

トウモロコシやソルガムなどに出現する カルシウム欠乏症状 (第3報)

トウモロコシにおける特異なカルシウム欠乏症状の
発現要因について*

森 次 益 三・河 崎 利 夫

トウモロコシのカルシウム欠乏症状としては、新芽の先端部分に粘性の物質が分泌されるために、葉先が離れないままで展開しようとして葉が鞭状あるいは梯子状を呈するに至る、いわゆる“Bull whip”と呼ばれる症状^{1,3,4,5,6)}がよく知られている。

しかし、これ以外にもカルシウムの欠乏による特異な葉縁の切れ込み症状^{4,5,6,7)}が存在し、主として水耕栽培において、かなりの頻度で観察されることについては既に報告した。また、このトウモロコシと同様の症状がソルガムで、類似の症状がオオムギで認められることについても既に報告^{5,6)}している。

今回はカルシウム欠乏によるトウモロコシの特異な葉縁切れ込み症状の発現要因について若干の検討を行なったので、その結果について報告する。

本報文の原稿を取りまとめるにあたり、御校閲を賜った本研究所松本英明博士に謝意を表する。

実験材料及び実験方法

実験材料はすべてトウモロコシ (*Zea mays* L.) であって、ほとんどの実験で低カルシウム条件に比較的弱い合成 91 号と比較的強い長野 1 号^{4,6)} の 2 品種を用いた。

大部分の栽培実験は簡単な冷暖房の設備を有する本研究所のガラス温室で、水耕栽培によって行なった。培養液の組成は第 1 表に示した。大多数の実験では基本培養液を用いたが、その場合にはその記述を省略することとした。また、pH 調整 (5.5) 及び鉄添加は通常 1 日おきに行ない、1/5,000 アールポットに 2 本植えの栽植密度とした。培養液のカルシウム濃度は葉縁の切れ込み症状の発現程度に応じて、一般に夏は高く冬は低く設定した。なお、夏季には根圏温度の過上昇を防止するために、通常、ポットの外側から水道水で冷却 (培養液温度 25°C で通水開始) した。

通常の栽培実験終了後の植物体については、それぞれの実験目的に応じ、葉縁の切れ込み症状の観察、乾物重量の測定などを行なった。植物体または培養液の化学分析は乾式灰化後カリウム、カルシウムおよびマグネシウムは原子吸光法、またリンはバナドモリブデ

昭和60年1月24日受理

* 本報文の要旨は 1979 年 8 月の日本土壌肥科学会札幌大会において発表した。

Table 1. Composition of nutrient solution

Composition of N, P, K	Composition of the other nutrients	
1. Basal nutrient solution* [NH ₄ -N 1 mM+NO ₃ -N 4 mM] KNO ₃ 4.0 mM NH ₄ H ₂ PO ₄ 1.0 mM	CaCl ₂	0.25~5.0 mM**
	MgSO ₄	1.0 mM
2. Nitrate-type nutrient solution [NO ₃ -N 5 mM] KNO ₃ 4.0 mM NaNO ₃ 1.0 mM NaH ₂ PO ₄ 1.0 mM	Fe	1.0 ppm***
	B	0.5
	Mn	0.5
	Zn	0.05
	Cu	0.02
	Mo	0.01
3. Nutrient solution for phosphorus treatment [NH ₄ -N 1 mM+NO ₃ -N 4 mM] KNO ₃ 3.0 mM NH ₄ NO ₃ 1.0 mM NaH ₂ PO ₄ 0.02~1.0 mM	pH	5.5***

* Regular composition of nutrient solution.

** Calcium levels were changed as necessary.

*** Iron was added every other day as citrate prior to each pH adjustment.

ン酸法によって行なった。なお、培養液中の硝酸イオンは紫外吸光法によって測定した。

放射性カルシウム (⁴⁵Ca) によるトレーサー実験では、⁴⁵Ca で標識した培養液を調整し、カルシウムレベルを 0.25 と 5.0 mM の 2 段階としてトウモロコシ (長野 1 号) を栽培した。葉身の放射能の分布は栽培実験終了後ラジオオートグラフ法及び GM 計数管を用いて測定する方法の 2 通りの方法によって測定した。

トウモロコシ生葉内のカルシウムの形態別分析は、カルシウム濃度 0.25 及び 5.0 mM の培養液で植物を育成し、完全に葉身が出現した直後の葉の先端部分について太田らの方法⁹⁾ によって行なった。

根圏温度、葉縁の切れ込み症状、ならびに植物体のカルシウム含有率の相互関係を調査する実験においては、ポットの外側からウォータークーラーによって培養液温度を 20°C または 25°C に制御する低温区と、培養液温度の制御を全く行わないか、あるいは 30°C 以上に維持する高温区を設け、培養液のカルシウム濃度を 0.5、1.0 及び 2.0 mM に設定して栽培した。

数段階の根圏温度処理を伴った各種養分の短時間の吸収実験は、本研究所の環境制御施設内の地温調節装置付きのガラス室において行なった。発芽後直ちに気温、根圏温度とも 25°C に制御した条件で 5 日間前培養した幼植物を用い、ポットあたり 12 本の栽植密度とし、室温は 25°C 一定、培養液温度は 10、20、30 及び 40°C の 4 段階とし、カルシウム濃度を 0.25 および 5.0 mM とした硝酸性培養液を用いて 24 時間の吸収実験を行なった。各種養分の吸収量は実験前後の植物体における当該養分の含量差あるいは実験前後の培養液成分の濃度差から計算によって求めた。なお、吸収実験中の養分吸収量を多くして実験

の精度を向上させるために、5日間の実験材料育成期間中に用いた培養液は第1表の硝酸性培養液の濃度の1/10とした。ただし、カルシウムおよびマグネシウムの2価カチオンの場合は吸収速度が遅い点を考慮し、カルシウム低レベルの場合の処理濃度の0.25 mMおよびマグネシウムの処理濃度1.0 mMに比較して充分低くなるよう、それぞれ0.1および0.05 mMとした。

培養液中のリン濃度と葉縁の切れ込み症状の発現の関係を検討する実験では、夏季、ガラス温室で、上記のようにポットの外側から水道水の通水によって培養液を冷却しながら栽培を行なった。カルシウム濃度はそのような条件ではある程度の葉縁の切れ込み症状が発現すると想定される2.0 mMとし、リン濃度は0.02, 0.05, 0.1, 0.25および1.0 mMの5段階に設定した専用の培養液を使用し、長野1号と合成91号の2品種を水耕栽培し、葉縁の切れ込み症状の発現状況を観察した。

おな、それぞれの実験における特定の方法及び条件については必要に応じてその都度説明することとする。

実験結果及び考察

1. 放射性カルシウムの葉身内分布と葉縁の切れ込み症状との関係

カルシウム濃度を0.25と1.0 mMの2段階とし、 ^{45}Ca で標識した培養液を用いて9月20日から13日間トウモロコシ(長野1号)を栽培した後、完全に葉身部分の出現した葉及びそれより若い出葉中の葉3枚を採取し、ラジオオートグラフ法によって ^{45}Ca の葉身内分布を観察した。

葉縁に切れ込み症状の発現した葉における ^{45}Ca の分布状況は第1図に示したようであって、切れ込みの発現した葉縁部分のほうが、葉身の中央付近と比較して ^{45}Ca の濃度の高い傾向が認められた。また、ラジオオートグラフを撮影した後の葉身について、中肋を除いた葉の中央部分と葉縁部分の放射能強度を比較したところ、第2図に示したように、健全葉の葉縁部分よりも、かえって葉縁に切れ込み症状の認められる部分にカルシウムの集積している傾向が認められた。

したがって、出葉後の、既に展開した葉におけるカルシウムの分布状況から葉縁切れ込

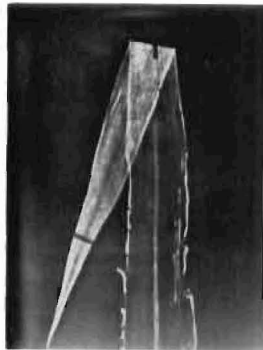


Fig. 1. Radioautogram of ^{45}Ca in serrated maize leaf.

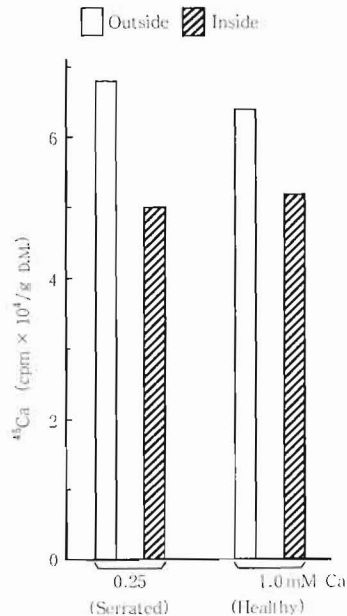


Fig. 2. Distribution of ^{45}Ca in healthy and serrated maize leaves.

み症状の発現要因を説明することは困難であると考察された。

2. 葉身中に含まれるカルシウムの形態と葉縁の切れ込み症状との関係

葉縁の切れ込み症状の発現頻度の高い品種（合成91号）とその頻度の低い品種（長野1号）の2品種を用いて葉身が完全に出現した直後の比較的若い葉に含まれるカルシウムの形態別分画分析を行なった。培養は6月20日から18日間行ない、その期間中の培養液のカルシウム濃度は0.25と5.0 mMの2段階とした。

分画分析の結果は第3図に示すようであった。易溶性画分（水およびアルコール可溶性画分）のカルシウムと難溶性画分（易溶性以外の画分）のカルシウムに分けて観察すると、培養期間中の培養液のカルシウム濃度が高かった場合、ならびに葉縁の切れ込み症状の発現頻度の低い品種の場合には、そうでない場合と比較して易溶性カルシウム画分は絶対量から見ても割合で見ても常に多い傾向にあった。このような結果から、幼葉中の易溶性カルシウム画分の多少が葉縁の切れ込み症状の発現状況に何らかの関連を持つものと考察された。

3. 葉縁の切れ込み症状の発現と根圏温度との関係

カルシウム欠乏による葉縁の切れ込み症状は培養液温度の高い場合にしばしば発現することは既に報告^{4,5,6)}した。ここではポットを25°Cに冷却した場合と無処理のままガラス室内で経過させた場合の葉縁の切れ込み症状の発現と植物体のカルシウム含有率との関係について比較検討した。水耕栽培実験は長野1号と合成91号の2品種を用い、カルシウム濃度を0.5, 1.0および2.0の3段階とし、8月21日から18日間継続した。

この実験に際して気温の測定は直接行っていないが、参考のため、1980年から1983年にかけての実測結果から、栽培期間中のガラス室内の午前9時の平均気温を計算すると約32°Cとなった。培養液温度は収穫時の測定では低温区の場合に23°C、高温区の場合に30°Cであった。

実験結果は第4図に示した。同図でも明らかなように、低温区と高温区の葉縁の切れ込み症状の発現状況は先の報告^{4,5,6)}と同様の傾向であったが、その症状の発現状況を植物体のカルシウム含有率で説明することは困難のようであった。

そこで、この点について更に詳細な検討を行なうために、トウモロコシ（長野1号）の幼植物を用いて短時間（24時間）での各種養分の吸収に及ぼす根圏温度の影響を検討した。なお、本実験の場合は吸収実験開始と同時に培養液温度の制御を開始したので、10°C

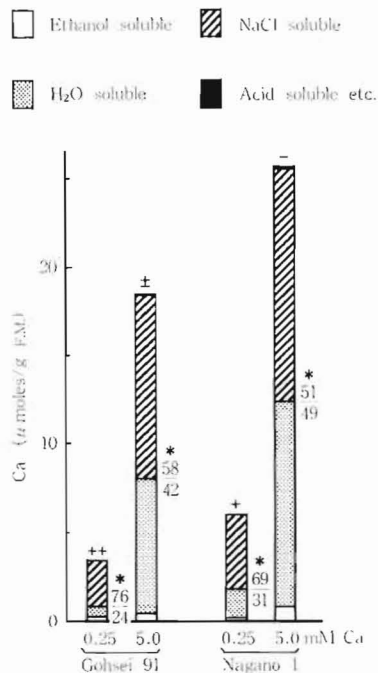


Fig. 3. Chemical fractionation of calcium in young maize leaves.

* Rates of hardly soluble/easily soluble fractions (%).

-, ±, +, ++ Degree of leaf serration.

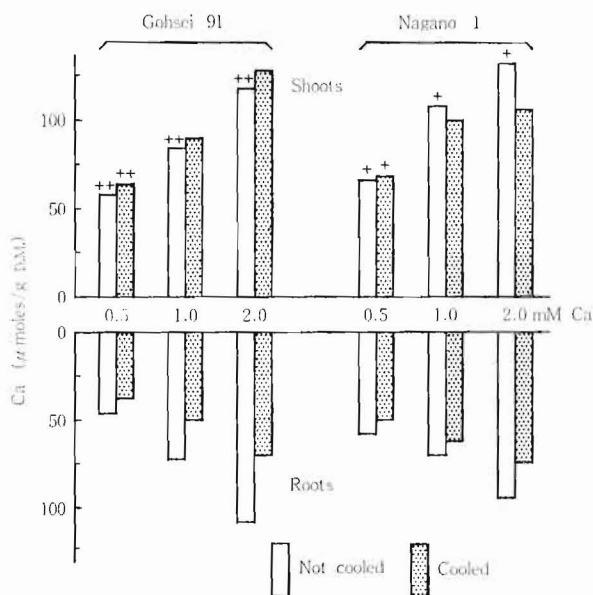


Fig. 4. Effect of solution temperature on calcium content and leaf serration in maize plants, +, ++ Degree of leaf serration.

および 40°C の場合は実際の培養液温度が設定温度の ± 1.0°C の範囲に達するまでに約 1 時間を要した。

この実験の結果は第 5 図に示すようであって、カルシウムの吸収量は根圏温度の上昇に伴って生育量あるいは他の養分の吸収量とともに直線的に増加した。したがって、単にカルシウム吸収を検討するだけで根圏温度の上昇によるカルシウム欠乏（葉縁の切れ込み症状）の発生を説明することは困難のようであった。なお、トウモロコシの生育にとって、やや高温に過ぎる 40°C^{2,10)} では、本実験の場合、僅か 24 時間の観察であったにもかかわらず、根の生育量

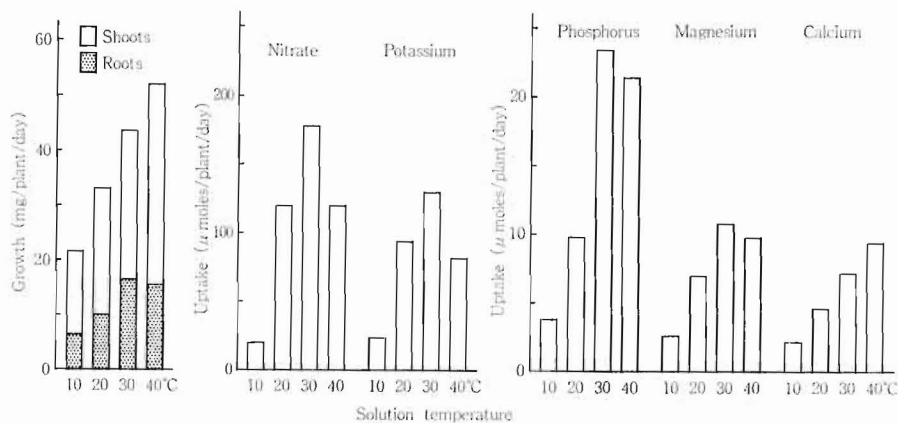


Fig. 5. Effect of solution temperature on growth and mineral uptake of 5-day-old maize seedlings during a 24-hour period.

