บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

บทบาทของแสงต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช

การเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืชขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมพืช และสภาพแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วย ภูมิอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการจัดการเป็นประการสำคัญ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตขึ้นอยู่กับศักยภาพหรือความสามารถของตัวพืช ที่จะใช้ปัจจัยสภาพแวดล้อมเหล่านั้นเพื่อการเจริญเติบโต โดยผ่านทางกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการถ่ายเทสารสังเคราะห์ (photosynthate partitioning) ไปยังอวัยวะที่ถูกเก็บเกี่ยวเป็นผลผลิต ตามทฤษฎีของ Nichiporovich (1960) ที่กล่าวว่าผลผลิตในทางเศรษฐศาสตร์ (Economic yield) ขึ้นอยู่กับผลผลิตทางชีวภาพหรือการเจริญเติบโตในรูปของการสะสมน้ำหนักแห้ง (DM) และประสิทธิภาพในการถ่ายเทสารสังเคราะห์ (partitioning efficiency) จากน้ำหนักแห้งไปยังอวัยวะที่ถูกเก็บเกี่ยวซึ่งเรียกว่าดัชนีเก็บเกี่ยว (Harvest index, HI) ดังสมการ

$$\text{Economic yield} = \text{DM} \times \text{HI}$$

ดังนั้นจากสมการแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มผลผลิตสามารถทำได้โดยการเพิ่ม DM หรือ HI หรือทั้งสององค์ประกอบควบคู่กัน แต่การเพิ่มองค์ประกอบใดประกอบหนึ่งอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอีกองค์ประกอบหนึ่งได้ (Fageria *et al*., 2006) ซึ่งอาจจะมีผลกระทบทำให้ผลผลิตนั้นเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ หมายความว่าผลผลิตนั้นขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่าง DM และ HI

Lawn and Williams (1986) ได้แสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตหรือการสะสมน้ำหนักแห้งเป็นผลลัพธ์จากการสังเคราะห์แสงซึ่งอยู่ภายใต้อิทธิพลของหลายปัจจัย และในระหว่างปัจจัยต่างๆ เหล่านั้น แสงนับว่าเป็นปัจจัยที่จำกัดการสังเคราะห์แสงมากที่สุด และยังได้ชี้ให้เห็นว่าถ้าไม่มีปัจจัยอื่นๆ เป็นตัวจำกัด การสังเคราะห์แสงหรือการสะสมน้ำหนักแห้งของพืชนั้นจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการรับแสงและการใช้แสงของพืชในการสังเคราะห์แสงระหว่างการเจริญเติบโตหรือระหว่างฤดูกาลปลูก ดังนั้นจากสมการที่ได้กล่าวข้างต้นสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Economic yield = Q x I x Ec x HI

Q คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่ส่องมายังพืช

I คือ ส่วนของแสงที่พืชสามารถรับไว้ได้

Ec คือ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นน้ำหนักแห้ง

จากสมการที่กล่าวมาแล้วแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าค่า Q จะขึ้นอยู่กับ ฤดูกาลและละติจูด ส่วนค่า Ec จะขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของพืช แต่ในส่วนของการรับแสง (I) ของพืชขึ้นอยู่กับการจัดการเป็นส่วนสำคัญ โดยเฉพาะพืชไร่นั้นจะพบว่านับตั้งแต่ปลูกหรือพืชงอกจนกระทั่งสุกแก่หรือเก็บเกี่ยวผลผลิต พืชจะรับแสงที่ส่องลงมาทั้งหมดเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงได้เพียงประมาณร้อยละ 3 – 5 เท่านั้น (Brown and Simmons, 1979) เพราะในระยะแรกของการเจริญของพืชยังมีพื้นที่ใบหรือดัชนีพื้นที่ใบน้อยจึงทำให้การรับแสงและใช้แสงในช่วงแรกยังน้อยอยู่ ซึ่งพืชจะต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อสร้างพื้นที่ใบคลุมพื้นที่ดินเพื่อรับและใช้แสงที่ส่องลงมาทั้งหมด นอกจากนี้พบว่าปริมาณแสงที่พืชจะรับได้นอกจากจะขึ้นอยู่กับดัชนีพื้นที่ใบแล้วยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างของทรงพุ่มของพืช (canopy structure) ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป ดังนั้นการจัดการใดๆ ก็ตามที่สามารถทำให้พืชมีประสิทธิภาพหรือสามารถรับแสงได้มากขึ้น ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มการสังเคราะห์แสงและส่งผลต่อการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นและจะนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตในที่สุดได้ตามทฤษฎีหรือหลักการสร้างผลผลิตของพืชตามสมการที่กล่าวมาข้างต้นได้

การพัฒนาพื้นที่ใบของพืชไร่และการรับแสง

ใบของพืชเป็นอวัยวะสำคัญที่ใช้ในการรับแสงและสังเคราะห์แสง ในพืชไร่ที่เป็นพืชฤดูเดียวเช่น ถั่วเหลืองและข้าวโพด หลังจากเมล็ดงอก การสร้างใบหรือการพัฒนาพื้นที่ใบจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับตามอายุการเจริญเติบโต และมีพื้นที่ใบสูงสุดเมื่อพืชออกดอก หรือเมื่อพืชสิ้นสุดระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะการเจริญเติบโต โดยสามารถแยกได้เป็น 2 ลักษณะคือ การเจริญแบบไม่ทอดยอด (determinate growth) คือพืชจะหยุดการพัฒนาพื้นที่ใบเมื่อพืชเริ่มออกดอก เช่น ข้าวโพดซึ่งมีระยะเวลาในการพัฒนาใบจนถึงระยะออกไหม 52 วันในพันธุ์นครสวรรค์1 และ 56 วันในพันธุ์ สุวรรณ1 (สถาบันวิจัยพืชไร่ 2539) และการเจริญแบบทอดยอด (indeterminate growth) คือ เมื่อพืชออกดอกแล้วพืชจะมีการพัฒนาพื้นที่ใบต่อเนื่องไปอีกระยะหนึ่งจนกระทั่งพืชสิ้นสุดการออกดอก (complete flowering) เช่นถั่วเหลืองบางพันธุ์ (อภิพรรณ 2546) หลังจากนั้นพื้นที่ใบพืชจะลดลงเนื่องมาจากการร่วงหล่น (senescence) และแห้งเหี่ยวไปตามอายุขัยหรือเปลี่ยนแปลงไปตามสรีระวิทยาของพืช แต่อย่างไรก็ตามการร่วงหล่นของใบพืชขึ้นอยู่กับหลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัย เช่น พันธุกรรมและการจัดการมิให้พืชเกิดความเครียดจากการขาดน้ำและธาตุอาหารร่วมกับการป้องกันใบพืชถูกทำลายจากโรคและแมลงศัตรูพืชเป็นต้น

การที่พืชมีพื้นที่ใบเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้มีการบังแสงของใบบนต่อใบล่างๆมากขึ้นเป็นลำดับเช่นกันการบังแสงดังกล่าวจะมากหรือน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของทรงพุ่ม โดยจะเป็นปัจจัยกำหนดการกระจายแสงเข้าไปยังทรงพุ่ม พืชที่มีทรงพุ่มที่มีใบเรียวเล็ก และตั้งชัน (มุมใบแคบ) เช่นข้าวและข้าวโพดพันธุ์สมัยใหม่จะเอื้ออำนวยต่อการส่องผ่านของแสงจากใบบนสู่ใบล่างได้ดี หรือมีการบังแสงซึ่งกันและกันระหว่างใบบนและระหว่างใบล่างน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่มีใบใหญ่และแผ่ราบ (มุมใบกว้าง) เช่นถั่วเหลือง และถั่วเขียวเป็นต้น การส่องผ่านของแสงในทรงพุ่มจากใบบนสู่ใบล่างจะเป็นไปตามกฎของ Beer's law และค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสง (extinction coefficient, k) จะเป็นตัวบ่งชี้การส่องผ่านของแสงเข้าไปสู่ใบพืชได้ดีแล้วค่า k จะมีค่าที่ต่ำ ในทางตรงกันข้ามใบที่แผ่ราบก็จะมีการกระจายแสงได้ไม่ดีจะมีค่า k สูง โดย Woodward and Sheehy (1983) พบว่าใบที่ตั้งชัน (erect) จะมีค่า k = 0.2 ในขณะที่ใบแผ่ราบ (prostrate) จะมีค่า k = 0.9 จากทรงพุ่มที่เป็นส่วนกำหนดแล้วนั้น การทำมุมของใบพืชที่แตกต่างกันนี้ยังส่งผลต่อค่า k ที่แตกต่างกันด้วย โดยการทำมุมใบที่ 30 45 60 และ 85 องศากับแนวราบ จะให้ค่า k เท่ากับ 1.5 1 0.6 และ 0.1 ตามลำดับ (Brown, 1984) นอกจากนี้การหาค่า k โดยการจำลองทรงพุ่มของถั่วเหลืองนั้นพบว่ามีค่า k เท่ากับ 0.45 ซึ่งทำให้เห็นได้ว่า k ของถั่วเหลืองที่ได้มีค่าค่อนข้างสูง ทั้งนี้เป็นผลจากการที่ถั่วเหลืองมีพื้นที่ใบค่อนข้างแผ่ราบหรือมีการกระจายของแสงในทรงพุ่มไม่ดี (Singh *et al*., 1968 ; Monteith, 1969) ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์พืชหรือการจัดการใดๆก็ตามที่สามารถทำให้พืชรับแสงได้ทุกใบก็จะเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้พืชใช้ประโยชน์จากแสงได้สูงสุด

ดัชนีพื้นที่ใบกับการรับแสงของพืชไร่

ในทางพืชไร่นั้นเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ใบ ได้ให้ความสำคัญกับพื้นที่ใบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดินซึ่งเรียกว่า ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index, LAI) มากกว่าการให้ความสำคัญกับพื้นที่ใบต่อต้นหรือของแต่ละต้น ดังนั้นหลังจากเมล็ดงอก LAI ก็จะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับตามอายุการเจริญเติบโต ซึ่งส่งผลให้การรับแสงและอัตราการสังเคราะห์แสงต่อพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น เมื่อ LAI เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งอัตราการสังเคราะห์แสงอาจคงที่หรือลดลงได้ขึ้นกับชนิดพืช และการพัฒนาใบของพืชแต่ละชนิดนั้นจะแตกต่างกันและส่งผลให้พืชรับแสงได้แตกต่างกันไปตามโครงสร้างทรงพุ่ม แต่อย่างไรก็ตามพืชจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดเมื่อพืชมีพื้นที่ใบปกคลุมพื้นผิวดินได้สนิท ดังการทดลองของ Brougham (1956) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง LAI และการรับแสงของพืช พบว่าการรับแสงจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อพืชมีพื้นที่ใบปกคลุมพื้นที่ดินแล้ว และถือว่าจุดที่รับแสงได้สูงสุดนี้เป็นจุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่พืชมีพื้นที่ใบที่เหมาะสม (optimum LAI) ซึ่งพืชจะสามารถรับแสงที่ส่องลงมาได้ทั้งหมด จากการวัดปริมาณของแสงที่พืชรับจากเครื่องวัดแสงแล้วนั้นจะได้ค่าสูงสุดที่ 95 %

ทั้งนี้ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตาม ชนิดพืช ในชนิดพืชที่แตกต่างกัน Brown (1984) พบว่าในใบพืชที่มีลักษณะค่อนข้างตั้งชันจะมีค่า LAI ประมาณ 5 จึงจะสามารถรับแสงได้ 95% ขณะที่ในใบพืชที่ค่อนข้างแผ่ราบจะมี LAI เพียง 3 เท่านั้นก็สามารถที่จะรับแสงได้ในปริมาณที่เท่ากัน ในถั่วเหลืองพบว่าค่า optimum LAI ในพันธุ์ Hawkeye มีค่า optimum LAI ประมาณ 3.2 (Shibles and Weber, 1965) และ Board and Harville (1992) พบว่าค่า optimum LAI ของถั่วเหลืองพันธุ์อื่นๆ จะอยู่ในช่วง 3.5 – 4 ซึ่งจะแตกต่างกับถั่วลิสงซึ่งมีค่า optimum LAI ประมาณ 4.0 (Rachie and Roberts, 1974) หรือ Williams *et al.* (1975) พบว่าค่า optimum LAI สูงสุดในถั่วลิสงจะสูงถึง 5.5 ซึ่งแตกต่างกับข้าว ข้าวโพดพันธุ์ลูกผสมซึ่งมีลักษณะใบที่ตั้งชันแล้วจะให้ค่าของ optimum LAI อยู่สูงถึงที่ 5.0 - 6.0 (Yoshida, 1972) ดังนั้นวิธีการใดๆที่สามารถทำให้พืชปกคลุมผิวดินสนิทและรวดเร็วจะเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้พืชสามารถรับแสงได้รวดเร็วและสูงขึ้นด้วย ดังนั้นแนวทางในการเพิ่ม LAI ให้เหมาะสมเพื่อให้พืชสามารถรับแสงและใช้แสงได้สูงสุดจึงเป็นส่วนสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชต่อไป

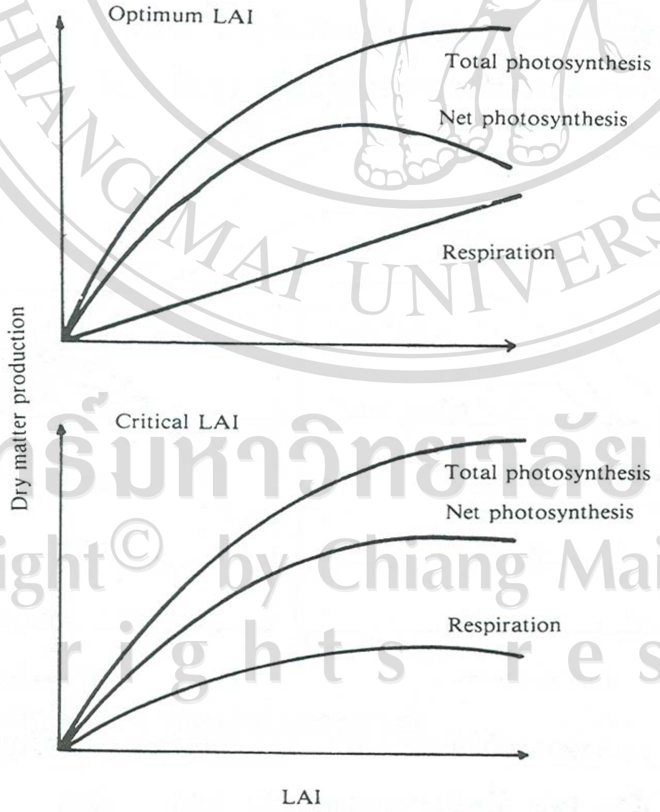
ความสัมพันธ์ระหว่าง LAI กับอัตราการเจริญเติบโตของพืช

อัตราการเจริญของพืชนั้นสามารถแยกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ อัตราการเจริญ (น้ำหนักแห้ง) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดิน (crop growth rate, CGR)และอัตราการเจริญต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ(net assimilation rate, NAR) CGR คืออัตราการสร้างน้ำหนักแห้งของพืชต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่พืชนั้นขึ้นอยู่ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยค่า CGR จะเกิดขึ้นหลังจากเมล็ดงอกและเพิ่มขึ้นเป็นลำดับตามอายุของพืช ขึ้นอยู่กับปริมาณ LAI ที่เพิ่มขึ้นและเมื่อ LAI เพิ่มขึ้นการรับแสงก็เพิ่มขึ้นส่งผลให้มี CGR เพิ่มขึ้นเป็นลำดับเช่นกัน ในทางกลับกันนั้นเมื่อ LAI เพิ่มขึ้นแล้วนั้นส่งผลให้เกิดการบังแสงระหว่างใบพืชเพิ่มสูงขึ้นค่า NAR ก็จะมีค่าลดลง จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง LAI กับ CGR ของ Brougham (1956) และ Watson (1958) แสดงให้เห็นว่า LAI และ CGR มีความสัมพันธ์กันใน 2 รูปแบบ คือ แบบ Critical LAI response และแบบ Optimum LAI response ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพืช โดยความสัมพันธ์แบบ Critical LAI response เป็นอัตราการเจริญของพืช ซึ่งเมื่อพืชมีดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งแล้วจะทำให้พืชเจริญเติบโตสูงสุด และหากเพิ่มค่าดัชนีพื้นที่ใบให้สูงกว่าค่าดังกล่าวแล้วอัตราการเจริญเติบโตของพืชก็จะยังมีค่าคงที่ต่อไปอีกระยะเวลาหนึ่ง เช่น ถั่วเหลือง

แต่ลักษณะที่เรียกว่า Optimum LAI response นั้นเมื่อเพิ่ม LAI ทำให้พืช อัตราการเจริญจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง หากเพิ่ม LAI มากกว่านี้จะทำให้อัตราการเจริญของพืชลดลง ซึ่งจะพบใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้าวโพด การเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกันนี้มาจากหลายสาเหตุที่กำหนดให้พืชมีการตอบสนองแบบ optimum LAI response หรือ critical LAI response เช่น ชนิดพืชหรือลักษณะรูปร่างของการจัดเรียงตัวของใบเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้พืชมีลักษณะการตอบสนองต่อ LAI ที่ต่างกัน การถูกบดบังแสงจากใบบนจะทำให้ใบล่างเหี่ยวเฉาและหลุดร่วงไปจึงทำให้ค่า LAI ที่เหมาะสมที่สุดของพืชแตกต่างกันไป ทั้งการที่ใบยอดของพืชมีโอกาสรับแสงจนถึงจุดอิ่มตัวแต่ในใบล่างจะไม่ได้รับแสงจนถึงจุดอิ่มตัว เพราะถูกใบยอดบังไว้ การบังแสงภายในทรงพุ่ม จึงทำให้พืชได้รับแสงไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงสูงสุด ใบล่างๆที่ได้รับแสงน้อยมีการสังเคราะห์แสงน้อยกว่าการหายใจจึงกลายสภาพเป็นแหล่งใช้อาหารแทนที่จะเป็นแหล่งผลิตอาหาร ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อให้ได้ทรงต้นที่ดีและการจัดการเกี่ยวกับระยะปลูกจึงมีความสำคัญในการผลิตพืช เพราะมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจต่างกัน เป็นเหตุให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิแตกต่างกันไปด้วย โดยในพืชพวก Critical LAI response นั้นอัตราการหายใจของพืชไม่ได้เพิ่มตามปริมาณ LAI ที่เพิ่มขึ้น แต่ใน Optimum LAI response พบว่าอัตราการหายใจของพืชจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง (กระบวนการสังเคราะห์แสง - การหายใจของพืช) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง LAI กับอัตราการสังเคราะห์แสงและอัตราการหายใจของพืชที่มีการตอบสนองแบบ Critical LAI และแบบ Optimum LAI (Gardner *et al.,* 1985)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของพืชกับ optimum LAI

จากหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การปลูกพืชควรให้พืชมี optimum LAI พอดีกันกับที่พืชสิ้นสุดระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ดังนั้นเราจะต้องคำนึงว่าพืชมีพื้นที่ใบต่อต้นเป็นเท่าไรเมื่อสิ้นสุดการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดความหนาแน่นที่เหมาะสม หากกรณีที่พืชมีการพัฒนาพื้นใบได้น้อยในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ การปลูกพืชจำเป็นจะต้องเพิ่มความหนาแน่นในการปลูกเพื่อให้พืชสามารถสร้างพื้นที่ใบจนถึง optimum LAI ได้เมื่อออกดอก แต่ในกรณีที่พืชมีการพัฒนาพื้นที่ใบได้มาก จำเป็นจะต้องลดความหนาแน่นในการปลูกลง เพื่อไม่ให้พืชมี LAI เกินค่า optimum เมื่อออกดอก เช่น ข้าวโพดที่มีการพัฒนาพื้นที่ใบทั้งต้นที่ 5000 - 6000 ตารางเซนติเมตรต่อต้น (Subedi and Ma, 2005) แต่ค่า optimum LAI ในข้าวโพดลูกผสมนั้นจะมีค่าประมาณ 6 ดังนั้นการกำหนดต้นปลูกจึงจะอยู่ที่ 10 ต้นต่อตารางเมตร ถึงแม้ในถั่วเขียวจะมีค่า optimum LAI เพียง 3 - 4 นั้น แต่เนื่องจากพื้นที่ใบต่อต้นน้อยประมาณ 1000 - 1500 ตารางเซนติเมตรต่อต้น (Malik *et al.*, 2006) จำเป็นจะต้องมีความหนาแน่นต้นที่สูงกว่าข้าวโพด โดยความหนาแน่นที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 30-40 ต้นต่อตารางเมตร

แต่อย่างไรก็ตามการกำหนดหนาแน่นของพืชก็จะต้องคำนึงถึง ลักษณะการเจริญเติบโตของพืชด้วย เช่น ลักษณะการแตกกอ (tillering) ของพืชตระกูลหญ้าหรือการแตกกิ่งก้าน (branching) ของพืชตระกูลถั่วบางชนิดเป็นส่วนสำคัญ เช่น ในถั่วเหลือง Gan *et al.* (2002) พบว่าเมื่อปลูกถั่วเหลืองด้วยความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น 2 เท่าแล้ว จำนวนกิ่งที่ได้จะลดลง 12-17% รวมทั้งยังจะส่งผลต่อพื้นที่ใบต่อต้นที่ลดลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามค่า LAI ที่ได้อาจจะไม่ลดลงตามไปด้วยเนื่องมาจากการถูกชดเชยด้วยจำนวนต้นที่เพิ่มขึ้นแทน ด้วยคุณสมบัติที่มีลักษณะยืดหยุ่น เช่นถั่วเหลืองนี้ผลผลิตที่ได้ก็อาจจะเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก ในทางตรงกันข้ามกับพืชที่ไม่มีการแตกกอหรือแตกกิ่งก้าน เช่น ข้าวโพด ทั้ง LAI และผลผลิต สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย จากการทดลองของ Cox (1996) พบว่าเมื่อปลูกข้าวโพดที่ความหนาแน่นต่ำ (4.5 ต้นต่อตารางเมตร) เปรียบเทียบกับที่ความหนาแน่นสูง (9 ต้นต่อตารางเมตร) ค่า LAI ที่ได้จากการทดลองนั้นจะลดลง 40% และผลผลิตลดลง 15% ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าความหนาแน่นที่เหมาะสมสำหรับพืชที่ไม่มีการแตกกิ่งหรือแตกกอนั้นจะสามารถยืดหยุ่นได้น้อยกว่าพืชที่มีการแตกกอหรือกิ่งก้าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ดังเช่นคำกล่าวที่ว่า ดินเลวปลูกถี่ ดินดีปลูกห่าง นั่นก็คือเมื่อมีการปลูกพืชภายใต้ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำควรมีการปลูกจำนวนต้นพืชมากขึ้น เพื่อเพิ่มพื้นที่ใบต่อพื้นที่ดินซึ่งเป็นการชดเชยพื้นที่ใบต่อต้นที่น้อย เช่น การขาดธาตุอาหารบางธาตุนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาพื้นที่ใบของพืช จาก Fletcher *et al.* (2003) พบว่าการขยายพื้นที่ใบของข้าวโพดที่ใส่ฟอสฟอรัสจะให้

พื้นที่ใบ 570 ตารางเซนติเมตรต่อใบ ขณะที่ไม่ใส่ฟอสฟอรัสจะมีพื้นที่ใบเพียง 415 ตารางเซนติเมตรต่อใบ นอกจากนั้นความชื้นยังมีความสำคัญกับพืช โดยเมื่อพืชขาดน้ำการเจริญเติบโตของพืชจะลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทางสรีระวิทยาของพืชลดลง เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสง การขยายตัวของเซลล์ และ การตรึงไนโตรเจน (Boyer, 1968) ในพืชที่ขาดน้ำจะมีพื้นที่ใบลดลง (Pandey *et al*., 1984b) รวมทั้งการเคลื่อนย้ายสารอาหารและแป้งของพืชจะช้าลงและการสังเคราะห์แสงจะลดลงด้วย (Doss *et al*., 1974) อย่างไรก็ตามการจัดการใดๆ ที่สามารถทำให้พืชมีการพัฒนาพื้นที่ใบสูงสุดและเป็นผลดีต่อการรับและใช้แสงได้มากขึ้นแล้วก็จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตต่อไป

การจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับแสงของพืช

ฤดูปลูก

ฤดูปลูกเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการรับแสงเพราะแต่ละฤดูจะมีปริมาณแสงที่ส่องลงมายังผิวโลกไม่เท่ากันซึ่งจะแตกต่างกันไปตามละติจูด โดย Cooper (1970) ได้จำแนกปริมาณของพลังงานแสงเฉลี่ยที่ส่องมายังโลกในรอบปี พบว่าในเขตร้อนชื้น (tropical zone) จะมีพลังงานแสงที่ส่องลงมา 155 - 160 Kcal/ตร.ซม./ปี ขณะที่ในเขตหนาว (temperate zone) จะมีพลังงานแสงที่ส่องลงมาเพียง 85 - 120 Kcal/ตร.ซม./ปี ทำให้เห็นได้ว่าปริมาณแสงที่ส่องลงมาในละติจูดที่แตกต่างกันนั้นจะส่งผลต่อปริมาณแสงที่พืชสามารถรับและใช้ประโยชน์แตกต่างกันด้วย ดังนั้นการจัดการเพื่อให้พืชมี optimum LAI พอดีกับช่วงที่มีปริมาณแสงส่องลงมายังโลกสูงสุดแล้วก็จะเป็นส่วนหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของการรับและใช้แสงให้สูงขึ้นไป นอกจากนั้นความแตกต่างระหว่างละติจูดที่ต่างกันยังส่งผลต่อฤดูกาลที่แตกต่างกันไปด้วย โดยในประเทศไทยซึ่งเป็นเขตร้อนพบว่าที่ช่วงต้นฤดูฝนจะมีปริมาณแสงที่ส่องลงมายังผิวโลกสูงสุด (628 - 720 cal/cm^2/d) แต่ในฤดูแล้งและปลายฤดูฝนนั้นพบว่ามีปริมาณแสงที่ส่องลงมายังผิวโลกต่ำลง (462 - 523 cal/cm^2/d) (Exell and Saricali, 1976) แต่อย่างไรก็ตามพลังงานแสงที่ส่องลงมาก็จะผ่านอนุภาคต่างๆในบรรยากาศทำให้พลังงานแสงที่ส่องลงมายังผิวดินในแต่ละฤดูกาลของประเทศไทยจะไม่เปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นในประเทศไทยฤดูปลูกที่เหมาะสมจึงไม่ถูกจำกัดด้วยปริมาณแสง ขณะที่ในเขตหนาว ในระหว่างฤดูกาลนั้นปริมาณของแสงจะแตกต่างกันมากถึง 400 cal/ตร.ซม./วัน (Cooper, 1970) ทำให้เห็นได้ว่าจะส่งผลต่อการรับและใช้แสงด้วย ดังนั้นเมื่อเราสามารถรู้ได้ว่าฤดูกาลใดที่มีปริมาณแสงที่ส่องมายังผิวโลกได้สูงสุดแล้วนั้น การกำหนดฤดูปลูกเพื่อให้พืชสามารถพัฒนาพื้นที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใบจนถึงระดับ optimum LAI ได้พอดีแล้วสามารถรับแสงได้สูงสุดก็จะเป็นผลดีกับพืช และนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตต่อไป

วันปลูก

แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของการรับและใช้แสงของพืช อีกประการหนึ่งก็คือ การกำหนดวันปลูกเพื่อให้พืชนั้นสามารถที่จะสร้างพื้นที่ใบ และมี optimum LAI พอดีกันกับวันที่มีปริมาณแสงส่องลงมายังผิวโลกสูงสุดด้วย ก็จะส่งผลให้พืชสามารถสร้างผลผลิตได้สูงสุดด้วย ดัง Monteith (1977) ที่พบว่าเมื่อไม่มีปัจจัยอื่นที่เป็นตัวจำกัดแล้ว การสะสมน้ำหนักแห้งของพืชที่ได้ก็จะขึ้นกับปริมาณแสงที่พืชได้รับนั้น โดยปริมาณของแสงที่ส่องมายังผิวโลกในแต่ละวันนั้นจะแตกต่างกันไป ทำให้พืชรับแสงได้แตกต่างกันด้วย ซึ่ง Pedersen and Lauer (2004) พบว่าเมื่อปลูกถั่วเหลืองด้วยวันปลูกในช่วงต้นพฤษภาคม การสะสมน้ำหนักแห้งจะสูงกว่าการปลูกในช่วงปลายพฤษภาคม ซึ่งเป็นผลมาจากการปลูกถั่วเหลืองในช่วงต้นพฤษภาคมจะส่งผลให้ LAI สูงกว่าและสามารถรับแสงได้มากขึ้นและส่งผลให้พืชสะสมน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในประเทศไทยนั้นได้มีการหาวันปลูกที่เหมาะสมกับถั่วเหลืองเพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงสุด โดย (เยาวลักษณ์ และสมศักดิ์ 2526) ได้รายงานว่าการปลูกถั่วเหลือง พันธุ์ สจ. 2 ในวันปลูกที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดถั่วเหลืองโดยวันที่ 1 มกราคมนั้นจะให้ผลผลิตที่สูงกว่าวันที่ 30 มกราคม แต่อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นสำคัญด้วยเพื่อให้พืชสามารถที่จะรับและสังเคราะห์แสงได้อย่างสมบูรณ์และสร้างผลผลิตได้สูงสุด

การจัดรูปแบบการปลูก

การจัดการระยะปลูกหรือการจัดรูปแบบของการปลูก (planting pattern) ก็เพื่อให้พืชปลูกมีการกระจายตัวของใบคลุมพื้นที่อย่างสม่ำเสมอและไม่มีการซ้อนกันหรือบังกันมาก เพื่อให้พืชสามารถรับแสงที่ส่องลงมาได้มากที่สุด จากลักษณะของทรงพุ่มที่เป็นทรงกลม เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าวหรือข้าวสาลี ควรมีรูปแบบหรือระยะของการปลูกระหว่างต้นและระหว่างแถวเท่ากันเรียกว่า equidistance spacing การที่ปลูกพืชเพื่อให้เป็นเช่นนี้ก็เพื่อให้พืชสามารถกระจายตัวและลดการแก่งแย่งแข่งขันกันด้วย โดยความหนาแน่นของพืชที่เท่ากันจึงอาจมีรูปแบบของการปลูกที่แตกต่างกันได้ เช่น การปลูกด้วยระยะปลูก 50 x 50 ซม. จะให้ความหนาแน่นเท่ากับระยะปลูก 25 x 100 ซม. รูปแบบทั้งสองของการปลูกอาจให้ LAI ไม่แตกต่างกัน แต่ลักษณะการกระจายของพื้นที่ใบนั้นจะแตกต่างกัน เมื่อการกระจายของพื้นที่ใบแตกต่างกัน ก็จะส่งผลให้พืชมีพื้นที่ใบที่จะรับแสงได้แตกกันด้วย การจัดระยะปลูก 25 x 100 ซม. ซึ่งระยะระหว่างแถวกว้างแต่มีระยะระหว่างต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในแถวเดียวกันแคบ ในกรณีนี้ถึงแม้จะไม่มีใบบังซึ่งกันและกันระหว่างแถวแต่ก็อาจมีการบังกันมากเกิดขึ้นระหว่างต้นในแถวเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลให้มีพื้นที่ใบรับแสง (ต่อพื้นที่) น้อยกว่าการจัดระยะปลูก 50 x 50 ซม. Shibles and Weber (1966) ที่ศึกษาถึงอิทธิพลของความกว้างของแถวและระยะห่างระหว่างต้นที่มีผลต่อพื้นที่ใบและการรับแสงในถั่วเหลือง พบว่า เมื่อมีระยะปลูก 5 x12 และ 10 x 6 นิ้ว มีการสร้างพื้นที่ใบถึงระดับที่เหมาะสมได้เร็วกว่าระยะปลูก 3 x 20 หรือระยะปลูก 1.5 x 40 นิ้ว นอกจากนี้ เศรษฐา 2541 พบว่าเมื่อปลูกถั่วเหลืองด้วยความหนาแน่นที่ระดับต่างๆ กัน คือ 64000 96000 128000 160000 ต้นต่อไร่ นั้นจะส่งผลต่อค่า LAI และผลผลิตที่ได้แตกต่างกัน ที่ความหนาแน่น 128000 จะให้ค่า LAI ที่ 3.57 ซึ่งสูงกว่าที่ความหนาแน่นอื่นและให้ผลผลิตสูงสุด 319 กก./ไร่ ซึ่งเป็นผลของการรับแสงของพืชที่แตกต่างกัน และการทดลองของ Mohammad *et al.* (2005) พบว่าเมื่อปลูกทานตะวัน 4 รูปแบบประกอบด้วย แถวกว้าง แถวปกติ แถวคู่ และแถวคู่สลับฟันปลา โดยมีความหนาแน่น 3 ระดับ คือ 6, 8 และ10 ต้น/ตารางเมตร พบว่า รูปแบบการปลูกแบบแถวคู่สลับฟันปลาที่ความหนาแน่น 8 ต้น/ตารางเมตร จะมีการรับแสงได้สูงสุดและผลผลิตของรูปแบบการปลูกแบบแถวคู่สลับฟันปลาและแบบแถวปกติที่ความหนาแน่น 8 ต้น/ตารางเมตร นั้นจะสูงสุดด้วย

ทิศทางของแถวปลูก

การปลูกพืชไปในทิศทางที่แตกต่างกัน จะมีผลต่อการกระจายแสงในระหว่างแถวพืชแตกต่างกันและจะส่งผลกระทบต่อพืชในที่สุด การจัดการเพื่อให้แสงสามารถกระจายเข้าไปยังทรงพุ่มของพืชได้สูงสุดนั้นก็จะเป็นแนวทางหนึ่งที่พืชสามารถรับแสงได้สูงสุดตามไปด้วย ในตอนเช้าและตอนบ่ายการส่องของแสงนั้นจะส่องมายังต้นพืชในแนวนอนหรือขนานกับพื้นดินมากกว่า ซึ่งการเอนเอียงหรือมุมของใบอาจไม่มีความสำคัญมากนักต่อการกระจายของแสงในทรงพุ่ม แต่การวางทิศทางของแถวปลูกจะมีความสำคัญก็ต่อเมื่อ เมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนตำแหน่งมาอยู่เหนือศีรษะมากขึ้น แสงจะถูกส่องมายังต้นพืชในแนวดิ่ง ภายใต้สภาพเช่นนี้ รูปร่างของใบ มุมของใบ และการเรียงตัวของใบจะมีผลกระทบอย่างมากต่อการกระจายของแสงในทรงพุ่ม ซึ่งจะส่งผลต่อการบังแสงซึ่งกันและกันในที่สุดทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นการวางทิศทางซึ่งจะส่งผลให้ทรงพุ่มพืชสามารถรับแสงได้และส่งผลต่อผลผลิตได้ในที่สุด โดย Tsubo *et al.*,(2001) กล่าวว่า ข้าวโพดที่ปลูกโดยมีทิศทางของแถวปลูก เหนือ และใต้ และทิศทางของแถวปลูกตะวันออกและตะวันตก จะมีการรับแสงแตกต่างกันประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และ Baker and Meyer (1966) พบว่าตลอดทั้งวันนั้นการวางแถวปลูกในแนวทิศเหนือและใต้จะได้รับปริมาณแสงมากกว่าการวางแถวปลูกในแนวทิศตะวันออกและตะวันตก นอกจากนั้นการทิศทางของแถวปลูกจะส่งผลต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลผลิตของข้าวฟ่าง Whiteman *et al.* (1974) พบว่าเมื่อปลูกในทิศเหนือใต้นั้นผลผลิตที่ระยะห่างแถว 90 ซม. จะให้ผลผลิตที่สูงกว่าทิศตะวันออกตะวันตก

การปลูกแถวแคบ

การปลูกพืชด้วยแถวแคบเป็นแนวทางหนึ่งที่ส่งเสริมให้พืชสามารถสร้างพื้นที่ใบรวมถึงสามารถปกคลุมพื้นผิวดินได้อย่างรวดเร็ว และเพื่อให้พืชมีการรับและใช้แสงเพิ่มสูงขึ้นก็เป็นแนวทางหนึ่งของการเพิ่มประสิทธิภาพของการรับแสงให้สูงขึ้น โดยจากการทดลองของ Board *et al.*(1992) ที่สามารถอธิบายได้ว่าผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเมื่อปลูกด้วยแถวแคบนั้นเป็นผลมาจากการรับแสงของพืชที่เพิ่มมากขึ้น โดยที่ลดระยะห่างระหว่างแถวจาก 100 กับ 75 ลงไปเหลือ 50 ซม. และ Seiter *et al.* (2004) พบว่าผลผลิตที่ระยะห่างระหว่างแถว 18 ซม.สูงกว่า และมีความแตกต่างทางสถิติกับระยะห่างระหว่างแถว 76 ซม. Sheaffer *et al.* (2001) ที่ปลูกถั่วเหลืองด้วยระยะห่างระหว่างแถว 2 ระยะและพบว่าที่ระยะแถวแคบมีผลผลิตที่สูงกว่าโดยแตกต่างกันทางสถิติ และการปลูกพืชด้วยแถวแคบนอกจากจะเพิ่มปริมาณ LAI แล้วยังสามารถส่งเสริมการรับแสงให้มากขึ้นได้ด้วย โดย Board and Harville (1996) แนะนำให้มีการปลูกพืชแถวแคบซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการรับแสงในช่วงระหว่างการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และในช่วงระยะออกดอกด้วย

นอกจากนั้นเมื่อปลูกพืชด้วยแถวที่แคบลงแล้วยังมีทั้งผลดีและผลเสีย จากการทดลอง Johnson *et al.* (2005) พบว่าการปลูกถั่วลิสงด้วยแถวแคบจะมีทรงพุ่มที่ชิดติดกันอย่างรวดเร็วกว่าระยะแถวปกติ ซึ่งความหนาแน่นของวัชพืชในแถวแคบจะต่ำกว่าแถวกว้าง รวมทั้งลดการใช้สารเคมีในการควบคุมวัชพืชบางตัวได้ด้วย นอกจากนี้การปลูกด้วยแถวที่แคบแล้วจะส่งผลให้เกิดการชะล้างหน้าดินลดลง 40 - 60 % เมื่อเทียบกับระยะปลูกปกติ (Elmore *et al.* 1990) รวมทั้งการปลูกพืชด้วยความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น Ayaz *et al.* (2004) พบว่าเมื่อปลูกถั่ว 4 ชนิด และเพิ่มความหนาแน่นขึ้น 2 และ 4 เท่าของอัตราปลูกปกตินั้นการแพร่กระจายของไนโตรเจนไปยังทุกส่วนของต้นเพิ่มขึ้นทั้งที่เมล็ด ต้น และใบแก่ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อปลูกพืชด้วยแถวที่แคบมากหรือหนาแน่นมากแล้ว อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตหรือเป็นแหล่งกำเนิดโรคได้ด้วย จากการทดลองของ Ball *et al.* (2000a) ทำการปลูกถั่วเหลืองด้วยความหนาแน่นที่สูงมากเกินไปนั้น จะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของถั่วเหลืองแถวแคบช้ากว่าปกติ รวมถึงการปลูกด้วยความหนาแน่นที่สูงมากนี้ยังทำให้เกิดการหักล้มของถั่วเหลืองง่ายขึ้นด้วย (Cooper, 1971b) รวมทั้งยังเกิดโรคได้ด้วยเช่น Joy *et al.* (1990) พบว่าการเกิดโรคใบไหม้ของถั่วเหลืองพบมากในระยะห่างแถว 25 ซม. และลดลงตามลำดับที่ 50, 75 และ 100 ซม.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การจัดการต่างๆ

การจัดการ ความชื้น ธาตุอาหาร การกำจัดแมลงศัตรูพืช เป็นต้น สิ่งต่างๆเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อการพัฒนาพื้นที่ใบของพืช ซึ่งเป็น source หรือแหล่งที่พืชใช้ในการผลิตอาหารของพืชด้วย ดังเช่นถ้าพืชขาดน้ำจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง เนื่องมาจากการคายน้ำซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของการ์ดเซลล์ (guard cell) บริเวณใบพืช ทำให้การดูดซึมของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงและการสังเคราะห์แสงก็จะลดลงตามไปด้วย โดยการทำงานของการ์ดเซลล์ยังขึ้นกับ แสง อุณหภูมิ ธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุโปแทสเซียม ที่ส่งผลต่อการเปิดปิดของการ์ดเซลล์ นอกจากนั้นธาตุอาหารไนโตรเจนและแมกนีเซียมนั้นเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ ที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงด้วย ซึ่งการจัดการกับปัจจัยต่างๆเหล่านี้ได้แล้วก็จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการใช้แสงของพืชให้สูงขึ้นได้

การวิเคราะห์อัตราการเจริญของพืช

การสร้างน้ำหนักแห้งของพืชเป็นส่วนที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์พืช โดยการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการคาดคะเนหาผลลัพธ์สุทธิที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช โดยการคำนวณหาอัตราการเจริญของพืชนั้นจะใช้หลักการของ Linear regression analysis ซึ่งค่าความชันที่ได้นั้นจะเป็นส่วนแสดงถึงอัตราการเจริญเติบโตของพืช เช่นจากการทดลองของ Gardner *et al*. (1985) พบว่าค่า CGR ในพืชจะแตกต่างกันไป ซึ่งในพืช C_3 จะมีค่า CGR ประมาณ 20 กรัม/ตารางเมตร/วัน ส่วนพืช C_4 เช่น ข้าวโพด จะมีค่า CGR ประมาณ 30 กรัม/ตารางเมตร/วัน เมื่อนำน้ำหนักแห้งทั้งหมดและน้ำหนักแห้งของผลผลิตมาแสดงเทียบกับเวลาในกราฟจะพบว่าค่า CGR ที่ได้นั้นจะเป็นกราฟที่มีความสัมพันธ์กันแบบเป็นเส้นตรง Egli (1975) พบว่าค่า CGR ของถั่วเหลืองจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์และสภาพแวดล้อม การทดลองของ เทวา (2531) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง 3 สายพันธุ์ ภายใต้สภาพฤดูปลูกที่แตกต่างกัน พบว่าช่วงของการเจริญในระยะ Linear phase ของพันธุ์ สจ. 5 จะอยู่ช่วง 56 - 84 วัน ส่วนพันธุ์ยอดสนและนครสวรรค์ 1 อยู่ช่วงระหว่าง 42-63 วัน Hanway and Weber (1971) ได้ศึกษาการสะสมน้ำหนักแห้งในถั่วเหลือง 8 พันธุ์ พบว่าค่า CGR มีค่าตั้งแต่ 8.8 ถึง 14.9 กรัม/ตารางเมตร/วัน ในการทดลองของ Duncan *et al.* (1978) พบว่าค่า CGR ของถั่วเหลืองพันธุ์ Bragg มีค่า 12.5 กรัม/ตารางเมตร/วัน และในการทดลองของ เทวา (2531) ในการปลูกถั่วเหลือง 3 พันธุ์ พบว่าค่า CGR ของถั่วเหลืองในฤดูฝนจะมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้งโดยในฤดูฝนจะมีค่าประมาณ 7.0 ถึง 7.5 แต่ในฤดูแล้งจะมีค่าประมาณ 5.5 ถึง 6.7 กรัม/ตารางเมตร/วัน นอกจากนี้ค่า CGR จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการปลูกด้วยแถวแคบหรืออัตราปลูกที่สูงขึ้นดังการทดลองของ Board and

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Harville (1996) พบว่าการปลูกถั่วเหลืองที่ความหนาแน่นและระยะปลูกที่แตกต่างกันมีผลให้อัตราการเจริญเติบโตภายใต้การปลูกด้วยความหนาแน่นสูงและระยะห่างระหว่างแถวแคบมีอัตราที่สูงขึ้น จากการทดลองของ Board *et al.* (1994) ที่มีการปลูกเปรียบเทียบถั่วเหลืองระหว่างระยะห่างระหว่างแถว 100 50 และ 25 เซนติเมตร พบว่าอัตราการเจริญเติบโตที่ระยะห่างระหว่างแถว 50 เซนติเมตรให้ค่า CGR สูงสุดที่ 47 54 และ 60 วันหลังงอก โดยค่า CGR จะสูงถึง 16.52 18.00 และ 17.19 กรัม/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ ขณะที่ค่า CGR จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะห่างระหว่างแถวที่ลดลงคือ 38 76 และ 114 เซนติเมตร (Bullock *et al.*, 1998) แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความหนาแน่นให้สูงมากขึ้นต้องคำนึงถึงว่าจะหนาแน่นมากเพียงใดต้องคำนึงถึงตัวพืชเองด้วย จากการทดลองของ Board (2000) พบว่าที่ความหนาแน่นของถั่วเหลืองที่ต่ำจะมี CGR สูงกว่าที่มีความหนาแน่นสูง

นอกจากค่า CGR ที่มีความสำคัญดังกล่าวมาแล้วนั้น อัตราการเจริญต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ (net assimilation rate, NAR) ก็เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญด้วย ซึ่งแสดงถึงอัตราการสะสมน้ำหนักแห้งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่ง NAR เป็นตัวที่ใช้วัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของใบพืช ในขณะที่พืชอายุยังน้อยค่า NAR จะมีค่าสูงและใบทุกใบจะได้รับแสงที่ส่องลงมาทั้งหมด เมื่อพืชโตขึ้นและมี LAI เพิ่มขึ้น การบดบังแสงของใบก็จะเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นเหตุให้ค่า NAR มีค่าลดลง ในทรงพุ่มพืชที่มี LAI มากใบอ่อนที่อยู่ส่วนยอดของพืชจะมีการรับแสงได้มากที่สุด มีการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ และมีการเคลื่อนย้ายสารที่สังเคราะห์ได้ไปยังส่วนต่างของต้นพืช ในทางกลับกันใบแก่ที่อยู่ส่วนล่างทรงพุ่มซึ่งถูกบดบังแสงจากใบบน จะมีอัตราการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ต่ำกว่าและมีการเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์ไปยังส่วนอื่นๆได้น้อยกว่าด้วย เมื่อเป็นเช่นนี้ การที่จะให้พืชรับแสงได้ดีนอกจากจะมีพื้นที่ใบมากแล้วยังจะต้องมีค่า NAR เฉลี่ยตลอดอายุการเจริญเติบโตที่สูงด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างทรงพุ่มของพืช ค่า NAR จะมีค่าที่สูงในการปลูกด้วยความหนาแน่นที่ต่ำกว่าความหนาแน่นปกติ ทั้งนี้ยังมีค่าของประสิทธิภาพการรับแสง (Light interception efficiency, LIE) ซึ่งเป็นค่าการรับแสงต่อหน่วย นอกจากนี้ พบว่า LIE จะมีผลต่อ NAR โดยเมื่อพืชมี LIE ที่ดีแล้วค่า NAR ก็จะดีขึ้นด้วย (Carpenter and Board, 1997b) โดย Board (2000) พบว่าค่า NAR ที่สูงขึ้นเมื่อปลูกด้วยความหนาแน่นต้นต่ำนั้นเป็นผลมาจากการมีประสิทธิภาพของการรับแสงที่ดีขึ้นด้วย โดยพบว่าค่า NAR ที่ได้นั้นจะมีค่าอยู่ในช่วง 12 – 2 กรัม/ตารางเมตร/วัน ในระยะห่าง 25 เซนติเมตร แต่ที่ระห่าง 50 และ 100 เซนติเมตร นั้นจะอยู่ในช่วง 11 – 1 กรัม/ตารางเมตร/วัน (Board and Harville, 1996)

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ มีผลต่อการเจริญเติบโต รวมถึงการสะสมน้ำหนักแห้งของพืช ซึ่งล้วนแล้วแต่นำไปสู่ผลผลิตทั้งสิ้น การที่มีแนวทางใดก็ตามที่เป็นการเพิ่ม CGR,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

LAI, LI, NAR เป็นแนวทางหนึ่งที่จะนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตได้ในที่สุด โดยการจัดการปลูกเป็นส่วนหนึ่งที่จะเพิ่มค่าต่างๆ ดังที่กล่าวมา

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

ผลผลิตของพืชอาจแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ดังได้กล่าวมาแล้วคือ ผลผลิตในทางชีวภาพ (biological yield) และผลผลิตในทางเศรษฐศาสตร์ (economic yield) โดย Niciporovich (1960) ได้ให้คำนิยามว่า ผลผลิตในทางเศรษฐศาสตร์ นั่นก็คือส่วนที่เป็น เมล็ด ฝัก ผล เส้นใย ราก หรือหัว จะขึ้นอยู่กับผลผลิตในทางชีวภาพ (น้ำหนักแห้ง) และประสิทธิภาพการลำเลียงและถ่ายเทสารสังเคราะห์ (partitioning efficiency หรือ harvest index, HI) จากน้ำหนักแห้งไปยังผลผลิตที่ถูกเก็บเกี่ยวดังสมการ

Economic yield = Biological yield x Partitioning efficiency

หรือ Seed yield = DM (การสะสมน้ำหนักแห้ง) x HI (ดัชนีเก็บเกี่ยว)

การสะสมน้ำหนักแห้งพืชที่ถูกใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระดับการเจริญเติบโตของพืช ในขณะเดียวกันก็สามารถใช้เป็นดัชนีบ่งบอกระดับการให้ผลผลิตของพืชได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ผลผลิตกับน้ำหนักแห้งจะมีความสัมพันธ์กันในทางบวก ดังการทดลองของ เฉลิมพล (2542) พบว่าผลผลิตของถั่วลิสงมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับการสะสมน้ำหนักแห้งอย่างเห็นได้ชัด และคาดว่าผลผลิตจะเพิ่มขึ้นได้อีกถ้าน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น แต่ไม่ทำให้ดัชนีเก็บเกี่ยวลดลง ดังรายงานของ Board and Modali (2005) พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองที่ระยะ R1 และ R5 นั้นสามารถนำไปใช้ในการประเมินผลผลิตของถั่วเหลืองได้ ทำให้เห็นได้ว่าผลผลิตที่เกิดขึ้นนั้นเป็นส่วนที่มาจากการสะสมน้ำหนักแห้งของพืชเป็นสำคัญ โดยการเพิ่มความหนาแน่นต้นปลูกหรืออัตราปลูกเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มน้ำหนักแห้งให้กับถั่วเหลือง เมื่อปลูกพืชด้วยความหนาแน่นที่มากขึ้นแล้วการสะสมน้ำหนักแห้งก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดัง อภิพรรณ (2533) ที่พบว่าเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจาก 7500 ต้น/เฮคแตร์ – 67492 ต้น/เฮคแตร์ นั้นน้ำหนักแห้งจะเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความหนาแน่นขึ้นอีกผลผลิตค่อนข้างคงที่ ซึ่งเป็นเพราะการเพิ่มความหนาแน่นมีผลทำให้ดัชนีเก็บเกี่ยวลดลง โดยมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ HI เช่น พันธุ์ ความสูง วันปลูก และอายุการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ เป็นต้นซึ่งด้วยปัจจัยต่างๆที่กล่าวมานี้จะส่งผลให้ค่า HI แตกต่างกันไป แต่ก็ได้มีนักปรับปรุงพันธ์พยามเพิ่ม ให้พืชมีค่า HI ที่สูงขึ้นเพื่อให้ผลผลิตสามารถสูงขึ้นได้ ดังเช่นการจัดการปุ๋ยกับข้าว 2 ชนิดคือ Indica และ Japonica พบว่าข้าวพันธุ์ Japonica จะให้ HI สูงกว่า ทั้งนี้อาจมีเหตุมาจากลักษณะของทรงพุ่มที่ดีกว่า (Donald, 1961) นอกจากนั้น(Vergara and Visperas, 1977) พบว่าค่า HI ยังเป็นผลทางอ้อมกับพืชโดยจะส่งผลทางลบกับความสูงของข้าวพันธุ์พื้นเมือง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเป็นผลมาจากการกระจายแสงภายในทรงพุ่มของพืช รวมถึงการแข่งขันกันจนลำต้นไม่แข็งแรงจนเกิดการหักล้มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการพัฒนาให้พืชมี HI ที่สูงขึ้นได้แล้วนั้นก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะส่งผลต่อผลผลิตของพืชดังสมการที่กล่าวมาแล้ว

องค์ประกอบผลผลิต

ผลผลิตของพืชเป็นผลรวมที่เกิดขึ้นจากหน่วยที่ให้ผลผลิตหลายๆ หน่วยประกอบกัน ซึ่งเรียกได้ว่า องค์ประกอบผลผลิต (yield component) โดยส่วนที่กล่าวมานี้จะทำหน้าที่เป็นส่วนหรืออวัยวะที่เก็บสะสมสารสังเคราะห์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสง และจะถูกเก็บเกี่ยวไปเป็นผลผลิตในที่สุด ดังแสดงได้ดังสมการ

ผลผลิต	=	ก x ข x ค x ง
ก	=	จำนวนต้นต่อพื้นที่
ข	=	จำนวนหน่วยที่ให้ผลผลิต (เช่น ฝัก หรือรวง) ต่อต้น
ค	=	จำนวนเมล็ดต่อหน่วยที่ให้ผลผลิต (เช่น ต่อฝัก หรือต่อรวง)
ง	=	น้ำหนักเฉลี่ยต่อเมล็ด

จากสมการแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะเพิ่มผลผลิตของพืชโดยการเพิ่มองค์ประกอบตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายๆตัวพร้อมกัน แต่การเพิ่มองค์ประกอบตัวใดตัวหนึ่งนั้นจะมีผลทำให้องค์ประกอบอีกตัวหนึ่งเปลี่ยนไปได้ เมื่อเป็นเช่นนี้ผลผลิตที่ได้อาจจะไม่เพิ่มขึ้น หรืออาจจะลดลงได้ถ้าการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบตัวนั้นไม่สามารถชดเชยได้ แต่อย่างไรก็ตามองค์ประกอบผลผลิตของพืชจะขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของพืชและสภาพแวดล้อมเป็นส่วนสำคัญโดย Adam and Grafius (1971) ได้ทำงานวิจัยและเสนอไว้ว่า องค์ประกอบผลผลิตแต่ละตัวมีอิสระต่อกันตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมในลักษณะต่างๆกัน เนื่องจากมียีนที่ควบคุมต่างกันออกไป และองค์ประกอบผลผลิตที่เกิดขึ้นแต่ละตัวนั้นจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน โดยเมื่อองค์ประกอบผลผลิตตัวใดที่เกิดขึ้นก่อนก็สามารถที่จะดึงคาร์โบไฮเดรตที่เก็บไว้ในพืชเพื่อการเจริญเติบโตของตนก่อนองค์ประกอบตัวอื่นๆ (Adams, 1967) รวมทั้งองค์ประกอบผลผลิตแต่ละตัวสามารถชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบผลผลิตตัวอื่นๆเพื่อมิให้ผลผลิตลดลงมากเกินไป

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของพืชจะแตกต่างกันไปตามชนิดพืช ซึ่งพืชแต่ละชนิดนั้นจะตอบสนองต่อความหนาแน่นของต้นปลูกที่ไม่เหมือนกัน เช่น ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าว เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่มีลำต้นเดี่ยว เช่น ข้าวโพด นั้นจะมีการตอบสนองที่แตกต่างกัน คือ เมื่อปลูกพืชตระกูลถั่วหรือพืชที่มีการแตกกอหรือกิ่งก้านแล้วปลูกด้วยความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่เป็นองค์ประกอบผลผลิตของพืชที่ได้รับผลกระทบจากความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นเป็นอันดับแรกก็คือจำนวนฝักต่อต้น หรือจำนวนรวงต่อกอ ในขณะที่องค์ประกอบอื่นๆจะลดลงไม่มากนัก ทั้งนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลผลิตที่ได้อาจจะไม่ลดลงหรือลดลงเพียงเล็กน้อยอันเนื่องมาจากการชดเชยด้วยจำนวนต้นต่อพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นนั้นแทน ดังเช่น Board *et al.* (1994) พบว่าเมื่อปลูกด้วยแถวที่แคบลงจาก 100 ซม. เป็น 50 ซม. แล้วจำนวนฝักต่อพื้นที่ที่ระยะห่างระหว่างแถว 50 ซม. นั้นมีจำนวนฝักสูงถึง 1714 ฝักต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับ 100 ซม. มีจำนวนฝักเพียง 1467 ฝักต่อตารางเมตร และ Norsworthy and shipe (2005) พบว่าผลผลิตที่เกิดจากระยะห่างระหว่างแถว 19 กับ 97 ซม. แตกต่างกันโดยที่ระยะห่างระหว่างแถว 19 ซม. จะให้ผลผลิต 297 กรัม/ตารางเมตรขณะที่ ระยะห่างระหว่างแถว 97 ซม. นั้นจะให้ผลผลิต 257 กรัม/ตารางเมตร ทำให้เห็นได้ว่าผลผลิตของถั่วเหลืองนั้นสามารถที่ถูกชดเชยกันได้ เมื่อมีจำนวนต้นที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการคำนึงถึงองค์ประกอบผลผลิตที่จะเกิดขึ้นก็เป็นส่วนหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงเมื่อมีการเพิ่มจำนวนต้น หรือความหนาแน่น และพืชสามารถที่จะสร้างองค์ประกอบผลผลิตต่างๆ เพื่อมาชดเชยผลผลิตที่สูญเสียไปได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญต่อผลผลิตของพืชเป็นประการสำคัญ

CHIANG MAI UNIVERSITY 1964
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved