

東海大學畜產與生物科技學系

Department of Animal Science and Biotechnology

Tunghai University

碩士論文

Master Thesis

指導教授：吳勇初 博士

Adviser: Yun-Chu Wu, Ph. D.

低溫熟成對畜試黑豬一號與三品種雜交豬肉質特性之  
影響

Effect of low temperature ageing on meat qualities of  
TLRI black pig No. 1 and LYD crossbred pig

研究生：張復淳

Graduate Student: Fu-Chun Chang

中華民國一百零二年七月

July, 2013

## 目次

	頁次
壹、中文摘要	1
貳、前言	3
參、文獻回顧	5
一、臺灣豬隻現況及肉品回顧	5
二、品種	8
(一) 畜試黑豬一號	8
(二) 三品種雜交豬	10
(三) 高畜黑豬	12
三、豬肉品質	14
(一) 嫩度	14
(二) 色澤	16
(三) 保水力	20
(四) 風味	20
四、肌肉纖維結構	25
(一) 肌肉組織	25
(二) 肌節結構	25
五、肌肉降解機制	30
(一) Calpain system	30
(二) Cathepsines	32
(三) Caspase system	32
六、食肉風味來源	36
(一) 核苷酸關聯物	36
(二) 脂肪酸	38
七、肉品熟成	44
肆、實驗方法	46
一、實驗材料	46
二、採樣方式	47
三、分析項目	52
四、統計分析	59
伍、結果與討論	60
一、屠體評級與一般成分分析	60
(一) 屠肉評級	60
(二) 一般成分分析	61
二、屠後 72 小時內之肌肉變化	64
(一) 溫度變化	64

(二) 酸鹼值·····	64
(三) 保水力·····	68
(四) 蒸煮失重·····	70
(五) 剪力值·····	73
(六) $\mu$ -calpain 與 m-calpain 活性·····	76
(七) 肌纖維降解·····	78
(八) $\alpha$ -actinin 之變化·····	81
三、熟成四週之肉質變化·····	83
(一) 酸鹼值·····	83
(二) 色澤·····	83
(三) 剪力值·····	89
(四) 核苷酸關聯物·····	91
(五) 游離脂肪酸組成·····	93
(六) 感官品評·····	95
陸、結論·····	105
柒、參考文獻·····	107
捌、英文摘要·····	121
玖、附錄·····	123

## 表次

	頁次
表一、近十年臺灣人之肉類供給量·····	7
表二、RN 基因在對偶基因與基因型頻率在美國漢布夏與約克夏之結果	11
表三、不同豬種品種之剪力值比較·····	14
表四、不同豬種之肌紅蛋白含量·····	18
表五、Calpain 活化、自體降解及與 calpastatin 相互作用所需之鈣離子 濃度·····	32
表六、Caspase 家族成員·····	34
表七、飽和脂肪酸·····	40
表八、不飽和脂肪酸·····	41
表九、豬種間背最長肌之脂肪酸組成比較·····	42
表十、背最長肌之脂肪酸組成在性別上之差異·····	43
表十一、實驗之原料肉來源·····	46
表十二、畜試黑豬一號與三品種雜交豬在背最長肌之屠體評級·····	62
表十三、畜試黑豬一號與三品種雜交豬在背最長肌之一般成分·····	63
表十四、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在 核苷酸關聯物之變化·····	92
表十五、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在 脂肪酸組成之變化·····	94

## 圖次

	頁次
圖一、畜試黑豬一號選育流程·····	9
圖二、高畜黑豬雜交選育流程·····	13
圖三、肉色變化·····	19
圖四、肉類烹煮過程部份揮發性物質之分類·····	23
圖五、烷基-3-噻唑類與甲基噻唑·····	24
圖六、脂質衍生物與梅納反應相互作用形成烷基二甲基吡嗪之路徑··	24
圖七、骨骼肌之構造圖·····	26
圖八、肌節結構·····	29
圖九、Calpain 1、2 與 3 之功能部位圖示·····	31
圖十、在細胞凋亡途徑中 Caspases 與其他調節因素關係·····	35
圖十一、大鼠之 ATP 降解產物示意圖·····	37
圖十二、豬肉大部分切圖·····	48
圖十三、背最長肌之採樣位置及分析·····	49
圖十四、豬肉嫩化之實驗設計流程圖·····	50
圖十五、豬肉低溫貯存之實驗設計流程圖·····	51
圖十六、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時 在溫度之變化·····	65
圖十七、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時 在酸鹼值之變化·····	67
圖十八、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時 在保水力之變化·····	69
圖十九、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小 時在蒸煮失重之變化·····	72
圖二十、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小 時在剪力值之變化·····	75
圖二十一、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小 時在 (A) $\mu$ -calpain 活性與 (B) m-calpain 活性之變化·····	77
圖二十二、畜試黑豬一號之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時之肌纖維蛋白 之變化·····	79
圖二十三、三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時之肌纖維蛋白 之變化·····	80
圖二十四、西方點墨法分析 (A) 畜試黑豬一號與 (B) 三品種雜交豬 之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時, 肌原纖維蛋白中 $\alpha$ -actinin 之變化····	82
圖二十五、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週	

在酸鹼值之變化·····	85
圖二十六、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週 在亮度值之變化·····	86
圖二十七、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週 在紅色值之變化·····	87
圖二十八、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週 在黃色值之變化·····	88
圖二十九、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週 在剪力值之變化·····	90
圖三十、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在 感官品評中顏色之變化·····	98
圖三十一、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週 在感官品評中氣味之變化·····	99
圖三十二、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週 在感官品評中嫩度之變化·····	100
圖三十三、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週 在感官品評中多汁性之變化·····	101
圖三十四、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週 在感官品評中甜度之變化·····	102
圖三十五、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週 在感官品評中風味之變化·····	103
圖三十六、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週 在感官品評中總接受之變化·····	104

## 壹、中文摘要

本試驗探討畜試黑豬一號 (75% Duroc x 25% Taoyuan, TBP) 與三品種雜交豬 (Landrace x Yorkshire x Duroc, LYD) 之背最長肌 (*longissimus dorsi muscle*) 以真空包裝方式貯存於 0°C，於在屠後 1、3、6、12、24、48 及 72 小時及貯藏 0、1、2、3 及 4 週肉質特性之變化。

本試驗結果顯示，在肉質品評與一般成分分析上，TBP 在大理石紋評分與粗脂肪含量明顯高於 LYD ( $P < 0.05$ )，而 LYD 在色澤分評分、水分與粗蛋白含量明顯高於 TBP。在 72 小時肉質特性變化分析上，TBP 屠後 24 小時後酸鹼值明顯低於 LYD ( $P < 0.05$ )；保水力在屠後 24 小時內 TBP 明顯低於 LYD ( $P < 0.05$ )。剪力值在屠後 24 內 LYD 明顯高於 TBP ( $P < 0.05$ )，第 48 小時之後兩者間則無顯著差異。肌原纖維降解結果顯示，TBP 之 Desmin 降解較 LYD 快，但在 32~28 kDa 之肌原纖維降解產物出現 LYD 較快。 $\mu$ -calpain 活性沒有隨著時間增加而減少，持續對肌原纖維進行嫩化。 $\alpha$ -actinin 含量沒有隨著時間增加而改變。

在 0 至 4 週低溫貯藏下，酸鹼值在第 0 與 1 週無顯著差異，第 2 到 4 週 TBP 明顯較 LYD 低 ( $P < 0.05$ )；在色澤部分 (CIE LAB)，TBP 亮度值在 3 週內明顯高於 LYD，第 4 週則無顯著差異；在紅色值部分兩者間無顯著差異；黃色值部分，TBP 在貯存期間均顯著高於 LYD ( $P < 0.05$ )。兩者間在剪力值部分雖無顯著差異，但 LYD 有高於 TBP 之趨勢。在核苷酸關聯物部分，ADP 含量在第 1 週時 TBP 高於 LYD ( $P < 0.05$ )；而在第 4 週時 Hypoxanthine、Inosine 及總核苷酸含量 LYD 高於 TBP；游離脂肪酸部分，TBP 之 C<sub>12:0</sub>、C<sub>18:2</sub>、C<sub>18:3</sub> 及多元不飽和脂肪酸比例顯低於 LYD ( $P < 0.05$ )，而 C<sub>18:1</sub> 及單元不飽和脂肪酸比例則高於 LYD ( $P < 0.05$ )，飽和脂肪酸比例在兩者間無顯著差異。TBP 在第 4 週明顯下降。TBP 與 LYD 之 C<sub>16:1</sub> 隨貯存時間增加有明顯增加 ( $P < 0.05$ )，而 C<sub>12:0</sub> 有先增後減之現象。LYD 之 C<sub>18:1</sub> 及 C<sub>20:1</sub> 比例隨時間增加而增加 ( $P < 0.05$ )。

在感官品評結果顯示，在顏色評分上，TBP 與 LYD 無顯著差異。在氣味評分上，TBP 與 LYD 在第 0 週及第 4 週有顯著差異。在嫩度評分上，LYD 隨週數增加有顯著較嫩，TBP 則無顯著差異。在多汁性評分上，TBP 有較高於 LYD 之趨勢但不顯著，隨週數增加 TBP 及 LYD 多汁性明顯下降，兩者多汁性在第 4 週時最低 ( $P < 0.05$ )。在甘味部分，TBP 貯存第 1 週最高，之後隨貯存時間明顯下降，前 3 週 TBP 顯著高於 LYD ( $P < 0.05$ )。在總接受度部分，TBP 在貯存第 4 週時總接受度最低 ( $P < 0.05$ )，LYD 則無顯著差異，貯存前 3 週 TBP 顯著高於 LYD ( $P < 0.05$ )。

在低溫熟成期間，LYD 與不良風味有關之多不飽和脂肪酸與 Hypoxanthine 也明顯較 TBP 高，而感官品評結果以 TBP 較 LYD 佳。整體結果而言，TBP 低溫熟成期間之肉質特性較 LYD 佳。



## 貳、前言

近年來，國際貿易自由化與農產品市場開放之趨勢，加上特定比例之臺灣消費者對黑豬肉之偏好，以及具本土特性與區隔性畜產品之需求和多元化畜產業經營方式之認知，使得臺灣黑豬為最具消費市場代表性之豬肉（陳等，2007；楊與顏，2001）。

臺灣省畜產試驗所自民國七十七年（1988）起以具耐粗食且高繁殖性能之桃園豬（Taoyuan）與杜洛克豬（Duroc）雜交進行合成豬種選育，其育成高生產效率高價位及多產性能之臺灣黑豬新品系-畜試黑豬一號（戴等，1997）。而桃園豬種在繁殖性能上具有較高產仔數及仔豬存活率（吳等，1989），顏與戈（1981）比較桃園豬與藍瑞斯豬在屠體性狀上，桃園豬則有較小之腰眼面積，在皮加脂肪之比例較高，桃園豬在肉質上有較高之粗脂肪含量與紅色值（ $a^*$  value），而含有桃園豬血統之畜試黑豬一號品種，在同樣飼糧環境下與藍瑞斯豬比較，畜試黑豬一號在水分及粗脂肪含量顯著較高（廖等，2002）。杜洛克豬種在肌內脂肪含量較高（van Laack *et al.*, 2001），含杜洛克血統愈高，其新鮮屠體和加工肉之品質均有愈高之趨勢（夏，2002）。

豬肉品質主要以食品安全、營養程度、風味、口感、保水力、顏色、脂肪含量、脂肪組成、氧化安定性與肉品一致性等為主（Andersen *et al.*, 2005）；而對一般消費者而言可分為可見因素（如：總接受度及顏色）與不可見因素（如：風味、質地、嫩度及多汁性）（Bredahl *et al.*, 1998）。消費者主要以顏色、風味及嫩度來判斷豬肉之食用品質好壞（Tikk, 2007）。潘（2008）報告中指出，臺灣黑豬在剪力值部分較大麥豬及三品種雜交豬低。在真空包裝之豬里肌肉片經由低溫長時間貯存能明顯提升嫩度，在第二週時，其嫩化效果仍持續進行（van Laack *et al.*, 2001）。

在肉品感官品評中，風味為最主要影響總接受度之因素（Bryhni *et al.*, 2002；Mottram, 1998）。脂肪氧化為形成風味主要管道（Mottram, *et al.*, 1982），

特別是烹煮豬肉所產生高濃度揮發性脂肪氧化衍生物之風味（MacLeod, 1986）。肉中脂肪含量之多寡，賦予肉不同之香味、柔嫩度及含汁性(謝等,1996)。

國內目前在優良豬肉品牌建立上，已有多家廠商推出多項黑毛豬之生鮮肉及肉製品。而對於生鮮臺灣黑豬豬肉在嫩度及低溫長時間貯藏在品質上之探討不多，故本試驗之目的在於對低溫熟成對畜試黑豬一號與三品種雜交豬肉質特性之影響。

### 叁、文獻回顧

#### 一、臺灣豬隻現況及肉品回顧

臺灣畜牧業 90% 以上之飼料原料長期仰賴進口，尤其是玉米，據農委會統計臺灣玉米年產量為 4 萬多公噸，進口量為 500 萬公噸，約 95% 玉米來自美國，其中約 480 萬公噸做為動物飼料。而大豆進口量約為 200 餘萬噸，主要也是自美國。近年來能源危機，而美國為了解決石油燃料缺乏之問題，利用玉米及大豆等飼料原料做為生質能源，使得美國出口飼料量減少，且中國大陸在 2006 年將玉米由部分輸出轉為全面進口之政策，加劇國際玉米價格更加高漲，造成臺灣畜產業飼養成本提升，臺灣豬隻飼養現況，全台養豬戶自 2006 年 1 萬 2 千多戶降到 2011 年 9 千多戶，而在養頭數從 2006 年 700 萬頭降到 2011 年 626 萬頭，養豬戶數及在養頭數雖有下降，但平均飼養頭數自 2006 年 565 頭成長到 643 頭（台灣行政院農業委員會，2012）。使得養豬戶以增加養豬頭數，以大量採購飼料進而減輕飼料成本負擔。（畜產試驗所，2007）。

臺灣自 2002 年正式成為世界貿易組織（World Trade Organization，簡稱 WTO）（經濟部國際貿易局，2012），在各國農產品市場開放和自由化之競爭下，農業委員會於 2009 年開始”精緻農業健康卓越方案”，其中健康農業之新市場開發策略中，開發特定族群市場，一方面精進臺灣養豬科技，另一方面則發展具本土特性及產品區隔之畜產品以滿足國人特殊需求，增加臺灣豬隻競爭性。在台灣民間習俗中需以黑色豬隻祭拜天公，而黑色豬肉具有肉質甜美之特性（顏念慈，2000）。而臺灣黑毛豬飼養狀況在政府政策推動下，以 2005 年臺灣黑毛豬飼養頭數為 87 萬頭（佔總毛豬飼養頭數 12.5%）與 2010 年臺灣黑毛豬飼養頭數為 98 萬頭（佔總毛豬飼養頭數 15.8%）比較下，在飼養頭數與總毛豬比例上都有成長趨勢（行政院農業委員會，2005、2010）。

隨著國人飲食習慣改變，在不同肉品之年平均食用量略有消長（如表一）。而豬肉為國人動物性蛋白質之主要來源，佔所有肉類比例最高（2010 年所佔所

有比例約 49%) (行政院農業委員會，2011)，在政府推廣本土化特色之畜產品政策後，臺灣人食用黑豬肉比例要明顯升高，雖臺灣黑豬品種有區域性，沒有統一之特有臺灣品種，近年來經由畜產試驗所改良，目前已有推出固定品種（如畜試一號黑豬及高畜黑豬）在市面上銷售，黑豬畜產品形成另一種品牌印象，也增加了其附加價值。

表一、近十年臺灣人之肉類供給量

Table 1. People of Taiwan the supplied of meat in nearly ten years

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Pork	40.5*	40.16	39.48	40.12	39.4	39.95	38.59	37.3	38.11	37.07
Poultry	31.38	31.75	32.02	33.19	32.28	33.52	30.54	29.8	30.28	32.26
Beef	3.09	3.56	3.86	3.14	3.63	3.9	3.81	3.87	4.19	4.91
Mutton	1.25	1.53	1.35	1.56	1.62	1.53	1.4	1.56	1.11	1.29
Others	0.35	0.23	0.19	0.17	0.19	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04
Total	76.57	77.23	76.91	78.18	77.12	78.95	74.38	72.55	73.72	75.57

\* 公斤

\* Kg

(行政院農業委員會，2011)

## 二、品種

### (一) 畜試黑豬一號 (Taiwan Livestock Research Institute black pig No.1 ; TLRI Black pig No. 1)

本省桃園豬由臺灣先民自中國大陸輸入，經過多年自然及人為淘汰之結果，目前為臺灣豬代表品種之一，適合生長在臺灣亞熱帶高溫多濕之氣候，肉質鮮美 (戴等, 1988)，在陳等 (2001) 報告中感官品評結果，桃園豬與梅山豬較三品種雜交豬有較高之嫩度及多汁性評分。且其高繁殖力之特性經常被引進改良母豬每窩仔豬數 (Hill and Webb, 1982 ; Knorr et. al., 1997 ; Webb, 1998)。

杜洛克豬種有好的生長率與屠體品質，常作為終端父系。在 Ramírez and Cava (2007) 報告中提到以杜洛克為父系時，其 *Longissimus dorsi* 之肌肉間脂肪含量高於伊比利亞豬種。Wood (1996) 在報告中指出，杜洛克較大白豬有較高之肌肉中脂肪含量，在感官品評中風味及總接受度以杜洛克豬種較高。而 Cameron and Enser (1991) 報告中有提到，杜洛克豬種雖然較藍瑞斯多汁，但在嫩度、風味及總接受度上較藍瑞斯差。在 Suzuki *et al.* (2003) 及戴等 (1991) 報告也指出，杜洛克比例較高者，其生長性狀及屠體性狀較佳。但也有報告指出杜洛克豬種基因適合使用在增加豬隻之瘦肉率及生長率方面，但不適合用在增加肌肉內脂肪 (Channon *et al.*, 2004)。

畜試黑豬一號血統含 75% 杜洛克及 25% 本土桃園豬 (如圖一)，其外觀特徵為垂耳、懸蹄、背直、全身毛色為黑色、捲尾及乳頭數 6 對以上，體型與杜洛克相近。因其含本地桃園豬種血統，而桃園豬較洋種豬有較強之粗纖維能力 (戴等, 1997)，在以高含量之粗纖維飼糧餵飼畜試黑豬一號，其種母豬較藍瑞斯豬有較佳之繁殖性能 (楊等, 1998)。畜試黑豬一號豬肉與藍瑞斯比較，具有較佳之背最長肌嫩度、多汁性、風味與可接受性 (廖等, 2002)。歷經 12 年之選育工作，於 1999 年完成育種選拔工作。自 2000 年 6 月開始進行品種登記作業，於 2001 年 3 月完成畜試黑豬品種登記，開始進行推廣工作 (陳等, 2007)。



桃園豬 (Taoyuan)



杜洛克豬 (Duroc)



TD/DT 豬  
(50 % T, 50 % D)



D 母豬與 DT 仔豬



← 杜洛克公豬 (D)



TDD/DTD 豬  
(25 % T, 75 % D)

黑色豬族群



自交



圖一、畜試黑豬一號選育流程。

Figure 1. Breeding of Taiwan Livestock Research Institute black pig No.1.

(台灣畜產種原知識庫，2012)

## (二) 三品種雜交豬 (Landrace × Yorkshire × Duroc)

在 1960 年左右，台糖公司發展養豬事業，分別向國外引進體型較大及腿粗體壯之瑞典藍瑞斯 (Landrace, L) 及美國約克夏 (Yorkshire, Y)、杜洛克 (Duroc, D) 及漢布夏 (Hampshire, H) 體型大，耐粗劣環境之品種，進行飼養試驗、挑選品種和品種間雜交組合，於 1968 年確定 LYD 及 LYH 方式生產三品種雜交肉豬。在 1975 年，由宋永義及池雙慶博士兩位建議政府，在臺灣先以 L、Y、D、H 四個品種，其他品種暫不准進口，其政策延用至今，使得臺灣養豬品種單純化，三品種雜交方式較容易操作，且肉豬上市體重容易控制，豬肉品質整齊，對後來之養豬企業化發展及豬肉出口有重大影響 (張等，2001)。

因漢布夏基因有一定機率含有顯性突變基因 (Rendement Napole gene, RN<sup>+</sup>) 如表二，該顯性突變基因會引起肌肉中乳糖累積，導致豬肉水分流失與低酸鹼值之水漾肉 (Pale, soft and exudative, PSE)，造成豬肉之經濟損失。臺灣地區自 1990 年後，因三品種雜交豬多以杜洛克品種來當終端公豬，漢布夏品種已不出現在豬種拍賣會上 (Miller *et al.*, 2000；張等，2001)。故本試驗採用三品種雜交豬 LYD (Landrace × Yorkshire × Duroc) 為一般商用豬種。



表二、RN 基因在對偶基因與基因型頻率在美國漢布夏與約克夏之結果

Table 2. Allelic and genotypic frequencies for the Rendement Napole (RN) gene for American Hampshires and a Yorkshire population

Trait	Allelic frequency		Genotypic frequency		
	RN <sup>-</sup>	rn <sup>+</sup>	RN <sup>-</sup> RN <sup>-</sup>	RN <sup>-</sup> rn <sup>+</sup>	rn <sup>+</sup> rn <sup>+</sup>
Hampshire	0.63	0.37	0.397	0.466	0.137
Yorkshire	0.00	1.00	0.000	0.000	1.000

(Miller *et al.*, 2000)

### (三) 高畜黑豬 (Kaohsiung Animal Propagation Station Black Pig ; KHAPS Black Pig)

農業委員會畜產試驗所之高雄種畜繁殖場歷經 11 年時間，選育出新品種黑豬”高畜黑豬”，於 98 年經由農業委員會通過正式命名，且將新品種之黑豬推廣入畜產界。

高畜黑豬之種原豬為梅山豬與杜洛克豬，畜產試驗所引用自 1994 年從日本進口之梅山豬後裔，經過品種挑選之公豬 12 頭與母豬 53 頭，做為高畜黑豬梅山豬種原豬群。而杜洛克豬種也經過品種挑選，為 42 頭 90 Kg 前日增重為 0.52 Kg 之母豬及優良公豬 24 頭（去有梅花號或高產號，或檢定指數 100 以上、中央檢定之日增重 1.00 Kg 以上或場內檢定為日增重 0.56 Kg 以上），以採買精液方式取得種原，做為杜洛克種原豬群。

選育方式如圖二所示，將梅山豬 (M) 與杜洛克 (D) 豬之純種正反交 (MM、DD、MD 與 DM)，經評估性能後，雜交第一代 (K1) 以 MD 為母系，MD 及 DM 為公系進行配種，雜交第二代 (K2) MDMD 與 MDDM，主要選擇帶多產基因 MM 型且黑毛者，再進行正反交配，所產之雜交第三代 (K3)，其品系間生長差異不顯著，主要還是著重多產基因及黑毛個體選拔，並進行 K3 品系間之輪換配種，K3 之後裔 (K4) 選留高繁家族之 K5 後裔，毛色為黑者，帶有多產基因與抗緊迫基因型者 (AA)。雜交之 K6 選拔之條件如下：1. 同窩出生活仔數 9 頭以上，且同胎仔豬須為全黑 (B) 或黑金斑 (L) 者。2. 選留黑色者 (B)，且帶有多產基因型 MM 及抗緊迫基因型 AA 者。3. 外表體型相似杜洛克，耳朵外型似杜洛克型，避免大而下垂者，尾巴宜為捲尾者 (次要考慮)。經選育拔 K6 之後裔 (K7)，K7 之黑毛與基因型 (MM 與 AA) 已達純化目標，於 98 年 10 月 30 號通過農委會之命名”高畜黑豬” (台灣種畜資料庫，2012)。

世代		年代歷程
G0	梅山豬 (Meishan, M) × 杜洛克 (Duroc, D)	1997-1999
	↓ 正反交	
K1	MD 女豬 × (MD 或 DM 公豬)	1997/12-1999/12
	以 MD 為母系，以 MD 或 DM 為公系	↓ 選留黑色後裔進行配種繁殖
K2	MDMD (md) & MDDM (dm)	2000/2-2003/2
	選留黑色，進行二種組合之公、母正反交	(M 50%, D 50%) ↓
K3	mdmd, mddm & dmmd, dmdm	2001/6-2003/12
	選留黑色進行同世代配種繁殖	↓ (M 50%, D 50%)
K4	K4 (M 50%, D 50%)	2002/12-2004/4
	選留黑色進行同世代配種繁殖	↓
K5	K5 (M 50%, D 50%)	2003/12-2005/8
	K5 進行嚴格全胎黑毛及高窩仔數選留	↓ 同世代配種繁殖
K6	K6 (M 50%, D 50%)	2005/4-2007/3
	K5 進行嚴格全胎黑毛及高窩仔數選留	↓ 同世代配種繁殖
K7	K7 (M 50%, D 50%)	2006/6-2008/8

圖二、高畜黑豬雜交選育流程。

Figure 2. The breeding scheme for KHAPS Black Pig.

### 三、豬肉品質

豬肉之特性主要以色澤、嫩度、風味及多汁性為主。Shackelford (2001) 報告中提到，牛肉之特性以嫩度、風味及多汁性為主。而消費者觀感又以肉之品質及嫩度為重。以下個別討論：

#### (一) 嫩度

關於食肉之品質上，嫩度佔了最重要因素 (Miller *et al.*, 2001)。影響嫩度主要原因歸類如下：

#### 1. 品種

不同品種之豬種會呈現不同嫩度，表整理如下 (表三)：

表三、不同豬種品種之剪力值比較 (kg/cm<sup>2</sup>)

Table 3. Difference of swine species compared on shear value (kg/cm<sup>2</sup>)

豬種							參考文獻
杜洛克	約克夏	漢布夏	藍瑞斯	盤克夏	LYD	臺灣黑豬	
3.8±0.1	4.3±0.1						Enfält <i>et al.</i> , 1996
	4.7±0.2	4.0±0.1					Lundström <i>et al.</i> , 1998
	4.3±0.1	4.1±0.1					Enfält <i>et al.</i> , 1997
			33.6(N)	22.5(N)			Crawford <i>et al.</i> , 2010
					3.1	2.8	鄭，2003
					7.4	5.5	潘，2009

## 2. 年齡

肌肉內脂肪含量（大理石紋）高時，表示肌束中結締組織之脂肪細胞膨脹，對開放之肌肉結構造成稀釋作用進而影響嫩度（Wood *et al.*, 1999）。且結締組織及肌肉內脂肪含量會隨動物飼養時間增加，肌肉中之結締組織所形成之交叉鍵結越多，意味著經過蒸煮後，其口感較堅硬，而感官品評之嫩度及肉眼可見之結締組織與可溶性膠原蛋白含量有關（Crouse *et al.*, 1985；Martin *et al.*, 1980）。Hovenier *et al.* (1993) 指出總膠原蛋白含量可作為肉之嫩度之標。而肌纖維直徑與硬度呈現正相關，而肌纖維直徑會隨年紀增加而增加（Wegner *et al.*, 2000；Wheeler *et al.*, 2000）。

## 3. 部位

Wheeler *et al.* (2000) 報告指出，綿羊不同部位肌肉嫩度，Semitendinosus = Triceps brachii > Longissimus > Semimembranosus > Biceps Femoris。蛋白質水解造成嫩化，而不同肌肉部位在屠後蛋白質水解程度也明顯不同，在豬隻之 *m. longissimus dorsi* 與 *m. semimembranosus* 之 desmin 與 troponin-T 降解速度比 *m. semitendinosus*、*m. vastus intermedius* 與 *m. soleus* 快（Christensen *et al.*, 2004）。

## 4. 冷卻溫度

在傳統上認為，豬之屠體於屠後盡可能快速冷卻到 4°C，以防止 PSE 和降低滴水失重之損失及冷收縮。相反的，在冷卻過程中保持最佳嫩化溫度（冷卻期間的前 6 小時，分別貯存在 10°C 或 15°C），不會明顯影響保水力及冷收縮，還會提升嫩度（Rosenvold *et al.*, 2010）

## 5. 酵素作用

肌肉嫩度主要以肌肉結構及其相關蛋白質改變有關，例如特定之肌原纖維（myofibrillar）（薄肌原絲、後肌原絲與 Z-desk）、肌原纖維骨架（myofibril cytoskeleton）及肋狀體蛋白（costamere proteins）等被蛋白質水解，以破壞

肌肉結構造成嫩化作用 (Goll *et al.*, 1992 ; Hopkins and Thompson, 2002 ; Koohmaraie and Geesink, 2006 ; Lametsch *et al.*, 2003 ; Taylor *et al.*, 1995a) 。隨貯藏時間增加，內源性酵素 (calpain、cathepsins 及 caspases 等等) 會分解肌纖維結構形成肌肉之嫩化。嫩度之呈現以最終嫩度為主，其主要關鍵在於肌纖維蛋白質水解程度 (Zeece *et al.*, 1992 ; Taylor *et al.*, 1995 ; Koohmaraie and Geesink, 2006 ; Kemp and Parr, 2008) 。

此外，冷鹽水、電擊及增加氯化鈣等處理，藉由增加酵素活性，加速肌纖維分解，促使肌肉達到嫩化之效果 (Dawson *et al.*, 1988 ; 黃, 1999 ; 林等, 2003) 。

## (二) 色澤

近來文獻顯示，主要影響肉色因素在於肌紅蛋白化學 (myoglobin chemistry)、肉色 (meatcolor)、色素氧化安定性 (pigment redox stability) 與評估特性之方法。肉類之外觀是一個複雜主題，涉及動物遺傳學、屠前及屠後之條件、基本之肌肉化學和許多因素有關肉製品、包裝、運送、貯藏、展示和最後呈現在消費者時之外觀。但主要還是兩種肌肉性狀，耗氧量和肌紅蛋白減少之綜合影響 (Mancini and Hunt, 2005) 。肌紅蛋白為肌肉主要之色素蛋白，其含量多寡會影響肉色之深淺 (陳, 1997)，整理如下：

### 1. 品種

肌紅蛋白含量為牛肉 > 羊肉 > 豬肉 (Agulló *et al.*, 1990) 。而不同豬種之肌紅蛋白含量如表四，漢布夏 > 杜洛克 = 盤克夏 > 約克夏 > 藍瑞斯 (Newcom *et al.*, 2004) 。

### 2. 肌肉部位

豬隻之大腰肌 (*m. psoas major*) 之肌紅蛋白含量最高，而背最長肌 (*m. longissimus dorsi*) 最低 (Topel *et al.*, 1966) ，杜洛克豬種在 *Longissimus dorsi* (LD)、*Semimembranosus* (SM) 及 *Psoas major* (PM) 三種不同部位，亮度

值：LD = SM > PS，紅色值：PS > SM > LD，黃色值：PS > SM > LD (Melody *et al.*, 2004)。

### 3. 年齡

隨豬隻屠宰體重增加，其肌紅蛋白含量增加，在肉之顏色評分也會隨之增加 (Shuler *et al.*, 1970)。不同品種牛隻之肌肉纖維形態，白色纖維 (Type I) 會隨著年紀增加，而中間纖維 (Type IIa) 及紅色纖維 (Type IIb) 會隨之減少，紅色纖維所含肌紅蛋白量高於其他兩種，進而影響色澤之呈現 (Wegner *et al.*, 2000；陳，1997)。

### 4. 展示條件

展示販售期間之包裝形式、展售光照與否、展售時間與溫度等因素影響氧合肌紅蛋白 (oxymyoglobin, MbO<sub>2</sub>) 與變性肌紅蛋白 (metmyoglobin, MetMb) 轉換 (Young *et al.*, 1988；張，1992；Seydim *et al.*, 2006)。

豬肉中主要由去氧肌紅蛋白 (deoxymyoglobin, Mb)、氧合肌紅蛋白與變性肌紅蛋白一起呈色，經由氧化新鮮肉色從紫色變成櫻桃紅 (如圖三) (陳，1997)。當豬隻在屠宰前受到飢餓或緊迫時，其屠後肌肉之酸鹼值會快速下降，使得紅色值 (*a*\*value) 降低 (Lefaucheur *et al.*, 1991；Monin *et al.*, 1995；陳，1997；Henckel *et al.*, 2002)。

色澤主要為消費者購買之指標，由其是新鮮度部分。通常鮮肉以分切成小塊的方式販售，在其過程中肉之表面會有色澤上變化，由亮桃紅轉變成灰褐色。而氧化肉中之 MetMb 色素會在屠肉表面增加灰褐色，消費者會與不新鮮聯想在一起，明顯影響購買意願 (Hood and Riordan, 1973; Johnson *et al.*, 1990)。在較低溫時紅色 (oxymyoglobin) 較穩定，因為氧化速率降低其變色速率。在與高溫比較下，低溫條件下之氧氣溶解度較大，且耗氧反應減緩，更多氧氣進入肉中使得肉色較紅 (James and James, 2002)。

表四、不同豬種之肌紅蛋白含量

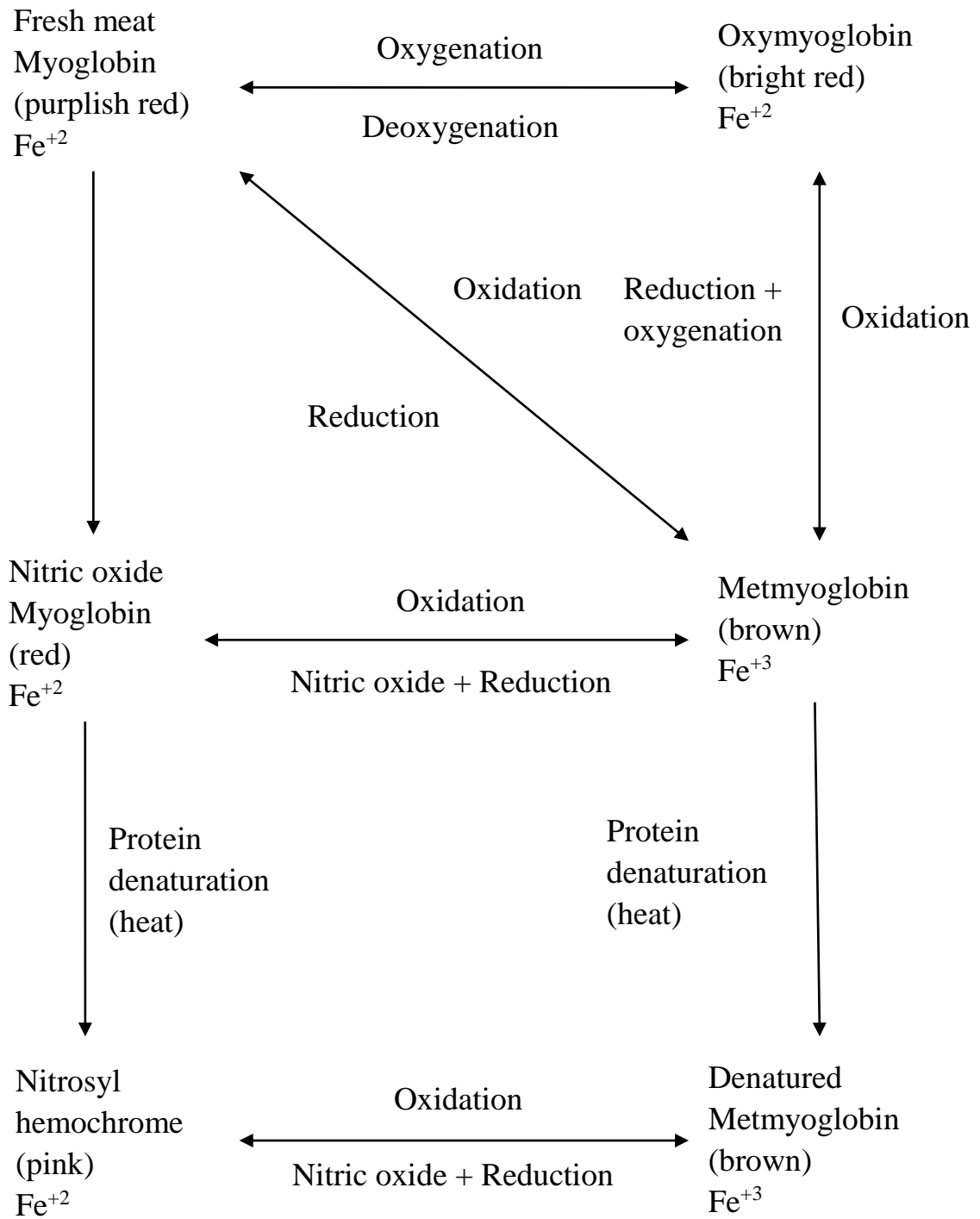
Table 4. Breed differences of myoglobin concentration in pig

Breed	Soluble myoglobin content, mg/g
Berkshire	0.81±0.03 <sup>xy</sup>
Duroc	0.85±0.03 <sup>wx</sup>
Hampshire	0.95±0.05 <sup>w</sup>
Landrace	0.62±0.06 <sup>z</sup>
Yorkshire	0.73±0.04 <sup>yz</sup>

<sup>w, x, y, z</sup> Different letters in the same column breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

(Newcom *et al.*, 2004)





圖三、肉色變化

Figure 3. The color changes of meat.

(陳, 1997)

### (三) 保水力

水分為肌肉中主要成分，約佔肌肉 75 % 比重 (Offer and Knight, 1988; Borisova and Oreshkin, 1992; Tornberg *et al.*, 1993)。保留肌肉內部水分之能力，稱為保水力 (water-holding capacity, WHC)。在肉類產業中，保水力低表示經濟損失增加 (Maribo *et al.*, 1998; Prevolnik *et al.*, 2010; Warriss, 1982; 陳, 1997)，保水性是相當重要的經濟性狀自也是主要影響其技術品質，如：加工產量。對消費者而言，在零售期間低保水力不利於鮮肉之外觀 (Kauffman *et al.*, 1987; Prevolnik *et al.*, 2010; Smith and Lesser, 1982; 陳, 1997)，並可能影響肉之感官品質 (Hamm, 1972; Lawrie, 1998)。豬肉在零售時，滴水失重約 1 到 3 % (Offer and Knight, 1998)，PSE 產品可能失重可能高達 10% (Melody *et al.*, 2004)。保水性會顯著影響肉品之蒸煮失重、口感、產品製成率及最終產品之品質 (Roseiro *et al.*, 1994)。

所有影響因素主要可分為生化性與物理性 (Schäfer *et al.*, 2002)。

#### 1. 生化性部分

主要在屠宰時肌肉之肝醣含量 (陳, 1997) 及肌酸磷酸 (creatine phosphate) 含量 (Bendall, 1973)，其影響於屠後醣解速率及酸鹼值。

#### 2. 物理性部分

(1) 由於酸鹼值下降改變肌原絲 (myofilament) 晶格及肌原纖維 (myofibrillar) 分子結構使得肌動球蛋白 (actomyosin) 收縮與肌動蛋白 (myosin) 變性、(2) 肌纖維與肌纖維間之空隙增加與 (3) 改變滲透到細胞和基底膜之間的水分含量。

豬隻屠宰後，隨著肌肉酸鹼值之降低，其肌肉保水能力會逐漸下降，直到酸鹼值接近等電點為止，豬肉之等電點約位於酸鹼值 5.5 處 (Honikel, 1987)。

### (四) 風味

肉品中之風味有助於感官品評中總接受度分數，烹煮肉類之風味很難從品評分析及風味化學兩者間直接判別。這是因為肉之風味品評印象不僅是從品嚐之味

覺評斷，更重要的是透過刺激嗅覺器官來評斷。沒有單一個化合物或類化合物可以代表風味。

肉類之組成分非常複雜：主要成分為水分、蛋白質和脂肪，微量成分為維生素（特別是維生素 B 群）、糖類（核糖）和核苷酸類。生肉本身沒有太強烈的味道，主要為輕微之血清氣味與血液味道，這將會成為風味前驅物經由反應／降解刺激味覺及觸覺特性使得肉製品產生氣味特性。要產生肉之風味，一般來說須經過加熱烹煮，瘦肉和脂肪組織經由加熱處理，使得肉中非揮發性化合物（nonvolatile components）產生複雜之化學反應，而異構系統（heterogeneous system）產生有氣味性物質包含許多揮發性化合物（volatile components）及少部分有味道之非揮發性化合物，為風味增強與增效劑功能。經由熱加工方法：如烤、煎、燉、煮或煙燻和最終產品內部溫度，顯著促進揮發性與非揮發性化合物兩者之功能與安定性，因此在一定程度上相關整體肉之風味差異（Pegg and Shahidi, 2004）。

在肉之烹煮過程中，非揮發性物質為瘦肉與脂肪組織之氣味揮發物前驅物，主要可進一步分為水溶性與脂質化合物。基本上在烹煮過程中肉之氣味主要來自：

1. 梅納反應 (Maillard reaction) 一種低分子量產物之複合感覺 (氨基酸與還原糖)、
2. 脂質降解與氧化與
3. 維生素降解 (特別是硫胺素, thiamin)。

這些主要反應之中間產物可以根據烹煮條件做為熟肉之風味 (大量揮發性物質) 前驅物與降解產物，其過程產生揮發性物質達一千多種 (Pegg and Shahidi, 2004; Shahidi *et al.*, 2004)。

#### 1. 梅納反應

肉類之多數風味物質經過烹煮產生梅納反應，包含氮、硫及氧之雜環類化合物 (nitrogen-, sulfur-, and oxygen- containing heterocyclics) 與含硫化合物 (sulfur-containing compounds) 等，主要成分為圖四所示。伴隨著梅納反應會形成棕褐色，一般稱為褐變 (browning) 或非酵素褐變 (nonenzymatic browning)，棕褐色色澤與所知之類黑素 (melanoidins) 有關。經燒烤所產生之暗棕褐色

通常會影響消費者之選購喜好。在梅納反應過程中會影響：生物活化物質 (bioactive compounds) (如：有益之作用[抗氧化性能]或毒性作用[咪唑])、營養損失 (尤其是蛋白質) 及修飾產品之質地 (Shahidi *et al.*, 2004)

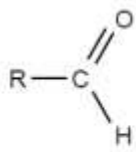
## 2. 脂質降解與氧化

經過脂質氧化之飽和與不飽和醛類為主要蒸煮肉之揮發性物質之基礎，這些醛類會參與初期及後期之梅納反應，揮發性物質如吡啶 (pyridines)、吡嗪 (pyrazines)、噻吩 (thiophenes)、噻唑 (thiazoles) 和噁唑 (oxazoles) 經烷基取代基所形成。

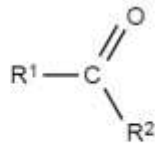
已有報告指出在烤牛肉與炸雞中，thiazoles 在兩個官能基位置被 C<sub>4</sub>-C<sub>8</sub>n-烷基取代。在加熱牛肉與雞肉中，也分析出含 C<sub>13</sub>-C<sub>15</sub> 之 alkylthiazoles。在烤牛肉與羊肉中分析出一系列 alkylthiazoles 和 alkyl-3-thiazolines，這些物質在高壓蒸煮比燒烤方式多 (圖五)。(Mottram and Elmore, 2002)。丁基與戊基已被證實在熟肉中能取代吡嗪 (pyrazines)，其形成機制可能經由戊醛或己醛結合兩個氨基酮 (aminoketone) 分子形成二氫吡嗪 (dihydropyrazine) (Ho *et al.*, 1987) (圖六)。而戊醛和己醛為亞麻油酸 (linoleic acid, C<sub>18:2n-6</sub>) 降解產物，也會形成 5-丁基-3 甲基-1,2,4-三硫環戊烷 (5-butyl-3-methyl-1,2,4-trithiolane) 與 5-丁基 (5-pentyl) 同源物。兩種三硫環戊烷在炸雞肉與豬肉之揮發物中被分離出。

脂質與梅納反應互相作用產生之揮發性化合物，其氣味強度較弱與較高之氣味閾值，因此它們可能不會直接促進熟肉製品之香氣。然而在加熱過程中，脂質降解與梅納反應之產物間互相作用可能會修飾梅納反應與脂質降解之香氣化合物，因此有間接影響熟肉製品之香氣輪廓。特別是磷脂質和其降解產物會抑制梅納反應過程中之香氣化合物 (雜環類化合物) 形成。但肉類經加熱後，其含硫之雜環類化合物可以抑制磷脂質與其產物之抑制作用。因此加熱肉類其脂質與梅納反應相互作用有助維持關鍵之含硫化合物最佳水平 (Pegg and Shahidi, 2004)。

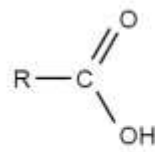
Lipid-derived volatiles



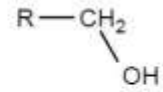
Alkanals



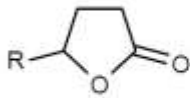
Alkanones



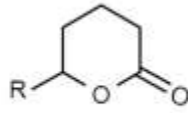
Alkanoic acids



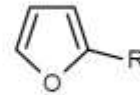
Alkanols



$\gamma$ -Lactones

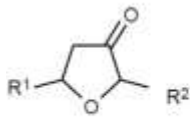


$\delta$ -Lactones

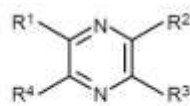


Alkylfurans

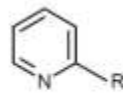
Volatiles from water-soluble precursors



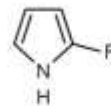
Furanones



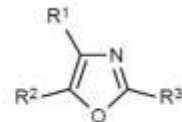
Pyrazines



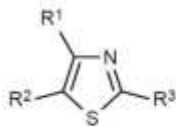
Pyridines



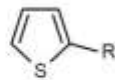
Pyrroles



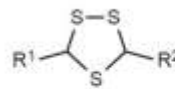
Oxazoles



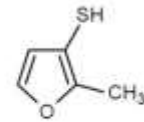
Thiazoles



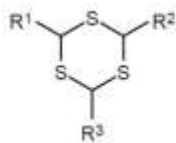
Thiophenes



Trithiolanes



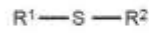
2-Methyl-3-furanthiol



Trithianes



Alkyl thiols



Alkyl sulfides

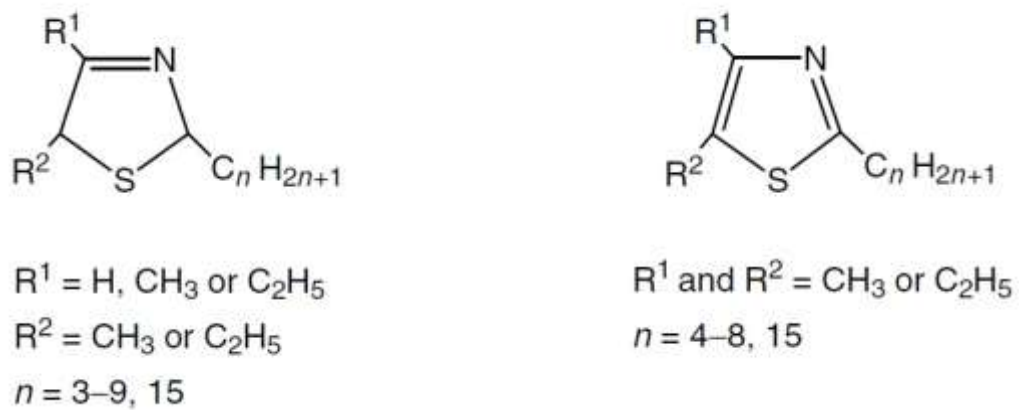


Alkyl disulfides

圖四、肉類烹煮過程部份揮發性物質之分類。

Figure 4. Some classes of volatile compounds produced during the cooking of meat.

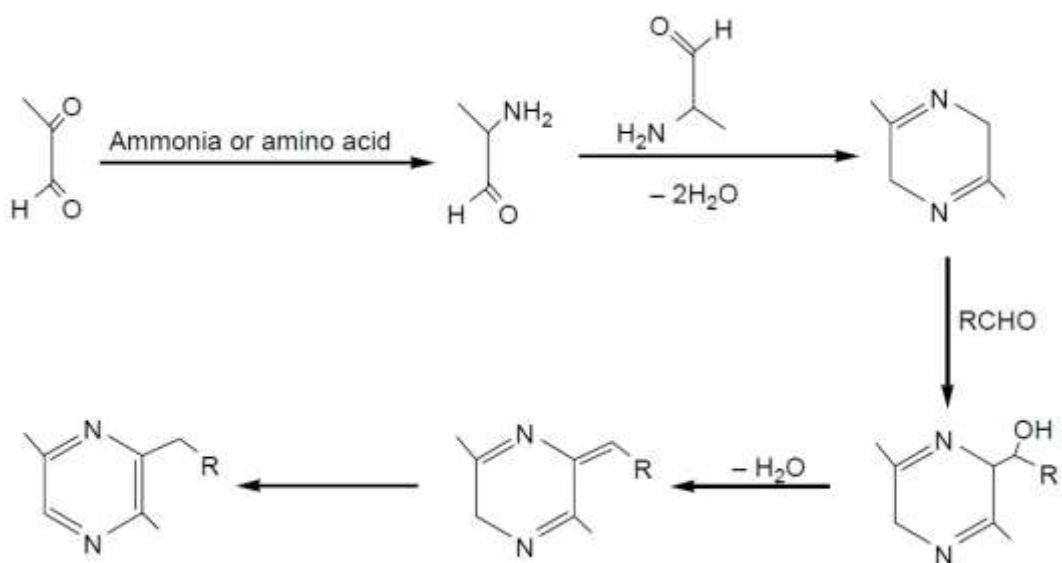
(Mottram, 1998)



圖五、烷基-3-噻唑類與甲基噻唑。

Figure 5. Alky-3-thiazolines and alkythiazoles.

(Mottram and Elmore, 2002)



圖六、脂質衍生物與梅納反應相互作用形成烷基二甲基吡嗪之路徑。

Figure 6. Route to alkyl-dimethyl-pyrazines from the interaction of lipid-derived aldehydes with the Maillard reaction.

(Ho *et al.*, 1987)

#### 四、肌肉纖維結構

##### (一) 肌肉組織

食肉主要由肌肉所組成，食肉中還包含不同型態之結締組織、表皮組織及神經組織。而骨骼肌為食肉中主要之肌肉組織來源，肉畜屠體之質與量的特性與肌肉及結締組織有重要關係。在一般家畜屠體重量主要來自骨骼肌，約佔屠體重之 35~65 % (陳, 1997)。

骨骼肌是由狹長型多核細胞或肌纖維 (Myofibers) 所組成，而肌纖維則由許多的肌原纖維 (Myofibrils) 所組成 (陳, 1997)。肌肉細胞之條紋外觀，主要是在胚胎發育過程中融合了許多祖細胞 (Precursor cell)，產生典型長柱形之肌肉細胞，並含有大量細胞核 (Hui *et al.*, 2001)。

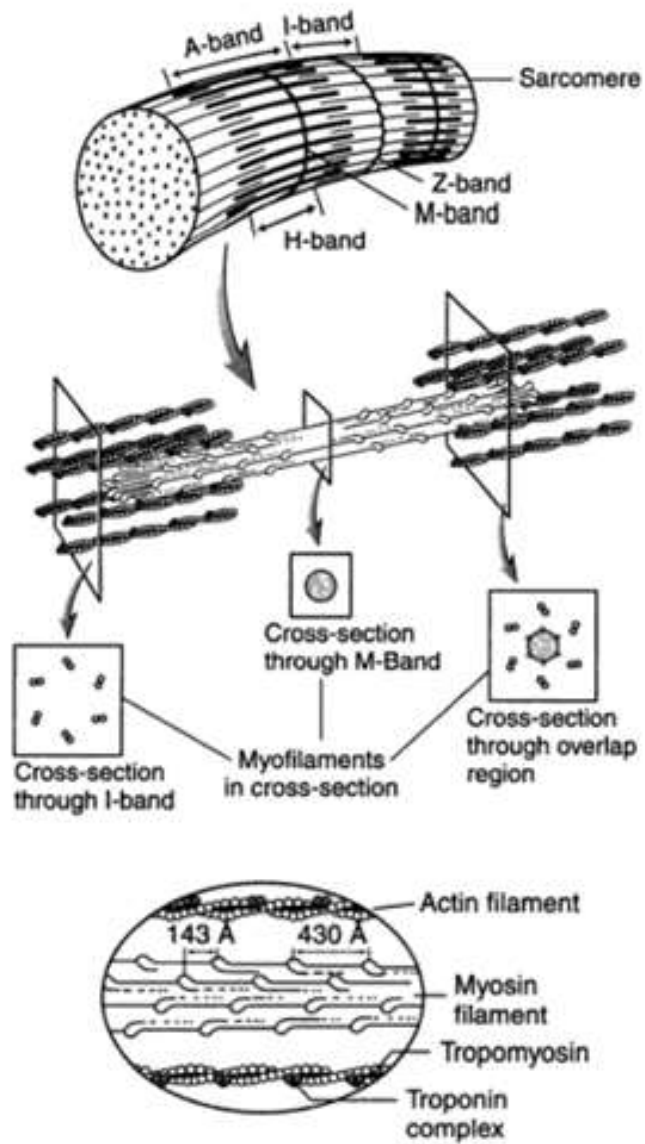
肌原纖維由肌原絲 (Myofilaments) 排列組成，排列方式以厚肌原絲 (Thick filaments) 與薄肌原絲 (Thin filaments) 互相平行，橫跨肌原纖維形成條紋特性或橫紋外觀。肌原纖維可由肌原絲之排列密度分為明帶與暗帶，明帶一般稱之為 I-band，暗帶則被稱為 A-band，在 I-band 中被深暗薄線等分，此線被稱為 Z-desk 或 Z-line，在兩條 Z-desk 間為肌原纖維之單位，稱為肌節 (Sarcomere)，也是肌肉收縮之基本單位 (圖七)。而在 A band 中顏色較淡的區域稱為 Z-desk (陳, 1997; Liber, 2002; Sparrow and Schöck, 2009)。

##### (二) 肌節結構

肌節主要分三部分，分別為厚肌原絲、薄肌原絲與 Z-desk，如圖八所示。

###### 1. 薄肌原絲 (Thin filaments)

主要由肌動蛋白 (actin)、nebulin、旋光肌凝蛋白 (tropomyosin)、旋光蛋白複合物 (troponin complex) 與 tropomodulin 組成 (Au, 2004; Keller, 1995)。在薄肌原絲上的超螺旋結構每 6 個螺旋圈包含 13 個肌動蛋白單體，每個單體旋轉角度為  $166^\circ$ 。肌動蛋白單體在肌原絲上永久呈現結合與分離的動態平衡 (tread-milling)。Nebulin 在薄肌原絲中有著“分子操控者”稱號，主要在肌原蛋白



圖七、骨骼肌之構造圖。

Figure 7. The structure of skeletal muscle.

(Lieber, 2002)



組裝過程中調控薄肌原絲之長度。旋光肌凝蛋白主要以螺旋狀螺旋(Coiled-coil)形式與肌動蛋白結合，其主要功能為阻斷肌動蛋白與肌球蛋白(Myosin)之交互作用，複雜之作用經由鈣離子操控。旋光蛋白為複合物，藉由鈣離子濃度控制肌動蛋白與肌原蛋白絲結合位置使得肌肉收縮。旋光蛋白由三個次單元所組成，而與肌動蛋白結合比為7:1，與旋光肌凝蛋白結合比為1:1。在不動的狀態，肌肉收縮(肌動蛋白與肌球蛋白相互作用)會藉由旋光肌凝蛋白/旋光蛋白所抑制。細胞溶質中鈣離子增加，與鈣結合蛋白旋光蛋白C結合，暴露出厭水端進而與旋光蛋白I相互作用。藉由旋光蛋白複合物構像變化，取代了旋光肌凝蛋白，因而促使肌動蛋白與肌球蛋白相互作用。旋光蛋白T作用是藉由結合旋光肌凝蛋白將旋光蛋白複合物固定在薄肌原絲上。薄肌原絲生長較快一端稱為正端或帶鉤之一端(brabed end)，而生長緩慢一端稱為負端或突出端(point end)。CapZ與正端結合，其功能為預防肌動蛋白增加與減少，而與負端結合之tropomodulin也有類似功能，兩種蛋白質只會與F-肌動蛋白結合不會與肌動蛋白單體結合(Lehman *et al.*, 1995; Au, 2004)。

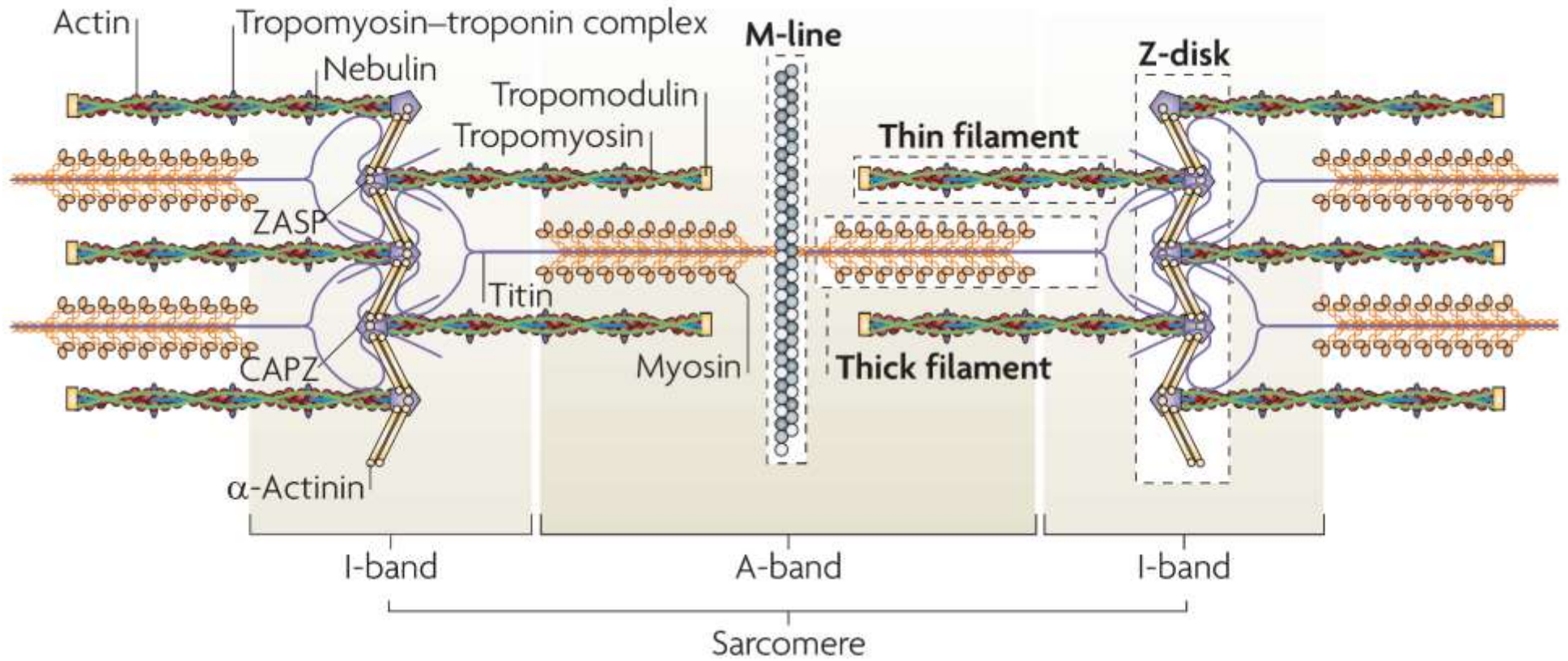
## 2. 厚肌原絲(Thick filaments)

主要由肌球蛋白(myosin)與titin組成(Keller, 1995; Au, 2004)。每條厚肌原絲約有200-400肌球蛋白分子組成，而長度則由titin決定。在厚肌原絲上之肌球蛋白頭部具有極性，在M-line上極性反轉。一個完整的肌球蛋白分子主要由六個多肽鏈組成，兩個重鏈(heavy chain)及兩對不同之輕鏈-essential與regulatory light chains(ELC與RLC)。重鏈之N端形成球狀頭部稱為馬達區(motor domain)連結ELC與RLC，而C端的一半 $\alpha$ -螺旋纖維狀(fibrous  $\alpha$ -helical)尾部，以螺旋狀螺旋形成第二個重鏈(又稱為桿狀區)(Au, 2004)。肌肉收縮主要藉由肌漿網膜系統中之鈣離子幫浦，改變肌球蛋白頭之電荷，當鈣離子被釋放，使得肌球蛋白部與ATP結合，提供能量使肌肉收縮，產生ADP及無機磷，當ATP足夠時肌肉及可放鬆，而ADP在經由肌酸磷酸激酶(Creatine phosphokinase)在合成為

ATP 循環利用（陳，1997）。

### 3. Z-disk

主要由  $\alpha$ -actinin、titin、capping protein (actin filament) muscle Z-line (CAPZ) 與 Z-band alternatively spliced PDZ-motif protein (ZASP) 組成 (Jani and Schöck, 2007; Sparrow and Schöck, 2009)。鄰近的肌節共用一個 Z-disk，細肌原絲藉由二聚體之 actin 結合  $\alpha$ -actinin 分子固定和交叉結合，細肌原絲主要由 F-actin 與 tropomyosin-troponin 複合體組成，在厚肌原絲 myosin II 蛋白頭部結合細肌原絲 (F-actin 組成) 經由 tropomyosin-troponin 複合物調控產生收縮 (Sparrow and Schöck, 2009)。



圖八、肌節結構。

Figure 8. Sarcomere structure.

(Sparrow and Schöck, 2009)

## 五、肌肉降解機制

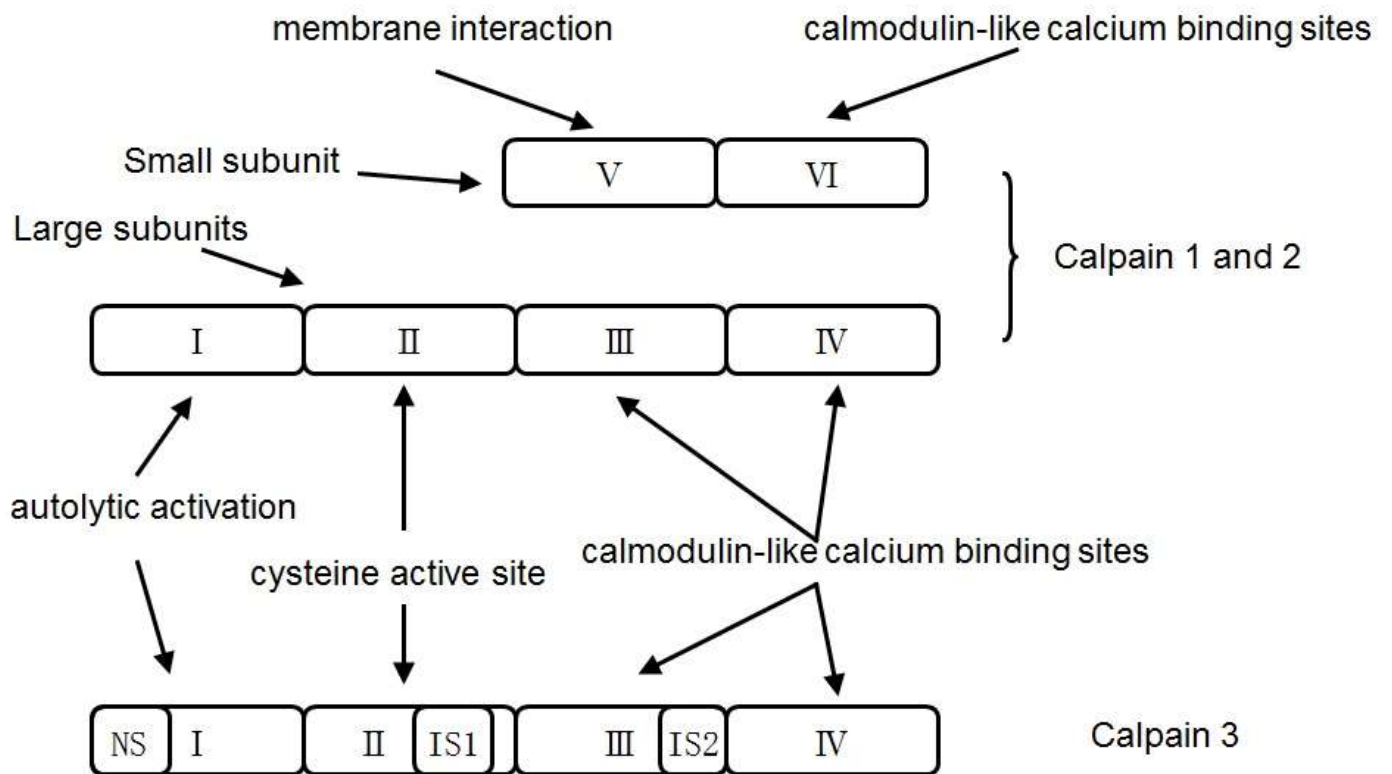
### (一) Calpain system

Calpain 是一種依鈣半胱氨酸蛋白酶 (Ca<sup>2+</sup>-dependent cysteine protease) 分散在細胞內，在中性酸鹼值中能表現正常活性。在 Guroff (1964) 第一次描述在老鼠腦中之依鈣中性蛋白酶活性 (Ca<sup>2+</sup>-dependent neutral protease activity)，在 Meyer *et al.* (1964) 報告中描述在骨骼肌中之激酶活性因子 (Kinase-activating factor; KAF) 與 Huston and Krebs (1968) 所提到之依鈣蛋白酶 (Ca<sup>2+</sup>-dependent protease) 類似，此外在 1972 年 Goll 實驗室中再度確認 calpain 類似鈣活化肌漿因子 (Calcium-activated sarcoplasmic factor; CaSF) 水解 Z-lines (Busch *et al.*, 1972)，而在 1977 年 Nishizuka 實驗室 calpain 類似蛋白質激酶 C 活性因子 (protein kinase C-activating factor) (Takai *et al.*, 1977)，最後 calpain 被總稱為 CANP (calcium-activated neutral protease)，以 CANP 及 calpain 兩種名稱共用幾年後，在 1991 年 Suzuki 統稱為 calpain (Suzuki, 1991; Sorimachi *et al.*, 1996)，calpain 此字源自於 calcium ion-dependent papain-like cysteine protease (大多半胱氨酸蛋白酶名稱最後以 "ain" 代表)，主要存在於肌肉細胞之肌漿網膜中，一般生理功能主要為控制肌肉細胞之生長，其分子功能部位圖如圖九。

在已發現 14 種 calpain 中，骨骼肌 calpain 系統主有由三個蛋白質酶 [ $\mu$ -calpain、m-calpain 與 p94 (calpain 3)] 所表現。 $\mu$ -與 m-calpain 為需要鈣離子活化之蛋白酶，其活化所需鈣離子濃度如表五 (Goll *et al.*, 2003)。而 calpastatin 是 calpain 系統中專門抑制 calpain 之抑制酶 (Wendt *et al.*, 2004)。目前有相當多報告提到 calpain 與牛肉、羊肉及豬肉相關，不同物種間嫩化速率不一樣 (豬肉 > 羊肉 > 牛肉) 與 calpastatin:calpain 比成反比 (牛肉 > 羊肉 > 豬肉) (Koochmaraie *et al.*, 1991)。在實驗動物身上，提高 calpastatin 活性和 mRNA 之表現，可以促使 calpain 活性參與肌肉蛋白之代謝 (Higgins *et al.*, 1988; Bardsley *et al.*, 1992; Parr *et al.*, 1992; Killefer and Koochmaraie, 1994)。

肌肉之嫩化過程有很多變因，有一部分主要在屠後 calpain 在熟成過程降解主要肌肉纖維蛋白，藉由弱化肌肉結構增加嫩度 (Neath *et al.*, 2007)。部分報告指出 calpain 1 ( $\mu$ -calpain) 為主要負責屠後初期肌肉纖維之降解，導致屠肉明顯嫩化 (Geesink *et al.*, 2006; Huff-Lonergan *et al.*, 1996)。而其他蛋白酶如 calpain 2 (m-calpain) 與 proteolysis 於屠後後期繼續產生降解 (Boehm *et al.*, 1998; Dutaud

*et al.*, 2006)。Calpastatin 特別是抑制 calpain 1 與 2，與嫩度呈現負相關 (Kent *et al.*, 2004)。



圖九、Calpain 1、2 與 3 之功能部位圖示。

Figure 9. The icon functional sites of Calpain 1, 2 and 3.

(Goll *et al.*, 2003)

表五、Calpain 活化、自體降解及與 calpastatin 相互作用所需之鈣離子濃度 ( $\mu\text{M}$ )

Table 5.  $[\text{Ca}^{2+}]$  for half-maximal activity on calpain activity, autolysis, and calpastatin

Calpain 特性	$\mu$ -calpain	$\mu$ -calpain	m-calpain	m-calpain
	自體降解		自體降解	
蛋白質活性	0.5-2	3-50	50-150	400-800
結合 calpastatin	0.042	40	25	250-500

(Goll *et al.*, 2003)

## (二) Cathepsins

蛋白酵素 Cathepsins 約有 15~20 種，而與肌原纖維裂解有關脂蛋白酵素主要為 Cathepsins B、D、H 及 L (Zeece *et al.*, 1992)。在細胞膜未破咧之前皆為不活化狀態。Cathepsin B、H 及 L 屬於半胱胺酸 (Cystein) 蛋白水解酶，其最佳活性之酸鹼值範圍為 3.5~6.0、5.5~6.5、3.6~6.0。而 Cathepsin D 屬於天冬胺酸 (Aspartyl) 型蛋白水解酶，其最佳活性之酸鹼值範圍在 2.5~5.0。而肌肉最終酸鹼值約落在 5.5 左右，一般認為與肌肉熟成和嫩化有關。Cathepsin B 在酸鹼值 5 時，可裂解 myosin heavy chain、actin、troponin，並使 Z-line、M-line 及 I-band 弱化；Cathepsin D 在酸鹼值 3~5 時，亦可裂解 myosin heavy chain、Troponin T、I 及 Tropomyosin，使 A-band 縮短，弱化 Z-desk (Robbins *et al.*, 1979)；Cathepsin H 則可裂解 myosin heavy chain (Zeece *et al.*, 1992)；Cathepsin L 在酸鹼值 5~6 時裂解 myosin heavy chain、Troponin T、I、titin、nebulin、 $\alpha$ -actinin、Tropomyosin 與 actin 等 (Mikanci *et al.*, 1987)。Cathepsin B 與 L 在火腿醃漬的過程中然有強烈之蛋白質水解能力 (García-garrido *et al.*, 2000)。

## (三) Caspase system

Caspases 在有活性部分含有半胱胺酸，屬半胱胺酸蛋白水解酶 (Cysteine aspartate-specific proteases) 家族之一，故命名之。Caspase 在決定細胞凋亡階段扮演重要因素，主要由 Caspases-8, 9, 10 與 12 引發或 Caspases-3, 6 與 7 之影響，取決於 Caspases 在細胞凋亡路徑中之位置而定 (Earnshaw *et al.*, 1999)，在細胞

凋亡途徑中 caspases 與其他調節因素關係(如圖十), 其它 Caspases 功能如表六。

Koohmaraie(1988)提到, 蛋白酶為屠後蛋白質水解與肌肉嫩化的指標之一, 蛋白酶能模擬屠後肌原纖維之變化。Kemp and Parr (2008)證實 caspases 能降解肌原纖維。利用 recombinant caspase 3 (rC3) 降解肌原纖維, 明顯蛋白水解產物增加 (32、28、18 kDa), 利用 MALDI-TOF 質譜儀鑑定, 發現降解產物分別為 actin (32 kDa)、troponin T (28 kDa) 與 myosin light chain (18 kDa), 而 troponin T 降解與肌肉嫩化成正相關 (Huff-Lonergan *et al.*, 1996)。此外還觀察到肌原纖維裂解產物 desmin 和 troponin I, 而 desmin 與肌肉嫩化有關 (Hopkins and Taylor, 2002; Koohmaraie and Geesink, 2006)。Kakagawa and Yuan (2000)指出, 缺血性損傷會干擾內質網中鈣離子平衡, 使得 calpain-mediated 激活 caspase 12 和促使 m-calpain 裂解抗凋亡蛋白 (anti-apoptotic protein) Bcl-XL, 轉換成促進凋亡蛋白 (pro-apoptotic protein)。當 calpastatin 過度表現時會促進 caspase 3 活性及細胞凋亡 (Neumar *et al.*, 2003)。而內源性之 calpastatin 會受 caspases 1、3 與 7 裂解, 產生明顯降解模式 (Wang *et al.*, 1998)。因此, 若屠後肌肉中 caspases 活躍, 使 calpastatin 水解可能會影響肉之品質。

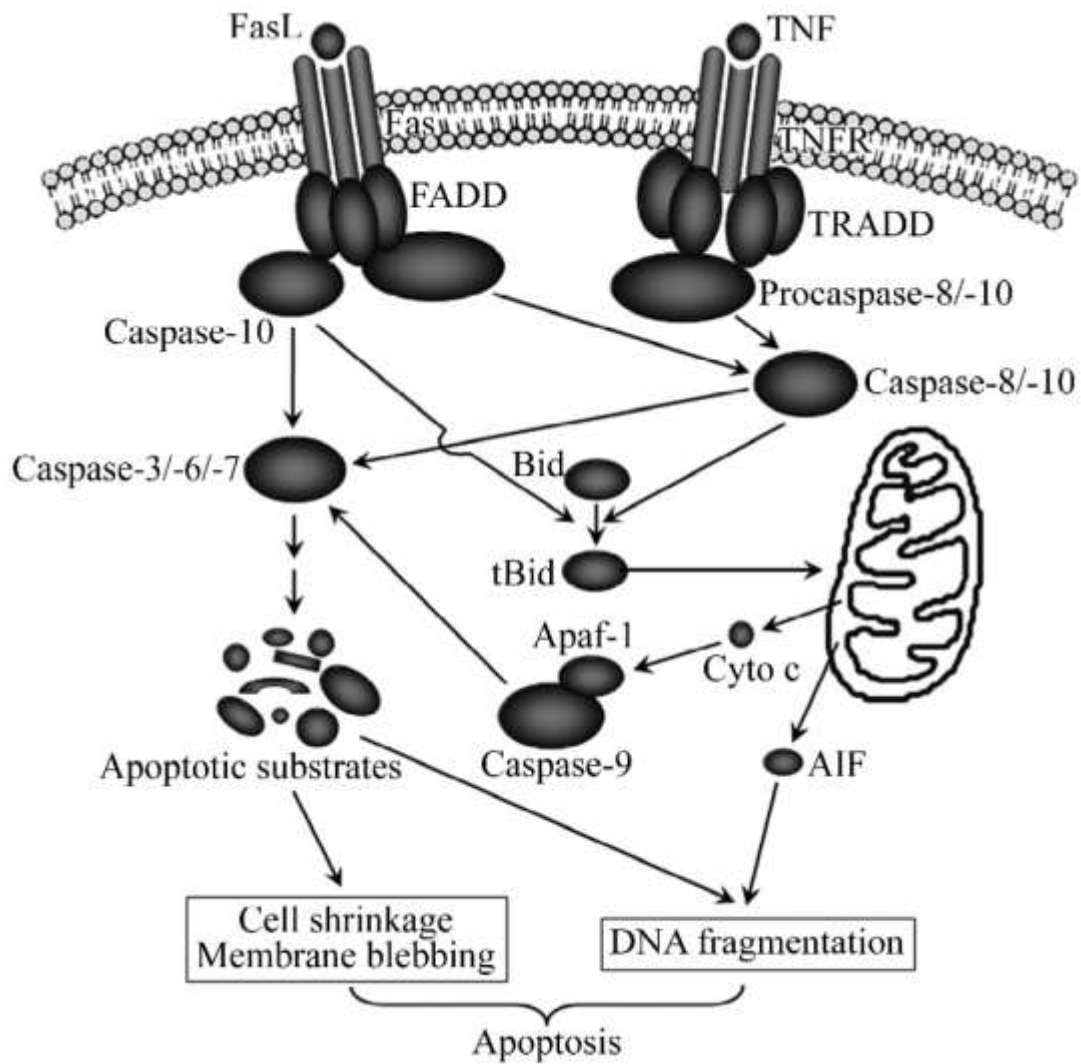
表六、Caspase 家族成員

Table 6. Subfamily members of caspase family

Subfamily	Role	Members
I	激活細胞凋亡	Caspase-2
		Caspase-8
		Caspase-9
		Caspase-10
II	執行細胞凋亡	Caspase-3
		Caspase-6
		Caspase-7
III	發炎介質	Caspase-1
		Caspase-4
		Caspase-5
		Caspase-11
		Caspase-12
		Caspase-13
		Caspase-14

(Fan *et al.*, 2005)





圖十、在細胞凋亡途徑中 Caspases 與其他調節因素關係。

Figure 10. Caspases and the main related regulating factors in apoptotic pathways.

Apaf-1, apoptotic protease activation factor-1; Crm A, cytokine response modifier A; ER, endoplasmic reticulum; FADD, Fas-associated death domain; Gran B, granzyme B; IAP, inhibitor of apoptosis protein; TRADD, tumour necrosis factor receptor-associated death domain.

(Fan *et al.*, 2005)

## 六、食肉風味來源

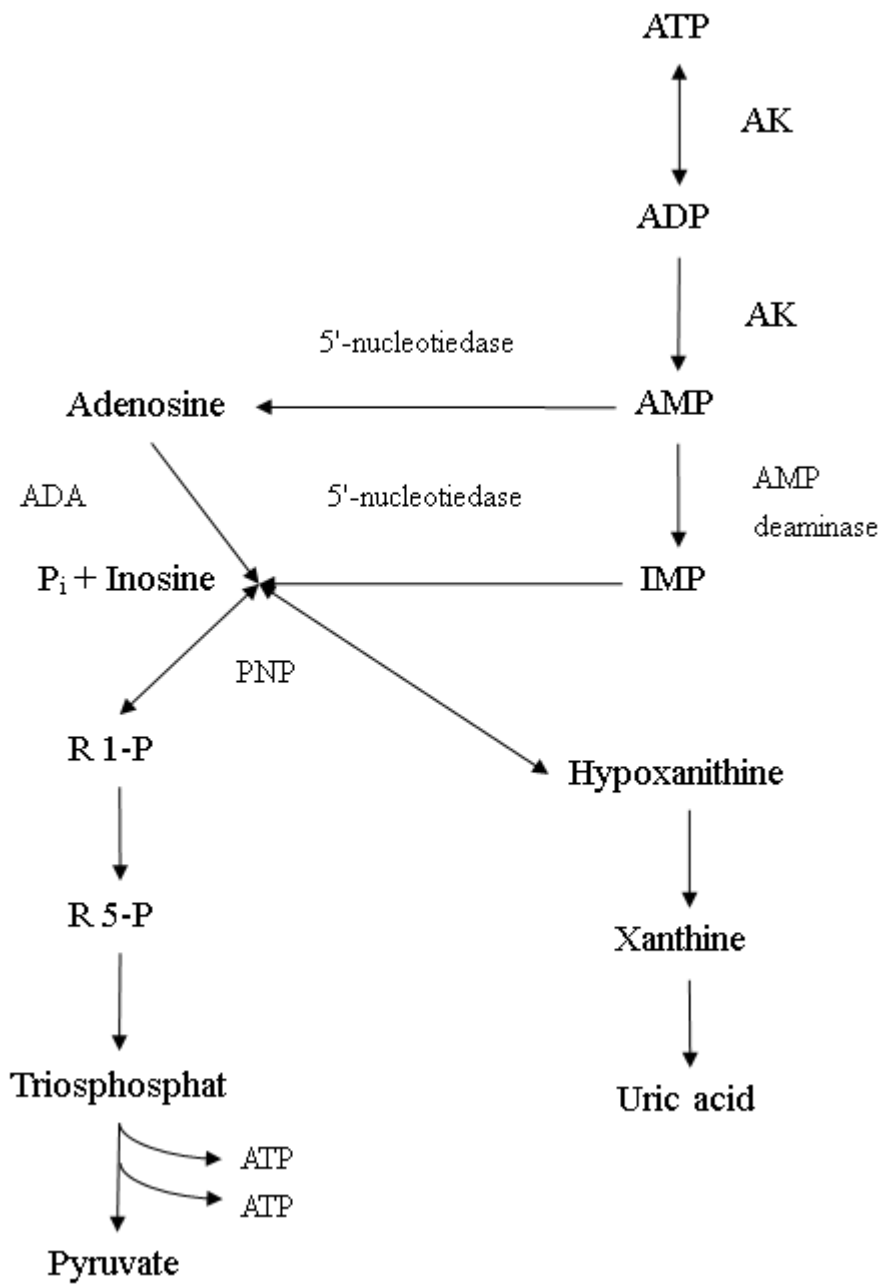
### (一) 核苷酸關聯物 (ATP related compounds)

#### 1. 屠後肌肉中核苷酸關聯物之變化

屠肉中之肌肉纖維型態，會影響核苷酸關聯物含量，主要分為白色纖維 (white fiber) 及紅色纖維 (red fiber)，其中白色纖維含較高量醣代謝之酵素而含較少與氧化有關之酵素，而紅色纖維則含較多與氧化有關之酵素 (Abdalla *et al.*, 1999)。隨著飼養年齡增加，肌肉中紅色纖維與白色纖維之比例會改變 (Remignon *et al.*, 2000)，進而造成屠後肌肉中核苷酸關聯物含量有所差異。

屠後家畜死亡後，因血液循環系統停止，無法提供高能量化合物及氧氣，使得代謝產物無法排出細胞，然而肌肉中之 adenosine 5'-triphosphate (ATP) 無法合成逐漸降解。動物屠後僵直過程，ATP 去磷酸化產生 adenosin diphosphate acid (ADP) 與 adenosine monophosphate (AMP)，再經由去胺作用形成 inosine 5'-monophosphate (IMP)，隨屠後時間增加再代謝為 Inosine 及 Hypoxanthine (陳，1997；Tsai *et al.*, 1972) 代謝途徑如圖十一 (Marklund *et al.*, 2006)。

生鮮肉品通常經由感官及新鮮度來判定其接受度，Saito *et al.* (1959) 引用 K 值 (K value) 作為魚肉新鮮度的指標，K 值為 (Inosine+hypoxanthine) / 總 ATP 關聯物，藉由 ATP 降解所產生的產物表現出肉之熟成味道與氣味。核苷酸關聯物中主要以 GMP 及 IMP 與屠肉風味相關，其濃度多寡決定屠肉之風味 (Yano *et al.*, 1995)，GMP 及 IMP 有較強之呈味力 (Kuninaka *et al.*, 1964; Shimazono, 1964)，Kazeniak (1961) 指出 IMP 為主要影響風味之物質，而 ATP 代謝產物中之 Inosine 與 Hypoxanthine (Hyp) 為苦味代表。戴 (2003) 指出，飼料餵飼黑豬之背最長肌內 IMP 含量高於 LYD，其 Hyp 含量亦有較高 ( $P < 0.05$ ) 之情形，顯示飼料餵飼黑豬之代謝速率較快。Lin (1993) 指出豬里肌肉貯藏在不同溫度 (4°C、-1.5°C 與 -3°C) 時，在貯存第五天時 -1.5°C 有最高之風味評分，第七天時 -3°C 有最高之風味評分，當豬肉中之 IMP 含量最高時是最佳選擇時間，肉之風味與 IMP 含量相關。王 (1995) 指出家畜屠後 IMP 含量於屠後開始增加，於屠後第 3 天開始下降，其含量隨貯存時間增加而降低，而 Hyp 與 Ino 含量隨貯存時間增加而增加。在 Khan *et al.* (1968) 指出，貯存在 0°C 下，75% IMP 消失需 3-5 週，90% 消失需 5-6 週。在 Khan *et al.* (1968) 指出，貯存在 0°C 下，75% IMP 消失需 3 至 5 週，90% 消失需 5 至 6 週。



圖十一、大鼠之 ATP 降解產物示意圖。

Figure 11. Schematic representation of the ATP degradation products report in rats. AK: adenylate kinase; ADA: adenosine deaminase; PNP: purine nucleoside phosphorylase; Pi: inorganic phosphate; R 1-P: Ribose 1-phosphate; R 5-P: Ribose 5-phosphate.

(Marklund *et al.*, 2006)

## (二) 脂肪酸 (Fatty acid)

在家畜動物脂肪中，主要脂肪酸為油酸 (Oleic acid, C<sub>18:1</sub>) 及軟脂酸 (Palmitic acid, C<sub>16</sub>)，而亞麻油酸 (Linoleic acid, C<sub>18:2</sub>) 與次亞麻油酸 (Linolenic acid, C<sub>18:3</sub>)，在家畜體內不能生成之必需脂肪酸，主要經由飼料攝取 (陳, 1997)。飽和脂肪酸與不飽和脂肪酸種類如表七與八。食肉中脂肪酸組成，主要受飼料、品種及性別等因素影響。

### 1. 飼料影響

潘 (2009) 報告中提到，餵飼大麥之 LYD 豬與餵飼飼料之 LYD 豬，背最長肌在多不飽和脂肪酸 (C<sub>18:2</sub>、C<sub>18:3</sub> 及 C<sub>20:4</sub>) 含量比較中，餵飼大麥者較飼料含量低。鄭 (2003) 在報中也指出，餵飼廚餘之黑豬里肌肉較飼料之黑豬有高比例之不飽和脂肪酸。

### 2. 品種

杜洛克較藍瑞斯有較高之飽和及單元不飽和脂肪酸與較低之多不飽和脂肪酸 (Cameron *et al.*, 1991)。在 Zhang *et al.* (2007) 比較杜洛克、盤克夏、約克夏、藍瑞斯與漢布夏，其脂肪酸組成在品種間有顯著差異如表九，杜洛克較其他豬種有最高之飽和脂肪酸、單不飽和脂肪酸含量及脂肪含量。潘 (2009) 報告針對台灣黑豬與 LYD 比較下，臺灣黑豬背最長肌有較高之飽和脂肪酸及單不飽和脂肪酸含量，臺灣黑豬在 C<sub>18:2</sub>、C<sub>18:3</sub> 或是 C<sub>20:4</sub> 含量明顯較 LYD 少。

### 3. 性別

不同性別之豬種在脂肪酸含量上也有不同之表現。史 (1997) 研究指出，SFA 與 MUFA 比例上，閹公豬較女豬高。Zhang *et al.* (2007) 指出，閹公豬之飽和及單元不飽和脂肪酸組成較女豬高，閹公豬在 C<sub>18:2</sub> 及 C<sub>20:4</sub> 較女豬低，如表十。

肉品經過加熱後脂肪氧化為風味形成的重要途徑，尤其是豬肉蒸煮過程中之特性，藉由脂肪氧化導出高揮發物質 (Mottram *et al.*, 1982; MacLeod, 1986)。在缺氧情況下，脂質經過脫水、脫羧、水解、脫氫及碳鍵的熱裂解，在水解過程中，游離脂肪酸被釋放出來，熱將解產物還包括飽和及不飽和烴類、 $\beta$ -酮酸、甲基酮、內酯及酯類 (Nawar, 1969)。

戴 (2003) 報告指出。感官品評之風味及總接受度分別與 MUFA 及 PUFA 有 0.893 ( $P < 0.05$ )、-0.920 ( $P < 0.05$ ) 及 0.903 ( $P < 0.05$ )、-0.840 ( $P < 0.05$ ) 之相關。Cameron (1990) 指出，食肉中 SFA 及 MUFA 含量與食肉風味成正相關，

而與 PUFA 成負相關。但 Calkins and Hodgen (2007) 指出豬肉中之 MUFA 含量與風味無顯著相關，主要還是要以 PUFA 含量為主。在 PUFA 中，例如：亞麻油酸 (C<sub>18:2</sub>) 及花生油四烯酸 (C<sub>20:4</sub>) 會快速自我氧化成過氧化物和更進一步降解成如：2,4-decadienal、2-nonenal、1-octen-3-one、2,4-nonadienal 及 2-octenal，這些產物可提升類硫化物風味與藉此提供肉之風味。有些報告顯示，豬肉中之 C<sub>18:2</sub> 含量高低跟風味沒有顯著關係 (Larick *et al.*, 1992)，但當 C<sub>18:3</sub> 含量約佔總脂肪酸 3%，會加速脂肪氧化反而影響烹煮後之風味 (Wood *et al.*, 2003)。

表七、飽和脂肪酸

Table 7. Saturated fatty acids

碳數	俗名	英文名	融點
4	丁酸	Butyric acid	-5.3
5	戊酸	Valeric acid	-34.5
6	己酸	Caproic acid	-3.2
7	庚酸	Enanthic acid	-7.5
8	辛酸	Caprylic acid	16.5
9	壬酸	Nonanoic acid	12.5
10	癸酸	Capric acid	31.6
12	月桂酸	Lauric acid	44.8
14	肉豆蔻酸	Myristic acid	54.4
16	軟脂酸	Palmitic acid	62.9
17	珍珠酸	Margaric acid	61.8
18	硬脂酸	Stearic acid	70.1
20	花生油酸	Arachidic acid	76.1
22	俞樹酸	Behenic acid	80.0
24	木脂酸	Lignoceric acid	84.2

(張，1992)

表八、不飽和脂肪酸

Table 8. Unsaturated fatty acids

碳數	俗名	英文名	融點	雙鍵位置
14	十四碳烯酸	Myristoleic acid		$\Delta 9$
16	棕櫚油酸	Palmitoleic acid		$\Delta 9$
18	油酸	Oleic acid	16.3	$\Delta 9$
18	十八碳烯酸	Vaccenic acid	39.5	$\Delta 11$
20	二十碳烯酸	Gadoleic acid	23.5	$\Delta 9$
18	亞麻油酸	Linoleic acid	-5	$\Delta 9,12$
18	次亞麻油酸	Linolenic acid	-11	$\Delta 9,12,15$
20	花生四烯酸	Arachidonic acid	-49.5	$\Delta 5,8,11,14$

(張，1992)

表九、豬種間背最長肌之脂肪酸組成比較

Table 9. Effects of breeds on fatty acid composition, total lipid content, and fatty acid indices of *Longissimus* muscle

Item	Breed				
	Duroc	Berkshire	Yorkshire	Landrace	Hampshire
C14:0	10.46 ± 0.02 <sup>a</sup>	10.38 ± 0.03 <sup>b</sup>	10.24 ± 0.02 <sup>c</sup>	10.20 ± 0.03 <sup>c</sup>	10.18 ± 0.03 <sup>c</sup>
C16:0	260.01 ± 0.13 <sup>a</sup>	260.01 ± 0.15 <sup>a</sup>	240.62 ± 0.11 <sup>c</sup>	240.53 ± 0.16 <sup>c,d</sup>	240.27 ± 0.15 <sup>d</sup>
C16:1 n-7	40.03 ± 0.05 <sup>b</sup>	40.38 ± 0.06 <sup>a</sup>	30.76 ± 0.05 <sup>c</sup>	30.80 ± 0.06 <sup>c</sup>	40.14 ± 0.06 <sup>b</sup>
C18:0	130.04 ± 0.09 <sup>a</sup>	120.29 ± 0.11 <sup>b,c,d</sup>	120.47 ± 0.09 <sup>b</sup>	120.40 ± 0.12 <sup>b,c</sup>	110.70 ± 0.11 <sup>e</sup>
C18:1 n-9	450.86 ± 0.23 <sup>c</sup>	440.85 ± 0.28 <sup>d</sup>	440.81 ± 0.21 <sup>d</sup>	440.91 ± 0.31 <sup>d</sup>	440.87 ± 0.28 <sup>d</sup>
C18:2 n-6	70.85 ± 0.20 <sup>e</sup>	80.76 ± 0.23 <sup>c,d</sup>	100.30 ± 0.18 <sup>b</sup>	100.23 ± 0.26 <sup>b</sup>	110.07 ± 0.24 <sup>a</sup>
C20:4 n-6	10.76 ± 0.08 <sup>d</sup>	20.34 ± 0.09 <sup>b</sup>	20.80 ± 0.07 <sup>a</sup>	20.93 ± 0.10 <sup>a</sup>	20.77 ± 0.09 <sup>a</sup>
Total SFA	400.50 ± 0.17 <sup>a</sup>	390.68 ± 0.20 <sup>b</sup>	380.33 ± 0.16 <sup>d,e</sup>	380.13 ± 0.22 <sup>d,e</sup>	370.16 ± 0.21 <sup>g</sup>
Total MUFA	490.89 ± 0.25 <sup>c,d</sup>	490.22 ± 0.29 <sup>d,e</sup>	480.57 ± 0.23 <sup>e</sup>	480.70 ± 0.33 <sup>e</sup>	490.00 ± 0.30 <sup>e</sup>
Total PUFA	90.61 ± 0.27 <sup>e</sup>	110.10 ± 0.32 <sup>c,d</sup>	130.10 ± 0.25 <sup>b</sup>	130.16 ± 0.35 <sup>a,b</sup>	130.84 ± 0.32 <sup>a</sup>
Total lipids <sup>1</sup>	30.73 ± 0.09 <sup>a</sup>	30.05 ± 00.10 <sup>b</sup>	20.06 ± 00.08 <sup>d</sup>	20.17 ± 00.12 <sup>d</sup>	20.23 ± 00.11 <sup>d</sup>

<sup>a-g</sup> Values in the same row with different superscripts differ at  $P < 0.05$ .

<sup>1</sup>Total lipids are g/100 g of muscle.

(Zhang *et al.*, 2007)



表十、背最長肌之脂肪酸組成在性別上之差異

Table 10. Effects of sex on fatty acid composition of Longissimus muscle

Item <sup>1</sup>	Sex		Significance
	Barrows	Gilts	
C <sub>14:0</sub>	1.33 ± 0.01	1.25 ± 0.01	**
C <sub>16:0</sub>	25.41 ± 0.07	24.56 ± 0.08	**
C <sub>16:1 n-7</sub>	4.13 ± 0.03	3.96 ± 0.03	**
C <sub>18:0</sub>	12.36 ± 0.06	12.06 ± 0.06	**
C <sub>18:1 n-9</sub>	46.19 ± 0.14	45.35 ± 0.14	**
C <sub>18:2 n-6</sub>	8.55 ± 0.11	10.06 ± 0.12	**
C <sub>20:4 n-6</sub>	2.03 ± 0.05	2.75 ± 0.05	**
Total SFA	39.11 ± 0.10	37.87 ± 0.11	**
Total MUFA	50.31 ± 0.14	49.31 ± 0.15	**
Total PUFA	10.58 ± 0.15	12.81 ± 0.16	**
Total lipids <sup>2</sup>	3.03 ± 0.05	2.35 ± 0.05	**

<sup>1</sup> Fatty acid values are g/100 g of total lipids.

<sup>2</sup> Total lipids are g/100 g of muscle

\*\**P* < 0.01

(Zhang *et al.*, 2007)

## 七、肉品熟成

熟成是將屠肉保留一段時間，以提高適口性（Anonymous, 1991）。主要分為兩種熟成方式，一為真空或濕式熟成，將產品冷藏貯存在一個密封且具有阻隔性能的包裝中，另一種為乾式熟成，其產品在控制的溫度及濕度下，無包裝且暴露在空氣中。而乾式熟成並不廣泛使用，因為乾式熟成會導致產品失重高達 10%（Parrish *et al.*, 1991, Warren and Kastner, 1992）。

在過去 40 年，針對牛肉之適口性以有無數的研究報告。雖然很多人發現熟成會使肉質更嫩（Minks and Stringer 1972；Smith *et al.*, 1979；Parrish *et al.*, 1991；Warren and Kastner, 1992），但在適口性等方面與嫩度上還是有分歧意見。主要影響如下分類：

### （一）品種及性別因素

Sink（1979）報告指出，肉牛和乳牛品種之風味有明顯不同。但其他人也發現肉牛與乳牛有類似之風味物質（Touraille and Girard, 1985）。而就動物性別而言，瘦肉之芳香特性似乎會影響風味，但也會影響到肉類中脂肪之氣味特性，其影響主要可能為動物發育過程中，經由遺傳控制性賀爾蒙與脂肪成分組成之影響（Gorraiz *et al.*, 2006）。

### （二）生化因素

屠肉熟成過程中，主要藉由蛋白水解酶及脂質分解酶作用導致不同化合物如：胜肽、游離胺基酸、及脂肪酸，皆為風味化合物之前趨物（Touraille and Girard, 1985）。

蛋白水解酶中之內源性蛋白酶「Calpain」，會裂解肌肉結構蛋白（如：C-protein、M-protein 及細胞骨架蛋白、titin、nebulin、desmin、dystrophin 與

vinculin) 有關。結構蛋白主要與收縮蛋白 (actin 與 Myosin) 結合在一起，而收縮蛋白與熟成關係不明顯。在參與熟成有關之蛋白酶酵素，Calpain 為造成嫩化最主要之酵素，儘管 calpain 酵素活性在酸鹼值中性附近最佳，但在低酸鹼值之環境下，仍可保留足夠之酵素活性。而另一組蛋白酶酵素「cathepsins」，主要存在於溶小體中，溶小體在解僵過程中破裂是放出 cathepsins，而其在酸性酸鹼值 (pH 5.4-5.6) 時活性最佳，可能與長期熟成有關 (Devine, 2004)。

### (三) 脂肪成分組成

肌肉內脂肪為主要長期貯存之風味來源前驅物。因此，在不同物種會明顯影響脂質組成造成不同揮發性物質衍生物，進而造成不同風味之特性 (Mottram, 1998)。(揮發性衍生物參考一三、豬肉品質：風味)

## 肆、材料與方法

### 一、試驗材料

試驗之豬肉樣品取自於香里食品企業股份有限公司（南投縣肉品市場），兩種豬種分別為三品種雜交豬（Landrace × Yorkshire × Duroc, LYD）及畜試黑豬一號（Taiwan Livestock Research Institute black pig No.1, TBP），分別採集 12 頭閹公豬及 12 頭女豬之背最長肌（如表十一）。

表十一、試驗之背最長肌來源

Table 11. Sources of experimental for *Longissimus dorsi* muscle

項目	來源			
	屠宰場	牧場	屠宰體重 (Kg)	飼養時間
TBP <sup>1</sup>	香里	大盈牧場	90-110	7 個月
LYD <sup>1</sup>	香里	大盈牧場	100-120	9 個月

<sup>1</sup>TBP：畜試黑豬一號；LYD：三品種雜交豬。

<sup>1</sup>TBP: Taiwan Livestock Research Institute black pig No. 1; LYD: Landrace × Yorkshire × Duroc pig.

## 二、採樣方式

### (一) 屠後之肌肉嫩度變化

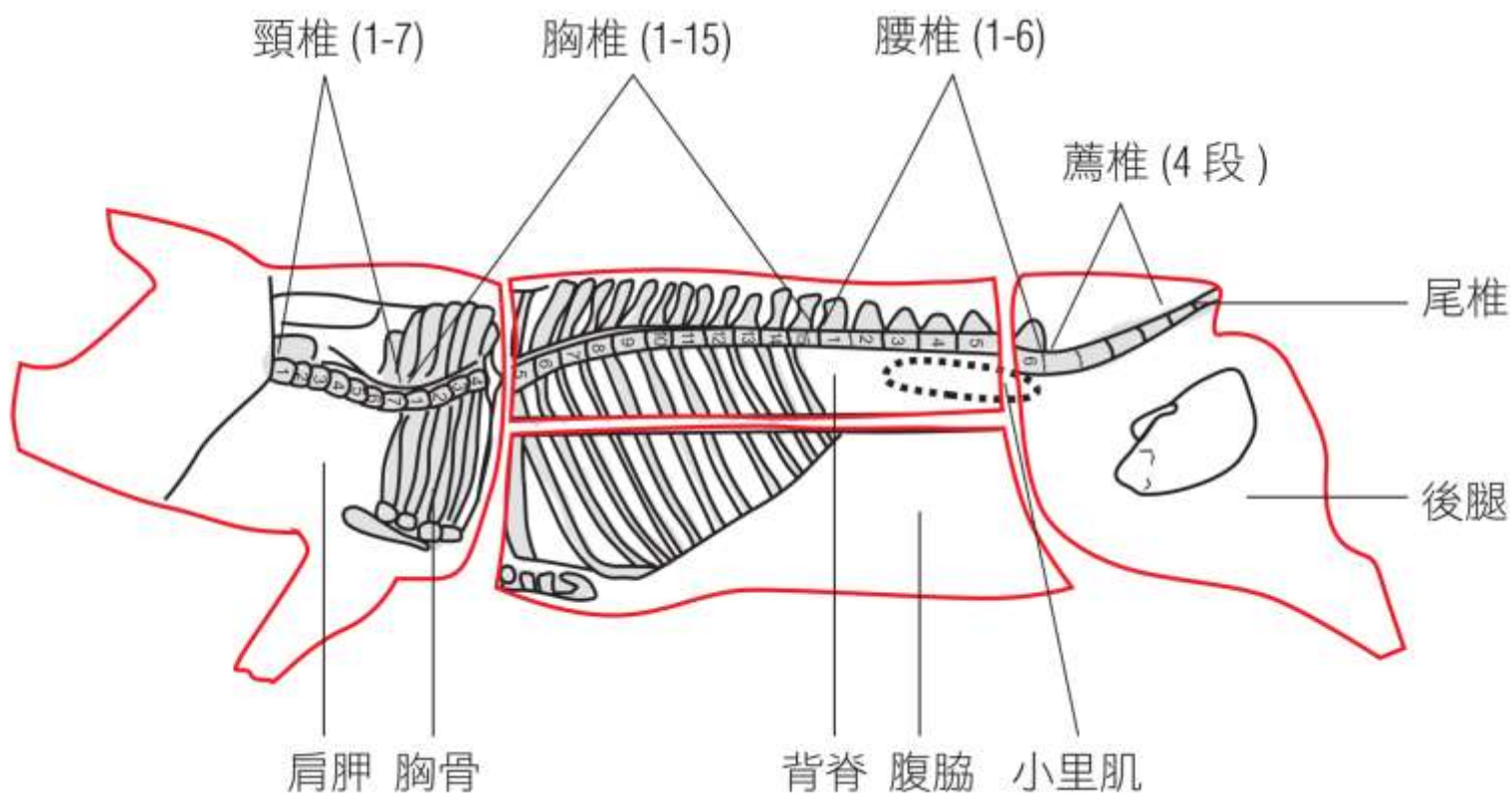
分別於豬隻屠宰後貯存於 0°C (TL-520R, TIT, Taiwan)，在屠後第 1、3、6、12、24、48 及 72 小時，切取脂肪分布較少之後端背最長肌 (第十三胸椎至腰椎第五節) 1 公分厚 (圖十二與十三)，以真空包裝袋 (規格維 Ny15、PE20 及 LL70，厚度分別為 15  $\mu\text{m}$ /LDPE 及 70  $\mu\text{m}$ ，總厚度為 105  $\mu\text{m}$ ，財德彩藝有限公司，臺灣) 以真空包裝機 (A 300/16, MULTIVAC, Germany) 抽真空達 30 mbar 並封口，並以乾冰急速冷凍樣品，並貯藏於超低溫冷凍櫃 -65°C (MDF-U71V, SANYO, Japan)，分別進行溫度、酸鹼值、保水力、蒸煮失重、剪力值、 $\mu$ -calpain 及 m-calpain 活性、肌纖維降解與  $\alpha$ -actinin 含量之分析。

### (二) 熟成四週之肉質變化

在屠後第 24 小時，橫切取脂肪分布較多之後端背最長肌 (第五至十三胸椎) 1 公分厚 (圖十二與十三)，以真空包裝方式貯藏於 0°C (模擬低溫運送之溫度)，分別取第 0、1、2、3 及 4 週之熟成樣品冷凍貯存於 -65°C，分別進行酸鹼值、色澤、剪力值、核苷酸關聯物、游離脂肪酸組成與感官品評之分析。

### (三) 肉質評級與一般成分分析

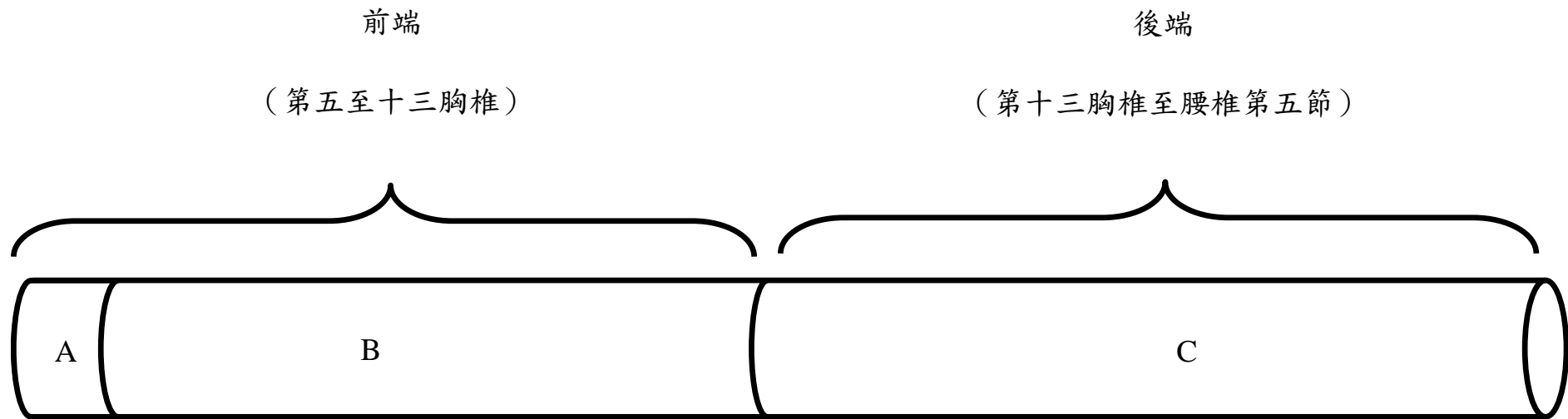
於屠後 72 小時，橫切取 1 公分厚之前端背最長肌 (圖十二與十三)，經過肉質評級後，將背最長肌去除筋膜及雜肉，進行一般成分分析。



圖十二、豬肉大部分切圖。

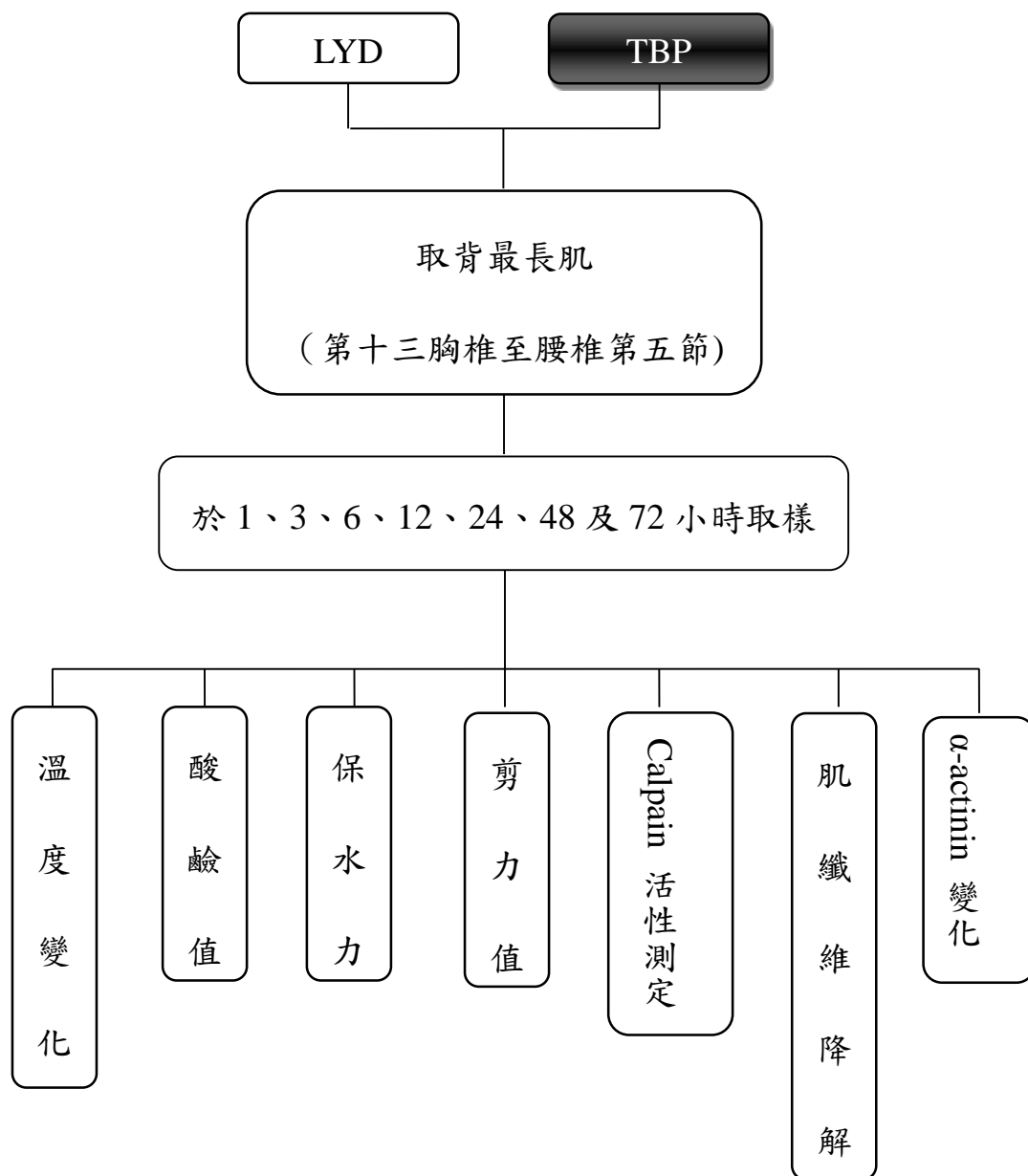
Figure 12. The pork cuts chart.

(方等, 2010)



圖十三、背最長肌之採樣位置及分析。A：肉質評級及一般成分分析、B：熟成0至4週（酸鹼值、色澤、剪力值、核苷酸關聯物、游離脂肪酸組成與感官品評）、C：屠後1至72小時（溫度、酸鹼值、保水力、蒸煮失重、剪力值、 $\mu$ -與 m-calpain 活性、肌纖維降解及  $\alpha$ -actinin 變化）。

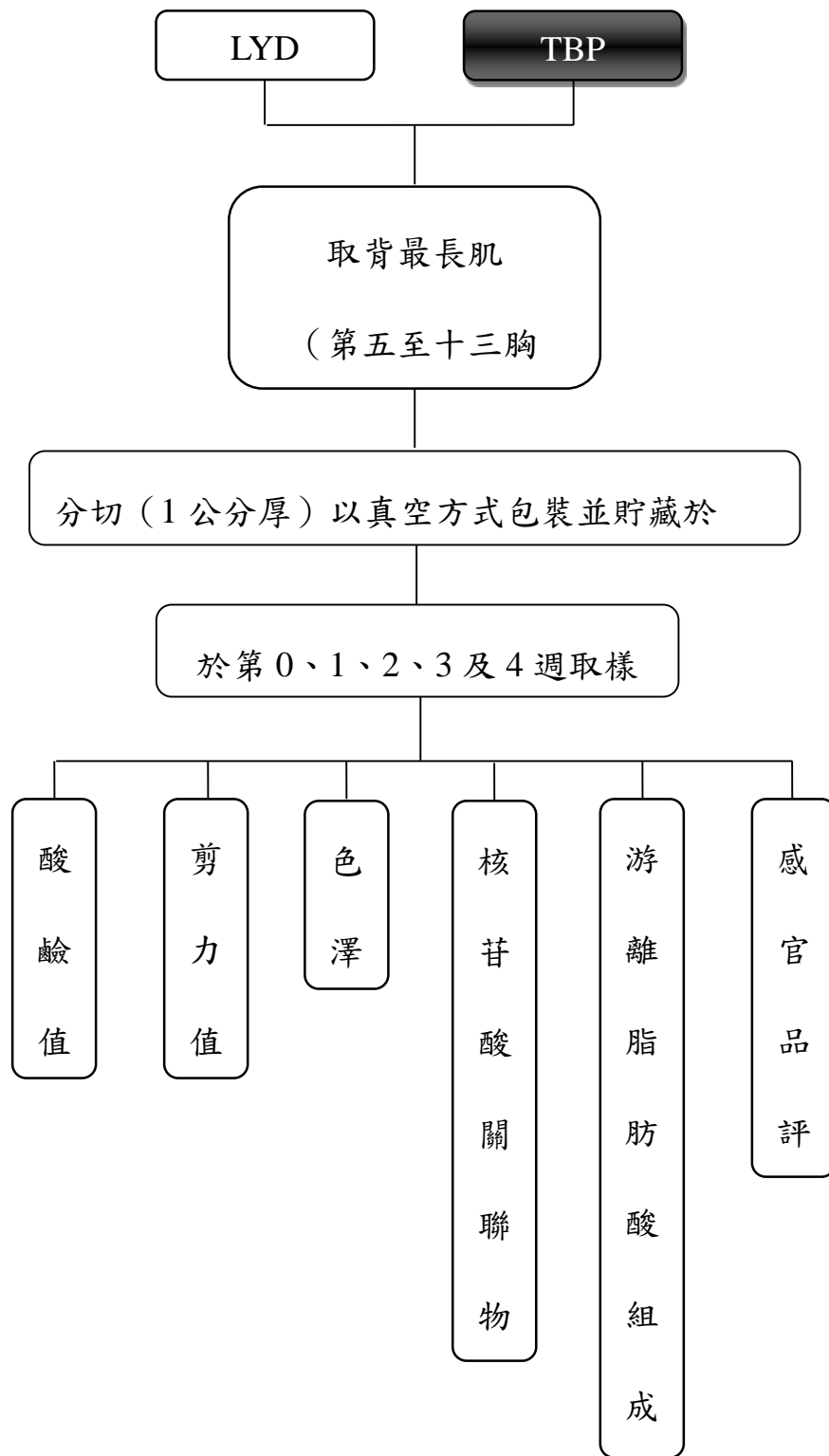
Figure 13. Sampling position and analysis for *longissimus dorsi* muscle. A: meat evaluation and proximate analysis B: 0-4 weeks of age (pH value, CIE Lab, shear value, ATP related compound, free fatty acid compound and sensory evaluation), C: 1-72 hours after slaughter (temperature change, pH value, water holding capacity, cooking loss, shear value,  $\mu$ - and m-calpain, myofibrillar degradation and  $\alpha$ -actinin change).



圖十四、豬肉嫩化之試驗設計流程圖。

Figure 14. Experimental flow chart of pork tenderization.





圖十五、豬肉低溫熟成之試驗設計流程圖。

Figure 15. Experimental design of pork on low temperature ageing.

### 三、分析項目

#### (一) 一般成分分析 (Proximate analysis)

依 A.O.A.C.(1986) 方法，分別取不同豬種之後端背最長肌做水分、粗蛋白、粗脂肪及灰分之重量百分比分析，每個處理均重複三次。

#### (二) 肉質評級 (Meat evaluation)

取後端背最長肌，以美國 NPPC (1991) 標準做為肉質評級之依據，針對不同來源之背最長肌對照進行色澤、大理石紋 (霜降度) 及緊實度之評分。評分為 5 分制，顏色評分：1 分為淡粉紅色，5 分為深紅色；大理石紋評分：1 分為大理石紋分布極少，5 分為大理石紋極多；緊實度評分：1 分為極柔軟，5 分為極緊實。

#### (三) 溫度變化 (Temperature change)

利用筆型紀錄溫度計 (WISEWIND, Taiwan)，測量在 0°C 貯存 72 小時過程中，不同豬種之背最長肌溫度變化，分別測量隨機四點位置。

#### (四) 酸鹼值 (pH value)

依 Ockerman (1985) 方式測定，取 5 克樣品加入 45 mL 之蒸餾水 (1:9) 均質混合 1 分鐘，經由 pH meter (Cyberscan pH 510, EUTECH, Singapore) 測定。

#### (五) 保水力 (Water holding capacity)

依 Ockerman(1985)方式測定之。取 0.5 克之樣品，放置於濾紙(9 cm Whatman, No. 1)，濾紙必須事先放置於飽和氯化鉀之密閉器皿中 24 小時以上。將取好之樣品置於兩塊壓克力板之間，以 500 psi 壓 1 分鐘後迅速取出，將樣品之內、外圍以鉛筆劃記，利用數值式面積儀 (Digitizing area-line meter Planix 5000, Tamaya,

Japan) 測出面積。在測量樣品中之水分含量，將其帶入下列公式得到保水力。

$$\text{保水力}(\%) = 1 - \frac{(\text{外圈面積} - \text{內圈面積})(61.10)}{\text{取樣之樣品全部水分含量}(\text{mg})} \times 100\%$$

#### (六) 蒸煮失重 (Cooking loss)

將背最長肌切成 1 公分厚之肉排並秤重，將肉排放置於電烤爐 (Barbecue 1850, TEFAL, France) 上，加熱至樣品中心溫度 72°C 後立即以電子天秤秤重 (HF-300, AND, Japan)。蒸煮失重計算如下：

$$\text{蒸煮失重}(\%) = \frac{(\text{電烤前肉排重} - \text{電烤後肉排重})}{(\text{電烤前肉排重})} \times 100\%$$

#### (七) 剪力值 (Shear value)

將樣品放置於電烤爐 (Barbecue 1850, TEFAL, France)，加熱至樣品中心溫度 72°C，將熟肉切成 1 × 1 × 2 公分，以質地分析儀 (Texture analyser TA-XT-puls. Stable micro system, England) 配合附件 HDP/BS 之刀型接頭，以 6 cm/min 之速度對樣品進行模擬咬切，測定剪切之最高抗力值 (kg/cm<sup>2</sup>)。

#### (八) $\mu$ -calpain 與 m-calpain 活性測定

##### 1. Calpain 萃取：

取肌肉樣品 2 克以 6 mL 之緩衝液 (50 mM Tris · HCl, pH 7.5; 1 mM EDTA; 10 mM  $\beta$ -ME; 150 nM pepstatin A) 均質之，然後再以離心機 (Z323K, Hermle, Germany) 於 5,000 rpm 4°C 下離心 30 分鐘。取上層液 6 mL (分成 5 mL 及 1 mL)，取上層液 5 mL 加入 20  $\mu$ L leupeptin (1 mM)、0.6 mL NaCl (5 M)、1 mL phenyl-Sepharose CL-4B [取 2 mL 加入 Buffer A 5 mL (20 mM Tris · HCl, pH 7.5; 0.1 mM CaCl<sub>2</sub>; 10 mM  $\beta$ -ME; 20  $\mu$ M leupeptin) 混合均勻並離心，吸

取上層液後再以此步驟共洗滌兩次，Buffer A 與 phenyl-Sepharose CL-4B 使用比例約 1:1]。將這混合液震盪 5 分鐘，隨後加入 0.2 mL CaCl<sub>2</sub> (0.1 M) 再震盪 15 分鐘。將混合液注入 0.8 × 4 公分之塑膠管柱中 (Bio-rad column 0.8 × 4cm)。以 2 mL 還有 0.25 M NaCl 之 buffer A 沖洗，再分別以 2 mL buffer A 和 2 mL 不含 leupeptin 之 buffer A 沖洗。隨後以 4 mL 含有 0.1 M NaCl 之 buffer B (20 mM Tris · HCl, pH 7.5; 1 mM EGTA; 10 mM β-ME) 沖洗，並將收集此濾液為 m-calpain，在以 2 mL 上述溶液沖洗之。最後以 4 mL 之 buffer B 清洗，並且收集此濾液為 μ-calpain。所有步驟皆在 4°C 中進行。

## 2. Calpain 活性測定：

Casein Substrate (Hammarsten Casein 8 mg/mL; 100 mM Tris-HCl, pH 7.5; 1 mM NaN<sub>3</sub>)。取 m-calpain 2 mL 加入 0.67 mL casein substrate、133 μL 2 mM CaCl<sub>2</sub>，取 μ-calpain 4 mL 中取 2 mL 加入 0.67 mL casein substrate、133 μL 2 mM CaCl<sub>2</sub>，另 2 mL 當控制組，其中 133 μL 2 mM CaCl<sub>2</sub> 以 133 μL EDTA 代替。而每一單位 (U) calpain 活性被定義為在 25°C 作用 30 分鐘後，酵素含量於 595 nm 測定時，吸光值每 0.1 unit 之變化。

## (九) 肌纖維降解 (Myofibrillar degradation)

### 1. 粗肌原纖維蛋白萃取

試驗方式參考 Olson and Parish (1977)，試驗取 2 克背最長肌並加入 20 mL 的 isolation medium [100 mM KCl; 20 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, pH 7.0; 1 mM EDTA; 1 mM NaN<sub>3</sub>]，在室溫下以均質機均質 30 秒。把混合溶液置於離心管中，在 2°C 下以 10,000 xg 離心 20 分鐘 (Model SCR 20B, Hitachi, Japan)。倒掉上層液，再以 12 mL 的 isolation medium，以均質機均質 10 秒，再以 10,000 xg 離心 20 分鐘。再把上層液倒掉，加入 16 mL 的 isolation medium，均質 30 秒後，利用 40 mesh 之鋼絲濾網過濾結締組織，所得溶液以 10,000 xg 離心 20 分鐘。把上層液倒掉，加

入 16 mL 的 isolation medium，再經均質 30 秒，過濾及離心（10,000 xg）20 分鐘等步驟。去除上層液後，最後剩下之沉澱物即為粗肌原纖維蛋白質。

## 2. 肌原纖維蛋白質之萃取

秤取上述所得粗肌原纖維 2 克，加入 12 mL 1% 的 Triton X-100 溶液（isolation medium : triton-100 = 100 : 1），均質 10 秒後，以 5,000 xg 離心 20 分鐘。倒掉上層液，加入 16 mL 的 isolation medium，以玻璃棒將沉澱物攪拌均勻，以 5,000 xg 離心 20 分鐘（2°C），上述步驟再重複三次。最後倒掉上層液，所剩沉澱物即為肌原纖維，最後加入 6 mL NaCl（100 mM）以利於保存。經攪拌均勻後，以分光光度計之吸光值測定其濃度（562 nm）。蛋白質濃度標準品是利用 BCA Protein Assay Reagent Kit，將 BSA 配製成不同濃度脂蛋白質溶液，以對照樣品之蛋白質濃度（參考 BCA Protein Assay Reagent Kit 之使用方法 23227）。

## 3. SDS-PAGE

將上述萃取之肌原纖維蛋白質以 SDS-PAGE 分開（Laemmli, 1970）。肌原纖維蛋白質與 Sample Buffer【4 mL 0.5 M Tris-Cl（pH 6.8）、0.8 mL Glycerol、1.6 mL 10% SDS, pH 7.2、0.4 mL  $\beta$ -ME、0.2 mL 0.5% Bromophenol Blue、以二次水配製成 8 mL】以 1 比 1 比例混合於微量離心管中，然後置於沸水煮 10 分鐘，然後快速放置於冰上。以上層膠 5% 與下層膠 12.5% 分離樣品（min P-4, CAVOY, China），以 100 V 電泳約 3.5 小時後取下膠片，將膠體放入染色液【1.25 克 Coomassie Brilliant Blue R-250、112.5 mL Methanol、25 mL Acetic acid，再以蒸餾水定量到 250 mL】中，染色至少 1 小時，將染液倒出並換褪染劑【450 mL Methanol、100 mL Acetic acid、以蒸餾水定量到 1 L】至背景透明（約 2.5 小時），蛋白質處則有藍色帶狀出現。將分子量取對數和移動距離作圖，以標準品（BLUelf Prestained Protein Ladder PM008-0500, GeneDire X）經由內插法求出未知蛋白質之分子量。

## （十） 西方點墨法（Western blot）

將上述萃取之肌原纖維蛋白質以 SDS-PAGE 分開 (Laemmli, 1970), 再轉漬至硝化纖維膜 (NEF 1002001PK, PerkinElmer, U.S.A.), 以電壓 30 V 之條件運轉 12 小時左右, 隔天再繼續以電壓 60 V 之條件運轉二小時。之後先以 1 X TBS 溶液沖洗硝化纖維膜, 再放入 5% blocking solution 中, 於室溫下震盪 (Kansin Instrument Co., LTD., Taiwan) 二小時。倒掉 5% blocking solution 並以 1 X TTBS 溶液沖洗硝化纖維膜。之後添加 anti- $\alpha$ -actinin (1:800) 的 primary antibody 於室溫下雜交約二小時, 並以 1 X TTBS 溶液沖洗硝化纖維膜 15 分鐘 (共三次, 每次五分鐘)。添加  $\alpha$ -actinin 之 second antibody (1:5000) (Goat Anti-Mouse IgG, PerkinElmer, U.S.A.) 及 1% diluting buffer 於室溫下雜交約一小時。再以 1 X TTBS 溶液沖洗硝化纖維膜 15 分鐘 (三次), 加入 substrate (NEL 105001EA, PerkinElmer, U.S.A.) 均勻抹平於消化纖維膜上, 經壓片, 顯影後以電泳數位化影像分析系統 (Alpha Imager 2000, Alpha Imager, U.S.A.) 及 Bio-Rad Imaging System 分析。

#### (十一) 核苷酸關聯物 (ATP related compound)

依 Crescentini (1984) 及 Seewald (1993) 之方法修正如下:

##### 1. 試藥配製

(1)、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  磷酸緩衝液 (pH 6.0):

0.1 M 之  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  以 0.1 M 之  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  調整至 pH 6.0。

(2)、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  磷酸緩衝液 (pH 4.0):

0.1 M 之  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  以 0.1 M 之  $\text{H}_3\text{PO}_4$  調整至 pH 4.0。

(3)、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  磷酸緩衝液 (pH 7.6):

0.1 M 之  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  以 0.1 M 之  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  調整至 pH 7.6。

(4)、0.6 N 過氯酸溶液:

取 70% 過氯酸配製成 0.6 N 之過氯酸溶液 (27 毫升 70% 過氯酸配上 473 mL 蒸餾水)。

## 2. 樣品之前處理

取不同熟成時間之背最長肌 5 克，將其以 25 mL 之 0.6 N 過氯酸均質 1 分鐘，以 Whatman No. 1 濾紙過濾，以去離子水沖洗定量到 100 mL，吸取濾液 5 mL 並加入 5 mL 之磷酸緩衝液 (pH 7.6, 0.1 M)，於 4°C 中靜置 30 分鐘後，以 Whatman No. 1 濾紙將氯酸鹽之結晶過濾，再以 0.45  $\mu$ m 濾膜 (Millipore, Bedford, U.S.A) 過濾，將濾液置於微量離心管中，貯藏於-65°C 冷凍備用。

## 3. 標準品配製

取標準品 ATP (adenosine triphosphate)、ADP (adenosine diphosphate)、AMP (adenosine monophosphate)、IMP (inosine monophosphate)、Ino (inosine)、Hyp (hypoxanthine) 以上皆購置於 Sigma，以磷酸緩衝液 (pH 6.0, 0.1 M) 溶解，每種標準品皆配置 500 ppm 之濃度，以 0.45  $\mu$ m 濾膜過濾，並貯藏於-65°C 冷凍備用。

## 4. 高效能液相層析儀 (HPLC) 之參數設定

本試驗使用 HPLC (L-7100, HITACHI, Japan) 進行分析，樣品注射量為 20  $\mu$ L，檢測器 (L-7400, HITACHI, Japan) 波長設定為 254 nm，分離管柱為 RP-18 (關東化學，日本)，以層析數據處理系統 (Quick Chrom 1.2, SISC, U.S.A.) 測得其波峰面積。移動相 A 為磷酸緩衝液 (pH 4.0, 0.1 M)。移動相 B 為 A 溶劑中含有 10% (v/v) 之 Methanol。管柱流速及條件如下：

Time (min)	A%	B%	Flow speed (mL/min)
0	100	0	0.6
4	100	0	0.6
13	0	100	0.6
14	100	0	1.0
24	100	0	0.6

0 至 4 分鐘為 100 % 之移動相 A，其流速為 0.6 mL/min；再過 9 分鐘階梯式置 100 % 之移動相 B；再過 1 分鐘換為 100 % 之移動相 A，其流速換為 1.0 mL/min，再過 10 分鐘停止，將所得之核苷酸降解物濃度。所有溶液皆採用去離子水配置並經過 0.45  $\mu\text{m}$  之濾膜過濾後脫氣。

## (十二) 游離脂肪酸組成 (Free fatty acid composition)

### 1. 試藥配製

#### (1) Benzene

(2) Methanolic HCl：將 10 mL 乙醯氯 (acetyl chloride) 緩慢加入 100 mL 無水甲醇中，小心混勻。

#### (3) 6% (v/v) $\text{K}_2\text{CO}_3$ 溶液

#### (4) 無水硫酸鈉 (anhydrous sodium sulphate, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

### 2. 樣品配製

依 Sukhija and Palmquist (1988) 方法測定。將背最長肌去除筋膜，以冷凍乾燥機 (LABCONCO, U.S.A.) 進行冷凍乾燥。將乾燥之樣品磨碎後進行採樣，採乾燥樣品 0.3 克，將樣品置於 15 mL 離心管中，加入 2 mL benzene 及 3 mL methanolic HCl 搖晃 10 秒，旋緊瓶蓋後以 70°C 水浴 2 小時，之後冷卻至室溫，加入 5 mL 6%  $\text{K}_2\text{CO}_3$  及 2 mL benzene 混合，以 1,500  $\times g$  離心 5 分鐘，吸取上層液放置於微量離心管，加入  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  及活性碳後再離心取上層液，貯藏於 -65°C 待分析。

### 3. 氣相層析儀之設定條件

試驗使用氣相層析儀進行分析 (Trace GC ultra, Thermo, Finland)，樣品注射量為 1  $\mu\text{L}$ ，檢測器為 FID (Flame ionization detector)，分離管柱為毛細管 (Rtx-2330, Restek, U.S.A.)，移動相為  $\text{N}_2$  流速為 1 mL/min，分流比為 100:1，注射口 (Injector) 溫度為 240°C，檢測器 (Detector) 溫度為 250°C。溫度控制條件：0



至 8 分鐘為 160°C，之後以每分鐘 2°C 速率升溫至 210°C，維持 15 分鐘後停止並降溫至 160°C。數據經由層析數據處理軟體(Chrom-Card 2.3.3, Thermo Finnegan, Italy)判讀，分析數據再經由脂肪酸標準品(Fatty acid methyl ester mix 18919-1AMP, Sigma)判讀對照。

### (十三) 感官品評 (Sensory evaluation)

依 Cardello et al. (1996) 之方式修正測定。將背最長肌切成 1 公分厚肉排放置於電烤爐 (Barbecue 1850, TEFAL, France)，加熱至中心溫度 72°C，再將樣品切成 1 × 1 × 2 公分長方體，經由受過品評訓練之東海大學畜產與生物科技系碩士班學生 7 名擔任品評員，對其顏色、氣味、嫩度、風味、多汁性、甘味及總接受度進行評分，評分採 9 分制，顏色為以肉眼觀察樣品外觀之色澤做統合評估，1 分為顏色極淺，9 分為顏色極深；氣味以嗅覺評估樣品所具有之味道，1 分為氣味極淡，9 分為氣味極強烈；嫩度為以門齒咬切所需之力量，1 分為極嫩，9 分為極硬；風味為咀嚼過程中之感受，1 分為風味極淡，9 分為風味極強；多汁性為樣品以白齒咬切時，樣品中之水分及脂肪形成肉汁釋放出之程度，1 分為極乾澀，9 分為極多汁；甘味為在咀嚼過程中感受到樣品所具之甜味，1 分為極不甘甜，9 分為極甘甜；總接受度則是對品評項目做整理評估，1 分為極討厭，9 分為極喜歡。

## 四、統計分析

以裂區設計 (split plot design) 為此試驗之試驗設計。以不同豬種為主區 (whole plot factor)，以時間為副區 (sub plot factor)。利用 SAS 9.1.3 統計分析系統 (SAS Inst. Inc., 2007) 以一般線性模式 (General linear models procedure) 進行變方分析，並以最小平方平均值 (least-square mean) 比較不同品種及時間在平均值之差異顯著性，結果以平均值 ± 標準偏差方式呈現。

## 伍、結果與討論

### 一、肉質評級與一般成分分析

#### (一) 肉質評級 (Meat evaluation)

LYD 之色澤評分顯著較 TBP 高，TBP 之大理石評分上顯著高於 LYD ( $P < 0.05$ ) (表十二)。在緊實度上，兩者並無顯著差異 ( $P > 0.05$ )，但 LYD 有較高之趨勢。在性別比較下，閩公豬與女豬在肉質評分沒有顯著差異，但在色澤評分上女豬有較高之趨勢。潘(2009)報告指出，臺灣黑豬之大理石紋評分明顯高於 LYD，與本試驗結果相符。性別方面，黃(2011)報告指出女豬之色澤評分顯著高於閩公豬，與本試驗之趨勢相符。

肉質評級色澤評分與 pH 值有正相關 ( $r = 0.43$ )，在 Boler *et al.* (2009) 報告提到，低 pHu 值 (5.45 - 5.74) 之豬背最長肌色澤評分較高 pHu 值 ( $\geq 6.05$ ) 低，本試驗 TBP 之 pHu 值為 5.47，LYD 為 5.78，色澤評分結果 TBP 較 LYD 低與 Boler *et al.* (2009) 相似。但 Judge *et al.* (1959) 與 Boler *et al.* (2009) 報告指出，色澤、大理石紋及緊實度評分之間都呈現正相關，另 Huff-Lonergan *et al.* (2002) 也有指出緊實度評分與大理石紋及色澤評分呈現正相關，但大理石紋評分與色澤評分兩者間則無顯著相關。本試驗結果之色澤與大理石紋評分相關則呈現負相關 ( $r = -0.61$ )，TBP 偏向低 pH 值之肉質，使得肉質評級之色澤評分低於 LYD (LYD 之 pH 屬於正常範圍)，Huff-Lonergan *et al.* (2002) 與 Smith *et al.* (2011) 提到，當 pH 值迅速下降，部分肌漿發生變性，其中最重要的是色素蛋白 (肌紅蛋白) 變性，變性之肌紅蛋白會減少肉的顏色強度，在極端環境下，藉由變性之肌原纖維蛋白結構，反射更多光線，進而改變顏色，也明確表示有最低之 pHu 導致顏色較淺。顯示較低之 pHu 值造成色澤評分較低，可能使得色澤與大理石紋評分成現負相關之主因。

育種過程中以杜洛克為終端公畜，有較高之大理石紋評分 (Ellis *et al.*, 1996 and Edwards *et al.*, 2003)，而本試驗之 TBP (75% 杜洛克與 25% 桃園豬) 與 LYD

(50%杜洛克、25%藍瑞斯與25%約克夏)，TBP有較高比例之杜洛克品種，而大理石紋評分表現也較LYD高與Ellis *et al.* (1996) 與Edwards *et al.* (2003) 結果相符。肉中之大理石紋分佈是評估肉質優劣之主要指標，因大理石紋分佈會影響肉之應力、潤滑性及緊密度 (bulk density) 等，而影響消費者對肉之喜好程度 (Park *et al.*, 1994)。

## (二) 一般成分分析 (Proximate analysis)

TBP與LYD背最長肌之一般成分如表十三所示。在水分及粗蛋白含量上，LYD顯著較TBP高 ( $P < 0.05$ )。在粗脂肪含量上，TBP顯著較LYD高 ( $P < 0.05$ )；在灰分含量上，LYD與TBP兩者並無顯著差異。在性別比較下，閹公豬之粗蛋白含量明顯較女豬低 ( $P < 0.05$ )，在水分、粗脂肪及灰份含量上則無顯著差異，但粗脂肪部分女豬有高於閹公豬之趨勢 ( $P < 0.05$ )。潘 (2009) 報告指出，臺灣黑豬之水分及粗蛋白明顯較LYD低，而粗脂肪明顯較高。性別方面，White *et al.* (1995) 報告指出，女豬之粗蛋白含量明顯高於閹公豬。

粗脂肪含量與水分含量及粗蛋白含量呈現負相關 ( $r = -0.54, -0.27$ )，粗脂肪含量與大理石紋評分呈現正相關 ( $r = 0.85$ ) 與色澤呈現負相關 ( $r = -0.74$ )。鄭 (2003) 指出，當肌肉內粗蛋白質之比例增加，肌肉內水分之比例會有增加的情形，若肌肉內粗脂肪含量增加，則水分與粗蛋白比例會隨之減少，與本試驗結果相仿。

在Cameron *et al.* (1990) 報告指出，肌肉中脂肪含量會因動物品系不同而有所差異，本試驗TBP為杜洛克改良桃園豬體型及生長率之物種與LYD商業豬種不同。Cameron and Enser (1991)、Wood (1996) 與Suzuki *et al.* (2003) 報告指出杜洛克豬種之肌間脂肪含量較依比利亞豬、大白豬及盤克夏高。當豬種含有杜洛克基因比例高時，背最長肌之脂肪含量表現較高 (Suzuki *et al.*, 2003)。另在Touraille *et al.* (1989) 報告中提到，含有中國豬種基因之豬種，其背最長肌中脂肪含量較歐美豬種高，與本試驗結果相仿。

表十二、畜試黑豬一號與三品種雜交豬在背最長肌之肉質評級

Table 12. Meat evaluation of *longissimus dorsi* muscle for TBP and LYD pig

Sources	Items		
	Color	Marbling	Firmness
Breed			
TBP <sup>1</sup>	1.53±0.26 <sup>B</sup>	2.63±0.38 <sup>A</sup>	2.44±0.34 <sup>A</sup>
LYD <sup>1</sup>	2.59±0.61 <sup>A</sup>	1.72±0.43 <sup>B</sup>	2.81±0.25 <sup>A</sup>
Sex			
Barrow <sup>2</sup>	1.90±0.64 <sup>A</sup>	2.25±0.65 <sup>A</sup>	2.56±0.43 <sup>A</sup>
Gilt <sup>2</sup>	2.21±0.80 <sup>A</sup>	2.17±0.63 <sup>A</sup>	2.69±0.25 <sup>A</sup>

<sup>A,B</sup> 同一行中不同字母表示差異顯著 ( $P < 0.05$ )。

<sup>1</sup> TBP：畜試黑豬一號；LYD：三品種雜交豬。

<sup>2</sup> B：閹公豬；G：女豬

<sup>A,B</sup> Different letters in the same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>2</sup> B: Barrow; G: Gilt.

表十三、畜試黑豬一號與三品種雜交豬在背最長肌之一般成分

Table 13. Proximate analysis of *longissimus dorsi* muscle for TBP and LYD pig

Source	Items (%)			
	Moisture	Crude protein	Crude fat	Ash
Breed				
TBP <sup>1</sup>	73.81±0.98 <sup>B</sup>	20.78±0.87 <sup>B</sup>	3.67±1.58 <sup>A</sup>	1.27±0.09 <sup>A</sup>
LYD <sup>1</sup>	74.78±0.53 <sup>A</sup>	22.13±0.79 <sup>A</sup>	1.10±0.50 <sup>B</sup>	1.26±0.08 <sup>A</sup>
Sex				
Barrow <sup>2</sup>	74.28±1.10 <sup>A</sup>	20.97±0.81 <sup>B</sup>	2.20±1.53 <sup>A</sup>	1.25±0.06 <sup>A</sup>
Gilt <sup>2</sup>	74.32±0.74 <sup>A</sup>	21.94±1.09 <sup>A</sup>	2.58±1.99 <sup>A</sup>	1.28±0.08 <sup>A</sup>

<sup>A,B</sup> 同一行中不同字母表示差意顯著 ( $P < 0.05$ )。

<sup>1</sup> TBP：畜試黑豬一號；LYD：三品種雜交豬。

<sup>A,B</sup> Different letters in the same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>2</sup> B: Barrow; G: Gilt.

## 二、屠後 72 小時內之肌肉變化

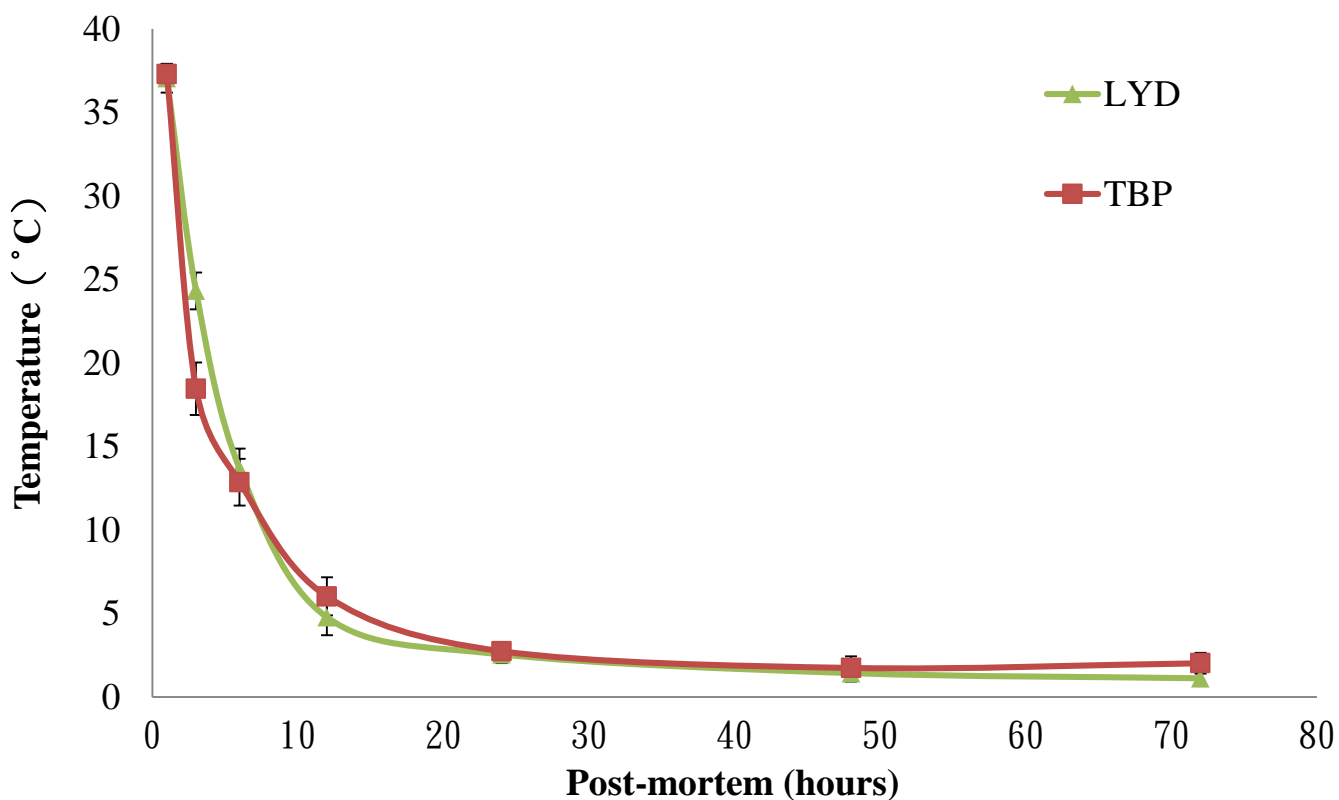
### (一) 溫度變化

溫度變化在第 3 小時 LYD 比 TBP 高 ( $P < 0.05$ ) 與第 12 小時 TBP 較 LYD 高 ( $P < 0.05$ )，在其他時間沒有明顯差異，如圖十六。在 D'Souza *et al.* (1998) 報告指出，使用不同屠宰方式之豬隻，屠體在屠宰 24 小時後，溫度變化無顯著不同，而本試驗之 LYD 及 TBP 溫度變化在屠宰 24 小時後差異不顯著，此結果與其相同。陳等 (2007) 報告中指出，當半邊屠體較厚時，在預冷室內冷空氣降低屠體溫度之作用較為緩慢所致。在蘇 (2004) 報告中提到，TBP 背最長肌明顯較 LYD 小，而背脂厚度及粗脂肪含量較 LYD 高。表示 LYD 之腰眼面積明顯大於 TBP，且屠中脂肪會明顯影響屠體降溫，Okeudo and Moss (2005) 報告中提到，背脂厚度及總脂肪含量與降溫成負相關，使得背最長肌在屠後前 6 小時降溫較 TBP 慢。因 TBP 中脂肪含量較高，進而影響貯藏 12 小時後降溫速度沒 LYD 快而產生差異。

### (二) 酸鹼值 (pH value)

貯存期間，TBP 之酸鹼值隨著時間增加顯著下降 ( $P < 0.05$ )，而 LYD 在屠後第 24 小時最低。在貯存 24 小時後，TBP 顯著較 LYD 低 (圖十七)。不同性別比較下，閹公豬與女豬間沒有顯著差異，但閹公豬有較高於女豬之趨勢(圖十八)。在潘 (2009) 及黃 (2011) 報告中都提到臺灣黑豬 pH 明顯都較 LYD 低，閹公豬之 pH 值也明顯高於女豬。

陳 (1997) 指出，豬隻屠宰後，肌肉中原本所需之氧氣停止供應，肌肉中肝醣進行無氧糖解作用 (肝醣 + 3ADP + 3 磷酸  $\rightarrow$  2 乳酸 + 3ATP + 2H<sub>2</sub>O)，使得肌肉內乳酸堆積，造成肌肉之酸鹼值下降，活體肌肉組織之 pH 值約在 7.4，屠宰後 pH 值緩慢降至 5.6~5.7，本試驗之 TBP 在 72 小時內 pH 介於 5.85~5.41 之間，而 LYD 介於 5.99~5.78 之間，LYD 屬正常 pH 值範圍。本試驗 TBP 之 pH<sub>1h</sub> 為 5.72，pH<sub>24h</sub> 為 5.47，在 Marta *et al.* (2010) 指出屠後 pH<sub>2h</sub> < 5.8 為 PSE 豬肉之參考依



TBP <sup>1</sup>	A	B	C	D	E	F	F
LYD <sup>1</sup>	A	B	C	D	E	EF	F
TBP & LYD <sup>1</sup>	NS	*	NS	*	NS	NS	NS

圖十六、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時在溫度之變化。

Figure 16. Temperature changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle at 0°C for 72 hours.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1 *longissimus dorsi* muscle; LYD: LYD pig *longissimus dorsi* muscle.

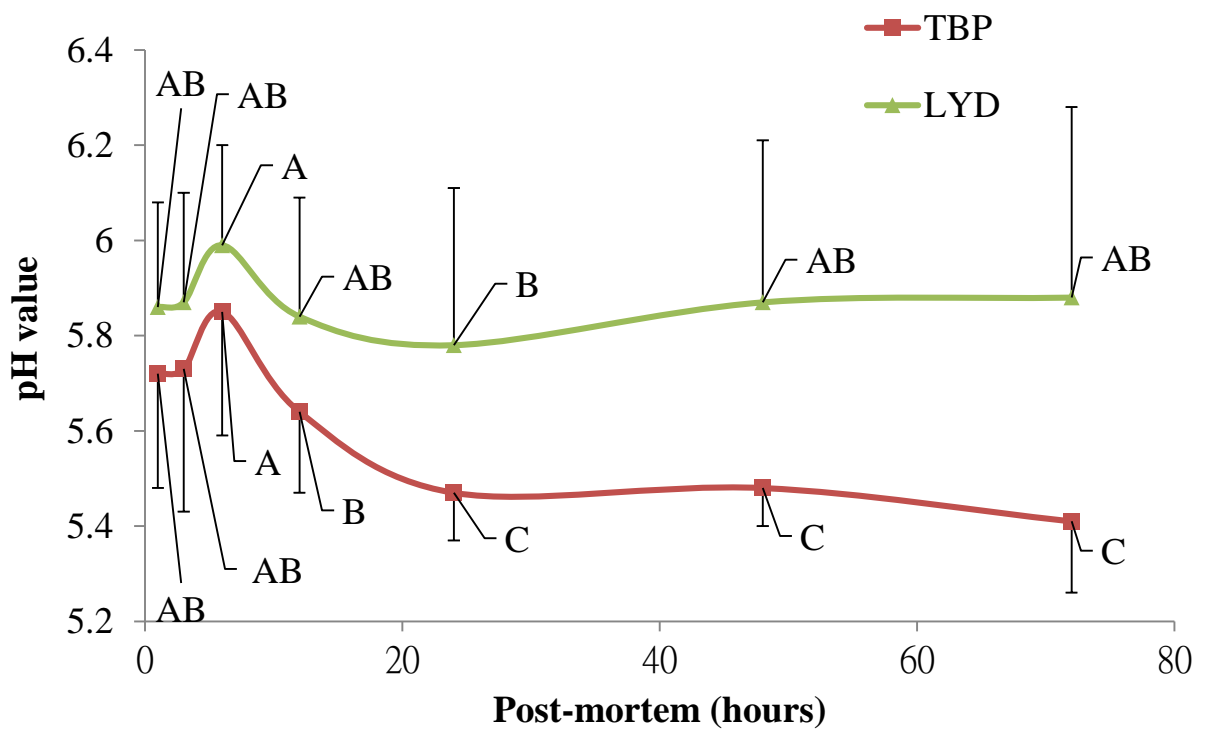
<sup>A-F</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference (P<0.05).

\* In the same hour indicate significant difference (P<0.05).

NS: No significant difference.

據，TBP 偏向 PSE 豬肉現象。本試驗之 TBP 含 25% 桃園豬種，王等（1998）指出，小耳種迷你豬與梅山豬及桃園豬種同為中國江海型豬種，而小耳迷你豬帶緊迫敏感因子之比例較高。不同品種豬種其屠後酸鹼值表現，依豬隻屠宰之緊迫反應有所不同，進而使得屠後肝糖代謝程度不同，造成酸鹼值不同（鄭，2003）。而黃（1997）報告指出，不同豬種之  $pH_{24h}$  由高至低分別為：約克夏、杜洛克、雜交豬、藍瑞斯、黑毛豬。顏等（1997）提到，台灣各地區黑豬之遺傳形質分析，嘉義黑豬核內遺傳形質與漢布夏有高度相似性（0.94），漢布夏為易緊迫豬種，而緊迫基因（Rendement Napole, RN）為單一顯性基因（LeRoy *et al.*, 1990），不論純合子或雜合子帶有此基因時，肌肉內肝糖含量較高，其屠後轉換成乳糖，使得最終酸鹼值較正常值低（Fernandez *et al.*, 1992；Monin *et al.*, 1995；Miller *et al.*, 2000），潘（2009）報告指出，台灣黑豬較 LYD 含有較高之總糖含量，推測可能 TBP 肝糖含量較高，且可能含有一定比例之緊迫基因，使屠後乳糖生成多於 LYD，導致 TBP 酸鹼值低於 LYD。





Hour	1	3	6	12	24	48	72
TBP & LYD <sup>1</sup>	NS	NS	NS	NS	*	*	*

圖十七、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於0°C貯存72小時在酸鹼值之變化。

Figure 17. pH value changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 72 hours.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>A-C</sup> Differences in comparing with different hours in the same breed.

\* In the same hour indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.

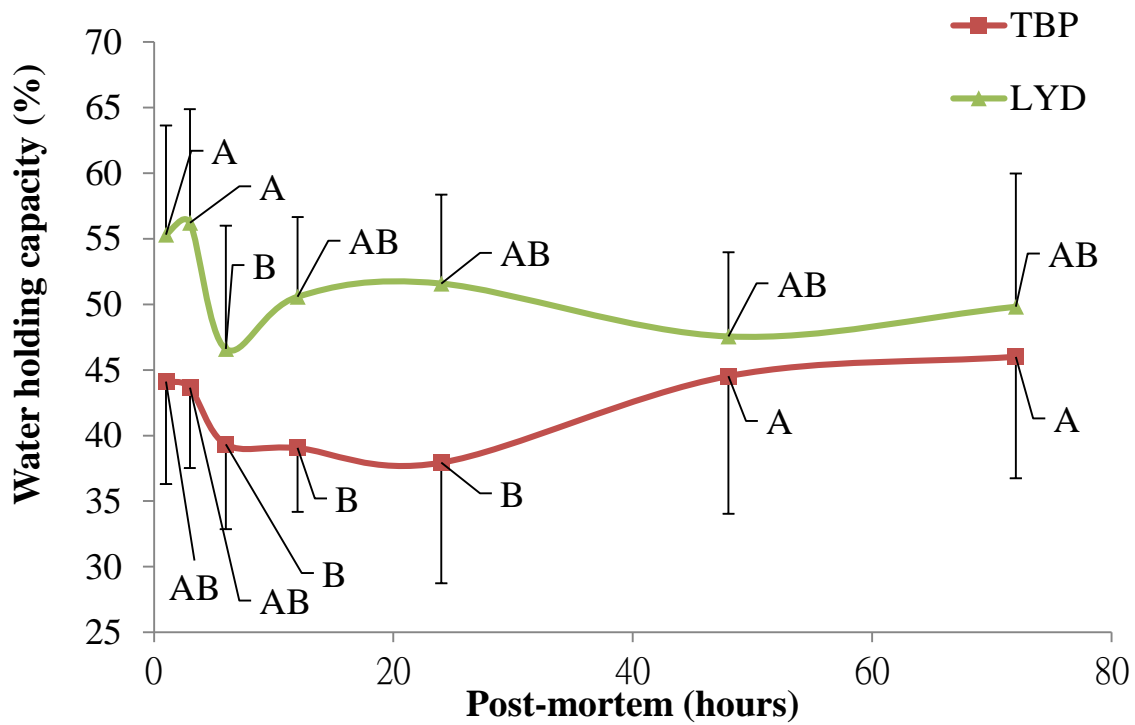
### (三) 保水力 (Water holding capacity)

在本試驗貯存期間，TBP 部分於屠後第 24 小時保水力最低，而 LYD 部分屠後第 6 小時保水力最低。TBP 與 LYD 於屠後 24 小時內，TBP 保水力明顯較 LYD 低 ( $P < 0.05$ ) (除第 6 小時外)，但在屠後 48 小時後兩者間則無顯著差異 (圖十八)。

保水力應與 pH 值呈現正相關，陳 (1997) 提到肌肉酸鹼值高於 5.8 時，屠肉之保水力會明顯增加，本試驗 LYD 酸鹼值均高於 5.8，高 pH 值之 LYD 保水力明顯高於 TBP，其相關性為 0.37 ( $P < 0.05$ )，此結果亦與潘 (2009) 相同。在林 (2004) 報告指出，不同僵直情況豬隻於屠後 45 分鐘，背最長肌僵直狀況越明顯者，其保水力明顯越低，但屠後 24 小時，僵直狀況較低及中間者，其保水力有趨於相同之結果。

保水力與緊實度呈現正相關 ( $r = 0.28$ )，本試驗之 TBP 緊實度有低於 LYD 之趨勢 ( $P > 0.05$ )，屠後肌肉結構完整性最終會影響屠肉整體品質與功能性，肌動蛋白與肌球蛋白為屠肉主要形成晶格的肌肉蛋白，肌球蛋白結合肌動蛋白使得肌肉收縮，形成死後僵直，低 pH 值及高溫環境使得肌球蛋白變性，肌原纖維蛋白功能性減少，造成軟嫩的新鮮豬肉質感 (Huff-Lonergan *et al.*, 2002)。

在品種部分，Suzuki *et al.* (2003) 報告中指出，豬隻含杜洛克基因比例高者，屠後第 48 小時滴水失重較多，本試驗結果與此結論相符，畜試黑豬一號 (杜洛克 75%)，三品種雜交豬 (杜洛克 50%)。Ress *et al.* (2003) 也提到，豬肉之背最長肌之酸鹼值下降較快者，其滴水失重明顯較高。陳 (1997) 指出，當肉酸鹼值到達肉之等電點 ( $pI = 5.5$ ) 時，肌纖維分子結構改變，肌肉含水能力達到最低，使得游離水增加及保水力下降現象。部份報告提到 (Morrison *et al.*, 1998; Melody *et al.*, 2004; Huff-Lonergan and Lonergan, 2005; Bee *et al.*, 2007) 一個假說，蛋白質水解重要肌肉蛋白 (Desmin、Vinculin 與 Talin) 會使 WHC 損失縮到最小，減少肌肉屠後橫向收縮之影響 (Diesbourg 通道尺寸，使得滴水失重增加 (Zhang *et*



Hour	1	3	6	12	24	48	72
TBP & LYD <sup>1</sup>	*	*	NS	*	*	NS	NS

圖十八、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時在保水力之變化。

Figure 18. Water holding capacity changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 72 hours.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>A, B</sup> Differences in comparing with different hours in the same breed.

\* In the same hour indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.

*al.*, 2006)。

#### (四) 蒸煮失重 (Cooking loss)

在貯存 72 小時期間，TBP 蒸煮失重在第 12 小時最高，第 72 小時最低。LYD 在第 1 小時最高，第 48 小時最低。兩者間在第 3、12 與 48 小時 TBP 較 LYD 高 ( $P < 0.05$ )。

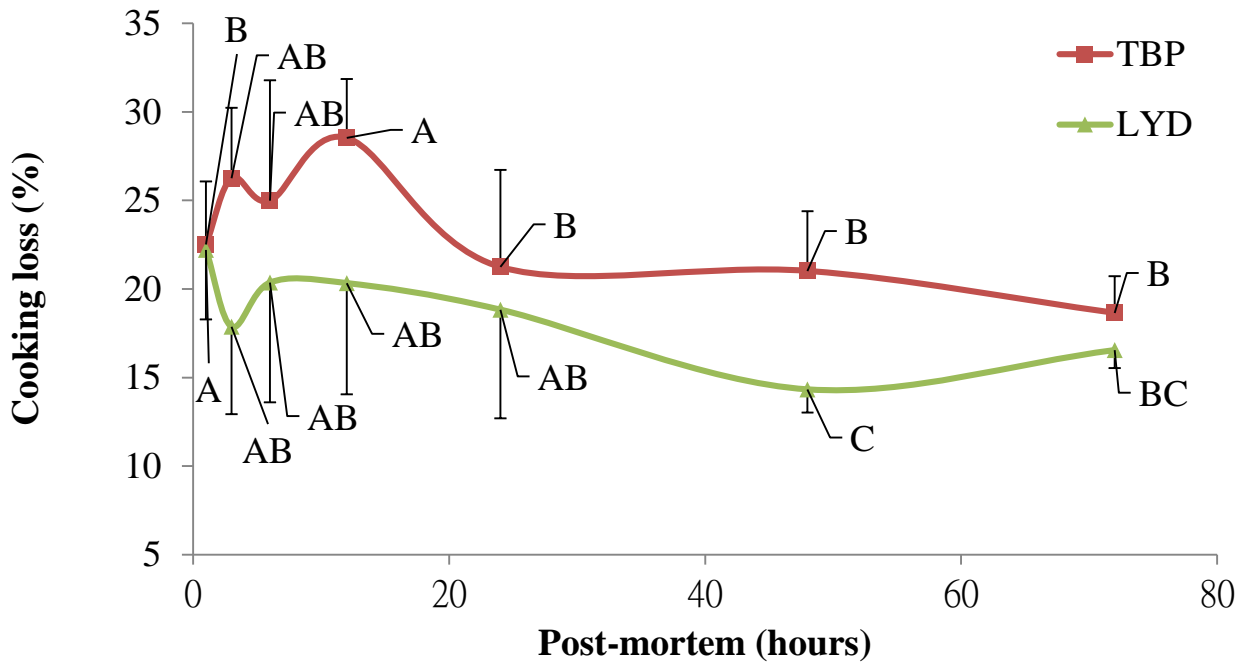
蒸煮失重主要是肉在烹煮過程中，液體與水溶性物質流失造成 (Heyman *et al.*, 1990)。蒸煮失重與粗脂肪含量及大理石紋評分呈現正相關 ( $r = 0.25$  及  $0.43$ )，TBP 與 LYD 之粗脂肪含量在 3.67% 及 1.1%，在 Daszkiewicz *et al.* (2005) 報告指出，粗脂肪含量 3.28% 以上時 IMF  $> 3\%$ 。當肌肉間脂肪含量高者 (IMF  $> 2.2\%$ )，烹煮之中心溫度在 60°C 與 70°C 時蒸煮失重較低，中等 ( $1.4\% < \text{IMF} < 2.2\%$ ) 及少量 (IMF  $< 1.4\%$ ) 肌肉間脂肪者，則無顯著差異 (Aaslyng *et al.*, 2003)。而本試驗 TBP 屬於高 IMF 含量豬種，烹煮之中心溫度為 72°C，但分析結果 TBP 蒸煮失重較 LYD 高，表示 TBP 之低 WHC 結果影響大於 TPB 有較高 IMF 之優勢，使得 TBP 之蒸煮失重較 LYD 高。

蒸煮失重隨著貯存時間有下降之趨勢 (圖十九) 與貯存時間呈現負相關 ( $r = -0.38$ )，隨著屠宰後肌肉 pH 值降低，肌肉保水力也隨之下降，直到 pH 值接近等電點為止，豬肉點電等約在 5.2~5.3 之間 (Honikel, 1987)。

先排除因滴水失重而造成蒸煮失重減少的屠後 24~72 小時，屠後 12 小時，蒸煮失重與酸鹼值相關性達 -0.37 ( $P < 0.001$ )，Aaslyng *et al.* (2003) 報告指出，不同酸鹼值之豬肉，不管任何烹煮溫度 (190°C 或 90°C)，在同樣中心溫度下 (70°C)，低酸鹼值之蒸煮失重較高，且在相同加熱溫度下，杜洛克豬種蒸煮失重較漢布夏豬種低。在所有烹煮溫度下，酸鹼值最低 (pH  $< 5.4$ ) 或 WHC 最低者 (高滴水失重及高解凍損失) 有顯著較高蒸煮失重。本試驗之 TBP 與 LYD 結果呈現蒸煮失重與酸鹼值成負相關。

另 Bertram *et al.* (2003) 等報告中提到，不同基因組 (RN<sup>-</sup>/rn<sup>+</sup> 與 rn<sup>+</sup>/rn<sup>+</sup>) 豬

隻 (Hampshire/Duroc 公畜與 Landrace/Yorkshire 母畜交配) 在屠後 24 小時,  $RN^-/rn^+$  組在蒸煮失重及滴水失重明顯比  $rn^+/rn^+$  組高, 而在  $pH_u$  時,  $RN^-/rn^+$  組較  $rn^+/rn^+$  組低。在 Enäfl *et al.* (1997)、Lundström *et al.* (1998) 與 Jonsäll *et al.* (2001) 等報告中也提到, 含有  $RN^-$  基因豬隻, 都呈現低  $pH_u$  值、高滴水失重與蒸煮失重現象。



Hour	1	3	6	12	24	48	72
TBP & LYD <sup>1</sup>	NS	NS	NS	*	NS	*	NS

圖十九、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時在蒸煮失重之變化。

Figure 19. Cooking loss changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 72 hours.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>A-C</sup> Differences in comparing with different hours in the same breed.

\* In the same hour indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.

#### (五) 剪力值 (Shear value)

貯存 72 小時期間，TBP 在屠後 6 小時開始解僵，隨貯存時間增加而明顯下降，到 72 小時達到最低。LYD 則在屠後 12 小時開始解僵，到 72 小時達到最低。TBP 與 LYD 在屠後 24 小時內，TBP 顯著較 LYD 有較低之剪力值（除第 6 小時外）（ $P < 0.05$ ），而屠後 48 小時之後，TBP 與 LYD 兩者間則無顯著差異（圖二十）。屠後 TBP 與 LYD 剪力值呈現先增後減現象，原因為屠後肌肉僵直造成剪力值上升，TBP 在第 6 小時達最高，而 LYD 在第 12 小時達最高，屠後剪力值降低兩者皆有明顯下降現象，以 LYD 下降幅度最大。

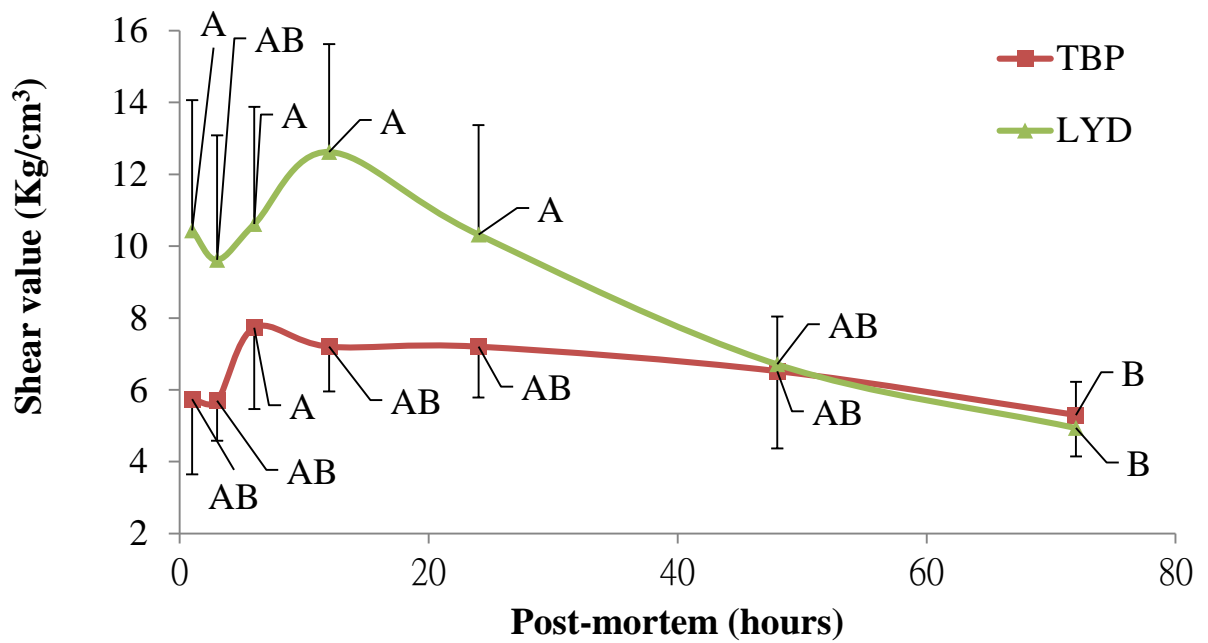
LYD 在屠後 12 小時，剪力值明顯下降，原因可能是屠肉處於較高酸鹼值環境，使得蛋白酶活性沒有減弱，持續嫩化肌肉。Mikanci *et al.* (1987) 提到，當 pH 值位於 5~6 時，Cathepsin L 會裂解 myosin heavy chain、Troponin T、I、titin、nebulin、 $\alpha$ -actinin、Tropomyosin 與 actin 等。

剪力值為嫩度參考依據，隨著屠後時間之增加，肌肉會經過僵直及解僵之過程，而影響肌肉解僵之因素很多，如：品種、溫度、肌肉酸鹼值、蛋白質分解酵素活性及時間等等，此外還有肌肉中脂肪含量及肌纖維大小等物理因素。TBP 於僵直前，其剪力值就明顯較 LYD 低，其原因與粗脂肪含量及肌纖維粗細有關。剪力值與粗脂肪呈現負相關（ $r = -0.24$ ），剪力值與脂肪含量之關係在 Wood *et al.* (1999) 指出，豬隻之大理石紋中脂肪與嫩度有高度相關，鄭(2003)與潘(2009)報告中也有相同結論。Crouse *et al.* (1991)、王(2003)及潘(2009)報告中另提到肌纖維之粗細對剪力值之影響，肌纖維越細者其剪力值越低，臺灣黑豬之肌纖維較 LYD 細，剪力值也明顯較低，與本試驗 TBP 與 LYD 相比較結果相符。但也有其他報告 (Bossleman *et al.*, 1995; Corino *et al.*, 2008) 提到，當豬隻因飼養時間增加，雖肌肉內脂肪含量增加，其結締組織也會隨之增加，反而會造成剪力值升高。

本試驗之剪力值與時間呈現負相關（ $r = -0.36$ ），在 Wheeler *et al.*, (1994) 杜

洛克之 Longissimus dorsi (LD) 在屠後第 24~120 小時，剪力值明顯降低 (Melody *et al.*, 2004)。綿羊之 LD 在屠後第 0 到 3 小時，剪力值沒有顯著變化 (肌肉縮短約 11%)，3 小時之後剪力值一直增加到第 9 小時 (肌肉縮短約 23%)，第 9、12 (肌肉縮短約 22%) 或 24 (肌肉縮短約 25%) 小時之間無顯著差異，剪力值從第 24 小時持續下降至第 14 天，與文獻結論可證明屠後剪力值變化與時間有明顯負相關。





Hour	1	3	6	12	24	48	72
TBP & LYD <sup>1</sup>	*	*	NS	*	*	NS	NS

圖二十、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時在剪力值之變化。

Figure 20. Shear value changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 72 hours.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>A, B</sup> Differences in comparing with different hours in the same breed.

\* In the same hour indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

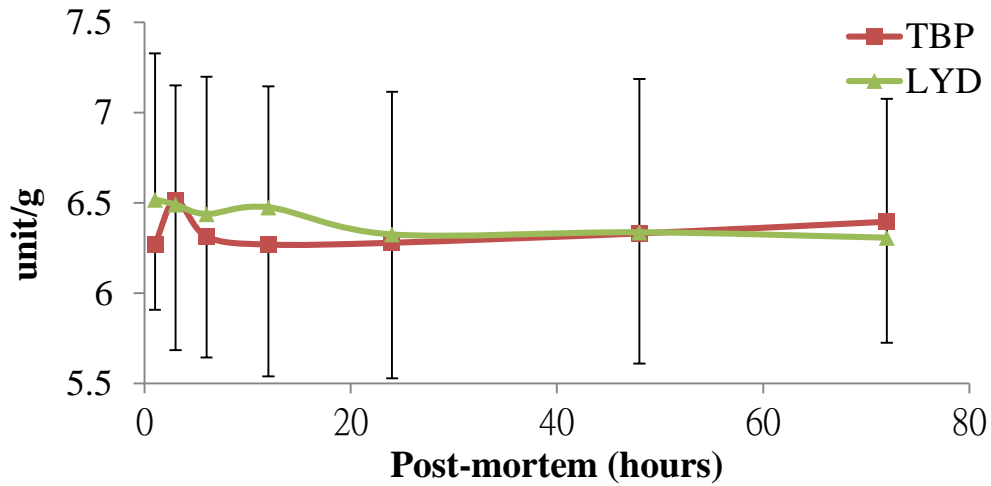
NS: No significant difference.

#### (六) $\mu$ -calpain 與 m-calpain 活性

本試驗之  $\mu$ -calpain 活性在貯存於 0°C 在 72 小時內，TBP 與 LYD 間無顯著差異，且隨貯存時間增加也沒有顯著差異。m-calpain 結果顯示與  $\mu$ -calpain 結果相同。TBP 與 LYD 貯於 0°C 在 72 小時內， $\mu$  與 m-calpain 活性並沒有太大變化，如圖二十一。

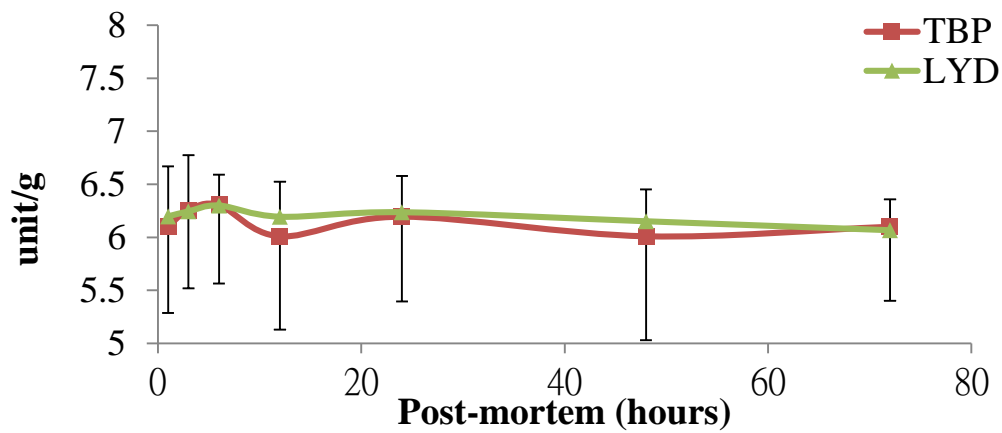
Calpain 可能為蛋白酶家族在肌肉科學中最廣泛研究及接受，calpain 活性的確有助於肌肉嫩化(Sentandreu *et al.*, 2002; Koohmaraie and Geesink, 2006)。Veiseth *et al.* (2001) 報告指出，綿羊之 LD 在  $\mu$ -calpain 及 m-calpain 貯存於 4°C 在 72 小時內之變化， $\mu$ -calpain 在屠後 3 小時內無顯著變化，第 72 小時之  $\mu$ -calpain 活性剩下 5.4%，而 m-calpain 則無明顯變化。Ilian *et al.* (2004) 將綿羊之 *m. longissimus thoracis et lumborum* 貯存在 2°C 下， $\mu$ -calpain 活性在第 1 天及第 2 天分別損失 50% 及 85%。Devine (2004) 指出，抑制 calpain 活性之抑制酶 calpastatin 有 pH 值的依賴性，在 pH 值 7.5 時 calpastatin 活性最佳，而屠肉肌肉之 pH 值大都在 5.8 以下，使得 calpastatin 活性降低，此結果可以解釋  $\mu$  與 m-calpain 活性可以活躍在屠後肌肉之 pH 值 5.5~5.8 原因。上述報告都指出  $\mu$ -calpain 活性與屠後嫩度有相關。另林 (2013) 報告中提到，臺灣黑豬之腰大肌貯存於 5°C 之  $\mu$ -calpain 在屠後第 0 之 3 天之間僅緩慢減少，到屠後第 7 天才明顯減少，而 m-calpain 貯存 14 天沒有顯著變化。而本試驗之  $\mu$ -calpain 及 m-calpain 活性在貯存 72 小時內沒有明顯下降，持續在貯存期間對肌纖維造成嫩化作用，且以高 pH 值之 LYD 嫩化效果較明顯。

(A)  $\mu$ -calpain 活性



Hour	1	3	6	12	24	48	72
TBP & LYD <sup>1</sup>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

(B) m-calpain 活性



Hour	1	3	6	12	24	48	72
TBP & LYD <sup>1</sup>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

圖二十一、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時在 (A)  $\mu$ -calpain 活性與 (B) m-calpain 活性之變化。

Figure 21. (A)  $\mu$ -calpain activity and (B) m-calpain activity changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 72 hours.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

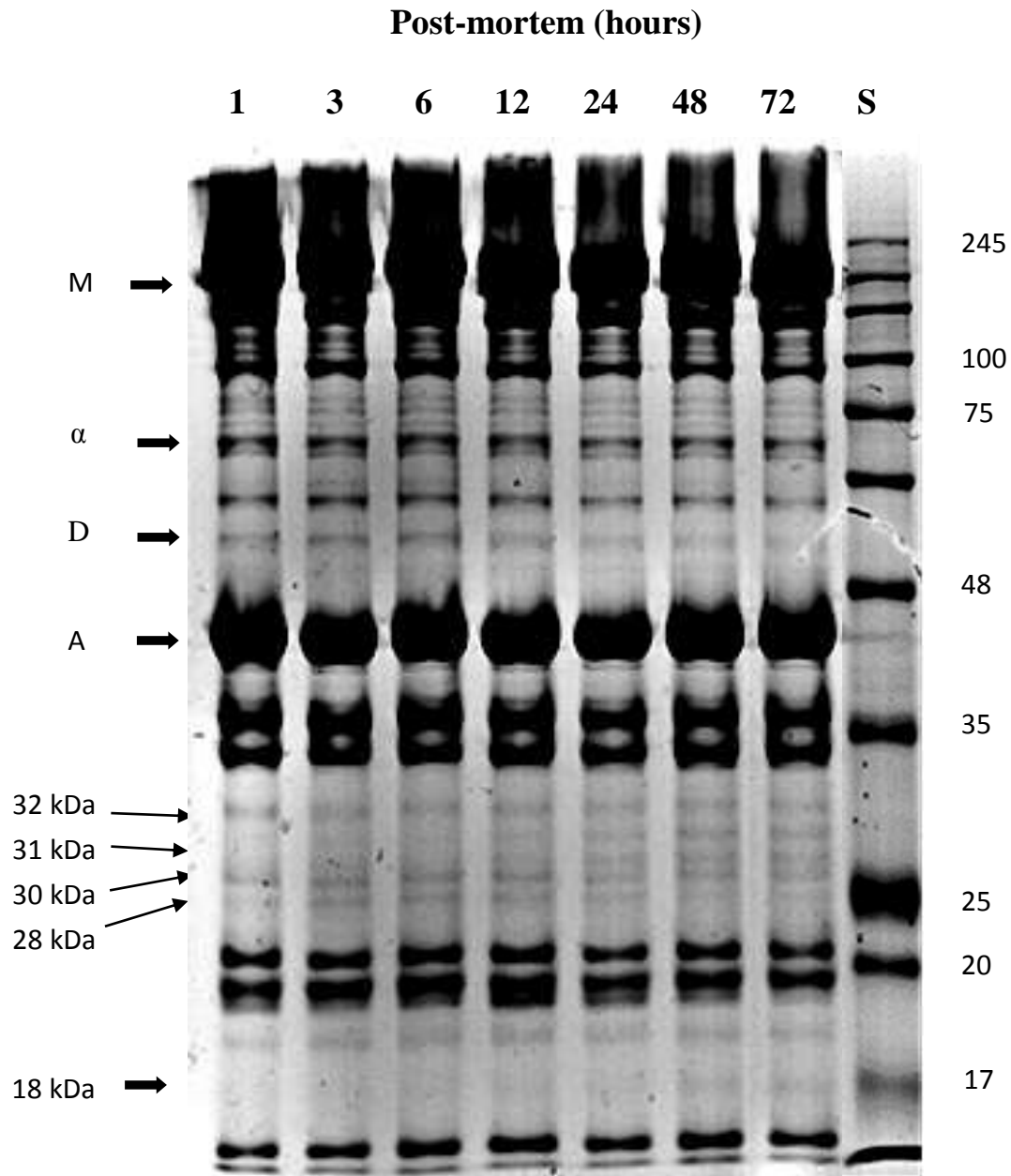
.NS: No significant difference.

### (七) 肌纖維降解 (Myofibrillar degradation)

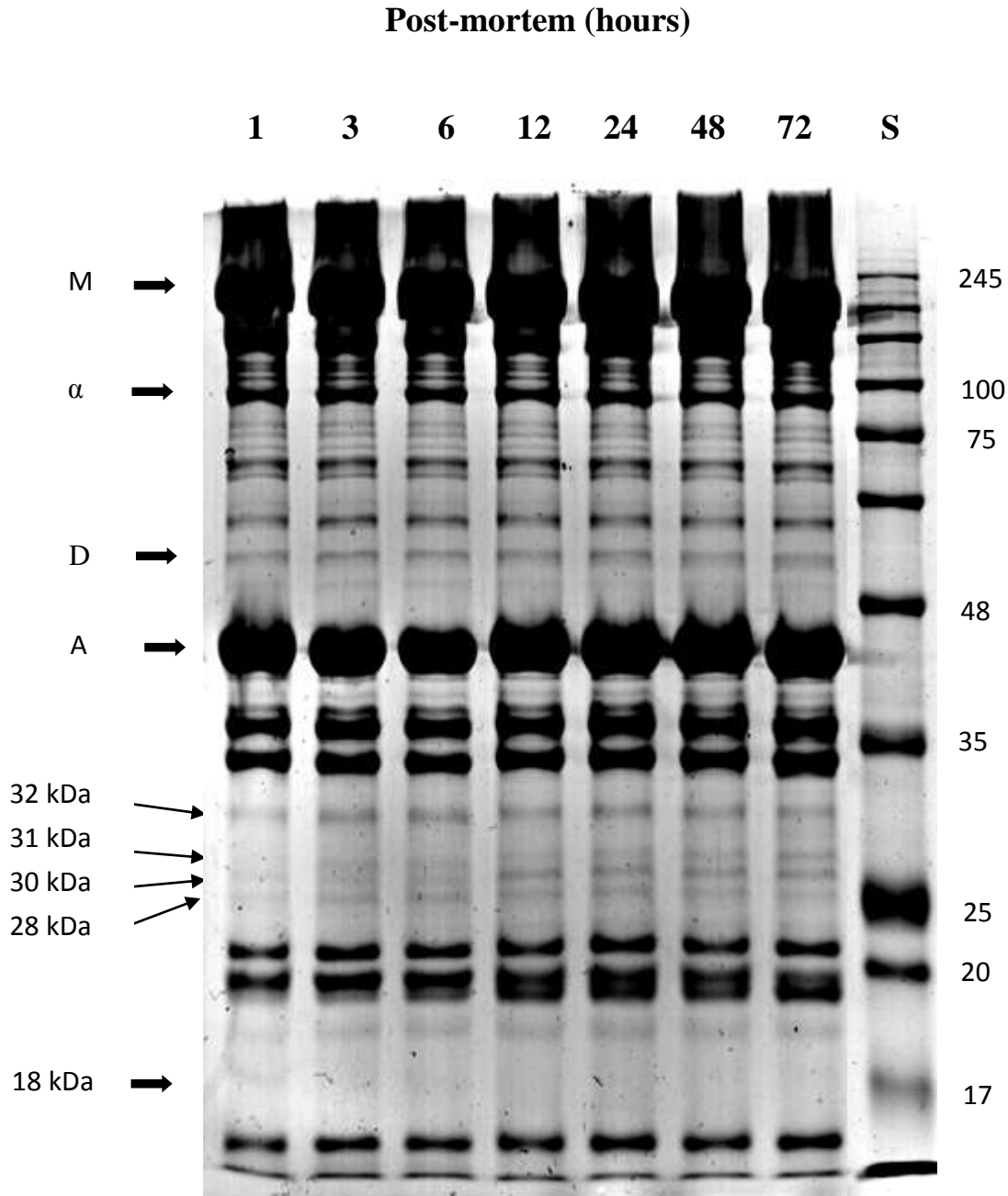
在本試驗貯存期間，TBP 之 desmin 在第 24 小時之後明顯減少，LYD 在貯存期間則無明顯變化。而 TBP 之 desmin 量減少較 LYD 明顯 (圖二十二與二十三)，Ilian *et al.* (2004) 指出，綿羊之背最長肌貯存在 2°C 下，屠後兩天內 desmin 沒有明顯減少，屠後第三天及第五天分別減少 33% 及 71%。Huff-Lonergan *et al.* (1996) 報告指出，低剪力值牛肉之 desmin 含量降解速度比高剪力值牛肉快。另 Maddock Carlin *et al.* (2006) 報告中提到，calpastatin 會減緩蛋白質酵素活性，進而造成 desmin 降解減緩，而 calpastatin 活性於高 pH 值環境下較活躍，使得高 pH 值環境 desmin 降解會延緩，而本試驗之 LYD 剪力值及 pH 值明顯高於 TBP，與 LYD 之 desmin 降解較 TBP 慢結果相符。

TBP 於屠後 48 小時出現明顯肌纖維蛋白質水解物 31 與 30 kDa (圖二十二)。而 LYD 於屠後第 24 小時明顯出現肌纖維蛋白質水解物 31 與 30 kDa，隨著貯存時間增加 31 與 30 kDa 濃度也增加 (圖二十三)。LYD 之蛋白質水解產物 32 到 28 kDa 較 TBP 快出現，LYD 之肌纖維降解產物 (31 與 30 kDa) 在第 24 小時明顯出現與剪力值開始明顯下降有關。而 TBP 在 48 小時剪力值才緩慢下降，也與肌纖維降解產物 (31 與 30 kDa) 有關。Koochmaraie (1988) 提到，蛋白酶為影響屠後肌肉蛋白質水解與肌肉嫩化之主因，蛋白酶促使肌肉纖維破裂，進而降低肌肉之剪力值，與本試驗之肌纖維降解結果與剪力值結果相符。

另 Huff-Lonergan *et al.* (1996) 以 Troponin-T 單株抗體試驗，可觀察到主要兩個亮帶 (30 與 28 kDa) 隨著屠後貯存時間增加。林等 (2013) 在盤克夏豬與臺灣商業黑豬後腰大肌低溫貯存 14 天後，隨 Troponin-T 之降解明顯產生 30 kDa 產物，而盤克夏豬在 30 kDa 降解成分之產生與累積較臺灣商業黑豬為快，可做為嫩化之依據。本試驗結果與 Huff-Lonergan *et al.* (1996) 及林等 (2013) 報告中提到結果相符。



圖二十二、畜試黑豬一號之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時之肌纖維蛋白之變化。  
 Figure 22. Myofibrils protein changes of TBP *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 72 hours, S: molecular weight standard proteins (245, 180, 135, 100, 75, 63, 48, 35, 25, 20 and 17 kDa). Abbreviations: M = myosin heavy chain;  $\alpha$  =  $\alpha$ -actinin; D = desmin; A = actin.

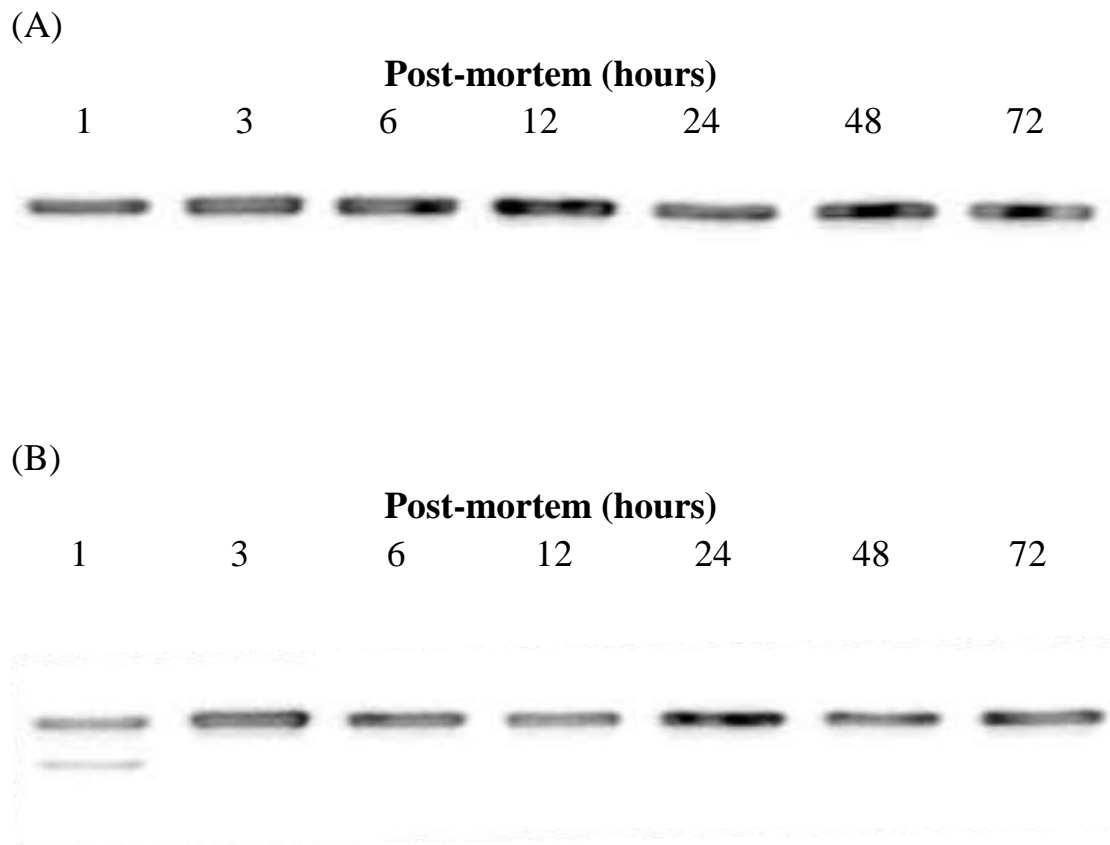


圖二十三、三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時之肌纖維蛋白之變化。

Figure 23. Myofibrils protein changes of LYD *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 72 hours, S: molecular weight standard proteins (245, 180, 135, 100, 75, 63, 48, 35, 25, 20 and 17 kDa). Abbreviations: M = myosin heavy chain;  $\alpha$  =  $\alpha$ -actinin; D = desmin; A = actin.

#### (八) $\alpha$ -actinin 之變化

TBP 及 LYD 在貯存 72 小時過程中，TBP 之  $\alpha$ -actinin 含量較 LYD 高，但  $\alpha$ -actinin 含量沒有隨貯存時間增加而減少(如圖二十四)。 $\alpha$ -actinin 為肌纖維 Z-desk 之主要結構蛋白，沒有隨著剪力值下降而產生變化，推斷在屠後初期嫩化階段， $\alpha$ -actinin 無法當作嫩化的指標。此結果與 Richard *et al.* (1995) 之報告中提到，屠後貯存前三天，當肌肉發生嫩化時，在已知 Z-desk 上之蛋白質，只有少數或沒有蛋白質降解產生，結果與本實驗相仿。在牛肉貯存報告中提到， $\alpha$ -actinin 貯存在 2°C 兩週，沒有偵測到有降解情形 (Hwan and Bandman, 1989)。 $\alpha$ -actinin 主要經過長期貯存，才會被 Cathepsins 降解，主要報告出現於醃漬火腿及肌肉熟成 (Robbins *et al.*, 1979; Mikanci *et al.*, 1987; Zeece *et al.*, 1992; Toldrá *et al.*, 1995; García-garrido *et al.*, 2000)，故在本試驗 72 小時貯存其間， $\alpha$ -actinin 降解結果不明顯。



圖二十四、西方點墨法分析 (A) 畜試黑豬一號與 (B) 三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存 72 小時，肌原纖維蛋白中  $\alpha$ -actinin 之變化。

Figure 24. Western-blot analysis of  $\alpha$ -actinin in myofibrillar proteins prepared from (A) TBP and (B) LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 72 hours.



### 三、熟成四週之肉質變化

#### (一) 酸鹼值 (pH value)

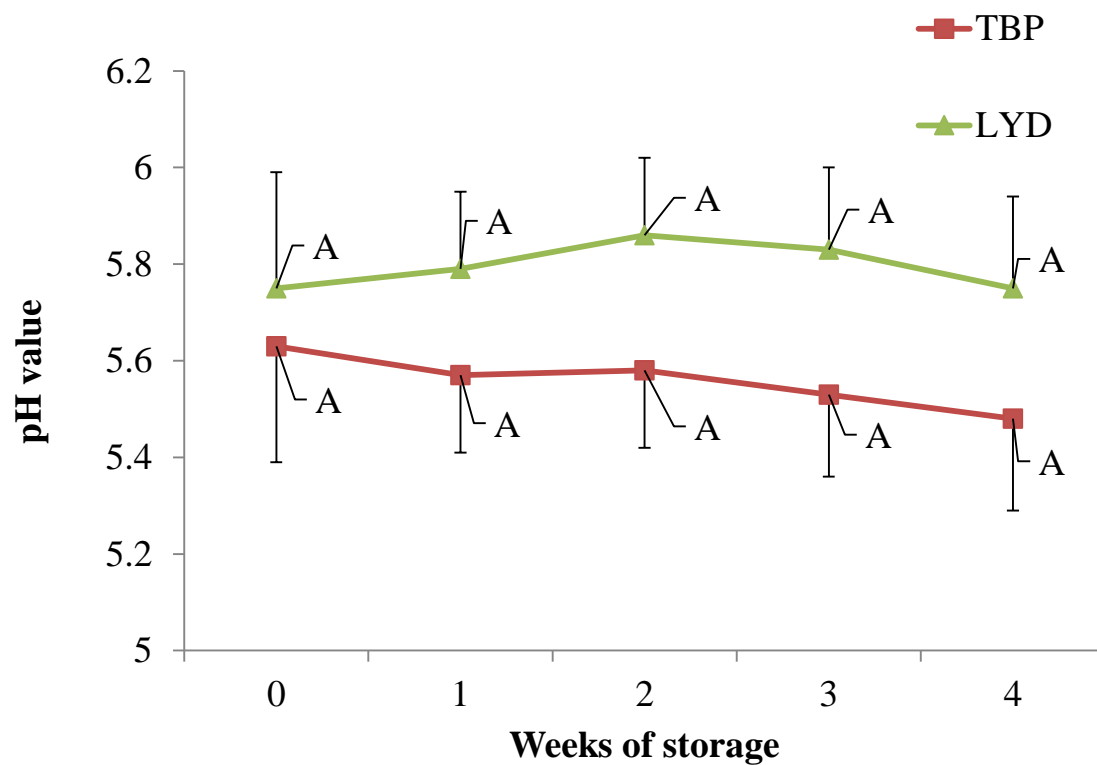
TBP 與 LYD 在低溫貯存過程中酸鹼值變化如圖二十五所示。TBP 顯著較低於 LYD ( $P < 0.05$ ) (第 0 與 1 週不顯著, 但 LYD 有較 TBP 高之趨勢); 而同豬種在貯存期間, TBP 及 LYD 在貯存週數上皆無顯著差異。本試驗之 TBP 在 72 小時內 pH 介於 5.85~5.41 之間, 而 LYD 介於 5.99~5.78 之間, LYD 屬正常 pH 值範圍。本試驗 TBP 之  $pH_{1h}$  為 5.72,  $pH_{24h}$  為 5.47, 在 Marta *et al.* (2010) 指出屠後  $pH_{2h} < 5.8$  為 PSE 豬肉之參考依據, TBP 偏向 PSE 豬肉現象, 而 PSE 之豬肉在貯存期間會持續處於較低之 pH 值。在長期真空貯存, 會造成乳酸菌之產生, 且在偏酸性環境下更有力於乳酸菌生長, 本試驗 TBP 屬於低 pH 值, 推測為後其 pH 值降低之原因, 而 LYD 一直處於高 pH 值環境, 在低溫貯存其間, pH 值有上升顯著之趨勢, 其與食肉脂蛋白質自體水解作用, 造成蛋白質之淨電荷增加有關 (Boakye and Mittal, 1993)。

#### (二) 色澤 (CIE Lab)

TBP 與 LYD 在低溫貯存過程中色澤變化如圖二十六到二十八所示。在亮度值 ( $L^*$  value) 部分, LYD 在第 4 週時亮度值最高, 而 TBP 則無顯著差異, 兩者比較貯存 3 週內 TBP 顯著高於 LYD ( $P < 0.05$ ), 第 4 週之後兩者則無顯著差異。在紅色值 ( $a^*$  value) 部份, TBP 與 LYD 在第 1 週時最低, 第 4 週最高 ( $P < 0.05$ ), 而 TBP 與 LYD 兩者間無顯著差異, 但 TBP 有較高於 LYD 之趨勢; 在黃色值 ( $b^*$  value) 部分, TBP 與 LYD 隨著貯存時間增加,  $b^*$  有顯著升高, 在貯存 4 週內 TBP 顯著較高於 LYD ( $P < 0.05$ )。貯存週數與  $a^*$  及  $b^*$  呈現正相關 ( $r = 0.26$  及  $0.34$ ), 酸鹼值與  $L^*$ 、 $a^*$  及  $b^*$  呈現負相關 ( $r = -0.41$ 、 $-0.45$  及  $-0.56$ )。

豬肉中不同肌紅蛋白種類 (如: 去氧肌紅蛋白、氧合肌紅蛋白及變性肌紅蛋白) 含量會影響肉色 (陳, 1992)。屠肉以去氧包裝方式貯存不會改變其肉色, 而豬肉經過貯存後會增加其  $L^*$ 、 $a^*$  及  $b^*$  (Zhu and Brewer, 2001; Lindahl *et al.*,

2006)，與本試驗之  $a^*$  及  $b^*$  與貯存時間與呈現明顯正相關 ( $r = 0.26$  及  $0.34$ ) 之結果相仿。鄭 (2003) 指出，里脊肉中脂肪含量高時，脂肪會影響肌肉顏色，造成肌肉  $L^*$  升高與  $a^*$  降低，而本試驗之  $L^*$  與粗脂肪含量呈現正相關 ( $r = 0.51$ )。Fabrega *et al.* (2002) 指出，含有緊迫基因雜合子 (Nn) 豬之里脊肉較緊迫基因正常型 (NN) 有較高之  $L^*$ 、 $a^*$  及  $b^*$ ，其原因為含有緊迫基因豬滴水失重較高，而濃縮了肌肉之呈色所致。而本試驗之  $L^*$ 、 $a^*$  及  $b^*$  與 pH 值成負相關 ( $r = -0.37$ 、 $-0.3$  及  $-0.43$ )，TBP 之較低 pH 值造成表面滲水使得  $L^*$  上升，其表示 pH 值越接近等電點，肉中之自由水增加，亮度也隨之增加 (Brewer *et al.*, 2001)。



TBP & LYD <sup>1</sup>	NS	NS	*	*	*
------------------------	----	----	---	---	---

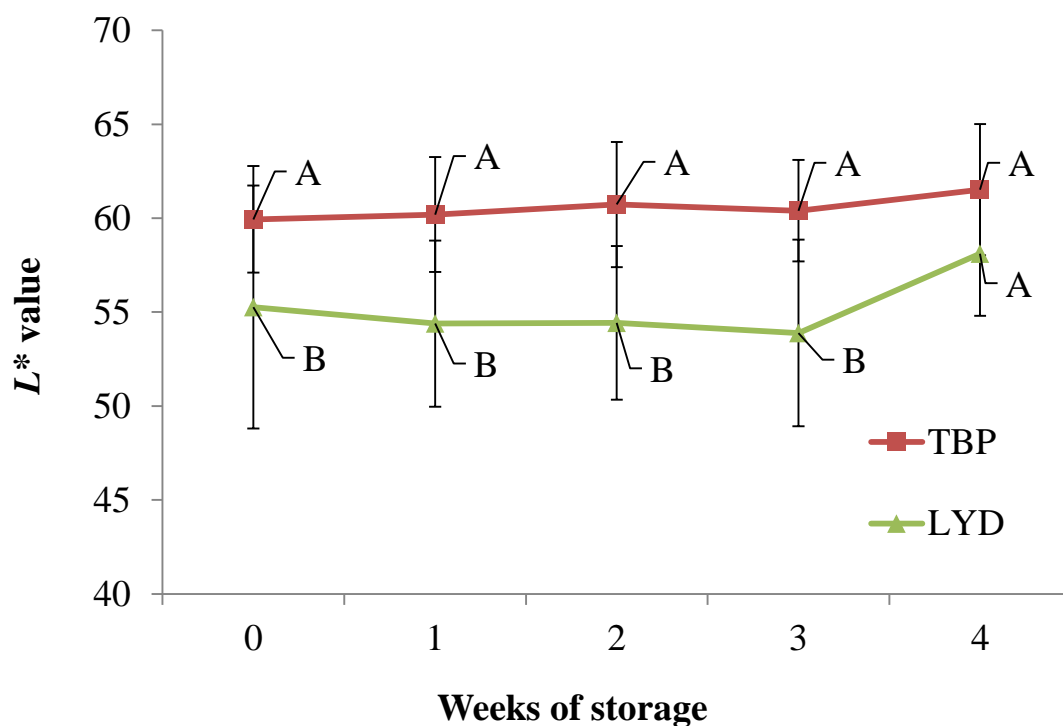
圖二十五、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週酸鹼值之變化。

Figure 25. pH value changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>1</sup>TBP: TLRI No. 1 black pig; LYD: LYD pig.

\* In the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.



TBP & LYD <sup>1</sup>	*	*	*	*	NS
------------------------	---	---	---	---	----

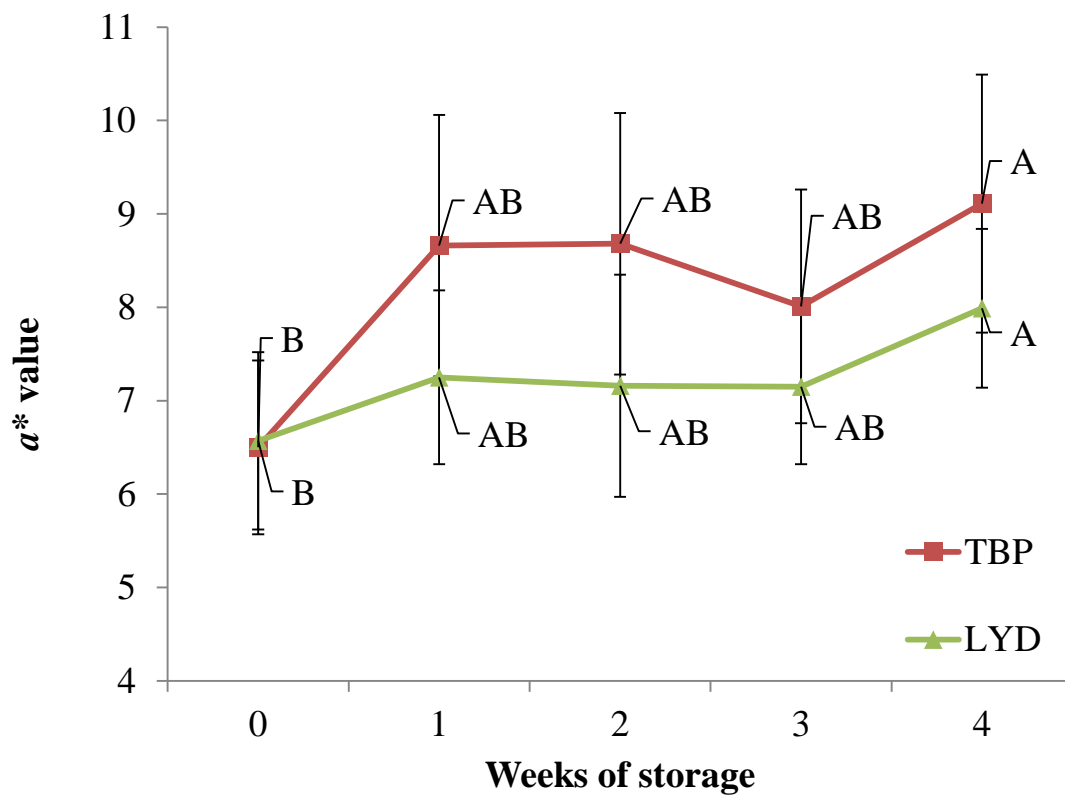
圖二十六、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週亮度值之變化。

Figure 26.  $L^*$  value changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>A, B</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

\* In the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.



TBP & LYD <sup>1</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
------------------------	----	----	----	----	----

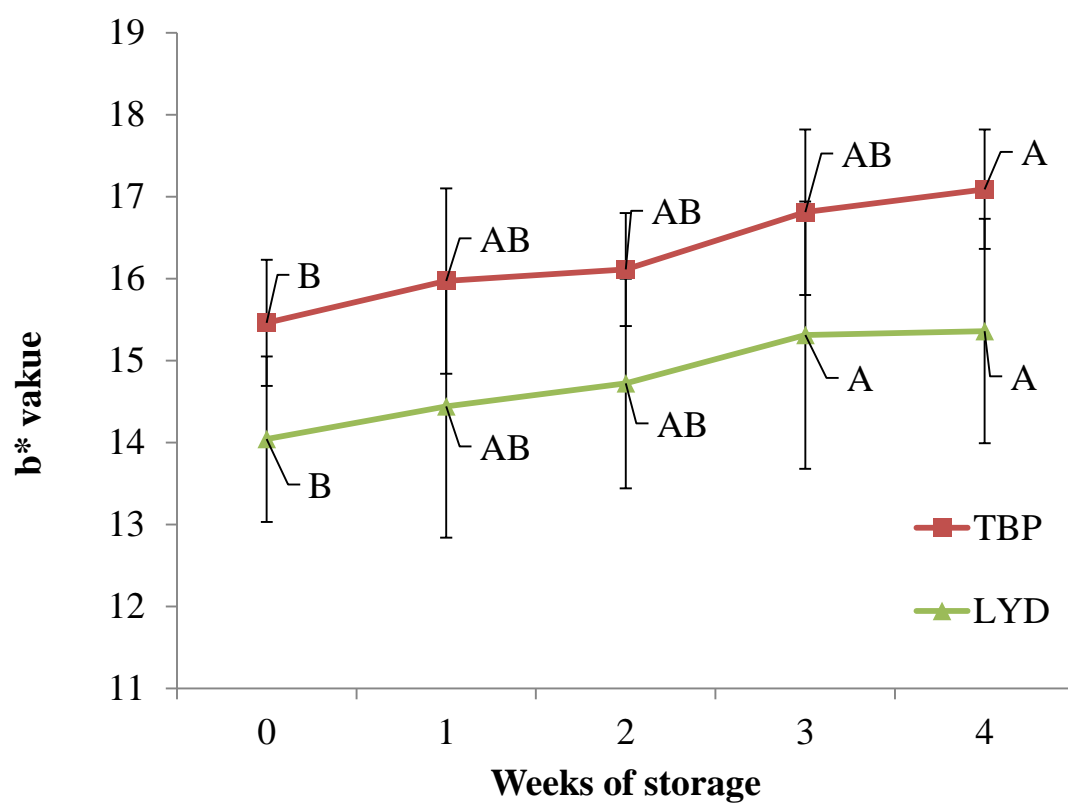
圖二十七、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週紅色值之變化。

Figure 27.  $a^*$  value changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>A, B</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

\* In the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.



TBP & LYD <sup>1</sup>	*	*	*	*	*
------------------------	---	---	---	---	---

圖二十八、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週黃色值之變化。

Figure 28.  $b^*$  value changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>A, B</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

\* In the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.

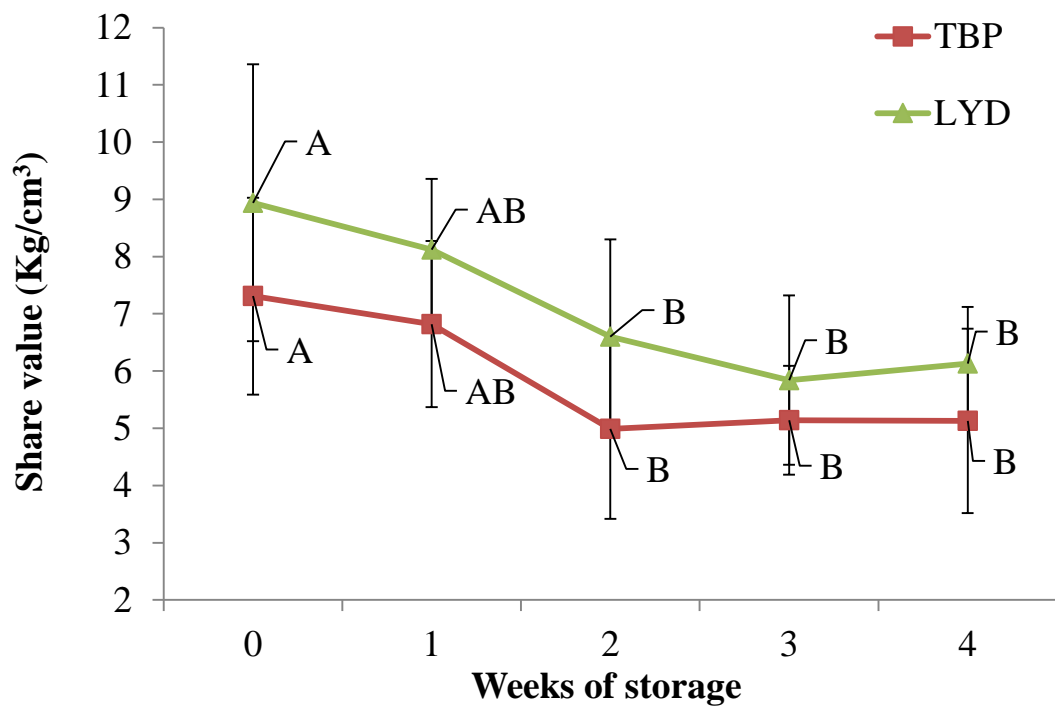
### (三) 剪力值 (Shear value)

貯存時間之剪力值變化如圖二十九。TBP 與 LYD 在第 2 週之後剪力值皆有顯著下降 ( $P < 0.05$ )。而 TBP 與 LYD 兩者間在週數上無顯著差異，但 LYD 剪力值有較 TBP 高之趨勢。就品種而言，Lonergan *et al.* (2001) 報告提到，以選拔瘦肉生長為主之豬種，其背最長肌在剪力值表現出較高數值，而本試驗 LYD (含藍瑞斯 25%、約克夏 25% 及杜洛克 50%)，TBP (含杜洛克 75%)，LYD 被育種為瘦肉型豬種，與本試驗之 LYD 剪力值於屠後初期較高於 TBP 之結果相符。

LYD 剪力值有高於 TBP 之趨勢 ( $P > 0.05$ )，其與脂肪含量及肌纖維數有關 (潘，2009)，本試驗之 TBP 粗脂肪含量較 LYD 高，且剪力值與粗脂肪含量呈現負相關 ( $r = -0.33$ )，在 Wood *et al.* (1999) 指出，當肌肉內脂肪含量高時，肌肉可能會呈現較低剪力值，而鄭 (2003) 也有相同之結果，另潘 (2009) 提到，肌束內肌纖維越細，剪力值會隨之降低，而臺灣黑豬肌纖維數量較 LYD 多，臺灣黑豬剪力值也較 LYD 低。

剪力值隨著貯存時間負相關 ( $r = -0.39$ )，到第 2 週後變化才無顯著下降，van Laack *et al.* (2001) 指出，不同豬種剪力值在熟成初期有顯著差異，但在貯存第 2 週時，不同豬種間之剪力值差異不顯著。本試驗之 LYD 與 TBP 之 pH 值雖有差異，但在熟成 3 週後剪力值有相同之趨勢。雖剪力值與 pH 值呈現正相關 ( $r = 0.37$ )，但 Watanabe *et al.* (1995) 提到，不同之 pH 值在貯存初期對剪力值有顯著影響，但隨貯存時間增加，不同 pH 值區間之剪力值差異會漸漸變小。

適當的低溫貯藏可以增進肌肉之嫩度 (van Laack *et al.*, 2001; Channon *et al.*, 2004)，真空包裝之豬里脊肉排於屠後第 7 天與第 2 天之嫩度、風味與總接受度相似 (Channon *et al.*, 2004)。Dransfield *et al.* (1980) 與 Rees *et al.* (2002) 發現豬肉開始嫩化約在屠後第 2 天，觀察嫩化改變約 80~90% 發生在屠後第 4~6 天。最終嫩化約在屠後第 5~7 天 (Ouali *et al.*, 2006)，在屠後第 14 天時嫩化效果還會持續進行 (van Laack *et al.*, 2001)。



TBP & LYD <sup>1</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
------------------------	----	----	----	----	----

圖二十九、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在剪力值之變化。

Figure 29. Share value changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>A, B</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.



#### (四) 核苷酸關聯物 (ATP related compounds)

TBP 與 LYD 之背最長肌在低溫貯存過程中核苷酸關聯物含量之變化如表十四所示。TBP 之 IMP 含量在貯存前 2 週顯著下降 ( $P < 0.05$ )。LYD 之 IMP 含量在貯存 3 週後顯著下降 ( $P < 0.05$ )。TBP 與 LYD 在不同週數間，IMP 沒有顯著差異，但 LYD 有高於 TBP 之趨勢。TBP 之 Hyp 及 Ino 含量在分別在貯存第 3 週及第 2 週後顯著增加 ( $P < 0.05$ )。LYD 在貯存期間，Hyp 及 Ino 含量在第 4 週時顯著最高 ( $P < 0.05$ )。TBP 與 LYD 在不同週數間，Hyp 及 Ino 含量在第 4 週時 LYD 明顯高於 TBP ( $P < 0.05$ )，貯存前 3 週 LYD 之 Hyp 及 Ino 含量有高於 TBP 之趨勢 ( $P > 0.05$ )。總核苷酸關聯物含量上，LYD 在第 4 週時明顯較 TBP 高 ( $P < 0.05$ )，貯存前 3 週 LYD 有高於 TBP 之趨勢 ( $P > 0.05$ )。潘 (2009) 報告提到，LYD 豬種之 Ino 及 Hyp 含量明顯較臺灣黑豬高，顯示 LYD 代謝速度較快，與本試驗結果相符。

貯存週數與 IMP 呈現負相關 ( $r = -0.62$ )，與 Hyp、AMP 及 Ino 呈現正相關 ( $r = 0.63$ 、 $0.37$  及  $0.63$ )。Schäfer *et al.* (2002) 報告指出，ATP 代謝中間產物 ADP 在屠後 29 第 1 小時增加，隨後經後 IMP 含量於屠後開始增加，於屠後第 3 天開始下降，其含量隨貯由 AMP 降解成 IMP，使得 AMP 濃度降低。王 (1995) 指出家畜屠存時間增加而降低，而 Hyp 與 Ino 含量隨貯存時間增加而增加。在 Khan *et al.* (1968) 指出，貯存在  $0^{\circ}\text{C}$  下，75% IMP 消失需 3~5 週，90% 消失需 5~6 週。

pH 值與 IMP 呈現正相關 ( $r = 0.33$ )，在 Vani *et al.* (2006) 報告中提到，在低 pH 值環境下，IMP 降解速度較快，TBP 在貯存期間 IMP 含量低於 LYD 之趨勢 ( $P > 0.05$ )，為低 pH 值環境所造成。

核苷酸關聯物中主要以 GMP 及 IMP 與屠肉風味相關，其濃度多寡決定屠肉之風味 (Yano *et al.*, 1995)，GMP 及 IMP 有較強之呈味力 (Kuninaka *et al.*, 1964；Shimazono, 1964)，戴 (2003) 指出，飼料餵飼黑豬之背最長肌內 IMP 含量高於

表十四、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在核苷酸關聯物之變化

Table 14. ATP related compounds (mg/g) changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks

ATP related compounds (mg/g)	Week									
	0		1		2		3		4	
	TBP <sup>1</sup>	LYD <sup>1</sup>	TBP	LYD	TBP	LYD	TBP	LYD	TBP	LYD
CMP	0.084±0.028	0.082±0.044	0.098±0.045	0.069±0.043	0.073±0.017	0.080±0.045	0.073±0.017	0.069±0.023	0.074±0.031	0.100±0.031
UMP	0.063±0.026	0.062±0.024 <sup>b</sup>	0.073±0.025	0.069±0.027 <sup>b</sup>	0.061±0.017	0.061±0.039 <sup>b</sup>	0.060±0.013	0.061±0.018 <sup>b</sup>	0.055±0.019 <sup>x</sup>	0.127±0.055 <sup>ay</sup>
ATP	0.111±0.038	0.078±0.057	0.125±0.043	0.127±0.014	0.128±0.018	0.121±0.033	0.119±0.036	0.098±0.031	0.076±0.068	0.101±0.082
GMP	0.055±0.010 <sup>ab</sup>	0.061±0.013	0.076±0.056 <sup>a</sup>	0.056±0.010	0.049±0.008 <sup>ab</sup>	0.061±0.154	0.041±0.008 <sup>b</sup>	0.046±0.008	0.047±0.020 <sup>b</sup>	0.050±0.010
ADP	0.231±0.054	0.246±0.048 <sup>a</sup>	0.235±0.068 <sup>x</sup>	0.172±0.029 <sup>by</sup>	0.190±0.037	0.195±0.028 <sup>ab</sup>	0.186±0.030	0.196±0.063 <sup>ab</sup>	0.215±0.037	0.198±0.032 <sup>ab</sup>
IMP	2.675±0.332 <sup>a</sup>	3.104±0.386 <sup>a</sup>	2.456±0.128 <sup>ab</sup>	2.593±0.229 <sup>a</sup>	2.128±0.145 <sup>abc</sup>	2.521±0.373 <sup>a</sup>	1.665±0.292 <sup>c</sup>	2.035±0.225 <sup>b</sup>	1.863±1.059 <sup>bc</sup>	2.060±0.313 <sup>b</sup>
Hyp	0.184±0.032 <sup>c</sup>	0.265±0.090 <sup>b</sup>	0.246±0.041 <sup>c</sup>	0.291±0.085 <sup>b</sup>	0.271±0.050 <sup>bc</sup>	0.341±0.090 <sup>b</sup>	0.353±0.115 <sup>ab</sup>	0.388±0.141 <sup>b</sup>	0.411±0.094 <sup>ax</sup>	0.557±0.205 <sup>ay</sup>
AMP	0.089±0.026	0.071±0.032 <sup>c</sup>	0.095±0.023	0.103±0.008 <sup>ab</sup>	0.109±0.020	0.101±0.021 <sup>ab</sup>	0.107±0.024	0.087±0.028 <sup>bc</sup>	0.110±0.035	0.122±0.009 <sup>a</sup>
Ino	0.525±0.107 <sup>c</sup>	0.636±0.113 <sup>b</sup>	0.709±0.151 <sup>bc</sup>	0.658±0.129 <sup>b</sup>	0.818±0.142 <sup>ab</sup>	0.740±0.401 <sup>b</sup>	0.923±0.131 <sup>a</sup>	0.937±0.263 <sup>ab</sup>	0.905±0.225 <sup>abx</sup>	1.182±0.237 <sup>ay</sup>
Total	4.017±0.465	4.607±0.534 <sup>a</sup>	4.113±0.379	4.151±0.404 <sup>ab</sup>	3.826±0.152	4.221±0.697 <sup>ab</sup>	3.526±0.414	3.917±0.444 <sup>b</sup>	3.380±0.518 <sup>x</sup>	4.498±0.389 <sup>aby</sup>

<sup>a-c</sup> 同一豬種中不同字母表示差異顯著 ( $P < 0.05$ )。

<sup>x,y</sup> 同一週數中不同字母表示差異顯著 ( $P < 0.05$ )。

<sup>1</sup> TBP: 畜試黑豬一號; LYD: 三品種雜交豬。

<sup>a-c</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

<sup>x,y</sup> Different letters in the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

LYD，其 Hyp 含量亦有較高 ( $P < 0.05$ ) 之情形，顯示飼料餵飼黑豬之代謝速率較快，本試驗 LYD 之 IMP 含量有較高於 TBP 趨勢，Hyp 含量也明顯高於 TBP，隨貯存時間增加更為顯著，IMP 與 Hyp 呈現負相關 ( $r = -0.24, P = 0.069$ )。

#### (五) 游離脂肪酸組成 (Free fatty acid composition)

在低溫貯存過程中脂肪酸組成變化如表十五所示。在飽和脂肪酸 (SFA) 部分，LYD 之  $C_{12:0}$  明顯高於 TBP ( $P < 0.05$ )，單元不飽和脂肪酸 (MUFA) 部分，TBP 之  $C_{18:1}$  明顯高於 LYD ( $P < 0.05$ )，多元不飽和脂肪酸 (PUFA) 部分，LYD 之  $C_{18:2}$  及  $C_{18:3}$  明顯高於 TBP ( $P < 0.05$ )。

貯存第 0 週時，LYD 之  $C_{12:0}$  比例明顯高於 TBP，而 TBP 之  $C_{18:1}$  及 MUFA 比例明顯高於 LYD。貯存第 1 週時，LYD 之  $C_{12:0}$ 、 $C_{18:3}$  及 PUFA 比例明顯高於 TBP，而 TBP 之  $C_{18:1}$ 、 $C_{20:1}$  及 MUFA 比例明顯高於 LYD。貯存第 2 週時，LYD 之  $C_{18:3}$  及 PUFA 比例明顯高於 TBP，而 TBP 之  $C_{18:1}$  及 MUFA 比例明顯高於 LYD。貯存第 3 週時，TPB 與 LYD 在脂肪酸組成上無顯著差異。貯存第 4 週時，LYD 之  $C_{18:3}$  及 PUFA 比例明顯高於 TBP，而 TBP 之  $C_{18:1}$  比例明顯高於 LYD。

TBP 之  $C_{12:0}$  有先增後減之現象， $C_{16:1}$  隨貯存時間增加有明顯增加 ( $P < 0.05$ )。LYD 之  $C_{18:1}$  及  $C_{20:1}$  比例隨時間增加而增加 ( $P < 0.05$ )。

在不同性別上，本試驗之閩公豬之 SFA 比例有明顯較女豬高，史 (1997) 研究提到，閩公豬之 SFA 及 PUFA 比例明顯較女豬高。

TBP 與 LYD 之 SFA 在貯存第 2 週時比例顯著最高，而 MUFA 與 PUFA 則沒顯著變化，但 TBP 之 MUFA 有高於 LYD 之趨勢 ( $P > 0.05$ )，LYD 之 PUFA 有高於 TBP 之趨勢 ( $P > 0.05$ )。Wood *et al.* (2003) 報告指出，不飽和脂肪酸 (MUFA 及 PUFA) 含量高，會加速脂肪酸氧化，尤其是含有兩個雙鍵以上之不飽和脂肪酸，也是調控肉品之保存期限 (氧化酸敗)。Alvarez *et al.* (2009) 報告中提到，山羊里肌肉隨貯存時間增加，SFA 明顯增加，而 MUFA 與 PUFA 沒有顯著變化之結果相同。脂肪酸組成以比例表示，本試驗 SFA 與 MUFA 呈現負相關 ( $r = -0.69$ )，MUFA 與 PUFA 呈現負相關 ( $r = -0.8$ )，LYD 之  $C_{18:1}$  隨貯時間增加，有明顯增加現象，在 Hood and Allen (1971)，報告中有提到牛肉在熟成過程中  $C_{18:1}$  會隨時間增加而增加。也因此 LYD 之 SFA 在貯存其間有下降之現象，PUFA 也有下降之趨勢，但不顯著。

另在豬種部分，潘 (2009) 報告指出，LYD 之  $C_{12:0}$ 、 $C_{18:2}$  及  $C_{18:3}$  顯著高於

表十五、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在游離脂肪酸組成之變化

Table 15. Free fatty acid composition changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks

Fatty acid (%)	Week									
	0		1		2		3		4	
	TBP <sup>1</sup>	LYD <sup>1</sup>	TBP	LYD	TBP	LYD	TBP	LYD	TBP	LYD
C <sub>12:0</sub>	3.13±1.83 <sup>bx</sup>	6.25±1.66 <sup>bcy</sup>	5.58±1.32 <sup>abx</sup>	11.17±3.09 <sup>ay</sup>	9.36±5.40 <sup>a</sup>	12.86±4.91 <sup>a</sup>	8.49±5.91 <sup>a</sup>	4.07±2.47 <sup>bc</sup>	3.01±0.99 <sup>b</sup>	2.77±1.19 <sup>c</sup>
C <sub>14:0</sub>	1.24±0.19	1.35±0.16	1.18±0.13	1.47±0.25	1.21±0.17	1.21±0.18	1.26±0.16	1.34±0.35	1.17±0.18	1.35±0.26
C <sub>16:0</sub>	23.74±1.25	22.8±1.45 <sup>ab</sup>	22.51±1.42 <sup>y</sup>	20.47±1.13 <sup>bx</sup>	22.36±1.34 <sup>b</sup>	20.40±1.49 <sup>b</sup>	22.56±1.72	23.27±0.97 <sup>a</sup>	23.42±1.18	24.11±1.54 <sup>a</sup>
C <sub>16:1</sub>	2.79±0.61 <sup>b</sup>	2.09±0.41 <sup>b</sup>	3.10±0.56 <sup>ab</sup>	2.32±0.28 <sup>ab</sup>	3.08±0.61 <sup>ab</sup>	2.40±0.42 <sup>a</sup>	3.06±0.80 <sup>ab</sup>	2.76±0.44 <sup>a</sup>	3.30±0.71 <sup>a</sup>	2.74±0.38 <sup>a</sup>
C <sub>18:0</sub>	12.07±0.76	13.11±0.79	12.00±0.94	12.11±0.22	11.83±0.90	12.42±0.69	12.21±0.58	11.81±0.57	12.06±0.86	12.28±0.81
C <sub>18:1</sub>	45.57±4.13 <sup>y</sup>	34.01±5.68 <sup>bx</sup>	43.45±3.35 <sup>y</sup>	33.16±2.73 <sup>bx</sup>	41.19±3.75 <sup>y</sup>	32.59±4.39 <sup>bx</sup>	37.72±3.86	40.12±7.48 <sup>a</sup>	44.59±4.22	38.33±6.11 <sup>ab</sup>
C <sub>18:2</sub>	9.78±3.22 <sup>x</sup>	19.3±4.61 <sup>y</sup>	9.64±1.58 <sup>x</sup>	16.23±1.73 <sup>y</sup>	8.92±1.52 <sup>x</sup>	15.64±1.76 <sup>y</sup>	11.97±4.34	13.47±4.15	9.84±2.28 <sup>x</sup>	15.46±4.52 <sup>y</sup>
C <sub>18:3</sub>	0.33±0.09 <sup>x</sup>	1.1±0.36 <sup>ay</sup>	0.30±0.11 <sup>x</sup>	0.76±0.33 <sup>ay</sup>	0.20±0.17	0.33±0.32 <sup>b</sup>	0.35±0.18	0.45±0.31 <sup>ab</sup>	0.26±0.06 <sup>x</sup>	0.70±0.53 <sup>aby</sup>
C <sub>20:1</sub>	0.59±0.15	0.51±0.21 <sup>ab</sup>	0.72±0.14 <sup>y</sup>	0.19±0.17 <sup>cx</sup>	0.59±0.24	0.29±0.24 <sup>bc</sup>	0.54±0.19	0.54±0.31 <sup>ab</sup>	0.76±0.12	0.60±0.19 <sup>a</sup>
C <sub>20:4</sub>	0.82±0.23	1.67±0.71	1.58±0.21	2.13±0.79	1.28±0.58	1.72±0.80	1.85±1.12	2.18±0.84	1.59±0.13	1.66±0.70
SFA <sup>A</sup>	40.18±2.87 <sup>b</sup>	41.33±2.53 <sup>ab</sup>	41.26±2.46 <sup>b</sup>	45.21±2.30 <sup>a</sup>	44.75±4.10 <sup>a</sup>	47.04±4.15 <sup>a</sup>	44.52±3.73 <sup>a</sup>	40.49±2.73 <sup>b</sup>	39.67±1.97 <sup>b</sup>	40.51±2.49 <sup>b</sup>
MUFA <sup>B</sup>	48.94±4.74 <sup>y</sup>	36.61±5.81 <sup>bx</sup>	47.26±3.57 <sup>y</sup>	35.66±2.76 <sup>bx</sup>	44.85±4.34 <sup>y</sup>	35.28±4.99 <sup>bx</sup>	41.32±4.65	43.42±7.83 <sup>a</sup>	48.64±4.27	41.68±6.62 <sup>ab</sup>
PUFA <sup>C</sup>	10.88±2.71 <sup>x</sup>	22.06±1.93 <sup>y</sup>	11.48±1.73 <sup>x</sup>	19.13±1.66 <sup>y</sup>	10.40±1.98 <sup>x</sup>	17.66±1.75 <sup>y</sup>	12.16±5.51	16.09±5.15	11.70±2.41 <sup>x</sup>	17.81±5.31 <sup>y</sup>

<sup>a-c</sup> 同一豬種中不同字母表示差異顯著 ( $P < 0.05$ )。

<sup>x,y</sup> 同一週數中不同字母表示差異顯著 ( $P < 0.05$ )。

<sup>1</sup> TBP：畜試黑豬一號；LYD：三品種雜交豬。

<sup>A</sup>SFA：Total saturated fatty acid (C<sub>12:0</sub>+C<sub>14:0</sub>+C<sub>16:0</sub>+C<sub>18:0</sub>)；<sup>B</sup>MUFA：Total monounsaturated fatty acid (C<sub>16:1</sub>+C<sub>18:1</sub>+C<sub>20:1</sub>)；<sup>C</sup>PUFA：Total polyunsaturated fatty acid (C<sub>18:2</sub>+C<sub>18:3</sub>+C<sub>20:4</sub>)。

<sup>a-c</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

<sup>x,y</sup> Different letters in the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD; LYD pig.

臺灣黑豬，而臺灣黑豬之  $C_{18:1}$  顯著高於 LYD。在 Suzuki *et al.* (2003) 報告中指出，豬隻含杜洛克基因高者，在  $C_{18:2}$  含量較低，本試驗之 TBP 含 75 % 杜洛克基因，LYD 則含 50 % 杜洛克，TBP 之  $C_{18:2}$  也明顯低於 LYD。

#### (六) 感官品評 (Sensory evaluation)

低溫貯存過程之感官品評結果如圖三十到三十六所示。在顏色評分上，第 3 週時 LYD 顯著高於 TBP ( $P < 0.05$ )，在其他週數則無顯著差異。在氣味評分上，TBP 與 LYD 及週數間皆無顯著差異，但在貯存時間增加，分數增加之趨勢。在嫩度評分上，TBP 與 LYD 及週數間皆無顯著差異。在多汁性評分上，TBP 有較高於 LYD 之趨勢但不顯著。在風味評分上，TBP 與 LYD 兩者間與週數沒有顯著差異，但 TBP 風味評分有高於 LYD 之趨勢。TBP 與 LYD 在貯存期間多汁性在第 4 週時最低 ( $P < 0.05$ )。在甘味部分，TBP 貯存前 3 週顯著高於 LYD ( $P < 0.05$ )，甘味及多汁性與風味呈現正相關 ( $r = 0.71$  及  $0.68$ )。在總接受度部分，貯存第 1 到 3 週 TBP 顯著高於 LYD ( $P < 0.05$ )；TBP 在貯存第 4 週時總接受度最低 ( $P < 0.05$ )，LYD 則無顯著差異。Miller (2004) 提到，熟肉之特性主要以多汁性、嫩度和風味為主要判斷依據，本試驗之多汁性、甘味及風味與總接受度與呈正相關 ( $r = 0.88$ 、 $0.88$  及  $0.84$ )。本試驗之 TBP 在感官品評評分上均有優於 LYD 之趨勢。

以下就不同因素，分別進行討論：

##### 1. 感官品評與時間及一般成分之相關

風味與粗脂肪呈現正相關 ( $r = 0.35$ )，與 Miller (2004) 報告結果相同，風味評分隨脂肪含量增加而增加。風味與粗蛋白質呈現負相關 ( $r = -0.55$ )，主要因脂肪為風味來源，當脂肪比例增加會降低粗蛋白質比例 ( $r = -0.24$ )。多汁性與貯藏週數及粗蛋白呈現負相關 ( $r = -0.31$  及  $-0.4$ )，隨著貯存時間增加，肌肉之 pH 值接近肌肉之等電點，當肌肉達等電點時期保水力最差，肌肉中蛋白質含水量約 73%，當粗蛋白質比例高時相對其水分流失含量會增加。總接受度與粗脂肪呈現正相關 ( $r = 0.27$ )，與粗蛋白呈現負相關 ( $r = -0.53$ )，脂肪為風味主要來源，其含量多寡會影響到食肉之風味、嫩度及多汁性，且風味、嫩度及多汁性為總接受度評分之主要因素。

在豬肉中肌內脂肪多與良好之豬肉品質有關聯 (Eikelelenboom and Hoving-

Bolink, 1994)。肉中之脂肪會幫助熱之傳導，且會刺激唾液分泌，增加柔嫩度、含汁性及口感（謝等，1996）。豬肉中肌肉內脂肪含量提高，會增加消費者在多汁性之評分，進而影響到豬肉質地與味道（Fernandez *et al.*, 1999）。DeVol *et al.* (1988) 報告中提到，可接受之豬肉品評其肌肉內脂肪至少介於 2.5 至 3%，本試驗 TBP 之脂肪含量達 3.67%，其總接受度評分明顯高於 LYD，粗脂肪含量與總接受度呈現正相關 ( $r=0.27$ )。Channon *et al.*, (2004) 報告提到，豬里脊肉貯存 7 天在嫩度比貯存 2 天之評分較高，在 TBP 之嫩度部分評分有較高趨勢但不顯著，在部分報告中提到肌肉之脂肪含量與嫩度無相關 (Rhodes, 1970；Skelley *et al.*, 1973；Göransson *et al.*, 1992)。

## 2. 感官品評與酸鹼值及 CIE Lab 之相關

色澤評分與貯存週數、 $a^*$ 及 $b^*$ 呈現正相關 ( $r=0.46$ 、 $0.51$  及  $0.28$ )，豬肉經過貯存後增加其  $L^*$ 、 $a^*$ 及 $b^*$  (Zhu and Brewer, 2001；Lindahl *et al.*, 2006)，與酸鹼值呈現負相關 ( $r=-0.26$ )，Fabrega *et al.* (2002) 指出，較低 pH 值之豬肉有較高之  $L^*$ 、 $a^*$ 及 $b^*$ ，其保水力較差之因素使得滴水失重較高，而濃縮了肌肉之呈色所致。嫩度評分與酸鹼值呈現負相關 ( $r=-0.28$ )，在高 pH 值環境，屠肉中之蛋白酶活性高，使得肌原纖維降解造成嫩化現象。

## 3. 感官品評與 ATP 關聯物之相關

貯存時間與 IMP 呈現負相關 ( $r=-0.62$ )，與 Hyp 及 Ino 成正相關 ( $r=0.63$  及  $0.63$ )。風味評分與 Hyp 及 Ino 呈現負相關 ( $r=-0.35$  及  $-0.46$ )，王 (1995) 指出家畜屠後 IMP 含量隨貯存時間增加而降低，而 Hyp 與 Ino 含量隨貯存時間增加而增加。Kuda *et al.* (2008) 報告指出，Hyp 含量增加，會造成風味降低與苦味的產生，本試驗貯存期間 LYD 之 Hyp 含量顯著高於 TBP，使得風味評分及總接受度有高於 LYD 趨勢。

## 4. 感官品評與游離脂肪酸之相關

### (1) 單不飽和脂肪酸

氣味評分與  $C_{16:1}$ 、 $C_{18:1}$ 、 $C_{20:1}$  及 MUFA 呈現正相關 ( $r=0.47$ 、 $0.54$ 、 $0.51$  及  $0.55$ )。風味評分與  $C_{18:1}$ 、 $C_{20:1}$  及 MUFA 呈現正相關 ( $r=0.61$ 、 $0.57$  及  $0.62$ )。多汁性評分與  $C_{16:1}$ 、 $C_{18:1}$  及 MUFA 呈現正相關 ( $r=0.52$ 、 $0.53$  及  $0.55$ )。甘味評分與  $C_{16:1}$ 、 $C_{18:1}$ 、 $C_{20:1}$  及 MUFA 呈現正相關 ( $r=0.5$ 、 $0.62$ 、 $0.52$  及  $0.63$ )。總接受度評分與  $C_{16:1}$ 、 $C_{18:1}$ 、 $C_{20:1}$  及 MUFA 呈現正相關 ( $r=0.52$ 、 $0.57$ 、 $0.54$  及  $0.59$ )。

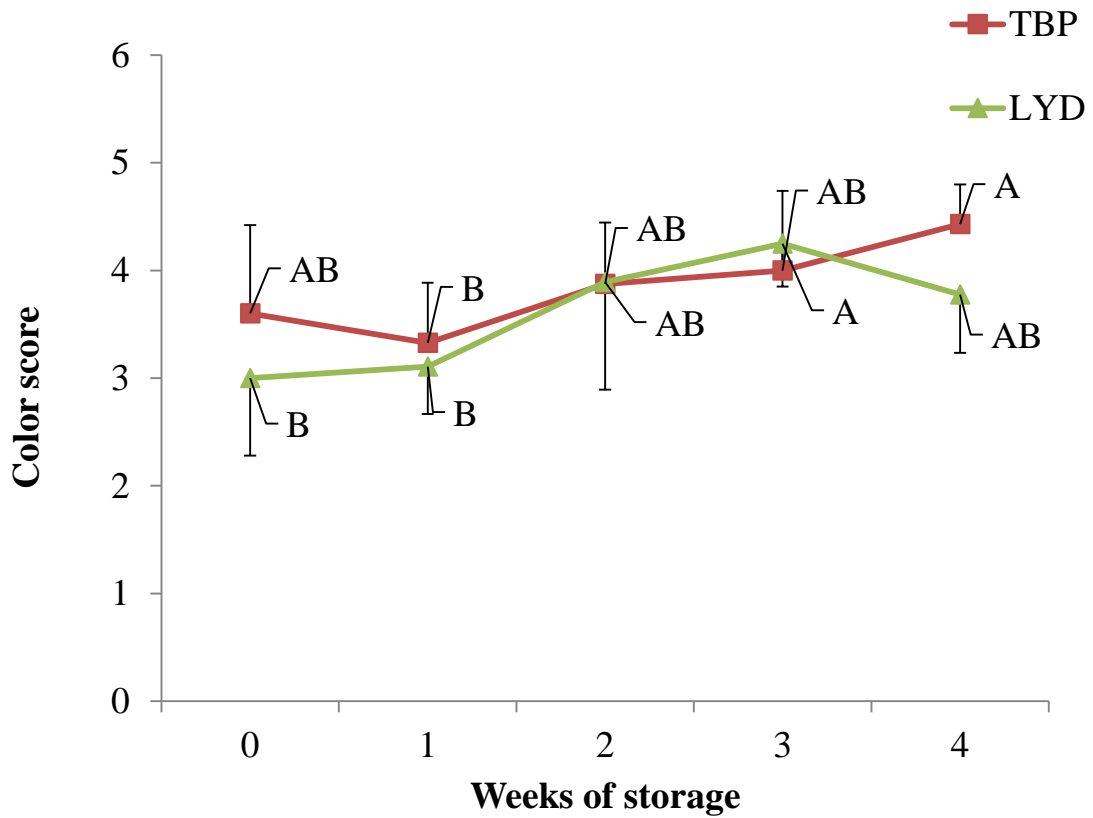
Cameron (1990) 指出，食肉中 MUFA 含量與食肉風味成正相關。

## (2) 多不飽和脂肪酸

氣味評分與 C<sub>18:2</sub>、C<sub>18:3</sub> 及 PUFA 呈現負相關 ( $r = -0.46$ 、 $-0.42$  及  $-0.52$ )。風味評分與 C<sub>18:2</sub>、C<sub>18:3</sub> 及 PUFA 呈現負相關 ( $r = -0.63$ 、 $-0.6$  及  $-0.62$ )。在本試驗中 PUFA 含量高者，感官品評評分較差，在 Pegg and Shahidi (2004) 提到，PUFA 為肉中最容易氧化之脂肪酸。Cameron (1990) 指出，食肉風味與 PUFA 成負相關。

Calkins 與 Hodgen (2007) 報告指出，豬肉之風味要還是要以 PUFA 含量為主。而在 PUFA 中，例如：亞麻油酸 (C<sub>18:2</sub>) 及花生油四烯酸 (C<sub>20:4</sub>) 會快速自我氧化成過氧化物和更進一步降解成如：2,4-decadienal、2-nonenal、1-octen-3-one、2,4-nonadienal 及 2-octenal，這些產物可提升類硫化物風味與藉此提供肉之風味。有些報告顯示，豬肉中之 C<sub>18:2</sub> 含量高低跟風味沒有顯著關係 (Larick *et al.*, 1992)，但當 C<sub>18:3</sub> 含量約佔總脂肪酸 3%，會加速脂肪氧化反而影響烹煮後之風味 (Wood *et al.*, 2003)。

在鄭(2003)報告中提到，感官品評之風味及總接受度分別與 MUFA 有 0.893 ( $P < 0.05$ )、 $-0.920$  ( $P < 0.05$ ) 及 0.903 ( $P < 0.05$ ) 之正相關及 PUFA 有 0.840 ( $P < 0.05$ ) 之負相關。本試驗結果亦與鄭 (2003) 之結果符合。但 Calkins 與 Hodgen(2007)指出豬肉中之 MUFA 含量與風味無顯著相關，主要還是要以 PUFA 含量為主。總接受度與 PUFA、C<sub>18:2</sub> 及 C<sub>20:4</sub> 呈現負相關 ( $r = -0.5$ 、 $-0.48$  及  $-0.46$ )，亞麻油酸 (C<sub>18:2</sub>) 及花生油四烯酸 (C<sub>20:4</sub>) 會快速自我氧化成過氧化物和更進一步降解成如：2,4-decadienal、2-nonenal、1-octen-3-one、2,4-nonadienal 及 2-octenal，這些產物可提升類硫化物風味與藉此提供肉之風味，但也因為容易氧化而容易產生 off-flavour 或 warmed-over flavour，對食肉風味造成不好之影響 (Pegg and Shahidi, 2004)。有些報告顯示，豬肉中之 C<sub>18:2</sub> 含量高低跟風味沒有顯著關係 (Larick *et al.*, 1992)，但當 C<sub>18:3</sub> 含量約佔總脂肪酸 3%，會加速脂肪氧化反而影響烹煮後之風味 (Wood *et al.*, 2003)。



TBP & LYD <sup>1</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
------------------------	----	----	----	----	----

圖三十、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在感官品評中顏色之變化。

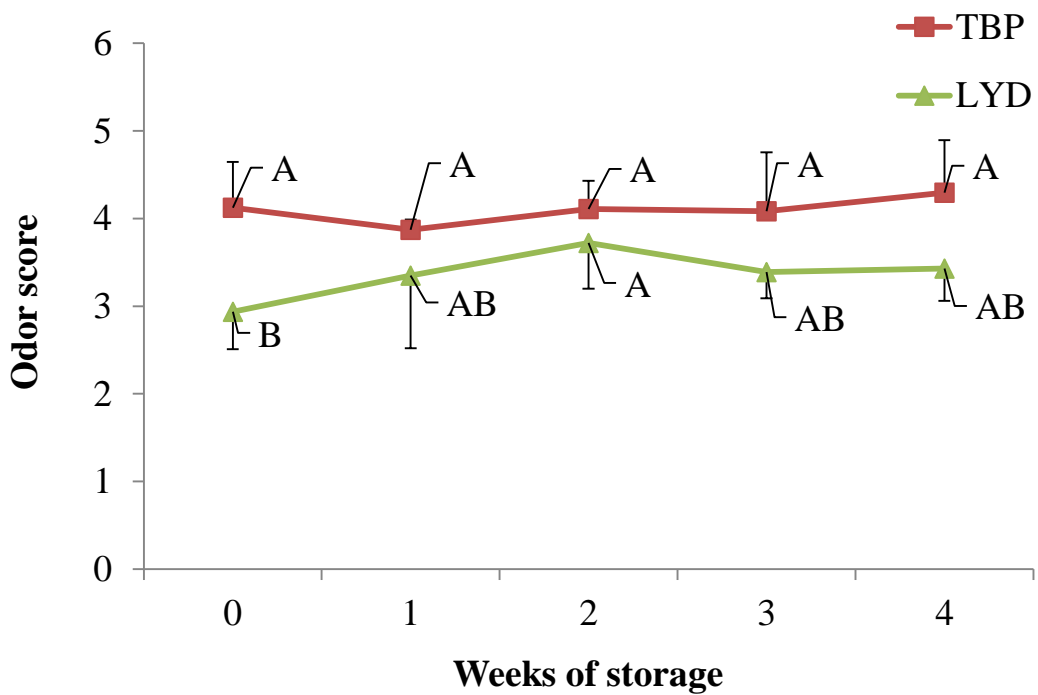
Figure 30. Color score changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>A, B</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.





TBP & LYD <sup>1</sup>	*	NS	NS	NS	*
------------------------	---	----	----	----	---

圖三十一、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在感官品評中氣味之變化。

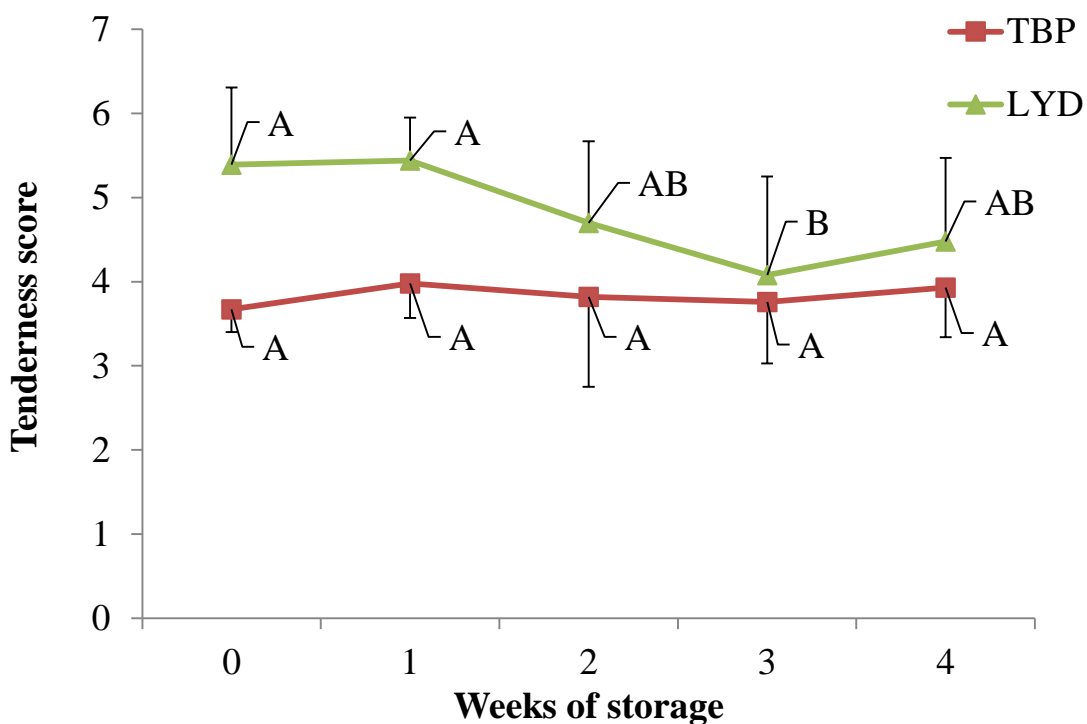
Figure 31. Odor score changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>A, B</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

\* In the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.



TBP & LYD <sup>1</sup>	*	*	NS	NS	NS
------------------------	---	---	----	----	----

圖三十二、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在感官品評中嫩度之變化。

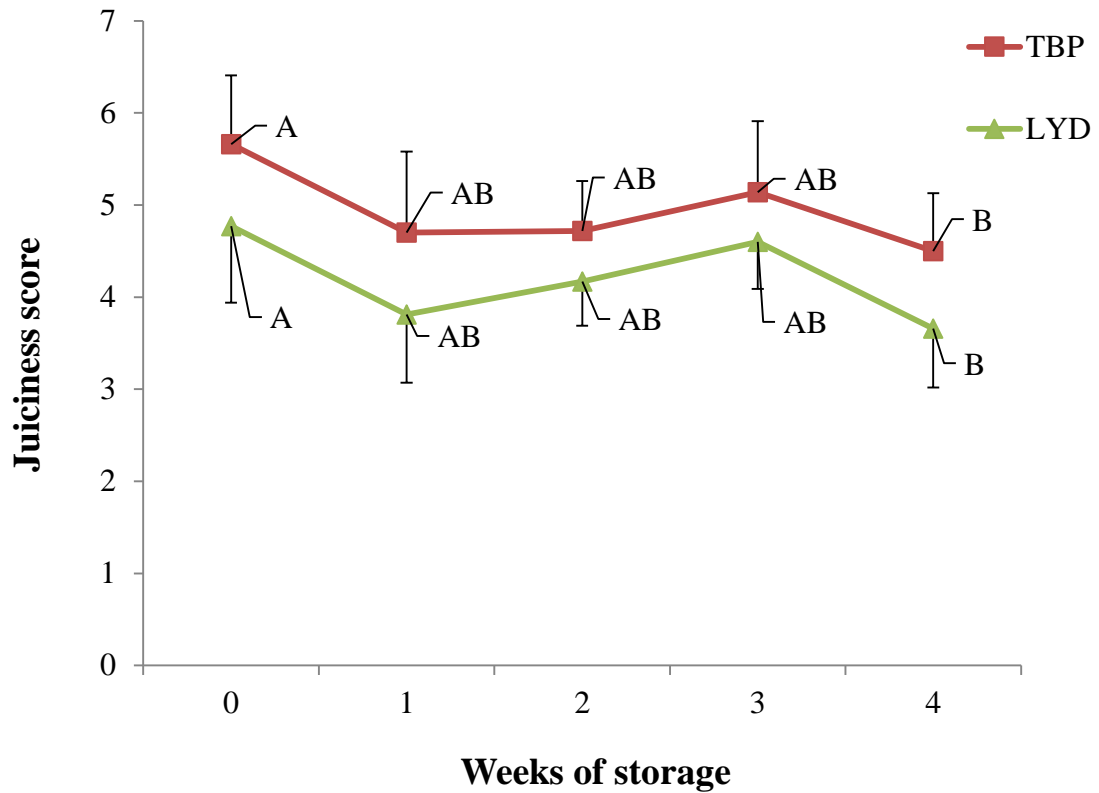
Figure 32. Tenderness score changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>A, B</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

\* In the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.



TBP & LYD <sup>1</sup>	NS	NS	NS	NS	NS
------------------------	----	----	----	----	----

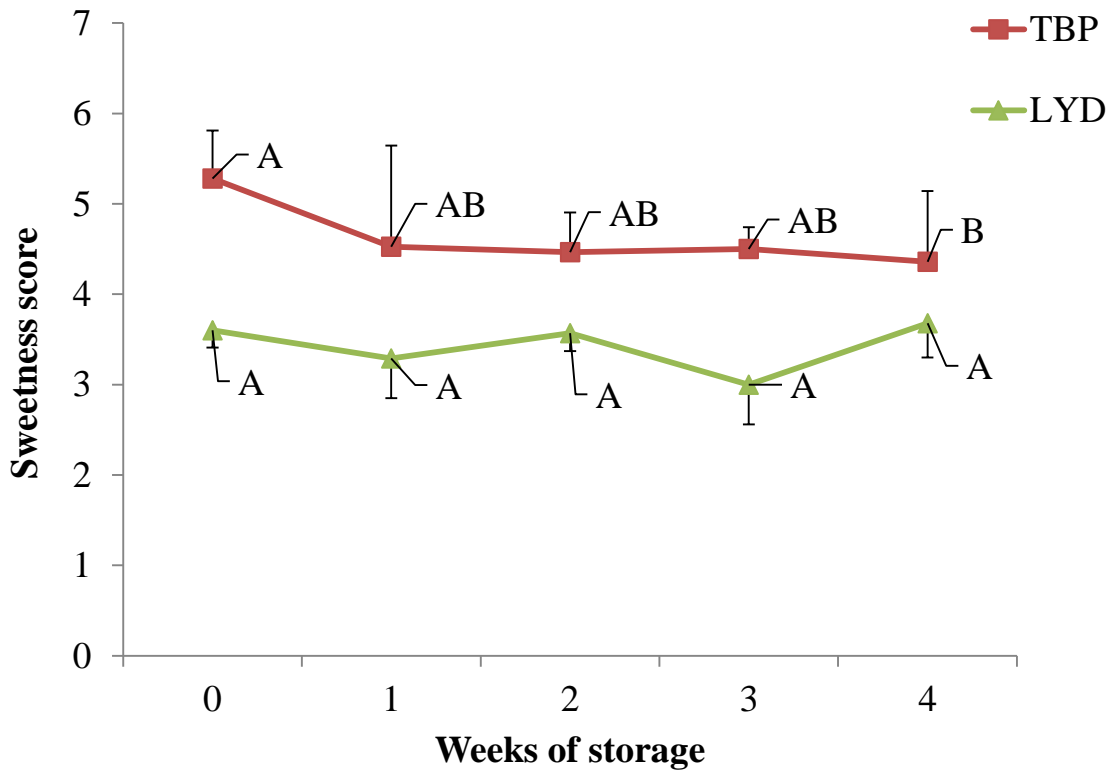
圖三十三、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在感官品評中多汁性之變化。

Figure 33. Juiciness score changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>A, B</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.



TBP & LYD <sup>1</sup>	*	*	*	*	NS
------------------------	---	---	---	---	----

圖三十四、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在感官品評中甘味之變化。

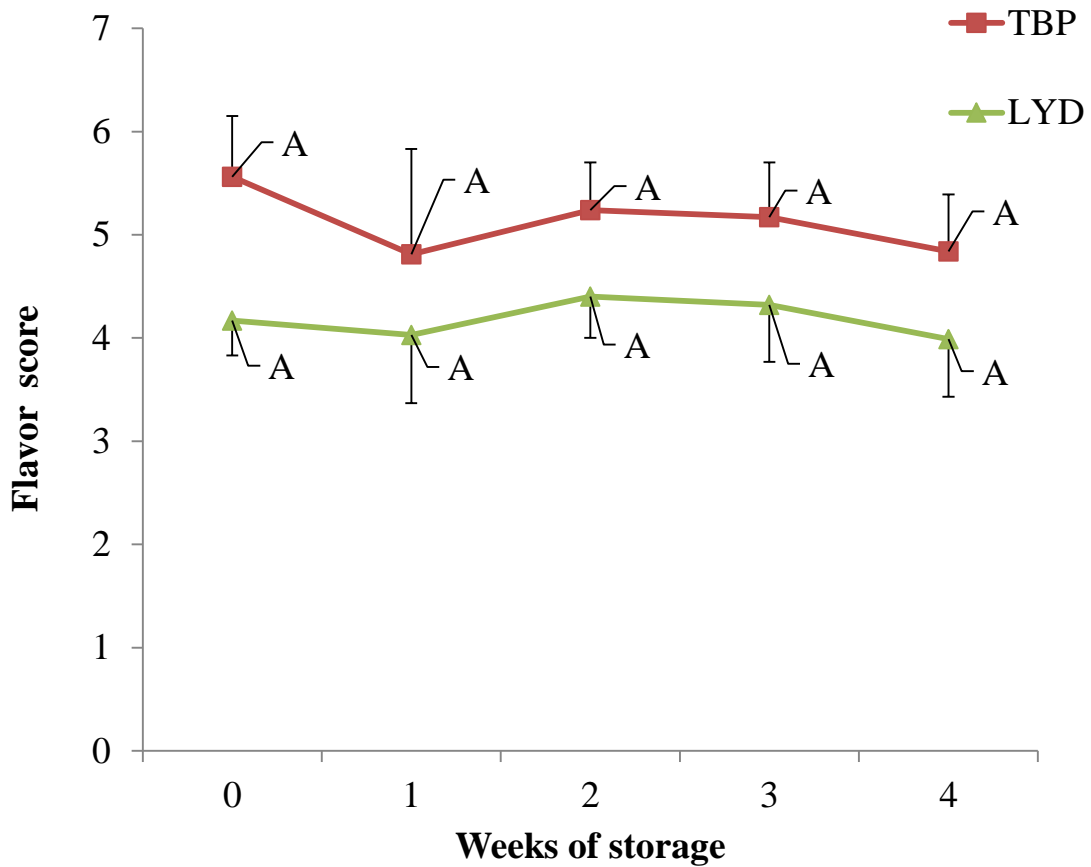
Figure 34. Sweetness score changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>A, B</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

\* In the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.



TBP & LYD <sup>1</sup>	*	NS	NS	NS	NS
------------------------	---	----	----	----	----

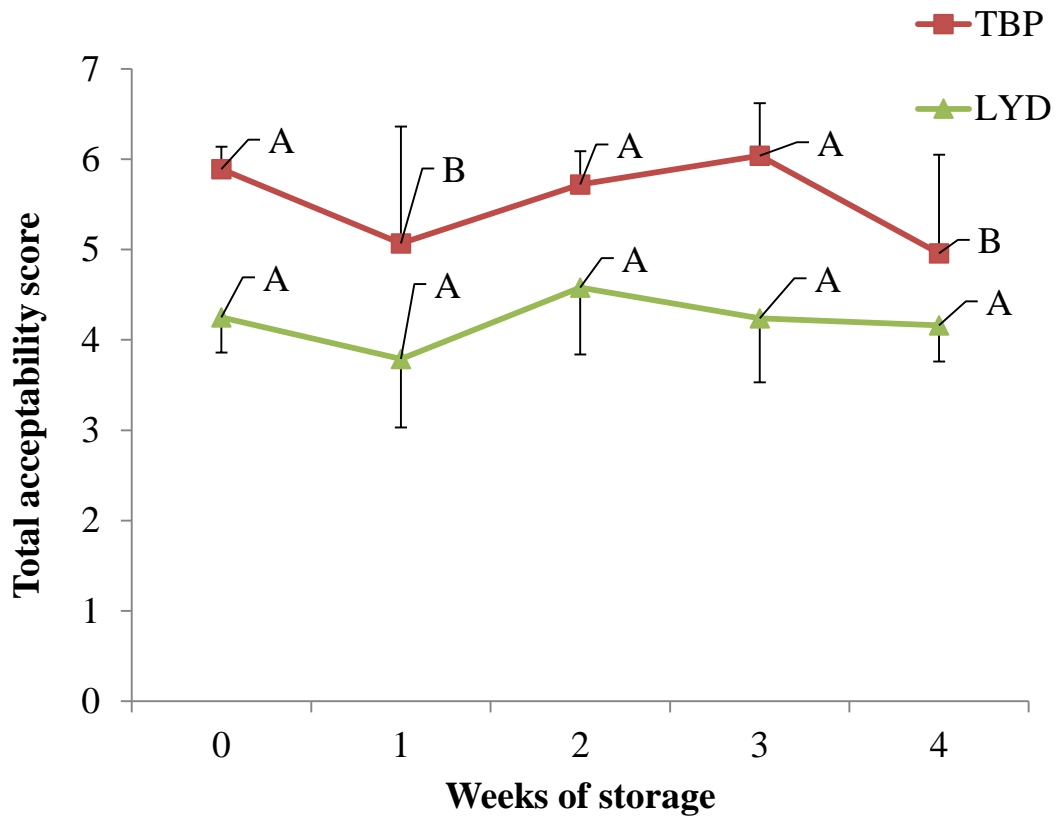
圖三十五、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在感官品評中風味之變化。

Figure 35. Flavor score changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

\* In the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.



TBP & LYD <sup>1</sup>	*	*	*	*	NS
------------------------	---	---	---	---	----

圖三十六、畜試黑豬一號與三品種雜交豬之背最長肌於 0°C 貯存四週在感官品評中總接受之變化。

Figure 36. Total acceptability score changes of TBP and LYD pig *longissimus dorsi* muscle storage at 0°C for 4 weeks.

<sup>1</sup>TBP: TLRI black pig No. 1; LYD: LYD pig.

<sup>A, B</sup> Different letters in the same breed indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

\* In the same week indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

NS: No significant difference.

## 陸、結論

TBP 與 LYD 在肉質品評與一般成分分析上，TBP 在大理石紋評分與粗脂肪含量明顯高於 LYD ( $P < 0.05$ )，而 LYD 在色澤分評分、水分與粗蛋白含量明顯高於 TBP。

TBP 與 LYD 之背最長肌於 0°C 低溫貯存在 72 小時嫩度變化分析，結果顯示，TBP 屠後 24 小時後酸鹼值明顯低於 LYD ( $P < 0.05$ )；保水力在屠後 24 小時內 TBP 明顯低於 LYD ( $P < 0.05$ )，第 48 小時之後兩者則無顯著差異；蒸煮失重在 48 小時內 TBP 明顯較 LYD 高（在第 3、12 及 48 小時）( $P < 0.05$ )。剪力值在屠後 24 小時內 LYD 明顯高於 TBP ( $P < 0.05$ )，第 48 小時之後兩者間則無顯著差異。肌纖維降解之 SDS-PAGE 結果顯示，TBP 之 Desmin 降解較 LYD 快，但 32~28 kDa 之肌纖維降解產物出現 LYD 較 TBP 快。在  $\mu$ -與 m-calpain 活性及  $\alpha$ -actinin 含量之變化兩者間則不明顯。

TBP 與 LYD 之背最長肌於 0°C 低溫貯存在 0 到 4 週時，實驗結果顯示，酸鹼值在第 0 與 1 週無顯著差異，第 2 到 4 週 TBP 明顯較 LYD 低 ( $P < 0.05$ )；在色澤部分 (CIE LAB)，TBP 亮度值在三週內明顯高於 LYD，第四週則無顯著差異；在紅色值部分兩者間無顯著差異；黃色值部分，TBP 在貯存期間均顯著高於 LYD ( $P < 0.05$ )。剪力值部分兩者間雖無顯著差異，但 LYD 有高於 TBP 之趨勢。在核苷酸關聯物部分，ADP 含量在第 1 週時 TBP 高於 LYD ( $P < 0.05$ )，在第 4 週時，Hyp、Ino 及總核苷酸含量 LYD 高於 TBP；游離脂肪酸部分，TBP 之  $C_{12:0}$ 、 $C_{18:2}$ 、 $C_{18:3}$  及多元不飽和脂肪酸明比例顯低於 LYD ( $P < 0.05$ )，而  $C_{18:1}$  及單元不飽和脂肪酸比例則高於 LYD ( $P < 0.05$ )，飽和脂肪酸兩者間無顯著差異。TBP 在第 4 週明顯下降。 $C_{16:1}$  隨貯存值間增加有明顯增加 ( $P < 0.05$ )， $C_{12:0}$  有先增後減之現象。LYD 之  $C_{18:1}$  及  $C_{20:1}$  比例隨時間增加而增加 ( $P < 0.05$ )。在顏色評分上，第 3 週時 LYD 顯著高於 TBP ( $P < 0.05$ )，在其他週數則無顯著差異。在氣味評分上，TBP 與 LYD 及週數間皆無顯著差異，但在貯存時間增加，分數增加之趨勢。在嫩度評分上，TBP 與 LYD 及週數間皆無顯著差異。在風味評分上，TBP 與 LYD 兩者間與週數沒有顯著差異，但 TBP 風味評分有高於 LYD 之趨勢。在多汁性評分上，TBP 有較高於 LYD 之趨勢但不顯著；TBP 與 LYD 在貯存期間多汁性在第 4 週時最低 ( $P <$

0.05)。在甘味部分，TBP 貯存前 3 週顯著高於 LYD ( $P < 0.05$ )。在總接受度部分，貯存 3 週前 TBP 顯著高於 LYD ( $P < 0.05$ )，第四週之後兩者則無顯著差異。

經低溫貯藏及長時間熟成，綜合上述結果，LYD 在屠後初期嫩化表現優於 TBP，但 TBP 剪力值還是較 LYD 低，且 TBP 在風味、甘味及總接受度上也優於 LYD。在低溫熟成期間，LYD 酸鹼值較 TBP 高，但與不良風味有關之 PUFA 與 Hyp 也明顯較 TBP 高，感官品評結果以 TBP 較 LYD 佳。整體結果而言，TBP 低溫熟成期間之肉質特性較 LYD 佳。



## 柒、參考文獻

- 王旭昌。2003。日本鹿兒島黑豬產銷介紹。畜牧半月刊。70(8):32-38。
- 王佩華、宋永義、張直、鄭位明。1998。小耳種李宋系迷你豬緊迫品感基因之篩選。中國畜牧學會會誌。27:35-48。
- 方清泉、朱峰平、吳勇初、邱錦英、高銘穗、陳志銘、許欽松。2010。豬肉屠體部位肉分切規格手冊。第8頁。中央畜產會。臺北市。
- 史濟百。1997。臺灣區豬肉引染化合物、脂肪酸組成及揮發成分之研究。中興大學動物科學系研究所碩士論文。臺中。
- 林怡君、歐柏榮、郭俊欽。2003。氯化鈣及屠後貯藏時間對鴨胸肉品質特性之影響。臺灣農業化學與食品科學。41:387-397。
- 林玫芳。2005。豬隻屠後屠體僵直程度對背最長肌與半膜樣肌生化與理化性狀之影響及其相關性。嘉義大學動物科學系研究所碩士論文。嘉義。
- 林怡君、歐柏榮、郭俊欽。2003。氯化鈣及屠後貯藏時間對鴨胸肉品質特性之影響。臺灣農業化學與食品科學。41:387-397。
- 巫鴻鑫、羅玲玲、林慧生。2007。黑毛豬及白毛豬屠體及豬肉品質性狀之比較。華岡農科學報。19:17-32。
- 吳明哲、黃鈺嘉、鄭裕信、張秀巒、戴謙。1989。桃園豬與洋種豬出生仔數及性比率值之比較。中畜會誌。20(1):87-102。
- 畜產試驗所。2007。飼料價格高漲因應措施。  
[http://www.tlri.gov.tw/pdf/Feed\\_pdf/00.pdf](http://www.tlri.gov.tw/pdf/Feed_pdf/00.pdf)。
- 夏良宙。2002。由養豬生產技術論改善肉豬之屠體品質。現代養豬。23(7):18-24。
- 張秀巒、吳明哲、吳松鎮、劉錦條、賴永裕。1997。豬的肋骨數與屠體長探討。中畜會誌。26(4):409-418。
- 張秀巒、鄒會良、池雙慶。2001。第三章、品種與遺傳改良。畜牧要覽：養豬篇(增修版)。第29-92頁。中國畜牧學會。臺北市。
- 張為憲。1992。高等食品化學(第六版)。華香園出版社。第三章。
- 張為憲、李敏雄、呂政義、張永和、陳昭雄、孫璐西、陳怡宏、張基郁、顏國欽、林志城、林慶文。2007。食品化學。華香園出版社。臺北。
- 陳文賢、吳祥雲、涂榮珍、紀學斌。2007。黑豬肉質特性及感官品評探討。畜產研究。40(4):241-248。
- 陳明造。1997。肉品加工理論與應用(修訂版)。藝軒圖書出版社。臺北市。
- 黃扶康。不同性別及屠體中之臺灣黑豬與LYD三品種豬其屠體與肉質特性及備最長肌脂肪酸之比較。中興大學動物科學系研究所碩士論文。
- 黃逸文。1997。台灣區豬肉中核苷酸關聯物、游離胺基酸及游離糖之研究。國立

- 中興大學畜產研究所碩士論文。臺中。
- 黃萱萱。1996。電擊處理對肌肉屠體品質之影響。東海大學畜產學系研究所碩士論文。臺中。
- 楊天樹、顏宏達。2001。第二章、養豬現況。畜牧要覽：養豬篇（修訂版），第 32-47 頁。中國畜牧學會，臺北市。
- 廖宗文、蘇天明、蔡金生、劉建甫、彭松鶴、王政騰。2002。不同粗纖維含量飼糧餵飼畜試黑豬一號肥育期豬肉對其生長性能及屠體性狀之效果評估。中畜會誌。31（2）：87-97。
- 臺灣經濟部國際貿易局，WTO 入口網。2012。<http://www.trade.gov.tw/cwto/>。
- 臺灣畜產種原知識庫。2012。畜試黑豬一號。  
[http://www.angrin.tlri.gov.tw/pig\\_all.htm](http://www.angrin.tlri.gov.tw/pig_all.htm)。
- 臺灣畜產種原知識庫。2012。高畜黑豬。[http://www.angrin.tlri.gov.tw/pig\\_all.htm](http://www.angrin.tlri.gov.tw/pig_all.htm)。
- 臺灣行政院農業委員會。2012。農業統計年報（100 年）。臺北。
- 臺灣行政院農業委員會。2011。99 年糧食供需年報。臺北。
- 臺灣行政院農業委員會。2005。農政與農情第 159 期。臺北。
- 臺灣行政院農業委員會。2010。99 年 11 月底養豬頭數調查報告。  
[http://www.coa.gov.tw/htmlarea\\_file/web\\_articles/coa/14200/9911word.doc](http://www.coa.gov.tw/htmlarea_file/web_articles/coa/14200/9911word.doc)。
- 劉錦條、吳明哲、張秀燮。1996。臺灣豬肉屠體重與屠體長度之整齊度。畜產研究。29（2）：105-114。
- 潘鈺臻。2008。不同來源豬背最長肌肉特性之探討。東海大學畜產與生物科技系研究所碩士論文。臺中。
- 鄭智翔。2003。國產黑毛豬與三品種雜交豬肉質特性比較。東海大學畜產學系研究所碩士論文。臺中。
- 謝明哲、劉珍芳、郭鈺安。1996。食物原理與實驗，第 172 頁。臺北醫學院保健營養學系，臺北。
- 戴謙、張秀巒、黃鈺嘉、顏念慈。1997。台灣本地豬種之性能與種原利用。畜產研究。30（3）：215-227。
- 戴謙、顏念慈、洪金文、鄭裕信、陳義雄與朱慶誠。1991。高產杜洛克與台灣黑豬選育：II. 桃園豬與杜洛克豬級進豬隻屠體性狀之測定。中畜會誌。20（增刊）：11。
- 蘇天明。2004。畜試黑豬一號與 LYD 豬肉在不同屠宰體重之生長、血液、屠體性狀及脂質合成酵素活性之比較。嘉義大學動物科學系研究所碩士論文。
- 顏宏達與戈福江。1981。不同品種豬之的消化率、生長性能與屠體品質之討論。中畜會誌。10:17-83。
- 顏念慈。2000。本土化揮豬的誕生。農政與農情。第 100 期。
- 顏念慈。2001。臺灣黑色豬隻遺傳性之研究。國立中興大學畜產研究所博士論文。
- 顏念慈、黃木秋與戴謙。1997。台灣黑豬遺傳形質之研究：IV. RAPD 指紋分析。

中畜會誌。26 (增刊): 61。

- Aaslyng, M. D., C. Bejerholm, P. Ertbjerg, H. C. Bertram, and H. J. Andersen. 2003. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food Qual. Prefer.* 14:277-288.
- Abdalla, S. A. A., P. H. Adrian, and J. F. Jesen. 1999. Effect of some ante-mortem stressors on pre-mortem and post-mortem biochemical changes and tenderness in broiler breast muscle: a review. *World Poultry Sci. J.* 55:403-414.
- Agulló, E., M. E. Centurión, V. Ramos and M. A. Bianchi. 1990. Determination of total pigment in red meats. *J. Food Sci.* 55:250-251.
- Alvarez, I., J. D. L. Fuenie, V. Caneque, S. Lauzurica, C. Perez, and M. T. Diaz. 2009. Changes in the fatty acid composition of *M. longissimus dorsi* of lamb during storage in a high-oxygen modified atmosphere at different levels of dietary vitamin E supplementation. *J. Agric. Food Chem.* 57: 140-146.
- Andersen, H. J., N. Oksbjerg, J. F. Young, and M. Therkildsen. 2005. Feeding and meat quality – a future approach. *Meat Sci.* 70: 543-554.
- Anonymous. Aging and tenderness of beef: A summary. 1991. Manhattan, Kan.: Kansas State Univ. Anim. Sci. and Ind.
- A.O.A.C. 1995. Office Method of Analysis. 15<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C.
- Au T. 2004. Review: the muscle ultrastructure: a structural perspective of the sarcomere. *Cell. Mol. Life Sci.* 61: 3016-3033.
- Bardsley, R. G., S. M. J. Allock, J. M. Dawson, N. W. Dumelow, J. A. Higgins, Y. V. Lasslett, A. K. Lockley, T. Parr, and P. J. Buttery. 1992. Effects of beta-agonists on the expression of calpain and calpastatin activity in skeletal muscle. *Biochimie.* 74:267-273.
- Bee, G., A. L. Anderson, S. M. Lonergan, E. Huff-Lonergan. 2007. Rate and extent of pH decline affect proteolysis of cytoskeletal proteins and water-holding capacity in pork. *Meat Sci.* 76:359-365.
- Bertram, H. C., H. J. Andersen, A. H. Karlsson, P. Horn, J. Hedegaard, L. Nørgaard, and S. B. Engelsen. 2003. Prediction of technological quality (cooking loss and Napole Yield) of pork based on fresh meat characteristics. *Meat Sci.* 65: 707-712.
- Boakye, K. and G. S. Mittal. 1993. Changes in pH and water holding properties of longissimus dorsi muscle during beef ageing. *Meat Sci.* 34: 335-349.
- Boehm, M. L., T. L. Kendall, V. F. Thompson, and D. E. Goll. 1998. Changes in the calpains and calpastatin during postmortem storage of bovine muscle. *J. Anim. Sci.* 76:2415-2434.
- Boler, D. D., A. C. Dilger, B. S. Bidner, S. N. Carr, J. M. Eggert, J. W. Day, M. Ellis, F. K. Mckeith, and J. Killefer. 2010. Ultimate pH explains variation in pork quality traits. *J. Muscle Foods.* 21:119-130.
- Bosselmann A., C. Möller, H. Steingart, M. Kirchgessner, and F. J. Schwarz. 1995. Pyridino line cross-links in bovine muscle collagen. *J. Food Sci.* 60:953-958.
- Bredahl, L., K. G. Grunert, and C. Fertin. 1998. Relating consumer perceptions of

- pork quality to physical product characteristics. *Food Qual. Prefer.* 4: 273-281.
- Brewer, M. S., L. G. Zhu, B. Bidner, D. J. Meisinger, and F. K. McKeith. 2001. Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. *Meat Sci.* 57: 169-176.
- Byrne, D. V., M. G. O'Sullivan, W. L. P. Bredie, H. J. Andersen, and M. Martens. 2003. Descriptive sensory profiling and physical/chemical analyses of warmed-over flavour in pork patties from carriers and non-carriers of the RN<sup>-</sup> allele. *Meat Sci.* 63: 211-224.
- Calkins, C., and J. M. Hodgen. 2007. A fresh look at meat flavour. *Meat Sci.* 77:63-80.
- Cameron, N. D., and M. B. Enser. 1991. Fatty acid composition of lipid in longissimus dorsi muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality. *Meat Sci.* 29: 295-307.
- Cameron, N. D., P. D. Warris, S. J. Porter, and M. B. Enser. 1990. Comparison of Duroc and British Landrace pigs for meat and eating quality. *Meat Sci.* 27:227-247.
- Cardello, A. V., R. A. Segars, J. Secrist, J. Smith, S. H. Cohen, and R. Rosenkrans. 1983. Sensory and texture profile properties of flaked and formed beef. *Food Microstruct.* 2:119-113.
- Channon, H. A., Kerr, M. G., and P. J. Walker. 2004. Effect of Duroc content, sex and ageing period on meat and eating quality attributes of pork loin. *Meat Sci.* 66:881-888.
- Christensen, M., P. Henckel and P. P. Purslow. 2004. Effect of muscle type on the rate of post-mortem proteolysis in pigs. *Meat Sci.* 66:595-601.
- Christensen, M., L. M. Larsen, P. Ertbjerg, and P. P. Purslow. 2004. Effect of proteolytic enzyme activity and heating on the mechanical properties of bovine single muscle fibres. *Meat Sci.* 66:361-369.
- Corino, C., M. Musella, G. Pastorelli, R. Rossi, K. Paolone, L. Costanza, A. Manchisi, and G. Mariorano. 2008. Influences of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and total lysine content on growth, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. *Meat Sci.* 79:307-316.
- Crawford, S. M., S. J. Moeller, H. N. Zerby, K. M. Irvin, P. S. Kuber, S. G. Velleman, and T. D. Leeds. 2010. Effects of cooked temperature on pork tenderness and relationships among muscle physiology and pork quality traits in loins from Landrace and Berkshire swine. *Meat Sci.* 84: 607-612.
- Crescentini, G., and V. Stocchi. 1984. Reversed-phase high-performance liquid chromatographic determination of nucleotides in red blood cells. *J Chromatograph.* 290:393-399.
- Crouse, J. D., H. R. Cross and S. C. Seideman. 1985. Effects of sex condition, genotype, diet and carcass electrical stimulation on the collagen content and palatability of two bovine muscles. *J. Anim. Sci.* 60:1228-1234.
- Daszkiewicz T., T. Bakj, J. Denaburski. 2005. Quality of pork with a different intramuscular fat (IMF) content. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 14/55:31-36.

- Devine C. E. 2004. Encyclopedia of meat sciences. Page 330 in conversion of muscle to meat. Jensen, W. K., C. Devine., and M. Dikeman. ed. Academic press. U.S.A.
- DeVol, D. L., F. K. McKeith, P. J. Bechtel, J. Novakofski, R. D. Shanksm and T. R. Carr. 1988. Variations in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses. *J. Anim. Sci.* 66: 385-395.
- Diesbourg, L., H. J. Swatland, and B. M. Millman. 1988. X-ray diffraction measurements of postmortem changes in the myofilament lattice of pork. *J. Anim. Sci.*, 66:1048–1054.
- Dransfield, E., R. Jones, and H. Mac Fie. 1980. Tenderising in *M. Longissimus dorsi* of beef, veal, rabbit, lamb and pork. *Meat Sci.* 5:139-147.
- D'Souza, D. N., F. R. Dunshea, R. D. Warner and B. J. Leury. 1998. The effect of handling pre-slaughter and carcass processing rate post-slaughter on potk quality. *Meat Sci.* 50:429-437.
- Dutaud, D., L. Aubry, M. A. Sentandreu, and A. Ouali. 2006. Bovine muscle 20S proteasome: I .Simple purification procedure and enzymatic characterization in relation with postmortem conditions. *Meat Sci.* 74:327-336.
- Earnshaw, W. C., L. M. Martins, and S. H. Kaufmann. 1999. Mammalian caspases: structure, activation, substratesm and functions during apoptosis. *Annu. Rev. Biochemistry.* 68:383-424.
- Edwards, D. B., R. O. Bates and W. N. Osburn. 2003. Evaluation of Duroc- vs. Pietrain-sired pigs for carcass and meat quality measures. *J. Anim. Sci.* 81:1895-1899.
- Eikelenboom, G., and A. H. Hoving-Bolink. 1994. The effect of intramuscular fat on eating quality of pork. In: Proc. 40<sup>th</sup> Int. Congr. Meat Sci. Technol., The Hague, The Netherlands.
- Ellis, M., A. J. Webb, P. J. Avery, and I. Brown. 1996. The influence of terminal sire genotype, sex, slaughter weight, feeding regime and slaughter-house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on the organoleptic properties of fresh pork. *Anim. Sci.* 62:521-530.
- Enfält, A. C., K. Lundström, A. H. Karlsson, and I. Hansson. 1997. Estimated frequency of the RN<sup>-</sup> allele in Swedish Hampshire pigs and comparison of glycolytic potential, carcass composition and technological meat quality among Swedish Hampshire, Landrace, and Yorkshire pigs. *J. Anim. Sci.* 75: 2927-2935.
- Enfält, A. C., K. Lundström, I. Hansson, N. Lundeheim, and P. E. Nyström. 1996. Effects of outdoor rearing and sire breed (Duroc or Yorkshire) on carcass composition and sensory and technological meat quality. *Meat Sci.* 45:1-15.
- Fabrega, E., X. Manteca, J. Font, M. Fispert, D. Carrion, A. Velarde, J. L. Ruiz-de-la-Torre, and A. Diestre. 2002. Effects of halothane gene and pre-slaughter treatment on meat quality and welfare from two pig crosses. *Meat Sci.* 62:643-475.
- Fan, T. J., L. H. Han, R. S. Cong, and J. Liang. 2005. Caspase family proteases and apoptosis. *Acta. Biochim. Biophys. Sin.* 37: 719-727.

- Fernandez, X., G. Monin, A. Talmant, J. Mourot, and B. Lebret. 1999. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat – 2. Consumer acceptability of *M. longissimus lumborum*. *Meat Sci.* 53:67-72
- Fernandez, X., E. Neyraud, T. Astruc and V. Sante. 2002. Effects of halothane genotype and pre-slaughter treatment on pig meat quality. Part 1. Post mortem metabolism, meat quality indicators and sensory traits of *m. Longissimus lumborum*. *Meat Sci.* 62:429-437.
- Fernandez, X., E. Tornberg, J. Naveau, A. Talmant, and G. Monin. 1992. Bimodal distribution of the muscle glycolytic potential in French and Swedish populations of Hampshire crossbred pigs. *J. Sci. Food Agric.* 59:307-311.
- García-Garrido, J. A., R. Quiles-Zafra, J. Tapiador, and M. D. Luque de Castro. 2000. Activity of Cathepsin B, D, H and L in Spanish dry-cured ham of normal and defective texture. *Meat Sci.* 56:1-6.
- Geesink, G. H., S. Kuchay, A. H. Chishti, and M. Koochmaraie. 2006.  $\mu$ -calpain is essential for postmortem proteolysis of muscle proteins. *J. Anim. Sci.* 84:2834-2840.
- Goll, D. E., W. R. Dayton, I. Singh, and R. M. Robson. 1991. Studies of the  $\alpha$ -actinin/actin interaction in the Z-disk by using calpain. *J. Boil. Chem.* 266: 8501-8510.
- Goll, D. E., V. F. Thompson, H. Q. Li, W. Wei, and J. T. Cong. 2003. The calpain system. *Physiol. Rev.* 83:731-801.
- Goll, D. E., V. F. Thompson, R. G. Taylor, and J. A. Christiansen. 1992. Role of the calpain system in muscle growth. *Biochimie.* 74:225-237.
- Goll, D. E., R. B. Young, and M. H. Stomer. 1974. Separation of subcellular organelles by different and density gradient concentration. *Reciprocal Meat Conf.* (27<sup>th</sup>), p. 250. Texas A & M University, College Station, Texas, U.S.A.
- Göransson, A., G. von Seth, and E. Tornberg. 1992. Influence of intramuscular fat on the eating quality of pork. In: *Proc. 38<sup>th</sup> Int. Congr. Meat Sci. Technol.*, Clermont-Ferrand, France. pp 245-248.
- Gorraiz, C, M. J. Beriain, J. Chasco, and M. Iraizoz. 2000. Descriptive analysis of meat from young ruminants in Mediterranean systems. *J. Sensory Studies.* 15: 137-150.
- Henckel, P., A. Karisson, M. T. Jensen, N. Oksbjerg and J. S. Petersen. 2002. Metabolic conditions in porcine longissimus muscle immediately pre-slaughter and its influence on peri- and post mortem energy metabolism. *Meat Sci.* 62:145-155.
- Higgins, J. A., Y. V. Lasslett, R. G. Bardsley, and P. J. Buttery. 1988. The relation between dietary restriction or clenbuterol (a selective  $\beta$ -2 agonist) treatment on muscle growth and calpain proteinase (EC 3.4.22.17) and calpastatin activities in lambs. *Brit. J. Nutr.* 60:645-652.
- Ho, C. T., J. T. Carlin, and T. C. Huang. 1987. Flavour development in fat fried food. In M. Martens, G. A. Dalen and H. Russwurm eds, *Flavours Science and Technology*. Wiley, Chichester, U.K. pp. 35-42.

- Holmer, S. F., R. O. McKeith, D. D. Boler, A. C. Dilger, J. M. Eggert, D. B. Petry, F. K. McKeith, K. L. Jones, and J. Killeger. 2009. The effect of pH on shelf-life of pork during aging and simulated retail display. *Meat Sci* 82:86-93.
- Honikel, K. O. 1987. How to measure the water-holding capacity of meat? Recommendation of standardized methods. in: *Evaluation and Control of Meat Quality in Pig*. eds. Tarrant, P. V. and Eikelenboom. C. Dordrecht, The Netherlands, Martinus Nijhof., pp.129-142.
- Hood, R. L. and E. Allen. 1971. Influence of sex and postmortem aging on intramuscular and subcutaneous bovine lipids. *Food Sci.* 36:786-790.
- Hopkins, D. L., and J. M. Thompson. 2002. The degradation of myofibrillar proteins in beef and lamb using denaturing electrophoresis-an overview. *J. Muscle foods.* 13:81-102.
- Hovenier, R., E. Kanis and J. A. M. Verhoeven. 1993. Repeatability of taste panel tenderness scores and their relationships to objective pig meat quality traits. *J. Anim. Sci.* 71:2018-2025.
- Huff-Lonergan, E., T. J. Baas, M. Malek, J. C. Dekkers, K. Prusa, and M. F. Rothschild. 2002. Correlations among selected pork quality traits. *J. Anim. Sci.* 80:617-627.
- Huff-Lonergan, E., and S. M. Lonergan. 2005. Mechanisms of water holding capacity in meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71:194-204.
- Huff-Lonergan, E., T. Mitsuhashi, D. D. Beekman, F. C. Parrish Jr, D. G. Olson, and R. M. Robson. 1996. Proteolysis of specific muscle structural proteins by  $\mu$ -calpain at low pH and temperature is similar to degradation in postmortem bovine muscle. *J. Anim. Sci.* 74:993-1008.
- Hui, Y. H., W. K. Nip, R. W. Rogers and O. A. Young. 2001. *Meat science and applications*. p. 22-23. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Hwan, S. F., and E. Bandman. 1989. Studies of desmin and  $\alpha$ -actinin degradation in bovine semitendinosus muscle. *J. Food Sci.* 54: 1426-1430.
- Ilian Mohammad A., Alee El-Din Bekhit and Roy Bickerstaffe. 2004. The relationship between meat tenderization, myofibril fragmentation and autolysis of calpain 3 during post-mortem aging. *Meat Sci.* 66: 387-397.
- James S. J. and C. James. 2002. *Meat refrigeration*. p. 81. CRC Press. FL, USA.
- Jani, K. and F. Schöck. 2007. Zasp is required for the assembly of functional integrin adhesion sites. *J. Cell Biol.* 179:1583-1597.
- Johnson, R. C., J. R. Romans, T. S. Muller, W. J. Costello, and Jones, K. W. 1990. Physical, chemical and sensory characteristics of four types of beef steaks. *J. Food Sci.* 55:1264-1267.
- Jonsäll, A., L. Johannsson, and K. Lundström. 2001. Sensory quality and cooking loss of ham muscle (*M. biceps femoris*) from pigs reared indoors and outdoors. *Meat Sci.* 57: 245-250.
- Kastenschmidt, L. L., G. R. Beecher, J. C. Forrest, W. G. Hoekstra and E. J. Briskey. 1965. Porcine muscle properties. A. Alteration of glycolysis by artificially

- induced changes in ambient temperature. *J. Food Sci.* 30:565-572.
- Keller T. C. III. 1995. Structure and function of titin and nebulin. *Curr. Opin. Cell Biol.* 7:32-38.
- Kemp, C. M., and T. Parr. 2008. The effect of recombinant caspase 3 on myofibrillar proteins in porcine skeletal muscle. *Anim. Cons.* 2(8): 1254-1264.
- Kempster, A. J., and A. Cuthbertson. 1975. A national survey of muscle pH vales in commercial pig carcasses. *J. Food Technol.* 10:73-80.
- Kent, M. P., M. J. Spencer, and M. Koohmaraie. 2004. Postmortem proteolysis is reduced in transgenic mice overexpressing calpastatin. *J. Anim. Sci.* 68:1476-1483.
- Khan, A. W., J. Davidek, and C. P. Lentz. 1968. Degradation of inosinic acid in chicken muscle during aseptic storage and its possible use as an index of quality. *J. Food Sci.* 33:25-27.
- Killefer, J., and M. Koohmaraie. 1994. Bovine skeletal muscle calpastatin: cloning, sequence analysis, and steady-state mRNA expression. *J. Anim. Sci.* 72:606-614.
- Koohmaraie, M., and G. H. Geesink. 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Sci.* 74:34-43.
- Koohmaraie, M., G. Whipple, D. H. Kretchmar, J. D. Crouse, and H. J. Mersmann. 1991. Postmortem proteolysis in Longissimus muscle from beef, lamb and pork carcasses. *J. Anim. Sci.* 69:617-624.
- Kuninaka, A., M. Kibi, and K. Sakaguchi. 1964. History and development of flavor nucleotides. *Food. Technol.* 18:29-35.
- Labeit, S., C. A. C. Ottenheijm, and H. Granzier. 2011. Nebulin, a major player in muscle health and disease. *The FASEB J.* 25:822-829.
- Laemmli, U. K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of head bacteriophage T4. *Nature.* 227:680-685.
- Lametsch, R., A. Karlsson, K. Rosenvold, H. J. Andersen, P. Roepstorff, and E. Bendixen. 2003. Postmortem proteome changes of porcine muscle related to tenderness. *J. Agric. Food Chem.* 51:6992-6997.
- Lefaucheur, L., J. Le Dividich, J. Mourot, G. Monin, P. Ecolan and D. Krauss. 1991. Influence of temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. *J. Anim. Sci.* 69:2844-2854.
- Leheska, J. M., D. M. Wulf, J. A. Clapper, R. C. Thaler, and Maddock, R. J. 2002. Effects of high-protein/low-carbohydrate swine diets during the final finishing phase on pork muscle quality. *J. Anim. Sci.* 80:137-142.
- Lehman W., P. Vibert, P. Uman, and R. Craig. 1995. Stericblocking by tropomyosin visualized in relaxed vertebrate muscle thin filaments. *J. Mol. Biol.* 251:191-196.
- LeRoy, P., J. Naveau, J. M. Elsen, and P. Sellier. 1990. Evidence for a new major gene influencing meat quality in pigs. *Genet. Res.* 55:33-40.
- Lieber R. L. 2002. Skeletal muscle structure, function & plasticity: the physiological basis of rehabilitation. Page 19 in *Skeletal Muscle Cell Microstructure*. 2<sup>nd</sup> ed. Lippincott Williams & wilkins. Philadelphia. PA.



- Lin, L. C. 1993. Effect of different storage temperature (include control freezing point and partially freezing storage) on flavor and ATP-related compounds of pork loin chops. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 6:417-422.
- Lindahl, G., J. F. Young, N. Oksbberg, and H. J. Andersen. 2006. Significance of early postmortem temperature and pH decline on colour characteristics of pork loin from different crossbreeds. *Meat Sci.* 72:613-623.
- Loneragan, S. M., E. Huff-Loneragan, L. J. Rowe, D. L. Kuhlers, and S. B. Jungst. 2001. Selection for lean growth efficiency in Duroc pigs influences pork quality. *J. Anim. Sci.* 79:2075-2085.
- Lundström, K., A. C. Enfält, E. Tornberg, and H. Agerhem. 1998. Sensory and technological meat quality in carriers and non-carriers of the RN allele in Hampshire Crosses and in purebred Yorkshire pigs. *Meat Sci.* 48:115-124.
- MacLeod, G. 1986. The scientific and technological basis of meat flavours. In G. C. Birch and M. G. Lindley (Eds.). *Developments in food flavours* (pp. 191-223). London: Elsevier.
- Maddock Carlin, K. R., E. Huff-Loneragan, L. J. Rowe and S. M. Lonergan. 2006. Effect of oxidation, pH, and ionic strength on calpastatin inhibition of  $\mu$ - and m-calpain. *J. Anim. J.* 84: 925-937.
- Mancini, R. A. and M. C. Hunt. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.* 71:100-121.
- Marbo, H., P. Ertbjerg, M. Andersson, P. Barton-Gade, and A. J. Møller. 1999. Electrical stimulation of pigs – effect on pH fall, meat quality and Cathepsin B + L activity. *Meat Sci.* 52: 179-187.
- Marklund, N., K. Salci, G. Ronquist, L. Hillered. 2006. Energy metabolic changes in the early post-injury period following traumatic brain injury in rats. *Neurochem Res.* 31:1085-1093.
- Marta, C. G., J. F. Pedro, T. Roldra, and F. Pedro. 2010. Use of visible spectroscopy to assess colour development during ageing of fresh pork from different quality classes. *Inter. J. Food. Sci. Technol.* 45:1710-1716.
- Martin, A. H., A. P. Sather, H. T. Fredeen and R. W. Jolly. 1980. Alternative market weights for swine II. Carcass composition and meat quality *J. Anim. Sci.* 50: 699-705.
- Matsukara, U., A. Okitani, T. Nishimuro, and J. Kato. 1981. Mode of degradation of myofibrillar proteins by an endogenous protease, cathepsin L. *Biochim, Biophys. Acta.* 662: 41-47.
- Means, W. J., A. D. Clark, and J. N. Sofos. 1987. Binding, sensory and storage properties of align/calcium structured beef steaks. *J. Food Sci.* 25:252-256.
- Melody, J. L., S. M. Lonergan, L. J. Rowe, T. W. Huiatt, M. S. Mayes, and E. Huff-Loneragan. 2004. Early postmortem biochemical factors influence tenderness and water-holding capacity of three porcine muscles. *J. Anim. Sci.* 82: 1195-1205.
- Mikanci, M., A. H. Whiting, M. A. J. Taylar, R. A. Maciewicz, and D. J. Etherington. 1987. Degradation of myofibrils from rabbit, chicken, and beef by Cathepsin L

- and lysosomal lysates. *Meat Sci.* 21:81-97.
- Miller, T. K. 2004. Encyclopedia of meat sciences. Page 256 in chemical and physical characteristics of meat/ Palatability. Jensen, W. K., C. Devine., and M. Dikeman. ed. Academic press. U.S.A.
- Miller, K. D., M. Ellis, F. K. McKeith, B. S. Bidner, and D. J. Meisinger. 2000. Frequency of the Rendement Napole RN<sup>-</sup> allele in a population of American Hampshire pigs. *J. Anim. Sci.* 78:1811-1815
- Miller, M. F., M. A. Carr, C. B. Ramsey, K. L. Crockett, and L. C. Hoover. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *J. Anim. Sci.* 79:3062-3068.
- Minks, D., and W. C. Stringer. 1972. The influence of aging beef in vacuum. *J. Food Sci.* 37:736-738.
- Moesgaard, B., B. Quistorff, V. G. Christensen, I. Therkelsen and P. F. Jørgensen. 1995. Difference of post-mortem ATP turnover in skeletal muscle of normal and heterozygote malignant-hyperthermia pigs: comparison of P-NMR and analytical biochemical measurements. *Meat Sci.* 39:43-57.
- Monin, G., Lambooy and R. Klout. 1995. Influence of temperature variation on the metabolism of pig muscle in situ and after excision. *Meat Sci.* 40:149-158.
- Morrison, E. H., M. M. Mielche, and P. P. Purslow. 1998. Immunolocalisation of intermediate filament proteins in porcine meat. Fibre type and muscle-specific variations during conditioning. *Meat Sci.* 50:91-104.
- Mottram, D. S. 1998. Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chem.* 62:415-424.
- Mottram, D. S., and J. S. Elmore. 2002. Novel sulphur compounds from lipi-Maillard interactions in cooked meat. In: Reineccius F. A. and T. A. Reineccius eds, *Heteroatomic Aroma Compounds*, pp. 93-101. ACS Symposium Series 826. Washinton, DC: American Chemical Society.
- Mottram, D. S., R. A. Edwards, and H. J. H. MacFie. 1982. A comparison of the flavour volatiles from cooked beef and pork meat system. *J. Sci. Food Agric.* 33:394-944.
- National Pork Producers Council. 1991. Procedures to Evaluate Market Hogs. 3<sup>rd</sup> ed. National Pork Producers Council. U.S.A. p.230.
- Nawar, W. W. 1969. Termal degradation of lipids: a review. *J. Agric. Food Chem.* 17:18-29.
- Neath, K. E., A. N. Del Barrio, R. M. Lapitan, J. R. V. Herrera, L. C. Cruz, T. Fujihara, S. Muroya, K. Chikuni, M. Hirabayashi, and Y. Kanai. 2007. Protease activity higher in postmortem water buffalo meat than Brahman beef. *Meat Sci.* 77:389-396.
- Newcom, D. W., K. J. Stalder, T. J. Baas, R. N. Goodwin, F. C. Parrish and B. R. Wiegand. 2004. Breed differences and genetic parameters of myoglobin concentration in porcine longissimus muscle. *J. Anim. Sci.* 82: 2264-2268.
- Ockerman, H. W. 1985. Quality Control of Post-mortem Muscle Tissue. Animal Science Dept., The Ohio State Univ., Columolus, OH.

- Okeudo, N. H., and B. W. Moss. 2005. Interrelationships amongst carcass and meat quality characteristics of sheep. *Meat Sci.* 69: 1-8.
- Okitani, A., U. Matsukara, H. Kato, and M. Fujimaki. 1980. Purification and some properties of a myofibrillar protein-degrading protease, cathepsin L, from rabbit skeletal muscle. *J. Biochem.* 87: 1133-1143.
- Olson, D. G., and F. C. Parish Jr. 1977. Relationship of myofibril fragmentation index to measure of beef steak tenderness. *J. Food Sci.*, 42: 506-509.
- Ouali, A., C. H. Herrera-Mendez, G. Coulis, S. Becila, A. Boudjellal, L. Aubry, and M. A. Sentandreu. 2006. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Sci.* 74:44-58.
- Park, E., A. D. Whittaker, R. K. Miller, and D. S. Hale. Predicting intramuscular fat in beef longissimus muscle from speed of sound. *J. Anim. Sci.* 72:109-116.
- Parr, T., R. G. Bardsley, R. S. Hilmour, and P. J. Buttery. 1992. Changes in calpain and calpastatin mRNA induced by beta-adrenergic stimulation of bovine skeletal muscle. *Eur. J. Biochem.* 208:333-339.
- Parrish, F. C., J. A. Boles, R. E. Rust, and D. G. Olson. 1991. Dry and wet aging effects on palatability attributes of beef loin and rib steaks from three quality grades. *J. Food Sci.* 56: 601-603.
- Ramírez R., and Cava, R. 2007. Carcass composition and meat quality of three different Iberian × Duroc genotype pigs. *Meat Sci.* 75:388–396.
- Rees, M. P., G. R. Trout, and R. D. Warner. 2003. The influence of the rate of pH decline on the rate of ageing for pork. II: Interaction with chilling temperature. *Meat Sci.* 65:805-818.
- Rees, M. P., G. R. Trout, and R. D. Warner. 2002. Effect of calcium infusion on tenderness and ageing rate of pork m. longissimus thoracis et lumborum after accelerated boning. *Meat Sci.* 61:169-179.
- Pegg, R. B. and F. Shahidi. 2004. Encyclopedia of meat sciences. Page 570 in meat effects on meat / flavour development. Jensen, W. K., C. Devine., and M. Dikeman. ed. Academic press. U.S.A.
- Prevolnik M., M. Čandek-Potokar, and D. Škorjanc. 2010. Predicting pork water-holding capacity with NIR spectroscopy in relation to different regerence methods. *J. of Food Engineering.* 98:347-352.
- Richard, I., O. Broux, V. Allamand, F. Fougerousse, N. Chiannikulchai, N. Bourg, L. Brenguier, C. Devaud, P. Pasturaud, C. Roudaut. 1995. Mutations in the proteolytic enzyme calpain cause limb-girdle muscular dystrophy type 2A. *Cell*, 81:27–40.
- Remignon, H., J. Zanusso, G. Albert, and R. Babilé. 2000. Occurrence of giant myofibres according to muscle type, per- or post-rigor state and genetic background in turkeys. *Meat Sci.* 56:337-343.
- Renerre, M. 1990. Factors involved in the discoloration of beef meat. *Inter. J. Food Sci. Tech.* 25: 613-630.
- Rhodes, D. N. 1970. Meat quality: Influence of fatness of pigs on the eating quality of pork. *J. Food Agric.* 21:572-575.

- Robbins, F. M., J. E. Walker, S. H. Cohen, and S. Chatterjee. 1979. Action of proteolytic enzyme on bovine myofibrils. *J. Food Sci.* 44:1672-1680.
- Roseiro, L. C., C. Santos, and R. S. Melo. 1994. Muscle pH60, colour (L, a, b) and water-holding capacity and the influence of post-mortem meat temperature. *Meat Sci.* 38:353-359.
- Rosenvold, K., U. Borup and M. Therkildsen. 2010. Stepwise chilling: tender pork without compromising water-holding capacity. *J. Anim. Sci.* 88: 1830-1841.
- Saito, T., K. Ara and M. Matsuyoshi. 1959. A new method for estimating the freshness of fish. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 24:249-750.
- SAS Guide for Personal Computers. Version 9.1.3. 2007. SAS Inst. Inc., N.C., U.S.A.
- Schäfer, A., K. Rodenvold, P. P. Purslow, H. J. Andersen and P. Henckel. 2002. Physiological and structural events post mortem of importance for drip loss in pork. *Meat Sci.* 61:355-366.
- Seewald Markus, J., P. A. Iaizzo, E. Heisswolf, and H. M. Eichinger. 1993. Effects of meat quality and storage on the breakdown of adenosine triphosphate in muscle from swine. *Meat Sci.* 35:47-61.
- Seewald, M. J., P. A. Iaizzo, E. Heisswolf, and H. M. Eichinger. 1993. *Meat Sci.* 35:47-61.
- Sentandreu, M. A., G. Coulis, and A. Quali. 2002. Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends Food Sci. Technol.* 13:400-421.
- Seydim, A. C., J. C. Acton, M. A. Hall and P. L. Dawson. 2006. Effects of packaging atmospheres on shelf-life quality of ground ostrich meat. *Meat Sci.* 73:503-510.
- Shackelford, S. D., T. L. Wheeler, M. K. Meade, J. O. Reagan, B. L. Byrnes and M. Koochmarai. 2001. Consumer impressions of tender select beef. *J. Anim. Sci.* 79:2605-2614.
- Shahidi, F., A. G. P. Samaranayaka, and R. B. Pegg. 2004. Encyclopedia of meat sciences. Page 578 in heat effects on meat / Maillard reaction and browning. Jensen, W. K., C. Devine., and M. Dikeman. ed. Academic press. U.S.A.
- Shimazono, H. 1964. Distribution of 5'-ribonucleotides in foods and their application to foods. *Food Technol.* 18:36-45.
- Shuler, R. O., T. D. Pate, R. W. Mandigo and L. E. Lucas. 1970. Influence of confinement, floor structure and slaughter weight on pork carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 31:31-40.
- Sink, J. D. 1979. Symposium on meat flavor factors in influencing the flavor of muscle foods. *J. Food Sci.* 44:1-5.
- Skelley, G. C., D. L. Handlin, and T. E. Bonnette. 1973. Pork acceptability and its relationship to carcass quality. *J. Anim. Sci.* 36:488-492.
- Smith, G. C., T. G. Jambers, Z. I. Carpenter, T. R. Dutson, R. L. Hostetler, and W. M. Oliver. 1979. Uncreasing the tenderness of forage-fed beef. *J. Anim. Sci.* 49: 1207-1218.
- Smith, R. M., N. K. Gabler, J. M. Young, W. Cai, N. J. Boddicker, M. J. Anderson, E. Huff-Lonergan, J. C. M. Dekkers, S. M. Lonergan. 2011. Effects of selection for decreased residual feed intake on composition and quality of fresh pork. *J. Anim.*

- Sci. 89:192-200.
- Smith, W. C., and A. Wilson. 1978. A note on some factors influencing muscle pH 1 values in commercial pig carcasses. *Anim. Prod.* 26:229-232.
- Sparrow, J. C., and F. Schöck. 2009. The initial steps of myofibril assembly: integrins pave the way. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 10:293-298.
- Sukhija, P. S., and D. L. Palmquist. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.* 36:1202-1206.
- Suzuki, K., T. Shibata, H. Kadowaki, H. Abe, and T. Toyoshima. 2003. Meat quality comparison of Berkshire, Duroc and crossbred pigs sired by Berkshire and Duroc. *Meat Sci.* 64:35-42.
- Taylor, R. G., G. H. Geesink, V. F. Thompson, M. Koohmaraie and D. E. Goll. 1995. Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? *J. Anim. Sci.* 73:1351-1367.
- Tikk, K. 2007. The influence of feeding and aging on pork quality. Ph.D.Thesis, Swedish Univ., Uppsala.
- Toldrá, F. M. Flores, and M. C. Aristoy. 1995. Enzyme generation of free amino acids and its nutritional significance in processed pork meats. *Developments Food Sci.* 37:1303-1322.
- Topel, D. G., R. A. Merkel, D. L. Mackintosh and J. L. Hall. 1966. Variation of some physical and biochemical properties within and among selected porcine muscles. *J. Anim. Sci.* 25:277-282.
- Touraille, C., and J. P. Girard. 1985. Revue des facteurs ante et postmortem influencant la flaveur de la viande et celle des produits carnes. *Bull Tech Centre de Recherches Zootechniques et Veterinaires Theix INRA* 60:83-97.
- Touraille, C., G. Monin, and C. Legault. 1989. Eating quality of meat from European x Chinese crossbred pigs. *Meat Sci.* 25: 177-186.
- Tsai, R., R. G. Cassens, E. J. Briskey and M. L. Greaser. 1972. Studies on nucleotide metabolism in porcine longissimus muscle postmortem. *J. Food Sci.* 37:612-616.
- Vani, N. D., V. K. Modi, S. Kavitha, N. M. Sachindra, and N. S. Mahendrakar. 2006. Degradation of Inosine-5'-monophosphate (IMP) in aqueous and in layering chicken muscle fibre systems: Effect of pH and temperature. *LWT- Food Sci. Technol.* 39: 627-632.
- Veiseth E., S. D. Shackelford, T. L. Wheeler, and M. Koohmaraie. 2001. Effect of postmortem storage on  $\mu$ -calpain and m-calpain in ovine skeletal muscle. *J. Anim. Sci.* 79: 1502-1508.
- ven Laack, R. T. J. M., S. G. Stevens, and K. L. Stalder. 2001. The influence of ultimate pH and intermuscular fat content on pork tenderness and tenderization. *J. Anim. Sci.* 79:392-397.
- Wahlstrom, R. C., G. W. Libal and T. J. Berns. 1971. Effect of cooked soybeans on performance, fatty acid composition and pork carcass characteristics. *J Anim. Sci.* 32:891-894.
- Warren, K. E., and C. L. Kastner. 1992. A comparison of dry-aged and vacuum-aged

- beef strip loins. *J. Muscle Foods*. 3: 151-157.
- Warriss, P. D. 2000. *Meat Science: An Introductory Text*. p. 262. CABI Publishing, New York, USA.
- Watanabe, A., C. C. Daly, and C. E. Devine. The effect of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Sci*. 42:67-78.
- Wegner, J., E. Albrecht, I. Fiedler, F. Teuscher, H. J. Papstein, and K. Ender. 2000. Growth- and breed-related changes of muscle fiber characteristics in cattle. *J. Anim. Sci*. 78: 1485-1498.
- Wendt, A., V. F. Thompson, and D. E. Goll. 2004. Interaction of calpastatin with calpain: A review. *Biol. Chem*. 385:465-472.
- Wheeler, T. L., and M. Koohmaraie. 1994. Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine longissimus muscle. *J. Anim. Sci*. 72:1232-1238.
- Wheeler, T. L., S. D. Shackelford, and M. Koohmaraie. 2000. Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content, and tenderness among major pork muscles. *J. Anim. Sci*. 78: 958-965.
- Wood, J. D., S. N. Brown, G. R. Nute, F. M. Whittington, A. M. Perry, S. P. Johnson, and M. Enser. 1996. Effects of breed, feed level and conditioning time on the tenderness of pork. *Meat Sci*. 44:105-112.
- Wood, J. D., M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Nute, R. I. Richardson and P. R. Sheard. 1999. Manipulating meat quality and composition. *Proceed. Nutri. Soc*. 58:363-370.
- Wood, J. D., R. I. Richardson, G. R. Nute, A. V. Fisher, M. M. Campo, P. R. Kasapidou, P. R. Sheard, and M. Enser. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: A Review. *Meat Sci*. 66:21-32.
- Yano, Y., N. Kataho, M. Watanabe, T. Nakamura and Y. Asano. 1995. Evaluation of beef aging by determination of hypoxanthine and xanthine contents: application of a xanthine sensor. *Food Chem*. 52:439-445.
- Young, L. L., D. R. Reverie and A. B. Cole. 1988. Fresh red meats: a place to apply modified atmospheres. *Food Technol*. September: 65-69.
- Zeece, M. G., T. L. Woods, M. A. Keen, and W. J. Reville. 1992. Role of proteinases and inhibitors in postmortem muscle protein degradation. *Proc. Recip. Meat Conf*. 45:51-61.
- Zhang, S., T. J. Knight, K. J. Stalder, R. N. Goodwin, S. M. Lonergan, and D. C. Beitz. 2007. Effects of breed, sex, and halothane genotype on fatty acid composition of pork longissimus muscle. *J. Anim. Sci*. 85: 583-591.
- Zhang, W. G., S. M. Longergan, M. A. Gardner, and E. Huff-Lonergan. 2006. Contribution of postmortem changes of integrin, desmin and  $\mu$ -calpain to variation in water holding capacity of pork. *Meat Sci*. 74:578-585
- Zhu, L. G., B. Bidner, and M. S. Brewer. 2001. Postmortem pH, muscle, and refrigerated storage effects on ability of vacuum-packed pork to bloom. *J. Food Sci*. 60:1230-1235.

## 捌、英文摘要

### **Effect of low temperature ageing on meat qualities of TLRI black pig No. 1 and LYD crossbred pig**

Twelve *longissimus dorsi* muscle of TBPs (75% Duroc, 25% Taoyuan) and Landrace × Yorkshire × Duroc (LYD) pigs were stored at 0°C in vacuum packaged and the meat properties change were observed during 72 h post-mortem and during 4 weeks of storage at 0 °C. The results indicated that TBP had higher marbling score and crude fat content than LYD ( $P < 0.05$ ), and LYD had higher color score, moisture and crude protein than TBP on meat quality and proximate composition. The meat properties changed during 72 h post-mortem, TBP had lower pH value than LYD at 24 h post-mortem ( $P < 0.05$ ); however, no significant difference were found between TBP and LYD after 48 h post-mortem. TBP had higher cooking loss than LYD during 24 h ( $P < 0.05$ ). LYD had higher shear value than LYD during 24 h, they were not difference after 48 h post-mortem. TBP had faster myofibril degradation than LYD in Desmin, but LYD had faster degradation in myofibril in 32~28 kDa than TBP. The  $\mu$ -calpain activity was not reduced and muscle tenderization was continuing during storage. The  $\alpha$ -actinin was not changed during post-mortem.

TBP had lower pH value than LYD at 2, 3 and 4 week ( $P < 0.05$ ), but no difference at 0 and 1 week of storage. TBP had higher  $L^*$  value than LYD during 3 week;  $a^*$  value had no difference between TBP and LYD, and TBP had higher  $b^*$  value than LYD during storage. No differences were found in shear value, but LYD trended to have higher shear value than TBP. In content of ATP related compounds, TBP had higher ADP content than LYD at the first week ( $P < 0.05$ ). Hypoxanthine, Inosine and total ATP related compounds were higher in LYD at the fourth week ( $P < 0.05$ ). In free fatty acid compounds, TBP had lower  $C_{12:0}$ ,  $C_{18:2}$ ,  $C_{18:3}$  and PUFA content than LYD ( $P < 0.05$ ), but no difference of SFA between TBP and LYD.  $C_{16:1}$

content was increased during storage ( $P < 0.05$ ). The phenomenon of  $C_{12:0}$  content was first increased then decreased during storage.  $C_{18:1}$  and  $C_{20:1}$  content of LYD were increased as the increased of time. In sensory evaluation, TBP and LYD had no significant difference in color score. TBP had higher odor score than LYD at the 0 and 4 week of storage. LYD had significant tenderization effect during storage, and TBP had no significant difference during storage. TBP tended to have higher juiciness score than LYD. The juiciness score had significantly decreased during storage. TBP and LYD juiciness score were lowest at fourth week ( $P < 0.05$ ). TBP had higher sweetness score and total acceptability score than LYD before 3 weeks ( $P < 0.05$ ). At the fourth week, TBP had the lowest total acceptability score ( $P < 0.05$ ), and LYD was no difference.

LYD had more off-flavor matters (PUFA and Hypoxanthine) than TBP, but TBP had better sensory scores than LYD. Overall, TBP had better meat qualities than LYD during low temperature ageing.



附表一、屠後72小時之背最長肌與品質分析之相關性

Appendix table 1. The correlation of meat quality analysis on *longissimus dorsi* storage at 0°C for 72 hours

	時間	水份	粗蛋白	粗脂肪	色澤	大理石紋	緊實度	溫度	酸鹼值	保水力	蒸煮失重	剪力值	μ-calpain	m-calpain
時間	1	0	0	0	0	0	0	-0.68 ***	-0.23 **	0.01	-0.38 **	-0.36 ***	-0.14	0.16
水份		1	0.17 *	-0.54 ***	0.4 **	-0.56 ***	0.78 ***	0.02	0.3 ***	0.32 ***	-0.16	0.16	-0.38 *	-0.16
粗蛋白			1	-0.27 **	0.81 ***	-0.62 ***	0.29 **	0.02	0	0.17 *	-0.23 *	0.43 ***	0.08	-0.21
粗脂肪				1	-0.74 ***	0.85 ***	-0.76 ***	-0.03	-0.44 ***	-0.36 ***	0.25 *	-0.24 **	0.22	0.2
色澤					1	-0.61 ***	0.65 ***	0.02	0.43 ***	0.56 ***	-0.37 *	-0.21	-0.27	-0.05
大理石紋						1	-0.65 ***	-0.02	-0.3 **	-0.47 ***	0.43 *	0.25	0.02	-0.03
緊實度							1	0.02	0.48 ***	0.48 ***	-0.26	-0.06	-0.51	-0.03
溫度								1	0.29 **	0.17	0.74 ***	-0.29 *	0.14	-0.02
酸鹼值									1	0.37 ***	0.06	0.11	0.01	-0.16
保水力										1	0.02	-0.2 *	0	-0.26
蒸煮失重											1	-0.09	0.11	0.23
剪力值												1	0.5	0
μ-calpain													1	0.09
m-calpain														1

\* P&lt;0.05; \*\* P&lt;0.01; \*\*\*P&lt;0.001

附表二、貯存四週之背最長肌在屠肉品質及品評分析之相關

Appendix table 2. Corelation of meat qulity and sensory evalutaion on *longissimus dorsi* muscle

	週數	Moisture	CP	CF	酸鹼值	L*	a*	b*	剪力值	色澤	氣味	嫩度	風味	多汁性	甘味	總接受
週數	1															
Moisture	0	1														
CP	-0.07	0.17	1													
CF	-0.01	-0.51 ***	-0.24 *	1												
酸鹼值	-0.09	0.03	0.41 ***	-0.32 **	1											
L*	0.15	-0.32 **	-0.37 ***	0.51 ***	-0.41 ***	1										
a*	0.26 **	-0.02	-0.3 **	0.23 *	-0.45 ***	0.05	1									
b*	0.34 **	-0.25 *	-0.43 ***	0.48 ***	-0.56 ***	0.72 ***	32 **	1								
剪力值	-0.39 **	0.15	0.12 **	-0.33 *	0.37 **	-0.44 **	-0.24	-0.42 **	1							
色澤	0.53 ***	-0.08	-0.25 *	0.19	-0.3 *	0.13	0.43 **	0.47 ***	-0.49 **	1						
氣味	0.24 0.058	-0.12	-0.42 ***	0.32 **	-0.52 ***	0.33 **	0.33 **	0.5 ***	-0.45 **	0.59 ***	1					
嫩度	-0.04	0.31 *	0	-0.24 0.06	-0.25 *	-0.21	0.29 *	0.01	0.2	0.28 *	0.25 *	1				
風味	-0.24 0.0594	-0.2	-0.44 ***	0.29 *	-0.02	0.5 ***	-0.24 0.0532	0.39 **	-0.14	0.006	0.1	-0.34 **	1			
多汁性	-0.08	-0.29 *	-0.58 ***	0.47 ***	-0.19	0.61 ***	0.1	0.47 ***	-0.33 0.052	0.28 *	0.35 ***	-0.08	0.68 ***	1		
甘味	-0.09	-0.24 0.059	-0.58 ***	0.42 **	-0.25 0.0503	0.53 ***	0.09	0.56 ***	-0.29	0.34 **	0.41 ***	-0.02	0.71 ***	0.89 ***	1	
總接受度	-0.04	-0.32 *	-0.59 ***	0.42 ***	-0.09	0.66 ***	-0.07	0.56 **	-0.31	0.23	0.23	-0.2	0.84 ***	0.88 ***	0.88 ***	1

\*P<0.05; \*\*P<0.01; \*\*\*P<0.001

附表三、貯存四週之背最長肌在核苷酸關聯物及品評分析之相關

Appendix table 3. Corelation of ATP related compound and sensory evalutaion on *longissimus dorsi* muscle

	週數	UMP	GMP	ADP	IMP	Hyp	AMP	Ino	tatal ATP	色澤	氣味	嫩度	風味	多汁性	甘味	總接受
週數	1															
UMP	0.2	1														
GMP	-0.28 *	0.24	1													
ADP	-0.22	0.07	0.49 ***	1												
IMP	-0.62 ***	0.05	0.54 ***	0.42 **	1											
Hyp	0.63 ***	0.2	-0.07	-0.02	-0.24	1										
AMP	0.37 **	0.34 **	0.1	-0.2	-0.02	0.16	1									
Ino	0.63 ***	0.38 **	-0.16	-0.17	-0.43 **	0.19	0.53 ***	1								
tatal ATP	-0.17	0.39 **	0.58 ***	0.42 **	0.8 ***	0.1	0.38 **	0.13	1							
色澤	0.53 ***	0.13	-0.05	-0.11	-0.36 *	0.1	0.34 *	0.59 ***	-0.1	1						
氣味	0.24 0.058	-0.03	-0.07	-0.18	-0.22	-0.3	0.38 *	0.24	-0.16	0.59 ***	1					
嫩度	-0.04	0.36 *	0.06	-0.31 0.058	0.01	-0.11	0.26	0.3 0.0598	0.16	0.28 *	0.25 *	1				
風味	-0.24 0.0594	-0.47 **	0.16	0.45 **	0.08	-0.35 *	-0.45 *	-0.46 **	-0.24	0.006	0.1	-0.34 **	1			
多汁性	-0.08	-0.16	0.22	0.39 *	0.01	-0.24	0.09	-0.18	-0.1	0.28 *	0.35 ***	-0.08	0.68 ***	1		
甘味	-0.09	-0.2	0.12	0.33 *	-0.06	-0.15	0.13	-0.19	-0.14	0.34 **	0.41 ***	-0.02	0.71 ***	0.89 ***	1	
總接受度	-0.04	-0.3	0.06	0.34 *	-0.09	-0.19	-0.06	-0.24	-0.25	0.23	0.23	-0.2	0.84 ***	0.88 ***	0.88 ***	1

\*P<0.05; \*\*P<0.01; \*\*\*P<0.001

附表四、貯存四週之背最長游離脂肪酸及品評分析之相關

Appendix table 4. Correlation of free fatty acid and sensory evaluation composition on *longissimus dorsi* muscle

週數	週數	SFA	MUFA	PUFA	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:1	C20:4	色澤	氣味	嫩度	風味	多汁性	甘味	總接受
週數	1																				
SFA	-0.31 *	1																			
MUFA	0.08	-0.69 ***	1																		
PUFA	0.14	0.12	-0.8 ***	1																	
C12:0	-0.43 **	0.9 ***	-0.56 **	0.03	1																
C14:0	0.02	0.1	-0.38 *	0.44 **	-0.17	1															
C16:0	0.48 **	-0.48 **	0.33 *	-0.06	-0.79 ***	0.38 *	1														
C16:1	0.1 **	-0.45 **	0.64 ***	-0.51 **	-0.48 **	0.16 *	0.39 *	1													
C18:0	0.07	0.31 0.0533	-0.49 **	0.42 **	-0.05	0.41 **	0.34 *	-0.12	1												
C18:1	0.07	-0.68 ***	0.99 ***	-0.8 ***	-0.54 **	-0.41 **	0.3 0.057	0.58 **	-0.52 **	1											
C18:2	0.15	0.16	-0.83 ***	0.99 ***	0.07	0.46 **	-0.07 **	-0.52 **	0.44 **	-0.83 ***	1										
C18:3	0.16	-0.05	-0.51 **	0.71 ***	-0.22	0.67 ***	0.28	-0.22	0.33 *	-0.52 **	0.73 ***	1									
C20:1	0.11	-0.63 ***	0.83 ***	-0.6 ***	-0.53 **	-0.38 *	0.29	0.44 **	-0.26	0.82 ***	-0.6 ***	-0.35 *	1								
C20:4	0.05	-0.08	-0.44 **	0.67 ***	-0.05	0.01	-0.12	-0.35 *	0.17	-0.44 **	0.58 ***	0.15 **	-0.43 **	1							
色澤	0.53 ***	-0.15	0.3	-0.26	-0.19	-0.03	0.18	0.29	0.03	0.29	-0.22	-0.24	0.34	-0.27	1						
氣味	0.24 0.058	0.38 *	0.11	-0.52 **	0.43 *	-0.41 *	-0.26	-0.15	-0.13	0.14 *	-0.46 *	-0.42 *	0.17 *	-0.46 *	0.59 ***	1					
嫩度	-0.04	-0.25	0.02	0.12	-0.27	-0.21	-0.13	-0.3	-0.04	-0.09	0.2	-0.1	0.15	-0.05	0.28 *	0.25 *	1				
風味	-0.24 0.0594	-0.07	0.62 **	-0.62	-0.015	-0.11	-0.05	0.3	-0.13	0.61 **	-0.63 **	-0.6 **	0.57 *	-0.18	0.006	0.1 **	-0.34 **	1			
多汁性	-0.08 *	-0.11	0.43 *	-0.49 **	-0.06	-0.16	0.02	0.52 *	-0.19	0.42 *	-0.49 **	-0.29	0.28	-0.23	0.28 *	0.35 ***	-0.08	0.68 ***	1		
甘味	-0.09	-0.01	0.29	-0.39 *	0.08	-0.15	-0.1	0.24	-0.29	0.28	-0.42 *	-0.22	0.06	-0.07	0.34 **	0.41 ***	-0.02	0.71 ***	0.89 ***	1	
總接受度	-0.04	-0.11	0.46 *	-0.53 **	-0.1	-0.11	0.1	0.56 **	-0.12	0.43 *	-0.56 **	-0.31	0.54 *	-0.46 *	0.23	0.23	-0.2	0.84 ***	0.88 ***	0.88 ***	1

\*P<0.05; \*\*P<0.01; \*\*\*P<0.001

## 附表五、試驗藥品

Appendix table 5. Medicines experimental

藥品	廠牌
Acetic acid	Merck
Anhydrous sodium sulphate, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	國產化學
2-Amino-2-hydroxymethyl-propane-1,3-diol, Tris • HCl	Sigma
Anti- $\alpha$ -actinin,	Sigma
BCA Protein Assay Reagent Kit 23227	Pierce
Benzene	Sigma
$\beta$ -mercaptoethanol, 2-ME	Bio-Rad
Bromophenol Blue	Bio-Rad
Calcium chloride, CaCl <sub>2</sub>	林純藥
Coomassie Brilliant Blue R-250	Sigma
Glycerol	島久藥品
Hammarsten Casein	MP Biomedicals
2,2',2'',2'''-(Ethane-1,2-diylidinitrilo)tetraacetic acid, EDTA	藥理化學工業
leupeptin	Sigma
Methanol	Merck
Methanolic HCl	Fluka
Pepstatin A	Sigma
Phenyl-Sepharose CL-4B	Bio-Rad
Potassium carbonate, K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Shimakyu
Potassium chloride, KCl	島久藥品
Potassium dihydrogen phosphate, KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	林純藥
Potassium hydrogen phosphate, K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	林純藥
Potassium phosphate, KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	J.T. Baker
Sodium azide, NaN <sub>3</sub>	Sigma
Sodium chloride, NaCl	林純藥
Sodium dodecyl sulfate, SDS	Sigma
Sodium sulfate, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	國產化學
Trihydroxidooxidophosphorus phosphoric acid, H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	島久藥品
Triton X-100	Sigma
70% 過氧酸	Katayama
乙醯氯 (acetyl chloride)	Fluka