บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

กาแฟอราบิก้าเป็นไม้ยืนต้นที่เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และในประเทศไทยมีการส่งเสริมให้ปลูกบนที่สูง เพื่อแก้ปัญหาการปลูกฝิ่นและการทำไร่เลื่อนลอยของชาวไทยภูเขา (พงษ์ศักดิ์, 2537) กาแฟอราบิก้าอยู่ในตระกูล Rubiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea arabica* L. มีจำนวนโครโมโซม 2n=4x = 44 เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดจากป่าธรรมชาติแนวเทือกเขาเอธิโอเปีย ซึ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,500-2,000 เมตร (Charrier and Berthland, 1985) ซึ่งที่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งกลางแจ้งและอยู่ภายใต้ร่มเงา (สมพล, 2535) มีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก สูง 3-5 เมตร โดยทั่วไปมีอายุประมาณ 10-15 ปี เป็นไม้ที่ต้องการสภาพอากาศที่มีฤดูฝนและฤดูแล้งที่ชัดเจน (พัฒนพันธุ์, 2532 และ นริศ, 2534)

ถึงแม้ว่าการปลูกกาแฟบนที่สูงโดยส่วนใหญ่จะอาศัยลักษณะของเกษตรน้ำฝน มีการจัดการเกี่ยวกับปริมาณน้ำชลประทานค่อนข้างต่ำ แต่เนื่องจากในปัจจุบันปริมาณน้ำเริ่มกลายเป็นข้อจำกัดมากขึ้น ดังนั้น การจัดการเกี่ยวกับปริมาณการให้น้ำ ปริมาณการสูญเสียน้ำจึงกลายเป็นเรื่องที่น่าสนใจสำหรับการผลิตพืชต่างๆ การให้น้ำเป็นปัญหาอย่างมากแก่เกษตรกร การให้น้ำที่ไม่เพียงพอแก่ความต้องการของพืชจะทำให้ผลผลิตลดลง ดังนั้นการศึกษาปริมาณการใช้น้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญและน่าสนใจต่อการให้ผลผลิตของพืช

ถนอม (2528) กล่าวโดยทั่วไปว่า การที่จะเข้าใจถึงปัญหาของการใช้น้ำของพืชนั้นจำเป็นที่ต้องพิจารณาถึงสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม ซึ่งจะประกอบไปด้วย ดิน พืช และบรรยากาศ ที่จะมีส่วนเกี่ยวข้องอยู่ในกระบวนการต่างๆ และมีความเกี่ยวพันในลักษณะลูกโซ่ ดังนั้นในการศึกษาหรือตีปัญหาในเรื่องการใช้น้ำของพืชในเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งย่อมไม่ได้ผล ดนัย (2537) ได้กล่าวว่าน้ำมีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของพืช เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดภายในต้นพืช การเกิดปฏิกิริยาต้องอาศัยน้ำทั้งสิ้น เพราะน้ำทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการก่อให้เกิดปฏิกิริยาเหล่านั้น นอกจากนี้การดูดอาหารในดิน การเคลื่อนที่ของอาหารภายในต้นก็อาศัยน้ำเป็นตัวนำ ทำให้พืชต่างๆสามารถตั้งตัวอยู่ได้เนื่องจากทำให้เซลล์พืชเต่ง และน้ำยังเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เนื่องจากน้ำเป็นสารที่มีความจุความร้อน (heat capacity) สูง ดังนั้นบทบาทของน้ำที่มีต่อพืชสามารถ สรุปได้ดังนี้

1. น้ำเป็นส่วนประกอบภายในต้นพืชถึง 85 – 90 % และเป็นส่วนประกอบของเมล็ดแห้งและสปอร์ประมาณ 10 %

2. น้ำสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ เนื่องมีความจุความร้อนมีความสามารถรับความร้อนที่ทำให้เป็นไอ (heat of vaporization) สูง และมีความสามารถในการนำความร้อน (thermal conductivity) สูง

3. น้ำเป็นตัวทำละลายสำหรับสารต่างๆ เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาได้

4. น้ำเป็นตัวพยุงให้ต้นพืชตั้งตัวอยู่ได้โดยทำให้เซลล์พืชเต่ง

5.น้ำเป็นแหล่งของก๊าซออกซิเจนและไฮโดรเจน ซึ่งก๊าซออกซิเจนก็ถูกนำไปใช้ในการหายใจ และก๊าซไฮโดรเจนก็ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง

6. น้ำเป็นแหล่งที่ใช้ในการผลิต ATP จากกระบวนการสังเคราะห์แสง

ถนอม (2528) กล่าวว่าน้ำในดินจะมีบทบาทเป็นอย่างมากต่อการเจริญและเติบโตของพืช โดยที่น้ำจะเข้ามาเกี่ยวข้องตั้งแต่การงอกของเมล็ดไปจนกระทั่งครบวัฏฏจักรของการเจริญ นอกจากนี้น้ำยังเป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์พืชที่กำลังเจริญและเติบโต ในกระบวนการเติบโตของพืชน้ำก็จะเข้าไปเกี่ยวข้องอยู่ด้วยเสมอไม่ทางตรงก็ทางอ้อม เมื่อพืชขาดน้ำจะทำให้เซลล์ของพืชขาดความเต่งตึง (turgor) และเหี่ยวเฉา (wilting) เซลล์จะหยุดการแผ่ขยายตัวและจะหยุดแบ่งเซลล์ ปากใบจะปิด การสังเคราะห์แสงลดลงหรือหยุดชะงัก ทั้งยังมีผลต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมพื้นฐานต่างๆ และถ้าหากพืชขาดน้ำอย่างรุนแรงแล้วโปรโตพลาสซึมจะหยุดทำงานและตายไปในที่สุด

2.1.สภาวะแวดล้อมกับผลของความเครียดต่อการขาดน้ำ

สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดสภาวะเครียดต่อพืช ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่นในกรณีของต้นกาแฟ การได้รับความเข้มแสงสูงเกินกว่าระดับที่เหมาะสม จะทำให้ต้นกาแฟเกิดความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิสูง และการขาดน้ำทำให้น้ำหนักสดของใบและลำต้นลดลง เนื่องจากการขาดน้ำมีผลทำให้ปากใบเปิดได้น้อยลง การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง อีกทั้งการที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้การหายใจในสภาพปกติรวมกับการหายใจที่เกิดในสภาพที่มีแสง (Photorespiration) เพิ่มขึ้นขณะที่อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ซึ่งจะทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลงในที่สุด (พัฒนพันธุ์, 2532)

จากรายงานของ Heath and Meidner (1961) และ Slatyer (1969) พบว่า เมื่อพืชตกอยู่ภายใต้สภาพเครียดมากๆ จะทำให้ท่อน้ำและท่ออาหารของพืชได้รับความเสียหาย การส่งอาหารภายในลำต้นเป็นไปอย่างไม่สะดวก ทำให้กาแฟที่ปลูกในดินที่มีความชื้นต่ำมีการเจริญเติบโตไม่ดีทั้งส่วนของลำต้น พื้นที่ใบและการสะสมน้ำหนักแห้ง ซึ่งถนอม (2528) ได้อธิบายว่า เมื่อพืชขาดน้ำจะมีผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาคือจะทำให้การแผ่ขยายและการแบ่งเซลล์ลดลง พื้นที่ใบน้อย ใบหนา เมื่อพืชขาดน้ำมากๆ การสังเคราะห์แสงลดลง แต่การหายใจเพิ่มขึ้น การสังเคราะห์และการเคลื่อนย้ายสารต่างๆลดลงทำให้มีน้ำตาลและสารประกอบไนโตรเจนสูง อัตราการเจริญเติบโต ความยาวของลำต้น การขยายขนาดของใบ และการเปิดปากใบลดลง (Hale and Orcutt, 1987) ส่งผลให้การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นลดลงต่ำกว่าทางราก ทำให้อัตราส่วนมวลชีวภาพระหว่างรากต่อต้นเพิ่มสูงขึ้น (Kramer, 1983) และยิ่งเป็นพืชที่อยู่บนบกยิ่งพบปัญหามากกว่าพืชในน้ำ เพราะพืชที่ต้องดูดน้ำและแร่ธาตุจากดินขึ้นไปยังลำต้นและยอดซึ่งเจริญอยู่ในอากาศและปริมาณน้ำและแร่ธาตุมักจะไม่เพียงพอต่อการเกิดกระบวนการเมตาโบลิสซึมของพืช (ดนัย, 2537)

จากผลของอุณหภูมิสูงและการขาดน้ำที่ทำให้เกิดสภาวะความเครียดต่อพืช Kumar(1976) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมของการสังเคราะห์แสงของใบกาแฟจะอยู่ในช่วงระหว่าง 20° – 25° ซ และมีความเข้มของแสงที่ประมาณ 600 $\mu E.m^{-2}.s^{-1}$ หากความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น การสังเคราะห์แสงจะลดลง แต่ถ้าทำให้อุณหภูมิใบมีค่าต่ำ การเพิ่มขึ้นของความเข้มแสงจะไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง และถ้าปรับความเข้มของแสงให้คงที่ (300 $\mu E.m^{-2}.s^{-1}$) อุณหภูมิต่ำประมาณ 10° ซ จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงประมาณ 10 mg $CO_2.dm^{-2}.hr^{-1}$ อัตราการสังเคราะห์แสงนี้จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่จนถึงอุณหภูมิ 20° ซ หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มจะน้อยลงและถึงจุดสูงสุด ที่อุณหภูมิ 25° ซ ส่วนอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากนี้จะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 10° ซ และการสังเคราะห์แสงจะหยุดในที่สุดที่อุณหภูมิ 45° ซ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ramalho et al., (1997) กล่าวว่าการได้รับพลังงานแสงสูงเกินไปพืชจะมีกลไกภายในป้องกันตัวเอง และทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง และLevitt (1980) ได้กล่าวว่าในพืชทั่วๆไป ความเข้มแสงที่สูงเกินระดับที่เหมาะสมของพืชนั้น จะมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มพลังงานจลน์จนมากเกินไปในใบพืช ซึ่งผลที่ตามมาคือทำให้เกิดความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิสูงและการขาดน้ำ

วรวิทย์ (2531) รายงานว่าต้นกาแฟที่ปลูกอยู่ในสภาพกลางแจ้ง เมื่อกระทบกับสภาวะขาดน้ำเป็นเวลานานๆ ในช่วงฤดูแล้ง พฤติกรรมของปากใบจะได้รับความกระทบกระเทือนทำให้การพัฒนาของผลกาแฟเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ เพราะเป็นระยะที่ต้องการสะสมอาหารเป็น

ปริมาณมาก และยังเกี่ยวพันไปถึงการเจริญเติบโตของกิ่งและใบด้วย กาแฟที่อยู่ภายใต้สภาวะเครียด การเปลี่ยนแปลงปริมาณของค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟ (ψ_{leaf}) จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา พิทักษ์และเรืองยศ (2528) พบว่าค่าศักย์ของน้ำในใบจะมีค่าสูงสุดในตอนเช้าตรู่ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณ 14.00 น. ซึ่งค่าศักย์ของน้ำในใบยังมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอีกด้วย เมื่อพืชเกิดความเครียดค่าศักย์ของน้ำในเซลล์จะลดลง ถ้าความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำเกิดขึ้นอย่างช้าๆใบแก่จะตายก่อน แต่ถ้าเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วใบอ่อนจะมีค่าศักย์ของน้ำในใบลดลงจนอาจตายก่อน ขนรากก็จะตายที่ระดับความเครียดต่ำๆ (Kramer and Kozlowski, 1979) ความเครียดของน้ำในพืชมีผลมาจากทั้ง การลดลงของศักยภาพน้ำในดิน และอัตราการระเหยที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันจากปริมาณรังสีสุทธิ และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้รับ (Morgan, 1984)

จากการศึกษาโดยทั่วไป พบว่าพืชจะมีการเจริญสูงสุดเมื่อได้รับน้ำเต็มที่ตามต้องการโดยปริมาณน้ำดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับอัตราการคายระเหยน้ำของพืชในแต่ละวัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ สภาพภูมิอากาศและระยะการเจริญเติบโตของพืชนั้นๆ (สุรีย์, 2526)

อำนาจ (2525) ได้สรุปว่าการขาดน้ำของพืชจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการคายน้ำ เพราะในส่วนของรากพืชนั้นสามารถปรับตัวให้ดูดน้ำได้ภายใต้สภาวะอุณหภูมิของดินต่ำและการระบายอากาศที่เลว พืชตอบสนองอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินและในบรรยากาศ โดยแสดงออกมาในรูปของการคายน้ำขณะที่น้ำในดินลดลง ปริมาณน้ำที่เข้าไปในพืชก็มีแนวโน้มที่จะลดลง แต่ขณะเดียวกันพืชยังคงมีการคายน้ำอยู่ พืชจึงปรับตัวโดยเพิ่มแรงดูดน้ำจากดินเพื่อชดเชยการสูญเสียน้ำของพืชในกระบวนการการคายระเหยของแต่ละวัน (Kramer, 1983)

2.2 การศึกษาการสมดุลของน้ำ

การศึกษาเกี่ยวกับความต้องการน้ำของกาแฟ เดิมนั้นอาศัยการระเหยและการคายน้ำเพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟ Warrit (1988) บรรยายเกี่ยวกับการคายระเหยน้ำจากต้นกาแฟ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำตลอดจนผลของความเครียดน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นกิ่งก้านสาขา และตลอดจนถึงการออกดอกและติดผลของกาแฟ โดยกล่าวว่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟค่อนข้างต่ำในระยะของการย้ายปลูกและจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนกระทั่งมีค่าการใช้น้ำสูงสุด (maximum value) ที่ระยะของการออกดอก และการศึกษาครั้งนั้นมีการบันทึกอัตราการคายระเหย (evapotranspiration) สัมประสิทธิ์การใช้น้ำและประสิทธิภาพการใช้น้ำของกาแฟ (crop

coefficient and water use efficiency) ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์การใช้น้ำของกาแฟและข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลการสูญเสียน้ำจะถูกบันทึกโดยใช้การสมดุลของน้ำในถังไลซิมิเตอร์ (lysimeter) ซึ่งมีขนาด 1.5 x 1.5 x 1.0 เมตร และได้หาสมดุลของน้ำโดยใช้สมการ (Doorenbos and Pruitt, 1977) คือ

$$ET_c = P + I + D \pm dS \qquad (2)$$

โดยที่

ET_c : อัตราการคายระเหย (มม.)
P : ปริมาณน้ำฝน (มม.)
I : ปริมาณน้ำที่ให้ทดแทน หรือ น้ำชลประทาน (มม.)
D : ปริมาณน้ำที่ระบายลงสู่ดินชั้นล่าง (มม.)
dS : ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน (มม.)

จากสมการการหาสมดุลน้ำ หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของการสูญเสียโดยการคายระเหย (ET_0) ในถังไลซิมิเตอร์ โดยสมมุติให้ปริมาณน้ำในถังไลซิมิเตอร์ที่มีอยู่ที่จุดความจุความชื้นสนาม (field capacity) ตลอดเวลา ปริมาณการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาหนึ่งๆ จะสามารถหาอัตราการคายระเหยได้ ซึ่งจะหาได้จากความแตกต่างของปริมาณน้ำที่ให้ (ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำชลประทาน) และที่ระบายจากถังไลซิมิเตอร์ ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่จุดความจุความชื้นสนาม โดยที่หากปริมาณน้ำมีค่าต่ำกว่าปริมาณน้ำที่จุดความจุความชื้นสนามจะมีค่าเป็นลบ และปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงนี้จะสามารถหาได้จากปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปทดแทนปริมาณน้ำที่ที่มีการคายระเหยออกไป ส่วนปริมาณน้ำที่ยังคงเหลือภายในถังไลซิมิเตอร์ก็จะหาได้จากผลต่างของปริมาณน้ำที่จุดความจุความชื้นสนามกับปริมาณน้ำที่เติมเข้าไป ถ้าหากปริมาณน้ำที่ได้รับมีค่าสูงกว่าปริมาณน้ำที่จุดความจุความชื้นสนามจะมีค่าเป็นบวก ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงนี้จะสามารถหาได้จากผลต่างของปริมาณน้ำที่ได้รับกับปริมาณน้ำที่จุดความจุความชื้นสนาม

ถนอมและคณะ (2533 ก และ ข) ได้ทำการศึกษาถึงการสมดุลของน้ำในพืชน้ำมัน ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อหาสมดุลของน้ำในถังไลซิมิเตอร์ โดยใช้สมการเดียวกัน และยังได้แสดงถึงการหาสัมประสิทธิ์ของการใช้น้ำ (crop coefficient) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างศักยภาพการคายระเหย (potential evapotraspiration ; PET) กับการคายระเหย (Evapotranspiration; ET) ซึ่งค่าของศักยภาพการคายระเหยสามารถหาได้จากสมการของเพนแมน (Penman,1956) คือ

$$PET = [\Delta R_n + \gamma E_a] / [\Delta + \gamma] \quad (3)$$

โดยที่

R_n : พลังงานรังสีสุทธิ (value of net radiation)($Jm^{-2}d^{-1}$)

γ : ค่าคงที่ไซโครเมตริก (psychrometric constant)

E_a : เทอมของแอโรไดนามิก (aerodynamic term)

Δ :ความชันของกราฟความดันไออิ่มตัว(slope saturation vapour pressure curve)

ส่วนค่าประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (water use efficiency , WUE) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างผลผลิตกับปริมาณของน้ำที่พืชใช้ไปทั้งหมด (Doorenbos and Kassem, 1979., Lomas et al., 1974) การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช สามารถทำได้โดยการใช้ไลซิมิเตอร์ ซึ่งเป็นการวัดการใช้น้ำโดยอาศัยความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ได้รับเข้าไป และปริมาณน้ำระบายออกจากก้นถังรวมกับความแตกต่างของจำนวนความชื้นของดินในถังเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง (Aboukhaled et al., 1982) ซึ่งต้องอาศัยความละเอียดเละเครื่องมือที่มีราคาแพง หรือการวัดการใช้น้ำโดยอ้อมอาจทำได้โดยคำนวณการใช้น้ำของพืช เช่น หญ้าที่มีความเจริญงอกงามได้ตลอดทั้งปี มีอัตราการใช้น้ำที่ไม่ขึ้นอยู่กับอายุเมื่อกำหนดให้ดินมีความชื้นสูงตลอดเวลา ดังนั้นการใช้น้ำของพืชที่เลือกไว้ในดินที่มีความชื้นสูงพอตลอดเวลาจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศอย่างเดียว การใช้น้ำของพืชดังกล่าว เรียกว่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration; ET_p) เมื่อต้องการทราบปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration; ET_c) วิบูลย์ (2526) รายงานว่าสามารถคำนวนได้จากสมการ

$$ET_c = K_c \cdot ET_p \quad (4)$$

โดยที่

K_c : ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชนั้นๆ

ET_p : การระเหยน้ำของพืชอ้างอิง หรืออาจคำนวณได้จากการวัดจากถาดระเหยแบบ Class-A pan คือ

$$ET_p = K_p \cdot E_p \quad (5)$$

โดยที่

K_p : ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย

E_p : การระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหย(มม.)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชเป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ๆ คือ ปริมาณที่พืชดูดจากดินนำไปใช้ในการสร้างเซลล์และกระบวนการต่างๆ แล้วคายออกทางใบสู่บรรยากาศเรียกว่า การคายน้ำ (Traspiration) และปริมาณที่ระเหยจากผิวดินรอบๆ ต้นพืชเรียกว่าการระเหย (Evaporation) รวมเรียกการใช้น้ำของพืชว่า การคายระเหย (Evapotranspiration , ET) วิบูลย์ (2526) กล่าวว่าการใช้น้ำของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 4 ประการคือ

1. สภาพภูมิอากาศรอบๆพืช ได้แก่ ความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความเร็วลม เป็นต้น

2. พืช ได้แก่ ชนิดและอายุพืช พืชแต่ละชนิดต้องการน้ำที่แตกต่างกัน และพืชแต่ละต้นจะใช้น้ำน้อยเมื่อเริ่มปลูกและเพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อยๆ และมากที่สุดเมื่อพืชนั้นถึงวัยเจริญพันธุ์ ซึ่งเติบโตเต็มที่แล้วค่อยๆลดลง

3. ดิน ได้แก่ ปริมาณความชื้นในดิน เนื้อดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความเข้มของเกลือในดิน หรือสารพิษอื่นๆในดิน

4. องค์ประกอบอื่นๆ เช่น วิธีการให้น้ำแก่พืช ความลึกของการให้น้ำแต่ละครั้ง ฤดูการเพาะปลูก การไถพรวนดินและการคลุมดิน เป็นต้น

การประมาณความต้องการน้ำของกาแฟสามารถชี้ชัดได้ยาก เนื่องจากการขาดน้ำที่ไม่รุนแรงจะลดการเจริญเติบโตโดยปราศจากการเหี่ยวเฉาหรือไม่สามารถแสดงออกทางสภาวะความเครียดได้ (Meinzer et al., 1992) เมื่อการเจริญเติบโตลดลงมีผลทำให้ลดการชักนำต่อการออกดอกและติดผลได้ (Browning and Fisher, 1979; Cannell, 1971) ส่วน Blore (1966) , Pereira (1957) และ Wallis (1963) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.7 - 0.8 ส่วน Marco and Frederick (1994) พบว่าอัตราส่วนระหว่างศักยภาพการคายระเหยกับการคายระเหย หรือสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชในต้นกาแฟในปี 1991 มีค่าระหว่าง 0.75 - 0.79 สำหรับต้นกาแฟที่มีอายุ 2-4 ปี และ 0.58 สำหรับต้นกาแฟที่มีอายุ 1 ปี และการคายน้ำของต้นกาแฟได้เพิ่มขึ้น 40% -45% จากค่าการคายระเหยเนื่องจากดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น จาก 1.4 เป็น 6.7 และเมื่อได้เทียบใช้กับวิธีการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเพื่อใช้ทำนายความต้องการน้ำของกาแฟในเคนยา Wallis (1963) และ Blore (1966) พบว่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของกาแฟเมื่อไม่มีการชลประทานจะมีค่าเท่ากับ 0.6 และหากมีการชลประทานจะมีค่าเท่ากับ 0.7 Tan and Layne (1981) พบว่าการให้น้ำแก่ท้อ โดยการวัดความชื้นในดินโดยตรงหรือคำนวณจากสมการที่ดัดแปลงของการคายระเหยนั้น สามารถแสดงให้เห็นถึงผลต่อการเจริญเติบโตของท้อเหมือนกัน

รูปแบบที่ถูกต้องของสมดุลน้ำในดินเป็นเรื่องที่สำคัญต่อการศึกษาพฤติกรรมและการจัดการน้ำให้กับพืช ดังนั้นปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในดินที่มี ต่อพืชมีความสำคัญต่อรูปแบบจำลองโดยคำนวณจากความแตกต่างของปริมาณน้ำในดินบนกับปริมาณน้ำในดินชั้นล่างในบริเวณรากพืช (Ritchie, 1972., 1981 ; Cassel et al., 1983, Cassel and Nielson , 1986) รูปแบบจำลองโดยทั่วไปจึงมักจะมีการกำหนดปริมาณน้ำของชั้นดินชั้นบนให้เป็นที่แน่นอน ส่วนการประเมินปริมาณน้ำของชั้นดินล่างจะอาศัยวิธีการทางห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องอัดความดัน (pressure extractor) ที่ความดัน –0.01 $kJ.kg^{-1}$ และ –1.5 $kJ.kg^{-1}$ (Klute, 1986)

จากการศึกษาเกี่ยวกับสมดุลของน้ำ สิทธิพรและราชัน (2528) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการประมาณค่าศักยภาพการคายระเหย จากวิธีการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตรโดยวิธีของ Janson-Haise, Makkink, Pan evaporation, และ Modified Penman กับวิธีการวัดโดยตรงโดยใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบระบาย (Drainage Lysimeter) พบว่า ค่าศักยภาพการคายระเหยที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีของ Modified Penman ให้ผลใกล้เคียงกับวิธีวัดโดยตรงมากที่สุด

ปัจจุบันการศึกษาการตอบสนองต่อปริมาณการให้น้ำแก่พืชนิยมคำนวณจากค่า ET_c และจากถาดวัดการระเหย เช่น ชูศักดิ์ (2528) คำนวณค่า ET_p จากสมการที่ดัดแปลงมาจากสมการของ Penman โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชตระกูลกระหล่ำเป็นตัวแทนในการให้น้ำแก่สตรอเบอรี่พันธุ์ Sequoia พบว่าการให้น้ำโดยวิธีน้ำหยดในปริมาณ 1.0 เท่าของ ET_c จะให้ผลผลิตสูงกว่าการให้น้ำที่ระดับ 2.0 ET_c แต่ถ้าใช้บัวรดน้ำพบว่าที่ระดับ 2.0 ET_c จะให้ผลผลิตสูงกว่าการรดน้ำที่ระดับ 1.0 ET_c และ Gehrmann (1985)ได้ ศึกษาการให้น้ำกับสตรอเบอรี่ พันธุ์ Korono 4 ระดับ คือ 100, 75, 50 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ET_c จาก Class-A pan พบว่าการให้น้ำที่ 75 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้พื้นใบที่และน้ำหนักแห้งลดลง 63 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเทียบกับการให้น้ำที่ 100 เปอร์เซ็นต์ และMcNiesh et al. (1985) ได้ให้ความเห็นว่า การคำนวณการระเหยน้ำจากสภาพอากาศ (ET_p) จะให้ค่าแน่นอนมากกว่าการวัดจากถาดระเหย เพราะในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูงหรือมีหมอกมากการระเหยน้ำจากถาดวัดการระเหยจะมีค่าต่ำและไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการคำนวณจากสภาพอากาศ

Renquist (1987) ทดลองวิธีการให้น้ำแบบหยดกับท้อ โดยให้ทุกสัปดาห์ในอัตรา 1.0 และ 1.5 เท่าของ ET_c เปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบร่องในระดับ 1.0 ET_c ทุก 4 สัปดาห์พบว่าการเจริญของท้อสำหรับการให้น้ำแบบหยดจะดีกว่าวิธีการให้น้ำแบบร่อง และยังขึ้นอยู่กับความถี่ของการให้น้ำมากกว่าจำนวนของการให้น้ำในแต่ละครั้งอย่างไรก็ตาม Wolff (1979) แนะนำการใช้น้ำแก่เกษตรกรโดยคำนวณง่ายๆ จากถาดวัดการระเหยซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการแนะนำจาก U.S. Weather Bureau และสามารถใช้ได้กว้างขวางในหลายประเทศ เช่น Renquist et al. (1982) พบว่า

การให้น้ำที่ 0.7 เท่าของ Class-A pan จะทำให้ใบและหน่อของสตรอเบอรี่มากกว่าการให้น้ำที่ 0.23 เท่า แต่น้ำหนักแห้งของรากไม่แตกต่างกัน ส่วน Minami et al. (1982) พบว่าการให้น้ำแก่สตรอเบอรี่ที่ 0.8 เท่า ของการระเหยน้ำจาก Class-A pan จะให้ผลผลิตมากกว่าการให้น้ำที่ 0.4 – 0.7 และ 1.2 เท่า และ Mitchell et al. (1984) ให้น้ำแก่สาลี่ที่ระดับ 92, 47 และ 23 เปอร์เซ็นต์ ของการระเหยน้ำของพื้นที่ปลูก พบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น แต่ Byer and Moore (1987) คำนวณการให้น้ำแก่บูลเบอรี่ พันธุ์ Blue crop โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชตลอดฤดูปลูกเป็น 1.00, 0.75 และ 0.50 แล้วนำไปหาความสัมพันธ์กับการระเหยน้ำจาก Class-A pan โดยวิธีน้ำหยด ซึ่งไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการให้น้ำทั้ง 3 ระดับ

จะเห็นว่าการศึกษาสมดุลของน้ำนั้น ประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ และปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งก็คือ ปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เช่น ปริมาณแสงที่ได้รับ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Lamos et al., 1974) เนื้อดิน โครงสร้างดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (Yao, 1975) ความผันแปรของสภาพอากาศและการจัดการเกี่ยวกับต้นพืช (Marco and Frederick, 1994) Devitt et al. (1992) พบว่าปริมาณของสมดุลของน้ำในหญ้าสนามกอล์ฟในถังไลซิมิเตอร์ซึ่งถูกควบคุมโดยการคายระเหยนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของศักยภาพการคายระเหยมาจากสภาพแวดล้อม และนอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องอีกด้วย เช่น พฤติกรรมของต้นพืช ลักษณะหรือชนิดของดินโดย Judy et al., (1998) พบว่าชนิดของดินก็มีผลต่อปริมาณการใช้น้ำและผลผลิตของข้าวโพด ซึ่งอาจจะต้องการการจัดการน้ำที่แตกต่างกัน เพื่อความเหมาะสมของสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ

2.3 สมการการใช้น้ำโดยแนวความคิดของ Driessen (1986)

จากสมการการศึกษาการใช้น้ำและสมดุลของน้ำ ในสภาพการใช้น้ำอย่างแท้จริงจากการวัดโดยวิธีตรงในถังไลซิมิเตอร์ Dagg (1970) กล่าวว่า การทดสอบโดยการใช้ถังไลซิมิเตอร์เป็นวิธีที่น่าพอใจ และสามารถให้ข้อมูลด้านการคายระเหยค่อนข้างน่าเชื่อถือได้โดยขึ้นอยู่ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ van Keulen (1986) ได้รวบรวมสมการดังกล่าวในรูปแบบของโปรแกรมภาษา FORTRAN (Fortran Compiler version ZZ 1.2) ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากและสับสน ดังนั้นเพื่อความสะดวก บัณฑูรย์ (2541) ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขโดยได้เรียบเรียงโปรแกรมใหม่ในรูปของภาษาเบสิค (MBASIC)

จากแนวความคิดของ Driessen (1986) การคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในดินบริเวณรากพืช หมายถึงปริมาณการเปลี่ยนแปลงการได้รับและการสูญเสียของน้ำในดินที่ระดับ

ความลึกรากซึ่งจะประกอบไปด้วยการได้รับและสูญเสียจากส่วนบน และส่วนล่างของรากพืช การสูญเสียโดยตรงจากภายในบริเวณรากพืช ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$RSM = [\, IM + (CR - D) - T \,] / RD \qquad (6)$$

ปริมาณที่ได้รับและสูญเสียจากส่วนบนของรากพืช (IM) นั่นคือน้ำที่ได้รับจากปริมาณน้ำฝน (P) ปริมาณน้ำชลประทาน (Ie) และน้ำในส่วนที่ขังอยู่บนผิวหน้าดิน (DS) ส่วนปริมาณน้ำที่สูญเสียจากผิวหน้าดินจะเกิดจากการระเหยของน้ำ (Ea) ในบางช่วงปริมาณน้ำที่ได้รับอาจจะเกินความสามารถที่จะซึมผ่านเข้าไปในดิน ซึ่งน้ำที่เกินพอนั้นจะขึ้นอยู่กับความสามารถเก็บกักน้ำของผิวหน้าดินอันเป็นสมบัติของผิวหน้าดินและความลาดเอียงของพื้นที่ นั่นคือ

$$IM = P + Ie - Ea + DS - SR \qquad (7)$$

โดยที่

IM คือ อัตราการซึมผ่านได้ในขณะนั้น (ซม./วัน)

P คือ อัตราของน้ำฝนที่ตกลงมาขณะนั้นๆ (ซม./วัน)

Ie คือ อัตราของประสิทธิภาพการชลประทาน (ซม./วัน)

Ea คือ อัตราการระเหยของน้ำขณะนั้นๆ (ซม./วัน)

DS คือ อัตราการลดลงของการกักเก็บน้ำที่ผิวหน้าดิน (ซม./วัน)
โดยที่ DS จะเป็นบวกเมื่อการเก็บกักที่ผิวหน้าดินลดลงและจะเป็นลบเมื่อการเก็บกักน้ำที่บริเวณผิวหน้าดินเพิ่มขึ้น

SR คือ อัตราของการไหลบ่า (ซม./วัน)

ปริมาณการซึมผ่านของน้ำในดินส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เกินปริมาณการซึมผ่านสูงสุด ซึ่งปริมาณการซึมผ่านสูงสุดจะหาได้จากแรงเมตริก(matrix force) และแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity force) โดยแรงเมตริกนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการซับน้ำ (sorptivity) ของดิน ถ้ามีเฉพาะแรงเมตริกอย่างเดียวค่าอัตราการซับน้ำของดินจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณความชื้นเริ่มต้น โดยอัตราการซับน้ำสามารถหาได้จากสมการ

$$S = S_0 (1 - SM_\varphi / SM_0) \qquad (8)$$

โดยที่

S คือ ความสามารถในการดูดซับน้ำจริงของดิน (ซม./วัน $^{0.5}$)

S_0 คือ ความสามารถในการดูดซับน้ำมาตรฐานของดิน (ซม./วัน $^{0.5}$)

SM_φ คือ ปริมาณความชื้นในดินขณะนั้นๆ(ลบ.ซม./ลบ.ซม.)

SM_0 คือ ปริมาณช่องว่างทั้งหมดในดิน (ลบ.ซม./ลบ.ซม.)

ถ้ามีการซึมผ่านนานขึ้น ความสามารถสามารถในการดูดซับจะลดลงโดยสัมพันธ์กับแรงดึงดูดของโลก อัตราการซึมผ่านสูงสุดจะถูกจำกัดโดยสัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินในเขตการนำน้ำ (transmission zone; A) ซึ่งอัตราการซึมผ่านสูงสุดมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$IM_{max} = S \cdot (\Delta t)^{-1/2} + A \qquad (9)$$

โดยที่

IM_{max} คือ อัตราการซึมผ่านสูงสุด(ซม./วัน)

S คือ ความสามาถในการดูดซับน้ำจริงของดิน (ซม./วัน $^{0.5}$)

A คือ ค่าความลึกของเขตการนำน้ำ (ซม./วัน)

Δt คือ ช่วงเวลาหนึ่งๆ (วัน)

อัตราการระเหยน้ำที่แท้จริง (E_a) จะขึ้นอยู่กับศักยภาพการระเหยของชั้นบรรยากาศ สัมประสิทธิ์การนำน้ำของดินชั้นบน และอิทธิพลของทรงพุ่มของกิ่ง ในสภาพดินว่างเปล่าอัตราการระเหยน้ำสูงสุด (E_m) มีค่าเท่ากับศักยภาพการระเหยโดยมีน้ำที่ผิวดินอย่างเพียงพอ รวมไปถึงกรณีที่ดินมีการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินได้ดีหรือมีระดับน้ำใต้ดินตื้น ในสภาพที่มีพืชปกคลุมผิวหน้าดิน ค่าอัตราการระเหยสูงสุดจะต่ำกว่าศักยภาพการระเหยถึงแม้ว่าปริมาณของน้ำจากส่วนข้างล่างไม่จำกัดการคายน้ำก็ตาม Ritchie (1972) ได้เสนอความสัมพันธ์ของอัตราการระเหยกับพื้นที่ใต้ทรงพุ่มของพืช ซึ่งอ้างโดยบัณฑูรย์ (2541) ดังสมการ

$$Em = E_0 \, e^{-0.4(LAI)} \qquad (10)$$

โดยที่ E_0 คือ การระเหยจากผิวอิสระ (ซม./วัน)

LAI คือ ดัชนีพื้นที่ใบ

กรณีที่มีน้ำอยู่บนผิวดินหรืออัตราการระเหยน้ำต่ำกว่าอัตราการไหลขึ้นจากระดับน้ำใต้ดินสู่ผิวดิน อัตราการระเหยจริง (actual evaporation; E_a) จะเท่ากับอัตราการระเหยสูงสุด โดยปกติ

แล้วถ้าระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึก และคาปิลารีไรส์ (capillary rise, CR) จะไม่สามารถทดแทนการสูญเสียเนื่องจากการคายน้ำแล้ว แรงดูดดึงเมตริกที่ผิวหน้าดินจะเพิ่มขึ้นสูงมากในดินชั้นบน ทำให้หน้าดินแห้ง (air dry; SM_a) ดังนั้นปริมาณความชื้นในดินในขณะนั้นจะมีค่าเท่ากับ 0.33 x SM_{16000} (SM_{16000} คือค่าแรงดูดคือเมตริกที่ 16000 ซม.) แต่ถ้าอัตราการระเหยสูงสุดสูงกว่าระดับคาปิลารีไรส์อัตราการระเหยจริงจะเท่ากับอัตราการระเหยสูงสุดจากผิวดิน ซึ่งปริมาณน้ำที่จะระเหยจากบริเวณรากพืชจะเป็นไปตามสมการ

$$E_a = E_m (SM_0 - SM_a)/(SM_0 - SM_a) \quad (11)$$

โดยที่ SM_a คือ ปริมาณความชื้นในขณะดินแห้ง(air dry)(ลบ.ซม./ลบ.ซม.ดิน)

ปริมาณของการกักเก็บน้ำที่ผิวดิน (SS_t) มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาหนึ่งๆ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่กักเก็บไว้ที่ผิวดินจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ได้รับซึ่ง คือ ผลรวมของปริมาณน้ำฝนกับการชลประทานและปริมาณน้ำที่สูญเสียออกไปเนื่องจากการระเหยของน้ำ และความสามารถในการซึมผ่านสูงสุดลงไปจากผิวหน้าดิน ปริมาณของการเปลี่ยนแปลงของการกักเก็บน้ำที่ผิวหน้าดิน (decline in surface storage; DS) และไหลบ่า (surface runoff; SR) จึงเกี่ยวข้องกับการกักเก็บน้ำ ดังเงื่อนไข

- ในสภาพสมดุล ปริมาณน้ำที่ให้จะเท่ากับปริมาณของการซึมผ่าน ดังนั้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการกักเก็บน้ำที่ผิวดินและไม่มีการไหลบ่าเกิดขึ้น ก็จะได้

$$IM_{max} = P + I_e - E_a \quad (12)$$
$$DS = 0$$
$$SR = 0$$

- ถ้าปริมาณน้ำที่ให้ต่ำกว่าการซึมผ่าน และน้ำที่ให้ยังสามารถซึมผ่านได้อีก จึงทำให้เกิดการลดลงของการกักเก็บที่ผิวหน้าดินและไม่มีการไหลบ่า ปริมาณการเปลี่ยนแปลงการกักเก็บน้ำที่ผิวดินจะมีค่าไม่เกินปริมาณน้ำที่ให้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี

1. ปริมาณของการซึมผ่านมากกว่าการกักเก็บน้ำขณะนั้นๆ นั่นคือ

$$IM_{max} - (P + I_e E_a) \geq SS_t/\Delta t \quad (13)$$

ดังนั้น

$$DS = SS_t/\Delta t \text{ (น้ำจะซึมผ่านได้หมดในช่วงเวลาหนึ่ง)}$$
$$SR = 0$$

2. ปริมาณของการซึมผ่านต่ำกว่าการกักเก็บน้ำขณะนั้น คือ

$$IM_{max} - (P + I_e E_a) \leq SS_t/\Delta t \quad (14)$$

ดังนั้น

$$DR = IM_{max} - (P + I_e E_a)$$

$$SR = 0$$

- ถ้าปริมาณน้ำที่ให้มากกว่าการซึมผ่านของดิน ปริมาณน้ำที่เกินจะถูกเก็บไว้ที่ผิวดิน ความสามารถในการกักเก็บจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเกินกว่านี้จะเกิดการไหลบ่า ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณีเช่นกันคือ

1. ปริมาณน้ำที่เกินความสามารถในการกักเก็บที่เพิ่มขึ้น คือ

$$P + I_e E_a - IM_{max} \geq (SS_{max} - SS_t)/\Delta t \quad (15)$$

ดังนั้น

$$DS = (SS_{max} - SS_t)/\Delta t$$

$$SR = (P + I_e E_a) - IM_{max} - DS$$

2. ปริมาณน้ำที่ให้เท่ากับ หรือน้อยกว่าความสามารถในการกักเก็บที่เพิ่มขึ้น คือ

$$(P + I_e E_a) - IM_{nax} \leq (SS_{max} - SS_t)/\Delta t \quad (16)$$

ดังนั้น

$$DS = IM_{max} - (P + I_e E_a)$$

$$SR = 0$$

ดังนั้นปริมาณน้ำที่ได้รับจริงจากส่วนบนจะหมายถึงอัตราการซึมผ่านได้จริงของน้ำ (actual infiltration rate)บริเวณรากพืช

ปริมาณการได้รับและสูญเสียน้ำจากส่วนล่างของรากพืช (CR-D) การไหลของน้ำเกิดจากระดับทั้งหมดของของเหลว (total hydraulic head) ซึ่งประกอบด้วยระดับแรงดูดดึงเมตริกและระดับแรงดูดดึงของโลก สำหรับระดับแรงดูดดึงของโลกจะถูกกำหนดให้เป็นลบในทิศทางลงข้างล่างซึ่งหมายความว่าระดับทั้งหมดของของเหลว ณ จุดใดๆ เหนือระดับน้ำใต้ดินจะมีค่าเป็นบวกเสมอ ถ้าแรงดูดดึงเมตริกมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดของโลก หมายถึงมีค่ามากกว่าระยะทางในแนวดิ่งระหว่างจุดนั้นๆกับระดับน้ำใต้ดิน ค่าความต่างระดับของการไหลมีค่าเป็นบวกจะทำให้เกิดการ

ไหลของน้ำจากน้ำใต้ดินไปยังจุดนั้นๆด้วยแรงดูดดึงเมตริก ซึ่งเรียกว่าคาปิลารีไรส์ (capillary rise ; CR) มีหน่วยเป็นซม./วัน แต่ถ้าแรงดูดดึงเมตริกมีค่าน้อยกว่าแรงดึงดูดของโลกแล้ว ค่าระดับทั้งหมดของของเหลวจะเป็นลบและน้ำจะไหลลงสู่ข้างล่างจากดินบริเวณรากไปยังระดับน้ำใต้ดินที่มีระดับความลึก (Zt) จากผิวดิน การไหลลงข้างล่าง (percolation ; D) มีหน่วยเป็น ซม./วัน (Driessen, 1986)

การเกิดการไหลของน้ำขึ้นด้านบน ความสัมพันธ์ระหว่างแรงคาปิลารีไรส์และระยะทางของไหล (Zt - RD) จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง การไหลของน้ำสามารถหาได้ดังสมการ

$$CR = K_0 \{ e^{-\alpha.\varphi} - e^{-\alpha.(Zt-RD)} \} / \{ e^{-\alpha.(Zt-RD)} - 1 \} \quad (17)$$

โดยที่

K_0 คือ ค่าการนำของเหลวของวัตถุพรุนเฉพาะของเนื้อดิน(ซม./วัน)

α คือ ค่าคงที่เอมไพริคอลของเนื้อดิน (ซม./วัน)

φ คือ แรงดูดดึงเมตริก (ซม.)

Z_t คือ ระดับน้ำใต้ดิน (ซม.)

RD คือ ระดับความลึกราก (ซม.)

การไหลของน้ำลงสู่ด้านล่าง แรงดูดดึงที่ต่ำกว่าค่าของแรงดึงดูดของโลก ค่าระดับทั้งหมดของของเหลวจะมีค่าเป็นลบและน้ำจะเคลื่อนที่ลงข้างล่าง น้ำบริเวณรากจะสูญเสียไปสู่ดินด้านล่างและในที่สุดจะไหลลงสู่ระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งการไหลของน้ำซึมผ่านเขตการนำน้ำถูกควบคุมโดยบริเวณรากที่มีแรงดูดดึงเมตริก การไหลของน้ำลงสู่ด้านล่างหาได้จากสมการ

$$D = K_0 . e^{-\alpha.\varphi} \quad (18)$$

เนื่องจากว่าปริมาณน้ำที่ไหลจะไหลไปในทิศทางเดียวในเวลาใดเวลาหนึ่ง ถ้าคาปิลารีไรส์มีค่าเป็นศูนย์ จะเกิดการไหลลงข้างล่าง และถ้าหากไม่มีการไหลลงข้างล่างหรือมีค่าเป็นศูนย์จะเกิดคาปิลารีไรส์หรือเกิดการไหลของน้ำจากน้ำใต้ดินไปยังจุดนั้นๆด้วยแรงดูดดึงเมตริก ดังนั้นอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่บริเวณรากพืชที่ระดับความลึกรากจึงถูกอธิบายในรูปแบบ (CR – D) มีหน่วยเป็น ซม./วัน

ปริมาณการสูญเสียโดยตรงภายในบริเวณรากพืช เกิดจากการดูดน้ำของรากพืช ซึ่งจะสูญเสียน้ำไปเท่ากับการคายน้ำ (T) พืชที่ปลูกภายใต้สภาพที่มีปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะมีอัตราการคายน้ำเท่ากับอัตราการคายน้ำสูงสุด (maximum transpiration; T_m) แต่ถ้าน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ผิดไปจากสภาพที่เหมาะสม (แรงดึงดูดเมตริกมีค่าสูงหรือต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม) พืชจะจำกัดการใช้น้ำลง ซึ่งจะทำให้อัตราการคายน้ำของพืชขณะนั้นๆ ต่ำกว่าอัตราการคายน้ำสูงสุด

อัตราการคายน้ำสูงสุดในสภาพที่มีน้ำเหมาะสมจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวใบที่คายน้ำทั้งหมดกับศักยภาพของการคายน้ำ (T_0) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$T_m = (1 - e^{-0.8LAI}).T_0 \quad (19)$$

โดยที่

T_m คือ อัตราการคายน้ำสูงสุด (ซม./วัน)

T_0 คือ ศักยภาพของการคายน้ำ (ซม./วัน)

ศักยภาพของการคายน้ำ หาได้จากการนำของค่าของการระเหยน้ำของดินภายใต้สภาพเพนแมน (Penman condition) ไปลบออกจากอัตราการคายระเหยน้ำของพืช (ET_0) โดยหาได้จากสมการ

$$T_0 = ET_0 - 0.1(E_0) \quad (20)$$

ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Wa) สามารถหาได้จากผลต่างของปริมาณน้ำที่จุดความจุความชื้นสนามซึ่งมีแรงดูดดึงเมตริกเท่ากับ 100 ซม (SM_{100}) กับ ปริมาณน้ำที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรที่มีแรงดูดดึงเมตริกเท่ากับ 16000 ซม. (SM_{16000}) พืชมักจะเกิดความเครียดอย่างหนักเมื่อดินมีแรงดูดดึงเมตริกต่ำกว่า 16000 ซม. พืชจะลดการใช้น้ำเมื่อแรงดูดดึงเมตริกสูงกว่าแรงดูดดึงที่จุดวิกฤต (critical suction; φ_m) ดังนั้นน้ำที่พืชจะนำไปใช้ได้ที่จุดวิกฤต (SM_{cr}) จะอยู่ที่จุดหนึ่งจุดใดที่เหนือขึ้นมาจากปริมาณน้ำที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร ซึ่งขึ้นกับลักษณะของพืชลักษณะของดินและปริมาณการระเหย โดยสามารถหาได้จากสมการ

$$SM_{cr} = (1 - P)(SM_{100} - SM_{16000}) + SM_{16000} \quad (21)$$

โดยที่

SM_{cr} คือ ปริมาณความชื้นที่จุดวิกฤต (ลบ.ซม./ลบ.ซม.ดิน)

P คือ ส่วน (fraction) ของปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ที่อัตราการคายระเหยสูงสุด (T_m)

SM_{100} คือ ปริมาณความชื้นที่จุดความชื้นสนาม (ลบ.ซม./ลบ.ซม.ดิน)

SM_{16000} คือ ปริมาณความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (ลบ.ซม./ลบ.ซม.ดิน)

ค่าการคายระเหยจริงที่เกิดขึ้นขณะนั้นๆจะเท่ากับค่าการคายระเหยน้ำสูงสุดในกรณีที่ความชื้นของดินบริเวณรากพืชอยู่ในช่วงความชื้นที่เหมาะสมซึ่งอยู่ระหว่างความจุความชื้นสนามและจุดเหี่ยวเฉาถาวร และค่าการระเหยจริงจะต่ำกว่าค่าการคายระเหยสูงสุดเมื่อปริมาณความชื้นขณะนั้นสูงกว่าปริมาณน้ำที่จุดความชื้นสนามหรือต่ำกว่าปริมาณความชื้นที่จุดวิกฤต ดังนั้นค่าการระเหยจริงนั้นสามารถหาจากค่าของปริมาณความชื้นขณะนั้นๆ (SM_φ) ได้คือ

- ถ้า $SM_\varphi > SM_0 - 0.05$ (22)

แล้ว $T = 0$

- ถ้า $(SM_0 - 0.05) \geq SM_{cr} > SM_{100}$ (23)

แล้ว $T = [(SM_0 - 0.05) - SM_\varphi] / [(SM_0 - 0.05) - SM_{100})]. T_m$

- ถ้า $SM_{16000} > SM_\varphi > SM_{cr}$ (24)

แล้ว $T = T_m$

- ถ้า $SM_{cr} \geq SM_\varphi \geq SM_{16000}$ (25)

แล้ว $T = (SM_\varphi - SM_{16000}) / (SM_{cr} - SM_{16000}). T_m$

- ถ้า $SM_{16000} > SM_\varphi$ (26)

แล้ว $T = 0$

จากปัจจัยอัตราการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมาแล้ว อัตราการเปลี่ยนปริมาณความชื้นภายในดินในบริเวณรากพืชก็สามารถหาได้ตามแนวคิดของ Driesen (1986) ซึ่งดัดแปลงโดยบัณฑูรย์ (2541) ดังแสดงในสมการที่ (1) หรือ (6)

ดังนั้นเมื่อทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในดินในช่วงเวลาหนึ่งๆ (RSM) ก็จะสามารถนำไปใช้การประเมินปริมาณความชื้นในดินในบริเวณรากพืชในแต่ละช่วงเวลาของ

การเจริญได้ โดยทราบปริมาณความชื้นหากจุดเริ่มต้นในแต่ละช่วง ($SM_{\varphi,t}$) รวมกับอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในช่วงเวลานั้นๆ (RSM. Δt) ดังสมการ

$$SM_{\varphi,}(t+\Delta t) = SM_{\varphi,t} + RSM \cdot \Delta t \qquad (27)$$

โดยที่

$SM_{\varphi,}(t+\Delta t)$ คือ ปริมาณความชื้นในดินที่ช่วงสุดท้าย (ลบ.ซม./ลบ.ซม.ดิน)

$SM_{\varphi,t}$ คือ ปริมาณความชื้นในดินเริ่มต้น (ลบ.ซม./ลบ.ซม.ดิน)

RSM คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินในช่วงเวลาหนึ่ง (ลบ.ซม./ลบ. ซม.ดิน/วัน)

Δt คือ รอบเวลาที่ใช้ (วัน)

ดังนั้นในการใช้แนวคิดพื้นฐานของ Driesen (1986) ที่เกี่ยวกับสมดุลของน้ำในดิน โดยการใช้โปรแกรมภาษาเบสิค (MBASIC) จึงสมควรมีการทดสอบความถูกต้องเหมาะสม หากการทดลองเป็นผลสำเร็จก็จะสามารถนำรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ไปใช้กับการใช้น้ำของพืชอื่นๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเกษตรต่อไป