の減退傾向、あるいはカルシウム以外の各種養分の吸収の低下傾向など、異常と思われる現象も認められた。

そこで、第 5 図の資料に基づきカルシウム吸収と他の養分の吸収を相対的に比較したところ、第 6 図に示すように、40°C の場合を除けば根圏温度の上昇と共にカルシウムの相対的な吸収量の低下する傾向がうかがわれた。また、この傾向はリン吸収との関連において最も端的な形で認められるようであった。したがって、トウモロコシにおけるカルシウム欠乏に由来する葉縁の切れ込み症状の発現は約 30°C までの範囲における根圏温度の上

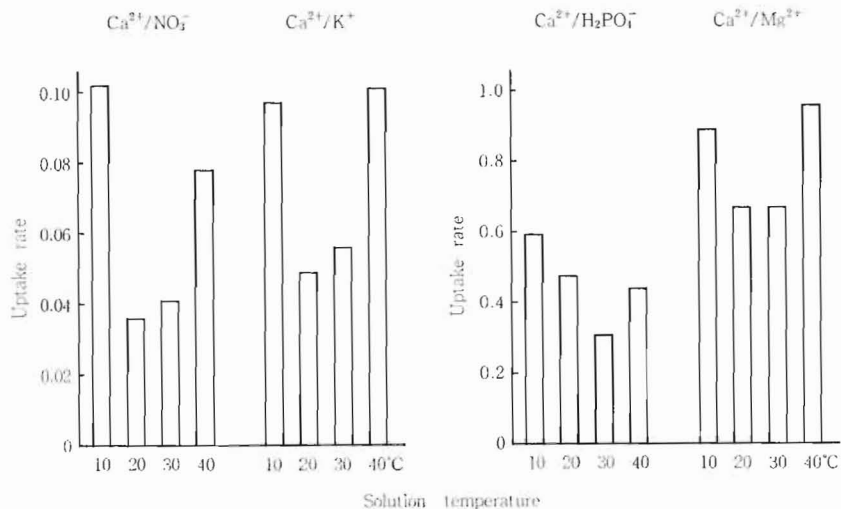


Fig. 6. Effect of solution temperature on relative uptake rates of calcium to several nutrient ions in maize seedlings.

昇に伴なう相対的なカルシウム吸収の低下傾向とも関連しているものと推察された。

なお、培養液温度と葉縁の切れ込み症状の発現状況及び植物体のカルシウム含有率との関係を検討した際、液温の高い場合にトウモロコシの茎が太くなる傾向がうかがわれたので、その点を確認するために、長野1号と合成91号を用いてカルシウム濃度を0.25と2.0 mMの2段階とし、培養液温度を20°Cに制御した低温区と30°C以上に保った高温区を設け、9月13日から18日間6連の規模で水耕栽培実験を行なった。

その結果は第2表に示すようであって、第4図の場合と同様に、培養液温度の低い場合

Table 2. Effect of solution temperature on calcium deficiency and growth of maize plants.

Ca concentration	0.25 mM				2.0 mM			
	Cultivars		Cultivars		Cultivars		Cultivars	
	Gohsei 91	Nagano 1	Gohsei 91	Nagano 1	Gohsei 91	Nagano 1	Gohsei 91	Nagano 1
Solution temperature	Low	High	Low	High	Low	High	Low	High
Leaf serration (%)*	87	100	77	90	73	93	17	53
Height (cm)**	57.0	49.7	93.5	70.2	80.3	62.2	112.8	91.7
Size of stem***								
Major axis (cm)	10.7	12.8	13.8	13.5	12.0	11.8	14.3	15.5
Minor axis (cm)	9.8	11.0	12.5	12.0	11.0	10.7	13.0	13.5
Growth (D. M., g)****	1.9	2.2	4.2	3.2	3.3	2.5	5.6	4.8

* Average percent of serrated leaves in newly emerged five leaves in six replications.

** Average height of shoots in six replications.

*** Average size of major or minor axis of maize stems in six replications.

**** Average dry matter of plant tops in six replications.

に比較して同温度の高い場合にカルシウム欠乏に基づく葉縁の切れ込み症状が激化し、生育速度の低下する傾向も認められたが、同時に、この条件では地上部草丈の伸長に比較して茎の直径方向の生長が促進される場合のあること、つまり、培養液温度が上昇してカルシウム欠乏が発生しやすい条件では、トウモロコシ地上部の縦方向の生長は抑制されるが横方向の生長は抑制されないか、または若干促進される傾向にあることが判明した。

また、夏季の圃場条件では、温度の高い晴天の日に深さ 5 cm 程度の地中温度が気温と同等あるいはそれ以上に高くなる観測例は見られない⁹⁾ ようであるが、水耕や土耕のポット栽培では、晴天の日の根圏温度は容易に気温と同等程度まで上昇するものと考えられる。したがって、一般の圃場におけるトウモロコシあるいはソルガムの栽培で、葉縁の切れ込み症状の認められる⁹⁾ 頻度が水耕や土耕のポット栽培の場合に比較して低いと言う知見については、圃場栽培とポット栽培の間で根圏温度の上昇程度に差のあることから説明が可能のようであった。

4. 葉縁の切れ込み症状の発現程度に及ぼす培養液のリン濃度の影響

前項の根圏温度と葉縁の切れ込み症状の発現との関係を検討する実験において、植物体内のリン濃度が葉縁の切れ込み症状の発現に何らかの影響を及ぼしている可能性が示唆された。そこで、まず培養液温度とカルシウム含有率を検討した第 4 図の実験の試料、ならびに葉位とカルシウム含有率の関係を検討する次項、第 9 図の実験の試料を用いてリン含有率の測定を行なった。それらの結果は第 7 および 8 図に示した。

第 7 図では、培養液のカルシウム濃度で比較した場合、その濃度の低い場合に植物体のリン含有率が高くなり、同じカルシウムレベルで比較すれば低カルシウム耐性が比較的大きいと考えられる長野 1 号よりも耐性のやや小さい合成 91 号の方がリンの含有率は常に高いことが明らかになった。また、培養液温度で比較した場合は、ほかの条件が同じであれば、根圏温度の高い場合に植物体のリン含有率の上昇する傾向が認められ

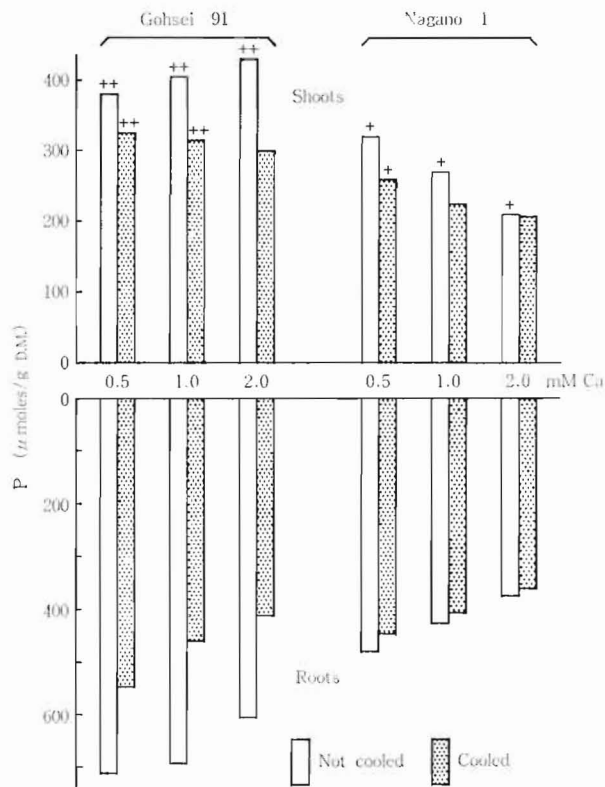


Fig. 7. Effects of calcium level and solution temperature on phosphorus content in maize plants.

+, ++ Degree of leaf serration.

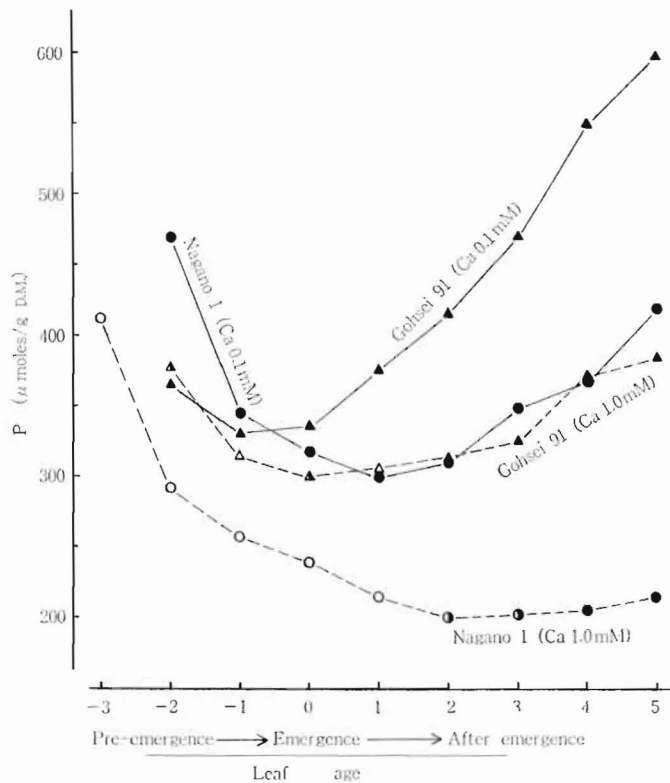


Fig. 8. Changes of phosphorus content in young maize leaves along with their growth stages.

Closed, semi-closed, and open symbols show ser-rated, uncertain, and healthy leaves respectively.

た。なお、根部の場合はその組織表面に沈殿していると考えられる多価カチオンのリン酸塩画分を分離することなしに、地上部と同様の方法で分析したが、その結果は地上部とまったく同様の傾向であった。また、同図で明らかなように、リン含有率の高い場合に葉縁の切れ込み症状の発現程度が激化する傾向も明らかに認められた。

第8図によれば、葉位とリン含有率の関係は次項に示すカルシウムの場合と類似の傾向であって、出葉前の幼葉のリン含有率は生長に伴って低下するが、出葉期前後からは上昇することが明らかになった。この図の場合も培養液のカルシウム濃度あるいは品種間で比較すると、前図とまったく同様の傾向であって、葉縁の切れ込み症状の発現しやすい品種、あるいはそのような条件に注目すると、すべての場合に例外なく植物体のリン含有率の上昇が認められた。

以上の結果、リンとトウモロコシ葉縁の切れ込み症状の発現状況との関係を一層明確にする必要が認められたので、カルシウム濃度をある程度の葉縁の切れ込み症状が発現する条件に設定し、培養液のリン濃度を5段階に変え、2品種のトウモロコシを8月29日から16日間水耕栽培して葉縁の切れ込み症状の発現に及ぼす培養液のリン濃度の影響を検討した。

Table 3. Effect of phosphorus concentration on the degree of leaf serration in each plant and on average growth of shoots.

P concentration	0.02	0.05	0.10	0.25	1.0 mM
Gohsei 91	†† + ± —	††† ††† —	†††† †††† †† +	††† ††† †† +	†††† †††† †††† ††††
Average shoot weight (D.M., g)	3.4	4.3	4.3	4.6	5.1
Average shoot height (cm)	69	68	66	70	66
Nagano 1	†† — — —	††† †† ± —	††† ††† + ±	††† + — —	†††† †††† + ±
Average shoot weight (D.M., g)	4.4	6.3	7.0	8.0	9.0
Average shoot height (cm)	80	92	91	91	97

Degree of leaf serration was evaluated by the following view points.

- The plant had no serrated leaves.
- ± The plant might have a slightly serrated leaf.
- + The plant had slightly serrated leaves.
- †† The plant had clearly serrated leaves.
- †††
↓ The plant had increasing and intensifying serrated leaves.
- ††††

その結果は第3表に示すようであって、培養液のリン濃度は明らかに葉縁の切れ込み症状の発現程度に影響し、リン濃度の低下に従って症状の発現程度が軽減することが判明した。しかし、トウモロコシの生育が抑制されるようなリンの低濃度条件でも葉縁の切れ込み症状の発現が認められたことから、リンは同症状の直接の発現要因でないことも同時に確認された。

また、第3図の実験を行なった際、同図には示さなかったが、カルシウムの難・易溶性画分の変動に及ぼす培養液のリン濃度の影響も予備的に検討した。その結果によれば、カルシウム高濃度の条件でリン濃度を1.0 mM から0.25 mM に低下させると、難・易溶性画分の割合は合成91号で58/42(第3図)から52/48に、長野1号の場合は51/49(第3図)が41/59と変化した。これを易溶性画分中のカルシウムの新鮮物に対する含有率で示すと、合成91号で8.1から13.1 μmol/g F. M., また、長野1号で12.5から19.7 μmol/g F. M. へと増加した。このような結果は培養液のリン濃度を低下させると、それがいずれも易溶性カルシウム画分を増加させる方向に作用することを示している。したがって、葉縁の切れ込み症状の発現に対するリンの影響は植物体内の豊富なリンが体内カルシウムの易溶性画分を減少させることによる二次的なものと考察された。

5. 出葉前の幼葉のカルシウム含有率と葉縁の切れ込み症状との関係

葉縁の切れ込み症状の発現を葉のカルシウム含有率で説明しようとするためには、以上の諸実験の結果から推定できるように、もっと若い葉のカルシウム含有率を検討する必要が認められた。そこで、まず葉位とカルシウム含有率の関係を調査することとし、12月6日から41日間、培養液のカルシウム濃度を0.1および1.0 mM、培養液温度を27°Cとして

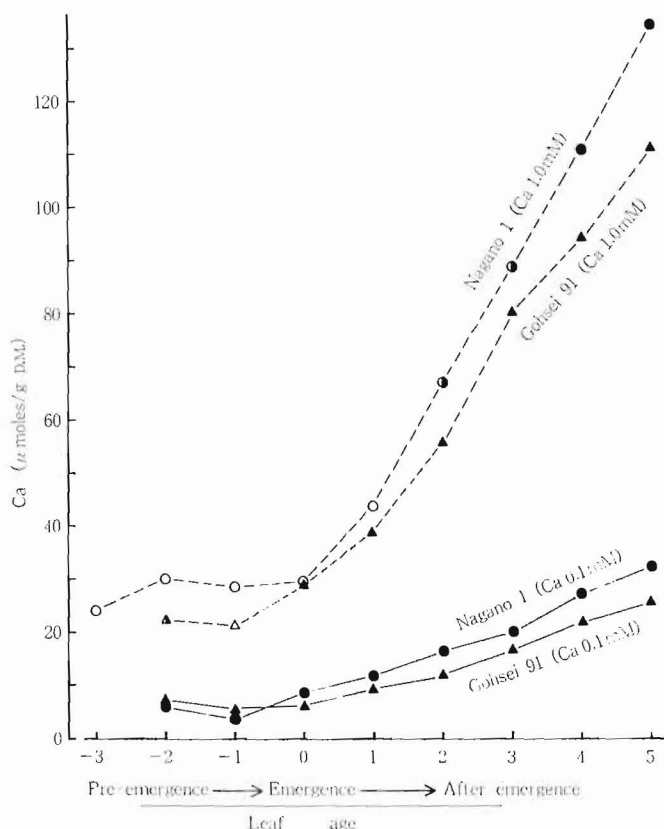


Fig. 9. Changes of calcium contents along with growth stages of young maize leaves.

The symbols are the same as those in Fig. 8.

トウモロコシの水耕栽培を行ない、各葉位別に幼葉を採取しカルシウム含有率を測定した。

その結果は第9図のようであって、出葉前から出葉時にかけて幼葉のカルシウム含有率はほぼ一定か、あるいは一時的にやや低下する傾向を示すが、出葉後急激に上昇していることが認められた。なお、この実験で葉縁の切れ込み症状は出葉前の幼葉でも肉眼的に識別できることが判明したので、葉縁の切れ込み症状の発現を葉のカルシウム含有率で説明するために、出葉時期を基準とした一定の葉齢におけるカルシウム含有率と葉縁の切れ込み症状の発現状況との関係を改めて検討することとした。

そこで、葉先が外部からまったく認められない、出葉直前の幼葉についてカルシウム含有率を測定し、これと葉縁の切れ込み症状の発現の関係を調査した。この実験では長野1号及び合成91号を用い、9月1日から20日間培養液のカルシウム濃度を0.25及び2.0 mMの2段階としてトウモロコシを育成し、幼葉を採取してカルシウム含有率を測定した。なお、実験の確度を向上させるために、培養液温度と茎の太さの関係を調査した第2表の実験、および培養液のリン濃度と葉縁の切れ込み症状の発現状況との関係を検討した第3表の実験で得られた植物体からも幼葉を採取しカルシウム含有率を測定した。また、葉位とカルシウム含有率の関係を調査した資料のうち、出葉直前の幼葉の資料も利用する

こととしたので、合計 118 点の幼葉についてそのカルシウム含有率と葉縁の切れ込み症状の発現状況との関係を検討することができた。

その結果は第 4 表に示すようであって、まず、同表 (a) に示したように 4 回の水耕栽培

Table 4. Relationship between serration and calcium content in young maize leaves before emergence.

Ca content in leaf ($\mu\text{mol/g D.M.}$)	No. of leaves			Percent of serrated leaves	
	total	healthy	serrated	in each Ca level	per all leaves
(a) Fine classification of Ca levels using all the leaf samples					
6.00 or less	9	0	9	100	7.6
6.01- 7.00	8	2	6	75	5.1
7.01- 8.00	10	1	8	80	6.8
8.01- 9.00	9	2	7	77.8	5.9
9.01-10.00	5	0	3	60	2.5
10.01-11.00	11	5	6	54.5	5.1
11.01-12.00	7	3	4	57.1	3.4
12.01-13.00	6	2	3	50	2.5
13.01-14.00	5	5	0	0	0
14.01-15.00	5	3	1	20	0.8
15.01 or more	43	37	1	2.3	0.8
Whole class	118	60	48	—	40.5
(b) Rough classification using all the leaf samples					
10.00 or less	41	5	33	80.5	28.0
10.01-13.00	24	10	13	54.2	11.0
13.01 or more	53	45	2	3.8	1.7
(c) Rough classification in respective cultivars					
Nagano 1					
10.00 or less	13	3	9	69.2	7.6
10.01-13.00	9	6	3	33.3	2.5
13.01 or more	37	32	1	2.7	0.8
Gohsei 91					
10.00 or less	28	2	24	85.7	20.3
10.01-13.00	15	4	10	66.7	8.5
13.01 or more	16	13	1	6.3	0.8
(d) Rough classification using samples of experiment for Table 2.					
10.00 or less	23	5	18	78.3	37.5
10.01-13.00	10	5	5	50	10.4
13.01 or more	15	15	0	0	0
All the class	48	25	23	—	47.9
(e) Rough classification using samples of experiment for Table 3.					
10.00 or less	7	0	4	57.1	10.0
10.01-13.00	10	4	5	50	12.5
13.01 or more	23	18	2	8.7	5.0
All the class	40	22	11	—	27.5

培実験で得られた幼葉を区別することなしに、そのカルシウム含有率ごとに細かく区分して調査したが、得られた結果はカルシウム含有率を大まかに区分して調査した結果、あるいは品種や栽培実験の条件で区分して調査した結果（第4表 b-e）とまったく同様であった。つまり、出葉直前の幼葉のカルシウム含有率が $13 \mu\text{mol/g D. M.}$ （約 500 ppm）以下では葉緑の切れ込み症状の発現頻度が著しく高くなり、反対にこの限界濃度以上では葉緑の切れ込み症状の認められる頻度は著しく低くなることが明らかになった。また、このカルシウムの限界濃度と葉緑の切れ込み症状の発現状況との関係は品種や栽培条件の相違によって大きな影響を受けないことも判明した。

なお、具体的な資料は省略するが、葉緑の切れ込み症状の発現に対する塩化カルシウム溶液の葉面散布は同症状の回復にまったく効果を示さなかった。これはトウモロコシの葉緑切れ込み症状の発現を防止するためには、上に記したような、幼葉の葉縁部分に対するカルシウムの効率のよい移行が必要であろうと推察される多くの実験結果から考えて当然のことと思われた。

要 約

トウモロコシあるいはソルガムの葉縁切れ込み症状がカルシウム欠乏によるものであることは先に報告した^{4,5,6}。ここではトウモロコシを用いて葉縁の切れ込み症状の発現要因について若干の検討を行なった。その結果は以下のようである。

1. ^{45}Ca を用いた吸収実験の結果、既に展開した葉では、カルシウム欠乏による葉縁の切れ込み症状を葉のカルシウムの分布あるいはその含有率で説明することは困難なことが明らかになった。

2. 出葉直後の比較的若い葉に含まれるカルシウムの分画分析によれば、易溶性のカルシウム画分の少ない場合に葉縁の切れ込み症状の発現頻度の高い傾向が認められた。

3. 根圏温度の高い場合に葉縁の切れ込み症状の発現頻度の高い現象については、培養液温度として $10\sim 30^\circ\text{C}$ の範囲で、温度上昇に伴ないカルシウムの吸収量がカルシウム以外の成分の吸収量に比較して相対的に低下することも関連しているようであった。

4. 葉位別のカルシウム含有率の測定によれば、出葉前の幼葉のカルシウム含有率は低く、また、ほぼ一定のレベルで経過しているようであったが、出葉後の葉では急激に上昇していることが判明した。

5. 植物体内の高濃度のリンは葉縁の切れ込み症状を激化させる作用を示し、同症状の発現しやすい条件ではそうでない場合に比較して、また、同症状の発現しやすい品種ではそうでないものに比較して、トウモロコシ体内のリン濃度が明らかに高いことが認められた。しかし、リン酸欠乏の認められるような条件でも、カルシウム低濃度の場合には同症状が発現することから、このようなリンの作用は間接的であると結論された。

6. 出葉直前の幼葉のカルシウム含有率と葉縁の切れ込み症状の発現状況との関係を検討したところ、この症状は幼葉のカルシウム含有率が高い場合に発現頻度が低いが、カルシウム含有率が $13 \mu\text{mol/g D. M.}$ （乾物中約 500 ppm）以下になると同症状の発現頻度は著しく上昇することが明らかになった。また、このカルシウムの限界含有率と葉縁の切れ込み症状の発現状況との関係は品種あるいは栽培条件の相違によって大きく影響されないことも判明した。

参 考 文 献

- 1) DeTurk, E. E. 1941. Plant nutrient deficiency symptoms. Physiological basis. *Ind. Eng. Chem.* 33: 648-653.
- 2) 賀来章輔・倉石 晋. 1980. 植物の生長と発育 (基礎植物学シリーズ 7). 123-126. 共立出版. 東京.
- 3) Krantz, B. A. and Melsted, S. W. 1964. Nutrient deficiencies in corn, sorghums, and small grains. *Hunger Signs in Crops* (edited by Sprague, H. B.) 25-57. David McKay Co., New York.
- 4) 河崎利夫・森次益三. 1979. トウモロコシやソルガムなどに出現するカルシウム欠乏症状 (第 1 報). 特異な欠乏症状の発現 (1. トウモロコシ). *農学研究* 57: 203-214.
- 5) 河崎利夫・森次益三. 1979. トウモロコシやソルガムなどに出現するカルシウム欠乏症状 (第 2 報). 特異な欠乏症状の発現 (2. ソルガム, その他). *農学研究* 57: 215-223.
- 6) Kawasaki, T. and Moritsugu, M. 1979. A characteristic symptom of calcium deficiency in maize and sorghum. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 41-56.
- 7) 河崎利夫・森次益三. 1973. 作物根の一価カチオン吸収に対するカルシウム効果 (第 6 報). 作物による一価カチオンの吸収・移行に対するカルシウムの影響—特に作物の塩類濃度障害との関連について (その 1. トウモロコシ及びインゲン). *日土肥誌* 44: 89-96.
- 8) 太田安定・山本和子・出口正夫. 1970. カルシウム供給量, 葉位, 個体の生育段階の違いが水稻生葉内カルシウムの化学形態別分布におよぼす影響 (第 1 報). 各種作物体内カルシウムの化学的形態分布. *日土肥誌* 41: 19-26.
- 9) 高須謙一・木村和義・則武越夫. 1971. 露場の気温, 地温の垂直分布. 倉敷における月別 5 年平均. *農学研究* 54: 31-44.
- 10) 手塚修文. 1978. 環境植物学 (田崎忠良編). 63-87. 朝倉書店. 東京.

A Characteristic Symptom of Calcium Deficiency in Maize and Sorghum. III.

Some factors related to development of the symptom

Masumi MORITSUGU and Toshio KAWASAKI

Summary

A well-known symptom of calcium deficiency in maize is 'Bull whip'. Previously, we identified a characteristic leaf serration found in maize and sorghum as another symptom of calcium deficiency.

In this paper, several solution culture experiments were carried out to clarify the factors related to the development of the leaf serration due to calcium deficiency in maize, and the following results were obtained.

The content and distribution of ^{45}Ca in the mature leaf blades were unrelated to the symptom of serration due to calcium deficiency. Thus, further measurements should be made using younger leaves.

The results of chemical fractionation using young maize leaves right after the

full emergence of the blade suggested that leaf serration is accelerated by a low level of the easily soluble fraction of calcium in plant tissues.

Although the calcium content in corn plants was not directly related to the acceleration of leaf serration at a higher root temperature, the severe leaf serration at a higher root temperature seemed to be induced by a decrease in the relative uptake rate of calcium.

Calcium analyses of several young leaves at various ages from pre-emergence to development showed that the content of calcium in young maize leaves increased rapidly after the leaves had emerged, and that serration is detectable even in the leaves before emergence when their calcium contents are very low.

The induction of leaf serration was clearly accelerated by a higher level of ambient phosphorus, but leaf serration was found even in phosphorus deficient plants in a low ambient calcium condition. So, it is considered that high levels of phosphorus may not be a direct cause of the symptom, but may intensify the symptom through the fixation of available calcium in plant tissues.

Serration in the young leaf stage just before the leaves emerged was generally found in the leaves which contained less than $13 \mu\text{mol Ca/g D. M.}$, i. e., about 500 ppm Ca in dry matter. This critical concentration for the induction of serration in the young leaves was the same for all cultivars and was not affected by the culture condition.