บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นของน้ำหนักตัวกับอายุ

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นระหว่างน้ำหนักตัวกับอายุ ประเมินด้วยวิธีการ Linear regression และ Curvilinear regression (Table 7) พบว่า ช่วงอายุแรกเกิด ถึง 12 ปี มีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (R^2) ของสมการ Cubic curvilinear มีค่าใกล้เคียงกับสมการ Quadratic curvilinear แต่มากกว่าสมการ Linear regression มีค่าเท่ากับ 0.818, 0.789 และ 0.621 ตามลำดับ

Table 7. Regression coefficient and coefficient of determination between weight and age from birth to 12 year

Equation	b_0	b_1	b_2	b_3	R^2
Linear regression	85.076	22.617	–	–	0.621**
Quadratic curvilinear	44.925	56.218	-3.698	–	0.789**
Cubic curvilinear	25.827	85.188	-11.488	0.511	0.818**

b_0 = y-Intercept, b_1, b_2, b_3 = regression coefficient, R^2 = coefficient of determination

** significant at P<0.01

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาเส้นถดถอยของน้ำหนักตัวกับอายุของโค ขาวลำพูน พบว่า เส้นถดถอยของสมการ Cubic curvilinear มีลักษณะใกล้เคียงกับค่าสังเกตและมีค่า R^2 สูงที่สุด จากเส้นถดถอยพบว่า โค ขาวลำพูน เริ่มมีน้ำหนักตัวคงที่เมื่ออายุ 3 ถึง 4 ปี (Figure 5)

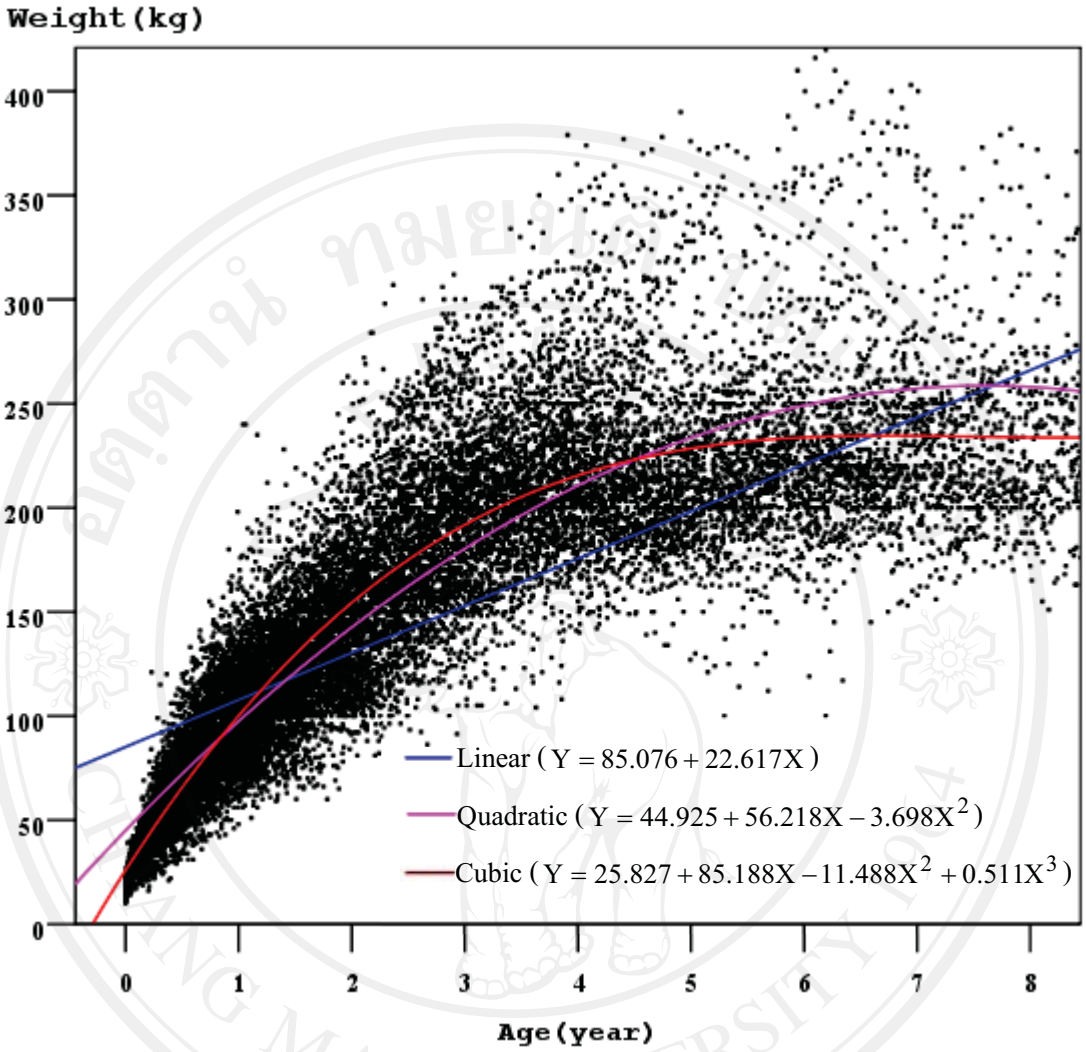


Figure 5. Regression line between weight and age from birth to 12 year

แบ่งน้ำหนักออกเป็นช่วงอายุเพื่อ อหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นระหว่างน้ำหนักตัวกับอายุ โดยแบ่งเป็น

- แรกเกิด ถึง อายุ 200 วัน
- อายุ 200 วัน ถึง อายุ 18 เดือน
- อายุ 18 เดือน ถึง โตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี)
- อายุโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) ถึง 12 ปี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1 แรกเกิด ถึง อายุ 200 วัน

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นระหว่างน้ำหนักตัวกับอายุ ประเมินด้วยวิธีการ Linear regression และ Curvilinear regression (Table 8) พบว่า ช่วงอายุแรกเกิด ถึง อายุ 200 วัน มีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (R^2) ของทั้ง 3 สมการ คือ Linear regression, Quadratic curvilinear และ Cubic curvilinear มีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.729, 0.733 และ 0.734 ตามลำดับ

Table 8. Regression coefficient and coefficient of determination between weight and age from birth to 200 days

Equation	b_0	b_1	b_2	b_3	R^2
Linear regression	20.222	0.277	–	–	0.729**
Quadratic curvilinear	18.783	0.350	0	–	0.733**
Cubic curvilinear	18.474	0.398	-0.001	2.51×10^{6}	0.734**

b_0 = y-Intercept, b_1, b_2, b_3 = regression coefficient, R^2 = coefficient of determination

** significant at $P<0.01$

4.1.2 อายุ 200 วัน ถึง อายุ 18 เดือน

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นระหว่างน้ำหนักตัวกับอายุ ประเมินด้วยวิธีการ Linear regression และ Curvilinear regression (Table 9) พบว่า ช่วงอายุ 200 วัน ถึง อายุ 18 เดือน มีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (R^2) ของทั้ง 3 สมการ คือ Linear regression, Quadratic curvilinear และ Cubic curvilinear มีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.275, 0.280 และ 0.280 ตามลำดับ

Table 9. Regression coefficient and coefficient of determination between weight and age from 200 days to 18 months

Equation	b_0	b_1	b_2	b_3	R^2
Linear regression	49.392	51.368	–	–	0.275**
Quadratic curvilinear	24.611	104.562	-26.534	–	0.280**
Cubic curvilinear	24.611	104.562	-26.534	0	0.280**

b_0 = y-Intercept, b_1, b_2, b_3 = regression coefficient, R^2 = coefficient of determination

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

** significant at P<0.01

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 อายุ 18 เดือน ถึง โตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี)

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นระหว่างน้ำหนักตัวกับอายุ ประเมินด้วยวิธีการ Linear regression และ Curvilinear regression (Table 10) พบว่า ช่วงอายุ 18 เดือน ถึง โตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) มีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (R^2) ของ ทั้ง 3 สมการ คือ Linear regression, Quadratic curvilinear และ Cubic curvilinear มีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 0.387, 0.391 และ 0.391 ตามลำดับ

Table 10. Regression coefficient and coefficient of determination between weight and age from 18 months to 3 – 4 years

Equation	b_0	b_1	b_2	b_3	R^2
Linear regression	56.229	0.128	–	–	0.387**
Quadratic curvilinear	1.430	0.258	-7.30×10^{5}	–	0.391**
Cubic curvilinear	18.195	0.197	0	-2.77×10^{8}	0.391**

b_0 = y-Intercept, b_1, b_2, b_3 = regression coefficient, R^2 = coefficient of determination

** significant at $P<0.01$

4.1.4 โตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) ถึง 12 ปี

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นระหว่างน้ำหนักตัวกับอายุ ประเมินด้วยวิธีการ Linear regression และ Curvilinear regression (Table 11) พบว่า ช่วงอายุโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) ถึง 12 ปี มีค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (R^2) ของทั้ง 3 สมการ คือ Linear regression, Quadratic curvilinear และ Cubic curvilinear มีค่าเท่ากัน คือ 0.056

Table 11. Regression coefficient and coefficient of determination between weight and age from 3 – 4 years to 12 years

Equation	b_0	b_1	b_2	b_3	R^2
Linear regression	198.810	4.815	–	–	0.056**
Quadratic curvilinear	194.233	6.268	-0.103	–	0.056**
Cubic curvilinear	182.356	11.909	-0.932	0.038	0.056**

b_0 = y-Intercept, b_1, b_2, b_3 = regression coefficient, R^2 = coefficient of determination

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

** significant at P<0.01

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (mature rate)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักตัวโค ขาวลำพูนที่อายุแรกเกิด, 200 วัน, 18 เดือน และน้ำหนักโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) เท่ากับ 18.09±2.44, 71.93±16.94, 121.54±25.43 และ 206.12 ±34.80 กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ คำนวณตามวิธีการของ Fitzhugh and Taylor (1971) โดยแบ่งเป็นช่วงอายุ ดังนี้

- แรกเกิด ถึง อายุ 200 วัน
- อายุ 200 วัน ถึง อายุ 18 เดือน
- อายุ 18 เดือน ถึง โตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของdegree of maturity (สมการที่ 3.1) ของโคขาวลำพูนที่อายุแรกเกิด, 200 วัน, 18 เดือน และน้ำหนักโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) เท่ากับ 0.08±0.01, 0.36±0.08, 0.59±0.12 และ 1.00 ตามลำดับ (Table 12)

Table 12. Means and standard deviation of body weight and degree of maturity

Age	N	body weight (kg)	N	degree of maturity
Birth	678	18.09±2.44	244	0.08±0.01
200 days	625	71.93±16.94	251	0.36±0.08
18 months	464	121.54±25.43	248	0.59±0.12
maturity (3 - 4 years)	288	206.12±34.80	288	1.00

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเจริญเติบโต (absolute growth rate; AGR, สมการ ที่ 3.2) ของโค ขาวลำพูน ที่ช่วงอายุแรกเกิดถึง 200 วัน, 200 วันถึง 18 เดือน และ 18 เดือนถึงน้ำหนักโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) เท่ากับ 0.2 6±0.0 8, 0.14±0.07 และ 0.12±0.04 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ (Table 13)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (absolute maturing rate; AMR, สมการ ที่ 3.3) ของโค ขาวลำพูน ที่ช่วงอายุแรกเกิดถึง 200 วัน, 200 วันถึง 18 เดือน และ18 เดือนถึงน้ำหนักโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) เท่ากับ 0.13±0.04, 0.07±0.03 และ 0.05±0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ (Table 13)

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ relative maturing rate (RMR, สมการที่ 3.4) ของโค ขาวลำพูน ที่ช่วงอายุแรกเกิดถึง 200 วัน, 200 วันถึง 18 เดือน และ18 เดือนถึงน้ำหนักโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) เท่ากับ 0.66±0.13, 0.15±0.06 และ 0.07±0.02 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ (Table 13)

Table 13. Means and standard deviation of absolute growth rate (AGR), absolute maturing rate (AMR) and relative maturing rate (RMR)

Age	AGR (kg/day)		AMR (%/day)		RMR (%/day)	
	N	Means	N	Means	N	Means
Birth to 200 days	544	0.26±0.08	223	0.13±0.04	544	0.66±0.13
200 days to 18 months	423	0.14±0.07	225	0.07±0.03	423	0.15±0.06
18 months to maturity (3 - 4 years)	248	0.12±0.04	248	0.05±0.01	248	0.07±0.02

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่

จากการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า degree of maturity เมื่ออายุแรกเกิด คือ เพศ พ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ ปีที่เกิด และลำดับลูกที่คลอด ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า degree of maturity ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า degree of maturity เมื่ออายุ 200 วัน คือ เพศ ฤดูกาลที่เกิด และปีที่เกิด และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า degree of maturity และเมื่ออายุ 18 เดือน คือ เพศ พ่อพันธุ์ ฤดูกาลเกิด ปีที่เกิด และลำดับลูกที่คลอด (Table 14)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า อัตราการเจริญเติบโต (AGR) ที่ช่วงอายุ แรกเกิดถึงอายุ 200 วัน คือ พ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ ฤดูกาลที่เกิด และ ปีที่เกิด ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า AGR ที่ช่วง อายุ 200 วันถึงอายุ 18 เดือน คือ พ่อพันธุ์ ฤดูกาลที่เกิด ปีที่เกิด และ ลำดับลูกที่คลอด และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า AGR ที่ช่วงอายุ 18 เดือนถึงโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) คือ เพศ ปีที่เกิด และลำดับลูกที่คลอด (Table 14)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า อัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (AMR) ที่ช่วงอายุ แรกเกิดถึงอายุ 200 วัน คือ เพศ พ่อพันธุ์ ฤดูกาลที่เกิด ปีที่เกิด และ ลำดับลูกที่คลอด ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า AMR ที่ช่วง อายุ 200 วันถึงอายุ 18 เดือน คือ ฤดูกาลที่เกิด ปีที่เกิด และ ลำดับลูกที่คลอด และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า AMR ที่ช่วง อายุ 18 เดือนถึงโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) คือ เพศ ฤดูกาลที่เกิด ปีที่เกิด และ ลำดับลูกที่คลอด (Table 14)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า relative maturing rate (RMR) ที่ช่วงอายุ แรกเกิดถึงอายุ 200 วัน คือ พ่อพันธุ์ แม่พันธุ์ ฤดูกาลที่เกิด ปีที่เกิด และ ลำดับลูกที่คลอด ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า RMR ที่ช่วง อายุ 200 วันถึงอายุ 18 เดือน คือ พ่อพันธุ์ ฤดูกาลที่เกิด และ ปีที่เกิด และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า RMR ที่ช่วง อายุ 18 เดือนถึงโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) คือ เพศ พ่อพันธุ์ ฤดูกาลที่เกิด ปีที่เกิด และ ลำดับลูกที่คลอด (Table 14)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Table 14. Factor affecting of degree of maturity, absolute growth rate (AGR), absolute maturing rate (AMR) and relative maturing rate (RMR)

Traits	Sex	Sire	Dam	Season of birth	Year of birth	Parity of dam
degree of maturity						
- Birth	**	**	**	ns	**	*
- 200 days	**	ns	ns	**	**	ns
- 18 month	**	*	ns	*	**	**
AGR						
- Birth to 200 days	ns	**	*	**	**	ns
- 200 days to 18 months	ns	**	ns	**	**	**
- 18 month to maturity	**	ns	ns	ns	**	*
AMR						
- Birth to 200 days	**	**	ns	**	**	*
- 200 days to 18 months	ns	ns	ns	**	**	**
- 18 month to maturity	**	ns	ns	*	**	**
RMR						
- Birth to 200 days	ns	**	**	**	**	**
- 200 days to 18 months	ns	**	ns	**	**	ns
- 18 month to maturity	**	*	ns	*	**	**

* significant at P<0.05

** significant at P<0.01

ns non significant

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 ค่าอัตราพันธุกรรมของค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่

จากการศึกษา พบว่า ค่าอัตราพันธุกรรมของค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ ที่ช่วงอายุแรกเกิดถึง 200 วัน, 200 วันถึง 18 เดือน และ18 เดือนถึงน้ำหนักโตเต็มที่ (3 ถึง 4 ปี) มีค่าเท่ากับ 0.407±0.109, 0.130±0.088 และ 0.115±0.070 ตามลำดับ (Table 15)

Table 15. Heritability of relative maturing rate (RMR)

Age	N	h^2
Birth to 200 days	543	0.407±0.109
200 days to 18 months	418	0.130±0.088
18 months to maturity (3 - 4 years)	243	0.115±0.070

4.5 วิธีการทดสอบการเจริญเติบโตที่เหมาะสม

เมื่อทดสอบสมการด้วยวิธีการ Steepest Descent พบว่า สมการ Brody เป็นสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุดและ R^2 ต่ำที่สุดเท่ากับ 6773.6 และ0. 764 ตามลำดับ ส่วนสมการ Exponential, Bertalanffy, Richards, Logistic และ Gompertz มีค่า MSE และ R^2 ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า MSE เท่ากับ 1370.2, 1321.2, 1338.2, 1294.0 และ 1305.0 ตามลำดับ และ R^2 เท่ากับ 0.952, 0.954, 0.953, 0.955 และ 0.954 ตามลำดับ จะเห็นว่าสมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่า MSE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุด (Table 16)

ค่าประมาณพารามิเตอร์ พบว่า สมการ Brody เป็นสมการที่มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) และค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) ต่ำที่สุด คือ 194.2±3.63 กิโลกรัม และ 0.24±0.16 ตามลำดับ ส่วนสมการ Exponential, Bertalanffy, Richards, Logistic และ Gompertz มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ใกล้เคียงกัน คือ 206.2±0.54, 206.1±0.49, 206.2±0.58, 206.8±0.45 และ 206.5±0.47 กิโลกรัม ตามลำดับ และค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) ใกล้เคียงกัน คือ 0.71±0.007, 0.93±0.009, 0.82±0.02, 1.34±0.01 และ 1.04±0.01 ตามลำดับ (Table 16)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Table 16. Means and standard errors of growth parameters by Steepest Descent method

Equations	A	B	k	m	MSE	R^2
Brody	194.2±3.63	11.83±3.25	0.24±0.16	–	6773.6	0.764*
Exponential	206.2±0.54	0.95±0.003	0.71±0.007	–	1370.2	0.952
Bertalanffy	206.1±0.49	0.52±0.003	0.93±0.009	–	1321.2	0.954
Richards	206.2±0.58	0.80±0.02	0.82±0.02	1.52±0.10	1338.2	0.953
Logistic	206.8±0.45	4.35±0.06	1.34±0.01	–	1294.0	0.955**
Gompertz	206.5±0.47	2.01±0.01	1.04±0.01	–	1305.0	0.954

A = asymptotic mature weight B = integration constant

k = mature rate m = power constant

MSE = Means square error R^2 = coefficient of determination

เมื่อนำสมการที่มีค่า MSE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุด คือ สมการ Logistic และสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุดและค่าR^2 ต่ำที่สุด คือ สมการ Brody มาสร้างกราฟแสดงการเจริญเติบโตของโคขาวลำพูน พบว่า สมการ Brody ให้เส้นกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง สอดคล้องกับการมีค่า MSE ที่สูงสุดและค่า R^2 ที่ต่ำสุด ส่วน สมการ Logistic ให้เส้นกราฟที่มีความชันในช่วงแรกของการเจริญเติบโตและจะเริ่มมีน้ำหนักตัวคงที่เมื่ออายุ 4 ปีขึ้นไป ซึ่งจะเห็นว่าใกล้เคียงกับลักษณะการเจริญเติบโตของโค (Figure 6)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

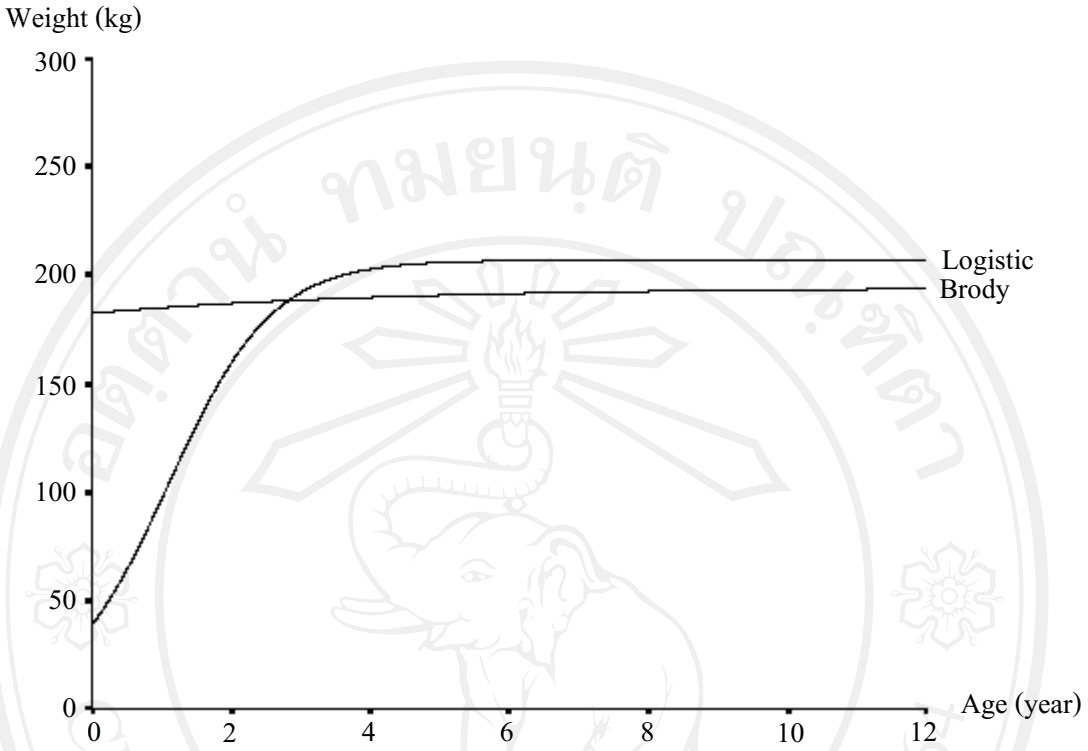


Figure 6. Growth curves of White Lamphun cattle by Steepest Descent method

$$y_t = 194.2 - 11.83 * e^{-0.24t} \quad (R^2 = 0.764) \quad : \text{Brody}$$

$$y_t = 206.8\left(1 + 4.35 * e^{-1.34t}\right)^{-1} \quad (R^2 = 0.955) \quad : \text{Logistic}$$

เมื่อทดสอบสมการด้วย วิธีการ Newton พบว่า สมการ Exponential เป็นสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุดและ R^2 ต่ำที่สุดเท่ากับ 4572.2 และ0.840 ตามลำดับ ส่วนสมการ Brody, Bertalanffy, Richards, Logistic และ Gompertz มีค่า MSE และ R^2 ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า MSE เท่ากับ 1075.8, 1076.9, 1081.2, 1110.1 และ 1083.6 ตามลำดับ และ R^2 เท่ากับ 0.962, 0.962, 0.962, 0.961 และ 0.962 ตามลำดับ จะเห็นว่าสมการ Brody เป็นสมการที่มีค่า MSE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุด(Table 17)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าประมาณพารามิเตอร์ พบว่าสมการ Exponential เป็นสมการที่มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ต่ำที่สุด คือ 169.0±0.56 กิโลกรัม ส่วนสมการ Brody, Bertalanffy, Richards, Logistic และ Gompertz มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ใกล้เคียงกัน คือ 248.5±0.67, 240.7±0.57, 239.0±0.55, 233.7±0.49 และ 238.3±0.54 กิโลกรัม ตามลำดับ สมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) สูงที่สุด คือ 1.06±0.008 ส่วนสมการ Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards และ Gompertz มีค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) ใกล้เคียงกัน คือ 0.45±0.004, 0.47±0.01, 0.64±0.005, 0.71±0.005 และ 0.75±0.006 ตามลำดับ (Table 17)

Table 17. Means and standard errors of growth parameters by Newton method

Equations	A	B	k	m	MSE	R^2
Brody	248.5±0.67	228.2±0.75	0.45±0.004	–	1075.8	0.962**
Exponential	169.0±0.56	0.20	0.47±0.01	–	4572.2	0.840*
Bertalanffy	240.7±0.57	0.49±0.002	0.64±0.005	–	1076.9	0.962
Richards	239.0±0.55	0.18±0.001	0.71±0.005	9.46	1081.2	0.962
Logistic	233.7±0.49	4.37±0.04	1.06±0.008	–	1110.1	0.961
Gompertz	238.3±0.54	1.91±0.01	0.75±0.006	–	1083.6	0.962

A = asymptotic mature weight B = integration constant

k = mature rate m = power constant

MSE = Means square error R^2 = coefficient of determination

เมื่อนำสมการที่มีค่า MSE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุด คือ สมการ Brody และสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุดและค่า R^2 ต่ำที่สุด คือ สมการ Exponential มาสร้างกราฟแสดงการเจริญเติบโตของโคขาวลำพูน พบว่า สมการ Exponential ให้เส้นกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง สอดคล้องกับการมีค่า MSE ที่สูงสุดและค่า R^2 ที่ต่ำสุด ส่วนสมการ Logistic ให้เส้นกราฟที่มีความชันในช่วงแรกของการเจริญเติบโตและจะเริ่มมีน้ำหนักตัวคงที่เมื่ออายุ 6 ปีขึ้นไป ซึ่งจะเห็นว่า ใกล้เคียงกับลักษณะการเจริญเติบโตของโค (Figure 7)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

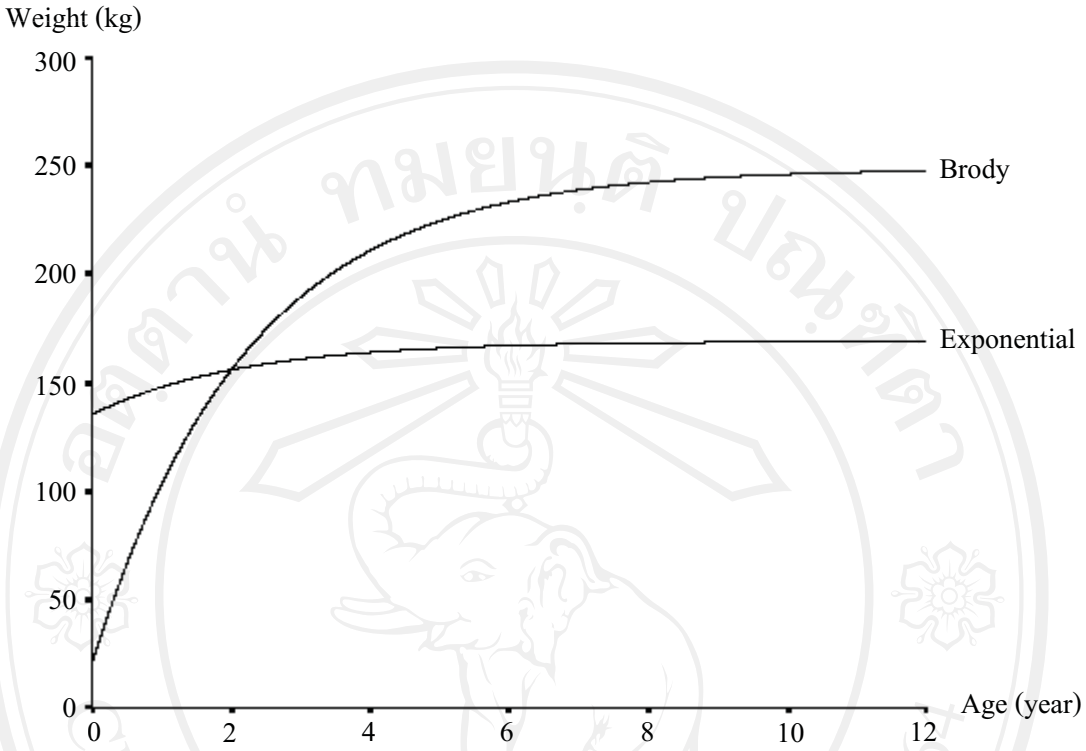


Figure 7. Growth curves of White Lamphun cattle by Newton method

$$y_t = 248.5 - 228.2 * e^{-0.45t} \quad (R^2 = 0.962) \quad : \text{ Brody}$$

$$y_t = 169\left(1 - 0.2 * e^{-0.47t}\right) \quad (R^2 = 0.840) \quad : \text{ Exponential}$$

เมื่อทดสอบสมการด้วย วิธีการ Gauss-Newton พบว่า สมการ Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards, Logistic และ Gompertz ทั้ง 6 สมการให้ค่า MSE และค่า R^2 ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า MSE เท่ากับ 1075.8, 1075.8, 1076.9, 1073.3, 1110.1 และ 1083.6 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.962, 0.962, 0.962, 0.962, 0.961 และ 0.962 ตามลำดับ จะเห็นว่า สมการ Richards เป็นสมการที่มีค่า MSE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุด และสมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุด และ R^2 ต่ำที่สุด (Table 18)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าประมาณพารามิเตอร์ พบว่า สมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ต่ำที่สุด คือ 233.7±0.47 กิโลกรัม ส่วนสมการ Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards และ Gompertz มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ใกล้เคียงกัน คือ 248.5±0.68, 248.5±0.68, 240.7±0.56, 244.6±0.77 และ 238.3±0.53 กิโลกรัม ตามลำดับ สมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) สูงที่สุด คือ 1.06±0.008 ส่วนสมการ Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards และ Gompertz มีค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) ใกล้เคียงกัน คือ 0.45±0.004, 0.46±0.004, 0.64±0.005, 0.53±0.01 และ 0.75±0.006 ตามลำดับ (Table 18)

Table 18. Means and Standard errors of growth parameters by Gauss-Newton method

Equations	**A**	**B**	**k**	**m**	**MSE**	**R^2**
Brody	248.5±0.68	228.2±0.75	0.45±0.004	–	1075.8	0.962
Exponential	248.5±0.68	0.92±0.002	0.45±0.004	–	1075.8	0.962
Bertalanffy	240.7±0.56	0.49±0.002	0.64±0.005	–	1076.9	0.962
Richards	244.6±0.77	0.81±0.02	0.53±0.01	1.37±0.06	1073.3	0.962**
Logistic	233.7±0.47	4.37±0.04	1.06±0.008	–	1110.1	0.961*
Gompertz	238.3±0.53	1.91±0.01	0.75±0.006	–	1083.6	0.962

A = asymptotic mature weight B = integration constant

k = mature rate m = power constant

MSE = Means square error R^2 = coefficient of determination

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อนำสมการที่มีค่า MSE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุด คือ สมการ Richards และสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุดและค่า R^2 ต่ำที่สุด คือ สมการ Logistic มาสร้างกราฟแสดงการเจริญเติบโตของโคขาวลำพูน พบว่าทั้ง 2 สมการ ให้เส้นกราฟที่ใกล้เคียงกัน แต่สมการLogistic ให้เส้นกราฟที่จะเริ่มมีน้ำหนักตัวคงที่เมื่ออายุ 4 ปีขึ้นไป แต่สมการ Richards ให้เส้นกราฟที่มีความชันในช่วงแรกของการเจริญเติบโตและจะเริ่มมีน้ำหนักตัวคงที่เมื่ออายุ 6 ปีขึ้นไป และน้ำหนักโตเต็มที่จะมากกว่าสมการ Logistic เล็กน้อย (Figure 8)

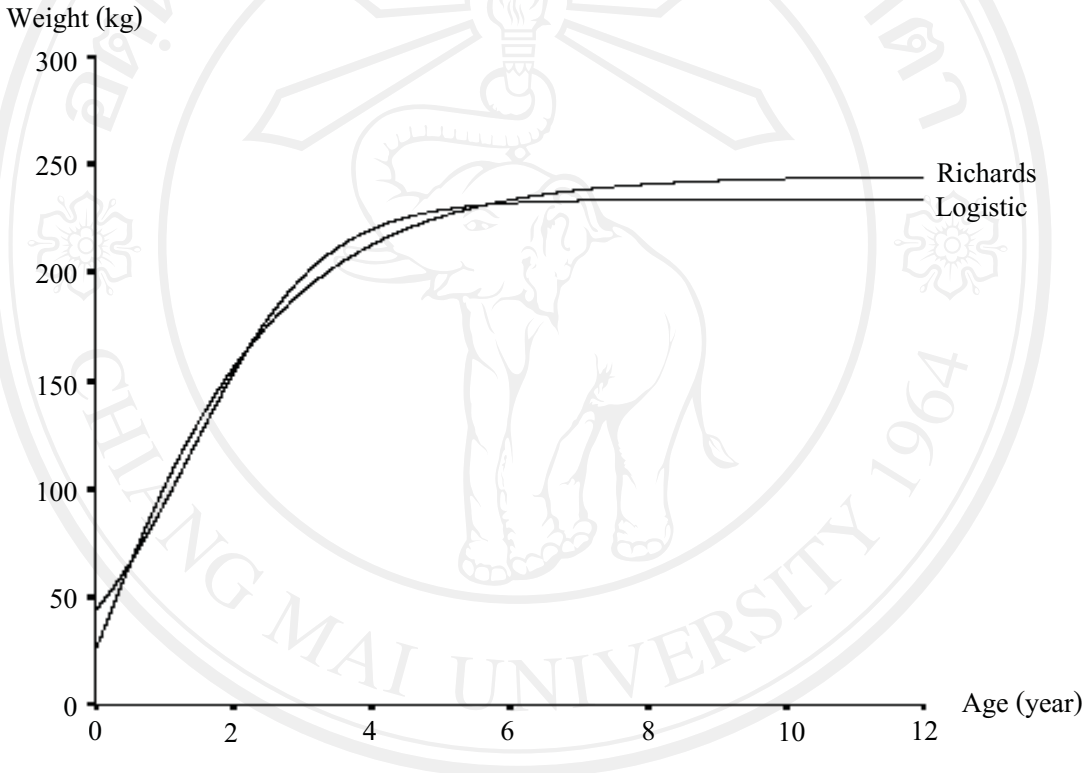


Figure 8. Growth curves of White Lamphun cattle by Gauss-Newton method

$$y_t = 244.6\left(1 - 0.81 * e^{-0.53t}\right)^{1.37} \quad (R^2 = 0.962) \quad : \text{ Richards}$$

$$y_t = 233.7\left(1 + 4.37 * e^{-1.06t}\right)^{-1} (R^2 = 0.961) \quad : \text{ Logistic}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อทดสอบสมการด้วย วิธีการ Marquardt พบว่า สมการ Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards, Logistic และ Gompertz ทั้ง 6 สมการให้ค่า MSE และค่า R^2 ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า MSE เท่ากับ 1075.8, 1075.8, 1076.9, 1073.3, 1110.1 และ 1083.6 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.962, 0.962, 0.962, 0.962, 0.961 และ 0.962 ตามลำดับ จะเห็นว่า สมการ Richards เป็นสมการที่มีค่า MSE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุด และสมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุด และ R^2 ต่ำที่สุด (Table 19)

ค่าประมาณพารามิเตอร์ พบว่า สมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ต่ำที่สุด คือ 233.7±0.47 กิโลกรัม ส่วนสมการ Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards และ Gompertz มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ใกล้เคียงกัน คือ 248.5±0.68, 248.5±0.68, 240.7±0.56, 244.6±0.77 และ 238.3±0.53 กิโลกรัม ตามลำดับ สมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) สูงที่สุด คือ 1.06±0.008 ส่วนสมการ Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards และ Gompertz มีค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) ใกล้เคียงกัน คือ 0.45±0.004, 0.45±0.004, 0.64±0.005, 0.53±0.01 และ 0.75±0.006 ตามลำดับ (Table 19)

Table 19. Means and Standard errors of growth parameters by Marquardt method

Equations	A	B	k	m	MSE	R^2
Brody	248.5±0.68	228.2±0.75	0.45±0.004	–	1075.8	0.962
Exponential	248.5±0.68	0.92±0.002	0.45±0.004	–	1075.8	0.962
Bertalanffy	240.7±0.56	0.49±0.002	0.64±0.005	–	1076.9	0.962
Richards	244.6±0.77	0.81±0.02	0.53±0.01	1.37±0.06	1073.3	0.962**
Logistic	233.7±0.47	4.37±0.04	1.06±0.008	–	1110.1	0.961*
Gompertz	238.3±0.53	1.91±0.01	0.75±0.006	–	1083.6	0.962

A = asymptotic mature weight B = integration constant

k = mature rate m = power constant

MSE = Means square error R^2 = coefficient of determination

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อนำสมการที่มีค่า MSE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุด คือ สมการ Richards และสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุดและค่า R^2 ต่ำที่สุด คือ สมการ Logistic มาสร้างกราฟแสดงการเจริญเติบโตของโคขาวลำพูน พบว่าทั้ง 2 สมการ ให้เส้นกราฟที่ใกล้เคียงกัน แต่สมการLogistic ให้เส้นกราฟที่จะเริ่มมีน้ำหนักตัวคงที่เมื่ออายุ 4 ปีขึ้นไป แต่สมการ Richards ให้เส้นกราฟที่มีความชันในช่วงแรกของการเจริญเติบโตและจะเริ่มมีน้ำหนักตัวคงที่เมื่ออายุ 6 ปีขึ้นไป และน้ำหนักโตเต็มที่จะมากกว่าสมการ Logistic เล็กน้อย (Figure 9)

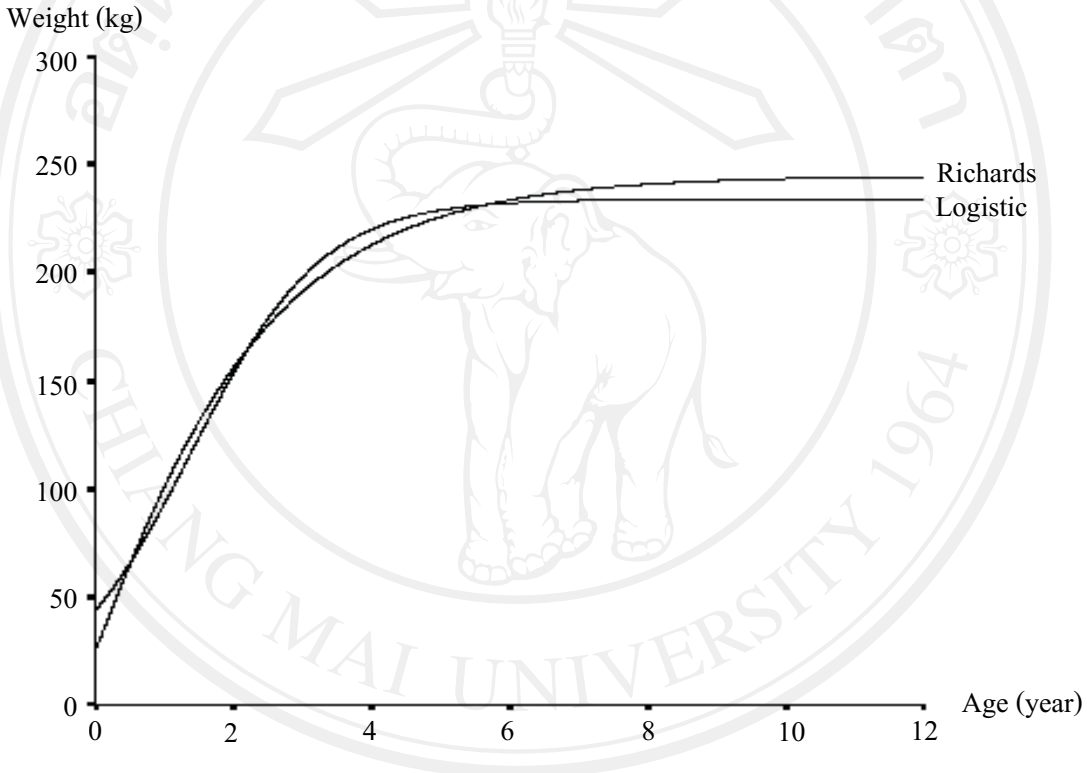


Figure 9. Growth curves of White Lamphun cattle by Gauss-Newton method

$$y_t = 244.6\left(1 - 0.81 * e^{-0.53t}\right)^{1.37} \quad (R^2 = 0.962) \quad : \text{ Richards}$$

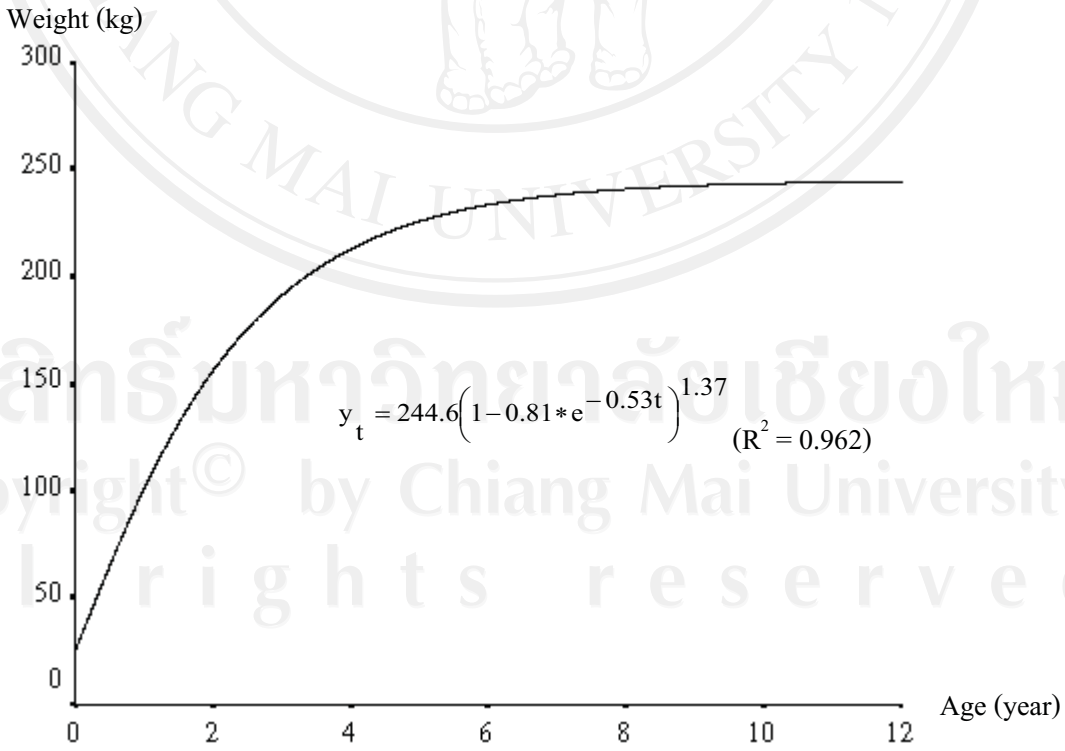
$$y_t = 233.7\left(1 + 4.37 * e^{-1.06t}\right)^{-1} (R^2 = 0.961) \quad : \text{ Logistic}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 สมการและกราฟการเจริญเติบโตที่เหมาะสม

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น จะเห็นว่า เมื่อใช้วิธี Gauss-Newton ในการทดสอบสมการที่เหมาะสมในโคขาวลำพูน พบว่า สมการที่เหมาะสมที่สุด คือ สมการ Richards เนื่องจากมีค่า MSE ต่ำที่สุด และ R^2 สูงที่สุด เท่ากับ 1073.3 และ 0.962 ตามลำดับ โดยมีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) เท่ากับ 244.6±0.77 กิโลกรัม และอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) เท่ากับ 0.53±0.01 ส่วนสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุดและ R^2 ต่ำที่สุด คือ สมการ Logistic ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1110.1 และ 0.961 ตามลำดับ และมีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) เท่ากับ 233.7±0.47 กิโลกรัม และอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) เท่ากับ 1.06±0.008 ตามลำดับ (Table 16)

เมื่อนำสมการที่เหมาะสมที่สุด คือ สมการ Richards มาสร้างกราฟแสดงการเจริญเติบโตของโคขาวลำพูน พบว่า การเจริญเติบโตในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี ซึ่งเป็นระยะแรกเกิดถึงวัยเจริญพันธุ์ จะมีความลาดชันของเส้นกราฟค่อนข้างสูงกว่าในระยะอื่นๆ แสดงถึงโคมีอัตรา การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ภายหลังจากช่วงอายุ 2 – 4 ปี การเจริญเติบโตจะมีอัตราที่ลดลงเป็นลำดับ จนกระทั่งเข้าสู่ศูนย์เมื่อเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ จากเส้นกราฟประมาณได้ว่าโคขาวลำพูนจะเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่เมื่ออายุ 6 ปีเป็นต้นไป (Figure 10)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Figure 10. Growth curves of White Lamphun cattle by Richards equation

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.7 สมการและกราฟการเจริญเติบโตแยกเพศ

เมื่อใช้วิธีการ Gauss-Newton ในการทดสอบสมการที่เหมาะสมในโคขาวลำพูนเพศผู้ พบว่า Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards, Logistic และ Gompertz ทั้ง 6 สมการให้ค่า MSE และค่า R^2 ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า MSE เท่ากับ 961.1, 961.1, 955.5, 952.9, 1008.1 และ 964.5 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.958, 0.958, 0.958, 0.958, 0.956 และ 0.958 ตามลำดับ จะเห็นว่าสมการ Richards เป็นสมการที่สมการที่เหมาะสมที่สุด โดยมีค่า MSE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุด และสมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุดและ R^2 ต่ำที่สุด (Table 20)

ค่าประมาณพารามิเตอร์ พบว่า สมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ต่ำที่สุด คือ 333.5±2.12 กิโลกรัม สมการ Brody และ Exponential มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) สูงที่สุด คือ 422±5.41 และ 422±5.41 กิโลกรัม ตามลำดับ สมการ Bertalanffy, Richards และ Gompertz มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ใกล้เคียงกัน คือ 367.8±3.11, 382.9±5.51 และ 355±2.69 กิโลกรัม ตามลำดับ สมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) สูงที่สุด คือ 0.83±0.008 ส่วนสมการ Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards และ Gompertz มีค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) ใกล้เคียงกัน คือ 0.22±0.004, 0.22±0.004, 0.41±0.006, 0.33±0.01 และ 0.51±0.006 ตามลำดับ (Table 20)

Table 20. Means and Standard errors of growth parameters by Gauss-Newton method of male cattle

Equations	A	B	k	m	MSE	R^2
Brody	422±5.41	397.5±5.10	0.22±0.004	–	961.1	0.958
Exponential	422±5.41	0.94±0.001	0.22±0.004	–	961.1	0.958
Bertalanffy	367.8±3.11	0.53±0.002	0.41±0.006	–	955.5	0.958
Richards	382.9±5.51	0.77±0.03	0.33±0.01	1.65±0.13	952.9	0.958**
Logistic	333.5±2.12	5.85±0.06	0.83±0.008	–	1008.1	0.956*
Gompertz	355±2.69	2.17±0.01	0.51±0.006	–	964.5	0.958

A = asymptotic mature weight B = integration constant

k = mature rate m = power constant

MSE = Means square error R^2 = coefficient of determination

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อใช้วิธีการ Gauss-Newton ในการทดสอบสมการที่เหมาะสมในโคขาวลำพูนเพศเมีย พบว่า Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards, Logistic และ Gompertz ทั้ง 6 สมการให้ค่า MSE และค่า R^2 ใกล้เคียงกัน โดยมีค่า MSE เท่ากับ 816.9, 816.9, 823.5, 816.5, 858.9 และ 831.3 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.974, 0.974, 0.973, 0.974, 0.972 และ 0.973 ตามลำดับ จะเห็นว่าสมการ Richards เป็นสมการที่สมการที่เหมาะสมที่สุด โดยมีค่า MSE ต่ำที่สุดและ R^2 สูงที่สุด และสมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่า MSE สูงที่สุดและ R^2 ต่ำที่สุด (Table 21)

ค่าประมาณพารามิเตอร์ พบว่า สมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ต่ำที่สุด คือ 227.6±0.45 กิโลกรัม ส่วนสมการ Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards และ Gompertz มีค่าประมาณน้ำหนักโตเต็มที่ (A) ใกล้เคียงกัน คือ 241±0.64, 241±0.64, 234.1±0.54, 239.5±0.77 และ 231.9±0.51 กิโลกรัม ตามลำดับ สมการ Logistic เป็นสมการที่มีค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) สูงที่สุด คือ 1.01±0.009 ส่วนสมการ Brody, Exponential, Bertalanffy, Richards และ Gompertz มีค่าอัตราการเข้าสู่น้ำหนักโตเต็มที่ (k) ใกล้เคียงกัน คือ 0.44±0.004, 0.44±0.004, 0.62±0.005, 0.47±0.01 และ 0.72±0.006 ตามลำดับ (Table 21)

Table 21. Means and Standard errors of growth parameters by Gauss-Newton method of female cattle

Equations	A	B	k	m	MSE	R^2
Brody	241±0.64	220.7±0.80	0.44±0.004	–	816.9	0.974
Exponential	241±0.64	0.91±0.003	0.44±0.004	–	816.9	0.974
Bertalanffy	234.1±0.54	0.48±0.002	0.62±0.005	–	823.5	0.973
Richards	239.5±0.77	0.87±0.01	0.47±0.01	1.11±0.04	816.5	0.974**
Logistic	227.6±0.45	4.17±0.05	1.01±0.009	–	858.9	0.972*
Gompertz	231.9±0.51	1.86±0.01	0.72±0.006	–	831.3	0.973

A = asymptotic mature weight B = integration constant
k = mature rate m = power constant
MSE = Means square error R^2 = coefficient of determination

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อนำสมการที่เหมาะสมที่สุด คือ สมการ Richards มาสร้างกราฟแสดงการเจริญเติบโตของโคขาวลำพูนแยกเพศ พบว่า เมื่อโคมีอายุ 2 ปีขึ้นไปโคเพศผู้จะมีน้ำหนักตัวมากกว่าเพศเมีย และเส้นกราฟในเพศเมียจะเริ่มมีน้ำหนักตัวคงที่เมื่ออายุ 4 ปีขึ้นไป แต่เส้นกราฟในเพศผู้จะเริ่มีน้ำหนักตัวคงที่เมื่ออายุ 6 ปีขึ้นไป (Figure 11)

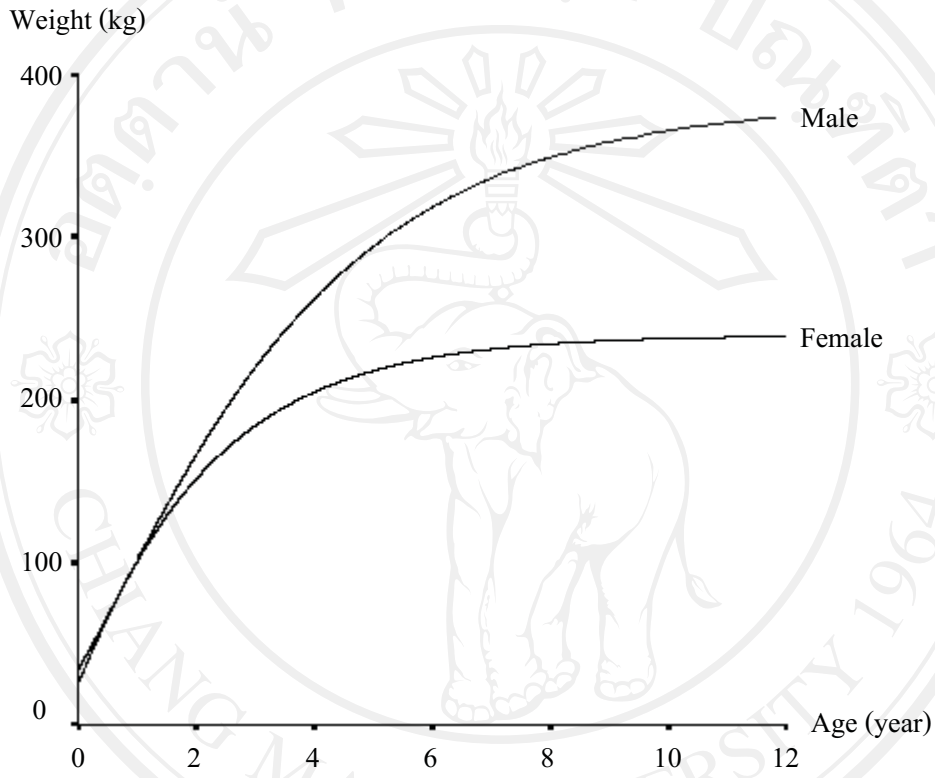


Figure 11. Growth curves of White Lamphun cattle males and females by Richards equation

$$y_t = 382.9\left(1-0.77*e^{-0.33t}\right)^{1.65};R^2 = 0.958 \quad : \text{Male}$$

$$y_t = 239.5\left(1-0.87*e^{-0.47t}\right)^{1.11};R^2 = 0.974 \quad : \text{Female}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved