

結果與討論

一、一般成份之分析

絞碎豬里肌肉之水分含量、粗脂肪含量、粗蛋白含量及灰分含量，分別介於 74.27--74.33%、0.52--0.57%、23.22--23.76% 與 1.17--1.27% 之間 (表四)，且各組之間並無顯著差異 ($P > 0.05$)。由此可知，經乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白處理之絞碎豬里肌肉並不會影響絞碎豬里肌肉之水分、粗脂肪、粗蛋白及灰分之含量。

二、硫氰酸根離子殘留量

由圖十四得知，硫氰酸根離子殘留量未隨貯藏時間增加而減少。由圖十五得知，未添加乳過氧化酵素系統之處理組 (Control 組及 LF 組) 之硫氰酸根離子殘留量皆顯著低於添加乳過氧化酵素系統之處理組 (LP 2 組、LP 10 組及 LP 2 + LF 組)。LP 10 組顯著 ($P < 0.05$) 低於 LP 2 組，推測是因為 LP 10 組所添加乳過氧化酵素含量較多，使有較多硫氰酸根離子結合到酵素所致。LP 2 + LF 組顯著低於 LP 2 組，推測可能是 apo-lactoferrin 會增加乳過氧化酵素的活性 (Soukka *et al.*, 1991)，因而使較多的硫氰酸根離子結合到乳過氧化酵素進行反應。de Schoos 等人 (1999) 也提出乳過氧化酵素活性與硫氰酸根離子濃度成相反關係，換言之，有較高的酵素活性，即可增加硫氰酸根離子發生氧化作用，產生更多的抗菌物質，即使只有由細菌產生少量的 H_2O_2 亦可進行反應。由於 apo-lactoferrin 會增加乳過氧化酵素活性 (Soukka *et al.*, 1991)，促使乳過氧化酵素與更多的硫氰酸根離子作用，使得在 LP 2 + LF 組的硫氰酸根離子有較低的殘留量。

表四、乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉組成之影響

Table 4. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on the composition of ground pork¹

Item	Control	LP 2	LP 10	LP 2 + LF	LF
Moisture (%)	74.29 ± 0.07	74.31 ± 0.22	74.33 ± 0.12	74.30 ± 0.09	74.27 ± 0.04
Crude fat (%)	0.56 ± 0.05	0.52 ± 0.04	0.52 ± 0.03	0.57 ± 0.05	0.56 ± 0.08
Crude protein (%)	23.54 ± 1.38	23.76 ± 1.98	23.36 ± 1.76	23.58 ± 1.62	23.22 ± 1.38
Ash (%)	1.25 ± 0.18	1.17 ± 0.10	1.23 ± 0.12	1.22 ± 0.10	1.27 ± 0.07

Each value is the mean ± 1 standard deviation.

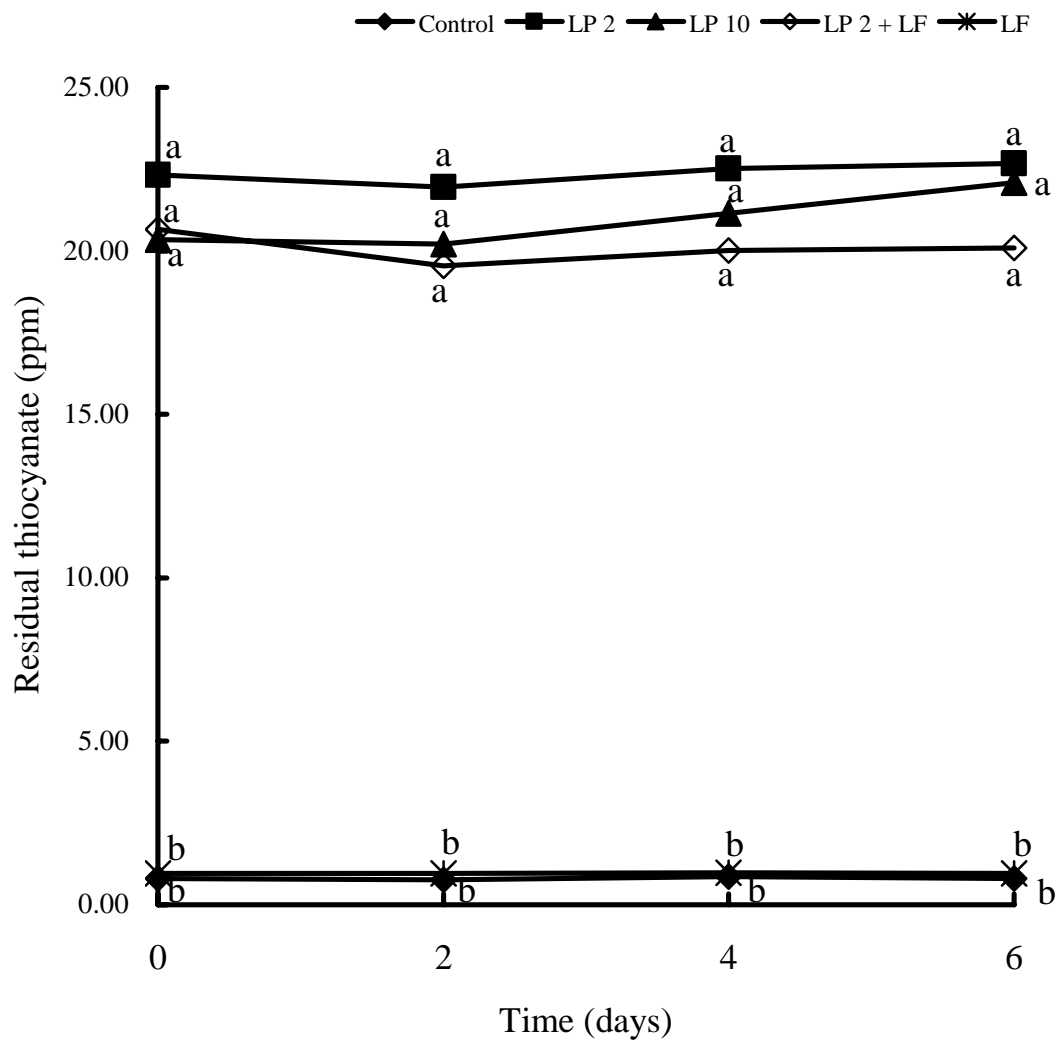
¹ Control: without adding lactoperoxidase system and lactoferrin.

LP 2: adding lactoperoxidase 2 ppm, NaSCN 40 ppm and H₂O₂ 75 ppm in meat.

LP 10: adding lactoperoxidase 10 ppm, NaSCN 40 ppm and H₂O₂ 75 ppm in meat.

LP 2 + LF: adding lactoperoxidase 2 ppm, NaSCN 40 ppm, H₂O₂ 75 ppm and lactoferrin 40 ppm in meat.

LF: adding lactoferrin 40 ppm in meat.

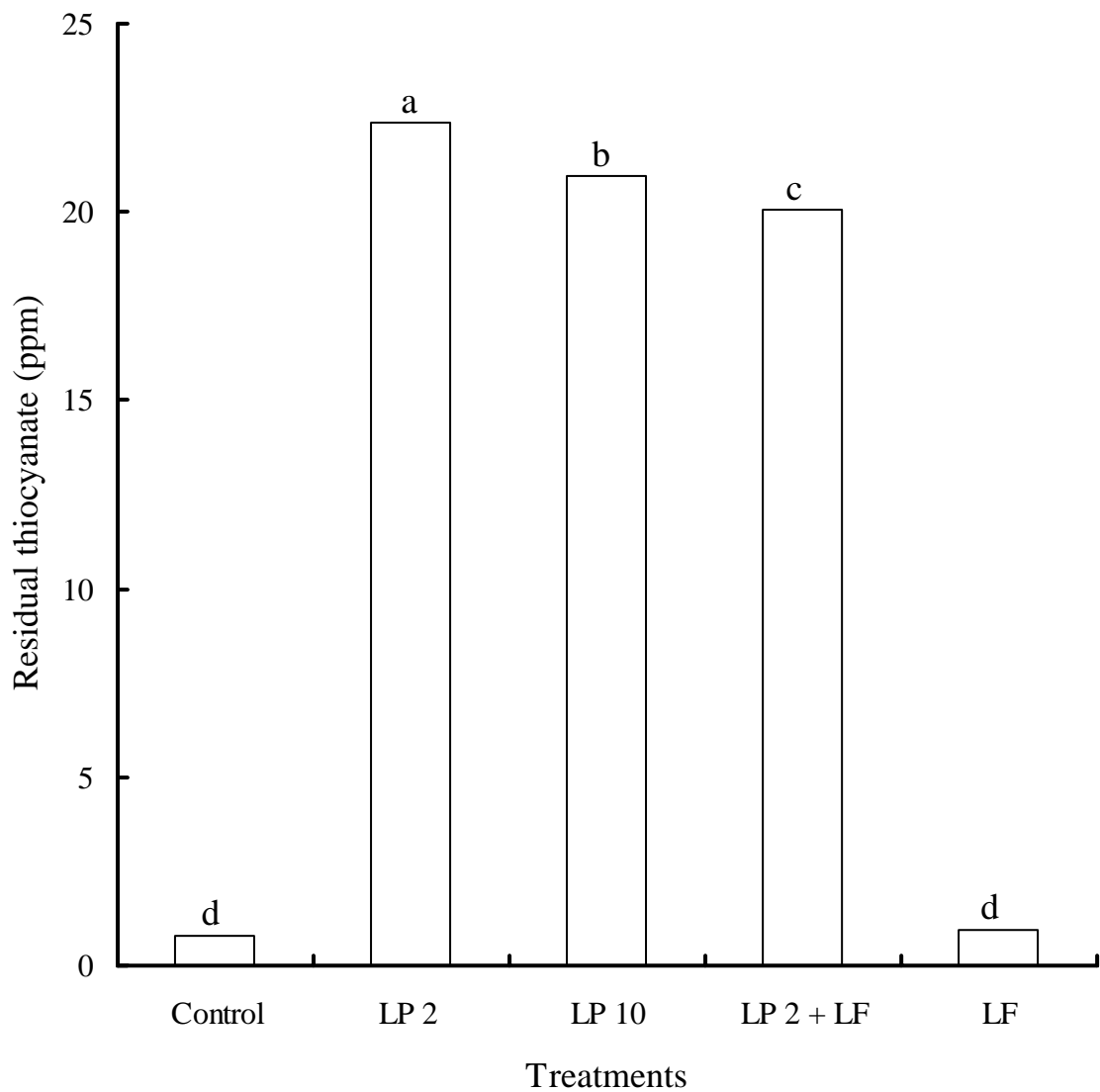


圖十四、貯藏期間 (4°C) 乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉¹ 硫氰酸根離子殘留量之影響。

Fig. 14. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on residual thiocyanate of ground pork during storage at 4°C (n=9).

^{a-b} Means within a storage period having different letters are significantly differently ($P < 0.05$).

¹ The same as table 4.



圖十五、乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉¹硫氰酸根離子殘留量(各貯藏時間之平均值)之影響。

Fig. 15. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on residual thiocyanate (pooled data over storage time) of ground pork.

^{a-d} Bar with different letters are significantly differently ($P < 0.05$).

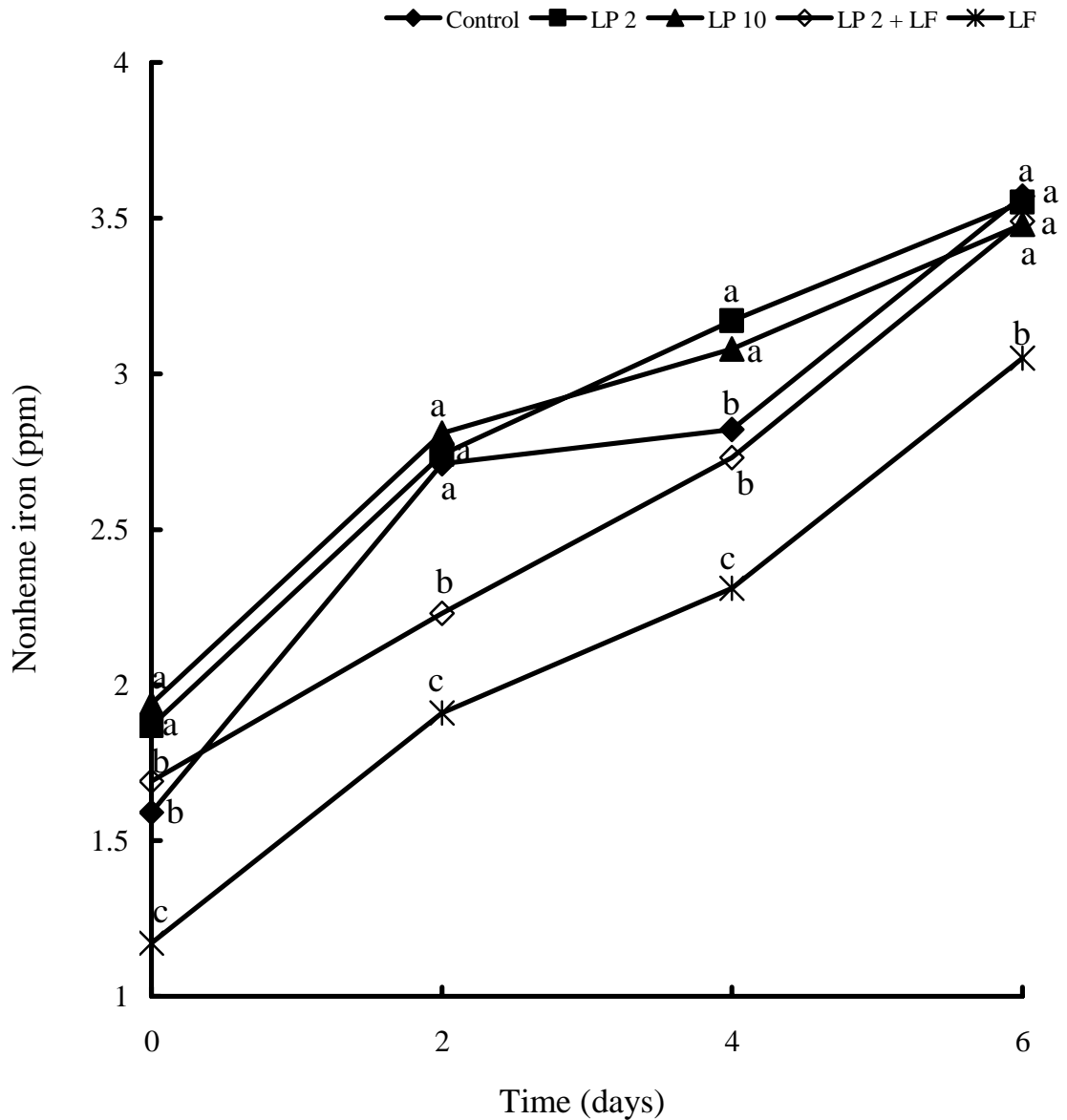
¹ The same as table 4.

而在 Control 組及 LF 組殘留約 1 ppm 的硫氰酸根離子，推測為其樣品本身就存在的。有文獻指出硫氰酸根離子存在於哺乳動物的分泌物及組織中，且濃度依動物的飼養飲食制度相關 (Reiter and Härnolv, 1984)。

硫氰酸根離子濃度若是太高對人體是具有毒性的，過量攝取會影響體內碘的吸收，因而影響甲狀腺功能。Villkki 和 Piironen (1962) 於牛奶中研究硫氰酸根離子之攝取濃度，當硫氰酸根離子濃度之攝取為 200--400 ppm 時會影響人體的碘吸收，此濃度遠大於乳過氧化酵素系統所使用之濃度，故本試驗硫氰酸根離子殘留量對人體健康沒有問題。

三、非血基質鐵

由圖十六顯示各處理組之非血基質鐵皆隨貯藏期間增加而增加。貯藏期間，由於 porphyrin ring 可能被分解，鐵由血基質釋放出來，因而造成非血基質鐵濃度的增加 (Miller *et al.*, 1994)。另外，有些報告也證實血基質之 porphyrin ring 能夠被氧化 (Erdman and Watts, 1957; Tarladgis, 1962)，porphyrin ring 氧化斷裂隨即血基質鐵被釋放 (Schricker and Miller, 1983)，因而增加非血基質鐵含量。邱 (2004) 把乳鐵蛋白加入絞碎豬肉中，也發現非血基質鐵會隨貯藏期間增加而增加。由圖十七顯示 LP 2 組及 LP 10 組之非血基質鐵含量顯著 ($P < 0.05$) 高於 Control 組，而 LP 2 + LF 組及 LF 組顯著 ($P < 0.05$) 低於 Control 組。Schricker 和 Miller (1983) 發現將 6% H_2O_2 加入絞碎牛肉中會增加肉中非血基質鐵的含量，因為 H_2O_2 為強氧化劑，會將肉中的肌紅素 (myoglobin) 及血紅素 (hemoglobin) 的血基質降解，使

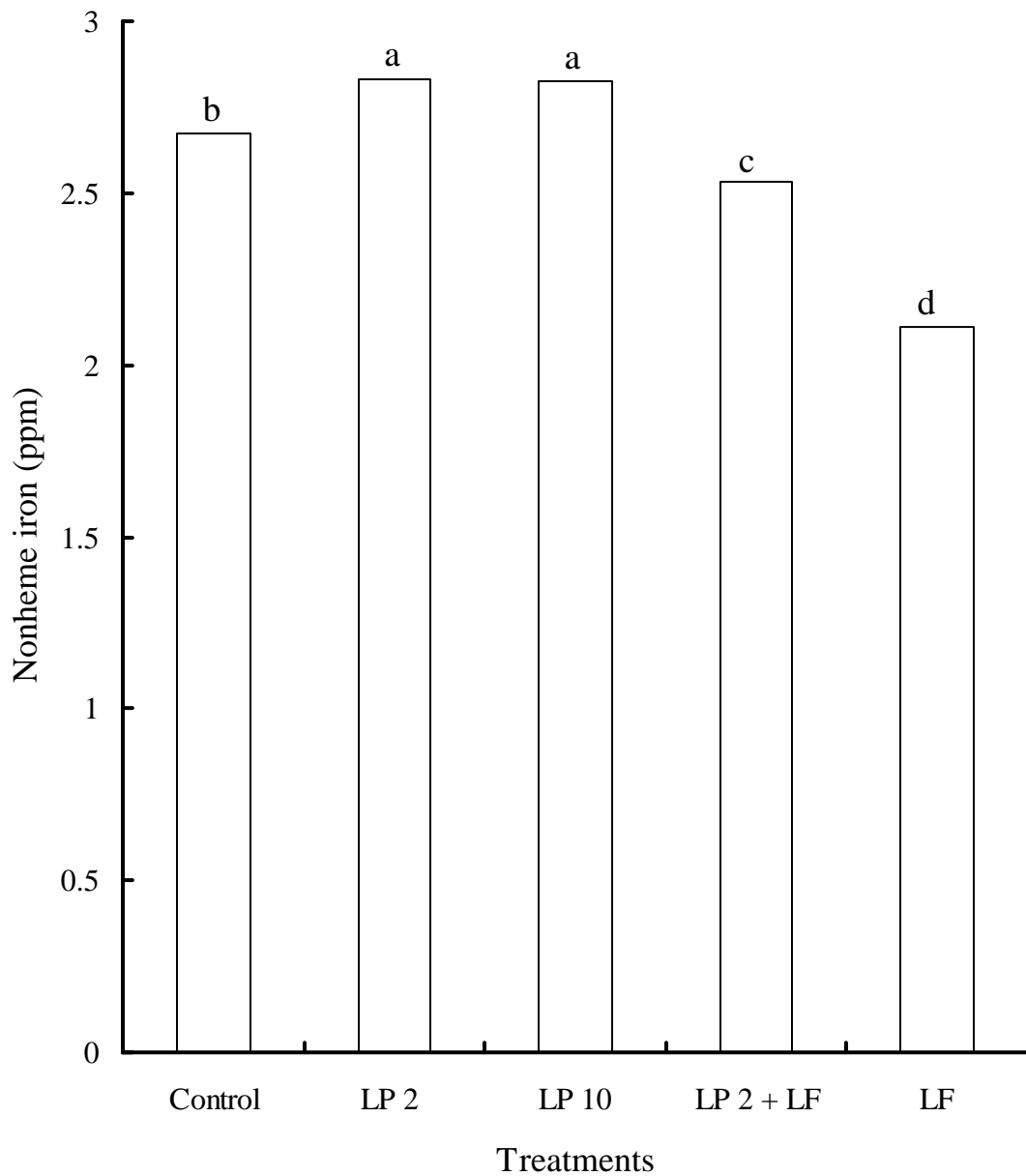


圖十六、貯藏期間 (4°C) 乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉¹非血基質鐵之影響。

Fig. 16. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on nonheme iron of ground pork during storage at 4°C (n=9).

^{a-c} Means within a storage period having different letters are significantly differently ($P < 0.05$).

¹ The same as table 4.



圖十七、乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉¹非血基質鐵(各貯藏時間之平均值)之影響。

Fig. 17. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on nonheme iron (pooled data over storage time) of ground pork.

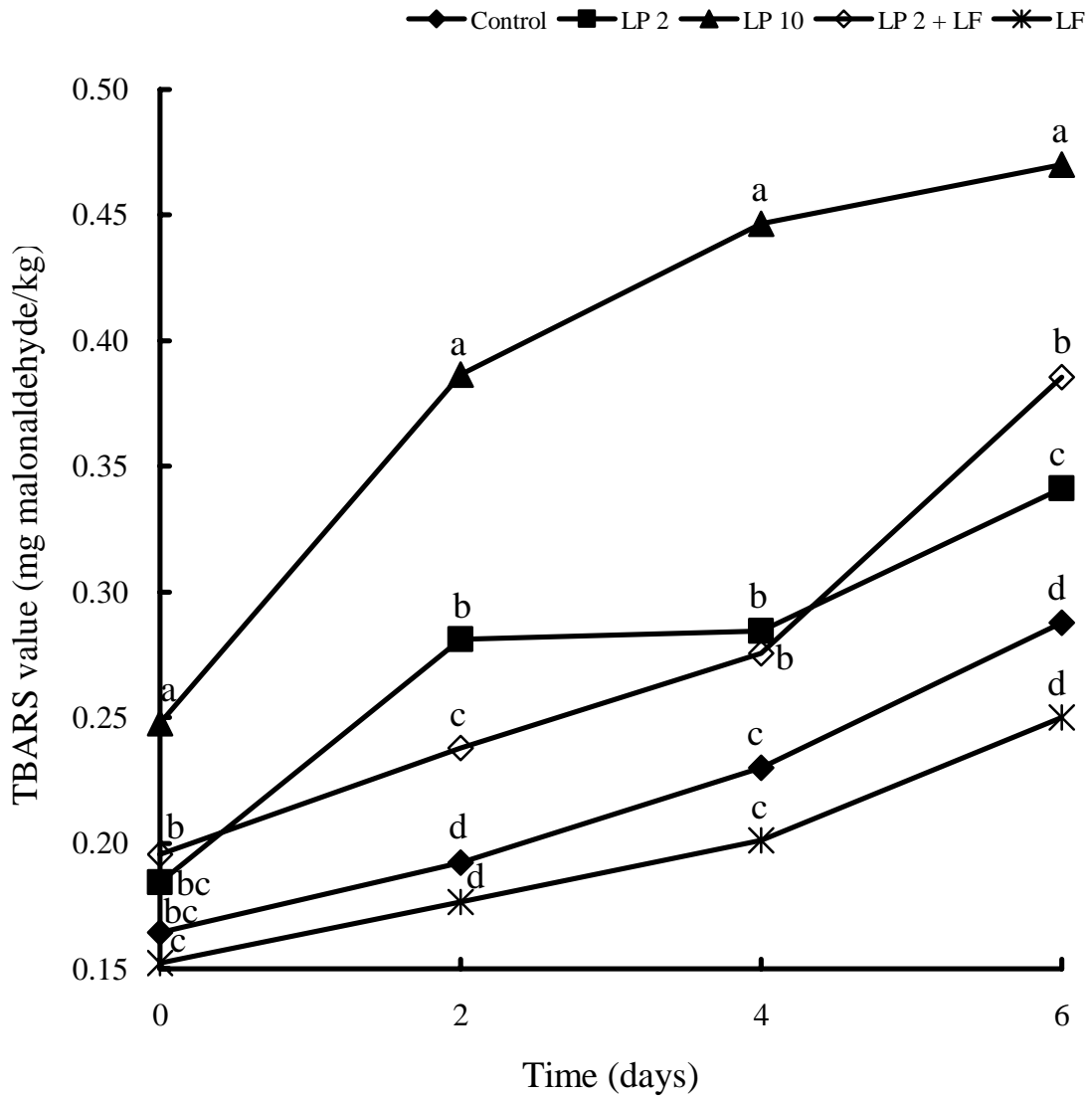
^{a-d} Bar with different letters are significantly differently ($P < 0.05$).

¹ The same as table 4.

鐵釋出，導致增加非血基質鐵含量。在貯藏期間，LP 2 組及 LP 10 組之非血基質鐵含量則較 Control 組高，其原因是 H₂O₂ 會使血基質之 porphyrin ring 降解，使鐵釋放出來所致。LP 2 + LF 組亦是顯著低於 Control 組，表示雖然 H₂O₂ 會使血基質鐵釋出，但乳鐵蛋白能螯合鐵離子，使該組之非血基質鐵含量低於 Control 組。而 LP 2 + LF 組之非血基質鐵之所以顯著高於 ($P < 0.05$) LF 組，應是 H₂O₂ 促使血基質鐵釋出所致。LF 組之非血基質鐵含量顯著 ($P < 0.05$) 低於 Control 組，其原因可能是乳鐵蛋白會螯合鐵離子 (以 Fe³⁺ 為主)，使肉中的非血基質鐵降低。

四、硫巴比妥酸值

硫巴比妥酸值 (TBARS value) 是在測定油脂含有三個以上雙鍵不飽和脂肪酸所氧化的二級產物—丙二醛 (malonaldehyde)。圖十八顯示各處理組之 TBARS 值隨貯藏時間增加而增加。在貯藏期間 (0、2、4 及 6 天)，LP 2 組、LP 10 組及 LP 2 + LF 組皆顯著高於 ($P < 0.05$) Control 組及 LF 組；這可能是因為 LP 2 組、LP 10 組及 LP 2 + LF 組皆有添加 H₂O₂，導致非血基質鐵增加，由 TBARS 值與非血基質鐵呈現顯著性 ($P < 0.05$) 的正相關 (0.74) 可得知。據報告指出非血基質鐵是促進烹煮肉類脂質過氧化的主要催化劑；而游離金屬離子是導致火雞肉組織之脂質氧化的主要催化劑 (Kanner *et al.*, 1986)。且由圖十七得知，LP 2 組和 LP 10 組之非血基質鐵含量皆顯著高於 Control 組，這反應此兩組增加 TBARS 值的原因。由圖四得知，乳過氧化酵素會跟 H₂O₂ 反應，然後會跟含 1 個電子的提供者形成化合物 II (compound II，為不具抗微生物效果之酵素型態)，雖然化合物 II 會



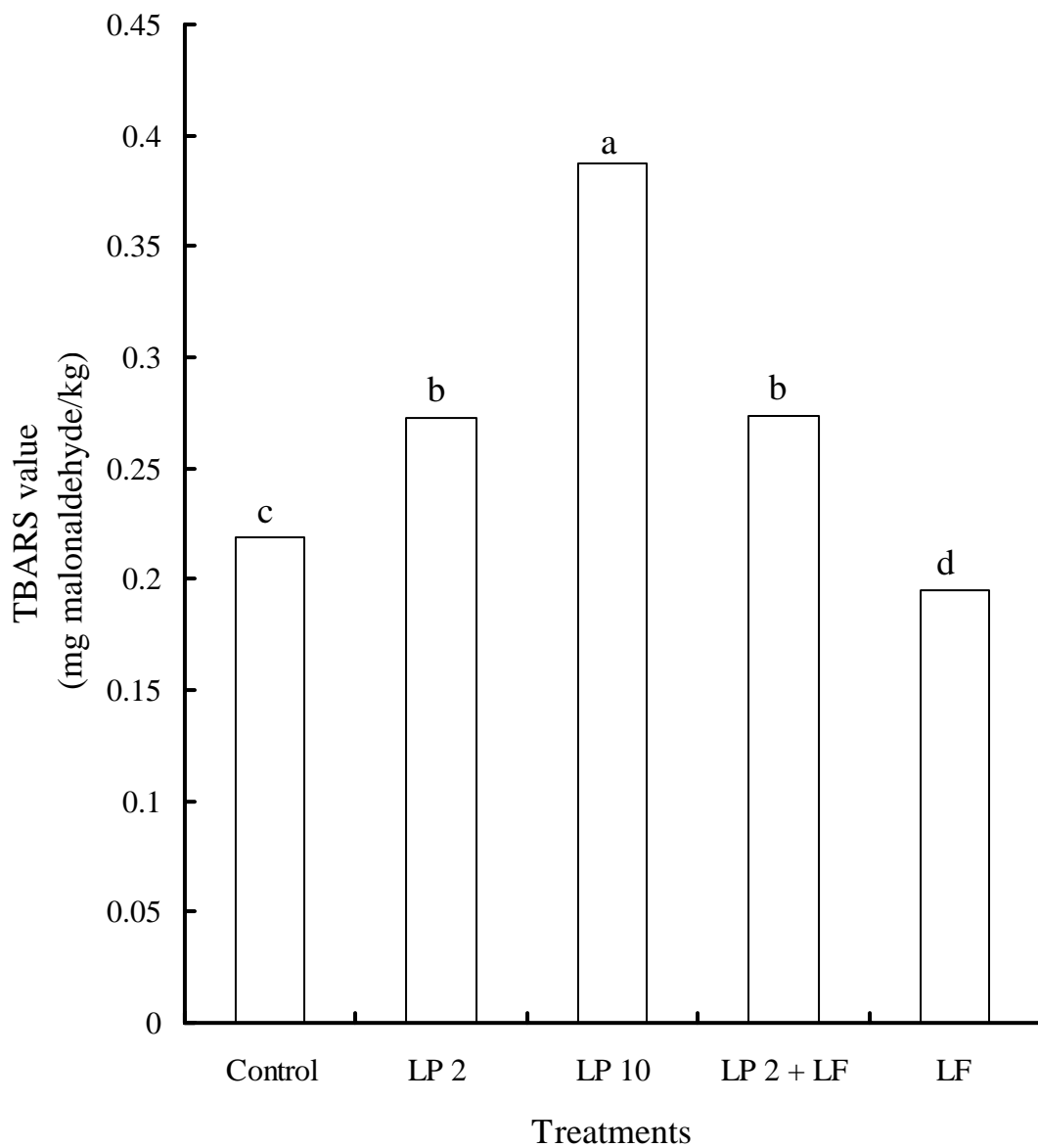
圖十八、貯藏期間 (4°C) 乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉 TBARS 值之影響。

Fig. 18. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on TBARS value of ground pork during storage at 4°C (n=9).

^{a-d} Means within a storage period having different letters are significantly differently ($P < 0.05$).

¹ The same as table 4.

轉換回基態，但轉換速率太慢，所以許多酵素分子會停留在化合物 II 狀態。且 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{SCN}^-$ 之比例約為 0.5 時，每莫耳 H_2O_2 會產生一莫耳 OSCN^- (Paul and Ohlsson, 1985)。而本試驗之 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{SCN}^-$ 為 1.875，表示 H_2O_2 是過量的。此外，在 H_2O_2 高濃度或酸性環性下，乳過氧化酵素會形成化合物 III (compound III，為酵素喪失活性之型態)，此化合物 III 為去活性之不可逆酵素型態，主要是其血基質裂開，鐵釋放出來所致。這可能是單重態氧 (singlet oxygen)、超氧化物 (superoxide) 及氫氧自由基 (hydroxyl radicals) 去攻擊血基質鐵，使鐵釋出 (Jenzer *et al.*, 1986)。當乳過氧化酵素為化合物 III 及化合物 II 轉換回天然 (native) 狀態時，會有一些氧衍生的自由基產生，像 O_2^- 、 $\text{HO}_2\cdot$ 和 $\cdot\text{OH}$ 。同時此酵素亦會遭受一不可逆的危害 (Kohler and Jenzer, 1989)。推測這些氧衍生自由基會促進脂質氧化作用。而 LP 10 組作用的硫氰酸根離子較多 (圖十五)，可能就產生較多的氧衍生自由基，因而使 TBARS 值較 LP 2 組來的高。亞鐵離子可分解脂質過氧化物 (lipid peroxides, ROOH)，生成過氧自由基 (peroxyl, $\text{ROO}\cdot$) 和烷氧自由基 (alkoxyl, $\text{RO}\cdot$)，再攻擊其他脂質分子，從鄰近的脂肪酸側鏈上再捕獲氫原子刺激多元不飽和脂肪酸 (RH) 過氧化，如此連鎖進行脂質過氧化反應。而所生成的氫氧自由基 ($\cdot\text{OH}$)，是化學性質最活潑的活性氧，一個 $\cdot\text{OH}$ 會連鎖反應造成上百個 PUFA 的過氧化，而隨意氧化大部分的食品組成 (Walling, 1975)。綜合以上可知，LP 2 組及 LP 10 組有較高非血基質鐵 (圖十七) 和較高 TBARS 值 (圖十九)。且有文獻指出含血基質的過氧化酵素在過氧化氫存在之下，會催化蛋白質及脂質的氧化作用 (Everse and Coates, 2004)。另有作者 (Kanner and Harel, 1985) 指出 H_2O_2 會跟變性肌紅蛋白 (metmyoglobin)



圖十九、乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉¹ TBARS 值 (各貯藏時間之平均值) 之影響。

Fig. 19. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on TBARS value (pooled data over storage time) of ground pork.

^{a-d} Bars with different letters are significantly differently ($P < 0.05$).

¹ The same as table 4.

快速反應形成 ferryl-myoglobin radical ($\cdot\text{MbFe(IV)} = \text{O}$)，此自由基會催化脂質氧化作用。這亦是造成 LP 2 組、LP 10 組及 LP 2 + LF 組之 TBARS 值較 Control 組及 LF 組高的原因。

在貯藏期間，LF 組之 TBARS 值稍低於 Control 組，雖然其差異並不顯著，但仍可看出 LF 組可螯合金屬離子而抑制肉品氧化作用。推測可能是乳鐵蛋白的添加濃度還不足以將游離鐵完全螯合或貯藏期間乳鐵蛋白螯合鐵的能力受 pH 值之影響，而有減少趨勢，因此導致 TBARS 值有上升情形 (邱, 2004)。Huang 等人 (1999) 指出在在玉米油乳化液和卵磷脂脂質體 (liposome) 之緩衝溶液 (pH 6.6、50°C) 系統下，乳鐵蛋白有抑制氧化的效果，但如果環境中的鐵離子濃度大於乳鐵蛋白的濃度時，則會減少乳鐵蛋白的抗氧化效果；同時乳鐵蛋白的抗氧化或促氧化效果是受脂質系統、緩衝溶液、乳鐵蛋白的濃度、金屬離子的濃度和氧化時間的影響。

在貯藏期間，LP 2 + LF 組之 TBARS 值顯著高於 Control 組。首先， H_2O_2 會破壞血基質使鐵釋出，而乳鐵蛋白會去螯合鐵離子，但 Klebanoff 和 Waltersdorf (1990) 發現 Fe^{2+} 和 apo-lactoferrin 可經由 H_2O_2 當媒介物產生氫氧自由基 ($\cdot\text{OH}$)，推測這會造成脂質氧化作用。這可解釋 LP 2 + LF 組較 Control 組有較低的非血基質含量 (圖十七) 及較高的 TBARS 值 (圖十九) 之原因。

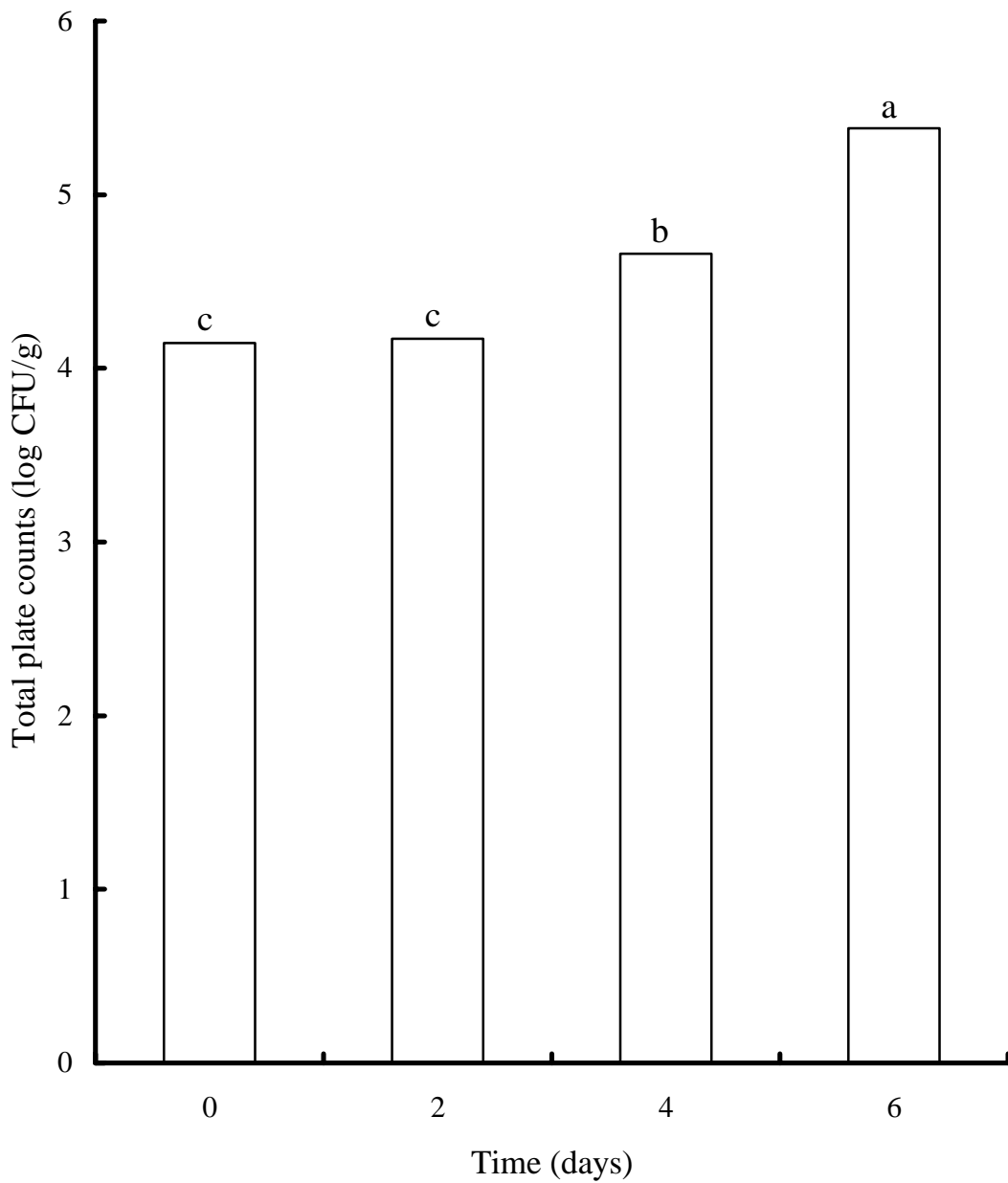
各處理組之 TBARS 值於貯藏時間之平均值如圖十九所示。LP 2 組、LP 10 組及 LP 2 + LF 組皆顯著高於 Control 組，而 LF 組顯著低於 Control 組 ($P < 0.05$)。乳鐵蛋白的抗氧化機制牽涉到蛋白質結合或螯合金屬離子的催化，但也會受金屬離子的濃度影響。Raghuveer 等人 (2002) 研究推測鐵是最初催化氧化的物質，在添加乳鐵蛋白後

發現自由基的產物減少，表示乳鐵蛋白能螯合游離鐵而使脂質氧化反應不活化。Gutteridge 等人 (1981) 發現 apo-lactoferrin 或部分飽和的乳鐵蛋白可以抑制鐵催化的 Haber-Weiss 反應，而達到抑制脂質過氧化作用，這與本實驗結果符合。Matsue 等人 (1994) 報告乳鐵蛋白除有結合鐵的能力外，還有抑制丙二醛形成的能力。

五、微生物

(一) 貯藏期間乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉總生菌數之影響

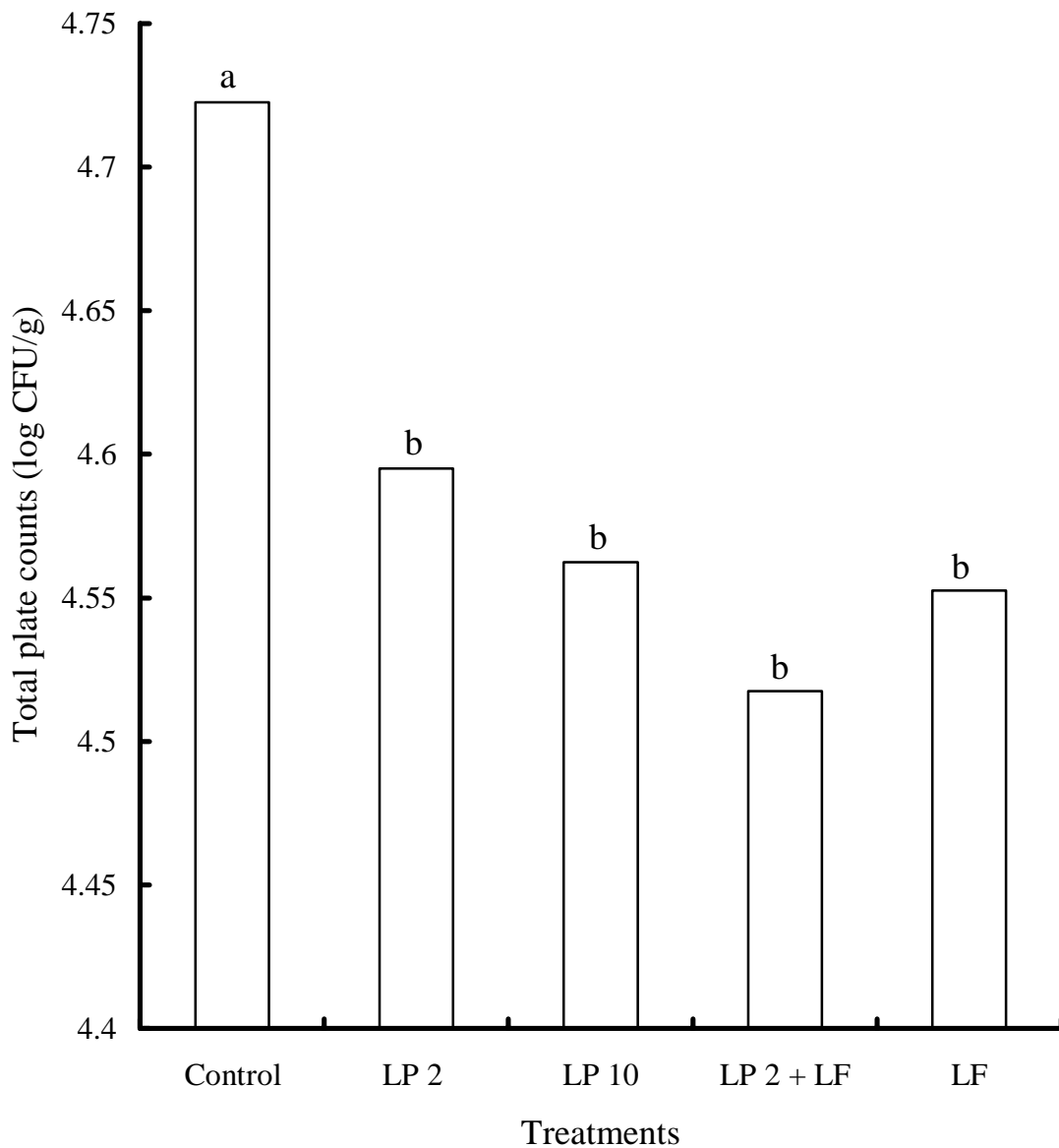
貯藏時間及處理效應對總生菌數有顯著影響 ($P < 0.05$)。圖二十顯示各處理組總生菌數之平均值會隨貯藏時間增加呈顯著性的增加 ($P < 0.05$)。第 6 天之菌數顯著高於第 4、2 及 0 天，這結果是可預期的。各處理組之總生菌數於貯藏時間之平均值如圖二十一所示。乳過氧化酵素系統處理組 (LP 2 組及 LP 10 組) 及乳鐵蛋白處理組 (LP 2 + LF 組及 LF 組) 皆顯著低於 Control 組 ($P < 0.05$)，這顯示乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白皆有抑菌效果。而 LP 10 組之總生菌數較低於 LP 2 組，這可能是 LP 10 組能結合較多硫氰酸根離子，使硫氰酸根離子之殘留量較低 (圖十五)，因此 LP 10 組可產生較多 OSCN^- 去攻擊細菌，不過 LP 10 組與 LP 2 組之差異並不顯著 ($P > 0.05$)。乳過氧化酵素系統之所以能抑菌，主要是能產生 OSCN^- 並氧化細菌的硫氫基及蛋白質進而抑制細菌的呼吸作用或使醣解作用中依靠硫氫基 (-SH-depending) 酵素的活性作用喪失所致 (Aune and Thomas, 1976, 1977; Aune *et al.*, 1982, 1977; Thomas and Aune,



圖二十、貯藏期間 (4°C) 乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉總生菌數之影響。

Fig. 20. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on total plate counts of ground pork during storage at 4°C.

^{a-c} Bar with different letters are significantly differently ($P < 0.05$).



圖二十一、乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉¹總生菌數(各貯藏時間之平均值)之影響。

Fig. 21. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on total plate counts (pooled data over storage time) of ground pork.

^{a-b} Bar with different letters are significantly differently ($P < 0.05$).

¹ The same as table 4.

1978)。Kennedy 等人 (2000) 從八個不同展示場取得絞碎牛肉，於乳過氧化酵素系統處理下，發現總好氣菌為 9.7×10^3 -- 8.2×10^6 CFU/g 低於控制組的 3.7×10^4 -- 1.5×10^7 CFU/g。該作者並探討乳過氧化酵素系統對絞碎牛肉之接種病原菌 (*Escherichia coli* O157 : H7、*Listeria monocytogenes* 及 *Staphylococcus aureus*) 的影響，發現 *L. monocytogenes* L45 對乳過氧化酵素系統最敏感，接著是 *S. aureus* R37 及 *E. coli* O157 : H7。乳過氧化酵素系統之抑菌效果受培養溫度 (0、6 及 12°C) 之影響，溫度愈高，其抑菌效果愈佳。Elliot 等人 (2004) 利用乳過氧化酵素系統處理牛肉塊，發現在冷藏 (12--1°C) 時，可有效抑制其總好氣菌達一個對數值之差。Wolfson 等人 (1994) 利用乳過氧化酵素系統處理雞腿肉，發現此系統可減少 *Salmonella typhimurium* 之菌數。減少程度受乳過氧化酵素系統溶液溫度及浸泡時間之影響。當溶液溫度為 25°C，浸泡時間為 30 分時，可減少 13.2% 之菌數；但溶液溫度為 60°C，浸泡時間為 15 分時，可減少 80.6% 之菌數。Touch 等人 (2004) 於超高溫 (ultra high temperature, UHT) 殺菌的全脂乳及脫脂乳中額外添加 *Salmonella enteritidis* 後，並以乳過氧化酵素系統處理，發現該系統在脫脂乳中之效果比全脂乳更佳；而在不同溫度中 (15、22、30 及 37°C)，發現溫度愈高，其抑菌效果愈佳，這可能與細胞膜之通透性有關。由於乳過氧化酵素系統所產生的 OSCN⁻ 必須滲透入細胞膜內而使細胞酵素不活化，在低溫時，細胞膜脂質的流動性會下降，導致減少質子滲透到膜內，因而降低抑菌效果 (Driessen *et al.*, 1996; Russell, 2002)。Zajac 等人 (1983) 在 4°C 下使用乳過氧化酵素系統於牛乳中，發現總生菌數在 104 個小時內未有變化，而控制組在 48 小時後細菌即開始增殖。而在 10°C 下，此系統

可延緩微生物之遲滯期 (lag phase) 至少達 72 小時。Zapico 等人(1998) 於脫脂乳中接種 *Listeria monocytogenes* 並用乳過氧化酵素系統處理，於 30°C 培養 24 小時後測量其菌數，發現有使用乳過氧化酵素系統處理組較控制組減少三個對數 (log units)。

乳鐵蛋白之所以有抑菌性，一般認為是因其螯合鐵離子，使細菌因缺鐵而無法增殖 (Arnold *et al.*, 1980)。Ellison 等人 (1988) 發現乳鐵蛋白含有抑菌片段，能與革蘭氏陰性菌細胞壁之主成分—脂多醣 (lipopolysaccharide) 結合，使細菌之脂多醣由細胞壁上釋出，造成菌膜完整性喪失而呈現不穩定的狀態，並失去維持正常滲透壓或其他正常生理功能而導致菌體死亡。另外，乳鐵蛋白也可與病原菌之纖毛競爭，並附著於肉之表面，乳鐵蛋白可形成一個阻隔作用，使肉不容易受菌體污染 (Higgins, 2003)。由圖十七得知 LF 組有較低的非血基質鐵，表示乳鐵蛋白能螯合鐵離子而抑制微生物的生長。邱 (2004) 在絞碎豬肉中添加 40 ppm 乳鐵蛋白，發現乳鐵蛋白能有效降低總生菌數及乳酸菌數之生長。

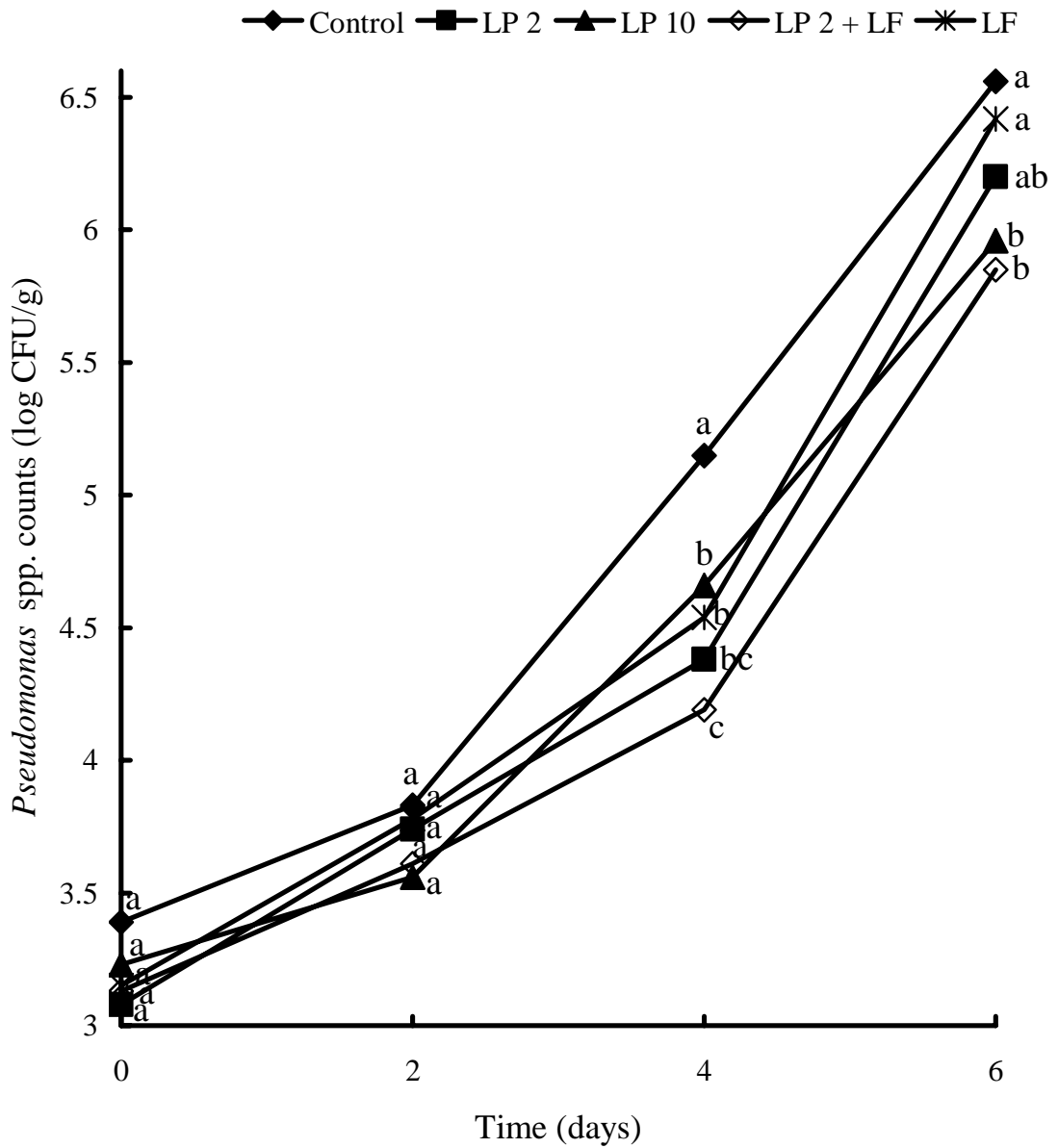
而 LP 2 + LF 組之菌數有稍微低於 LP 2 組、LP 10 組及 LF 組，但未有顯著差異 ($P > 0.05$)。Klebanoff 和 Waltersdorf (1990) 發現 Fe^{2+} 和 apo-lactoferrin 可經由 H_2O_2 當媒介物產生氫氧自由基對 *E. coli* 產生毒性，會抑制微生物生長，這可能是 LP 2 + LF 組有較低總生菌數的原因。Soukka 等人 (1991) 提出 apo-lactoferrin 和乳過氧化酵素系統在低 pH 值時，對 *Streptococcus mutans* (serotype c) 有加成 (additive) 的抗菌效果。Martínez-Gomis 等人 (1999) 將乳過氧化酵素及乳鐵蛋白裝入脂質體 (liposome) 中進行蛀牙發生率之研究，發現該處理顯著低於控制組，這表示控制組之 *Streptococcus sobrinus* 菌數

顯著高於處理組。Van Leeuwen 等人 (2000) 將乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白添加至代乳粉飲食 (milk replacer diet) 中，發現使用乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白處理組在空腸 (jejunal)、大腸食糜 (colonic digesta) ($P < 0.1$) 及糞便 (faeces) ($P < 0.05$) 之大腸桿菌低於控制組。

(二) 乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉假單胞菌 (*Pseudomonas* spp.) 數之影響

處理效應及貯藏時間之交感作用對假單胞菌有顯著影響 ($P < 0.05$)。各處理組之菌數皆隨貯藏期間增加而增加 (圖二十二)。Rodríguez-Calleja 等人 (2005) 研究冷藏兔肉之品質，發現假單胞菌也隨貯藏時間增加而增加。肉品在好氣貯藏中，其主要腐敗菌為假單胞菌 (Coates *et al.*, 1995; Widders *et al.*, 1995)。Gill 和 Newton (1977) 亦報告在 2--15°C 下，肉品之假單胞菌會較其他菌種生長快速。當貯藏 0--2 天時，五組間之差異並無顯著 (圖二十二)，在第 4 天時，乳過氧化酵素系統處理組 (LP 2 組及 LP 10 組) 及乳鐵蛋白處理組 (LP 2 + LF 組及 LF 組) 皆顯著低於 Control 組 ($P < 0.05$)，在第 6 天時，LF 組與控制組無顯著差異 ($P > 0.05$)。

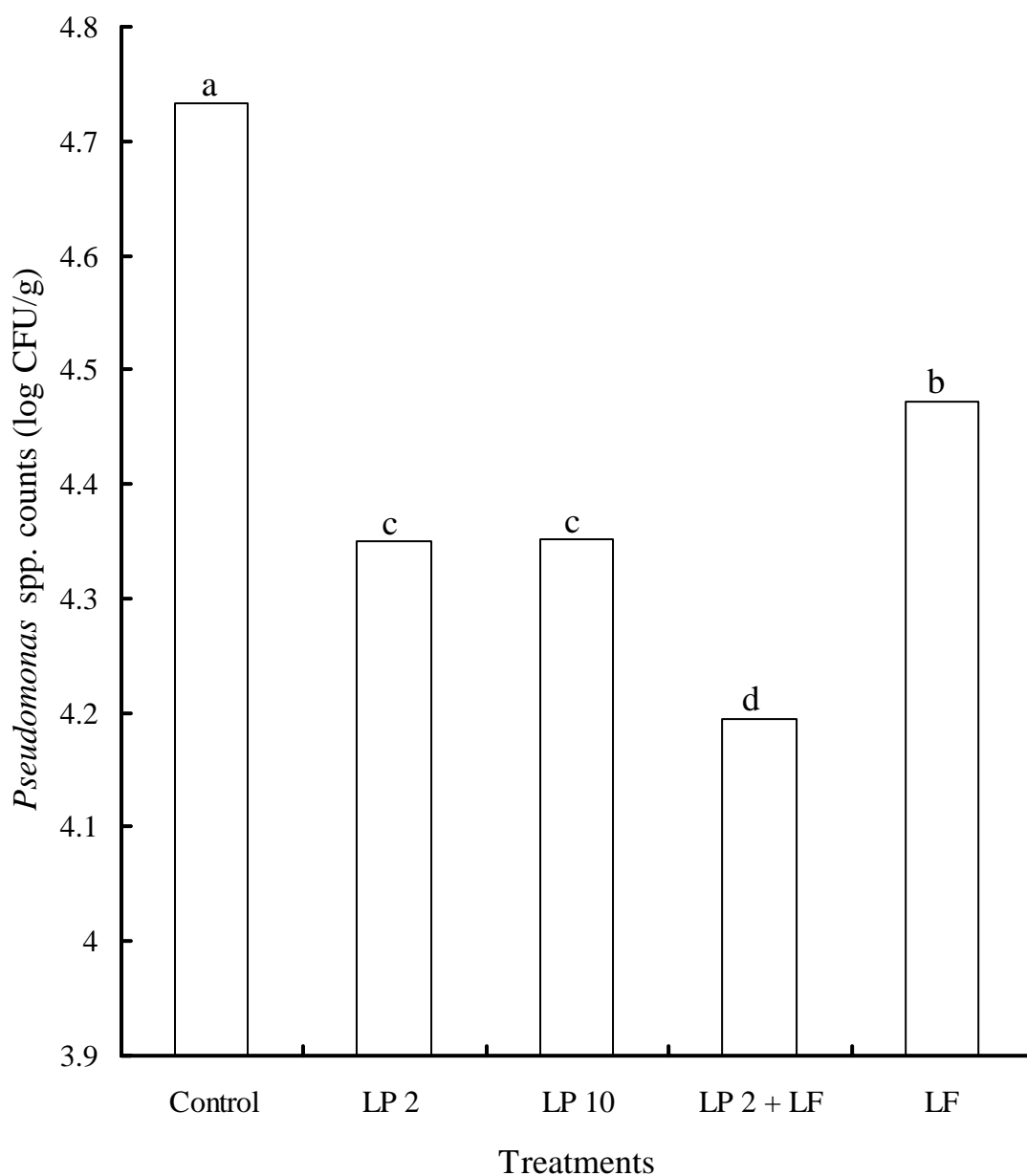
各處理組假單胞菌數於貯藏期間之平均值如圖二十三所示。乳過氧化酵素系統處理組 (LP 2 組及 LP 10 組) 及乳鐵蛋白處理組 (LP 2 + LF 組及 LF 組) 皆顯著低於 Control 組 ($P < 0.05$)，這顯示乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白能有效抑制假單胞菌。而 LP 2 組和 LP 10 組沒有顯著差異。乳過氧化酵素系統主要是抑制或殺死革蘭氏陰性及觸酶呈陽性之菌種 (Wolfson and Sumner, 1993)，而假單胞菌為好氣革蘭



圖二十二、貯藏期間乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉假單胞菌數之影響。

Fig. 22. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on *pseudomonas* spp. counts of ground pork during storage.

^{a-c} Means within a storage period having different letters are significantly differently ($P < 0.05$).



圖二十三、乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉¹假單胞菌數(各貯藏時間之平均值)之影響。

Fig. 23. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on *pseudomonas* spp. counts (pooled data over storage time) of ground pork.

^{a-d} Bars with different letters are significantly differently ($P < 0.05$).

¹The same as table 4.

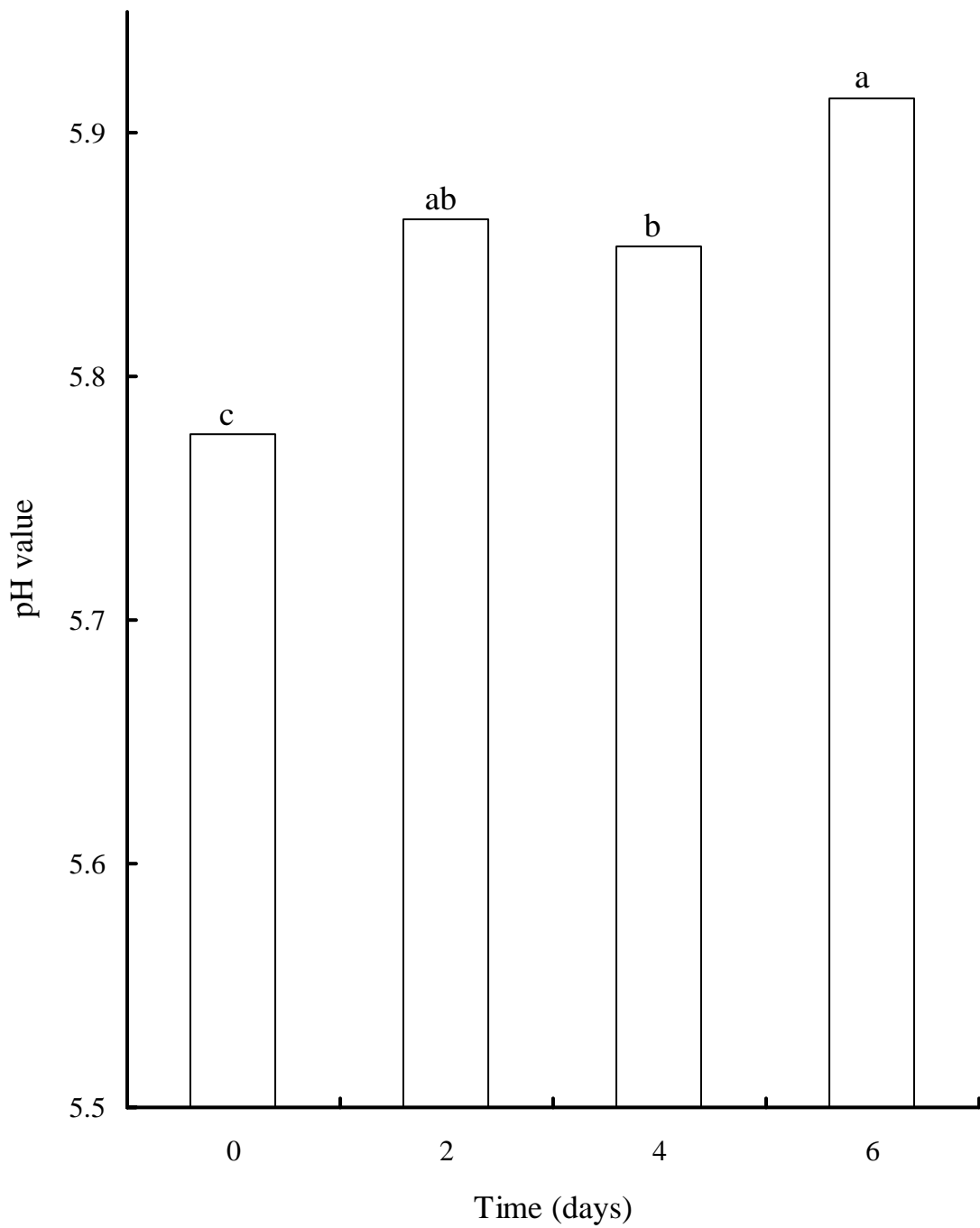
氏陰性菌，故可達到抑制效果。Elliot 等人 (2004) 利用乳過氧化酵素系統處理牛肉塊，於冷藏溫度為 12--1°C 時，發現乳過氧化酵素系統可抑制假單胞菌生長，但不能妨礙乳酸菌生長。García-Graells 等人 (2003) 將 *Pseudomonas fluorescens* (10^6 CFU/mL) 接入已滅菌的牛乳中，並加入乳過氧化酵素系統後，在 24 小時 (20°C) 後進行測試，顯示乳過氧化酵素系統具有殺菌作用。Bosch 等人 (2000) 將乳過氧化酵素系統在室溫下保存 30 天，依然對 *Staphylococcus aureus* 及 *E. coli* 有抗菌活性，尤其是對 *Pseudomonas aeruginosa* 效果更佳。

乳鐵蛋白之抑菌效果被認為與螯合鐵能力有關，由圖十六可得知，LF 組之非血基質鐵含量最低，因此顯示肉中添加乳鐵蛋白能螯合鐵，而有抑制假單胞菌的效果。Arnold 等人 (1980) 將 *Pseudomonas aeruginosa* (1.7×10^7 CFU/mL) 置於 $4.2 \mu\text{M}$ apo-lactoferrin 溶液中，培養於 37°C 一小時後，菌數降為 8.6×10^3 CFU/mL；而置於 holo-lactoferrin 溶液中則無抑菌效果，這證明乳鐵蛋白利用螯合鐵離子來達到抑菌效果。曹 (1999) 指出在含有過量鐵離子濃度的情況下，會導致乳鐵蛋白失去抑制細菌生長的作用，當有過量鐵離子存在於環境中時，使全數的乳鐵蛋白都與鐵離子結合後，環境中仍有足夠的鐵離子供給菌體作為養分之用，使細菌仍可以正常的生長；另外，當乳鐵蛋白與鐵結合後，造成乳鐵蛋白的三級結構發生改變，這種結構上的改變導致乳鐵蛋白的抗菌作用位無法表現，使得乳鐵蛋白的抗菌作用受到影響。綜合以上結果得知，雖然 LF 組之非血基質鐵顯著低於各組，但在假單胞菌數第 6 天與控制組無顯著差異之原因。各組之中，LP 2 + LF 組的假單胞菌數最低，這可能是結合兩種系統之抑制效果所致。Soukka 等人 (1991) 使用乳鐵蛋白及乳

過氧化酵素系統以抑制 *Streptococcus mutans*, 發現二者具有加成 (additive) 的抗菌效果, 且發現 apo-lactoferrin 可增加乳過氧化酵素的活性。而 de Schoos 等人 (1999) 發現乳過氧化酵素活性越高, 硫氰酸根離子濃度會較低, 且 OSCN^- 濃度似乎是隨乳過氧化酵素活性增加而增加, 同時也可增加其抑菌效果。這與本試驗結果相符, 因為 LP 2 + LF 組有較低的硫氰酸根離子濃度 (圖十五), 有較低的總生菌數 (圖二十一) 及較低的假單胞菌數 (圖二十三)。

六、酸鹼值

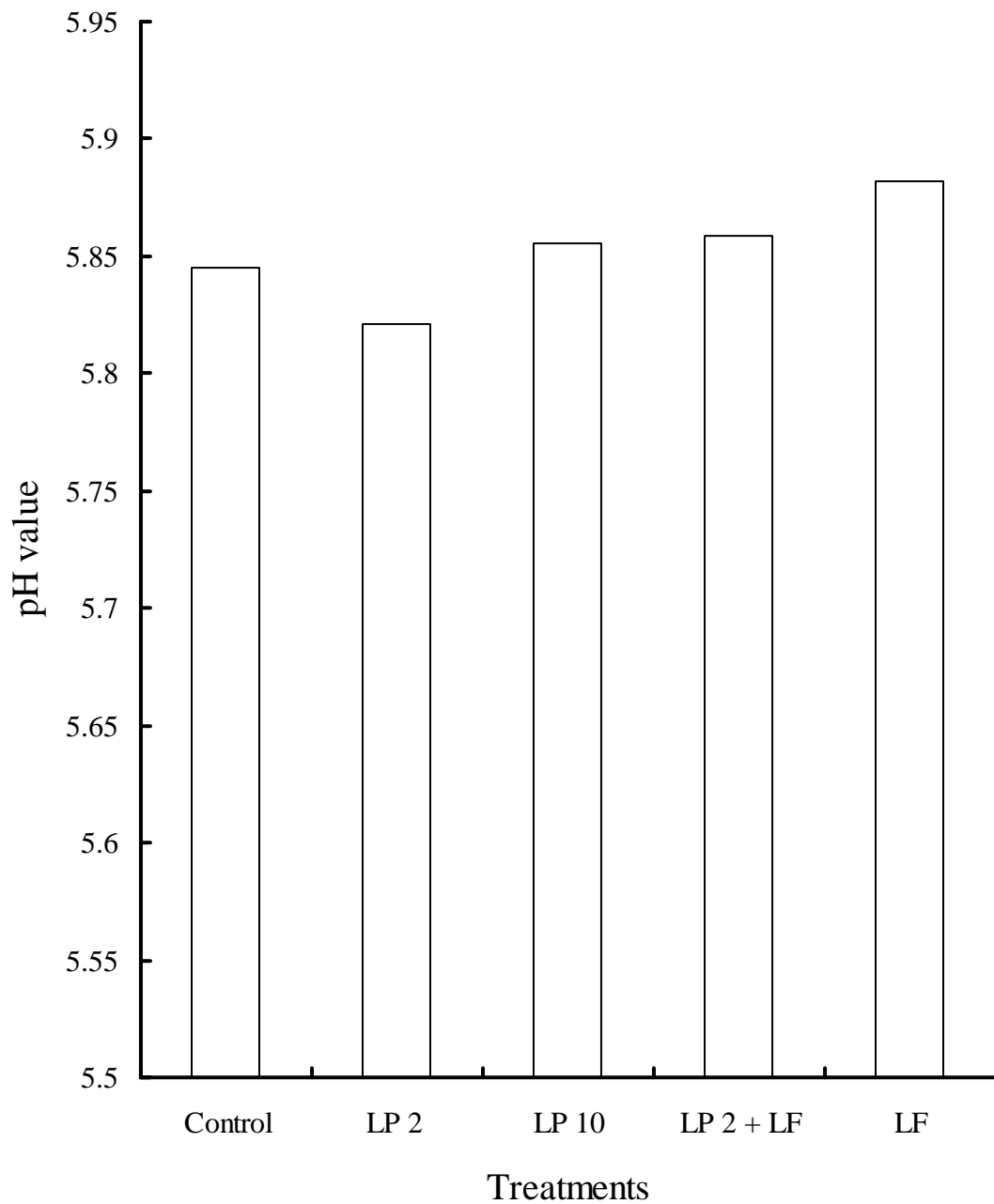
貯藏時間對肉品酸鹼值有顯著影響 ($P < 0.05$)。一般而言, 肉品 pH 值各處理組之平均值隨貯藏時間增加而增加 (圖二十四)。乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白並不會影響絞碎豬肉之 pH 值 (圖二十五), 此結果與邱 (2004) 所報告結果相似, 該報告指出在冷藏 (4°C) 絞碎豬肉中添加不同濃度乳鐵蛋白 (0、40 及 80 ppm), 並不會影響絞碎豬肉之 pH 值, 且 pH 值會隨貯藏期間增加而增加。反觀, pH 值只有在革蘭氏陽性菌 (Gram-positive bacteria) 生長時, 才會隨著貯藏期降低, 其中又以乳酸菌 (lactic acid bacteria) 為最明顯 (Jay and Shelef, 1978)。Borch 等人 (1989) 發現 pH 值會影響乳過氧化酵素系統作用效果, pH 值愈低效用愈差。在 pH 6.6 時有最高殺菌效應, 而在 pH 6.0 或 5.5 之效果則較差。而本試驗在第 0 天肉品之 pH 值約為 5.77, 可能是此因素造成乳過氧化酵素系統之抑菌效果較不顯著。



圖二十四、貯藏時間對絞碎豬肉 pH 值 (各處理組之平均值) 之影響。

Fig. 24. Effect of storage time on pH value (pooled data over treatments) of ground pork.

^{a-c} Bars with different letters are significantly differently ($P < 0.05$).



圖二十五、乳過氧化酵素系統及乳鐵蛋白對絞碎豬肉¹ pH 值 (各貯藏時間之平均值) 之影響。

Fig. 25. Effect of lactoperoxidase system and lactoferrin on pH value (pooled data over storage time) of ground pork.

¹ The same as table 4.