

窒素,リン,マンガン欠乏が植物のアントシアニンおよびその他のフェノール性化合物の生成に及ぼす影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	堀口, 毅
巻/号	60巻3号
掲載ページ	p. 226-232
発行年月	1989年6月

窒素, リン, マンガン欠乏が植物のアントシアニンおよび その他のフェノール性化合物の生成に及ぼす影響*

堀 口 毅**

キーワード 窒素, リン, マンガン, アントシアニン, フェノール性化合物

植物のリン欠乏の可視的症狀として葉が暗緑色, 緑赤色, あるいは赤褐色などを呈したり, 窒素欠乏の可視的症狀として明赤紫色や暗紫色を呈することはよく知られており, これらはアントシアニンの集積によるものと考えられているが, その発現の程度には種間差や品種間差がある¹⁻³⁾.

その他の養分元素とフェノール性化合物との関係についての報告はまだ少なく, ハウス栽培のブドウの着色障害がマンガン欠乏に起因するという報告があるが⁴⁻⁶⁾, その機構は明らかにされておらず, ブドウ以外の植物におけるマンガンとアントシアニン生成との関係についてはこれまでほとんど報告されていない。

フェノール性化合物は植物の二次代謝産物の中でも最も数が多く複雑であり, フェニルプロパノイド, フラボノイド, リグニン, クマリンなどが含まれる。最近になってこれらは代謝の単なる最終産物でも老廃物でもなく, リグニン, タンニンは病原体に対する抵抗物質として, フェニルプロパノイドは他の植物に対する他感物質として, フラボノイドは昆虫誘引物質として生理作用をもつことなどが認められつつある⁷⁾。

アントシアニンは, フェノール性化合物の中で, 可視部にも光の吸収スペクトルをもっているため, その集積が可視症狀として認められるが, 可視部に光の吸収帯をもたないアントシアニン以外のフェノール性化合物も栄養条件の影響を受けることが予想される。フェノール性化合物を適当な方法を用いて分析することによって, 栄養診断の一助とする手がかりが得られるのではないかと考え, 本研究に着手した。

* 本研究の一部は昭和60年4月, 日本土壌肥料学会大会(金沢)において発表した。

本研究の一部は昭和63年度文部省科学研究費(一般研究B課題番号63470107)により実施した。

** 鹿児島大学農学部(890 鹿児島市郡元 1-21-24)

1988年11月25日受理

日本土壌肥料学雑誌 第60巻 第3号 p. 226~232 (1989)

1. 実験方法

1) 植物の培養と処理

供試植物としては, トウモロコシ(*Zea mays* L.)のアントシアニンを集積しやすい品種イエローデントと, アントシアニンを集積しにくい品種ゴールデンクロスバントム, さらにアントシアニンを集積しやすい赤レタス(*Lactuca sativa* L.)と赤キャベツ(*Brassica oleracea* L.)とを用いた。種子をウズブルン1000倍溶液で殺菌し, ポラ土上で発芽させたのち, 水耕法で培養した。培養は, 1 l容のプラスチック容器を用い, 1容器に1個体ずつ移植して行った。基本培養液組成は, 多量要素については, N 40 ppm ($\text{NH}_4\text{-N}$ 10 ppm, $\text{NO}_3\text{-N}$ 30 ppm), P_2O_5 20 ppm, K_2O 40 ppm, CaO 40 ppm, MgO 40 ppmの濃度になるように, NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, KH_2PO_4 , KCl , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ を加え, 微量元素については, Fe 3 ppm, Mn 0.3 ppm, Zn 0.01 ppm, Cu 0.01 ppm, Mo 0.01 ppm, B 0.1 ppmの濃度になるように, Fe-EDTA, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 を加えた。窒素, リンおよびマンガンの欠除用培養液は基本培養液からそれぞれの要素を除いたものを用いた。培養液用の水は脱塩水(導電率 $0.2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下)を用い, pHは5.6に調節し, 通気を行い, 5日ごとに更新した。

実験1: 前培養は, 多量要素については基本培養液の1/2濃度, 微量元素については基本培養液と同じ濃度の液を用い, 移植後10日間行った。処理は各品種について, リン欠除区および窒素欠除区を設け, 対照区には完全培養液を用い, 各区1個体, 3連で10日間行った。分析用には, 各個体から第4, 5, 6葉を採取して, これらを合わせたものを試料とした。

実験2: あらかじめ, マンガンを欠除させて10日間前培養したトウモロコシ(イエローデント)を用いて, リン欠除, マンガン欠除, リンおよびマンガン欠除の各

処理区および対照区を設け、各区1個体、3連で7日間処理した。分析用試料としては各個体から第2, 3, 4葉を採取してこれらを合わせたものを用いた。

実験3：赤キャベツと赤レタスについては、冬期にガラス室内で30日間前培養したのち、完全培養液とマンガン欠除培養液に移し、各区1個体、3連で40日間処理した。分析用試料としては、外観上対照区とマンガン欠除区との間にアントシアニンの色の差が比較的顕著に現われた上位葉を採取した。キャベツのアントシアニンとクロロフィルについては、下位葉についても分析を行った。

2) 全フェノール、ロイコアントシアニン、フラバノール用試料溶液の調製法

大型試験管に85%メタノールを25 ml 入れ、口に小ろ斗をのせて湯浴上で加熱した。この中に試料(新鮮重で数g)ををさみで細かく切って入れ、80°C 5分間加熱後、ホモゲナイズし、1500×gで遠心分離した。沈殿に80%メタノール20 mlを加え、攪拌、遠心分離を2回繰り返した。上澄液をすべて合わせ、ロータリーエバポレーターを用い、45°C以下で窒素ガスを通じながら濃縮し、試料溶液とした。

3) 全フェノールの定量法⁹⁾

試料溶液1 mlに10%炭酸ナトリウム5 ml、フェノール試薬0.5 mlを加えて振とうし、30分後に没食子酸を標準物質とし、分光光度計(日立101型)を用いて765 nmの吸光度を測定し、新鮮重1g当たりの没食子酸換算量 μmol として示した。

4) ロイコアントシアニンの定量法⁹⁾

試料溶液1 mlと塩酸-ブタノール試薬(濃塩酸5 mlにブタノールを加えて100 mlとする)5 mlを混合し、沸騰水で3分加熱、密栓して27分間加熱したのち水冷し、550 nmの吸光度をバラから採取したアントシアニン(cyanidin 3G5G, 鹿児島大学農学部観賞園芸研究室製)を標準物質として定量し、新鮮重1g当たりのアントシアニン換算量 μmol として表示した。対照としては加熱処理しないものを用いた。

5) フラバノール(カテキン, ロイコアントシアニン)の定量法⁹⁾

試料溶液3 mlを取り、水冷下で振とうしながら6 mlのバニリン-硫酸試薬(バニリン1gを70%硫酸100 mlに溶かす)を滴下し、室温に15分間放置後、500 nmの吸光度をエピカテキン(米国シグマ社製)を標準として定量し、新鮮重1g当たりのエピカテキン換算量 μmol として表示した。対照は水3 mlにバニリン-硫酸試薬6 mlを加えたもの、および検液3 mlに水冷しながら

70%硫酸6 mlを加えたものを用いた。

6) アントシアニンの定量法⁹⁾

植物体試料(新鮮重で数g)をビーカーに入れ、これに1%塩酸-メタノール液(2:3)を試料が浸る程度に加え、1夜放置して抽出した。抽出液をロータリーエバポレーターを用い、45°C以下で窒素ガスを通じながら濃縮し、メンブランフィルター(0.45 μm)を用いて濾過後、定容(5~10 ml)とし、これを試料液とした。

A, Bの試験管を用意し、Aには試料液1 ml, 水1 mlおよび2%塩酸-メタノール液(2:3)を加え、Bには試料液1 mlを入れたのち、30%過酸化水素水1 mlを加えてアントシアニンを分解し、さらに2%塩酸-メタノール液(2:3)を加えてブランクとした。AおよびBの液の530 nmの吸光度の差を求め、アントシアニンを標準として定量した。

7) クロロフィルの定量法

新鮮重0.5~2gの葉を乳鉢に入れ、4倍容の冷アセトンと10 mlの85%アセトンを加え、水冷しながら乳棒で磨砕、抽出する操作を数回繰り返して、80%アセトンで定容にした。抽出液について、ARNONの方法¹⁰⁾によりクロロフィルを定量した。

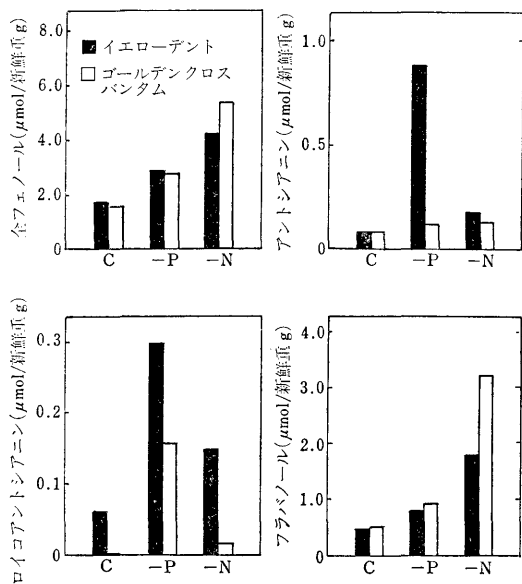
8) フェニアラニンアンモニリアーゼ(PAL)活性測定法

PAL活性測定はZUCKERの方法¹¹⁾に従って行った。すなわち、新鮮重0.3~0.5gの葉を5 mlの50 mMホウ酸緩衝液(pH 8.8, メルカプトエタノールを含む)を加え、水冷しながら乳鉢で磨砕し、10,000×g, 15分間遠心分離した上澄液を粗酵素液とした。粗酵素液に基質としてフェニアラニンを加え、37°C, 30分間反応させたのち、290 nmの吸光度の増加を分光光度計(日立100-50型)を用いて測定した。酵素活性は1時間に生成するケイ酸量で表わし、新鮮重1g当たりの比活性($\mu\text{g}/\text{h}/\text{新鮮重g}$)として示した。

2. 実験結果

実験1) リン欠除および窒素欠除処理がトウモロコシ葉のフェノール性化合物含有率に及ぼす影響の品種間差異

本実験における全フェノールは、FOLIN-CIICAL-TAU¹²⁾のフェノール試薬と反応して発色するフェノール類の総量を標準の没食子酸に換算した量である。また、ロイコアントシアニンはロイコアントシアニンをアントシアニンに変えてから生じた赤色を標準のアントシアニン量に換算した量であり、カテキンやロイコアントシアニン類の総和としてのフラバノールはこれらをバニリ



第 1 図 リン欠除および窒素欠除処理がトウモロコシ葉のフェノール性化合物含有率に及ぼす影響の品種間差異

C, 対照区; -P, リン欠除区; -N, 窒素欠除区。

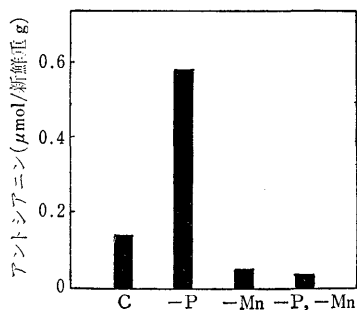
ン-硫酸試薬によって発色させてから標準のカテキンに換算した量である。いずれもグループとして定量したもので、フェノール性化合物の種類によって発色の程度が異なるので正確な絶対量を表わしてはいたないが、本実験ではフェノール性化合物グループの絶対量よりも各処理による相対量の変動を問題としている。

葉身のフェノール性化合物の分析結果を第 1 図に示した。全フェノールおよびフラバノール含有率は、イエローデント、ゴールドクロスパンタムともにリン欠除処理区(-P)、窒素欠除処理区(-N)のほうが対照区(C)よりも大であり、窒素欠除処理による増加はリン欠除処理による増加よりも大で、とくにゴールドクロスパンタムで著しかった。アントシアニンの増加は、とくにイ

エローデントのリン欠除処理区において著しく、窒素欠除処理によってもやや増加したが、ゴールドクロスパンタムでは処理による変化はほとんどみられなかった。ロイコアントシアニンについては、ゴールドクロスパンタム、イエローデントともに処理によって増加したが、リン欠除処理区で最も著しかった。処理によるフラバノール含有率の変化は全フェノールの変化の傾向に類似していたが、とくにゴールドクロスパンタムにおいて窒素欠除による増加が著しかった。

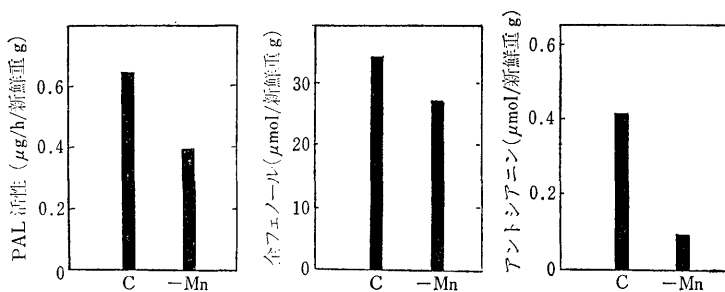
実験 2) マンガン欠除およびリン欠除処理がトウモロコシ (イエローデント) のアントシアニン生成に及ぼす影響

各処理区の葉身のアントシアニン含有率を第 2 図に示した。アントシアニン生成は、対照区に比べリン欠除処理によって促進され、マンガン欠除処理(-Mn)によって抑制された。リン欠除とともに、マンガンが欠除した場合(-P, -Mn)は、アントシアニンの生成が抑制され、対照区、マンガン欠除処理区よりも低いアントシアニン含有率を示した。



第 2 図 マンガン欠除およびリン欠除処理がトウモロコシ (イエローデント) 葉のアントシアニン生成に及ぼす影響

C, 対照区; -P, リン欠除区; -Mn, マンガン欠除区; -P, -Mn, リンおよびマンガン同時欠除区。



第 3 図 マンガン欠除処理が赤レタス葉のフェノール代謝に及ぼす影響

C, 対照区; -Mn, マンガン欠除区。

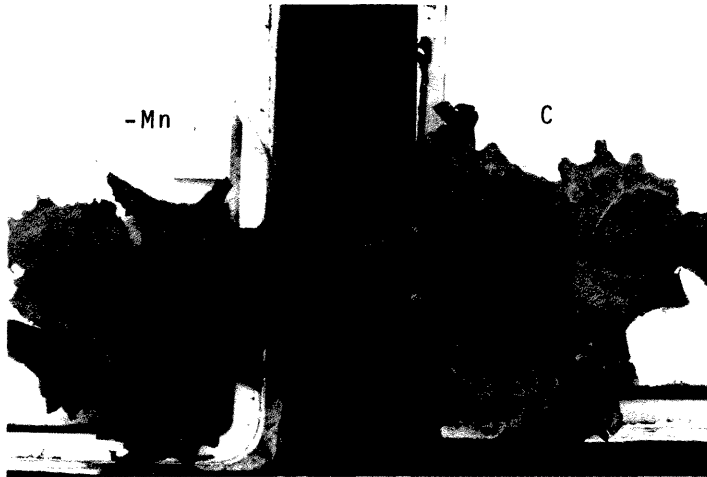


写真1 マンガン欠除処理が赤レタス葉のアントシアニン集積に及ぼす影響
-Mn, マンガン欠除処理区; C, 対照区.

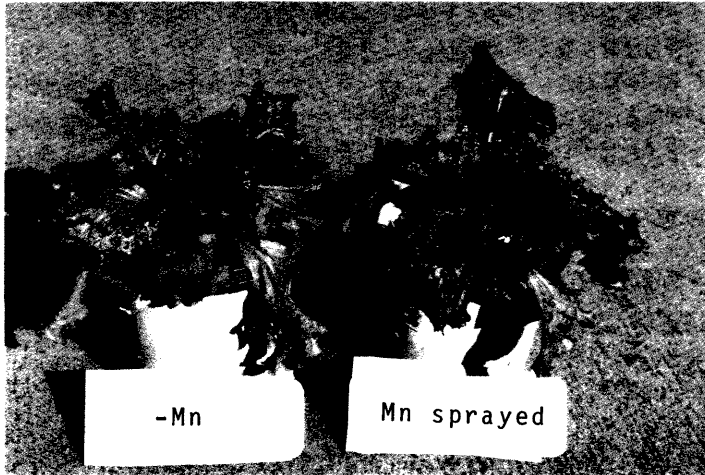


写真2 マンガン欠乏赤レタス葉へのマンガン散布によるアントシアニン集積の回復
-Mn, マンガン欠除区; Mn sprayed, マンガン散布区.

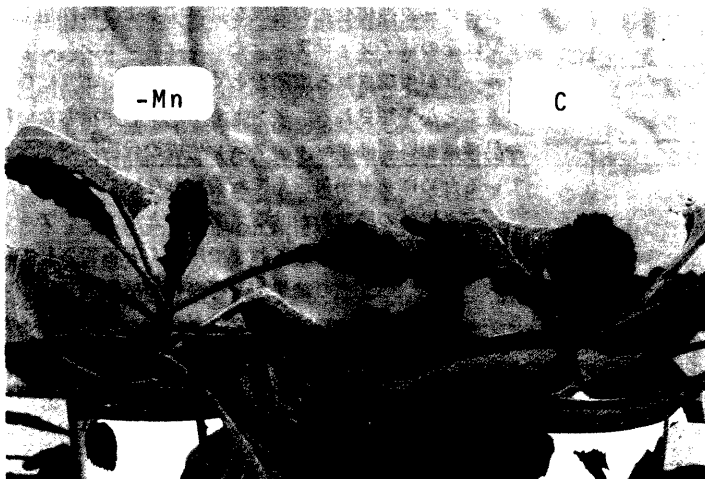


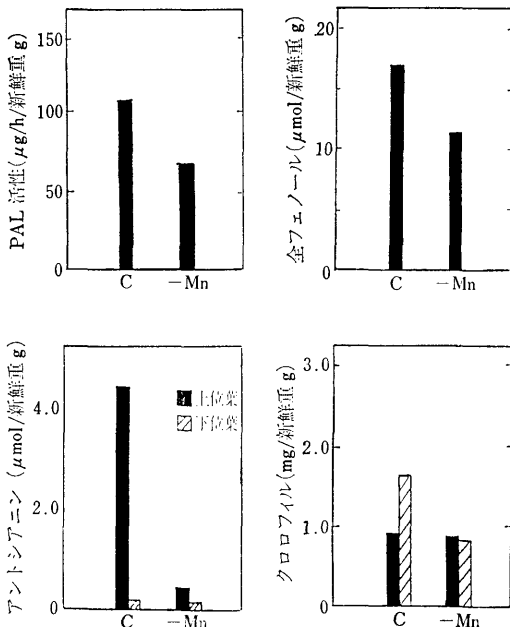
写真3 マンガン欠除処理が赤キャベツ葉のアントシアニン集積に及ぼす影響
-Mn, マンガン欠除処理区; C, 対照区.

実験 3) マンガン欠除処理が赤レタス および 赤キャベツのフェノール代謝に及ぼす影響

アントシアニンを集積しやすい赤レタスと赤キャベツについてマンガン欠除処理を行い、葉身について、フェノール代謝の律速酵素であるフェニルアラニンアンモニアラーゼ (PAL) 活性、全フェノール含有率、アントシアニン含有率を測定し、さらに赤キャベツについてはクロロフィル含有率を測定した。それぞれ対照区のものには培養日数の経過とともに新しい上位葉ほど強く着色したが、マンガン欠除処理区のものには緑色であった (写真 1, 3)。マンガン欠除処理区のものに 0.4% 硫酸マンガン溶液を散布すると、赤色の着色が回復した (写真 2)。分析の結果は、赤レタス (第 3 図)、赤キャベツ (第 4 図) とともに、マンガン欠除区においては、葉身の PAL 活性、全フェノール含有率、アントシアニン含有率ともに対照区におけるよりも低く、とくにアントシアニン含有率の低下が著しかった。キャベツの下位葉ではマンガン欠除処理によってクロロフィル含有率が低下したが、上位葉ではクロロフィル含有率は対照区とほとんど変わらなかったにもかかわらず、アントシアニン含有率が著しく低下した。

3. 考 察

リン欠乏の一般的な可視症状として、葉が暗緑色、緑



第 4 図 マンガン欠除処理が赤キャベツ葉のフェノール代謝に及ぼす影響

C, 対照区; -Mn, マンガン欠除区。

赤色を呈し、これがアントシアニンの集積によるものであることは多くの教科書や植物栄養診断の指針書に記述されている^{1,2)}。しかし、このような症状の発現のしかたは植物の種や品種の違いによってかなり異なるので、一般的な栄養診断法としては必ずしも適当でない。本研究の結果においても、トウモロコシの異なる品種であるゴールドエンクロスバンタムとイエローデントの間でアントシアニンの集積程度が著しく異なっていた。したがって、ゴールドエンクロスバンタムのようにアントシアニンを集積しにくい品種については、アントシアニン集積以外の診断方法を考える必要がある。

全フェノール含有率がリン欠除や窒素欠除によって増加するということは、フェノール代謝がこれらの元素の栄養状態によって影響を受けることを意味するが、その程度はフェノール性化合物の種類によっても異なっていた。すなわち、全フェノール含有率はリン欠除よりも窒素欠除によってより著しく増加したが、イエローデントのアントシアニン含有率の増加はリン欠除処理区のほうが窒素欠除処理区よりも著しかった。ロイコアントシアニンについては、ゴールドエンクロスバンタム、イエローデントともに窒素欠除処理区よりもリン欠除処理区で多く、フラバノールについては、リン欠除、窒素欠除の両方で増加したがリン欠除よりも窒素欠除のほうが多く、とくにゴールドエンクロスバンタムの窒素欠除のときの増加が著しかった。

本実験の測定法によるフラバノール量はカテキンとロイコアントシアニンをともに含むがカテキン量のほうがまさっており、おもにカテキン量を反映しているものと思われる。代謝過程に及ぼす影響の詳細は今後の研究を待たなければならないが、窒素はおそらく比較的量の多いフェノール性化合物の生成を抑制するように作用し、リンはその他アントシアニンやロイコアントシアニンのグループが生成される段階をとくに抑制するように作用することが予想される。アントシアニンを集積しない種や品種においてはアントシアニン生成の代謝段階が欠けているためにリンが欠乏しても着色しないのであろう。

ブドウ以外の植物におけるマンガンとアントシアニン生成との関係についてはこれまでほとんど報告されていなかったが、本研究の結果からその他の植物でもアントシアニン生成のためにはマンガンが必要と考えられ、リン欠乏のイエローデント、赤レタスおよび赤キャベツのアントシアニン集積はマンガン欠除処理によって抑制され、マンガン欠乏赤レタスではマンガンの葉面散布によってアントシアニンの集積が回復した。また、マンガンはアントシアニンのみならずフェノール代謝全般にも影

響するものと考えられ、赤レタス、赤キャベツともにマンガン欠除によって、フェノール代謝の律速酵素である PAL の活性が低下し、全フェノール含有率が低下した。

マンガンが光合成に関与することやマンガン欠除によってクロロフィルが減少してクロロシスが生ずることはよく知られている。したがって、マンガンのアントシアニン生成に対する影響が、クロロフィルや光合成に対する影響の間接的な結果である可能性も考えられた。そこで、赤キャベツの上位葉と下位葉について同一葉のアントシアニンとクロロフィルの測定を行った。赤キャベツにおけるアントシアニンの生成には、低温、光などの条件が必要であり、培養日数の経過とともに新しい上位葉ほど強く着色してくる。古い下位葉では対照区においてもまだアントシアニンの含有率は非常に低く、マンガンの影響も明確ではなかった。下位葉のクロロフィル含有率は対照区では上位葉よりも高く、マンガン欠除によって低下した。アントシアニン生成はクロロフィル生成とは独立して起こると考えられ、上位葉においては、マンガン欠除処理はクロロフィル含有率に影響する以前にアントシアニン含有率を低下させることが明らかになった。このことは、マンガンのアントシアニン生成に及ぼす影響はクロロフィルの減少への影響よりも敏感で、直接的なものであることを示唆している。

PAL で触媒される反応の直接の生成物はケイ皮酸であるが、引き続き生成される *p*-クマール酸やクマリル CoA は、フェニルプロパノイド、フラボノイド、リグニンなどの生合成の分岐点に位置し、フェノール代謝における重要な中間物質である。ENGELSMAN¹³⁾の報告によれば、マンガンは小キュウリの胚軸における PAL の生成を促進した。一方、著者による実験結果¹⁴⁾では、葉の *p*-クマール酸、カフェー酸、フェルラ酸含有率はマンガン欠乏葉で少なく、正常葉で多かった。また、フラボノイド¹⁴⁾については種類によってマンガンの影響が異なり、増大するものと減少するものがあつた。したがって、マンガンは一般的には PAL 生成を促進することによってフェノール性化合物の生成を全般に促進し、さらにアントシアニン生成など特定の代謝段階をとくに促進するように思われる。

赤ブドウの果皮には多量のアントシアニンが含まれており、果粒の PAL 活性とアントシアニンの集積とは密接な関係があると報告されている¹⁵⁾。マンガン欠乏によるブドウ（デラウェア）の着色障害⁴⁻⁶⁾は、マンガンのどのような作用によるものかは明らかでなく、マンガン欠乏による光合成の低下や、IAA オキシダーゼ活性の低下などホルモンへの影響の間接的な結果ではないかと

考察されていたが⁵⁾、本研究の結果から推測すると、マンガンのフェノール代謝、とくにアントシアニン生成系への直接的影響の結果であろうと思われる。

本研究によって、アントシアニン以外のフェノール性化合物も栄養条件によって変化することが明らかになった。アントシアニンは可視部にも光の吸収スペクトルをもっているので可視症状として認められてきたが、フェノール性化合物の種類は非常に多様であるので、今後養分元素に特異的なフェノール性化合物の変化を適当な分析方法で検出することができれば、栄養診断の一助になると考える。

4. 要 約

1) トウモロコシの品種の中からアントシアニンを集積しやすいイエローデント (YD) とアントシアニンを集積しにくいゴールデンクロスバンタム (GC) を選び、窒素、リンおよびマンガンを欠除させた培養液を用いて、これらの養分が全フェノール、アントシアニンおよびその他のフェノール性化合物の含有率に及ぼす影響について検討した。

全フェノールおよびフラバノール含有率は、YD, GC ともにリン欠除もしくは窒素欠除によって増加し、窒素欠除による増加はリン欠除による増加よりも著しかった。アントシアニンについては、とくに YD のリン欠除区において著しく増加したが、GC では処理による変化はわずかであった。ロイコアントシアニンについては、YD, GC ともにリン欠除区で含有率が高かった。

イエローデントをマンガン欠除処理すると、アントシアニン生成が抑えられ、リン欠除の場合にもアントシアニンがほとんど集積しなかった。

2) 赤レタスと赤キャベツを用いてフェノール代謝に及ぼすマンガンの影響を検討した。植物はマンガン欠除培養液で水耕培養したのち、葉身のフェニルアラニンアンモニアリアーゼ (PAL) 活性、全フェノール、アントシアニンおよびクロロフィル含有率を測定した。対照区の赤レタス、赤キャベツは赤色に着色したがマンガン欠除区のものとは緑色であった。赤レタス、赤キャベツともにマンガン欠除によって、PAL 活性、全フェノールおよびアントシアニン含有率が低下し、とくにアントシアニン生成は、マンガン欠除によって著しく抑制された。マンガン欠除区の赤キャベツ上位葉のクロロフィル含有率は対照区とほとんど変わらなかったにもかかわらず、アントシアニン含有率は著しく低下した。

マンガンのフェノール代謝とアントシアニン生成への影響は、光合成への影響とは異なる直接的なものである

ことが示唆された。

謝 辞 標準物質として使用したアントシアニンをご提供いただきました鹿児島大学農学部観賞園芸学研究室の坂田祐介博士に厚くお礼を申し上げます。なお本研究の実施にあたって、内村絹子氏の多大なご協力を得ましたので特記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) HEWITT, E. J. : The essential nutrient elements, requirements and interactions in plants; in *Plant physiology*, Vol. 3, ed. F. C. STEWARD, p. 137~360, Academic Press, New York and London (1963)
- 2) 山崎 伝 : 多量要素と微量要素, p.120~121, 博友社, 東京 (1966)
- 3) 矢沢文雄 : 作物の葉色診断, 作物の栄養診断, 日本土壌肥科学会編, p.5~39, 博友社, 東京 (1984)
- 4) 竹下 修・沢田真之輔・高橋国昭・村上英行・多久田達雄・梶野利雄・上野良一・石井卓爾・河野良洋 : ジベレリン処理デラウェアブドウの着色障害に関する研究 (予報), 島根農試研報, **14**, 29~38 (1977)
- 5) 竹下 修・沢田真之輔・高橋国昭・村上英行・多久田達雄・梶野利雄・上野良一・石井卓爾・河野良洋 : ジベレリン処理デラウェアブドウの着色障害に関する研究, 同上, **19**, 1~71 (1984)
- 6) 清水 武・平野隆生・段 正幸・奥田義二 : ブドウ (デラウェア) のマンガン欠乏について, 大阪農技セ研報,

- 17**, 59~66 (1980)
- 7) SWEIN, T. : Secondary compounds as protective agents. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **28**, 479~501 (1977)
- 8) 片山 脩 : フェノール物質, 栽培植物分析法, 作物分析法委員会編, p.419~423, 養賢堂, 東京 (1983)
- 9) 片山 脩 : フラボノイドおよびアントシアニン, 栽培植物分析法, 作物分析法委員会編, p.392~399, 養賢堂, 東京 (1983)
- 10) ARNON, D. J. : Copper enzymes in isolated chloroplasts; Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, **24**, 1~15 (1949)
- 11) ZUCKER, M. : Induction of phenylalanine ammonia-lyase in xanthium leaf disks. Photosynthetic requirement and effect of daylength. *ibid.*, **44**, 912~922 (1969)
- 12) FOLIN, O. and CIOCALTAU, V. : On tyrosine and tryptophane determination in proteins. *J. Biol. Chem.*, **73**, 627~650 (1927)
- 13) ENGELSMA, G. : A possible role of divalent manganese ions in the photoinduction of phenylalanine ammonia-lyase. *Plant Physiol.*, **50**, 599~602 (1972)
- 14) 堀口 毅 : マンガンとフェノール代謝, 土肥要旨集, **32**, 64 (1986)
- 15) KATAOKA, I., KUBO, Y., SUGIURA, A. and TOMANA, T. : Changes in L-phenylalanine ammonia-lyase activity and anthocyanin synthesis during berry ripening of three grape cultivars. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, **52**, 273~279 (1983)

Effects of Nitrogen, Phosphorus, and Manganese Deficiencies on the Formation of Anthocyanin and Other Phenolic Compounds in Plants

Tsuyoshi HORIGUCHI

(*Fac. Agric., Kagoshima Univ.*)

1) Effects of nitrogen, phosphorus, and manganese deficiencies on the formation of anthocyanin and other phenolic compounds were investigated with seedlings of two cultivars of corn (*Zea mays* L.), Yellow Dent (YD), rich in anthocyanin, and Golden Crossbantam (GC), poor in anthocyanin.

The nitrogen deficiency increased the contents of total phenol and flavanol in the leaves of both YD and GC more remarkably than the phosphorus deficiency. For YD, phosphorus deficiency caused a drastic accumulation of anthocyanin in the leaves, while the accumulation by nitrogen deficiency was slight. On the other hand, anthocyanin in GC was scarcely changed by the deficiencies. The increase in leucoanthocyanin content caused by phosphorus deficiency was greater than that by nitrogen deficiency both in YD and GC.

2) Effects of Mn deficiency on phenol metabolism were investigated with seedlings of red lettuce (*Lactuca sativa* L.) and red cabbage (*Brassica oleracea* L.). After the seedlings were water-cultured with Mn-deficient culture solutions, phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity, total phenol, anthocyanin, and chlorophyll contents in the leaves were determined. Manganese deficiency caused decreases of PAL activity, total phenol and red anthocyanin contents in the leaves of both red lettuce and red cabbage, among which the decrease of anthocyanin was more remarkable. The anthocyanin content changed unrelatedly with the chlorophyll content in the upper leaves of red cabbage.

It is suggested that Mn has a direct function in phenol metabolism, especially in anthocyanin formation.

Key words nitrogen, phosphorus, manganese, anthocyanin, phenolic compound

(*Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **60**, 226-232, 1989)