

培養液組成が水耕トマトの根毛の発生に及ぼす影響

寺林 敏・和田憲生・並木隆和

SATOSHI TERABAYASHI, NORIO WADA and TAKAKAZU NAMIKI

Effect of composition of nutrient solution on root hair development
in water-cultured tomato

要旨：通常の方法で水耕栽培されたトマト (*Lycopersicon esculentum* MiLL cv. Saturn) の根毛の発生状態を観察した。その結果、1本の根でも根毛の発生が多い部分、少ない部分、まったくない部分があった。根毛の発生は少なかったが、根毛が全く発生していない根は観察されなかった。地上部の生育が進んでも根毛の発生に変化はなかった。

圃試処方培養液の濃度を3段階に変えて、また圃試処方培養液に用いる各塩を単独で、あるいは各養分を欠如させてそれぞれ実験を行った。その結果、培養液濃度の違いは根毛の発生には影響しないこと、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、 KNO_3 、微量元素の単独施与と Fe 欠如の培養液で根毛の発生が多く、表皮細胞が短くなった。

随伴イオンの異なるカルシウム塩、カリウム塩、硝酸塩、マグネシウム塩を用いて実験を行い、Ca と NO_3 が根毛の発生を促進することが確認された。

いずれの実験においても、根毛の発生の程度と培養液の pH, EC との間には関連はなかった。

結 言

水耕栽培では根毛はあまり見られない。しかし、根毛が比較的多く発生している根、局部的に根毛が密生している根を観察することがある。

培養液の濃度、組成、温度、溶存酸素濃度、pH、浸透圧、物理的刺激、植物体の栄養状態、気温、光強度など数多くの要因が根毛の発生に影響を及ぼすと考えられる。それ故、水耕栽培において根毛の発生を促進ないし抑制する条件を解明するのは容易ではない。また、水耕栽培の下で発生した根毛の働きについてはほとんどわかっていない。

本研究では、まず通常の方法で水耕栽培されているトマトの根を観察することにより、根毛の発生状態を明らかにしようと試みた。加えて、上述した環境要因の内、培養液の濃度及び組成が根毛の発生にいかなる影響を及ぼすか調査した。

実験材料及び方法

1. 水耕栽培したトマトの根毛の観察

本学附属農場の栽培実習温室で栽培された水耕トマトの根を観察した。栽培品種は「サターン」、栽培槽はクボタ式水耕プラント2号型である。培養液は大塚ハウス肥料標準培養液で、実験区は50%濃度区と25%濃度区の2区である。1栽培槽あたりの株数は12本で、栽培槽3つで1連とし、各濃度とも4連の反復とした。

第1花房開花期頃より、10週間にわたり週1回ずつ根の観察を行った。根を各連より数本ずつ採取し、光学顕微鏡を用いて観察し、同時に写真撮影を行った。根の表皮細胞の観察は、根を60°Cの5%アンモニア水に約10分間浸漬し水洗後、メチレンブルーで染色してから表皮をピンセットではがして行った。

2. 培養液濃度及び培養液組成が根毛の発生に及ぼす

影響

供試品種は‘大型福寿’を用いた。栽培槽は容積25 l のプラスチックケースを使用し、エアープンプにより通気した。供試した株は本葉が7～9枚展開したもので、実験開始後1週間目に根毛を観察した。培養液の追加、更新は行わず、毎日 pH, EC の測定を行った。なお実験開始までの育苗は、園試処方培養液の50%濃度液（以下、園試50%濃度液と略す）で行った。各実験の処理区は、結果及び考察とともに述べる。

実験結果及び考察

1. 水耕栽培したトマトの根毛の観察

50%濃度区、25%濃度区の間では、根の形態、根の生長量、根毛の発生程度に差異は認められなかった。根毛の発生は根によって異なり、1本の根でも根毛が多い部分、少ない部分あるいは全く発生していない部分があった（第1図）。しかし、先端から基部まで根毛が全く発生していない根は観察されなかった。生育段階が進んでも根毛発生には変化がなかった。根毛の長さは、もっとも長いもので900 μm 程度であった。表皮細胞は根毛の発生の有無にかかわらず軸方向の長さが150～250 μm 、幅が15～20 μm であった。

種子植物の根の表皮細胞は、軸方向に細長く、整然と配列している。表皮細胞には長型細胞と短型細胞とがあり、概して短型細胞から根毛が発生することが多い。Leavitt (1904) はこの根毛を発生する細胞をトリコプラストと名付けた。その後、Cormack (1945) はトマトの根で観察を行い、長型細胞と短型細胞の区別なく根毛が発生することを見出した。しかし、本実験のトマトの根では、長型細胞と短型細胞の分化が明瞭でなかった。

一般に根毛は根の伸長帯付近でよく発達していると言われるが（川田ら1945）、この部位においても根毛の存在、根毛の原基である突起（papilla）を認めることのできない根があったことから、やはり水耕栽培では根毛が発生し難いと考えられる。

まっすぐに伸長した1次根には2次根が局部的に密生していることはないが、屈曲した部分ではその外側に2次根が多くはえていた。また、根の伸長が抑えられたような部分、屈曲した部分には根毛が発生していることがあった。

2. 培養液濃度及び培養液組成が根毛の発生に及ぼす影響

1) 培養液濃度の影響

25%濃度区、50%濃度区で根毛の発生に差異が認められなかったため、培養液の濃度差をさらに大きくし

Table 1. Epidermal cell size of tomato root grown in various concentrations of the balanced nutrient solution. (μm)

Treatment	Width	Length
Tap water	19 \pm 2*	45 \pm 4
12.5% Balanced nutrient solution	15 \pm 1	88 \pm 11
50% Balanced nutrient solution	14 \pm 1	149 \pm 14
200% Balanced nutrient solution	14 \pm 2	142 \pm 22

* Mean \pm S.E. (0.05)

て実験を行った。処理区は、園試処方培養液の12.5%濃度区、同50%濃度区、同200%濃度区、それに対照区である水道水区の計4区である。各濃度の培養液に移した後に伸長した根で、根全体の伸長量に大きな差のない根である2次根に限って根毛発生程度の比較を行った。以下の実験も根毛観察はすべて2次根で行った。単位長さあたりの根毛数、単位細胞数あたりの根毛発生細胞数、根毛長は測定部位による変異が大きいため、これらの項目については測定を行わなかった。顕微鏡写真により根毛の発生程度を評価した。この方法で各処理による根毛発生程度の比較は十分行えた。

根毛の発生程度は水道水でもっとも高く、園試処方培養液ではいずれの濃度区でも低かった（第2図）。表皮細胞の形は培養液濃度が高くなるほど、細く長くなる傾向があった（第1表）。pHは200%濃度区で5.5と低かった。水道水区と12.5%濃度区とではpHに全く差がなかった（第5表）。

Farr (1925) はシロフハカタツユクサの根毛伸長速度をKnop液と地下水をくみあげた水道水で測定し、水道水中の方が伸長速度が早いことを明らかにした。一方、Cormack (1935) は水道水では根の表皮細胞が長くなり、根毛の発生も散在的であると述べている。つまり水道水で発生する根毛は決して多いとは言えず、むしろ水耕栽培用の培養液では根毛の発生が極めて少ないと言えよう。

培養液中に溶けている種々の塩のなかでも、Caが根毛の発生を促すことは古くから知られている（Hansteen 1910, 1914）。また、Micheels (1920) は硝酸塩が根毛の発生を刺激すると述べている。このように、単独では根毛の発生を促す働きがあるのに、培養液の状態ではその働きを示さなくなってしまう塩がある。その原因として浸透圧の上昇が考えられるが、以下の実験からもこの考えを支持する結果を得ることはできなかった。

2) 園試処方培養液の塩の単独施与が根毛の発生に及ぼす影響

園試処方培養液で使用している塩について、根毛発生に及ぼす影響を検討するため、各々の塩を単独で施与し根毛の発生程度を調査した。処理区は、Ca(NO₃)₂区、KNO₃区、MgSO₄区、NH₄H₂PO₄区、Fe-EDTA区、微量元素区、そして対照区としての水道水区、計7区である。各濃度は、園試50%濃度液中の濃度と同じである。

根毛の発生程度は、Ca(NO₃)₂区、KNO₃区、微量元素区で高く、水道水区、MgSO₄区、NH₄H₂PO₄区、Fe-EDTA区の順で低くなった。根毛の多いCa(NO₃)₂区、KNO₃区、微量元素区では根が太く、根毛の少ないFe-EDTA区では根が細かった。NH₄H₂PO₄区の根は基部が太く、その部分にのみ根毛の発生が多い特徴的な形態をしていた(第3図)。表皮細胞は根毛の少ないものほど細く長く、根毛の多いものほど幅広く短かった(第2表、第4図)。根毛の発生と表皮細胞の軸方向の伸長との間には関連があった。

各処理区のpHを第5表に示した。pHはどの区も弱アルカリ性ないし弱酸性で、ほとんど差がなかった。このように根毛の発生が多い区と少ない区の間でもpHの値に違いはなかった。

3) 単一養分の欠如が根毛の発生に及ぼす影響

実際の水耕栽培では、培養液中の各養分は常に一定の濃度では吸収されておらず、特定養分の濃度が高くなりすぎたり、逆に低くなりすぎたりする。このような変化は地上部の生育だけでなく、根の生長、根の働きにも影響すると考えられる。そこで、培養液の組成が変化した極端な例として、特定の養分のみ欠如させた培養液を作り、根毛の発生にどのような影響があるか検討した。

処理区は、N、P、K、Ca、Mg、Fe、微量元素の各々の欠如区である。なお、使用した塩と濃度は第7表に示した。

Fe欠如区のみ根毛の発生が多く、他の区はすべて少なかった(第2図)。根の太さはFe欠如区で太く、他の区ではすべて細かった。根毛の発生が少なかったN、P、K、Ca、Mg、微量元素欠如区の根は、園試処方培養液のものと変わらなかった。N欠如区の根の色が、やや白かった。表皮細胞もこれまでの実験と同様、根毛の多い区で短かった(第3表)。

培養液のpHは、P欠如区が弱アルカリ性で、他はすべて弱酸性であった(第5表)。Fe欠如区は7日目にpHがわずかに低下したが、他の区と大きな差はなかった。

Table 2. Epidermal cell size of tomato root grown in solutions of salts used in the balanced nutrient solution. (μm)

Treatment	Width	Length
Tap water	20 \pm 2*	49 \pm 5
Ca(NO ₃) ₂	23 \pm 2	30 \pm 2
KNO ₃	22 \pm 1	35 \pm 5
MgSO ₄	21 \pm 1	35 \pm 2
NH ₄ H ₂ PO ₄	18 \pm 1	43 \pm 4
Fe-EDTA	15 \pm 1	142 \pm 15
Micro elements	16 \pm 1	26 \pm 2

* Mean \pm S.E. (0.05)

Table 3. Epidermal cell size of tomato root grown in the balanced nutrient solution lacking single macro-element or all the micro-elements. (μm)

Treatment	Width	Length
N-free	15 \pm 1*	259 \pm 22
P-free	13 \pm 1	212 \pm 12
K-free	14 \pm 1	134 \pm 11
Ca-free	14 \pm 1	170 \pm 21
Mg-free	17 \pm 2	186 \pm 19
Fe-free	20 \pm 1	38 \pm 3
Micro-elements-free	14 \pm 1	119 \pm 22

* Mean \pm S.E. (0.05)

植物がFeの欠乏状態にあると、Feの吸収を助けるために根からHイオンや還元作用のある物質が放出される。これらの反応により、Feは溶解度を増し、2価に還元されることによって吸収されやすくなる。この反応はとりわけFe欠乏耐性の強い植物ほど強い。Brownら(1974)はFe欠乏耐性の強いトマトをFe欠乏状態におき、根におけるFe還元の反応の部位を調査した。その結果、根毛と根の伸長帯部分に還元反応が認められた。Rönnheldら(1981)はFe欠乏状態のヒマワリでは根の伸長が抑えられ、根端部が膨張し、根毛の発生が多くなることを報告した。同時に根毛の発生している膨張した根端付近の表皮層においてHイオンの放出と3価のFeイオンの還元がおこなわれていることを見出した。これらの事実は、根毛が養分の吸収器官として機能していることを示すものである。

水耕培養液ではFeは溶解度の高いキレート化した形で与えられている。もし、Fe欠乏を起こすと、Fe欠乏特有のクロロシスが新葉に現われるため、Fe欠

乏状態のまま放置することはまずない。このように実際の水耕栽培における Fe の施用方法、施用量、欠乏時の診断の容易さから考えても、Fe が欠乏することによって根毛が発生するとは考え難い。

先に各々の塩を単独で施与した実験では、 $MgSO_4$ 区、 $NH_4H_2PO_4$ 区とも根毛の発生は少なかった。しかし、この2つの区には Fe-EDTA は入っておらず、Fe 欠如培養液に代わらない。ではなぜ根毛の発生が少なかったのか。使用した水が水道水で Fe がわずかに含まれている事。しかも、N 源が全くないために根の生長も少なく、1週間の実験期間中では Fe 欠乏をひきおこすにいたらなかったものと考えられる。一方、Mg イオンや K イオン等が根毛の発生を抑制しているとも考えられる。この点については以下の実験で考察を加えた。

4) Ca, K, Mg, NO_3 及びその他のイオンが根毛の発生に及ぼす影響

培養液に使用する塩のなかで、どのイオンが根毛の発生に影響を及ぼしているかを明らかにするため、随伴イオンの異なる種々の塩を用いて実験を行った。根毛の発生が多かったカルシウム塩、カリウム塩、硝酸塩、根毛の発生が少なかったマグネシウム塩について検討した。処理区は、 $Ca(NO_3)_2$ 区、 $CaSO_4$ 区、 $CaCl_2$ 区、 KNO_3 区、 K_2SO_4 区、KCl 区、 $Mg(NO_3)_2$ 区、 $MgSO_4$ 区、 $MgCl_2$ 区、 $NaNO_3$ 区である。カルシウム塩は Ca 濃度が、カリウム塩は K 濃度が、マグネシウム塩は $MgSO_4$ の Mg 濃度が、 $NaNO_3$ と $Mg(NO_3)_2$ は硝酸濃度が、園試50%濃度液と同じになるようにした。

根毛は $Ca(NO_3)_2$ 区、 KNO_3 区、 $NaNO_3$ 区でとくに多く、ついで $CaCl_2$ 区、 $CaSO_4$ 区、 $MgSO_4$ 区が中程度で、KCl 区、 K_2SO_4 区、 $Mg(NO_3)_2$ 区、 $MgCl_2$ 区で少なくなった。KCl 区以下の区では水道水で発生する根毛と同程度ないしわずかに多い程度であった。表皮細胞はいずれの区も短かった(第4表)。塩化物では他の区に比べわずかに表皮細胞が長かった。pH はいずれの区も7前後で、変動もわずかであった(第5表)。

カルシウム塩、硝酸塩は随伴するイオンの種類にかかわらず根毛の発生が多く、Ca と NO_3 が根毛の発生を促していると言える。カリウム塩、マグネシウム塩では根毛の発生が少なく、K, Mg には根毛の発生を促す働きはないと思われる。Mg は硝酸塩においても根毛の発生が少なく、根毛の発生を抑制する働きが強かった。同様に Cl も根毛の発生に対しては抑制的であった。Micheels (1920) も硝酸塩による根毛発生が

Table 4. Epidermal cell size of tomato root grown in solutions of Ca-, K-, Mg- and nitrate salts. (μm)

Treatment	Width	Length
$Ca(NO_3)_2$	25 ± 2*	35 ± 2
$CaSO_4$	23 ± 1	37 ± 3
$CaCl_2$	20 ± 1	48 ± 5
KNO_3	20 ± 1	42 ± 5
K_2SO_4	22 ± 2	43 ± 4
KCl	20 ± 1	53 ± 5
$Mg(NO_3)_2$	23 ± 1	35 ± 3
$MgSO_4$	22 ± 1	32 ± 2
$MgCl_2$	20 ± 1	52 ± 4
$NaNO_3$	19 ± 1	45 ± 4

* Mean ± S.E. (0.05)

Cl の存在によって阻害されると述べている。

培養液の浸透圧の高さは、実用的には培養液の電気伝導度 (EC) によって表わされる。Bardell (1915) はトウモロコシ、コムギ、カラスムギで、 KNO_3 溶液の濃度を高くすると根毛の発生が減少すると報告している。水耕栽培で根毛が発生しにくい原因として、培養液の浸透圧が高いことが考えられる。第6表に示したとおり、水道水区、園試12.5%濃度区、同50%濃度区、同200%濃度区の EC は、0.12, 0.48, 1.40, 4.30 mS/cm の順で高くなっている。しかし、園試12.5%濃度、同50%濃度区、同200%濃度区の間では根毛の発生程度に差はなく、いずれも少なかった。園試12.5%濃度とほぼ EC が同じである $Ca(NO_3)_2$ 区では根毛が非常に多く、EC の値がさらに低い $NH_4H_2PO_4$ 区であっても根毛が少ない。また、Fe を欠如させた培養液でも、他の養分を欠如させた培養液と EC の値にほとんど差がないにもかかわらず Fe 欠如区だけが根毛を多く発生していた。故に、単に培養液の浸透圧、正確には培養液の電気伝導度 (EC) によって根毛の発生が影響を受けているとは言えない。

根毛の発生は表皮細胞の細胞壁の硬化の過程と深くかかわっている。表皮細胞の細胞壁は主成分がセルロースである内壁と、主成分がペクチンである外壁とからなる (Belford and Preston 1961)。ペクチン酸が Ca と結合し細胞壁が硬化する反応は、中性ないし弱アルカリ性で促進される。根の表皮細胞は軸方向、横方向にも伸長する能力を持っているが、この硬化が始まると伸長できなくなる。硬化は表皮細胞の基部側から根端に向かって進行するが、細胞が十分伸長しないうちに根端側でも硬化が始まると、その細胞は短いまま

Table 5. Changes in pH value of culture solutions.

Treatment	Days in culture						
	1	2	3	4	5	6	7
Tap water	7.7	7.6	7.4	7.4	7.4	7.3	7.2
12.5% Balanced nutrient solution	7.4	7.3	7.3	7.3	7.3	7.1	7.1
50% Balanced nutrient solution	6.6	6.5	6.5	6.6	6.5	6.5	6.4
200% Balanced nutrient solution	5.5	5.6	5.6	5.6	5.5	5.5	5.5
Ca(NO ₃) ₂	7.3	7.1	7.1	7.2	7.1	7.0	6.8
KNO ₃	7.3	7.2	7.0	7.1	7.0	6.9	6.5
MgSO ₄	7.2	6.8	8.2	7.2	7.0	7.0	6.7
NH ₄ H ₂ PO ₄	6.9	6.9	6.8	6.8	6.6	6.3	6.0
Fe-EDTA	7.5	7.4	7.4	7.4	7.3	7.4	7.4
Micro-elements	7.3	7.3	7.4	7.5	7.4	7.4	7.3
N-free	6.7	6.6	6.5	6.6	6.5	6.5	6.4
P-free	7.5	7.2	7.3	7.5	7.3	7.5	7.4
K-free	6.6	6.5	6.6	6.5	6.5	6.4	6.5
Ca-free	6.6	6.6	6.6	6.5	6.4	6.4	6.4
Mg-free	6.5	6.5	6.5	6.5	6.4	6.4	6.5
Fe-free	6.5	6.5	6.5	6.5	6.4	6.3	6.2
Micro-elements-free	6.6	6.7	6.7	6.6	6.6	6.6	6.6
CaSO ₄	7.1	7.1	7.0	7.0	7.0	7.0	6.8
CaCl ₂	7.1	7.0	6.9	7.0	7.0	7.0	6.7
K ₂ SO ₄	7.3	7.2	7.0	7.1	7.0	6.9	6.4
KCl	7.2	7.1	7.0	7.1	7.0	7.0	6.6
Mg(NO ₃) ₂	7.2	7.1	7.0	7.1	7.0	7.0	6.6
MgCl ₂	7.1	7.0	6.7	6.9	6.8	6.8	6.6
NaNO ₃	7.2	7.0	6.9	7.0	7.0	6.9	6.7

で、細胞内の膨圧によって細胞の柔軟な部分に突起 (Papilla) があらわれ、それが後に根毛へと生長する。Cormack (1944) はアワガエリ、ネズミノオを pH を変えた CaSO₄ 溶液で栽培し、根毛発生に及ぼす pH, Ca の影響を、細胞壁の硬化速度との関係から説明した。それによると、細胞壁の硬化速度は Ca 濃度が高いほど早い。強酸性、強アルカリ性条件では、根毛の伸長が抑制される。Ca 濃度が高く、と同時に pH が強酸性や強アルカリ性であると、細胞壁の硬化速度が早すぎて細胞は突起を出すことが困難になり、いったん形成した突起も伸長できない。

本研究で行った実験の各処理区の pH は、いずれも 7 前後の弱酸性ないし弱アルカリ性で、根毛の発生にとっては好条件であった。また、実際の水耕栽培でも N 源を主に NO₃-N で与えている培養液では、pH が弱酸性から弱アルカリ性へと変動するが、その値も根毛の発生を阻害する範囲ではない。

根毛の発生の多少は培養液組成の違いによって決定され、培養液の pH, EC などの値とは関連がなかった。故に、水耕栽培でみられる根毛も、その発生原因が pH や EC の変化にあるとは考えられない。

根毛の機能についてはこれまでに数多くの研究がなされている (Hayward ら 1942, Rosene 1943, Rosene and Walthall 1949, 三井ら 1961, Lewis and Quirk 1967, Drew ら 1969, Barley and Rovira 1970)。根毛の発生によって根の表面積が増加し、水分や養分の吸収が増加する (Hayward ら 1942, Rosene 1949)。しかし、Barley ら (1970) は水耕栽培で発生した根毛による養水分の吸収量はわずかであるとしている。

今後は、培養液の溶存酸素濃度、温度、植物体の栄養状態などについてもその影響を調査し、根毛発生の原因を究明しなければならない。と同時に、水耕栽培条件下で発生した根毛の機能についても明らかにしてゆかねばならない。

Table 6. Changes in EC value of culture solutions.

(mS/cm)

Treatment	Days in culture						
	1	2	3	4	5	6	7
Tap water	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12	0.10	0.09
12.5% Balanced nutrient solution	0.48	0.43	0.44	0.42	0.44	0.41	0.35
50% Balanced nutrient solution	1.40	1.20	1.20	1.20	1.25	1.20	1.10
200% Balanced nutrient solution	4.30	4.15	4.10	4.35	4.40	4.30	4.25
Ca(NO ₃) ₂	0.42	0.43	0.42	0.45	0.44	0.43	0.41
KNO ₃	0.62	0.59	0.51	0.57	0.60	0.59	0.54
MgSO ₄	0.28	0.30	0.29	0.27	0.27	0.24	0.29
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.20	0.18	0.18	0.18	0.16	0.16	0.12
Fe-EDTA	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.09
Micro-elements	0.13	0.11	0.11	0.12	0.12	0.10	0.09
N-free	1.20	1.25	1.25	1.25	1.40	1.35	1.30
P-free	1.30	1.20	1.20	1.20	1.25	1.20	1.20
K-free	1.20	1.10	1.20	1.15	1.15	1.15	1.15
Ca-free	1.40	1.15	1.10	1.25	1.35	1.35	1.20
Mg-free	1.20	1.10	1.10	1.15	1.20	1.15	1.05
Fe-free	1.30	1.25	1.20	1.30	1.35	1.25	1.15
Micro-elements-free	1.30	1.23	1.20	1.25	1.30	1.20	1.10
CaSO ₄	0.48	0.48	0.50	0.52	0.53	0.44	0.46
CaCl ₂	0.50	0.50	0.50	0.54	0.49	0.49	0.53
K ₂ SO ₄	0.58	0.54	0.53	0.55	0.52	0.58	0.56
KCl	0.63	0.60	0.55	0.55	0.58	0.52	0.55
Mg(NO ₃) ₂	0.80	0.81	0.81	0.87	0.79	0.82	0.89
MgCl ₂	0.31	0.34	0.33	0.31	0.29	0.29	0.29
NaNO ₃	0.87	0.96	0.88	0.86	0.93	0.88	0.85

Table 7. Composition of culture solutions lacking single macro-element or all of the micro-elements.

(mg/l)

Salt	Treatment						
	N-free	P-free	K-free	Ca-free	Mg-free	Fe-free	Micro-elements-free
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O		475	475		475	475	475
KNO ₃		405		405	405	405	405
MgSO ₄ •7H ₂ O	250	250	250	250		250	250
NH ₄ H ₂ PO ₄			78	78	78	78	78
CaCl ₂ •2H ₂ O	296						
KCl	299						
NaNO ₃			340	340			
NaH ₂ PO ₄ •2H ₂ O	106						
Fe-EDTA	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5		12.5
Micro-element* stock solution	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	

* expressed in ml/l, of stock solution containing H₃BO₄ 30g, ZnSO₄•7H₂O 22g, MnSO₄•4H₂O 20g, CuSO₄•5H₂O 0.5g, Na₂MoO₄ 0.2g per liter.

引用文献

- 1) Bardell, E. (1915): Univ. Washington Publ. Bot. **1**: 1-19.
- 2) Barley, K. P. and A. D. Rovira (1970): Soil Sci. Pl. Analysis **1**: 287-292.
- 3) Belford, D. S. and R. D. Preston (1961): J. Exp. Bot. **12**: 157-168.
- 4) Brown, J. C. and J. E. Ambler (1974): Physiol. Plant. **31**: 221-224.
- 5) Cormack, R. G. H. (1935): New Phytol. **34**: 30-54.
- 6) _____ (1944): Amer. J. Bot. **31**: 443-449.
- 7) _____ (1945): Amer. J. Bot. **32**: 490-496.
- 8) Drew, M. C. and P. H. Nye (1969): Pl. Soil **31**: 407-424.
- 9) Farr, C. H. (1925): Amer. J. Bot. **12**: 372-383.
- 10) Hansteen, B. (1910): C. H. Farr, (1927): Amer. J. Bot. **14**: 446-456より引用。
- 11) Hansteen-Cranner, B. (1914): C. H. Farr, (1927): Amer. J. Bot. **14**: 446-456より引用。
- 12) Hayward, H. E., W. M. Blair, and P. E. Skalling (1942): Bot. Gaz. **104**: 152-160.
- 13) 川田 信一郎・鄭 元一 (1945): 日作紀 **48**: 115-122.
- 14) Leavitt, R. G. (1904): R. G. H. Cormack, (1945): Amer. J. Bot. **32**: 490-496より引用。
- 15) Lewis, D. G. and J. P. Quirk (1967): Pl. Soil **26**: 445-453.
- 16) Micheels, H. (1920): C. H. Farr, (1927): Amer. J. Bot. **14**: 446-456より引用。
- 17) 三井進午・平田 熙 (1961): 土肥誌 **35**: 527-532.
- 18) Römheld, V. and H. Marschner (1981): Physiol. Plant. **53**: 354-360.
- 19) Rosene, H. F. (1943): Plant Physiol. **18**: 588-608.
- 20) _____, A. M. J. Walthall (1949): Bot. Gaz. **111**: 11-21.

Summary

Observation was made on the root hair of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Saturn) grown in commercial water-culture beds. There were parts with many, few and no root hairs, on a single root. Although the development of the root hair was generally sparse, no root was observed that had no root hair at all. The root hair development was not altered as the growth stage of the plant progressed.

Tomatoes cv. Ohgata-fukuju were grown in three concentrations of the balanced nutrient solution, in single salt solutions or in the balanced nutrient solution lacking single macro-element or

all the micro-elements. The concentration did not affect the development of the root hair. The root hair development was abundant and the epidermal cell was short, in single solutions of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , and micro-elements, and Fe-free solution.

Calcium, potassium, magnesium and nitrate salts with varying accompanying ions were used to grow tomatoes.

Ca and NO_3 tended to promote the root hair development.

The root hair development appeared to have no relation with pH or EC of the nutrient solution.

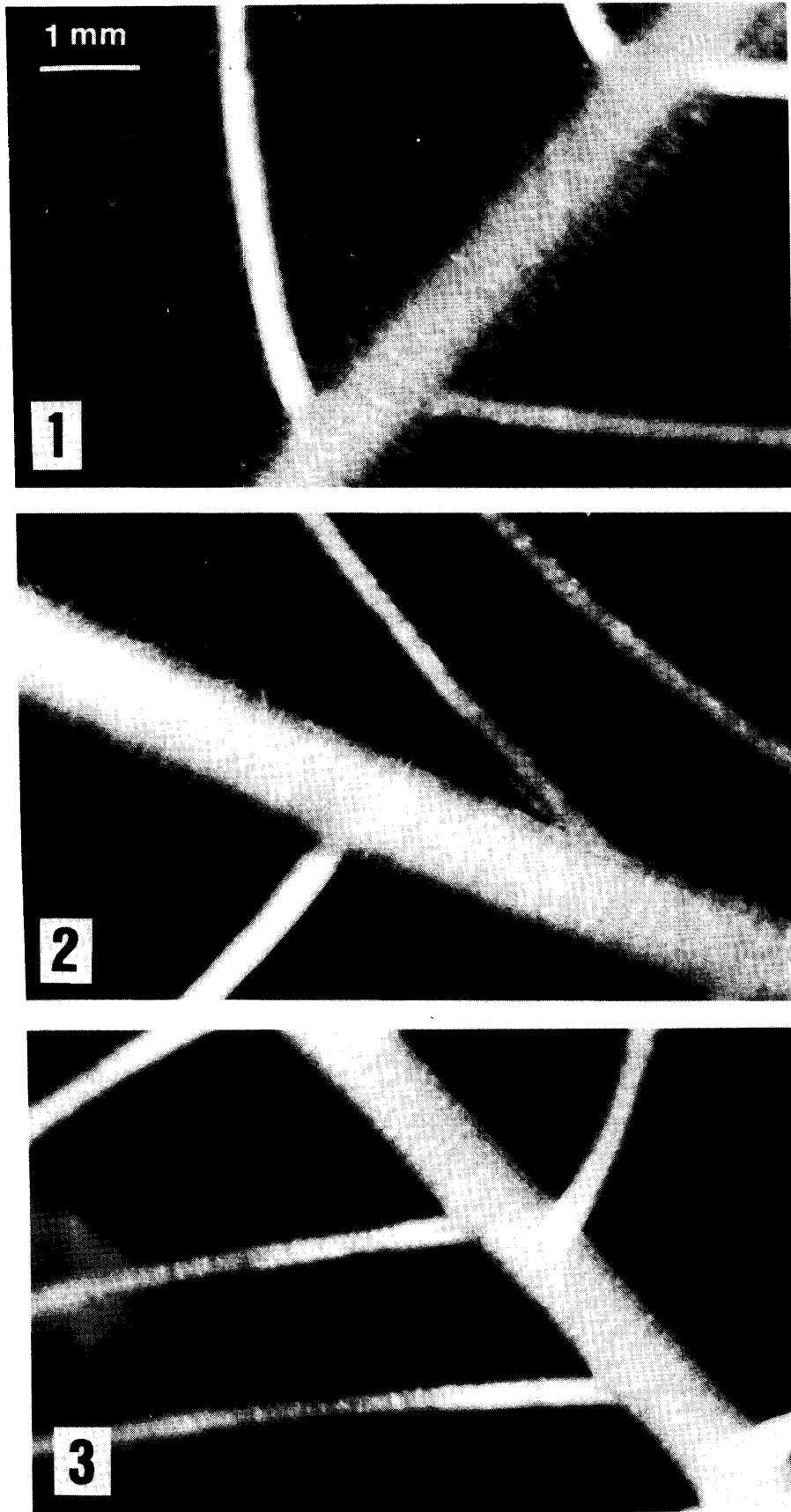


Fig. 1. Root hair development of tomato grown in commercial water-culture beds.
1: abundant 2: few 3: none

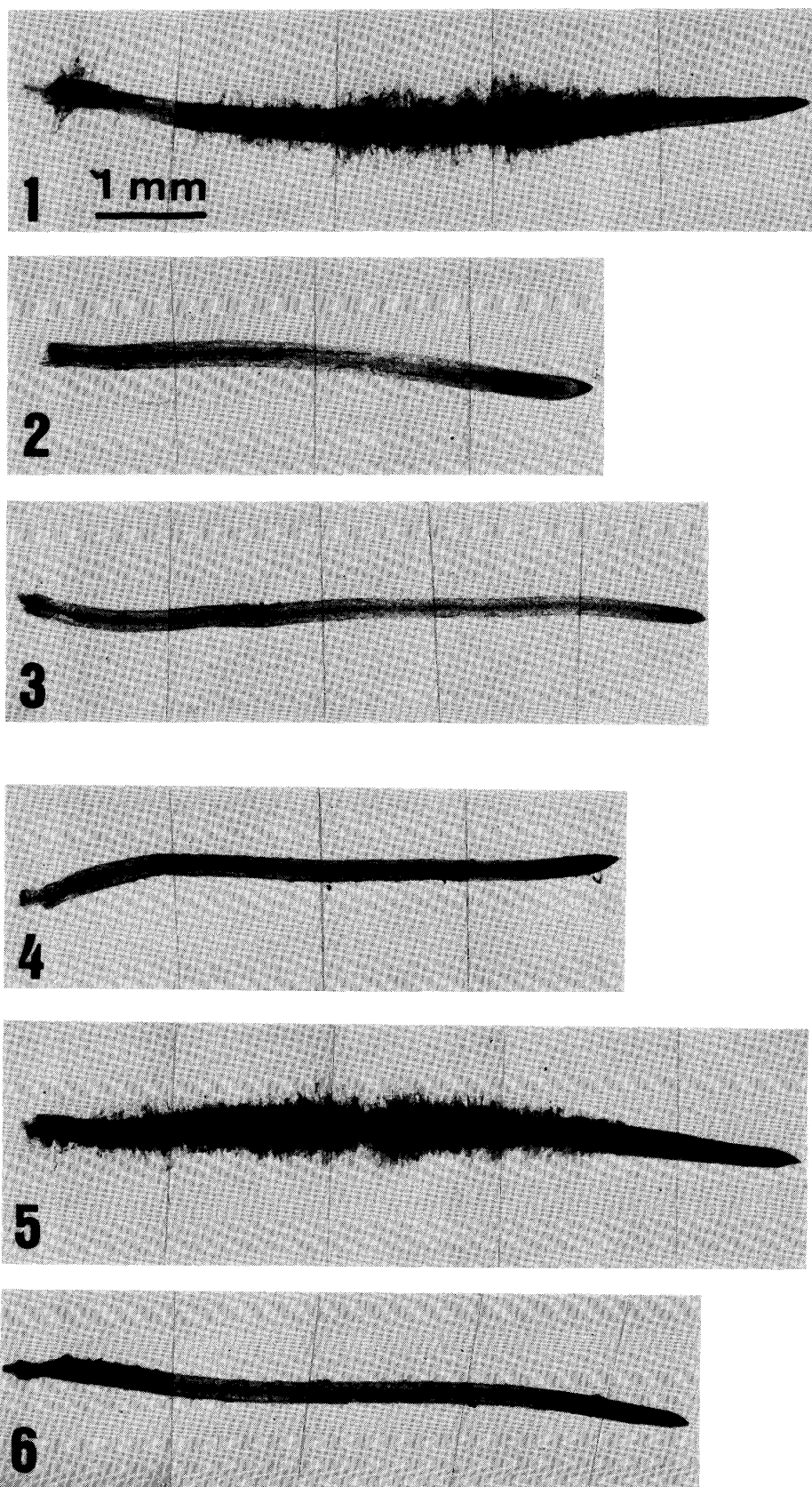


Fig. 2. Root hair development of the second order lateral grown in the balanced nutrient solution and that lacking single element.

1: Tap water 2: 12.5% balanced nutrient solution

3: 50% balanced nutrient solution 4: Ca-free 5: Fe-free 6: K-free

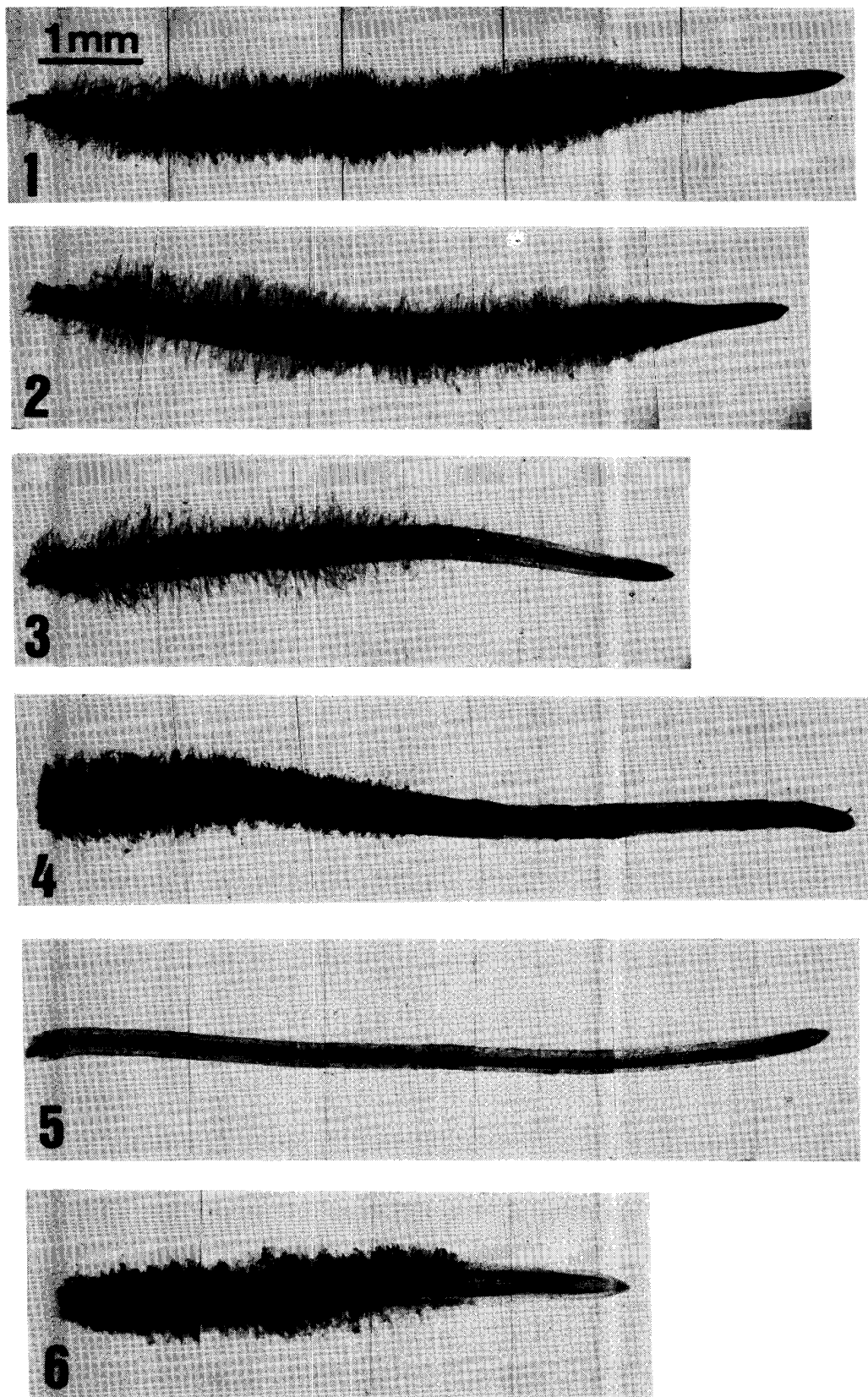


Fig. 3. Root hair development of the second order lateral grown in single salt solution.

1: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 2: KNO_3 3: MgSO_4 4: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
5: Fe-EDTA 6: Micro-elements

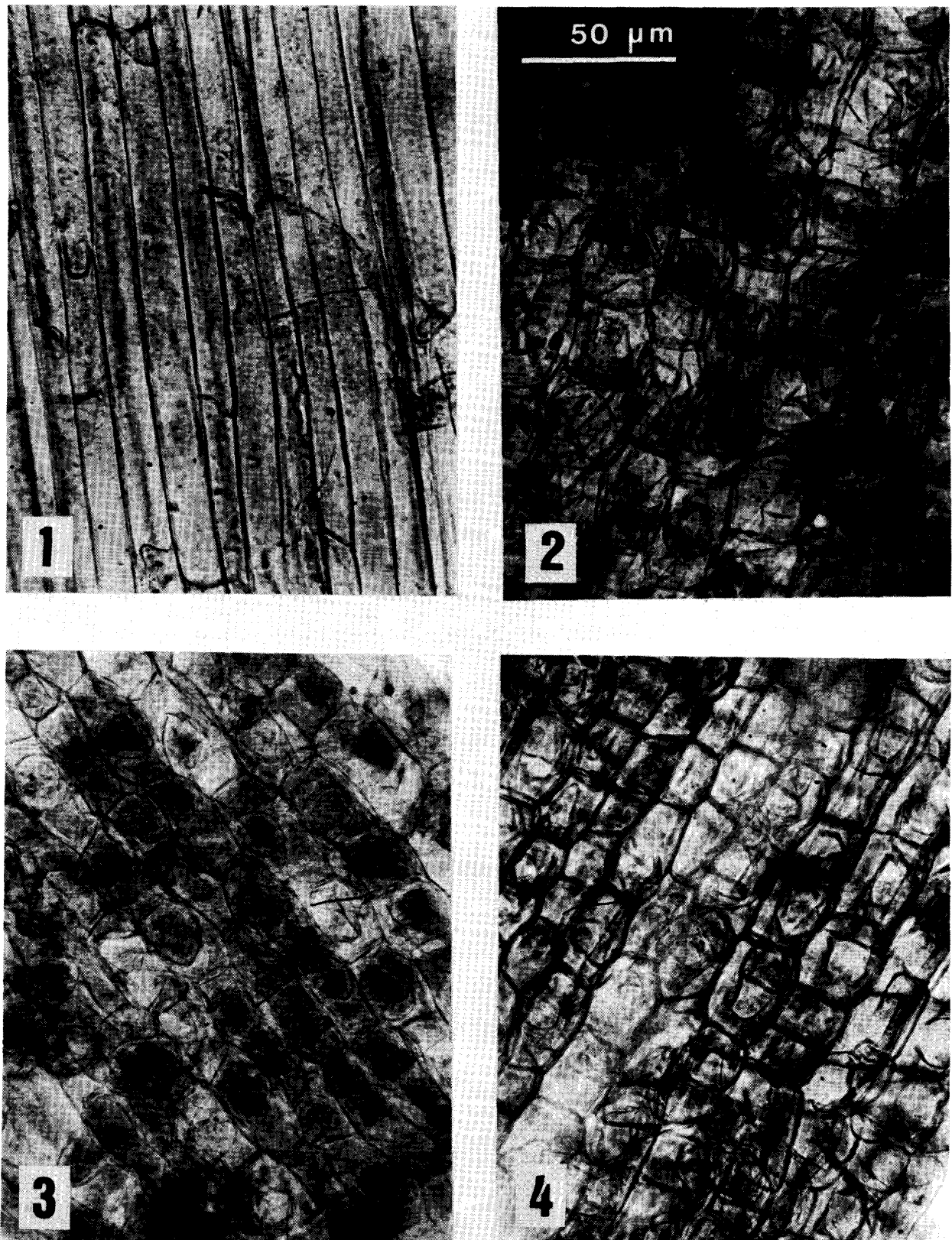


Fig. 4. Epidermal cell of the second order lateral
1: 50% balanced nutrient solution 2: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 3: Fe-free
4: Micro-elements