ハクサイゴマ症発生とその防止法に関する研究 (1) ゴマ症発生中の形態及び組織化学的観察

松本美枝子*

富山県農業技術センター野菜花き試験場 939-13 富山県礪波市五郎丸

Studies on the Occurrence of Goma-shō of Chinese Cabbage and its Prevention (1). Morphological and Histochemical Observations of Goma-shō

Mieko MATSUMOTO

*Toyama Vegetables and Ornamental Crops Research Station.
Goroumaru, Tonami, Toyama 939-13*

Summary

The high incidence of sesame-like black spots in the midrib and vein regions of Chinese cabbage leaves has been recognized in Toyama and other prefectures. The symptom of this physiological disorder is so-called Goma-shō. In severe cases, the market price of the Chinese cabbage is reduced markedly.

Data concerning the causes of Goma-shō and its prevention, however, are lacking.

The purpose of this study was to investigate the physiological mechanism of Goma-shō. In the present study, the characteristics of this physiological disorder during the growing period of Chinese cabbage under a field condition were surveyed and then the incident regions in midrib and vein tissues were observed by using histological and histochemical methods.

1. Symptoms of Goma-shō in cv. Hibari and Taibyō 60 nichī could be divided into two types. Type 1 occurred in midrib of immature leaves and was closely related to excessive growth of leaf tissue during the early period of growth. Type 2 was found in mature leaves and was connected with a decrease in the ratios of outer to inner leaves.

2. By the histological test, before the appearance of black spots, swelling of granules occurred in disordered epidermal cells, followed by the cell wall becoming brownish. The browning part of the cell wall elongated with the swelling granules and nuclei, and plasmolyzed cells occurred around the browning cells.

3. By the histochemical test, chlorogenic acid and polyphenol oxidase were found in the browning cells, and polyphenol and peroxidase were distributed in the disordered tissue.

4. In the disordered cells, nitrite accumulated around the granules. The granules were also expanded.

緒言

1976年及び1977年に、富山県においてハクサイ主脈部分に黒色小斑点が多数発生し、問題になった。この症状はゴマ症と呼ばれ、商品性を著しく低下させることからその防止方法の確立が望まれている。

ハクサイのゴマ症に関しては、1962年河合・鈴木(11)

によって「ハクサイ葉柄ごま病の発生に及ぼす薬剤の影響」として報告されたのが最初である。同氏らは、ごま病発生防止のために供試した薬剤は効果がないばかりか、ある薬剤によっては逆に発生を助長することを認め、この症状は病害によるものではなく生理障害に起因することを示唆した。つづいて加藤ら(9)は、ハクサイのゴマ症発生に及ぼす品種間差異や肥培管理の影響について報告し、症状の発生程度は品種や株の大小によっても異

1987年2月13日 受理

* 現在 水見農業改良普及所

なることを示した。

一方栄養生理的な観点からは、窒素、カリ(10)、銅の過剰(21)或はホウ素(9)及び鉄の欠乏(21)は共にゴマ症発生と密接な関係があるという報告もなされている。しかしハクサイゴマ症発生に関する報告は極めて少なく、そのため発生要因やその防止対策について全く不明のまま残されている。

本研究では、ハクサイのゴマ症発生機構とその防止対策を明らかにすることを目的として、ハクサイの生育に伴うゴマ症の発生経過と発生部位の内部形態を観察した。また、発生機構を解明するためにゴマ症の褐変部位を中心に組織化学的手法を用いて観察した。なお本研究は1977～1985年にかけて行った。

材料及び方法

1. 形態観察

1) 外部形態の特徴 1980年秋に、ハクサイ品種‘ひばり’及び‘耐病60日’を当場のほ場(沖積砂壤土)で栽培した。8月21日にペーパーポットには種し、均一に育った苗を9月6日に定植した。肥料は基肥として硫酸アンモニア、よう成りん肥、硫酸カリを用いて10アール当たり、窒素 20 kg、りん酸 30 kg 及びカリ 30 kg を施用し、さらに追肥として硫酸を用い窒素 5 kg を定植後10日ごとに3回連続して施用した。

ハクサイの生育とゴマ症発生の関係については、10月14日、21日及び11月26日に葉位別重量と肉眼的にゴマ症発生程度を調査した。生育との関係をさらに明らかにするため、生育の旺盛な1977年、生育が著しく劣った1981年及び両者の中間的生育を示した1979年の葉位別重量とゴマ症発生程度との関係を示した。葉位別重量は収穫時(11月10日)に調査し、一方ゴマ症発生程度については定植後35日、45日、55日及び64日(収穫時)に調査した。なお調査に当たりゴマ症発生程度の評価基準を作成した。ゴマ症発生程度の評価は結球葉を主に調査対象とし、葉の先端部までが結球中心部に向かって湾曲している最初の葉を結球開始葉として葉位決定の基準に据えた。

2) 黒色斑点発生部位の組織形態の特徴 1984年秋、ハクサイ品種‘ひばり’を1-1)と同様の方法で栽培し収穫期に顕微鏡を用い内部形態を調査した。

材料は10～11月にかけて随時採取し、採取時間は午前9時とした。検鏡は主脈表皮をはぎ取り、斑点発生の各種段階の組織形態を観察した。

2. 組織化学的観察

1) フェノール物質の組織内分布 1984年秋に1-1)と同様にして栽培した品種‘ひばり’を用い、主と

して収穫期において、ゴマ症発生葉と無発生葉のフェノール物質の分布を比較した。供試葉の主脈先端部分の1 cm²を切り抜き、組織片とその表皮だけをはぎ取ったものを用い、前者は検出試薬の中に一定時間浸漬し、呈色させ肉眼で観察し、後者はスライドガラス上で検出試薬と反応させ検鏡した。なお一つの呈色反応には、それぞれ5葉を用い3回以上繰り返した。

フェノール物質の検出に用いた試薬と呈色反応の特徴は次の通りである。

アゾ試薬(15)：すべてのフェノール性物質は黄ないし、だいたい色を呈する。

ニトロソ試薬(17)：クロロゲン酸等のジフェノール類は赤色、その他のフェノール性物質は黄、だいたい、赤褐色を呈する。

スルフェニール酸試薬(4)：すべてのポリフェノールはとう黄色を呈する。

アンモニア水(15, 17)：クロロゲン酸は黄または緑色、他のフラボノイドは黄褐色を呈する。その後6N塩酸中に浸漬するとクロロゲン酸は赤褐色を呈する。

2) 亜硝酸の組織内分布 2-1)と同様の組織片を用いて亜硝酸の組織内分布について調査した。亜硝酸はスルフェニール酸でジアゾ化し、ついでCleve's酸でカップリングして発色させた。スルフェニール酸試薬は、スルフェニール酸 600 mg を熱純水 50 ml に溶解し、冷却後氷酢酸 50 ml 加え調整した。一方、Cleve's酸試薬は1-ナフチルアミン-7-スルホン酸 60 mg を温純水 50 ml に溶解、冷却後微粉末状亜鉛 4 g を加え、3分間かき混ぜたのちろ過して氷酢酸 50 ml を加え調整した。スライドガラス上の組織片にそれぞれの試薬を一滴ずつ加え、しばらく放置した後検鏡し、ブロックはそれぞれの試薬を同量ずつ加え検出液とし一定時間浸漬した後肉眼観察した。

3) 酵素活性 2-1)と同様の組織片を用い、ゴマ症発生葉におけるポリフェノールオキシダーゼ及びパーオキシダーゼ活性の分布については、以下の方法で調べた。

ポリフェノールオキシダーゼ：ドパー試薬を用いた。活性がある場合は褐色—黒色の沈殿を生ずる(14)。

パーオキシダーゼ：Benzidine法(14)によった。活性がある場合は青色を呈する。

実験結果

1. ゴマ症発生とハクサイの形態的特徴

1) ゴマ症発生とその評価基準 ハクサイゴマ症の発生は、第1図に示した通り主脈部に多数の黒色斑点を発生させる特徴を示した。発生程度は品種及び気象

条件によって異なるものの、一般には結球開始10葉から30葉までに発生が多く、その他小さい葉或は外葉での発

Fig. 1. Symptom of Goma-shō in midrib. The stage of Goma-shō is degree 3 (See Table 1).

Table 1. The degrees of Goma-shō symptom which appeared on midribs.

Degree of Goma-shō	Number of black spots per leaf	% of Goma-shō area ²
0	0	0
0.1	10	trace (less than 1%)
0.5	50	1~10%
1.0	100	11~20%
1.5	150	21~30%
2.0	200	31~40%
2.5	300	41~50%
3.0	400	51~60%
3.5	500	61~70%
4.0	600	71~80%
4.5	700	81~90%
5.0	800	91~100%

² The area was counted by planimx 25.

Fig. 2. The relationship between leaf weight and degree of Goma-shō in each leaf in two varieties leaf position was counted from the leaf which appeared at head formation.

生は極めて少なかった。本実験では、発生症状の程度を評価するために、主脈当たり斑点数及びその面積から、10段階の評価基準を作成した(第1表)。すなわち、基準の作成にあたってはゴマ症発生程度0.1から2.0までは斑点10に対応させ、それ以上は斑点が発生している面積の割合で評価した。なおこの評価基準を、以下の各実験において使用することとした。

ゴマ症の発生は品種、生育時期の葉位・葉重によって著しく異なった。第2図には‘ひばり’と‘耐病60日’におけるゴマ症発生程度と葉重の関係を示した。ここでゴマ症発生と生育の関係を明確にするために、ハクサイの変曲点を求めたところ、それを境として成葉と未成葉に区分できた。すなわちハクサイ結球葉は外側で重く内部で軽い傾向があったが、葉位を対数変換した場合、特定葉位から内部にかけて急激に葉重が減少した。そこで急激に葉重が減少し始める葉位を変曲点とした。変曲点より外側の葉位では葉重はほとんど変化しなかったことからそれらの葉を成葉とし、一方内側の葉は生育に伴って重量が著しく増加したことから未成葉とした。なお変曲

Fig. 3. Increase of top weight during the growth period.

Fig. 4. Relationship between growth and degree of Goma-shō in inner leaves (head leaves) and outer leaves.

点葉位は2種類の葉位と葉重の回帰直線の交点となる葉位である(第2図, B)。

ゴマ症は結球外側の成葉で発生が多かったが、生育に伴う発生程度の変化は認められなかった。一方、未成葉では新しく発生が開始し変曲点近辺の葉位で増加していた。この傾向は品種並びに調査時期が異なってもほぼ同様であった(第2図, A)。

こうしたゴマ症発生は、ハクサイの肥大程度により大きく異なった。生育が緩慢で成葉重が少ない場合は、変曲点内部での発生が認められず、一方、生育が促進され葉重も重い場合は、定植後50~60日から成葉(結球葉位10~40)に再び発生増加が認められた(第3, 4図)。ここでは便宜上未成葉で新しく発生するゴマ症をタイプ1の発生とし、成葉で再び発生が増加するゴマ症をタイプ2の発生とした。

ゴマ症発生は両品種とも株重増加と密接な関係があったことから、「ひばり」及び「耐病60日」の収穫時におけるゴマ症発生程度と株重の関係を調べ、結果を第5図に示した。品種により発生程度は異なるものの、いずれも大株ほど発生程度は多くなり、株重(X_1)、結球重(X_2)

Fig. 5. Relationship between top weight and degree of Goma-shō.

とゴマ症発生程度(Y, 1株合計)の間には、以下のよう
に有意な正の相関関係が認められた。

$$\text{‘ひばり’} \quad Y = -30.57 + 23.78 X_1 \quad r = 0.966^{***}$$

$$Y = -29.83 + 17.28 X_2 \quad r = 0.978^{***}$$

$$\text{‘耐病60日’} \quad Y = -7.10 + 5.10 X_1 \quad r = 0.939^{***}$$

Fig. 6. Relationship between top weight and ratio of weight of outer and heading leaves.

Fig. 7. Browning in cell wall.

Fig. 8. Browning spot in cell wall and swelling of granules in cell caused by Goma-shō.

$$Y = -7.12 + 3.84 X_2 \quad r = 0.954^{***}$$

Y: ゴマ症発生程度 (1 株合計) X_1 : 株重 (kg)

X_2 : 結球重 r : 相関係数 ***: 0.01% レベルで有意.

それぞれの株重に対する外葉重の割合について第6図に示した。いずれの品種も株重が重くなるほど結球重に対する外葉重の比率の低下が認められ、特に「ひばり」はそれが顕著であった。

2) ゴマ症発生部位の内部形態 変曲点付近のゴマ症発生程度 1.0 葉を用い、斑点発生部位の形態学的

Fig. 9. Swelling of granules and nuclei. Browning cells were surrounded by plasmolyzed cells.

Fig. 10. Thirteen browned cells and plasmolyzed cells can be seen.

観察を行った。まず表皮細胞の短い辺が接し合った部分で細胞内顆粒の肥大が認められた。ついで、上記の細胞壁に褐変が認められ、細胞内顆粒の肥大はさらに進展した(第7図)。その後、細胞内顆粒及び核の肥大範囲がさらに拡大し、それに伴って細胞壁の褐変も細胞壁ぞいに進行しやがて細胞全体、さらには隣接する細胞にも拡大した(第8図)。その程度は栽培年次、発生部位により1~30細胞の範囲(第9図)で表皮に垂直方向に2層目の細胞壁まで褐変し、大型斑点ではさらに内層まで褐変が進行した。原形質分離は細胞内顆粒が肥大した周辺に認められた(第10図)。また、斑点発生増加が停止した葉においては、斑点の大小に関わらず褐変細胞を取り囲むように原形質分離細胞が認められた(第10図)。なお、細胞全体に壁の褐変が及んだ場合、細胞が萎凋した場合が多かったが、細胞壁の褐変だけに留まる場合も観察された。

2. ゴマ症発生葉の組織化学的観察

1) フェノール物質の組織内分布 ゴマ症発生葉のフェノール物質の分布を組織化学的手法を用いて観察した結果を第2表に示した。まずアゾ試薬に対しては、組織片及び表皮細胞共に、斑点発生部位周辺で陽性反応が認められ、無発生葉では陰性反応を示し、ニトロ

Table 2. Color appearance showing the presence of phenolic substances in midrib tissues and epidermal cells.

Reagents	Goma-shō leaves		Normal leaves		Color
	Midrib tissue	Epidermal cell	Midrib tissue	Epidermal cell	
Azo ^z	++	++	—	—	Light orange
Nitoroso ^y	++	++	—	—	Red
Suluphnil ^x	++	++	—	—	Light orange
NH ₄ OH	+	+	+	+	Green yellow
NH ₄ OH-Hcl	—	+	—	—	Brown

^z Diazotized-5-nitroso-2-aminoanisole^y HNO₃-NaOH^x Sulfanyl reagent (Sulfanyl acid, HCl, NaNO₂)-Na₂CO₃

— : negative, + : positive, ++ : strong positive

Fig. 11. Distribution of nitrite and browning of epidermal cells in midrib.

a : browning in cell walls b : swelling of nuclei c : swelling of granules d : plasmolysis

1. Color appearance showing the presence of nitrite recognized around the swelling granules in epidermal cell on midrib. The browned cell wall was not recognized yet.
2. The area of color reaction increased with increase in the number of swelling granules.
3. The area of color reaction increased more and the color become very dark near the browning cell wall. But the color reaction was not recognized in plasmolyzed cells.
4. The color reaction was recognized in browning cells surrounded by plasmolyzed cells.

ソ試薬及びスルフェニール酸試薬によっても斑点発生部位で陽性色の反応が認められた。この事実は発生部位にはフェノール物質、特にポリフェノールが集積することを示していた。

一方、発生部位をアンモニア水に反応させた後、6N塩酸を加えて顕微鏡下で観察したところ、細胞内顆粒が肥大した部分で赤褐色を呈し、クロロゲン酸の存在を示した。しかしこの反応は細胞単位で観察され組織片を用いての呈色反応は肉眼では識別できなかった。

2) 亜硝酸の組織内分布 主脈中の亜硝酸の分布を顕微鏡下で観察し、結果を第11図に示した。細胞内顆粒の肥大が認められる部分で淡赤紫の呈色反応が認めら

れ、褐変が拡大すると共に反応範囲が拡大した。反応範囲は細胞内顆粒の肥大の認められる周辺に限られており、細胞壁全体が褐変した細胞内では鮮やかな反応色を示した。反応は細胞内に均一に認められ、萎凋した細胞内では局部的に反応が認められた。しかし無発生葉ではこうした呈色反応は全く認められなかった。組織片を用いた場合、発生葉及び無発生葉共に呈色反応は認められなかった。

3) ゴマ症発生葉の酵素活性 ドーバー試薬に対しては、処理開始4時間後に表皮部分を顕微鏡下で観察したところ、細胞内顆粒の肥大が認められる細胞の細胞壁沿いに明らかな黒色を呈し(第12図)、ポリフェノール

Table 3. Color reactions for enzyme activities of polyphenol oxidase and peroxidase in midrib tissues and epidermal cells.

Reagents	Goma-shō leaves		Normal leaves		Color
	Midrib tissue	Epidermal cell	Midrib tissue	Epidermal cell	
Dopa ^z	—	+	—	—	Green yellow
Van Duijn ^y	++	+	+	+	Brown

^z 3-4-Dihydroxyphenyl-alanine (14)^y Mixture of benzidine, H₂O₂ and sodium nitroprussid (14) **Fig. 12.** Presence of polyphenoloxidase activity as revealed by Dopa reagent.

オキシダーゼの活性の存在を示した。この反応部位は、原形質と細胞壁の違いはあるもののクロロゲン酸の反応部位と一致し、組織片を用いての呈色反応では肉眼的には認められなかった。

一方、Benzidine 法によるパーオキシダーゼの活性はブロック及び表皮組織共に、表皮全体に活性が認められたが、特にゴマ症発生部位で強い反応が認められ、ジアゾ試薬やニトロソ試薬による反応部位と一致した(第3表)。

考 察

1. ゴマ症発生とハクサイの形態的特徴

1) 発生の経過と外部の形態的特徴 (1) ハクサイの生育：ハクサイゴマ症の発生を生育との関係で論ずる場合、ハクサイの生育様相を把握しておく必要がある。

ハクサイの葉位別重量変化について、一般に生育最盛期に結球の主体となる葉が肥大し、その後肥大部位は内部の葉位へ移動し、外葉や結球外側の葉重が減少することが報告されている(8)。しかし経時的にどのような変化をたどるかは明らかにされていない。

筆者は経時的に葉位別重量増加を検討し、葉位を対数変換することにより、生育に伴い葉重が増加している葉と、ほとんど増加しない葉に分けられ、両者の関係の変換葉位を変曲点とした。変曲点より外側の葉は、重量増加が認められないことから成葉、変曲点より内部の葉

は、盛んに葉重が増加していることから未成葉と考えられた。従って、ハクサイの生育は変曲点の内部葉位への移動、すなわち成葉数の増加によって示され、重量増加の顕著な部位も生育に伴って次第に結球内部へ移動していることを明らかにした(第2図)。

(2) 生育とゴマ症発生の関係：ゴマ症はこうした生育に対応し、重量増加の盛んな未成葉で新しく発生し、変曲点付近の葉位で増加し、その後一定となる発生タイプ(タイプ1)と、重量増加を完了した成葉で再び発生するタイプ(タイプ2)があった。タイプ1は結球開始部分から、成葉数の増加に伴い次第に内部の葉位まで認められ、初期の株重増加が促進された場合より顕著であった。一方タイプ2は、生育後半に結球葉位10~40で再び増加しており、後半の生育が促進された場合に発生が多いことが明らかとなり(第3, 4図)、何れの発生も株重増加と正の相関が認められ(第5図)、大株では結球重に対する外葉重の割合の低下が認められた(第6図)。

ハクサイの葉位別重量増加で、生育後半になり外葉及び結球外側の葉重は幾分減少するとの報告もあり(8)、さらに、体内生理的には全炭素及び全糖含量も全下することが知られ(3)、こうした外葉の炭水化物含量の低下は結球葉の生理条件に大きく影響することが知られている。一方ゴマ症発生は、品種間差があるものの、いずれも大株ほど発生が多く(10)、作型別には越冬ハクサイで発生が多いことが報告されている(21)。

以上、ゴマ症発生は、結球部分の肥大が促進された場合に発生が多く、相対的に外葉重は低下し、光合成機能も低下していると考えられ、外葉における炭水化物の供給(source)に対し、成葉化に必要な炭水化物(sink)量が大きいための不足現象がゴマ症発生と関係している推定されたが、明らかではない。

(3) ゴマ症発生の品種間差異：葉分化速度は、品種により異なるが(7)、葉重は温度との関係で早期に決定される(16)ことが明らかにされ、一方、品種とゴマ症発生の関係について加藤ら(9)はチーフ系に発生が多いことを報告している。

本報告で用いた2品種の間には、ゴマ症発生程度に差異はあるものの、生育、特に1葉重との関係はほぼ同様の経過を辿り(第3図)、両者の発生程度の違いは葉重増加の違いによると考えられた。すなわち「耐病60日」は葉数は多いが1葉重が少ないことが発生軽減に大きく関係していると考えられた。

今日の市販品種の大半はチーフ系を主体に育種されていることから、いずれの品種も株重が異常増加した場合に発生が多くなることが考えられる。しかし、筆者は葉重型品種は一般に発生が少ないことを認めており、育種的に本症状を回避することも可能で、さらに広範囲な検討が必要と考えられる。

3) 内部の形態的特徴 組織形態学的観察の結果、斑点はまず細胞内顆粒物質や核が肥大し、その近辺の細胞壁が褐変することが明らかになり、斑点の拡大は、周辺の前形質分離細胞によって停止することが観察された(第7, 8, 9, 10図)。こうした斑点の発生経過は組織形態学的には、低温障害(18)の発生と類似しており、さらに斑点拡大の停止については病害(6)における斑点拡大の停止と同様の経過を辿っていた。

2. 組織化学的観察

組織化学的観察結果から、斑点発生部周辺には、フェノール性物質の集積が認められ、さらに斑点発生に先立って細胞内にクロロゲン酸の特異的反応及び細胞壁にポリフェノールオキシダーゼ活性の反応が認められ、また斑点発生部位にフェノール酸化酵素としてポリフェノールオキシダーゼとパーオキシダーゼの活性が認められた(第2, 3表)。前者はクロロゲン酸反応部位に対応し、後者はポリフェノール反応部位に対応していた。

李・岩田(18)はナスの低温障害でクロロゲン酸の生成に伴うポリフェノールオキシダーゼ活性の増大を報告し、ポリフェノールの存在により組織が崩壊傾向を辿り(20)、糖を始めとする溶質濃度が上昇する(1)ことが知られている。谷(19)は、カキ果実においてポリフェノールオキシダーゼ活性は細胞壁で認められることを報告している。一方、豊田・鈴木(20)はパーオキシダーゼがフラビン酵素によって生成した H_2O_2 を利用してフェノールを酸化することを報告し、こうしたパーオキシダーゼの活性が病斑の拡大を阻害していることを報告している。

これらの報告と本実験で得られた結果から、クロロゲン酸がポリフェノールオキシダーゼによって褐変物質であるキノン類に変化したと推察され、一方パーオキシダーゼは斑点発生部周辺のフェノール物質の酸化に関係していると思われる。また、前形質分離を生じさせること

によって斑点拡大阻止の役割を果たしていると推察された。

ゴマ症が主脈表皮上に発現する原因として、主脈上に気孔が存解しないことも関係していると推察される。すなわち気孔が存在しないため、水分を始めそれに溶解している種々の養分の供給を少なくし(2)、養分バランス及び水分調節がいち早く損なわれる(18)可能性がある。また主脈と葉身では各種養分組成が異なることもあり(未発表)、これがゴマ症発生と関係していると推察されるが、現在検討中である。

一方亜硝酸の分布は、細胞内顆粒の肥大部分で認められ、全体が褐変した細胞内では鮮やかな呈色反応を示した(第11図)。ハクサイ体内には通常亜硝酸はほとんど認められないが、貯蔵中(13)や塩づけにした場合(14)や植物組織の傷口等に亜硝酸が認められることが知られており、また筆者はハクサイジュースを室温に7日間放置しておくことにより硝酸が全く消失し、亜硝酸含量が著しく増加することを認めている(未発表)。亜硝酸からアミノ酸への還元は、通常プラスチドまたクロロプラスチド等細胞内顆粒で行われ、また亜硝酸の還元は光によって促進されることが知られている(2, 12)。ゴマ症の発生は顆粒物質の肥大を起しミトコンドリアやプラスチドの機能を低下させると考えられる。従って本研究で見られた亜硝酸の分布は、組織内に存在した硝酸が酵素作用で亜硝酸に変化したものの、プラスチドの機能低下(肥大現象)により亜硝酸からアミノ酸への還元が阻害されたため蓄積したものと推察された。また結球内部では光が当たらないことが発生をさらに助長したと思われる。

生育中の野菜に亜硝酸が認められた例は他になく、食品衛生上極めて重大な問題と思われたが、表皮の極く限られた細胞内での反応であるため、ゴマ症発生程度が3.0の葉においても葉全体として1ppm上下であり、無発生葉との差異が認められなかったことから、極めて局所的反応であると考えられた。

以上の結果から、褐変斑点発生は、クロロゲン酸がポリフェノールオキシダーゼにより着色物質であるキノン類に変化し、パーオキシダーゼにより周辺のポリフェノールが酸化され、斑点拡大が阻害されたと推察され、斑点発生部位には亜硝酸が存在し、顆粒肥大との関係が認められたことから、プラスチド等の細胞内顆粒の機能の低下が推察された。

こうしたハクサイのゴマ症発生は葉重増加との関係が認められることから、肥大に伴う体内生理的異常が生じていると考えられた。

摘 要

富山県等においてハクサイの主脈や葉脈に多数のゴマ状の黒色斑点の発生が認められた。この症状はゴマ症と呼ばれ、発生の激しい場合は市場価格が著しく低下する。しかしゴマ症発生とその防止に関する報告は少ない。

本報告ではまずハクサイ生育中のゴマ症発生の特徴を調査し、さらに発生部位とその周辺を形態学及び組織化学的に観察した。

1. ‘ひばり’や‘耐病60日’に認められるゴマ症の発生は、その現象から2タイプに分けられた。タイプ1は未成葉で発生し、初期生育が異常促進されることと密接な関係があった。タイプ2は成葉で発生し、結球重に対する外葉重の割合の低下が関係していた。

2. 形態学的には、斑点発生に先立ち、まず細胞内顆粒の肥大が認められ、その後細胞壁が褐変した。この細胞壁の褐変は、細胞内顆粒や核の肥大と共にさらに拡大し、周辺には原形質分離細胞が認められた。

3. 組織化学的には、斑点発生部位にクロロゲン酸の存在とポリフェノールオキシダーゼの活性が認められ、その周辺にポリフェノールの存在とパーオキシダーゼの反応が認められた。

4. 褐変細胞の顆粒周辺に亜硝酸の分布が認められ、細胞内顆粒の肥大が認められる部分と一致した。

謝 辞 本論文の作成にあたり校閲を賜った故高橋和彦静岡大学教授に感謝すると同時に御冥福をお祈り申し上げます。また、有益な助言をいただいた農業研究センター植物栄養診断室米山忠克室長及び富山技術短大霞田隆治博士に感謝の意を表します。

引用文献

1. 浅田泰治. 1957. 秋落稲の胡麻葉枯病罹病性に関する研究. 第3報感染に伴う窒素化合物, 炭水化合物, 還元アスコルビン酸, 呼吸の変動並びに病斑各部における菌の生死について. 日植病報. 22: 103—106.
2. 旭 正編. 1981. 植物生理学 4, 代謝 II. 養賢堂. 東京.
3. 伊東秀夫・加藤 徹. 1957. 白菜の結球現象に関する研究. 結球の組織学並びに生理学的研究. 園学雑. 26: 154—162.
4. 作物分析法委員会編. 1975. 栄養診断のための栽

培植物分析測定法. 養賢堂. 東京.

5. 畑 明美・緒方邦安. 1978. ダイコンの生育・貯蔵ならびにつけ物加工時における硝酸・亜硝酸塩含有量の消長. 食工誌. 25: 280—286.
6. 平井篤造・鈴木直治. 1970. 感染の生化学. 植物農業技術協会. 東京.
7. 藤井健雄. 1951. 白菜系統の発育型. 農及園. 26(10): 1091—1092.
8. 板木利隆. 1953. 葉位別重量から見た白菜の発育. 農及園. 28(8): 993—994.
9. 加藤 徹・棟安隆通・中山信宏. 1977. ハクサイのゴマ症発生防止に関する研究(第1報)品種間差異及び肥培管理の影響. 昭52春園芸学会発表要旨: 220—221.
10. 加藤 徹・小迫 高. 1986. ハクサイのゴマ症発生防止に関する研究(第2報)品種と無機成分の関係. 昭61春園芸学会発表要旨: 206—207.
11. 河合一郎・鈴木春夫. 1962. ハクサイ葉柄ごま病の発生に及ぼす薬剤の影響. 静岡農試研報. 7: 60—67.
12. 熊沢喜久雄. 1974. 植物栄養学大要. 養賢堂. 東京.
13. 永井恭三. 1978. 生葉根菜類の貯蔵による硝酸亜硝酸含量と pH 値の変化. 茨城大農学報. 25: 27—33.
14. 西尾康三. 1974. 植物酵素組織化学. 恵泉女学園短大紀要. 8: 1—28.
15. 岡本耕造・上田政雄・前田隆英. 1955. 顕微鏡的組織化学. p. 352—371.
16. 大竹良知. 1982. ハクサイの葉の内部形態及び発生に及ぼす温度の影響. 園学雑. 51: 329—339.
17. REEVE, R. M. 1959. Histological and histochemical changes in developing and ripening peach. 1. The catechol tannins. Amer. J. Bot. 46: 210—217.
18. 李 正吉・岩田正利. 1982. ナス果実の貯蔵中に発生する低温障害の組織形態学的観察. 園学雑. 51: 237—243.
19. 谷 利一. 1965. カキたん素病の病態生理学的研究, 特により病果実の病態発現にあずかるペクチン質分解酵素の役割. 香川大農紀要. 18: 1—81.
20. 豊田 栄・鈴木直治. 1957. 稲熱病斑の組織化学的研究. 3 病斑周辺の呼吸について. 日植病報. 22: 173—177.
21. 吉田隆徳・大友譲二・沖森 当. 1984. ハクサイのゴマ症発生要因に関する研究. 広島農試研報. 48: 93—104.