Thesis Title Effect of Drought on Carbon Dioxide Exchange in Peanut Field

Author Miss Natchaya Pingintha

Degree Doctor of Philosophy (Agronomy)

Thesis Advisory Committee Prof. Dr. Chuckree Senthong Chairperson

Prof. Dr. Marie Monique Yvonne Leclerc Member

Assoc.Prof. Suthat Julsrigival Member

ABSTRACT

Agriculture claims about one third of the global land area and is a main contributor to anthropogenic induced emission of greenhouse gases. The Kyoto protocol of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) has risen the interest in the potential of agroecosystems to sequester carbon and thus, to substantially mitigate global warming impacts. Since both photosynthetic uptake of carbon and loss of carbon through respiration of plant and soils are depend on temperature, moisture, and radiation, climate change affects carbon storage in these ecosystems. Moreover, established trends of increased temperature and lower precipitation resulting in drought stress were already evidenced in many regions of the world, which generated an effort to understand how

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

environmental changes, such as those seen in temperature and precipitation, influence net carbon exchange between ecosystem and the atmosphere.

In experiment 1, two sub-experiments were conducted at a rainfed peanut (*Arachis hypogaea* L.) field located in Unadilla, Georgia, USA. Measurements of net ecosystem CO_2 exchange (*NEE*), latent heat (λE), and sensible heat (*H*) flux were made using the eddy-covariance method (EC). The objectives of sub-experiment 1 were i) to examine the influence of environmental stress on the diurnal exchange of *NEE*, λE, *H*, evapotranspiration (*E*), and ecosystem water use efficiency (*EWUE*) and ii) to relate these exchanges to environmental and physiological variables. The results show that the diurnal pattern of *NEE*, *NEE*, λE, *H*, *E*, and *EWUE* depended on growth stage of peanut canopy and environmental condition. A combination of water stress, a large vapor pressure deficit (*VPD*) and high air temperature (T_a), resulting in drought, greatly influenced the partitioning net radiation between λE and *H*, the diurnal pattern of *NEE*, *E* and *EWUE*.

Sub-experiment 2, further study on the key factors controlling daytime *NEE* found that photosynthetically active radiation (*PAR*) was the primary climatic factor controlling daytime *NEE* during optimum environmental conditions processes. However, soil water content (*SWC*) was the dominant factor limiting the *NEE-PAR* response during the peak of growth stage, as *NEE* was significantly depressed when *PAR* exceeding 1300 µmol photons m^{-2} s^{-1} coincided with a very low soil water content (*SWC* < 0.04 m^3 m^{-3}). Moreover, hysteresis loop was observed between daytime *NEE* and *PAR* during periods of water stress resulting from high *VPD*. This is significant since it limits the ability of the Michaelis-Menten equation and the likes to determine daytime *NEE* as a function of *PAR*.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Soil CO_2 efflux is an important component of the terrestrial ecosystem carbon cycle. Small errors in the estimation of soil CO_2 efflux may therefore lead to relatively large errors the estimates of net ecosystem carbon exchange. In experiment 2, two sub-experiments of the soil CO_2 gradient method was used to study soil CO_2 efflux. Sub-experiment 1, a refined soil CO_2 gradient method to estimate soil CO_2 efflux was conducted in a 3 m x 3 m sampling plot (bare soil) which established at a rainfed peanut field at the Southwest Georgia Research and Education Center, Plains, Georgia. Six different models are used to determine the relative gas diffusion coefficient (ξ). A weighted harmonic averaging is used to estimate the soil CO_2 diffusion coefficient, yielding a better estimate of soil CO_2 efflux. The resulting soil CO_2 efflux results are then compared to the soil CO_2 efflux measured with a soil chamber. Depending on the choice of ξ model used, the estimated soil CO_2 efflux using the gradient method reasonably approximates the efflux obtained using the soil chamber method. In addition, the estimated soil CO_2 efflux obtained by this improved method is well described by an exponential function of soil temperature (T_s) at a depth of 0.05 m with the temperature sensitivity (Q_{10}) of 1.81 and a linear function of *SWC* at a depth of 0.12 m, in general agreement with previous findings. These results suggest that the gradient method is a practical cost-effective means to measure soil CO_2 emissions.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Sub-experiment 2, continuous measurements of soil CO_2 efflux using the soil CO_2 gradient method were made during a rainfed peanut growing season in 2007 in Unadilla, Georgia. The objectives of this study were i) to examine the responses of soil CO_2 efflux to drying and rapid rewetting of soil and ii) to determine the effect of drying and rapid rewetting of soil on the response sensitivity of soil CO_2 efflux to T_s

and soil *SWC*. This study observed evidence that soil water stress strongly limited soil CO_2 efflux. Soil CO_2 efflux and soil CO_2 concentration decreased as *SWC* decreased and T_s increased. The rapid increase in *SWC* due to rain resulted in significant increases in soil CO_2 concentration. However, immediately after rain stopped, the soil CO_2 efflux dramatically decreased and reached its lowest value at an hour after following the end of the rainfall event. This phenomenon attributed to a decrease in soil diffusivity in the top soil layer. One and half hours after the rain stopped, soil CO_2 efflux dramatically increased and peaked two days after the rain stopped and then decreased gradually. The stimulation of soil CO_2 efflux after rain in this site was likely triggered by an increase in microbial activity and by an enhancement of mineralization of organic constituents after prolonged dry conditions and rapid rewetting events.

Further studies examining the effect of drying and rapid rewetting of soil on the sensitivity response of soil CO_2 efflux to T_s and *SWC* found that, during the drying cycle when *SWC* was less than 0.042 m^3 m^{-3}, soil CO_2 efflux decreased dramatically (up to 80%) and *SWC* took over control of soil CO_2 efflux. The Q_{10} values of soil CO_2 efflux were also observed to be decreased as *SWC* decreased during this drying period. After rapid rewetting of dry soil, the rain event stimulated soil CO_2 efflux and restored temperature control over soil CO_2 efflux, even though *SWC* in the surface layer was low.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ผลของความแห้งแล้งต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแปลงถั่วลิสง

ผู้เขียน นางสาวณัฐชยา ปิงอินถา

ปริญญา วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (พืชไร่)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ. ดร. จักรี เส้นทอง ประธานกรรมการ
Prof. Dr. Marie Monique Yvonne Leclerc กรรมการ
รศ. สุทัศน์ จุลศรีไกวัล กรรมการ

บทคัดย่อ

เนื่องจากพื้นที่การเกษตรมีจำนวนประมาณหนึ่งในสามของปริมาณพื้นที่ดินของโลก และมีส่วนสำคัญในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยเหตุนี้สนธิสัญญาเกียวโต (Kyoto protocol) ตามอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC) ได้ตระหนักถึงการใช้ศักยภาพของระบบนิเวศเกษตรเข้ามามีส่วนช่วยในการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และลดผลกระทบที่เกิดจากสภาวะของโลกที่ร้อนขึ้น เนื่องจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และแสงแดดมีผลต่อการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านทางกระบวนการหายใจของพืชและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเหล่านี้มีผลต่อการสะสมธาตุคาร์บอนในระบบนิเวศเป็นอย่างมาก นอกจากนี้แล้วยังพบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และการลดลงของปริมาณน้ำฟ้า มีผลก่อให้เกิดสภาวะของความแห้งแล้งขึ้น ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแปลงเพาะปลูกพืชไร่ได้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเพื่อที่จะทราบถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม ทั้งจากอุณหภูมและปริมาณน้ำฟ้า ต่อการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิระหว่างระบบนิเวศกับบรรยากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 1 ประกอบด้วย 2 การทดลองย่อย ได้ดำเนินการทดลองในแปลงถั่วลิสงที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝน ที่เมือง Unadilla มลรัฐ Georgia ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยประยุกต์ใช้วิธีการ eddy-covariance ในการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนสุทธิ (net ecosystem CO_2 exchange: NEE) ค่าความร้อนแฝงของการระเหยของไอน้ำ (latent heat: λE) และค่าการถ่ายเทความร้อนของอากาศ (sensible heat: H) โดยการทดลองย่อยที่หนึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบอัตราการแลกเปลี่ยนของ *NEE*, λE, H, การคายระเหย (evapotranspiration: E), and และประสิทธิภาพการใช้น้ำของระบบนิเวศ (ecosystem water use efficiency: *EWUE*) ในรอบวันของพืชที่ได้รับสภาวะเครียด และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมและสรีระวิทยาของพืชที่มีผลต่ออัตราแลกเปลี่ยนดังกล่าว ผลการศึกษาพบว่าอัตราการแลกเปลี่ยนของ *NEE*, λE, H, E และ *EWUE* ในรอบวันของพืชขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโตของพืชและสภาวะแวดล้อม โดยพบว่าสภาวะแห้งแล้งที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของ การขาดน้ำ ค่า vapor pressure deficit (VPD) และอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้น มีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการแลกเปลี่ยนของ *NEE*, λE, H, E และ *EWUE* ในรอบวันของพืช

สำหรับการทดลองย่อยที่สอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการแลกเปลี่ยน *NEE* ในช่วงเวลากลางวัน ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงที่พืชอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต อัตราการแลกเปลี่ยน *NEE* ในช่วงเวลากลางวันจะถูกควบคุมโดยปริมาณแสงช่วงคลื่นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์แสง (photosynthetically active radiation: *PAR*) ถึงอย่างไรก็ตามในช่วงที่ถั่วลิสงอยู่ในระยะการเจริญเติบโตสูงสุด พบว่าปริมาณน้ำในดินเป็นปัจจัยหลักควบคุมการตอบสนองของ *NEE* ต่อ *PAR* โดยพบว่าเมื่อปริมาณน้ำในดินต่ำกว่า 0.04 m^3 m^{-3} อัตราการแลกเปลี่ยน *NEE* มีค่าลดลง เมื่อ *PAR* มีค่ามากกว่า 1300 µmol photons m^{-2} s^{-1} นอกจากนี้ยังพบว่า hyteresis loop จากการตอบสนองของ *NEE* ต่อ *PAR* เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สมการ Michaelis-Menten ไม่สามารถนำมาอธิบายการตอบสนองของ *NEE* ต่อ *PAR* ได้

เนื่องจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน เป็นองค์ประกอบสำคัญของการหมุนเวียนธาตุคาร์บอนในระบบนิเวศของโลก ดังนั้นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากวิธีการที่นำมาใช้ในวัดค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน มีส่วนสำคัญต่อความไม่เที่ยงตรงในการศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนของ *NEE* โดยการทดลองที่สอง ประกอบไปด้วยสองการทดลองย่อย ทั้งนี้การทดลองย่อยที่หนึ่ง ประกอบด้วยการศึกษาวิธีการวัดค่าการปลดปล่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินโดยวิธี soil CO_2 gradient ในแปลงทดลองที่มีเฉพาะดินเปล่าขนาด 3 x 3 ตารางเมตร ซึ่งตั้งอยู่ในส่วนของแปลงถั่วลิสงที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝน ณ Southwest

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Georgia Research and Education Center เมือง Plains มลรัฐ Georgia โดยการศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สัมพัทธ์ของก๊าซ (relative gas diffusion coefficient: ξ) ที่แตกต่างกันไปจำนวน 6 สมการ และได้นำวิธีการคำนวณค่าเฉลี่ยด้วยวิธีฮาร์โมนิคถ่วงน้ำหนักมาใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน (soil CO_2 diffusion coefficient) ผลการศึกษาพบว่าวิธีการ soil CO_2 gradient ที่ประยุกต์ใช้จะให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับวิธีการ soil chamber โดยพบว่าค่าที่วัดได้จากวิธีการ soil CO_2 gradient มีค่าแตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณ ξ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในเชิง exponential ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินและอุณหภูมิดินที่ความลึก 0.05 m จากผิวดิน โดยมีค่าของการตอบสนองต่ออุณหภูมิ (Q_{10}) เท่ากับ 1.81 และนอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินกับปริมาณความชื้นในดิน ที่ความลึก 0.12 m จากผิวดิน จากผลการศึกษานี้สามารถที่จะสรุปและยืนยันได้ว่า วิธีการ soil CO_2 gradient สามารถนำมาใช้ในการวัดการปลดปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากผิวดินได้เป็นอย่างดี

สำหรับการทดลองย่อยที่สองได้ทำการทดลองวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากผิวดินด้วยวิธี soil CO_2 gradient ในแปลงถั่วลิสงที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝน ณ เมือง Unadilla มลรัฐ Georgia มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินการตอบสนองของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินต่อสภาวะแห้งแล้งและการเพิ่มความชื้นอย่างรวดเร็วของดิน และประเมินผลกระทบจากเหตุการณ์ข้างต้นที่มีต่อ การตอบสนองของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินต่ออุณหภูมิดิน และปริมาณความชื้นในดิน ผลการทดลองพบว่าสภาวะดินที่แห้งจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน โดยค่าของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน และค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดินจะมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าของปริมาณน้ำในดินจะลดลง และมีค่าของอุณหภูมิดินที่สูงขึ้น ผลจากการเพิ่มความชื้นในดินอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีฝนตกอย่างกระทันหันจะส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน แต่อย่างไรก็ตามหลังจากฝนหยุดตกพบว่าค่าของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินจะลดลงและมีค่าต่ำสุดในเวลาหนึ่งชั่วโมงหลังจากที่ฝนหยุดตก ซึ่งลดลงของค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินเป็นผลมาจากการลดลงของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน นอกจากนี้ยังพบว่ายังพบว่า ค่าของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น จนถึงระดับสูงสุด ประมาณ 2 วัน หลังจากที่ฝนหยุดตก และจะมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าลดลงไปอย่างต่อเนื่อง สำหรับการเพิ่มขึ้นของค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินที่ได้นี้ อาจจะเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของความชื้นอย่างรวดเร็วของดินที่แห้งมี ซึ่งมีส่วนช่วยกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ดิน และเพิ่มปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ในดินอีกด้วย

สำหรับผลการทดลองเกี่ยวกับผลกระทบจากสภาวะแห้งแล้ง และการเพิ่มความชื้นอย่างรวดเร็วของดิน ต่อการตอบสนองของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ต่ออุณหภูมิดิน และ ปริมาณความชื้นในดิน พบว่า ในช่วงที่ดินแห้ง ซึ่งมีปริมาณของความชื้นในดินต่ำกว่า 0.042 $m^3\ m^{-3}$ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินจะมีค่าลดลงไปประมาณ 80% และปริมาณความชื้นในดินจะเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน นอกจากนี้ยังพบว่าค่า Q_{10} ของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินจะมีค่าลดลงตามการลดลงของปริมาณความชื้นในดิน หลังจากที่มีฝนตกบนดินที่แห้งพบว่าปริมาณน้ำฝนจะมีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำในชั้นผิวดินหลังจากฝนหยุดตกจะมีค่าที่ต่ำ แต่เหตุการณ์นี้จะมีผลทำให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินถูกควบคุมโดยอุณหภูมิดินเป็นหลัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved