สมการมวลชีวภาพของสักแตกหน่อ

Biomass equation of coppiced teak

วรพรรณ หิมพานต์
นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ

ส่วนวนวัฒนวิจัย
สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้
2566

สมการมวลชีวภาพของสักแตกหน่อ

Biomass equation of coppiced teak

โดย

นางวรพรรณ หิมพานต์

นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ

ส่วนวนวัฒนวิจัย

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

2566

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเติบโตของสักแตกหน่อ และพัฒนาสมการแอลโลเมตริกสำหรับประมาณมวลชีวภาพของสักแตกหน่ออายุ 3 ปี และ 10 ปี ที่สวนป่าสักในจังหวัดอุตรดิตถ์ วางแปลงขนาด 40 เมตร x 40 เมตร ในแต่ละพื้นที่ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงทั้งหมดของต้นไม้ก่อนตัดต้นตัวอย่างจำนวน 5 ต้นในแต่ละพื้นที่ แยกส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ใบ ลำต้น กิ่ง และราก ออก และทำการชั่งน้ำหนักสด เก็บตัวอย่างแต่ละส่วนประมาณ 0.5 กิโลกรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักแห้ง สร้างสมการแอลโลเมตริกโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ และขนาดของต้นไม้ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 0.3 เมตรจากพื้นดิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับชิดดิน และความสูง) จากนั้นนำมวลชีวภาพที่ได้มาคำนวณหาการกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกสามารถเป็นปัจจัยเดียวในการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกสำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพของสักแตกหน่อได้ มวลชีวภาพของสักแตกหน่อขึ้นอยู่กับอายุและขนาดของตอสัก รวมถึงการเสื่อมสภาพของรากต้นเดิม และการเติบโตของสักที่แตกหน่อขึ้นมาใหม่ ผลของการศึกษาเป็นเพียงการหาแนวทางในการพัฒนาสมการ การเก็บข้อมูลที่หลากหลายให้มากยิ่งขึ้นจะทำให้สามารถพัฒนาสมการที่จะนำไปใช้ในหลายพื้นที่ได้

คำสำคัญ : สักแตกหน่อ มวลชีวภาพ สมการแอลโลเมตริก

ABSTRACT

The objective of this study were studied the growth of coppiced teak and developed the allometric equation for estimating the biomass of 3-year-old coppiced teak and 10-year-old coppiced teak at plantations in Uttaradit Province. The 40 m x 40 m was established in the each study site. Diameter at breast height (DBH) and total height were measured before cut the 5 sample trees in each area. The tree parts (leaf, stem, branch and root) were divided and measure the fresh weight, while 0.5 kilogram of each part were collected to analy the dry weight. The allometric equation was developed from the relationship between the dry weight of each tree part and tree size (DBH, D_{30}, D_0 and height). The carbon storage and Carbon dioxide were also estimated.

The result indicated that only the factor as DBH suitable for developing the allometric equation for estimating the biomass of coppiced teak. The coppiced teak biomass depends on factors as the age and size of stump of old teak, including the deterioration of old root and the growth of coppiced teak. The result was only to find the way to develop the equation. The more diverse data collection can be developed the equation that can be applied to the coppiced teak in many areas.

Keywords : coppiced teak, Biomass, allometric equation

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก

ABSTRACT ..... ข

สารบัญ ..... ค

สารบัญตาราง ..... ง

สารบัญภาพ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

คำนำ 1

วัตถุประสงค์ 2

ตรวจเอกสาร 3

วิธีการ 7

ผลการศึกษา 10

การเติบโตของสักแตกหน่อ 10

สมการแอลโลเมตริก 10

มวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 15

สรุปผลการศึกษา 17

เอกสารอ้างอิง 18

ภาพประกอบ 23

สารบัญตาราง

หน้า

Table 1 Growth characteristics of coppiced teak in Uttaradit Province 10

Table 2 Allometric equation to estimate 3-year-old coppiced teak biomass..... 12

Table 3 Allometric equation to estimate 10-year-old coppiced teak biomass..... 13

Table 4 Carbon storage and CO_2 absorption of 3-year-old and 10-year-old coppiced teak in Uttaradit Province 16

สารบัญภาพ

หน้า

Figure 1 Allometric equation to estimate 3-year-old and 10-year-old coppiced teaks biomass..... 14

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณไกรสร สว่างเดชารักษ์ กรรมการผู้จัดการ ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงเลื่อยจักรท่าเสา อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ผู้วิจัยได้เข้าไปวางแปลง เก็บข้อมูล ขอขอบพระคุณ คุณธวัชชัย โภชนจันทร์ และเจ้าหน้าที่ของห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงเลื่อยจักรท่าเสา ที่ช่วยในการเก็บข้อมูล อำนวยความสะดวกในการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ ตลอดจนการดูแลรักษาแปลงทดลองให้สามารถดำเนินการเก็บข้อมูลได้จนสิ้นสุดโครงการ งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการเก็บข้อมูลที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่อยู่ภายใต้โครงการความร่วมมือระหว่างกรมป่าไม้และศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเกษตรนานาชาติแห่งประเทศญี่ปุ่น (Japan International Research Center for Agricultural Science : JIRCAS) จึงมีนักวิจัยชาวญี่ปุ่น Dr.Reiji Yoneda ที่ร่วมเก็บข้อมูลในบางครั้งด้วย

โครงการวิจัยนี้จะไม่สามารถดำเนินการได้เลย หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่ของฝ่ายวิจัยการปลูกสร้างสวนป่า ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ และได้รับการจัดสรรงบประมาณจากกรมป่าไม้ โดยสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

วรพรรณ หิมพานต์

ผู้วิจัย

คำนำ

จากการที่ประเทศไทยเข้าร่วมเป็นภาคอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) เมื่อปี พ.ศ. 2537 และได้กำหนดเป้าหมายในการดำเนินงานและร่วมมือกับนานาประเทศ จึงได้กำหนดนโยบายและแผนต่าง ๆ ได้แก่ แผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558-2593 แผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ.2564-2573 การดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (NAMA Pledge) ภายในปี พ.ศ. 2563 และการมีส่วนร่วมของประเทศในการลดก๊าซเรือนกระจก (Intended Nationally Determined Contribution: INDC) ภายในปี พ.ศ. 2573 เป็นต้น

ในปี พ.ศ. 2564 เมื่อครั้งการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Conference of the Parties) สมัยที่ 26 หรือ COP26 ที่เมืองกลาสโกว์ของสกอตแลนด์ พลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี ได้ขึ้นกล่าวถ้อยแถลงต่อที่ประชุม แสดงเจตนารมณ์ของประเทศไทยที่ได้ให้ความสำคัญสูงสุดต่อการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศร่วมกับประชาคมโลก และพร้อมร่วมมือกับทุกประเทศ ทุกภาคส่วน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายร่วมกัน แม้ว่าประเทศไทยจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสัดส่วนเพียง ร้อยละ 0.72 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วทั้งโลก แต่ประเทศไทยกลับเป็น 1 ใน 10 ประเทศ ที่จะได้รับผลกระทบร้ายแรงที่สุด จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และในช่วงเวลาที่ผ่านมา ประเทศไทยได้ปฏิบัติตามคำมั่นที่ให้ไว้กับประชาคมโลกทุกประการ และปฏิบัติตามพันธกรณีระหว่างประเทศอย่างต่อเนื่องและแข็งขัน โดยภายใต้กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศไทยจะยกระดับการแก้ไขปัญหาสภาพภูมิอากาศอย่างเต็มที่ และด้วยทุกวิถีทาง เพื่อให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (carbon neutrality) ภายในปี 2050 และบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (net zero greenhouse gas emission) ภายใน หรือก่อนหน้า ปี 2065 ด้วยการสนับสนุนทางด้านการเงินและเทคโนโลยีอย่างเต็มที่และเท่าเทียม รวมถึงการเสริมสร้างขีดความสามารถจากความร่วมมือระหว่างประเทศและกลไกภายใต้กรอบอนุสัญญาฯ

ป่าไม้ เป็นแหล่งของการกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ การลดก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงมุ่งเน้นมาเรื่องการเพิ่มพื้นที่ปลูกต้นไม้หรือปลูกป่า โดยศักยภาพของการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าไม้ที่ปลูกกันทั่วไปในประเทศไทยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของชนิดต้นไม้ อายุ ระยะปลูก และสภาพของท้องที่ ตลอดจนวนวัฒนวิธีที่ใช้ในการจัดการ ในขณะที่เรื่องคาร์บอนเครดิตกำลังเป็นหัวข้อที่ประชาชนหรือเกษตรกรทั่วไปให้ความสนใจ ฐานข้อมูลในเรื่องความสามารถ

ในการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าแต่ละประเภทจึงเป็นสิ่งสำคัญในปัจจุบัน สัก (*Tectona grandis* L.f.) เป็นไม้ชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการเก็บกักคาร์บอนได้ดีเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์สูงเมื่อเทียบกับไม้ชนิดอื่น อีกทั้งเป็นไม้ที่นิยมปลูกเป็นสวนป่ากันอย่างแพร่หลายในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการเข้าร่วมโครงการในอนาคตจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาบทบาทของการเก็บกักคาร์บอนในสวนป่าไม้สัก เพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ปลูกว่าสามารถช่วยลดภาวะโลกร้อนจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ต่อไป เนื่องจากสักเป็นไม้ที่นิยมปลูกกันมาก การศึกษาเรื่องการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสักจึงมีการศึกษากันอย่างมากมาย ผู้ปลูกสวนป่าสักจะสามารถนำค่าศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในใช้ในการซื้อขายคาร์บอนได้ แต่ในขณะที่สักเป็นไม้ชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการแตกหน่อ โดยหลังการตัดขยายระยะหรือตัดไม้สักออกจากพื้นที่หน่อใหม่จะเกิดขึ้นจากตอ ซึ่งโดยปกติจะมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วกว่าการปลูกใหม่ และยังสามารถทำการตัดฟันนำไปใช้ประโยชน์ในรอบหมุนเวียนที่สั้นกว่าได้อีกด้วย เนื่องจากสักแตกหน่อเกิดจากตอซึ่งมีรากเดิม ทำให้สมการแอลโลเมตริกที่ใช้ประเมินมวลชีวภาพที่มีการศึกษากันมาอาจใช้ไม่ได้ การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสมการเพื่อนำไปประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของไม้สักแตกหน่อได้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษามวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสักแตกหน่อ
2. เพื่อศึกษาและสร้างสมการสำหรับประมาณมวลชีวภาพและการเก็บกักคาร์บอนของสักแตกหน่อ
3. เพื่อเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมการเพิ่มสวนป่าเศรษฐกิจและประกอบการประมาณคาร์บอนสำหรับการซื้อขายคาร์บอนต่อไป

ตรวจเอกสาร

สัก (*Tectona grandis* L.f.) เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ ผลัดใบ สูงตั้งแต่ 20 เมตรขึ้นไป ลำต้นเปลาตรง โคนมักเป็นพูพอนต่ำ เรือนยอดเป็นพุ่ม ทรงกลมค่อนข้างทึบ ลำต้นมีเปลือกสีเทาเรียบ หรือแตกเป็นร่องเล็ก ๆ ตามความยาวลำต้น เปลือกในสีเขียวอ่อน ใบเป็นใบเดี่ยว ออกตรงข้ามกันเป็นคู่ ปลายแหลมโคนมน ยาว 25-30 เซนติเมตร กว้าง 20-30 เซนติเมตร ใบของต้นอ่อนมีขนาดใหญ่มากกว่า เนื้อใบสากคาย มีสีเขียวเข้ม หลังใบสีอ่อนกว่า มีต่อมเล็ก ๆ สีแดง ขยี้ใบจะมีสีแดงเหมือนเลือด ดอกขนาดเล็ก สีขาวนวล ออกเป็นช่อใหญ่กระจายตามปลายกิ่ง ผลเป็นผลแห้งค่อนข้างกลม เปลือกแข็ง มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ภายในมี 1 - 3 เมล็ด (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2566)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นับเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณมากที่สุดในบรรยากาศเมื่อเปรียบ เทียบในบรรดาก๊าซเรือนกระจกด้วยกัน ในปัจจุบันมีประมาณ 345-360 ppm และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง Oechel and Vourlitis (1994) ระบบนิเวศป่าไม้ เป็นระบบที่มีการสะสมคาร์บอนมากที่สุดถึงร้อยละ 75 เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของพืชคือคาร์บอน (ร้อยละ 47) โดยการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเปลี่ยนสภาพให้อยู่ในรูปของมวลชีวภาพผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง พรรณไม้แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการสังเคราะห์แสงที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่เกี่ยวข้องระหว่างต้นไม้กับสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน และแม้กระทั่งในต้นไม้ต้นเดียวกัน อัตราการสังเคราะห์แสงก็ยังมีความผันแปร ทั้งในรอบวัน และในแต่ละฤดูกาล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ เช่น แสง อุณหภูมิ ปริมาณน้ำที่พืชได้รับ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความชื้นในดิน มลพิษ ตลอดจนโรค และแมลง ซึ่งปัจจัยแวดล้อมเหล่านี้ก่อให้เกิดความผันแปรดังกล่าวข้างต้น ตามสภาพสิ่งแวดล้อมของพื้นที่นั้น (Kozlowski and Pallardy, 1997) โดยผลผลิตขั้นสุดท้ายที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ก็คือการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพของต้นไม้นั้น ซึ่งสมดุลของการสังเคราะห์แสง และการหายใจจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณคาร์บอนที่พืชสามารถใช้ในการเติบโตซึ่งเป็นผลจากการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับเรือนยอดไม้นั่นเอง

การประชุมสมัชชาภาคีอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change หรือ COP) ครั้งที่ 3 ปี พ. ศ. 2540 ณ กรุงโตเกียว ได้ปรับปรุงกรอบอนุสัญญาให้มีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น โดยได้ประกาศใช้พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ภายใต้พิธีสารเกียวโต กลุ่มประเทศ Annex 1 มีพันธกรณีที่จะต้องทำการลดก๊าซเรือนกระจกจำนวน 6 ชนิด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนฟลูออโรคาร์บอน ก๊าซเฟอร์ฟลูออโรคาร์บอน และก๊าซซัลเฟอร์เฮก

ซาฟลูออไรด์ให้ต่ำกว่าร้อยละ 5 จากระดับที่ปล่อยโดยรวมของกลุ่มเมื่อปี พ.ศ. 2533 ภายในปี พ.ศ. 2551-2555 โดยนำกลไกต่าง ๆ ในการลดก๊าซเรือนกระจกมาใช้ ได้แก่ (1) กลไกการดำเนินการร่วม (Joint Implementation, JI) (2) กลไกการซื้อขายปริมาณการปล่อยก๊าซ (Emission Trading, ET) และ (3) กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism, CDM) โดยสองกลไกแรกนั้นจำกัดให้เฉพาะกลุ่มประเทศ Annex 1 ดำเนินการเท่านั้น ส่วนกลไกที่สามเป็นกลไกที่เอื้ออำนวยให้เกิดการดำเนินการระหว่างกลุ่มประเทศ Annex 1 และกลุ่มประเทศ Non-Annex 1 เพื่อส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศกำลังพัฒนาด้วยการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่สะอาด การเรียนรู้ด้านวิชาการ การเรียนรู้ด้านการวิจัยและพัฒนา ตลอดจนการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารเพื่อดำเนินการด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาด

ในปัจจุบันประเทศไทย ขับเคลื่อนโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ได้พัฒนาระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER Methodology) คือ วิธีที่ใช้ในการคำนวณการลด/กักเก็บก๊าซเรือนกระจกของโครงการ T-VER โดยแบ่งตามประเภทโครงการและขอบข่ายของกิจกรรมการลดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งผู้พัฒนาโครงการต้องเลือกใช้ระเบียบวิธีฯ ให้สอดคล้องกับกิจกรรมการลดก๊าซเรือนกระจกของโครงการ โดยภาคป่าไม้และพื้นที่สีเขียว เป็นหนึ่งใน 16 สาขา ซึ่งเครื่องมือการคำนวณต้องการสมการแอลโลเมตรี หรือ สมการความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตรและความสูงทั้งหมดของต้นไม้ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณน้ำหนักแห้งหรือมวลชีวภาพทั้งส่วนเหนือพื้นดิน (Aboveground Biomass: ABG) และมวลชีวภาพใต้ดิน (Belowground Biomass: BLG)

การประมาณมวลชีวภาพของต้นไม้และป่าและการเก็บกักคาร์บอนจะทำโดยการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกระหว่างมวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ กับตัวแปรของขนาดของต้นไม้ เช่น ความสูงและความโต เพื่อหลีกเลี่ยงการตัดทำลายต้นไม้ และยังสามารถประมาณในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ด้วย (Brown, 1997; Chave, *et.al.*, 2005) มีการศึกษาเพื่อพัฒนาสมการแอลโลเมตริกสำหรับการประมาณมวลชีวภาพของสวนป่าสักในหลายประเทศ (Kraenzel, *et.al.*, 2003; Pérez Cordero and Kanninen, 2003; Hase and Foelster, 1983; Nwoboshi, 1983; Ola-Adams, 1993; Buvaneswaran, *et.al.*, 2006; Negi, *et.al.*, 1995; Singh, *et.al.*, 1980; Jha, *et.al.*, 2015; Purwanto and Shiba, 2005) รวมถึงในประเทศไทย แต่ในประเทศไทยการประมาณมวลชีวภาพของสักในสวนป่าส่วนใหญ่จะทำในภาคเหนือและภาคตะวันตก (ชิงชัยและกันตินันท์, 2548; ทศพรและคณะ, 2548; Hiratsukam *et.al.*, 2005; Meunpong, *et.al.*, 2010) เนื่องจากสภาพดินจะเหมาะสมต่อการเติบโตของสัก และจะมีกระจายอยู่ในภาคอื่นๆ บ้าง (Kaosa-ard, 1989) เพื่อลดความแปรผันของข้อมูลและให้สมการมีความถูกต้องแม่นยำมากจึงสร้างสมการเฉพาะแต่ละพื้นที่ แต่

เพื่อความสะดวกของผู้นำมาใช้ สมการที่จะใช้ประมาณมวลชีวภาพของสักควรทำการเก็บข้อมูลจากในแหล่งที่หลากหลายทั้งในด้านพื้นที่และสภาพอากาศและนำมาสร้างเป็นสมการที่ใช้ได้ง่าย

ในเขตร้อนมีการศึกษาเกี่ยวกับมวลชีวภาพเหนือพื้นดินจำนวนมาก แต่มีการศึกษามวลชีวภาพใต้ดินมีไม่มากนัก เนื่องจากการเก็บข้อมูลทำได้ลำบาก (Niiyamam *et.al.*, 2010: Ziegler *et.al.*, 2012) แม้ว่าจะมีรายงานการศึกษามวลชีวภาพใต้ดินของสักในประเทศอินเดียและอเมริกากลาง (Kraenzel, *et.al.*, 2003; Negi, *et.al.*, 1995; Prasad and Mishra, 1984) และประเทศไทย (Hiratsuka, *et.al.*, 2005, Meungpong, *et.al.*, 2010, Takahashi, *et.al.*, 2012)

ต้นสักเป็นต้นไม้ที่มีลักษณะพิเศษที่สามารถสะสมอาหารไว้ในรากแก้วจนโตเป็นเหง้าเหมือนหัวมัน และมีพลังในการส่งลำต้นสักขึ้นได้อย่างมาก การที่จะส่งลำต้นได้สูงเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารในเหง้าที่สะสมไว้ จึงได้มีการใช้ประโยชน์จากลักษณะนี้ในการตัดชิดตอมาเป็นวิธีการปรับปรุงสวนสัก เหตุผลที่ตัดชิดตอมักมาจากการที่สวนสักถูกไฟไหม้บางส่วน การเติบโตไม่สม่ำเสมอ การที่ลำต้นคดงอกิ่งก้านมากไม่สวยงาม ดังนั้นในการปรับปรุงสวนสักด้วยวิธีนี้จึงต้องตัดชิดตอ (สูงจากดินประมาณไม่เกินหนึ่งคืบ) เป็นรูปลิ่ม ฤดูกาลที่ควรตัด คือฤดูแล้งก่อนฝนตก เพื่อให้ต้นสักเตรียมตัวส่งลำต้นทันทีที่ได้รับฝนแรก ซึ่งในทางวิชาการป่าไม้ยอมรับทั่วไปว่า ต้นสักที่แตกขึ้นจากวิธีการนี้ได้ลำต้นที่เปลาตรงและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (ธงชัย, 2535)

สมศักดิ์ และคณะ (2518) ได้กล่าวว่า ระบบวนวัฒน์ที่ใช้กับป่าสักที่บรรยายโดย Kadambi (1972) มี 4 วิธีใหญ่ ๆ คือ ระบบเลือกตัด (selection system) ระบบตัดให้แตกหน่อ (coppice system) ระบบตัดหมด (clear felling system) และ modified uniform system ในประเทศอินเดีย พม่า และไทย ระบบเลือกตัดนี้ใช้กันมาตั้งแต่ยุคเริ่มแรกของการจัดการป่าสัก แต่ระบบนี้ไม่เหมือนกับระบบเลือกตัดที่ใช้กันในประเทศยุโรป กล่าวคือเป็นเพียงแต่ตัดฟันไม้ที่ถึงขนาดที่กำหนดไว้ ซึ่งในจำนวนไม้ที่ถึงขนาดจำกัดนี้อาจถูกตัดฟันหมดหรือถูกตัดเพียงบางส่วน การดำเนินการตัดฟันจะไม่คำนึงถึงหลักการที่ก่อให้เกิดความสมบูรณ์ (normality) ของป่า ไม่มีหลักประกันในเรื่องการสืบพันธุ์ที่จะมาทดแทน และมักไม่คำนึงถึงลักษณะทางวนวัฒนวิทยาของพรรณไม้ นักวิชาการป่าไม้บางท่านจึงเรียกระบบเลือกตัดนี้ว่าเป็น mining system โดยระบบเลือกตัดนี้ได้รับการพัฒนาโดยผสมการตัดไม้บำรุงป่า (selection-cum-improvement) ในประเทศอินเดีย ได้ใช้ระบบเลือกตัดผสมการตัดไม้บำรุงป่าในหลายแห่ง แต่ภายหลังจากการใช้ระบบวนวัฒน์นี้แล้ว ปรากฏว่าการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติที่ได้จากเมล็ดมีน้อยมาก ส่วนมากเป็นหน่อจากตอ จึงมีการปลูกเสริมเพื่อเพิ่มจำนวนต้นไม้ในป่า (Hussain, 1959; Singh, 1959) ตั้งแต่ปี 1920 เป็นต้นมา ระบบเลือกตัดในอินเดียและพม่าปรับเปลี่ยนเป็นการตัดหมด เผาป่า และปลูกป่าขึ้นใหม่ หรือใช้ระบบตัดให้แตกหน่อ (Kadambi, 1972) โดยนิยมใช้กับป่าสักที่ค่อนข้างแห้งแล้ง ซึ่งในป่าประเภทนี้สักมักมีขนาดเล็ก (Sagreiya, 1959; Thangam and Bhadran, 1959) ในการใช้ระบบตัดให้แตกหน่อนี้มีการปลูกเสริมช่วยเป็นบางตำแหน่ง ซึ่งเรียกกันว่า artificial rab planting ส่วนระบบตัดหมดมักใช้คู่กับการปลูกสร้างป่าขึ้น

ใหม่ ทั้งนี้เพราะบางครั้งจะอาศัยสืบพันธุ์ตามธรรมชาตินั้นมักให้ผลไม่แน่นอน (Kadambi, 1972) ส่วน seedling coppice regeneration system ในป่าสักของประเทศพม่าหลายแห่งมีลูกไม้สักขึ้นอยู่อย่างเพียงพอ พอตัดไม้ชั้นบนออกเพื่อทำการปลูกป่าและเก็บริบสุมเผา ลูกไม้จะแตกหน่อขึ้นอย่างงดงาม

การแตกหน่อของไม้สักจะดีมากหลังการตัดฟันแบบวิธีการตัดหมด อย่างไรก็ตามความสามารถในการแตกหน่อหลังจากตัดขยายระยะก็ควรมีการศึกษาทดลองด้วยเช่นกันเพื่อให้เกิดระบบการจัดการไม้เรือนยอด 2 ชั้นในสวนป่าไม้สักในอนาคต เนื่องจากไม้สักเป็นไม้ที่แตกหน่อ (Coppice) ได้ดีมากหลังการตัดฟัน คือ สามารถแตกหน่อใหม่ได้ ร้อยละ 100 (บุญวงศ์ และคณะ, 2535) และหน่อส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้เร็วมาก หน่อไม้สักอายุ 10 ปี ที่โตเร็วที่สุด จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 6.8 เซนติเมตร และสูงที่สุดถึง 6.5 เมตร โดยเกิดจากตอที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก 27.5 เซนติเมตร (สมศักดิ์ และคณะ, 2518) ทั้งนี้การตัดไม้สักให้แตกหน่อใหม่ ต้องเป็นการตัดหมดให้ตอสูงจากพื้นดินไม่เกิน 60 เซนติเมตร และต้นสักที่ใช้ระบบตัดฟันแบบนี้ ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกประมาณ 30 เซนติเมตร (หรือประมาณ 20 ปี) รวมทั้งตัดฟันให้เสร็จเรียบร้อยก่อนเริ่มฤดูฝน และภายหลังการตัดฟันจะต้องป้องกันไฟป่าให้ได้ผลอย่างจริงจังด้วย

วรพรรณ และคณะ (2555) พบว่า การเติบโตของไม้สักที่แตกหน่อมีค่าการเติบโตมากกว่าไม้สักที่ปลูกใหม่ในพื้นที่เดียวกันตั้งแต่ไม้สักมีอายุ 9 เดือน จนกระทั่งถึง 5 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่ไม้สักมีอายุ 9 เดือน หรือช่วงที่ไม้สักเริ่มมีการตั้งตัวได้นั้น เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างแล้วไม้สักที่แตกหน่อมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก (D0) มากกว่าไม้สักที่ปลูกใหม่ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความสูงมีค่ามากกว่าร้อยละ 58 และปริมาตรไม้สักที่แตก 2 หน่อจะมีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกว่าไม้สักที่แตกหน่อเพียงหน่อเดียว

สำหรับสักมีการศึกษากันในหลายพื้นที่ หลายชั้นอายุ วรพรรณ และคณะ (2561) ได้พัฒนาสมการแอลโลเมตริกในการประมาณน้ำหนักแห้ง และเสนอในรูปแบบตารางแสดงน้ำหนักแห้ง การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสวนป่าสักในประเทศไทย ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลสักจากหลายพื้นที่และหลายชั้นอายุ สามารถใช้สมการแอลโลเมตริกดังกล่าวนี้สำหรับประมาณมวลชีวภาพของสักได้ทั้งประเทศ แต่กรณีของสักแตกหน่อซึ่งส่วนใต้ดินคือรากของต้นเดิมซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ารากที่พัฒนาขึ้นใหม่ สมการสำหรับประเมินมวลชีวภาพยังไม่มีการศึกษา ในปัจจุบันการสืบต่อพันธุ์ด้วยการแตกหน่อเริ่มมีกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งสวนป่าสักเหล่านี้ต้องใช้สมการสำหรับการประเมินมวลชีวภาพเพื่อการซื้อขายคาร์บอนในอนาคตต่อไป

วิธีการ

พื้นที่ศึกษา

ดำเนินการศึกษาในสองพื้นที่ ได้แก่

สักแตกหน่อ ทำการศึกษาที่สวนป่าน้ำอ่าง ของห้างหุ้นส่วนจำกัดท่าเสา ตั้งอยู่ที่อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ปลูกในปี พ.ศ. 2532 ระยะปลูก 4 เมตร x 4 เมตร ทำการตัดหมดเมื่อปี พ.ศ. 2554 และแตกหน่อเมื่อปี พ.ศ. 2555 ทำการศึกษาเมื่อหน่อสักมีอายุ 3 ปี

สักแตกหน่อ ทำการศึกษาที่สวนป่าเด่นกระต่าย ของห้างหุ้นส่วนจำกัดท่าเสา อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ ปลูกในปี พ.ศ. 2549 ระยะปลูก 2 เมตร x 4 เมตร ทำการตัดหมดเมื่ออายุประมาณ 10 ปี เนื่องจากมีสภาพการเติบโตที่ไม่ดีนักและเปลี่ยนเจ้าของใหม่ จึงจัดการให้มีการสืบพันธุ์แบบแตกหน่อทั้งแปลงในปี พ.ศ. 2549 ทำการตัดขยายระยะร้อยละ 50 เมื่อหน่อสักมีอายุ 8 ปี การศึกษานี้ดำเนินการเมื่อหน่อสักมีอายุ 10 ปี

จังหวัดอุตรดิตถ์ตั้งอยู่ทางใต้สุดของภาคเหนือ โดยสภาพภูมิศาสตร์จังหวัดอุตรดิตถ์เป็นจังหวัดที่มีภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาและที่สูงสลับซับซ้อน ซึ่งจะอยู่ทางตอนเหนือและทางตะวันออกของจังหวัด จึงทำให้จังหวัดอุตรดิตถ์มีอากาศค่อนข้างร้อนอบอ้าวในฤดูร้อน มีอากาศฝนเมืองร้อนเฉพาะฤดูฝน และมีช่วงฤดูแล้งคั่นอยู่อย่างชัดเจนตั้งแต่ประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤษภาคม เดือนที่ร้อนที่สุดคือเดือนเมษายน จังหวัดอุตรดิตถ์ได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันออกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่ มรสุมตะวันออกเฉียงใต้ปกติจะมีแหล่งกำเนิดบริเวณทะเลอันดามัน ทำให้จังหวัดอุตรดิตถ์มีช่วงฤดูฝนกินระยะเวลาตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนกันยายน โดยเดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงที่สุด

สวนป่าน้ำอ่าง ตั้งอยู่ในเขตอำเภอตรอน เป็นพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเกิดอยู่บริเวณ 2 ฝั่งของแม่น้ำน่านและลำน้ำสาขาที่ไหลมาบรรจบกับแม่น้ำน่าน สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่ราบเรียบมีระดับความสูงของพื้นที่ประมาณ 50–100 เมตร จากระดับน้ำทะเลลาดเอียงจากเหนือเขาที่อยู่ห่างไปทางทิศตะวันออก พิกัด 17°28′56″ เหนือ 100°6′47″ ตะวันออก (สำนักงานพัฒนาชุมชนอำเภอตรอน, 2566)ส่วนสวนป่าเด่นกระต่ายตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองอุตรดิตถ์ โดยอำเภอเมืองอุตรดิตถ์ตั้งอยู่ริมฝั่งขวาของแม่น้ำน่าน ตั้งอยู่ที่พิกัด 17° 37′ 33″ เหนือ, 100° 5′ 48″ ตะวันออก (สำนักงานพัฒนาชุมชนอำเภอเมืองอุตรดิตถ์, 2566)

วิธีการศึกษา

1) การเก็บข้อมูลภาคสนาม

(1) วางแปลงตัวอย่างขนาด 40 เมตร x 40 เมตร ในพื้นที่แปลงที่แตกหน่อ จำนวน 1 แปลง และในพื้นที่ปลูกใหม่ จำนวน 1 แปลง โดยใช้สายวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงทั้งหมดของต้นไม้ทุกต้นในแปลงทดลองโดยใช้ไม้วัดความสูงต้นไม้ SK (SENSHIN) รุ่น AT Type 15 m และเมื่อต้นไม้มีความสูงเพิ่มมากขึ้นใช้ Vertex IV ultrasound distance measurer (Haglöf Inc.)

(2) คัดเลือกต้นไม้ในแต่ละแปลงทดลอง จำนวน 5 ต้น ที่มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกแตกต่างกันและเป็นตัวแทนของต้นไม้ในหมู่ไม้นั้น ต้นที่เลือกเป็นตัวอย่างจะต้องมีลักษณะตามปกติ กล่าวคือ เรือนยอดหรือลำต้นไม่ถูกทำลายหรือมีสภาพผิดปกติ เช่น เรือนยอดหัก หรือ ลำต้นคดงอ เป็นต้น

(3) ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับชิดดิน (D_0) และทำการตัดต้นไม้ โดยให้ชิดดินมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

(4) ต้นไม้ที่ตัดลงมาแล้ว ทำการแยกส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ ออก ทำการชั่งน้ำหนักทั้งหมดเป็นน้ำหนักสดในพื้นที่

(5) เก็บตัวอย่างแต่ละส่วนประมาณ 500 กรัม สำหรับนำกลับไปที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการอบที่อุณหภูมิ 85°C จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ทำการชั่งน้ำหนักแห้ง หาค่าความชื้นของแต่ละส่วนของตัวอย่าง และคำนวณหาค่าน้ำหนักแห้งทั้งหมดของส่วนต่าง ๆ ต่อไป

(6) ทำการเก็บมวลชีวภาพใต้ดินด้วยการขุดรากโดยใช้ทั้งแรงงานคนและเครื่องจักร พยายามขุดรากให้ออกมาให้มากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ จากตัวอย่างรากทั้งหมดใช้วิธีการเดียวกับส่วนเหนือพื้นดิน คือ ชั่งน้ำหนักสด (หลังจากที่ทำความสะอาดหรือแยกดินออกให้หมด) เก็บตัวอย่างเพื่อนำไปอบหาค่าความชื้น และคำนวณหาน้ำหนักแห้งของรากทั้งหมดต่อไป

2) การวิเคราะห์ข้อมูล

(1) คำนวณหาค่าความชื้นของตัวอย่าง (เกียรติก้อง และคณะ, 2530) จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักสดตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักแห้งตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักแห้งตัวอย่าง}} \times 100$$

(2) คำนวณหาน้ำหนักแห้งของต้นไม้ (เกียรติก้อง และคณะ, 2530) จากสมการ

$$\text{น้ำหนักแห้ง (กิโลกรัม)} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักสดทั้งหมด}}{100 + \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น}}$$

(3) นำข้อมูลที่ได้มาสร้างสมการแอลโลเมตริก จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า สมการ Power-form ($y=aX^b$ โดย y คือ น้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน X คือค่าขนาด a และ b คือ coefficients) เป็นรูปแบบสมการที่ง่ายและเป็นมาตรฐาน (Buvaneswaran *et.al*., 2006) ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้สมการ Power-form เพื่อหาสมการสำหรับการประมาณค่าน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน โดยใช้ตัวแปรอิสระ 3 ค่า ได้แก่ DBH (cm), H (m) และ DBH^2xH ($cm^2.m$) ส่วนน้ำหนักแห้งใต้พื้นดินหรือราก (WR) ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน (D_0) และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับสูง 30 เซนติเมตรจากพื้นดิน (D_{30}) ด้วย สมการยกกำลัง (พงษ์ศักดิ์, 2552) ได้แก่

$$Y = aX^b$$

โดย Y = มวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนเหนือพื้นดิน
X = ขนาดของต้นไม้ (เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูง)
a และ b เป็นค่าคงที่ของสมการ

(4) คำนวณค่าการกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ default value ของ IPCC (2006) ซึ่งกำหนดให้ปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพมีค่าร้อยละ 47 ของน้ำหนักแห้ง (คณะวนศาสตร์, 2554) และแปลงค่าการกักเก็บคาร์บอนเป็นการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการนำค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ (มวลโมเลกุลเท่ากับ 44) และคาร์บอน (มวลโมเลกุลเท่ากับ 12) คือ 44/12 หรือ 3.67 คูณกับคาร์บอน (อภิสิทธิ์, 2564) จากสมการ

การกักเก็บคาร์บอน (กิโลกรัมคาร์บอน) = มวลชีวภาพ x 0.47
การดูดซับ CO_2 (กิโลกรัม CO_2) = การกักเก็บคาร์บอน x (44/12)

