

土壤水分がニンジン横しま症の発生に及ぼす影響*

梯美仁・黒島忠司

Effects of soil moisture tension on the occurrence of lateral stripes in carrot root.
Yoshihito KAKEHASHI and Tadashi KUROSHIMA

要約

梯 美仁・黒島忠司(1997): 土壤水分がニンジン横しま症の発生に及ぼす影響. 徳島農試研報(33): 25 ~ 30

ニンジン横しま症(通称)の発生要因を解明するため, 土壤水分がニンジン横しま症の発生に及ぼす影響について検討した。

横しま症発症ニンジンは, 無発症ニンジンに比べて根部の皮層部における全フェノール含量が多く, 横しま症の発生程度が激しいほど全フェノール含量が多くなった。特に発症部位(はちまき状にくびれた部位)においてフェノール物質の集積が認められた。

根の伸長期に当たる生育前期に土壤水分張力を低く管理した後, 土壤が急激に乾燥すると根部の皮層部における全フェノール含量が増加し, 横しま症の発生も多かったが, 有機物を施用し土壤の保水力が高まると横しま症の発生は軽減された。

以上のことから, ニンジン横しま症は水分ストレスにより根部の皮目部周囲にフェノール物質が集積し, 発症するものと思われる。

キーワード: ニンジン, 横しま症, フェノール物質, 土壤水分, 水分ストレス

はじめに

ニンジンは徳島県内各地において主に水田の裏作として, 11月上旬から12月中旬に播種し, 3月下旬から6月上旬に収穫する作型でビニルトネル栽培されている。栽培面積は約1,200haで, その販売額は常に県内の野菜販売額の上位にランクされている重要な野菜である。

ところが, 1986年頃からニンジンの根部表皮の皮目部から円周方向に左右に伸びたはちまき状の複数のくびれが生じ, くびれた部分の表皮がしばしば黒変する症状(通称: 横しま症)が多発生し問題となった。現地農家を対象としたアンケート調査等から土壤水分が横しま症の発生に影響を及ぼすのではないかと考えられた¹⁶⁾が, 発生原因の解明には至らなかった。その後, 横しま症の発生の少ない 向陽2号 が広く普及し当時のような多発生は免れている。しかし, 向陽2号'を使用しても横しま症の発生は跡を絶たず, 横しま症発症の根本的な原因究明が急がれている。

植物体組織褐変の原因と考えられている¹²⁾フェノール物質が他の野菜類や果実類^{10,11)}と同様に洋ニンジンにも存在しており, 特に皮層部に多く分布していることが報告されている^{1,2)}。このフェノール物質は金属イオンにより, 褐変等の変色を起こし, 特に鉄イオンでは暗褐色から青色に変色する³⁾ことや鉄含量の多い洗浄水でニンジンを洗浄すると黒しみ症状が発生する¹⁷⁾ことが知られているが, 横しま症発症ニンジン(以下横しまニンジン)を鉄イオン溶液に浸漬してもはちまき状にくびれた部分が褐変し, 横しま症発症部位にフェノール物質が集積している可能性が認められた。

そこで, ニンジン横しま症の発生要因を解明するため, 土壤水分がフェノール物質の集積と横しま症の発生に及ぼす影響について検討したので報告する。

* 本報告の一部は1996年度日本土壤肥料学会関西支部講演会において発表した。

試験方法

1 根部へのフェノール物質の集積

1) 鉄イオンによる横しま症発症部位の褐変

1995年4月に現地で採取した横しまニンジン 向陽2号 をスポンジを用いて水道水で手洗いした後, 1%の硫酸第一鉄溶液に浸漬し, 以後3日間表皮の変色を観察した。

2) 横しま症と全フェノール含量

1995年、1996年に現地で採取した横しまニンジンおよび横しま症の発生していないニンジン(以下健全ニンジン)各々5本をスポンジを用いて水道水で水洗いした後、厚さ約2mmの皮層部と形成層の外側の篩部(木部は除く)に分けて切り取り、それぞれの全体を一様にみじん切りして混合し、30gずつビニール袋に入れ密封、-30℃で保存したものを分析試料とした。ただし、1996年は皮層部のうち、横しまニンジンのはちまき状にくびれた部分(横しま症発症部)を幅約5mm、深さ約2mmに、健全ニンジンは皮目部の周囲をはちまき状に同様に切り取りその他の皮層部と区別して分析試料に加えた。なお、採取した品種は全て 向陽2号 である。

上記の分析試料を60mlのメチルアルコール中でホモジナイザーにより破碎(30秒4回)し、60℃に15分間保ちる過後、80%のメチルアルコールで残さを洗浄し、ろ液を100mlに定容して分析に供した。フェノール含量はクロロゲン酸を標準物質に用いてFolin Ciocalteu試薬⁹⁾のフェノール試薬で全フェノールを比色定量した。

2 土壌水分が横しま症発生に及ぼす影響

1) 試験区の設定および栽培概要

1995年11月22日に 向陽2号 を場内圃場の間口3m、高さ1.7mの大型トンネル内に株間10m、条間15cmで12条に播種し、厚さ0.05mmの農サクビで被覆した。基肥は、緩効性肥料を主体に1a当たり窒素2.0kg、リン酸1.5kg、カリ1.8kgを播種7日前に全面全層に

施用し、追肥は行わなかった。1996年4月22日に収穫し、横しま症発生程度および生育状況を調査した。

試験区の面積は1区当たり24m²で、区の構成は第1表のとおりとした。灌水は、全処理区とも前期はpF2.0程度、後期はpF2.5程度になった時点を灌水点とし、1回当たりの灌水量は10mmとした。

なお、試験圃場の土壌は、細粒灰色低地土、多々良統、土性はシルト質埴壌土であるが、1993年に基盤整備を行い排水性を改良するために、地表から60cm以下に厚さ30cmのれき層および暗渠排水が設けられている。

第1表 試験区の構成

試験区名	灌水期間	堆肥施用量 (t/10a)
無灌水區		
無灌水・推肥區		1.5
前期灌水區	1月～2月	
前期灌水區・推肥區	〃	1.5
後期灌水區	3月～4月	
後期灌水區・推肥區	〃	1.5

注) 堆肥: おがくず豚糞堆肥(水分:40%)

2) 生育および横しま症発生程度

生育調査は、1区当たり側本を収穫時に葉長、葉重、根長、根重、根径を調査した。生育調査したものの横しま症発生程度を無:無発生、微:くびれを伴わない軽微な横しまが認められる、中:くびれを伴う横しまが2カ所認められる、甚:くびれを伴う横しまが3カ所以上認められる、の4段階に分類した。

3) 横しま症発生程度別全フェノール含量

前項において横しま症発生程度別に分類したもののうち、根重が100～200のものを発生程度の段階毎に無作為に15本抽出した後5本ずつ3グループに区分し、そのフェノール含量を前述の分析法と同様に定量した。

4) 皮層部の全フェノール含量の推移

1996年2月29日、3月29日、4月22日に各処理区から生育の中庸なものを15本採取し、5本ずつ3グループに区分した後、フェノール含量を前述の分析法と同様に定量した。

5) 土壌水分張力の推移

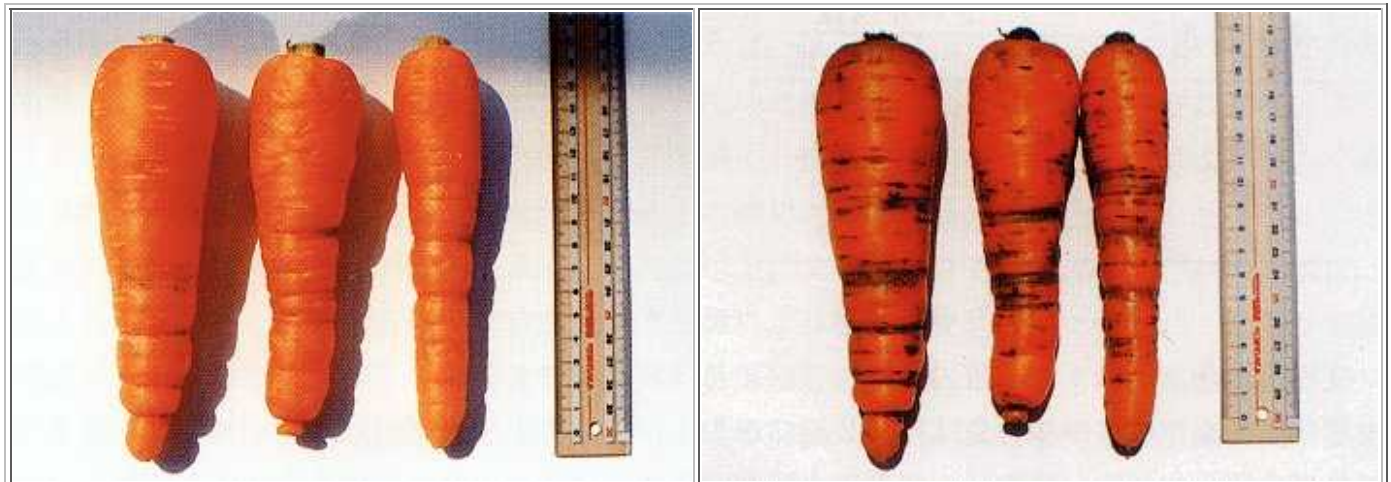
自記式テンシオメーター(DIK 3020)を用いて、播種から収穫までの間地表から20cmの深さの各処理区の土壌水分張力を毎日午前9時に測定した。

試験結果

1 根部へのフェノール物質の集積

1) 鉄イオンによる横しま症発症部位の褐変

1の硫酸第一鉄溶液に横しまニンジンを浸漬すると、まず、はちまき状にくびれた部分(横しま症発症部)が褐変し、浸漬3日後には第1図に示したように褐変部分が黒色に変色した。



浸漬前

浸漬後

注) 浸漬液: 1% 硫酸第一鉄溶液

第1図 鉄イオンによる横しま症発症部位の褐変

2) 横しま症と全フェノール含量

現地ニンジンの全フェノール含量は、第2表に示したとおり、横しまニンジンでは皮層部、篩部ともに健全ニンジンより全フェノール含量が多く、特に横しまニンジンの皮層部は健全ニンジンのその2倍以上のフェノール物質を含有していた。

また、皮層部の中でも横しま症発症部にフェノール物質の集積が認められ、健全ニンジンにおいても皮目部周囲が皮層部の他の部分より全フェノール含量が多かった。

第2表 横しま症発症の有無とニンジン根部の全フェノール含量の差異(mg/100g)

年	横しま症	皮層部	篩部	横しま症発症部	皮目部周囲
1995年	有	38.3	15.9		
	無	18.3	14.8		
1996年	有	41.2	36.6	71.7	
	無	19.3	16.8		29.8

2 土壌水分が横しま症の発生に及ぼす影響

1) 生育および横しま症発生程度

第3表に示したとおり、葉重は前期灌水・堆肥区および後期灌水・堆肥区で最も重く、次いで後期灌水区および前期灌水区となった。根重は後期灌水・堆肥区>後期灌水区、前期灌水・堆肥区>前期灌水区の順に重かった。無灌水区および無灌水・堆肥区はその他の灌水区より根重が軽く、特に堆肥を施用していない無灌水区は地上部、地下部ともに最も生育が劣った。

横しま症の発生程度は、前期灌水区において最も多く発生し、発生程度「甚」の割合が25%で、次いで前期灌水・堆肥区の14%となった。後期灌水区および後期灌水・堆肥区は、無灌水区および無灌水・堆肥区と同等かやや多い程度であり、無灌水・堆肥区ではほとんど発生しなかった。また、全体的に堆肥施用区で発生が少ない傾向となった。

第3表 土壌水分および堆肥施用の有無がニンジンの横しま症発生や生育に及ぼす影響

試験区	発生程度(%)	葉長	葉重	根長	根重	根径
-----	---------	----	----	----	----	----

	無	微	中	甚	cm	g	cm	g	mm
無灌水區	78	12	5	5	22.7	15.1	16.5	109.5	37.6
前期灌水區	42	18	15	25	37.9	37.7	18.0	154.2	45.0
後期灌水區	73	10	12	5	40.3	38.3	17.9	181.1	47.8
無灌水・堆肥區	90	7	3	0	36.3	29.8	18.6	150.7	43.4
前期灌水 "	78	5	3	14	40.7	44.2	18.3	178.8	48.0
後期灌水 "	82	12	5	1	39.6	42.2	18.5	208.2	50.4

2) 横しま症発生程度別全フェノール含量

第4表に示したとおり、横しま症の発生程度が高いほど皮層部および篩部における全フェノール含量も高かった。

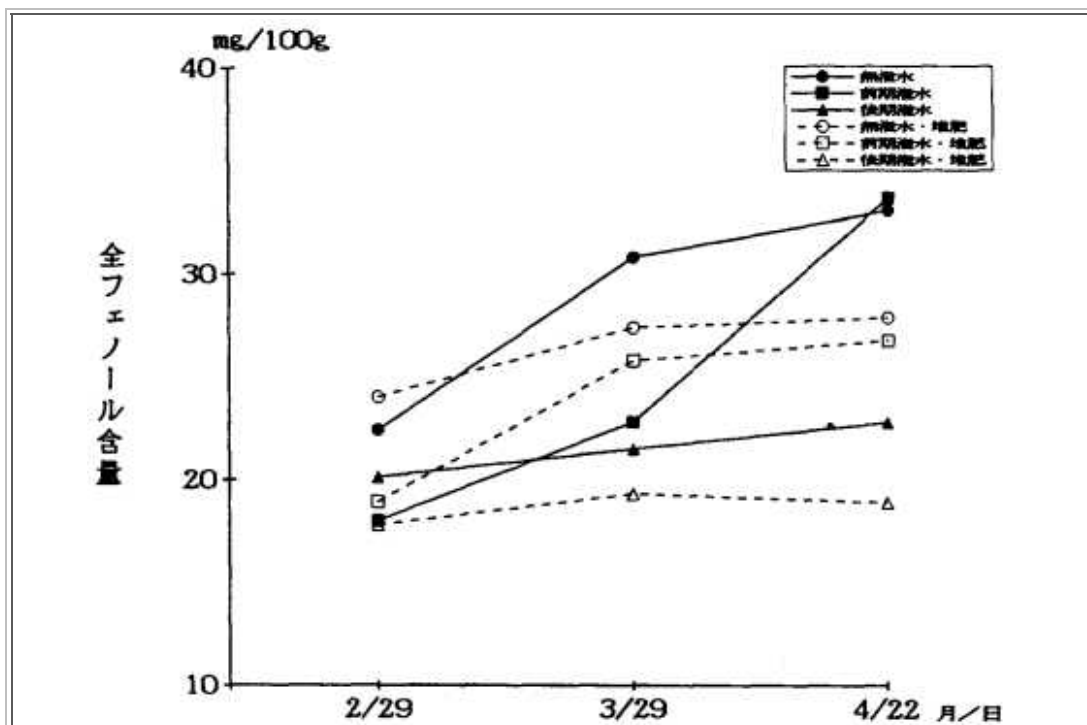
第4表 横しま症の発生程度とニンジン根部の全フェノール含量の差異(mg/100g)

発生程度	全フェノール含量	
	皮層部	篩部
甚	45.3	29.6
中	42.9	26.6
微	30.8	22.7
無	19.6	17.7

3) 皮層部の全フェノール含量の推移

皮層部中の全フェノール含量は、第2図に示したとおり無灌水區、無灌水・堆肥區、前期灌水區および前期灌水・堆肥區において生育後期に増加した。特に、堆肥を施用していない無灌水區および前期灌水區において全フェノール含量の増加度合いが高かった。中でも前期灌水區は収穫1カ月前の増加が顕著であった。

後期灌水區および後期灌水、堆肥區は、ほとんど増加しなかった。

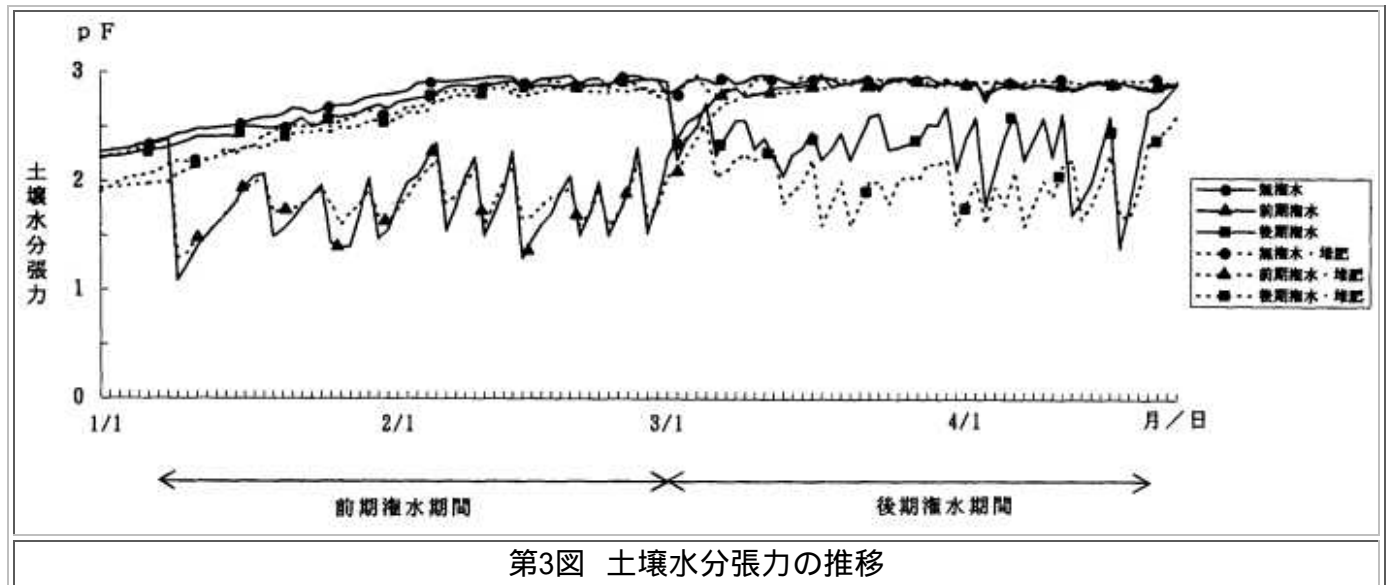


第2図 土壤水分および堆肥施用の有無がニンジン皮層部の全フェノール含量の推移に及ぼす影響

4) 土壤水分張力の推移

ニンジン生育中の土壤水分張力の推移は、第3図に示したとおり無灌水區および無灌水・堆肥區では、

播種後徐々に土壌pF値が高くなり、2月中旬から収穫までは、pF値が3近くを推移した。また、無灌水・堆肥区は無灌水区より土壌がpF値で3近くまでに乾燥する時期が遅かった。前期灌水区および前期灌水・堆肥区は、灌水期間中はpF値が1.5～2.2程度を上下したが、灌水をやめると急激にpF値が上昇し3月中旬～収穫までpF値が3近くを推移した。後期灌水区および後期灌水・堆肥区は灌水が始まる前の2月末までは無灌水区および無灌水・堆肥区と同様に徐々に土壌pF値が高くなり、灌水が始まると後期灌水区はpF値で1.8～2.7程度、後期灌水・堆肥区はpF値で1.6～2.2程度を推移した。また、無灌水区および無灌水・堆肥区以外の試験区のうち、堆肥施用区は堆肥無施用区より灌水期間中のpF値の変動幅が小さかった。



第3図 土壌水分張力の推移

考察

1) 横しま症の発生要因

第2表および第4表に示すとおり、横しまニンジンの皮層部は、健全ニンジンのそれと比べて2倍以上のフェノール物質を含有し、特に横しま症状を呈しているのはちまき状にくびれた部分に局部的に集積していることや横しま症の発生程度が高いほど皮層部のフェノール含量が多いことが明らかになった。また、横しま症の発生し易い品種は、発生し難い品種よりも全フェノール含量が多いことが確認されている¹⁵⁾こと等からも、横しま症の発生とフェノール物質の集積の間には密接な関係があることが伺われる。

元来、ニンジンの皮層部には、他の野菜類や果実類^{10,11)}と同様にフェノール物質が存在しており、収穫後の貯蔵中に増加し表皮の褐変の原因になることが知られている¹²⁾が、今回、横しまニンジンにおいて集積が認められたフェノール物質も、鉄イオンと反応して褐変したことから、クロロゲン酸を始めとしたポリフェノール類が主体であると考えられる。ポリフェノール類はリグニンの前駆体であるフェニルプロパノイドの一種であり、植物体内のフェノール物質の代謝を考える場合は、フェニルプロパノイドや、フェニルアラニンからフェニルプロパノイドを誘導する酵素であるフェニルアラニンアンモニアラーゼ(以下PAL)を抜きにして論ずることはできない^{4,7,13)}。

フェノール物質の生合成におけるPALの活性は光、組織の障害や果実の成熟にともなって発散するエチレンおよび温度等の環境条件に左右されることはよく知られている⁷⁾が、それに加えてモモでは、土壌の乾燥もPALやフェノール物質の増加要因になることが報告されている^{5,6)}。本試験においても、ニンジンの生育後期に土壌水分張力がpF値で3近くに上昇して以降、根部皮層部中の全フェノール含量が増加したのに対し、後期灌水区ではほとんど増加しなかった。特に、生育前期に土壌水分張力を低く管理した後、生育後期に土壌が急激に乾燥した前期灌水区において全フェノール含量が急増したことからニンジン皮層部におけるフェノール物質の集積は土壌の乾燥による水分ストレスに起因すると考えられる。このことは、水分ストレスを直接的に感受すると思われる側根の付け根である皮目部周辺にフェノール物質が集積していることから裏付けられる。

ニンジンにおいてPALおよびフェノール物質が蓄積した後にリグニンも増加することが報告されており¹⁸⁾、横しま部にフェノール物質が多量に検出されたのは、表皮細胞のリグニン化が進んでいることを示唆しており、フェノール物質集積部のリグニン化が周辺組織の正常な生長を阻害し、ニンジン表皮にくびれを生じさせた主要因であると思われる。

さらに、植物体内でタンパク質の生合成が抑制されたり、タンパク質の分解が促進されたりする状態では、

フェニルプロパノイドの生成量が増加することも知られており⁷⁾、横しま部においてはタンパク質の生合成代謝が乱れていることも皮目部周辺の生育阻害の原因として考えられる。

一方、堆肥施用区は堆肥無施用区と比較してpF値の上昇が緩やかであり、灌水期間中のpF値の変動も小さく、土壌の保水力が高まったために皮層部の全フェノール含量の増加が抑制されたことが、横しま症の発生が少ない要因になったと考えられる。

ところで、無灌水区は皮層部の全フェノール含量が高いにもかかわらず、横しま症の発生が少なかった。これは、無灌水区は土壌の乾燥により生育が抑制されたために根部の表面に見られるくびれが他区より目立ち難く、横しま症の発生程度が実際より小さく観察された結果と思われる。

以上のようにニンジン表皮のくびれの原因は、土壌乾燥により根部の皮目部にフェノール物質が集積し、皮目部周辺の表皮細胞のリグニン化およびタンパク質合成の抑制により、皮目部周辺の組織の生長が阻害され、フェノール物質が蓄積せず正常に生長、肥大しているその他の表皮から陥没してくびれが生じると考えられる。ただし、ニンジン根部の皮層部、特に皮目部周辺でのフェノール物質の集積が横しま症の発症に直接的にどのような機作を及ぼすかについては今後に残された課題である。

次に、横しま部にしばしば見られる黒変については、ニンジン斑点病菌により皮目部周辺に黒しみ症状が生じる場合もある⁸⁾が、本報告で取り上げた横しま症には病斑は認められず、表皮の黒変がニンジンの先端部付近でも見られることから斑点病菌による黒しみ症状ではない。横しま部に見られる黒変は、土壌水分が比較的多い状況下で土壌溶液中の金属イオンによりフェノール物質が褐変し着色したものと推察している。

2)横しま症の回避対策

本試験では、土壌水分張力がpF値で3近くを推移した生育後期に灌水することにより横しま症の発生を抑制できたが、現地では土壌の乾燥が著しい場合を除きニンジン栽培中の灌水は行われぬ。徳島県内の主なニンジン産地の多くは、河川のデルタ地帯に分布し、ビニルトンネルで被覆され地上部から水分の補給が絶たれている場合でも、豊富な地下水脈からの水分供給によりニンジンの生育が保たれているものと思われる。本試験を実施した圃場のように土壌が乾燥し易い上に、下層に礫層が有る等の理由から地下部からの水分の供給が望めない圃場では、横しま症の発生を回避するためには、特にトンネル栽培において土壌が乾燥する生育後期でのニンジンが裂根を起こさない程度の灌水が必要と思われる。

横しま症の発生を防ぐためには、ニンジンに負荷される水分ストレスをできるだけ軽減することが必要である。ニンジンの側根は、収穫期近くになるとそれまで横に広がってきたものが下層に向かって伸び、ほとんどの側根が1m以上の下層まで伸びていることが知られている¹⁴⁾が、播種前に多量の降雨があったり、前期灌水区のように根の伸長期に当たる生育前期に土壌水分張力を低く管理したりすると、地表近くに根群が分布し、下層への根の伸長が十分でなくなることも考えられる。そうした状況下での生育後期の乾燥は横

しま症を誘発すると思われる。従って、ニンジン根群の下層への拡大を図ることが横しま症発生の回避につながると考えられ、水分ストレスに強いニンジンの根群を形成するためには、土壌が膨軟で耕土が深い、耕盤が無い、粗孔隙が多く下層まで酸素が補給され易い等の土壌条件を整える必要がある。

具体的な対策は、深耕、心土破碎や有機物の施用等が考えられる。有機物の施用は、本試験においても確認されたように土壌の保水力を増大させ土壌の水分変動も小さくするので水分ストレスを受け難くするのに有効と考えられる。しかし、乾燥し易い圃場においては、土壌の乾燥を助長したり、下層からの水分の上昇を断絶することのないように未熟な有機物の施用や過度な深耕には留意する必要がある。

摘要

ニンジン横しま症の発生要因を解明するため、土壌水分がニンジン横しま症の発生に及ぼす影響について検討した。

1 横しま症発症ニンジンは、無発症ニンジンに比べて根部の皮層部における全フェノール含量が多く、横しま症の発生程度が激しいほど全フェノール含量が多くなった。特に発症部位(はちまき状にくびれた部位)にフェノール物質の集積が認められた。

2 根の伸長期に当たる生育前期に土壌水分張力を低く管理した後、土壌が急激に乾燥すると根部の皮層部における全フェノール含量が増加し、横しま症の発生も多かったが、有機物を施用し土壌の保水力が高まると発生程度は軽減された。

3 以上のことから、ニンジン横しま症は水分ストレスにより根部の皮目部周囲にフェノール物質が集積し、発症するものと思われる。

引用文献

- 1) Chubey, B.B. and Nylund, R.E.(1970): The Effect of Maturity and Environment on Phenolic Compounds and Oxidative Browning in Carrots. J.Amer.Soc.Hort. Sci, 95:
- 2) Dorrell, D.G.and Chubey, B.B.(1972): Acceleration of Enzymatic Browning in Carrot and Roots by Induced Suberization. J.Amer. Soc.Hort. Sci, 97:
- 3) 藤巻正生編(1980): 食糧保蔵学.朝倉書店(東京): 144 ~ 147
- 4) 広保正・田村五郎(1978): 農学における生物化学. 博文社(東京): 273.
- 5) 久保田尚浩・三村博美・島村和夫(1988): 土壌の乾燥と湛水がモモ果実のフェノール含量に及ぼす影響. 岡山大農学報, (71): 17 ~ 21.
- 6) 工藤正吾(1992): モモ果実の渋味とポリフェノール含量に及ぼす土壌乾燥の影響. 園学雑誌, 61(1): 31 ~ 37.
- 7) 南川隆雄・吉田精一(1980): 高等植物の二次代謝. 東大出版会(東京): 37 ~ 53.
- 8) 村田明夫・長井雄治(1988): ニンジン斑点病菌によるニンジン根部のしみ症状とその防除. 千葉農試研報, 29: 149 ~ 158.
- 9) 中林敏郎・木村進・加藤博通(1967): 食品の変色とその化学, 光林書院(東京): 84.
- 10) (1968): 果実および菜類のタンニン成分(第1報)バラ科果樹果実のタンニン成分. 食品工誌, 15: 73 ~ 78.
- 11) (第3報)ゴボウのポリフェノール成分とその酸化酵素の性質. 食品工誌, 15: 199 ~ 206.
- 12) 名和義彦・黒木柁吉(1980): 野菜の収穫後における品質変化に関する生化学的研究(第5報)ニンジン(冬どり)の低温貯蔵中における還元糖, 遊離アミノ酸, および全フェノール含量の変化. 食総研報, 36: 27 ~ 32.
- 13) 鈴木米三・増田芳雄(1978): 植物生化学, 理工学社(東京): 173 ~ 174
- 14) 鈴木芳夫(1975): 生育ステージと生理, 生態. 農業技術体系ニンジン(基礎編), 農文協(東京): 43 ~ 44
- 15) 徳島県立農業試験場(1989): II 3(3)ニンジン表皮の黒変に関する実験. 昭和63 ~ 平成元年度農芸化学科成績書: 94 ~ 97
- 16) (1990): V 4(1)ニンジン畑土壌実態調査. 平成元年度農芸化学科成績書: 175 ~ 187.
- 17) (1993): III 2洋ニンジンの黒しみ対策試験. 平成2年度農芸化学科成績書: 61 ~ 62.
- 18) Zamski, E.and Perets, I. (1995): Cavity spot of carrots. Interactions between the host and pathogen, Ann Appl Biol, 127(1): 23 ~ 32.