

# 母豬繁殖系統模擬模式之探討

郭 玫 均 阮 喜 文

## 前 言

母豬繁殖效率的表現乃受諸多因子(環境、營養、遺傳、經濟等)的交互作用影響,其包含了母豬生長階段及繁殖階段的表現。傳統的研究方式並無法將這些因素綜合起來作量化和動態方式的解釋,然而,系統分析技術的進步,藉由模擬模式(Simulation model)的開發,能將整個母豬生產系統及其交互影響因子作一分析,已成為科學方法的重要部分。

本文主要介紹Pomar *et al.* (1991)所提出母豬繁殖期之電腦模擬模式。該模式以FORTRAN語言撰寫,根據豬隻品種、飼糧組成和管理狀況,依序來預測母豬之體組成及體重變化、胎兒之發育、母豬之泌乳量及哺乳期仔豬之生長,可藉由模擬生物對生長的基礎調節過程,將諸多影響繁殖表現的因子做一綜合探討。本文中引用之簡寫符號及意義詳如表1所示。

表1.

符號	意義
A	Constant
AT	Total body ash mass
B	Constant
C	Constant
Ei	Constant
DE	Digestible daily energy intake
HT	Total body mass of water
IPI	Ideal protein intake
IPTr	Intrinsic potential rate of protein accretion
Ki	Constants
Kj	Constant
LT	Total body mass of lipids
LTP	Body fat mass of the fetus and suckling pigs
LTPr	Fat accretion rate of the fetus and suckling pigs
LTr	Body lipid accretion rate
M	Constant
PP	Total body protein precursor mass : approximation of DNA
PPMX	Maximal protein precursor mass at maturity
PPr	Protein precursor rate of accretion
PT	Total body protein mass
PTDr	Rate of body protein degradation
PTMX	Maximal Protein mass at maturity
PTP	Body Protein mass of the fetus and suckling pigs
PTPr	Protein accretion rate of the fetus and suckling pigs
PTr	Body protein accretion
PTSr	Rate of body protein synthesis

t	Time
TBW	Total litter weight at birth
TLW	Total litter weight
WT	Live body weight

## 本 文

### 一、預測動物潛在的生長

生長是一種非常複雜的現象，其受遺傳與環境間的交互作用所決定。最廣泛的含義下，潛在的生長 (potential growth) 可被定義為動物於一未設限的環境中之生長情形 (Zoons *et al.*, 1991)。

Emmans (1981) 則指出，生長可視為由兩部分組成：

1. 正常性生長：所有的蛋白質、灰分、水分及某些最低量的脂肪生長。
2. 脂肪生長：高於最低量脂肪時以蓄積性脂肪生長。

在Pomar *et al.* (1991) 模式中，空體重 (Empty Body Weight) 被定義為動物空屠體中主要的化學組成重量之總和。

$$\text{Empty Body Weight} = \text{PT} + \text{LT} + \text{HT} + \text{AT}$$

在生理的觀點上，體內組成分相當多，但對動物生長期及繁殖期間各體組成的發展並未深入研究，故將之簡化為主要的化學體組成分，作為模式中之參數：體蛋白及體脂肪 (PT & LT)，並用來預測身體中水分 (HT) 和灰分 (AT) 之總重，Kotarbinska(1969)提出：

$$\text{HT} = 4.889\text{PT}^{0.855}, R^2 = 0.955$$

$$(1) \text{PTSr}(t) = K_2 \text{PP}(t)^{E_2} \quad (\text{蛋白質合成率})$$

$$(2) \text{PTDr}(t) = K_3 \text{PT}(t)^{E_3} \quad (\text{蛋白質分解率})$$

$$(3) \text{IPTr}(t) = \text{PTSr}(t) - \text{PTDr}(t)$$

$$(4) \text{PPr}(t) = K_1 ( \text{PPMX} - \text{PP}(t) ) \text{PP}(t)^{E_1}$$

- PPMX 為成熟蛋白質總量
- t 為動物日齡
- $K_i, E_i$  為常數

由於肌肉的發育乃由增加總核酸 Total nucleic acid 及每單位核酸的蛋白質蓄積量來完成，其受遺傳的控制，而 total muscle DNA 和 DNA/protein 於各品種間具有差異。

在任飼下，可假設豬隻蛋白質的生長不受其他外在因子之限制，圖1、圖2為公豬、母豬、閩公豬之標準PP和PT生長情形，潛在的蛋白質蓄積率 (IPTr) 則受體內因子的限制，包括動物年齡、體重、性別及種別 (Carret *et al.* 1977)。性別對潛在的蛋白質生長的影響，於本模式中使用特定的  $K_i$  參數值來表示，至於估計品種方面的文獻，則付之闕如。但 Taylor(1980) 指出，基於生物的生長過程原則下，不同品種的成熟體重皆有明顯的固定性，故成熟時體蛋白質總量 (PTMX)

乃取決於由遺傳決定的成熟時體蛋白質先驅物總量 (PPMX)。根據 Taylor 's rules，因此可使用PTMX與PPMX為變數以代替成熟體重，並求出K1值：

$$K1 = K1^w (PTMX^w / PPMX)^{0.79}$$

標具w者為根據 Walstra (1980)提出之資料而來，以上所述之方程式，乃豬隻於正常生長狀況下所得之體蛋白質蓄積。

Oltjen *et al.* (1985)指出：當動物受外在因子限制而影響體內蛋白質蓄積(PT<sub>r</sub>)時，則PP<sub>r</sub>亦以同比例受到限制。母豬體內儲存的養分耗盡時，則會有代償性的蛋白質生長，以恢復懷孕期和泌乳期間體蛋白的損失。

## 二、蛋白質和能量於體內的利用

IPI (Ideal protein intake) 乃根據ARC (1981) 中推薦懷孕期和泌乳期母豬所需之最適Lysine量來計算求得。

動物所攝取的能量和蛋白質首先滿足本身維持所需，其餘的代謝能 (ME) 和理想蛋白質攝食量 (IPI) 用以提供胎兒生長或乳汁生產，若有剩餘，則蓄積於體內。

當動物自飼糧中攝取的養分不足以提供懷孕或泌乳所需時，母體會分解體內所蓄積之養分，優先供應懷孕期胎兒發育或泌乳期之乳汁分泌所需的能量和蛋白質，其次才用於本身維持所需。而經由母體養分的釋出，使胎兒或哺乳仔畜的發育並不至受影響，尤其於懷孕末期或泌乳期之母畜本身常有失重情形，而母豬於離乳之後則會表現出代償性的生長，以彌補體內蓄積養分之損耗，如圖3所示。

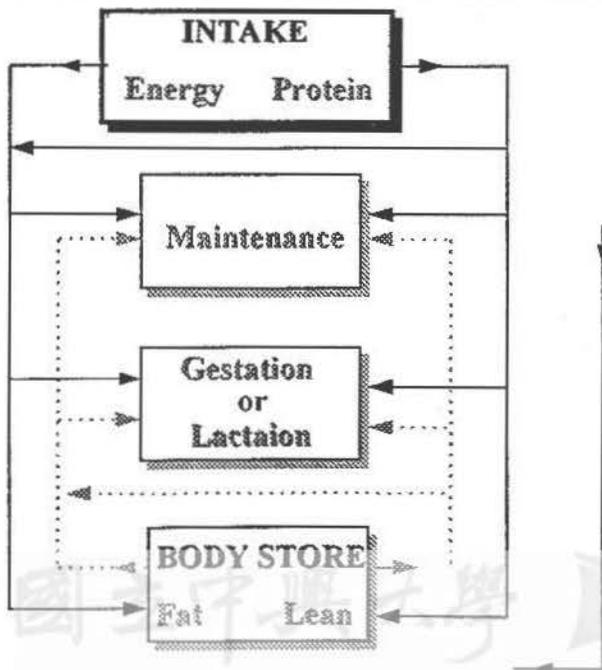


圖3. 體內能量和蛋白質之利用路徑  
實線路徑表示代謝過程，虛線路徑表示分解參與過程

圖4為懷孕期及泌乳期母豬之蛋白質和脂肪蓄積與損失 (LTr/PTr min 由遺傳決定)。

(一) 於生長階段時，LTr/PTr min 為第一象限中上升直線斜率 (0.4) 之倒數。於繁殖期中，LTr為每日最大脂肪損失之10%，此時PTr相當於0。當ME不足以合成LTr，即使吃進去的IPI>PTr (體內蓄積蛋白質)，則部分IPI會被分解 (去胺基作用)，以作為能量來源。

(二) 第一象限內PTr為正值，其最高值 (Top) 為IPTr，即是遺傳上潛在的蛋白質生長，此時剩餘的能量用作為LT蓄積於體內。

(三) 當動物變老時，IPTr則會下降：當體內蛋白質的合成到達高原停滯期後，體內蛋白質的降解率則會隨著體內總蛋白質 (PT) 的增加而增加。如動物予以任飼時，會到達其成熟蛋白質總量及穩定的體重，此時蛋白質及能量攝食量，則僅作為維持之用。

懷孕末期及泌乳期母畜本身經常有失重情形，此時體內蓄積之蛋白質皆用來克服營養上的缺失，但體重損失的組成分卻難以預估，由於牽涉的因子太多，如飼料採食量、母畜體組成及胎兒的體組成等；然而，蓄積蛋白質和脂肪很少單獨被分解，其自然狀況下的界限為：

1. 母豬分解蛋白質和脂肪組織的代謝能力 (即每日最大蛋白質和脂肪損失量)。
2. 每單位脂肪被分解時，最小的體蛋白質分解量，即左下象限中圖形的上界限 (slope=1/20)。
3. 每單位蛋白質被分解時，最小的體脂肪分解量，即左下象限中圖形的下界限。

唯對於體蛋白和體脂肪得以被分解的最大量，此方面的文獻並不多。Black *et al.*, (1986)等假設每日LT及PT損失0.6%至0.8%時，為乳量尚不致下降的界限，Pomar *et al.*, (1991)則假設每日損失0.6%的LT和PT為胎兒發育與乳量不致受影響之最高界限。

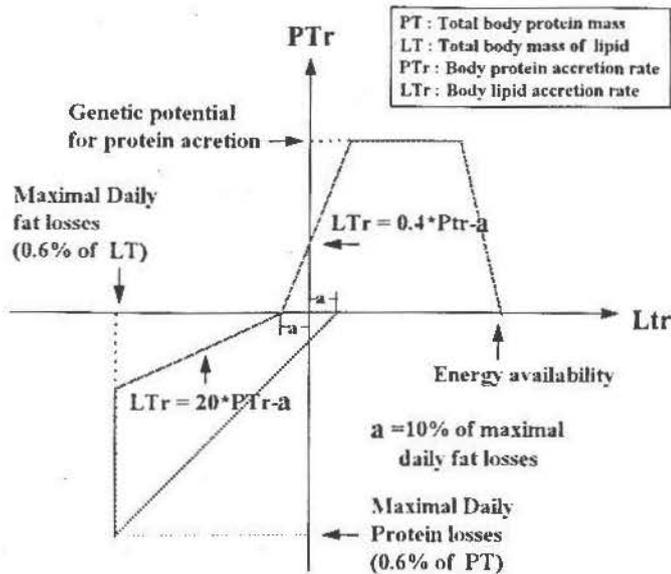


圖4. 母豬於懷孕期及泌乳期之蛋白質和脂肪蓄積與損失

### 三、胎兒的發育

#### (一) 胎兒出生體重之估計：

Tess *et al.*, (1983)提出 Total birth weigh (TBW)的計算如下：

$$TBW = 1.1 \times (\text{每窩出生仔數}) \times (\text{胎兒平均出生重})$$

估計時加上10%，包括出生死亡率，重吸收胎兒及懷孕產物之考慮。而方程式中每窩產仔數、胎兒出生重乃根據使用者所輸入之變數得來，其變數包括品種、胎次、配種時發情次數、前次泌乳期長度等。

Pomeroy(1960)提出在整個懷孕期每窩總重量 (total weight of the litter, TLW) 的估算方式，此方程式可用來估算每日胎兒的基礎生長：

$$TLW = 0.1(0.2447t - 4.06)^3 (TBW/1396)$$

t為懷孕期之天數

#### (二) 胎兒體組成之估計

於整個懷孕期間，胎兒的體組成並非固定不變，但在模式中則將之簡化並假設胎兒的總重中，包含11%蛋白質和1%脂肪及3.9%灰分。

此外，懷孕期的飼料採食量對每窩產仔數及體組成分之影響很輕微，若予以嚴重的蛋白質限飼，其對於母豬身體狀況的影響則遠大於胎兒的發育，且對胎兒的影響方面，通常在體脂肪的蓄積 (LTr) 而非蛋白質的蓄積 (PTPr)。因此，假設胎兒之每日體增重中，最小體脂肪蓄積佔1%，若當母豬有額外之脂肪蓄積時，胎兒的脂肪蓄積亦額外增加，即假設用於母體脂肪蓄積的能量中5%為直接提供胎兒的體脂肪蓄積。當飼以母豬高餵飼量時，胎兒體內脂肪的蓄積會達一高限，模式中並設限胎兒每日最高的體脂肪蓄積量，不得超過每日基礎蓄積量之5倍。

### (三) 營養分用於胎兒生長之效率估計

#### 1. 能量：

此方面文獻並不多，Black *et al.* (1986)指出，ME利用來作為胎兒生長之效率為0.6，若來自母體內蓄積能量之效率，則提高為0.8。

#### 2. 蛋白質：

至於理想蛋白質攝食量 (IPI) 用於胎兒生長效率之估計，由於部分蛋白質乃用於其他懷孕產物，則0.8為IPI蓄積於胎兒體內之效率，乃較合理之估計，若為來自母體蛋白質之蓄積效率則為0.95。

### 四、產乳量之估計

#### (一) 泌乳曲線的預估

由於估計母豬泌乳曲線的文獻不足，故引用 Wood (1969)提出之乳牛泌乳曲線，並加以修正，以符合母豬泌乳量之變化 (Elsley, 1971)。

每日平均泌乳量  $Y(t) = At^B e^{-ct}$  (from Wood, 1969)

A, B, C 為定義泌乳曲線之正參數

$B = M \times C$

M 為分娩至達泌乳高峰的時間

t 為泌乳期之週數

修正後  $t' = t + 25$ ，並以 SAS (1985) 之非線性最小平方法求得：

$A = 33.26 \times 10^{-6}$

$M = 2.46$

$C = 66.45 \times 10^{-3}$

模式中將泌乳高峰之泌乳量予以標準化，乃根據輸入 "genotype" 而決定泌乳高峰，為乳腺潛在之泌乳能力，即是在無營養因子或其他因子限制乳汁合成之情況下的潛在泌乳能力。每日乳生產量，則依標準泌乳曲線及泌乳高峰來計算，初期每日泌乳量為最大泌乳量之70%，泌乳期四週結束時，可達泌乳高峰。對於初產女豬的潛在泌乳能力，假設為母豬潛在泌乳之74%，第二產次以後的潛在泌乳量則為一致。此外，乳量亦受品種差異之影響 (Allen and Lasley, 1960)。

#### (二) 乳成分之預測

初乳之成分與常乳不同，隨著泌乳期天數而逐漸改變。

乳中能量含量於整個泌乳期幾乎不變。而乳中蛋白質濃度於分娩時較高，但於分娩後24小時內則快速地下降，其後下降速率趨於緩慢，直到泌乳期第16天乳中蛋白質濃度達最低。然而，分娩後第二週至第五週之間，乳汁中蛋白質含量的改變相當小，乳中蛋白質濃度假設為5.6%。

### (三) 飼料餵飼量對泌乳之影響

餵飼量對母豬泌乳早期乳量生產的影響並不大，O' Grady *et al.* (1973) 指出，母豬的採食低熱能會使泌乳晚期之乳量降低，然而，此影響會隨著胎次而更加顯著。

### (四) 母豬本身狀況對泌乳之影響

Klaver *et al.* (1981) 指出母豬的身體狀況為影響乳汁生產的原始因素：

1. 身體狀況佳的母豬於高產乳期可藉由體內所儲存之養分來取代日糧中攝取的不足。

2. 身體狀況差的母豬，則完全依賴飼料中採食的養分供應泌乳所需。

### (五) 每日乳產量之模擬

依據潛在泌乳量之計算，並由以下兩種情形來決定模擬所得之實際乳產量：

1. 仔豬的吸乳能力低於母豬潛在每日泌乳量。

2. 日糧中養分及母體蓄積之養分無法滿足潛在泌乳量之需要。

### (六) 營養分之轉換

1. ME 用於轉換成乳中能量之效率為0.7，體內蓄積能量轉為乳中能量為0.8。

2. Ideal Protein Intake 部分用於生長所需，而用於產乳則為80%；母豬體內蓄積蛋白質用於合成乳蛋白質之效率則為90%。

## 五、泌乳期仔豬生長之預測

### (一) 體內蛋白質總量及脂肪總量之預測

Tess *et al.* (1983) 提出：離乳前（出生至第56天）仔豬體內蛋白質總量及脂肪總量之預測：

$$PTP=0.1595+0.0190t+0.00032t^2$$

$$LTP=0.0145+0.0225t+0.00045t^2$$

t為仔畜之日齡

哺乳仔豬利用乳中營養，以滿足維持之能量及蛋白質需要及體內蛋白質和脂肪生長，當母豬無法提供足夠乳汁來滿足仔畜之需求時，則仔畜食用教槽料以補償能量之不足。

### (二) 教槽料使用的估計

1. 仔畜日齡需予特別考慮：

由於14日齡前之仔豬無法消化利用固體食物，故此時所採食固體食物量應忽略不計（NRC, 1987）。

2. 每日最大教槽料採食量之設限：

窩仔數較多或母豬泌乳量無法供應仔豬所需時，則仔豬傾向於消耗較多教槽料，此時，模式中之設限乃根據NRC (1987) 每日最大教槽料採食量，不得超過每日平均教槽料採食量之三倍。

### (三) 營養分於哺乳仔豬體內利用之預測

1. 14至35日齡仔豬之平均可消化能攝食量之估計如下：

$$DE=(MJ/kg)=0.0469t-0.6347$$

t表示仔豬之日齡

2. 假設乳汁總能 (GE) 之97%為仔豬可消化部分，而乳中蛋白質對仔豬之消化率為95%。教槽料與乳中可消化養分之总和即為仔豬所吸收之總代謝能和蛋白質。總理想蛋白質採食量，來自乳中者佔可消化蛋白質之95%，得以蓄積於體內；來自教槽料者，則IPI計算方式與生長期豬相同，依此則可預測哺乳豬體內之蛋白質蓄積率 (PTPr) 及脂肪蓄積率 (LTPr)。

3. 當限飼時，LTPr/PTPr=0.25，較生長豬為低，乃由於哺乳期仔豬之體增重中，脂肪所佔比例較低，其會隨著豬隻年齡而增加。

### 六、泌乳期母豬飼料採食量之預測

懷孕期及待配種母豬通常予以限飼，而對泌乳期母豬的飼養策略通常為任飼，此期間母豬採食量於初分娩時相當低，而後隨著泌乳階段而迅速上升。NRC (1987) 提出母豬於28天泌乳期的DE採食量之估算：

$$DE(MJ/d)=56.07+2.49t-0.072t^2$$

其中t為泌乳期之天數

Pomar *et al.* (1991) 模式中並未考慮胎次，而認為泌乳期DE採食量乃直接與母豬體蛋白總量 (PT) 有關，故假設母豬平均體蛋白總量為27kg，則再將上式之估算值再乘上PT/27得之。

## 結 論

Pomar *et al.* (1991) 指出，整個模式之發展過程，必須經由數學上和邏輯上一致性的確定，才得以完成。而模式的有效性，則需藉由其預測結果與實際表現值之比較來達成。然而，在比較預測值與實際的體增重與體組成，則因缺乏確實的資料，而無法提供生物本身和試驗狀況之特性。尤其繁殖表現之模擬，必須賴以動物本身之遺傳特性，及其環境和管理的狀況才能進行模擬。

為了增加模式的可信度，應將現今各品種或雜交種於不同環境下之表現，予以完整建立，因為事實上，實際飼養與模擬結果之差異，部分係來自缺乏各品種之資料所致。且蛋白質總量 (PT) 對於決定動物維持之能量和蛋白質需求，扮演著間接卻重要的角色，故應探討成熟動物對於維持之確實營養需要量及其主要的影響因子。

該模式中並未將溫度和季節因素加入考慮，為不合理之處。應將其影響因子予以合理量化，並結合考慮營養、遺傳和管理上之狀況，以擴大模式的可行性。

## 參考文獻

- Allen, A. D., and J. F. Lasley. 1960. Milk production of sows. *J. Anim. Sci.* 9:150.
- ARC. 1981. The Nutrient Requirements of pigs. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, U.K.
- Black, J. L., R. G. Campbell, I. H. Williams, K. J. James, and G. T. Davies. 1986. Simulation of energy and Amino acid utilization in the pig. *Res. Dev. Agric.* 3:121.
- Carr, J. R., K. N. Boorman, and D. J. A. Cole. 1977. Nitrogen retention in the pig. *Br. J. Nutr.* 37:143.
- Elsley, F. W. H. 1971. Nutrition and lactation in the sow. In: I. R. Falconer model of Wood. (Ed.) *Lactation*. P 393. Butterworths, London, U.K.
- Emmans, G. C. 1981. A model of growth and feed intake of *ad libitum* fed animals, particularly poultry. In: *Computers in Animal Production* (ed. G. M. Hillyer, C. T. Whittemore and R. G. Gunn), pp.103-110. BSAP occasional publication No. 5, Thames Ditton, U.K.
- Klaver, J., G.J.M. van Kempen, P.G.B. de Lange, M.W.A. Verstegen, and H. Boer. 1981. Milk composition and dietary yield of different milk components as affected by sow condition and lactation/feeding regimen. *J. Anim. Sci.* 52:1091.
- Kotarbinska, M. 1969. Banadia and Przemiana Energgii u Rosnacych Swin. Instytut Zootechniki, Krakow, Wydawnictwa Wlasne, No. 238, Wroclaw. P 68.
- NRC. 1987. Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals. National Academy Press, Washington, DC.
- O' Drady, J. F., F. W. H. Elsley, R. M. Macpherson and I. McDonald. 1973. The response of lactating sows, and litters to different dietary energy allowances. I. Milk yield and composition, reproductive performance of sows and growth rate of litters. *Anim. Prod.* 17:65.
- Oltjen, J. W., A. C. Bywater, and R. L. Baldwin. 1985. Simulation of normal protein accretion in rats. *J. Nutr.* 115:45.
- Oltjen, J. W., A. C. Bywater, and R. L. Baldwin and W. N. Garrett. 1986b. Developmeent of a dynamic model of beef cattle growth and composition. *J. Anim. Sci.* 62:86.
- Pomar, C., D. L. Harris, and F.Minvielle. 1991. Computer simulation model of swine production systems : I. Modeling the growth of young pigs. *J. Anim. Sci.* 69:1468-1488.
- Pomar, C., D. L. Harris, and F.Minvielle. 1991. Computer simulation model of swine production systems : II. Modeling body composition and weight of female pigs, fatal development, milk pro-duction, and growth of sucking pigs. *J. Anim. Sci.* 69:1489-1502.
- Pomeroy, R. W. 1960. Infertility and neonatal mortality in the sow.III. Neonatal mortality and foetal development. *J. Agric. Sci.* 54:31.
- SAS Institute, 1985. SAS/STAT Guide for Personal Computers. Version 6 Edition. SAS Institnte Ine., Cury, NC.
- Taylor, St. C. S. 1980. Genetic size-scaling rules in animal growth. *Anim. Pro.* 30:161.

- Tess, M. W., G. L. Bennett, and G. E. Dickerson. 1983. Simulation of genetic changes in life cycle efficiency of pork production. I. A bioeconomic model. *J. Anim. Sci.* 56:336-353.
- Whittemore, C. T., 1983. Development of recommended energy and protein allowances for growing pigs. *Agric. Syst.* 11:159.
- Whittemore, C. T., and C. A. Morgan. 1990. Model components for the determination of energy and protein requirement for breeding sows: A review. *Live. Pro. Sci.* 26:1-37.
- Wood, P.D.P. 1969. Factors affecting the shape of the lactation curve in cattle. *Anim. Prod.* 11:307.
- Zoons, J., J., and E. Decuyper. 1991. Mathematical models in broiler raising. *World Poult. Sci. J.* 47:243-255.

國立中興大學



National Chung Hsing University