

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 แหล่งที่มาและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ ข้อมูลของ โคขาวลำพูนจากฟาร์มสัตว์ทดลอง หมวดโคเนื้อ ภาควิชา สัตวศาสตร์และสัตวน้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ถูกบันทึกไว้ตั้งแต่ปีพ.ศ.2527 ถึง ปีพ.ศ.2552 โดยทำการศึกษาความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตและลักษณะความสมบูรณ์พันธุ์ ได้แก่ น้ำหนักแรกเกิด น้ำหนักหย่านม น้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี อัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม อัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านมอายุเมื่อให้ลูกตัวแรกอายุเมื่อให้ลูกตัวที่สองและช่วงห่างการให้ลูก ซึ่งจะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการ ประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรม ได้แก่ ค่าอัตราพันธุกรรม ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม ค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะปรากฏ และคุณค่าการผสมพันธุ์

ข้อมูลโคขาวลำพูนที่นำมาใช้ สามารถจำแนกออกเป็น 2 ส่วน คือ

##### 1. เพิ่มข้อมูลการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์พันธุ์(data file) ประกอบด้วย

- หมายเลขประจำตัวโค
- เพศ
- เดือนและปีที่เกิด
- ลำดับลูกที่คลอด
- อายุแม่เมื่อคลอด
- น้ำหนักแรกเกิด
- น้ำหนักหย่านมที่ 200 วัน
- น้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี (400 วัน)
- อัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านมและหลังหย่านม
- เดือนและปีที่ซังน้ำหนัก
- ช่วงห่างการให้ลูก
- อายุเมื่อให้ลูกตัวแรก
- อายุเมื่อให้ลูกตัวที่สอง

## 2. เพิ่มข้อมูลพันธุ์ประวัติ (pedigree file) ประกอบด้วย

- หมายเลขประจำตัวโค
- หมายเลขพ่อพันธุ์
- หมายเลขแม่พันธุ์

### 3.2 จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

จำนวนข้อมูลของลักษณะการเจริญเติบโตที่ใช้ในการศึกษานี้ ประกอบด้วย 5 ลักษณะ ได้แก่ น้ำหนักแรกเกิด น้ำหนักหย่านม น้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี อัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม และ อัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านม มีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 695, 601, 534, 523 และ 468 ข้อมูลตามลำดับ และจำนวนข้อมูลของลักษณะความสมบูรณ์พันธุ์ ประกอบด้วย 3 ลักษณะ ได้แก่ อายุเมื่อให้ลูกตัวแรก อายุเมื่อให้ลูกตัวที่ 2 และช่วงห่างการให้ลูก มีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 199, 131 และ 600 ข้อมูลตามลำดับ (Table 5)

**Table 5.** Data of growth and fertility traits for analysis

Data	Traits							
	BW	WW	YW	Pre-ADG	Post-ADG	AFC	ASC	CI
Animals in pedigree	891	891	891	891	891	891	891	891
Animals in record	695	601	534	523	468	199	131	167
Observation	695	601	534	523	468	199	131	600
Month at birth	12	12	12	12	12	12	11	10
Year at birth	26	24	25	24	24	7	6	26
Parity	12	11	12	11	11	7	7	11
Sex	2	2	2	2	2	-	-	-

BW = birth weight, WW = weaning weight, YW = yearling weight, Pre-ADG = pre-weaning average daily gain, Post-ADG = post-weaning average daily gain, AFC = age at first calving, ASC = age at second calving, CI = calving interval

### 3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

#### 3.3.1 วิเคราะห์การกระจายของข้อมูล

นำข้อมูลโคขาวลำพูนที่รวบรวมจำนวน 891 ตัว มาวิเคราะห์การกระจายของข้อมูล ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ แกะไขข้อมูลที่เกิดพลาดและลบข้อมูลที่ผิดปกติออก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการวิเคราะห์ ซึ่งลักษณะที่ต้องการศึกษา ได้แก่ น้ำหนักแรกเกิด น้ำหนักหย่านม น้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี อัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม อัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านม อายุเมื่อให้ลูกตัวแรก อายุเมื่อให้ลูกตัวที่สอง และช่วงห่างการให้ลูก

#### 3.3.2 ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยคงที่และตัวแปรร่วม

ทดสอบอิทธิพลของปัจจัยคงที่ (fixed effect) และตัวแปรร่วม (covariable) ได้แก่ เดือนที่เกิด ปีที่เกิด ลำดับลูกที่คลอด เพศ อายุแม่เมื่อคลอด น้ำหนักแรกเกิด น้ำหนักหย่านม น้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี อายุเมื่อให้ลูกตัวแรก และอายุเมื่อให้ลูกตัวที่สอง โดยวิธี Generalize Linear Model (GLM) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งมีโมเดลในการทดสอบอิทธิพลของปัจจัยคงที่และตัวแปรร่วมในแต่ละลักษณะ ดังนี้

- 1) ลักษณะน้ำหนักแรกเกิด (Table 6)

**Table 6.** Model for fixed effects and covariables test of birth weight

Fixed effects and Covariables	Models	
	1	2
<u>Fixed effect</u>		
Month at birth	✓	✓
Year at birth	✓	-
Parity	-	✓
Sex	-	✓
<u>Covariable</u>		
Age of dam	✓	-

✓ = the factors used in the model

## 2) ลักษณะน้ำหนักหย่านม (Table 7)

**Table 7.** Model for fixed effects and covariables test of weaning weight

Fixed effects and Covariables	Models				
	1	2	3	4	5
<u>Fixed effect</u>					
Month at birth	✓	-	✓	-	-
Year at birth	✓	-	-	✓	✓
Parity	-	✓	-	-	✓
Sex	-	✓	✓	✓	-
<u>Covariable</u>					
Age of dam	✓	-	-	-	-
Birth weight	-	✓	✓	-	-

✓ = the factors used in the model

## 3) ลักษณะน้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี (Table 8)

**Table 8.** Model for fixed effects and covariables test of yearling weight

Fixed effects and Covariables	Models			
	1	2	3	4
<u>Fixed effect</u>				
Month at birth	✓	-	-	-
Year at birth	✓	-	-	✓
Parity	-	✓	-	-
Sex	-	✓	-	✓
<u>Covariable</u>				
Age of dam	-	-	✓	✓
Birth weight	✓	-	-	-
Weaning weight	-	-	✓	-

✓ = the factors used in the model

## 4) ลักษณะอัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม (Table 9)

**Table 9.** Model for fixed effects and covariables test of pre-weaning average daily gain

Fixed effects and Covariables	Models				
	1	2	3	4	5
<u>Fixed effect</u>					
Month at birth	✓	-	-	-	-
Year at birth	-	✓	-	-	✓
Parity	-	✓	-	-	-
Sex	✓	-	✓	✓	-
<u>Covariable</u>					
Age of dam	-	-	✓	-	-
Birth weight	-	-	-	-	✓
Weaning weight	-	-	-	✓	-

✓ = the factors used in the model

## 5) ลักษณะอัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านม (Table 10)

**Table 10.** Model for fixed effects and covariables test of post-weaning average daily gain

Fixed effects and Covariables	Models					
	1	2	3	4	5	6
<u>Fixed effect</u>						
Month at birth	✓	-	-	-	-	-
Year at birth	-	✓	-	-	-	-
Parity	-	✓	-	✓	✓	-
Sex	✓	-	-	-	-	-
<u>Covariable</u>						
Age of dam	-	-	✓	-	✓	-
Birth weight	-	-	✓	✓	-	-
Weaning weight	-	-	-	-	-	✓
Yearling weight	-	-	-	-	-	✓

✓ = the factors used in the model

## 6) ลักษณะอายุเมื่อให้ลูกตัวแรก (Table 11)

**Table 11.** Model for fixed effects and covariables test of age at first calving

Fixed effects and Covariables	Models					
	1	2	3	4	5	6
<u>Fixed effect</u>						
Month at birth	✓	-	-	-	-	-
Year at birth	-	✓	-	✓	-	-
Parity	✓	-	-	-	-	-
<u>Covariable</u>						
Age of dam	-	✓	-	-	✓	-
Birth weight	-	-	✓	-	✓	✓
Weaning weight	-	-	✓	-	-	-
Yearling weight	-	-	-	✓	-	✓

✓ = the factors used in the model

## 7) ลักษณะอายุเมื่อให้ลูกตัวที่สอง (Table 12)

**Table 12.** Model for fixed effects and covariables test of age at second calving

Fixed effects and Covariables	Models					
	1	2	3	4	5	6
<u>Fixed effect</u>						
Month at birth	✓	✓	-	-	-	-
Year at birth	-	-	-	✓	-	-
Parity	✓	-	-	-	-	-
<u>Covariable</u>						
Age of dam	-	-	-	-	✓	✓
Birth weight	-	-	✓	-	-	-
Weaning weight	-	-	✓	-	-	✓
Yearling weight	-	✓	-	✓	✓	-
Age at first calving	-	-	-	-	-	✓

✓ = the factors used in the model

## 8) ลักษณะช่วงห่างการให้ลูก (Table 13)

**Table 13.** Model for fixed effects and covariables test of calving interval

Fixed effects and Covariables	Models					
	1	2	3	4	5	6
<u>Fixed effect</u>						
Month at birth	✓	-	-	✓	✓	-
Year at birth	✓	-	-	-	-	-
Parity	-	✓	-	-	-	-
<u>Covariable</u>						
Age of dam	-	✓	-	-	-	-
Birth weight	-	-	✓	-	-	-
Weaning weight	-	-	✓	-	✓	-
Yearling weight	-	-	-	✓	-	-
Age at first calving	-	-	-	-	-	✓
Age at second calving	-	-	-	-	-	✓

✓ = the factors used in the model

### 3.3.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของลักษณะการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์พันธุ์

วิเคราะห์ความแปรปรวน และความแปรปรวนร่วม ของลักษณะการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์พันธุ์ โดยวิธี Restricted Maximum Likelihood (REML) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ทั้งการวิเคราะห์ทีละลักษณะ ( univariate analysis) และการวิเคราะห์หลายลักษณะร่วมกัน (multivariate analysis) ด้วยโปรแกรม VCE4 (Groeneveld, 1998) เนื่องจากการ วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี ANOVA (Analysis of Variance) จะทำให้ได้ค่าความแปรปรวนที่ไม่มีการปรับด้วยอิทธิพลของปัจจัยคงที่และความสัมพันธ์ ระหว่างสัตว์ในพันธุ์ประวัติ ซึ่งปัจจุบันนิยม ใช้วิธี REML ในการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน เนื่องจากมีการปรับข้อมูล ด้วยอิทธิพลของ ปัจจัยคงที่ และปัจจัยสุ่มไปพร้อมกับความสัมพันธ์ ระหว่างตัว สัตว์ในพันธุ์ประวัติ ทำให้ ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของประชากรมากที่สุด



### 3.3.4 การประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมและคุณค่าการผสมพันธุ์

นำค่าความแปรปรวน อิทธิพลของปัจจัยคงที่ และตัวแปรร่วมที่ทำการทดสอบแล้วว่าไม่มีผลต่อลักษณะที่ต้องการศึกษา ไปใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมและคุณค่าการผสมพันธุ์ของลักษณะ การเจริญเติบโตและความสมบูรณ์พันธุ์ ได้แก่ ค่าอัตราพันธุกรรม ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม ค่าสหสัมพันธ์ของลักษณะปรากฏ และค่าประมาณคุณค่าการผสมพันธุ์ ด้วยโปรแกรม VCE 4 (Groeneveld, 1998) โดยใช้ mixed model equation (MME) (Henderson, 1984) หรือ animal models ด้วยวิธี Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) ซึ่งคุณค่าการผสมพันธุ์ที่ประมาณได้จากโคแต่ละตัว สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อการคัดเลือกได้โดยตรง ถึงแม้ว่าจะเป็นคนละชั่วอายุ (generation) เนื่องจากวิธีการนี้คำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวสัตว์ในการประเมินด้วย (สุวรรณ, 2533 ค) โดยปัจจัยคงที่และตัวแปรร่วมที่นำมาใช้ในโมเดลสำหรับประมาณค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมต่างๆ และคุณค่าการผสมพันธุ์ ที่จำแนกตามลักษณะการเจริญเติบโตและลักษณะความสมบูรณ์พันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 14

**Table 14.** Fixed effect and covariable in models for estimated Genetic Parameters and Breeding Values of growth and fertility traits

Fixed effects and Covariables	Traits							
	BW	WW	YW	Pre-ADG	Post-ADG	AFC	ASC	CI
<u>Fixed effect</u>								
Month at birth	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-
Year at birth	✓	✓	✓	-	✓	-	-	✓
Parity	✓	-	✓	-	-	-	✓	✓
Sex	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
<u>Covariable</u>								
Age of dam	✓	✓	-	-	-	-	-	✓
BW	-	✓	-	-	-	-	-	-
WW	-	-	✓	-	-	-	-	-

BW = birth weight, WW = weaning weight, YW = yearling weight, Pre-ADG = pre-weaning average daily gain, Post-ADG = post-weaning average daily gain, AFC = age at first calving, ASC = age at second calving, CI = calving interval, ✓ = the factors used in the model



การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมและคุณค่าการผสมพันธุ์ แบบ Univariate สามารถเขียนในรูปหุ่นสถิติได้ ดังนี้

1) ลักษณะน้ำหนักแรกเกิด

$$Y_{ijklmn} = \mu + Month_i + Year_j + Parity_k + Sex_l + b(AOD)_m + Animal_n + \varepsilon_{ijklmn}$$

- เมื่อ  $Y_{ijklmn}$  = ลักษณะน้ำหนักแรกเกิด  
 $\mu$  = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักแรกเกิด  
 $Month_i$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากเดือนที่เกิด (2 เดือน ตั้งแต่ มกราคม ธันวาคม)  
 $Year_j$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากปีที่เกิด ( 25 ปี ตั้งแต่ ปีพ.ศ.2527 - 2551)  
 $Parity_k$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากลำดับลูกที่คลอด (12 ลำดับ)  
 $Sex_l$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากเพศ (เพศผู้และเพศเมีย)  
 $b(AOD)_m$  = อิทธิพลของตัวแปรร่วมเนื่องจากอายุแม่เมื่อคลอด  
 $Animal_n$  = อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์ (891 ตัว)  
 $\varepsilon_{ijklmn}$  = อิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

2) ลักษณะน้ำหนักหย่านม

$$Y_{ijklmn} = \mu + Month_i + Year_j + Sex_k + b_1(AOD)_l + b_2(BW)_m + Animal_n + \varepsilon_{ijklmn}$$

- เมื่อ  $Y_{ijklmn}$  = ลักษณะน้ำหนักหย่านม  
 $\mu$  = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักหย่านม  
 $Month_i$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากเดือนที่เกิด (2 เดือน ตั้งแต่ มกราคม ธันวาคม)  
 $Year_j$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากปีที่เกิด ( 25 ปี ตั้งแต่ ปีพ.ศ.2527 - 2551)  
 $Sex_k$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากเพศ (เพศผู้และเพศเมีย)  
 $b_1(AOD)_l$  = อิทธิพลของตัวแปรร่วมเนื่องจากอายุแม่เมื่อคลอด  
 $b_2(BW)_m$  = อิทธิพลของตัวแปรร่วมเนื่องจากน้ำหนักแรกเกิด  
 $Animal_n$  = อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์ (891 ตัว)  
 $\varepsilon_{ijklmn}$  = อิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

## 3) ลักษณะน้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี

$$Y_{ijklmn} = \mu + Month_i + Year_j + Parity_k + Sex_l + b(WW)_m + Animal_n + \varepsilon_{ijklmn}$$

เมื่อ	$Y_{ijklmn}$	= ลักษณะน้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี
	$\mu$	= ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี
	$Month_i$	= อิทธิพลคงที่เนื่องจากเดือนที่เกิด (2 เดือน ตั้งแต่ มกราคม- ธันวาคม)
	$Year_j$	= อิทธิพลคงที่เนื่องจากปีที่เกิด ( 25 ปี ตั้งแต่ปีพ.ศ.2527 - 2551)
	$Parity_k$	= อิทธิพลคงที่เนื่องจากลำดับลูกที่คลอด (12 ลำดับ)
	$Sex_l$	= อิทธิพลคงที่เนื่องจากเพศ (เพศผู้และเพศเมีย)
	$b(WW)_m$	= อิทธิพลของตัวแปรร่วมเนื่องจากน้ำหนักหย่านม
	$Animal_n$	= อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์ (891 ตัว)
	$\varepsilon_{ijklmn}$	= อิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

## 4) ลักษณะอัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม

$$Y_{ij} = \mu + Month_i + Animal_j + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ	$Y_{ij}$	= ลักษณะอัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม
	$\mu$	= ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม
	$Month_i$	= อิทธิพลคงที่เนื่องจากเดือนที่เกิด (2 เดือน ตั้งแต่ มกราคม- ธันวาคม)
	$Animal_j$	= อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์ (891 ตัว)
	$\varepsilon_{ij}$	= อิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

## 5) ลักษณะอัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านม

$$Y_{ij} = \mu + Year_i + Animal_j + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ	$Y_{ij}$	= ลักษณะอัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านม
	$\mu$	= ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านม
	$Year_i$	= อิทธิพลคงที่เนื่องจากปีที่เกิด 25 ปี ตั้งแต่ปีพ.ศ.2527 - 2551)
	$Animal_j$	= อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์ (891 ตัว)
	$\varepsilon_{ij}$	= อิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

## 6) ลักษณะอายุเมื่อให้ลูกตัวแรก

$$Y_{ij} = \mu + Month_i + Animal_j + \varepsilon_{ij}$$

- เมื่อ  $Y_{ij}$  = ลักษณะอายุเมื่อให้ลูกตัวแรก  
 $\mu$  = ค่าเฉลี่ยของอายุเมื่อให้ลูกตัวแรก  
 $Month_i$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากเดือนที่เกิด (2 เดือน ตั้งแต่ มกราคม- ธันวาคม)  
 $Animal_j$  = อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์ (891 ตัว)  
 $\varepsilon_{ij}$  = อิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

## 7) ลักษณะอายุเมื่อให้ลูกตัวที่สอง

$$Y_{ijk} = \mu + Month_i + Parity_j + Animal_k + \varepsilon_{ijk}$$

- เมื่อ  $Y_{ijk}$  = ลักษณะอายุเมื่อให้ลูกตัวที่สอง  
 $\mu$  = ค่าเฉลี่ยของอายุเมื่อให้ลูกตัวที่สอง  
 $Month_i$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากเดือนที่เกิด (2 เดือน ตั้งแต่ มกราคม- ธันวาคม)  
 $Parity_j$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากลำดับลูกที่คลอด (12 ลำดับ)  
 $Animal_k$  = อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์ (891 ตัว)  
 $\varepsilon_{ijk}$  = อิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

## 8) ลักษณะช่วงห่างการให้ลูก

$$Y_{ijkl} = \mu + Year_i + Parity_j + b(AOD)_k + Animal_l + \varepsilon_{ijkl}$$

- เมื่อ  $Y_{ijkl}$  = ลักษณะอายุเมื่อให้ลูกตัวที่สอง  
 $\mu$  = ค่าเฉลี่ยของอายุเมื่อให้ลูกตัวที่สอง  
 $Year_i$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากเดือนที่เกิด (2 เดือน ตั้งแต่ มกราคม- ธันวาคม)  
 $Parity_j$  = อิทธิพลคงที่เนื่องจากลำดับลูกที่คลอด (12 ลำดับ)  
 $b(AOD)_k$  = อิทธิพลของตัวแปรร่วมเนื่องจากอายุแม่เมื่อคลอด  
 $Animal_l$  = อิทธิพลสุ่มเนื่องจากตัวสัตว์ (891 ตัว)  
 $\varepsilon_{ijkl}$  = อิทธิพลเนื่องจากความคลาดเคลื่อน

การประมาณค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) ของแต่ละลักษณะ สามารถนำมาปรับเป็นค่ามาตรฐาน ( Z ) ซึ่งอยู่ในรูปแบบของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบและนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือก เนื่องจากลักษณะแต่ละลักษณะมีหน่วยวัดและค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน อีกทั้งค่าพิสัยของแต่ละลักษณะยังมีความผันแปรภายในลักษณะแตกต่างกัน โดยเมื่อปรับคุณค่าการผสมพันธุ์ของทุกลักษณะให้เป็นค่ามาตรฐาน จะมีพิสัยตั้งแต่ -3 ถึง +3 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$Z_i = \frac{EBV_i}{SD_i}$$

$EBV_i$  = ค่าประมาณคุณค่าการผสมพันธุ์ของลักษณะที่ i

$SD_i$  = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะที่ i

การประมาณค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม และ สหสัมพันธ์ของลักษณะปรากฏ แบบ Multivariate ระหว่างลักษณะ 2 ลักษณะ มีปัจจัยในการวิเคราะห์ ดังนี้

#### ลักษณะการเจริญเติบโต

- 1) ระหว่างลักษณะน้ำหนักแรกเกิดและน้ำหนักหย่านม (Table 15)

**Table 15.** Factors in model for estimated correlation of birth weight and weaning weight

Factors	Type	Traits	
		Birth weight	Weaning weight
Animals	R	✓	✓
Month at birth	F	✓	✓
Year at birth	F	✓	✓
Parity	F	✓	-
Sex	F	✓	✓
Age of dam	C	✓	✓

C = covariable, R = random effect, F = fixed effect, ✓ = the factors used in the model

2) ระหว่างลักษณะน้ำหนักแรกเกิดและน้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี (Table 16)

**Table 16.** Factors in model for estimated correlation of birth weight and yearling weight

Factors	Type	Traits	
		Birth weight	Yearling weight
Animals	R	✓	✓
Month at birth	F	✓	✓
Year at birth	F	✓	✓
Parity	F	✓	✓
Sex	F	✓	✓
Age of dam	C	✓	-
Weaning weight	C	-	✓

C = covariable, R = random effect, F = fixed effect, ✓ = the factors used in the model

3) ระหว่างลักษณะน้ำหนักแรกเกิดและอัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม (Table 17)

**Table 17.** Factors in model for estimated correlation of birth weight and pre-ADG

Factors	Type	Traits	
		Birth weight	Pre-ADG
Animal	R	✓	✓
Month at birth	F	✓	✓
Year at birth	F	✓	-
Parity	F	✓	-
Sex	F	✓	-
Age of dam	C	✓	-

Pre-ADG = pre-weaning average daily gain, C = covariable, R = random effect, F = fixed effect,  
 ✓ = the factors used in the model

## 4) ระหว่างลักษณะน้ำหนักแรกเกิดและอัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านม (Table 18)

**Table 18.** Factors in model for estimated correlation of birth weight and post-ADG

Factors	Type	Traits	
		Birth weight	Post-ADG
Animal	R	✓	✓
Month at birth	F	✓	-
Year at birth	F	✓	✓
Parity	F	✓	-
Sex	F	✓	-
Age of dam	C	✓	-

Post-ADG = post-weaning average daily gain, C = covariable, R = random effect, F = fixed effect,  
 ✓ = the factors used in the model

## 5) ระหว่างลักษณะน้ำหนักหย่านมและน้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปี (Table 19)

**Table 19.** Factors in model for estimated correlation of weaning weight and yearling weight

Factors	Type	Traits	
		Weaning weight	Yearling weight
Animal	R	✓	✓
Month at birth	F	✓	✓
Year at birth	F	✓	✓
Parity	F	-	✓
Sex	F	✓	✓
Age of dam	C	✓	-

C = covariable, R = random effect, F = fixed effect, ✓ = the factors used in the model

6) ระหว่างลักษณะน้ำหนักหย่านมและอัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม (Table 20)

**Table 20.** Factors in model for estimated correlation of weaning weight and pre-ADG

Factors	Type	Traits	
		Weaning weight	Pre-ADG
Animal	R	✓	✓
Month at birth	F	✓	✓
Year at birth	F	✓	-
Sex	F	✓	-
Age of dam	C	✓	-

Pre-ADG = pre-weaning average daily gain, C = covariable, R = random effect, F = fixed effect,  
 ✓ = the factors used in the model

7) ระหว่างลักษณะน้ำหนักหย่านมและอัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านม (Table 21)

**Table 21.** Factors in model for estimated correlation of weaning weight and post-ADG

Factors	Type	Traits	
		Weaning weight	Post-ADG
Animal	R	✓	✓
Month at birth	F	✓	-
Year at birth	F	✓	✓
Sex	F	✓	-
Age of dam	C	✓	-

Post-ADG = post-weaning average daily gain, C = covariable, R = random effect, F = fixed effect,  
 ✓ = the factors used in the model



8) ระหว่างลักษณะน้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปีและอัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านม (Table 22)

**Table 22.** Factors in model for estimated correlation of yearling weight and pre-ADG

Factors	Type	Traits	
		Yearling weight	Pre-ADG
Animal	R	✓	✓
Month at birth	F	-	✓
Year at birth	F	✓	-
Sex	F	✓	-
Weaning weight	C	✓	-

Pre-ADG = pre-weaning average daily gain, C = covariable, R = random effect, F = fixed effect, ✓ = the factors used in the model

9) ระหว่างลักษณะน้ำหนักเมื่ออายุ 1 ปีและอัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านม (Table 23)

**Table 23.** Factors in model for estimated correlation of yearling weight and post-ADG

Factors	Type	Traits	
		Yearling weight	Post-ADG
Animal	R	✓	✓
Year at birth	F	✓	✓
Sex	F	✓	-

Post-ADG = post-weaning average daily gain, R = random effect, F = fixed effect, ✓ = the factors used in the model

10) ระหว่างลักษณะอัตราการเจริญเติบโตก่อนหย่านมและอัตราการเจริญเติบโตหลังหย่านม (Table 24)

**Table 24.** Factors in model for estimated correlation of pre-ADG and post-ADG

Factors	Type	Traits	
		Pre-ADG	Post-ADG
Animal	R	✓	✓
Month at birth	F	✓	-
Year at birth	F	-	✓

Post-ADG = post-weaning average daily gain, R = random effect, F = fixed effect, ✓ = the factors used in the model

### ลักษณะความสมบูรณ์พันธุ์

1) ระหว่างลักษณะอายุเมื่อให้ลูกตัวแรกและอายุเมื่อให้ลูกตัวที่สอง (Table 25)

**Table 25.** Factors in model for estimated correlation of age at first calving and age at second calving

Factors	Type	Traits	
		AFC	ASC
Animal	R	✓	✓
Year at birth	F	✓	✓
Parity	F	✓	✓
Birth weight	C	✓	-

AFC = age at first calving, ASC = age at second calving, C = covariable, R = random effect, F = fixed effect, ✓ = the factors used in the model

2) ระหว่างลักษณะอายุเมื่อให้ลูกตัวแรกและช่วงห่างการให้ลูก (Table 26)

**Table 26.** Factors in model for estimated correlation of age at first calving and calving interval

Factors	Type	Traits	
		AFC	CI
Animal	R	✓	✓
Parity	F	✓	✓
Birth weight	C	✓	-

AFC = age at first calving, CI = calving interval, C = covariable, R = random effect, F = fixed effect, ✓ = the factors used in the model

3) ระหว่างลักษณะอายุเมื่อให้ลูกตัวที่สองและช่วงห่างการให้ลูก (Table 27)

**Table 27.** Factors in model for estimated correlation of age at second calving and calving interval

Factors	Type	Traits	
		ASC	CI
Animal	R	✓	✓
Parity	F	✓	✓

ASC = age at second calving, CI = calving interval, R = random effect, F = fixed effect, ✓ = the factors used in the model