รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลกระทบของยาฆ่าแมลงต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติไฟฟ้าของเซลล์แพลงก์ตอน *Tetraselmis* sp. ที่คำนวณจากค่าความถี่วิกฤติตามแบบจำลองเซลล์แขวนลอยทรงรี

Effect of insecticide on changes in cell electrical properties of *Tetraselmis* sp. calculated from the critical frequency through an ellipsoidal cell model for suspensions

คณะนักวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักย์ชิน บุญถวิล

ดร.จุติพร สุดศิริ

นายต่อศักดิ์ กิตติกรณ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2551

6. บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองไฟฟ้าเซลล์เดี่ยวทรงรีและเซลล์กลุ่มโดยอาศัยทฤษฎี "Maxwell-Wagner's mixture theory"เพื่อกำหนดสมบัติไฟฟ้าของเซลล์แพลงก์ตอน *Tetraselmis* sp. (รูปทรงรี) เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าผ่านแบบจำลอง Laplace และ RC-model ซึ่งนิพจน์ในรูปสมการแรงและความเร็วไดอิเล็กโทรฟอเรซิส (dielectrophoresis) และค่าความถี่วิกฤติ (critical frequency) ที่สมมูลกับฟังก์ชั่นความถี่เชิงซ้อน "Clausius-Mossotti factor, CMF" ในเทอมความหนาแน่นเซลล์แขวนลอย(ϕ) และค่า"depolarization factor"(L_k) ของรูปทรงกลมรี "spheroid" (ที่มีสองแกนยาวเท่ากัน) แบบป่อง "prolate" และแบน "oblate" สมบัติไฟฟ้าของเซลล์ที่ปนเปื้อนสารหนูและยาฆ่าแมลงถูกกำหนดผ่านวิธีเชิงกราฟ (manual curve-fitting) โดยปรับเทียบค่ากับความถี่วิกฤติที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับข้อมูลผลการทดลอง ผลการทดลองพบว่าความเข้มสนามไฟฟ้าแปรผันตรงกับความเร็วไดอิเล็กโทรฟอเรซิส (ความเร็วที่เซลล์เคลื่อนที่เข้าเกาะขั้วไฟฟ้า) และค่าความถี่วิกฤติช่วงต่ำ (lower critical frequency, f_ℓ) (ค่าความถี่ย่านต่ำของสนามไฟฟ้าที่ตรงกับกรณีที่เซลล์เริ่มถูกผลักออกจากขั้วไฟฟ้าเมื่อแรงไฟฟ้าเป็นศูนย์) มีค่าแปรตามค่าสภาพนำไฟฟ้าของสารละลายที่ใช้แขวน ลอยเซลล์ (σ_s) เมื่อเพิ่ม σ_s ค่า f_ℓ มีค่าสูงขึ้น กรณีความหนาแน่น 10^5 เซลล์/mℓ^{-1} เซลล์ชุดควบคุม(ที่ไม่ปนเปื้อนสาร) เกิดไดอิเล็กโทรฟอเรซิสแบบบวกที่ย่านความถี่ 50 kHz ถึง 0.5 MHz เมื่อเพิ่มค่า σ_s จาก 0.01 ถึง 0.10 S.m^{-1} เซลล์เกิดไดอิเล็กโทรฟอเรซิสแบบคลื่นเดินทางในช่วงย่านความถี่ 20-48 kHz เมื่อ σ_s อยู่ในช่วง 0.01-0.37 S.m^{-1} ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 28-143 kV/m กรณีชุดการทดลองของเซลล์ปนเปื้อนสารหนูพบไดอิเล็กโทรฟอเรซิสแบบบวกที่ย่านความถี่ 15-35 kHz ในสนามไฟฟ้าความเข้ม 28-143 kV.m^{-1} เมื่อเพิ่มความเข้มสารหนูจาก 1 ถึง 150 ppm พบว่าอัตราเร็วของเซลล์และ f_ℓ มีค่าลดลง ผลการทดลองเป็นไปทำนองเดียวกับชุดย่าฆ่าแมลง กล่าวคือพบไดอิเล็กโทรฟอเรซิสแบบบวกที่ย่านความถี่ 17-42 kHz ในสนามไฟฟ้า 28-143 kV.m^{-1} ในช่วงความเข้มจาก 1 ถึง 150 ppm

โดยสรุป ค่าความเก็บประจุไฟฟ้าจำเพาะของผนังเซลล์ (specific membrane capacitance, C_m) และค่าความนำไฟฟ้าจำเพาะ (specific membrane conductance, G_m) ของ*Tetraselmis* sp. เซลล์ปกติ (ชุดควบคุม) มีค่า 5.5 mF.m^{-2} และ 13.0 S.m^{-2} ตามลำดับ และกรณีของเซลล์ปนเปื้อนสารหนูที่ระดับ 1 5 10 50 และ 150 ppm ค่า C_m มีค่า 6.7 8.3 10.8 14.3 และ 21.8 ตามลำดับ เป็นที่สังเกตเมื่อค่า C_m ของชุดการทดลองปนเปื้อนสารหนูมีค่าสูงขึ้น แต่ค่า G_m ยังคงมีค่าคงที่เท่าเดิม โดยมีสภาพนำไฟฟ้าของผนังเซลล์ (σ_m) เท่ากับ 23.0 S.m^{-2} สำหรับกรณีเซลล์ปนเปื้อนยาฆ่าแมลงระดับ 1 5 10 50 และ 150 ppm ค่า C_m มีค่า 6.3 8.1 8.8 11.3 และ 17.2 ตามลำดับ

Keywords: dielectrophoresis, traveling wave dielectrophoresis, interdigitated electrode, electrical properties

Abstract

This work proposes mathematical model of a single shell of spheroid and suspensions derived through Laplace and RC approaches with Maxwell-Wagner's mixture theory to determine cell electrical properties of *Tetraselmis* sp. (a non-spherical unicellular green alga). The models had been expressed as dielectrophoretic force/velocity and critical frequency which are equivalents the complex function of Clausius-Mossotti factor (CMF) in a term of cell density (ϕ) and the depolarization factor (L_k) of prolate and oblate spheroids. Electrical properties of normal cells (the control) and arsenic/insecticide pretreated cells were determined through a manual curve-fitting method between experimental and theoretical curves. As was expected through experiments for *Tetraselmis* sp., increasing electric field strengths resulted in increased values of cell velocity and an increase in the peak of the positive dielectrophoresis spectra. Velocity spectrum of a cell was obtained by measuring cell velocity during its moving towards the electrode tip, under various field frequencies. Lower critical frequency (f_ℓ), where the cell was repelled (i.e. negative force) from the tip after being attracted, was recorded against the conductivity of cell suspension medium (σ_s). It was observed that as the σ_s was increased the f_ℓ was shifted towards a higher frequency value for both cases. It should be noted that cell velocity spectra for those cells were reduced significantly under greater σ_s value. According to the model, when the increased σ_s reached a critical value the attractive force became negligible, implying an equivalence to the cytoplasmic conductivity. In case of cells density of 10^5 mℓ^{-1}, normal cells experienced the positive dielectrophoresis over a frequency ranged between 50 kHz and 0.5 MHz, when increasing σ_s from 0.01 to 0.10 S.m^{-1}. They displayed traveling wave dielectrophoresis in ranged of 20-48 kHz with σ_s of 0.01-0.37 S.m^{-1} for 28-143 kV/m of electric field strengthes. On the effects of arsenic absorption, the DEP velocity ($\vec{v}_{cDEP}$) spectra and the value of f_ℓ of *Tetraselmis* sp. were investigated for a comparison, over the frequency range of 15-35 kHz was found for arsenic pretreated cells. It occurred that under 28-143 kV.m^{-1} field strengths. Increasing arsenic level from 1 to 150 ppm reduced the magnitude of cell velocity and shifts the f_ℓ to a lower value. When the control and the arsenic contaminated cells were combined in between the electrode array, one can distinguish the control from the arsenic pretreated cells if the frequency used was below 35 kHz. The same results were presented as for the insecticide experiments. For the insecticide experiments, the positive dielectrophoretic spectra were found between 17-42 kHz in 28-143 kV.m^{-1} field strengths when increasing insecticide level from 1 to 150 ppm.

In conclusion, the specific capacitance (C_m) and conductance (G_m) of the membrane in both cases were calculated. The results showed that C_m and G_m of the controlled *Tetraselmis* sp. were 5.5 mF.m^{-2} and 13.0 S.m^{-2}, respectively, which were smaller than that of the arsenic pretreated cells. For 1, 5, 10, 50, and 150 ppm pretreated cells, C_m were 6.7, 8.3, 10.8, 14.3 and 21.8, respectively. It was interesting that while the C_m values of the arsenic pretreated cells were increased, the value of G_m remained constant and the cell membrane conductivity (σ_m)

was 23.0 S.m^{-2}. For experiments of 1-150 ppm insecticide, the C_m values of the pretreated cells were increased as 6.3, 8.1, 8.8, 11.3 and 17.2, respectively.

Keywords: dielectrophoresis, traveling wave dielectrophoresis, interdigitated electrode, electrical properties, arsenic, insecticide