

## 電場における花粉管の伸長方向

中村紀雄\*・菅原陽子\*・福島 明\*・鈴木 恕\*\*

\* 横浜市立大学文理学部生物学教室 〒236 横浜市金沢区瀬戸 22-2

\*\* 湘南短期大学 〒238 横須賀市稲岡町 82

### The Direction of Pollen Tube Growth in Electric Fields

Norio NAKAMURA\*, Yoko SUGAWARA\*, Akira FUKUSHIMA\* and  
Hiroshi SUZUKI\*\*

\* *Department of Biology, Yokohama City University,  
Kanazawa-ku, Yokohama 236, Japan*

\*\* *Shonan Junior College, Yokosuka 238, Japan*

(1991年4月18日受理)

The pollen tube electrotropism was studied in various species of plants. Of 69 pollen species which could extend their tubes in an electric field, 29 species showed the tropistic responses: tube growth toward the cathode in 14 species and toward the anode in 15 species. The pollens of plant species belonging to the same genus as in *Camellia*, *Paeonia* and *Citrus* were found to show similar electrotropic responses. The rate of tube growth was almost unchanged in the electric field, except for few cases in which a small increase or a large decrease was observed.

**Key words:** Electrotropism, Pollen tube growth.

花粉管の屈電性に関するこれまでの報告<sup>(1-4)</sup>では、屈電性そのものの証明が不明確で、また電場の強さと花粉管の伸長およびその屈曲の関係が定量的に示されていなかった。最近これらに関して再検討が行われ、Wangら<sup>(5)</sup>はトマトとタバコの花粉管がともに陽極方向に伸長することを示して屈電性のメカニズムを考察し、また我々は<sup>(6)</sup>ツバキ花粉管が陰極方向に伸長すること、電場の向きを逆転させると対応して屈曲方向も反転することなどを観察して花粉管が屈電性を示すことを明確にした。ただ前報<sup>(6)</sup>で示したように電場における花粉管の伸長方向と花粉管の屈曲の様子は花粉の種類により異なっている。屈電性の報告は少なく、メカニズムを考えるため、さらに多くの花粉について調べる必要があると思われる。

この実験では、できるだけ多くの植物種について花粉管の屈電性を調べ、反応の方向に規則性があるかどうかを検討した。またメカニズムを探る実験を行うためには、明確な屈電性を示す長い花粉管を伸ばす花粉を用いることが必要であり、その検索も行った。

花粉の培養と屈電性の実験、花粉管の長さと同電極の角度の測定は前報<sup>(6)</sup>に準じて行った。つまり0.3 M ショ糖、1 mM または4.2 mM 硝酸カルシウムを含む1.3% 寒天培地上に花粉を直線状に置床し、上述の組成のショ糖と硝酸カルシウムを含む1 mM MES 緩衝液 (pH 6.8) で満した電極槽を介して、18-24 時間通電 (1 V/cm, 0.8 mA/cm<sup>2</sup>) しながら花粉を培養した。なおMES 緩衝剤はユリ類花粉には適しておらず、<sup>(7)</sup> またその他の花粉の成長にも適さない場合があ

Table 1. Response of pollen tubes to applied electric field

Pollen	Curvature (degrees)	Tube length (mm)
<i>Camellia japonica</i>	$-37.4 \pm 7.0 (-4.3 \pm 11.6)$	$8.8 \pm 1.2 (14.7 \pm 0.7)$
<i>Camellia sasanqua</i>	$-13.4 \pm 22.5 (+1.7 \pm 25.9)$	$4.6 \pm 1.1 (6.4 \pm 1.3)$
<i>Camellia sinensis</i>	$-25.5 \pm 8.2 (+2.2 \pm 13.1)$	$10.0 \pm 1.1 (12.5 \pm 0.5)$
<i>Argemone mexicana</i>	$-45.8 \pm 15.8 (-6.2 \pm 25.5)$	$0.5 \pm 0.2 (0.6 \pm 0.1)$
<i>Papaver somniferum</i>	$-46.0 \pm 14.1 (-6.4 \pm 16.5)$	$0.6 \pm 0.1 (0.7 \pm 0.2)$
<i>Deutzia sieboldiana</i>	$-40.0 \pm 7.2 (-0.9 \pm 12.8)$	$1.3 \pm 0.3 (1.5 \pm 0.1)$
<i>Rhaphiolepis umbellata</i>	$-48.1 \pm 30.8 (-0.1 \pm 37.0)$	$1.1 \pm 0.7 (1.4 \pm 0.3)$
<i>Cytisus scoparius</i>	$-38.8 \pm 19.4 (-7.7 \pm 24.1)$	$6.8 \pm 1.0 (6.7 \pm 0.8)$
<i>Erythrina crista-galli</i>	$-21.6 \pm 9.7 (-6.4 \pm 18.9)$	$4.6 \pm 1.0 (3.9 \pm 0.9)$
<i>Cyclamen alpinum</i>	$-27.1 \pm 11.0 (-5.8 \pm 31.0)$	$0.9 \pm 0.2 (0.5 \pm 0.1)$
<i>Styrax japonica</i>	$-34.9 \pm 19.1 (-9.3 \pm 27.0)$	$2.4 \pm 0.6 (2.4 \pm 0.4)$
<i>Syringa vulgaris</i>	$-49.9 \pm 22.3 (-2.7 \pm 27.9)$	$3.7 \pm 1.0 (3.6 \pm 0.1)$
<i>Tulipa gesneriana</i>	$-58.0 \pm 5.2 (+1.1 \pm 12.0)$	$2.8 \pm 0.6 (1.9 \pm 0.3)$
<i>Iris sanguinea</i>	$-26.4 \pm 11.3 (-5.8 \pm 30.3)$	$3.3 \pm 0.7 (4.2 \pm 0.8)$
<i>Aquilegia flabellata</i>	$+29.3 \pm 13.4 (+1.3 \pm 18.8)$	$0.7 \pm 0.2 (0.6 \pm 0.2)$
<i>Paeonia suffruticosa</i>	$+48.4 \pm 13.0 (-0.6 \pm 23.8)$	$2.4 \pm 0.7 (3.8 \pm 0.3)$
<i>Paeonia albiflora</i>	$+61.9 \pm 10.0 (-10.6 \pm 15.6)$	$1.8 \pm 0.4 (2.0 \pm 0.2)$
<i>Citrus unshiu</i>	$+67.9 \pm 28.3 (+1.9 \pm 16.8)$	$0.7 \pm 0.2 (0.5 \pm 0.2)$
<i>Citrus limon</i>	$+33.1 \pm 21.3 (-5.6 \pm 30.3)$	$0.8 \pm 0.2 (0.6 \pm 0.2)$
<i>Jasminum polyanthum</i>	$+32.7 \pm 17.7 (-6.5 \pm 27.4)$	$1.8 \pm 0.4 (2.2 \pm 0.1)$
<i>Ajuga nipponensis</i>	$+27.2 \pm 17.3 (-5.5 \pm 25.2)$	$3.1 \pm 1.1 (3.1 \pm 0.4)$
<i>Mentha arvensis</i>	$+47.0 \pm 18.5 (-1.4 \pm 37.2)$	$0.4 \pm 0.4 (1.7 \pm 0.3)$
<i>Nicotiana glauca</i>	$+44.6 \pm 12.4 (-0.8 \pm 25.3)$	$0.7 \pm 0.2 (0.6 \pm 0.2)$
<i>Petunia hybrida</i>	$+52.4 \pm 12.4 (-1.0 \pm 30.4)$	$1.2 \pm 0.3 (1.5 \pm 0.4)$
<i>Antirrhinum majus</i>	$+45.7 \pm 21.3 (-2.1 \pm 27.0)$	$1.0 \pm 0.4 (0.7 \pm 0.2)$
<i>Hydrangea macrophylla</i>	$+34.5 \pm 14.5 (+1.6 \pm 26.0)$	$0.5 \pm 0.1 (0.3 \pm 0.1)$
<i>Campsis chinensis</i>	$+40.4 \pm 29.7 (-8.7 \pm 31.5)$	$0.7 \pm 0.5 (0.4 \pm 0.3)$
<i>Agapanthus africanus</i>	$+28.6 \pm 18.4 (+8.9 \pm 10.5)$	$2.0 \pm 0.7 (3.5 \pm 1.1)$
<i>Clivia nobilis</i>	$+58.7 \pm 14.6 (-5.6 \pm 23.0)$	$2.8 \pm 0.9 (2.0 \pm 0.6)$
<i>Lilium longiflorum</i>	$-38.9 \pm 21.7 (-23.9 \pm 13.8)$	$5.0 \pm 0.8 (5.4 \pm 1.9)$
<i>Lilium auratum</i>	$-7.5 \pm 20.6 (+4.9 \pm 23.1)$	$2.6 \pm 0.6 (7.7 \pm 1.1)$
<i>Lilium speciosum</i>	$-2.8 \pm 36.6 (-3.1 \pm 25.2)$	$0.7 \pm 0.2 (6.5 \pm 0.6)$
<i>Gardenia jasminoides</i>	$+23.7 \pm 11.6 (+12.6 \pm 14.2)$	$3.4 \pm 1.1 (3.4 \pm 0.8)$
<i>Hippeastrum reticulatum</i>	$+31.7 \pm 17.0 (-16.5 \pm 44.8)$	$2.2 \pm 1.4 (4.7 \pm 2.3)$
<i>Narcissus tazetta</i>	$+14.8 \pm 31.8 (+13.6 \pm 33.8)$	$0.9 \pm 0.1 (0.5 \pm 0.3)$
<i>Gladiolus gandavensis</i>	$+1.8 \pm 37.4 (+21.3 \pm 58.9)$	$2.5 \pm 0.6 (2.0 \pm 1.4)$

Pollen grains were sown in a straight line on 0.3 M sucrose 1.3%-agar medium containing 1 mM calcium nitrate and incubated at an electric field (1V/cm) for 18-24 h; in *Lilium* pollen, 16 mM boric acid was added to the medium. Figures in parentheses are data for the control without the electric field. Minus and plus signs indicate curvature toward the cathode and that toward the anode, respectively. Data are the mean  $\pm$  standard deviation (n=10-20) of 2 to 3 experiments.

ることを考慮して、今回の実験では寒天培地に加えなかった。培養後、伸長した花粉管を拡大器にかけてその像を用紙に写し、それをもとに花粉管長と屈曲角度を測定した。通電しない場合、花粉管は置床した花粉粒の列に対して直角方向に伸長したが、通電すると、一定の電極方向に屈曲伸長した。屈曲角度は、花粉管の先端と基部を結ぶ直線と花粉管基部より花粉粒の列に直角に引いた直線とのなす角度として求めた。

約 130 種類の花粉について屈電性を調べたが、発芽、管伸長が観察できたのは 69 種であった。このうちツバキなど 14 種は陰極方向へ、オダマキなど 15 種は陽極方向へ花粉管が屈曲伸長を示すと判断された (Table 1)。屈電性の様子は種により異なっており、ツバキやチャの花粉は電場におかれると、発芽後すぐに陰極方向へ花粉管が誘導されたが、ミカンやレモンではある程度管伸長が行われてから陽極方向へほぼ直角に屈曲伸長した (Fig. 1)。しかしユリ類など 40 種では明確な屈電性は観察されなかった。結果の一部を Table 1 に示すが、テッポウユリ、ヤマユリ、カノコユリは花粉管がしばしば大きく屈曲しながら伸長し、

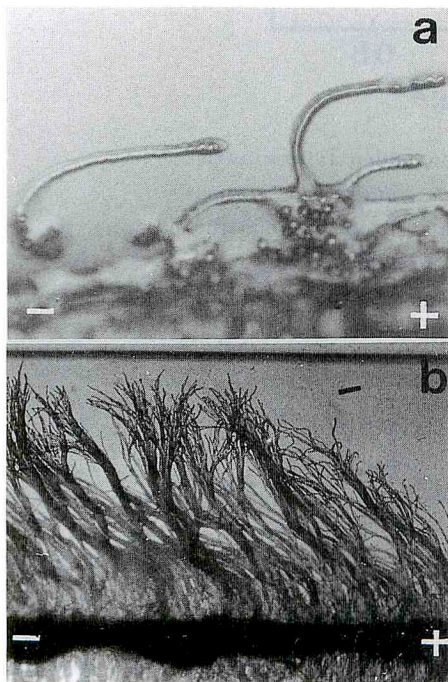
伸長方向が一定せず、クチナシ、アマリリス、スイセン、グラジオラスもユリ同様に明確な反応とは見られなかった。屈電性を示した花粉では、通電なしの対照に比べて屈曲角度の誤差が小さくなり、電場における管伸長はより一定方向に収れんする傾向がみられた。また同じ属の花粉は同じような屈電性を示し、同じ科の花粉についても 3、4 種を除いてほぼ同じような反応が観察された。

花粉管の屈電性を明確にするには、電場によって一定方向の管伸長が誘導されることを示す必要があり、さらには電場の方向を変えるとそれに対して管伸長の方向が変わるのを示すことが望ましい。そのためには培地上で長い花粉管を伸ばすことができる花粉を用いなければならない。陰極への屈電性を示すツバキやチャ花粉においてはこのことがある程度可能であった。<sup>(6)</sup> しかし陽極へ屈電性を示す花粉においてはこのことを示せなかったので、今回とくに陽極へ伸長する花粉を検索してみたが、良好な管伸長を示す花粉を見いだすことはできなかった。

今回多くの花粉を調べた結果、大部分の花粉において管伸長は電場において影響を受けなかったが、ツバキのように対照より電場において管伸長が抑えられるものや、アメリカデイゴのように管伸長が促進されるものが認められた (Table 1)。そこで、数種の花粉について電流の強さと管伸長の関係を調べた (Fig. 2)。アメリカデイゴとチューリップ花粉の管伸長は電流の強さに比例して促進されたが、チャでは抑制された (図には示していないが、いずれも 1 mA の電流の時最も大きな屈曲を示した)。またデータは示していないがサザンカでは大きくは影響されなかった。したがって前報<sup>(6)</sup>においてツバキ花粉で得られた結果、すなわちこの範囲での電流の強さと管伸長は逆相関し、屈曲とは相関するという関係は、どの花粉でもみられるものではないと思われる。

この実験では条件を固定しており、花粉に応じた培地の工夫や電場の条件についての検討を行わなかった。したがってさらに培養条件を検討することにより、より良好な管伸長と明確な屈電性を観察することは可能と思われる。とくにユリ類花粉や陽極への屈電性を示した花粉については培養条件の工夫が必要であろう。

このように花粉管の屈電性は花粉の種類によって異なることが明らかになった。電場における花粉管伸長の方向性が雌ずいにおける電位差測定の結果と対応することがあれば、雌ずいにおける花粉管伸長に屈電性が関与していることが考えられよう。



**Fig. 1. Electrotropism of pollen tubes.** Pollen grains of *Citrus unshiu* (a, 50×) and *Camellia sinensis* (b, 4×) were incubated for 24 h under the same conditions as in Table 1.

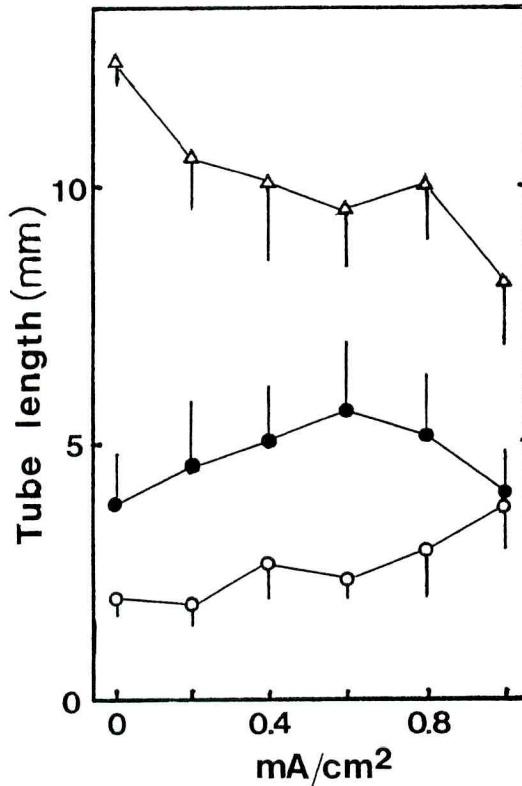


Fig. 2. Effect of current intensity on pollen tube growth. *Camellia sinensis* ( $\Delta$ ), *Erythrina crista-galli* ( $\bullet$ ) and *Tulipa gesneriana* ( $\circ$ ) pollen grains were incubated on the sucrose-agar medium containing 4.2 mM calcium nitrate at each current for 24 h. Each bar indicates the standard deviation.

## 引用文献

- (1) Wulff, H. D.: Galvanotropismus bei Pollenschlauchchen. *Planta* **24**, 602-608 (1935).
- (2) Marsh, G. and H. W. Beams: The orientation of pollen tubes of *Vinca* in the electric current. *J. Cell Comp. Physiol.* **25**, 195-204 (1945).
- (3) Zeijlemaker, F. C. J.: Growth of pollen tubes in vitro and their reaction on potential differences. *Acta. Bot. Neerl.* **5**, 179-186 (1956).
- (4) 土屋秀雄: ツバキ花粉管の培地中伸長時にみられる電気屈性について. 花粉誌 **34**, 69-70 (1988).
- (5) Wang, C., K. S. Rathore and K. R. Robinson: The responses of pollen to applied electrical fields. *Dev. Biol.* **136**, 405-410 (1989).
- (6) Nakamura, N., A. Fukushima, H. Iwayama and H. Suzuki: Electrotropism of pollen tubes of camellia and other plants. *Sex. Plant Reprod.* **4**, 138-143 (1991).
- (7) 中村紀雄・望月 桂・鈴木 恕: ツバキ花粉管の伸長促進物質. II. Good 緩衝剤とカルシウムの作用. 花粉誌 **34**, 59-62 (1988).