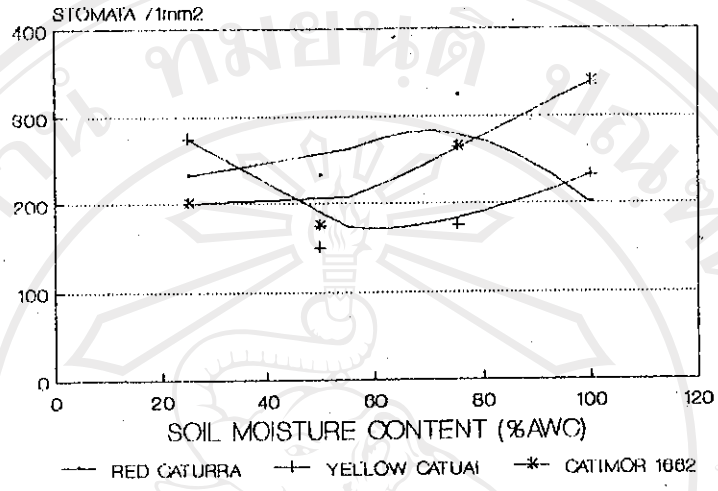
# บทที่ 5

# การวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

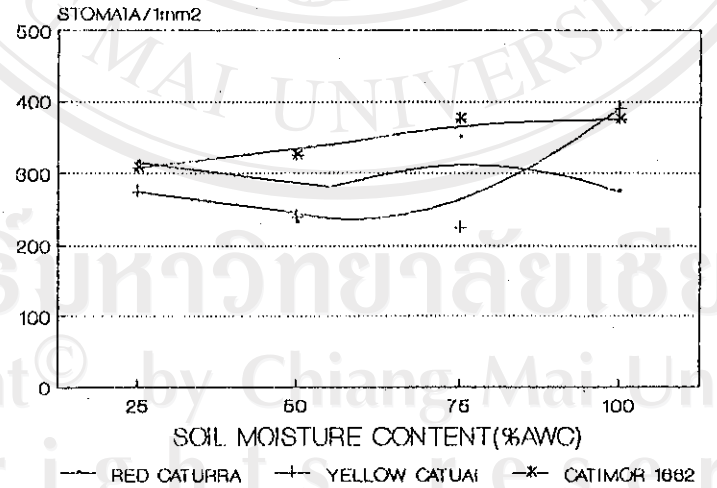
## 5.1 สัณฐานวิทยาของปากใบกาแฟภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง

สภาวะเครียดเนื่องจากการขาดน้ำภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงไม่มีผลทำให้จำนวนปากใบต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร แตกต่างไปจากสภาวะปกติ ถึงแม้ว่าจะได้ทำการตรวจวัดเมื่อต้นพืชเจริญเติบโตในสภาวะเครียดนานถึง 5 เดือน (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตามจำนวนปากใบต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตรของใบที่อยู่กลางแจ้งมีค่ามากกว่าใบที่อยู่ในร่มเงา (ภาพที่ 13 และ 14) สภาวะเครียดของการขาดน้ำไม่มีผลอย่างเด่นชัดต่อจำนวนปากใบต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร โดยจำนวนปากใบต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตรของใบกาแฟใบที่มีระดับน้ำในดินสูง (100% AWC) จะมากกว่าใบกาแฟที่อยู่ในระดับน้ำในดินที่ต่ำ (25% AWC) และอาจกล่าวได้อีกว่า การศึกษาสัณฐานวิทยายังไม่อาจบอกถึงความแตกต่างเพื่อการเปรียบเทียบพันธุ์ได้เพราะ แต่ละพันธุ์ที่ใช้ศึกษามีต้นกำเนิดมาจากพันธุ์ที่มีความใกล้ชิดทางพันธุกรรม (Op de Laak, 1988) นอกจากนี้สภาวะเครียดในการทดลองนี้อาจจะสิ้นเกินไปกว่าที่กาแฟจะปรับตัวโดยเพิ่มหรือลดจำนวนปากใบต่อพื้นที่ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบภายในใบด้วย (ภาพที่ 3 และ 4)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




ภาพที่ 13 จำนวนปากใบกาแฟอราบิก้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตรของใบที่อยู่ใต้ร่มเงาภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง




ภาพที่ 14 จำนวนปากใบกาแฟอราบิก้าเฉลี่ยต่อพื้นที่ 1 ตารางมิลลิเมตร ของใบที่อยู่กลางแจ้งภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## 5.2 พฤติกรรมการตอบสนองของปากใบกาแฟภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง

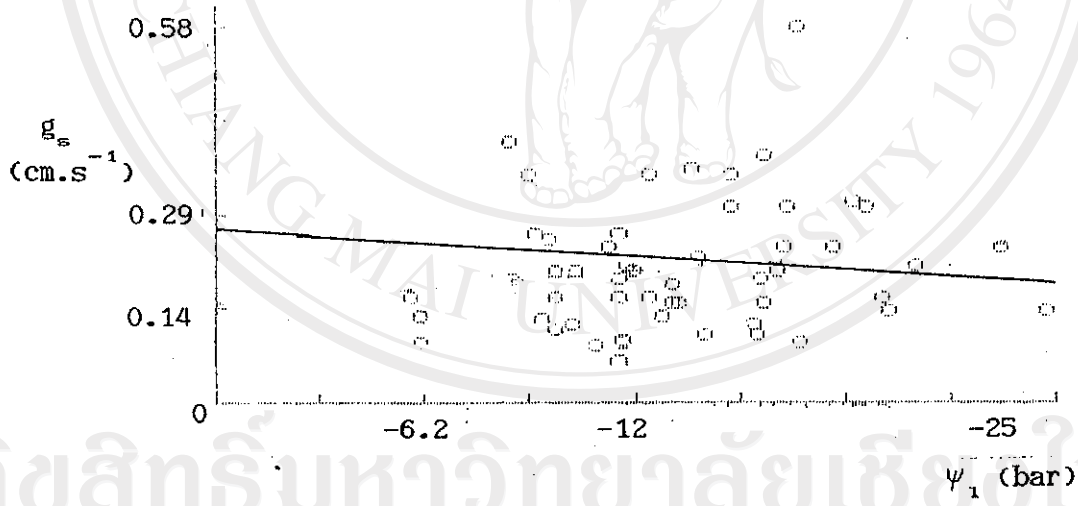
ผลของค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟ ($\psi_l$) ที่มีต่อการเปิดของปากใบ ($g_s$) จะขึ้นกับระดับน้ำในดินที่ต้นพืชเจริญเติบโตอยู่ ทั้งนี้จะสังเกตได้ชัดในกาแฟที่ปลูกในระดับน้ำในดินที่สูง (100%, 75% AWC) โดยจะมีการเปิดปากใบมากกว่ากาแฟที่ปลูกในระดับน้ำในดินที่ต่ำ (50%, 25% AWC; ดังภาพที่ 15, 16, 17 และ 18) ทั้งนี้สังเกตได้จากกลุ่มของการกระจายของ $g_s$ ภายใต้สภาวะความเครียดของน้ำต่างระดับโดย $g_s$ ที่100% AWC จะมีค่า $g_s$ สูงมาก ส่วน $g_s$ ในระดับน้ำที่ 50% และ 25% AWC ค่า $g_s$ จะเกาะกลุ่มในค่าที่ต่ำ Warrit (1977) ได้แสดงให้เห็นว่าในต้นแอปเปิล ค่า $\psi_l$ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับน้ำในดิน (Soil water content ; SWC) ดังนั้นเมื่อค่า SWC ลดลง ค่า $\psi_l$ จะลดต่ำลงด้วยมีผลทำให้ปากใบเปิดน้อยลง เมื่อค่า SWC ลดลงระหว่าง 50-30% ค่า $\psi_l$ จะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าค่า SWC ลดลงต่ำกว่า 30% จะมีผลทำให้ค่า $\psi_l$ ลดลงมาก ค่า $g_s$ ของแอปเปิลจะต่ำสุดประมาณ 0.015 $cm.s^{-1}$ เมื่อค่า $\psi_l$ น้อยกว่า -20 บาร์ และค่า $g_s$ ของใบแอปเปิลค่อนข้างจะคงที่เมื่อค่า $\psi_l$ อยู่ในช่วง -6 ถึง -19 บาร์

กาแฟที่ปลูกในที่มีระดับของน้ำในดินสูง (100%, 75% AWC) จะยากที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปิดของปากใบ (Stomatal conductance, $g_s$) และค่าศักย์ของน้ำในใบ (Leaf water potential, $\psi_l$) เพราะค่าการเปิดของปากใบขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย หากเมื่อนำผลการทดลองหาความสัมพันธ์ จะมีค่า $g_s = 0.149+.004\ \psi_l$ และ $g_s = 0.017-0.002\ \psi_l$ โดยมีค่า $R^2 = 0.0261$ และ 0.0047 ตามลำดับ (ภาพ 15 และ 16) ส่วนกาแฟที่ปลูกในที่มีระดับของน้ำในดินต่ำ (50%, 25% AWC) มีความสัมพันธ์ระหว่าง $g_s$ และ $\psi_l$ เป็นไปตามสมการ $g_s = 0.984+10.683\ \psi_l$ และ $g_s = -63.589+76.641\ \psi_l$ โดยมีค่า $R^2 = 0.2263$ และ 0.1737 ตามลำดับ (ภาพ 17 และ18)

เมื่อต้นพืชได้รับน้ำภายหลังการขาดน้ำ การทำหน้าที่ของปากใบจะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งจึงจะกลับคืนสภาพเดิมได้ แต่ค่า $\psi_l$ จะสามารถกลับคืนสภาพได้ในเวลารวดเร็ว ผลของการทดลองนี้ เป็นไปตามรายงานของ Tesha และ Kumar (1978) ที่สนับสนุนผลการทดลองของ Warrit

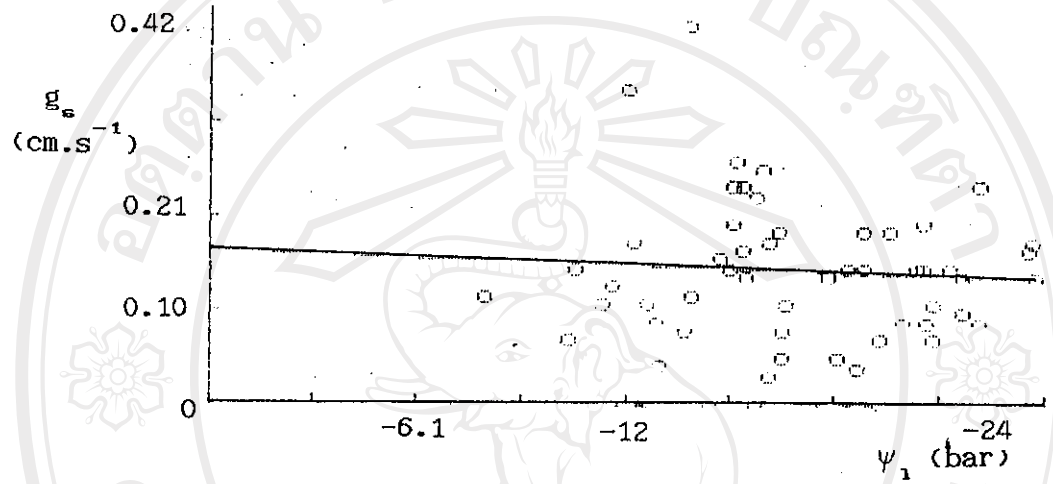
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1977) โดยพบว่า ในสภาพดินที่มีความชื้นที่สูง ปากใบจะเปิดมากกว่าสภาพที่มีความชื้นในดินที่ต่ำ ถ้าความชื้นในดินไม่เหมาะสม การเปิดของปากใบจะมีเฉพาะช่วงเช้าและช่วงท้ายของวัน Kumar (1978) ยังรายงานว่า ค่า $g_s$ ของใบกาแฟจะสูงเมื่อดินมีความชื้นที่ F.C. (Field capacity) และจะมีค่า $g_s$ ของใบกาแฟต่ำ เมื่อความชื้นในดินมีเพียง 45% ของ F.C. ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับแนวการวิเคราะห์ที่แสดงไว้ในภาพ 15, 16, 17 และ 18

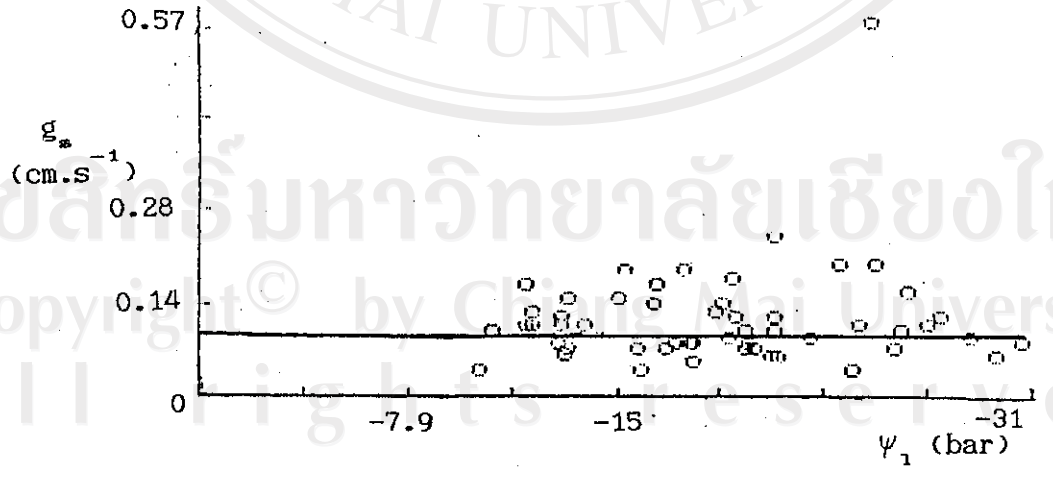



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปิดของปากใบ ($g_s$) และค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟอราบิก้า ($\psi_1$) ภายใต้สภาวะเครียดของน้ำที่ 100% AWC ตามสมการ $g_s = 0.149+0.004\psi_1$ $R^2 = 0.0261$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



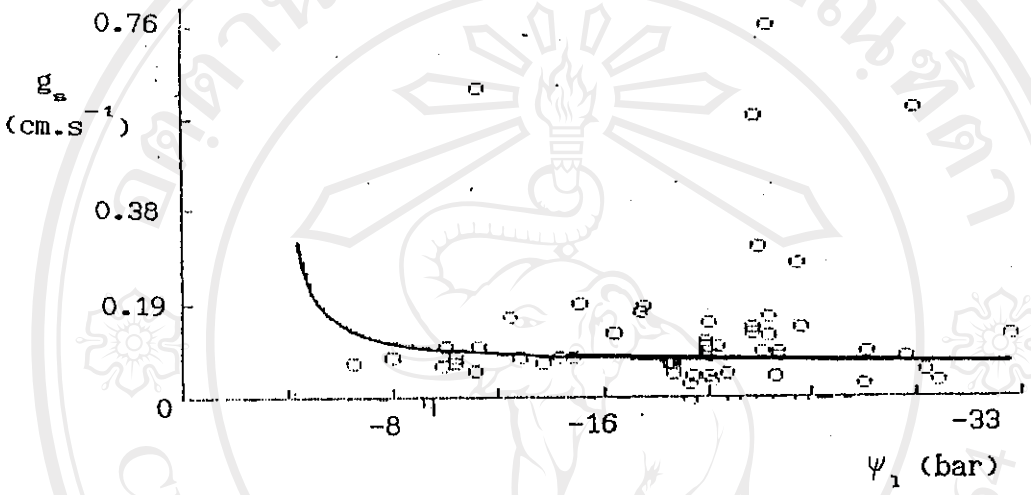

ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปิดของปากใบ ($g_s$) และค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟอราบิก้า ($\psi_1$) ภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำที่ 75% AWC ตามสมการ $g_s=0.17-0.002\psi_1$ $R^2$ = .0047




ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปิดของปากใบ ($g_s$) และค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟอราบิก้า ($\psi_1$) ภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำที่ 50 % AWC ตามสมการ

$g_s = 0.984+10.683\psi_1$ ; $R^2 = 0.2263$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

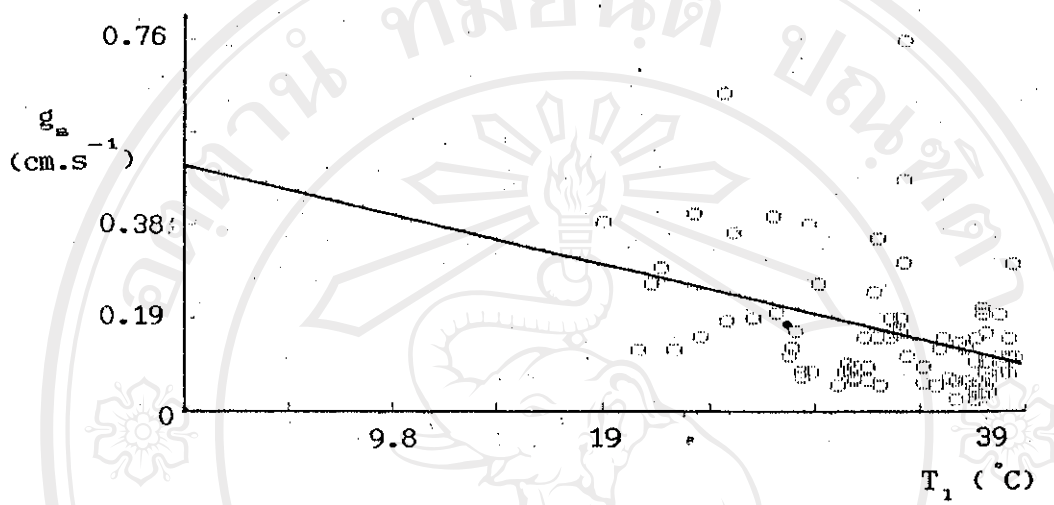



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปิดของปากใบ ($g_s$) และค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟอราบิก้า ($\psi_1$) ภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำที่ 25% AWC ตามสมการ

$(g_s) = -63.589+76.641\psi_1$ ; $R^2 = 0.1737$

ค่า $\psi_1$ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศ และความชื้นสัมพันธ์ของอากาศ โดยผันแปรตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ แต่แปรผกผันกับอุณหภูมิอากาศ (พิทักษ์และเรืองยศ, 2528) ส่วนอุณหภูมิของใบที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการเปิดของปากใบต่ำลง (ภาพที่ 19) โดยจะพบความสัมพันธ์ตามสมการ $g_s = 0.495-0.011T_1$ และการเปิดของปากใบ ($g_s$) จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำในดินและแปรผกผันกับอุณหภูมิที่สูง (35 °-40 °ซ.) ในกรณีอุณหภูมิที่สูงนั้น Kumar (1979) พบว่าช่วงเวลาก่อนเที่ยงจะมี การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอากาศ และการลดลงของค่า $\psi_w$ (Water potential) จะทำให้ ค่า $g_s$ ต่ำลง และเมื่อถึงช่วงเวลา 15.00 น. เมื่ออุณหภูมิอากาศลดลงก็จะทำให้ค่า $g_s$ ของใบกาแฟเพิ่มขึ้นมาอีกครั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ของการเปิดของปากใบ ($g_s$) กับอุณหภูมิของใบกาแฟอราบิก้า ($T_1$) ภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูงตามสมการ $g_s = 0.495-0.011T_1$, $R^2 = 0.143$

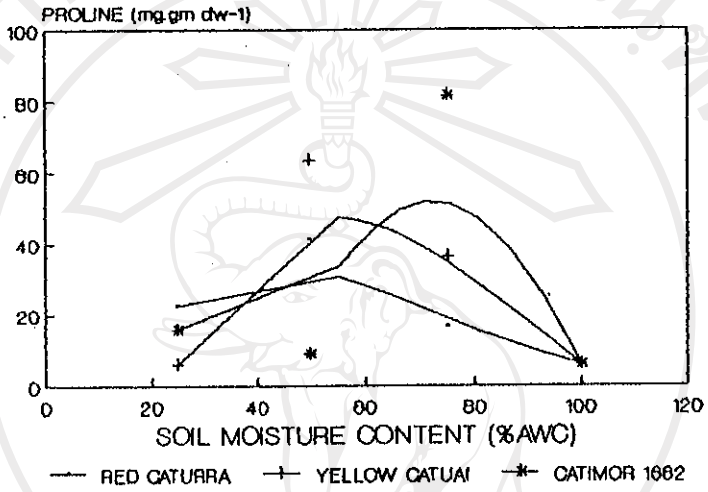
**5.3 ปริมาณการสะสมโปรลีนของกาแฟอราบิก้า ภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง**

การสะสมโปรลีนในใบกาแฟจะเกิดขึ้น เมื่อสภาวะเครียดอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น (75%, 50% AWC) เมื่อสภาวะเครียดรุนแรง (25% AWC) จะทำให้การสะสมโปรลีนในใบลดลง (ตารางที่ 4; ภาพที่ 20) Chu et al. (1978) ได้แสดงความคิดเห็นว่าภายใต้สภาวะเครียดที่รุนแรง โปรลีนอาจเคลื่อนย้ายออกจากใบแก่ไปยังส่วนอื่นของพืช เช่น ใบอ่อน หรือลำต้น

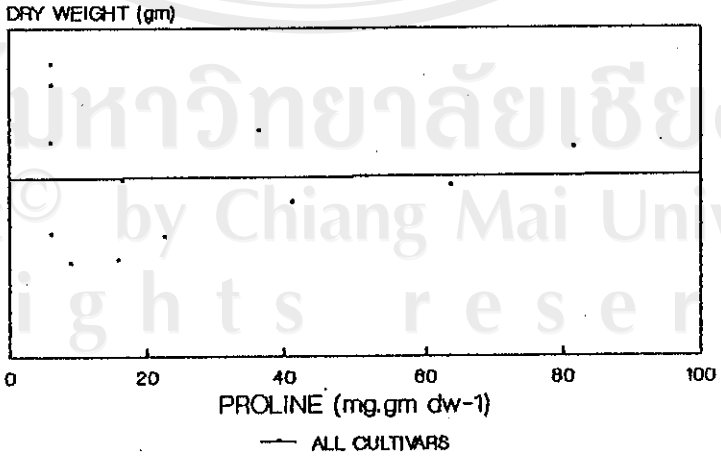
จากสมมุติฐานที่ว่า ถ้ามีปริมาณโปรลีนในใบกาแฟมาก โปรลีนจะช่วยทำให้เอนไซม์ต่าง ๆ ในขบวนการสังเคราะห์แสง ไม่เสียสภาพได้ง่ายภายใต้สภาวะเครียด (Paleg et al., 1981) และจะช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดีภายใต้สภาวะเครียด แต่จากผลการทดลองซึ่งได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรลีนที่เกิดขึ้น เนื่องจากสภาวะเครียดและน้ำหนักแห้งของกาแฟทุกพันธุ์ เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะเครียดเป็นเวลานาน 5 เดือน พบว่า การสะสมโปรลีนในใบกาแฟไม่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งของกาแฟ (ภาพที่ 21) จึงสามารถกล่าวสรุปในขั้นนี้ได้ว่าการที่ใบกาแฟ มีการสะสมโปรลีนมากขึ้น เมื่อกระทบกับสภาวะเครียดของการขาดน้ำ ไม่อาจใช้เป็นเครื่องบ่งชี้การเจริญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เติบโตได้ และไม่สามารถนำไปใช้เป็นเกณฑ์คัดเลือกพันธุ์เพราะ ไม่พบความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งของกาแฟดังกล่าว




ภาพที่ 20 ปริมาณโปรลีนในใบกาแฟอราบิก้าภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำ และอุณหภูมิสูงแต่ละระดับ



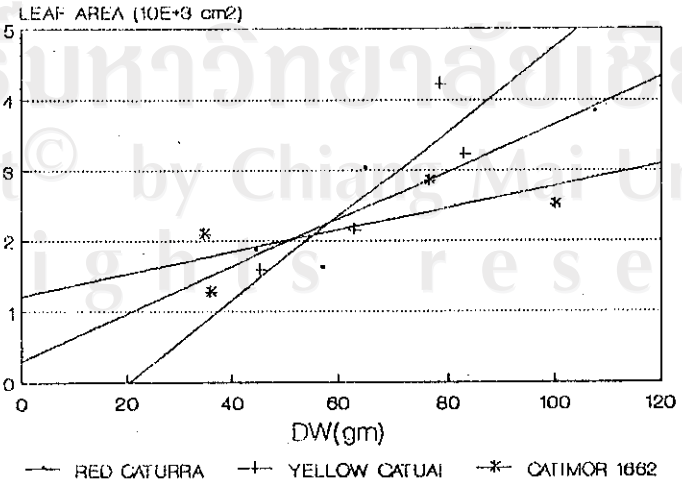

ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมโปรลีนกับการสร้างน้ำหนักแห้งของกาแฟอราบิก้าส่วนเหนือดินภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## 5.4 การเจริญเติบโตของกาแฟภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง

จากการวัดพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน (ภาพ 22) และปริมาณคลอโรฟิลล์ (ตารางที่ 6, 7) เห็นได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งกาแฟที่ปลูกในระดับน้ำในดินที่สูง (100%, 75% AWC) จะมีการเพิ่มทั้งพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินสูงกว่า กาแฟที่ปลูกในที่ระดับน้ำในดินต่ำ (50%, 25% AWC; ภาพที่ 11, 12) ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่า กาแฟเป็นพืชที่ต้องการน้ำเพื่อการเจริญเติบโตอย่างมาก การขาดน้ำหรือสภาวะเครียดต่าง ๆ ของสภาพแวดล้อม จะกระทบกระเทือนการเจริญเติบโตอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในระดับน้ำในดินที่ต่ำมาก (25% AWC) ทำให้ลักษณะของต้นและใบมีการเหี่ยว ซึ่งตรงกับรายงานของ Slatyer (1969), Heath and Meider (1961) พบว่า ความเครียดของน้ำที่มากจะทำให้ท่อน้ำท่ออาหาร ของพืชได้รับความเสียหาย การส่งอาหารภายในลำต้นเป็นไปอย่างไม่สะดวกทำให้ กาแฟที่ปลูกในระดับน้ำในดินที่ต่ำ มีการเจริญเติบโตไม่ดี ทั้งด้านพื้นที่ใบและการสะสมน้ำหนักแห้ง

ในการทดลองระยะยาว (เดือนที่ 6) เมื่อพิจารณาพื้นที่ใบเฉลี่ยต่อต้นพบว่า ในระดับน้ำที่ 75% AWC มีแนวโน้มที่จะเจริญได้ดีกว่ากาแฟที่อยู่ในระดับน้ำที่ 100% AWC โดยเฉพาะ พันธุ์ เยลโล่ คาทุย และคาทิมอร์ 1662 (ภาพที่ 11, 12) เป็นไปได้ว่ากาแฟที่ใช้ในการทดลองนี้มีการปรับตัวให้มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในระดับของน้ำในดินที่ 75% AWC



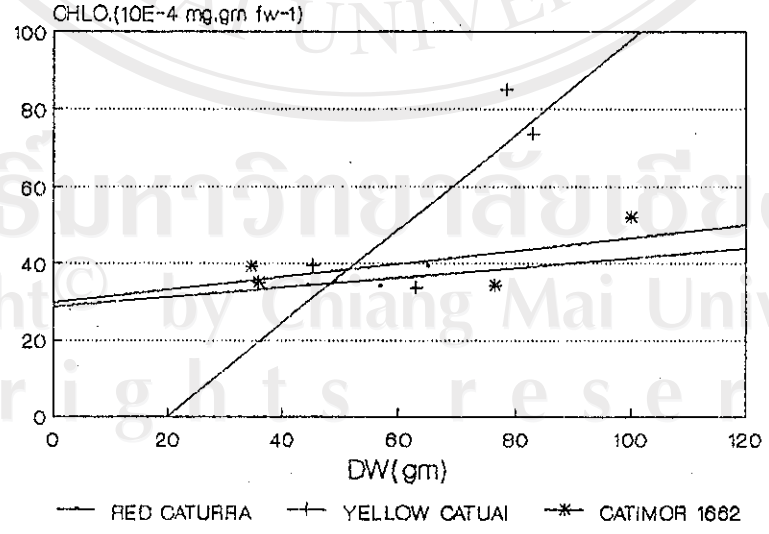

ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างการสร้างน้ำหนักแห้งของกาแฟส่วนเหนือดิน และพื้นที่ใบของกาแฟอราบิก้าแต่ละพันธุ์ ภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและคลอโรฟิลล์ บี ได้มีการตรวจสอบในเดือนที่ 5 ของการทดลอง พบว่า ระดับของน้ำมีผลต่อปริมาณของคลอโรฟิลล์อย่างเห็นได้ชัดเช่นเดียวกับการเจริญเติบโตด้านต่าง ๆ และพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน ภายใต้สภาวะเครียดแต่ละระดับ (ภาพที่ 23) สามารถกล่าวได้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เท่านั้น มิใช่โปรลีนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกาแฟอย่างเห็นได้ชัด เพราะคลอโรฟิลล์เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืชและเป็นตัวหลักที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายทอดพลังงานในขบวนการสังเคราะห์แสง

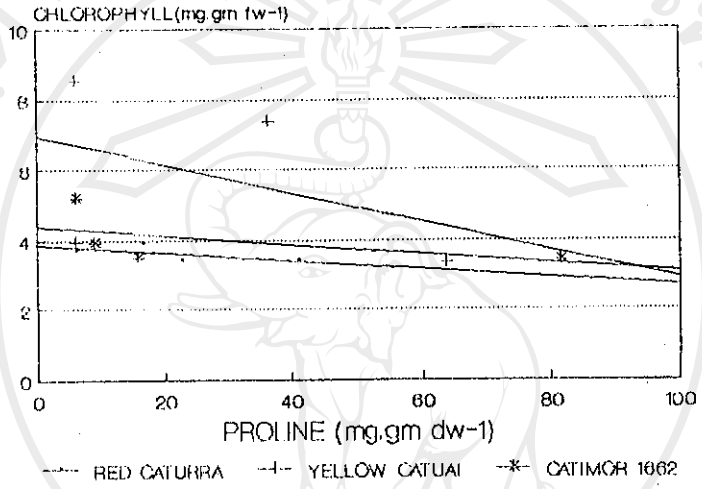
ปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรลีน โดยแปรผกผันตามค่าของโปรลีนที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 24) แต่อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ของหน้าที่และกลไกของทั้งสองปัจจัยยังไม่ทราบเป็นที่แน่ชัด เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในชั้นนี้ไม่เพียงพอที่จะสรุปได้

โดยสรุปแล้วปริมาณคลอโรฟิลล์และพื้นที่ใบจะแปรผันตามน้ำหนักแห้งของกาแฟส่วนเหนือดิน ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์เหมือนกัน แต่ยังคงต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม แต่อย่างไรก็ตามในการใช้การตอบสนองทางสรีรวิทยาในการคัดเลือกพันธุ์ในชั้นนี้อาจกล่าวได้ว่า การใช้ปริมาณคลอโรฟิลล์น่าจะได้ผลดีกว่าปริมาณโปรลีน




ภาพที่ 23 การสร้างน้ำหนักแห้งของกาแฟอราบิก้าส่วนเหนือดิน และปริมาณคลอโรฟิลล์ในแต่ละพันธุ์ภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำ และอุณหภูมิสูงแต่ละระดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณคลอโรฟิลล์จะแปรผันตรงกับน้ำหนักแห้งของกาแฟทุกพันธุ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมโปรลีนกับปริมาณคลอโรฟิลล์ของกาแฟอราบิก้า แต่ละพันธุ์ภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง โดยแนวโน้มที่ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงเมื่อโปรลีนเพิ่มขึ้นจะพอสังเกตเห็นได้แต่ยังไม่ชัดแจ้ง

## 5.5 สรุปผลการทดลอง

5.5.1 การศึกษาสัณฐานวิทยายังไม่อาจบอกถึงความแตกต่างเพื่อการเปรียบเทียบพันธุ์ได้

5.5.2 ผลของค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟ ($\psi_1$) ที่มีผลต่อการเปิดของปากใบ ($g_s$) จะขึ้นกับระดับน้ำในดินที่ต้นพืชเจริญเติบโตอยู่ ทั้งนี้จะสังเกตได้ชัดในกาแฟที่ปลูกในระดับน้ำในดินที่สูง (100%, 75% AWC) จะมีการเปิดของปากใบมากกว่ากาแฟที่ปลูกในระดับน้ำในดินที่ต่ำ (50%, 25% AWC)

5.5.3 อุณหภูมิของใบที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการเปิดของปากใบลดต่ำลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.5.4 การสะสมปริมาณโปรลีนในใบกาแฟ จะเกิดขึ้นเมื่อสภาวะเครียดอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น (75%, 50% AWC) เมื่อสภาวะเครียดรุนแรง (25% AWC) จะทำให้การสะสมโปรลีนในใบลดลง และการสะสมโปรลีนจะเกิดขึ้นน้อยมาก ภายใต้สภาวะปกติ

5.5.5 ในการประเมินความสามารถในการทนทานต่อสภาวะเครียดของกาแฟ โดยพิจารณาจากการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน ซึ่งน่าจะใช้ปริมาณคลอโรฟิลล์เป็นตัวบ่งชี้มากกว่าโปรลีน เพราะพบว่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของกาแฟมีส่วนสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ แต่ไม่มีความสัมพันธ์อย่างเด่นชัดกับปริมาณโปรลีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved