

ค่าพิสัยบนของความเป็นประโยชน์ต่อพืชของน้ำ ในชุดดินกำแพงแสน

The Upper Limit of Available Water for Kamphaeng Saen Soil Series

สุนทรี ยิ่งจ้าวลย์¹ และ กุมุท สังขศิลา²
Suntaree Yingjajaval and Kumut Sangkhasila

ABSTRACT

Available water capacity is a widely used soil parameter in the evaluation of soil productivity potential and irrigation planning. However, the upper limit is never unequivocally defined and agreed upon. It is proposed in this study that three aspects of soil behavior must be considered in setting the upper limit. These are the amount of water that can be released from the soil matrix, the adequacy of soil aeration and the rate of water loss from the root zone. Differential water capacity, which is obtained as the slope of soil water characteristic curve, is used to indicate how much water is released from the soil when matric potential drops. Soil aeration is considered as not limiting when the air pore space does not fall below 0.1 of total soil volume. Drainage loss is determined from internal drainage study. Matric potential of soil profile was monitored for several days after the profile was wetted initially and subsequent free drainage was allowed with no evaporation loss from soil surface. Kamphaeng Saen soil series (Ks, fine silty, mixed Udic Haplustalfs) was chosen as a case study. Imposing the above three aspects, it was found that soil water content at matric potential of - 0.005 MPa met all the criteria and should be used as the upper limit of soil water availability. Water at this potential has high value of differential water capacity and 0.11 m³ m⁻³ air space, and was attained in the profile 2 days after internal drainage started. Drainage loss from 1.00 m profile was about 3-4 mm d⁻¹, which is mostly below the potential evapotranspiration rate of Kamphaeng Saen area. Therefore, drainage loss is considered as minimal in comparison to daily water use by crops. The water content at upper limit of Ks soil series is 0.39 m³ m⁻³. When the lower limit is set to the conventional matric potential of - 1.5 MPa, the corresponding water content is 0.195 m³ m⁻³. The resulting available water capacity for the 1.00 m profile of Ks soil series is 0.195 m³ m⁻³. This amounts to 118 mm of water for a root zone of 0.50 m and 195 mm for 1.00 m root zone.

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140
Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture. Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus. Nakhon Pathom 73140, Thailand.

² ศูนย์วิจัยพืชผักเขตร้อน สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Tropical Vegetable Research Center, Kasetsart University Research and Development Institute.

บทคัดย่อ

ความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ เป็นสมบัติทางฟิสิกส์อย่างหนึ่งที่ใช้ประเมินศักยภาพการผลิตของดิน และใช้วางแผนการจัดการชลประทาน แต่กระนั้นพิกัดบนของความเป็นประโยชน์เป็นค่าที่ไม่มีการกำหนดตายตัว ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้เสนอหลักการพิจารณาการกำหนดค่าพิกัดบนของดินในประเทศไทย โดยใช้ชุดดินกำแพงแสนเป็นตัวอย่าง หลักการพิจารณากำหนดค่าพิกัดบนของความเป็นประโยชน์ของน้ำควรคำนึงถึง ระดับความง่ายที่อนุภาคดินจะปลดปล่อยน้ำนั้นออกมาให้พืชใช้อีกทั้งเป็นระดับปริมาณน้ำที่จะไม่ทำให้เกิดการขาดอากาศสำหรับพืช และน้ำนั้นจะอยู่ในดินนานพอให้พืชใช้ได้ทัน ในการประเมินทั้งสามลักษณะนี้ ได้ศึกษาเส้นอัตลักษณ์ของน้ำ เพื่อใช้ค่าความชันของเส้นในการประเมินระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืชของน้ำ เพราะเป็นค่าบ่งถึงปริมาณน้ำที่ดินจะปลดปล่อยออกมาเมื่อพลังงานก่อกับกับกอนดินลดลง ควบคู่กับการคำนวณค่าสัดส่วนโดยปริมาตรของช่องอากาศในดิน โดยที่ปัญหาการขาดอากาศของพืชจะยังไม่เกิด ถ้าสัดส่วนของปริมาตรช่องอากาศมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.1 ของปริมาตรดินทั้งหมด และวัดความจุน้ำสนามเพื่อประเมินอัตราการสูญเสียจากหน้าตัดดิน โดยติดตามค่าพลังงานก่อกับกับกอนดินในหน้าตัดดิน หลังจากให้น้ำแก่ดินอย่างเพียงพอ แล้วปิดผิวดินไม่ให้มีการระเหยน้ำ ให้มีแต่การระบายน้ำอิสระออกจากชั้นดินล่าง จากผลที่ได้ สรุปว่าชุดดินกำแพงแสนควรกำหนดพิกัดบนของน้ำที่เป็นประโยชน์ เป็นค่าปริมาณน้ำที่มีพลังงานก่อกับกับกอนดินเท่ากับ -0.005 เมกะปาสกาล ซึ่งเป็นปริมาณน้ำขณะที่มีระดับความชื้นประโยชน์สูง มีช่องอากาศ $0.11 \text{ ม.}^3\text{ม.}^{-3}$ และน้ำที่พลังงานก่อกับกับกอนดินระดับนี้พบในหน้าตัดดิน 2 วันหลังจากให้น้ำแก่ดินเต็มที่ โดยที่อัตราการระบายน้ำออกจากชั้นดินมีค่า 3-4 มม./วัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็น

ค่าต่ำกว่าอัตราศักยภาพการคายระเหยน้ำของพืช ภายใต้สภาพภูมิอากาศเฉลี่ยของบริเวณกำแพงแสน จึงเป็นอัตราการสูญเสียจากดินที่พืชสามารถจะดูดไปใช้ได้ทัน สำหรับหน้าตัดดินลึก 1.00 ม. ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่พิกัดบนจะมีค่า $0.39 \text{ ม.}^3\text{ม.}^{-3}$ เมื่อให้พิกัดล่างเป็นค่าปริมาณน้ำที่พลังงานก่อกับกับกอนดินเท่ากับ -1.5 เมกะปาสกาล หรือเท่ากับค่าปริมาณน้ำเฉลี่ย $0.195 \text{ ม.}^3\text{ม.}^{-3}$ จะพบว่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของชุดดินกำแพงแสนมีค่าเฉลี่ย $0.195 \text{ ม.}^3\text{ม.}^{-3}$ หรือเป็นปริมาณน้ำ 118 มม. สำหรับรากพืชลึก 0.50 ม. และเป็นปริมาณน้ำ 195 มม. สำหรับรากพืชลึก 1.00 ม.

คำนำ

ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินต่อพืช เป็นค่าที่เมื่อให้ความหมายในแนวกว้าง ๆ ว่าหมายถึงน้ำที่พืชนำไปใช้ได้ ความหมายนี้สามารถสื่อความเข้าใจได้ระดับหนึ่ง แต่เมื่อต้องการเจาะจงว่าหมายถึงน้ำในดินในช่วงใด คำตอบจะยุ่งยากขึ้นทันที เพราะธรรมชาติการใช้น้ำของพืชนั้นเป็นการใช้น้ำแบบพลวัต คือสัมพันธ์ต่อเนื่องระหว่างน้ำในดินซึ่งเป็นแหล่งให้น้ำ (source) และน้ำในบรรยากาศที่เป็นแหล่งรับน้ำ (sink) โดยที่ทั้งสองแหล่งนี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา รวมทั้งต้นพืชที่ทอดอยู่ระหว่างสองปลายจะมีการปรับตัวทั้งสองด้าน ปลายน้ำเข้าคือรากและด้านปลายปากใบที่เป็นทางน้ำออกตลอดเวลาเช่นกัน การกำหนดความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน โดยเป็นค่าขึ้นกับการใช้น้ำของพืช จึงเป็นการกำหนดที่ทำได้ยาก (หรือเกือบจะเป็นไปไม่ได้) เพราะน้ำในดินจำนวนหนึ่งอาจเป็นประโยชน์มากต่อพืชชนิดหนึ่งที่อยู่การเจริญเติบโตภายใต้สภาพอากาศหนึ่ง แต่อาจเป็นประโยชน์น้อยมากต่อพืชอีกชนิดหนึ่งภายใต้สภาพแวดล้อมที่ต่างไป ในบทความระยะหลังนี้จึงเห็นได้ว่ามีการหลีกเลี่ยงหรือพยายามเลิกใช้คำว่า จุด

เหี่ยวถาวร และจะระวังมากขึ้นในการใช้คำว่า ความจุน้ำสนาม (field capacity, FC)

แม้ความหมายของความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ (available water capacity, AWC) จะมีความสำคัญน้อยลง ในการศึกษาพฤติกรรมของน้ำในขบวนการต่อเนื่องของน้ำในระบบดิน-พืช-อากาศ (soil-plant-atmosphere continuum) ซึ่งเป็นระบบพลวัต แต่คำนี้ยังมีประโยชน์ในเชิงปฏิบัติในการประเมินศักยภาพของดิน และเมื่อต้องการประเมินปริมาณน้ำในการชลประทาน ดังนั้นจึงเป็นค่าหนึ่งที่ยังมีการวัดสำหรับชุดดินต่าง ๆ อยู่เสมอ

การศึกษาความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ของดินเป็นการมองดินว่าทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บน้ำ แต่โดยที่ภาชนะเก็บน้ำนี้เก็บน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน จึงเป็นภาชนะเก็บน้ำที่น้ำจะไหลรั่วออกจากดินได้ตลอดเวลา ขณะที่น้ำในดินมาก น้ำจะอยู่เต็มในช่องว่างขนาดใหญ่ ทำให้มีการไหลระบายเร็ว จึงกำหนดพิกัดบนของความเป็นประโยชน์ว่าเป็นปริมาณน้ำในดินที่สูงค่าหนึ่งขณะที่การสูญเสียจากการระบายน้ำมีระดับต่ำเพื่อลดการสูญเสียน้ำชลประทาน หรืออีกนัยหนึ่งคือ น้ำในดินที่มีมากเกินไปจนพิกัดบนนั้น เป็นน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้แต่ไม่อยู่ให้ใช้ ส่วนปริมาณน้ำที่พิกัดล่างนั้นเป็นปริมาณน้ำปริมาณสุดท้ายที่พืชยังใช้ประโยชน์ได้อยู่ เมื่อปริมาณน้ำในดินลดถึงระดับต่ำกว่านี้พืชจะมีอาการเหี่ยวตายอย่างถาวร คำอธิบายสำหรับการกำหนดค่าพิกัดบนและพิกัดล่างนี้ อ่านดูแล้วเหมือนจะเข้าใจ แต่ในความเป็นจริงมีข้อโต้แย้งอย่างมากมาย เช่นที่พิกัดล่างที่พืชแสดงอาการเหี่ยวตายนั้นหมายถึงพืชอะไร เพราะพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำในดินไม่เท่ากัน และเมื่อพืชเหี่ยวตายนั้นหมายถึงความชื้นของดินที่ระดับไหน เพราะพืชมีระบบรากที่แผ่ไม่สม่ำเสมอในดิน ขณะที่พืชตายความชื้นในเขตรากพืชย่อมไม่เท่ากันตลอดชั้นรากพืชแน่นอน การกำหนดพิกัดบนก็เช่น

กัน เป็นค่าเมื่อการสูญเสียจากการระบายน้ำจากดินมีค่าต่ำ ค่าถามคืออัตราเท่าใดจึงจะเรียกว่าต่ำ หรือเป็นอัตราการสูญเสียที่ถือว่าน้อยมาก จะเป็นอัตราที่เทียบกับการใช้น้ำของพืชหรือไม่ คือระบายเร็วกว่าที่พืชจะใช้ได้ทัน ซึ่งจะยุ่งยากมากขึ้นในการกำหนด เพราะจะขึ้นกับชนิดพืชและช่วงการเติบโตของพืชด้วยว่าจะมีอัตราการใช้น้ำเท่าใด และรากพืชลึกเพียงใด จึงเห็นได้ว่าเมื่อใดก็ตามที่กำหนดค่าพิกัดของความชื้นที่เป็นประโยชน์ของน้ำในดินไปขึ้นกับอาการหรือพฤติกรรมของพืช การกำหนดพิกัดนั้นจะทำให้ยากขึ้นทันที คือความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินต่อพืชจะมีค่าผันแปรไปได้เรื่อย ขึ้นกับธรรมชาติของพืชและสภาพอากาศขณะที่พืชขึ้นอยู่ ในแง่นี้มีคำถามว่าเมื่อค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ของดินผันแปรตามชนิดของพืช จึงควรวัดค่าพิกัดบนและพิกัดล่างของดินที่ศึกษาเฉพาะสำหรับพืชหนึ่ง ๆ ที่สนใจ ซึ่งจะทำได้ความจุน้ำของดินชุดดินหนึ่งมีหลายค่า ขึ้นกับว่าจะใช้ดินนี้ปลูกพืชอะไรหรือไม่ การศึกษาไปในแนวนั้นเป็นการพยายามปรับความละเอียดของความคิดที่หยาบอยู่ตั้งแต่ต้น จึงมีขีดจำกัดของความแม่นยำอยู่จุดหนึ่ง และน่าจะไม่คุ้มกับความพยายามที่ทำได้ เพราะความจุน้ำที่เป็นประโยชน์เป็นการประเมินค่าที่ให้เป็นค่าตายตัว ภายในระบบดิน-พืช-อากาศที่เป็นพลวัต จึงเป็นการประเมินค่าเฉลี่ยแบบหยาบ ๆ ในทางปฏิบัติเท่าที่เป็นอยู่ การใช้ประโยชน์ของสมบัติดินข้อนี้เป็นการใช้เพื่อเปรียบเทียบดินอย่างกว้าง ๆ ระหว่างชุดดินต่าง ๆ ว่ามีขีดจำกัดในการอุ้มน้ำหรือไม่ นอกจากนั้น จะใช้เป็นข้อมูลในการประเมินหาปริมาณน้ำเพื่อการชลประทานในระดับโครงการใหญ่ ๆ ส่วนในไร่นาจริง ๆ การจะให้น้ำชลประทานเมื่อใด เท่าใด ต้องการข้อมูลที่มากกว่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ เพราะในขณะนั้นจะมีทั้งสภาพพืชและสภาพอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง

จากการใช้งานของค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ของดิน จะเห็นได้ว่าการใช้อยู่ 2 แนวใหญ่ ๆ คือ เป็นสมบัติทางกายภาพประการหนึ่ง ที่วัดควบคู่กับสมบัติทางกายภาพและชีวเคมีประการอื่น ๆ เพื่อใช้ประเมินศักยภาพของชุดดินต่าง ๆ และใช้ประเมินหาปริมาณน้ำที่ต้องจัดสรรในการชลประทานสำหรับพื้นที่โครงการต่าง ๆ ซึ่งในการใช้งานทั้ง 2 แนวนี้ จะมองข้ามความไม่สม่ำเสมอของชุดดินในพื้นที่ และที่สำคัญคือจะไม่เจาะจงชนิดพืช หรือ มิฉะนั้นจะใช้ค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำของอากาศควบคู่กับประเภทของพืช และความลึกของชั้นรากพืช เป็นการแยกความผันแปรของสภาพอากาศและธรรมชาติการใช้ของพืช ออกจากสมบัติด้านน้ำของดิน การใช้งานของค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์จึงมักให้ค่านี้เป็นสมบัติของดินเท่านั้น เมื่อเป็นเช่นนี้ความจุน้ำที่เป็นประโยชน์จึงเป็นเพียงสมบัติของดินที่ให้ความเข้าใจอย่างหายบ ๑ ในการประเมินศักยภาพของดินและในการชลประทาน ในช่วง 20 ปีที่แล้ว ตำราด้านปฐพีศาสตร์สากลได้กำหนดว่า ความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ (AWC) เป็นปริมาณน้ำระหว่างปริมาณน้ำที่ความจุน้ำสนาม (FC) และที่จุดเหี่ยวถาวร (PWP) โดยประเมินความจุน้ำสนามอย่างง่าย ๆ ว่าเป็นปริมาณน้ำที่มีพลังงานเท่ากับกอนดิน (matric potential) เท่ากับ -0.033 เมกะปาสกาล (MPa) หรือค่า $-1/3$ บาร์ (1 เมกะปาสกาล = 10 บาร์) และปริมาณน้ำที่จุดเหี่ยวถาวรเป็นปริมาณน้ำที่มีพลังงาน -1.5 เมกะปาสกาล หรือค่า -15 บาร์ พิกัดบนและล่างนี้ได้ใช้สืบต่อกันมาในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยด้วย แม้ว่าในระยะหลังนี้จะได้มีการศึกษาความจุน้ำสนามเพิ่มขึ้น และพบว่าตรงกับปริมาณน้ำที่มีพลังงานในช่วง -0.005 ถึง -0.01 เมกะปาสกาลมากกว่าที่จะเป็นค่าที่ -0.033 เมกะปาสกาล โดยเฉพาะดินในเขตร้อน จากผลการศึกษาจึงใคร่ขอชี้ให้เห็น

ว่าความจุน้ำสนามที่กำหนดเป็นค่าปริมาณน้ำที่ -0.033 เมกะปาสกาลนั้น น่าจะไม่ถูกต้อง โดยจะขอยกกรณีของชุดดินกำแพงแสนเป็นตัวอย่างว่า ควรกำหนดพิกัดบนของความเป็นประโยชน์ของน้ำไว้ที่ปริมาณน้ำที่พลังงานระดับเท่าใด เพื่อใช้เป็นแนวทางการศึกษาสำหรับชุดดินอื่น ๆ ต่อไป แนวการกำหนดค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ของดินต่อพืชที่เสนอนี้จะกำหนดให้เป็นสมบัติของดินโดยเฉพาะ คือจะกำหนดโดยพิจารณาจากระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำ ปริมาตรช่องอากาศ และอัตราการระเหยน้ำของดิน

หลักการกำหนดค่าพิกัดบนของความเป็นประโยชน์ต่อพืชของน้ำในดิน

ระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำ (differential water capacity)

เส้นอัตลักษณ์ของน้ำในดิน (soil water characteristics) เป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (θ) กับค่าพลังงานก่อกับกอนดิน (h) ของน้ำนั้น $[\theta = \theta(h)]$ ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปเป็นรูปตัวเอส (s) คือขณะที่ปริมาณน้ำมีค่าสูง พลังงานก่อกับกอนดินของน้ำนั้นจะมีค่าสูง ขณะที่ปริมาณน้ำในดินลดลง พลังงานก่อกับกอนดินจะลดลงตามไปด้วย ในทางการเกษตร เส้นอัตลักษณ์ของน้ำในดินจะแสดงค่าปริมาณน้ำในช่วงดินอึดตัวถึงปริมาณน้ำที่มีพลังงานก่อกับกอนดินเท่ากับ -1.5 เมกะปาสกาล ประโยชน์ของการศึกษาเส้นอัตลักษณ์อยู่ที่ค่าความชัน หรือค่าอนุพันธ์ (derivatives) ของเส้น ซึ่งเป็นค่าแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานก่อกับกอนดิน ($C_\theta = d\theta/dh$) ค่านี้จะทำให้เกิดความเข้าใจในพฤติกรรมความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินได้เป็นอย่างดี เพราะจะเป็นค่าชี้บ่งว่าน้ำในดินจะถูกปลดปล่อยออกมาได้มากที่สุดที่ระดับพลังงานหรือความชื้นใด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง

ระดับพลังงานกำกับกอนดินของน้ำในหนึ่งหน่วย ระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำที่มีค่าสูงแสดงว่า พืชจะได้นำไปใช้จำนวนมาก ครั้นเมื่อรากพืชดูดใช้น้ำจำนวนนี้จากดินไปแล้ว พลังงานกำกับกอนดินของน้ำที่เหลือจะลดลงเรื่อย ๆ ในอัตราที่ขึ้นกับระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินนั้น (McCoy *et al.*, 1984) กล่าวคือ ในขณะที่ระดับความ

เป็นประโยชน์สูง การดูดใช้น้ำของพืชจะทำให้ค่าพลังงานกำกับกอนดินของน้ำที่เหลือตกลงอย่างช้า ๆ แต่ที่ระดับความเป็นประโยชน์ต่ำ ค่าพลังงานกำกับกอนดินจะตกลงเร็วมาก การดูดใช้น้ำของพืชจำนวนถัดไปจะยากขึ้นไปอีกมาก เพราะพืชต้องสร้างให้มีความต่างศักย์ของน้ำระหว่างจุดในดินกับภายในรากให้สูงเพียงพอถึงจะได้นำเข้าสู่ราก

การหาค่าอนุพันธ์ของเส้นอรรถลักษณะทำได้ง่ายขึ้น เมื่อเข้าสู่รูปสมการของเส้นอรรถลักษณะก่อน ทั้งนี้โดยจะใช้รูปสมการของแวนเกนูชเตน (van Genuchten, 1980) ดังนี้

$$Se = (\theta - \theta_r) / (\theta_m - \theta_r) = 1 / [1 + (\alpha h)^n]^m \quad (1)$$

โดยที่ Se เป็นค่าสัดส่วนอิ่มตัวด้วยน้ำสัมพัทธ์ (effective saturation) กำหนดให้ θ_m เป็นค่าปริมาณน้ำสูงสุด θ_r เป็นค่าปริมาณน้ำต่ำสุด (maximum and residual wetness) ค่า α n และ m ล้วนเป็นค่าคงที่ โดยที่ m มีค่า $m = 1 - n^{-1}$ และค่าพลังงานกำกับกอนดิน (h) ที่ใช้ในสมการนี้จะใช้ค่าสัมบูรณ์ เพื่อตัดความสับสนในเรื่องเครื่องหมายลบ จากสมการของเส้นอรรถลักษณะจะได้ค่าระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำหรือค่าอนุพันธ์ดังนี้

$$C_\theta = d\theta/dh = -(\theta_m - \theta_r) (\alpha^n m n) [1 + (\alpha h)^n]^{-(m+1)} h^{(n-1)} \quad (2)$$

ระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (C_θ) ตามสมการข้างต้นนี้ แสดงให้เห็นชัดว่ามีค่าไม่คงที่ ตลอดช่วงของน้ำในดินจากค่าอิ่มตัวถึงค่าพลังงาน -1.5 เมกะปาสกาล คือการปลดปล่อยน้ำจากดินที่พลังงานของน้ำระดับต่าง ๆ จะยากง่ายผิดกัน ตามวิธีการทางคณิตศาสตร์ เมื่อหาค่าอนุพันธ์ของสมการที่ 2 อีกครั้งหนึ่งและให้เท่ากับศูนย์ จะได้ค่า C_θ สูงสุด ซึ่งจะเกิดขึ้นที่ค่าพลังงานกำกับกอนดินเท่ากับ

$$h_{at C_{\theta max}} = -(m^{1/n})/\alpha \quad (3)$$

สมการที่ 3 ทำให้สามารถกำหนดได้ว่า น้ำในดินที่พลังงานกำกับกอนดินใดจะมีระดับความเป็นประโยชน์สูงสุด คือจะถูกปลดปล่อยออกมาจำนวนมากที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานกำกับกอนดินไปหนึ่งหน่วย

ความจุน้ำสนาม (field capacity)

บทความวิชาการเรื่องความจุน้ำสนาม (Cas-sel and Nielsen, 1986) ได้อธิบายโดยละเอียดว่า ความจุน้ำสนามนี้ได้นิยามขึ้นเมื่อ 60 ปีมาแล้ว คือตั้งแต่ปี ค.ศ. 1931 (Veihmeyer and Hendrick-son, 1931) มีความหมายว่าเป็น “ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในดินหลังจากที่น้ำส่วนเกินภายใต้แรงดึงดูดของโลก

ได้ระบายออกไปแล้ว และอัตราการเคลื่อนที่ลงของน้ำในดินได้ลดลงเป็นอย่างมาก” ทั้งนี้โดยมีจุดประสงค์ที่จะกำหนดเป็นค่าพิคกบนของความเป็นประโยชน์ต่อพืชของน้ำในดิน และในเขตชลประทานต้องการจะส่งเสริมไม่ให้เกษตรกรให้น้ำจนฟุ่มเฟือย โดยให้ตระหนักว่าดินสามารถอุ้มน้ำไว้ได้จึงไม่ต้องให้น้ำบ่อย ในการกำหนดค่าความจุน้ำสนามนี้มีข้อสมมุติ

เบื้องหลังอยู่หลายประการ ได้แก่ว่า ดินที่ศึกษานี้เป็นดินที่ลึกและน้ำระบายผ่านได้ ไม่มีการระเหยน้ำจากผิวดิน และไม่มีน้ำใต้ดินหรือชั้นดินตื้นที่ซึมน้ำได้ช้าขวางอยู่ในหน้าตัดดิน ในสภาพดินเช่นนี้เมื่อให้น้ำแก่ดินที่ระบายน้ำได้ดีจนเปียกชั้นรากพืช น้ำส่วนเกินจะระบายออกจากชั้นรากพืช หลังจากหยุดให้น้ำ อัตราระบายน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็วจนเกือบหยุด ซึ่งมักจะกล่าวกันว่าภายในเวลา 24-72 ชั่วโมง ปัญหาของค่านิยามของความจุน้ำในสนาม จะอยู่ที่ไม่มีการกำหนดว่าอัตราการระบายน้ำที่ถือว่าเกือบหยุดนั้นมีข้อกำหนดว่าอย่างไร และดินจำนวนมากไม่ได้มีสภาพตรงกับสภาพดินตามข้อสมมุติข้างต้นอีกด้วย ปทานุกรมศัพท์ทางปฐพีศาสตร์ (Soil Science Society of America, 1984) ได้ให้ค่านิยามของความจุน้ำในสนาม (*in situ* field capacity) ว่าหมายถึง “ปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่ในดิน 2-3 วันหลังจากให้ดินเปียกและการระบายน้ำเกือบหยุดแล้ว” ซึ่งพิจารณาแล้วไม่ได้เป็นการจำกัดความที่รัดกุมขึ้นแต่ประการใด และในปัจจุบันก็ยังไม่ได้มีการกำหนดค่าพิสัยของความชื้นของน้ำที่ตกลงกันแน่นอน

การวัดค่าปริมาณน้ำในดินที่ความจุน้ำในสนามในสภาพสนามเป็นวิธีการวัดโดยตรง ซึ่งไม่มีวิธีการประเมินแบบอื่นที่สามารถใช้วัดค่าเทียบแทนได้อย่างแท้จริง ในอดีตได้มีความพยายามใช้วิธีการที่มีขั้นตอนอย่างง่ายกว่า ในการประเมินค่าความจุน้ำในสนามแทน เช่น การหาค่าสมมูลความชื้น (moisture equivalent) ด้วยการใช้เครื่องมือสร้างแรงหนึ่ศูนย์กลางในการเหวี่ยงน้ำออกจากดิน และ การใช้ค่าปริมาณน้ำที่ -0.033 เมกะปาสกาล (-1/3 บาร์) แทน ซึ่งค่าหลังนี้สืบเนื่องมาจากการศึกษาเมื่อ 30 ปีมาแล้ว (Jamison and Kroth, 1958) ในการประเมินค่าความจุน้ำในสนามของดินตัวอย่างจำนวนหนึ่งในครั้งนั้น พบว่าตรงกับค่าปริมาณน้ำในดินในช่วงพลังงานเท่ากับดินอื่น -0.01 ถึง

-0.1 เมกะปาสกาล แต่ผู้ศึกษาสรุปใช้ค่า -0.033 เมกะปาสกาลเป็นค่าตัวแทนของดินของตน ซึ่งค่านีกลายเป็นค่าที่ใช้ต่อกันมาโดยผู้ที่ไม่เข้าใจถึงค่านิยามของค่าความจุน้ำในสนามอย่างถูกต้องแท้ ในปัจจุบันเป็นที่ตระหนักว่าในดินเนื้อหยาบ อัตราการระบายน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อดินสูญเสียน้ำเพียงเล็กน้อย ดังนั้น ค่าความจุน้ำในสนามจะใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่พลังงานเท่ากับ -0.005 ถึง -0.01 เมกะปาสกาล ส่วนในดินเนื้อปานกลางมีค่าใกล้เคียงกับน้ำที่พลังงานเท่ากับ -0.01 ถึง -0.033 เมกะปาสกาล และในดินเนื้อละเอียด ซึ่งการระบายน้ำอาจจะเกิดติดต่อไปได้เป็นเวลานานกว่าจะลดลงจนเกือบหยุด ค่าความจุน้ำในสนามจึงอาจมีค่าใกล้เคียงกับน้ำที่พลังงานเท่ากับ -0.033 ถึง -0.05 เมกะปาสกาล

ข้อเสนอสำหรับค่าพิสัยของความชื้นของน้ำ

ตามค่านิยามของความจุน้ำในสนามซึ่งตั้งมาเกือบ 60 ปีแล้วนี้ จะเห็นได้ว่าเป็นค่านิยามที่ตั้งขึ้น เพื่อกำหนดค่าพิสัยสำหรับการชลประทานเป็นหลัก โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะไม่ให้มีการให้น้ำเกินเลยจนเสียเปล่า ข้อแม้หลักจึงอยู่ที่ปริมาณน้ำที่เหลือในดินหลังจากน้ำส่วนเกินระบายออกไปแล้ว ในเวลาเดียวกันยังไม่ครอบคลุมถึงหลักการว่าน้ำที่เหลืออยู่มีระดับความชื้นของน้ำที่ค่อนข้างน้อยเพียงใด และรากพืชมีอัตราการดูดใช้น้ำในระดับเท่าใด ทั้งนี้จะเป็นเพราะเมื่อ 60 ปีก่อนความเข้าใจเรื่องพลังงานของน้ำและการดูดใช้น้ำของพืชยังไม่เป็นที่เข้าใจกันดี

การให้น้ำแก่ดินนั้น ปริมาณน้ำในดินยังมีค่ามาก ระดับพลังงานเท่ากับดินอื่นของน้ำนั้นยังมีค่าสูง พืชจะใช้น้ำนั้นได้โดยง่าย ในที่นี้จึงใคร่ขอเสนอว่าพิสัยของความชื้นของน้ำที่ควรอยู่ตรงจุดขณะที่มีระดับความชื้นของน้ำ

สูงสุด (C_0 สูงสุด) โดยมีข้อแม้ว่าปริมาณน้ำในดินที่คำนวณมีสัดส่วนของปริมาณช่องอากาศไม่ต่ำกว่า 0.1 ของปริมาตรดินทั้งหมด เพื่อจะได้ไม่เกิดปัญหาการขาดอากาศ (Greenwood, 1975) และไม่มีอัตราการสูญเสียจากเขตรากพืชมากเกินไปจนเป็นการสิ้นเปลืองน้ำ ซึ่งหลักการพิจารณานี้ใครจะขอยกตัวอย่างชุดดินกำแพงแสนว่า ในการกำหนดค่าพิกัดบนของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน จะมีการพิจารณาค่าระดับความเป็นประโยชน์สูงสุด ค่าสัดส่วนช่องอากาศ ควบคู่กับค่าความจุน้ำสนามซึ่งวัดในสภาพสนามอย่างไร

อุปกรณ์และวิธีการ

บริเวณที่ศึกษาเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ดินที่ศึกษาจัดอยู่ในชุดดินกำแพงแสน (Ks, fine silty, mixed, Udic Haplustalfs) เก็บตัวอย่างดินเพื่อวัดเส้นอัตราลักษณะของน้ำจากผิวดินลงไปทุก ๆ ระยะ 0.10 เมตร จนถึงระดับความลึก 1.00 ม. ซึ่งจะเก็บทั้งตัวอย่างที่รักษาโครงสร้าง (บรรจุในกระบอกพลาสติกพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.051 ม. สูง 0.06 ม.) และตัวอย่างไม่รักษาโครงสร้างเพื่อฝังแท่งบรอนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. สำหรับการวัดเส้นอัตราลักษณะใช้ตัวอย่างดินรักษาโครงสร้างในช่วงพลังงานก่อกับกอนดินจากอิมตัวถึง -0.033 เมกะปาสกาล สำหรับช่วงพลังงาน -0.05 ถึง -1.5 เมกะปาสกาลใช้ตัวอย่างดินร่อนผ่านตะแกรง (Klute, 1986)

การวัดค่าความจุน้ำสนาม ทำในสนาม (ซึ่งไม่พบน้ำใต้ดินที่ระดับความลึกจากผิวดิน 2.00 ม.) โดยพุดินเป็นแนวสูง 0.50 ม. เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.50×1.50 ม.² ที่กึ่งกลางคันดินได้เจาะรูขนาดเล็กในดิน เพื่อฝังเครื่องมือวัดความเครียดของน้ำในดิน (tensiometer) ที่ระดับความลึกจากผิวดินทุก ๆ 0.05 ม. ลงไปจนถึงระยะ

1.00 ม. โดยเรียงต่อกันเป็นครึ่งวงกลม คอสาขายางชนิดแข็งเข้ากับเครื่องวัดความเครียดจนถึงอ่างปรอทคำนวณค่าพลังงานก่อกับกอนดินของน้ำจากความสูงของลำปรอท เริ่มทำการทดลองโดยเติมน้ำในคันดินเป็นปริมาณน้ำสูง 0.30 ม. ปล่อน้ำไหลเข้าดินจนหมด ปิดผิวดินด้วยผ้าพลาสติก แต่เนื่องจากดินดั้งเดิมแห้งมาก และปรากฏมีฝนตกหนัก (60.8 มม.) หลังจากนั้นไม่นาน จึงให้น้ำซ้ำใหม่สองวันหลังจากนั้น โดยได้เติมน้ำเข้าไปอีก 0.30 ม. เพื่อให้แน่ใจว่าหน้าตัดดินจะเปียกเป็นชั้นลึกพอ แล้วปิดผิวดินด้วยผ้าพลาสติกเช่นเดิม เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำซึมลงดินหมด และจดบันทึกค่าพลังงานก่อกับกอนดินของน้ำในดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 8 วัน (กุ่มท, 2529) อ่านค่าปริมาณน้ำในหน้าตัดดินจากค่าพลังงานก่อกับกอนดิน โดยใช้ความสัมพันธ์จากเส้นอัตราลักษณะของดินแต่ละชั้นที่ศึกษาไว้

ผลและวิจารณ์

เส้นอัตราลักษณะของน้ำในดินชั้นต่าง ๆ จากผิวดินถึง 1.00 ม. ได้จากการเข้ารูปตามสมการที่ 1 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (van Genuchten, 1987) ซึ่งใช้ข้อมูลเป็นค่าปริมาณน้ำก่อกับพลังงานก่อกับกอนดิน ผลการคำนวณจะให้ค่าคงตัวต่าง ๆ คือ θ_m , θ_r , α , n และ m ดังแสดงใน Table 1 และรูปรวมทั้งหน้าตัดดินใน Figure 1 ปริมาณน้ำขณะดินอิมตัวด้วยน้ำ มีค่าในช่วง 0.40-0.60 ม.³ม.⁻³ ค่าคงตัวที่ได้จากเส้นอัตราลักษณะนี้นำไปคำนวณหาระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำ ตามรูปสมการที่ 2 จะได้ผลดังแสดงใน Figure 2 ซึ่งจะเห็นว่าในทุกชั้นดิน ค่าระดับความเป็นประโยชน์สูงสุดจะอยู่ที่ค่าพลังงานก่อกับกอนดินใกล้ศูนย์ (ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ -0.00017 เมกะปาสกาล) ก็ขอขณะดินเกือบอิมตัวด้วยน้ำ และระดับความเป็นประโยชน์จะตกลงอย่างรวดเร็วมาก โดยขณะที่พลังงานเท่ากัน

Table 1 Soil water retention parameters of Kamphaeng Saen soil series and the matric potential corresponding to the maximum value of differential water capacity.

Layer (m)	θ_r — (m ³ m ⁻³) —	θ_m	α (10 ² Pa) ⁻¹	n	m	h at $C_{\theta, \max}$ (MPa)	r ²
0 - .10	0.04066	0.60195	0.04343	1.25974	0.20619	-6.57 x 10 ⁻⁴	0.9899
.10 - .20	0.00000	0.49009	0.10821	1.15140	0.13149	-1.59 x 10 ⁻⁴	0.9864
.20 - .30	0.02761	0.56975	0.26106	1.16671	0.14289	-7.20 x 10 ⁻⁵	0.9823
.30 - .40	0.05633	0.51962	0.29129	1.14876	0.12950	-5.80 x 10 ⁻⁵	0.9832
.40 - .50	0.00000	0.45920	0.16149	1.09717	0.08856	-6.80 x 10 ⁻⁵	0.8747
.50 - .60	0.00413	0.40047	0.02490	1.10276	0.09318	-4.67 x 10 ⁻⁴	0.9638
.60 - .70	0.04143	0.44960	0.14368	1.08698	0.08002	-6.80 x 10 ⁻⁵	0.9400
.70 - .80	0.00000	0.56997	1.32832	1.07559	0.07028	-6.00 x 10 ⁻⁶	0.9698
.80 - .90	0.20030	0.46021	0.26306	1.20437	0.16969	-8.70 x 10 ⁻⁵	0.9364
.90 - 1.00	0.13475	0.51987	2.70360	1.12041	0.10747	-5.80 x 10 ⁻⁵	0.9802
Global*	0.00000	0.50410	0.27464	1.10642	0.09618		

* Global average using all data.

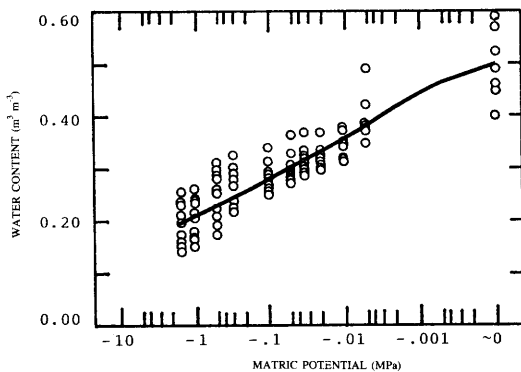


Figure 1 Soil water retention function of Kamphaeng Saen soil series; circles represent values of each 0.10 m soil layer and the solid line is the overall average value of the 1.00 m profile.

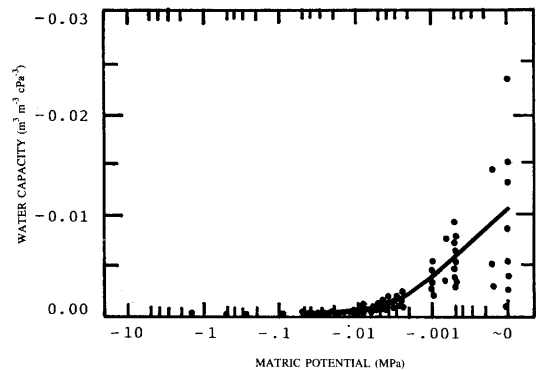


Figure 2 Differential water capacity of Kamphaeng Saen soil series at different matric potentials; the solid line represents the overall average of the 1.00 m soil profile.

-0.02 เมกะปาสกาล น้ำจะมีระดับความเป็นประโยชน์ไม่แตกต่างนักจากค่าของน้ำที่พลังงาน -1.5 เมกะปาสกาล หรือน้ำที่จุดพิกัดล่างของความเป็นประโยชน์ แสดงว่าชุดดินกำแพงแสนนี้ น้ำจะมีประโยชน์สูงขณะที่ดินแฉะค่อนข้างมาก

ถึงอัมตว ในช่วงความชื้นนี้ดินจะปลดปล่อยน้ำออกมาได้เป็นจำนวนมาก ก่อนที่ค่าพลังงานกำกับก่อนดินจะลดลงอย่างชัดเจน พืชจึงได้นำไปใช้โดยง่าย

จากการศึกษาเส้นอัตลักษณ์ ซึ่งในขั้นแรกนี้จะได้จากการวิเคราะห์ระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำว่า หากยังรักษาปริมาณน้ำในดินให้สูงถึงเกือบอิ่มตัว จะยังทำให้การใช้น้ำของพืชเกิดได้ง่ายที่สุด ข้อพิจารณาต่อไปคือปัญหาการขาดอากาศจากข้อมูลที่ได้พบว่าที่ค่าพลังงานเท่ากับกอนดิน -0.005 เมกะปาสคาล ปริมาณน้ำที่พลังงานระดับนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.37-0.49 ม.³ม.⁻³ หรือค่าเฉลี่ยตลอดหน้าตัด 0-1.00 ม. เท่ากับ 0.39 ม.³ม.⁻³ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำขณะดินอิ่มตัวที่เท่ากับ 0.50 ม.³ม.⁻³ จะคำนวณได้ว่าสัดส่วนช่องอากาศเฉลี่ยตลอดหน้าตัดดินมีค่า 0.11 ม.³ม.⁻³ (ค่าสัดส่วนอิ่มตัวด้วยน้ำเท่ากับ 78 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งอยู่ประมาณที่ขีดจำกัดที่จะไม่มีปัญหาการขาดอากาศสำหรับพืชพоди เพราะฉะนั้นจึงประเมินในขั้นนี้ได้ว่า ปริมาณน้ำในดินที่ระดับพลังงานเท่ากับกอนดินเท่ากับ -0.005 เมกะปาสคาล นั้น แม้จะไม่ได้มีระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำสูงสุด แต่มีค่าสูงมารองลงมาโดยที่ในขณะเดียวกันไม่มีปัญหาการขาดอากาศ จึงควรรักษาปริมาณน้ำในดินให้อยู่ที่ระดับพลังงานประมาณ -0.005 เมกะปาสคาล

ขั้นต่อไปจะต้องพิจารณาว่าถ้ารักษาปริมาณน้ำไว้ที่ -0.005 เมกะปาสคาล น้ำในดินที่ระดับนี้จะคงอยู่ในดินนานพอหรือไม่ ซึ่งจะพิจารณาได้จากหน้าตัดค่าพลังงานเท่ากับกอนดินที่ได้จากการทดลองให้น้ำซึมผ่านหน้าตัดดิน Figure 3 จะแสดงค่าพลังงานเท่ากับกอนดินของน้ำในหน้าตัดดินลึก 1.00 ม. เป็นเวลาถึง 8 วัน หลังจากให้น้ำซึมผ่านดินตามวิธีการวัดค่าความจุน้ำสนาม เนื่องจากการให้น้ำสองครั้ง พบว่าการให้น้ำครั้งแรกทำให้หน้าตัดดินชื้นขึ้น โดยที่ปริมาณน้ำได้เคลื่อนลงไปถึงที่ระยะ 1.00 ม. ดังนั้นเส้นพลังงานเท่ากับกอนดินที่เวลา = 0 จึงแสดงค่าพลังงานเริ่มต้นหลังจากเสร็จสิ้นการให้น้ำครั้งที่สอง ซึ่งเป็น 2 วันหลัง

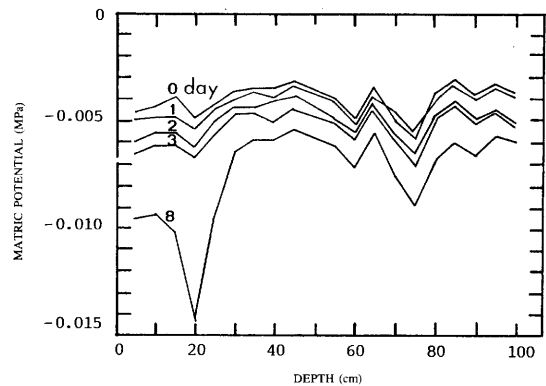


Figure 3 Matrix potential profile as a function of time after internal drainage is initiated. The numbers on the line indicate time in days, 0 day is when all the 0.30 m of water applied on the soil surface has infiltrated into the soil.

จากการให้น้ำครั้งแรกแก่หน้าตัดดินที่แห้งมาก ค่าพลังงานที่เวลา = 0 แสดงให้เห็นถึงชั้นดินที่ค่อนข้างเปียก คือมีค่าพลังงานประมาณ -0.0030 ถึง -0.0059 เมกะปาสคาล หรือค่าเฉลี่ยตลอดหน้าตัดเท่ากับ -0.0040 เมกะปาสคาล (ในสภาพสนามจริง ๆ นั้น เป็นการยากมากที่จะทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำเต็มที่) หลังจากให้น้ำแล้วหนึ่งวันค่าพลังงานเท่ากับกอนดินลดลงจากเดิมเล็กน้อย พลังงานเท่ากับกอนดินของน้ำในดินยังคงมีค่าอยู่ในช่วง -0.0031 ถึง -0.0056 เมกะปาสคาล คือมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ -0.0042 เมกะปาสคาล และหลังจากให้น้ำแล้ว 2 วัน ค่าพลังงานจะอยู่ในช่วง -0.0037 ถึง -0.0065 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ -0.0050 เมกะปาสคาล และที่ 3 วันหลังจากให้น้ำ พลังงานเท่ากับกอนดินเฉลี่ยทั้งหน้าตัดมีค่า -0.0053 เมกะปาสคาล แม้เมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 8 วัน ถ้าไม่มีการใช้น้ำของพืช และไม่มีการระเหยน้ำจากดิน น้ำในดินจะมีค่าพลังงานลดลงอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น คือที่ระยะตั้งแต่ 0.30 ม. ลงไป พลังงานของน้ำในดินจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ -0.0070 เมกะปาสคาล ส่วนของชั้นดินบนระยะ 0-0.30 ม. นั้น ค่าพลังงาน

กำกับกับดินมีค่าต่ำกว่าดินชั้นล่าง คืออยู่ที่ประมาณ -0.0140 เมกะปาสกาล ค่าเฉลี่ยของพลังงานกำกับกับดินตลอดหน้าตัดในวันที่ 8 เท่ากับ -0.0074 เมกะปาสกาล

ดังนั้น จึงเห็นได้ชัดเจนจากการวัดค่าพลังงานกำกับกับดินที่ความจุน้ำสนามของชุดดินกำแพงแสนว่า หากใช้การระบายน้ำที่ 2-3 วันเป็นเกณฑ์ จะได้ค่าปริมาณน้ำอยู่ที่พลังงานกำกับกับดิน -0.005 เมกะปาสกาล นอกจากนี้ยังแสดงว่าหลังจากให้น้ำแก่ดินแล้ว หากไม่มีการดูดใช้น้ำของพืช และไม่มีการระเหยน้ำเลย การสูญเสียน้ำจากดินโดยการระบายน้ำเพียงอย่างเดียวจะมีค่าค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ ในสภาพสนามที่แท้จริง การดูดใช้น้ำของรากพืช และการระเหยน้ำจะทำให้ดินรอบรากพืชและผิวดินแห้งลง ซึ่งจะทำให้มีค่าพลังงานกำกับกับดินของน้ำบริเวณดังกล่าวลดลง เป็นการสร้างความต่างศักย์ของค่าพลังงานของน้ำ ทำให้น้ำรอบด้านเคลื่อนที่เข้าไปหารากพืช และน้ำด้านล่างเคลื่อนขึ้นไปยังดินชั้นบน อันจะเป็นการลดอัตราการสูญเสียน้ำจากการระบายออกจากชั้นรากพืชให้น้อยลงไปได้

เพื่อให้เห็นชัดเจนถึงอัตราการระบายน้ำจากเขตรากพืช จะต้องคำนวณอัตราไหลของน้ำ (darcian flux) ที่ระดับล่างของชั้นรากพืช ขั้นตอนการคำนวณนั้น คือต้องคำนวณค่าปริมาณน้ำเก็บกัก (soil water storage) ของชั้นดินก่อน ซึ่งเท่ากับปริมาณน้ำสะสมของดินแต่ละชั้นจนไปถึงความลึกของชั้นรากพืชที่สนใจ ($S = \sum_i \theta_i \Delta Z_i$ $i = 1, 2, \dots, n$ สิ้นสุดชั้นรากพืช) ปริมาณน้ำเก็บกักที่คำนวณได้สำหรับตัวอย่างชั้นรากพืช 3 ความลึก คือ 0.55 0.75 และ 1.00 ม. ได้แสดงใน Figure 4 โดยที่ผิวดินมีการคลุมปิดไว้ไม่ให้มีการสูญเสีย น้ำจากผิวดินบน เพราะฉะนั้น อัตราการไหลของน้ำที่ระบายออกจากชั้นรากพืชจะเท่ากับความแตกต่างของปริมาณน้ำเก็บกักที่สองเวลาต่างกัน ($-q =$

$\Delta S / \Delta t$) ในการวัดนี้ ปรากฏว่าก่อนจะวัดสองวันได้มีฝนตกหนักทั่วบริเวณ (60.8 มม.) ทั้งการให้น้ำได้ให้บนพื้นที่กว้าง 1.50×1.50 m^2 จึงเป็นการลดการเคลื่อนที่ของน้ำด้านข้างได้เป็นอย่างมาก ทำให้สามารถประเมินค่าอัตราไหลของน้ำ โดยคำนึงถึงเฉพาะแนวตั้งเพียงมิติเดียวได้ อัตราไหลของน้ำที่คำนวณได้ เป็นดังแสดงใน Figure 5 อัตราการไหลที่ได้แสดงค่าสูงสุดในวันแรกหลังจากให้น้ำ แล้วค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลานานขึ้น ภายในช่วง 2 วันแรก อัตราการระบายน้ำออกจากชั้นรากพืชมีค่าอยู่ในช่วง 3-4 มม./วัน โดยที่เมื่อหน้าตัดดินยิ่งลึกขึ้นอัตราการระบายน้ำออกจะยิ่งสูง (เพราะปริมาณน้ำเก็บกักตลอดหน้าตัดดินสูงขึ้น) สัม-

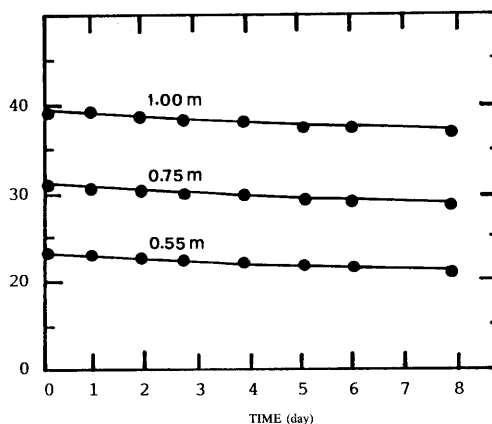


Figure 4 Soil water storage as a function of time after internal drainage is initiated; calculation is done for 3 root zone depths.

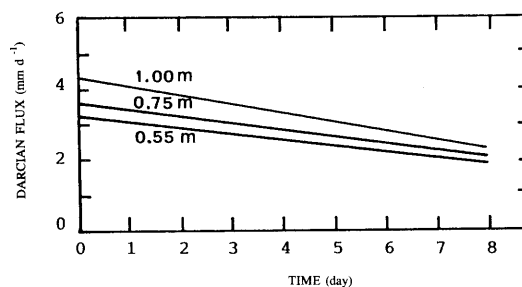


Figure 5 Rate of deep drainage loss at the lower boundary of root zone of different depths. The numbers indicate depth of root zone.

ประสิทธิภาพการนำน้ำขณะอิ่มตัวของชุดดินกำแพงแสนนี้มีค่าเฉลี่ยตลอดหน้าตัดดินลึก 1.00 ม. เท่ากับ 5.07×10^{-6} ม./วินาที (18.3 มม./ชม.) ซึ่งจัดว่าเป็นดินที่มีสัมประสิทธิ์การนำน้ำขณะดินอิ่มตัวที่ค่อนข้างเร็ว แต่สัมประสิทธิ์การนำน้ำนี้จะตกลงเร็วมากเมื่อปริมาณน้ำในดินลดต่ำลงจากสภาพอิ่มตัว (กุญฑ, 2529) อัตราการระบายน้ำออกจากชั้นดินในอัตรา 3-4 มม./วัน นี้เทียบแล้วจะสูงกว่าของดินเหนียว ซึ่งมักจะอนุโลมว่าอัตราการสูญเสียจากชั้นรากพืชในกรณีดินน้ำขัง (ทำน) มีค่า 1 มม./วัน ทั้งนี้เพราะดินเหนียวทำนาส่วนใหญ่ (ในเขตที่ราบภาคกลาง) มีสัมประสิทธิ์การนำน้ำขณะอิ่มตัวเพียง 0.43 มม./ชม. (สุนทร, 2532) ทั้งการที่ดินชั้นบนในการทำเทือก (puddling) เป็นการลดอัตราการสูญเสียน้ำลงได้มาก เพราะฉะนั้น อัตราการระบายน้ำออกจากชั้น 1.00 ม. สำหรับชุดดินกำแพงแสนดังกล่าว จึงจัดว่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ และเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ให้ (300 มม.) จะเป็นการสูญเสียสูงสุดประมาณ 1% โดยปริมาตรต่อวัน อัตราการไหลนี้จะลดลงเหลือ 2 มม./วัน ในวันที่ 8 หลังจากให้น้ำ อย่างไรก็ตาม อัตราการไหล 3-4 มม./วัน นี้ส่วนใหญ่จะต่ำกว่า อัตราศักยภาพการคายระเหยน้ำของพืชในสภาพอากาศของบริเวณกำแพงแสน เมื่อคิดจากค่าภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนตามวิธีของเพนแมน (Ying-jajaval, 1988) ซึ่งมีค่าในช่วง 3.50-5.88 หรือเฉลี่ย 4.51 มม./วัน เพราะฉะนั้น การคายระเหยน้ำของพืชจะมีส่วนอย่างมากในการลดปริมาณน้ำในดินได้เร็วพอ ที่จะต้านการสูญเสียจากขบวนการระบายน้ำออกจากเขตรากพืช จนอาจกล่าวได้ว่า ในกรณีของชุดดินกำแพงแสนนี้สามารถให้น้ำแก่ดินในการรักษาความชื้นในดินให้สูงไว้เพื่อให้พืชใช้ได้ง่าย โดยจะมีโอกาสสูญเสียจากการระบายของน้ำผ่านเขตรากพืชค่อนข้างต่ำ ข้อต้องระวังคือความเพียงพอของการถ่ายเทอากาศเป็นสำคัญ

จากการวัดค่าความจุน้ำสนาม ควบคู่กับการพิจารณาระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำและค่าสัดส่วนปริมาตรของช่องอากาศในดิน ล้วนชี้บ่งว่า สำหรับชุดดินกำแพงแสนนี้ ค่าพิคคบนของความ เป็นประโยชน์ ควรกำหนดเป็นค่าปริมาณน้ำในดินที่ระดับพลังงานเท่ากับก่อนดินเท่ากับ -0.005 เมกะปาสกาล ซึ่งตรงกับค่าปริมาณน้ำในช่วง 0.35-0.49 ม.³ม.⁻³ หรือค่าเฉลี่ยตลอดหน้าตัดดิน 1.00 ม. เท่ากับ 0.39 ม.³ม.⁻³

เมื่อกำหนดให้พิคคบนเป็นค่าปริมาณน้ำที่ -0.005 เมกะปาสกาล และหากให้ค่าพิคคล่างอยู่ที่ค่าปริมาณน้ำที่ -1.5 เมกะปาสกาล จะพบว่า ชุดดินกำแพงแสนนี้จะมีค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 0.12 ถึง 0.35 ม.³ม.⁻³ หรือค่าเฉลี่ย 0.195 ม.³ม.⁻³ คือเป็นปริมาณน้ำ 195 มม. สำหรับดินลึก 1.00 ม. และเป็นปริมาณน้ำ 118 มม. สำหรับดินลึก 0.50 ม. ค่าปริมาณน้ำที่ระดับพิคคบน พิคคล่าง และค่าความจุน้ำสนามที่เป็นประโยชน์ ได้แสดงใน Table 2

การวิเคราะห์ระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำยังให้ข้อสังเกตเพิ่มเติมว่า น้ำในชุดดินกำแพงแสนนี้ มีระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำตกลงรวดเร็วเมื่อพลังงานของน้ำในดินลดลง ในทุกชั้นดินพบว่าเมื่อน้ำมีค่าพลังงานเท่ากับก่อนดินเท่ากับ -0.02 เมกะปาสกาลนั้น ระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำจะตกลงถึงค่าต่ำมาก จนไม่แตกต่างกันจากน้ำที่พิคคล่างของความ เป็นประโยชน์ ซึ่งหมายความว่าแม้จะถือว่าพืชสามารถสกัดใช้น้ำได้ ตั้งแต่พิคคบนถึงพิคคล่าง แต่น้ำในช่วงพลังงาน -0.02 ถึง -1.5 เมกะปาสกาล เป็นน้ำที่ปลดปล่อยได้ยาก พืชจึงน่าจะใช้ประโยชน์ได้ยากด้วย ส่วนน้ำจากช่วงพิคคบน (ในกรณีนี้ที่พลังงาน -0.005 เมกะปาสกาล) ถึงที่พลังงาน -0.02 เมกะปาสกาล เป็นน้ำที่ใช้ประโยชน์ได้ง่าย (readily available water) ในกรณีการจัดการน้ำชลประทานที่มีปริมาณ

Table 2 Water content at upper and lower limits and available water capacity (AWC) of Kamphaeng Saen soil series.

Soil depth (m)	Vol water content at matric potential (MPa) of			AWC ¹	Readily AW ²
	-0.005 (θ_{UL})	-0.02	-1.5(θ_{LL})		
	(m ³ m ⁻³)			(m ³ m ⁻³)	
0 - .10	0.4894	0.3658	0.1372	0.3522	0.1236
.10 - .20	0.3816	0.3043	0.1589	0.2227	0.0773
.20 - .30	0.3876	0.2966	0.1440	0.2436	0.0910
.30 - .40	0.3687	0.3072	0.1731	0.1956	0.0615
.40 - .50	0.3662	0.3165	0.1916	0.1746	0.0497
.50 - .60	0.3820	0.3277	0.2085	0.1735	0.0543
.60 - .70	0.3863	0.3381	0.2300	0.1563	0.0482
.70 - .80	0.4192	0.3680	0.2525	0.1667	0.0512
.80 - .90	0.3700	0.3004	0.2289	0.1411	0.0696
.90 - 1.00	0.3468	0.3124	0.2254	0.1214	0.0344
Average	0.3898	0.3237	0.1950	0.1948	0.0661

¹ AWC = (θ_v at -0.005 MPa) - (θ_v at -1.5 MPa).

² Readily AW = (θ_v at -0.005 MPa) - (θ_v at -0.02 MPa).

น้ำเพียงพอ จนสามารถให้น้ำแก่ดินให้อยู่ที่ระดับที่พืชใช้ได้ง่ายยอได้เสมอนั้น สำหรับชุดดินกำแพงแสน ควรรักษาปริมาณน้ำในดินให้อยู่ในช่วงพลังงานก่อกับกอนดิน -0.005 เมกะปาสกาล หรือปริมาณน้ำ 0.39 ม.³ม.⁻³โดยเฉลี่ย (พิกัดบน) และไม่ควรปล่อยให้ปริมาณน้ำในดินลดลงจนพลังงานก่อกับกอนดินต่ำกว่า -0.02 เมกะปาสกาล (พิกัดล่างของการชลประทาน) สำหรับที่พลังงานก่อกับกอนดิน -0.02 เมกะปาสกาล จะเป็นปริมาณน้ำเฉลี่ยตลอดหน้าตัด = 0.3237 ม.³ม.⁻³ ดังนั้น ความจุน้ำส่วนที่ใช้ได้ง่าย คือ ค่าความแตกต่างของปริมาณน้ำจากค่าพิกัดบน ถึงค่าพลังงาน -0.02 เมกะปาสกาลนี้ มีค่าเฉลี่ยตลอดหน้าตัด = 0.0681 ม.³ม.⁻³ หรือคิดเป็นปริมาณน้ำ 68 มม. ในดินลึก 1.00 ม. น้ำที่เป็นประโยชน์ส่วนที่ใช้ได้ง่ายนี้จะคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 1/3 ของค่าความจุน้ำ

ที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดของดิน ซึ่งหมายความว่า ในด้านจัดการชลประทานแล้ว ดินจะปลดปล่อยน้ำให้พืชใช้ได้ง่ายคิดเป็น 1/3 ของค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ของดิน หากปลูกพืชที่ต้องการให้ได้ผลผลิตสูงสุด จึงควรจัดการชลประทานโดยไม่ให้ปริมาณน้ำในดินลดลงไปต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ค่าพลังงานก่อกับกอนดินเท่ากับ -0.02 เมกะปาสกาล

ดังนั้นสำหรับชุดดินกำแพงแสน ในด้านการจัดการน้ำจึงควรรักษาความชื้นในดินให้อยู่ในช่วงพลังงานก่อกับกอนดิน -0.005 เมกะปาสกาล (พิกัดบนของความเป็นประโยชน์ของน้ำ) ถึง -0.02 เมกะปาสกาล (พิกัดล่างของการชลประทาน) ซึ่งสำหรับพืชที่มีรากลึก 0.50 ม. จะเป็นปริมาณน้ำให้พืชได้ใช้ 40 มม. และสำหรับรากพืชลึก 1.00 เมตร จะเป็นปริมาณน้ำให้พืชได้ใช้ 66 มม.

สรุป

การพิจารณาระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำ ควบคู่กับค่าสัดส่วนปริมาตรของช่องอากาศและอัตราการระบายน้ำออกจากชั้นรากพืช ทำให้สามารถกำหนดพิสัยของความเป็นประโยชน์ต่อพืชของน้ำในชุดดินกำแพงแสน ว่าเป็นปริมาณน้ำในขณะที่มีค่าพลังงานเท่ากับก่อนดินเท่ากับ -0.005 เมกะปาสกาล สำหรับชุดดินอื่นๆ การศึกษาเส้นอัตราจำกัด จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เข้าใจพฤติกรรมความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน คือ ทำให้เห็นว่าน้ำในดินที่จุดพลังงานเท่ากับก่อนดินเท่าไร จะเป็นน้ำที่ดินจะปลดปล่อยออกมาได้ง่ายที่สุด และระดับการปลดปล่อยน้ำนี้จะตกลงแบบรวดเร็วหรือค่อย ๆ ลดลง ชุดดินหลักของประเทศไทยส่วนใหญ่ซึ่งมีเนื้อดินตั้งแต่หยาบถึงละเอียดพบว่า มีระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำสูงสุดที่จุดใกล้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และระดับความเป็นประโยชน์จะตกลงรวดเร็วจนทำให้ช่วงของน้ำที่เป็นประโยชน์ใช้ง่ายมีช่วงแคบคือ พืชจะใช้น้ำในดินได้ง่าย เฉพาะเมื่อดินมีปริมาณน้ำในดินค่อนข้างสูง ดินที่มีระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำตกลงรวดเร็ว จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำที่ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อดินสูญเสียไปด้วยเช่นกัน ทำให้อัตราการสูญเสียน้ำจากการระบายพื้นเขตรากพืชมีค่าต่ำไปด้วย ดังนั้นสุนทรี (2532) จึงสรุปว่าควรใช้ค่าพิสัยของน้ำที่ค่าพลังงาน -0.005 เมกะปาสกาล สำหรับชุดดินหลักของภาคอีสานด้วย ซึ่งเป็นชุดดินที่มีเนื้อหยาบเป็นส่วนใหญ่ สำหรับดินเนื้อละเอียดมาก ซึ่งได้แก่ชุดดินนาในที่ราบภาคกลาง (เช่นชุดดินบางกอก บางเลน ราชบุรี สระบุรี และ นครพนม) จะมีค่าระดับความเป็นประโยชน์สูงสุดที่ประมาณ -0.01 ถึง -0.04 เมกะปาสกาล และมีระดับความเป็นประโยชน์ตกลงแบบค่อยเป็นค่อยไปมากกว่า ชุดดินเหล่านี้จึงควรมีค่าพิสัยที่ระดับพลังงานต่ำกว่าของชุดดิน

กำแพงแสน และจะมีการถ่ายเทอากาศเป็นปัจจัยจำกัดที่สำคัญกว่าอัตราการสูญเสียน้ำจากการระบายออกจากเขตรากพืช ในการกำหนดพิสัยของความเป็นประโยชน์ของน้ำในชุดดินต่าง ๆ เหล่านี้ ควรจะได้ดำเนินไปในแนวเดียวกับที่เสนอในการศึกษานี้และผู้เขียนเห็นว่า ควรจะได้ยกเลิกการใช้ค่าพิสัยของความเป็นประโยชน์ของน้ำเป็นค่าปริมาณน้ำที่พลังงานเท่ากับก่อนดินเท่ากับ -0.033 เมกะปาสกาล สำหรับชุดดินของประเทศดังที่นิยมทำกันมา เพราะจะเป็นจริงเฉพาะในชุดดินที่มีเนื้อละเอียดมากเพียงไม่กี่ชุดดินเท่านั้น แต่จะเป็นการประเมินค่าที่ต่ำกว่าเป็นจริงสำหรับชุดดินอื่นๆ โดยเฉพาะดินเนื้อหยาบในภาคอีสาน

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณ์ สังขศิลา 2529. การหาค่าสัมประสิทธิ์การนำน้ำเพื่อใช้ศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 133 หน้า
- สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ 2532. การจัดการน้ำสำหรับพืชผัก รายงานสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่องการจัดการน้ำเพื่อการเกษตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ศูนย์ศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเกษตรกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น 19 หน้า
- Cassel, D.K. and D.R. Nielsen. 1986. Field capacity and available water capacity. pp. 902-926 In : A. Klute (ed.). Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No.9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Wisconsin.
- Greenwood, D.J. 1975. Measurement of soil aeration. pp. 261-272 In : Soil Physical Conditions and Crop Production. Tech. Bull No. 29. Min. Agric. Fish. Food. H.M.S.O., London.

- Jamison, V.C. and E.M. Kroth. 1958. Available moisture storage capacity in relation to textural composition and organic matter content of several Missouri soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 22 : 189-192.
- Klute, A. 1986. Water retention : Laboratory method. pp. 635-662. *In* : A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods.* Agronomy Monograph No.9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Wisconsin.
- McCoy, E.L., L. Boersma, M.J. Unga and S. Akwatanakul. 1984. Toward understanding soil water uptake by plant roots. *Soil Science* 137 : 69-77.
- Soil Science Society of America. 1984. *Glossary of Soil Science Terms.* Wisconsin. 38 p.
- van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Sci. Amer. J.* 44 : 892-898.
- van Genuchten, M.Th. 1987. RETC.F77. A FORTRAN computer program for the analysis of soil hydraulic properties. Version of April 1987. (Unpublished manual with program listings.)
- Veihmeyer, F.J. and A.H. Hendrickson. 1931. The moisture equivalent as a measure of field capacity of soils. *Soil Sci.* 32 : 181-194.
- Yingjajaval. S. 1988. *Crop environment. Thailand Regional Training and Outreach Programs Publication.* Kasetsart Univ., Kamphaeng Saen. 9 pp.