

การกระจายของปริมาณเกลือในชุดดินกำแพงแสน

Spatial Variability of Salts in Kamphaeng Saen Soil Series

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์¹
Suntaree Yingjajaval

ABSTRACT

Most soil properties show spatial relationships. This is useful for interpolation. Employing the geostatistical technique, analysis of semi-variograms will establish the spatial relationships, while ordinary kriging is the algorithm for interpolation. The area of study was a rectangular plot of 120 ha around a reservoir in the experimental field of Kasetsart University at Kamphaeng Saen. The soil was Kamphaeng Saen soil series (Typic Haplustalfs). Sampling points were the intersections of 100×100 m² grid for a total of 127 points. Soil sampling included the top layer of 0-5 cm and the lower layer of 25-30 cm at two periods: during April and November of 1989. Soil properties under study were electrical conductivity of soil saturation extract (ECe), practical sodium adsorption ratio (SARp) and pH of soil:water solution of 1:1.

Semi-variograms of the three properties were spherical functions, with sills about equal the ordinary variance. The ranges were around 300 m for ECe and SARp, and 500 m for pH. Interpolation was by punctual kriging at the 10×10 m² scale, giving a total of 12,831 points. Estimated and actual data were displayed in maps of isopleth. The results showed that there were only 3 locations that ECe was higher than 4 dS/m, indicating saline soil condition. These were the southern rim of the reservoir, middle and the top right-hand corner of the plot. Since most of the soluble salts were predominantly calcium and magnesium, sodium hazard was limited in only two locations. The areas in the southern rim of the reservoir and in the top right-hand corner contained few patches with SARp > 13 mol^{0.5}/m^{1.5}, indicating a saline-sodic soil. The pH of the area was mainly in the range of 6 - 8. With kriging, the distribution patterns of salt can be demonstrated with much more details.

Key words: spatial variability, kriging, EC, SAR

¹คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

บทคัดย่อ

แผนภาพแสดงการกระจายของเกลือในพื้นที่หนึ่งๆจะชัดเจนได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นกับความละเอียดของจำนวนข้อมูลที่มี วิธีการสถิติวิธีหนึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประเมินค่าของจุดที่ไม่ได้มีการวัดจริงที่อยู่ภายในจุดที่ทราบค่ามาก่อน การประเมินค่าแบบครึง (Kriging) ของวิธีสถิติวิธีนี้มีค่าเป็นผลบวกเชิงเส้นของผลลัพธ์ระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักกับค่าที่มีการวัดจริง โดยที่ค่าถ่วงน้ำหนักจะผันแปรตามระยะห่างระหว่างจุดตามฟังก์ชันของค่ากึ่งแปรปรวน (semi-variance) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกันของสมบัติของดินในจุดต่างๆที่ขึ้นกับระยะห่างจากกัน พื้นที่ที่ศึกษาคือแปลงทดลองรูปสี่เหลี่ยมมีบ่อน้ำอยู่ที่มุมหนึ่ง ภายในที่ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เป็นชุดดินกำแพงแสน (Typic Haplustalfs) วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเกลือในดิน 3 ประการ คือ ค่านำไฟฟ้าของสารละลายดินอิ่มตัว (ECe) ค่าเชิงใช้งานของอัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับ (practical sodium absorption ratio, SARp) และค่าปฏิกิริยาดิน (pH) โดยใช้ดินต่อน้ำในสัดส่วน 1:1 เก็บตัวอย่างที่จุดตัดของระยะ 100×100 m² เป็นจำนวนทั้งสิ้น 127 จุด ในพื้นที่ประมาณ 800 ไร่ เป็นค่าของผิวดินชั้นความลึก 0-5 ซม. และ 25-30 ซม. เป็นสองช่วงเวลาในเดือนเมษายนและพฤศจิกายน 2532 ค่ากึ่งแปรปรวนของสมบัติดินแต่ละชุดที่ได้มีรูปฟังก์ชันเป็นทรงกลม ค่า ECe และ SARp แสดงความสัมพันธ์กันเป็นวงกว้าง 300 ม. ขณะที่ค่า pH แสดงความสัมพันธ์ต่อกันเป็นวงกว้าง 500 ม. ใช้ฟังก์ชันที่ได้ ประเมินค่าแบบครึงเฉพาะจุด (punctual kriging) เป็นระยะละเอียด 10×10 m² ได้จำนวนรวมเป็น 12,831 จุด ทำให้สามารถวาดแผนภาพที่ละเอียดชัดเจนแสดงการกระจายค่าของสมบัติดินทั้งสามได้

แผนภาพที่ได้ปรากฏว่าบริเวณที่มีค่า ECe > 4 dS/m มีอยู่ 3 แห่ง บริเวณดังกล่าวเป็นดินเค็มทั้งสองชั้นดินและทั้งสองช่วงเวลาที่ศึกษา ซึ่งได้แก่บริเวณขอบบ่อน้ำด้านทิศใต้ บริเวณกลางพื้นที่ และมุมบนด้านขวา ส่วนบริเวณที่มีค่า SARp > 13 mol^{0.5}/m^{1.5} ที่บ่งถึงอันตรายของเกลือโซเดียมมีเป็นบริเวณเล็กๆสองบริเวณที่ขอบบ่อน้ำด้านทิศใต้และมุมบนด้านขวา ทำให้สองบริเวณนี้เข้าข่ายเป็นดินเค็มโซดิกพื้นที่เกือบทั้งหมดมี ค่า pH ในช่วง 6 - 8

คำนำ

ในการศึกษาสมบัติของดิน มักใช้ข้อสมมติฐานตามสถิติธรรมดาว่า ค่าที่สนใจในพื้นที่หนึ่งมีการกระจายตัวแบบสุ่ม (random) อย่างสมบูรณ์ คือสมบัติของดินในจุดต่างๆ มีความเป็นอิสระจากกัน เมื่อเก็บตัวอย่างดินมาวัดสมบัตินั้นๆเป็นจำนวนมากพอจะได้ค่าเฉลี่ยสำหรับพื้นที่ทั้งผืน นำไปเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของพื้นที่ผืนอื่นได้ วิธีการทางสถิติ (geostatistics) (Journel and Huijbregts, 1978) เป็นวิธีทางเลือกอีกแบบหนึ่งในการวิเคราะห์สถิติของสมบัติของดิน โดยมีหลักการที่แตกต่างไปว่า สมบัติของดินในจุดต่างๆจะมีความสัมพันธ์กันทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง เมื่อจุดอยู่ใกล้กัน จุดที่อยู่ไกลกันมากจะมีความสัมพันธ์กันสูงกว่าจุดที่อยู่ไกลออกไป จนกว่าจุดจะไกลจากกันมาก จนความสัมพันธ์ต่อกันแทบไม่มี จึงจะถือเป็นจุดที่เป็นอิสระจากกัน หากสมบัติของดินในจุดที่ใกล้กันมีความสัมพันธ์กัน ตามระยะห่างจากกันในรูปแบบที่ประเมินได้แล้ว จะทำให้สามารถประเมินสมบัติของดิน ภายในช่วงรัศมีอิทธิพลของจุดที่วัดค่าจริงได้

วิธีวิเคราะห์สถิติวิธีนี้ได้ใช้กันมานานในการประเมินปริมาณแร่ในสายแร่ที่อยู่ใต้ดิน ซึ่งจำนวน

ตัวอย่างที่เจาะเก็บถูกจำกัดด้วยค่าใช้จ่ายในการเจาะและวิเคราะห์ ในขณะที่ธรรมชาติการปรากฏตัวของแร่ธาตุส่วนใหญ่จะมีความต่อเนื่องกัน คือเกิดเป็นสายธารแร่ ทำให้สามารถประเมินปริมาณแร่ในจุดที่อยู่ระหว่างจุดที่มีการเก็บตัวอย่างจริงเป็นไปได้อีกต้องพอสมควร (David, 1977, Journel and Huijbregts, 1978, Davis, 1986) ทั้งนี้จำเป็นต้องดัดแปลงการคำนวณค่าความแปรปรวนใหม่ เพราะปริมาณแร่ในแต่ละจุดไม่เป็นอิสระจากกัน ระยะต่อมาวิธีการวิเคราะห์สถิติแบบนี้ได้มีการนำมาใช้ในทางภูมิศาสตร์ด้วย เพราะลักษณะการกำเนิดดิน มีความต่อเนื่องกันทั้งด้านปริภูมิและเวลาเช่นกัน (space and time) ช่วงแรกของการใช้ทางภูมิศาสตร์ จะใช้ในเรื่องสมบัติการนำน้ำของดิน เพราะเป็นสมบัติหนึ่งที่มีความแปรปรวนอย่างมาก จนสถิติธรรมดาจะให้ค่าวิเคราะห์ที่ไม่แสดงภาพที่แท้จริงของพื้นที่ ในขณะที่วิธีทางสถิติธรณี ให้ภาพชัดเจนกว่าถึงความผันแปรของสมบัติดินในทิศทางต่างๆ ในพื้นที่หนึ่งๆ ต่อมาเมื่อแนวคิดนี้เป็นที่เข้าใจกันมากขึ้น ประกอบกับได้มีการพัฒนาขั้นตอนการคำนวณที่ง่ายกว่าเดิม และเสริมกับการมีเครื่องคอมพิวเตอร์ใช้กว้างขวางขึ้น ทำให้การวิเคราะห์ตัวเลขทำได้อย่างรวดเร็วมาก การใช้วิธีทางสถิติธรณีจึงได้แพร่หลายในงานทางภูมิศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการกำเนิดและจำแนกดิน (Vieira *et al.*, 1983; Mausbach and Wilding, 1991) ปัจจุบันการใช้ประโยชน์มีเพิ่มขึ้นเมื่อนำไปใช้ร่วมกับระบบข้อมูลภูมิศาสตร์ (geographic information system) สถิติธรณีจึงกลายเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ทำให้สามารถจัดการกับทรัพยากรดิน โดยคำนึงถึงความไม่สม่ำเสมอของดินในแต่ละบริเวณได้

การใช้วิธีของสถิติธรณีเป็นวิธีใหม่ ที่ยังไม่มีใช้กันในวงการด้านภูมิศาสตร์ในประเทศไทย การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายจะให้เป็นอย่างแสดงถึงผลที่ได้จากวิธีดังกล่าว สมบัติดินที่ศึกษาจะเป็นค่าใดก็ได้

เพียงแต่ในที่นี้เลือกศึกษาค่าที่เกี่ยวข้องกับความเค็มของดิน เนื่องจากการปรากฏของเกลือมักมีความเข้มข้นสูงเป็นจุดๆ โดยจะมีอิทธิพลแผ่ไปสู่อบริเวณรอบๆ เมื่อปลุกพืชจะปรากฏเป็นพื้นที่ว่างเปล่าเป็นหย่อมๆ การเข้าใจถึงธรรมชาติการแพร่กระจายของเกลือจะทำให้ได้มากขึ้น ถ้าสามารถแสดงภาพการปรากฏของเกลือเหล่านี้ได้ชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าทำได้โดยไม่ต้องเก็บตัวอย่างแบบละเอียดมาก นอกจากนี้ ยังมีจุดประสงค์จะชี้ให้เห็นว่าสมบัติของดินระหว่างจุดในระยะที่เก็บตัวอย่างกันทั่วไบนั้น มีความเกี่ยวข้องถึงกัน เพราะค่าความแปรปรวนยังไม่คงที่ แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างตัวอย่างเพิ่มขึ้น จึงเป็นข้อที่ต้องคำนึงว่าสมมติฐานในการใช้วิธีสถิติธรรมดาที่ว่าตัวอย่างเป็นอิสระจากกันนั้น อาจไม่เป็นจริง

หลักการ

ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินในจุดต่างๆ แสดงได้ด้วยค่ากึ่งแวเรียนซ์ (semi-variance, γ_h) ซึ่งมีรูปสมการคือ

$$\gamma_h = \frac{1}{2N_h} \sum (z_x - z_{x+h})^2 \quad (1)$$

เมื่อ z_x เป็นสมบัติของดินที่วัดที่จุด x , z_{x+h} เป็นสมบัติของดินที่วัดที่จุดที่ห่างจาก x ไปเป็นระยะ h ค่า h จึงเป็นช่วงห่าง (lag interval) ระหว่างจุดที่วัดค่า ส่วน N_h เป็นจำนวนคู่ของค่าที่ใช้คำนวณเมื่อระยะห่างเป็น h การคำนวณตามสูตรจะทำให้ได้สะดวกขึ้น หากเก็บตัวอย่างดินมาวัดเป็นระยะห่างที่สม่ำเสมอ ที่นิยมทำคือเก็บเป็นจุดตัดของตาข่ายสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากึ่งแวเรียนซ์กับช่วงระหว่างจุดเรียกว่า แวริโอแกรม (variogram) รูปแบบที่ใช้กันมากมี 2 แบบใหญ่ๆ คือ แบบเส้นตรงมีพิกัดบน (linear function with sill) และแบบทรงกลม (spherical function)

ความสัมพันธ์ของสมบัติของดินระหว่างจุดต่างๆที่อยู่ใกล้กัน จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการประเมินค่าที่ไม่ได้วัดจริงของจุดที่อยู่ภายในจุดที่มีการวัดค่าแล้ว การประเมินเชิงเส้นตรงตามวิธีการทางสถิติธรรณี เรียกว่า แบบคริจ (Warrick *et al.*, 1986; Isaake and Srivastana, 1989) ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นวิธีการประเมินค่าเชิงเส้นแบบตรงไปตรงมาที่ดีที่สุด (best linear unbiased estimator, B.L.U.E.) การประเมินแบบคริจเป็นการประเมินเชิงเส้น เพราะจะประเมินค่าในจุดที่ไม่ทราบให้เป็นผลบวกเชิงเส้นของผลลัพธ์ระหว่างตัวถ่วงน้ำหนักกับค่าที่ทราบแล้วของจุดอื่นข้างเคียง จำนวน n จุด หลักการประเมินจึงอยู่ที่การคำนวณค่าตัวถ่วงน้ำหนัก ซึ่งจะเป็นวิธีการตรงไปตรงมา ไม่มีอคติ เพราะให้ค่าที่มีค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดลดทอน (mean reduced error) เท่ากับศูนย์ และให้ค่าที่ดีที่สุด เพราะให้ค่าความแปรปรวน (variance) ของค่าผิดพลาดลดทอน ที่มีค่าเท่ากับหนึ่ง

การประเมินค่าแบบคริจแตกต่างจากการประเมินค่าเชิงเส้นตรง (linear interpolation) หรือประเมินเป็นสัดส่วนกับส่วนกลับของระยะห่างกำลังสองตรงที่ว่า ค่าถ่วงน้ำหนักจากจุดรอบข้างที่ทราบค่าจะแสดงออกในรูปของค่ากึ่งแวนเรียนซ์ ซึ่งมีค่าผันแปรแสดงอิทธิพลของช่วงห่าง (distance) ระหว่างจุดรอบข้างกับจุดที่ต้องการประเมิน รวมทั้งอิทธิพลความซ้ำซ้อนของจุดที่ทราบค่าข้างเคียง (clustering) กล่าวคือ จุดทราบค่าที่อยู่ห่างออกไปจะมีค่าถ่วงน้ำหนักต่ำกว่าจุดที่อยู่ใกล้และในบริเวณที่มีจุดที่ทราบค่าเพียงจุดเดียว จุดนั้นจะมีค่าถ่วงน้ำหนักเป็นค่าที่สูงมากกว่าของจุดที่ทราบค่าหลายจุดในบริเวณเดียวกัน เพราะค่าของหลายจุดแสดงความซ้ำซ้อนของข้อมูล การประเมินแบบคริจจึงแสดงค่าของจุดที่ประเมินไม่ขึ้นกับว่าจุดนั้นอยู่ตรงไหน แต่ขึ้นกับระยะห่างจากจุดข้างเคียงที่ทราบค่าแล้ว โดยมีค่าตามรูปแบบฟังก์ชันของค่ากึ่งแวนเรียนซ์ที่ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

ในพื้นที่แปลงทดลองด้านพีชรอบบ่อ 1 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ประมาณ 800 ไร่ เป็นชุดดินกำแพงแสน ได้วางจุดเก็บตัวอย่างดินในแนวเหนือใต้ เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเก็บตัวอย่างดินที่จุดตัด 100×100 m^2 จำนวนทั้งสิ้น 127 จุด แผนผังแปลงและจุดเก็บตัวอย่างได้แสดงใน Figure 1 เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 2 ระดับ คือ ผิวดินบน 0-5 ซม. และผิวดินล่าง 25-30 ซม. เป็น 2 ช่วงเวลาในรอบปี คือฤดูร้อนในช่วงเดือนเมษายน และหลังฤดูฝนในช่วงเดือนพฤศจิกายน (2532) ในการเก็บดินแต่ละครั้งจนครบใช้เวลา 10 วัน

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์การกระจายของปริมาณเกลือในพื้นที่ได้แก่ค่านำไฟฟ้าของสารละลายดินอิ่มตัวค่าเชิงใช้งานของอัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับที่คำนวณได้ว่า $SAR_p = [Na]/[Ca+Mg]^{0.5}$ เมื่อปริมาณในวงเล็บหมายถึงความเข้มข้นทั้งหมด และค่าปฏิกิริยาดิน (pH) โดยใช้ดินต่อน้ำในสัดส่วน 1:1 เป็นข้อมูลชุดเดียวกับที่ได้วิเคราะห์ทางสถิติธรรมดาในรายงานก่อนหน้า (สุนทรและอนุวัชร, 2537)

การวิเคราะห์การแจกกระจายของค่า ECe, SARp

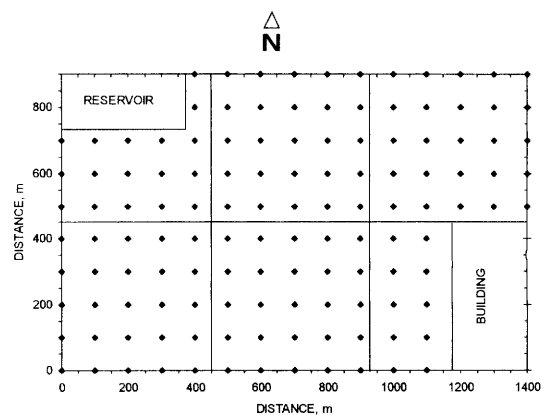


Figure 1 Diagram of the study plot, showing the sampling point at 100×100 m^2 for a total of 127 points.

และ pH ด้วยวิธีสถิติธรณี ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GS+ (Professional Geostatistics for the PC, version 2.11 ของบริษัท Gamma Design Soft ware, Michigan) ขั้นตอนหลักในการวิเคราะห์ คือ คำนวณค่ากึ่งแวเรียนซ์ของข้อมูลแต่ละชุดเป็นค่าที่ขึ้นกับระยะห่าง (h) จากกันเท่านั้นโดยไม่ขึ้นกับทิศทาง (isotropic semi-variogram) คำนวณเป็นค่าสำหรับระยะห่างเป็นช่วงต่างๆเข้ารูปฟังก์ชันของค่ากึ่งแวเรียนซ์กับระยะห่าง(γ_h) ในขั้นแรกจะเลือกค่าคงที่ของฟังก์ชันไว้ 4-5 รูปแบบ แล้วทดสอบประเมินค่าแบบครึ่งเฉพาะจุด เพื่อหาค่าสมบัติของดินที่จุดต่างๆ โดยใช้ข้อมูลของจุดข้างเคียงทั้งนี้จะประเมินค่าของจุดที่มีการวัดค่าไว้จริง แต่ทำเสมือนยังไม่ทราบค่า เปรียบเทียบค่าที่ประเมินได้จากฟังก์ชัน γ_h เทียบกับค่าที่วัดได้จริงที่จุดนั้นๆ (เรียกขั้นตอนนี้ว่า jack-knifing) โดยคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของค่าผิดพลาดลดทอนไว้ ฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของดินที่จุดต่างๆได้ดีที่สุด คือฟังก์ชันที่ให้ค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดลดทอนมีค่าใกล้เคียงที่สุด และค่าความแปรปรวนของค่าผิดพลาดลดทอนมีค่าใกล้เคียงที่สุด เมื่อได้ประเมินฟังก์ชันที่เลือกไว้ทั้ง 4-5 รูปแบบ จะพิจารณาใช้ฟังก์ชันที่เข้าเกณฑ์ทั้งสองได้ดีที่สุด หลังจากนั้น ใช้ค่าของจุดที่วัดค่าไว้จริงเป็นค่าประเมิน

สำหรับจุดในระหว่างนั้นที่ไม่มีการวัดค่าไว้ก่อนตามฟังก์ชันที่ได้ ในที่นี้ใช้ข้อมูลที่เก็บระยะห่าง 100×100 m^2 คำนวณประเมินค่าที่ระยะละเอียดเป็น 10×10 m^2 โดยใช้ข้อมูลข้างเคียงจาก 8 จุด แสดงการแจกกระจายของค่าที่วัดจริงรวมกับค่าที่ประเมินแบบครึ่งด้วยแผนภาพที่แสดงเส้นเชื่อมบริเวณที่มีค่าในช่วงหนึ่งๆ แผนที่แสดงทั้งค่าจริงและค่าที่ประเมินได้

ผลและวิจารณ์

ค่าน้ำไฟฟ้าของสารละลายดินอิ่มตัว (EC_e)

ได้วิเคราะห์หาแวรีโอแกรมที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลค่า EC_e 4 ชุด คือ ค่าที่วัดของดินสองความลึก (0-5 และ 25-30 ซม.) และสองช่วงเวลา (เมษายนและพฤศจิกายน) แวรีโอแกรมที่ได้จะเป็นรูปทรงกลม มีค่าต่างๆของฟังก์ชันดังแสดงใน Table 1 ช่วงที่แสดงว่าค่า EC_e ของสารละลายดินมีความสัมพันธ์ต่อกันจะเป็นระยะกว้างถึง 300 ม.

ฟังก์ชันของแวรีโอแกรมที่เลือกได้ ใช้ประเมินค่าระดับละเอียดที่ระยะ 10×10 m^2 ได้จำนวนจุดทั้งสิ้น 12,831 จุด แสดงผลเป็นแผนภาพการแจกกระจายของค่า EC_e โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ คือค่า ในพิสัย 0-4, 4-8, 8-12, 12-16 และ >16 dS/m ผลที่ได้

Table 1 Variogram for EC_e . Reduced means and variances are results of kriging on actual data.

Soil sampling			Spherical function (semi-variance vs. lag interval)		Reduced	
					Mean	Var
Apr, 0 - 5 cm	γ_h	=	$38.0 + 18 [1.5(h/300) - 0.5(h/300)^3]$	$h < 300$ m	0.006	1.071
	γ_h	=	56.0	$h > 300$ m		
Apr, 25-30 cm	γ_h	=	$7.3 + 2.7[1.5(h/300) - 0.5(h/300)^3]$	$h < 300$ m	0.025	1.038
	γ_h	=	10.0	$h > 300$ m		
Nov, 0 - 5 cm	γ_h	=	$75.0 + 18 [1.5(h/300) - 0.5(h/300)^3]$	$h < 300$ m	0.021	0.999
	γ_h	=	93.0	$h > 300$ m		
Nov, 25-30 cm	γ_h	=	$14.0 + 7.0[1.5(h/330) - 0.5(h/330)^3]$	$h < 330$ m	0.020	1.008
	γ_h	=	21.0	$h > 330$ m		

แสดงใน Figure 2 ดินที่มีค่า EC_e เกิน 4 dS/m จัดว่าเป็นดินเค็ม

การกระจายตัวของค่าน้ำไฟฟ้าของสารละลายดินอิมตัว แสดงว่าการปรากฏของไอออนมีการผันแปรตามฤดูและแตกต่างระหว่างผิวดินบนกับผิวดินล่าง บริเวณที่มีค่าน้ำไฟฟ้าสูงอย่างคงเส้นคงวา คือ ด้านทิศใต้ของบ่อเก็บน้ำ (แนวนอน 0-350 ม. แนวตั้ง 550-700 ม.) แถบประมาณกลางพื้นที่ (แนวนอน 500-700 ม. แนวตั้ง 500-700 ม.) และมุมบนด้านขวาของพื้นที่ (แนวนอน 1100-1400 ม. แนวตั้ง 500-900 ม.) สามบริเวณนี้มีค่าน้ำไฟฟ้าสูงทั้งในผิวดินบนและผิวดินล่างทั้งสองช่วงเวลา

ผิวดินบนจะมีค่าน้ำไฟฟ้าที่มีค่าสูงเกินบริเวณกว้างกว่าในผิวดินล่าง แสดงถึงการสะสมของเกลือที่ผิวดินบนซึ่งเกิดจากการไหลตามน้ำขึ้นมาที่ผิวดินบน เมื่อน้ำระเหยไปจะทิ้งเกลือในความเข้มข้นสูงไว้ ที่ผิวดินบน ความเข้มข้นที่สูงขึ้นในบางจุด แสดงว่าเป็นเกลือที่มาจากแหล่งในดินชั้นล่าง ทำให้มีค่า EC_e สูงทั้งในผิวดินบนและผิวดินล่าง ส่วนที่ไม่แสดงค่าสูงในผิวดินล่างแต่มีค่าสูงในผิวดินบน แสดงว่าเป็นที่ต่ำที่มีการไหลของน้ำผิวดินไปสะสม เมื่อน้ำระเหยไป จะทิ้งปริมาณเกลือไว้ เกลือในพื้นที่เหล่านี้จะเจือจางลงหลังจากถูกชะล้างด้วยน้ำฝนตลอดฤดู

ความเข้มข้นของเกลือพบว่ามีค่าสูงขึ้นในฤดูฝน และมีพื้นที่ที่มีค่า EC_e สูงในผิวดินล่างตามเป็นบริเวณกว้างกว่าในฤดูร้อน แสดงชัดว่าเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ ซึ่งจะมีการกระจายขยายบริเวณตามปริมาณน้ำในดินได้ดี จากการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ (สุนทรและอนุวัชร, 2537) พบว่าค่าน้ำไฟฟ้าสัมพันธ์อย่างมากกับผลบวกเชิงเส้นของความเข้มข้นทั้งหมดของโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยที่ตัวละลายชนิดอื่นทั้งหมดมีผลต่อค่าน้ำไฟฟ้าโดยเฉลี่ยเพียง 0.9 dS/m ค่าน้ำไฟฟ้าที่สูงกว่านี้เกิดจากอิทธิพลของเกลือ 3 ชนิดดังกล่าวทั้งสิ้น ($EC_e = 0.891 + 0.073[Na] + 0.170[Ca] + 0.0086[Mg]$, $r = 0.969$) โดยที่ $[Ca]$ มีผลกระทบต่อค่า EC_e สูงสุดเป็น 4 เท่าของ $[Na]$ และ 40 เท่าของ $[Mg]$

ค่าเชิงใช้งานของอัตราส่วนของโซเดียมที่ถูกดูดซับ (SARp)

วิเคราะห์ค่า SARp เพื่อหาเวรีโอแกรมที่เหมาะสม โดยใช้วิธีเดียวกับที่ศึกษาค่า EC_e ได้ค่าคงที่ต่างๆดังแสดงใน Table 2 ค่า SARp มีความสัมพันธ์ต่อกันเป็นระยะกว้างถึง 300 ม. เช่นกัน แผนภาพการกระจายค่า SARp แสดงใน Figure 3 โดยแบ่งค่า SARp เป็น 4 ช่วง คือ 0-6.5, 6.5-13, 13-19.5 และ

Table 2 Variogram for SARp. Reduced means and variances are results of kriging on actual data.

Soil Sampling			Spherical function (semi-variance vs. lag interval)		Reduced	
					Mean	Var
Apr, 0 - 5 cm	γ_h	=	$5.0 + 1.6 [1.5(h/300) - 0.5(h/300)^3]$	$h < 300$ m	-0.021	1.272
	γ_h	=	6.6	$h > 300$ m		
Apr, 25-30 cm	γ_h	=	$1.0 + 0.2 [1.5(h/300) - 0.5(h/300)^3]$	$h < 300$ m	-0.061	0.997
	γ_h	=	1.2	$h > 300$ m		
Nov, 0 - 5 cm	γ_h	=	$12.5 + 2.3 [1.5(h/450) - 0.5(h/450)^3]$	$h < 450$ m	-0.002	1.003
	γ_h	=	14.8	$h > 450$ m		
Nov, 25-30 cm	γ_h	=	$4.5 + 0.3 [1.5(h/300) - 0.5(h/300)^3]$	$h < 300$ m	-0.001	0.992
	γ_h	=	4.8	$h > 300$ m		

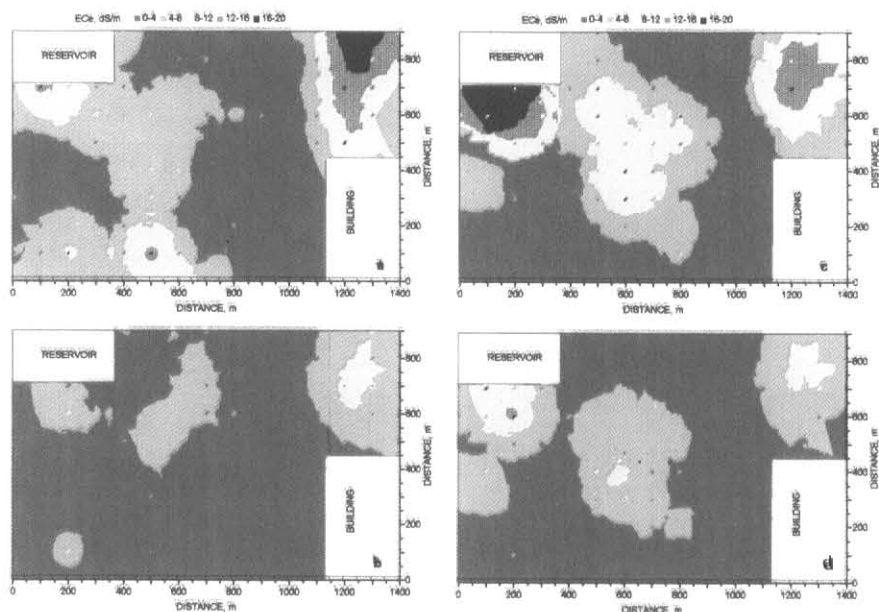


Figure 2 Distribution of ECe in 1989 : a) during April, soil layer of 0-5 cm, b) during April, soil layer of 25-30 cm, c) during November, soil layer of 0-5 cm, and d) during November, soil layer of 25-30 cm. Green area is normal soil with ECe < 4 dS/m.

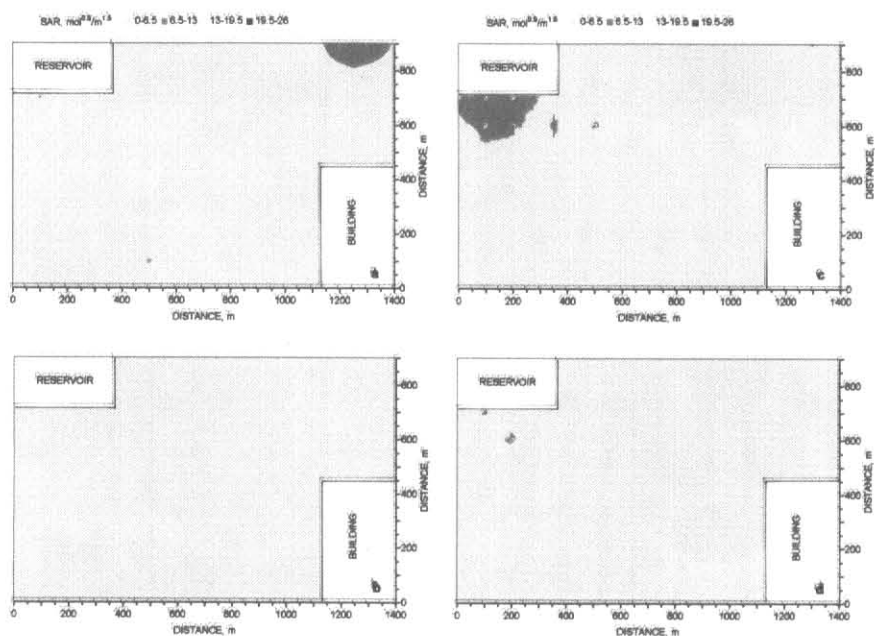


Figure 3 Distribution of SARp in 1989 : a) during April, soil layer of 0-5 cm, b) during April, soil layer of 25-30 cm, c) during November, soil layer of 0-5 cm, and d) during November, soil layer of 25-30 cm. In b), the maximum value is only 6.3 mol^{0.5}/m^{1.5}, the whole plot is of one color.

$>19.5 \text{ mol}^{0.5}/\text{m}^{1.5}$ สำหรับเดือนเมษายนดินลึก 25-30 ซม. (Figure 3b) มีค่า SARp สูงสุดไม่เกิน $6.3 \text{ mol}^{0.5}/\text{m}^{1.5}$ จึงเป็นพื้นที่สีเขียวทั้งผืน ดินที่มีค่า SARp เกิน $13 \text{ mol}^{0.5}/\text{m}^{1.5}$ จัดว่าเป็นดินโซดิก ก็มีความเข้มข้นของโซเดียมสูงมากจนเป็นพิษต่อพืช

ผลที่ได้แสดงให้เห็นชัดว่า บริเวณที่มีเกลือ

โซเดียมสูงเมื่อเทียบกับแคลเซียมและแมกนีเซียม มีเป็นบริเวณแคบและกินพื้นที่น้อยกว่าที่มีค่า ECe สูง จุดที่มีค่า SARp $>13 \text{ mol}^{0.5}/\text{m}^{1.5}$ ก็คือจุดที่พิกัด (500, 100 ม.), (1200, 900 ม.) และ (1300, 900 ม.) ในช่วงฤดูร้อนของผิวดินบน ในช่วงฤดูฝนของผิวดินบน จะอยู่ที่พิกัด (100, 700 ม.), (200, 600 ม.), (500, 600

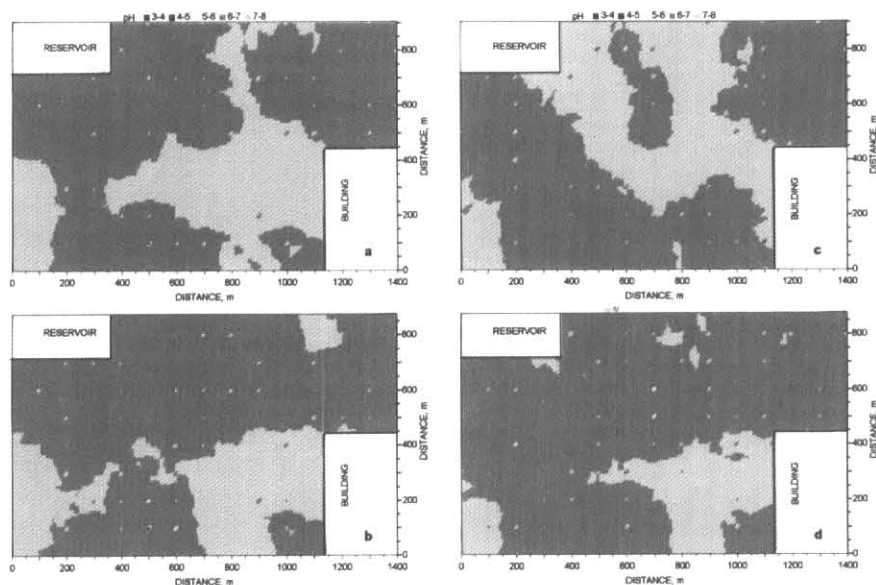


Figure 4 Distribution of pH in 1989 : a) during April, soil layer of 0-5 cm, b) during April, soil layer of 25-30 cm, c) during November, soil layer of 0-5 cm, and d) during November, soil layer of 25-30 cm.

Table 3 Variogram for pH. Reduced means and variances are results of kriging on actual data.

Soil sampling		Spherical function (semi-variance vs. lag interval)		Reduced	
				Mean	Var
Apr, 0 - 5 cm	γ_h	=	$0.40 + 0.09 [1.5(h/500) - 0.5(h/500)^3]$ $h < 500 \text{ m}$	0.010	1.000
	γ_h	=	0.49 $h > 500 \text{ m}$		
Apr, 25-30 cm	γ_h	=	$0.525 + 0.13 [1.5(h/500) - 0.5(h/500)^3]$ $h < 500 \text{ m}$	0.016	0.998
	γ_h	=	0.655 $h > 500 \text{ m}$		
Nov, 0 - 5 cm	γ_h	=	$0.39 + 0.08 [1.5(h/500) - 0.5(h/500)^3]$ $h < 500 \text{ m}$	-0.004	1.000
	γ_h	=	0.47 $h > 500 \text{ m}$		
Nov, 25-30 cm	γ_h	=	$0.45 + 0.045[1.5(h/500) - 0.5(h/500)^3]$ $h < 500 \text{ m}$	0.018	1.002
	γ_h	=	0.495 $h > 500 \text{ m}$		

ม.) และ (1300, 900 ม.) ส่วนในช่วงฤดูฝนของผิวดินล่างอยู่ที่จุด (100, 700 ม.) และ (200, 600 ม.) สำหรับสามจุดที่ (100, 700 ม.) และ (200, 600 ม.) ทางทิศใต้ของบ่อเก็บน้ำ และจุดที่ (1300, 900 ม.) ที่มุมบนด้านขวา เป็นจุดที่มีค่า EC_e เกิน 4 dS/m ด้วย จึงเป็น 3 จุดในพื้นที่ที่ดินเป็นดินเค็มโซดิก นอกนั้นแม้จะจัดว่า เป็นดินเค็ม แต่อันตรายของโซเดียมมีต่ำ จึงสรุปในที่นี้ได้ว่า ค่า EC_e ที่สูงในชุดดินกำแพงแสนในบริเวณ แปลงวิจัยรอบบ่อ 1 ของวิทยาเขตกำแพงแสนเป็นเกลือ Ca และ Mg เป็นหลัก ค่า EC_e และ SARp ผันแปรได้ตามฤดูกาล แต่มีเพียง 3 บริเวณที่มีทั้งค่า $EC_e > 4$ dS/m และ SARp $> 13 \text{ mol}^{0.5}/\text{m}^{1.5}$ โดยที่มุมบนด้านขวา (1300, 900 ม.) จะเกิดเฉพาะกับผิวดินบนในฤดูร้อน ส่วนจุด (100, 700 ม.) และ (200, 600 ม.) ทางขอบบ่อด้านทิศใต้จะเกิดทั้งผิวดินบนและผิวดินล่างในช่วงฤดูฝน

ค่าปฏิกิริยาดิน (pH)

ค่าคงที่ต่างๆของเวรีโอแกรมสำหรับค่า pH:1 แสดงใน Table 3 ค่า pH ของดินมีความสัมพันธ์ต่อกันเป็นระยะกว้างกว่าสมบัติของดินสองประการแรก คือเป็นระยะถึง 500 ม. แผนภาพการกระจายค่า pH แสดงใน Figure 4 โดยแบ่งระดับ pH เป็น 5 ระดับคือ 3-4, 4-5, 5-6, 6-7 และ 7-8 ค่า pH สูงสุดของดินทั้งสองระดับความลึกและสองช่วงเวลา คือ 8.0 จุดที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4 มีเพียงจุดเดียวคือจุดพิกัด (500, 100 ม.) ที่มีค่า pH = 3.96 ในผิวดินบน และ pH = 3.86 ในผิวดินล่าง เป็นค่า pH ต่ำที่พบเฉพาะในการเก็บตัวอย่างของเดือนเมษายน หลังจากฤดูฝนแล้ว ค่า pH ที่จุดนี้มีค่าสูงขึ้นเป็น 6.88 สำหรับผิวดินบน และ 6.06 สำหรับผิวดินล่าง ส่วนจุดที่มีค่า pH = 5-6 มีไม่เกิน 10 จุดในผิวดินบนและผิวดินล่างสำหรับทั้งสองฤดู พื้นที่เกือบทั้งหมดเป็นดินที่มีค่า pH = 6-8 บริเวณที่มีค่า pH = 6-7 มีสามแถบที่เกิดลงเส้นทแยงคือแถบพิกัดแนว

นอน 0-200 ม. แนวตั้ง 500-700 ม. แถบแนวนอน 300-500 ม. แนวตั้ง 0-200 ม. และแถบพิกัดแนวนอน 1300-1400 ม. แนวตั้ง 560-900 ม. หรือ มุมบนด้านขวา

สรุป

การศึกษาการแจกกระจายของค่า EC_e SARp และ pH:1 โดยเพิ่มรายละเอียดจากข้อมูล $100 \times 100 \text{ m}^2$ เป็น $10 \times 10 \text{ m}^2$ ตามวิธีการประเมินแบบคริจของสถิติธรรมิ ทำให้สามารถสร้างแผนภาพแสดงขอบเขตพื้นที่ที่มีค่าที่ระดับต่างๆได้ละเอียดขึ้น ค่า EC_e แสดงว่าความเข้มข้นของเกลือ Ca Mg และ Na มีการผันแปรตามความลึกของดินระหว่างผิวดินบนกับผิวดินล่าง และการกระจายของเกลือจะแตกต่างกันไปไ้ระหว่างเวลาในรอบปี พื้นที่ที่ศึกษามีสามบริเวณที่มีค่า $EC_e > 4$ dS/m อย่างสม่ำเสมอทั้งผิวดินบน ผิวดินล่าง และทั้งสองฤดู ได้แก่ ขอบด้านทิศใต้ของบ่อ บริเวณกลางพื้นที่ และมุมบนด้านขวาของพื้นที่ สำหรับสองบริเวณคือขอบทิศใต้ของบ่อและมุมบนขวาของพื้นที่ ยังมีจุดที่มีค่า SARp $> 13 \text{ mol}^{0.5}/\text{m}^{1.5}$ ทำให้บางจุดในดินเค็มสองบริเวณนี้เข้าข่ายเป็นดินเค็มโซดิก พื้นที่ที่มีค่า EC_e สูงมาก ไม่ได้มีค่า pH สูงมากผิดปกติ เพราะเกลือที่เกิดไม่ใช่เกลือโซเดียม

ความเข้มข้นของเกลือในพื้นที่ที่ศึกษาจึงไม่น่าจะเป็นปัญหาที่รุนแรง เพราะเป็นเกลือ Ca และ Mg เป็นส่วนใหญ่ ความเข้มข้นของเกลือมีกลระดับลงจนไม่เป็นดินเค็มในฤดูฝน ข้อเสนอแนะคือ หากรักษาความชื้นของผิวดินให้สูงไว้จะช่วยลดความเข้มข้นของเกลือที่ขึ้นมาสะสมเฉพาะผิวดินลงได้ ปัญหาที่รุนแรงจากปริมาณโซเดียมสูงมีเพียงสองบริเวณ คือขอบด้านทิศใต้บ่อ และที่มุมมุมบนด้านขวา ซึ่งเป็นบริเวณที่พบดินที่ปราศจากพืชขึ้นเป็นหย่อมๆ จึงเป็นบริเวณหย่อมเหล่านี้เท่านั้นที่เป็นปัญหาต่อการเติบโตของพืช ชุดดินกำแพงแสนมีปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงด่างอ่อน การปรับดินทำได้โดยใส่กำมะถัน

เอกสารอ้างอิง

- สุนทรีย์ ยิ่งซัชวาลย์ และ อนุวัชร โพธิ์นาม. 2537. ค่านำไฟฟ้ากับความเข้มข้นของโซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในสารละลายดินอิมิตัวของชุดดินกำแพงแสน ว.เกษตรศาสตร์(วิทย์) 28:364-380.
- David, M. 1977. Geostatistical Ore Reserve Estimation. Elsevier Scientific Publishing Co. 364 p.
- Davis, J.C. 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. 2nd ed. John Wiley&Sons. 646 p.
- Isaaks, E.H. and R.M. Srivastana. 1989. Applied Geostatistics. Oxford University Press, Inc., New York. 561 p.
- Journel, A.G. and C.J. Huijbregts. 1978. Mining and Geostatistics. Academic Press, San Diego. 600 p.
- Mausbach, M.J. and L.P. Wilding (eds.). 1991. Spatial Variabilities of Soils and Landforms. Soil Science Society of America Special Publication, No. 28. 270 p.
- Vieira, S.R., J.L. Hatfield, D.R. Nielsen, and J.W. Biggar. 1983. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, Vol. 51 No. 3.
- Warrick, A.W., D.E. Myers, and D.R. Nielsen. 1986. Geostatistical methods applied to soil science, pp.53-82. In A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin.