

เทคนิคการศึกษาช้างป่า: ส่วนที่ 4. สถิติสำหรับการศึกษาช้างป่า

(Techniques for Studying Elephant: Part IV. Basic Statistics for Elephant Data)

ไสว วังหงษา (Sawai Wanghongsa) และกัลยาณี บุญเกิด (Kalyanee Boonkird)

คำนำ (Introduction)

เทคนิคการศึกษาช้างป่า เป็นการรวบรวมวิธีการศึกษาช้างป่า ที่ได้ดำเนินการทั้งในช้างเอเชีย และช้างแอฟริกา โดยได้พิมพ์เผยแพร่ไปแล้ว 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ว่าด้วยการศึกษาโครงสร้างทางประชากร (ไสว และกัลยาณี, 2548ก) ส่วนที่ 2 ว่าด้วยการประมาณประชากรจากกองมูล (ไสว และกัลยาณี, 2548ข) และส่วนที่ 3 ว่าด้วยการประมาณประชากรจากการนับตัว (ไสว และกัลยาณี, 2548ค) และในส่วนที่ 4 จะว่าด้วยการ ใช้สถิติ ในการศึกษาช้างป่า

ในช่วงทศวรรษที่ 1960 เป็นต้นมาสถิติได้เข้าไปมีบทบาทในการศึกษาทางนิเวศวิทยามากขึ้น ซึ่งแต่เดิมนั้นการศึกษาทางนิเวศวิทยา อาศัยการพรรณนาเป็นหลัก แต่หลังจากในปี ค.ศ. 1837 S.D. Poisson ได้คิดวิธีการอธิบายการกระจายของข้อมูลชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า Poisson distribution ขึ้นมาหลักจากนั้นก็ได้มีการพัฒนาหลักการทางสถิติมาเรื่อยๆ และอีกเกือบ 70 ปี ต่อมา ในปี ค.ศ. 1900 K. Pearson ได้เสนอการแจกแจงแบบไค-สแควร์ หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่าการแจกแจงแบบเพียร์สัน (Pearson distribution) ขึ้นมาอีกรูปแบบหนึ่งหลักการทางสถิติ อีก 8 ปีต่อมา W.S. Gosset ผู้ใช้นามแฝงว่า Student ได้คิดการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ขึ้น ในปี ค.ศ. 1908 และต่อมาราวทศวรรษที่ 1920 R.A. Fisher ได้พัฒนาการแจกแจงแบบเอฟ (F-distribution) ขึ้นมาเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการกระจายข้อมูล หลังจากนั้นทฤษฎีทางสถิติได้รับการพัฒนามาโดยตลอด แต่ในช่วงแรกเป็นการใช้ในงาน ทางด้านพฤติกรรม ของมนุษย์และทางด้านสังคมเป็นส่วนใหญ่ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1948 จึงได้มีหนังสือสถิติที่เกี่ยวกับการศึกษา ทางด้านชีววิทยา โดย R.A. Fisher และ Yates เรื่อง Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research นับแต่นั้นมาสถิติได้เข้าไปมีบทบาททางชีววิทยามากขึ้น และอาจกล่าวได้ว่าทศวรรษที่ 1960 เป็นยุคทองของนักชีววิทยาที่มีความรู้ทางสถิติ หรือยุคทองของนักสถิติที่มีความรู้ทางชีววิทยา เนื่องจากในช่วงนี้มีหนังสือที่เกี่ยวกับการใช้สถิติในการศึกษาทางชีววิทยามากยิ่งขึ้น

ในส่วนของการศึกษาเรื่องช้างนั้น มีการใช้หลักการทางสถิติมาช่วยอธิบายผลการศึกษาวัยอยู่ช้าง เทคนิคการศึกษาช้างป่าส่วนที่ 4 นี้ จึงเป็นการกล่าวถึงสถิติที่ใช้ในการทดสอบข้อมูลช้างป่า โดยได้มีการอธิบายวิธีการใช้สถิติแต่ละตัว พร้อมทั้งตัวอย่างการใช้ทดสอบที่ผู้สนใจสามารถสืบค้นได้จากเอกสารอ้างอิง

สถิติที่ใช้ในการศึกษาข้างป้า

1. Student's t-test

Student's t-test เป็นสถิติตัวหนึ่งที่นิยมใช้เปรียบเทียบข้อมูล 2 ชุด/กลุ่ม ที่มีรูปแบบการกระจาย เป็นรูประฆังคว่ำ หรือการกระจายแบบปกติ¹ (Normal distribution) โดยก่อนการเปรียบเทียบ ต้องพิจารณาจากการกระจายของข้อมูลก่อน ในอดีตมักอนุมานว่าข้อมูลที่เกิดจาก ธรรมชาติเป็นข้อมูลที่มีการกระจาย แบบปกติ เนื่องจากธรรมชาติไม่เคยล้าเอียง สำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ดังนั้นการกระจายของข้อมูลที่เป็นไปตามธรรมชาติ จะมีประชากรส่วนน้อยที่อยู่ด้านขอบของระฆังคว่ำ แต่ประชากรส่วนใหญ่จะอยู่ตรงส่วนก้น ของระฆัง ข้อมูลดังกล่าวได้แก่ น้ำหนักของสัตว์ ความสูงของสิ่งมีชีวิต ฯลฯ ซึ่งสัตว์ส่วนมากจะมีน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นสัตว์บางตัวที่มีน้ำหนักมากหรือน้อยกว่าปกติ ปัจจุบันมีโปรแกรมทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบ การกระจายของข้อมูล หากข้อมูลในแต่ละชุดเก็บมาจากตัวอย่างที่มากกว่า 50 ตัวอย่าง การทดสอบการกระจายจะใช้ Kolmogorov-Smirnov test แต่ถ้าข้อมูลนั้นน้อยกว่า 50 ตัวอย่าง ต้องใช้ Shapiro-Wilk test การทดสอบ การกระจายของข้อมูลดังกล่าวปัจจุบันโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางสถิติ ได้พัฒนาขึ้นแล้ว หลังจากนั้น จึงดำเนินการเปรียบเทียบโดยใช้ t-test ต่อไป การทดสอบ t-test มี 3 รูปแบบคือ

1.1. Independent-samples t-test

Independent-samples t-test เป็นสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 กลุ่มที่เก็บตัวอย่างมา ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้างที่ใช้ การทดสอบ t-test แบบนี้คือ

Ruggiero (1992) ใช้เปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ยของมูลที่ช้างถ่ายออกมาในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน

Dublin (1996) ใช้เปรียบเทียบจำนวนตัวเฉลี่ยของฝูงช้างที่พบในฤดูแล้งและฤดูฝน

de Villiers and Kok (1997) ใช้เปรียบเทียบอัตราการเดินทางเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงของช้างเพศผู้ และเพศเมีย

ไสว (2547) ใช้เปรียบเทียบจำนวนครั้งเฉลี่ย จำนวนก้อนเฉลี่ยในมูล และน้ำหนักเฉลี่ยของกองมูล ที่ช้างเลี้ยงเพศเมียและเพศผู้ถ่ายออกมา

1.2. One-sample t-test

One-sample t-test เป็นสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูล 1 กลุ่มที่เก็บตัวอย่างมา กับค่าเฉลี่ย หรือค่าจากตัวอย่างที่มีผู้ศึกษาไว้ก่อนหน้านั้นแล้ว ซึ่งในขณะที่ทำการเปรียบเทียบ ไม่สามารถ กลับไปหาข้อมูลดิบที่มีการศึกษาไว้ก่อนหน้านั้นแล้ว t-test ตัวนี้มีประโยชน์มากในกรณีที่นักวิจัยศึกษาเรื่องเดียวกัน แต่ไม่สามารถนำข้อมูลดิบที่ต่างก็เก็บไว้มาเปรียบเทียบกันได้ มีแต่เพียงค่าเฉลี่ยที่รายงานไว้ ซึ่งค่าเฉลี่ยบางค่า อาจทำการศึกษามาก่อนหน้านั้นแล้ว เช่นน้ำหนักมูลที่ช้างเลี้ยงสายพันธุ์เอเชียถ่ายออกมามีค่าเท่ากับ 110 กิโลกรัม รายงานไว้โดย Benedict (1936) ฉะนั้นหากผู้วิจัยต้องการเปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ย ต่อของมูลที่ช้างถ่ายออกมา จะไม่สามารถทำได้ด้วยการทดสอบแบบ Independent-samples t-test

¹ โดยทางทฤษฎีแล้วข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติคือข้อมูลที่มีค่า mean, mode และ medium เป็นค่าเดียวกัน

เนื่องจากข้อมูลที่ Benedict (1936) ศึกษา นั้นไม่ทราบว่าอยู่ที่ใดเนื่องจากนานมาแล้ว แต่ก็สามารถทดสอบทางสถิติได้โดยใช้ One-sample t-test ด้วยการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยที่เก็บข้อมูลมากับค่า 110 กิโลกรัม ที่ Benedict (1936) รายงานไว้ นอกจากนี้ One-sample t-test ยังมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบข้อมูลอากาศในปีที่ศึกษาว่าแตกต่างจากในช่วงหลายปีที่ผ่านมาหรือไม่ ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งที่ใช้การทดสอบ t-test แบบนี้คือ

ไสว (2547) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการถ่ายมูลของช้างเลี้ยง กับค่าเฉลี่ยอัตราการถ่ายมูลที่มีการศึกษาในประเทศไทยไว้ก่อนหน้านี้แล้ว และใช้ One-sample t-test ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักของมูลที่ช้างเลี้ยงถ่ายออกมา กับค่าเฉลี่ยน้ำหนักของมูลที่มีการรายงานไว้สำหรับช้างป่าในประเทศศรีลังกา

1.3. Paired-samples t-test

Paired-samples t-test เป็นสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระแก่กัน มักใช้ในงานวิจัยที่ใช้สัตว์ทดลองเพียงกลุ่มเดียวแต่ใช้ treatment ต่างกัน การใช้สัตว์เพียงกลุ่มเดียวแต่ทดลอง 2 ครั้งก็เพื่อหลีกเลี่ยงความแปรปรวนที่เกิดจากสัตว์ต่างกลุ่มกัน ปัจจุบันยังไม่มียานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับช้างที่ t-test แบบนี้ทดสอบ แต่งานวิจัยที่น่าจะใช้คือ งานวิจัยที่ต้องการทดสอบว่า อัตราการถ่ายมูลของช้างในแต่ละฤดูต่างกันหรือไม่ หรือฤดูกาลมีผลต่อการถ่ายมูลของช้างหรือไม่ ซึ่งในตัวอย่างนี้ควรใช้ช้างเชือกเดียวกันในการศึกษา เนื่องจากหากใช้ช้างต่างกันสภาพของร่างกายและอายุ ตลอดจนพฤติกรรมการกินอาหาร อาจเป็นเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายมูลได้ แต่ถ้าหากใช้ช้างเชือกเดียวกันจะช่วยลดความแปรปรวนดังกล่าวได้ เหล่านี้เป็นต้น

นอกจากการใช้ Student's t-test สำหรับทดสอบข้อมูล 3 รูปแบบดังกล่าวข้างต้นแล้ว Student's t-test ยังเป็นสถิติตัวหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล 2 ชุด ดังเช่น

1. ใช้ในการเปรียบเทียบค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon Diversity Index (Magurran, 1991) เช่นในการศึกษาของ Nath *et al.* (2000), Kushwah and Kumar (2000), Rijal (1994) กัลยาณีและคณะ (2542) กัลยาณี และไสว (2544) ไสว และกัลยาณี (2544)

2. ใช้ในการเปรียบเทียบ Simple Linear Regression โดยไสว (2547) ใช้ Student's t-test ในการเปรียบเทียบสมการเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของมูลในฤดูฝน กับสมการเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของมูลในฤดูแล้ง

2. Mann-Whitney U-test

ในขณะที่ Independent-samples t-test ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล 2 ชุดที่มีการกระจายแบบปกติ แต่ถ้าข้อมูลที่เก็บมาไม่มีการกระจายแบบปกติ การใช้ Independent-samples t-test ทดสอบจะได้ความหมายที่คลาดเคลื่อนไปจากความจริง ในกรณีนี้ Mann-Whitney U-test สามารถใช้ทดแทน Independent-samples t-test ได้ แต่มีข้อแตกต่างที่ควรระวังคือ Independent-samples t-test เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูล แต่ Mann-Whitney U-test เป็นการเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของข้อมูล การแปลความหมายจึงต้องกล่าวถึงค่ามัธยฐานว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ในขณะที่ Independent-

samples t-test เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการแปลความหมายจึงต้องกล่าวถึงค่าเฉลี่ยที่นำมาเปรียบเทียบว่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ดังนั้นลักษณะการกระจายของข้อมูลจึงเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกใช้สถิติทดสอบ แต่เดิมนั้นยอมรับกันว่าข้อมูลทางชีววิทยา เป็นข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น งานวิจัยส่วนมากจึงใช้ Student's t-test ในการเปรียบเทียบภายหลังได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการทดสอบรูปแบบการกระจายของข้อมูลการใช้สถิติทดสอบจึงเปลี่ยนไป โดยก่อนการเลือกใช้ตัวสถิติ ต้องมีการทดสอบการกระจายของข้อมูลเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วข้อมูลที่แต่ละค่าที่เก็บมามีความแตกต่างกันมาก มักมีการกระจายแบบไม่ปกติ จึงต้องใช้ Mann-Whitney U-test ในการทดสอบ ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งที่ใช้การทดสอบแบบ Mann-Whitney U-test ที่มีสูตรในการคำนวณที่ Fowler and Cohen (1992:166) แสดงไว้ ดังนี้

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2$$
$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

U_1, U_2 คือค่า Mann-Whitney U-test ของข้อมูลชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

n_1, n_2 คือ จำนวนข้อมูลของชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

R_1, R_2 คือ ผลรวมลำดับที่ของข้อมูลชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

เมื่อได้ค่า U_1, U_2 แล้วให้นำค่า U ที่น้อยที่สุดไปเทียบกับตาราง Mann-Whitney U-test Value โดยพิจารณาในตารางจาก n_1 และ n_2 ตัวอย่างงานวิจัยข้างปีที่ใช้การทดสอบแบบนี้คืองานวิจัยของ Barnes (1982) ที่เปรียบเทียบอัตราการตายของช้างป่าระหว่าง 2 ฤดู

3. F-test

3.1 ใช้ในการเปรียบเทียบความแปรปรวน (variance)

ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่าง 2 กลุ่มประชากรนอกจากจะดูจากการกระจายของข้อมูลแล้ว การตรวจสอบความแปรปรวนโดยใช้ F-test ก็มีประโยชน์เช่นกัน เพื่อให้การแปลความหมายของ t-test ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น หากทดสอบแล้วปรากฏว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 ชุดไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับ t-test แล้ว ผลการเปรียบเทียบที่ได้ จะเป็นความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 2 ชุด ไม่ใช่เป็นความแตกต่างที่เกิดจากความแปรปรวน (Fowler and Cohen, 1992:175) โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$F = \frac{\text{Greater Variance}}{\text{Lesser Variance}}$$

$$df = (n_1 - 1), (n_2 - 2)$$

n_1 คือ จำนวนข้อมูลชุดที่ 1

n_2 คือ จำนวนข้อมูลชุดที่ 2

ให้นำค่าทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าในตาราง F

3.2 ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลตั้งแต่ 3 ขึ้นไป

ในการศึกษา บางครั้งต้องการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่มีมากกว่า 3 ชุด และแต่ละชุดมีการแจกแจงแบบปกติแล้ว สามารถใช้ F-test ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยข้อมูลทั้ง 3 ชุดดังกล่าวได้ การเปรียบเทียบลักษณะนี้รู้จักกันในชื่อที่เรียกว่า Analysis of Variance (ANOVA) โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$F = \frac{\text{Between Sampkes Variance}}{\text{Within Sampkes Variance}}$$

$$df = (n - 1), (n - N)$$

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของทุกชุดข้อมูล

คือจำนวนชุดข้อมูล

ให้นำค่าทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าในตาราง F

แต่เนื่องจากเป็นสถิติตัวหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก จึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

3.3 ใช้ในการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of variation, CV) ของข้อมูล 2 ชุด

ในการศึกษาบางครั้งไม่จำเป็นต้องทดสอบทางสถิติก็สามารถบอกได้ว่าค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ เช่นค่าเฉลี่ยของน้ำหนักช้าง 100 ตัว ย่อมมากกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักหมู 100 ตัว แต่สิ่งที่น่าสนใจในตัวอย่างนี้คือน้ำหนักหมูและช้างที่เก็บมามีความแปรปรวนแตกต่างกันหรือไม่ การทดสอบจะคล้ายกับการทดสอบความแปรปรวน แต่การทดสอบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน คำนึงถึงค่าเฉลี่ยด้วย เนื่องจากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนจาก Zar (1984:36) ดังนี้

$$CV = \frac{SD}{\text{mean}}$$

SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนนิยมนำเสนอในรูปของเปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตามหากค่าเฉลี่ยของข้อมูลมาจากจำนวนตัวอย่างที่น้อย ซึ่งในทางสถิติถือว่าต่ำกว่า 30 จำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Sokal and Rohlf, 1981:59) โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนแล้วสามารถนำมาเปรียบเทียบกัน โดยมีสูตรการคำนวณจาก Zar (1984:126) ดังนี้

$$F = \frac{(s_{\log}^2)_1}{(s_{\log}^2)_2} \quad \text{หรือ}$$

$$df = (n_1 - 1)(n_2 - 1)$$

แล้วนำค่าทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าในตาราง F

ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน เป็นค่าสถิติตัวหนึ่ง ที่นิยมใช้ในงานศึกษาวิจัย ที่สามารถใช้กับ $F = \frac{\text{greater variance of the logged sample}}{\text{lessser variance of logged sample}}$ ซึ่งไม่มีการใช้สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนในงานศึกษาวิจัยข้างป่า
งานที่นำมาใช้โดยเปรียบเทียบคือความแปรปรวนระหว่างเส้นรอบวงเท้าหนาของลูกช้างและแม่ช้าง
เนื่องจากช้างลูกช้างเป็นสัตว์ที่กินนมโดยใช้ปากดูด ลูกช้างตัวผู้ที่มีอายุเกินหนึ่งปีไม่ได้ดื่มที่เหมือนลูกช้างตัวเมีย
และลูกช้างสัดอ ซึ่งความแตกต่างดังกล่าว อาจส่งผลต่อขนาดของร่างกายที่อาจมีความแปรปรวนมาก

4. Krukal-Wallis test

การเปรียบเทียบข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติจำนวน 3 ชุด จะใช้ F-test
ในขบวนการการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวม (ANOVA) แต่ถาข้อมูลทั้ง 3 ชุดนั้น ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ
การเปรียบเทียบต้องใช้การทดสอบทางสถิติที่เรียกว่า Krukal-Wallis test ที่ Fowler and Cohen (1992:169)
นำเสนอวิธีการคำนวณ ดังนี้

$$K = \left[\sum \left(\frac{R_i^2}{n} \right) \times \frac{12}{N(N-1)} \right] - 3(N+1)$$

$$df = (n-1)$$

K คือ Kruskal-Wallis test

N คือ จำนวนตัวอย่างข้อมูลทั้งหมดของทุกชุดรวมกัน

R_i คือ ผลรวมลำดับที่ของข้อมูลในชุด i

คือจำนวนชุดข้อมูล

ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับช้างที่มีการใช้ Kruskal-Wallis test ในการทดสอบคืองานวิจัยของ Barnes (1982) ที่ใช้ทดสอบการถายมูลของช้างป่าใน 3 ฤดูกาล และงานวิจัยของ Dublin (1996) ที่ใช้ทดสอบการใช้ประโยชน์พื้นที่แต่ละประเภทในแต่ละฤดูของช้างป่า

5. Chi-square test

ในการศึกษาสัตว์ป่าบางครั้งข้อมูลที่เกิดขึ้นเป็นข้อมูลที่ได้จากการนับ การเปรียบเทียบข้อมูลลักษณะนี้ Chi-square test สามารถช่วยทดสอบสมมติฐานที่ตั้งขึ้นมาได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการวัดยังสามารถนำมาจัดใหม่ ให้เป็นข้อมูลที่เป็นการนับได้ เช่นความสูงของสัตว์ป่าที่วัดมาจากสัตว์แต่ละตัวจะได้ตัวเลขต่าง ๆ กัน แต่ถ้านำตัวเลขเหล่านั้นมาจัดกลุ่มเป็นสัตว์ที่มีความสูงระหว่าง 1.50-2.00 เมตร ตัวเลขที่ได้จะเป็นจำนวนนับ สามารถใช้ Chi-square test ได้

การทดสอบ Chi-square test มีหลักการอยู่ที่การเปรียบเทียบค่าที่คาดหวัง (expected frequency) กับค่าที่สังเกตหรือพบได้ (observed frequency) เป็นหลักซึ่งการทดสอบ Chi-square test มี 3 รูปแบบคือ

5.1 การทดสอบภาวะสารูปสัณนิต (Goodness of fit test)

การทดสอบภาวะสารูปสัณนิต เป็นการทดสอบข้อมูลที่เกิดขึ้นได้กับความเชื่อทางทฤษฎี เช่น การถายทอดพันธุกรรมตามกฎของ Mandel ที่มีอัตราส่วน 3:1 หรือกับข้อมูลที่เป็นสัดส่วนกันในธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ป่าแห่งหนึ่งประกอบด้วยสภาพป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรังในอัตราส่วน 30, 30, และ 40% ตามลำดับ การศึกษาการใช้ประโยชน์ของสัตว์ป่าในพื้นที่โดยใช้วิทยุติดตามหาตำแหน่งของสัตว์ป่า ได้ตำแหน่ง 190 จุด ต้องการทดสอบว่า สัตว์ป่าเลือกใช้พื้นที่ป่าบริเวณใดเป็นพิเศษหรือไม่ สามารถใช้การทดสอบภาวะสารูปสัณนิตอธิบายได้ ในตัวอย่างนี้จากจุดทั้งหมดต้องแยกหาพบในป่าประเภทละกี่จุดซึ่งเป็นค่าสังเกต แล้วค่าคาดหวังที่จะพบในป่าแต่ละประเภทต้องพิจารณาจากสัดส่วนประเภทของป่า ซึ่งในตัวอย่างนี้ค่าคาดหวังจุดที่ได้จากวิทยุในพื้นที่ป่าดิบแล้งมีจำนวน 57 จุด ($30 \times 190 / 100$) คาดว่าจะพบในป่าเบญจพรรณ จำนวน 57 จุด และคาดว่าจะพบในป่าเต็งรังจำนวน 76 จุด แล้วนำค่าคาดหวังและค่าสังเกตมาคำนวณทางสถิติ ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$df = n - 1$$

O_i คือค่าสังเกตที่ได้จากการศึกษาในหน่วยหรือของข้อมูลกลุ่ม i
คือค่าคาดหวังที่ได้จากการศึกษาในหน่วยหรือของข้อมูลกลุ่ม i
คือจำนวนข้อมูล

แล้วนำค่าที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าสถิติในตาราง Chi-square

5.2 การทดสอบความกลมกลืนหรือภาวะเอกพันธ์ (Test of homogeneity)

ในการศึกษาบางครั้ง ค่าคาดหวังไม่เป็นไปตามหลักการที่มีอยู่ จำเป็นต้องสร้างค่าคาดหวังขึ้นมาเอง ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำค่าสังเกตทั้งหมดมาหารด้วยจำนวนกลุ่มของข้อมูล ฉะนั้นการทดสอบภาวะเอกพันธ์หรือการทดสอบความกลมกลืนค่าคาดหวังจึงมีเพียงค่าเดียว ข้อมูลจะอยู่ในภาวะเอกพันธ์ก็ต่อเมื่อค่าสังเกตทุกค่ามีค่าใกล้เคียงค่าคาดหวัง สูตรการคำนวณเหมือนกับข้อ 5.1 นำผลที่ได้ไปเทียบกับตารางค่า Chi-square

5.3 การทดสอบความเป็นอิสระ (test of independence)

การทดสอบภาวะสarusปสนิตีและการทดสอบความกลมกลืนหรือภาวะเอกพันธ์ ข้อมูลที่ทำการศึกษาเป็นข้อมูลที่มีเพียง 1 คือ มีเพียงแถวเดียว หรือช่องเดียว ในการศึกษาบางครั้ง ข้อมูลที่ได้อยู่ในรูปของตารางไขว้ (Contingency table) การคำนวณค่าคาดหวังจากข้อมูลลักษณะนี้จะเปลี่ยนไป ดังนี้

$$E_i = \frac{C_i \times R_i}{N}$$

$$df = (R-1)(C-1)$$

E_i คือค่าคาดหวังของตารางไขว้ของ i
คือผลรวมค่าสังเกตของตารางช่อง
 R_i คือผลรวมค่าสังเกตของตารางแถว
 N คือผลรวมค่าสังเกตทั้งหมด

เมื่อได้ค่าคาดหวังของแต่ละช่องแล้ว การคำนวณจะเหมือนกับข้อ 5.1 นำผลที่ได้ไปเทียบกับตารางค่า Chi-square

ถึงแม้ว่าการทดสอบ Chi-square ทั้ง 3 รูปแบบจะสามารถช่วยอธิบายความหมายของการศึกษาได้เป็นอย่างดี แต่มีข้อจำกัดหรือข้อที่ควรคำนึงถึงอยู่ 2 ประการคือ

1. การทดสอบ Chi-square ไม่สามารถดำเนินการได้หากค่าคาดหวังมีค่าต่ำกว่า 5 (Chalmer and Parker, 1989)
2. ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบต้องเป็นข้อมูลดิบที่ยังไม่ได้มีการแปลงค่าใดๆ

3. เมื่อได้กัตามที่การทดสอบมีค่าองศาอิสระเท่ากับ 1 จำเป็นต้องปรับแก้ข้อมูลด้วยวิธีการของ Yates (Yates's correction factor) โดยการนำค่า 0.5 ไปลบออกจากค่าสมบูรณ์ของผลต่างระหว่างค่าสังเกตและค่าคาดหวัง ก่อนที่จะนำมายกกำลังสอง (Sokal and Rohlf, 1981:736; Zar, 1984:48; Fowler and Cohen, 1992:116) ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\chi^2 = \sum \frac{(|O_i - E_i| - 0.5)^2}{E_i}$$

ตัวอย่างงานวิจัยข้างป้ที่ใช้การทดสอบ Chi-square คืองานวิจัยของ Dawson (1993) ที่ใช้ทดสอบ Steady state ของการศึกษาความหนาแน่นของมูลช้างป่า Western and Cynthia (1983) ไสว (2547) ใช้เปรียบเทียบโครงสร้างทางประชากรของช้างป่า และ Dublin (1996) ใช้ทดสอบการกระจาย ของช้างป่า ในถิ่นที่อยู่อาศัยหลายประเภท

จะเห็นได้ว่ามีสถิติอยู่หลายตัวที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาช้างป่าได้ ซึ่งจะทำให้ การแปลความหมายมีความถูกต้องชัดเจนยิ่งขึ้น แต่ในปัจจุบันงานศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ ช้างปายังไม่ได้มีการนำหลักการ ทางสถิติมาใช่มากนัก ดังนั้น ผู้มีหน้าที่ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับช้างป่าจึงควรให้ความสนใจ กับหลักการทางสถิติที่ในปัจจุบัน นับว่ามีบทบาทสำคัญมากในการศึกษาทางนิเวศวิทยา

บทส้ท้าย

หลังจากที่ได้มีการนำเสนอเทคนิคการศึกษาช้างป่าส่วนที่ 1 ว่าด้วยการศึกษาโครงสร้างทางประชากร (ไสว และกัลยาณี, 2548ก) ได้รับความสนใจจากเจ้าหน้าที่ในพื้นที่ที่ดูแลช้างป่าเป็นอย่างมาก และได้สอบถามเรื่องการ ประเมินอายุจากความสูง รอยเท้า และกองมูลเข้ามามากมาย ซึ่งในเทคนิคดังกล่าวไม่ได้จำแนกชั้นอายุอย่างละเอียดไว้ เพียงแต่บอกเป็นชั้นอายุอย่างหยาบๆ ทำให้เมื่อนำไปใช้งานจริงแล้ว ทำให้ยากแก่การเข้าใจ และไม่ทราบอายุ ที่แท้จริงของช้างป่า ดังนั้นเจ้าหน้าที่จึงขอให้ช่วยระบุขนาด ของช้างป่าในแต่ละชั้นอายุเพื่อให้สามารถบอกอายุ ที่แท้จริงของช้างป่าที่กำลังได้รับความสนใจนั้นได้ ซึ่งจากสมการความสัมพันธ์ ระหว่างความสูงกับอายุ ขนาดเส้นรอบวงเท้าหน้ากับอายุ และความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผาคุนัยกลางของมูล และอายุของช้างในแต่ละช่วงอายุ แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของช้างในแต่ละปีกับเส้นผาคุนัยกลางรอยเท้าหน้า เส้นผาคุนัยกลางมูล และความสูง

อายุช้าง(ปี)	เส้นผาคุนัยกลางรอยเท้าหน้า (ซม.)	เส้นผาคุนัยกลางมูล (ซม.)	ความสูง (ซม.)
1.00	20.376	6.659	128.000
2.00	23.973	7.946	151.500
3.00	26.106	8.812	165.000
4.00	27.380	9.483	174.000

ตารางที่ 1. (ต่อ)

อายุช้าง(ปี)	เส้นผ่านศูนย์กลางรอยเท้าหน้า (ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลางมูล (ซม.)	ความสูง (ซม.)
5.00	28.590	10.039	181.000
6.00	29.449	10.517	187.500
7.00	30.086	10.939	193.000
8.00	30.723	11.318	196.500
9.00	31.137	11.663	200.000
10.00	31.678	11.981	203.000
11.00	32.442	12.275	206.000
12.00	32.760	12.551	210.000
13.00	33.047	12.810	213.000
14.00	33.684	13.054	214.500
15.00	34.034	13.286	217.000
16.00	34.225	13.507	219.000
17.00	34.559	13.717	221.500
18.00	34.862	13.919	223.500
19.00	35.132	14.112	225.000
20.00	35.482	14.298	227.500
21.00	35.689	14.477	229.500
22.00	35.976	14.650	231.000
23.00	36.246	14.817	233.000
24.00	36.517	14.978	235.000
25.00	36.772	15.135	237.000
26.00	37.058	15.287	239.000
27.00	37.345	15.435	241.000
28.00	37.631	15.579	243.500
29.00	37.966	15.719	246.000
30.00	38.332	15.856	249.500
31.00	38.730	15.989	253.500
32.00	39.303	16.119	260.500
33.00	39.796	16.246	260.500
34.00	40.369	16.370	260.800
35.00	40.369	16.492	260.800

ตารางที่ 1. (ต่อ)

อายุช้าง (ปี)	เส้นผ่านศูนย์กลางรอยเท้าหน้า (ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลางมูล (ซม.)	ความสูง (ซม.)
36.00	40.369	16.611	260.800
37.00	40.369	16.727	260.800
38.00	40.369	16.841	260.800
39.00	40.369	16.953	260.800
40.00	40.369	17.063	260.800
41.00	40.369	17.171	260.800
42.00	40.369	17.277	260.800
43.00	40.369	17.381	260.800
44.00	40.369	17.483	260.800
45.00	40.369	17.584	260.800
46.00	40.369	17.683	260.800
47.00	40.369	17.780	260.800
48.00	40.369	17.876	260.800
49.00	40.369	17.970	260.800
50.00	40.369	18.063	260.800
51.00	40.369	18.154	260.800
52.00	40.369	18.244	260.800
53.00	40.369	18.333	260.800
54.00	40.369	18.421	260.800
55.00	40.369	18.507	260.800
56.00	40.369	18.593	260.800
57.00	40.369	18.677	260.800
58.00	40.369	18.760	260.800
59.00	40.369	18.842	260.800
60.00	40.369	18.923	260.800

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า พอช้างป่าเริ่มเข้าสู่อายุ 34 ปี ความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางรอยเท้าหน้าจะไม่เพิ่มขึ้น แต่เส้นผ่าศูนย์กลางของมูลยังคงมีการเปลี่ยนแปลงอีกโดยเฉลี่ยปีละ 0.09 มม. ดังนั้น

การระบุนายุของช้างที่ละเอียดมากก็จะมีแนวโน้มความน่าเชื่อถือน้อยลง ในขณะที่การระบุนายุของช้างเป็นชั้นอายุ จะมีความน่าเชื่อถือมากกว่า ดังนั้นการใช้ข้อมูลจึงควรอยู่ในดุลยพินิจของผู้ต้องการข้อมูลเป็นหลัก

เนื่องจากอายุของช้างสามารถระบุได้หลายวิธี ข้อมูลจากหลายๆวิธีจะให้เกิดความแม่นยำ และน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น การดูอายุจากรอยฟันของใบหูเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้ประมาณอายุของช้าง โดยใบหูด้านบนของช้างจะเริ่มพับเมื่ออายุประมาณ 10 ปี และรอยพับนี้จะทยอยลงมาทุกๆ 1 นิ้วในช่วงเวลา 20 ปี ดังนั้นถ้าพบว่าใบหูของช้างทยอยลงมา 1 นิ้ว นั้นหมายความว่าช้างมีอายุ 30 ปี ถ้าพับลงมา 2 นิ้ว ช้างจะมีอายุ 50 ปี และถ้าพับทยอยลงมา 3 นิ้ว ช้างจะมีอายุ 70 ปี (Gale, 1971; Santiapillai *et al.*, 1987) เป็นต้น การดูที่รอยพับของใบหู ก็เป็นวิธีการประมาณอายุช้างอีกวิธีหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง (References)

- กัลยาณี บุญเกิด, ไสว วังหงษา และ A.R. Hillman. 2542. การศึกษาผลกระทบต่อดังคาวจากการวางแผนท่องเที่ยวธรรมชาติจากแหล่งยาดานา (สหภาพพม่า). ส่วนวิจัยสัตว์ป่า กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. และ ไสว วังหงษา. 2544. นิสัยการกินอาหารของค่างคาวกินแมลงบางชนิด. หน้า 1-22 ใน *ผลงานวิจัยและรายงานความก้าวหน้างานวิจัย ประจำปี 2543*. พิมพ์ที่ส่วนผลิตสื่อ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ.
- ไสว วังหงษา. 2547. ประชากร และโครงสร้างทางประชากรของช้างป่าในพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤๅไน. สถาบันวิจัยสัตว์ป่าและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. และ กัลยาณี บุญเกิด. 2544. ความหลากหลายของไม้ยืนต้น และลักษณะทางกายภาพของสังคมป่าริมถนนสาย 3259 บริเวณพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤๅไน. หน้า 98-114. ใน *ผลงานวิจัยและรายงานความก้าวหน้างานวิจัย ประจำปี 2543*. พิมพ์ที่ส่วนผลิตสื่อ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ.
- ไสว วังหงษา และกัลยาณี บุญเกิด. 2548ก. เทคนิคการศึกษาช้างป่า: ส่วนที่ 1 โครงสร้างทางประชากร. หน้า 164-174. ใน *ผลงานวิจัยและรายงานความก้าวหน้างานวิจัย ประจำปี 2547*. กลุ่มวิจัยสัตว์ป่า สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช
- ไสว วังหงษา และกัลยาณี บุญเกิด. 2548ข. เทคนิคการศึกษาช้างป่า: ส่วนที่ 2 ประมาณประชากรจากกองมูล. หน้า 175-185. ใน *ผลงานวิจัยและรายงานความก้าวหน้างานวิจัย ประจำปี 2547*. กลุ่มวิจัยสัตว์ป่า สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.
- ไสว วังหงษา และกัลยาณี บุญเกิด. 2548ค. เทคนิคการศึกษาช้างป่า: ส่วนที่ 3 ประมาณประชากรจากการนับตัว. หน้า 186-195. ใน *ผลงานวิจัยและรายงานความก้าวหน้างานวิจัย ประจำปี 2547*. กลุ่มวิจัยสัตว์ป่า สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.
- Barnes R. F. W. 1982. Elephant feeding behaviour in Ruaha National Park, Tanzania. *Afr. J. Ecol.* 20, 126-136.
- Benedict, F.G. 1936. *The Physiology of the Elephant*. Carnegie Institution of Washington Publication No. 474.

- Chalmer, N. and P. Parker. 1989. *The Oxford University Project Guide: Field Study Course*. Oxford University Press. London.
- Dawson, S. 1993. Estimating elephant numbers in Tabin Wildlife Reserve, Sabah, Malaysia. *GAJAH* 11, 16-28.
- de Villiers P.A. and O.B. Kok. 1997. Home range, association and related aspects of elephants in the eastern Transvaal Lowveld. *Afr. J. Ecol.* 35, 224-236.
- Dublin, H.T. 1996. Elephants of the Masai Mara, Kenya: seasonal habitat selection and group size patterns. *Pachyderm* 22, 25-35.
- Fowler, J. and L. Cohen. 1992. *Practical Statistics for Field Biology*. John Wiley & Son. Chichester, UK.
- Gale, U.T. 1971. *Burmese Timber Elephant*. Toppan Printing Co. Singapore.
- Kushwah, R.B.S. and V. Kumar. 2000. Status of flora in protected area: the case studies of Satpuda, Bandhavgarh, Indravati and Madhav National Parks of Madhya Pradesh India. *Indian Forester* 125, 71-77.
- Magurran, A.E. 1991. *Ecological Diversity and its Measurements*. Chapman and Hall. New York.
- Nath, T.K.; M.K. Hossain and M.K. Alam. 2000. Assessment of tree species diversity of Sitapahar Forest Reserve, Chittagong Hill Tracts (South) Forest Division, Bangladesh. *Indian Forest* 125, 16-21.
- Rijal, H.Z. 1994. *A Comparison of the Diet of Gleaning and Aerial Hawking Bats in Britain*. M.Sc. Thesis (Unpublished data) University of Aberdeen, UK.
- Ruggiero, R. G. 1992. Seasonal forage utilization by elephants in central Africa. *Afr. J. Ecol.* 30, 137-148.
- Santiapillai, C.; M. Soekarno, and W. Sukohadi. 1987. Management of elephants in Thailand. *Tiger Paper*. 14(2), 7-15.
- Sokal, R.R. and F.J. Rohlf. 1981. *Biometry*. W.H. Freeman and Company. New York, USA.
- Western, D. and M. Cynthia. 1983. Age estimation and population age structure of elephants from footprint dimensions. *J. Wildl. Manage.* 47(4), 1192-1197.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical Analysis: 2nd Edition*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
-