ผลการศึกษา

การเติบโตของสักแตกหน่อ

สักแตกหน่ออายุ 3 ปี มีความหนาแน่น 89 ต้นต่อไร่ สักแตกหน่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 6.4 เซนติเมตร และความสูง 6.0 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การเติบโตของสวนป่าสักในท้องที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ซึ่งกล่าวว่า อายุ 1-5 ปี จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 7.92$\pm$3.02 เซนติเมตร และความสูง 8.88$\pm$2.85 เมตร (ทศพร และคณะ, 2553) พบว่ายังอยู่ในเกณฑ์การเติบโตทั่วไปของสวนป่าสัก ตอสักเดิมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 18.7 เซนติเมตร ส่วนสักแตกหน่ออายุ 10 ปี มีความหนาแน่น 88 ต้นต่อไร่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก 13.39 เซนติเมตร และความสูง 13.37 เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การเติบโตของสวนป่าสักในท้องที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย สำหรับอายุ 6-10 ปี จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 12.10$\pm$2.06 เซนติเมตร และความสูง 13.66$\pm$2.47 เมตร (Table 1)

Table 1 Growth characteristics of coppiced teak in Uttaradit Province

Treatment	Spacing	Present tree density (tree.rai-1)	Mean DBH (cm)	Mean Height (m)
3-year-old	4 m x 4 m	89	6.4	6.0
10-year-old	2 m x 4 m	88	13.39	13.37

สมการแอลโลเมตริก

เมื่อนำข้อมูลมวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ มาสร้างสมการแอลโลเมตริกกับตัวแปร ได้แก่ DBH และ DBH^2xH พบว่าสมการที่ได้ส่วนใหญ่ให้ค่าความสัมพันธ์ (R^2) สูง ยกเว้นมวลชีวภาพส่วนใบ เนื่องจากใบของสักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ มีการผลัดใบ ทำให้ปริมาณใบอาจไม่คงที่และไม่แปรผันตามขนาดของต้นสัก เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่า การใช้ตัวแปร DBH^2xH จะให้ค่าความสัมพันธ์ (R^2) สูงกว่า แต่การใช้ตัวแปร DBH เพียงตัวแปรเดียวให้ค่า R^2 ใกล้เคียงกัน

มีหลายการศึกษาที่ใช้ค่า DBH^2xH เป็นตัวแปรในสมการ (Hase and Foelster, 1983; ชิงชัยและกันตินันท์, 2546) ในขณะที่ Watanabe *et.al.* (2009) รายงานว่าปริมาณน้ำฝนมีผลต่อความสูงและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสักทำให้ต้นสักมีความสูงแตกต่างกันแม้ว่าจะมีขนาดความโตเท่ากันก็ตาม อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาในครั้งนี้พบอย่างชัดเจนว่าตัวแปร DBH ตัวเดียวมีความสัมพันธ์กับค่ามวลชีวภาพสูง แม้ว่าสักที่มีขนาดความโตเท่ากันจะมีความสูงแตกต่างกันก็ตาม

จากผลของการศึกษาในครั้งนี้ยืนยันว่าความสัมพันธ์ระหว่าง H ต่อ DBH และอัตราส่วนระหว่าง W_B และ W_{TOP} เป็นไปในทางลบ ทำให้ต้นสักที่มีความสูงมากกว่าจะมี W_B น้อยกว่าต้นสักที่มีความสูงต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกันในต้นสักที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ดังนั้น W_{TOP} จะมีค่าใกล้เคียงกันแม้ว่าต้นไม้ที่ขนาดความโตเท่ากันแต่มีความสูงแตกต่างกัน ในการศึกษาอื่นก็มีการรายงานว่าตัวแปร DBH มีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสักเช่นกัน (Negi *et.al*., 1995; Ola-Adams, 1993; Pérez Cordero and Kanninen, 2003) นอกจากนี้ยังมีการรายงานการศึกษาในต้นไม้ในเขตร้อนชนิดอื่นๆ ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Basuki, 2009; Kenzo *et.al.*, 2009a, Kenzo *et.al.*, 2009b) สำหรับมวลชีวภาพใต้ดิน (W_R) นั้น ตัวแปร DBH ก็ให้ค่าความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพสูงกว่า DBH^2xH หรือ D_0 แต่การที่จะทำการวัด D_0 ในต้นสักที่มีขนาดใหญ่ให้มีความถูกต้องสูงนั้นทำได้ยาก เนื่องจากโคนต้นจะมีการพัฒนาของพูพอนทำให้มีรอยบวมบริเวณชิดพื้นดิน ดังนั้นควรใช้ตัวแปร DBH ในการประมาณ W_R ด้วยเช่นกัน

ในส่วนของมวลชีวภาพใต้ดินหรือมวลชีวภาพของรากนั้น เนื่องจากรากมีทั้งในส่วนของตอของต้นสักเดิมและรากที่เกิดใหม่เมื่อมีสักแตกหน่อ จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อนำค่า D_0 และ D_{30} มาใช้เป็นตัวแปร พบว่า การใช้ตัวแปร D_{30} ให้ได้สมการที่มีค่า R^2 สูงกว่าการใช้ DBH เพียงตัวแปร (Tables 2-3) อย่างไรก็ตามการใช้ค่า D_0 หรือ D_{30} อาจทำการวัดได้ยากในกรณีของการแตกหน่อที่สูงจากตอมาก การใช้ค่า DBH เพียงตัวเดียวแม้ว่าจะให้ค่า R^2 ต่ำกว่า แต่อยู่ในการยอมรับได้ ซึ่งจะทำได้สะดวกกว่า รวมทั้งไม่จำเป็นต้องวัดค่าความสูง ซึ่งอาจทำได้ยาก ต้องใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และค่าที่ได้อาจมีความถูกต้องน้อย

การศึกษาได้นำค่ามวลชีวภาพของสักแตกหน่อทั้งสองอายุมารวมกัน และสร้างสมการแอลโลเมตริกโดยใช้ DBH มาเป็นตัวแปร พบการศึกษาพบว่าสมการสำหรับประมาณมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน ได้แก่ ใบ กิ่ง ลำต้น สามารถสร้างสมการที่มีค่า R^2 สูง (0.93-0.99) ได้ แต่สมการสำหรับการประมาณมวลชีวภาพส่วนรากหรือส่วนใต้ดินนั้น สมการให้ค่า R^2 ต่ำกว่า 0.5 (Figure 1) ทั้งนี้เนื่องจากมวลชีวภาพของส่วนรากไม่สามารถประมาณได้ด้วย DBH อย่างไรก็ตามการใช้ตัวแปร D_0 และ D_{30} ก็ไม่สามารถทำให้สมการมีค่า R^2 สูงได้ด้วยเช่นกัน จากการสังเกตพบว่ารากของตอเดิมและตอใหม่ในแต่ละต้นมีสภาพที่แตกต่างกัน หน่อที่เกิดใหม่ในบางต้นที่เกิดขึ้นสามารถปกคลุมตอเดิมได้ในอัตราส่วนสูง ทำให้รากใหม่และรากเก่ารวมกันเป็นรากเดียว แต่กรณีที่หน่อใหม่ไม่สามารถปกคลุมตอเดิมได้ รากจะแยกจากกัน ทำให้มีปริมาณรากสูง ในขณะเดียวกันสภาพของตอเดิมที่อาจผุพังไปทำให้ส่วนที่อยู่ใต้ดินมีปริมาณน้อย ทำให้ปริมาณและน้ำหนักของรากในแต่ละกรณีแตกต่างกันไป การสร้างสมการเพื่อประมาณมวลชีวภาพของราก จึงทำได้ยาก

Table 2 Allometric equation to estimate 3-year-old coppiced teak biomass

Tree Parts		Equation	R^2
$DBH^2 \times H$			
Leaf	W_L	$0.0133 \times (DBH^2 \times H)^{0.7002}$	0.8287
Branch	W_B	$0.0011 \times (DBH^2 \times H)^{1.2949}$	0.9562
Stem	W_S	$0.0496 \times (DBH^2 \times H)^{0.8671}$	0.9814
Root	W_R	$4.7792 \times (DBH^2 \times H)^{0.2249}$	0.8607
Aboveground	W_{TOP}	$0.0496 \times (DBH^2 \times H)^{0.9229}$	0.9793
Total	W_T	$1.8773 \times (DBH^2 \times H)^{0.4715}$	0.8741
DBH			
Leaf	W_L	$0.0198 \times (DBH)^{1.869}$	0.8427
Branch	W_B	$0.0023 \times (DBH)^{3.4478}$	0.9675
Stem	W_S	$0.0848 \times (DBH)^{2.2887}$	0.9758
Root	W_R	$5.7077 \times (DBH)^{0.5757}$	0.8988
Aboveground	W_{TOP}	$0.0867 \times (DBH)^{2.4426}$	0.9791
Total	W_T	$2.7315 \times (DBH)^{1.2054}$	0.9103
Root	W_R	$4.0815 \times (D_0)^{0.5958}$	0.9180
Root	W_R	$4.6933 \times (D_{30})^{0.5978}$	0.9349

Remarks : W_s = Biomass of stem (kg)

W_B = Biomass of branch (kg)

W_L = Biomass of leaf (kg)

W_R = Biomass of root (kg)

W_{TOP} = Biomass of aboveground (kg)

DBH = Diameter at breast height (cm)

D_{30} = Diameter at 30 cm from ground level (cm)

D_0 = Diameter at ground level (cm)

H = Total height (m)

Table 3 Allometric equation to estimate 10-year-old coppiced teak biomass

Tree Parts		Equation	R^2
$DBH^2 \times H$			
Leaf	W_L	$0.0182 \times (DBH^2 \times H)^{0.7168}$	0.7001
Branch	W_B	$0.0022 \times (DBH^2 \times H)^{1.086}$	0.9788
Stem	W_S	$0.0517 \times (DBH^2 \times H)^{0.8649}$	0.9968
Root	W_R	$0.0514 \times (DBH^2 \times H)^{0.7376}$	0.9079
Aboveground	W_{TOP}	$0.0560 \times (DBH^2 \times H)^{0.8937}$	0.9994
Total	W_T	$0.0903 \times (DBH^2 \times H)^{0.8633}$	0.9971
DBH			
Leaf	W_L	$0.0529 \times (DBH)^{1.7458}$	0.6443
Branch	W_B	$0.0083 \times (DBH)^{2.7493}$	0.9731
Stem	W_S	$0.1487 \times (DBH)^{2.191}$	0.9924
Root	W_R	$0.1125 \times (DBH)^{1.9112}$	0.9457
Aboveground	W_{TOP}	$0.1690 \times (DBH)^{2.259}$	0.9908
Total	W_T	$0.2551 \times (DBH)^{2.1926}$	0.9978
Root	W_R	$0.0407 \times (D_0)^{1.8277}$	0.9401
Root	W_R	$0.0778 \times (D_{30})^{1.8652}$	0.9840

Remarks : W_s = Biomass of stem (kg)

W_B = Biomass of branch (kg)

W_L = Biomass of leaf (kg)

W_R = Biomass of root (kg)

W_{TOP} = Biomass of aboveground (kg)

DBH = Diameter at breast height (cm)

D_{30} = Diameter at 30 cm from ground level (cm)

D_0 = Diameter at ground level (cm)

H = Total height (m)

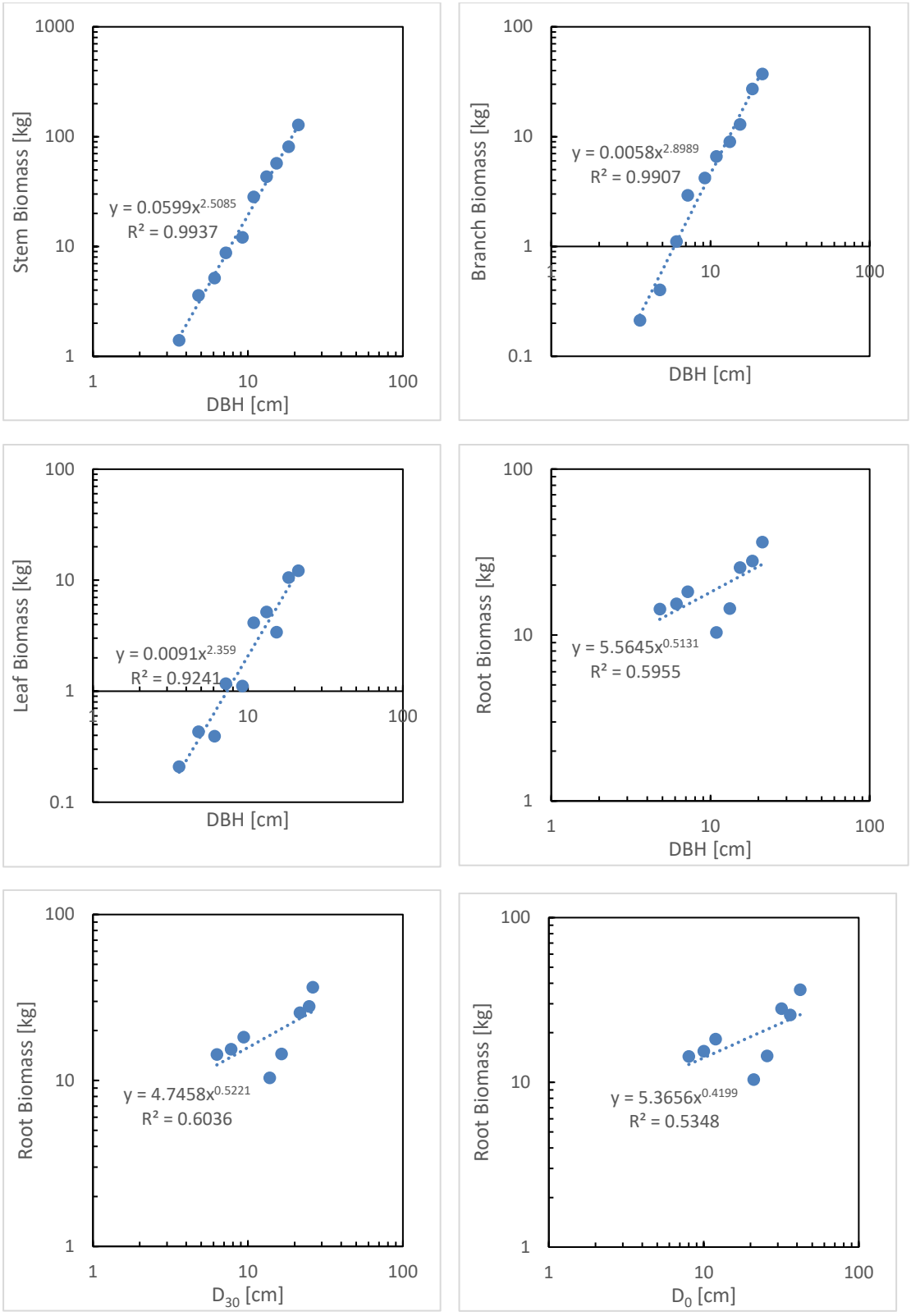


Figure 1 Allometric equation to estimate 3-year-old and 10-year-old coppiced teaks biomass

มวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

นำสมการประมาณมวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของสักแตกหน่อแต่ละอายุ มาคำนวณตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ของสักแตกหน่อในแปลงที่เก็บข้อมูลพื้นที่ 1 ไร่ พบว่าสักแตกหน่ออายุ 3 ปี มีมวลชีวภาพส่วนเหนือดินเท่ากับ 0.75 ตันต่อไร่ โดยที่ส่วนของลำต้นสูงที่สุด ร้อยละ 73.44 รองลงมาคือส่วนของกิ่ง และใบ คิดเป็นร้อยละ 18.88 และ ร้อยละ 7.68 ตามลำดับ และส่วนใต้ดินเท่ากับ 1.46 ตันต่อไร่ รวมทั้งหมดเท่ากับ 2.22 ตันต่อไร่ (13.85 ตันต่อเฮกแตร์) ส่วนสักแตกหน่ออายุ 10 ปี มีมวลชีวภาพส่วนลำต้น ใบ และกิ่ง คิดเป็นร้อยละ 73.79 ร้อยละ 8.12 และ ร้อยละ 18.09 ตามลำดับ รวมมวลชีวภาพส่วนเหนือดินเท่ากับ 5.36 ตันต่อไร่ ส่วนใต้ดินเท่ากับ 1.43 ตันต่อไร่ รวมทั้งหมดเท่ากับ 6.78 ตันต่อไร่ (42.40 ตันต่อเฮกแตร์)

การกักเก็บคาร์บอนใช้การแปลงค่า โดยการแปลงค่าเพื่อประเมินการเก็บกักคาร์บอนในไม้สัก โดยทั่วไปจะใช้ค่า conversion factor เท่ากับ 0.50 (Hiratsuka *et.al.,* 2005) เนื่องจากปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วงร้อยละ 45-52 ของน้ำหนักแห้งของไม้สัก (Kraenzel *et.al.,* 2003; Jha, 2005, Meunpong *et.al*., 2010) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ default value ของ IPCC (2006) ซึ่งกำหนดให้ปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพมีค่าร้อยละ 47 ของน้ำหนักแห้ง (คณะวนศาสตร์, 2554) การคำนวณการกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้สมการ

การกักเก็บคาร์บอน (กิโลกรัมคาร์บอน) = มวลชีวภาพ x 0.47

การดูดซับ CO_2 (กิโลกรัม CO_2) = การกักเก็บคาร์บอน x (44/12)

การกักเก็บคาร์บอนในส่วนเหนือพื้นดินกับส่วนใต้ดินของสวนป่าสักแตกหน่ออายุ 3 ปี มีค่าเท่ากับ 0.36 ตันคาร์บอนต่อไร่ และ 0.69 ตันคาร์บอนต่อไร่ ตามลำดับ รวมทั้งหมดเท่ากับ 1.04 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือ 6.53 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาพรวมเท่ากับ 3.83 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ หรือ 23.94 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกแตร์ ในขณะที่สักแตกหน่ออายุ 10 ปี มีค่าเท่ากับ 2.52 ตันคาร์บอนต่อไร่ และ 0.67 ตันคาร์บอนต่อไร่ ตามลำดับ รวมทั้งหมดเท่ากับ 3.19 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือคิดเป็น 19.93 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาพรวมเท่ากับ 11.69 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ หรือคิดเป็น 73.06 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกแตร์ (Table 4)

Table 4 Carbon storage and CO_2 absorption of 3-year-old and 10-year-old coppiced teak in Uttaradit Province

Coppiced Teak	Carbon storage (ton C/rai)			CO_2 absorption (ton C/rai)		
	Aboveground	Root	Total	Aboveground	Root	Total
3-year-old	0.36	0.69	1.04	1.31	2.52	3.83
10-year-old	2.52	0.67	3.19	9.23	2.46	11.69

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นอีกว่า สักแตกหน่ออายุ 3 ปี รากจะมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากกว่าส่วนลำต้น เนื่องจากต้นเดิมถูกตัดเมื่ออายุ 22 ปี ทำให้มีรากที่แข็งแรง ในขณะที่หน่อที่เกิดขึ้นอายุเพียง 3 ปี ทำให้ส่วนเหนือพื้นดินมีค่าต่ำกว่าส่วนใต้ดิน ในขณะที่สักแตกหน่ออายุ 10 ปี ส่วนเหนือพื้นดินมีค่าสูงกว่าส่วนใต้ดิน เนื่องจากต้นเดิมที่ถูกตัดไปมีอายุเพียง 10 ปี ตออายุ 10 ปี เช่นเดียวกันจึงมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก เมื่อสักที่แตกหน่อเติบโตมากขึ้นจนอายุ 10 ปี จนสามารถปกคลุมตอเดิมได้เป็นส่วนใหญ่ ทำให้ส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามาก

สรุปผลการศึกษา

1. สักแตกหน่ออายุ 3 ปี และอายุ 10 ปี ในการศึกษาครั้งนี้ มีการเติบโตที่อยู่ในเกณฑ์การเติบโตทั่วไปของสวนป่าสักในประเทศไทย

2. สมการสำหรับประมาณมวลชีวภาพของสักแตกหน่อ สามารถใช้ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) เพียงค่าเดียวเป็นตัวแปรได้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการวัด แม้ว่ามวลชีวภาพส่วนรากหรือส่วนใต้ดินการใช้ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 0.30 เมตร จากพื้นดิน (D_{30}) จะให้สมการที่มีค่า R^2 สูงกว่า แต่การวัดค่า D_{30} อาจทำได้ไม่สะดวกในกรณีที่สักแตกหน่อไม่ได้เติบโตปกคลุมตอเดิม

3. สวนป่าสักแตกหน่ออายุ 3 ปี สามารถกักเก็บคาร์บอน รวมทั้งหมดเท่ากับ 1.04 ตันคาร์บอนต่อไร่ หรือ 6.53 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาพรวมเท่ากับ 3.83 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ หรือ 23.94 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกแตร์ ในขณะที่สักแตกหน่ออายุ 10 ปี สามารถกักเก็บคาร์บอนรวม และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมเท่ากับ 3.19 ตันต่อไร่ หรือคิดเป็น 19.93 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ และ 11.69 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไร่ หรือคิดเป็น 73.06 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ

4. เนื่องจากมวลชีวภาพของสักแตกหน่อมีปัจจัยประกอบหลายประการ ได้แก่ อายุและขนาดของตอเดิม อายุของสักแตกหน่อ การเสื่อมสลายของรากจากตอเดิม ทำให้สมการที่ได้จากการศึกษา เป็นเพียงแนวทางในการประมาณ แต่ยังไม่สามารถเป็นตัวแทนสำหรับการนำไปประมาณมวลชีวภาพของสักแตกหน่อในพื้นที่อื่นได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ต้องมีการเก็บตัวอย่างที่มีความหลากหลายจนมีตัวอย่างที่มากเพียงพอต่อการพัฒนาสมการที่ใช้สำหรับประมาณมวลชีวภาพของสักแตกหน่อต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 2566. **พันธุ์ไม้พระราชทานเพื่อปลูกเป็นมงคลจังหวัดอุตรดิตถ์**. แหล่งที่มา : https://www.dnp.go.th/EPAC/province_plant/udtaradid.htm, 22 มกราคม 2565.

เกียรติก้อง พิตรปรีชา ธิติ วิสารัตน์ สมบูรณ์ กีรติประยูร และชิงชัย วิริยะบัญชา. ๒๕๓๐**. การประมาณมวลชีวภาพและปริมาตรรายต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส**. เอกสารทางวิชาการ เล่มที่

คณะวนศาสตร์. 2554. **คู่มือศักยภาพของพรรณไม้ สำหรับส่งเสริมภายใต้โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้**. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 88 หน้า

ชิงชัย วิริยะบัญชา และ กันตินันท์ ผิวสอาด. 2548. **การประมาณผลผลิตด้านปริมาตรของลำต้นและมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าไม้สัก**. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ทศพร วัชรางกูร จตุพร มังคลารัตน์ ประพาย แก่นนาค สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล สมชาย นองเนือง และวิโรจน์ ครองกิจศิริ. 2553 **การคาดคะเนการเจริญเติบโตและผลผลิตของสวนป่าไม้เศรษฐกิจ**. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย ภายใต้แผนงานวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์ไม้สวนป่าเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้, กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ. 56 หน้า

ทศพร วัชรางกูร ชิงชัย วิริยะบัญชา และ กันตินันท์ ผิวสอาด. 2548. **การประเมินปริมาณการสะสมของคาร์บอนในต้นไม้ ในสวนป่าเพื่อการอุตสาหกรรมในประเทศ ไทย**, น. 137-157. *ใน* รายงานการประชุม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทางด้านป่าไม้ “ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต”, 4-5 สิงหาคม 2548 ณ โรงแรมมารวย การ์เด้น. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

บุญวงศ์ ไทยอุตสาห์, สุนันทา ขจรศรีชล และสิรินทร์ ติยานนท์. 2535. **งานวิจัยด้านการปลูกสร้างสวนสัก**. *ใน* สัมมนา 50 ปี สวนสักห้วยทาก เฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษามหาราชินี ระหว่างวันที่ 5-8 สิงหาคม 2535 ณ โรงแรมเวียงทอง จังหวัดลำปาง. กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ

พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ. ๒๕๕๒. **การประมาณมวลชีวภาพของพืชและของป่าไม้**. วารสารการจัดการป่าไม้ ๓ (๕): 63-68 (2552)

วรพรรณ หิมพานต์ ทศพร วัชรางกูร และ อิวาโอะ โนะดะ. 2555. **ความสามารถและการเจริญเติบโต ของไม้สักแตกหน่อ**. น. 180-190. *ใน* สัมมนาวนวัฒนวิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรพรรณ หิมพานต์ เรอิจิ โยเนะดะ และนรินทร์ เทศสร. 2561. **ตารางแสดงน้ำหนักแห้ง การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสวนป่าสัก ในประเทศไทย**. โครงการความร่วมมือด้านวิจัยระหว่างกรมป่าไม้ และ JIRCAS, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ สุขวงศ์ วิชิต เจริญไพบูรย์ บุญวงศ์ ไทยอุตส่าห์ ทวี แก้วละเอียด และ วิสุทธิ์ สุวรรณาภินันท์. 2518. **การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติในป่าสักแล้งภายหลังการตัดหมด**. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (9): 55-67

สมศักดิ์ สุขวงศ์ วิชิต เจริญไพบูรย์ บุญวงศ์ ไทยอุตส่าห์ ทวี แก้วละเอียด และ วิสุทธิ์ สุวรรณาภินันท์. 2518. การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติในป่าสักแล้งภายหลังการตัดหมด. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (9): 55-67. *อ้างถึง* Hussain, S. 1959. **Teak in Mysore**. Proc-All India Teak Study Tour and Symposium. Dec. 1957-Jan 1958. For. Res. Inst. Dehra Dun. 76-79.

สมศักดิ์ สุขวงศ์ วิชิต เจริญไพบูรย์ บุญวงศ์ ไทยอุตส่าห์ ทวี แก้วละเอียด และ วิสุทธิ์ สุวรรณาภินันท์. 2518. การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติในป่าสักแล้งภายหลังการตัดหมด. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (9): 55-67. *อ้างถึง* Kadambi, K. 1972. **Silviculture and management of teak**. Stephen F. Austin State Univ. School Forestry Bull. 24. 137 p.

สมศักดิ์ สุขวงศ์ วิชิต เจริญไพบูรย์ บุญวงศ์ ไทยอุตส่าห์ ทวี แก้วละเอียด และ วิสุทธิ์ สุวรรณาภินันท์. 2518. การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติในป่าสักแล้งภายหลังการตัดหมด. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (9): 55-67. *อ้างถึง* Sagreya, K.P. 1959. **Silviculture and management of the teak forests of Madhya Pradesh**. Proc. All India Teak Study Tour and Symposium. Dec. 1957-Jan. 1958. For. Res. Inst. Dehra Dun. 69-72.

สมศักดิ์ สุขวงศ์ วิชิต เจริญไพบูรย์ บุญวงศ์ ไทยอุตส่าห์ ทวี แก้วละเอียด และ วิสุทธิ์ สุวรรณาภินันท์. 2518. การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติในป่าสักแล้งภายหลังการตัดหมด. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (9): 55-67. *อ้างถึง* Singh, J.A. 1959. **Teak forests and their management in Bombay State**. Proc. All India Teak Study Tour and Symposium. Dec. 1957-Jan. 1958. For. Res. Inst. Dehra Dun. 73-75.

สมศักดิ์ สุขวงศ์ วิชิต เจริญไพบูรย์ บุญวงศ์ ไทยอุตส่าห์ ทวี แก้วละเอียด และ วิสุทธิ์ สุวรรณาภินันท์. 2518. การสืบพันธุ์ตามธรรมชาติในป่าสักแล้งภายหลังการตัดหมด. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (9): 55-67. *อ้างถึง* Thangam, E.S. and C.A.R. Bhadran. 1959. **Teak forests and their management in Madras State**. Proc. All India Teak Study Tour and Symposium. Dec. 1957-Jan. 1958. For. Res. Inst. Dehra Dun. 80-92.

สำนักงานพัฒนาชุมชนอำเภอตรอน. 2566. **ประวัติความเป็นมา**. แหล่งที่มา : https://shorturl.asia/l4Sap. 29 มกราคม 2566.

สำนักงานพัฒนาชุมชนอำเภอเมืองอุตรดิตถ์. 2566. **ประวัติความเป็นมา**. แหล่งที่มา : https://shorturl.asia/qbn1v. 29 มกราคม 2566.

อภิสิทธิ์ เสนาวงศ์. ๒๕๖๔. **วิธีการคำนวณการลด/กักเก็บก๊าซเรือนกระจก ภาคป่าไม้. เอกสารประกอบฝึกอบรมหลักสูตร ความรู้เบื้องต้นโครงการ T-VER ภาคป่าไม้ และการเกษตร สำหรับผู้ประเมินภายนอกและผู้พัฒนาโครงการ**. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

Brown, S. 1997. **Estimating biomass and biomass change in tropical forests**. A primer. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 55pp.

Buvaneswaran, C, M. George, D. Perez, and M. Kanninen. 2006. **Biomass of teak plantations in Tamil Nadu, India and Costa Rica compared**. *J. Trop. For. Sci.* 18: 195-197

Chave, J, C. Andalo, S. Brown, M.A. Cairns, J.Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J.P. Lescure, B.W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riéra and T. Yamakura. 2005. **Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests**. *Oecologia* 145: 87-99.

Hase, H and H. Foelster. 1983**. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in west Venezuela**. *For. Ecol. Manag.* 6: 33-57.

Hiratsuka M., C. Viriyabuncha, K. Peawsa-ad, S. Janmahasatien, A. Sato, Y. Nakayama, C. Matsunami, Y. Osumi and Y. Morikawa. 2005. **Tree biomass and soil carbon in 17- and 22-year-old stands of teak (*Tectona grandis* L.f.) in northern Thailand**. *TROPICS* 14: 377-382.

Jha K.K. 2015. **Carbon storage and sequestration rate assessment and allometric model development in young teak plantations of tropical moist deciduous forest, India**. *J. For. Res.* - China. 26: 589-604.

Kaosa-ard, A. 1989. **Teak (*Tectona grandis* Linn. f): Its natural distribution and related factors**. nat. Hist. Bull. Siam Soc. 29: 55-74.

Kozlowski, T.T. and S.G. Pallardy. 1997**. Physiology of Woody Plant**. 2nd ed. Academic Press, San Diego. 411 p.

Kraenzel, M., A.Castillo, T.Moore and C. Potvin. 2003**. Carbon storage of harvest-age teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama**. *For. Ecol. Manag.* 173: 213-225.

Meunpong, P., C.Wachrinrat, B.Thaiutsa, M.Kanzaki and K. Meekaew. 2010. **Carbon pools of indigenous and exotic tree species in a forest plantation, Prachuap Khiri Khan, Thailand**. *Kasetsart J. (Natural Science)* 44: 1044-1057.

Negi, M.S., V.N. Tandon and H.S. Rawat. 1995. **Biomass and nutrient distribution in young teak (*Tectona grandis*) plantation in Tarai Region of Uttar Pradesh**. *Indian For.* 121: 455-463.

Niiyama, K., T. Kajimoto, Y. Matsuura, T.Yamashita, N. Matsuo, Y.Yashiro, A. Ripin, A.P. Kassim, N.S. Noor. 2010**. Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia**. *J. Trop. Ecol.* 26: 271-284.

Nwoboshi, L.C. 1983. **Growth and nutrient requirements in a teak plantation age series in Nigeria. I. Linear growth and biomass production**. *For. Sci.* 29: 159-165.

Oechel, W.C. and Vourlitis, G.L. 1994. **The effect of climate change on land-atmosphere feedback in arctic tundra regions**. Tree 9, 324-329.

Ola-Adams, B.A. 1993. **Effects of spacing on biomass distribution and nutrient content of *Tectona grandis* Linn.f. (teak) and *Terminalia superba* Engl. & Diels. (afara) in south-western Nigeria**. *For. Ecol.Manag.* 58: 299-319.

Pérez Cordero, L.D. and M. Kanninen. 2003. **Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantation in Costa Rica**. *J. Trop. For. Sci.* 15: 199-213.

Prasad, R. and G.P. Mishra. 1984. **Standing biomass of various plant parts in selected tree species of dry deciduous teak forest in M.P**. *Indian For.* 110: 765-782.

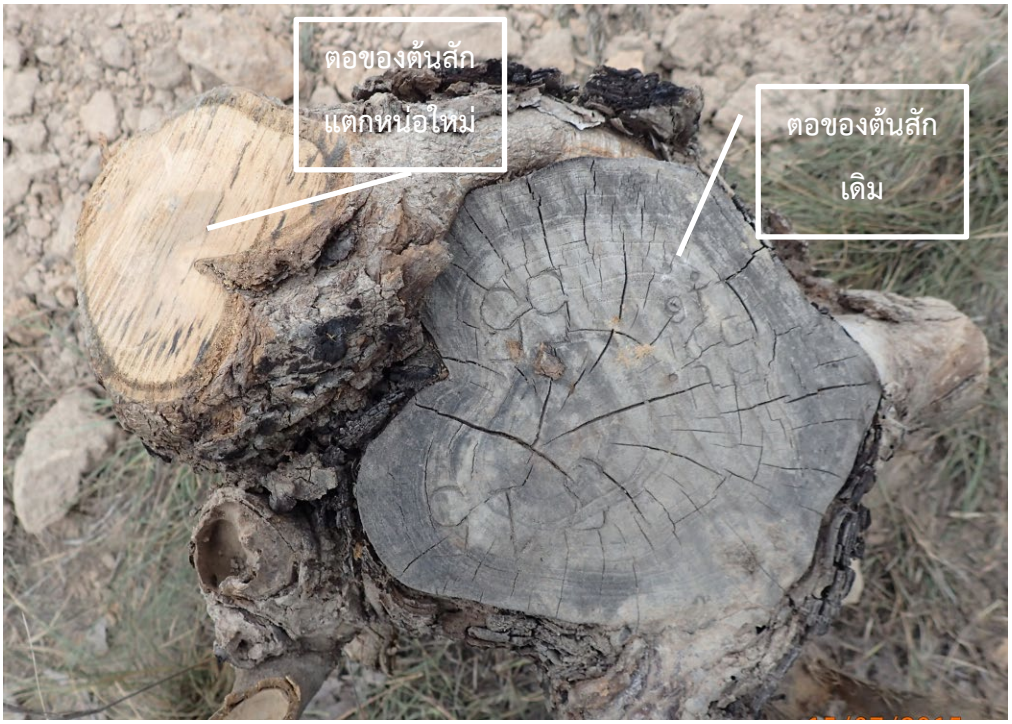
Purwanto, R.H. and M. Shiba. 2005. **Allometric equations for estimating above ground biomass and leaf area of planted teak (*Tectona grandis*) forests under agroforestry management in East Java, Indonesia**. *For. Res. Kyoto.* 76: 1-8.

Singh, A.K., V.N. Pandey, and K.N. Misra. 1980. **Stand composition and phytomass distribution of a tropical deciduous teak (*Tectona grandis*) plantation of India**. *J. Jap. For. Soc.* 62: 128-137.

Takahashi, M., D. Marod, S. Panuthai and K. Hirai. 2012. **Carbon Cycling in Teak Plantations in Comparison with Seasonally Dry Tropical Forests in Thailand**. Forest Ecosystems – More than just Trees. Available sources : https://shorturl.asia/RQPA3. 28 January, 2023.

Ziegler, A.D., J. Phelps, J.Q. Yuen, E.L. Webb, D. Lawrence, J.M. Fox, T.B. Bruun, S.J. Leisz, C.M. Ryan, W. Dressler, O. Mertz, U. Pascual, C. Padoch, and L.P. Koh. 2012. **Carbon outcomes of major land-cover transitions in SE Asia: great uncertainties and REDD+ policy implications**. *Global Change Biol.* 18: 3087-3099.

ภาพประกอบ



ภาพแสดงลักษณะของตอของต้นสักเดิมและต้นสักที่แตกหน่อใหม่

ภาพแสดงลักษณะต้นสักที่แตกหน่อใหม่โตปกคลุมตอเดิม