



國立臺灣大學生物資源暨農學院動物科學技術學系

碩士論文

Department of Animal Science and Technology

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

白肉雞飼糧中理想胺基酸組成之建立

Establishing the Dietary Ideal Amino Acid Pattern

for Broiler

李柏勳

Bo-Syun Li

指導教授：魏恒巍 博士

Supervisor: Hen-Wei Wei, Ph.D.

中華民國 109 年 7 月

July, 2020



## 致謝



在這兩年的碩士生涯中，感謝魏恒巍老師對於試驗的指導，以及在我受挫時給我的建議與鼓勵，讓我的學業知識、心理素質與對於時間的管理方面，在這段期間有很大的增長。老師與我分享為人處事的經驗，還有對於人生價值觀和未來生涯的開導等，我將銘記於心。另外感謝楊俊賢協理、顏隨香小姐的幫助，讓我在碩士生涯中得以獲得福壽實業股份有限公司的獎學金，減少在生活與學習上的經濟負擔。

特別感謝王翰聰老師、李滋泰老師、林原佑老師在百忙之中，撥空來參與我的學位口試，並且提出不同面向的意見，讓我可以有更多層面的思考，得以使論文更趨完整。另外感謝宜蘭大學的李德南老師，在大學四年來的教導，讓我對於營養領域的知識有一定的基礎。還有感謝系上所有老師在課堂或是專討上的教導與建議、系辦的廖學姐、游學長與林阿姨在行政事務上的幫忙，讓我減少了許多負擔與困擾。

自從兩年前加入家禽營養研究室以來，感謝火車、之之、昱成學長的照顧與教導，還有東東學長、旻毅、冠緯、宥靚，以及所有在我試驗上給予幫助與意見的人。另外我要感謝怡文，在這一路上陪我過著配飼料、管飼的日子，尤其是在我的試驗不停失敗的時候給我很大的鼓勵，讓我有動力可以繼續向前。在進行管飼試驗時，連續幾個月的日子妳都跟我過著如地獄般的生活，從早上七點到晚上十點都沒有說過一聲累，每天都來幫忙，如果少了妳，不會有這本論文，也謝謝一路支持我的家人和肥豬黑皮，在我受挫時給予我安慰與鼓勵，讓我得以持續下去。

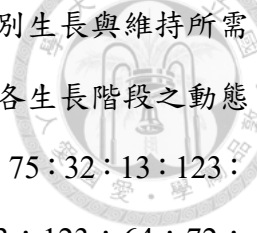
最後，得之於人遠多於出之於己，僅以此論文的致謝，來獻給所有關心、幫助或是給予我鼓勵的人，不管是老師、同學或是家人，謝謝你們給我的支持、鼓勵與包容，感謝你們。



## 摘要

本研究之目的乃在探討現今商用白肉雞對各必需胺基酸之可消化需要量，以及整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸間之比例，藉以建立飼糧中理想胺基酸組成。

本研究分為四個試驗，皆以 3 日齡之雄性白肉雞 (Arbor Acres Plus) 為試驗動物，試驗為期 7 日，至 10 日齡結束。試驗一以滿足愛拔益加飼養管理手冊 0 至 10 日齡各營養分推薦量之玉米 - 大豆粕實用飼糧餵飼雞隻，並根據每日體重、採食量與飼糧中可代謝能濃度，計算出 3 至 10 日齡白肉雞平均每日每公斤代謝體重所對應之可代謝能需要量 ( $k$  值) 為  $381.10 \pm 23.83$  kcal。試驗二則參考愛拔益加飼養管理手冊與 NRC (1994) 之各必需胺基酸推薦量，配製各必需胺基酸總推薦量之 50、75、100、125 或 150% 半純化飼糧，並且依據雞隻個別代謝體重、 $k$  值與處理飼糧之可代謝能濃度，計算每日應有之採食量，進行管飼。試驗結束後，以比較性屠宰法分析其體氮蓄積率，將結果以二次曲線模型進行分析，結果得知在總推薦量百分比為 109.75% 時，能致使體氮蓄積率表現最佳。試驗三以試驗二之結果為對照組飼糧，其餘組別則分別是以每一個必需胺基酸當成唯一限制胺基酸之缺乏組，且同一缺乏組有兩種不同缺乏程度，分別為對照組的 50% 與 60%。試驗期間之餵食方式亦以管飼進行，試驗結果顯示，將對照組之體氮蓄積率畫成一條水平線，再將各胺基酸缺乏組別所對應的體氮蓄積率進行直線迴歸，各組迴歸直線與對照組的水平線之交點的  $x$  軸對應值，即為白肉雞每日每公斤代謝體重對此必需胺基酸用於生長加維持之需要量。而各迴歸直線的斜率之倒數和迴歸直線與  $x$  軸的截距，則分別代表雞隻每日每公斤代謝體重對此必需胺基酸用於生長與維持之需要量。另將所求得之生長、維持、生長加維持之各必需胺基酸需要量除以離胺酸組之數值，則得到 3 至 10 日齡肉雞生長加維持所需之理想必需胺基酸組成為 Lys : Arg : SAA : His : Trp : Leu : AAA : Ile : Thr : Val = 100 : 108 : 74 : 32 : 13 : 123 : 123 : 63 : 70 : 81 ; 生長所需之組成為 100 : 113 : 77 : 33 : 13 : 125 : 123 : 66 : 74 : 83 ; 維持

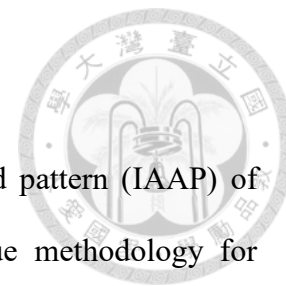


所需之組成為 100 : 21 : 5 : 13 : 15 : 58 : 125 : 3 : 11 : 41。將個別生長與維持所需之需要量，和不同生長階段之體蛋白質蓄積率，與代謝體重進行各生長階段之動態性估測，可求得 0 至 10 日齡之理想必需胺基酸組成為 100 : 111 : 75 : 32 : 13 : 123 : 123 : 64 : 72 : 81 ; 10 至 21 日齡為 100 : 111 : 75 : 32 : 13 : 123 : 123 : 64 : 72 : 81 ; 21 日齡至 35 日齡為 100 : 109 : 74 : 32 : 13 : 122 : 123 : 63 : 71 : 81。試驗四以添加不同濃度之非必需胺基酸與試驗三求得之 3 至 10 日齡各必需胺基酸生長加維持之需要量，分別配製出五種飼糧中整體必需胺基酸 (E) 佔總胺基酸 (T) 比例 (E : T) 為 0.62、0.48、0.39、0.32 或 0.28 之組別，並以管飼進行試驗，試驗結果顯示隨著飼糧中 E : T 增加，體氮蓄積率呈線性提升 ( $P < 0.01$ )，而氮利用效率則呈線性下降 ( $P < 0.01$ )，兩指標之高原期轉折點分別為 0.37 與 0.44。

綜合上述所建立之理想胺基酸組成，可當成評判商用飼料中必需胺基酸組成良窳之參考，以期能對白肉雞生長性能與飼糧中胺基酸的平衡能有效地提升及改善。

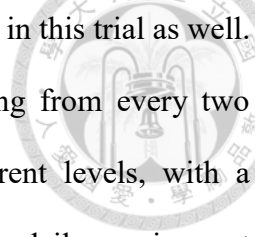
關鍵字：白肉雞、理想胺基酸組成、體氮蓄積率、必需胺基酸、非必需胺基酸

## Abstract



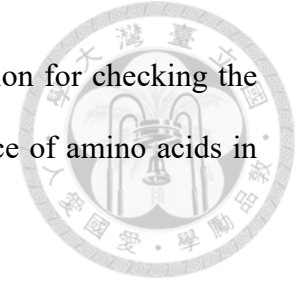
The objective of this study was to establish ideal amino acid pattern (IAAP) of dietary protein for current commercial broiler by using a unique methodology for investigating digestible requirements for individual essential amino acids and to determine a proper proportion between essential and non-essential amino acids.

In this study, three-day-old male broilers were used as an experimental animal model. The test lasted for 7 days and ended at 10 days of age. The study was divided into four trials. First trial was to feed the chickens with a practical diet, based on corn and soybean meal, meeting the recommended nutritional requirements in the Arbor Acres broiler feeding management manual. According to the daily body weight, feed intake and the metabolizable energy concentration in the diet, the mean of metabolizable energy requirement ( $k$  value) for daily maintenance plus growth based on metabolic body weight was calculated as  $381.10 \pm 23.83$  kcal for 3 to 10 day old broiler. In the second trial, the percentages of all essential amino acids in five diets were designed as 50, 75, 100, 125 or 150% referring to the broiler requirements suggested by the Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014) and NRC (1994). According to the individual metabolic body weight of individual broilers, the  $k$  value obtaining in trial 1 and the metabolizable energy concentration of the corresponding diet, daily feed intake was computed for intubation. In the end of the experiment, the nitrogen retention rate was calculated by comparative slaughtering. To result in the best nitrogen retention rate for broiler from Day 3-10, the results were computed by a quadratic regression model to acquire an optimum percentage of requirements, 109.75%, recommended by the afore-mentioned literature for all essential amino acids. In the third trial, the results of the trial 2 was served as the diet for the control group. Individual essential amino acids were assigned to be the only limiting amino acid in corresponding deficiency groups, and the deficiency level was 50 or 60%



of the control group, respectively. The intubation was also conducted in this trial as well. The x coordinate of an intersection for each straight line, resulting from every two deficient groups with the same limiting amino acid but at different levels, with a horizontal line from the response of the control group represented the daily requirement for the corresponding essential amino acid based on metabolic body weight for growth plus maintenance. The x-intercept and the reciprocal of slope for each straight line stood for the respective requirement for maintenance and growth, respectively, corresponding to the examined amino acid. The each amino acid requirements obtained for growth, maintenance, and growth plus maintenance were divided by the value of lysine to obtain the ideal essential amino acid pattern (IEAAP) for growth plus maintenance from 3 to 10 days of age was Lys: Arg: SAA: His: Trp: Leu: AAA: Ile: Thr: Val =100: 108: 74: 32: 13: 123:123: 63: 70: 81, respectively, for growth was 100: 113: 77: 33: 13 : 125: 123: 66: 74: 83, respectively, and for maintenance was 100: 21: 5: 13: 15: 58: 125: 3: 11: 41, respectively. The requirements for respective growth and maintenance, the body protein accumulation rate and metabolic body weight of different growth stages were used to estimate dynamically the IEAAP at each growth stage. The IEAAP was computed as 100: 111: 75: 32: 13: 123: 123: 64: 72: 81 for 0 to 10 days of age, as 100: 111: 75: 32: 13: 123: 123: 64: 72: 81 for 10 to 21 days of age, and as 100: 109: 74: 32: 13: 122: 123: 63: 71: 81 for 21 to 35 days of age. In the fourth trial, the ratio of overall essential amino acids relative to total amino acids (E: T) was designed as 0.62, 0.48, 0.39, 0.32 or 0.28 by changing dietary non-essential amino acid levels and fixing individual essential amino acid requirement levels for growth plus maintenance from the trial 3. The feeding way was also conducted by intubation. The results showed that the nitrogen retention rate increased linearly ( $P < 0.01$ ) while the nitrogen utilization decreased linearly ( $P < 0.01$ ) with the increase of E: T in the diets. The plateau turning points of these criteria were 0.37 and 0.44, respectively.

The IAAP established in this study will be utilized as a criterion for checking the amino acid composition of practical diets and improving the balance of amino acids in the diet resulting in better growth performance for broiler.



Keywords: Broiler, Ideal amino acid pattern, Nitrogen retention rate, Essential amino acids, Non-essential amino acids



# 目錄



口試委員會審定書 .....	I
致謝 .....	II
摘要 .....	III
ABSTRACT .....	V
目錄 .....	VIII
圖目錄 .....	X
表目錄 .....	XI
壹、前言 .....	1
貳、文獻探討 .....	2
一、理想胺基酸組成之概念與研究意義 .....	2
二、理想胺基酸組成的研究模式 .....	4
三、家禽胺基酸用於生長與維持需要量之研究模式 .....	13
四、整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之間的關係 .....	17
五、影響肉雞理想胺基酸組成的因素 .....	20
六、本實驗之研究目的 .....	25
參、試驗內容 .....	26
試驗一、檢測生長前期商用白肉雞，每日每公斤代謝體重所對應之可代謝能需要量 ( <i>K</i> 值) .....	26
一、前言 .....	26
二、材料與方法 .....	27
三、結果 .....	30

四、討論 .....	31
<b>試驗二、檢測愛拔益加飼養管理手冊之各必需胺基酸推薦量所配製之結晶態胺基 酸飼糧對生長前期白肉雞之適用性 .....</b>	<b>32</b>
一、前言 .....	32
二、材料與方法 .....	33
三、結果 .....	36
四、討論 .....	40
<b>試驗三、白肉雞生長前期飼糧中理想必需胺基酸組成之建立與不同生長階段之理 想必需胺基酸組成之動態性估測 .....</b>	<b>42</b>
一、前言 .....	42
二、材料與方法 .....	43
三、結果 .....	48
四、討論 .....	55
<b>試驗四、白肉雞生長前期飼糧中整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之比例關係..</b>	<b>62</b>
一、前言 .....	62
二、材料與方法 .....	63
三、結果 .....	66
四、討論 .....	70
<b>肆、結論 .....</b>	<b>72</b>
<b>伍、附錄 .....</b>	<b>73</b>
<b>陸、參考文獻 .....</b>	<b>88</b>

## 圖目錄

圖 1、0 至 10 日齡白肉雞胺基酸需要量與飼糧中胺基酸含量之比較.....	3
圖 2、7 至 63 日齡白肉雞用於體蛋白蓄積、羽毛生長與維持之離胺酸（左）或 含硫胺基酸（右）的每日淨需要量.....	5
圖 3、胺基酸攝取量與生長表現之關係.....	9
圖 4、以轉折線法或二次曲線法探討胺基酸最低或最適需要量.....	9
圖 5、以胺基酸扣除法測定理想胺基酸組成之方法論.....	11
圖 6、以劑量反應法之數學模型探討生長與維持需要量之原理.....	14
圖 7、3 日齡白肉雞代謝體重與體氮含量之線性迴歸分析（試驗二）.....	37
圖 8、不同胺基酸百分比與體氮蓄積率之二次迴歸分析.....	39
圖 9、3 日齡白肉雞代謝體重與體氮含量之線性迴歸分析（試驗三）.....	51
圖 10、各限制胺基酸之攝取量與體氮蓄積率之關係.....	52
圖 11、3 日齡白肉雞代謝體重與體氮含量之線性迴歸分析（試驗四）.....	67
圖 12、整體必需胺基酸佔總胺基酸不同比例對體氮蓄積率之轉折線分析.....	69
圖 13、整體必需胺基酸佔總胺基酸不同比例對氮利用效率之轉折線分析.....	69
圖 14、保定與管飼之操作流程：(A、B) 雞隻保定、(C)管飼操作.....	75
圖 15、離胺酸與白胺酸相對於對照組減少 40%對體氮蓄積率之影響.....	79
圖 16、以胺基酸扣除法建立必需胺基酸間之比例之原理（以離胺酸和白胺酸為 例）.....	80
圖 17、各胺基酸相對於對照組減少 40%對體氮蓄積率之影響（對照組視為 100%）.....	82
圖 18、各胺基酸之斜率都校正成第一限制胺基酸之結果.....	83



## 表目錄

表 1、NRC (1994) 理想胺基酸組成與其參考文獻 .....	7
表 2、各體重生長豬離胺酸於維持或生長之需要量 (NRC, 1998) .....	15
表 3、以生長與維持需要量模式探討 35 KG 生長豬之理想胺基酸組成 (NRC, 1998) .....	16
表 4、不同方法論所求得之肉雞理想胺基酸組成.....	22
表 5、白肉雞實用飼糧配方組成與營養分分析值.....	29
表 6、3 至 10 日齡雛雞每日每公斤代謝體重生長與維持所需之平均代謝能需要量 (K 值) .....	30
表 7、整體必需胺基之不同百分比之飼糧配方組成與營養分分析值.....	35
表 8、改變飼糧中整體必需胺基酸之推薦需要量 <sup>1</sup> 對白肉雞生長性能與體氮蓄積率之影響 .....	38
表 9、必需胺基酸缺乏組之飼糧配方組成與營養分分析值.....	45
表 10、各必需胺基酸缺乏組在不同缺乏程度下對白肉雞生長表現之影響.....	50
表 11、各必需胺基酸缺乏組在不同缺乏程度下對白肉雞體氮蓄積率之影響.....	53
表 12、白肉雞之各必需胺基酸生長、維持與生長加維持之需要量及其與離胺酸之相對值 (LYSINE=100) .....	54
表 13、不同生長階段之理想必需胺基酸組成之動態性估測.....	54
表 14、不同生長速率之肉雞品系對各必需胺基酸之需要量.....	60
表 15、本研究求得之理想胺基酸組成 (生長加維持) 與其他文獻之比較.....	60
表 16、整體必需胺基酸佔總胺基酸不同比例之飼糧配方組成與營養分分析值... 65	
表 17、整體必需胺基酸佔總胺基酸不同比例對白肉雞生長性能與體氮蓄積率之影響 .....	68
表 18、各胺基酸相對於對照組減少 40%對體氮蓄積率之影響與其校正後之胺基酸攝取量 (對照組視為 100%) .....	81

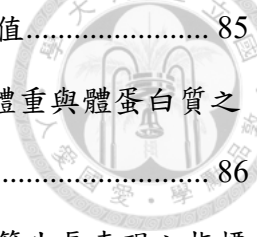



表 19、不同生長階段之白肉雞實用飼糧配方組成與營養分分析值.....	85
表 20、不同日齡（0、10、21、35 日齡）之白肉雞體重、代謝體重與體蛋白質之 含量 .....	86
表 21、不同生長階段之白肉雞平均代謝體重、體蛋白質蓄積率等生長表現之指標 .....	87

## 壹、前言



在理想胺基酸組成之飼糧中，各必需胺基酸與整體非必需胺基酸之可消化濃度皆與動物之需要完全一致，此時體氮蓄積量達到最大、含氮廢物的排出來到最小。理想胺基酸組成之建立可當作評判飼糧中蛋白質品質之標準，亦可藉由理想胺基酸組成之概念，促進飼糧中胺基酸平衡來達到減少飼料原料成本與降低含氮廢物排出之目的。從 Cole(1978) 以豬隻為模型提出理想胺基酸組成之概念以後，理想胺基酸組成的探討就成為了蛋白質及胺基酸領域之研究熱點，起初大部分研究是以豬隻為研究對象，直到西元 1990 年開始，有關家禽之理想胺基酸組成開始被廣泛研究，但是在近十五年來幾乎沒有相關文獻建立出新的模式。隨著白肉雞生長性能的提高，先前所建立的模式是否仍適合現今白肉雞之需求，值得商榷。

先前文獻建立理想胺基酸組成所使用的方法包含了分析動物體的胺基酸組成、劑量反應法、胺基酸扣除法、析因法、文獻總結法與比較選擇法等，然而這些方法都因為其缺點而被後來的學者所質疑，因此新的方法有必要被提出來探討。且先前關於家禽理想胺基酸組成之文獻都只注重於探討必需胺基酸間之比例關係，忽略了非必需胺基酸對於體氮蓄積之影響。非必需胺基酸的缺乏會導致必需胺基酸的利用率下降，進而影響到理想胺基酸組成之結果，因此若要建立出完整且精確的理想胺基酸組成，非必需胺基酸也應被一併探討。

本研究將以低劑量時胺基酸攝取量與生長表現呈直線相關之原理，以兩不同程度之胺基酸缺乏組與可致使體氮蓄積率達到最高之對照組飼糧來模擬劑量反應法中的轉折線模型 (Broken line model)，並以管飼方式減少單一胺基酸缺乏所導致採食不足的問題，來探討白肉雞生長前期之各必需胺基酸用於維持、生長、生長加維持之需要量，並以生長與維持個別之需要量與白肉雞於不同階段之體蛋白質蓄積率和代謝體重，進行理想必需胺基酸組成之動態性估測。除此之外，本研究亦以固定飼糧中各必需胺基酸之濃度，藉由改變飼糧中非必需胺基酸濃度的方式，對整體必需胺基酸佔總胺基酸之比例進行探討，以建立出完整的理想胺基酸組成。

## 貳、文獻探討



### 一、理想胺基酸組成之概念與研究意義

理想蛋白質 (Ideal protein, IP) 係指每一個必需胺基酸與整體非必需胺基酸都和動物體所需要完全一致且吸收率為 100% 之蛋白質，因此每一個必需胺基酸與整體非必需胺基酸，對於該種動物而言，具有同等的限制程度，都是第一限制胺基酸。當餵予該動物理想蛋白質飼糧時，沒有任何胺基酸處於過量或缺乏的狀態，其致使動物體對其之利用效率為最高，產生的含氮廢物為最少。理想蛋白質之胺基酸組合亦稱為理想胺基酸組成 (Ideal amino acids pattern, IAAP)，而先前的研究主要研究對象是必需胺基酸之間的比例，較少研究著墨於與整體非必需胺基酸比例的探討，因此先前研究中所提到之 IAAP 往往僅代表理想必需胺基酸組成 (Ideal essential amino acids pattern, IEAAP)。

建立單胃動物與家禽飼糧理想必需胺基酸組成模式之觀念，自 1978 年 (Cole, 1978) 提出以後，成為探討胺基酸需要量之研究趨勢。近 40 年來已針對家畜、家禽、水產動物等進行了許多的研究 (Wang and Fuller, 1989; Chung and Baker, 1992; Baker and Han, 1994; Diógenes et al., 2016)，研究結果對於畜禽而言有重大的意義，主要體現於評判飼料中蛋白質品質之良窳、結晶態胺基酸的應用、飼糧胺基酸平衡等 (Musharaf and Latshaw, 1999; Otto et al., 2003; Boisen et al., 2000)。

隨著環保意識的提升，畜、禽糞尿中含氮廢物的排出也成為科學家研究的對象，含氮廢物的排出多寡與飼糧中胺基酸的平衡程度是絕對關係，因此理想胺基酸組成的概念與應用就更加重要。目前大多配方是以滿足動物所需之粗蛋白濃度與能量濃度為前提而加以設計，若配方中有某個胺基酸濃度未達動物需求之標準，則會另以結晶態胺基酸補充至足夠的濃度。然而在配方中往往會有其他種的胺基酸之濃度超過需求 (圖 1)，依照理想蛋白質的原理，這將造成飼糧中胺基酸不必要的浪費與產生額外的含氮廢物。

飼糧中胺基酸的平衡可以改善動物體對胺基酸的利用，減少含氮廢物的排出，

Otto et al. (2003) 在生長豬試驗中藉由降低飼糧中粗蛋白質濃度，以結晶態胺基酸平衡飼糧中胺基酸組成，發現粗蛋白的濃度可從 15% 減少至 12%，除了可以降低含氮廢物外也不會導致生長豬隻氮蓄積的減少；而在 0 至 21 日齡白肉雞的試驗中，在滿足飼糧中胺基酸需求下，粗蛋白的濃度從 22.48% 降至 20.32%，對於體重、飼料轉換率、羽毛佔體重百分比沒有顯著影響 ( $P > 0.05$ )，同時也降低了 13% 含氮廢物的排出 (Si et al., 2004)。這些結果意味著利用理想胺基酸組成概念，可以藉由結晶態胺基酸的添加，來促成胺基酸間的平衡，藉以減少蛋白質的濃度，減少動物含氮廢物之排出。

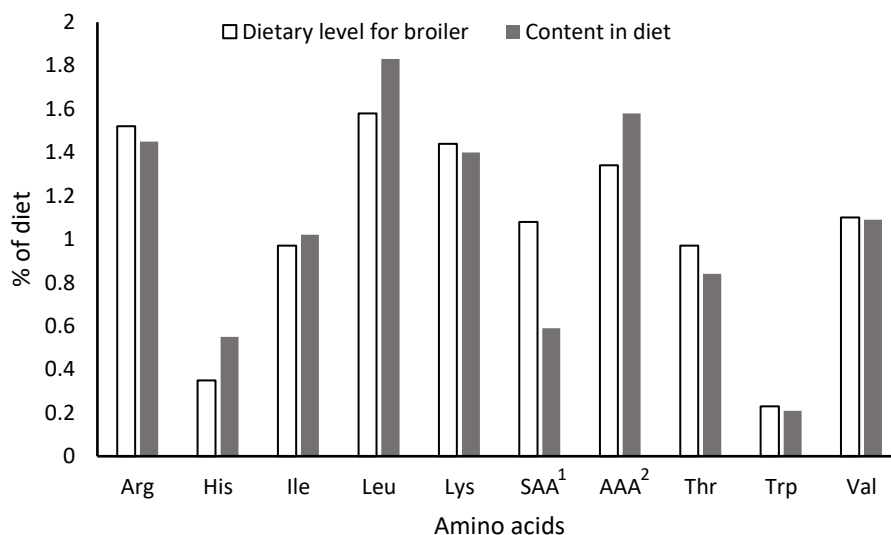


圖 1、0 至 10 日齡白肉雞胺基酸需要量與飼糧中胺基酸含量之比較

Figure 1. The comparison of individual amino acid requirements and correspondingly dietary contents for 0 to 10 days old broilers

<sup>1</sup> The abbreviation of sulfur amino acids <sup>2</sup> The abbreviation of aromatic amino acids

(The figure cited from table 5 and Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014))



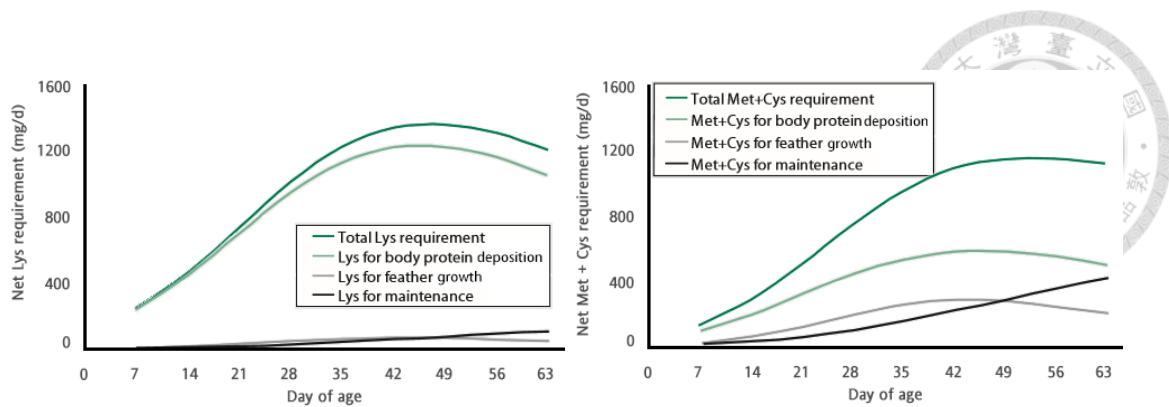


## 二、理想胺基酸組成的研究模式

從過去 40 年相關的文獻中可以歸納出八種研究方式與兩種表達方式，其主要之研究理論基礎都建立在以下兩個原則：第一、動物體內蛋白質蓄積對於胺基酸比例的需求是相對恆定的，且一般不受基因型、性別、體重、年齡等因素影響。即使不同飼養環境、飼料的來源等因素可能會影響動物本身對胺基酸之需求，但是各胺基酸需要量之間的比例則相對穩定。第二、在滿足非必需胺基酸的前提之下，再多的非限制胺基酸都不會影響動物之生長表現，生長表現的改變僅受限制胺基酸影響。

### (一) 理想胺基酸組成表達方式

1. 以 g/16g N 或 g/100g Crude Protein (CP) 表示，意指各胺基酸佔粗蛋白的百分比。此表示方式主要在探討各胺基酸與飼料中蛋白質濃度的關係，故稱為理想蛋白質模式。
2. 各必需胺基酸相對於離胺酸為 100 之比例表示。此表達方式主要在探討必需胺基酸之間的比例關係，故稱為理想必需胺基酸組成模式。在豬的理想胺基酸組成模式中，選擇以離胺酸為參照基準，是因為在以玉米、大豆粕為主要原料配製的實用飼糧中，離胺酸是豬的第一限制胺基酸，然而對於家禽而言則是第二限制胺基酸。許多文獻中依然選用離胺酸當作家禽理想胺基酸的參照基準 (Baker and Han, 1994; Hurwitz et al., 1978; Li et al., 2003)，主要是因為吸收進體內的離胺酸大部分都用來參與體蛋白的蓄積，只有少部分用於維持所需，其目的較單一，不像甲硫胺酸除了提供體蛋白的合成外，還是合成家禽羽毛與維持的重要胺基酸，且其用於生長和維持需要間的比例會隨著年齡的增長而有很大的變化 (圖 2) (Lemme, 2003)。除此之外，離胺酸也不像甲硫胺酸存在著與其他胺基酸代謝轉換的關係。



(Lemme, 2003)

圖 2、7 至 63 日齡白肉雞用於體蛋白蓄積、羽毛生長與維持之離胺酸（左）或含硫胺基酸（右）的每日淨需要量

Figure 2. Daily net Lys (left) or sulfur amino acid (right) requirement for broilers from 7 to 63 days old, expressed as total, body protein deposition, feather growth and maintenance

## （二）理想胺基酸組成的研究方法

### 1. 分析動物體的胺基酸組成

在過去人們缺乏對胺基酸需要量的相關經驗又無從下手的情況下，自然以分析動物體的胺基酸組成作為需要量和理想胺基酸組成之參考，攝入的胺基酸主要用途為形成肌肉組織、血液、內臟、毛髮或蛋，因此理想蛋白中的胺基酸組成應該要能完全滿足合成這些代謝結果所需。如果僅以此邏輯為出發點，將這些代謝結果的胺基酸組成作為理想胺基酸組成是快速又方便的方法。

Agricultural Research Council (1981) 以此概念提出了豬隻理想胺基酸組成，然而此法僅注重於動物體的代謝結果，忽略了在不同組織間周轉代謝率的不同 (Garlic et al., 1976) 與部分胺基酸間的代謝轉換 (例如甲硫胺酸在體內可以轉換成胱胺酸；苯丙胺酸可轉換成酪胺酸)，也沒有考慮飼料中胺基酸的消化、利用率的不同，導致錯估了胺基酸的需要量 (Chung and Baker, 1992)，使建立的理想胺基酸組成不符合動物所需。



## 2. 測定高生物價蛋白質的胺基酸組成

生物價為評判蛋白質品質的方法之一，在胺基酸需要量研究方法較不成熟的階段，也被拿來當作研究動物體理想胺基酸組成的方式。生物價係指該蛋白質被消化吸收後保留在體內的氮含量佔攝入氮含量之百分比值，同時也有考慮到動物體之消化吸收率，因此飼料蛋白質之胺基酸組成越接近理想胺基酸組成者，生物價會越高。過去文獻以脫脂奶粉為蛋白質來源，研究 1 至 4 週齡與 4 至 9 週齡仔豬的粗蛋白質需要量，再以所求得之最佳飼糧粗蛋白質濃度來計算各個必需胺基酸之採食量，以此作為仔豬胺基酸需要量的參考指標 (Becker et al., 1954)。除了牛奶蛋白外，雞蛋蛋白也被認為是高生物價的蛋白質 (Fevold, 1951)，然而在 Bender et al. (1965) 的實驗中發現，額外添加 15% 的非必需胺基酸來稀釋雞蛋蛋白中必需胺基酸的含量，生物價並沒有因此而減少，表示雞蛋蛋白中必需胺基酸的濃度高於動物的需求，若用此方法來估算動物胺基酸需要量的標準時，可能會受到蛋白質中非限制胺基酸濃度的影響。

## 3. 文獻總結法

文獻總結法係指將有關動物之單一胺基酸需要量的研究進行統整並提出一套建議的標準。如 NRC (1994) 對肉雞所提出的各胺基酸需要量 (其並沒有將各個胺基酸與離胺酸的相對比例明確列出) 參考了數篇文獻後才統合成一套標準 (表 1)。此法雖然相對於上述之體組成與高生物價蛋白之胺基酸組成分析方法更能代表動物體對胺基酸的需要，但是仍有明顯的缺點，因為不同的研究存在著飼養管理、飼糧組成、環境、溫度等變因，這些變因會使胺基酸需要量的準確性降低，進而去影響到整體比例。另外則是這些單一胺基酸需要量的測定方法大多是劑量反應法，同時也會面臨到該方法的缺點，因此此方法有待進一步的驗證與改善。

表 1、NRC (1994) 理想胺基酸組成與其參考文獻

Table1. The ideal amino acid pattern and its reference (NRC, 1994)

Amino acids*	Percentage of diet	Relative to Lysine	Reference
Lysine	1.10	100	Edwards et al., 1956; Boomgaardt and Baker, 1973a,b; Woodham and Deans, 1975; McNaughton et al., 1978; Burton and Waldroup, 1979
Arginine	1.25	114	-
Sulfur amino acids	0.90	82	Nelson et al., 1960; Hewitt and Lewis, 1972; Boomgaardt and Baker, 1973b,c; Woodham and Deans, 1975; Attia and Latshaw, 1979; Robbins and Baker, 1980a,b; Wheeler and Latshaw, 1981; Baker et al., 1983; Mitchell and Robbins, 1983; Thomas et al., 1985
Histidine	0.35	32	Klain et al., 1960b; Dean and Scott, 1965; Baker et al., 1979
Tryptophan	0.20	18	Wilkening et al., 1947; Griminger et al., 1956; Klain et al., 1960b; Boomgaardt and Baker, 1971; Hewitt and Lewis, 1972; Woodham and Deans, 1975; Steinhart and Kirchgessner, 1984; Smith and Waldroup, 1988a
Leucine	1.20	109	Almquist, 1947; D'Mello, 1974;
Valine	0.90	82	Woodham and Deans, 1975;
Isoleucine	0.80	73	Thomas et al., 1988
Threonine	0.80	73	Uzu, 1986; Robbins, 1987; Thomas et al., 1987; Bertram et al., 1988; Smith and Waldroup, 1988b; Austic and Rangel-Lugo, 1989
Aromatic amino acids	1.34	122	Almquist, 1947; Woodham and Deans, 1975

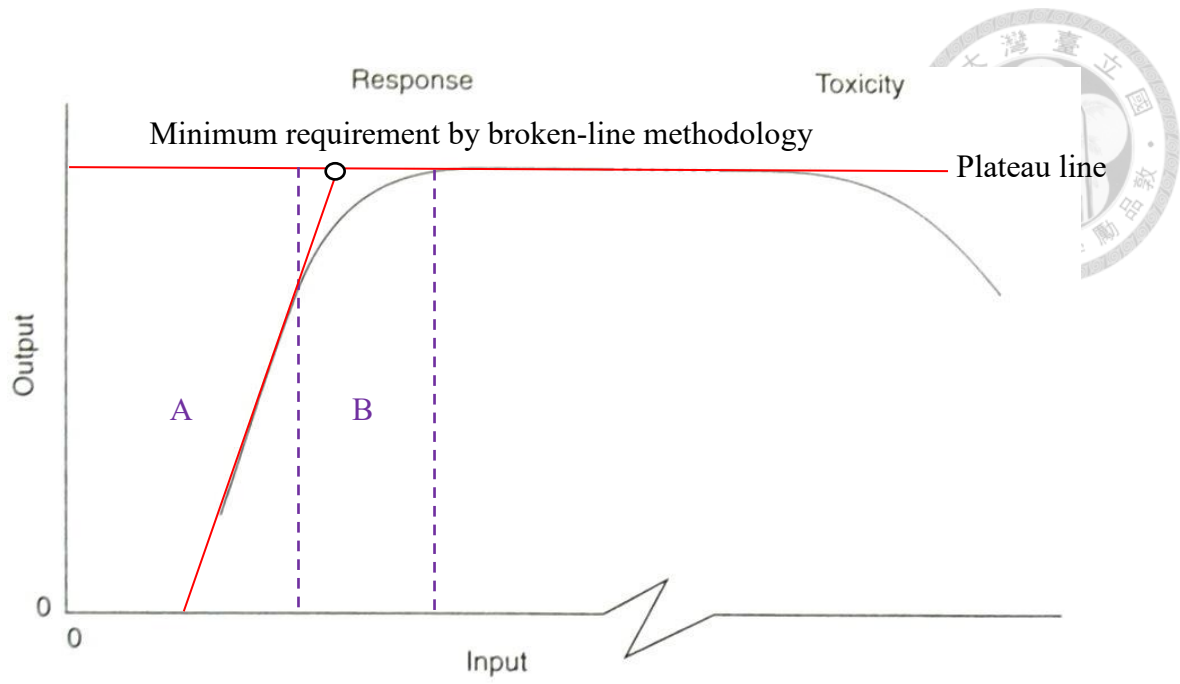
\*This data for 0 to 3 weeks old broiler



#### 4. 劑量反應法

劑量反應法主要是以生長表現僅受限制胺基酸之影響為原則，配製滿足其他胺基酸需要量的基礎飼糧，然後從不足到過量添加不同濃度的受測胺基酸，根據生長表現與飼料中或攝取之受測胺基酸濃度可得出反應曲線，如圖 3 黑線所示 (Morris, 1999)。生長表現隨著受測胺基酸濃度增加而增加，逐漸增加至頂點，此時此胺基酸對動物生長表現而言不再是限制胺基酸，額外增加濃度並不會提升生長表現，該點即是此胺基酸的需要量，數學分析大多使用轉折線法進行最低需要量的研究，或是以二次曲線模型來探討胺基酸之最適需要量(圖 4)。Baker et al. (2002) 就利用轉折線法求出 2 至 3 週齡白肉雞羥丁胺酸、色胺酸、異白胺酸和纈胺酸相對於離胺酸之比例。然而在劑量反應法試驗中所採用的飼養管理大多是以任食的方式進行，Konashi et al. (2000) 的研究中發現單一胺基酸的缺乏會導致採食慾望的下降，進而降低生長表現。這將造成低濃度組別的生長表現除了受到限制胺基酸濃度的影響外，還受到採食量的影響，使評估胺基酸需要量的準確性降低。

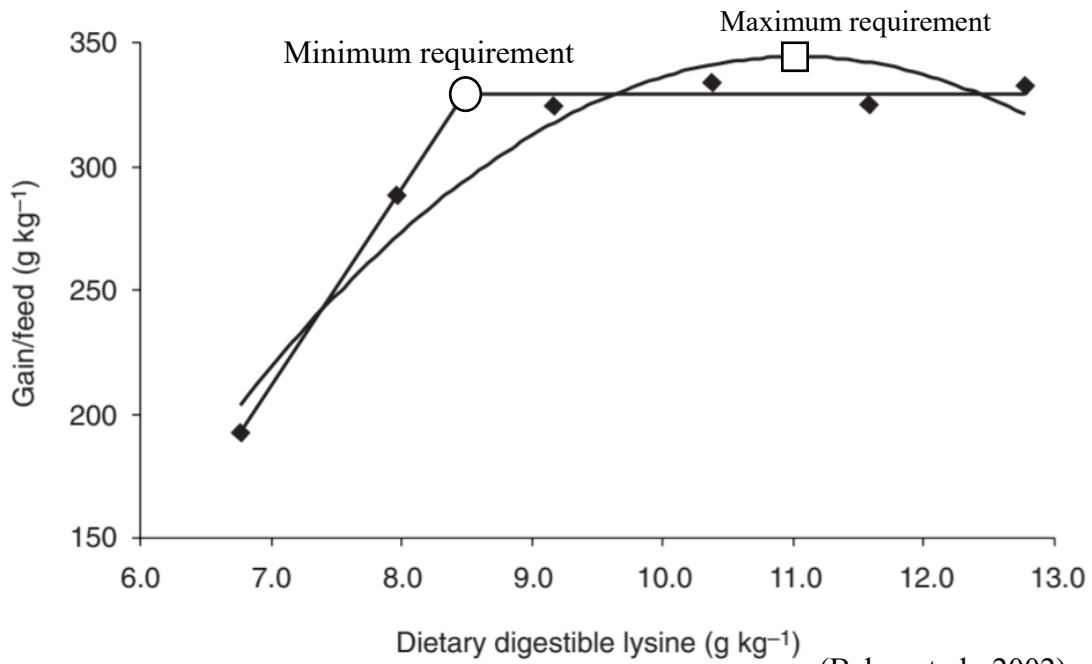
此法為大多數研究胺基酸需要量所採用的方法，如文獻總結法中 NRC (1994) 所提出的家禽胺基酸需要量中所參考的文獻，幾乎都是用劑量反應法求得。以此方法探討理想胺基酸組成時，除了要解決低濃度時採食量不足的問題外，尚需同時展開數個劑量反應法試驗，在相同的基礎飼糧、環境等試驗條件下進行，才能避免其他因素的影響，更加準確的求出胺基酸需要量與理想胺基酸組成。



(Morris, 1999; Fisher et al., 1973)

圖 3、胺基酸攝取量與生長表現之關係

Figure 3. The relationship of between amino acid intake and growth performance



(Baker et al., 2002)

圖 4、以轉折線法或二次曲線法探討胺基酸最低或最適需要量

Figure 4. The determination of the minimum or maximum requirement by a broken-line or quadratic model



## 5. 析因法

析因法將胺基酸需要量分為生長（包含屠體蓄積與羽毛生長）與維持兩部分（Hurwitz et al., 1978）。在屠體與羽毛中胺基酸組成不會因年齡、體重而發生變化的前提假設下，測定各生長階段屠體與羽毛蛋白質蓄積量，並結合屠體與羽毛中胺基酸組成分析來計算生長之胺基酸需要量。另外肉雞在恆重之平衡狀態下所測定的胺基酸需要量即是維持部分所需。生長和維持所需之胺基酸需要量加總後，與胺基酸利用效率相除，可得到以飼糧中總胺基酸為基礎的胺基酸需要量。

然而此方法在轉換成飼糧中總胺基酸需要量時，是以各個胺基酸的利用效率都是保持不變的前提做為假設，忽略了胺基酸利用效率可能會因為動物吸收的胺基酸量接近需要量，而產生邊際效應遞減（圖 3 之 B 處），導致更多的胺基酸被氧化，利用效率也會逐漸降低，所以假設每個胺基酸的利用效率都是保持不變是此方法最大的缺點。

## 6. 胺基酸扣除法

胺基酸扣除法是由 Wang and Fuller (1989) 在探討生長豬理想胺基酸組成所提出的研究方式，其基本原理除了僅有限制胺基酸的攝取量會影響氮蓄積外，也提出了各胺基酸間限制性相等的概念—任何一種必需胺基酸或整體非必需胺基酸的減少都會減少相同比例的氮蓄積量。在試驗的對照組飼糧中（無任何胺基酸處於缺乏狀態），扣除一定比例（如 20%）的受測胺基酸後，對動物之影響有三種可能，如圖 5 所示。A 點：扣除 20% 受測胺基酸對氮蓄積量沒有影響，代表扣除 20% 後，受測胺基酸仍是非限制胺基酸；C 點：扣除 20% 後，受測胺基酸之缺乏導致氮蓄積量下降最大，意味著相較於其他胺基酸，該胺基酸在對照組飼糧的胺基酸組成中是體氮蓄積量的第一限制因素，因此當作對照組飼糧之第一限制胺基酸；B 點：扣除 20% 受測胺基酸對氮蓄積量之影響介於 A、C 點之間，表示扣除 20% 對於氮蓄積的影響小於第一限制胺基酸，也就是 B 胺基酸的限制程度小於 C 胺基酸。根據 Bender (1965) 研究指出，在一定的氮攝取量範圍內（ $0.25-2.0 \text{ g/kg}^{0.75} \cdot \text{d}$ ），攝取

量與氮蓄積量之間呈線性關係，迴歸直線的斜率代表每減少一單位受測胺基酸攝取量，將導致多少氮蓄積量的下降，因此受測胺基酸限制程度越大，斜率也會越大。在理想蛋白質的概念中，所有限制胺基酸均處於限制性相等的地位，因此各胺基酸的攝取量與氮蓄積量之間的直線斜率應相等，若將各受測胺基酸的斜率都校正到與第一限制胺基酸相等，便可算出每個胺基酸成為第一限制胺基酸所應攝取的量，由此可得出動物的理想胺基酸組成。

由於胺基酸扣除法中的迴歸直線僅由對照組與受測限制胺基酸組共兩點所決定，因此只要對照組飼糧中胺基酸濃度超過動物攝取量與動物體的氮蓄積量之線性範圍外，所得到的斜率將會較實際值低。如果發生在第一限制胺基酸反應直線的斜率上，將會影響整個理想胺基酸組成的測定。

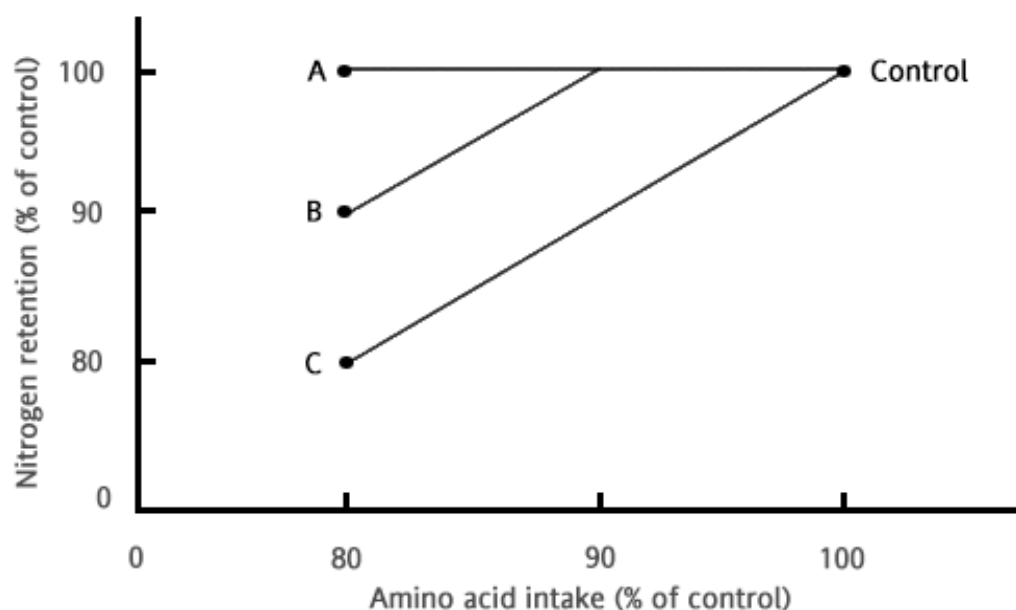


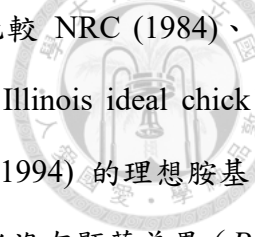
圖 5、以胺基酸扣除法測定理想胺基酸組成之方法論

Figure 5. The principle of determining ideal amino acid pattern by the methodology of amino acid deletion

## 7. 比較選擇法

比較選擇法係藉由在相同的飼養環境、飼料與品種等條件下，比較多組不同的理想胺基酸組成所造成動物體之生長性能、屠體品質、氮蓄積等指標之表現，從而





篩選出最適合動物之胺基酸比例。Baker and Han (1994) 透過比較 NRC (1984)、NRC (1994) 與伊利諾大學所測定的白肉雞理想胺基酸組成 (Illinois ideal chick protein, IICP) 三套標準於白肉雞之生長表現，結果顯示 NRC (1994) 的理想胺基酸組成所致使的雞隻生長表現優於 NRC (1984)，但是與 IICP 者沒有顯著差異 ( $P > 0.05$ )，作者比較其理想胺基酸組成後發現 IICP 除了組胺酸、白胺酸外，其餘必需胺基酸相對於離胺酸的比例皆低於 NRC (1994) 的標準，因此作者們將 IICP 標準中的組胺酸與白胺酸降低至與 NRC (1994) 相同來重組成一套新的標準。此方法建立在過去的研究基礎上，因此過去文獻的準確性將影響此方法所測定出來的理想胺基酸組成。

#### 8. 劑量反應法之改良

Wei et al. (2009) 針對劑量反應法的兩個缺點進行改良，以玉米、大豆粕為基礎之實用飼糧餵食紅羽土雞，於試驗期間每日測量雞隻空腹體重與採食量，並且根據飼料中可代謝能濃度，計算每日每公斤代謝體重所應攝取的飼料量，以此為基準進行管飼 (Intubation)。此方法可以避免因為單一胺基酸之缺乏，所造成採食量不足，進而致使其他營養分攝取不夠的問題。另外以二次曲線模型檢測依照 NRC (1994) 各必需胺基酸推薦量之 60、80、100、120 或 140% 所配製之飼糧，測定出可以使氮蓄積表現最佳之比例，並以此當作對照組來模擬劑量反應法中的高原水平線，並基於限制胺基酸在低濃度時與生長指標呈線性關係(圖 3 之 A 處)，作者們以對照組之 50% 與 60% 限制胺基酸濃度，模擬劑量反應法中的線性直線，將兩線之交點定義為紅羽土雞對於該胺基酸之最低需要量 (圖 3 紅線處)。此方法除了解決採食量問題外，也減少了劑量反應法中的組別數量，但是是否為準確的方法，仍尚需確認。



### 三、家禽胺基酸用於生長與維持需要量之研究模式

家禽的胺基酸需求主要分為維持生理代謝、胴體體氮蓄積與羽毛生長，後兩者統稱為生長需要。動物體首先需要滿足維持所需的營養分，以確保動物體可維持基本的生理代謝，才會進行胴體與羽毛的生長。然而在過去以體組成胺基酸分析來探討胺基酸需要量的方法中，就忽略維持需求對於整體需要量的影響，而其餘胺基酸需要量的研究方法也大多只探討生長與維持的總需要量，缺乏對維持與生長個別的研究，然而在追求更精準的情況下，實在應該將其分開探討，以便得到更精準的結果。

#### (一) 胺基酸生長與維持需要量之研究方法

家禽之胺基酸總需要量可以藉由上述理想胺基酸組成建立的方法求得，但是除了析因法以外，其餘的方法大多缺乏個別探討生長與維持之需求，且又因析因法忽略胺基酸利用效率會隨著接近動物需要量而遞減的問題，導致整體結果的準確性受到影響。過去學者也提出了幾種不同的方法來個別探討生長或維持所需之需要量，包含以氮平衡法或同位素標定法探討維持之需要量、以劑量反應法的數學模式來分別探討生長或維持之需要量。氮平衡法是最早用於探討維持需要量的方法，以在不同胺基酸濃度的條件下，比較攝入氮與糞和尿排出的氮的差異來進行試驗，基於氮平衡之原理，最小維持需要量係指能夠使動物維持氮均衡時的胺基酸含量，因此當攝入氮量等於排出氮量時的胺基酸濃度即為維持需要量。過去有許多關於家禽必需胺基酸維持需要量的研究就是以成年公雞為實驗動物進行氮平衡試驗求得 (Leveille and Fisher, 1958; 1959; 1960a; 1960b)，然而此方法因為剩餘和浪費的飼料無法完全收集，進而導致氮攝入量的高估，糞便收集不易與氮態氮不易於測量，導致低估了氮的排出量，使過去測定之結果高估了維持的需要量 (Fuller and Garlick, 1994)。而同位素標記法則是隨著飼糧中胺基酸含量的增加，以測定被同位素標記胺基酸氧化作用的變化情況，來探討動物對於該胺基酸維持之需要，然而此方法因為可操作性較差、測定成本高與放射性元素對環境的影響等條件，故限制了此方法

的使用。劑量反應法如果可以改善在低劑量時所產生降低食慾之問題，除了可增加總胺基酸需要量之準確性外，亦可應用其於低劑量時，所建立之胺基酸攝取量與生長表現之直線迴歸方程式，藉以探討生長與維持所需的需要量 (Edwards and Baker, 1999; Fisher et al., 1973; Fuller et al., 1989; Wei et al., 2009)，Y 代表體氮蓄積，X 為限制胺基酸之攝取量，線性方程式為  $Y = aX + b$  (圖 6)，直線與 Y 軸的截距代表沒有攝取限制胺基酸時的體氮損失，直線與 X 軸的截距代表氮均衡時所需之限制胺基酸攝取量，也就是維持需要量，而斜率之倒數 ( $1/a$ ) 則代表每單位氮蓄積所需攝取之胺基酸量，即是生長需要量，以此數學模式即可算出生長與維持個別之需要量。

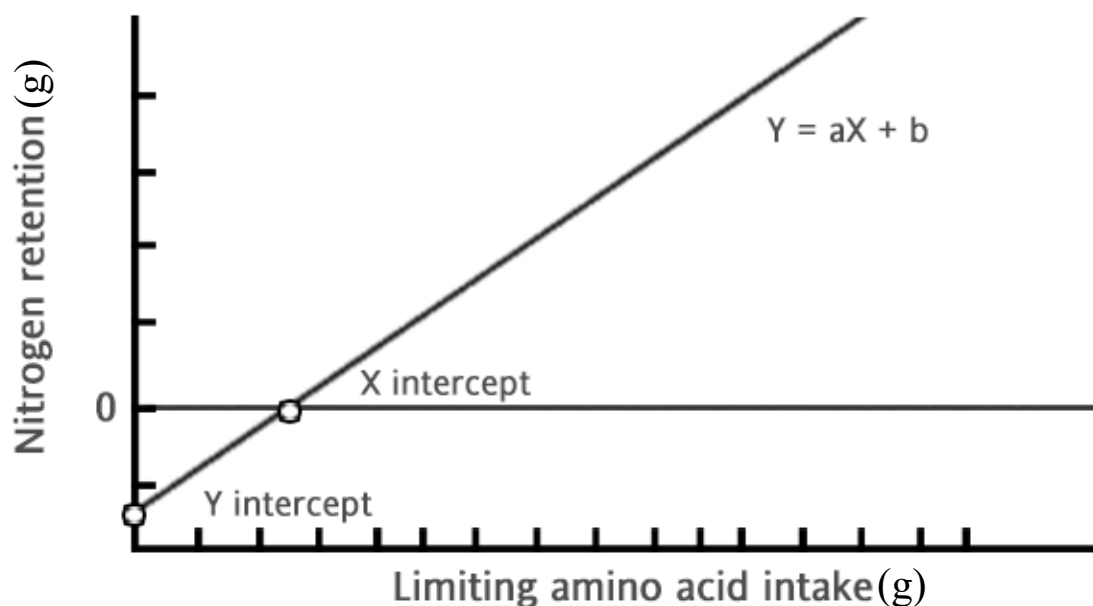


圖 6、以劑量反應法之數學模型探討生長與維持需要量之原理

Figure 6. The principle of determining individual amino acid requirement for growth and for maintenance by a dose response model

## (二) 理想胺基酸組成之動態性估測

先前提到 在建立理想胺基酸組成方法中的一個假設基礎：動物體內蛋白質蓄積對於胺基酸比例的需求是恆定的，即使受到其他因素的影響，也只會影響到胺基

酸之需要量，並不會影響到各胺基酸總需要量之間的比例。然而在 Morris (2004) 評論中指出，將需要量定義為固定比例之表示是錯誤的方法，因為隨著生長狀態的變化，需要進行連續性的評估。在 Chung and Baker (1992) 的實驗中也推翻了先前的假設，發現 Wang and Fuller (1989) 以生長豬為試驗動物所求得之理想胺基酸組成，並不適用於 10 kg 仔豬，此結果顯示隨著動物的成長，胺基酸用於維持和生長的比例產生變化，因此以生長加維持之總胺基酸需要量所建立的理想胺基酸組成可能無法應用於各個階段。

NRC (1998) 提出豬隻胺基酸需要量的標準，就是以個別探討生長或維持需要量為概念來設計的，首先以生長曲線與蛋白質蓄積曲線來估算各階段之離胺酸用於維持或生長之需要量 (表 2)，再根據先前研究分別統整出用於維持或生長的理想胺基酸組成，將表 2 所估算出的離胺酸用於維持或生長之需要量帶入其中，求得各胺基酸用於維持或生長的需要量，再將其相加後，相對於離胺酸等於 100 表示，即為總可消化胺基酸需要量的理想胺基酸組成 (表 3)。此方法所求出之理想胺基酸組成修正了先前的假設，應修改成維持或生長之理想胺基酸組成中各胺基酸之間的比例是相對恆定的，而不是指生長加維持之總胺基酸之間的比例相對穩定。此方法突破了以生長加維持之總胺基酸需要量建立的理想胺基酸所面臨的限制，藉由生長與維持需要量的靈活應用，建立出不同體重所需之理想胺基酸組成。

表 2、各體重生長豬離胺酸於維持或生長之需要量 (NRC, 1998)

Table 2. The lysine requirement of maintenance or growth for growing pig at different weights (NRC, 1998)

Body weight (kg)	Body protein accretion (g/d)	Digestible Lysine requirement (g/d)		
		Maintenance <sup>1</sup>	Growth <sup>2</sup>	Total
35	121.15	0.52	14.78	15.30
65	133.69	0.82	16.31	17.13
100	120.06	1.13	14.64	15.77

<sup>1</sup>Maintenance lysine requirement is 0.036 g/kg of metabolic body weight

<sup>2</sup>Lysine required per unit of protein accretion is 0.12 g of true digestible lysine/g of protein accretion

表 3、以生長與維持需要量模式探討 35 kg 生長豬之理想胺基酸組成(NRC, 1998)  
 Table 3. Establishing an ideal amino acid pattern for 35 kg growing pig by the model of individual requirement combining maintenance and growth (NRC, 1998)

	Digestible requirement (g/d), (relative Lys=100)		
	Maintenance <sup>1</sup>	Growth <sup>2</sup>	Total
Lysine	0.52 (100)	14.78 (100)	15.3 (100)
Arginine	-1.04 (-200)	7.09 (48)	6.05 (40)
Histidine	0.17 (32)	4.74 (32)	4.91 (32)
Isoleucine	0.39 (75)	7.98 (54)	8.37 (55)
Leucine	0.36 (70)	15.08 (102)	15.44 (101)
Sulfur amino acids	0.64 (123)	8.13 (55)	8.77 (57)
Aromatic amino acids	0.63 (121)	13.75 (93)	14.37 (94)
Threonine	0.79 (151)	8.87 (60)	9.66 (63)
Tryptophan	0.14 (26)	2.66 (18)	2.80 (18)
Valine	0.35 (67)	10.05 (68)	10.4 (68)

<sup>1</sup> Maintenance ratios were calculated based on the data of Baker et al. (1966a,b), Baker and Allee (1970), and Fuller et al. (1989). The negative value for arginine reflects arginine synthesis in excess of the needs for maintenance

<sup>2</sup> Growth ratios were derived by starting with ratios from Fuller et al. (1989) and then adjusting to values that produced blends for maintenance accretion that were more consistent with recent empirically determined values (Baker and Chung, 1992; Baker et al., 1993; Hahn and Baker, 1995; Baker, 1997)

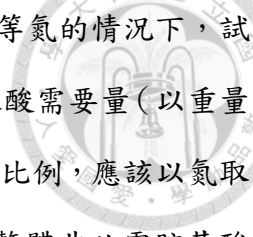


#### 四、整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之間的關係

胺基酸為構成蛋白質的最小單元，在自然界中蛋白質由二十種以上胺基酸組成，其中九種是動物體無法自行合成，需從飼糧中額外補充的，稱之為必需胺基酸，包含離胺酸、甲硫胺酸、羥丁胺酸、色胺酸、白胺酸、異白胺酸、組胺酸、纈胺酸與苯丙胺酸。除了這九種胺基酸以外，精胺酸對於家禽、幼畜與魚類而言，因其無法以尿素循環自行合成，或是合成量不足，故也被認為是必需胺基酸，在胺基酸需要量的相關研究中也廣為討論 (Southern and Baker, 1983; Griffin et al., 1994; Cuca and Jensen, 1990)。胱胺酸與酪胺酸分別可由甲硫胺酸與苯丙胺酸合成，因此在需要量的研究中會額外探討甲硫胺酸和胱胺酸之總需要量 (稱為含硫胺基酸需要量) 與苯丙胺酸和酪胺酸之總需要量 (稱為芳香族胺基酸需要量)。其餘胺基酸則被稱為非必需胺基酸，雖然可以由動物體自行合成，但是合成所需的氮部分來自於飼糧中的胺基酸，因此除了飼糧必需充足供應所有必需胺基酸外，也需提供足夠的胺基酸以供動物體合成其他非必需胺基酸，然而理想胺基酸組成的概念大多著重於探討必需胺基酸間的比例關係，較少探討整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之間的比例，但是依照理想蛋白質的概念，非必需胺基酸的缺乏，也會影響必需胺基酸在體內的利用，進而導致蛋白質之合成受到影響，因此若要建立出精準的理想胺基酸組成，應將非必需胺基酸一併納入探討。

##### (一) 整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸間比例關係之表達方式

過去研究探討整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸間比例的表達方式有很多種，包含整體必需胺基酸比總胺基酸 (Ikemoto et al., 1989)、整體必需胺基酸比整體非必需胺基酸 (Wang and Fuller, 1989)、整體必需胺基酸比總氮或總蛋白質含量 (Young and Zamora, 1968; Bedford and Summers, 1985) 等表達方式。在探討必需胺基酸需要量時，單位往往是以重量表示，但是如果以重量單位來探討兩者之間的比例時，則會產生很大的誤差，因為非必需胺基酸的主要功能是提供動物體內非特异性氮的需求，然而每種非必需胺基酸的氮含量差異非常大，從每公斤天門冬胺酸



含有 245 g 的氮，到每公斤麩胺酸僅含有 108 g 的氮。在提供等氮的情況下，試驗中若以不同的非必需胺基酸當作氮來源，將會導致非必需胺基酸需要量（以重量計）發生變化，因此整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之間的比例，應該以氮取代重量表示。整體必需胺基酸比總胺基酸與整體必需胺基酸比整體非必需胺基酸之表達方式基本上相同，可以互相轉換，但是如果要以整體必需胺基酸比總氮或蛋白質來表達兩者之間比例關係的話，會有些許限制，因為在實用飼糧中粗蛋白含有許多非胺基酸態氮，例如核酸及其衍生物、氨基糖、硝酸鹽、亞硝酸鹽、肌酸等，其中只有一小部分可以被用於合成非必需胺基酸，其餘沒有參與蛋白質合成的氮，會使整體必需胺基酸與總氮的比值被低估，因此以整體必需胺基酸比總胺基酸的表達方式來探討兩者間之比例關係，應該是較佳的方法。

## （二）整體必需胺基酸與總胺基酸間比例關係之研究方式

研究整體必需胺基酸與總胺基酸之比例關係的方法有兩種。第一種是在相同總胺基酸含量的情況下，比較不同整體必需胺基酸與總胺基酸之比例對生長性能的影響（Fuller and Wang, 1989）；另一方法則是固定整體必需胺基酸的含量，改變飼糧中之總胺基酸的量來探討不同比例對生長性能的影響（Heger et al., 1998）。

在固定飼糧總胺基酸含量之方法中，低比例的組別會因為必需胺基酸的缺乏而降低生長性能，必需胺基酸的缺乏程度取決於所選擇之總胺基酸量。如果選擇的總胺基酸量比較高，會使動物攝取較多的必需胺基酸，使低比例的組別缺乏程度較少；反之，選擇的總胺基酸量較低，將會提高低比例組別的缺乏程度，因此飼糧中總胺基酸含量的選擇會影響反應曲線的形狀與其最佳值的結果。若是各必需胺基酸之需要量已經建立，以固定整體必需胺基酸含量之方法來探討與總胺基酸之關係則較為妥當且精準，因為其以滿足動物對各必需胺基酸之需要為前提，探討體內對整體非必需胺基酸之需要，其理論與探討理想必需胺基酸組成之研究基礎相同，所有必需胺基酸都將成為非限制胺基酸，藉由改變非必需胺基酸（此時被視為限制胺基酸）的量來探討其對生長性能之影響。儘管以固定整體必需胺基酸含量的方法

較為理想，先前關於非必需胺基酸之研究絕大部分還是以固定總氮含量的方法進行，僅在少數幾篇文獻中使用了以固定必需胺基酸含量的方法（Dove et al., 1977; Roth et al., 1999; Heger et al., 1998）。








## 五、影響肉雞理想胺基酸組成的因素

理想胺基酸組成一直是這幾十年來在蛋白質及胺基酸營養領域的研究熱點，前期大部分研究主要集中在豬隻方面，家禽則在 1990 年後才廣泛成為研究的對象。過去的文獻求得之理想胺基酸組成都不盡相同，造成其差異的原因在於動物品種、飼糧組成、研究方法、性別與生長階段等研究條件的選擇都不太一樣，因此以下將對可能影響理想胺基酸組成的因素進行探討。

### (一) 研究方法

統整了八套不同研究方法所求得之理想必需胺基酸組成，列於表 4。比較了各組理想胺基酸組成後，可以發現在以總胺基酸為基礎表達之理想必需胺基酸組成 (NRC, 1994; Hurwitz et al., 1978) 中，大部分胺基酸比值都高於以可消化胺基酸表達者，主要是因為以總胺基酸為基礎去探討的胺基酸需要量，往往會受到試驗原料胺基酸組成與消化率的影響，把沒有被消化吸收的部分考量進去，導致測得之胺基酸需要量與實際值有落差。以體組成分析法求得之理想必需胺基酸組成 (Kreuzer et al., 1988)，因為只考慮了代謝結果，導致大部份胺基酸在理想必需胺基酸組成中被低估了。

在 Hurwitz et al. (1978) 試驗中是以析因法進行探討，然而此方法通常是以成年公雞當作試驗動物來探討胺基酸之維持需要量，將在此年齡所求得之維持需要量應用於所有年齡層的雞隻之可行性仍有待評估，在該試驗中所求得之組胺酸比值遠低於其他文獻者，主要是因為在試驗中所求得組胺酸之維持需要量低於 0.1 g/100 g CP，且先前研究 (Leveille and Fisher, 1959) 以蛋公雞探討組胺酸之維持需要量，發現在完全缺乏組胺酸之試驗組中仍然能夠維持正氮平衡，此顯示組胺酸對於成年公雞而言是非必需的，與 Sklan and Noy (2005) 和 Wei et al. (2009) 以生長期雞隻研究組胺酸維持需要量的結果全然不同。顯然成熟蛋公雞求得之胺基酸維持需要量並非全部適用於生長中的動物，由於此文獻中低估了生長期組胺酸之維持需要量，進而導致總需要量被低估。



Wei et al. (2009) 與 Baker and Han (1994) 都是以生長較緩慢之肉雞為實驗對象，實驗結果除了甲硫胺酸與芳香族胺基酸外，其餘胺基酸之比值都非常接近。除此之外，異白胺酸和纈胺酸在這八組理想胺基酸組成之間的差異最大，其變異係數分別是 17.2% 和 22.2%，可能因為在文獻研究方法如胺基酸扣除法與劑量反應法等，都是藉由不同缺乏程度之限制胺基酸與生長表現之關係來探討需要量，然而在單一支鏈胺基酸缺乏時，往往會引起拮抗作用，導致其他支鏈胺基酸吸收效率改變，尤其對以結晶態胺基酸為蛋白質來源的試驗飼料之影響最大，因為文獻所使用的飼糧組成與缺乏程度不盡相同，導致所求得彼等支鏈胺基酸相對於離胺酸之比值有較大的差異。

表 4、不同方法論所求得之肉雞理想胺基酸組成

Table 4. Ideal amino acids pattern for broiler chicks established by different methodologies

	Roth et al. (2001)	NRC (1994)	Kreuzer et al. (1988)	Baker and Han (1994)	Wei et al. (2009)	Hurwitz et al. (1978)*	Baker et al. (2002)	
Methods	Amino acids deletion	Reference summarization	Whole body composition	Comparative selection	Dose response (improved version)	Factorial approach	Dose response with broken-line model	
Basis of expression	Digestible	Total	-	Digestible	Digestible	Total	Digestible	
Sexual	Male	Mixed	Mixed	Male	Male	Mixed	Male	
Breed	Commercial broiler strain (Ross)	Commercial broiler strain	Commercial broiler strain (Ross)	New Hampshire male x Columbian female	Taiwan country chick	Commercial broiler strain	New Hampshire male x Columbian female	
Age (day)	8 to 28	0 to 21	21 to 35	8 to 22	14 to 28	7 to 21	8 to 20	CV (%)
Lysine	100	100	100	100	100	100	100	0
Arginine	108	114	88	105	105	115	106	8.4
Histidine	38	32	37	32	34	26	-	13.0
Isoleucine	63	73	42	67	69	75	61	17.2
Leucine	108	109	93	109	103	119	-	8.0
Sulfur amino acids	70	82	53	72	81	74	-	14.6
Aromatic amino acids	121	122	94	105	135	105	-	13.1
Threonine	66	73	52	67	65	70	56	11.7
Tryptophan	14	18	15	16	18	14	17	10.8
Valine	81	82	50	77	79	111	78	22.2

\*The average value of one to two weeks and two to three weeks



## (二) 實驗飼糧種類

依據氮之提供來源可以分為三種不同的實驗飼糧：實用飼糧、以純蛋白質為主的半純化飼糧與結晶態胺基酸之半純化飼糧。實用飼糧主要是以玉米與大豆粕為主要原料配製而成，其氮來源來自於植物性或動物性蛋白質。以純蛋白質為主的半純化飼糧之氮來源部分來自消化率良好且胺基酸平衡的蛋白質原料，常見的有酪蛋白搭配明膠，尚含有少部分為了平衡胺基酸組成而添加的結晶態胺基酸。結晶態胺基酸半純化飼糧顧名思義其所有氮來源都由結晶態胺基酸所提供，然而除了結晶態胺基酸外，其餘蛋白質原料都存在著消化率之問題，並非蛋白質中所有胺基酸都會被腸道吸收利用，因此若是忽略了胺基酸消化率之問題，以飼糧中總胺基酸為表達基礎，來建立理想胺基酸組成時，將會因為原料蛋白質消化率之不同，而造成結果有很大的差異 (NRC, 1994; Hurwitz et al., 1978)，若是先建立該動物對於原料之胺基酸消化率或是以結晶態胺基酸半純化飼糧當作試驗飼糧，以可消化胺基酸為基礎，來表達理想胺基酸組成 (Baker et al. 2002)，則可以克服這一個不良影響，使得結果更準確和實用。

## (三) 生長指標

評判飼料中限制胺基酸對動物影響之指標有體增重、飼料轉換率、體氮蓄積、含氮廢物的排出、胺基酸氧化速率、血漿中胺基酸濃度等，然而在以不同指標探討需要量時往往會得到不同的結果，進而去影響理想胺基酸組成。Baker et al. (2002) 在探討雄性肉雞之羥丁胺酸、色胺酸、異白胺酸和纈胺酸相對於離胺酸之比例時，比較了不同生長指標對個別胺基酸需要量之影響，發現離胺酸在以體增重或飼料轉換率為生長指標時，所測得之最適需要量不相同，但是其餘胺基酸需要量在兩指標間則沒有差異。因為理想胺基酸組成是以各胺基酸相對於離胺酸之比例表示，若離胺酸需要量在不同指標間存在著差異，而其餘胺基酸則不受指標不同所影響的話，將導致整體理想胺基酸組成的結果不同。



#### (四) 動物的基因型

不同品種、不同生長速率之肉雞，其理想胺基酸組成可能不同，由於彼此體內蛋白質蓄積能力存在著差異，胺基酸利用效率就可能不相同。同時增重速率較慢的雞隻品系，其各胺基酸之維持需要量大多都高於增重較快的品系 (Wei et al., 2009; Sklan and Noy, 2005)，這也可能影響到理想胺基酸的組成。Han and Baker (1991) 比較了增重速率較慢的肉雞品系 (New Hampshire × Columbian) 與增重速率較快的品系 (Hubbard × Hubbard) 在一至三週齡時，對於可消化離胺酸的需要量，發現兩品系雖然因為採食量不同而有攝取絕對量 (mg/d) 的差異，但是依採食量換算為飼糧中百分比後，兩品系都在可消化離胺酸為 1.21% 時有最佳生長表現，但是其他胺基酸如羥丁胺酸與甲硫胺酸在生長速率不同的品系中，所需用來達到最佳生長表現之胺基酸百分比則不相同 (Kidd et al., 2004; Kalinowski et al., 2003)，依這些結果推論，以不同生長速率之肉雞品系建立理想胺基酸組成，所得之結果也不盡相同。

#### (五) 不同生長階段

不同體重與不同生長階段的肉雞胴體胺基酸比例與體蛋白蓄積能力都不盡相同 (Wecke et al., 2018)，且隨著年齡的增長，胺基酸用於維持或生長之需要量也會有所不同。在先前研究顯示含硫胺基酸、羥丁胺酸、色胺酸、纈胺酸和異白胺酸的維持需要量會隨著年齡的增長而明顯增加，然而離胺酸維持之需要量在不同年齡間則相對穩定 (Emmert and Baker, 1997)，此顯示不同胺基酸對於生長與維持之貢獻程度不同，因此理想胺基酸組成的變化是隨著時間呈現動態的改變，而非所有年齡都適用於同一個理想胺基酸組成。

#### (六) 其他

除了上述因素外，環境條件、身體狀態、性別、飼料添加物、飼糧中蛋白質與結晶態胺基酸比例等都可能影響理想胺基酸組成的建立，但是這些因素目前尚缺深入之研究，故無法一一探討。



## 六、本實驗之研究目的

家禽理想胺基酸組成的研究雖然已有將近三十年的發展，但是在近十五年來幾乎沒有相關文獻建立新的標準，隨著白肉雞生長性能的提高，先前的研究是否仍適合現今白肉雞之需求，值得深究。況且先前的研究方法都因為其缺點而被後來的學者質疑，因此新的方法有必要被提出探討。Wei et al. (2009) 所發表的台灣紅羽土雞理想必需胺基酸組成之研究方法是以前劑量反應法進行改良，應用低劑量時，胺基酸攝取量與生長表現呈直線相關之原理，減少試驗中胺基酸缺乏的組別，並以管飼方式減少單一胺基酸缺乏所導致採食不足的問題，改善了劑量反應法的缺點，因此本研究將參考此方法來探討白肉雞之各必需胺基酸需要量，以建立生長前期之理想必需胺基酸組成，且藉由此方法亦可求得生長與維持個別之需要量，並與不同生長階段之體蛋白質蓄積率與代謝體重進行理想必需胺基酸組成之動態性估測。另外，先前對於家禽理想胺基酸組成之研究，大部分僅著墨於必需胺基酸間的比例關係，忽略了非必需胺基酸於理想蛋白質中的重要性，因此本研究將以所進行的試驗求得之各必需胺基酸需要量為基礎，以固定飼糧中各必需胺基酸濃度的方式，改變飼糧中非必需胺基酸濃度，來達到不同整體必需胺基酸佔總胺基酸之比例組合，藉以探討其對於體氮蓄積率與氮利用效率之影響，以建立出完整的理想胺基酸組成。



## 參、試驗內容

### 試驗一、檢測生長前期商用白肉雞，每日每公斤代謝體重所對應之可代謝能需要量 ( $k$ 值)

#### 一、前言

結晶態胺基酸半純化飼糧常用於胺基酸需要量的研究，因為可以藉由結晶態胺基酸添加的比例來調配出不同濃度的試驗飼糧。在玉米大豆粕之實用飼糧中則因為大部分胺基酸都超過動物之需求，導致除了離胺酸、甲硫胺酸、色胺酸、羥丁胺酸外，無法在不降低過多的粗蛋白含量之前提下，達到預期的限制胺基酸的濃度，因此如果以不同限制胺基酸之濃度與生長表現之變化來探討胺基酸需要量時，應該以結晶態胺基酸作為試驗飼糧較為妥當。

然而過去已有許多文獻發現動物對於結晶態胺基酸飼糧的採食慾望非常低，常常因為採食量不足而導致生長遲滯 (Klain et al., 1960a and 1960b)，且過去研究也發現單一胺基酸的缺乏也會導致採食量下降 (Konashi et al., 2000)，這些原因都限制了結晶態胺基酸於研究中的應用。在 Glista (1951) 研究中則以管飼方式 (Intubation) 餵食雞隻結晶態胺基酸飼糧，使其達到足夠採食量，結果發現結晶態胺基酸飼糧組別的生長表現可以和實用飼糧組相互媲美，因此本試驗將以嗜口性較佳的玉米大豆粕為主之實用飼糧來餵飼雞隻，以確定每日每公斤代謝體重之雞隻所需攝取代謝能之多寡，並以此試驗結果作為往後試驗之管飼標準。



## 二、材料與方法

### (一) 試驗動物與飼養管理

本實驗以 3 日齡之雄性白肉雞 (Arbor Acres Plus) 進行試驗，試驗為期 7 天，至 10 日齡結束。3 日齡前為適應期，將 0 日齡雛雞分別打好翅號後，飼養在電器保溫育雛器(60 × 90 cm)中，並參考 Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014) 飼養管理手冊與 NRC (1994) 之營養標準，以玉米、大豆粕、魚粉為主要原料進行配方試算，配製出各營養分皆滿足 0 至 10 日齡白肉雞需要量之飼糧 (表 5)，並於飲用水中額外添加 0.02% Trisulmix 抗生素，且飲用水皆使用隔夜已曝氣之自來水，適應期間飼料任食與飲用水任飲。電器保溫育雛器溫度控制在 35°C，採用每日 24 小時光照。

3 日齡試驗正式開始，選取 30 隻體重相近的雞隻，秤重後 1 隻 1 欄飼養在保溫育雛器中，飼養期間飲用水不額外添加 Trisulmix 抗生素，光照改為每日 23 小時，育雛器溫度一樣維持 35°C，飼料跟適應期相同，每日早上 10 點禁食，下午 2 點秤空腹體重與收集採食量數據，禁食期間飲用水任飲，直到 10 日齡試驗結束。

### (二) 測定項目與方法

#### 1. 雞隻每日採食量數據收集方法

每日於 10 點禁食後秤量飼料槽中剩餘飼料重，收集糞盤中掉落飼料，並且將飲水槽中飼料烘乾，三者之總和即為總剩料量，將前一天所秤之飼料重與之相減即為每隻雞每日採食量。

#### 2. 每日每公斤代謝體重所對應之可代謝能需要量 ( $k$ 值) 計算方式

藉由試驗中雞隻每日採食量、代謝體重的結果與飼糧中可代謝能濃度，可用以下公式來估算滿足 3 至 10 日齡雛雞生長與維持之每日每公斤代謝體重之代謝能需要量 ( $k$  值)：



雞隻每日採食量 (kg/day) × 飼糧中可代謝能濃度 (kcal/kg) =  $k$  × 雞隻代謝體重 (kg<sup>0.75</sup>)



### 3. 飼糧成分測定

檢測飼糧水分與粗蛋白質濃度，詳見附錄一、二。

#### (三) 統計分析

將每隻雞於試驗期間每日測得之  $k$  值平均後，以 SAS 統計分析軟體 (Statistical Analysis System, Ver 9.4, for Windows 10, 2018, USA) 進行 PROC MEANS 計算其平均值與標準偏差 (Standard Deviation, SD)。

表 5、白肉雞實用飼糧配方組成與營養分分析值

Table 5. The nutrient composition and analyzed values of the practical diet for broiler

Ingredients	g/kg
Corn meal	507.35
Soybean meal	365.07
Fish meal	50.00
Soybean oil	37.49
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	11.19
CaCO <sub>3</sub>	11.20
Vitamin premix <sup>1</sup>	3.00
Mineral premix <sup>2</sup>	2.00
NaCl	3.00
Choline-Chloride (50%)	1.50
Coccidiosis medicines	0.60
DL-Methionine	4.96
Lysine-HCl	0.42
Threonine	1.37
Arginine	0.85
<b>Calculated</b>	
Crude protein (%)	23.00
ME (Mcal/kg)	3.00
<b>Analyzed (%)</b>	
Moisture	11.42
Crude protein	23.26

<sup>1</sup> Vitamins supplemented per kg of diet: vitamin A, 11,000 IU; vitamin D, 5,000 ICU; vitamin E, 75 IU, vitamin K3, 3.00 mg; thiamin, 3.00 mg; riboflavin, 8.00 g; niacin, 60.00 mg; vitamin B6, 4.00 mg; vitamin B12, 50.00 µg; folic acid, 2.00 mg; biotin, 0.17 mg; Ca-pantothenate, 15.00 mg

<sup>2</sup> Minerals supplemented per kg of diet: CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 5.6 mg; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 55.0 mg; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 376.7 mg; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O, 0.7 mg; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 606.3 mg



### 三、結果

每公斤代謝體重所相對應之可代謝能需要量、平均每日採食量、3 日齡與 10 日齡體重之結果列於表 6。依據每日秤取之雞隻空腹體重與其相對應之採食量數據可計算出滿足 3 至 10 日齡之雛雞每日生長與維持所需之可代謝能需要量為  $381.10 \pm 23.83 \text{ kcal ME/kg}^{0.75}$ 。

表 6、3 至 10 日齡雛雞每日每公斤代謝體重生長與維持所需之平均代謝能需要量 ( $k$  值)

Table 6. The mean  $k$  of metabolizable energy for daily maintenance plus growth based on metabolic body weight in day 3-10

Age	3-10 day old Broiler* n=30
Initial body weight (g)	65.93±5.67
Final body weight (g)	256.57±23.86
Intake (g /day)	27.51±3.01
$k$ (kcal ME/kg <sup>0.75</sup> /day)	381.10±23.83

\* Calculated from the average data of each chick for seven days



#### 四、討論

根據先前文獻發現 7 至 14 日齡雛雞在任食結晶態胺基酸飼糧時，會因為採食欲望的影響，導致在營養分充足的情況下，平均每日只有不到 10 g 的體增重 (Klain et al., 1960a and 1960b)，此值遠遠低於本試驗以玉米 - 大豆粕實用飼糧任食之體增重數值，因此若要以結晶態胺基酸當作試驗飼糧，則必須改善其嗜口性的問題，然而絕大部分結晶態胺基酸之口味皆不受動物喜愛，如纈胺酸、苯丙胺酸和白胺酸帶有苦味、麩胺酸則帶有酸味，綜合結晶態胺基酸組成之飼糧，其口味基本上是既酸即澀，所以本研究接下來之試驗將採用管飼的方式來確保雞隻有足夠的採食量，而管飼量之標準即以本試驗求得之  $k$  值進行計算。

將 Arbor Acres Broiler Performance Objectives (2014) 飼養管理手冊中 3 至 10 日齡每日體重、每日採食量、飼料中代謝能濃度之數值，進行與本試驗相同方法之計算，可以求得其  $k$  值為  $420.96 \text{ kcal ME/kg}^{0.75}/\text{day}$ ，此結果雖然高於本試驗測得之  $k$  值，但是若換算回每日每公斤代謝體重之採食量則僅差 13.28 g，這些許的差異可能與計算剩料的方式有關，本試驗中會將育雛器之糞盤、飼料槽、甚至是水槽中的剩料進行烘乾並依其水分回推水中剩料重，這樣收集剩料的方式應該是在商業生產飼養時無法比擬的，因此根據飼養管理手冊所測之  $k$  值略高於本試驗者，可以推斷其可能因為少部分剩料浪費於水中、墊料中、集糞帶上或是其他原因而沒有收集到，導致採食量較高。然而與 Wei et al. (2009) 以生長速率較慢的紅羽土雞計算出之  $k$  值 ( $272.2 \text{ kcal ME/kg}^{0.75}/\text{day}$ ) 相比，明顯高出許多，這也顯示在生長速率較快的品系會藉由採食更多的食物來滿足生長與維持所需之營養分 (Han and Baker, 1991)。

