

I、中文摘要

本研究旨在利用數種不同之動物性蛋白質進行體外消化實驗以比較其對外源性鐵質利用性之差異。以蛋白、蛋黃、鮮乳、雞肉、豬肉、駝鳥肉、牛肉與肝肽粉等不同的動物性蛋白質，藉額外添加三氯化鐵後進行體外消化試驗，以定量試樣與定蛋白質量兩種方式比較同量下不同試樣種類及不同試樣蛋白質品質對鐵利用之能力，並以可透析總鐵(D)、可透析二價鐵(DN)及總二價鐵(DN+R)等作為評估之標準。結果顯示，在定蛋白質試驗中測定之肝肽粉，能有最佳之鐵質利用率，而定量試樣與定蛋白質量試驗中，則以肉類有較佳之效果，並以牛肉、駝鳥肉、豬肉三種紅肉之結果較佳，蛋白效果次之，白肉之雞肉效果再次之，鮮乳對鐵質之利用效率不佳，而蛋黃對鐵質則沒有促進之效果。

II、前言

鐵為廣泛存在於地球上的一種元素，對動物而言亦為一維持正常生理功能所必須的微量元素。一般食物中含鐵者眾多，且許多食物中之鐵含量亦甚豐富，如動物性的肉類、血液、內臟，植物性的蔬菜、豆類等等。雖然含鐵之食物繁多，但無論是在國內或其它各個國家都有著頻繁的缺鐵症狀存在，其中又以青春期的少女及成年婦女發生比例最高(Tapiero *et al.*, 2001；林，1991)。何以食物來源之鐵含量高且不匱乏，但卻仍然有許多缺鐵之狀況產生呢？此其中除了動物本身的原因之外(如：對鐵需求增加、大量失血、吸收變差)，顯然尚存在某些干擾或促進食物中鐵為人體利用效率之因子，並導致身體產生缺鐵症狀，而此現象亦啟迪吾人進行探究之動機。茲就前人相關的研究報告，逐一檢討食物中不同成分對鐵之吸收與利用之影響，然後針對畜產類動物性食品原料影響鐵質吸收利用的能力作一系列之評估。

III、文獻檢討

一、鐵之型態及營養功能

鐵分子量 55.8，氧化型態多為二價(Fe^{2+})、三價(Fe^{3+})兩種，並在食物中常與蛋白質、植酸、草酸、氫氧化物等成分結合而存在(Beard and Tobin, 2000; Monsen, 1999)。鐵為必需營養素之一，是動物體維持生理機能與進行生化反應所必須，如形成血紅素(hemoglobin)以運送氧及二氧化碳，存在肌紅素(myoglobin)貯存以供應局部組織所需之氧，參與免疫系統或細胞色素(cytochromes)之提供能量及一些必須酵素運作時所需(連等, 1996)。

(一)鐵之利用與貯存

鐵依動物腸道吸收之難易主要分為易被利用之有機鐵(organic iron)及不易被利用之無機鐵(inorganic iron)兩大類。鐵質經人體吸收後即被運用於所需組織或是於肝臟、脾臟、骨髓器官貯存(陳等, 1985)。動物體內之鐵質中約 40%係與血色質結合，故又名血色質鐵(heme iron)，其餘約 60%則是非血色質鐵(nonheme iron)，而血色質鐵的吸收率較非血色質鐵高約 5 倍(Carpenter and Mahoney, 1992；沼田等, 1993)。一般非血色質鐵之吸收率雖只有 2~20%，但其佔了食物中鐵質總量的 80%以上，並且兩者在吸收途徑上亦有所不同(Miller *et al.*, 1981; Berner and Miller, 1985)。血色質鐵因小腸上有特殊之血色質結合位置(specific heme-binding sites)，故其吸收不易受到外在因素的影響(Beard and Tobin, 2000)，非血色質鐵則需在適當 pH 值下(約 pH 2 左右)還原為溶解性較佳之二價鐵(Fe^{2+})，在通過十二指腸及空腸時才能被吸收，而此則正係非血色

質鐵的吸收極易受到飲食中其它成分影響的原因(連, 1996; Johnson, 1992)。

血色質鐵之來源多為動物性食物(如肉類中之血紅素、肌紅素)，植物來源之鐵則多為非血色質之三價鐵複合物(如氫氧化鐵)，其中血色質鐵之吸收因有專一性結合點而吸收利用均佳，非血色質鐵則因多形成不溶或難溶之三價鐵或三價鐵複合物狀態，其吸收利用效率本就較差，再者易受到飲食中其他成分的影響而有被抑制或增進吸收之不同效果，因此與動物來源之鐵相比較之下，其生物可利用率(bioavailability)較差，一般評估動物性來源的鐵其吸收率達 20%，而植物性來源者低於 10%(蕭，2001)。

無論何種型態的食物中鐵，一但被人體吸收後即參與生理、生化反應。大多數的鐵在細胞內以三種型態存在，茲分述於下。

1. 血色質鐵

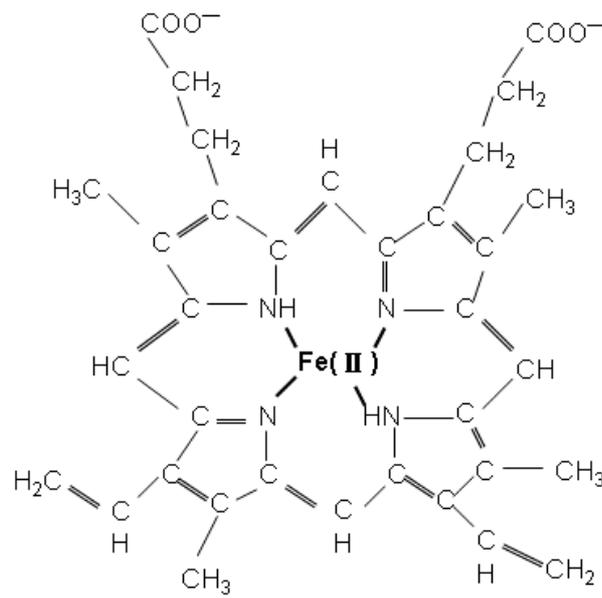
一分子 Fe^{2+} 嵌在原紫質(protoporphyrin)中(圖 1)再與血球或肌球蛋白質結合成複合物，即成運送氧氣之血紅素與肌紅素，分別佔動物體總鐵量之 60%與 5%，以及參與氧氣之活化及生物之氧化作用如細胞色素、過氧化氫酶或過氧化酶等原血紅素組織酶(heme tissue enzyme)酵素，此約佔鐵含量之 5%(蔡等, 1997; Carpenter and Mahoney, 1992)。

2. 鐵蛋白 (ferritin) 及血鐵黃蛋白 (hemosiderin)

本鐵蛋白(apoferritin)及 Fe^{3+} 複合可構成鐵蛋白，鐵蛋白與血鐵黃蛋白分別佔總鐵量之 20%及 10%。此兩型式之鐵可貯存於人體器官中以備不時之需，並能緩慢釋出以供代謝利用(陳等, 1985)。

3. 運鐵蛋白 (transferrin)

為在血漿和細胞外液中與鐵結合以運送鐵之少量鐵質出現，



原紫質(protoporphyrin) + Fe(II) → 血色質(heme)

圖 1. 血色質之結構。

Fig. 1. The structure of heme.

含量 < 1mg(林，1991)。

(二)人體對鐵之需求量

鐵之儲存量在體重 70kg 之男性是 500~2000mg，而體重 60kg 的美國年輕婦女儲存量約為 250mg。人體鐵質含量最豐富之紅血球的壽命約 120 天，每天約有 1% 的紅血球會經由脾、肝臟和其他網狀內皮組織新陳代謝，大部分的鐵會回收再利用(蕭，2001; Allen and Ahluwalia, 1997)。人體鐵之流失每天約 1mg，主要途徑是隨著消化道(0.6mg)、皮膚(0.3mg)、尿道(<0.1mg)等上皮細胞之脫落而流失，只有當血液流失時，才會造成較大量有意義的鐵質流失。在女性方面，每天鐵流失量約為 0.6mg，在正常之經期失血量為每次經期 30 到 90mL 血液(平均損失 45mL)，若加上每月經期時的鐵流失量，則平均流失量為 1.5mg(林，1991; 蕭等，1999)。表 1 表 2 所列為各種不同年齡及生理狀況下男女性對鐵之需求量。因此根據衛生署的「每日飲食建議攝取量」，青春期的青少年因成長的需求以及經期女性每日建議攝取 15mg 的鐵，成年男性與非經期的女性則為 10mg(行政院衛生署)。在台灣地區 13-18 歲與 19-50 歲兩性之鐵攝取量與缺鐵率的關係分別如表 3 及表 4 所示(行政院衛生署)，其中在 13-18 歲時因成長期的影響使得兩性中均略有缺鐵率的存在，鐵充足率亦未達 100%；在 19-50 歲中，成年男性已能滿足對鐵的攝取，女性則依然無法達到鐵攝取之建議量而有缺鐵率的產生、充足率無法達到 100% 之現象。

(三)缺鐵之影響及症狀

鐵在人體內的功能除了製造紅血球以運送氧氣外，在能量供

表 1. 人體對鐵之需求

Table 1. Human iron requirements

| 族群 (年齡與性別) | 每日需求量 | | |
|---------------|---------|-----------|--------------------------|
| | 鐵 (mg) | 能量 (kcal) | 生物可利用鐵 (mg/1000 kcal) |
| 男性 | | | |
| 1-10 | 1.0 | 1800 | 0.56 |
| 11-18 | 1.2 | 2750 | 0.44 |
| 19+ | 1.0 | 2800 | 0.36 |
| 女性 | | | |
| 1-10 | 1.0 | 1800 | 0.56 |
| 11-18 | 1.5 | 2200 | 0.68 |
| 19-50 | 1.5-2.4 | 2200 | 0.68-1.09 |
| 50+ | 1.0 | 1900 | 0.53 |
| 懷孕 | 4-6 | 2500 | 1.6-2.4 |

(Carpenter and Mahoney, 1992)

表 2. 每日鐵的需求量

Table 2. The requirement of iron for each day

| | 鐵需求量 (mg/day) | 建議攝取量 |
|----------|------------------|-------|
| 男性與非經期婦女 | 0.5-1 | 10 |
| 經期婦女 | 0.7-2 | 15 |
| 妊成婦女 | 2.0-4.8 | 30 |
| 青少年 | 1.0-2 | 12-15 |
| 兒童 | 0.4-1 | 10 |
| 嬰兒 | 0.5-1.5 | 6-10 |

(陳, 1996)

表 3. 台灣地區 13-18 歲兩性之鐵攝取量與缺鐵率的關係
 Table 3. The correlation of iron intake and depletion between female and male from 13-18 years old in Taiwan

| 鐵攝取量 (mg/day) | 達建議量之 比率 ¹ | 男 性 | | 女 性 | |
|------------------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 總缺鐵 率 | 鐵充足 率 | 總缺鐵 率 | 鐵充足 率 |
| <6 | < 40 | 13.9 | 86.1 | 4.0 | 96.0 |
| 6-10 | 40-66.7 | 3.3 | 96.7 | 12.2 | 87.8 |
| 10-14 | 66.7-93.3 | 6.1 | 93.9 | 14.6 | 85.4 |
| >14 | >93.3 | 3.2 | 96.8 | 3.3 | 96.7 |

(行政院衛生署)

¹ 男女兩性每日鐵建議攝取量均為 15 mg。

表 4. 台灣地區 19-50 歲兩性鐵攝取量與缺鐵率的關係
 Table 4. The correlation of iron intake and depletion between female and male from 19-50 years old in Taiwan

| 鐵攝 取量 (mg/day) | 男 性 | | | 女 性 | | |
|--------------------------|------------------------------|----------|----------|------------------------------|----------|----------|
| | 達建議 量之比 率 ¹ | 總缺 鐵率 | 鐵充 足率 | 達建議 量之比 率 ² | 總缺 鐵率 | 鐵充 足率 |
| <6 | <60 | 0 | 100 | <40 | 14.7 | 85.3 |
| 6-10 | 60-100 | 0 | 100 | 40-66.7 | 11.2 | 88.8 |
| 10-14 | 100-140 | 0 | 100 | 66.7-93.3 | 8.9 | 91.1 |

(行政院衛生署)

¹ 男性每日鐵建議攝取量為 10 mg。

² 女性每日鐵建議攝取量為 15 mg。

應的系統中也扮演了細胞色素製造能量或免疫系統之必須酵素的
重要角色。

若體內鐵儲存量不足時易產生的一項症狀即為「缺鐵性貧血」，也就是因缺乏鐵而使血紅素的合成產生缺陷、血色素減少。在一般血液檢查中紅血球指數(RBC indices)包括三項：1.平均紅血球容積(mean corpuscular volume, MCV)、2.平均紅血球血紅素量(mean corpuscular hemoglobin, MCH)、3.平均紅血球血紅素濃度(mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC)，當缺鐵性貧血發生時，此三項數值均會降低(林，1991)。根據世界衛生組織(WHO)的建議標準，若成年男性、女性、六至十四歲的兒童及六個月至六歲大之兒童之血紅素量分別低於 13、12、12 及 11g/dl 時即可懷疑有貧血的發生(Allen and Ahluwalia, 1997)。

造成缺鐵性貧血原因有： 1. 鐵質吸收量少：例如長期吃素者或有胃腸疾病之病人，或因食物中含鐵不足、鐵吸收量少而引起之缺鐵性貧血症。 2. 需求量高但供應量不足：懷孕授乳之婦女、發育中的小孩及青少年，因對鐵需求量增加，若無適當的鐵供應亦會產生缺鐵性貧血症(Carpenter and Mahoney, 1992)。

一般鐵的缺乏有一定的過程，依臨床症狀分成以下三個時期：
1. 體內儲存鐵逐漸減少：提供給發育中紅血球用以製造正常血紅素的鐵質不足，此時還未達貧血狀態，但運鐵蛋白的飽和度降低，並開始產生小紅血球增多症。 2. 儲存之鐵耗盡：首先身體內部鐵的儲存會逐漸耗竭，同時鐵蛋白濃度下降，血漿中鐵質結合之結

合容量(total iron-binding capacity ; TIBC)會上升等等。 3. 持續缺乏鐵：血紅素濃度降到正常範圍以下，此時產生鐵質缺乏性貧血，當貧血越惡化時，小紅血球貧血症(microcytic anemia)會更嚴重(Lieu *et al.*, 2001)。

由於鐵會影響到紅血球的製造，使氧的供應發生不足，同時也使細胞的能量供應出現障礙。故當缺乏鐵而造成貧血或所供給之氧氣不足時，會有疲倦、虛弱、暈眩、呼吸急促、心跳加快或心悸、臉色蒼白等現象，並產生耐力降低、維持體溫的能力下降、免疫力降低容易生病等，且因氧氣供給不足，容易健忘、思考不清晰。對兒童之影響方面，會影響認知能力、注意力及學習記憶能力，發生智力不足和行為障礙。孕婦則易有早產及新生兒體重不足的現象。成長中之青少年、兒童、停經期前之婦女更因對鐵需求量較大而更容易出現貧血等症狀(蔡等, 1997；連, 1996)。

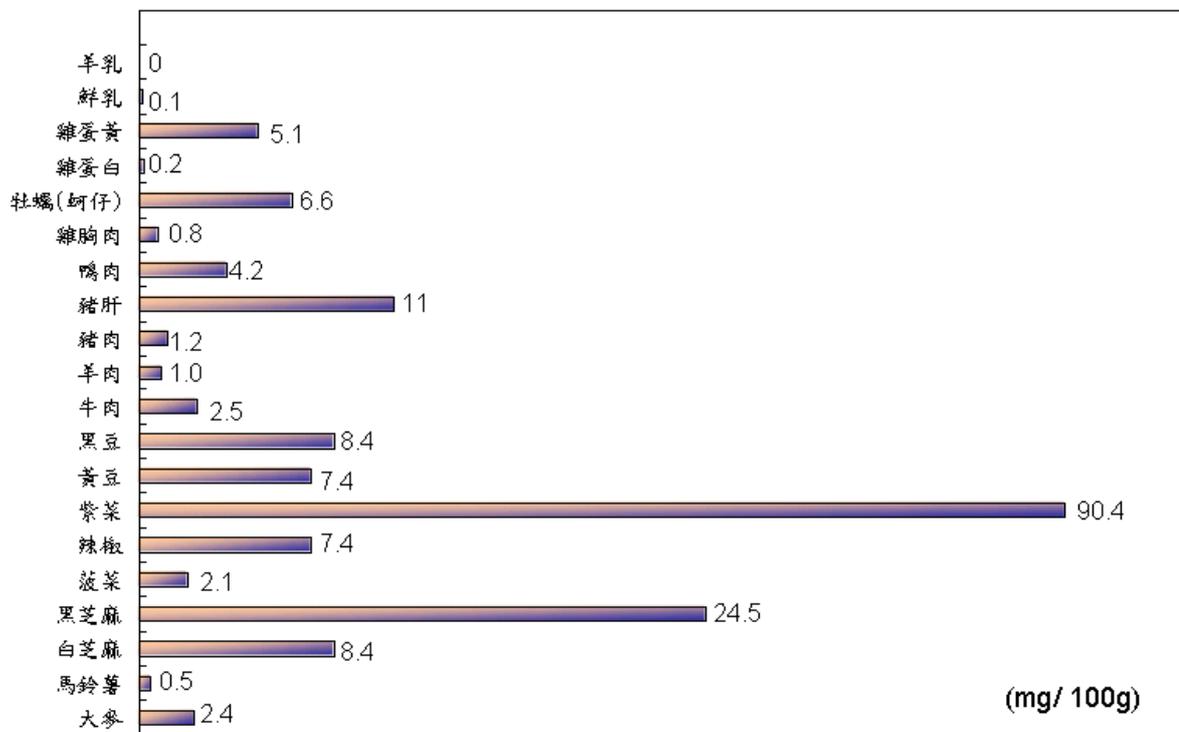
二、影響鐵吸收與利用之因子

(一)飲食中之鐵

健康人每天會從食物中吸收足夠平衡流失的鐵以彌補損失的量(0.6mg到2.1mg)，飲食中含鐵之食物種類眾多，例如肉類及內臟中的血色質鐵，或是蔬菜水果、穀類、豆類中佔飲食大部分之非血色質鐵，含量均豐富(Hallberg *et al.*, 1997)。由圖2顯示畜產品中之乳類與蛋白的鐵質含量甚低，而蛋黃、肉類中則較高，但仍較紫菜、黑芝麻差很多。

(二)不同食物來源中鐵之吸收

不同飲食中鐵的可吸收量亦有相當的差別。肉類及內臟中的鐵，即為肌紅素、血紅素等血色質鐵，主要經由十二指腸及上空腸部分之黏膜表面的專一性結合點來吸收，不易受到消化道中其



(行政院衛生署食品衛生處)

圖 2. 食物中鐵含量之比較。

Fig. 2. The iron content in daily food.

他因子的影響，故能較易直接被再吸收，但若黏膜受損（如腸胃疾病等等）亦會影響中鐵的吸收能力(周，1997)。然而，大多數食物中所含之鐵是皆為非血色質之複合型態之鐵(如：氫氧化鐵)，一般飲食中之蔬菜水果、穀類、豆類中所富含的鐵多為非血色質，其在體內的吸收極易受到其他飲食成分的影響。血色質鐵或非血色質鐵在消化道中會先由飲食中的成分將其還原為二價鐵，再通過腸黏膜細胞與本鐵蛋白結合，或是形成鐵蛋白貯存，繼續在血漿中形成運鐵蛋白以運送到各個組織器官形成血紅素、肌紅素、細胞色素等(圖 3)，最後經由肝臟脾臟將其破壞，由膽汁、汗液、尿液、經血或小腸上皮細胞流失，(圖 4)(連,1996)，圖 4 即為綜合食物中鐵質之吸收、運輸、消化利用及終至破壞排出體外的全部過程。

在含鐵食物中，以肝臟等內臟類、貝類、肉類（瘦肉）等動物性食品的鐵吸收利用率較高。豆類及穀類、蔬菜則是植物中鐵質的最佳來源。但並非所有的鐵都是易被吸收利用的。

食物中的鐵大多為三價溶解性差的鐵，在胃中的酸性環境下會較易從食物中游離出來，再經食物中的還原性物質，如硫氫基(-SH group)、抗壞血酸等將其還原為溶解性較佳之二價鐵才較易通過腸黏膜表面而被吸收利用。而食物中蛋白質經分解後產生的小分子胺基酸、肽類亦可與鐵形成溶解度大的螯合物，進而增加吸收(Bernern *et al.*, 1985; Kapsokfalou and Miller, 1991);相反的，一些植物中的草酸、植酸、茶類、咖啡中之多酚類、胃中的磷酸

鹽等，則會與鐵形成不溶的化合物沉澱，也因此反而降低了鐵的被吸收性(Gleerup *et al.*, 1995；Hallberg *et al.*,1987)。

由上可知食物含鐵豐富者盛多，其實不難攝取足夠每日所需

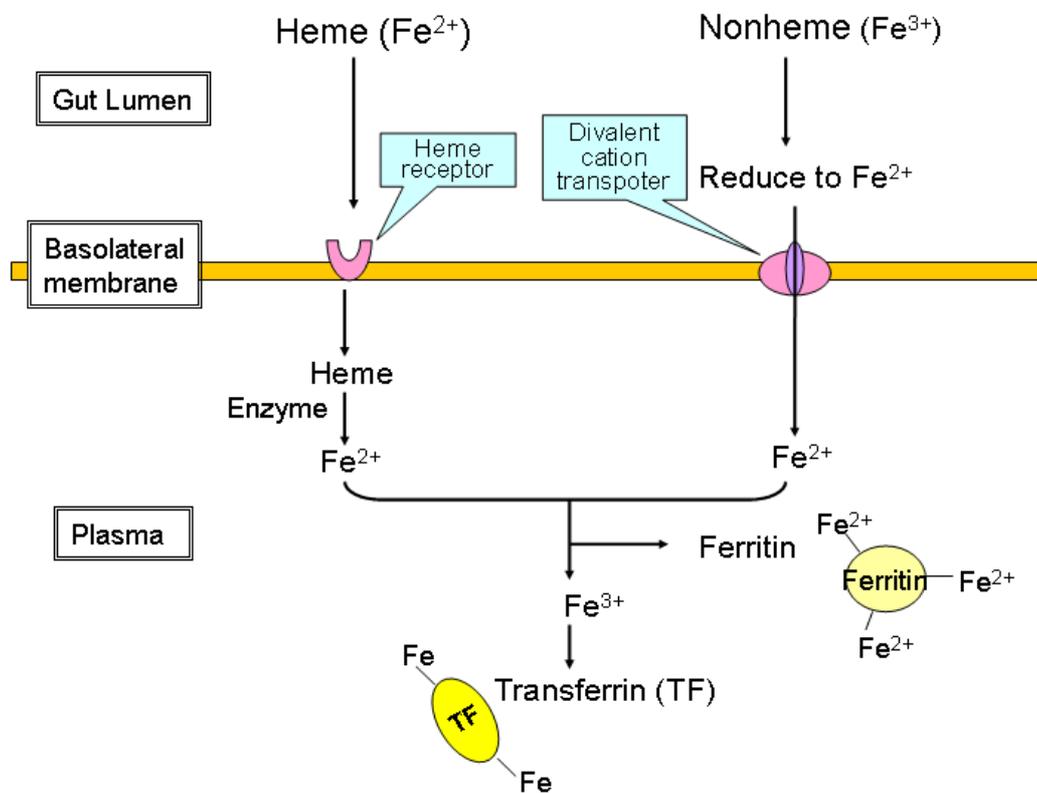


圖 3. 鐵之吸收。

Fig. 3. The absorption of iron.

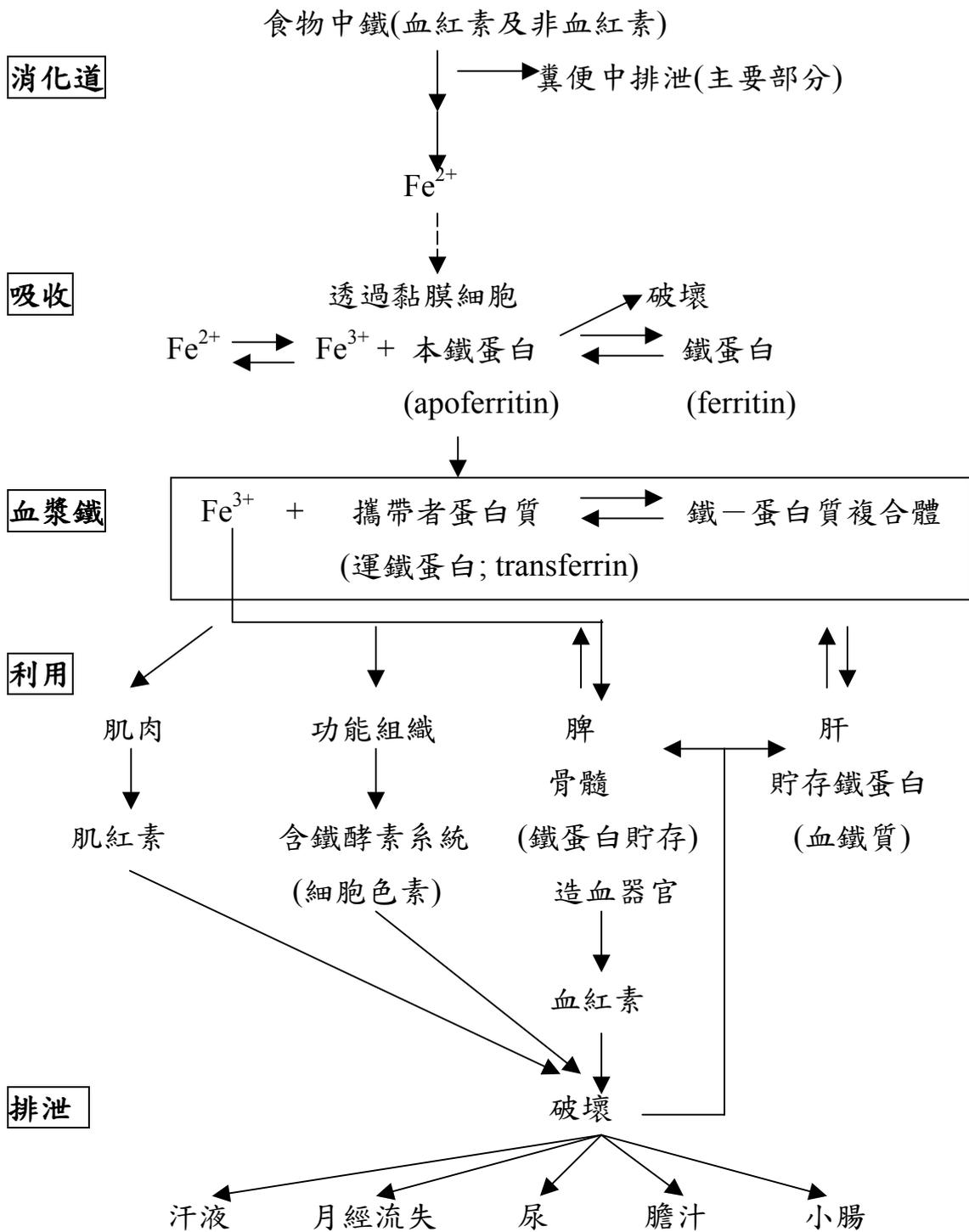


圖 4. 鐵的利用。

Fig. 4. The utilization of iron.

基本量，惟問題主要係出在吸收上。另一方面，人體腸道對鐵的吸收主要是取決於對鐵的需求程度，當缺乏鐵時，身體為了補償體內不足的鐵質，會增加小腸鐵質的吸收，直到體內的鐵質存量足夠為止。此外，飲食中的鐵含量、化學型態、食物其他營養成份也都會影響鐵質的吸收。

(三)抑制鐵吸收之因子

1. 多酚類(polyphenol compound)

多酚類(圖 5)廣泛的存在植物、水果、茶或咖啡等飲食中，會與非血色質鐵結合形成不溶的化合物而使溶解度降低，此即非血色質鐵決定吸收率的重要因素之一，所以當溶解度太低時即不易通透腸黏膜表面，進而使鐵之吸收率減低(Samman *et al.*, 2001)。單寧(tannic acid)為一項常見的多酚類物質，在於茶與咖啡中含量頗高，故當攝取了此等含高單寧的食物後，其中的多酚類會與鐵結合成為不溶解的鐵—單寧複合物(其中的氫氧基會與鐵結合)，形成沉澱，進而降低鐵的吸收，故當其攝取的量愈多時，抑制鐵吸收的效果也愈強烈(Tuntawiroon *et al.*, 1991)。在給予幼兒茶類飲用的研究中，給予茶類的幼兒其小紅血球貧血症發生率(32.6%)顯著的高於未給予茶類飲品的幼兒(3.5%)(Merhav *et al.*, 1985)。South 等人(1997)探討額外添加鐵至飲用的水或茶中時，當添加之硫化亞鐵量為 0.1mM 下，飲用茶組的鐵吸收率(55±3.1%)顯著的低於飲用

水組(76±3.8%)，如添加鐵量提高至 1.0mM 時，用茶組的鐵吸收率(48±6.5%)亦顯著的低於飲用水組(35±4.2%)；此結果亦顯示，當鐵濃度越高，其吸收率反越差。

2. 植酸(phytic acid)及草酸(oxalates)

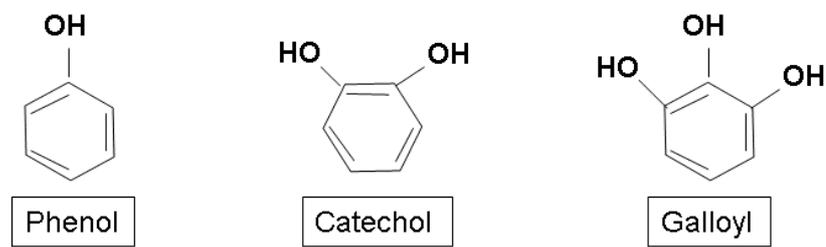


圖 5. 三種多酚類之結構式。

Fig. 5. The structure for three kinds of polyphenol.

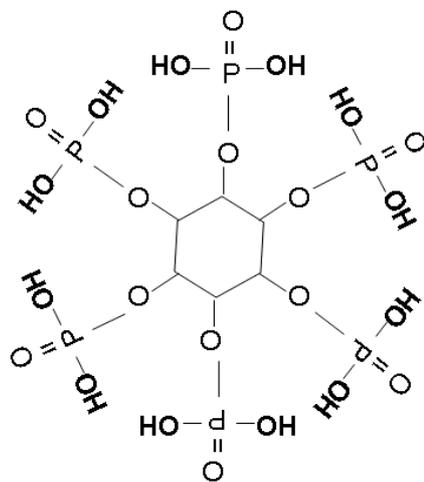


圖 6. 植酸之結構式。

Fig. 6. The structure of phytic acid.

植酸(圖 6)、草酸存在於蔬菜、全穀類、豆類、核果類及種子中，與多酚類相同的，會與非血色質鐵結合成不溶的複合物而使其溶解度、吸收率下降。當在飲食中加入含有高量植酸之麩皮(bran)時，鐵的平均吸收率都會下降 92-93%(Hallberg *et al.*, 1987)；濃縮大豆蛋白中所含的植酸在被由 4.8-4.9mg/g 移除至僅剩<0.01mg/g 時，鐵的吸收率可上升 4-5 倍(Brune *et al.*, 1989; Hurrell *et al.*, 1992)。故雖然有很多植物性食物中雖含有豐富的鐵，卻因植酸、草酸等物質的存在使得這些鐵幾乎都呈現不可被利用的狀態。

由圖 5 及圖 6 之結構式發現，此等化合物均含有可被鐵鍵結之-OH 基，而-OH 基越多，鍵結能力越強，導致鐵形成不溶性複合物之現象亦趨嚴重(Siegenberg *et al.*, 1991)。茶類中的多酚類物質大多屬於含有 2 個-OH 基之兒茶酚(catechol)，當使用茶類萃取物會使非血色質鐵之吸收率由 12.1±4.5%降至 8.9±5.2% ($p<0.01$)；而迷迭香中所含之多酚類多為含有三個-OH 基之 Galloyl，在使用其萃取物後鐵的吸收率會由 7.5±4.0%降至 6.4±4.7% ($p<0.05$) (South *et al.*, 1997)。

3.其他多價陽離子之影響

非血色質三價鐵之吸收途徑中，需由陽離子通道進行主動運輸將其攝入腸腔內，因此若攝取的食物中含有較高的銅、鋅、鈣等其他多價陽離子礦物質即會對此吸收位置產生競爭性抑制作

用，故鐵的吸收會因其他多價陽離子的存在而有降低的現象(Lieu *et al.*, 2001)。例如食品中添加鈣為現今常見補充鈣質攝取之方法，但根據研究報告指出，短期內給予高量的鈣會顯著地使人體對鐵的吸收能力下降，此即為鈣與鐵在吸收上產生了競爭抑制作用，因而使鐵的吸收率下降(Hallberg *et al.*, 1991; Deehr *et al.*, 1990; Cook *et al.*, 1991)。Hallberg 等人(1991)指出，食物中如添加 300-600mg 的鈣時，即會使鐵的吸收率下降 50-60%；如另外，以同位素鐵 ^{59}Fe 添加入飲食中，再與 CCM(calcium citrate-malate salt) 或含鈣豐富的牛奶一起攝食後發現，使用 CCM 或牛奶後的鐵滯留率分別為 $6.0\pm 0.97\%$ 、 $3.4\pm 0.78\%$ ，亦顯著地低於不食用 CCM 或牛奶的 $8.3\pm 1.1\%$ (Deehr *et al.*, 1990)。

4.加工處理

對食物的加熱或一些加工處理容易使原有的血色質鐵被破壞，進而轉變為溶解度差、吸收不佳的非血色質鐵，使得整體的鐵的易被吸收性降低，總鐵吸收利用率也因而受到影響而有所下降。Han 等人(1993)指出，食物中血色質鐵在加熱至 55-85°C 時會迅速的減少；Kristensen 等人(2001)的研究亦顯示，在不同溫度下將肉加熱兩小時，血色質鐵會從 60°C 的 2.7ppm 下降至 80°C 的 1.7ppm，反之，非血色質鐵會從 2.0ppm 上升至 2.9ppm。

(四)促進鐵吸收之因子

1.鐵在食物中的型態

動物肌肉中之鐵以血紅素、肌紅素等血色質鐵型態存在，因在腸黏膜表面有專一性結合點加以吸收，故其攝取不易受到食物

中其他因子的影響，吸收率亦比非血色質鐵高，因此在各食物中若血色質鐵含量較多，其吸收自然較佳(Gordon and Godber, 1989; Kane and Miller, 1984; Garcia *et al.*, 1996)。

2. 抗壞血酸(ascorbic acid)

抗壞血酸為一還原性物質，當隨著飲食而進入消化道後可發揮還原的能力使一些物質被還原，食物中之三價的鐵即為一例。在抗壞血酸的幫助下能還原為二價的鐵，進而鐵的溶解度增加、吸收率亦能因此而提高。所以當攝取含有非色質鐵之食物，而其中抗壞血酸含量也高時，則可促進這些非血色質鐵之吸收(Perks and Miller, 1996)。植酸或多酚類的抑制吸收作用在有 30mg 抗壞血酸下即可被抑制，而 50mg 以上的抗壞血酸可以抑制 >100mg 單寧酸的抑制作用(Siegenberg *et al.*, 1991)。

3. 酸性物質或環境

非血色質鐵在胃酸共存下會較易從其化合物的結構中游離出來，成為游離鐵，並且在酸性環境下(約 pH 2)三價鐵會較易轉變為溶解度較高的二價鐵，因此較易被吸收(Harper, 1985)。但當食物進入小腸後，pH 值會因腸道內環境的改變而逐漸上升，另外若胃酸分泌不足或是因為服用制酸劑而減少了胃酸，則也會影響鐵的吸收。此外，蘋果酸、酒石酸(水果、蔬菜中可發現)等酸性物質都可提供鐵適當的環境以增加吸收率(Allen and Ahluwalia, 1997)。

4. 蛋白質及胺基酸

食物中的蛋白質在被分解成較小分子的肽類或胺基酸時，即可經由螯合作用而攜帶著鐵、進而一起透過腸黏膜細胞而有助於鐵

質之被吸收，另一方面，當蛋白質被分解後會產生帶有含硫氫基(sulfhydryl group；-SH group)的胺基酸，例如半胱胺酸(cysteine)及麩胱甘肽(glutathione)，在腸道內與食物共處之下亦有還原性效果，且能結合、攜帶並還原鐵分子，進而使鐵的吸收利用性大大提高，因此當攝食肉類製品時，除了原有的血色質鐵利用性較佳外，其蛋白質經分解後產生的胺基酸更有促進非血色質鐵吸收之功效 (Mulvihill and Patrick, 1998; Gordon and Godber, 1989; Taylor *et al.*, 1986)。

由以上之討論應可瞭解，人體消化道對食物中所含的鐵，或是另外添加鐵劑，其吸收與利用性顯然均受到諸多因子影響。事實上，鐵之型態必需還原至二價，否則難以被人體吸收。本研究期藉對鐵質於試管內(*in vitro*)模式之利用效率的探討，比較各畜產品對鐵質利用效率之優劣點，並對日常食用之畜產品與鐵質利用間的關係作一較明確之建議。

IV、材料與方法

一、試驗材料

- (一)去離子水：以去離子水為整個實驗中水之來源，器皿使用前均需以去離子水浸泡及沖洗。
- (二)三價鐵溶液：三氯化鐵($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)係購自片山試藥株式會社，溶以 0.01N HCl 並定濃度至所需之 ppm。
- (三)胃蛋白酶(pepsin)：4g 的胃蛋白酶(Merck, EC 3.4.23.1)先溶於 0.01N HCl 後再以 0.1N HCl 定容至 100mL。
- (四)胰泌素/膽鹽混合物(porcine pancreatin-bile mixture)：0.5g 的胰泌素(Sigma P-1750)和 3.0g 的膽鹽(Sigma B-8756)先溶於 0.01N 碳酸氫鈉(sodium hydrocarbonate)中，再以 0.1N 碳酸氫鈉定容至 250mL。
- (五)0.15N PIPES buffer：PIPES (piperazine – N, N' – bis - (2-ethane- sulfonic acid))粉末(USB 20428 ; $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_6\text{S}_2\text{Na}_2$, FW=346.33)溶於去離子水中至 0.15N，並以 1N HCl 調整 pH 至 6.3。
- (六)0.3N HEPES buffer：HEPES (N – 2 – hydroxyethyl – piperazine – N' -2-ethane-sulfonic acid)粉末(Sigma H7006 , FW=206.3)溶於去離子水中至 0.3N，再以 1N HCl 調整 pH 至 9.9。
- (七)蛋白質沉澱鐵還原溶液(reducing protein precipitant solution)：

100g 的三氯醋酸(trichloroacetic acid ; TCA , FW=163.39 ; 購自片山試藥株式會社)與 50g 的羥胺鹽酸鹽(hydroxylamine monohydrochloride , FW=69.49 ; 購自石津試藥株式會社)溶於少量去離子水中 , 再加入 100mL 的 1N HCl , 最後以去離子水定容至 1L 。

(八)蛋白質沉澱溶液(non- reducing protein precipitant solution) : 與蛋白質沉澱還原溶液相同 , 但不加入羥胺鹽酸鹽。

(九)亞鐵呈色劑 : 取 0.25g 鄰-啡啉(1,10-phenanthroline , FW=198.22 ; 購自林純藥工業株式會社)以 0.1N HCl 稀釋至 100mL , 於暗冷處保存。

(十)透析膜(dialysis tubing) : 選用通透性在分子量 6,000-8,000 範圍內之透析膜(Cellu. Sep T2 8030-40 , 購自 Membrane Filtration Products, Inc. ; MFPI)。

(十一)樣品 : 蛋白、蛋黃、光泉成分無調整鮮乳、雞胸肉、豬里肌肉、駝鳥胸肉、牛里肌肉、肝肽粉(レハーペプチドパウダー , 伊藤ハム株式會社 , 日本)。

二、儀器設備

(一)恆溫振盪水浴槽 : DENG YEN water bath , DKW-40L , 台灣。

(二)分光光度儀 : Jasco V-530 spectrophotometer , 日本。

(三)絞碎機 : Osterizer 10 speed blender , 美國。

(四)離心機 : KUBOTA 離心機 , KN-70 , 日本。

三、試驗方法

(一)透析膜前處理 : 依 MFPI 公司所述之方法進行透析膜之前處理。

- 1.取分子量 6000-8000 之透析膜，剪下所需的膜管長約 12cm，以去離子水浸泡 15min。
- 2.置入 10mM 碳酸氫鈉溶液中，於 80°C 下攪拌加熱 30min。
- 3.將膜冷卻並移至 10mM 乙二胺四乙酸(Ethylenediaminetetraacetic acid ; EDTA ; $C_{10}H_{14}O_8N_2Na_2 \cdot 2H_2O=372.24$ ，藥理化學株式會社) 溶液中浸泡 30min。
- 4.再於 80°C 的去離子水攪拌加熱 30min。
- 5.冷卻後封於 50% 的酒精中於 4°C 冷藏。
- 6.使用前須以去離子水沖洗。

(二)試驗樣品之調製：依 Kapsokfalou & Miller(1991)之方法修飾如下。

1.控制組以有樣品但不添加鐵劑者作為原始各樣品含有之量，後續所有之測定值均為扣除各樣品原始量計算。

2.等量試樣之前處理：

- (1)取 20g 的試料，肉類去除筋腱膜與可見脂肪，以少量 0.01N HCl 混合再以絞碎機均勻攪打並定量至 100mL，再以 1N HCl 調整 pH 至 2.0。
- (2)以前述三價鐵溶液配製 500ppm 之三價鐵溶液，分別取 10mL 試樣及 10mL 三價鐵溶液混合，每試樣中添加 1mL 胃蛋白酶。
- (3)將各試驗組置入大試管中，於 37°C 水浴下振盪 2 小時。
- (4)在各試管中放入含 20mL PIPES buffer 的透析袋，於 37°C 下水浴振盪 30 分鐘。
- (5)續添加 5mL 胰泌素/膽鹽混合物，在 37°C 下水浴震盪 2 小時。
- (6)將透析袋取出，以冰水沖洗表面，進入透析袋內之鐵質即被認

定係已可被透析者，而滯留於透析袋外即被認定為已還原但不可被透析者，然後再依(二)之方法分別測定各類型之鐵。

3.等蛋白質含量試樣之前處理：取各約含 4g 蛋白質所需之試樣量，與 0.01N HCl 混合後，依(二)1.之方法作相同處理。

(三)鐵之分析

入透析袋之透析物與透析袋外之殘留物中之鐵濃度依 Kapsokfalou & Miller (1991)之方法經修飾後敘述其步驟如下。

1.將透析袋內之總鐵($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$)取 2.0mL 透析物，加入 1.0mL 蛋白質沉澱鐵還原溶液，將 Fe^{3+} 亦還原為 Fe^{2+} 後與原有之 Fe^{2+} 同時被偵測。

2.每一透析物僅加 1.0mL 蛋白質沉澱溶液即為透析袋內之 Fe^{2+} 。

3.將透析袋外之殘留物各取 2.0mL，加入 1.0mL 蛋白質沉澱溶液，其被測得之鐵即為已還原而不可透析之 Fe^{2+} 。

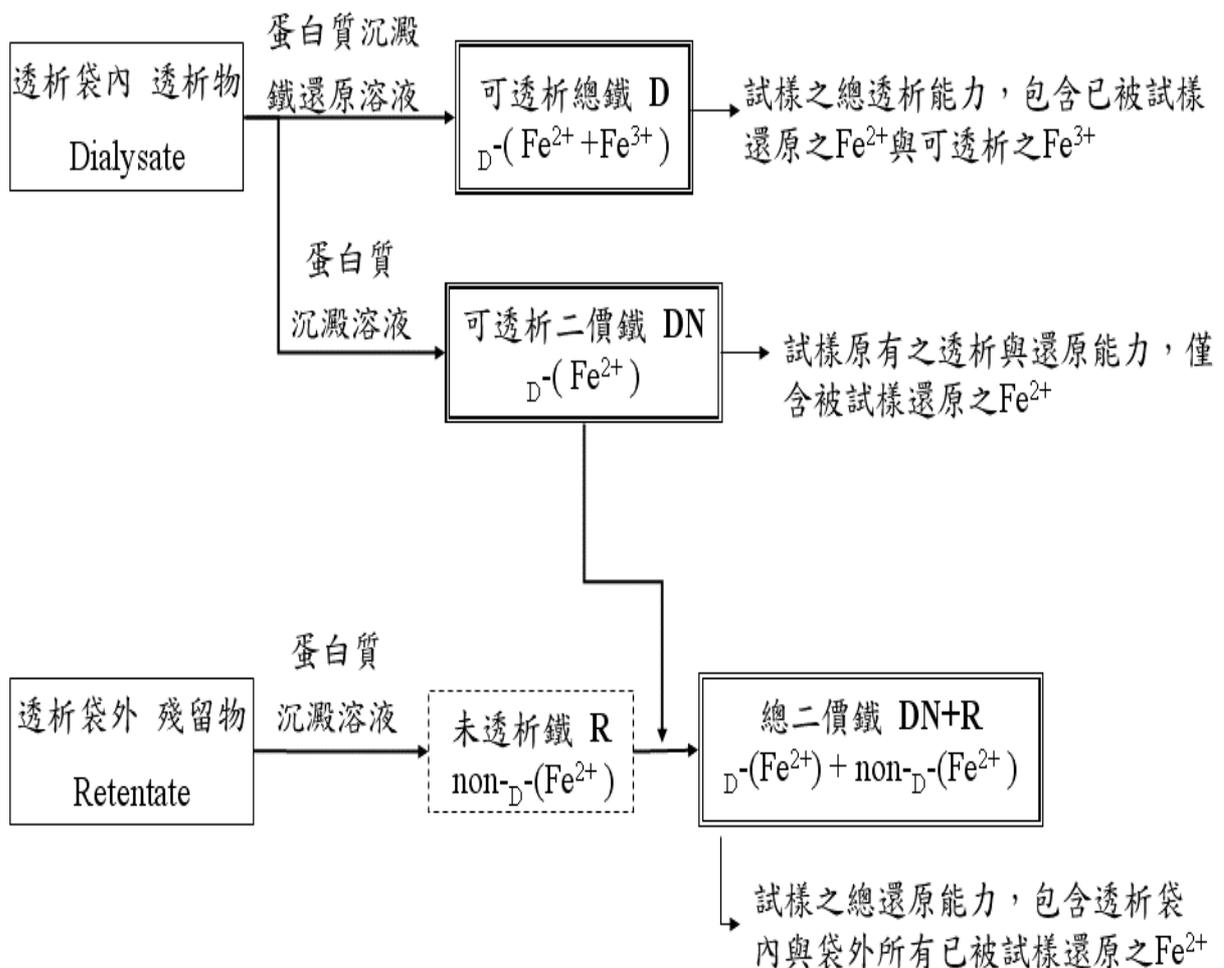
4.將 1~3 於室溫下放置隔夜。

5.於離心機以 2,575 x g 離心 10min。

6.取 1mL 上清液，加入 2.0mL HEPES buffer 與 0.25mL 呈色劑。

7.以分光光度儀經 200~700nm 掃描各樣品之吸光值(Absorbance ; Abs)後，確定已呈現最大吸光值之 510nm 為後續之檢測

各種鐵離子均係以添加之三價鐵作為總量(100%)計算，並根據分析方法區分為下列四類型予以計量，其分別為未透析鐵 ($_{\text{non-D}}-(\text{Fe}^{2+})$; R)、可透析總鐵($_{\text{D}}-(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$; D)、可透析二價鐵 ($_{\text{D}}-(\text{Fe}^{2+})$; DN)及總二價鐵($_{\text{D}}-(\text{Fe}^{2+}) + _{\text{non-D}}-(\text{Fe}^{2+})$; DN+R)，四者間之處理過程及關係如下列之流程。



(四) 二價鐵標準檢量線之製作

1. 分別調製 5、10、15、20、25、30、35ppm 之三價鐵溶液依試驗方法(三)中之鐵分析流程處理，並以去離子水代替樣品作為空白試驗組。
2. 以分光光度儀於 510nm 之波長下測定該 7 種濃度樣品之吸光值。
3. 將所得之吸光數值作為標準檢量線，試驗樣品之吸光數值則以

此標準檢量線對照即可換算得其鐵離子濃度。

以 Sigma Plot 軟體對本試驗之各項數值做 t-test 之統計分析。

V、結果與討論

以 200-700nm 光譜掃描三價鐵各濃度樣品之結果，發現其最大吸光波長均落在 510 nm；又將此等樣品還原為二價鐵後之最大吸光波長亦為 510nm，故將波長 510 nm 作為後續分析之固定波長。經分析 5~35ppm 三價鐵還原為二價鐵後之結果得到二價鐵標準檢量線(linear expression)(圖 7)，其公式為 $Abs = A + B * Conc$ ，其中相關係數 0.997， $A = 0.0054$ ， $B = 0.0407$ ，吸光值(Abs)與濃度(Conc.)以此公式計算之，將此標準檢量線與各試驗結果對照可得不同之濃度，再以 R、D、DN 與 DN+R 表現各組之二價鐵數值與狀態。

一、定量試樣試驗

將各試樣定量取 20g 經體外消化流程處理後，比較相同量下各試樣對鐵之表現能力。

樣品經消化作用後以未透析鐵所佔之比例(%R)代表其對鐵之還原能力(圖 8)。其中均以豬肉、鮑鳥肉、牛肉三種肉類有較高的數值，蛋白、雞肉效果次之，而雞胸肉為肉類中效果較差者，蛋黃、鮮奶則與控制組無差異。

圖 9 為定量試樣經體外消化後之可透析總鐵所佔之比例(%D)，可透析總鐵包含了可透析之二價與三價鐵，量越高顯示其透析能力越好。由圖中來看，除雞肉外($p=0.67$)其他各組均對控制

組達顯著差異；蛋黃則為唯一顯著低於控制組者，顯示其可透析鐵量是最少且甚至較控制組為低，其可能的原因為蛋黃內存在會與鐵結合之 phosvitin，鐵會與其形成 phosvitin-iron complex，進而造成鐵的無法利用及降低了鐵的透析能力(Stadelman and

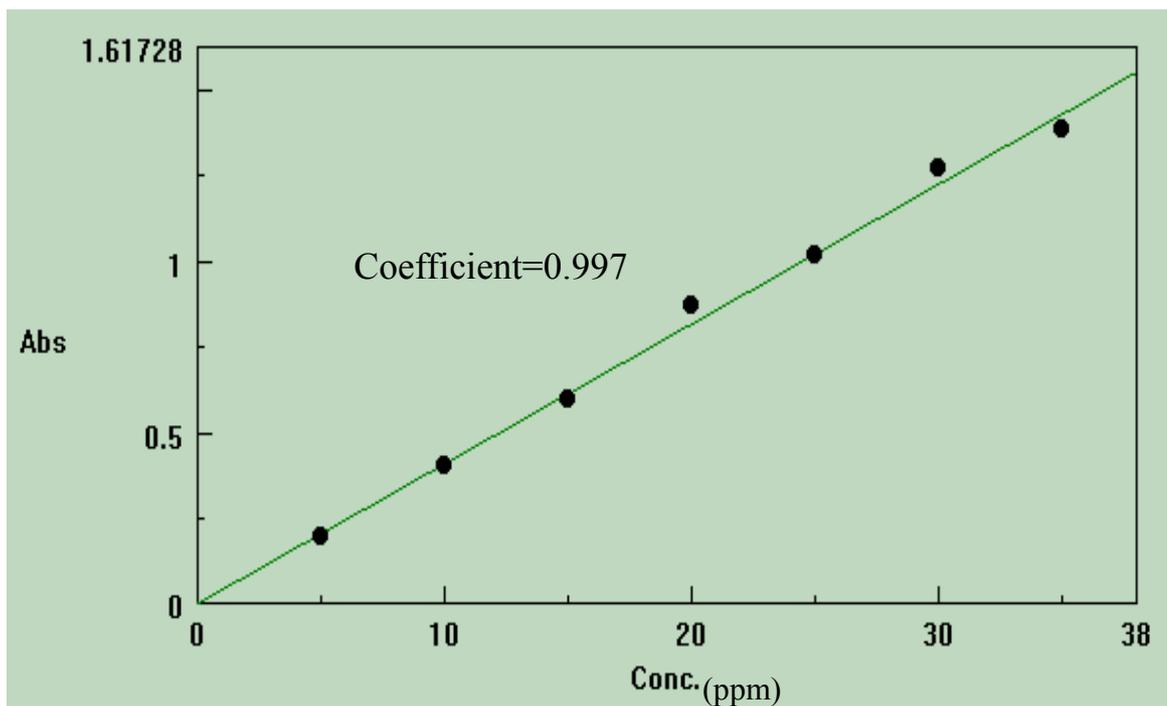


圖 7. 二價鐵標準檢量線(5-35 ppm)。

Fig. 7. The standard curve of ferrous iron from 5~35ppm.

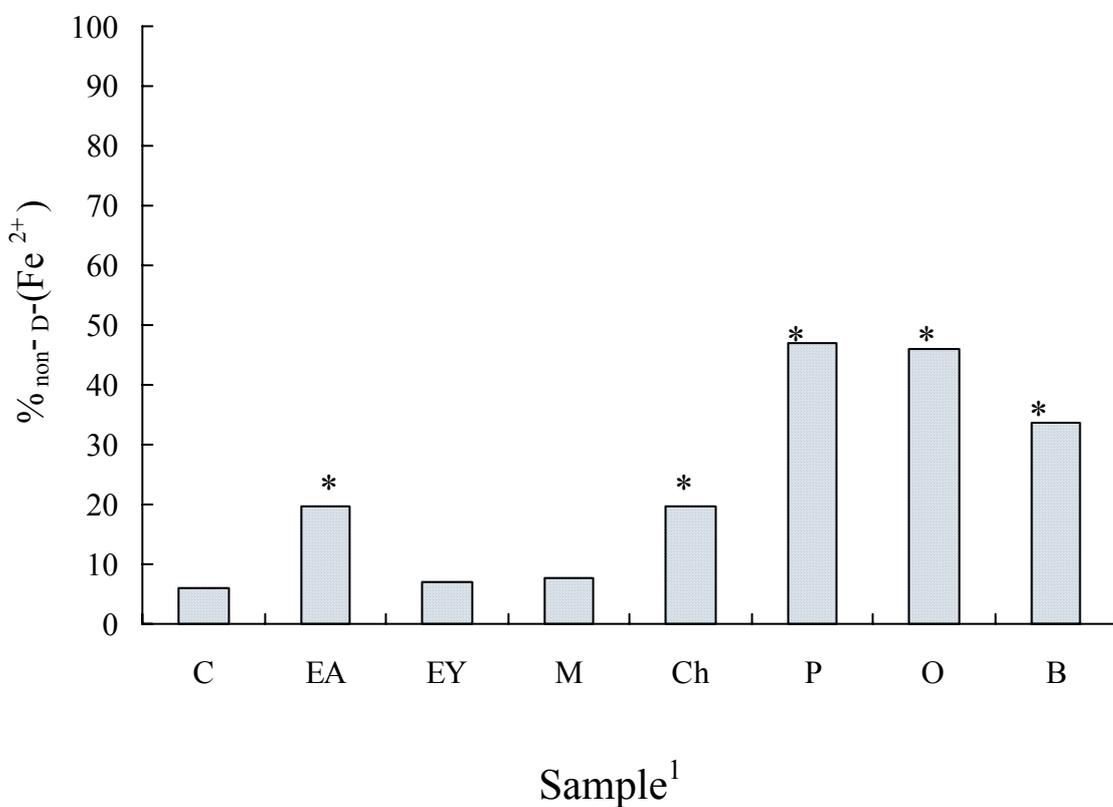


圖 8. 定量試樣經體外消化試驗之未透析鐵含量(%R)之比較。

Fig. 8. The content of nonreduced iron (%R; % non-D-(Fe²⁺)) in each of 20g sample during *in vitro* digestion.

¹ C、EA、EY、M、Ch、P、O and B were the control、egg albumin、egg yolk、fresh milk、chicken pectoralis (breast)、pork (loin)、ostrich meat and beef (loin), respectively.

*Significantly different to control.

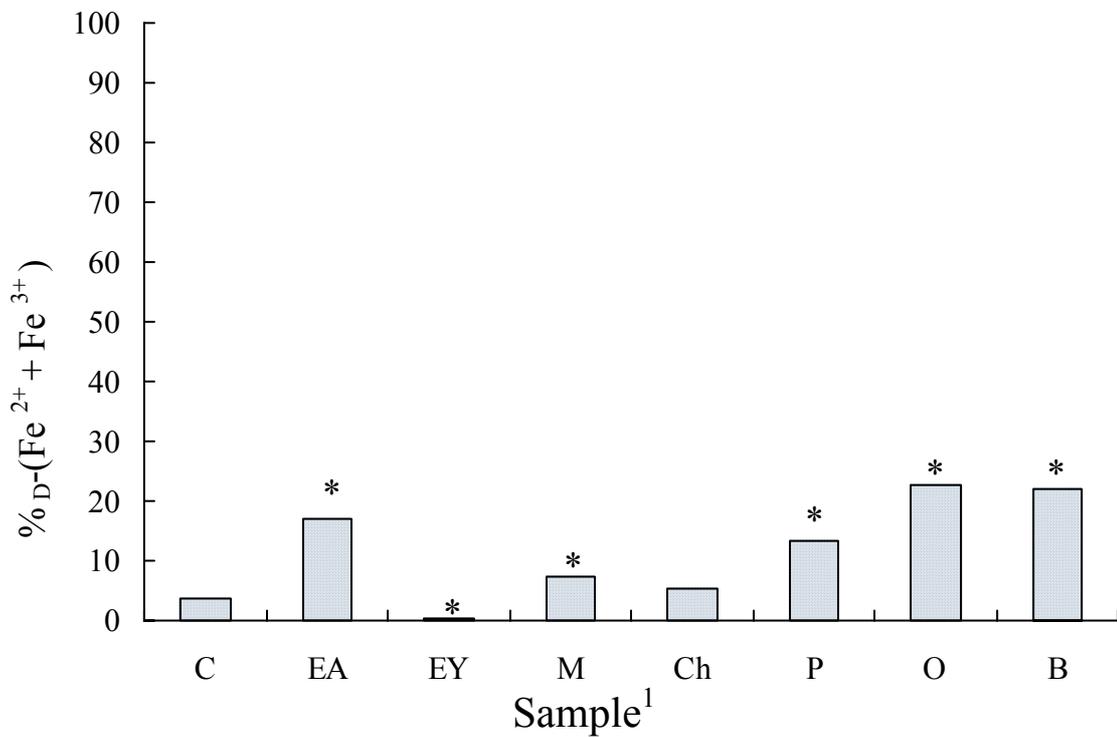


圖 9. 定量試樣經體外消化試驗之可透析總鐵含量(%D)之比較。

Fig. 9. The percentage of dialysable total iron(% D; %_D-(Fe²⁺ +Fe³⁺)) in each of 20g sample during *in vitro* digestion.

¹ Same as Fig. 8.

*Significantly different to control.

Cotterill, 1973)。另外，分析各樣品間之結果顯示，蛋白、駝鳥肉與牛肉之透析能力為各試驗組中透析能力最佳者，且三者間並無差異故可歸納為第一群，豬肉為第二群，鮮奶與雞肉為第三群，蛋黃為第四群最差，四群間差異均達顯著水準。

圖 10 為定量試樣經體外消化後之可透析二價鐵所佔之比例(%DN)，試樣經還原為二價且有透析能力之鐵的比例，數值越高顯示其不但還原力好且透析能力佳。由圖中發現，蛋黃、鮮奶、雞肉與控制組之間並無明顯差異 ($p=0.17$ 、 0.26 、 0.18)，顯示此三者之還原及透析能力之效果不佳，且與圖 9 之總可透析鐵比例比較之下可以發現鮮奶中之可透析二價鐵比例是佔總可透析鐵比例的少數部分(僅佔 19.07%)，顯示其雖有透析能力但還原能力差，多為有透析力的三價鐵而非二價。蛋白、豬肉、駝鳥肉、牛肉與控制組間有顯著差異，顯示其產生可透析二價鐵之效果亦較好，且可透析二價鐵佔總可透析鐵量之比例也高，故此四種試樣應有較佳之透析及還原能力。另外，比較各試樣間之結果顯示，駝鳥肉、牛肉對鐵均有較高的表現歸為第一群，蛋白、雞肉與豬肉其次歸為第二群，蛋黃與鮮奶有顯著較低的情況而歸類為第三群，三群間差異均達顯著水準。

圖 11 為定量試樣經體外消化後之總二價鐵比例(%DN +R)，此顯示出各試樣還原能力之差異，數值越高顯示還原能力越佳。由圖中可以發現蛋黃及鮮奶兩組與控制組並無達差異，顯示此二

者之還原能力不佳。另外，蛋白、雞肉、豬肉、鮫鳥肉、牛肉等有顯著的總二價鐵量存在，其中以豬肉、鮫鳥肉、牛肉三種肉類效果最佳，蛋白次之，而雞肉則是肉類中效果最差者。

許多文獻指出，動物性蛋白質具有促進非血色質鐵之生物利

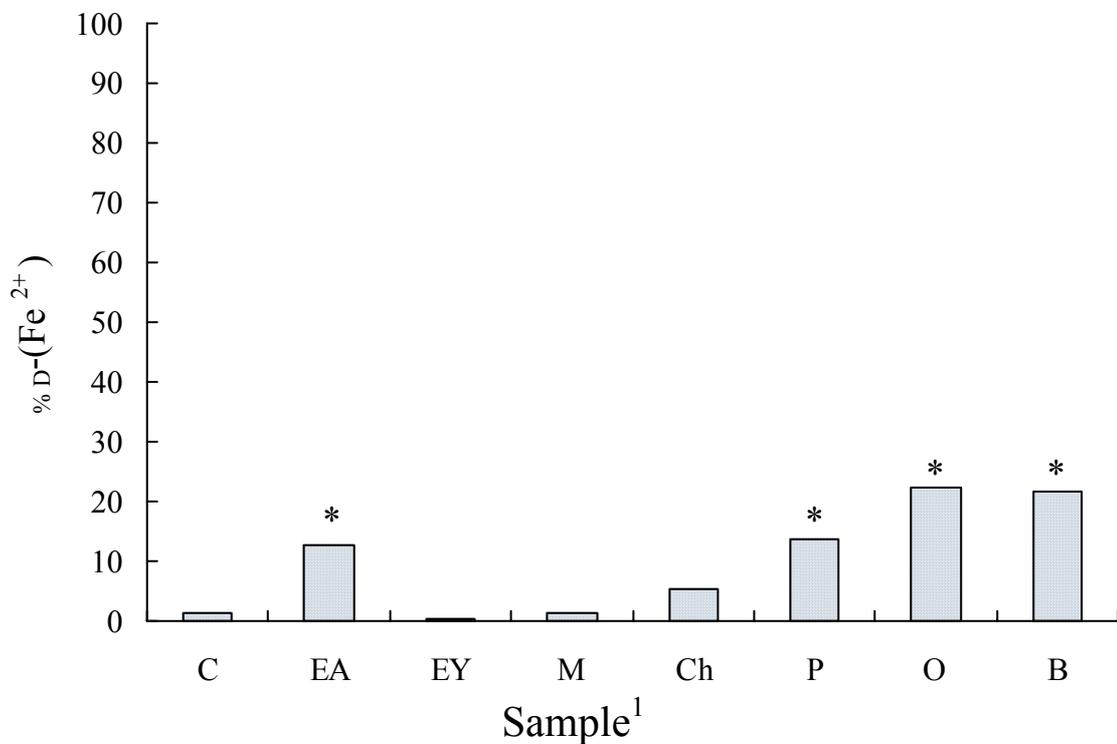


圖 10. 定量試樣經體外消化試驗之可透析二價鐵含量(%DN)之比較。

Fig. 10. The percentage of dialysable ferrous iron (% DN; % D-(Fe²⁺)) in each of 20 g sample during *in vitro* digestion.

¹ Same as Fig. 8.

*Significantly different to control.

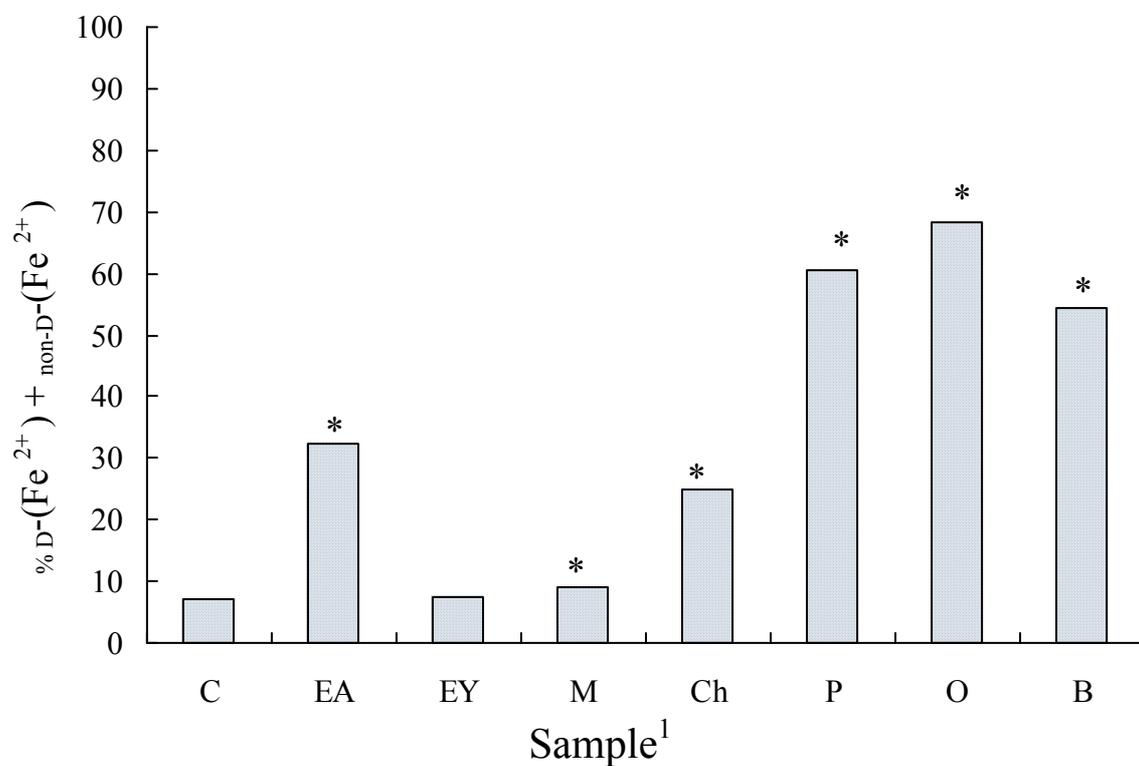


圖 11. 定量試樣經體外消化試驗之總二價鐵含量(%DN+R)之比較。

Fig. 11. The percentage of total ferrous iron (% DN+R; % D-(Fe²⁺) + non-D-(Fe²⁺)) in each of 20 g of sample during *in vitro* digestion.

¹ Same as Fig. 8.

*Significantly different to control.

用性能力(Hurrell *et al.*,1988 ; Gordon and Godber, 1989 ; Kapsokefalou and Miller, 1991), 比較 7 種樣品中蛋白質之含量, 駝鳥、豬、牛、雞等肉類較多(18-25%), 其次為蛋白(~10.5%)及牛奶(3.2-3.5%); 以此對照圖 8、9、10 及 11 之結果, 亦顯示相類似之趨勢。亦即當攝取等量樣品時, 對促進鐵質還原以及透析能力而言, 確係依所攝取之蛋白質含量而定; 此等結果亦與 Kane & Miller(1984)及 Mulvihill & Patrick(1998)等人之結果亦相類似, 惟其中有一例外者係蛋黃(蛋白質含量約 17.4%), 除其含有會與鐵結合阻礙試樣對鐵利用之 phosvitin 外, 由於其蛋白質成分大多為磷蛋白質, 根據 Snedeker 等人(1982)所指出, 磷的成分會干擾蛋白質與鐵質之間的作用, 比對蛋黃中所含之高量脂質(28-36%)亦可能結合鐵而使蛋白質無法與鐵作用(Droke and Lukaski, 1996), 試驗過程中也確實可以發現在蛋黃組中, 離心前後上浮之脂質成份帶有顯著的黃色, 此即可能為所添加之 FeCl_3 (黃色)被脂質吸附, 進而造成無法與蛋白質進行反應。另外由鮮奶之 D 與 DN 比較時, 發現其 DN 僅佔 D 之 19%左右, 顯示鮮奶多為有透析能力的 Fe^{3+} 而非 Fe^{2+} , 其可能原因為乳成分中所含之鈣會干擾鐵與蛋白質之作用(Minihane and Fairweather-Tait, 1998 ; Sokoll and Dawson- Hughes, 1992), 而蕭等(1999)在研究國人鐵營養狀況與高鐵、高鈣奶粉間之關係時亦發現有相類似之結果。

二、等蛋白質含量試驗

將約含 4g 蛋白質之各試樣經體外消化處理過程，比較其各試樣間蛋白質之效力。

圖 12 為等蛋白質含量之樣品經消化作用後之未透析鐵所佔之比例(%R)。圖中可以發現除蛋黃與控制組之間無明顯之差異外，其他各組之數值均與控制組有顯著差異，其中以豬肉、駝鳥肉、牛肉三種肉類之數值較控制組為最高，蛋白、雞肉與肝肽粉次之，鮮奶再次之，蛋黃則是仍與控制組無差異，顯示定量蛋白質下蛋黃之蛋白質量雖會增加，但仍可能因蛋黃中之 phosvitin 而使其蛋白質效力無法顯現。

圖 13 為等蛋白質含量之樣品經體外消化後之可透析總鐵所佔之比例(%D)。在可透析總鐵量中，各組均與控制組達顯著差異，肝肽粉效果最佳為第一群，蛋白、鮮奶、駝鳥肉及牛肉效果亦佳為第二群，豬肉、雞肉較低為第三群，蛋黃有顯著之負差異，表示其透析效果不佳且可能還有抑制效果為第四群，四群間差異均達顯著水準。在定量蛋白質下，肉類中仍以雞肉表現最差。

圖 14 為等蛋白質含量之樣品經體外消化後之可透析二價鐵所佔之比例(%DN)。除蛋黃外($p=0.304$)其他各組均與控制組達顯著差異，肝肽粉在可透析二價鐵數值中亦為表現最佳者為第一群，蛋白、駝鳥肉與牛肉效果次之為第二群，豬肉效果再次之為第三，鮮奶與雞肉效果較低為第四群，四群間差異均達顯著水準，此結果與定量試樣試驗相似。與總可透析鐵比較之下可發現鮮奶之數值下降比例最大，可透析二價鐵比例僅佔總可透析鐵量的 12.86%，此結果亦與定量試樣之結果類似且數值較 19% 為更低。

圖 15 為等蛋白質含量之樣品經體外消化後之總二價鐵比例

(%DN+R)。在總二價鐵量中，蛋黃仍然為效果最差者且與控制組之間不達顯著差異($p=0.35$)，其他各組與控制組之差異則均達顯著水準，在各組之中以豬肉、駝鳥肉、肝肽粉有最佳表現為第一群，蛋白與牛肉表現亦佳為第二群，雞肉表現次之、鮮奶再次之為第

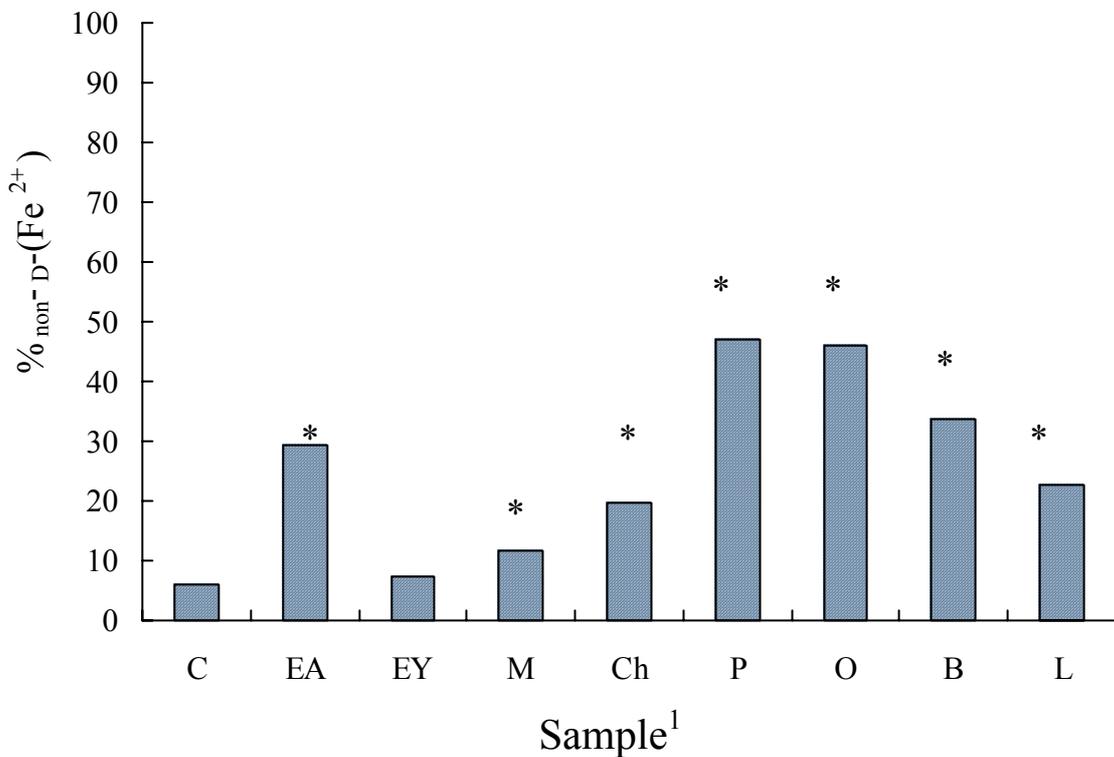


圖 12. 等蛋白質含量之樣品體外消化試驗之未透析之鐵含量(%R)之比較。

Fig. 12. The content of nonreduced iron (%R; % non-D-(Fe²⁺)) in each sample which contained 4g of protein during *in vitro* digestion.

¹ Same as Fig. 8 and L was Liver peptide.

*Significantly different to control.

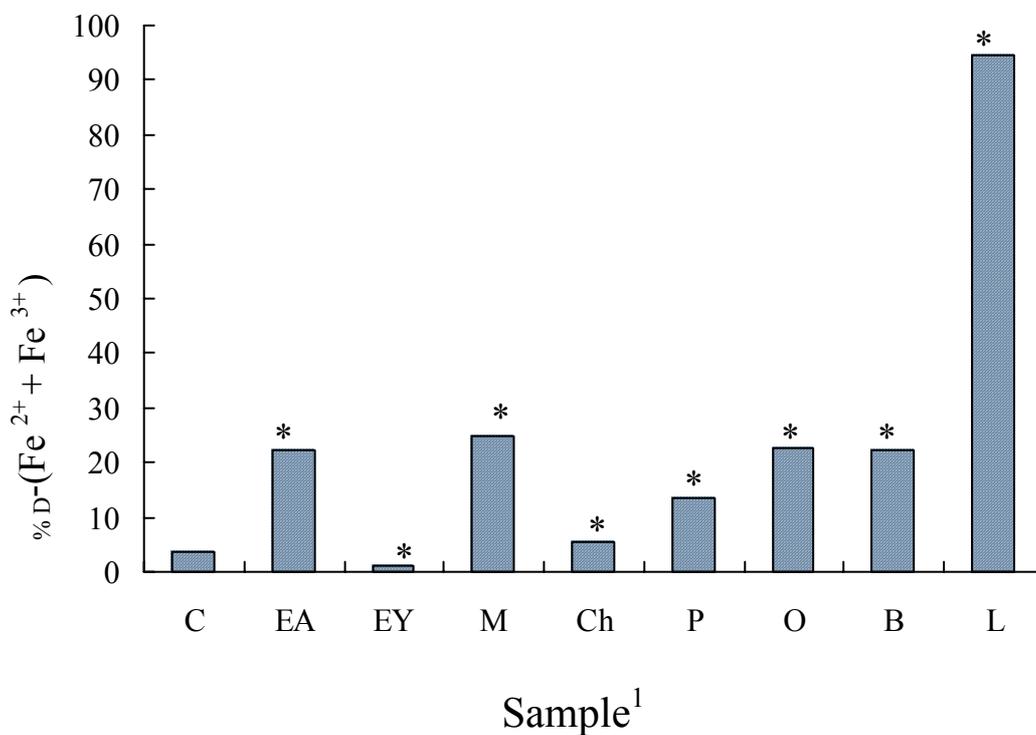


圖 13. 等蛋白質含量之樣品體外消化試驗之可透析總鐵含量(%D)之比較。

Fig. 13. The percentage of dialysable total iron(% D; %_D-(Fe²⁺ +Fe³⁺)) in each sample which contained 4g of protein during *in vitro* digestion.

¹ Same as Fig. 8 and L was Liver peptide.

*Significantly different to control.

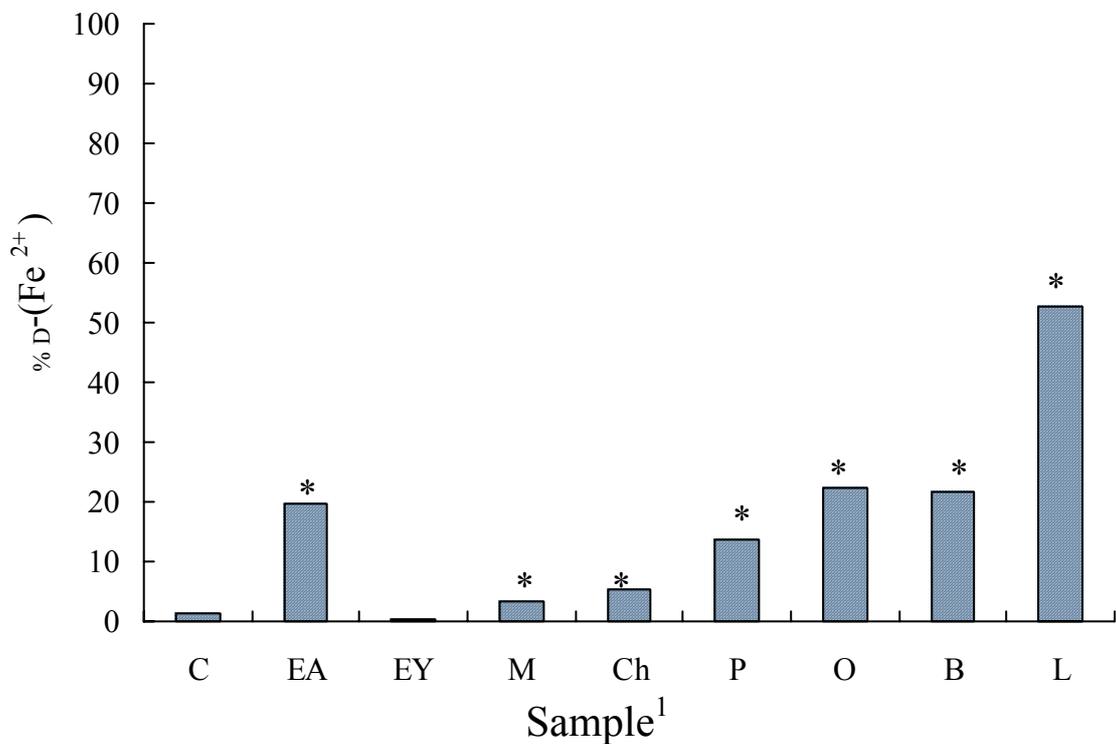


圖 14. 等蛋白質含量之樣品體外消化試驗之可透析二價鐵含量 (%DN)之比較。

Fig. 14. The percentage of dialysable ferrous iron (% DN; % D-(Fe²⁺)) in each sample which contained 4g of protein during *in vitro* digestion.

¹ Same as Fig. 8 and L was Liver peptide.

*Significantly different to control.

三、四群，四群間差異均達顯著水準，此結果亦與定量試樣試驗相似。

在定量蛋白質試驗中之結果均與定量試樣試驗類似，以肉類有較佳之結果。根據 Beveridge & Nakai(1974)、Layrisse 等(1984)、Taylor 等(1986)之研究報告均指出，食品成分中之含硫成分(如-SH group、-SS group)具有與鐵質結合以還原、增進透析之能力，此含硫成分在肉類、蛋白之蛋白質中可發現其皆富含半胱胺酸、胱胺酸、甲硫胺酸等含硫胺基酸，此即為肉類與蛋白對鐵質之效果較佳之原因，報告亦指出肉類有較佳結果之效應稱為「食肉因子」(Meat factor)，故可了解無論是定量試樣或定量蛋白質之各組試樣對鐵在可透析總鐵、可透析二價鐵與總二價鐵之反應，均以肉類為最佳，蛋白次之。同時，肉類中以豬肉、駝鳥肉與牛肉三種紅肉有較佳的效果，而屬於白肉之雞胸肉則是在本試驗所使用的肉類中效果最差者，可能的原因即為紅肉中所含的血色質鐵較白肉為多(Kristensen & Purslow, 2001；Schrick & Miller, 1983)，故以白肉之結果較差；但 Kapsokefalou 與 Miller 在 1991 年所提出之報告中指出，數種肉類中以白肉的雞胸肉有最佳對鐵質之效果，此論點與本試驗之結果並不相符，可能係因試驗步驟中所使用之藥品及流程的不同，或是雞隻品種、餵飼方法等均可能造成此差異。

定量蛋白質試驗中所使用之肝肽粉為將豬肝經加工處理、純化後蛋白質含量 50%以上、水分含量 15%以下之副產品，除了高

蛋白質含量外，豬肝內豐富的鐵含量亦經純化過程而保留在此產品中，使其本身即含有高量蛋白質與鐵成分。由試驗結果顯示在四種鐵含量上能表現出試樣還原能力的 DN、DN+R 數值均以肝肽粉有最佳結果，且在分光檢測時發現其濃度已超過標準檢量線之

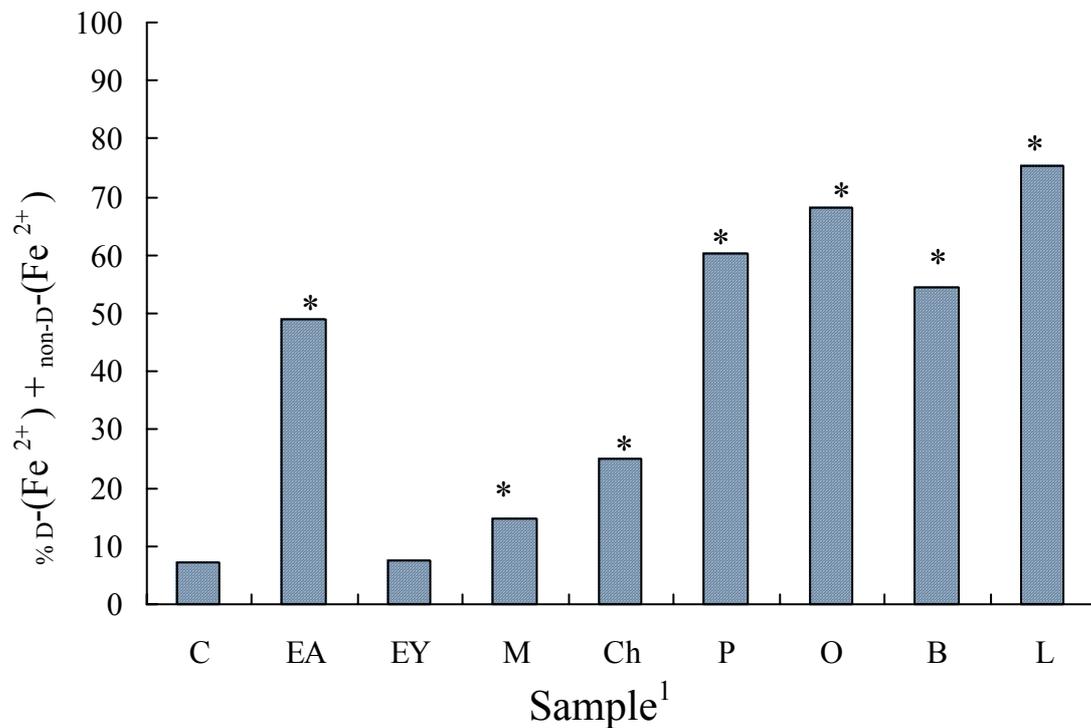


圖 15. 等蛋白質含量之樣品體外消化試驗之總二價鐵含量 (%DN+R)之比較。

Fig. 15. The percentage of total ferrous iron (% DN+R; % $D-(Fe^{2+}) + non-D-(Fe^{2+})$) in each sample which contained 4g of protein during *in vitro* digestion.

¹ Same as Fig. 8 and L was Liver peptide.

*Significantly different to control.

40ppm 之數值，此顯示肝肽粉中原本就含有高量的鐵，在本試驗條件下這些鐵可能受限於藥品所能表現的量而無法完全通過透析膜，因而殘留在殘留物中，但也由此可知此副產物不但能有效利用鐵，亦為一良好的鐵供給來源。

兩種試驗比較之下，因定量蛋白質之原因使蛋白、蛋黃與鮮奶中之蛋白質量較定量試樣為高，對鐵之表現數值即隨著蛋白質量的增加而對鐵的表現效果亦增加。根據文獻指出，蛋白中所含之伴蛋白(coalbumin)會與金屬離子結合形成不溶的沉澱，且以鐵與之結合能力最強，使得其對鐵質之利用效率降低(Stadelmen & Cotterill, 1973)，但在本試驗中可以發現，蛋白之效果為僅次於肝肽粉與紅肉類者，可能的影響原因或係蛋白中的蛋白質成分為含硫豐富的胺基酸，此蛋白質效力大於伴蛋白之影響能力，故蛋白組對鐵質之效果亦佳。而在鮮奶方面，其總可透析鐵量在定量蛋白質試驗中更有明顯的增加(7.24%增加至 24.732%)，但亦可發現其可透析二價鐵的數值並沒明顯改變(1.38%與 3.18%)，顯示可能因鮮奶中之其他因子(如鈣、磷)影響使得其對鐵質之效果無法表現，此結果與 Bendich(2001)、Cook(1991)、Snedeker(1982)等人所提之結果相類似。並且在試驗中發現，若以還原乳(以全脂奶粉為來源)作為試樣，試驗會因乳中的脂質無法沉澱，造成試樣渾濁而完全無法進行分光測定，其可能係因為乳粉經多次高溫加工過之產品，其蛋白質與脂質均有可能發生變性而影響到對鐵的表現。

除此之外，乳品在經高溫狀態下發生之褐化反應所生成之物質亦會對鐵質之效果產生影響(Sarria and Vaquero, 2001)。以定量蛋白質會增加蛋白、蛋黃與鮮奶之數值來比較，雖然其對鐵之效果數值皆會增加，但詳細計算其中 DN 所佔 D 之比例可以發現，蛋黃與鮮奶二組會隨著蛋白質量的增加而使 DN 所佔 D 之比例下降，分別由 84.6%、19.07%降至 27.77%與 12.86%，顯示隨著蛋白質量的增加，其可透析二價鐵量反而會呈現減少之趨勢，此可顯示，即使以增加蛋白質之方法寄望提高對鐵質之效用，但反而會因樣品中其他成分的存在而更強烈影響到其表現量，此結果與 Miller 等人(1981)、Hallber & Gramatkovski(1997)所述之內容相類似。

VI、結論

由本研究之結果發現，定量蛋白質試驗中，肝肽粉對鐵質利用之效果最佳。而定量試樣與定蛋白質量試驗中，以肉類有較佳之效果，並以牛肉、駝鳥肉、豬肉三種紅肉之結果較佳，蛋白效果次之，雞肉效果再次之，鮮乳對鐵質之利用效率不佳，而蛋黃對鐵質則沒有效果。

VII、參考文獻

- 行政院衛生署食品衛生處。http://www.doh.gov.tw/。
- 林仁混。1991。生化學通論。263-274 頁。聯經出版社。台北市。
- 陳長安、許世明、許家安編譯。1985。生化學，400-405 頁。合記圖書出版社，台北市。
- 連潔群、楊又才。1996。新編實用營養學，167-174 頁。藝軒出版社，台北市。
- 蔡淑芳、周聰成編譯。1997。應用膳食療養學，421-433 頁。藝軒出版社，台北市。
- 蕭寧馨。2001。國人鐵營養狀況之研究。台大校友雙月刊 12:12-13。
- 蕭寧馨、葉文婷、潘文涵。1999。國人鐵營養狀況與缺鐵盛行率。中華營誌 24: 119-213。
- 沼田正寬、副田理美、近藤良房、中村豐郎。1993。牛肝臟および肝消化物の腸内 pH における非ヘム鉄の溶解性に及ぼす影響。日畜會報 64: 645-651。
- 沼田正寬、副田理美、中村豐郎。1992。豚血液由來ヘム鉄濃縮物のラットにおける生体利用性。日畜會報 63: 1195-1202。
- Allen, L. H. and N. Ahluwalia. 1997. Improving iron status through diet. Nutrition Dept. Pennsylvania State University.
http://www.mostproject.org/toc.htm#acknowledge1
- Ames, S. K., B. M. Gorham and S. A. Abrams. 1999. Effects of high

- compared with low calcium intake on calcium absorption and incorporation of iron by red blood cells in small children. *Am. J. Clin. Nutr.* 70: 44-48.
- Amine, E. A. and D. M. Hegsted. 1975. Effect of dietary carbohydrates and fats on inorganic iron absorption. *J. Agr. Food Chem.* 23: 204-208.
- Beard, J. and B. Tobin. 2000. Iron status and exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 72(suppl): 594S-597S.
- Bendich, A. 2001. Calcium supplementation and iron status of females. *Nutr.* 17: 46-51.
- Berner, L. A. and D. D. Miller. 1985. Effects of dietary proteins on iron bioavailability—A review. *Food Chem.* 18: 47-69.
- Beveridge, T., S. J. Toma and S. Nakai. 1974. Determination of –SH and SS-groups in some food proteins using Ellman’s reagent. *J. Food Sci.* 39:49-51
- Bowering, J., G. A. Masch and A. R. Lewis. 1977. Enhancement of iron absorption in iron depleted rats by increasing dietary fat. *J. Nutr.* 107: 1687-1693.
- Brune, M., L. Rossander and L. Hallberg. 1989. Iron absorption: no intestinal adaptation to a high-phytate diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 49: 542-545.
- Carpenter, C. E. and A. W. Mahoney. 1992. Contributions of heme and nonheme iron to human nutrition. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 31:333-367.
- Carpenter, C. E. and E. Clark. 1995. Evaluation of methods used in

- meat iron analysis and iron content of raw and cooked meats. *J. Agric. Food Chem.* 43: 1824-1827.
- Chen, C. C., A. M. Pearson, J. I. Gray, M. H. Fooladi and P. K. KU. 1984. Some Factors influencing the nonheme iron content of meat and its implications in oxidation. *J. Food Sci.* 49: 581-584.
- Cook, J. D., S. A. Dassenko and P. Whittaker. 1991. Calcium supplementation: effect on iron absorption. *Am. J. Clin. Nutr.* 53: 106-111.
- Deehr, M. S., G. E. Dallal, K. T. Smith, J. D. Taulbee and B. Dawson-Hughes. 1990. Effects of different calcium sources on iron absorption in postmenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.* 51: 95-99.
- Droke, E. A. and H. C. Lukaski. 1996. Dietary iron and fat affect nonheme iron absorption, iron status, and enterocyte aconitase activity and iron concentration in rats. *Nutr. Res.* 16: 977-989.
- Garcia, M. N., C. Martinez-Torres, I. Leets, E. Tropper, J. Ramirez and M. Layrisse. 1996. Heat treatment on heme iron and iron-containing proteins in meat: iron absorption in humans from diets containing cooked meat fractions. *J. Nutr. Biochem.* 7:49-54.
- Gleerup, A., L. Rossander-Hulthén, E. Gramatkovski and L. Hallberg. 1995. Iron absorption from the whole diet: Comparison of the effect of two different distributions of daily calcium intake. *Am. J. Clin. Nutr.* 61: 97-104.
- Gordon, D. T. and J. S. Godber. 1989. The enhancement of nonheme

- iron bioavailability by beef protein in the rat. *J. Nutr.* 119:446-452.
- Han, D., K. W. McMillin, J. S. Godber, T. D. Bidner, M. T. Younathan, D. L. Marshall and L. T. Hart. 1993. Iron distribution in heated beef and chicken muscles. *J. Food Sci.* 58(4): 697-700.
- Hallberg, L. 1998. Does calcium interfere with iron absorption? *Am. J. Clin. Nutr.* 68: 3-4.
- Hallberg, L., L. Hultén and E. Gramatkovski. 1997. Iron absorption from the whole diet in men: how effective is the regulation of iron absorption. *Am. J. Clin. Nutr.* 66: 347-356.
- Hallberg, L., L. Rossander and A.-B. Skånberg. 1987. Phytates and the inhibitory effect of bran on iron absorption in man. *Am. J. Clin. Nutr.* 45:988-996
- Hallberg, L., M. Erlandsson, A. Sandberg and L. Rossander-Hultén. 1991. Calcium: effect of different amounts on nonheme- and heme-iron absorption in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 53: 112-119.
- Hunt, J. R. and Z. K. Roughead. 2000. Adaptation of iron absorption in men consuming diets with high or low iron bioavailability. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 94-102.
- Hurrell, R. F., M. A. Juillerat, M. B. Reddy, S. R. Lynch, S. A. Dassenko and J. D. Cook. 1992. Soy protein, phytate, and iron absorption in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 56: 573-578.
- Hurrell, R. F., S. R. Lynch, T. P. Trinidad, S. A. Dassenko and J. D. Cook. 1989. Iron absorption in humans as influenced by bovine milk proteins. *Am. J. Clin. Nutr.* 49: 546-552.

- Jackson, L. S. 1992. The effect of dairy products on iron availability. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 31: 259-270.
- Johnson, L. R. 1997. Gastrointestinal Physiology (5th ed.) 143-145. Mosby-Year Book. Inc., printed in the United States of America.
- Kalkwarf, H. J. and S. D. Harrast. 1998. Effects of calcium supplementation and lactation on iron status. Am. J. Clin. Nutr. 67: 1244-1249.
- Kane, A. P. and D. D. Miller. 1984. *In vitro* estimation of the effects of selected proteins on iron bioavailability. Am. J. Clin. Nutr. 39: 393-401.
- Kapsokefalou, M. and D. D. Miller. 1991. Effects of meat and selected food components on the valence of nonheme iron during *in vitro* digestion. J. Food Sci. 56: 352-355.
- Kapsokefalou, M. and D. D. Miller. 1993. Lean beef and beef fat interact to enhance nonheme iron absorption in rats. J. Nutr. 123:1429-1434.
- Kapsokefalou, M. and D. D. Miller. 1995. Iron speciation in intestinal contents of rats fed meals composed of meat and nonmeat sources of protein and fat. Food Chem. 52: 47-56.
- Kim, M., D.-T. Lee and Y.-S. Lee. 1995. Iron absorption and intestinal solubility in rats are influenced by dietary proteins. Nutr. Res. 15(11): 1705-1716.
- Kristensen, L. and P. P. Purslow. 2001. The effect of processing temperature and addition of mono- and di-valent salts on the heme- nonheme-iron ratio in meat. Food Chem. 73: 433-439.

- Layrisse, M., C. Martínez-Torres, I. Leets, P. Taylor and J. Ramírez. 1984. Effect of histidine, cysteine, glutathione or beef on iron absorption in humans. *J. Nutr.* 114: 217-223.
- Lieu, P. T., M. Heiskala, P. A. Peterson and Y. Yang. 2001. The roles of iron in health and disease. *Mol. Asp. Med.* 22:1-87.
- Merhav, H., Y. Amitai, H. Palti and S. Godfrey. 1985. Tea drinking and microcytic anemia in infants. *Am. J. Clin. Nutr.* 41: 1210-1213.
- Miller, D. D., B. R. Schlicher, R. R. Rasmussen, B. S. and D. V. Campen. 1981. An *in vitro* method for estimation of iron availability from meals. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 2248-2256.
- Minihane, A. M. and S. J. Fairweather-Tait. 1998. Effect of calcium supplementation on daily nonheme-iron absorption and long-term iron status. *Am. J. Clin. Nutr.* 68: 96-102.
- Monsen, E. R.. 1999. The ironies of iron. *Am. J. Clin. Nutr.* 69: 831-832.
- Morck, T. A., S. R. Lynch, B. S. Skikne and J. D. Cook. 1981. Iron availability from infant food supplements. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 2630-2634.
- Mulvihill, B. and A.M.Patrick 1998. Influence of the sulphhydryl content of animal protein on *in vitro* bioavailability of non-haem iron. *Food Chem.* 61(1/2): 1-7.
- Perks, S. M. and D. D. Miller. 1996. Adding ascorbic acid to iron-fortified cow's milk does not enhance iron bioavailability to piglets. *Nutr. Res.* 16:969-975.

- Politz, M. L. and F. M. Clydesdale. 1988. Effect of enzymatic digestion, pH and molecular weight on the iron solubilizing properties of chicken muscle. *J. Food Sci.* 1081-1085(1090).
- Reddy, M. B. and J. D. Cook. 1997. Effect of calcium intake on nonheme-iron absorption from a complete diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 65: 1820-1825.
- Reddy, M. B., R. F. Hurrell and J. D. Cook. 2000. Estimation of nonheme-iron bioavailability from meal composition. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 937-943.
- Rhee, K. S. and Y. A. Ziprin. 2001. Pro-oxidative effects of NaCl in microbial growth-controlled and uncontrolled beef and chicken. *Meat Sci.* 57: 105-112.
- Roughead, Z. K. and J. R. Hunt. 2000. Adaptation in iron absorption: iron supplementation reduces nonheme-iron but not heme-iron absorption from food. *Am. J. Clin. Nutr.* 72: 982-989.
- Samman, S., B. Sandström, M. B. Toft, K. Bukhave, M. Jensen, S. S. Sørensen and M. Hansen. 2001. Green tea or rosemary extract added to foods reduces nonheme-iron absorption. *Am. J. Clin. Nutr.* 73: 607-612.
- Sandberg, A.-S. and U. Svanberg. 1991. Phytate hydrolysis by phytase in cereals; effect on *in vitro* estimation of iron availability. *J. Food Sci.* 56: 1330-1333.
- Sarria, B. and M. P. Vaquero. 2001. Zinc and iron bioavailability in a powder or in-bottle-sterilized infant formula estimated by *in vitro* and in suckling rats. *J. Nutr. Biochem.* 12:266-273.

- Schricker, B. R. and D. D. Miller. 1983. Effects of cooking and chemical treatment on heme and nonheme iron in meat. *J. Food Sci.* 48:1340-1343,1349.
- Siegenberg, D., R. D. Baynes, T. H. Bothwell, B. J. Macfarlane, R. D. Lamparelli, N. G. Car, P. MacPhail, U. Schmidt, A. Tal and F. Mayet. 1991. Ascorbic acid prevents the dose-dependent inhibitory effects of polyphenols and phytates on nonheme-iron absorption. *Am. J. Clin. Nutr.* 53: 537-541.
- Simpson, K. M, E. R. Morris and J. D. Cook. 1981. The inhibitory effect of bran on iron absorption in man. *Am. J. Clin. Nutr.* 34: 1469-1478.
- Slatkavitz, C. A. and F. M. Clydesdale. 1988. Solubility of inorganic iron as affected by proteolytic digestion. *Am. J. Clin. Nutr.* 47: 487-495.
- Snedeker, S. M., S. A. Smith and J. L. Greger. 1982. Effect of dietary calcium and phosphorus levels on the utilization of iron, copper, and zinc by adult males. *J. Nutr.* 112: 136-143.
- Sokoll, L. J. and B. Dawson-Hughes. 1992. Calcium supplementation and plasma ferritin concentrations in premenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.* 56: 1045-1048.
- South, P. K. and D. D. Miller. 1998. Iron binding by tannic acid: Effects of selected ligands. *Food Chem.* 63:167-172.
- South, P. K., W. A. House and D. D. Miller. 1997. Tea consumption does not affect iron absorption in rats unless tea and iron are consumed together. *Nutr. Res.* 17(8): 1303-1310.

- South, P. K., X. Lei and D. D. Miller. 2000. Meat enhances nonheme iron absorption in pigs. *Nutr. Res.* 20(12): 1749-1759.
- Stadelman, W. J. and O. J. Cotterill. 1973. *Egg science and technology.* 65-99. Avi Pub. Co. Westport, Conn.
- Tapiero, H., L. Gaté and K. D. Tew. 2001. Iron: Deficiencies and requirements. *Biomed. Pharmacol.* 55: 324-332.
- Taylor, P. G., C. Martínez-Torres, E. L. Romano and M. Layrisse. 1986. The effect of cysteine-containing peptides released during meat digestion on iron absorption in humans. *J. Clin. Nutr.* 43: 68-71.
- Tidehag, P., A-S. Sandberg, G. Hallmans, K. Wing, M. Türk, S. Holm and E. Grahn. 1995. Effect of milk and fermented milk on iron absorption in ileostomy subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 62: 1234-1238.
- Tuntawiroon, M., N. Sritongkul, M. Brune, L. Rossander-Hultén, R. Pleehachinda, R. Suwanik and L. Hallberg. 1991. Dose-dependent inhibitory effect of phenolic compounds in foods on nonheme-iron absorption in men. *Am. J. Clin. Nutr.* 53: 554-557.
- Wang, F.-S. and C.W. Lin. 1994. The effect of heating and chemical treatment on the heme and non-heme iron content of heat-induced porcine blood curd. *J. Sci. Food Agric.* 65: 209-213.

VIII、英文摘要

The purpose of this research is to compare the enhancement of various animal proteins on exogenous iron through *in vitro* digestion. When addition of ferric chloride in egg albumin, egg yolk, fresh milk, chicken pectoralis(breast), pork(loin), ostrich meat, beef(loin) and liver peptide powder to undergo *in vitro* digestion, and compared the iron bioavailability by estimating dialyzable total iron(D), dialysable ferrous iron(DN) and total ferrous iron(DN+R),respectively. The results showed that liver peptide powder had the best iron bioavailability in sample which contain 4g protein. Meat also had good effect in both experiments and the three types of red meat, such as beef, ostrich meat and pork had better effect than egg albumin. White meat such as chicken pectoralis had less effect on iron bioavailability. In contrast, fresh milk had no significant effect and egg yolk might even worse on iron bioavailability.

IX、小傳

作者趙繼嫻，民國 68 年 3 月 16 日生於高雄岡山，而後遷至屏東定居，並先後畢業於仁愛國小、明正國中、屏東女中。於民國 86 年考上東海大學畜產系就讀，並於民國 90 年順利考上東海大學畜產研究所。追隨恩師 周繼發博士，研習畜產品化學及加工學，學習如何利用基礎理論，將之實際運用在畜產加工上，以提升畜牧產值，增加經濟效應。此外，學生亦接受其嚴謹且專業之儀器分析及邏輯思考的訓練，使學生對畜產領域有了更深層的認知。承蒙恩師之悉心指導與栽培，順利於民國 93 年 6 月完成此碩士論文。