	53.6b	53.1b	*	62.6a	57.8b	54.2b	*
トラッド7	48.2	46.2	47.1	ns	55.2a	46.8b	50.4ab	*
ミラージュ	67.4	62.5	64.0	ns	72.0	67.8	66.5	ns

²⁾tukey検定：異符号間に*5%水準で有意差有り．ns有意差なし

表5 ホウレンソウにおける葉位別SPAD値・草丈15～16cm生育時

品種	第1本葉	第2本葉	第3本葉	第4本葉	第5本葉	第6本葉	有意水準 ^{z)}
ミラージュ	38.5	37.6	37.3	39.3	41.0	36.9	ns ²⁾
パスワード7	39.2	38.3	41.1	39.7	40.7	42.2	ns
クローネ	38.5	39.8	41.2	41.6	41.8	42.9	ns
改良パニック	30.1	31.1	33.3	33.6	33.2	32.4	ns
バザール・フォー	34.2	35.3	36.7	37.8	37.0	35.8	ns
トラッド7	32.5	31.7	31.5	33.6	33.4	33.0	ns

²⁾tukey検定：ns有意差なし
斜字は最大葉

表6 ホウレンソウにおける葉位別SPAD値・草丈25～28cm生育時

品種	第1本葉	第2本葉	第3本葉	第4本葉	第5本葉	第6本葉	第7本葉	第8本葉	第9本葉	第10本葉	有意水準 ^{z)}
ミラージュ	34.3a	34.5a	39.2ab	41.4bc	43.6bc	44.0bc	46.0c	46.5c	44.6bc	42.5bc	*
パスワード7	34.9a	34.8a	38.2ab	39.8ab	42.7b	41.3b	41.6b	43.3b	44.3b	42.9b	*
クローネ	34.9a	36.3ab	38.4abc	37.6abc	42.4bc	40.7abc	42.0bc	44.2c	44.0c	45.0c	*
改良パニック	28.5a	28.9a	32.6ab	34.7b	36.5bc	36.4b	37.2b	41.0c	36.0b	38.7c	*
バザール・フォー	30.3a	30.9ab	35.3bc	35.6c	41.7d	42.0d	41.3d	42.9d	44.5d	41.8d	*
トラッド7	26.9ab	25.9a	31.1ac	31.9bc	35.5cd	34.1cd	34.1cd	37.7d	35.3cd	36.2cd	*

²⁾tukey検定：異符号間に*5%水準で有意差有り
斜字は最大葉

18品種を時期を変えて8回播種し、10月から5月にかけて草丈20～30cmに達したホウレンソウのSPAD値を調査した。「スライダーセブン」、「スーパーアリーナセブン」、「パスワード7」、「メガセブン」、「ハンター」、「ミラージュ」、「サブライズ7」の10月4～29日および5月17～28日のSPAD値は1月19日～4月19日に比べ有意に低かった。「スパイダー」、「クローネ」、「リピート」の10月4～29日および5月17～28日のSPAD値は1月19日～3月22

日に比べ有意に低かった。「早生スイング」の10月4～29日および5月28日のSPAD値は1月19日～4月19日に比べ有意に低かった。「トラッド7」の10月4～29日および4月19日～5月28日のSPAD値は1月19日～3月22日に比べ有意に低かった。「スクープ」の10月4～29日および5月28日のSPAD値は1月19日～3月22日に比べ有意に低かった(図4)。

(2) 生育ステージ

a 同一播種日

23 品種を同一日に播種し、生育ステージの異なる時期に SPAD 値を調査した結果、ほとんどの品種で生育の進んだ 3 月 22 日時点の SPAD 値は、3 月 8 日時点に比べ有意に高かった (表 1)。

b 同一調査日

6 品種を供試し、播種日を変えて同一日に異なる生育ステージの SPAD 値を調査した結果、すべての品種で、生育の進んでいる 3 月 9 日播種区の SPAD 値が 4 月 2 日播種区に比べて有意に高かった (表 2)。

(3) 施肥量

5 品種を供試して、 $N \cdot P_2O_5 \cdot K_2O$ の施用量 (成分) を 2 水準設定し、SPAD 値を調査結果、2 か年とも少肥区と多肥区の SPAD 値に有意差はなかった (表 3)。

(4) 遮光

8 品種を供試して、遮光率 30% および 45% の長繊維不織布資材を、生育全期間トンネル被覆し、SPAD 値を調査した結果、2011 年では「クローネ」および「バザール・フォー」、2012 年では上記 2 品種に加え「トラッド 7」の SPAD 値が無被覆に比べ有意に低くなったが、遮光率による有意差はなかった。その他の品種では有意差はなかった (表 4)。

(5) 葉位

6 品種を供試して、生育ステージの異なる 4 月と 5 月に葉位別の SPAD 値を調査した。

その結果、4 月 29 日調査 (草丈約 15cm) における第 1~6 本葉の SPAD 値に有意差はなく、最大葉の前後の葉の間にも有意差はなかった (表 5)。

一方、より生育の進んだ 5 月 20 日調査 (草丈約 25cm) では、「ミラージュ」、「パスワード 7」、「改良パニック」、「トラッド 7」の第 1, 2 本葉および「バザール・フォー」の第 1~4 本葉の SPAD 値は、最大葉の SPAD 値と比べ有意に低かった。「クローネ」の第 1~10 本葉の SPAD 値は最大葉との間に有意差はなかった (表 6)。

考 察

ハウレンソウにおける SPAD 値と被害度との関係および諸要因が SPAD 値に与える影響について検討した。

暴露試験により植物体の SPAD 値と被害度との相関について検討したところ、品種及び栽培時期の違

いにより SPAD 値は異なり、SPAD 値と被害度との間に負の相関が認められた。栽培時期によって、相関の程度は異なったものの (2 月の相関は低く 5 月の相関は高い)、時期を選べば、SPAD 値はオゾン感受性の簡易な指標の 1 つとなると考えられた。

次に、オゾン感受性の指標として SPAD 値を利用する場合の調査条件を明らかにするため、「栽培時期」、「生育ステージ」、「施肥量」および「遮光」が SPAD 値に与える影響について検討した。

その結果、SPAD 値は栽培時期により大きく変動し、品種によってばらつき方に違いはあるが、10 月および 4~5 月の SPAD 値は 1~3 月に比較して低くなる傾向にあった。生育ステージと SPAD 値との関係では、生育が進むほど SPAD 値が高くなる傾向がみられた。施肥量による SPAD 値への影響は認められなかったが、遮光は一部品種の SPAD 値を低くした。

これらの結果から、SPAD 値を用いて品種のオゾン感受性を推定する場合の留意点は、次のように考えられた。

感受性の推定は、SPAD 値が低く、被害度との間に比較的高い相関が確認された 4~5 月に行う。また、生育ステージにより SPAD 値が異なることが確認されたため、同一日に播種して調査時の生育ステージを合わせる必要がある。今回、施肥量を変えて SPAD 値への影響を調査した結果、影響は確認できなかったが、被覆資材による SPAD 値への影響は一部品種で認められたことから、栽培は同一の栽培管理とする。SPAD 値の測定は、各葉位の SPAD 値間に差がなく葉の葉位に留意せずに SPAD 値を測定できる、草丈約 15cm の時期に採取して行う。

本研究では、ハウレンソウ品種のオゾン感受性を、暴露試験をすることなく推定するための簡便な指標として、SPAD 値が利用できることを明らかにし、さらに現場での実用性を高めるための検討を加えた。判断ツールとして利用可能と判断されるが、反面、表面的な事象での検討にとどまり、植物生理的な裏付け部分の検討には踏み込んでいない。光化学オキシダント被害の回避のためには、オゾン感受性の低い品種の選定も重要だが、品種以外の対策技術の確立も望まれる。その際には植物生理的なアプローチが欠かせない。この点は今後の課題である。

引用文献

- 印南ゆかり・三輪誠 (2014) : 葉に発現する可視被害の程度に基づいたハウレンソウのオゾン感受性評価. 大気環境学会誌. 第 49 巻第 1 号, 1-7
- 久野春子 (1988) : 光化学オキシダントが園芸植物に及ぼす影響. 東京都農業試験場研究報告. 第 21 号, 33-166
- 日本植物防疫協会(2011):薬効・薬害試験の手引き. 16
- 埼玉県環境部 (2013) : 埼玉の大気環境. 2012 年版, 24
- 埼玉県環境科学国際センター温暖化影響評価プロジェクトチーム (2008) : 緊急レポート 地球温暖化の埼玉県への影響, 71
- 埼玉県農業試験場ほか (1977) : 総合助成試験成果 光化学スモッグによる農作物可視被害に関する研究, 277