## 試驗二、檢測愛拔益加飼養管理手冊之各必需胺基酸推薦量所配製 之結晶態胺基酸飼糧對生長前期白肉雞之適用性



### 一、前言

若要以劑量反應法來建立理想胺基酸組成，需同時展開數個劑量反應法試驗來探討個別胺基酸的需要量，然而因為龐大的組別數與動物量使至今仍無人以此方法建立完整的理想必需胺基酸組成，Wei et al. (2009) 以劑量反應高原期之水平線與來自限制胺基酸在低攝取量時和生長表現呈現線性關係之直線，模擬劑量反應法之模型，兩線之交點即為滿足生長與維持所需之胺基酸需要量，此法大大減少了劑量反應法中所需的組別數量（通常為五組以上），因此本研究將參考其方法，應用於白肉雞理想必需胺基酸組成之探討。

本試驗之目的在確定使生長前期白肉雞之體氮蓄積率達到最大值之高原水平線，藉由參考 Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014) 飼養管理手冊與 NRC (1994) 之各必需胺基酸推薦量，配製整體必需胺基酸不同百分比之胺基酸濃度飼糧，並且搭配試驗一之結果進行管飼，結果以二次曲線模型評估其能致使體氮蓄積率表現最佳之整體必需胺基酸濃度，做為後續高原水平線之對照組。



## 二、材料與方法

### (一) 試驗動物與飼養管理

本實驗以 3 日齡之雄性白肉雞 (Arbor Acres Plus) 進行試驗，試驗為期 7 天，至 10 日齡結束。3 日齡前為適應期，適應期間之飼料、溫度、光照等飼養管理如同試驗一者。

2 日齡晚上 10 點開始禁食，禁食期間飲用水任飲，3 日齡早上 7 點試驗正式開始，將 30 隻體重相近之雛雞秤重後採用完全隨機設計 (Completely randomized design, CRD) 進行分組至電器保溫育雛器中，試驗組別分為 5 組，每組 6 欄，每欄 1 隻，分別為 Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014) 飼養管理手冊輔以 NRC (1994) 之整體必需胺基酸推薦量的 50、75、100、125 或 150%，飼料配方如表 7。並於每日早上 7 點秤個別雞隻的體重並記錄之，再以其之代謝體重、試驗一求得之  $k$  值與結晶態胺基酸半純化飼糧之可代謝能濃度，計算該雞隻當日所應採食之飼料量 (公式如下)，以管飼之方式分別於早上 7 點、11 點、下午 3 點與 7 點分四次餵食，管飼之操作流程詳見附錄三。

$$\text{雞隻每日應採食量 (kg/day)} = \frac{k \text{ (kcal/kg}^{0.75}\text{/day)} \times \text{雞隻代謝體重 (kg}^{0.75}\text{)}}{\text{飼糧中可代謝能濃度 (kcal/kg)}}$$

試驗於 10 日齡結束，經秤重後，所有雞隻以二氧化碳安樂死，集中冰存於 -20 °C 冰箱，留待後續屠體之製備，製備方法詳見附錄四。

### (二) 測定項目與方法

#### 1. 體氮蓄積率

體氮蓄積率是以代謝體重為基礎之每日體氮蓄積量來表示，其利用比較性屠宰方法 (Wei et al., 2009) 進行測定。於試驗開始時犧牲 3 日齡經禁食、秤重之雛雞共 10 隻，平均體重為  $69.32 \pm 4.42$  g，所選雞隻體重範圍需涵蓋將進行試驗之雞隻，經屠體樣品製備後 (附錄四) 測定其體水分與體氮含量，再以此 10 隻雛雞之



代謝體重與體氮含量建立 3 日齡時之一次迴歸曲線。

10 日齡試驗結束，所有雞隻屠體經前處理後，測定其體水分與體氮含量。計算體氮蓄積率時，將受測雞隻在 3 日齡時的代謝體重代入先前所得之一次迴歸直線中，便可計算求得 3 日齡時該雞隻初始體氮含量，並與代謝體重相除，可得每公斤代謝體重之氮含量，再與 10 日齡試驗結束後所測得之每公斤代謝體重之體氮含量相減，即可得試驗期間每公斤代謝體重之體氮蓄積量，此值與試驗天數相除即是以每日每公斤代謝體重之體氮蓄積量表示之體氮蓄積率。屠體中水分與氮濃度之測定詳見於附錄一、二。

## 2. 飼糧成分測定

檢測飼糧水分與粗蛋白質濃度，詳見附錄一、二。

### (三) 統計分析

試驗數據以 SAS 統計分析軟體 (Statistical Analysis System, Ver 9.4, for Windows 10, 2018, USA) 進行分析，數據先以一般線性模式 (General Linear Models procedure, GLM) 進行變方分析 (ANOVA)，當 P-value 小於 0.05 時，代表處理間有顯著差異，再以鄧肯新多重差距檢定 (Duncan's New Multiple Range Test) 來進行各處理組間均值之比較。資料皆以平均值  $\pm$  標準偏差表示。另外以迴歸分析 (Proc rsreg) 評估各胺基酸百分比與每公斤代謝體重之體氮蓄積率是否有線性或二次迴歸關係，若二次迴歸關係顯著，則預測其達到最佳體氮蓄積率之整體必需胺基酸百分比。

表 7、整體必需胺基之不同百分比之飼糧配方組成與營養分分析值

Table 7. The nutrient composition and analyzed value of the different percentages of all essential amino acid diets for broiler

Ingredients	Treatment (%) <sup>1</sup>	50	75	100	125	150
		-----g/kg-----				
Cellulose		55.00	70.00	90.00	90.00	90.00
Maize starch		446.42	442.23	431.08	450.89	470.74
Glycerol		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Soybean oil		42.00	43.00	46.00	38.00	30.00
Choline-Chloride (50%)		3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
Vitamin premix <sup>1</sup>		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Mineral premix <sup>2</sup>		70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
Threonine		4.30	6.45	8.60	10.75	12.90
Glutamic acid		313.32	276.74	240.16	203.58	167.00
Valine		4.80	7.20	9.60	12.00	14.40
Methionine		4.75	7.13	9.50	11.88	14.25
Isoleucine		4.30	6.45	8.60	10.75	12.90
Leucine		7.05	10.58	14.10	17.63	21.15
Phenylalanine		6.70	10.05	13.40	16.75	20.10
Lysine-HCl		8.00	12.00	16.00	20.00	24.00
Histidine		1.75	2.63	3.50	4.38	5.25
Arginine		6.85	10.28	13.70	17.13	20.55
Tryptophan		1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
<b>Calculated</b>						
Crude protein (%)		23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
ME (Mcal/kg)		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
<b>Analyzed (%)</b>						
Moisture		9.53	9.47	9.64	9.19	9.76
Crude protein		23.07	23.58	23.51	23.18	23.18

<sup>1</sup> The percentage of requirements recommended by Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014) for the all essential amino acids except phenylalanine and histidine and NRC (1994) for histidine and phenylalanine

<sup>2</sup> Vitamins supplemented per kg of diet: vitamin A, 13,000 IU; vitamin D, 5,000 ICU; vitamin E, 80 IU, vitamin K3, 3.20 mg; thiamin, 3.20 mg; riboflavin, 8.60 g; niacin, 60.00 mg; vitamin B6, 5.40 mg; vitamin B12, 17.00 µg; folic acid, 2.20 mg; biotin, 0.30 mg; Ca-pantothenate, 17.00 mg

<sup>3</sup> Minerals supplemented per kg of diet: CaCO<sub>3</sub> 20.55 g; Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 8.37 g; NaHCO<sub>3</sub> 4 g; KHCO<sub>3</sub> 9 g; NaCl 3.12 g; KCl 0.86 g; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 6.78 g; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 63.5 mg; KI 1.7 mg; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 377 mg; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0.7 mg; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 483.9 mg; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 100.6 mg; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 10.14 g





### 三、結果

3 日齡雞隻屠體經體水分與體氮分析後，以一次線性迴歸得 3 日齡之每公斤代謝體重與體氮含量之關係  $y = 10.783x + 0.1419$  ( $r^2 = 0.9006$ ) (圖 7)。試驗組之雞隻可以藉由將 3 日齡時之個別代謝體重代入此迴歸式，求出試驗初始時之體氮含量，並與試驗結束後測得之體氮含量一同計算得出體氮蓄積率。整體必需胺基酸之不同百分比對於白肉雞之生長性能與體氮蓄積率之影響如表 8 所示。結果顯示，隨著飼糧中整體必需胺基酸百分比的提升，生長性能及體氮蓄積率皆呈線性增長 ( $P < 0.05$ )，在 125% 時各項指標都達到最佳值，然而當達到 150% 時，各項指標皆顯著下降 ( $P < 0.05$ )。從 10 日齡之體重與體增重數據顯示，100% 組與 125% 組沒有顯著差異，且都顯著高於其他組 ( $P < 0.05$ )，而其他組別任兩組間都有顯著差異存在 ( $P < 0.05$ )。10 日齡之體氮含量與體重之情況雷同，唯一不同之處在於 100% 組顯著低於 125% 組 ( $P < 0.05$ )，而與 75% 組之間無顯著差異存在。體氮蓄積率之數據顯示，75、100、125% 組皆沒有顯著差異，且都顯著高於 50 與 150% 組，而 150% 組則顯著高於 50% 組 ( $P < 0.05$ )。

以迴歸分析評估各必需胺基酸百分比與體氮蓄積率之二次效應達顯著之水準 ( $P < 0.05$ )，因此進一步計算其二次曲線為  $y = -0.0001x^2 + 0.0243x - 0.3183$  ( $r^2 = 0.5673$ )，並預測當百分比為 109.75 % 時，可使體氮蓄積率之表現達到最佳 (圖 8)。

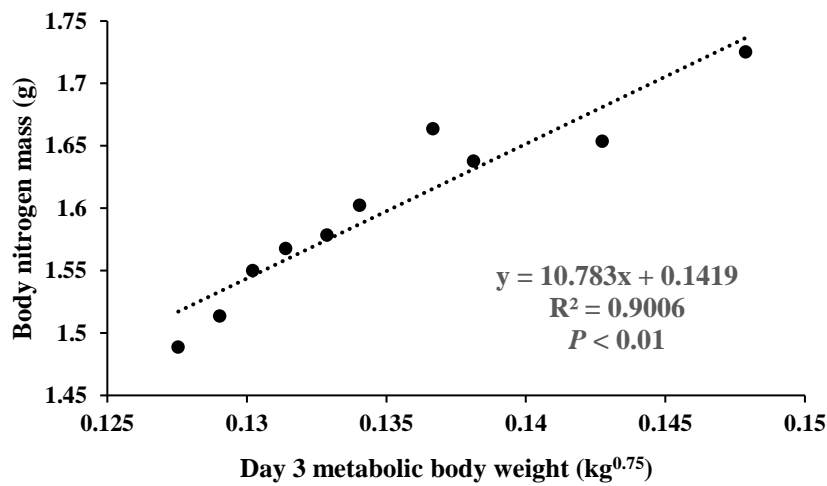


圖 7、3 日齡白肉雞代謝體重與體氮含量之線性迴歸分析 (試驗二)

Figure 7. The linear regression of initial nitrogen mass on the metabolic body weight of broiler at 3 days of age (the second trial)

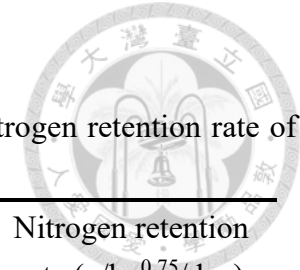


表 8、改變飼糧中整體必需胺基酸之推薦需要量<sup>1</sup>對白肉雞生長性能與體氮蓄積率之影響

Table 8. The effect of alterations in dietary all essential amino acid requirements<sup>1</sup> on the growth responses and body nitrogen retention rate of broiler

Treatment (%)	n	Day 3 weight (g)	Day 3 N mass <sup>2</sup> (g)	Day 10 weight (g)	Day 10 N mass (g)	Body weight gain (g/day)	Nitrogen retention rate (g/kg <sup>0.75</sup> /day)
50	6	69.47±4.51	1.60±0.07	134.93±5.78 <sup>d</sup>	3.58±0.31 <sup>d</sup>	9.35±1.18 <sup>d</sup>	0.60±0.13 <sup>c</sup>
75	6	69.47±4.20	1.60±0.07	191.20±6.84 <sup>b</sup>	5.28±0.39 <sup>b</sup>	17.39±1.08 <sup>b</sup>	0.92±0.13 <sup>a</sup>
100	6	69.03±3.71	1.59±0.06	204.00±9.07 <sup>a</sup>	5.49±0.35 <sup>b</sup>	19.28±1.12 <sup>a</sup>	0.89±0.12 <sup>a</sup>
125	6	69.17±4.32	1.59±0.07	209.30±8.27 <sup>a</sup>	5.85±0.06 <sup>a</sup>	20.02±0.88 <sup>a</sup>	1.01±0.07 <sup>a</sup>
150	6	69.60±4.13	1.60±0.06	165.73±7.21 <sup>c</sup>	4.45±0.26 <sup>c</sup>	13.73±0.68 <sup>c</sup>	0.75±0.09 <sup>b</sup>
<b>P value</b>							
<b>Linear</b>		0.99	1.0	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
<b>Quadratic</b>		0.82	0.82	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01

<sup>1</sup> Originating from Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014) and NRC (1994)

<sup>2</sup> Those values were estimated from figure 7 in this item

<sup>a-c</sup> Different superscripts means that significant differences exist between treatments in the same column ( $P < 0.05$ )

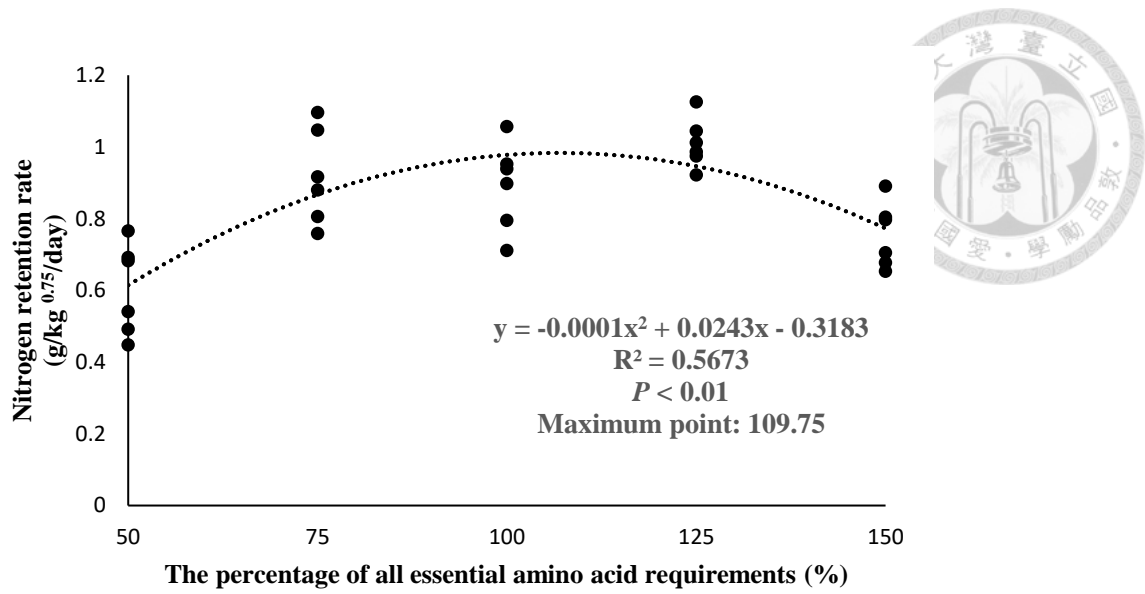


圖 8、不同胺基酸百分比與體氮蓄積率之二次迴歸分析

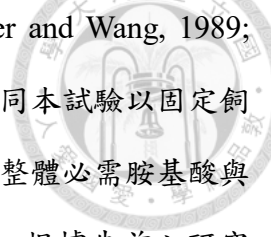
Figure 8. The quadratic regression of nitrogen retention rate on different percentage of total dietary essential amino acid requirement



#### 四、討論

整體必需胺基酸之不同百分比對雞隻生長性能與體氮蓄積率之影響結果顯示，隨著比例的提高，飼糧中整體必需胺基酸的濃度越來越接近雞隻所需，生長表現與體氮蓄積也會隨之增加。以二次曲線模型分析之最佳個別必須胺基酸百分比與 Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014) 推薦之必需胺基酸需要量相差不大，但是當整體必需胺基酸百分比達到 150%時，生長表現與體氮蓄積率都開始下降，這代表在此組別所添加於飼糧中之結晶態胺基酸的濃度已超過生理反應之高原期，而因為某些必需胺基酸供應過多而產生毒性，致使該生長表現產生衰退 (Morris, 1999)。在 Featherston et al. (1962) 之試驗中，以一週齡之雛雞分別餵食正常量與兩倍量之結晶態必需胺基酸，並比較其生長表現，發現餵食兩倍量之組別，其生長表現不但沒有下降，反而還高於正常量組，然而經過比較其兩倍量組別與本試驗 150% 組之飼糧中個別必需胺基酸濃度，可發現 150% 組別之甲硫胺酸、苯丙胺酸與精胺酸之濃度，分別高於該試驗兩倍量組 6.2、6.1 與 5.6 g/kg，其餘胺基酸濃度則都較低或相似。在 Morris (1999) 所提出之劑量與反應之關係圖中，將導致高原期後反應下降之劑量定義為中毒劑量 (圖三)，精胺酸和苯丙胺酸之中毒劑量相關研究甚少，但是已有不少研究在探討家禽對於甲硫胺酸的中毒劑量。在 Ekperigin et al. (1981) 實驗中發現，在已含有 0.6% 甲硫胺酸之玉米 - 大豆粕之實用飼糧中額外添加 0.8% 之結晶態甲硫胺酸，會導致十二日齡之雛雞體增重，較無添加結晶態胺基酸組別減少 16%；而本試驗 150% 組別之甲硫胺酸濃度與其額外添加 0.8% 結晶態甲硫胺酸之組別相似，且全部由結晶態胺基酸補充，故吸收效率應比蛋白質飼糧高且快速，中毒症狀也可能較嚴重，因而推斷過量的甲硫胺酸可能是造成該組別表現下降的原因，所以在提高總胺基酸百分比之同時，可能會面臨某些胺基酸過量而導致中毒的問題。

然而亦可從另一角度進行探討，在飼糧中粗蛋白質濃度相同之前提下，提升整體必需胺基酸之百分比將伴隨著整體非必需胺基酸含量的下降，而整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之間的比例對於動物蛋白質合成也是十分重要。過去研究整體



必需胺基酸對整體非必需胺基酸之比例關係的研究方法 (Fuller and Wang, 1989; Sugahara and Ariyoshi, 1968; Bedford and Summer, 1985)，也都如同本試驗以固定飼糧中總氮含量，並調整整體必需胺基酸之含量，配製出含有不同整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸比例組合之飼糧，並針對生長表現進行試驗。根據先前之研究 (Bedford and Summer, 1985)，比較整體必需胺基酸：整體非必需胺基酸分別為 35：65、45：55、55：45 或 65：35 在粗蛋白質濃度為 22%時，檢測對於 1 至 3 週齡白肉雞生長表現之影響。其結果發現隨著整體必需胺基酸之比例提高，體增重也跟著增加，當達到 55：45 時，體增重來到最大值。若將本試驗之整體必需胺基酸百分比換算為整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之比例，可得知 50%組別為 19：81 (整體必需胺基酸：整體非必需胺基酸)；75%組別為 28：72；100%組別為 36：64；125%組別為 47：53；150%組別為 57：43，其中 150%之整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之比例，類似於 Bedford 試驗中的 55：45 之處理組，但是本試驗 150%組別之生長表現卻下降，推測可能是因為該組雞隻攝取過量的必需胺基酸所引起的中毒效應，已超過整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸間比例對雞隻生長表現的影響，這同時也是以固定總氮含量的方法探討整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之比例時，可能會面臨的問題。

綜合上述，求出能致使體氮蓄積率表現最佳之整體必需胺基酸百分比對於本研究後續之理想必需胺基酸組成之建立十分重要，因為從此實驗結果可發現，過量或缺乏都可能導致應用於後續試驗中的高原期被低估，進而去影響理想胺基酸組成建立的準確性。同時也證實以固定總胺基酸濃度的方法，探討整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸比例時，必須考慮到試驗結果可能會受到部分必需胺酸過量所產生的不良反應所影響。

# 試驗三、白肉雞生長前期飼糧中理想必需胺基酸組成之建立與不同 生長階段之理想必需胺基酸組成之動態性估測



## 一、前言

白肉雞飼糧中理想必需胺基酸組成雖然已有許多年的研究歷史，但是在近十五年期間，很少有相關文獻是以建立理想必需胺基酸組成為主題發表。先前研究之結果是否仍適用於現今之白肉雞，值得商榷。且先前研究方法之缺點亦為後來學者所詬病，因此有建立新的研究方法之必要性。

本試驗將應用先前試驗之結果，以試驗二所求得之最佳百分比當作高原期，配製所有必需胺基酸皆不缺乏之對照組飼糧，並且分別以相同一種必需胺基酸為兩個缺乏處理之唯一的限制胺基酸，但限制程度分別為對照組濃度之 50 或 60%，再以這兩個相同種類之限制胺基酸處理所測得之體氮蓄積率，構築成直線模擬劑量反應法中，處於低劑量時的線性直線，其與代表高原期之對照組水平線之交點，即為生長加維持所需之胺基酸需要量，藉以建立生長前期白肉雞之理想必需胺基酸組成。另外以限制缺乏組直線之斜率倒數與 X 軸之截距，分別評估生長和維持之需要量，並藉由各生長階段之體蛋白質蓄積率與代謝體重，進行理想必需胺基酸組成之動態性估測。



## 二、材料與方法

### (一) 試驗動物與飼養管理

本實驗以 3 日齡之雄性白肉雞 (Arbor Acres Plus) 進行試驗，試驗為期 7 天，至 10 日齡結束。3 日齡前為適應期，適應期間之飼料、溫度、光照等飼養管理如同試驗一。

於 2 日齡晚上 10 點開始禁食，禁食期間飲用水任飲，3 日齡早上 7 點試驗正式開始。將 126 隻體重相近之雛雞秤重後採用完全隨機設計 (Completely randomized design, CRD) 進行分組至電器保溫育雛器中。試驗組別分為 21 個處理，每處理 6 欄，每欄 1 隻，分別管飼予由試驗二所求得之整體必需胺基酸為最佳百分比之對照組飼糧，於該飼糧中，所有必需胺基酸之濃度皆非處於缺乏狀態，與僅有一種必需胺基酸缺乏的飼糧。在 20 個缺乏處理中，兩兩成對，以相同一種必需胺基酸為唯一的限制胺基酸，缺乏程度，分別為對照組者的 50 或 60%。換言之，相同限制胺基酸種類的飼糧分別只缺乏離胺酸、含硫胺基酸、色胺酸、羥丁胺酸、白胺酸、異白胺酸、纈胺酸、芳香族胺基酸、組胺酸或精胺酸，飼料配方如表 9。

每日之管飼操作與飼料管飼量之計算，如同試驗二與附錄三。試驗於 10 日齡結束，經秤重後，所有雞隻以二氧化碳安樂死，集中冰存於 $-20^{\circ}\text{C}$ 冰箱，留待後續屠體之製備，製備方法詳見附錄四。

### (二) 測定項目與方法

#### 1. 體氮蓄積率

測定方法如同試驗二。惟在建立比較性屠宰起始值之線性迴歸線時，因為參與本試驗之雞隻數目較多，體重差異之範圍較大，所以起始值之犧牲數增加至 15 隻雞雞，其平均體重為  $78.48 \pm 8.13 \text{ g}$ 。

#### 2. 飼糧成分測定



檢測飼糧水分與粗蛋白質濃度，詳見附錄一、二。



### 3. 不同生長階段之理想必需胺基酸組成動態性估測

根據本試驗求得之各必需胺基酸用於生長與維持之需要量，並與附錄六所求得之 0 至 10 日齡、10 至 21 日齡與 21 至 35 日齡之平均代謝體重、平均體蛋白質蓄積率與平均採食量結合，計算出不同階段之各必需胺基酸用於維持加生長之需要量，再將各胺基酸所得之結果，皆除以各階段所求得之離胺酸數值，並以離胺酸為 100 表示之，以獲得組合。

#### (三) 統計分析

試驗數據以 SAS 統計分析軟體 (Statistical Analysis System, Ver 9.4, for Windows 10, 2018, USA) 進行分析，數據先以一般線性模式 (General Linear Models procedure, GLM) 進行變方分析 (ANOVA)，當 P-value 小於 0.05 時，代表處理間有顯著差異，再以鄧肯新多重差距檢定 (Duncan's New Multiple Range Test) 來進行各處理組間均值之比較。資料皆以平均值  $\pm$  標準偏差表示。

各必需胺基酸之生長、維持與生長加維持之需要量以圖 3 和 6 之原理，乃利用 Microsoft Excel 套裝軟體 (2016) 進行計算與作圖。以每日每公斤代謝體重所採食的限制胺基酸量為 x 軸，以每日每公斤代謝體重體氮蓄積量當 y 軸，將對照組的每日每公斤代謝體重的體氮蓄積量劃成一條水平線，將源自同一種限制胺基酸缺乏的每隻雞所對應的點進行直線迴歸 ( $n=12$ )，所獲得之迴歸直線的斜率之倒數和迴歸直線對 x 軸的截距，則分別代表白肉雞將此必需胺基酸分別用於生長或維持所需之需要量；而各條迴歸直線與對照組的水平線之交點的 x 軸之對應值，則為滿足 3 至 10 日齡白肉雞每日每公斤代謝體重對此必需胺基酸生長加維持的需要量。將各組所得上述交點的 x 軸之對應值同時除以離胺酸的對應值，所得到的比例組合即為 3 至 10 日齡白肉雞飼糧中理想必需胺基酸組成。

表 9、必需胺基酸缺乏組之飼糧配方組成與營養分分析值

Table 9. The nutrient composition and analyzed value of essential- amino- acid deficient diets for broiler

Ingredients	Treatment	g/kg						
		Control <sup>1</sup>	Lysine		Arginine		Sulfur amino acids	
			Level 1 <sup>2</sup>	Level 2	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
Cellulose		90.00	85.00	85.00	89.00	89.00	88.00	88.00
Maize starch		438.70	438.34	439.41	426.21	428.91	440.76	440.75
Glycerol		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Soybean oil		43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00
Choline-Chloride (50%)		3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
Vitamin premix <sup>3</sup>		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Mineral premix <sup>4</sup>		70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
Threonine		9.44	9.44	9.44	9.44	9.44	9.44	9.44
Glutamic acid		225.89	240.03	237.20	246.90	242.70	231.04	230.01
Valine		10.54	10.54	10.54	10.54	10.54	10.54	10.54
Methionine		10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	5.21	6.26
Isoleucine		9.44	9.44	9.44	9.44	9.44	9.44	9.44
Leucine		15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47
Phenylalanine		14.71	14.71	14.71	14.71	14.71	14.71	14.71
Lysine HCl		17.56	8.78	10.53	17.56	17.56	17.56	17.56
Histidine		3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84
Arginine		15.04	15.04	15.04	7.52	9.02	15.04	15.04
Tryptophan		2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
Calculated								
Crude protein (%)		23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
ME (Mcal/kg)		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Analyzed (%)								
Moisture		9.86	9.27	9.44	9.30	10.07	9.81	9.23
Crude protein		23.28	22.47	22.21	23.44	23.75	22.64	22.98

<sup>1</sup> The 109.75% of requirement recommended by Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014) and NRC (1994) for all the essential amino acids for broilers

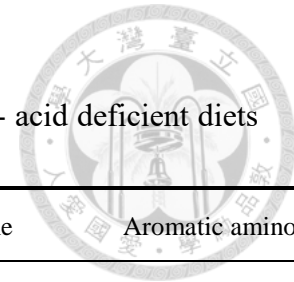
<sup>2</sup> Level 1 and level 2 were the 50 and 60% of the control treatment for limiting amino acid deficiency respectively

<sup>3</sup> The same as that of the table 7

<sup>4</sup> Methionine and cystine

表 9、必需胺基酸缺乏組之飼糧配方組成與營養分分析值 (續)

Table 9. The nutrient composition and analyzed value of essential- amino- acid deficient diets for broiler (continuous)



Ingredients	Treatment	Histidine		Tryptophan		Leucine		Aromatic amino acids <sup>3</sup>	
		Level 1 <sup>1</sup>	Level 2	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
-----g/kg-----									
Cellulose		90.00	90.00	90.00	90.00	84.00	84.00	83.00	83.00
Maize starch		435.15	435.86	438.21	438.31	443.76	443.95	446.50	446.34
Glycerol		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Soybean oil		43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00
Choline-Chloride (50%)		3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
Vitamin premix <sup>2</sup>		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Mineral premix <sup>2</sup>		70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
Threonine		9.44	9.44	9.44	9.44	9.44	9.44	9.44	9.44
Glutamic acid		231.36	230.27	227.48	227.16	234.57	232.83	232.44	231.13
Valine		10.54	10.54	10.54	10.54	10.54	10.54	10.54	10.54
Methionine		10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43
Isoleucine		9.44	9.44	9.44	9.44	9.44	9.44	9.44	9.44
Leucine		15.47	15.47	15.47	15.47	7.74	9.28	15.47	15.47
Phenylalanine		14.71	14.71	14.71	14.71	14.71	14.71	7.35	8.82
Lysine HCl		17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56
Histidine		1.92	2.30	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84
Arginine		15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04
Tryptophan		2.20	2.20	1.10	1.32	2.20	2.20	2.20	2.20
<b>Calculated</b>									
Crude protein (%)		23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
ME (Mcal/kg)		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
<b>Analyzed (%)</b>									
Moisture		9.42	9.81	9.66	9.32	9.47	9.98	9.37	9.32
Crude protein		23.44	23.36	23.68	22.97	23.61	23.74	22.92	22.87

<sup>1</sup> Level 1 and level 2 were the 50 and 60% of the control treatment for limiting amino acid deficiency respectively

<sup>2</sup> The same as that of the table 7

<sup>3</sup> Phenylalanine and tyrosine

表 9、必需胺基酸缺乏組之飼糧配方組成與營養分分析值 (續)

Table 9. The nutrient composition and analyzed value of essential- amino- acid deficient diets for broiler (continuous)

Ingredients	Treatment	Isoleucine		Threonine		Valine	
		Level 1 <sup>1</sup>	Level 2	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
		-----g/kg-----					
Cellulose		87.00	87.00	90.00	90.00	87.00	87.00
Maize starch		441.12	441.24	437.59	437.81	440.35	440.62
Glycerol		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Soybean oil		43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00
Choline-Chloride (50%)		3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
Vitamin premix <sup>2</sup>		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Mineral premix <sup>2</sup>		70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
Threonine		9.44	9.44	4.72	5.66	9.44	9.44
Glutamic acid		231.19	230.13	231.72	230.56	232.51	231.19
Valine		10.54	10.54	10.54	10.54	5.27	6.32
Methionine		10.43	10.43	10.43	10.43	10.43	10.43
Isoleucine		4.72	5.66	9.44	9.44	9.44	9.44
Leucine		15.47	15.47	15.47	15.47	15.47	15.47
Phenylalanine		14.71	14.71	14.71	14.71	14.71	14.71
Lysine HCl		17.56	17.56	17.56	17.56	17.56	17.56
Histidine		3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84
Arginine		15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04
Tryptophan		2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
Calculated							
Crude protein (%)		23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
ME (Mcal/kg)		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Analyzed (%)							
Moisture		9.38	10.07	9.66	9.21	9.41	9.23
Crude protein		22.65	23.02	23.87	23.66	22.84	22.89

<sup>1</sup> Level 1 and level 2 were the 50 and 60% of the control treatment for limiting amino acid deficiency respectively

<sup>2</sup> The same as that of the table 7



### 三、結果

各必需胺基酸缺乏組之不同缺乏程度對白肉雞生長表現之影響，列於表 10。結果顯示各必需胺基酸缺乏組在缺乏程度為對照組的 60%時，10 日齡體重與體增重的表現皆顯著低於對照組 ( $P < 0.05$ )；當各必需胺基酸缺乏組的缺乏程度為對照組的 50%時，10 日齡體重與體增重之表現則都顯著低於 60%缺乏程度 ( $P < 0.05$ )。

3 日齡雞隻屠體經體水分與體氮分析後，以一次線性迴歸得 3 日齡之每公斤代謝體重與體氮含量之關係為  $y = 11.1x + 0.0931$  ( $r^2 = 0.9032$ ) (圖 9)。可以藉由將 3 日齡時試驗組雞隻之代謝體重代入此迴歸式，求出試驗初始時之體氮含量，並與試驗結束後所測得之體氮含量結合，計算出以每公斤代謝體重為基礎之體氮蓄積率 (表 11)。從表中可發現，其結果與體增重相似，各必需胺基酸缺乏組的缺乏程度為對照組的 60%時，體氮蓄積率皆顯著低於對照組 ( $P < 0.05$ )；在缺乏程度為對照組的 50%時，體氮蓄積率則都顯著低於 60%缺乏程度 ( $P < 0.05$ )。此外，將同一必需胺基酸缺乏組的每隻雞所對應之體氮蓄積率與限制胺基酸攝取量進行直線迴歸 (圖 10)；所獲得之迴歸直線的斜率、迴歸直線對 x 軸的截距、各組迴歸直線與對照組的水平線之交點的 x 軸之對應值皆列於表 11。斜率之倒數代表用於生長之胺基酸需要量，即每增加 1 公克的體氮所需之限制胺基酸攝取量，將此值換算成雞隻每蓄積 1 公克體蛋白質時，對此限制胺基酸之需要量表示；迴歸直線對 x 軸之截距則代表在氮均衡時，雞隻每日維持每公斤代謝體重所需之限制胺基酸攝取量；迴歸直線與對照組的水平線之交點的 x 軸之對應值，則為滿足 3 至 10 日齡白肉雞每日每公斤代謝體重對此必需胺基酸生長加維持的需要量。將生長、維持、生長加維持所求得之各必需胺基酸需要量除以離胺酸數值，並以離胺酸設為 100 表示，便可得 3 至 10 日齡白肉雞生長加維持所需之理想必需胺基酸組成為 Lys : Arg : SAA : His : Trp : Leu : AAA : Ile : Thr : Val = 100 : 108 : 74 : 32 : 13 : 123 : 123 : 63 : 70 : 81 ; 生長所需之理想必需胺基酸組成為 100 : 113 : 77 : 33 : 13 : 125 : 123 : 66 : 74 : 83 ; 維持所需之理想必需胺基酸組成為 100 : 21 : 5 : 13 : 15 : 58 : 125 : 3 : 11 : 41

(表 12)。

根據本試驗求得之各必需胺基酸用於生長、維持之需要量與附錄六之各生長階段所測得之代謝體重與體蛋白質蓄積率之結果相結合，便可計算出在不同生長階段之理想必需胺基酸組成，列於表 13。結果顯示，0 至 10 日齡之理想必需胺基酸組成為 Lys : Arg : SAA : His : Trp : Leu : AAA : Ile : Thr : Val = 100 : 111 : 75 : 32 : 13 : 123 : 123 : 64 : 72 : 81 ; 10 至 21 日齡之理想必需胺基酸組成為 100 : 111 : 75 : 32 : 13 : 123 : 123 : 64 : 72 : 81 ; 21 至 35 日齡之理想胺基酸組成為 100 : 109 : 74 : 32 : 13 : 122 : 123 : 63 : 71 : 81 。

表 10、各必需胺基酸缺乏組在不同缺乏程度下對白肉雞生長表現之影響

Table 10. The effects of individual limiting amino acids at the 50 or 60% deficient level on growth performance of broiler

Limiting amino acid	Limiting amino acid intake (g/kg <sup>0.75</sup> /day)		Day 3 weight (g) <sup>4</sup>		Day 10 weight (g)		Body weight gain (g/day)	
	n = 6		n = 6		n = 6		n = 6	
	Level 1 <sup>3</sup>	Level 2	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
Lysine	0.89	1.07	73.53±3.62	73.43±3.48	151.10±7.19**	170.18±7.52*	11.08±0.63**	13.82±0.72*
Arginine	0.96	1.15	73.57±3.70	73.10±4.36	151.93±6.54**	169.68±6.46*	11.20±0.63**	13.80±0.59*
Sulfur amino acids <sup>1</sup>	0.66	0.79	73.67±3.36	73.82±3.35	158.13±6.37**	176.32±5.97*	12.07±1.03**	14.64±0.45*
Histidine	0.24	0.29	73.43±4.69	73.62±5.15	149.52±6.69**	169.12±6.12*	10.87±0.78**	13.65±1.11*
Tryptophan	0.14	0.17	73.50±3.88	73.43±4.37	165.98±5.84**	192.47±5.91*	13.21±0.95**	17.00±0.86*
Leucine	0.98	1.18	73.73±4.09	73.50±4.51	138.40±4.35**	152.82±7.99*	9.24±0.74**	11.33±0.65*
Aromatic amino acids <sup>2</sup>	0.93	1.12	73.47±4.48	73.82±3.59	134.87±7.72**	161.38±5.79*	8.77±0.55**	12.51±0.68*
Isoleucine	0.60	0.72	73.82±4.43	73.67±4.21	165.62±5.64**	186.83±5.26*	13.11±0.52**	16.17±0.71*
Threonine	0.60	0.72	73.73±3.84	73.18±2.33	148.98±6.52**	166.43±5.20*	10.75±0.51**	13.32±0.50*
Valine	0.67	0.80	73.92±4.99	73.62±5.01	150.00±5.16**	166.87±5.68*	10.87±0.77**	13.32±0.47*

\* Significantly different from the control treatment

\*\* Significantly different from the level 2

<sup>1</sup> Methionine and cystine

<sup>2</sup> Phenylalanine and tyrosine

<sup>3</sup> Level 1 and level 2 were the 50 and 60% of the control treatment for limiting amino acid deficiency respectively

<sup>4</sup> The control group's day 3 weight was 73.50±5.20 g, day 10 weight was 223.53±11.45 g, and body weight gain was 21.43±1.24 g/day

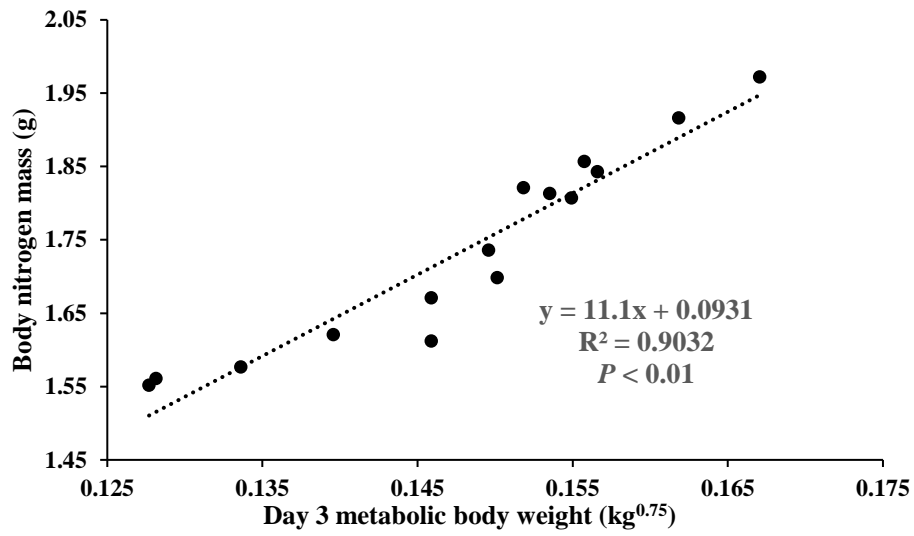


圖 9、3 日齡白肉雞代謝體重與體氮含量之線性迴歸分析 (試驗三)

Figure 9. The linear regression of initial nitrogen mass on the metabolic body weight of broiler at 3 days of age (The third trial)



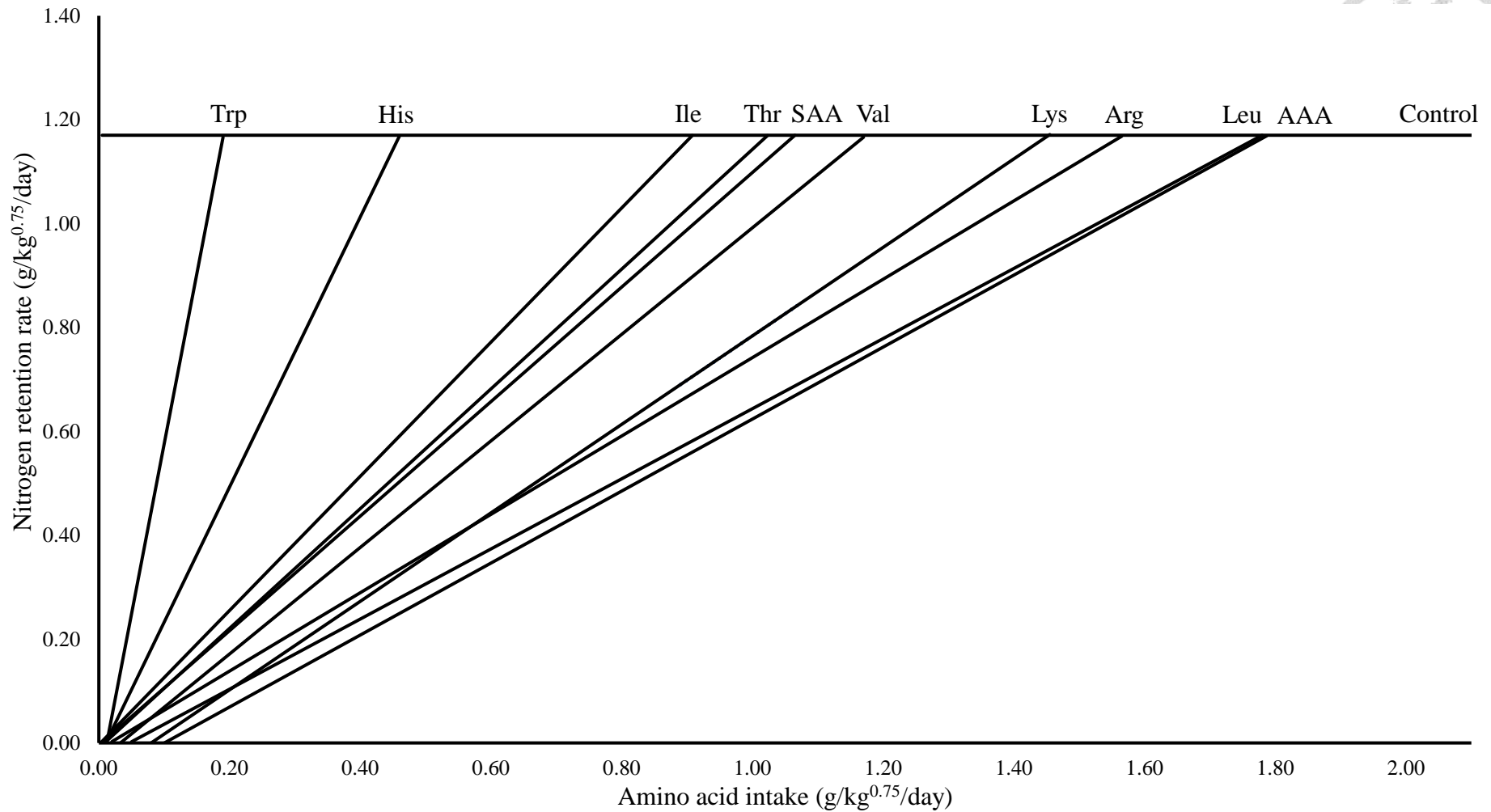


圖 10、各限制胺基酸之攝取量與體氮蓄積率之關係

Figure 10. The relationship between individual limiting amino acids intake and body nitrogen retention rate

表 11、各必需胺基酸缺乏組在不同缺乏程度下對白肉雞體氮蓄積率之影響

Table 11. The effects of individual limiting amino acids at the 50 or 60% deficient level on body nitrogen retention rate of broiler

Limiting amino acid	Limiting amino acid intake (g/kg <sup>0.75</sup> /day)		Nitrogen retention rate (g/kg <sup>0.75</sup> /day)		Slope	X-intercept	X-coordinate of intersection <sup>4</sup>
	n = 6		n = 6				
	Level 1 <sup>3</sup>	Level 2	Level 1	Level 2			
Lysine	0.89	1.07	0.69±0.04**	0.84±0.12*	0.85	0.080	1.45
Arginine	0.96	1.15	0.71±0.05**	0.86±0.08*	0.75	0.017	1.57
Sulfur amino acids <sup>1</sup>	0.66	0.79	0.72±0.06**	0.87±0.04*	1.10	0.004	1.07
Histidine	0.24	0.29	0.60±0.03**	0.73±0.05*	2.6	0.011	0.46
Tryptophan	0.14	0.17	0.84±0.06**	1.04±0.11*	6.56	0.012	0.19
Leucine	0.98	1.18	0.63±0.03**	0.77±0.05*	0.68	0.047	1.78
Aromatic amino acids <sup>2</sup>	0.93	1.12	0.58±0.04**	0.71±0.09*	0.69	0.100	1.79
Isoleucine	0.60	0.72	0.77±0.11**	0.93±0.05*	1.29	0.003	0.91
Threonine	0.60	0.72	0.68±0.05**	0.82±0.10*	1.15	0.009	1.02
Valine	0.67	0.80	0.65±0.05**	0.79±0.05*	1.03	0.033	1.17

\* Significantly different from the control treatment

\*\* Significantly different from the level 2

<sup>1</sup> Methionine and cystine

<sup>2</sup> Phenylalanine and tyrosine

<sup>3</sup> level 1 and level 2 were the 50 and 60% of the control treatment for limiting amino acid deficiency respectively

<sup>4</sup> The intersection point of a straight line, resulting from the two deficient groups with the same limiting amino acid but at different levels, with a horizontal line, y = 1.17, from the control group

表 12、白肉雞之各必需胺基酸生長、維持與生長加維持之需要量及其與離胺酸之相對值 (Lysine=100)

Table 12. Requirements for growth, maintenance and growth plus maintenance of each essential amino acid for broilers and their value relative to Lysine =100

Amino acid	Growth (mg/protein accreted g)	Maintenance (mg/kg <sup>0.75</sup> /day)	Growth plus maintenance (g/kg <sup>0.75</sup> /day)
Lysine	188.24 (100)	79.94 (100)	1.45 (100)
Arginine	213.33 (113)	16.57 (21)	1.57 (108)
Sulfur amino acids <sup>1</sup>	145.45 (77)	3.99 (5)	1.07 (74)
Histidine	61.54 (33)	10.50 (13)	0.46 (32)
Tryptophan	24.39 (13)	12.11 (15)	0.19 (13)
Leucine	235.29 (125)	46.67 (58)	1.78 (123)
Aromatic amino acids <sup>2</sup>	231.88 (123)	100.29 (125)	1.79 (123)
Isoleucine	124.03 (66)	2.55 (3)	0.91 (63)
Threonine	139.13 (74)	8.67 (11)	1.02 (70)
Valine	155.34 (83)	32.96 (41)	1.17 (81)

<sup>1</sup> Methionine and cystine

<sup>2</sup> Phenylalanine and tyrosine

表 13、不同生長階段之理想必需胺基酸組成之動態性估測

Table 13. Dynamic estimation in ideal essential amino acid pattern for different growing period

Amino acid	0-10 days old	10-21 days old	21-35 days old
Lysine	100	100	100
Arginine	111	111	109
Sulfur amino acids <sup>1</sup>	75	75	74
Histidine	32	32	32
Tryptophan	13	13	13
Leucine	123	123	122
Aromatic amino acids <sup>2</sup>	123	123	123
Isoleucine	64	64	63
Threonine	72	72	71
Valine	81	81	81

<sup>1</sup> Methionine and cystine

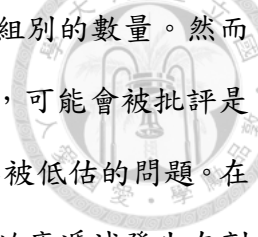
<sup>2</sup> Phenylalanine and tyrosine



#### 四、討論

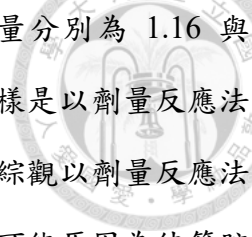
當飼糧中必需胺基酸之可消化濃度與動物之需求一致時，其將致使最少的氮排泄與最大的體氮蓄積，因此為了減少胺基酸的浪費與環境的保護，建立個別必需胺基酸之需要量與其之間之比例就非常重要。

在本試驗中以有別於以往之研究方式，來建立白肉雞各必需胺基酸之需要量，藉以改善先前研究方法之缺陷。先前胺基酸需要量的研究大部分是以劑量反應法來探討，且皆以任食之方式進行飼養管理，其忽略了當單一胺基酸缺乏時對動物產生的毒性 (Konashi et al., 2000)。先前研究指出，因為大腦的梨狀皮質感測到血漿中游離態之限制胺基酸的含量減少，所以釋放神經傳導物質來調節下視丘，限制其採食之行為 (Gietzen et al., 1998)，致使劑量反應法中限制胺基酸組別生長表現的下降，不只受到胺基酸不平衡的影響，也會受到採食不足所影響，因此當引入轉折線模型中，這將影響兩條迴歸線的交點，導致需要量的誤判。Edwards and Baker (1999) 在探討白肉雞之含硫胺基酸需要量時，採取了另一種方法來改善劑量反應法中胺基酸不平衡所導致的問題。其將所有其他必需胺基酸之濃度維持在最小過量濃度，即不管在哪一個甲硫胺酸濃度之組別中，各胺基酸之濃度皆僅比甲硫胺酸高 15% (理想胺基酸之百分比)，例如當甲硫胺酸之濃度為 40% (理想胺基酸百分比) 時，其他所有必需胺基酸之濃度則為 55%。此方法藉由減少其他胺基酸之攝取量，來減緩胺基酸不平衡引起的不良反應，但其結果顯示，隨著甲硫胺酸之濃度降低，採食量仍呈線性下降，代表即使將其他胺基酸濃度降低至最小過量濃度，仍無法有效改善單一限制胺基酸缺乏對採食量之影響。綜合上述之原因，本試驗才會採用管飼的方式進行，並且依據雞隻採食量受到代謝能之攝取所調控的原則 (Leeson et al., 1996)，所以用試驗一求得之 k 值作為管飼之標準，確保每隻雞可以根據其每日每公斤代謝體重應攝取之代謝能來達到足夠的採食量，但是因為管飼的操作流程既費時又費力，而限制了實驗的處理組數量，所以本試驗才會參考先前之研究，以兩個胺基酸缺乏組所構成之直線與對照組之水平交點所相對應之 X 座標值，當



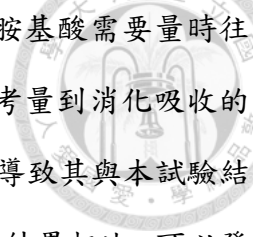
作胺基酸生長加維持之需要量 (Wei et al., 2009)，來減少試驗組別的數量。然而以兩缺乏組構成之直線來模擬劑量反應法中低劑量之線性直線，可能會被批評是否因為缺乏程度不夠，而受到邊際效應遞減的影響導致直線斜率被低估的問題。在 Edwards and Baker (1999) 探討雞隻甲硫胺酸之需要量時，邊際效應遞減發生在劑量為 NRC(1994)推薦量之 70 與 95% 之組別間，然而同一研究團隊以相同雞隻品種探討離胺酸之需要量時，在任何劑量組別中都沒有發生邊際效應遞減的狀況 (Edwards et al., 1999)。另外也有許多文獻之研究結果顯示蛋白質和胺基酸之攝取量在很大的範圍內都會和體內蛋白質或胺基酸之蓄積量呈線性相關 (Batterham et al. 1990; Chung and Baker, 1992; Baker, 1991; Edwards et al., 1997; Sklan and Noy, 2005)，因此邊際效應遞減對於本試驗之胺基酸缺乏的程度不會有太大的影響。

常見需要量的表示方式有兩種，一是以營養分佔飼糧中的百分比濃度表示，另一則是以每日需要量來呈現，兩者對於動物需要量的建立有不同的解釋。在 Han and Baker (1991) 實驗中比較了兩種不同生長速率之肉雞品系對於可消化離胺酸之需要量，其結果顯示，若以每日每公斤體重之離胺酸需要量表示時，生長快速品系之需要量為另一品系的兩倍，但是若以採食量換算為飼糧百分比濃度表示時，兩品系之需要量則相同，作者表示生長快速之肉雞會藉由提高採食量來滿足生長所需。本試驗求得之各胺基酸生長加維持之每日需要量 ( $\text{g/kg}^{0.75}/\text{day}$ )，經由每公斤代謝體重所對應之代謝能需要量 ( $\text{kcal ME/kg}^{0.75}$ ) 與飼糧中代謝能濃度 ( $\text{kcal ME/kg}$ )，亦可換算為以飼糧百分比濃度表示之胺基酸需要量，列於表 14。若將本試驗求得各胺基酸生長加維持之需要量與 Wei et al. (2009) 以相同研究方法但以生長速率較慢之紅羽土雞求得之生長前期之需要量相比，發現不論是以每日每公斤代謝體重之需要量或是以飼糧百分比濃度表示，本試驗所求得之各必需胺基酸之需要量皆高於紅羽土雞 (表 14)，此結果與 Han and Baker (1991) 所提出之結論不同，因此表 14 中另外比較了其他以不同生長速率之雞隻為試驗動物所求得以飼糧百分濃度表示之胺基酸需要量，從表中可發現本試驗求得之結果，除了白胺酸較高且色胺酸較低以外，其餘胺基酸之需要量都與 NRC(1994) 之標準相似。先前文獻以劑量反



應法所建立之生長前期雄性白肉雞之白胺酸與色胺酸之需要量分別為 1.16 與 0.22% (Corzo et al., 2005; Farran and Thomas et al., 1990)，皆和同樣是以劑量反應法所求得之文獻為基礎，統整成為推薦標準之 NRC (1994) 相似。綜觀以劑量反應法所求得之白胺酸與色胺酸之結果，皆與本試驗之結果不符，推測可能原因為彼等胺基酸在缺乏時，引起較大的採食量變化，導致低劑量組別構成之線性直線斜率被錯估，而影響到需要量測定的結果，然而此推論尚未有文獻證實，因此有待進一步的證明。另外愛拔益加飼養管理手冊之需要量高於表 14 中所列之其他文獻，主要是因為商業手冊為避免飼糧中胺基酸缺乏導致生長表現下降，往往都會將胺基酸需要量乘上一固定常數（如 1.05 或 1.10），當作推薦標準。Wei et al. (2009) 之試驗結果則與生長速率較慢的泰禾烏骨雞之各胺基酸需要量 (Li et al., 2003) 相似，且都低於本試驗之結果。不同生長速率之肉雞品系，在兩種需要量表達方式上皆有不同之結果，這可能也是造成理想胺基酸組成不同之原因

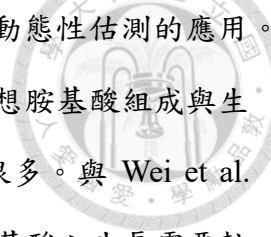
本試驗之處理組亦符合胺基酸扣除法之試驗需求，因此另以本試驗之對照組與 60%胺基酸缺乏組，以胺基酸扣除法建立另一套生長前期白肉雞之理想胺基酸組成，如附錄五，並和本試驗求得之模式一同與先前文獻進行比較（表 15），可以發現本試驗之結果與胺基酸扣除法所建立之模式相似，而這兩個模式除了白胺酸以外，其他胺基酸都與愛拔益加飼養管理手冊與 Roth et al. (2001) 建立之模式雷同，而兩篇文獻與本試驗之雞種都是屬於生長速率較快之品系，且 Roth et al. (2001) 也是以胺基酸扣除法進行試驗。另外如果將 NRC (1994) 對生長速率快的肉雞所建議之飼糧中胺基酸需要量，轉換為相對於離胺酸表示的理想胺基酸組成，可以發現精胺酸、含硫胺基酸、異白胺酸、色胺酸皆高於本試驗之結果，但是白胺酸則較低。若與 Hurwitz et al. (1978) 以析因法求得同樣是以生長速率較快之肉雞品系之理想胺基酸組成相比，則可以發現其結果中精胺酸、異白胺酸、纈胺酸皆高於本試驗者，而芳香族胺基酸與組胺酸則較本試驗之結果為低，但是白胺酸則與本試驗相似。綜觀這幾篇文獻可以發現與本試驗結果相似之文獻都是以可消化胺基酸需要量為基礎來探討胺基酸之間之比例關係，然而 NRC (1994) 與 Hurwitz et al. (1978) 則是以



飼糧中總胺基酸需要量為基礎表示，以總胺基酸為基礎去探討胺基酸需要量時往往會受到試驗原料胺基酸組成與消化率等因素的影響，並沒有考量到消化吸收的部分，故導致所求得之需要量會和實際情況不同，推估這可能是導致其與本試驗結果不同之原因。本試驗之結果若與以相同方法所求得紅羽土雞之結果相比，可以發現紅羽土雞之理想胺基酸組成大部分與本試驗之結果相似，但是含硫胺基酸、芳香族胺基酸、異白胺酸的值較本試驗之結果高 (Wei et al., 2009)，而白胺酸則較低；但是本試驗之組成與 Baker and Han (1994) 以同樣是生長較慢之肉雞品系所求得之組成相比，其含硫胺基酸與異白胺酸則與本試驗相似。另外從表 15 中也可以發現以析因法求得之組成 (Li et al., 2003; Hurwitz et al., 1978) 精胺酸較其他文獻之組成高，且支鏈胺基酸也與其他組成相差甚大，推測其可能原因是析因法之試驗設計是使用代謝後之產物 (屠體、羽毛) 來回推飼糧中胺基酸之需要，以此方式進行探討時可能會因為忽略動物體在消化和吸收的過程中，所面臨之拮抗作用的問題而造成誤差。

各組成間的差異除了上述探討的因素會影響到結果外，各研究之生長指標不一也可能是影響的因素 (Baker et al., 2002)。表 15 中之文獻使用的生長指標涵蓋了體重、體增重、飼料轉換率等，而本研究則使用體氮蓄積為生長指標，主要是基於以下概念：當飼糧中缺乏一種胺基酸，而其他胺基酸都是滿足之情況下，動物之體氮蓄積與該胺基酸在一定的範圍內呈現線性相關 (Fuller et al., 1989)，但是在其他文獻中則指出體內限制胺基酸之蓄積量相較於體氮蓄積而言，更適合被當作劑量反應之生長指標，來進行胺基酸需要量的研究 (Gahl et al., 1995; Edwards and Baker, 1999)。然而若是考慮到胺基酸之分析成本與所耗之時間、人力，體氮蓄積可能會是較好的選擇。

另外一個可能的影響因素是每一篇文獻所定義的生長前期之日齡皆不相同，先前研究顯示在不同體重、年齡的肉雞，其軀體胺基酸比例與蛋白質蓄積能力都不相同 (Wecke et al., 2018)，且隨著年齡的增長，胺基酸用於生長與維持之比例也會變動，因此理想胺基酸組成並非靜態不變，而是隨著雞隻的成長呈現動態的改變，



所以本試驗亦個別求出各胺基酸之生長或維持之需要量來模擬動態性估測的應用。從本試驗求得之生長與維持之需要量，可以發現生長需要之理想胺基酸組成與生長加維持之模式相似，而維持所需部分相對於生長所需而言低很多。與 Wei et al. (2009) 以 14 至 28 日齡紅羽土雞求得之結果相比，本試驗各胺基酸之生長需要較紅羽土雞高，而維持所需則較低，然而在 Klain et al. (1960b) 以結晶態胺基酸為試驗飼糧，並以劑量反應法探討 7 至 14 日齡之雛白肉雞對於各必需胺基酸之需要量，從其結果可發現離胺酸、白胺酸、甲硫胺酸之轉折線模型與 X 軸之截距都小於 0 且其他胺基酸也都非常接近 0，表示胺基酸用於維持之需要量很少，此結果與本試驗之結果相似。白肉雞相較於紅羽土雞而言，可能不需要那麼多的胺基酸用於維持，反而可能需要更多的胺基酸來合成蛋白質。

本試驗以各胺基酸生長與維持之需要量來估算不同生長階段之理想必需胺基酸組成，在本試驗提出之前並沒有相關文獻以相同方式應用於家禽之研究，但是在 NRC (1998) 中已使用此方式對豬隻不同生長階段之理想必需胺基酸組成進行估測，並且以此結果建立了推薦標準。從本試驗之結果可以發現在 21 日齡之前理想胺基酸組成並沒有改變，然而在 21 至 35 日齡之模式中，精胺酸、含硫胺基酸、白胺酸、異白胺酸、羥丁胺酸都較前兩生長階段之值低。在 NRC (1994) 中所採用的生長階段日齡配置為 0 至 21 日齡、21 至 42 日齡、42 至 56 日齡，其在 21 至 42 日齡之模式中亦可以發現，精胺酸與含硫胺基酸皆較 0 至 21 日齡之值還要低，與本試驗有相同的趨勢。若將愛拔益加飼養管理手冊之各胺基酸推薦量相對於離胺酸等於 100 轉換成理想必需胺基酸組成之表達方式，可以發現在 0 至 10 日齡、10 至 24 日齡與 24 至 35 日齡之理想必需胺基酸組成模式中，除了含硫胺基酸與異白胺酸隨著日齡而增加以外，其餘胺基酸在三個生長階段中並沒有變化。致使本試驗動態性估測之結果與先前文獻所提出之模式有出入之原因，與為何某些必需胺基酸在生長後期會有下降的情況出現，在目前有限的文獻中，沒有找到合理的解釋，因此仍有待後續更深入的探討。





表 14、不同生長速率之肉雞品系對各必需胺基酸之需要量

Table 14. The amino acid requirements of broiler for various strains with different growth rates

	Daily intake required (g/kg <sup>0.75</sup> /day)		Requirements in diets (%)				
	Current study	Wei et al <sup>1</sup> . (2009)	Current study	Wei et al. (2009)	NRC (1994) <sup>2</sup>	AA (2014) <sup>3</sup>	Li et al. (2003) <sup>4</sup>
Age (day)	0 to 10	14 to 28	0 to 10	14 to 28	0 to 21	0 to 10	0 to 28
Lysine	1.45	0.83	1.14	0.98	1.10	1.28	0.84
Arginine	1.57	0.87	1.24	1.02	1.25	1.37	1.00
Sulfur amino acids	1.07	0.67	0.84	0.79	0.90	0.95	0.86
Histidine	0.46	0.28	0.36	0.33	0.35	-	0.28
Tryptophan	0.19	0.15	0.15	0.18	0.20	0.20	0.14
Leucine	1.78	0.86	1.40	1.01	1.20	1.41	1.24
Aromatic amino acids	1.79	1.12	1.41	1.32	1.34	-	1.14
Isoleucine	0.91	0.57	0.72	0.67	0.80	0.86	0.59
Threonine	1.02	0.54	0.80	0.64	0.80	0.86	0.70
Valine	1.17	0.65	0.92	0.77	0.90	0.96	0.77

<sup>1</sup> Using a slower growing breed (Taiwan country chick) by the same method as the current study

<sup>2</sup> Using a faster growing breed (Commercial broiler strain) by reference summarization

<sup>3</sup> The abbreviation of Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement and using the same strain broiler as the current study

<sup>4</sup> Using a slower growing breed (Chinese Taihe silky fowls) by a factorial approach

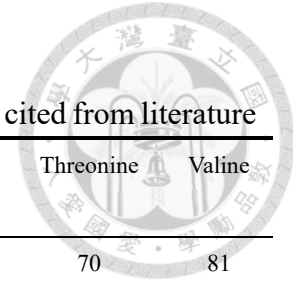


表 15、本研究求得之理想胺基酸組成（生長加維持）與其他文獻之比較

Table 15. The ideal amino acid patterns for growth plus maintenance (relative to Lys) from the current study compared with data cited from literature

	Breed	Age (day)	Lysine	Arginine	Sulfur amino acids	Histidine	Tryptophan	Leucine	Aromatic amino acids	Isoleucine	Threonine	Valine
Current study I <sup>1</sup>	Commercial broiler (Arbor Acres Plus)	3 to 10	100	108	74	32	13	123	123	63	70	81
Current study II <sup>2</sup>			100	105	72	30	13	118	118	61	69	79
AA (2014)			100	107	74	-	16	110	-	67	67	75
NRC (1994)	Commercial broiler	0 to 21	100	114	82	32	18	109	122	73	73	82
Wei et al (2009)	Taiwan country chick	14 to 28	100	105	81	34	18	103	135	69	65	79
Li et al. (2003)	Chinese Taihe silky fowls	0 to 28	100	119	102	33	17	148	136	70	83	92
Roth et al. (2001)	Commercial broiler strain (Ross)	8 to 28	100	108	70	38	14	108	121	63	66	81
Baker and Han (1994)	New Hampshire male x Columbian female	8 to 22	100	105	72	32	16	109	105	67	67	77
Hurwitz et al. (1978)	Commercial broiler strain	7 to 14	100	115	74	26	14	119	105	75	70	111
Baker et al. (2002)	New Hampshire male x Columbian female	8 to 20	100	106	-	-	17	-	-	61	56	78

<sup>1</sup> Established by the improved dose response which was executed in trial three    <sup>2</sup> Established by amino acids deletion

## 試驗四、白肉雞生長前期飼糧中整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之比例關係



### 一、前言

當飼糧中各必需胺基酸與整體非必需胺基酸之含量皆完全滿足動物之需要，即稱該飼糧中胺基酸組成為理想胺基酸組成。先前相關文獻中 (Baker and Han, 1994; Baker et al., 2002; Roth et al., 2001; Wei et al., 2009)，大多只著重於探討必需胺基酸間的比例關係，對於整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之間的比例則較少著墨，但是依照理想蛋白質的概念，當非必需胺基酸缺乏時，必需胺基酸在體內的利用率也會受到影響，進而導致蛋白質合成降低，因此若要建立出精準的理想胺基酸組成，應將非必需胺基酸一併納入探討。

在過去文獻中所使用的研究方式 (Fuller and Wang, 1989; Bedford and Summer, 1985)，大多是固定飼糧中粗蛋白質濃度，藉由改變整體必需胺基酸於飼糧中之比例，以達到不同的整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之比例組合來進行試驗。然而從試驗二之結果發現，過多的必需胺基酸可能會因為過量導致生長表現下降，此狀況可能會影響到探討整體必需胺基酸與整體非必需胺基酸之試驗結果。因此本試驗以試驗三求得之 3 至 10 日齡各必需胺基酸生長加維持之需要量為基礎，固定各必需胺基酸於飼糧中之含量，使所有處理組之飼糧中各必需胺基酸含量皆與試驗三之結果相同，並以改變飼糧中非必需胺基酸含量的方式，對整體必需胺基酸佔總胺基酸之比例進行探討，以建立出完整的理想胺基酸組成。



## 二、材料與方法

### (一) 試驗動物與飼養管理

本實驗以 3 日齡之雄性白肉雞 (Arbor Acres Plus) 進行試驗，試驗為期 7 天，至 10 日齡結束。3 日齡前為適應期，適應期間之飼料、溫度、光照等飼養管理如同試驗一。

於 2 日齡晚上 10 點開始禁食，禁食期間飲用水任飲，3 日齡早上 7 點試驗正式開始，將 30 隻體重相近之雛雞秤重後，採用完全隨機設計 (Completely randomized design, CRD) 進行分組至電器保溫育雛器中，試驗組別分為 5 組，每組 6 欄，每欄 1 隻，各組別之飼糧中必需胺基酸濃度皆與試驗三求得之生長加維持之需要量結果相同，並藉由不同的麩胺酸添加量，分別配製出飼糧中整體必需胺基酸佔總胺基酸比例 (E:T) 為 0.62、0.48、0.39、0.32、0.28 之組別，飼料配方如表 16。

每日之管飼操作與管飼量之計算，如同試驗二與附錄三。試驗於 10 日齡結束，經秤重後，所有雞隻以二氧化碳安樂死，集中冰存於 -20°C 冰箱，留待後續屠體之製備，製備方法詳見附錄四。

### (二) 測定項目與方法

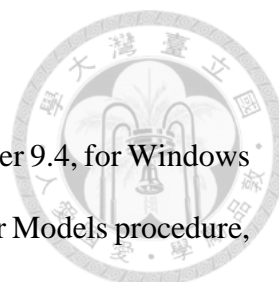
#### 1. 體氮蓄積率與氮利用效率

體氮蓄積率之測定方法如同試驗二，比較性屠宰法之起始值所選用之雞隻平均體重為 73.62±9.2g。氮利用效率則用以下公式求得：

$$\text{氮利用效率 (g/g)} = \frac{\text{體氮蓄積率 (g/kg}^{0.75}\text{/day)}}{\text{飼糧中總氮濃度 (g/kg)} \times \text{k(kcal ME/kg}^{0.75}\text{/day)} / \text{飼糧中可代謝能濃度 (kcal/kg)}}$$

#### 2. 飼糧成分測定

檢測飼糧水分與粗蛋白質濃度，詳見附錄一、二。



### (三) 統計分析

試驗數據以SAS統計分析軟體 (Statistical Analysis System, Ver 9.4, for Windows 10, 2018, USA) 進行分析，數據先以一般線性模式 (General Linear Models procedure, GLM) 進行變方分析 (ANOVA)，當P-value 小於0.05時，代表處理間有顯著差異，再以鄧肯新多重差距檢定 (Duncan's New Multiple Range Test) 來進行各處理組間均值之比較。資料皆以平均值 ± 標準偏差表示。另外以迴歸分析 (Proc rsreg) 評估整體必需胺基酸佔總胺基酸之比例與每公斤代謝體重之體氮蓄積率是否有線性或二次迴歸關係。

整體必需胺基酸與總胺基酸之比例對於體氮蓄積率或氮利用效率之影響以轉折線法探討之。轉折線模型採用 SAS統計分析軟體，以非線性迴歸模式 (Nonlinear regression procedure, NLIN) 依據最小誤差平方法 (Least squares method)，估計非線性迴歸式中的參數值 (Robbins et al., 2006)。轉折線法之方程式為：

$$Y = L + U(R-X) \text{ if } X > R, \text{ 且 } Y=L \text{ if } X \leq R$$

L：轉折點之 Y 值；R：轉折點之 X 值

U：轉折點後直線之斜率

表 16、整體必需胺基酸佔總胺基酸不同比例之飼糧配方組成與營養分分析值

Table 16. The nutrient composition and analyzed value of diets with the different ratios of essential amino acids to total amino acids diet for broiler

Ingredients	Treatment	E1 <sup>3</sup>	E2	E3	E4	E5
	-----g/kg-----					
Cellulose		95.00	90.00	85.00	79.00	73.00
Maize starch		593.25	531.01	468.77	407.54	346.30
Glycerol		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Soybean oil		43.00	43.00	43.00	43.00	43.00
Choline-Chloride (50%)		3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
Vitamin premix <sup>1</sup>		10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Mineral premix <sup>1</sup>		70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
Threonine		8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Glutamic acid		82.34	149.58	216.81	284.05	351.29
Valine		9.20	9.20	9.20	9.20	9.20
Methionine		8.40	8.40	8.40	8.40	8.40
Isoleucine		7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
Leucine		14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
Phenylalanine		14.10	14.10	14.10	14.10	14.10
Lysine HCl		14.25	14.25	14.25	14.25	14.25
Histidine		3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
Arginine		12.40	12.40	12.40	12.40	12.40
Tryptophan		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Calculated						
ME (Mcal/kg)		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Crude protein (%)		13.00	17.00	21.00	25.00	29.00
Total amino acid (g N/kg)		20.80	27.20	33.60	40.00	46.40
Essential amino acid (g N/kg) <sup>2</sup>		12.96	12.96	12.96	12.96	12.96
Essential: Total nitrogen		0.62	0.48	0.39	0.32	0.28
Analyzed (%)						
Moisture		10.07	10.22	9.86	10.12	10.33
Crude protein		13.77	17.62	21.32	24.93	28.66

<sup>1</sup> The same as that of the table 7

<sup>2</sup> The nitrogen content of each essential amino acid (g N/kg): Thr, 117.6; Val, 119.6; Met, 93.9; Ile, 106.8; Leu, 106.7; Phe, 84.8; Lys, 153.3; His, 270.8; Arg, 266.0; Trp, 137.2

<sup>3</sup> Essential amino acid: total amino acid (E: T) in E1=0.62, E2=0.48, E3=0.39, E4=0.32 and E5=0.28



### 三、結果

3 日齡雞隻屠體經體水分與體氮分析後，以一次線性迴歸得 3 日齡之每公斤代謝體重與體氮含量之關係  $y = 10.491x + 0.1609$  ( $r^2 = 0.9139$ ) (圖 11)。試驗組之雞隻可以藉由將 3 日齡時之個別代謝體重代入此迴歸式求出試驗初始時之體氮含量，並與試驗結束後測得之體氮含量計算體氮蓄積率。不同整體必需胺基酸佔總胺基酸之比例對於白肉雞之生長性能與體氮蓄積率之影響如表 17 所示。結果顯示，隨著飼糧中整體必需胺基酸佔的比例減少與非必需胺基酸的提升，生長性能及體氮蓄積率皆呈線性增長 ( $P < 0.01$ )，在 E:T 低於 0.39 且 CP 高於 21% 之組別 (E3、E4、E5) 中各項生長指標之表現已達到劑量反應法之高原期而致使三組間沒有顯著差異存在，且都顯著高於 E1 與 E2 組 ( $P < 0.05$ )，而 E2 組則顯著高於 E1 組 ( $P < 0.05$ )。在氮利用效率的部分，反而是隨著 E:T 的降低、非必需胺基酸的提升，而呈線性下降 ( $P < 0.01$ )，在 E:T 高於 0.39 且 CP 低於 21% 之組別 (E1、E2) 皆顯著高於其他組，而 E3 與 E4 兩組間無顯著差異，E5 則顯著最低 ( $P < 0.05$ )。

將各整體必需胺基酸佔總胺基酸之比例與體氮蓄積率以轉折線模型分析，可得方程式為  $y = 1.1665 + 1.5127(0.3658 - X)$ ,  $X > 0.3658$ ;  $y = 1.1665$ ,  $X \leq 0.3658$  ( $r^2 = 0.7075$ ) (圖 12)，所估算之 E:T 於高原期之轉折點為 0.37，所相對應之粗蛋白質濃度為 22.14%。若以氮利用效率為指標，可得方程式為  $y = 0.2938 + 0.5737(X - 0.4420)$ ,  $X < 0.4420$ ;  $y = 0.2938$ ,  $X \geq 0.4420$  ( $r^2 = 0.7212$ ) (圖 13)，所估算之 E:T 於高原期之轉折點為 0.44，所相對應之粗蛋白質濃度為 18.33%。

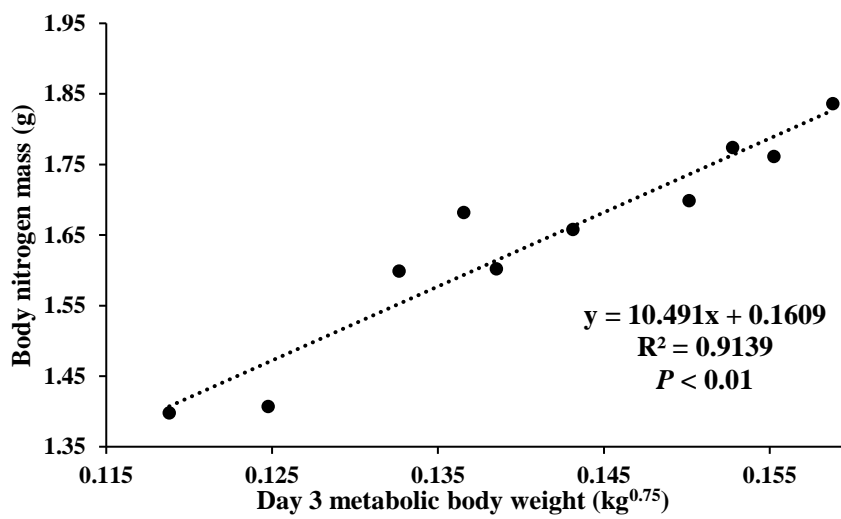


圖 11、3 日齡白肉雞代謝體重與體氮含量之線性迴歸分析（試驗四）

Figure 11. The linear regression of initial nitrogen mass on the metabolic body weight of broiler at 3 days of age (The fourth trial)



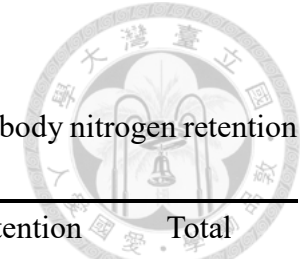


表 17、整體必需胺基酸佔總胺基酸不同比例對白肉雞生長性能與體氮蓄積率之影響

Table 17. The effect of the different dietary ratios of essential amino acids to total amino acids on the growth responses and body nitrogen retention rate of broiler

Treatment <sup>1</sup>	n	Day3 weight (g)	Day3 N mass <sup>2</sup> (g)	Day 10 weight (g)	Day 10 N mass (g)	Body weight gain (g/day)	Nitrogen retention rate (g/kg <sup>0.75</sup> /day)	Total nitrogen utilization <sup>3</sup>
E1	6	73.10±2.44	1.64±0.04	159.97±5.10 <sup>c</sup>	4.31±0.17 <sup>c</sup>	12.41±0.67 <sup>c</sup>	0.77±0.09 <sup>c</sup>	0.29±0.04 <sup>a</sup>
E2	6	73.23±1.86	1.64±0.03	195.14±8.02 <sup>b</sup>	5.52±0.27 <sup>b</sup>	17.41±0.91 <sup>b</sup>	1.02±0.08 <sup>b</sup>	0.30±0.02 <sup>a</sup>
E3	6	72.87±1.88	1.63±0.03	217.80±10.20 <sup>a</sup>	6.19±0.16 <sup>a</sup>	20.71±1.36 <sup>a</sup>	1.11±0.06 <sup>ab</sup>	0.26±0.01 <sup>b</sup>
E4	6	72.97±2.42	1.63±0.04	222.22±12.34 <sup>a</sup>	6.44±0.31 <sup>a</sup>	21.32±1.74 <sup>a</sup>	1.18±0.10 <sup>a</sup>	0.23±0.02 <sup>b</sup>
E5	6	73.38±1.95	1.64±0.03	228.57±9.11 <sup>a</sup>	6.50±0.37 <sup>a</sup>	22.17±1.36 <sup>a</sup>	1.15±0.15 <sup>a</sup>	0.20±0.03 <sup>c</sup>
<b>P value</b>								
<b>Linear</b>		0.96	0.96	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<b>Quadratic</b>		0.84	0.85	0.02	<0.01	0.02	0.04	<0.01

<sup>1</sup> Essential amino acid: total amino acid (E: T) in E1=0.62, E2=0.48, E3=0.39, E4=0.32 and E5=0.28. Crude protein in E1=13%, E2=17%, E3=21%, E4=25% and E5=29%

<sup>2</sup> Those values were estimated form figure 10 in this item

<sup>3</sup> Utilization value were relative to intake

<sup>a-c</sup> Different superscripts means that significant differences exist between treatments in the same column ( $P < 0.05$ )

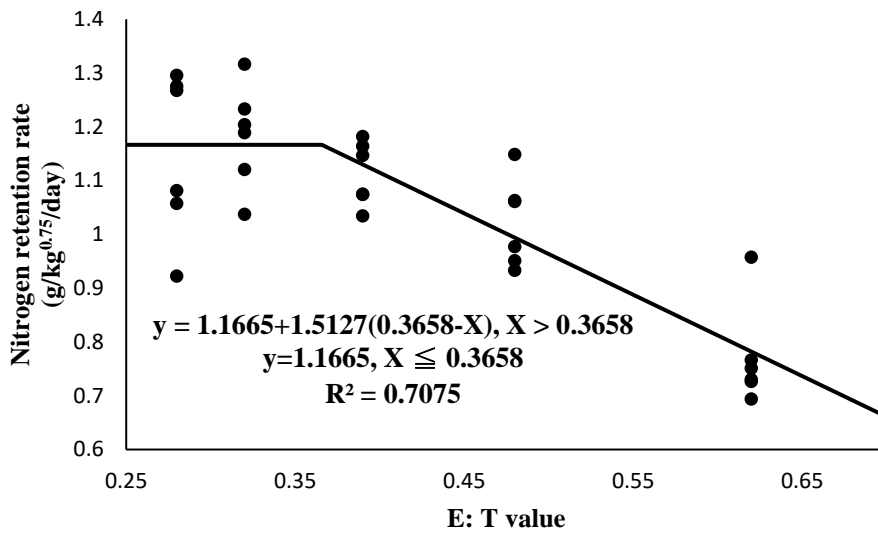


圖 12、整體必需胺基酸佔總胺基酸不同比例對體氮蓄積率之轉折線分析  
 Figure 12. The broken-line of nitrogen retention rate on the different dietary ratios of essential amino acids to total amino acids

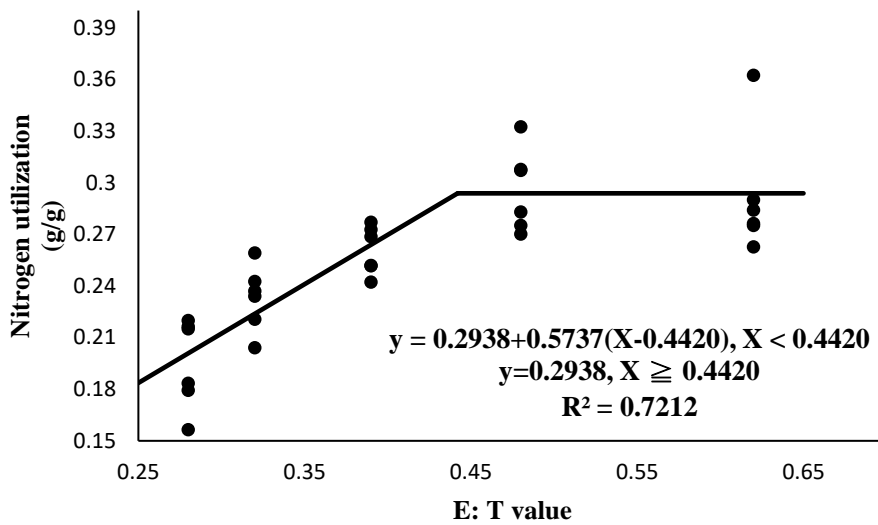


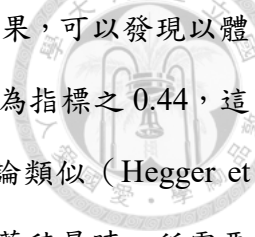
圖 13、整體必需胺基酸佔總胺基酸不同比例對氮利用效率之轉折線分析  
 Figure 13. The broken-line of nitrogen utilization on the different dietary ratios of essential amino acids to total amino acids



#### 四、討論

本試驗藉由將非必需胺基酸當作唯一限制胺基酸，在滿足其他必需胺基酸需要之前提下，改變非必需胺基酸於飼糧中之含量來進行劑量反應之試驗，可以發現隨著 E:T 的減少，非必需胺基酸的攝取量越來越接近動物體之需要，導致體氮蓄積率呈線性上升 ( $P < 0.01$ )，而以轉折線模型求得之高原期轉折點為 0.37。但是先前以固定飼糧中總胺基酸濃度之方式求得之可致使生長前期白肉雞之體氮蓄積表現最佳的 E:T 值則普遍落於 0.55 左右 (Sugahara and Ariyoshi, 1968; Bedford and Summer, 1985)，此值不僅高於本試驗求得之 0.37，也不落於轉折線之高原水平線上。然而這結果不單單只發生在肉雞之研究中，在其他動物方面，如豬與大鼠，以固定總胺基酸之方式進行試驗時，也都有高於以固定各必需胺基酸含量進行試驗所得到之結果的情況 (Hegger et al., 1998; Young and Zamora, 1968)，然而造成此情況之原因可能為，在固定總胺基酸之方法中，把整體必需胺基酸視為限制胺基酸而不是整體非必需胺基酸，因此當 E:T 低於 0.4 時，會因為必需胺基酸的缺乏而抑制生長；當 E:T 高於 0.65 時，則會因為必需胺基酸的過量，導致中毒現象產生，進而使體氮蓄積等生長表現下降，因此以二次曲線模型分析最適比例時，結果往往都會大於 0.5 (Sugahara and Ariyoshi, 1968)。另外值得一提的是這些相關研究都是以任食的方式進行試驗，先前研究顯示必需胺基酸過量對生長表現的負面影響大部分是由於採食慾望降低所引起的 (Fisher et al., 1960)，然而在本試驗中以管飼之方式，使雞隻攝取到應有之採食量，在試驗二之結果中也發現了必需胺基酸過量導致中毒的問題，此說明了即使在足夠的採食量下，過量胺基酸所引起的代謝作用可能也會影響生長表現，這也在 D'Mello (1994) 實驗中被證實。因此若是以固定總胺基酸濃度來進行必需胺基酸與非必需胺基酸間關係之探討時，無論是否有足夠採食量，過量的必需胺基酸所引起的問題都可能影響到試驗結果。

在非必需胺基酸缺乏時，整體氮的利用效率皆顯著較高 ( $P < 0.05$ )，隨著非必需胺基酸攝取量越接近動物之需要，因邊際效應遞減的關係，氮利用效率會開始下




降，而下降之轉折點為 0.44。綜合體氮蓄積率與氮利用效率之結果，可以發現以體氮蓄積率為指標時，所得之 E:T 解為 0.37，低於以氮利用效率為指標之 0.44，這與先前以豬與大鼠為試驗對象所進行之氮平衡試驗時所得之結論類似 (Hegger et al., 1987; Hegger et al., 1998)，這些結果都顯示當達到最佳體氮蓄積量時，所需要的非必需胺基酸含量都較達到最大氮利用效率為多。而此原因可能是因為在總氮缺乏的情況下，必需胺基酸會部分用於合成非必需胺基酸，因此如果要達到最佳體氮蓄積量，則需要添加更多的非必需胺基酸來節省必需胺基酸，因此才會造成兩指標之解不同，但是如果是以固定總胺基酸含量的方法來進行試驗的話，會因為各組處理之氮攝取量皆相同，使得兩指標之轉折點會有相同的結果。

然而在目前理想蛋白質的概念中，其被認為是由可致使最大體氮蓄積量且最少含氮廢物排出之胺基酸組成所構成，因此在達到最大的體氮蓄積量 (或生長速率) 與最大的氮利用效率 (或最小的氮排出量) 時，應該擁有相同的胺基酸組成。但是如果以固定必需胺基酸含量的方法來測定必需胺基酸與非必需胺基酸之比例時，這兩個指標將因為總氮攝取量不同，而受到必需胺基酸與非必需胺基酸間的轉換所影響，導致所求之結果不同。因此本試驗在建立必需胺基酸與非必需胺基酸之比例關係時，特別針對這兩指標進行探討，以提供未來用於以提高體氮蓄積率或是減少氮排出量為目的之參照標準。

另外亦可從粗蛋白質含量的角度進行探討，本試驗是以滿足必需胺基酸之需求，藉由改變粗蛋白質 (總胺基酸) 之含量來設計不同處理組，而這也是理想必需胺基酸組成應用於減少飼糧中粗蛋白質濃度之試驗設計原理 (Si et al., 2004)。從本試驗結果可得達到最佳體氮蓄積率之最低粗蛋白質需要量為 22.18%，此值低於 NRC (1994) 與 Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014) 所建議之 23%，此外，隨著粗蛋白質濃度的減少，氮的利用效率也隨之增加，因此如果藉由本試驗之結果，來減少飼糧中蛋白質之濃度，以及改善胺基酸的平衡，不僅可使體氮蓄積率保有最佳的狀態，亦可減少含氮廢物的排出，此對肉雞之生產與環境維護將有很大的助益。

## 肆、結論



綜合上述之試驗結果，建立出 3 至 10 日齡白肉雞飼糧中生長加維持所需之理想必需胺基酸組成為 Lys : Arg : SAA : His : Trp : Leu : AAA : Ile : Thr : Val = 100 : 108 : 74 : 32 : 13 : 123 : 123 : 63 : 70 : 81 ; 生長所需為 100 : 113 : 77 : 33 : 13 : 125 : 123 : 66 : 74 : 83 ; 維持所需為 100 : 21 : 5 : 13 : 15 : 58 : 125 : 3 : 11 : 41 。以各胺基酸生長與維持之需要量進行動態性估測求得之 0 至 10 日齡理想必需胺基酸組成為 100 : 111 : 75 : 32 : 13 : 123 : 123 : 64 : 72 : 81 ; 10 至 21 日齡為 100 : 111 : 75 : 32 : 13 : 123 : 123 : 64 : 72 : 81 ; 21 至 35 日齡為 100 : 109 : 74 : 32 : 13 : 122 : 123 : 63 : 71 : 81 。以固定各必需胺基酸含量之方式，求得 3 至 10 日齡白肉雞飼糧中整體必需胺基酸佔總胺基酸之比例，在達到最佳體氮蓄積率與氮利用效率之轉折點分別是 0.37 與 0.44，藉由這些結果可建立出完整的理想胺基酸組成，以作為飼糧之參考標準。

## 伍、附錄



### 附錄一：飼糧與屠體水分含量之測定

參考 Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1984, Methods 7.003) 之方法進行測定。將洗淨之秤量皿以去離子水潤洗後，放置於 105°C 烘箱烘乾至少 2 hr，取出後立即放入乾燥器中，待其恢復至室溫才秤取樣品於其中。凍存之飼料或屠體樣品需先放入乾燥器中回溫至室溫，才精秤約 2 g 於秤量皿中，並且輕微搖晃，使樣品平鋪於乾燥皿底部，再放入 105°C 烘箱乾燥 1.5 hr 後，取出放入乾燥器內，待其恢復至室溫後秤重。秤重紀錄後之秤量皿重新送回 105°C 烘箱乾燥 30 min 後，待冷卻再秤重，反覆進行至重量達到恆重為止；重量達到恆重之判定標準有二：一為兩次秤重之間，重量減輕在 3 mg 以下；二為如果本次重量較前一次增加，則以前次的重量視為乾燥至恆重之重量。計算方式如下：

水分含量 (%)

$$= \frac{\text{秤量皿加樣品之重量 (g)} - \text{秤量皿加樣品乾燥至恆重之重量 (g)}}{\text{樣品重量 (g)}} \times 100\%$$



## 附錄二：飼糧與屠體蛋白質/氮之測定

參考 Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1984, Methods 7.033-7.037) 之凱氏定氮法測定之。分別稱取約 0.3 g 之飼料或已處理好之屠體樣品或標準品 (ammonium iron sulfate, hexahydrate)，以秤藥紙包裹後置入於個別之消化管中；另外以單純放入秤藥紙的消化管作為空白組，每管皆添加一枚催化錠 (Kjeldahl tablet, Merck) 與 10 mL 95-97%濃硫酸，並移入分解消化器 (SpeedDigester K-436, Buchi, Switzerland) 中加熱，待冒白煙後計時 1 hr，結束後待冷卻方才取出。

消化完後之樣品以蒸餾器 (Kjelflex K-360, Buchi, Switzerland) 注入 40 mL 蒸餾水與 60 mL 之 33%氫氧化鈉溶液，進行蒸餾反應，並以 25 mL 之 4% 硼酸指示劑 (含甲基紅與溴苯酚綠，pH 值以 NaOH 調整至 7.0) 接收反應所產生之氨氣。其後以 0.1N 硫酸進行滴定，直到溶液從綠色轉為紫紅色視為達到滴定終點，並依照以下公式計算樣品之粗蛋白質含量。

回收率 (%)

$$= \frac{[(\text{滴定標準品之硫酸量}(\text{mL}) - \text{滴定空白組之硫酸量}(\text{mL})) \times \text{硫酸當量} \times 0.01401]}{\text{標準品重量}(\text{g}) \times 0.07145} \times 100\%$$

氮含量 (%)

$$= \frac{[(\text{滴定樣品之硫酸量}(\text{mL}) - \text{滴定空白組之硫酸量}(\text{mL})) \times \text{硫酸當量} \times 0.01401]}{\text{樣品重量}(\text{g}) \times \text{回收率}(\%)} \times 100\%$$

粗蛋白質含量 (%)

$$= \text{氮含量}(\%) \times 6.25$$



### 附錄三：管飼操作流程

每日早上 7 點秤完空腹體重後即可依試驗一求得之  $k$  值與飼糧中可代謝能濃度換算每日應攝取之採食量，再將此重量平均分為四份，分別於早上 7 點、11 點、下午 3 點、7 點進行管飼。管飼前先將飼料秤重，再以 10: 3 (飼料：水) 之比例均勻混合，搖晃至飼料中氣泡散失，才進行管飼。

保定雞隻與管飼操作流程如下：

1. 保定時將雞隻右腳向前、左腳向後，面朝操作者，並由操作者利用大腿將其雙腳夾住，過程中需避免其嗉囊被壓迫而造成嘔吐行為，如圖 14 A。
2. 左手將其喙打開並以大拇指與食指之指腹稍微抵住，使其喙保持開啟狀態，如圖 14 B。
3. 以 1 mL 幼鳥專用餵食器吸滿飼料，由口腔伸進至食道約 2 到 3 cm 處，以穩定速度將飼料推入，持續三至五次後即需讓雞隻休息，待其放鬆後再繼續管飼之動作，一隻雞管飼一餐之持續時間約 2 到 3 min，如圖 14 C。

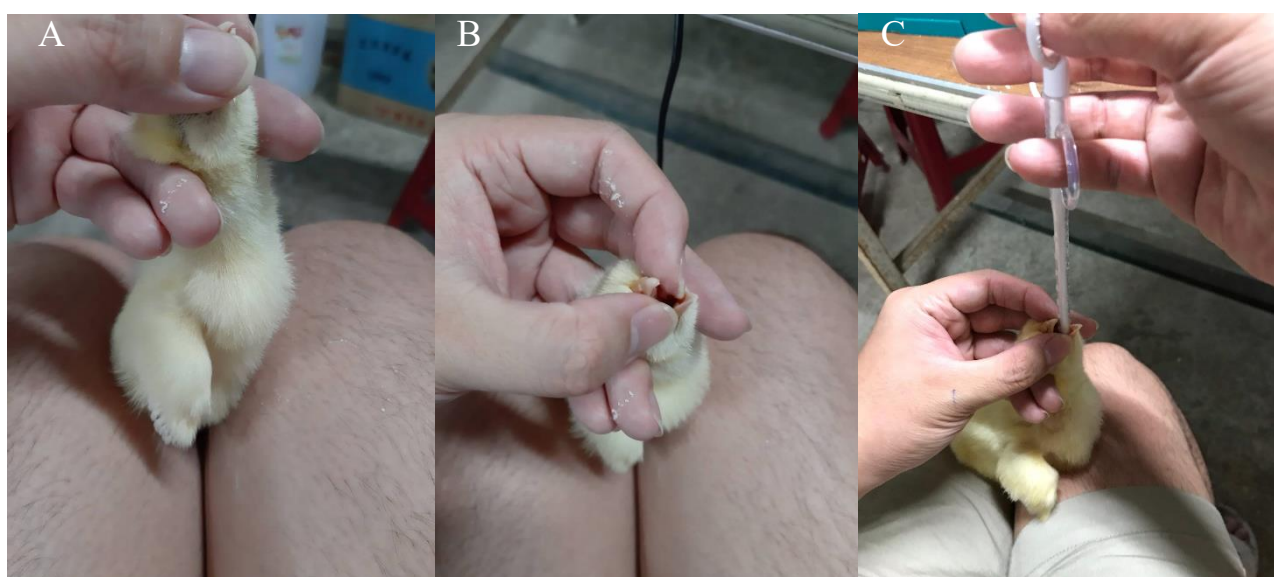


圖 14、保定與管飼之操作流程：(A、B) 雞隻保定、(C)管飼操作  
Figure 14. The operating procedures of fixation and intubation





#### 附錄四：屠體樣品製備

將原凍存於-20°C 冰箱保存之雞隻整隻以骨剪剪碎放入夾鏈袋中，並以紗布與釘書針將夾鏈袋之袋口封住，避免凍乾時羽毛或雜屑等飛出，並立即凍存於-80°C 冰箱。經 24 hr 後，屠體從-80°C 冰箱取出，再置於液態氮中，以確保屠體水分均凍結為固態水相態，並立即置入已降溫至-50°C 的凍乾機 (Heto Lyolab 3000, Thermo Fisher Scientific Inc, America)，以-50°C、低壓狀態下去除水分 96 hr。凍乾結束後，再經稱重，於凍乾過程除去之水分必須計入雞隻體水分計算之中。稱完重後之屠體以乾磨機研磨、混合，收集全部磨碎之樣品，凍存於-20°C 冰箱保存。採樣待測屠體之水分與氮濃度樣品時，將全部磨碎之樣品平鋪於玻璃盆上，並九宮格取樣進行分析。

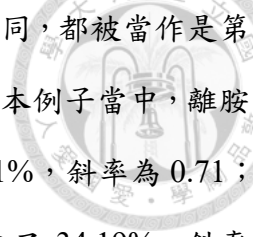


## 附錄五：以胺基酸扣除法建立白肉雞之理想胺基酸組成

胺基酸扣除法主要建立在兩理論基礎上：僅有限制胺基酸會影響生長表現，而非限制胺基酸量的多寡，對於生長表現不會有任何之影響；另一假設為在理想蛋白質之概念中，所有胺基酸對於動物之重要性與限制程度都相等，因此任何一種必需胺基酸或整體非必需胺基酸的減少，都會減少相同比例的生長表現。

胺基酸扣除法之計算是依據肉雞對對照組和待測胺基酸缺乏組之體氮蓄積率之變化，來進行理想胺基酸組成之評估。試驗中對照組為正對照組，即不缺乏任何胺基酸，而待測胺基酸缺乏組與對照組唯一之區別是待測胺基酸的含量相對於對照組者減少了一定的百分比，使其達到限制胺基酸之程度。本試驗三之對照組是經過試驗二之適用性評估求得，所以其各必需胺基酸都是滿足肉雞之生長與維持所需，沒有任何胺基酸是處於缺乏狀態，故以此當作胺基酸扣除法中之正對照組。另外，各必需胺基酸缺乏組在缺乏程度為對照組的 60%時，均導致體氮蓄積率顯著低於對照組 ( $P < 0.05$ ) (表 11)，此結果表示各必需胺基酸在扣除 40%後，都導致該胺基酸成為限制胺基酸，因此附錄五將藉由試驗三對照組與各胺基酸缺乏組(對照組之 60%)之間體氮蓄積率的變化與胺基酸的攝取量，來建立另一套理想必需胺基酸組成。

首先以計算離胺酸與白胺酸之比例進行說明，試驗三對照組中離胺酸與白胺酸之攝取量分別為 1.78 與 1.96 g/kg<sup>0.75</sup>/day，體氮蓄積率為 1.17 g/kg<sup>0.75</sup>/day；離胺酸缺乏組之離胺酸攝取量為 1.07 g/kg<sup>0.75</sup>/day，體氮蓄積率為 0.84 g/kg<sup>0.75</sup>/day；白胺酸缺乏組之白胺酸攝取量為 1.18 g/kg<sup>0.75</sup>/day，體氮蓄積率為 0.77 g/kg<sup>0.75</sup>/day，如圖 15。將對照組之各胺基酸攝取量和體氮蓄積率都設為 100%，則離胺酸缺乏組之離胺酸攝取量為 60.11%，體氮蓄積率為 71.79%；白胺酸缺乏組之白胺酸攝取量為 60.20%，體氮蓄積率為 65.81%，如圖 16。直線之斜率代表每單位之胺基酸攝取量之減少所導致體氮蓄積率的下降程度。所以當直線的斜率越大，胺基酸攝取量對於體氮蓄積率的影響就越大，因此斜率在胺基酸扣除法中被認為是限制程度的一種



表達方式。在理想蛋白質的概念中，所有胺基酸之限制程度皆相同，都被當作是第一限制胺基酸，因此斜率都需校正為第一限制胺基酸之斜率，在本例子當中，離胺酸攝取量降低了 39.89%，其所相對應之體氮蓄積率減少了 28.21%，斜率為 0.71；而白胺酸攝取量降低了 39.8%，其所相對應之體氮蓄積率則減少了 34.19%，斜率為 0.86，因此在對照組飼糧中，白胺酸相較於離胺酸而言是第一限制胺基酸，離胺酸之斜率需校正至 0.86，而其與對照組之交點則更正為 92.91%，代表當對照組飼糧中離胺酸之含量為原本的 92.91%時，減少相同比例之離胺酸與白胺酸攝取量會導致相同之體氮蓄積率的下降，即兩胺基酸之限制程度相同，如圖 16。依據上述之校正結果可得離胺酸於對照組中含量應為  $1.78 \times 92.91\% = 1.65 \text{ g/kg}^{0.75}/\text{day}$ ，離胺酸與白胺酸之最佳比例為 1.65: 1.96 (100:119)。

將試驗三之對照組與各胺基酸缺乏組（對照組之 60%）之胺基酸攝取量與相對應之體氮蓄積率以此方法進行理想胺基酸組成之建立。各胺基酸相對於對照組減少 40%對體氮蓄積率之影響，以相對於對照組之各胺基酸攝取量和體氮蓄積率都設為 100%表示，如圖 17 與表 18，從結果可發現芳香族胺基酸之直線斜率為 0.99，為所有胺基酸組別中最高者，因此在對照組飼糧中，芳香族胺基酸為第一限制胺基酸，所有胺基酸之直線斜率應校正至 0.99，結果如圖 18 所示。經校正後之結果與對照組中各胺基酸攝取量進行計算求得 3 至 10 日齡白肉雞生長加維持之理想必需胺基酸組成為 Lys : Arg : SAA : His : Trp : Leu : AAA : Ile : Thr : Val = 100 : 105 : 72 : 30 : 13 : 118 : 118 : 61 : 69 : 79。

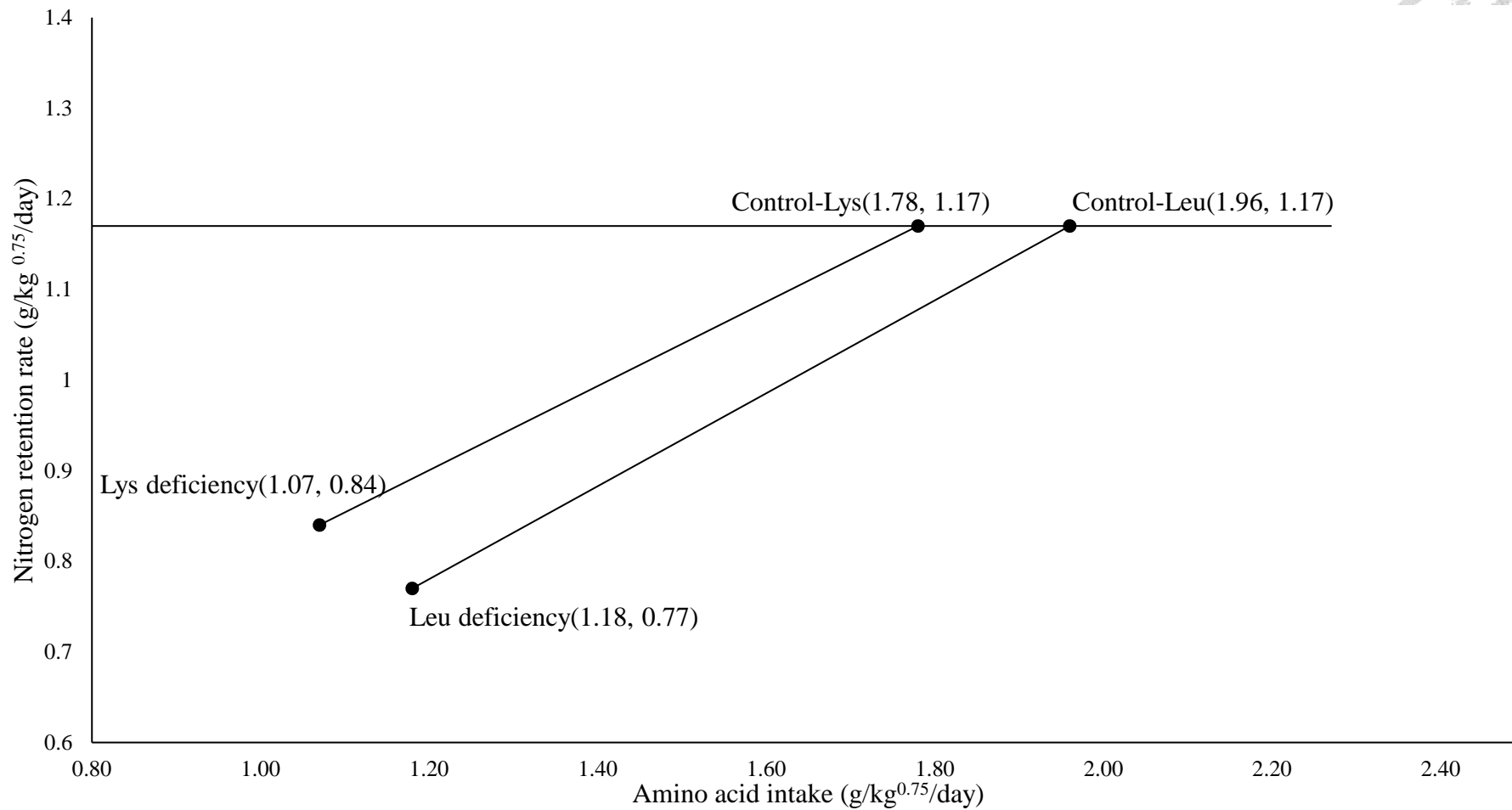


圖 15、離胺酸與白胺酸相對於對照組減少 40%對體氮蓄積率之影響

Figure 15. The effect of lysine and leucine reduced by 40% relative to the control group on body nitrogen retention rate

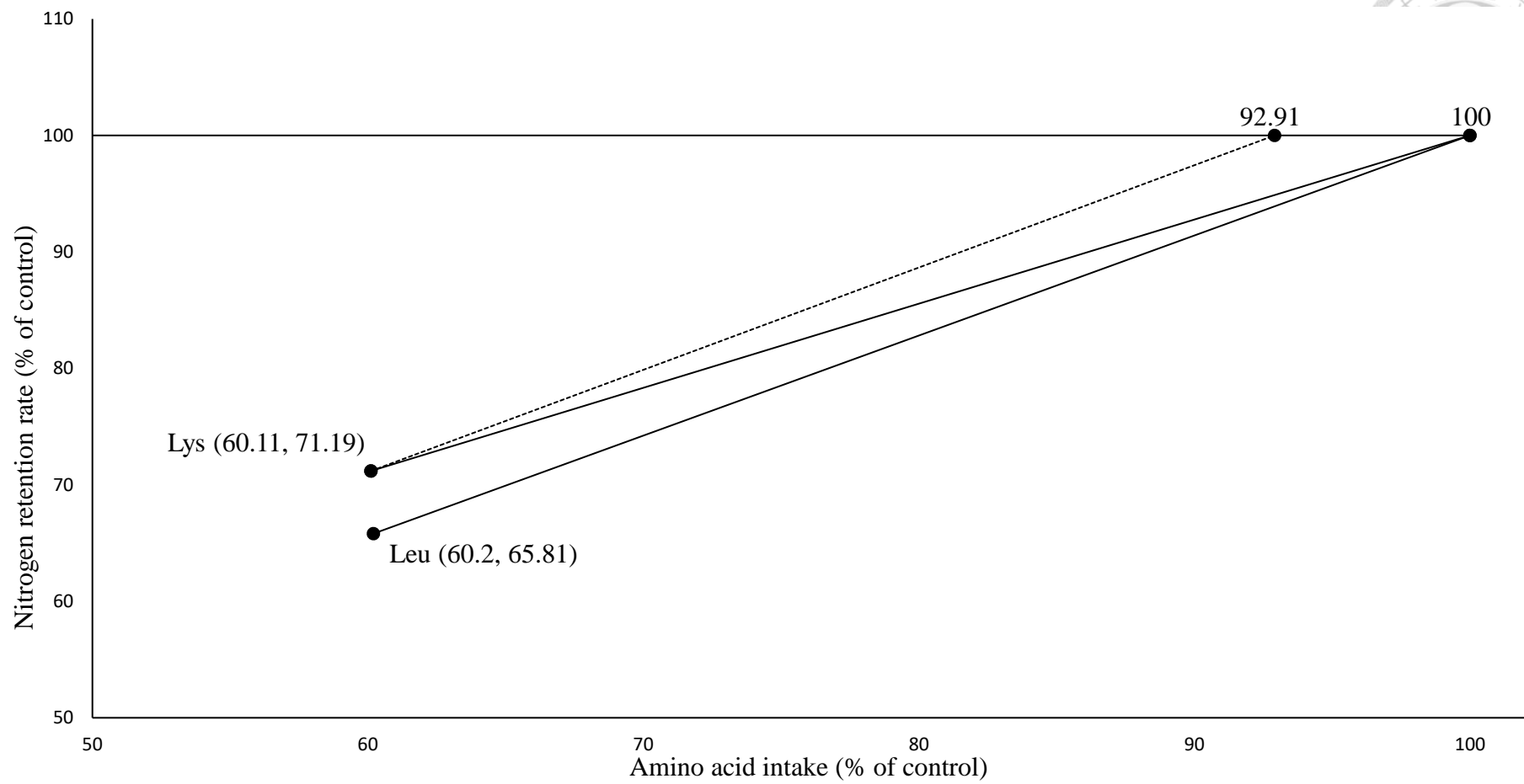
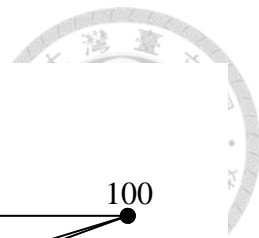


圖 16、以胺基酸扣除法建立必需胺基酸間之比例之原理（以離胺酸和白胺酸為例）

Figure 16. The principle of determining the ratio between essential amino acids by amino acid deletion (taking lysine and leucine as an example)

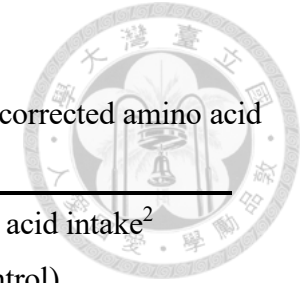


表 18、各胺基酸相對於對照組減少 40%對體氮蓄積率之影響與其校正後之胺基酸攝取量（對照組視為 100%）

Table 18. The effect of each amino acid reduced by 40% relative to the control group on body nitrogen retention rate and the corrected amino acid intake ( relative to control = 100%)

Limiting amino acid	Amino acid intake (% of control)	Nitrogen retention rate (% of control)	Slope <sup>1</sup>	Corrected amino acid intake <sup>2</sup> (% of control)
Lysine	60.11	71.79	0.71	88.65
Arginine	59.90	73.50	0.66	86.71
Sulfur amino acids	59.85	74.36	0.64	85.80
Histidine	60.42	62.39	0.95	98.47
Tryptophan	60.71	88.89	0.28	71.96
Leucine	60.20	65.81	0.86	94.80
Aromatic amino acids	60.22	60.68	0.99	100.00
Isoleucine	60.00	79.49	0.51	80.76
Threonine	60.00	70.09	0.75	90.27
Valine	59.70	67.52	0.81	92.57

<sup>1</sup> The slope is based on the straight line in the figure 16

<sup>2</sup> The each amino acid intake of the control group was corrected according to the slope of first limiting amino acid

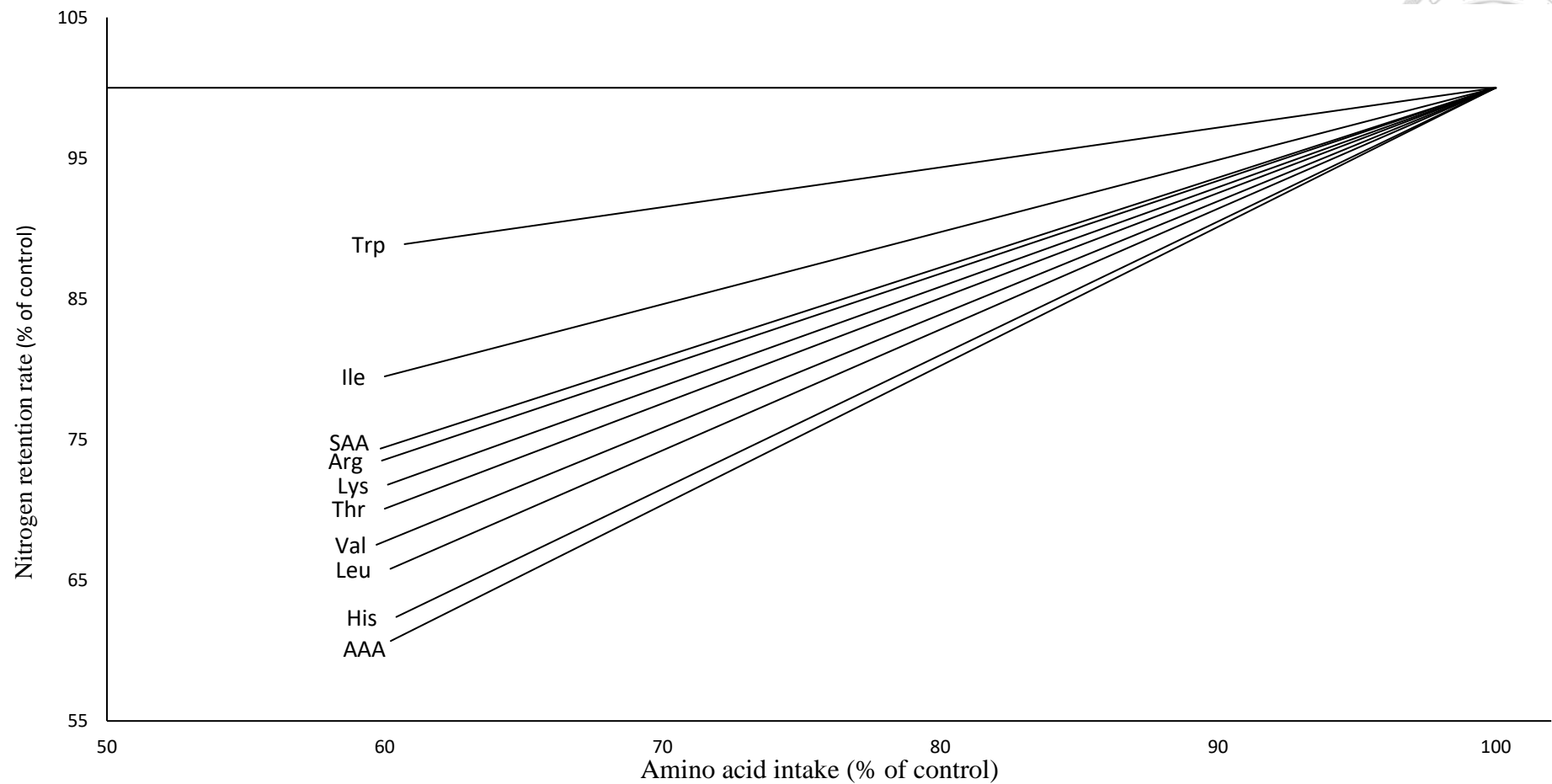


圖 17、各胺基酸相對於對照組減少 40%對體氮蓄積率之影響（對照組視為 100%）

Figure 17. The effect of each amino acid reduced by 40% relative to the control group on body nitrogen retention rate ( relative to control = 100%)

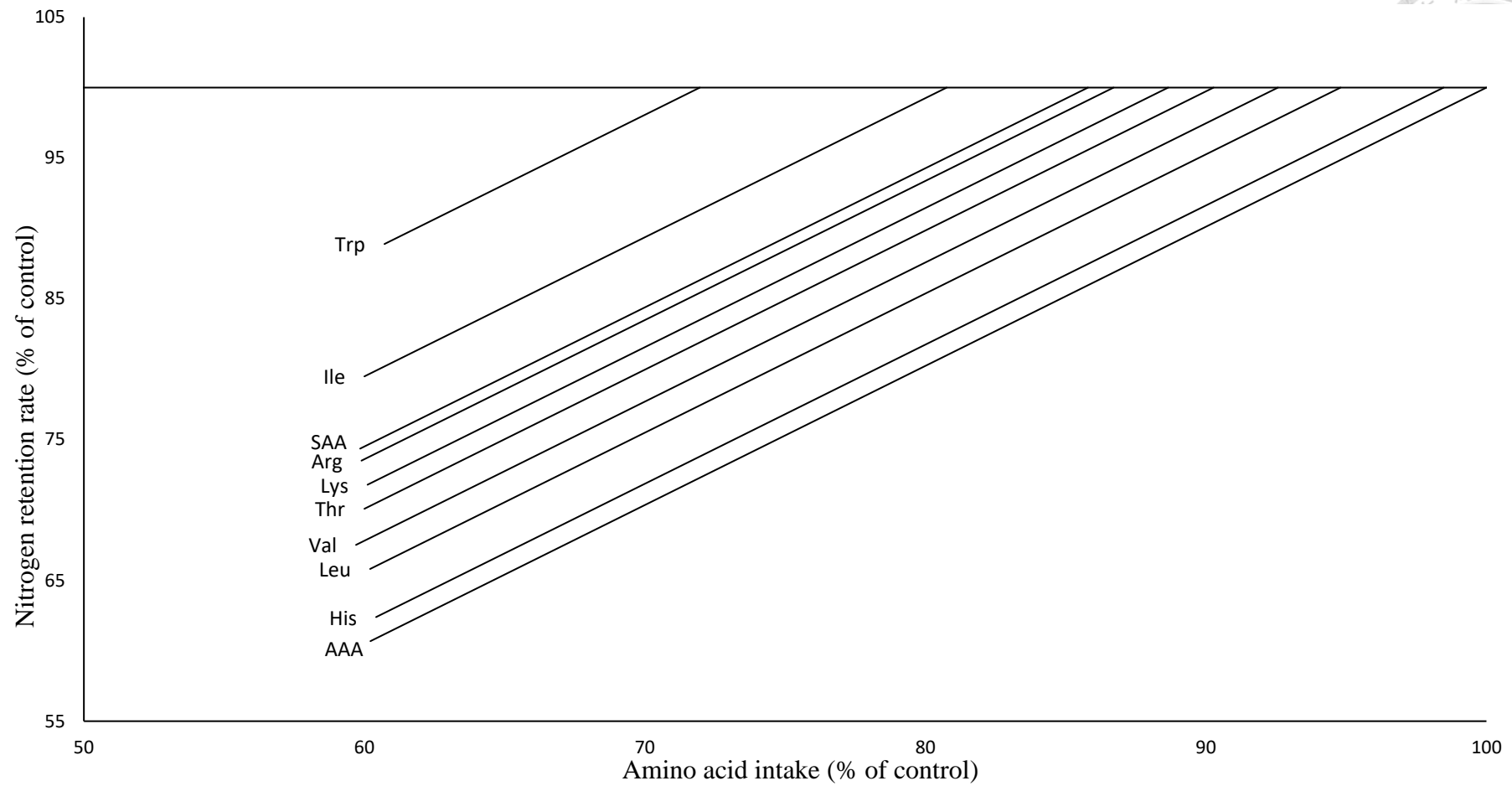
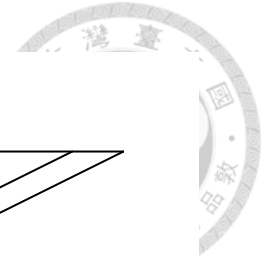


圖 18、各胺基酸之斜率都校正成第一限制胺基酸之結果

Figure 18. The result of the slope of each amino acids was corrected to the first limiting amino acid



## 附錄六：白肉雞於不同生長階段之體蛋白質蓄積率與代謝體重之建立

本試驗之目的為分別測定 0 至 10 日齡、10 至 21 日齡與 21 至 35 日齡三個生長階段之平均代謝體重與平均體蛋白質蓄積率，以作為試驗三之理想必需胺基酸組成動態性評估之參考指標。

採用 66 隻 0 日齡之雄性白肉雞 (Arbor Acres Plus) 進行試驗。試驗開始前，雛雞皆先行打翅號、秤重，並犧牲 6 隻接近 0 日齡全體平均體重之雛雞，用於測定 0 日齡體水分與體氮之含量，並轉換為體蛋白質含量表示之。其餘 60 隻雞分別以 20 隻逢機飼養在同一欄位中，共計三欄，飼養於以粗糠為墊料之平面欄舍中。試驗為期 35 天，分成三期 (0 至 10 日齡、10 至 21 日齡與 21 至 35 日齡) 飼養，皆餵飼滿足 Arbor Acres Broiler Nutrition Supplement (2014) 之營養推薦量之玉米 - 大豆粕實用飼糧，如表 19。環境溫度、燈下溫度與光照計畫等飼養管理皆參考飼養管理手冊中之建議。試驗期間採任食、任飲。

試驗於 10 日齡、21 日齡、35 日齡秤量已禁食 4 小時之雞隻空腹體重與剩餘飼料重，且每欄挑取 6 隻接近該欄平均體重之雞隻，進行體水分與體氮含量之分析，相關操作如同試驗二與三，測定後得到之結果轉換為體蛋白質含量表示之。以比較性屠宰法之方式，分別計算其於 0 至 10 日齡、10 至 21 日齡、21 至 35 日齡之平均體蛋白質蓄積率，將該生長階段之最後一天所測得之體蛋白質含量與第一天測得之數值相減後，除以該階段之飼養天數，即可得該生長階段之平均體蛋白質蓄積率 (g protein/day)。各生長階段之平均代謝體重 ( $\text{kg}^{0.75}$ ) 則以該階段之第一天與最後一天測得代謝體重之平均值表示之，各日齡 (0、10、21、35) 之生長表現、體蛋白質含量與不同生長階段之體蛋白質蓄積率和平均代謝體重之結果列於表 20 與 21。

表 19、不同生長階段之白肉雞實用飼糧配方組成與營養分分析值

Table 19. Nutrient composition and analyzed values of the practical diets for the broiler at different growing stage

Ingredients	Feeding period (day)	0 to 10	11 to 21	22 to 35
		-----g/kg-----		
Corn meal		507.35	532.81	587.18
Soybean meal (CP 43.46%)		365.07	337.93	282.86
Fish meal (CP 69.32%)		50.00	-	-
Meat born meal (CP 59.23%)		-	50.00	50.00
Soybean oil		37.49	51.16	55.92
Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		11.19	5.57	4.19
CaCO <sub>3</sub>		11.20	5.45	4.33
Vitamin premix <sup>1</sup>		3.00	3.00	3.00
Mineral premix <sup>1</sup>		2.00	2.00	2.00
NaCl		3.00	3.00	3.00
Choline-Chloride (50%)		1.50	1.50	1.50
Coccidiosis medicines		0.60	0.60	-
DL-Methionine		4.96	4.71	4.07
Lysine-HCl		0.42	1.08	1.15
Threonine		1.37	1.19	0.80
Arginine		0.85	-	-
<b>Calculated</b>				
Crude protein (%)		23.00	21.50	19.50
ME (Mcal/kg)		3.00	3.10	3.20
<b>Analyzed (%)</b>				
Moisture		11.45	11.93	12.11
Crude protein		24.10	22.18	20.53

<sup>1</sup> The same as that of table 5



表 20、不同日齡 (0、10、21、35 日齡) 之白肉雞體重、代謝體重與體蛋白質之含量

Table 20. Body weight, metabolic body weight and body protein mass of broilers at different ages (0, 10, 21, 35 days old)

Age (day)	n	Body weight (g)	n	Metabolic body weight (kg <sup>0.75</sup> )	n	Body protein mass (g)*
0	66	44.37±3.25	66	0.097±0.005	6	6.80±0.25
10	60	297.16±42.00	60	0.402±0.044	6	48.20±1.40
21	54	902.71±99.25	54	0.925±0.079	6	149.45±7.05
35	47	2063.98±182.41	47	1.721±0.115	6	330.07±21.66

\*Selecting two chicks closed to the average weight of each pen to determine protein mass

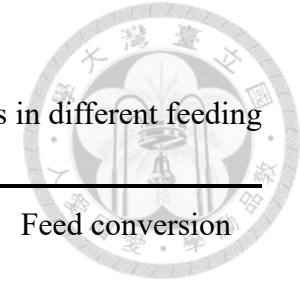


表 21、不同生長階段之白肉雞平均代謝體重、體蛋白質蓄積率等生長表現之指標

Table 21. The average of metabolic body weight, body protein accretion rate and other growth performance criteria of broilers in different feeding periods

Feeding period (day)	n	Mean of metabolic body weight ( $\text{kg}^{0.75}$ ) <sup>1</sup>	n	Body protein accretion rate (g/day) <sup>2</sup>	n	Feed intake (g/day)	n	Body weight gain (g/day)	n	Feed conversion ratio (g/g)
0-10	60	0.249±0.023	-	4.14	3	31.04±0.76	60	25.28±4.12	3	1.23±0.02
10-21	54	0.663±0.061	-	9.20	3	78.15±1.35	54	55.06±5.93	3	1.42±0.07
21-35	47	1.316±0.092	-	12.90	3	132.42±3.72	47	84.21±9.31	3	1.57±0.09

<sup>1</sup> The average of the first day and the last day metabolic body weight at each growth stage

<sup>2</sup> Using comparative slaughter to determine body protein accretion rate for each feeding period

## 陸、參考文獻



Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 1984. Official methods of analysis, 14th edition. AOAC, Arlington, VA, USA.

Aviagen 2014. Arbor acres plus broiler nutrition specification. Aviagen Incorporated, USA.

Aviagen 2014. Arbor acres plus broiler performance objectives. Aviagen Incorporated, USA.

Agricultural Research Council (ARC) 1981. The nutrient requirement of pigs. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, UK.

Baker DH 1991. Partitioning nutrients for growth and other metabolic functions: Efficiency and priority considerations. *Poultry Science* 70, 1797-1805.

Baker DH and Han Y 1994. Ideal amino acid profile for chicks during the first three weeks post-hatching. *Poultry Science* 73, 1441-1447.

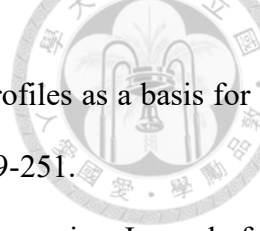
Baker DH, Batal AB, Parr TM, Augspurger NR and Parsons CM 2002. Ideal ratio (relative to lysine) of tryptophan, threonine, isoleucine, and valine for chicks during the second and third weeks post hatch. *Poultry Science* 73, 485-494.

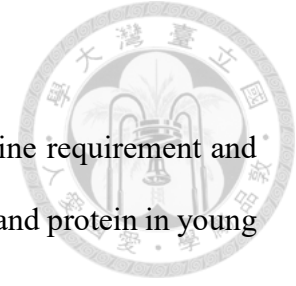
Batterham ES, Anderson LM, Baigent DR and White E 1990. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: Effects of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. *British of Journal Nutrition* 64, 81-94.

Becker DE, Ullrey DE and Terrill SW 1954. Protein and amino acid intakes for optimum growth rate in the young pig. *Journal of Animal Science* 13, 346-356.

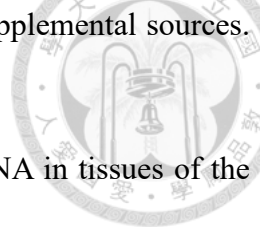
Bedford MR and Summers JD 1985. Influence of the ratio of essential to non-essential amino acids on performance and carcass composition of the broiler chick. *British Poultry Science* 26, 483-491.

Bender AE 1965. The balancing of amino acid mixtures and protein. *Proceedings of The*

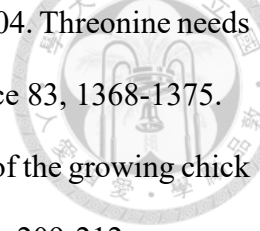
- 
- Nutrition Society 24, 190-197.
- Boisen S, Hvelplund T and Weisbjerg MR 2000. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livestock Production Science* 64, 239-251.
- Chung TK and Baker DH 1992. Ideal amino acid pattern for 10-kilogram pigs. *Journal of Animal Science* 70, 3102-3111.
- Cole DJA 1978. Amino acid nutrition of the pig. In *Recent advances in animal nutrition* (ed. W Haresign and D Lewis), pp. 51-67. Butterworths Publishing, London, UK.
- Corzo A, Kidd MT, Thaxton JP and Kerr BJ 2005. Dietary tryptophan effects on growth and stress responses of male broiler chicks. *British Poultry Science* 46, 478-484.
- Cuca M and Jensen LS 1990. Arginine requirement of starting broiler chicks. *Poultry Science* 69, 1377-1382.
- Diógenes AF, Fernandes JBK, Dorigam JCP, Sakomura NK, Rodrigues FHF, Lima BTM and Gonçalves FH 2016. Establishing the optimal essential amino acid ratios in juveniles of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by the deletion method. *Aquaculture Nutrition* 22, 435-443.
- Dove H, Pearce GR and Tribe DE 1977. Utilization of amino acids by preruminant lambs. I. The effect of alterations in total essential amino acid intake at constant nitrogen intake. *Australian Journal of Agricultural Research*. 28, 917-932.
- D'Mello JPF 1994. Amino acid imbalances, antagonisms and toxicities. In *Amino acids in farm animal nutrition* (ed. JPF D'Mello), pp. 63-97. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Edwards HM, Baker DH, Fernandez SR and Parsons CM 1997. Maintenance threonine requirement and efficiency of its use for accretion of whole-body threonine and protein in young chicks. *British Journal of Nutrition* 78, 111-119.
- Edwards HM and Baker DH 1999. Maintenance sulfur amino acid requirements of young chicks and efficiency of their use for accretion of whole-body sulfur amino acid

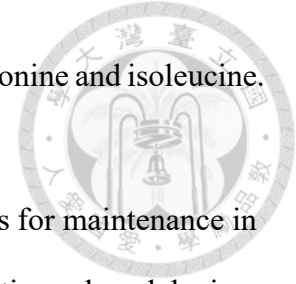


- and protein. *Poultry Science* 78, 1418-1423.
- Edwards HM, Fernandez SR and Baker DH 1999. Maintenance lysine requirement and efficiency of using lysine for accretion of whole-body lysine and protein in young chicks. *Poultry Science* 78, 1412-1417.
- Ekperigin HE and Vohra P 1981. Histopathological and biochemical effects of feeding excess dietary methionine to broiler. *Avian Diseases* 25, 82-95.
- Emmert JL and Backer DH 1997. Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. *Journal of Applied Poultry Research* 6, 462-470.
- Farran MT and Thomas OP 1990. Dietary requirements of leucine, isoleucine, and valine in male broilers during the starter period. *Poultry Science* 69, 757-762.
- Featherston WR, Bird HR and Harper AE 1962. Ability of the chick to utilize d- and excess l-indispensable amino acid nitrogen in the synthesis of dispensable amino acids. *Journal of Nutrition* 78, 95-100.
- Fevold HL 1951. Egg proteins. *Advances in Protein Chemistry* 6, 187-252.
- Fisher C, Moriss TR and Jennings RC 1973. A model for the description and prediction of the response of laying hens to amino acid intake. *British Journal of Nutrition* 14, 469-484.
- Fisher H, Griminger P, Leveille GA and Shapiro R 1960. Quantitative aspects of lysine deficiency and amino acid imbalance. *Journal of Nutrition* 71, 213-220.
- Fuller MF, McWilliam R, Wang TC and Giles LR 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue protein accretion. *British Journal of Nutrition* 62, 255-267.
- Fuller MF and Garlick PJ 1994. Human amino acid requirements: Can the controversy be resolved. *Annual Review of Nutrition* 14, 217-241.
- Gahl MJ, Crenshaw TD and Benevenga NJ 1995. Diminishing returns in weight, nitrogen,

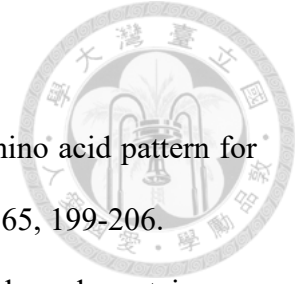
- 
- and lysine gain of pigs fed six levels of lysine from three supplemental sources. *Journal of Animal Science* 73, 3177-3187.
- Garlick PJ, Burk TL and Swick RW 1976. Protein synthesis and RNA in tissues of the pig. *American Journal of Physiology* 230, 1108-1112.
- Gietzen DW, Erecius LF and Rogers QR 1998. Neurochemical changes after imbalanced diet suggest a brain circuit mediating anorectic responses to amino acid deficiency in rats. *Journal of Nutrition* 128, 771-781.
- Glista WA 1951. The amino acid requirements of the chick : method and application to some of the amino acids. PhD thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois.
- Griffin ME, Wilson KA and Brown PB 1994. Dietary arginine requirement of juvenile hybrid striped bass. *Journal of Nutrition* 124, 888-893.
- Han Y and Baker DH 1991. Lysine requirements of fast- and slow-growing broiler chicks. *Poultry Science* 70, 2018-2114.
- Heger J, Frydrych Z and Fronek P 1987. The effect of nonessential nitrogen on the utilization of dietary protein in the growing rat. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 57, 130-139.
- Heger J, Mengesha S and Vodehnal D 1998. Effect of essential:total nitrogen ratio on protein utilization in the growing pig. *British Journal of Nutrition* 80, 537-544.
- Hurwitz S, Sklan D and Bartov I 1978. New formal approaches to the determination of energy and amino acid requirements of chicks. *Poultry Science* 57,197-205.
- Ikemoto S, Miyashita M, Yamanaka C, Shizuka F, Kido Y, Kishi K, Sogawa Y, Kori H and Yamamoto S 1989. Optimal ratios of essential to total amino acids for amino acid mixtures given to rats. *Nutrition Reports International* 39, 477-486.
- Kalinowski A, Moran EJ and Wyatt C 2003. Methionine and cystine requirements of slow- and fast-feathering male broilers from zero to three weeks of age. *Poultry Science* 82, 1423-1427.



- 
- Kidd MT, Corzo A, Hoehler D, Kerr BJ, Barber SJ and Branton SL 2004. Threonine needs of broiler chickens with different growth rates. *Poultry Science* 83, 1368-1375.
- Klain GJ, Scott HM and Johnson BC 1960a. The protein requirement of the growing chick determined with amino acid mixtures. *Journal of Nutrition* 71, 209-212.
- Klain GJ, Scott HM and Johnson BC 1960b. The amino acid requirement of the growing chick fed a crystalline amino acid diet. *Poultry Science* 39, 39-44.
- Konashi S, Takahashi K and Akiba Y 2000. Effects of dietary essential amino acid deficiencies on immunological variables in broiler chickens. *British Journal of Nutrition* 83, 449-456.
- Kreuzer M, Klirchgessner M and Steinhart H 1988. Einfluß der Energie- und Proteinversorgung sowie des Altersstadiums auf die Aminosäurezusammensetzung von Broilern. *Archiv für Geflügelkunde* 52, 133-141.
- Leeson S, Caston L and Summers JD 1996. Broiler response to diet energy. *Poultry Science* 75, 529-535.
- Lemme A 2003. The "Ideal Protein Concept" in broiler nutrition 1. Methodological aspects - Opportunities and limitations. *Degussa AG Amino News* 4, 2-8.
- Leveille GA and Fisher H 1958. The amino acid requirements for maintenance in the adult rooster: i. Nitrogen and energy requirements in normal and protein-depleted animals receiving whole egg protein and amino acid diets. *Journal of Nutrition* 66, 441-453.
- Leveille GA and Fisher H 1959. Amino acid requirements for maintenance in the adult rooster: ii. The requirements for glutamic acid, histidine, lysine and arginine. *Journal of Nutrition* 69, 289-294.
- Leveille GA and Fisher H 1960. Amino acid requirement for maintenance in the adult rooster: iii. The requirements for leucine, isoleucine, valine and threonine, with



- reference also to the utilization of the d-isomers of valine, threonine and isoleucine. *Journal of Nutrition* 70, 135-140.
- Leveille GA, Shapiro R and Fisher H 1960. Amino acid requirements for maintenance in the adult rooster: iv. The requirements for methionine, cystine, phenylalanine, tyrosine and tryptophan; the adequacy of the determined requirements. *Journal of Nutrition* 72, 8-15.
- Li GH, Qu MG, Zhu NH and Yan XH 2003. Determination of the amino acid requirements and optimum dietary amino acid pattern for growing Chinese taihe silky fowls in early stage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 16, 1782-1788.
- Morris TR 1999. *Experimental design and analysis in animal sciences*. CABI, USA.
- Morris TR 2004. Nutrition of chicks and layers. *World's Poultry Science Journal* 60, 5-18.
- Musharaf NA and Latshaw JD 1999. Heat increment as affected by protein and amino acid nutrition. *World's Poultry Science Journal* 55, 233-240.
- National Research Council (NRC) 1994. *Nutrient requirements of poultry*, 9th revised edition. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- National Research Council (NRC) 1998. *Nutrient requirements of swine*, 9th revised edition. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Otto ER, Yokoyama M, Ku PK, Ames NK and Trottier NL 2003. Nitrogen balance and ileal amino acid digestibility in growing pigs fed diets reduced in protein concentration. *Journal of Animal Science* 81, 1743-1753.
- Robbins KR, Saxton AM and Southern LL 2006. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. *Journal of Animal Science* 84, 155-165.
- Roth FX, Gotterbarm GG, Windisch W and Kirchgessner M 1999. Einfluss des gehalts an nichtessentiellen aminosäuren im futter auf die stickstoffbilanz und auf den protein-turnover des ganzkörpers von wachsenden schweinen. *Journal of Animal*



- Physiology and Animal Nutrition 81, 232-238.
- Roth FX, Gruber K and Kirchgessner M 2001. The ideal dietary amino acid pattern for broiler-chicks of age 7 to 28 days. *Archiv fur Geflugelkunde* 65, 199-206.
- Si JL, Fritts CA, Burnham DJ and Waldroup PW 2004. Extent to which crude protein may be reduced in corn-soybean meal broiler diets through amino acid supplementation. *International Journal of Poultry Science* 3, 46-50.
- Sklan D and Noy Y 2005. Direct determination of optimal amino acid intake for maintenance and growth in broilers. *Poultry Science* 84, 412-418.
- Southern LL and Baker DH 1983. Arginine requirement of the young pig. *Journal of Animal Science* 57, 402-412.
- Sugahara M and Ariyoshi S 1968. The role of dispensable amino acids for the maximum growth of chicks. *Agricultural and Biological Chemistry* 32, 153-160.
- Wang TC and Fuller MF 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs:1. Experiments by amino acid deletion. *British of Journal Nutrition* 62, 77-89.
- Wecke C, Khan DR, Sunder A and Liebert F 2018. Age and Gender Dependent Amino Acid Concentrations in the Feather, Feather-Free and Whole Empty Body Protein of Fast Growing Meat-Type Chickens. *Open Journal of Animal Sciences* 8, 223-238.
- Wei HW, Kuo HM, Chiu WZ and Chen BJ 2009. The optimum dietary essential amino acid pattern for male Taiwan country chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 22, 1186-1194.
- Young VR and Zamora J 1968. Effects of altering the proportion of essential to non-essential amino acids on growth and plasma amino acid levels in the rat. *Journal of Nutrition* 96, 21-27.