

濡れ現象を利用した蚊の忌避技術

(花王株式会社) ○飯倉寛晃

【緒言】蚊はマラリアやデング熱といった感染症を媒介する、世界で最もヒトの命を奪う生物として知られており、デング熱だけをみても推定感染者数は全世界で年間3億9千万人に達するともいわれている¹⁾。この感染症は、デングウィルスを保有したネッタイシマカやヒトスジシマカに吸血されることで罹患するが、現状として有効なワクチンや治療薬が存在しないために、忌避剤の使用などで蚊の刺咬を防ぐことが唯一の予防手段となっている。我々は、蚊の習性を利用した新たな忌避方法を明らかにするために、蚊の脚が持つ表面物性に着目した検討を進めている²⁾。本発表では液体の濡れ現象が蚊の降着挙動に与える影響について述べる。

【結果と考察】蚊の脚に対する液体の濡れ性を評価するために、接触角測定を実施した(Fig. 1)。水やグリセリンでは接触角の値が高い一方で、低粘度のポリジメチルシロキサン(L-PDMS)ではその値が低く、高い濡れ性を示すことがわかった。そこで、液体の濡れ広がりによって生じるメニスカスフォースを評価するために、蚊の前脚を液体に接触させた際の力を検出した。その結果をFig. 2に示すが、接触角が90°を超えるグリセリンでは、脚を押し込むにつれて強い斥力を発生したが、濡れ性の高いL-PDMSにおいては、強い引力が液体との接触により生じている。発生した力からL-PDMSの接触角を算出すると、その値は0°であったことから、メニスカスフォースが脚の浸漬量に依らず一定であるのは、完全濡れの状態が維持されたためと考えられる。

液体によって蚊の脚に対する濡れ性、さらには発生するメニスカスフォースに大きな違いがみられた。そこで、これら液体に蚊を接触させた際の挙動を観察することにした。液体を0.25 mg/cm²塗布したすりガラス基板を用意し、そこへ飛来した蚊の接触時間を測定した(Fig. 3)。未塗布やグリセリンを塗布した条件では、接触時間が広く分布する結果となった。その一方で、濡れ性の高かったL-PDMSまたはスクワランでは接触時間が大きく短縮され、特にL-PDMSでは3秒以上脚を基板に接触させて降着し続ける蚊は観察されなかった。

接触時間の短縮が液体の濡れ現象によるものかを確認するために、粘度の異なるPDMSで同様の測定を行った。Fig. 4に粘度による接触時間の変化を示すが、L-PDMSでは3秒以上滞在する蚊が観察されない一方で、高粘度のポリジメチルシロキサン(H-PDMS)では、その最大値が61秒まで増加した。

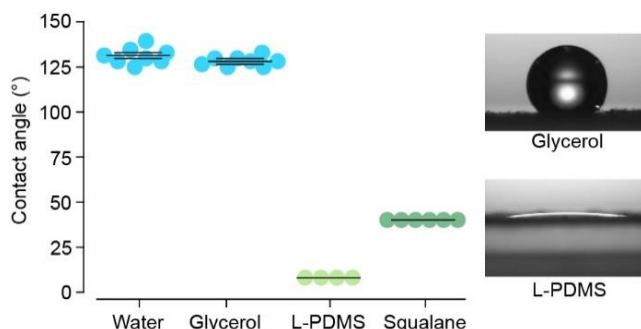


Fig. 1. Contact angle of droplets on the substrate covered with scales. L-PDMS (viscosity, $\eta = 0.0054$ Pa s).

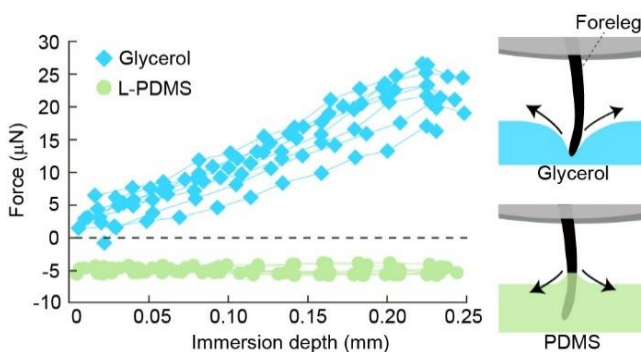


Fig. 2. Meniscus force value with respect to the immersed depth of the forelegs. Negative values mean an attractive capillary force pulling the leg into the liquids.

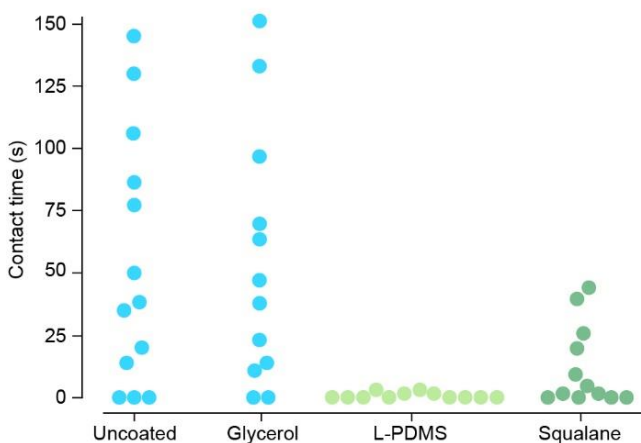


Fig. 3. Contact-time of mosquitoes on liquid-coated glass substrates.

また、塗布量を 0.25 mg/cm^2 から 2.0 mg/cm^2 に増やすことで、接触時間が大幅に減少した。L-PDMS では塗布量による接触時間の差は数値上僅かにみえるが、蚊が羽ばたきを止めて基板に降着した割合をみると、その値は塗布量の増加によって 58.3% から 0% に減少した。すなわち、L-PDMS を 2.0 mg/cm^2 塗布した基板に脚を接触した蚊は全て、羽ばたきを止める間もなく即座に逃避したことになる。

PDMS の粘度や塗布量がメニスカスフォースの発生に与える影響を調べるために、原子間力顕微鏡 (AFM) のフォースカーブ測定を行った (Fig. 5)。AFM プローブと PDMS 塗膜を接触させ、その状態を保持した際に発生する力の時間変化をみると、L-PDMS ではメニスカス形成に伴う引力がより短時間で生じていることがわかる。また、H-PDMS において膜厚の異なるサンプルを比較すると、より厚みをもつ方が引力の発生速度が大きかった。この結果を踏まえると、高粘度あるいは液体の塗布量が少ないサンプルでは動的な濡れ速度が低下し、それに従って蚊が逃避する程度の引力が発生するまでに、より長い時間を要したと考えられる。

濡れ性の高い液体の塗布による蚊の逃避行動が、ヒト肌上でも生じるかを確認するために、先の検討で使用した液体を前腕に 0.25 mg/cm^2 塗布し、蚊の吸血率を算出した (Fig. 6)。未塗布と比べて、L-PDMS を塗布した場合には吸血率が大きく減少する結果が得られた。また、H-PDMS やグリセリンを塗布した条件では吸血率が高く、接触時間の傾向と合致した。この結果は、濡れ性の高い液体の塗布により、蚊の肌上での滞在時間が吸血を妨げる程度まで短縮されたことを示す。すなわち、蚊は吸血対象が目前にいる場合であっても、濡れ性高い液体からの逃避を優先する習性をもつことになる。

以上の検討から、低粘度かつ濡れ性の高い液体を塗布することで、蚊がその表面への降着を避けることが明らかとなった。蚊のポリジメチルシロキサンへの接触時間が、その粘度と塗布量に相関することから、この逃避行動が濡れ現象によって引き起こされている可能性が示唆された。

[参考文献]

- 1) Bhatt, S. *et al. Nature* **496**, 504–507 (2013).
- 2) H. Iikura. *et al. Sci. Rep.*, **10**, 14480 (2020).

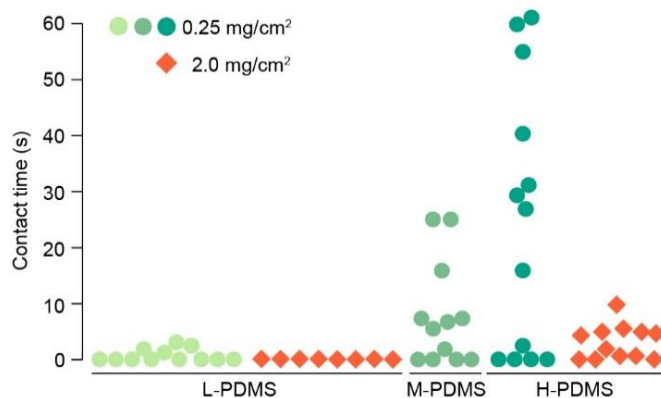


Fig. 4. Contact-time of mosquitoes on glass substrates coated with PDMSs. L-PDMS (viscosity, $\eta = 0.0054 \text{ Pa s}$), M-PDMS ($\eta = 0.060 \text{ Pa s}$) and H-PDMS ($\eta = 4.5 \text{ Pa s}$).

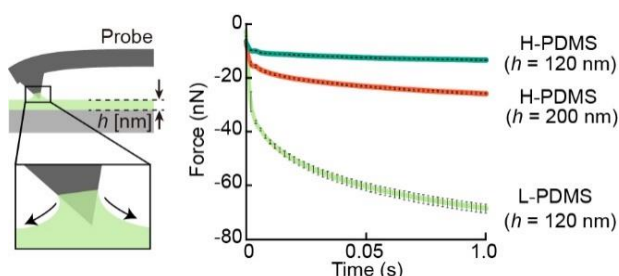


Fig. 5. Dynamical generation of attractive capillary force between the probe and PDMS films.

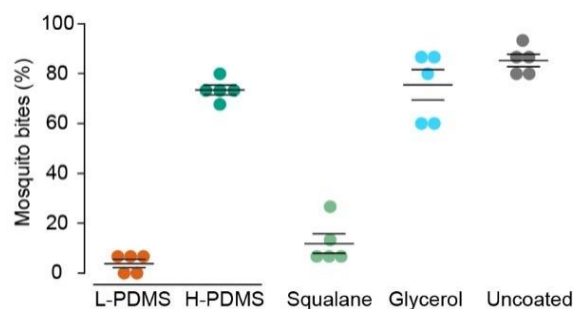


Fig. 6. Mosquito bites on liquid-coated forearms.