

บทที่ 3

การระเหย (EVAPORATION)

จุดมุ่งหมาย

เมื่อศึกษาบทนี้แล้ว นักศึกษาคควรมีความเข้าใจและสามารถที่จะ

1. บอกถึงความแตกต่างระหว่างการระเหยและการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชได้
2. อธิบายถึงกลไกหลักของการระเหยได้
3. อธิบายถึงการวัดการคายน้ำของพืชด้วยวิธีไลซิเมตริกได้
4. บอกความหมายของการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุดได้
5. กำหนดหาปริมาณของการระเหยด้วยวิธีของเพนแมนได้
6. กำหนดหาปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชด้วยวิธีของธอร์นเวตได้

1. การระเหยและการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช

ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติซึ่งทำให้น้ำเกิดระเหยโดยการเปลี่ยนสภาพเป็นไอ และเคลื่อนไหวยจากผิวน้ำและผิวดินขึ้นไปในอากาศ เรียกว่า “การระเหย” (evaporation)

น้ำในดินที่ระเหยขึ้นไปโดยผ่านทางพืชต่าง ๆ เรียกว่า “การคายน้ำของพืช” (transpiration) การคายน้ำของพืชจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความชื้นของดินและชนิดของพืชต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้ว ปริมาณการคายน้ำของพืชที่จำเป็นสำหรับทำให้พืชแห้ง 1 กรัม เรียกว่า “อัตราการคายน้ำของพืช” (transpiration rate) ซึ่งมีหน่วยเป็นกรัม

ในความเป็นจริงแล้วบนพื้นดินจะมีการระเหยอยู่ 2 อย่างที่เกิดขึ้นควบคู่กันไปอยู่ตลอดเวลา คือ การระเหยของน้ำจากผิวดินและการระเหยเนื่องจากการคายน้ำของพืช ซึ่งการระเหยทั้ง 2 อย่างนี้เมื่อรวมกันจะเรียกว่า “การระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช” (evapotranspiration) หรือ บางครั้งเรียกว่า “การคายระเหย”

ตัวการที่ทำให้เกิดการระเหยและการคายน้ำของพืชนั้น คือ อุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิของบรรยากาศ (ความชื้นสัมพัทธ์) ความชื้นในดิน ความเร็วของกระแสลม ความกดของบรรยากาศ แสงแดด และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับทุกอย่าง เนื่องจากสภาพแวดล้อมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา เช่น ตอนเช้าลมสงบแต่ตอนบ่ายลมจัด หรือ พื้นที่หนึ่งมีแสงแดดแต่อีกพื้นที่หนึ่งแดดร่ม เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของการระเหยอยู่ตลอดเวลาและจะไม่คงที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ทั้งหมด ด้วยเหตุนี้การหาการระเหยและการคายน้ำของพืชในพื้นที่บริเวณกว้างนั้นจะต้องกำหนดช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งในการวัดค่า ค่าที่ได้นั้นจึงเป็นการยากและมีการผิดพลาดได้ง่ายมาก การคายน้ำของพืชจึงต้องจำกัดโดยพืชชนิดนั้น ๆ และต้องขึ้นอยู่กับสภาพความชื้นของพื้นดินและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ทุกขณะ

2. กลไกหลักของการระเหย

ปริมาณสุทธิของการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำขึ้นไปในอากาศนั้นจะเกิดขึ้นได้ถ้ามีความชันของความดันไอน้ำ (vapour pressure gradient)¹ ระหว่างผิวน้ำที่มีการระเหยและอากาศ เช่น การระเหยจะเป็นศูนย์ถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% การระเหยจากผิวน้ำที่มีความชื้น

1. ความชันของความดันไอน้ำ หมายถึง ปริมาณความดันไอน้ำที่ไหลผ่านอากาศ (P_v) ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างระหว่างความชื้นของผิวน้ำของเหลวที่ได้รับความร้อน (h_1) กับความชื้นของผิวน้ำที่ตรงกันข้ามของของเหลวนั้น (h_2) ต่อหนึ่งหน่วยระยะทาง (d) $\therefore P_v \propto \frac{h_1 - h_2}{d}$

จะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับแหล่งของความร้อนแฝง (latent heat) ด้วย การที่จะทำให้ไอน้ำระเหยไป 1 กรัม นั้นต้องใช้ความร้อน 540 แคลอรีที่อุณหภูมิ 100°C และต้องใช้ความร้อนถึง 600 แคลอรีที่ 0°C ดังนั้นจะต้องมีแหล่งความร้อนจากภายนอกด้วย อันได้แก่รังสีดวงอาทิตย์และความร้อนจากบรรยากาศและจากดิน หรืออาจจะเลือกพิจารณาจากพลังงานจลน์ (kinetic energy)¹ ของโมเลกุลของน้ำก็ได้ซึ่งเมื่อเราทำให้อุณหภูมิของน้ำเย็นลงจนถึงจุดที่เท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศแล้วจะทำให้การระเหยหยุดลง โดยทั่ว ๆ ไปแล้วการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานหลักสำหรับการระเหย

ยังมีตัวการอีกสองอย่างที่มีผลต่อการระเหย คือ ลม และอุณหภูมิของผิวที่มีการระเหย ความเร็วลมจะมีผลต่ออัตราการระเหย (evaporation rate) เนื่องจากลมจะหอบเอาอากาศที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated air) ไปยังผิวหน้าที่มีการระเหย ภายในประมาณ 1 มม. ของผิวหน้าที่มีการระเหยนี้ การเคลื่อนที่ขึ้นไปของไอน้ำจะเป็นผลเนื่องจากแต่ละโมเลกุลของน้ำตามกฎการแพร่กระจายของโมเลกุล (molecular diffusion) แต่เมื่อเหนือชั้นเส้นแบ่งของผิวนี้ไปแล้วจะเป็นผลเนื่องจากการเคลื่อนที่ของลมที่ไหลวนเวียนอยู่ตามกฎของการแพร่กระจายของการไหลวน (eddy diffusion)- สำหรับอุณหภูมิของผิวที่มีการระเหยก็มีผลกระทบต่อการระเหยเช่นกันยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นพลังงานจลน์ยิ่งมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถหลุดออกไปจากผิวได้มากขึ้น ความเค็มของน้ำจะลดอัตราการระเหยของน้ำให้น้อยลงตามสัดส่วนของความเข้มข้นของสารละลายนั้น สำหรับน้ำทะเลนั้นอัตราการระเหยจะต่ำกว่าน้ำจืดประมาณ 2-3%

3. องค์ประกอบพืช

การคายน้ำของพืช (transpiration) หรือการสูญเสียน้ำโดยผ่านทางพืชต่าง ๆ นั้นจะเกิดขึ้นได้เมื่อความดันไอน้ำในอากาศมีน้อยกว่าความดันไอน้ำในเซลล์ของใบไม้ ประมาณ 95% ของการสูญเสียน้ำในแต่ละวันจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าไอน้ำจะถูกปล่อยผ่านออกมาทางรูเล็ก ๆ ในใบไม้หรือเรียกว่าปากใบ (stomata) ซึ่งจะเปิดออกกว้างเมื่อแสงแดดไปกระตุ้น การเคลื่อนย้ายของไอน้ำไปในบรรยากาศเป็นขบวนการเริ่มแรกในการเคลื่อนที่ของน้ำจากดินโดยทางพืช มันเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นเพียงแค่ว่าพืชเกี่ยวข้องเท่านั้น แต่มันก็เป็นหน้าที่ที่จำเป็นสำหรับชีวิตอันมีผลต่อการเคลื่อนย้ายภายในของธาตุอาหารและทำให้ผิวของใบไม้เย็นลง การคายน้ำของพืชนั้นจะมากกว่าความต้องการน้ำโดยตรงของพืชอยู่เป็นจำนวนไม่น้อย แม้กระนั้นก็ตามการเคลื่อนย้ายของ

1. กล่าวคือ ความร้อนหรืออุณหภูมิของวัตถุเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลในวัตถุนั้น

น้ำขึ้นไปในอากาศก็เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ การขาดพืชคลุมดินจะทำให้การระเหยยังคงเกิดขึ้นจากดินอยู่ตลอดเวลา

การกระทำร่วมกันระหว่างปริมาณความจุของความชื้นในดินและการพัฒนาของรากนั้นนับว่าเป็นตัวปัจจัยที่สลับซับซ้อน ถ้าน้ำในดินไม่ได้รับการเพิ่มขึ้นให้เท่าเดิมเป็นเวลานานหลาย ๆ สัปดาห์แล้ว พืชที่มีรากลึกโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นไม้จะปล่อยน้ำออกมามากกว่าพืชที่มีรากตื้น สิ่งที่น่าสนใจความคิดนี้ก็คือการศึกษาเรื่องบริเวณลุ่มน้ำ (catchment) ตามปกติแล้วบริเวณลุ่มน้ำที่มีหญ้าปกคลุมจะมีปริมาณน้ำไหลบ่ามากกว่าบริเวณลุ่มน้ำที่เต็มไปด้วยต้นไม้หรือเป็นป่าไม้ (woodland) อย่างไรก็ตามปัญหานี้ยังคงเป็นที่ถกเถียงและพิจารณากันอยู่

เราจำเป็นต้องมีการพิจารณาถึงความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของน้ำทั้งในดินและในเนื้อเยื่อของพืช ซึ่งอันนี้จะรวมถึงความตึงผิวของน้ำในดิน (soil-water tension) ความต้านทานของผนังเซลล์ในรากและใบไม้ที่มีต่อการลำเลียงน้ำ และความต้านทานของปากใบที่มีต่อการเคลื่อนย้ายไอน้ำ ความต้านทานภายใน (internal resistance) หรือที่เรียกว่าความต้านทานของปากใบ (stomatal resistance) ของใบเดี่ยวที่มีต่อการแพร่กระจายนั้นเป็นตัวควบคุมที่สำคัญของการคายน้ำของพืช และมันยังขึ้นอยู่กับขนาดและการกระจายตัวของปากใบด้วย สำหรับธัญญาพืช (crop) หรือพืชพรรณ (vegetation) ที่ปกคลุมไปด้วยชั้นของใบไม้หลาย ๆ ชั้นนั้น ความต้านทานของปากใบที่เกิดขึ้น (r_s) จะลดลงประมาณ 30% ของธัญญาพืชหรือพืชพรรณที่ปกคลุมด้วยใบไม้แต่ละใบ ทั้งนี้เนื่องจากการภายใต้การปกคลุมที่วันจะทำให้มีการระบายอากาศลดลง ความผันแปรตามฤดูกาลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ใบไม้นั้นจะมีผลต่อ r_s เหมือนอย่างเช่น ความผันแปรในแต่ละวัน ผลที่ได้รับต่อมาบางส่วนจากการเปิดและปิดของปากใบกับความเข้มของแสง และบางส่วนจากผลของการคายน้ำของพืชนั้นจะไปบีบคั้นและกระตุ้นปากใบเมื่อพืชดูน้ำขึ้นไปได้ช้ากว่าการคายน้ำของพืช ความต้านทานภายนอก (external resistance) ที่แยกออกจากกันหรือไม่เชื่อมกันของอากาศที่มีต่อการแพร่กระจายของโมเลกุล (r_a) จะเกิดขึ้นผ่านการดึงของแรงเสียดทานของอากาศที่อยู่เหนือใบ (ใบที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีอัตราการคายน้ำของพืชต่ำกว่า) และการแทรกแซงระหว่างการแพร่กระจายโมเลกุลของไอน้ำ การลดลงของ r_a อาจเนื่องมาจากความเร็วลมที่สูงขึ้นหรือผิวของพืชที่มีความขรุขระมากขึ้น อันเป็นเหตุทำให้เกิดความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นในการไหลของลมโดยทั่วไปแล้วแม้ว่าความต้านทานของปากใบ r_s จะมากกว่า r_a แต่การกระทำร่วมกันของ r_s และ r_a ก็เป็นตัวกำหนดที่สำคัญของอัตราการระเหย

ผลที่เกิดขึ้นยิ่งไปกว่านั้นของสิ่งปกคลุมของพืชก็คือว่ามันจะช่วยขวางกั้นหยาดน้ำฟ้า (precipitation) เอาไว้ก่อนที่จะตกถึงผิวดิน สิ่งปกคลุมของป่าอาจจะกั้นเอาไว้ได้ถึง 30% ของปริมาณ

หยาดน้ำฟ้าทั้งหมด (ต้นสนจะกั้นได้มากกว่าต้นไม้ชนิดผลัดใบ) และจะมีอัตราส่วนที่มากขึ้นสำหรับหยาดน้ำฟ้าที่ตกปรอย ๆ

จำนวนหยาดน้ำฟ้าที่ถึงพื้นดินโดยการไหลมาตามลำต้น (stem flow) นั้นจะผันแปรไปตามชนิดของต้นไม้ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะระเหยขึ้นไปก่อนที่จะถึงพื้นดิน นี่อาจจะพิจารณาได้เช่นเดียวกับการสูญเสียความชื้นมากเกินปกติในบริเวณที่มีสิ่งปกคลุมที่เป็นหญ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในหน้าหนาว อย่างไรก็ตามพลังงานรังสี (radiant energy) ที่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำที่ถูกขวางกั้นเอาไว้ไม่มีผลสำหรับการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชอื่น ๆ เพราะฉะนั้นการขวางกั้นหยาดน้ำฟ้าเอาไว้จึงไม่ใช่ปัญหาหนักเหมือนอย่างที่ปรากฏ

4. การคายน้ำของพืชและการวัดการคายน้ำของพืช

การคายน้ำนั้นเป็นกระบวนการสำคัญสำหรับชีวิตพืชเป็นกระบวนการทางชีววิทยาที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในอุทกวัฏจักร เมื่อรากต้นไม้ดูดความชื้นในดินแร่ธาตุที่เป็นอาหารก็จะเข้าไปสู่ลำต้นของต้นไม้พร้อมกับน้ำ การดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของพืชอันรวมไปถึงการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับ การได้น้ำอย่างสม่ำเสมอ ในการคายน้ำความชื้นจะถูกปล่อยออกมาสู่อากาศจากผิวใบและส่วนอื่น ๆ ของพืช การคายน้ำมีความสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิของพืช ถ้าไม่มีการคายน้ำพืชอาจตายเพราะความร้อน ความร้อนที่สูญเสียไปโดยการคายน้ำจะทำให้อุณหภูมิของพืชลดลงพืชจะควบคุมกระบวนการนี้ด้วยตัวของมันเองในขอบเขตจำกัด เวลาอากาศร้อนปากใบที่อยู่บนผิวใบจะเปิดกว้างขึ้นและช่วยให้คายน้ำได้ดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิของพืชลดลง แต่ถ้าอากาศเย็น ปากใบจะเปิดไม่กว้างนัก ดังนั้น การคายน้ำจึงเป็นทั้งกระบวนการทางฟิสิกส์และทางสรีรวิทยา และแตกต่างกันไปจากการระเหยธรรมดาจากพื้นผิวของสิ่งไม่มีชีวิต เนื่องจากเป็นกระบวนการที่พืชสามารถควบคุมได้ด้วยตัวของมันเองส่วนหนึ่ง

พืชชนิดต่าง ๆ จะคายน้ำออกมาในปริมาณที่แตกต่างกันมาก ในภูมิภาคแห้งแล้ง พืชที่ทนต่อความแห้งแล้งจะคายน้ำออกมาเป็นปริมาณค่อนข้างน้อย

การคาดคะเนความสามารถในการคายน้ำของพืชมักพิจารณาจากสิ่งที่เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของการคายน้ำ ซึ่งหมายถึงน้ำหนักของความชื้นที่ปล่อยออกมาเพื่อทำให้เกิดพืชในสภาพแห้งต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก ตัวอย่างเช่น จะต้องใช้น้ำประมาณ 300-500 กรัม หรือลูกบาศก์เมตร เพื่อทำให้เกิดข้าวสาลีส่วนที่อยู่บนดินอันได้แก่เมล็ดข้าวและฟางหนัก 1 ตัน

ปริมาณน้ำที่พืชคายออกมาจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ธรรมชาติของพืช (การปรับตัวเพื่อการเจริญเติบโตของพืชเมื่อมีน้ำจำกัด) ลมฟ้าอากาศ และความ

ชั้นที่มีอยู่ในดิน ถ้าอากาศร้อนและแห้งแล้ง พืชจะปล่อยน้ำออกมาเป็นจำนวนมาก หากความชื้นในดินมีไม่เพียงพอ พืชก็จะเหี่ยวเฉา

รากพืชดูดความชื้นในดินในระดับความลึกแตกต่างกัน ระบบรากของข้าวสาลีแทรกซอนลงไปใต้ดินได้ลึกถึง 2-2.5 เมตร รากของต้นโอ๊กบางครั้งหยั่งลึกลงไปใต้ดินถึง 20 เมตร การที่พืชหยั่งรากลึกลงไปใต้ดินทำให้พืชอาศัยความชื้นของดินชั้นบนที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอน้อยลง ความชื้นของดินในระดับต่ำลงไปจะมีคงที่กว่า

ความลึกที่รากพืชหยั่งลงไปใต้ดินมักจะขึ้นอยู่กับความลึกของความชื้นในดิน ในไร่นาที่มีการชลประทานซึ่งดินได้รับน้ำมาก ต้นข้าวสาลีจะหยั่งประมาณร้อยละ 85-90 ของระบบรากของมันลงไปใต้ดินจนถึงระดับความลึกเต็มที่ 40 เซนติเมตร แต่ในพื้นที่ที่ไม่มีการชลประทาน รากของข้าวสาลีจะหยั่งลึกลงไปจนถึงระดับความลึก 2.5 เมตร ต้นไม้ก็เช่นเดียวกัน ในพื้นที่แห้งแล้ง รากต้นไม้จะแทรกซอนลึกลงไปใต้ดินจนถึงระดับน้ำใต้ดิน

การคายน้ำของพืชและการระเหยของน้ำจากดินจะสัมพันธ์กัน บริเวณพื้นป่าอาจมีความชื้นมาก แต่ความชื้นระเหยไปไม่ได้มากเนื่องจากแสงแดดส่องผ่านใบไม้ได้เพียงเล็กน้อยและอากาศหมุนเวียนช้าและอึมครึมไปด้วยความชื้น ภาวะเหล่านี้ทำให้ป่าสูญเสียความชื้นส่วนใหญ่โดยการคายน้ำของพืช

อัตราส่วนระหว่างการคายน้ำซึ่งเป็นการใช้น้ำที่มีประโยชน์ เนื่องจากมีความสำคัญต่อชีวิตพืชกับการระเหยของน้ำจากพื้นดินซึ่งไม่มีประโยชน์ จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ขึ้นอยู่กับขั้นตอนของการเจริญเติบโตของพืช

ก่อนการหว่าน พื้นที่เพาะปลูกจะสูญเสียน้ำจากการระเหยซึ่งเป็นการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ เมื่อพืชเจริญเติบโตขึ้นการระเหยจะลดลงแต่การคายน้ำจะเพิ่มขึ้น ก่อนที่พืชจะถึงระยะแตกกิ่ง อันจะทำให้ดินถูกปกคลุมด้วยพืชอย่างหนาแน่น การคายน้ำจะมีเพียงร้อยละ 25 ของการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชรวมกัน เมื่อถึงระยะออกดอกการคายน้ำในนาข้าวสาลีจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 ของการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช ในขณะที่การระเหยลดลงเหลือเพียงร้อยละ 40 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่ดินได้รับร่มเงาจากพืช

เราสามารถวัดการคายน้ำของพืชได้หลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีที่ใช้กันค่อนข้างแพร่หลายก็คือชั่งน้ำหนักของพืชจำพวกหญ้าและกิ่งไม้ที่ตัดออกมาจากต้น และคาดคะเนการคายน้ำจากน้ำหนักที่สูญหายไป พืชที่ถูกตัดออกมาจะยังคงคายความชื้นต่อไปอีกระยะเวลาหนึ่งเช่นที่เกิดตามธรรมชาติ ซึ่งความชื้นนั้นนำเข้ามาพิจารณาด้วย อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ก็ยังไม่สมบูรณ์เนื่องจากพืชที่ถูกตัดจะมี

พฤติกรรมแตกต่างกันไปจากพืชที่กำลังเจริญเติบโต ผลก็คือ ได้มีการจัดพิมพ์ข้อนี้เกี่ยวกับการคายน้ำที่เชื่อถือไม่ได้มากมาย

วิธีไลซิมेटริก (lysimetric) เป็นวิธีที่ให้ผลดีที่สุดแต่มีวิธีการยุ่งยาก การใช้จึงอยู่ในขอบเขตจำกัด วิธีการวัดมีดังนี้คือ ขุดดินที่มีพืชขึ้นอยู่ด้วยมา 2 ก้อน นำไปวางไว้ในภาชนะโลหะ พืชที่ขึ้นอยู่บนดินก้อนหนึ่งจะปล่อยทิ้งไว้โดยไม่แตะต้อง ส่วนพืชบนดินอีกก้อนหนึ่งจะถูกตัดลำต้นจนถึงโคนทิ้งไว้จนแห้งและนำมาแขวนไว้ในเหนือดินเพื่อให้ร่มเงาแก่ดินนั้นทำนองเดียวกันกับหย้าตามธรรมชาติ ภาชนะที่บรรจุก้อนดินเรียกว่า *lysimeter* จะถูกนำไปซังและวางไว้ในหลุมบนพื้นดินระหว่างพงหญ้าเพื่อว่าผิวหน้าของดินจะอยู่ในระดับเดียวกันกับดินที่อยู่โดยรอบซึ่งมิได้มีการแตะต้อง

หลังจากนั้นสองสามวันก็นำ *lysimeter* ไปซังอีก จุดบันทึกความแตกต่างไว้ *lysimeter* ที่พืชไม่ถูกแตะต้องจะแสดงปริมาณการระเหยของน้ำจากดินและพืช ส่วนอีกอันหนึ่งซึ่งพืชถูกตัดจะแสดงเฉพาะการระเหย ความแตกต่างระหว่างน้ำหนักที่สูญหายไปของ *lysimeter* อันที่ 1 และ 2 ซึ่งคิดรวมถึงน้ำที่ไหลลงไปยังกัน *lysimeter* (ในภาชนะรูปกรวย) ด้วยจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณของการคายน้ำ

วิธีนี้ซึ่งทำการตรวจวัดตลอดฤดูเพาะปลูก เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองแรงงานมาก

ประการแรก เพื่อให้ได้ผลที่เชื่อถือได้ *lysimeter* จะต้องมีขนาดค่อนข้างใหญ่มีเนื้อที่ระหว่าง 700-1,000 ตารางเซนติเมตร ลึก 80-100 เซนติเมตร *lysimeter* ที่ใหญ่ขนาดนี้เมื่อบรรจุก้อนดินจะมีน้ำหนักถึง 120 กิโลกรัม *lysimeter* ที่ใช้ศึกษาการคายน้ำของต้นไม้อาจมีน้ำหนักหลายตัน และจะต้องใช้รถบรรทุกที่มีเครื่องยกหรือเครื่องจักรที่คล้ายคลึงกันขนส่ง *lysimeter* ไปยังเครื่องซังและขนกลับ

ประการที่สอง จะต้องขุดก้อนดินอย่างระมัดระวังเพื่อมิให้กระทบกระเทือนโครงสร้างของดิน และทำอันตรายต่อรากพืช *lysimeter* ได้รับการออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว แต่ต้องใช้แรงงานมาก

ประการที่สาม ก้อนดินไม่อาจทิ้งไว้ในดินตลอดฤดูเพาะปลูกเพราะจะทำให้มันแยกต่างหากจากดินที่อยู่โดยรอบและหลังจากนั้นไม่นานมันจะมีความชื้นของดินมากกว่าหรือน้อยกว่าดินที่อยู่โดยรอบ ความแตกต่างนี้จะมีผลต่อความเจริญเติบโตของพืชและการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชด้วยเหตุผลข้อนี้จึงต้องมีการเปลี่ยนก้อนดินหลายครั้งในช่วงฤดูเพาะปลูก

ประการสุดท้าย จะต้องนำ *lysimeter* ไปตั้งวางไว้โดยไม่ให้กระทบกระเทือนพงหญ้าที่อยู่โดยรอบ ซึ่งจะต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมาก

ถ้าทำตามวิธีอย่างถูกต้อง จะได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้มากที่สุดเกี่ยวกับการระเหยและการคายน้ำ

ตารางที่ 3.1 การคายน้ำและการระเหยของน้ำ

พืชและสถานที่ ตรวจวัด	การระเหยของ น้ำจากดิน และพืช	การคายน้ำ	การระเหย	ร้อยละ ของการ คายน้ำ	สัมประ- สิทธิ์ของ การคายน้ำ
	(มม. ³)				
ข้าวสาลีที่ปลูกในฤดู ใบไม้ผลิในทุ่งหญ้ากึ่ง ทะเลทรายคาเมรูนายา	1,730	840	890	48	450
ข้าวสาลีที่ปลูกในลุ่มแม่น้ำ วอลกาตอนล่างที่มีการ ชลประทาน	3,970	2,040	1,930	51	320
ข้าวบาเลย์ที่ปลูกในฤดู ใบไม้ผลิในภูมิภาคเคิร์สก์	3,230	1,450	1,780	45	193

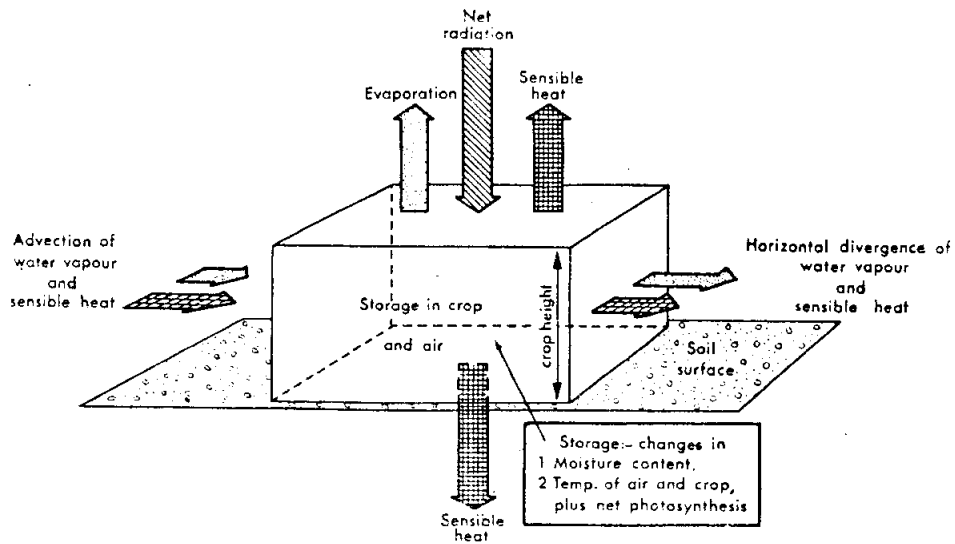
ที่มา : ไววิช, เอ็ม.ไอ., 2526.

ในตารางที่ 3.1 แสดงตัวเลขจากการศึกษาเรื่องการคายน้ำด้วยวิธี lysimeter ตัวเลขแสดงว่า ในระหว่างฤดูเพาะปลูก การคายน้ำของพืชมีประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช ถ้าเป็นการเพาะปลูกที่ทันสมัยมากขึ้นก็สามารถเพิ่มอัตราส่วนขึ้นเป็นถึงร้อยละ 65 สิ่งที่จะพึงระลึกก็คือในเขตทุ่งหญ้ากึ่งทะเลทรายของสหภาพโซเวียต ความชื้นส่วนใหญ่จะระเหยจากดินในช่วงเวลา 10-15 วันระหว่างหิมะละลายและฤดูหว่าน ตอนนั้นเป็นระยะเวลาที่ดินมีความชื้นมากที่สุดและไม่มีพืชขึ้นคลุมดิน นอกจากนี้การระเหยยังดำเนินต่อไปอีกเมื่อเก็บเกี่ยวพืชแล้ว มีวิธีลดการระเหยของน้ำโดยการไถคราด การปล่อยให้มีตอข้าวหรือหญ้าที่ทิ้งไว้ในนาหลังเก็บเกี่ยวแล้วตลอดจนโดยวิธีอื่น ๆ

5. การระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุด

การระเหยเนื่องจากการคายน้ำหรือการคายน้ำของพืชและการระเหยของน้ำจากผิวดิน รวมกันเรียกว่าการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (evapotranspiration) และเมื่อน้ำที่มีอยู่ในดิน นั้นมีเพียงพอหรือมีอยู่ไม่จำกัดเรียกว่า “การระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุด” หรือ ตักยภาพ การระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช” (potential evapotranspiration : PE) นอกจากนี้ PE ยังมีความหมาย ไปถึงความเท่ากันในการระเหย (evaporation equivalent) ของการแผ่รังสีที่มีอยู่ นั่นคือ $PE = R_n/L^1$ ที่ซึ่ง L คือความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (59 cal/cm^2 หรือประมาณเท่ากับ 1 มม.ของการ ระเหย) ในบางกรณีความเท่ากันในการระเหยอาจเป็นโมฆะได้ เช่นบริเวณพื้นที่การชลประทาน ที่ถูกห้อมล้อมไปด้วยพื้นที่สนามที่แห้งแล้งนั้นสามารถที่จะมีอัตราการระเหยเกินกว่าค่าของ R_n/L ได้ถึง 25-30% อากาศที่ได้รับความร้อนโดยการที่พัดผ่านไปเหนือบริเวณที่แห้งแล้งนั้นจะรักษา อัตราการระเหยที่สูงไว้ซึ่งความร้อนนี้จะเคลื่อนที่ลงไปยังบริเวณลุ่มน้ำหรือพื้นที่รับน้ำเราเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า “oasis effect” การเคลื่อนที่ตามแนวอนของความร้อนผ่านสิ่งปกคลุมของพืชนั้นก็ สามารถเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการระเหยของน้ำผิดปกติได้เช่นกัน เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “clothesline effect” สิ่งนี้จะเกิดขึ้นเมื่อพื้นที่บริเวณที่ศึกษานั้นไม่ได้ล้อมรอบไปด้วยเขตบริเวณที่มี สิ่งปกคลุมของพืชและสภาวะตามสิ่งแวดล้อมอย่างเดียวกัน เขตที่สามารถกำจัดปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เหล่านี้ได้คือเขตฉนวนหรือเขตกันชน (buffer zone) ซึ่งจะผันแปรไปตามขนาด แต่อาจจะเกินกว่า รัศมี 300 เมตร อย่างไรก็ตาม รัศมีพืชเดี่ยว ๆ ที่มีสีค่อนข้างจะคล้ายกันและมีใบคลุมดินได้หมด อัตราของ PE จะพิจารณาจากพลังงานที่มีอยู่ทั้งหมดนานเท่าที่น้ำในดินยังมีอยู่ไม่จำกัด สรีรวิทยา ของพืช (plant physiology) นั้นมีความสำคัญมากในกรณีของรัศมีพืชที่ศึกษาเป็นพิเศษ เช่น ข้าวและอ้อย (มีอัตราการใช้น้ำสูง) และสับปะรด (มีอัตราการใช้น้ำต่ำ)

1. ในที่นี้ R_n คือ ปริมาณการแผ่รังสีคลื่นสั้นและคลื่นยาวทั้งหมดโดยสุทธิที่ผิวดินได้รับ



รูปที่ 3.1 ความสมดุลของพลังงาน (energy balance) ที่ผิวดิน

ที่มา : King, 1961.

6. การคำนวณหาปริมาณของการระเหย

มีผู้เสนอแนะวิธีการคำนวณหาปริมาณของการระเหยไว้หลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายนั้นเป็นวิธีที่ *เพนแมน (Penman)* คิดขึ้นมาและได้ตีพิมพ์เผยแพร่ออกมาเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1963 วิธีของเพนแมนเป็นวิธีที่รวมเอาหลักพลศาสตร์ (aerodynamics) และงบประมาณพลังงาน (energy budget) มาสัมพันธ์กันในการคำนวณหาปริมาณการระเหย ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ออกมาเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$E = 0.35 (e_s - e) (1 + 0.01V)$$

- ซึ่ง E : การระเหย (มม./วัน)
- e_s : ความกดของไอน้ำอิ่มตัว (saturated vapor pressure) ที่อุณหภูมิประจำวันเฉลี่ย มีหน่วยเป็น มม. ของปรอท (mm.Hg)
- e : ความกดของไอน้ำที่แท้จริงที่อุณหภูมิและความชื้นประจำวันเฉลี่ย มีหน่วยเป็น มม. ของปรอท
- V : ความเร็วลมที่จุดความสูง 2 เมตรเหนือผิวดิน (ไมล์/วัน)

สำหรับค่าของ e_s นั้น ถ้าหากเราทราบอุณหภูมิประจำวันเฉลี่ยของบรรยากาศเราก็สามารถทราบค่าของ e_s ได้โดยการเทียบค่าในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางความดันของไอน้ำอิ่มตัว

°C	p(mmHg)
-60	0.008
-40	0.096
-20	0.783
-10	1.964
-1	4.220
0(น้ำ+น้ำแข็ง+ไอน้ำ)	4.580
10	9.21
20	17.55
30	31.86
40	55.40
50	92.6
60	149.6
80	355.4
100	760.0 (1 atm)
	(หนึ่งบรรยากาศ)
110	1,074
125	1,740
200	11,650
250	29,770
300	64,300
350	123,710

ที่มา : สุเทพและเคนซาคุ, 2521.

สำหรับค่าของ e นั้นสามารถหาได้จากการคำนวณดังนี้

$$e = e_s \times \frac{H_r}{100}$$

ซึ่ง H_r : ความชื้นสัมพัทธ์ (หาได้จากตาราง 3.3)

เมื่อพิจารณาจากตาราง 3.3 จะเห็นว่าสิ่งที่เทียบหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ (H_r) ได้นั้นต้องทราบอุณหภูมิประจำวันเฉลี่ยของบรรยากาศ (หรืออุณหภูมิตุ้มแห้ง) และอุณหภูมิตุ้มเปียกประจำวันเฉลี่ยด้วย

ตัวอย่างที่ 1 สถานีแห่งหนึ่งมีอุณหภูมิของตุ้มแห้ง 30°C อุณหภูมิของตุ้มเปียก 26°C และความเร็วของลมที่จุดความสูง 2 เมตรเหนือผิวพื้นเป็น 1 เมตร/วินาที จงคำนวณหาปริมาณการระเหยของสถานีแห่งนี้

วิธีทำ

ปริมาณการระเหยสามารถคำนวณได้เป็นขั้น ๆ ดังนี้

ขั้นแรก : คำนวณหาความกดของไอน้ำอิ่มตัว (e_s)

เมื่ออุณหภูมิของบรรยากาศเป็น 30°C เราสามารถเทียบค่า e_s ได้จากตารางที่ 3.2 ซึ่งจะได้ค่าของ $e_s = 31.86$ มม. ปรอท.....(1)

ขั้นที่สอง : คำนวณหาความกดของไอน้ำที่แท้จริง (e)

$$e = e_s \times \frac{H_r}{100}$$

เมื่ออุณหภูมิของตุ้มเปียกเป็น 26°C และผลต่างระหว่างอุณหภูมิของตุ้มแห้ง และตุ้มเปียก $= 30 - 26 = 4^\circ\text{C}$ เราสามารถเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์ (H_r) ได้จากตารางที่ 3.3 ซึ่งจะได้ค่าของ $H_r = 68\%$

ดังนั้นเราสามารถหาค่า e ได้โดยการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} e &= 31.86 \times \frac{68}{100} \\ &= 31.86 \times 0.68 \end{aligned}$$

$\therefore e = 21.66$ มม. ปรอท.....(2)

ขั้นที่สาม : คำนวณหาความเร็วลมที่จุดความสูง 2 เมตรเหนือผิวพื้น (V) เมื่อ V กำหนด มาให้เป็น 1 เมตร/วินาที ดังนั้นเราจำเป็นต้องเปลี่ยนหน่วยความเร็วลมให้เป็น ไมล์/วัน เสียก่อน ซึ่งจะเปลี่ยนค่าได้ดังนี้

1) เปลี่ยนหน่วยของเมตรให้เป็นหน่วยของไมล์

$$\text{เราทราบว่า } 5 \text{ ไมล์} = 8 \text{ กิโลเมตร}$$

$$\text{หรือ } 5 \text{ ไมล์} = 8,000 \text{ เมตร}$$

$$\therefore 1 \text{ ไมล์} = \frac{8,000}{5} = 1,600 \text{ เมตร}$$

$$\text{หรือ } 1 \text{ เมตร} = \frac{1}{1600} \text{ ไมล์} \dots\dots\dots*$$

2) เปลี่ยนอัตราความเร็วลมจาก 1 วินาทีให้เป็น 1 วัน

$$\text{เราทราบว่า } 1 \text{ วัน} = 24 \text{ ชม.} \times 60 \text{ นาที} \times 60 \text{ วินาที}$$

$$1 \text{ วัน} = 86,400 \text{ วินาที} \dots\dots\dots*$$

เพราะฉะนั้นเราสามารถเปลี่ยนหน่วยความเร็วลมได้ดังนี้

$$\text{โจทย์กำหนดให้ } V = 1 \text{ เมตร/1 วินาที}$$

$$\therefore \text{เปลี่ยนค่าได้ } V = \frac{1}{1600} \text{ ไมล์/1 วินาที}$$

ตารางที่ 3.3 ตารางความชื้นสัมพัทธ์

อุณหภูมิของคัม เบียงที่อ่านได้	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของคัมแห้งและคัมเปียก														
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
องศาเซลเซียส (°C)	ร้อยละ														
0	100	90	80	71	63	56	49	43	37	32	28	23	20	16	13
1	100	90	81	72	65	58	51	45	40	35	30	26	22	19	16
2	100	90	82	74	66	59	53	47	42	37	33	29	25	22	19
3	100	91	82	75	67	61	55	49	44	39	35	31	27	24	21
4	100	91	83	75	69	62	56	51	46	41	37	33	30	26	24
5	100	91	84	76	70	64	58	53	48	43	39	35	32	29	26
6	100	92	84	77	71	65	59	54	49	45	41	37	34	31	28
7	100	92	85	78	72	66	61	56	51	47	43	39	36	33	30
8	100	92	85	79	73	67	62	57	52	48	44	41	37	34	32
9	100	93	86	79	74	68	63	58	54	50	46	42	39	36	33
10	100	93	86	80	75	69	64	59	55	51	47	44	41	38	35
11	100	93	87	81	75	70	65	60	56	52	49	45	42	39	36
12	100	93	87	81	76	71	66	61	57	54	50	47	43	41	38
13	100	94	88	82	76	71	67	63	58	55	51	48	45	42	39
14	100	94	88	82	77	72	68	63	59	56	52	49	46	43	40
15	100	94	88	83	78	73	68	64	60	57	53	50	47	44	42
16	100	94	88	83	78	74	69	65	61	58	54	51	48	45	43
17	100	94	89	83	79	74	70	66	62	59	55	52	49	46	44
18	100	94	89	84	79	75	70	67	63	59	55	53	50	47	45
19	100	94	89	84	80	75	71	67	63	60	56	54	51	48	46
20	100	95	89	85	80	76	72	68	64	61	57	55	52	49	47
21	100	95	90	85	80	76	73	68	65	62	58	55	53	50	47
22	100	95	90	85	81	77	73	69	66	62	58	56	53	51	48
23	100	95	90	86	81	77	73	70	66	63	59	57	54	51	49
24	100	95	90	86	82	78	74	70	67	63	60	58	55	52	50
25	100	95	90	86	82	78	74	71	67	64	61	58	56	53	50
26	100	95	91	86	82	78	75	71	68	65	62	59	56	54	51
27	100	95	91	87	83	79	75	72	68	65	62	59	57	54	52
28	100	95	91	87	83	79	75	72	69	66	63	60	57	55	52
29	100	95	91	87	83	79	76	72	69	66	63	60	58	55	53
30	100	96	91	87	83	80	76	73	70	67	64	61	58	56	53
31	100	96	91	87	83	80	76	73	70	67	64	61	59	56	54
32	100	96	91	88	84	80	77	73	70	67	65	62	59	57	54
33	100	96	92	88	84	80	77	74	71	68	65	62	60	57	55
34	100	96	92	88	84	81	77	74	71	68	65	63	60	58	55
35	100	96	92	88	84	81	78	74	71	68	66	63	61	58	56

ที่มา : สุเทพและเคนซากุ, 2521.

$$\begin{aligned} \therefore \text{ ในระยะเวลา 1 วัน } V &= \frac{1}{1600} \text{ ไมล์} \times 86,400 \text{ วินาที} \\ &= \frac{86400}{1600} \\ \therefore V &= 54 \text{ ไมล์/วัน} \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

ขั้นที่สี่ : คำนวณหาปริมาณการระเหย (E) ของสถานีแห่งนี้

จาก	$E = 0.35 (e_s - e) (1 + 0.01V)$
ที่ซึ่ง	$e_s = 31.86 \text{ มม.ปรอท}$
	$e = 21.66 \text{ มม.ปรอท}$
	$V = 54 \text{ ไมล์/วัน}$
แทนค่า	$E = 0.35 (31.86 - 21.66) (1 + 0.01 \times 54)$
	$= 0.35 \times 10.2 \times 1.54$
	$E = 5.5 \text{ มม./วัน}$

เพราะฉะนั้นปริมาณการระเหยของสถานีนี้ = 5.5 มม./วัน ตอบ

7. การวัดปริมาณการระเหยโดยเครื่องวัดการระเหยแบบถัง

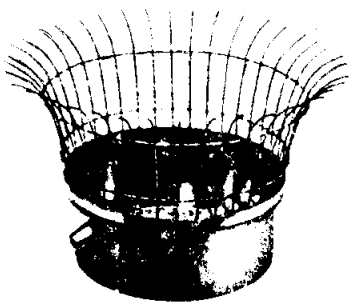
ถังวัดการระเหย (evaporation pan) นี้เหมาะสำหรับปริมาณการระเหยจากพื้นที่ผิวน้ำขนาดเล็ก (น้ำตื้น) สำหรับพื้นที่ผิวน้ำขนาดใหญ่ (น้ำลึก) นั้น การใช้ถังวัดการระเหยจะทำให้มีข้อบกพร่องหลายประการคือ (1) พื้นที่ผิวน้ำขนาดเล็กจะดูดซับการแผ่รังสีคลื่นสั้น (short-wave radiation) ได้น้อยกว่าพื้นที่ผิวน้ำที่กว้างใหญ่ (2) จุดความร้อนได้เป็นปริมาณน้อย (3) ขนาดของถังทำให้พลศาสตร์ของอากาศเปลี่ยนไป และ (4) ชั้นที่แบ่งเขตหรือผืนชั้นของไอน้ำจะเกิดขึ้นได้น้อย

สำหรับถังวัดการระเหยที่นิยมใช้กันมากในด้านการเกษตรนั้นจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. มีความสูง 10 ซม. ถ้าเป็นของสถานีอุตุนิยมวิทยาจะใช้ถังที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าคือ 120 ซม. และมีความสูง 25 ซม. ระดับน้ำของถังวัดการระเหยขนาดใหญ่นี้จะวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดและสามารถวัดปริมาณการระเหยได้

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของถังวัดการระเหยนี้จะเป็นถังกลมทำด้วยแผ่นทองแดงอย่างบาง ผิวด้านในของถังเคลือบด้วยดีบุก ขอบของถังคมเหมือนมีด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 วิธีการหาปริมาณการระเหยทำได้โดยนำเอาน้ำบริสุทธิ์สะอาดตวงด้วยกระบอกตวงทรงกลม เเทลงไปในถังวัดการระเหยสูง 20 มม. สำหรับถังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. (จะมีปริมาตรของน้ำ 628 ลบ.ซม.) แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้หนึ่งวันหรือ 24 ชั่วโมง จากนั้นกลับมาวัดอีกครั้งหนึ่งในวันรุ่งขึ้น ผลต่างของปริมาณน้ำที่หายไปจะเป็นปริมาณของการระเหย นั่นคือ

ปริมาณการระเหย = (ปริมาณน้ำที่ตกลงไปวันนี้ + ปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงไปในถัง - ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในวันรุ่งขึ้น) ÷ เนื้อที่ 314 ซม.²

ปริมาณการระเหยที่วัดได้นี้จะมีหน่วยเป็น ซม./วัน และจะต้องคูณด้วย 0.5 สำหรับถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. และ 0.7 สำหรับถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120 ซม. เพื่อให้เป็นปริมาณค่าของการระเหยของน้ำในแหล่งน้ำที่มีผิวน้ำกว้างใหญ่ทั่วไป เช่น ทะเลสาบ หรืออ่างเก็บน้ำ เป็นต้น



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดการระเหยแบบถังกลม

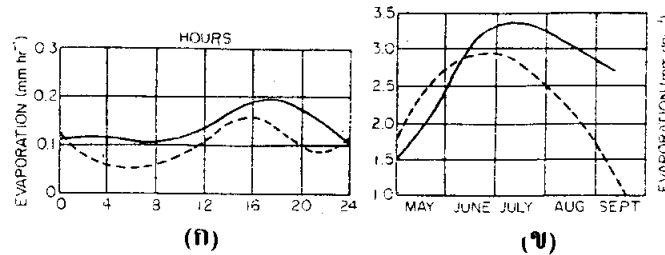
วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องมือวัดการระเหยขนาดเล็กนี้จะวางถังวัดการระเหยไว้บนเสาซึ่งทำให้ปากถังขอบบนอยู่สูงกว่าพื้นดิน 20 ซม. รอบ ๆ บริเวณที่ตั้งถังให้ปลูกหญ้าไว้สำหรับน้ำที่จะใส่ลงไปในถังนั้นไม่ควรใช้น้ำสกปรกและของเหลวอย่างอื่น ยกเว้นน้ำบริสุทธิ์สะอาดเท่านั้น และต้องไม่ให้แสงแดดส่องลงไปโดยตรง จึงต้องมีลวดตาข่ายปกปิดไว้ และยังป้องกันไม่ให้นกหรือสัตว์มากินน้ำได้อีกด้วย

ขีดของเครื่องวัดระดับน้ำที่วัดได้จะเป็นปริมาณการระเหยทั้งหมด วิธีการจัดจะทำได้โดยการหมุนเครื่องวัดตามเข็มนาฬิกาออกไปจนปลายเข็มของเครื่องแตะกับผิวน้ำในถังวัดการระเหยพอดี แล้วจึงอ่านจากขีดที่แบ่งไว้ โดยการใช้เวอร์เนีย อ่านเศษ 1/10 ของมิลลิเมตร เมื่ออ่านค่าแล้วให้หมุนเข็มขึ้นจากผิวน้ำโดยหมุนทวนเข็มนาฬิกากลับคืนมาที่เดิม

โดยทั่วไป ปริมาณการระเหยจากเครื่องวัดการระเหยของถังขนาดเล็กจะมีค่ามากกว่าค่าที่วัดได้จากถังวัดการระเหยขนาดใหญ่ การวัดค่าของปริมาณการระเหยจากถังวัดการระเหยจะแทนค่าการระเหยของพื้นที่บริเวณนั้น และถือเสมือนว่าการระเหยจากถังวัดการระเหยจะเป็นเช่นเดียวกับการระเหยของพื้นผิวดิน เช่น พุงนา แผ่นดินโล่ง หรือทุ่งหญ้า เป็นต้น และโดยทั่วไปก็จะมีเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนติดตั้งไว้ด้วยกันเพราะมีความจำเป็นที่จะต้องทราบปริมาณน้ำฝนเพื่อนำมาปรับค่าของการระเหย และถ้าเป็นไปได้แล้วถึงวัดการระเหยจะตั้งไว้รวมกับการวัดสถิติทาง

อุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการระเหย เช่น เครื่องวัดความเร็วของกระแสลม เครื่องวัดแสงแดด เครื่องวัดอุณหภูมิของบรรยากาศและเครื่องวัดความชื้น เป็นต้น

ในรูปที่ 3.3 นั้นได้แสดงถึงการระเหยเป็นรายวันและรายปีจากน้ำในแทงค์ที่มีพื้นที่ 20 ตร.ม. และจากทะเลสาบ เส้นโค้งทั้งสองของรายวันนั้นแสดงลักษณะความคล้ายคลึงซึ่งกันและกัน แต่เส้นโค้งทั้งสองของรายปีนั้นไม่คล้ายคลึงกัน จะเห็นได้ว่าการระเหยจากแทงค์น้ำนั้นจะแสดงการขึ้นและลงอย่างเป็นสัดส่วนที่รับกันหรืออย่างเป็นสมมาตร (symetric) ในขณะที่การระเหยจากทะเลสาบนั้นขึ้นในลักษณะที่ชันไปยิ่งยอดที่ผ่านมาและยอดสูง



รูปที่ 3.3 การระเหยจากผิวน้ำเป็นรายวัน (ก) และรายปี (ข) : ทะเลสาบ (เส้นทึบ) และแทงค์น้ำซึ่งมีพื้นที่ผิวน้ำ 20 ตร.ม. (เส้นประ)

ที่มา : Miller, 1977.

8. การคำนวณเพื่อหาค่าปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช

มีวิธีอยู่หลายวิธีในการคำนวณหาปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช แต่ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะวิธีของ Thornthwaite ซึ่งเป็นวิธีที่รู้จักกันดีที่สุดในการคำนวณหา PE

ในปี ค.ศ. 1965 Curry ได้เสนอแนะการคำนวณหาปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุด (PE) ด้วยวิธีของ Dr. Thornthwaite ซึ่งเป็นวิธีที่คำนึงถึงความสัมพันธ์ของการคายน้ำในแปลงปลูกพืชกับอุณหภูมิของอากาศที่ได้รับการปรับสำหรับช่วงเวลากลางวัน ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายเป็นเชิงทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$PE = 16c(10T/I)^a$$

- ซึ่ง
- PE : ค่าสูงสุดของปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชรายเดือน หน่วยเป็น มม./เดือน
 - a : สัมประสิทธิ์ของพื้นที่แห่งนั้น ๆ
 - T : อุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศรายเดือน (°C)
 - c : สัมประสิทธิ์ที่ปรับตามเส้นรุ้งและเดือนของพื้นที่นั้น ๆ

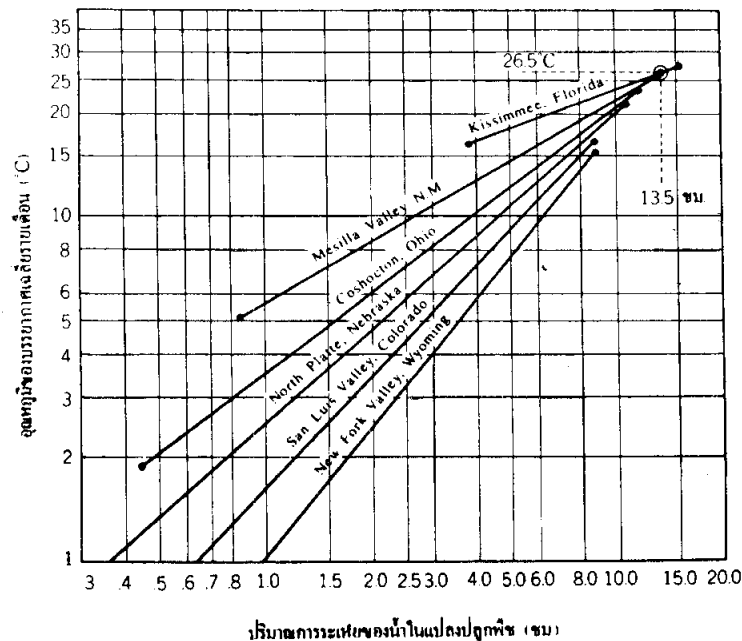
ในที่นี้ $a = 0.000000675 I^3 - 0.0000771 I^2 + 0.01792 I + 0.49239$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (T/5)^{1.514}$$

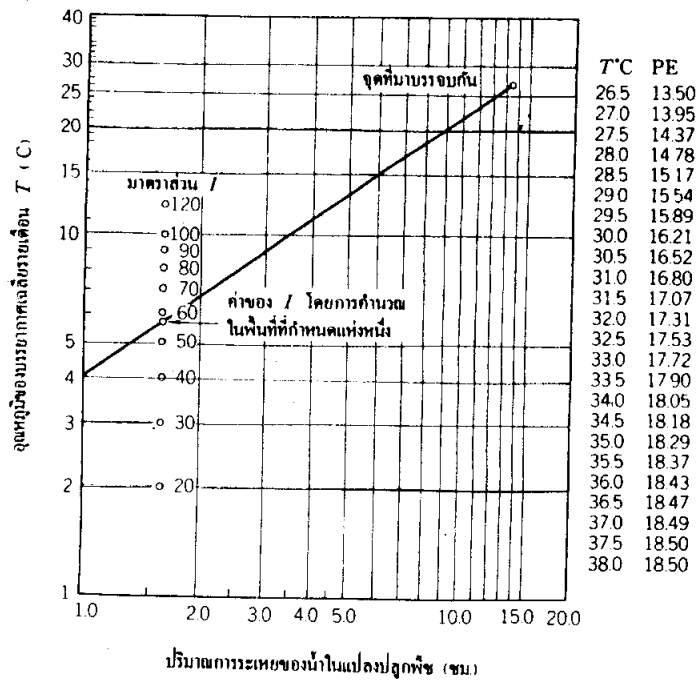
หรือ $I = \sum_{i=1}^{12} i$ เมื่อ $i = (T/5)^{1.514}$

ในการคำนวณนั้น I เป็นผลรวมของ 12 เดือนของ i ค่าของ i จะหาได้จากตารางที่ 3.4 ซึ่งเกี่ยวกับอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน และเนื่องจากจำนวนวันในหนึ่งเดือนจริง ๆ นั้นมีค่าระหว่าง 28 ถึง 31 วัน ตลอดจนชั่วโมงที่มีแสงแดดก็แตกต่างกันตามฤดูกาลและตามเส้นรุ้งของโลก (latitude) ดังนั้นค่าของ PE จึงเกี่ยวข้องกับ c เพื่อที่จะได้ปรับค่าของเส้นรุ้งและจำนวนวันในเดือนให้สัมพันธ์กับปริมาณการระเหยรายเดือน สำหรับค่าของ c นั้นจะหาได้โดยใช้ตารางที่ 3.5 ซึ่งเกี่ยวกับเส้นรุ้งของที่ตั้งของพื้นที่นั้น ๆ และเดือนที่ต้องการหาค่าของ PE

ในรูปที่ 3.4 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศเฉลี่ยรายเดือนและปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชของพื้นที่ 6 แห่งในสหรัฐอเมริกาโดยใช้เครื่องมือไลซิมิเตอร์ (lysimeter) ของ Dr.Thornthwaite ค่า PE ที่ได้จากรูปนี้จะใช้ 30 วันเป็นจำนวนวันในหนึ่งเดือน และชั่วโมงที่มีแสงแดดใช้ค่า 12 ชั่วโมงในหนึ่งวันเป็นหลัก ในกรณีที่อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนมีค่าต่ำ ค่า PE จะมีค่าแตกต่างออกไป อย่างไรก็ตามก็สังเกตเห็นได้ว่าในกรณีที่อุณหภูมิเกิดสูงขึ้น ค่าของ PE จะมารวมกันที่ 13.5 ซม. ที่อุณหภูมิ 26.5°C



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของบรรยากาศเฉลี่ยรายเดือน (°C) และปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (ซม.)



ตารางข้างนี้เป็นตารางของค่า PE ในกรณีของอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน
 มีค่ามากกว่า 26.5°C

รูปที่ 3.5 ตารางแสดงการหาค่าของปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (PE, ชม.) จาก
 อุณหภูมิของบรรยากาศรายเดือนเฉลี่ย (°C)

ที่มา : สุเทพและเคนซาคุ, 2521.

ตารางที่ 3.4 ตารางค่า $i = (T/5)^{1.514}$

T°C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0			.01	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07
1	.09	.10	.12	.13	.15	.16	.18	.20	.21	.23
2	.25	.27	.29	.31	.33	.35	.37	.39	.42	.44
3	.46	.48	.51	.53	.56	.58	.61	.63	.66	.69
4	.71	.74	.77	.80	.82	.85	.88	.91	.94	.97
5	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
6	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63
7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.81
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
13	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
15	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
18	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.66	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	10.01
23	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	10.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	11.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	12.06
26	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	12.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	13.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	14.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	14.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	15.76
31	15.84	15.92	15.99	16.07	16.15	16.23	16.30	16.38	16.46	16.54
32	16.62	16.70	16.78	16.85	16.93	17.01	17.09	17.17	17.25	17.33
33	17.41	17.49	17.57	17.65	17.73	17.81	17.89	17.97	18.05	18.13
34	18.22	18.30	18.38	18.46	18.54	18.62	18.70	18.79	18.87	18.95
35	19.03	19.11	19.20	19.28	19.36	19.45	19.53	19.61	19.69	19.78
36	19.86	19.95	20.03	20.11	20.20	20.28	20.36	20.45	20.53	20.62
37	20.70	20.79	20.87	20.96	21.04	21.13	21.21	21.30	21.38	21.47
38	21.56	21.64	21.73	21.81	21.90	21.99	22.07	22.16	22.25	22.33
39	22.42	22.51	22.59	22.68	22.77	22.86	22.95	23.03	23.12	23.21
40	23.30									

ที่มา : สุตเทพ และเคนซากู, 2521.

ตารางที่ 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งได้ปรับตามเส้นรุ้งและเดือนแล้ว

เหนือเส้นศูนย์สูตร/เดือน	มก.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.79	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70
ใต้เส้นศูนย์สูตร												
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	.99	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30	1.20	1.03	1.06	.95	.92	.85	.90	.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
44	1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

ที่มา : สุเทพ และเคนซากู, 2521.

ในรูปที่ 3.5 ได้แสดงการหาค่าของปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุด (PE) จากอุณหภูมิของบรรยากาศรายเดือนเฉลี่ย เราสามารถนำเอาค่าของ I นั้นมากำหนดจุด (plot) ลงบนสเกลของ I และในที่สุดจะรวมเข้าไปหาจุดเดียวกันคือ 13.5 ซม. ที่อุณหภูมิ 26.5°C ซึ่งเส้นตรงนี้จะเป็นเส้นของความสัมพันธ์ระหว่าง PE ซึ่งยังไม่ได้ปรับค่ากับอุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ย ในกรณีที่อุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยมีค่ามากกว่า 26.5°C แล้ว ตารางด้านขวามือในรูปที่ 3.5 จะต้องนำมาใช้

เพื่อให้เข้าใจวิธีการหา PE ตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว ขอให้พิจารณาจากตัวอย่างการคำนวณที่ได้แสดงไว้ตามข้างล่างนี้

ตัวอย่างที่ 2 สถานีแห่งหนึ่งตั้งอยู่ที่เส้นรุ้ง (latitude) 40 องศาเหนือมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนดังแสดงไว้ในตารางข้างล่างนี้ จงคำนวณหาค่าสูงสุดของปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชในเดือนเมษายนของสถานีแห่งนี้

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุณหภูมิ(°C)	12.5	17.0	23.1	28.6	32.4	33.8	32.8	29.4	24.3	18.4	13.4	11.1

วิธีทำ

ค่าสูงสุดของปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสามารถคำนวณได้เป็นขั้น ๆ ดังต่อไปนี้

จากสูตร
$$PE = 16c(10T/I)^4$$

ขั้นแรก : หาค่าสัมประสิทธิ์ที่ปรับตามเส้นรุ้งและเดือนของสถานีแห่งนี้ (c)

ค่า c ที่เส้นรุ้ง 40 องศาเหนือในเดือนเมษายนของสถานีแห่งนี้ สามารถเทียบค่าได้จากตารางที่ 3.5 ซึ่งจะได้ค่าของ c = 1.11.....(1)

ขั้นที่สอง : คำนวณหาค่า I

จากสูตร
$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{เมื่อ} \quad i = (T/5)^{1.514}$$

เราสามารถหาค่า i ของแต่ละเดือนได้โดยการเทียบค่า i ได้จากตารางที่ 3.4 ซึ่งสามารถแสดงได้ในตารางข้างล่างนี้

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
อุณหภูมิ(°C)	12.5	17.0	23.1	28.6	32.4	33.8	32.8	29.4	24.3	18.4	13.4	11.1	
ค่า i	4.0	6.38	10.15	14.02	16.93	18.05	17.25	14.62	10.95	7.19	4.45	3.34	128.16

เนื่องจาก I เป็นผลรวมของ i ใน 12 เดือน

$$I = 128.16 \dots\dots\dots(2)$$

ขั้นที่สาม : คำนวณหาค่า a

จาก $a = 0.000000675I^3 - 0.0000771I^2 + 0.01792I + 0.49239$
 $a = 0.000000675(128.16)^3 - 0.0000771(128.16)^2 +$
 $0.01792(128.16) + 0.49239$
 $a = 1.42089 - 1.26636 + 2.29662 + 0.49239$
 $a = 2.94354$

หรือ $a = 2.94 \dots\dots\dots(3)$

ขั้นที่สี่ : คำนวณหาค่า PE

จากสูตร $PE = 16c (10T/D)^a$

เมื่อ $c = 1.11$

$T_{\text{เม.ย.}} = 28.6^\circ\text{C}$

$I = 128.16$

$a = 2.94$

แทนค่า $PE = 16 \times 1.11 (10 \times 28.6/128.16)^{2.94}$
 $= 17.76 (2.23)^{2.94}$
 $= 17.76 \times 10.57$

$\therefore PE_{\text{เม.ย.}} = 187.7 \text{ มม./เดือน}$

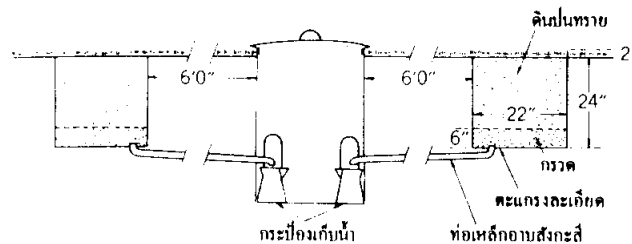
หรือ $= 18.77 \text{ ซม./เดือน}$

\therefore ค่าสูงสุดของปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (PE) ในเดือนเมษายนของสถานี
 แห่งนี้เป็น 187.7 มม. หรือ 18.77 ซม. ตอบ

9. การวัดปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช ด้วยเครื่องมือไลซิมิเตอร์ (Lysimeter)

ในกรณีที่ปริมาณน้ำในดินมีอย่างเหลือเฟือเพื่อจนสามารถกล่าวได้ว่าอยู่ในสภาพคงที่ การวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชในแปลงเพาะปลูกสูงสุดซึ่งใช้โดยพืชและดินสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องวัด evapotranspirometer วิธีการวัดกระทำได้โดยการรดน้ำด้วยฝักบัวให้คล้ายกับสภาพฝนตกจริง ๆ (P) อย่างเพียงพอบนผิวน้ำของถังใส่ดินซึ่งมีพืชปกคลุม แล้ววัดปริมาณน้ำที่ซึมผ่านลงไป (r) จากก้นของถังดินไว้ทั้งหมด แล้วนำไปหักออกจากปริมาณน้ำที่ตกลงบนผิวดินทั้งหมด จะได้ค่าของปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุด (PE) ในช่วงเวลาที่ทำการวัด ความสัมพันธ์ของสมการสามารถแสดงได้ดังนี้ $PE = P - r$

สำหรับส่วนประกอบของเครื่องมือวัดการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุดได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6

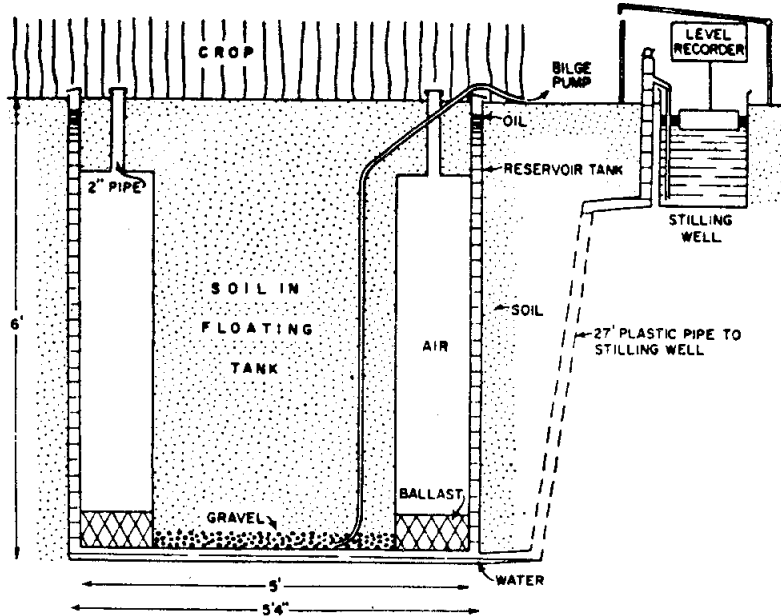


รูปที่ 3.6 ตัวอย่างของเครื่องมือวัดการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุด

ที่มา : สุเทพ และ เคนซากู, 2521.

ในกรณีที่ปริมาณน้ำในดินไม่เหลือเฟือ การหาค่าจริง ๆ ของการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (E) จะหาได้โดยเครื่องมือไลซิมิเตอร์ (lysimeter) เครื่องมือไลซิมิเตอร์แบบง่าย ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 ซึ่งทำด้วยถังที่มีความกว้างและยาว 5 ฟุต 4 นิ้ว หรือประมาณ 1.6 เมตร และลึก 6 ฟุต หรือประมาณ 1.8 เมตร ถังนี้ทำด้วยวัสดุที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ เช่น คอนกรีต หรือแผ่นเหล็กอบสังกะสีที่กันถึงใช้วัสดุที่น้ำซึมผ่านได้ เช่น ทรายและกรวด ที่กันถึงให้ต่อท่อระบายน้ำไปยังเครื่องวัดปริมาณน้ำที่ซึมผ่านลงไปกันถึงด้วย แล้วเอาก้นดินใส่ลงไปเหนือชั้นทรายและกรวดให้เต็มถึงหรือให้ได้ระดับเดียวกับพื้นดินโดยรอบ ลักษณะของดินที่จะเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่จะทำการวัดค่า E นั้นจะต้องเลือกให้เหมาะสมโดยจะต้องเป็นดินที่ไม่ถูกรบกวน จากนั้นให้คลุมผิวน้ำดินด้วยพืช (ปกติจะเป็นหญ้าสั้น) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับพืชโดยรอบ และสภาพของธรรมชาติแวดล้อมจะต้องคล้ายคลึงกับพื้นที่ที่ต้องการหาค่าจริง ๆ ปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (E) จะหาได้

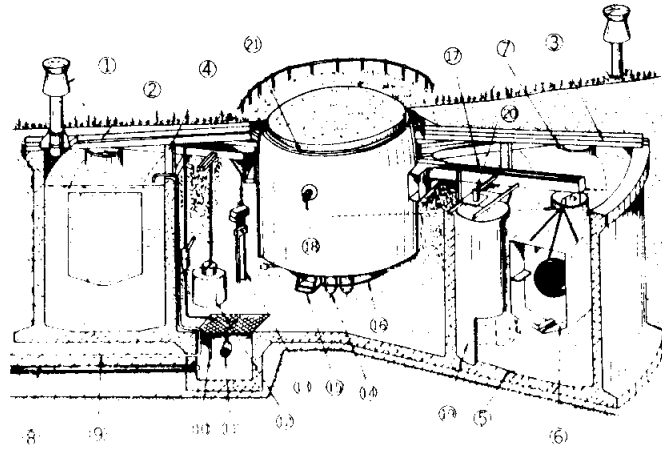
โดยการวัดปริมาณน้ำฝน (P) และวัดปริมาณน้ำที่ทำเป็นฝนโปรยลงไปบนถังทั้งหมด (W) หาค่าปริมาณน้ำที่ซึมผ่านลงไปก้นถัง (r) เพื่อนำมาหักออก ความสัมพันธ์ของสมการสามารถแสดงได้ดังนี้ $E = P + W - r$



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างของเครื่องไลซิมิเตอร์ (lysimeter) ในรูปนี้ก้อนดินจะลอยอยู่ในถังน้ำ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะถูกบันทึกแทนการซึมน้ำหนักของก้อนดิน

ที่มา : King, 1961.

อย่างไรก็ตามความชื้นของดินไม่อาจหาค่าได้ จะหาค่าได้แต่เพียงผลรวมของปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชในระยะเวลาหนึ่ง สำหรับการหาค่าของการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาที่เล็กลมทับกันและปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชประจำวันจะหาได้โดยใช้เครื่องมือไลซิมิเตอร์ที่วัดน้ำหนักได้เพื่อจะรู้ค่าของการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ ระยะ ตัวอย่างของเครื่องไลซิมิเตอร์แบบที่วัดน้ำหนักได้นี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.8



- | | |
|--------------------------------|---|
| 1 ทางระบายลม | 11 ไนทริกถ่วง |
| 2 ถาดซีเมนต์เพื่อให้น้ำแข็งวาง | 12 ตารางแตงมาตราส่วน |
| 3 คันรอรรับเหล็ก | 13 ถังสำหรับรองรับน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน |
| 4 เสวตรรับจาน | 14 ข้อต่อสำหรับคุณภาพมิเตอร์ไหลวน |
| 5 ถังน้ำออกกริด | 15 ท่อรับน้ำ |
| 6 ลูกกลิ้ง | 16 คันรอรรับ |
| 7 ส่วนคอของลูกกลิ้ง | 17 แกน |
| 8 ท่อให้น้ำออก | 18 ถ่านไฟฉาย |
| 9 ท่อรับน้ำเข้า | 19 เครื่องบันทึก |
| 10 ท่อระบายน้ำในกรณีฉุกเฉิน | 20 ถังดิน |
| 21 ท่อให้น้ำออกจากถังน้ำ | |

ถังน้ำมาตรฐานของเครื่องวัดการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชในสหภาพโซเวียต
(ใช้เหมือนไลซิมิเตอร์ด้วย)

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างของเครื่องไลซิมิเตอร์แบบที่วัดน้ำหนักได้

ที่มา : สุเทพ และเคนซาคุ, 2521.

สรุป

การระเหย (evaporation) หมายถึงปรากฏการณ์ทางธรรมชาติซึ่งทำให้น้ำเกิดระเหยโดยการเปลี่ยนสภาพเป็นไอ และเคลื่อนที่จากผิวน้ำและผิวดินขึ้นไปในอากาศ หากน้ำในดินที่ระเหยขึ้นไปนั้นผ่านขบวนการทางพืชเรียกว่าการคายน้ำของพืช (**transpiration**) ถ้ารวมเอาการระเหยของน้ำจากผิวดิน และการระเหยเนื่องจากการคายน้ำของพืชเข้าด้วยกันเรียกว่าการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (**evapotranspiration**) และเมื่อน้ำที่มีอยู่ในดินนั้นมีเพียงพอหรือมีอยู่อย่างไม่จำกัดสำหรับการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชแล้วเรียกว่าการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุดหรือศักยภาพการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (**potential evapotranspiration : PE**)

การระเหยจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความชื้นของความดันไอน้ำระหว่างผิวน้ำที่มีการระเหยและอากาศ พลังงานหลักที่ใช้สำหรับการระเหยคือการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ปริมาณการระเหยของน้ำ (E) สามารถคำนวณหาได้โดยใช้วิธีการคำนวณของเพนแมน (**Penman**) ซึ่งเป็นวิธีที่รวมเอาหลักพลศาสตร์และงบประมาณพลังงานมาสัมพันธ์กัน นอกจากนี้ยังสามารถทำการวัดปริมาณการระเหยของน้ำได้โดยใช้เครื่องวัดการระเหยแบบถัง (**evaporation pan**) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับใช้กับพื้นที่ผิวน้ำขนาดเล็กหรือน้ำตื้นเท่านั้น สำหรับการหาปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชสูงสุดหรือศักยภาพการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (PE) นั้นสามารถหาได้โดยใช้วิธีการคำนวณของธอร์นทไวท์ (**Thorntwaite**) ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยความสัมพันธ์ของการคายน้ำในแปลงปลูกพืชกับอุณหภูมิของอากาศ หรืออาจหาได้โดยใช้วิธีการวัดด้วยเครื่องมือ **evapotranspirometer** หากเป็นกรณีในการหาปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชธรรมดา (คือกรณีที่ปริมาณน้ำในดินมีอยู่อย่างจำกัด) จะหาได้โดยใช้วิธีการวัดด้วยเครื่องมือไลซิมิเตอร์ (**lysimeter**)

การคายน้ำเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่งของพืชเพราะมีหน้าที่สำคัญในการควบคุมอุณหภูมิของพืชและเป็นกระบวนการที่พืชสามารถควบคุมได้ด้วยตัวเอง การคายน้ำของพืชและการระเหยของน้ำจากดินจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และอัตราส่วนระหว่างการคายน้ำกับการระเหยของน้ำจากพื้นดินก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและขั้นตอนของการเจริญเติบโตของพืชด้วย การวัดปริมาณการคายน้ำของพืชให้ได้ผลดีที่สุดจะใช้วิธีไลซิเมตริก (**lysimetric**) โดยใช้เครื่องมือไลซิมิเตอร์ซึ่งเป็นวิธีการที่ยุ่งยาก ใช้แรงงานมากและต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากในขั้นตอนการปฏิบัติ จึงทำให้มีการใช้อยู่ในขอบเขตจำกัด

คำถามท้ายบท

1. การระเหย (evaporation) คืออะไร? มีกลไกอะไรบ้างที่เกี่ยวข้องกับการระเหย? จงอธิบาย
2. การระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (evapotranspiration) คืออะไร?
3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการคายน้ำของพืชมีอะไรบ้าง? จงอธิบาย
4. อัตราส่วนระหว่างการคายน้ำของพืชกับการระเหยของน้ำจากพื้นดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและขั้นตอนการเจริญเติบโตของพืชอย่างไร? จงอธิบาย
5. ปรากฏการณ์ oasis effect และ clothesline effect หมายถึงอะไรและมีความแตกต่างกันอย่างไร?
6. ขั้นตอนการวัดการคายน้ำของพืชด้วยวิธีไลซิเมตริก (lysimetric) มีอะไรบ้างและมีข้อเสียหรือข้อยุ่งยากอย่างไร? จงอธิบาย
7. ณ สถานีทดลองพืชผลแห่งหนึ่งได้ทำการวัดปริมาณการระเหยด้วยเครื่องวัดการระเหยแบบถังซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. ในเวลา 6.00 น. ของวันที่ 20 เมษายน เจ้าหน้าที่ได้ตวงเอาน้ำบริสุทธิ์สะอาดใส่ลงไปในถังสูง 20 มม. (จะมีปริมาตรของน้ำ 628 ลบ.ซม.) ต่อมาในเวลา 14.00 น. ของวันเดียวกันปรากฏว่ามีฝนตกลงมาสามารถวัดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในถังได้ 60 มม. (1885 ลบ.ซม.) ในวันรุ่งขึ้น คือวันที่ 21 เมษายน เวลา 6.00 น. เจ้าหน้าที่กลับมาตรวจวัดน้ำในถังอีกครั้ง ปรากฏว่ามีน้ำเหลืออยู่ในถัง 40 มม. (1256 ลบ.ซม.) อยากทราบว่า ณ สถานีทดลองพืชผลแห่งนั้นจะมีปริมาณการระเหยเป็นเท่าไร?
(2 ซม./วัน)
8. พื้นที่สองแห่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนไม่เท่ากัน โดยพื้นที่ ก.มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน 20°C และพื้นที่ ข.มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน 32.5°C อยากทราบว่าปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชของทั้งสองแห่งเป็นเท่าใด? (พิจารณาโดยดูจากรูปที่ 3.5)
(ก. = 9 ซม./เดือน, ข. = 17.53 ซม./เดือน)
9. สถานีอุทกศาสตร์แห่งหนึ่งตั้งอยู่ที่เส้นรุ้งที่ 20 องศาเหนือ ต้องการหาค่าสูงสุดของปริมาณการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชในเดือนตุลาคม สถานีได้รวบรวมข้อมูลของอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนเป็นองศาเซลเซียสจากเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมในปีเดียวกันไว้แล้วดังแสดงในตารางข้างล่าง

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
อุณหภูมิ (°ซ)	7.9	12.5	22.9	25.8	29.1	30.7	32.5	31.2	22.5	18.5	13.3	9.4

(54.มม.)

10. สถานีแห่งนี้มีอุณหภูมิของตุ้มแห้ง 32°ซ อุณหภูมิของตุ้มเปียก 27°ซ และความเร็วของลมที่จุดความสูง 2 เมตรเหนือผิวพื้นเป็น 0.5 เมตร/วินาที จงคำนวณหาปริมาณการระเหยของสถานีแห่งนี้

(5.38 มม./วัน)