

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：周繼發 博士
Advisor：Chi-Fa Chow, Ph. D.

乳脂肪與機能性添加物對不同鐵劑強化乳粉
試管內鐵質生物可利用率之影響

**Effect of Fat Levels and Functional Additives on Iron
Bioavailability in Different Iron Fortified Milk Powder
during *in vitro* Digestion**

研究生：陳人杰 撰
Graduate Student：Jen-Chieh Chen

中華民國九十七年六月

June, 2008

乳脂肪與機能性添加物對不同鐵劑強化乳粉
試管內鐵質生物可利用率之影響

**Effect of Fat Levels and Functional Additives on Iron
Bioavailability in Different Iron Fortified Milk Powder
during *in vitro* Digestion**



陳人杰
Jen-Chieh Chen

東海大學畜產與生物科技學系
Department of Animal Science and Biotechnology
Tunghai University

中華民國九十七年六月

June, 2008

目次

頁次

I、中文摘要.....	1
II、前言.....	2
III、文獻檢討.....	3
IV、材料與方法.....	25
V、結果與討論.....	33
VI、結論.....	66
VII、參考文獻.....	67
VIII、英文摘要.....	84
IX、作者小傳.....	86
X、附錄.....	87

圖次

頁次

- 圖 1. 長鏈多元不飽和脂肪酸之 (A) γ -次亞麻油酸、(B) 二十碳五烯酸與 (C) 二十二碳六烯酸結構圖..... 15
- 圖 2. 長鏈多元不飽和脂肪酸 γ -次亞麻油酸、二十碳五烯酸與二十二碳六烯酸之合成..... 16
- 圖 3. 果寡糖之結構式及其 β -1,2 糖苷鍵鍵結..... 20
- 圖 4. 各式異麥芽寡糖之結構式 (A) 異麥芽糖、(B) 潘諾糖、(C) 異麥芽三糖及其 α -1,6 糖苷鍵鍵結..... 21
- 圖 5. 三種鐵劑於不同脂肪含量還原乳經體外消化實驗後對其可透析二價鐵 (DFe (II)) 之影響..... 35
- 圖 6. 三種鐵劑於不同脂肪含量還原乳經體外消化實驗後對其可透析總鐵 (TDFe) 之影響..... 37
- 圖 7. 三種鐵劑於不同脂肪含量還原乳經體外消化實驗後對其未透析二價鐵 (NDFe (II)) 之影響..... 39
- 圖 8. 不同機能性添加物對不同脂肪含量硫酸亞鐵強化還原乳經體外消化試驗後其可透析二價鐵 (DFe (II)) 之影響..... 43
- 圖 9. 不同機能性添加物對不同脂肪含量硫酸亞鐵強化還原乳經體外消化試驗後其可透析總鐵 (TDFe) 之影響..... 45
- 圖 10. 不同機能性添加物對不同脂肪含量硫酸亞鐵強化還原乳經體外消化試驗後其未透析二價鐵 (NDFe (II)) 之影響..... 47

- 圖 11. 不同機能性添加物對不同脂肪含量氯化鐵強化
還原乳經體外消化試驗後其可透析二價鐵 (DFe (II))
之影響..... 49
- 圖 12. 不同機能性添加物對不同脂肪含量氯化鐵強化
還原乳經體外消化試驗後其可透析總鐵 (TDFe)
之影響..... 51
- 圖 13. 不同機能性添加物對不同脂肪含量氯化鐵強化
還原乳經體外消化試驗後其未透析二價鐵 (NDFe (II))
之影響..... 53
- 圖 14. 不同機能性添加物對不同脂肪含量混合鐵劑強化
還原乳經體外消化試驗後其可透析二價鐵 (DFe (II))
之影響..... 55
- 圖 15. 不同機能性添加物對不同脂肪含量混合鐵劑強化
還原乳經體外消化試驗後其可透析總鐵 (TDFe)
之影響..... 56
- 圖 16. 不同機能性添加物對不同脂肪含量混合鐵劑強化
還原乳經體外消化試驗後其未透析二價鐵 (NDFe (II))
之影響..... 58
- 圖 17. 不同鐵強化用鐵劑於鐵強化還原乳經體外消化試驗後
對鐵之生物可利用率之影響..... 60
- 圖 18. 不同脂肪含量之還原乳於鐵強化還原乳經體外消化試
驗後對鐵之生物可利用率之影響..... 61
- 圖 19. 不同機能性添加物於鐵強化還原乳經體外消化試驗後
對鐵之生物可利用率之影響..... 62

表次

頁次

表 1. 台灣地區 13-18 歲兩性之鐵攝取量與缺鐵率的關係...	6
表 2. 台灣地區 19-50 歲兩性之鐵攝取量與缺鐵率的關係...	7
表 3. 常見鐵強化劑之特性.....	12

I、中文摘要

本研究旨在探討於鐵劑添加於乳粉進行鐵強化時，乳粉內所含脂肪與機能性添加物如寡糖（異麥芽寡糖、果寡糖）與長鏈多元不飽和脂肪酸（ γ -次亞麻油酸、二十碳五烯酸與二十二碳六烯酸）對鐵質生物可利用率之影響及改善功效。乳粉脂肪含量分別為脫脂（0.3 %）、低脂（1.5 %）與全脂（3.5 %）等，再分別以硫酸亞鐵（ferrous sulfate；FS）、氯化鐵（ferric chloride；FC）及此兩者各半之混和鐵劑（MIX）對各乳粉進行鐵強化後，模擬腸道消化試驗並以可透析二價鐵（DFe (II)）、可透析總鐵（TDFe）及未透析二價鐵（NDFe (II)）作為鐵質生物可利用率之評估指標。結果顯示，各鐵劑間以硫酸亞鐵之生物可利用率為最佳、其次為混和鐵劑，氯化鐵則最差。另外，乳粉含 3.5 %脂肪者具最優之鐵質生物可利用率，而 0.3 %與 1.5 %脂肪含量者間之鐵質生物可利用率則差異不顯著。當機能性添加物存在時，除果寡糖及二十二碳六烯酸對鐵質生物可利用率不具影響外，異麥芽寡糖與 γ -次亞麻油酸則造成不利之影響，而二十碳五烯酸則具明顯改善之成效。

II、前言

鐵 (iron) 為維持正常生理功能所必須之微量營養元素，然而因日糧中鐵元素之攝取不足與非血色質鐵 (nonheme iron) 之生物可利用率不佳，導致鐵缺乏及其所產生之各種不良影響與症狀普遍存於世界男女老幼人口之中 (Hurrell *et al.*, 2004)，故而鐵缺乏性貧血 (iron-deficiency anemia) 亦成為全球性營養缺乏之普遍性疾病之一 (WHO, 2002)。為求較有效且健康的改善與治療鐵缺乏病症，許多專家學者將研究朝向鐵強化日常食品之探討與研發，包括麵包、果汁、飲料、餅乾、嬰兒穀物、乾酪、發酵乳與乳粉等 (Hurrell, 1997；Martínez-Navarrete *et al.*, 2002)，以期藉此達到預防及改善鐵缺乏狀況的產生。牛乳本身為一營養成分均衡與豐富之食物，除鐵含量少以外，其本身所含具特殊營養功能性之組成分亦較貧瘠，如必需脂肪酸、長鏈多元不飽和脂肪酸與寡糖等。綜觀市售之鐵強化乳粉，於鐵強化之同時亦皆強調額外添加此類具機能性之成分，惟隨各品牌之不同其添加量亦不一。此額外添加之機能性添加物究係有助於增加鐵強化乳粉中鐵質生物可利用率或係造成反效果，則啟迪吾人進行探究之動機。

III、文獻檢討

一、鐵之型態及營養功能

鐵 (iron) 在動物與人類的營養上是一個必須之微量元素，它除了參與細胞色素與數個酵素結構之外，同時也是構成肌紅蛋白與紅血球中血色質 (heme) 的重要組成分，並擔任動物血液及組織中氧氣運送、儲存與利用之主要角色，亦對個體健全的心智發展與身體發育之影響產生密切之關係 (Gaucheron, 2000)。由過去多年來於各營養元素缺乏的研究探討中得知，營養元素鐵的缺乏普遍存在於已開發與未開發中國家，且其影響不分性別遍及各年齡、種族，約佔世界人口的30 %以上 (Layrisse *et al.*, 1996 ; West, 1996 ; Gillespie, 1998)，缺鐵之疑慮與鐵缺乏所帶來的不良危害普遍存在於嬰幼兒、青春期的男女、經期中婦女及運動員身上，且不分男女老幼，顯示鐵缺乏實為各營養元素缺乏中最普遍且影響範圍最廣之現象。其中又以缺鐵性貧血 (iron-deficiency anemia) 對健康所產生之不良危害，廣泛且深入地存在於各年齡層中，尤於嬰幼兒、青少年、經期中婦女與銀髮族為甚 (Hercberg and Galan, 1992 ; Tidehag *et al.*, 1995 ; Huang *et al.*, 2001 ; Hadler *et al.*, 2004)，其涵蓋之諸多不利於健康之危害

包含嬰幼兒免疫力的降低 (Walter *et al.*, 1986 ; Thibault *et al.*, 1992)、心智發展與生長遲滯 (Felt and Lozoff, 1996 ; Roncagliolo *et al.*, 1998) ; 亦造成學齡前兒童與學習中幼兒、青少年認知能力減弱 (Scrimshaw, 1998 ; Grantham-McGregor and Ani, 2001) 及婦女之生育力低落 (Pollitt, 1993 ; Walker, 1998)。

造成上述鐵缺乏所帶來之眾多不利影響，歸納諸多研究報告，主因皆為日常飲食中鐵的獲取量不足與營養元素鐵較低的生物可利用率，導致無法滿足人體每日所需 (Rao and Prabhavathi, 1983)。營養元素鐵於體內之儲存量在體重70 kg之男性是500-2000 mg，而體重60 kg的美國年輕婦女儲存量約為250 mg。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 (Allen and Ahluwalia, 1997 ; 蕭，2001)。人體鐵之流失每天約1 mg，主要途徑是隨著消化道 (0.6 mg)、皮膚 (0.3 mg)、尿道 (<0.1 mg) 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0.6 mg，在正常之經期失血量為每次經期30到90 mL血液

(平均損失45 mL)，若加上每月經期時的鐵流失量，則平均流失量為1.5 mg (林，1991；蕭等，1999)。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15 mg的鐵、成年男性與非經期的女性則為10 mg (行政院衛生署，2002)。在臺灣地區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1和表2所示 (行政院衛生署，2002)，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。

營養元素鐵於腸道內吸收效率受其於腸道內之存在量、化學形式與攝取膳食狀態之影響，腸道中之鐵質須經溶解後方可被吸收 (Uchida *et al.*, 2006)。然於日常飲食下，仍可能發生無法滿足鐵需求量之情形，主要歸咎於飲食習慣上之不同與膳食中多數抑制鐵吸收因子的存在而導致；例如，單一類型之飲食習慣者 (素食者、與不喜肉類之飲食偏好者)，其於日常飲食中多以大豆製品及蔬菜水果為主食，其飲食中缺乏鐵含量豐富及生物可利用率 (bioavailability) 較佳

表 1. 台灣地區 13-18 歲兩性之鐵攝取量與缺鐵率的關係

Table 1. 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 之比例 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

¹ 男女兩性每日鐵建議攝取量均為 15 mg。

(行政院衛生署, 2002)

表 2. 台灣地區 19-50 歲兩性之鐵攝取量與缺鐵率的關係

Table 2. The correlation of iron intake and depletion between female and male from 19-50 years old in Taiwan

鐵攝取量(mg/day)	<6	6-10	10-14
男性			
達建議量之比例 ¹ (%)	<60	60-100	100-140
總缺鐵率 (%)	0	0	0
鐵充足率 (%)	100	100	100
女性			
達建議量之比例 ² (%)	<40	40-66.7	66.7-93.3
總缺鐵率 (%)	14.7	11.2	8.9
鐵充足率 (%)	85.3	88.8	91.1

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。 (行政院衛生署, 2002)

之肉類，只攝取植物中具有低層級 (low levels) 且生物可利用率較差的鐵，因而造成鐵攝取不足及體內鐵平衡的失調 (Chiplonkar *et al.*, 1999 ; Hunt and Roughhead, 1999 ; Huang, 2000)；亦或膳食內僅有少量促進 (抗壞血酸、胺基酸與少數酸性物質等) 與多量抑制鐵質吸收利用之因子存在；如日常飲用之咖啡與茶中所含的酚類化合物 (Morck *et al.*, 1983 ; Brune *et al.*, 1989)、牛乳中之鈣、酪蛋白、穀類植物中之植酸、大豆蛋白 (Fairweather-Tait, 1992 ; Hallberg, 2001)、植物纖維質 (Rossander *et al.*, 1992) 等，在各因子與鐵的交互作用影響之下，導致鐵於體內的吸收效率降低、利用性變差，進而無法滿足人體每日鐵質需求量，造成鐵缺乏及其所產生之不良影響的情形發生 (Lynch and Stoltzfus, 2003)。

二、食品之鐵強化

為了減少鐵缺乏情況之發生及改善其缺乏所產生的各種不利於健康之症狀，應用日常保健食品與醫療用藥品類之鐵劑攝取與施打，為一般大眾較常採取之預防與治療手段；然而研究報告顯示，直接攝取鐵強化 (iron fortification) 過的食品較前述方法來的更有利於健康，且其預防及改善成效亦較明顯 (Cook and Reusser, 1983 ; Hurrell, 1997)。

為了配合各飲食文化、習慣等不同之族群、性別與各年齡層，而於穀類、麵包、飲料、乳製品等中添加額外的鐵劑，也因此研發出眾多類型之鐵強化食品，藉此達到預防及改善缺鐵所造成的不良危害 (Hurrell, 1991 ; Gaucheron, 2000 ; Nayak and Nair, 2003 ; García-Casala *et al.*, 2003)。然而各類之鐵強化食品中所具備之實質功效，取決於鐵強化食品攝入體內後其鐵質之生物利用率，並受限於三大類因素；首先需考慮鐵劑的生物利用率（種類、結構、溶解度、透析度、鐵價以及與其他物質螯合的程度）(García-Casala *et al.*, 2003)；其次為考量攝食者體內腸道對鐵攝取利用的生理狀態；最終為探討強化食品種類其內部存在之影響鐵質生物利用率之因子（食品中之抑制與促進因子），由於此類影響因子的存在，左右了鐵強化食品的成效，故亦為鐵強化食品開發時重要之參考與研究的方向。

三、鐵強化乳粉之評估

牛乳為一含有可維持正常生理健康所需之必要營養成分且達均勻平衡狀態的食物，惟牛乳雖是良好的鈣與蛋白質來源 (Torrejón *et al.*, 2004)，其在微量元素鐵的含量上是相對的貧乏僅0.2-0.4 mg/kg，且經攝取後其生物利用率僅約2-4

%左右 (Gillooly *et al.*, 1984)，對於每日飲食習慣以牛乳為主要食物與所需營養來源之嬰幼兒與老年人而言，其微量營養元素鐵之每日需求量亦無法達到，若能將牛乳中之鐵含量予以強化，將有助於提升產品之營養與經濟價值，而使其達到近乎完美的食物 (Hekmat and McMahon, 1998)。另因其附屬之營養與商業價值高，使得乳製品成為開發鐵強化食品之重點項目 (Kapsokefalou *et al.*, 2005)。其中又以便利性極佳之乳粉為熱門研發之對象。

鐵強化食品的開發，意圖在藉由添加鐵劑於食品中，補充食品中不足之營養元素鐵或增加營養元素鐵於食品中之比例，使其經日常生活中攝取已達預防或改善個體缺鐵之情況，進而減少缺鐵性貧血的發生。眾多研究報告指出，鐵強化食品的使用確實對於預防個體營養元素鐵之缺乏情況有明顯效果且於缺鐵性貧血之情況具改善之功效。經人體實驗證實，鐵強化配方乳對於缺鐵性貧血的改善與攝取之安全性皆較醫療用鐵劑為佳 (Vianna and Goncalves, 2002; Berseth *et al.*, 2004; Wall *et al.*, 2005)。

歸納諸多研究，鐵強化時所添加的鐵劑化合物其能否適當的被吸收利用，決定了鐵強化的成效，然因營養元素鐵

添加入牛乳中產生較低之生物可利用率，故於鐵強化乳製品時所添加之鐵劑化合物的選擇往往是一大挑戰 (Kapsokefalou *et al.*, 2005)，鐵強化因常見之鐵劑化合物具不同之鐵含量、溶解度與生理透析度 (Hurrell, 1997)，故強化不同類食品時應針對各鐵劑化合物所具之基本理化性質做考量，進而視其條件而採用不同之鐵劑化合物以期達最佳之鐵質生物可利用率之表現 (表 3) (Hurrell, 2002)。林等 (2007) 針對市面上常見之各類鐵劑化合物添加於乳中對鐵質之生物可利用率進行探討，對市面常見鐵強化用之鐵劑進行篩選，挑選出適宜添加入乳粉中之二價鐵劑 (硫酸亞鐵) 與三價鐵劑 (氯化鐵)，其於添加入乳粉之中相較其它鐵劑有較佳之鐵質生物可利用率。除不同鐵劑的使用造成鐵強化乳中鐵質生物可利用率不同外，牛乳中各組成分的存在也會對鐵質生物可利用率造成影響。在各式乳粉中又以嬰幼兒配方乳粉 (infant formula) 最受到重視，由於嬰幼兒營養分之主要來源全賴於母親以母乳哺育之，但社會進步、工作時間增加、母體狀況等各種影響，母乳哺育已逐漸被嬰幼兒配方乳粉取代。惟以牛乳為基礎製造而成之乳粉，因其所含之營養元素含量的不同，並不全然適用於哺育嬰幼兒。此外，針對銀髮

表 3. 常見鐵強化劑之特性

Table 3. Characteristics of conventional iron fortification compounds

Iron compounds	Approximate Fe (%)	Average relative bioavailability	
		Rat	Man
Freely water soluble			
Ferrous sulfate 7H ₂ O	20	100	100
Dried ferrous sulfate	33	100	100
Ferrous gluconate	12	97	89
Ferrous lactate	19	—	106
Ferric ammonium citrate	18	107	—
Ferrous ammonium sulfate	14	99	—
Ferric choline citrate	14	102	—
Poorly water soluble/soluble in dilute acid			
Ferrous fumarate	33	95	100
Ferrous succinate	35	119	92
Ferric saccharate	10	92	74
Ferric glycerophosphate	15	93	—
Ferrous citrate	24	76	74
Ferrous tartrate	22	77	62
Water insoluble/poorly soluble in dilute acid			
Iron phosphate			
Ferric pyrophosphate	25	45-58	21-74
Ferric orthophosphate	28	6-46	25-32
Elemental iron powders			
Electrolytic	97	16-70	75
Carbonyl	99	35-66	5-20
H-reduced	97	13-54	13-148
CO-reduced	97	12-32	Not determined

(Hurrell, 2002)

族而言，亦因為低脂之需求，往往又將乳中許多重要脂溶性營養素移除，故於嬰兒配方或銀髮族乳粉製造過程中，往往藉由修飾增減其內所含或缺乏之營養物質來達到所欲追求之平衡營養價值 (George and De Francesca, 1989)。由於嬰幼兒配方乳粉之組成分、比例相較於一般乳粉且更為複雜，故其對鐵質生物可利用率的影響程度風險也大幅提升。

於各式乳粉中，除乳脂、乳糖、蛋白質、鈣等佔大部份外，另包含些許具重要營養價值但其原始含量較少之微量組成分，在提升乳粉之額外價值而強化鐵的同時，也逐漸朝向針對乳內具機能性微量組成分之添加與強化一併進行之，期使乳粉能成為一富含各類營養物質且可滿足人體每日需求另額外具備機能性優點之完美產品。

四、機能性食品添加物

(一) 長鏈多元不飽和脂肪酸 (long-chain polyunsaturated fatty acids ; LCPUFA)

自然界中脂肪酸多為直鏈含偶數碳原子之單羧酸結構，且碳鏈之兩端分別為甲基端與羧基端之構造。脂肪酸通常可依其碳鏈之數量將以區分，當碳數在 6 個以下者稱為短鏈脂肪、8-10 個者稱為中鏈脂肪酸、12 個以上者稱為長鏈脂

肪酸。脂肪酸亦可依其碳鏈上所含之雙鍵數目將其區分為飽和脂肪酸、單元不飽和脂肪酸與多元不飽和脂肪酸等三類。碳鏈上雙鍵之有無，將其分為飽和與不飽和脂肪酸，另當其碳鏈中僅含一個雙鍵存在時，為單元不飽和脂肪酸，有兩個以上雙鍵者則稱為多元不飽和脂肪酸。碳鏈長為 16 個碳原子且含 2 個以上之雙鍵者稱之為長鏈多元不飽和脂肪酸。

於牛乳中，構成牛乳脂肪之主要脂肪酸多為含碳數為偶數直鏈之脂肪酸，其中 60-75% 為飽和脂肪酸、24-40% 為單元不飽和脂肪酸及僅佔 2-10% 之多元不飽和脂肪酸。若將牛乳脂肪與人乳脂肪相比較得之，酪酸 (butyric acid) 及其他短鏈脂肪酸含量較高，亞麻仁油酸等長鏈不飽和脂肪酸含量較少 (林，1976；張，1995)。

長鏈多元不飽和脂肪酸如具十八個碳、三個雙鍵的 γ -次亞麻油酸 (γ -linolenic acid；GLA) (圖 1-A) 以及含二十個碳、五個雙鍵的二十碳五烯酸 (eicosapentaenoic acid；EPA) (圖 1-B) 與具二十二個碳、六個雙鍵的二十二碳六烯酸 (docosahexaenoic acid；DHA) (圖 1-C) 等，除可直接由日糧中獲得外，亦可由日糧中攝取其先驅物質 (含 18 個碳原子之脂肪酸) 後，藉體內酵素作用經去飽和化與鏈增長之反應轉

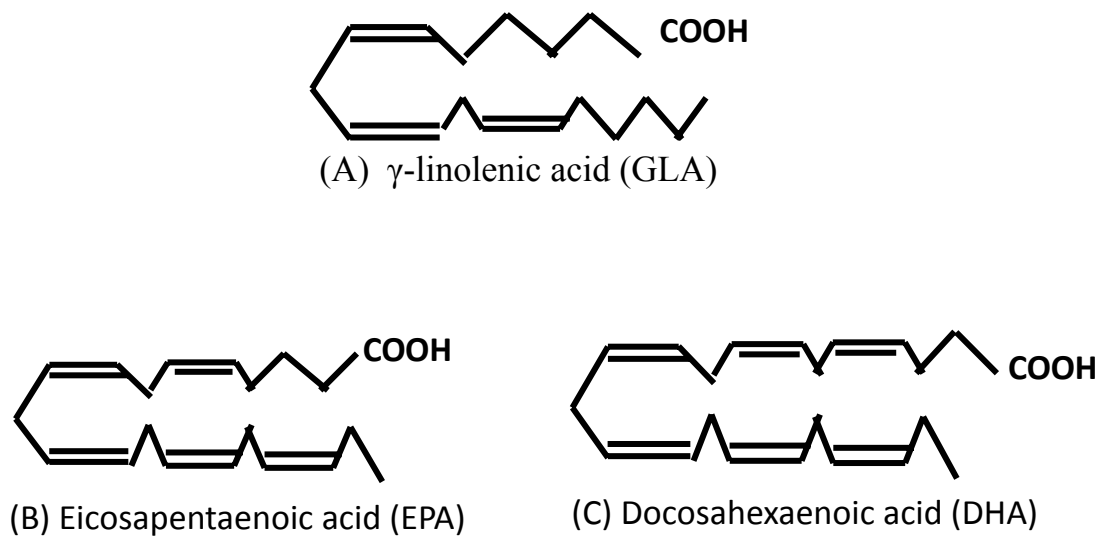


圖 1. 長鏈多元不飽和脂肪酸之(A) γ -次亞麻油酸、(B) 二十
 碳五烯酸與 (C) 二十二碳六烯酸結構圖。

Fig. 1. The structure of long-chain polyunsaturated fatty acids
 (A) γ -linolenic acid (B) Eicosapentaenoic acid (C)
 Docosahexaenoic acid。

化而成 (圖 2) (Salem, 1996)。多數研究報告證實長鏈多元不飽和脂肪酸 (LCPUFA) 具多種有益於生長發育與維持人體健康之功效 (Simopoulos, 1991 ; Simopoulos *et al.*, 2000)。經動物與人體實驗證實其可降低血管中血液黏度與血小板等之堆積，減少血栓發生之機率，使其達預防心血管疾病 (高血壓、血栓症、心肌梗塞及狹心症等) 發生之功效 (Williams, 2000)，亦可降低關節炎發作之症狀 (Burr *et al.*, 1989 ; Volker *et al.*, 2000)；報告亦指出長鏈多元不飽和脂肪酸之添加，除對大腦與視覺之發展 (Kelley, 1996 ; Haumann, 1997)、身體免疫機能之維護皆有幫助外 (Williams, 2000)，另對體內礦物質之吸收利用效率具影響性，其中針對營養元素鈣可提高其吸收利用效率、減少尿液中鈣的排除，亦提升骨密度與骨中之鈣含量 (Kruger and Schollum, 2005)。

(二) 寡糖 (oligosaccharides)

寡糖為低聚糖，亦即由單一種單糖藉糖苷鍵 (glucosidic linkage) 聚合 2-10 個單糖分子而成之多糖類碳水化合物 (Crittenden and Playne, 1996)，其特殊之鍵結結構有別於一般常見之碳水化合物，使其具不受腸道內消化酵素作用之特性 (Ohtsuka *et al.*, 1990)，而可通過胃、小腸而抵達盲腸及大腸，

屬難消化性碳水化合物，又因腸道內微生物族群對其有顯著高利用性，因此具有高度發酵性之特質 (Andersson *et al.*, 1999)。

研究報告指出，被歸類為益菌生 (prebiotic) 之天然難消化性寡醣類及其經腸道中微生物作用後的代謝產物具提升礦物質 (營養元素鐵) 吸收利用之效用 (Fairweather-Tait, 1992; Hallberg, 2001)。寡醣經腸道中特定微生物族群發酵利用後，產生之短鏈脂肪酸 (short chain fatty acids ; SCFA) 可促進黏膜之增生與維持其完整性，促進腸道之健康 (Delzenne and Roberfroid, 1994)，亦可調整腸道pH值使其成為有利於鐵吸收之環境，促使三價鐵轉變成可吸收之二價鐵，亦提升腸壁細胞對礦物質之吸收效率 (Yeung *et al.*, 2005)；此外，日糧中添加此類物質尚可作為體內微生物族群 (雙叉乳桿菌、乳酸菌) 生長繁殖之營養分來源，增進其於腸道表面之佔有範圍，以達成調整腸道菌群生態之成效 (Langlands *et al.*, 2004)，進一步壓抑有害菌之生存空間，降低病原菌代謝之有毒代謝產物量與不利人體之酵素分泌量，減少病原菌對人體健康之危害以維持腸道健康及其正常之功能性，亦降低便秘情況之發生 (Spiegel *et al.*, 1994)。

上述提及寡糖存在對腸道內菌群造成之功效外，寡糖之基本特性亦使其被當成食品原料添加物而被運用於各類食品之甜味劑取代品，寡糖其口感與蔗糖相似然甜度僅約蔗糖20-70%，且不易被口腔中之細菌利用產生酸性之物質侵蝕牙齒，大幅降低蛀牙情況之發生，且多數糖類具產生高熱量之特性，不適合肥胖與糖尿病者使用，然寡糖每克只產生0-2.5大卡之熱量，且不直接被人體消化吸收利用，因此對血糖與胰島素分泌的影響不大。寡糖亦等同於一般膳食纖維，具有促進腸道蠕動促進排便，維持腸道之正常生理機能 (Nakakuki, 1993；Crittenden and Playne, 1996)。

市面上多採用果寡糖 (fructo-oligosaccharides) (圖 3) 與異麥芽寡糖 (isomalto-oligosaccharides) (圖 4) 當作機能性食品原料添加物置入開發之產品中，藉以賦予產品額外之機能性以提升產品健康與經濟價值。於下分別簡略介紹市售產品常見之機能性添加物：果寡糖與異麥芽寡糖。

1. 果寡糖

寡糖對於食品與食物之原始組成分而言，為一天然之存在，於大多數植物如洋蔥、菊苣、蒜、韭、裸麥、大麥等之可食用部分皆可發現果寡糖之存在 (Voragen, 1998)。果寡糖

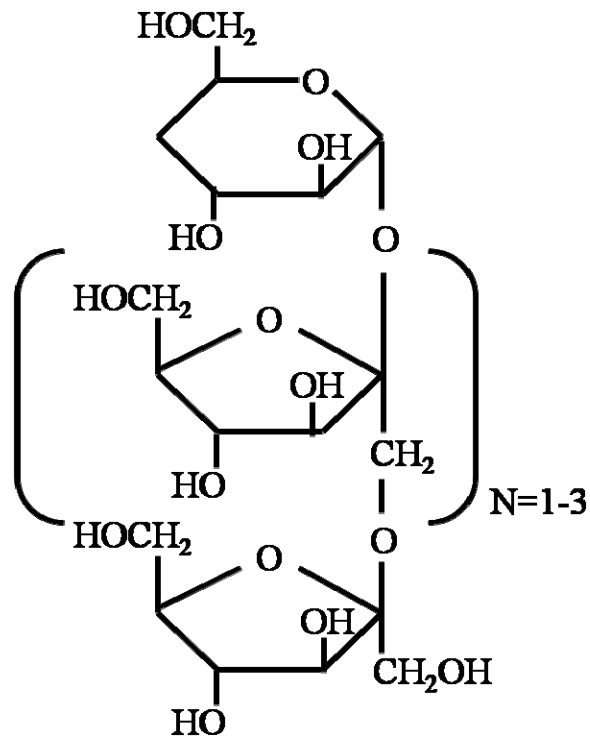


圖 3. 果寡糖之結構式及其 β -1,2 糖苷鍵鍵結。

Fig. 3. The structure of fructo-oligosaccharides, where N represents the number of repeating units in each molecule which β -1,2 glucosidic linkage.

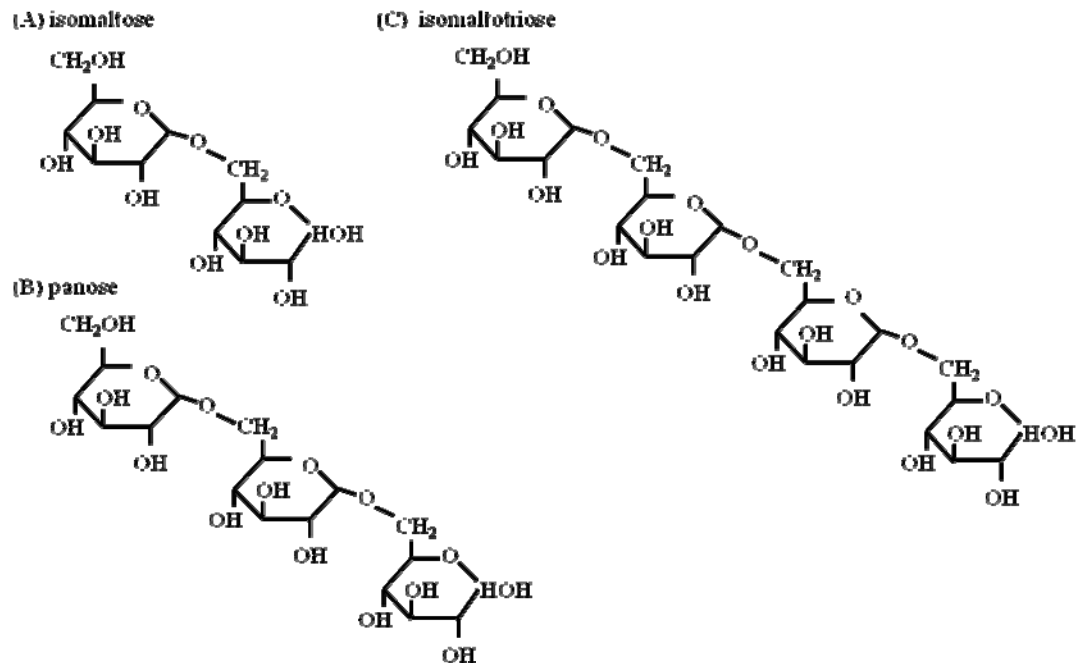


圖 4. 各式異麥芽寡糖之結構式 (A) 異麥芽糖、(B) 潘諾糖、(C) 異麥芽三糖及其 α -1,6 糖苷鍵鍵結。

Fig. 4. The structure of isomalto-oligosaccharides. It is made from starch and consists mainly of oligomers with two to four degrees of polymerization, such as (A) isomaltose, (B) panose and (C) isomaltotriose. These oligomers contain α -1,6 glucosidic linkage.

為果糖以 β -1,2鍵結而成之線性寡聚體 (oligomer)，其對體內之醣解消化酵素具有抵抗性而不被降解 (Gibson and Wang, 1994)，故當其通過小腸到達盲腸及大腸時，對於腸道中菌群，特別是雙叉乳桿菌 (*bifidobacteria*) 與乳酸菌 (*lactobacilli*) 具有高度發酵性，可將之分解成小分子羧酸 (乳酸及醋酸等)，降低腸道pH值，並改變腸道之機能性 (Remesy *et al.*, 1992)。

近年來多數研究報告，亦將果寡糖歸於膳食纖維與益生菌之分類，其除作為脂肪、醣類之替代物外，果寡糖亦具刺激礦物質吸收利用之功效。報告指出日糧中果寡糖之添加可刺激腸道內雙叉乳桿菌群 (Hidaka *et al.*, 1986) 與酵母菌群 (Mikkelsen and Jensen, 2004) 的生長與活性，另以含果寡糖之日糧餵飼可增加大鼠盲腸內容物中可溶鐵的部分，並刺激大腸對鐵的吸收，使其從貧血的狀態中恢復 (Ohta *et al.*, 1994；Baba *et al.*, 1996；Ohta *et al.*, 1997)，亦以添加果寡糖之日糧餵飼大鼠可增加鈣、鎂之吸收並提升骨中鈣的儲存 (Ohta *et al.*, 1995a；1996；1998)。

2. 異麥芽寡糖

異麥芽寡糖可藉由澱粉與主要之 2-4 個寡聚體，以 α -1,6

糖苷鍵鍵結聚合而成，依其鍵結之寡聚體分子數量又可區分為異麥芽糖 (isomaltose)、潘諾糖 (panose)、異麥芽三糖 (isomaltotriose) 等三種 (Kohmoto *et al.*, 1991)，其 α -1,6 糖苷鍵鍵結構造可使其抵抗消化道中酵素之水解作用，賦予其於胃腸道時具難消化之特性及其處於腸道時微生物菌群對異麥芽寡糖高發酵之特性 (Kohmoto *et al.*, 1992)。

異麥芽寡糖多用於飲料及烘培製造上，作為糖類甜味劑之取代物，且因其吸濕性強、保濕性高而應用於烘培食品中具有防止澱粉老化之功效。研究報告指出，異麥芽寡糖除具有降低血脂、血中膽固醇與三酸甘油酯含量之功效 (Yang and Tsai, 1993; Liu and Tsai, 1995)，且腸道對礦物質元素鈣、磷、鎂與鐵等之吸收利用也因異麥芽寡糖之存在有所影響；另每日若攝取 10 g 之異麥芽寡糖，可有效改善腸道狀態並維持其正常之生理功能，促進腸道蠕動改善便秘情況之發生 (Chen *et al.*, 2001)。

由以上的討論可瞭解，鐵強化之食品受到添加的鐵劑種類、被強化食品之種類、營養分組成及人體消化腸道情況等之影響，因此在評估營養元素鐵於人體內之吸收利用時，鐵質之生物可利用率成為評估營養元素鐵在體內吸收利用效

果之重要指標 (Favier, 1993；趙等，2005)。此外，近年來於乳製品生產上，數種具機能性添加物備受重視，除用以補足乳製品本身其內所含之不足外，亦增添乳製品額外之營養附加價值。本研究期藉鐵強化還原乳於試管內 (*in vitro*) 模式，模擬腸道消化過程探討鐵質生物利用率之改變，並進一步針對各額外添加之機能性添加物於鐵強化還原乳中對鐵質生物利用率之影響進行評估。

IV、材料與方法

一、試驗材料

(一) 鐵劑：採用林 (2006) 篩選出宜作為乳粉強化用之二價鐵劑與三價鐵劑，分別為硫酸亞鐵 (Sigma F-7002)、氯化鐵 (片山試藥株式會社)。

(二) 乳粉：袋裝味全即溶全脂奶粉、即溶低脂奶粉與罐裝安佳脫脂乳粉購自台中市西屯區愛買量販店。

(三) 機能性添加物：異麥芽寡糖粉、果寡糖粉 (fibrulose F97)、月見草油、DHA 及 EPA 購自裕代企業有限公司。

(四) 胃蛋白酶 (pepsin)：以 0.8 g 胃蛋白酶 (Sigma P-7000) 溶於少量 0.01 N HCl 後以 0.1 N HCl 定容至 20 mL。

(五) 胰泌素-膽鹽混合液 (pancreatin-bile mixture)：0.2 g 胰泌素 (Sigma P-1750) 和 1.2 g 膽鹽 (Sigma B-8756) 溶於少量 0.01 N 碳酸氫鈉 (sodium hydrocarbonate) 中，再以 0.1 N 碳酸氫鈉定容至 100 mL。

(六) 0.15 N PIPES 緩衝溶液：PIPES (piperazine-N,N'-bis-2-ethane-sulfonic acid) 粉末 (Sigma P-3768) 溶於去離子水中配製成 0.15 N PIPES 緩衝溶液，並以 0.1 N HCl 調整 pH 至 6.3。

(七) 0.3 N HEPES 緩衝溶液：HEPES (N-2-hydroxyethyl-piperazine-N'-2-ethane-sulfonic acid) 粉末 (Sigma H-7006) 溶於去離子水中配製成 0.3 N HEPES 緩衝溶液，再以 0.1 N HCl 調整 pH 至 9.9。

(八) 蛋白質沉澱溶液 (protein precipitant)：4 g 三氯醋酸 (trichloroacetic acid, FW=163.39；片山試藥株式會社) 溶於少量去離子水中，再加入 4 mL HCl，最後以去離子水定容至 40 mL。

(九) 鐵還原-蛋白質沉澱混和溶液 (iron reductant-protein precipitant mixture)：同蛋白質沉澱溶液，另於配置時一併加入 2 g 鹽酸羥胺 (hydroxylamine hydrochloride, FW=69.49；石津試藥株式會社)。

(十) 亞鐵呈色劑：

取 0.25 g 二氮菲 (鄰菲羅啉) (1,10-phenanthroline, FW=198.22；林純藥工業株式會社) 以 0.1 N HCl 定容至 100 mL，於暗冷處保存。

(十一) 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, Membrane Filtration Products, Inc.；MFPI)。

二、儀器設備

- (一) 恆溫振盪水浴槽：Firstek Shaking Bath，B602D，今日儀器股份有限公司。
- (二) 分光光度儀：Jasco V-530 Spectrophotometer，日本。
- (三) pH meter：Mettler Toledo，MA235 pH/Ion analyzer，瑞士。
- (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前處理。

1. 採用通透分子量 6,000-8,000 範圍內之透析膜 (Cellu. Sep T2 8030-40，Membrane Filtration Products, Inc；MFPI)，剪下所需膜管長約 12 cm，以去離子水浸泡 15 min。
2. 置入 10 mM 碳酸氫鈉溶液中，於 80 °C 下攪拌加熱 30 min。
3. 將膜移至 10 mM 乙二胺四乙酸二鈉 (ethylenediaminetetraacetic acid (Disodium salt)，EDTA；藥理化學株式會社) 溶液中浸泡 30 min。
4. 再於 80 °C 的去離子水攪拌加熱 30 min。
5. 冷卻至室溫後保存於 50 % 酒精中於 4 °C 冷藏 (使用前須

以去離子水沖洗)。

(二) 試驗樣品之前處理：

試驗樣品分三組：

1.空白組：空白組為僅以三類不同脂肪含量乳粉 (材料二) 還原而成之還原乳，不添加鐵劑與機能性添加物，作為各還原乳原始鐵含量之基礎值，後續測定之各試驗樣品皆於計算時扣除此值。

2.控制組：依實驗區分為兩部份，第一部份實驗其控制組為僅含材料 (一) 之鐵劑及兩鐵劑以 1：1 比例混合者共三種鐵劑配置而成之鐵溶液，經測定所得之數值經計算後為各鐵劑之原始鐵含量測定值；第二部份之實驗其控制組為材料 (二) 之三類不同脂肪含量乳粉分別添加入上述之三類鐵劑還原而成之鐵強化還原乳，經測定所得之數值經計算後為各鐵強化還原乳之原始鐵含量測定值。後續處理組中各試驗樣品之測定值均與各控制組所測定之數值相比較。

3.處理組：同樣依實驗區分為兩部份，第一部份之實驗其處理組為將各鐵劑添加入不同脂肪含量乳粉中還原成鐵強化還原乳，經測定數值計算後與控制組比較；第二部份之

實驗其處理組則為各機能性添加物（材料三）與鐵劑一併添加入不同脂肪含量乳粉中還原成鐵強化還原乳，經測定數值計算後與控制組比較。

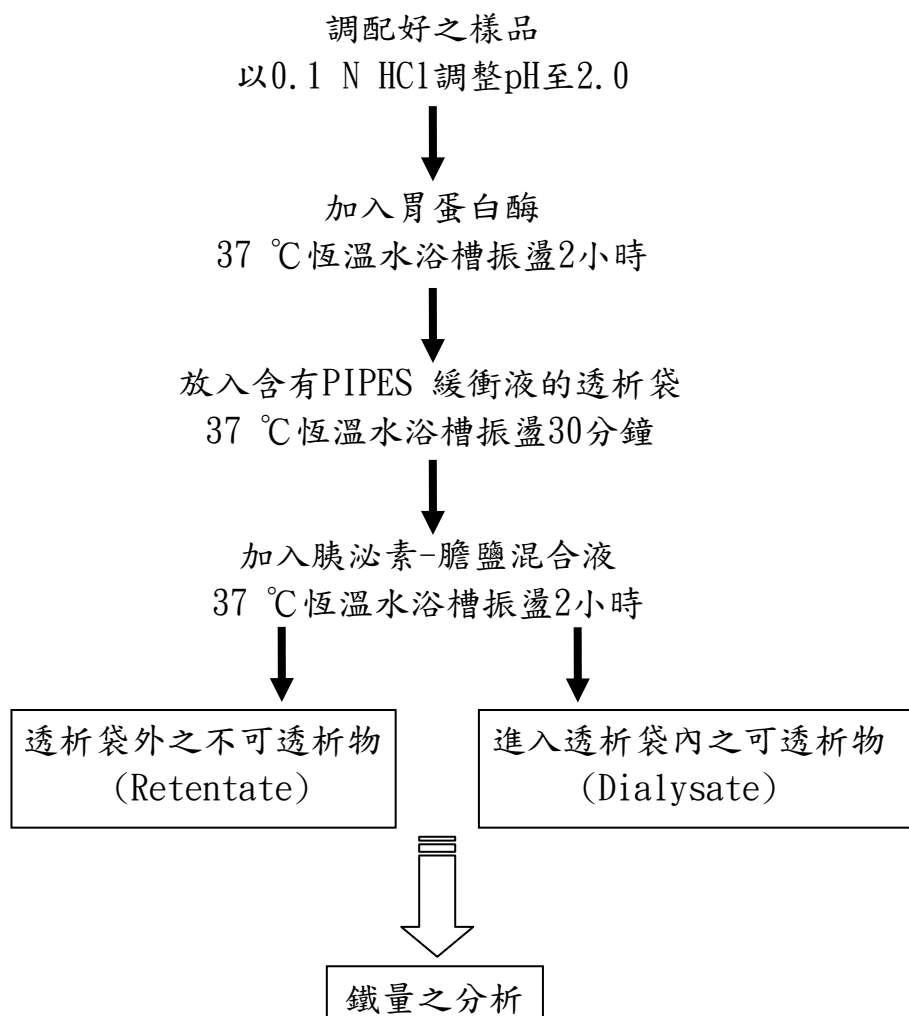
試驗樣品之配製依林等 (2007) 之方法修飾如下：依市售脫脂、低脂、全脂之乳總固形物為 95 % 及去離子水總固形物為 0，利用皮爾森方程式 (Pearson square) 計算還原脫脂乳、還原低脂乳與還原全脂乳之乳總固形物分別為 8.55、9.75 與 11.75 %，且其含脂率分別為 0.3、1.5 與 3.5 %，可得所欲配製之各還原乳需添加多少乳粉及去離子水，另硫酸亞鐵、氯化鐵及其 1：1 比例之混合鐵劑，分別於各試驗樣品內之添加量達 150 ppm，其餘各機能性添加物則參考市售乳粉添加之比例，亦即每 100 g 乳粉中含寡糖 0.5 g、長鏈多元不飽和脂肪酸 30 mg，作為添加寡糖與所用之長鏈多元不飽和脂肪酸添加量。

(三) 模擬腸道消化試驗：依 Miller *et al.* (1981) 所述之方式，經修飾後敘述其步驟如下：

1. 試驗樣品配置完成後，以 0.1 N HCl 調整 pH 值至 2.0。
2. 調整 pH 值達 2.0 後，各取 20 mL 放入試管中，每管添加 1 mL 胃蛋白酶，置於 37 °C 水浴下振盪 2 小時。

- 3.在各試管中置入含 20 mL PIPES 緩衝溶液的透析袋，於同溫下水浴繼續振盪 30 分鐘。
- 4.續添加 5 mL 胰泌素-膽鹽混合液，在 37 °C 下水浴震盪 2 小時。
- 5.將透析袋取出，以去離子水沖洗表面，進入透析袋內之鐵質即被認定係為可被透析者，而滯留於透析袋外即被認定為未被透析者。

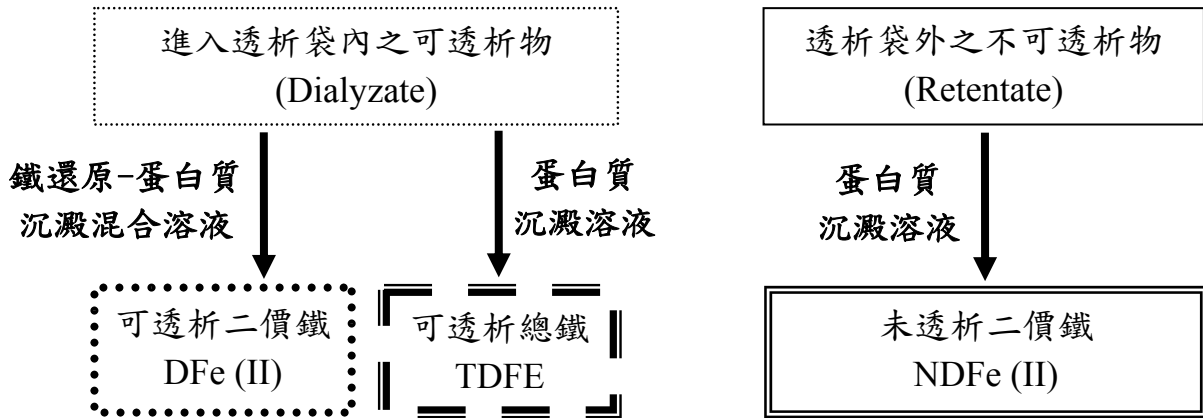
模擬腸道消化實驗流程簡述如下所示：



(四) 鐵量之分析:

進入透析袋之可透析物與透析袋外之不可透析物中之鐵濃度係依趙等 (2005) 之方法，經修飾後敘述其步驟如下：

- 1.於透析袋內取 2 mL 之可透析物，加入 1 mL 蛋白質沉澱溶液即為透析袋內之可透析二價鐵 (DFe (II))。
- 2.另將透析袋內之可透析物取 2 mL，加入 1 mL 鐵還原-蛋白質沉澱混和溶液，將 Fe^{3+} 還原為 Fe^{2+} 後與原有之 Fe^{2+} 同時偵測，即為透析袋內之可透析總鐵 (TDFe)。
- 3.將透析袋外之不可透析物取 2 mL，加入 1 mL 蛋白質沉澱溶液，其被測得之鐵即為未透析二價鐵 (NDFe (II))。
- 4.將步驟 1-3 處理完之各組於室溫下放置隔夜。
- 5.以 3000 rpm 離心 15 min 後，取 1 mL 上清液，加入 2 mL HEPES 緩衝溶液與 0.25 mL 呈色劑。
- 6.以分光光度儀 (Jasco V-530 Spectrophotometer，日本) 經 200-700 nm 掃描各樣品之吸光值 (Absorbance; Abs.) 後確定已呈現最大吸光值之 510 nm 為後續之檢測。分別測定並計算三類鐵離子 (DFe (II)、TDFe、NDFe (II)) 之含量，三者間之關係與處理過程如下列所示：



四、統計分析

本實驗以 Statistical analysis system (SAS, 1999) 統計軟體分析，採完全逢機試驗設計 (Completely randomized design; CRD)，並將實驗數據以一般線性模式 (GLM procedure) 進行變方分析與鄧肯氏新多變域分析法 (Duncan's new multiple range test) (SAS, 1999) 藉此比較各對照組與處理組平均值之差異性。另採用裂區實驗設計 (Split Plot Design; SPD) (SAS, 1999) 的統計模式將三類實驗變因加以簡化並明確區分探討不同因子分別對於分析項目影響之程度大小。

V、結果與討論

預備試驗係先以分光光度儀針對所選定之二價鐵劑（硫酸亞鐵）及三價鐵劑（氯化鐵）以波長 200-700 nm 進行全光譜掃描，結果顯示此兩類鐵劑樣品還原為二價鐵後之最大吸光波長均落於 510 nm，故將波長 510 nm 作為後續分析試樣之固定波長，並依趙等 (2005) 及林等 (2007) 之方法製作鐵濃度定量標準曲線後，分別測定可透析二價鐵 (DFe (II))、可透析總鐵 (TDFe) 及未透析二價鐵 (NDFe (II))，並以吸光值直接表示，利用此數值作為試樣內鐵之透析與利用效率指標，藉此比較各試樣間鐵質之生物可利用率高低。

一、不同脂肪含量之還原乳對鐵劑生物利用率之影響

採用硫酸亞鐵、氯化鐵及其二者以 1:1 比例混合之鐵劑分別添加於脫脂、低脂與全脂成人乳粉中，配置成鐵含量為 150 ppm，總固形物分別為 8.55、9.75 與 11.75 %，含脂率分別為 0.3、1.5 與 3.5 %之脫脂、低脂、全脂鐵強化還原乳，再經體化消化試驗處理後，檢視各鐵強化還原乳其鐵質生物利用率之差異。

經體外消化試驗後，於 510 nm 波長下測其可透析二價鐵之吸光值 (DFe (II)) 代表各試樣在試管內消化後可被透

析而且是以二價鐵形式（還原態）存在，數值越高顯示該鐵劑之添加於各還原乳中其二價鐵之透析能力越好且鐵質生物可利用率佳，為鐵質生物可利用率參考之第一指標。圖 5 為試樣經體外消化試驗後於 510 nm 波長下測得之可透析二價鐵值 (DFe (II))，顯示當三種不同脂肪含量之乳粉分別添加硫酸亞鐵 (FS) 時，乳粉的存在顯然對硫酸亞鐵之生物可利用率造成影響，其測得之可透析二價鐵數值皆較未添加乳粉之控制組低且差異達顯著 ($P<0.05$)；然於氯化鐵組 (FC) 其結果卻有異於 FS 組，圖 5 顯示出當乳粉添加入氯化鐵時，其 DFe (II) 之數值皆較未添加乳粉之控制組高且差異達顯著 ($P<0.05$)，顯示乳粉的存在顯然可改善三價氯化鐵其生物可利用率；另於採用由兩種鐵劑（硫酸亞鐵與氯化鐵）以 1：1 比例混合之 MIX 組，則相較於未添加乳粉之純鐵劑控制組，僅全脂乳粉之添加有益於混和鐵劑之生物可利用率，脫脂與低脂乳粉反具不利之影響，各乳粉對混和鐵劑之 DFe (II) 值影響其差異皆達顯著 ($P<0.05$)。另外，由圖 5 顯示所測得之 DFe (II) 值可發現，無論在何種鐵劑組，鐵強化全脂還原乳所呈現之數值均較優於低脂與脫脂還原乳 ($P<0.05$)，而鐵強化低脂與脫脂還原乳對所添加之鐵劑，經圖 5 呈現之 DFe (II)

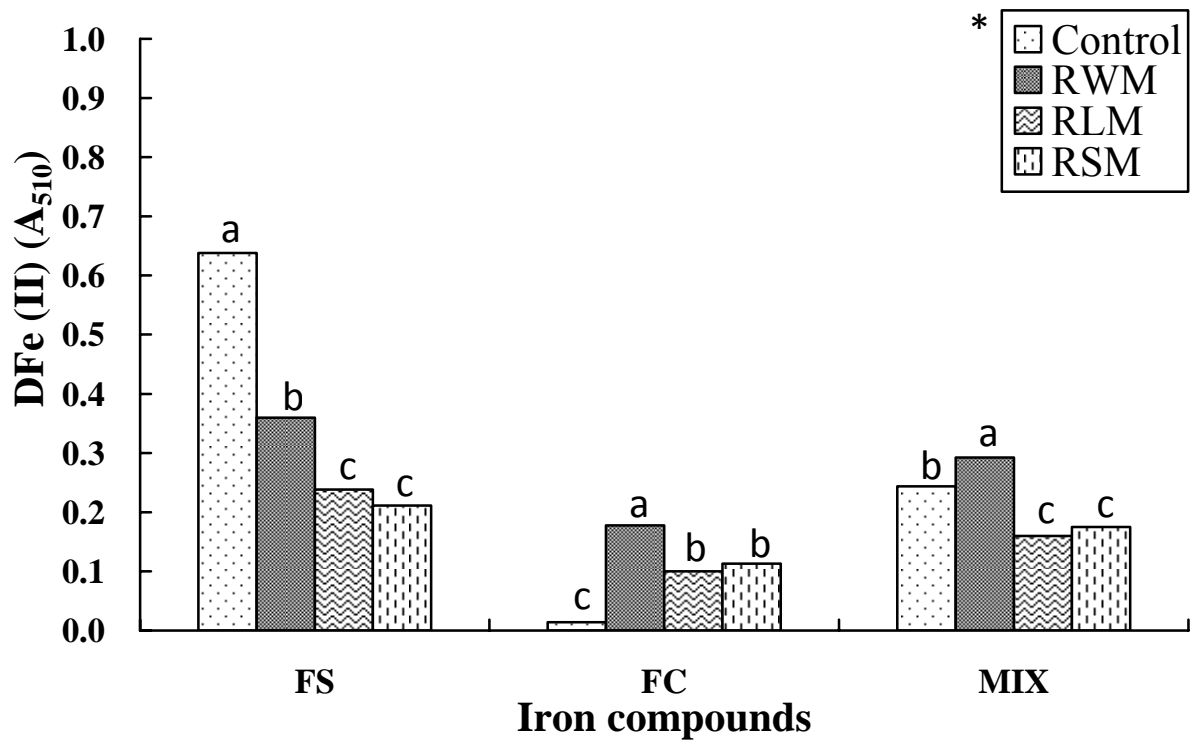


圖 5. 三種鐵劑於不同脂肪含量還原乳經體外消化試驗後對其可透析二價鐵 (DFe (II)) 之影響。

Fig. 5. The effect of adding three kind of iron compounds in different fat levels reconstituted milk on dialyzable ferrous iron (DFe (II)) during *in vitro* digestion.

FS, FC and MIX were the ferrous sulfate, ferric chloride and 1/2 ferrous sulfate with 1/2 ferric chloride mixed irons, respectively.

*Control means iron compound without milk sample, and RWM, RLM and RSM mean reconstituted whole milk, reconstituted low fat milk and reconstituted skim milk, respectively.

^{a-c} Mean in each iron compound by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

值顯示其兩者對鐵質生物可利用率影響程度相當且兩者間差異不顯著。

圖 6 為試樣經體外消化試驗後於 510 nm 波長下測得之可透析總鐵值 (TDFe)，可透析總鐵包含了可透析之二價與三價鐵，數值越高顯示此添加之鐵劑其總透析能力越佳，為鐵質生物可利用率參考之第二指標。結果顯示當三種不同脂肪含量之乳粉分別添加入硫酸亞鐵 (FS) 時，惟全脂乳粉的存在對硫酸亞鐵之生物可利用率具正面影響，較未添加乳粉之控制組而言大幅地提升其所測得之可透析總鐵值且差異達顯著 ($P<0.05$)，其餘之脫脂與低脂乳粉由圖 6 觀察出，其存在對硫酸亞鐵之生物可利用率具負面影響且差異達顯著 ($P<0.05$)；全脂乳粉對所測定之 TDFe 值造成正面影響也可於氯化鐵 (FC) 與混合鐵劑 (MIX) 組發現到，然低脂與脫脂乳粉的存在，其效用卻有別於 FS 組，圖 6 顯示出當低脂與脫脂乳粉分別添加入氯化鐵 (FC) 及混和鐵劑 (MIX) 時，其測得之數值皆較未添加乳粉之控制組高且差異達顯著 ($P<0.05$)，故無論何種脂肪含量之乳粉其存在顯然可改善氯化鐵 (FC) 與混和鐵劑 (MIX) 之總透析能力。另分別觀測不同脂肪含量之鐵強化還原乳對鐵質之生物可利用率之影

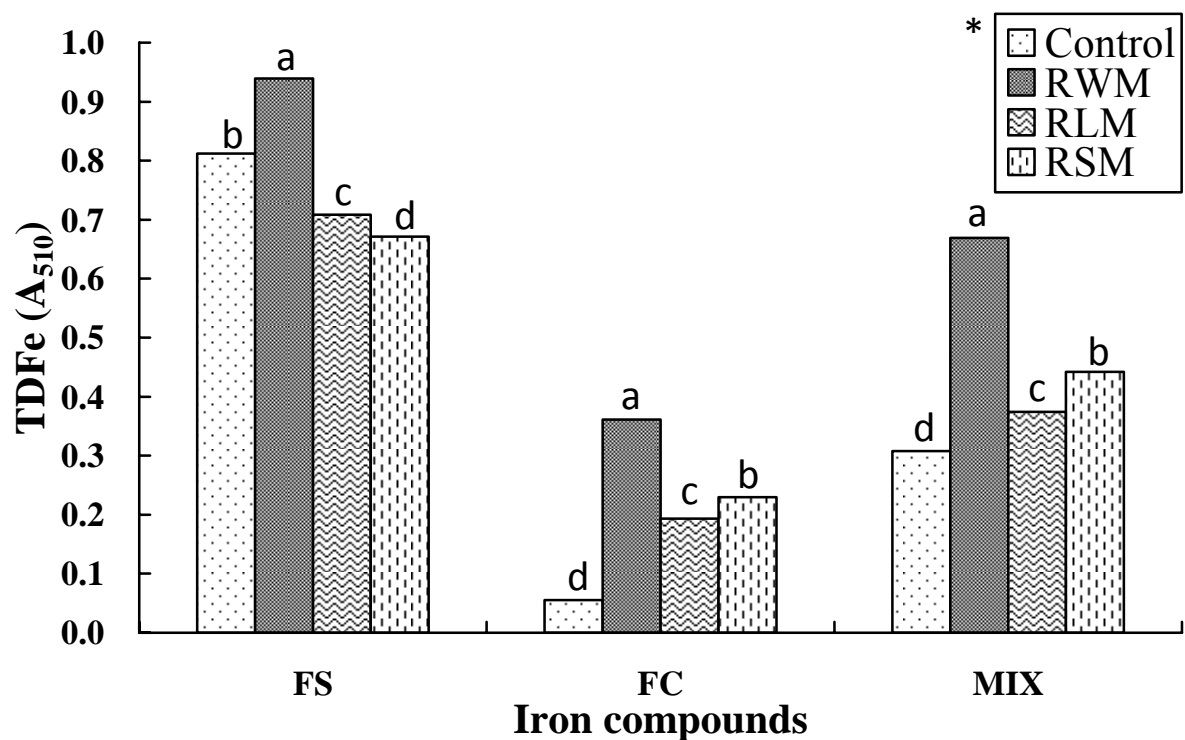


圖 6. 三種鐵劑於不同脂肪含量還原乳經體外消化試驗後對其可透析總鐵 (TDFe) 之影響。

Fig. 6. The effect of adding three kind of iron compounds in different fat levels reconstituted milk on dialyzable total iron (TDFe) during *in vitro* digestion.

FS, FC and MIX were expressed as the same as Figure 5.

*Control means iron compound without milk sample, and RWM, RLM and RSM were expressed as the same as Figure 5.

^{a-d} Mean in each iron compound by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

響，圖 6 顯示所測得之 TDFe 值並藉此數值可發現出，無論何種鐵劑於全脂還原乳中所呈現之數值，相較低脂與脫脂還原乳而言，顯然仍具有較優之表現 ($P<0.05$)，此現象與圖 5 相符合，惟脫脂與低脂還原乳於此處有別於圖 5，除硫酸亞鐵組外，脫脂還原乳其可透析總鐵之數值較低脂還原乳有較佳之表現，且差異達顯著 ($P<0.05$)。

圖 7 為經體外消化試驗後以波長 510 nm 測定其未透析二價鐵 (NDFe (II)) 值，表示雖試樣內所含之鐵劑不具良好之透析能力，但還是能以利用性較佳之二價鐵還原態形式存在，故仍可視為鐵質生物可利用率參考之第三指標。結果顯示硫酸亞鐵 (FS) 之生物可利用率於添加乳粉之各組與控制組相比較下，其所測得之未透析二價鐵值仍具不利之影響且差異達顯 ($P<0.05$)；另在 NDFe (II) 值上氯化鐵 (FC) 組仍具與圖 5、圖 6 相同之趨勢，乳粉的存在有助於改善氯化鐵 (FC) 之效用 ($P<0.05$)；於混和鐵劑 (MIX) 組亦可由圖 7 觀察到，乳粉之添加對未透析二價鐵之測定值有正面改善之效用 ($P<0.05$)，與氯化鐵 (FC) 組對於此所測定之 NDFe (II) 值呈現相同之趨勢。再分別觀察各乳粉分別添加入三類鐵劑，經復水調配成不同脂肪含量之鐵強化還原乳其 NDFe (II)

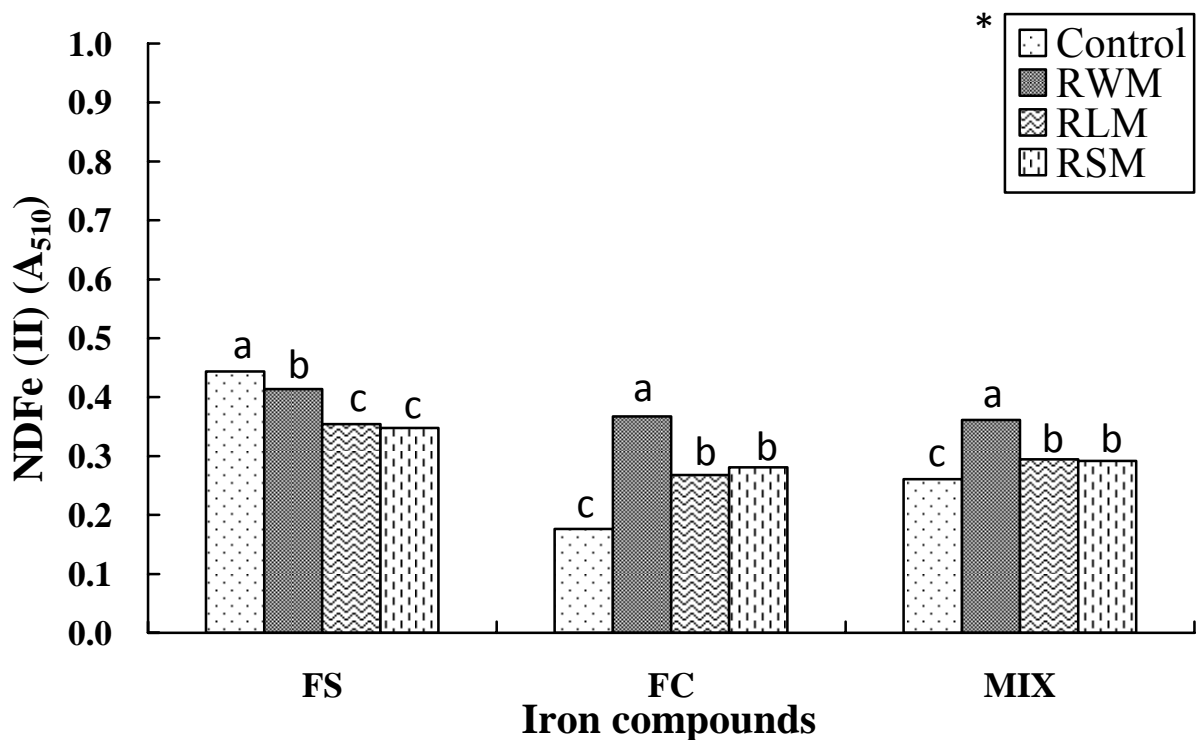


圖 7. 三種鐵劑於不同脂肪含量還原乳經體外消化試驗後對其未透析二價鐵 (NDFe (II)) 之影響。

Fig. 7. The effect of adding three kind of iron compounds in different fat levels reconstituted milk on nondialyzable ferrous iron (NDFe (II)) during *in vitro* digestion.

FS, FC and Mix were expressed as the same as Figure 5.

*Control means iron compound without milk sample, and RWM, RLM and RSM were expressed as the same as Figure 5.

^{a-c} Mean in each iron compound by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

值 (圖 7) 顯示出各鐵強化還原乳間以全脂鐵強化還原乳較低脂與脫脂鐵強化還原乳具較佳之表現 ($P < 0.05$)；而於低脂與脫脂鐵強化還原乳間差異不顯著。此現象同樣反映在用於鐵強化還原乳之硫酸亞鐵、氯化鐵與混和鐵劑各組上，且與圖 5 呈現之相同趨勢。

綜上所述可知，無論強化用之鐵劑是否會受到所欲鐵強化之食品種類及成分之影響，其鐵質之生物利用率之表現仍首先取決於本身之基本特性，亦即與其自身之氧化、還原與透析等有關。本實驗結果顯示，各鐵劑之還原及透析能力由主要評估鐵質生物利用率之指標 DFe (II) 與 TDFe 值可窺出，不論添加乳粉與否，其鐵質生物利用率之表現仍以硫酸亞鐵 (FS) 最佳、氯化鐵 (FC) 最差而混和鐵劑 (MIX) 居中，其結果與林 (2006) 與陳等 (2008) 所描述之結果相符合。其次，當不同脂肪含量之乳粉添加入二價之硫酸亞鐵 (FS) 後，僅全脂乳粉添加下對可透析總鐵 (TDFe) 之表現為促進外，其對硫酸亞鐵之生物利用率似乎具負面之影響。另乳粉之添加卻有助於改善三價之氯化鐵 (FC) 於模擬腸道消化試驗中其生物利用率。另當鐵劑用以補強乳粉本身之鐵不足缺陷時，乳粉中脂肪的存在似乎在鐵質之生物利用率上

扮演重要影響之角色，在各不同乳脂含量之鐵強化還原乳試樣間，鐵強化全脂還原乳無論於二價、三價鐵劑與其各半混合之鐵劑上皆有助於改善其生物可利用率，此結果亦與陳等(2008)所作之結果相似。亦有多數研究證實，當以高含量脂肪日糧餵飼小鼠，可提升鐵質之生物可利用率 (Amine and Hegsted, 1975 ; Bowering *et al.*, 1977 ; Pabón and Lönnerdal, 2001)。故於鐵強化還原乳之開發上，似乎以全脂乳粉之鐵強化較低脂與脫脂乳粉而言，對強化所用之鐵劑更具維持其二價之型態 (還原態) 之能力，並具較優之透析能力，其優於脫脂與低脂之鐵質生物可利用率亦即代表鐵強化於還原乳中，其強化之成效以此為優。

二、各機能性添加物於脂肪含量不同之情況下對各鐵強化還原乳之鐵質生物可利用率之影響

本試驗係以分別探討於各脂肪含量不同之硫酸亞鐵、氯化鐵及混和鐵劑強化之鐵強化還原乳中，加入額外有益於人體健康之機能性添加物如異麥芽寡糖 (IMO)、果寡糖 (FO)、月見草油 (GLA)、二十碳五烯酸 (EPA) 與二十二碳六烯酸 (DHA) 經體化消化試驗處理後，檢視不同脂肪含量及不同鐵強化之還原乳，經添加不同機能性添加物後對其中

鐵質生物可利用率之影響。

(一)機能性添加物對不同脂肪含量之硫酸亞鐵強化還原乳其鐵質生物可利用率之影響

當額外之添加物存在時，對可透析二價鐵之影響如圖 8 所示，異麥芽寡糖 (IMO) 之添加於硫酸亞鐵強化全脂還原乳 (RWM) 時，其與硫酸亞鐵強化全脂還原乳之控制組其可透析二價鐵之測定值差異不顯著外，其添加於硫酸亞鐵強化脫脂還原乳 (RSM) 及低脂還原乳 (RLM) 中，皆對可透析二價鐵之測定數值產生負面之影響且差異達顯著 ($P<0.05$)；另就添加果寡糖 (FO) 後對鐵質之生物可利用率之影響，惟 RLM 組其 DFe (II) 值有正面之影響 ($P<0.05$) 而於 RWM 與 RSM 組其與控制組相比較下對 DFe (II) 值之影響程度不達差異顯著；此外月見草油 (GLA) 於不同脂肪含量之鐵強化還原乳，其添加皆對可透析二價鐵造成負面之影響 ($P<0.05$)；而 DHA 之添加，除 RLM 組與控制組相比較下對所測得之可透析二價鐵數值具正面之影響並達差異顯著外 ($P<0.05$)，其於 RWM 與 RSM 之表現與控制組無差異顯著；然 EPA 相較於其他添加之機能性添加物因子呈現出較強勢之表現，對不同脂肪含量之鐵強化還原乳具大幅提升其可

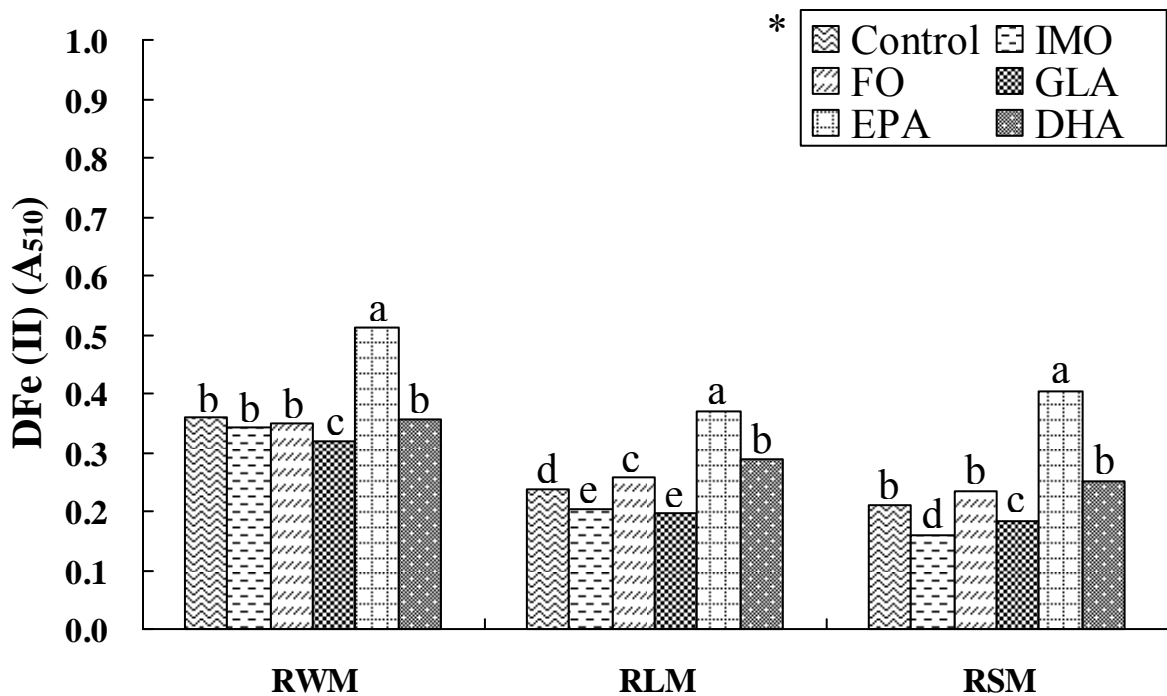


圖 8. 不同機能性添加物對不同脂肪含量硫酸亞鐵強化還原乳經體外消化試驗後其可透析二價鐵 (DFe (II)) 之影響。

Fig. 8. The effect of functional additives in different fat levels with ferrous sulfate fortified reconstituted milk on dialyzable ferrous iron (DFe (II)) during *in vitro* digestion.

RWM, RLM and RSM were the reconstituted whole milk, reconstituted low fat milk and reconstituted skim milk with ferrous sulfate fortification, respectively.

*Each control means different reconstituted milk was only fortified by ferrous sulfate without any functional additives, and IMO, FO, GLA, EPA and DHA mean isomalto-oligosaccharides, fructo-oligosaccharides, γ -linolenic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid, respectively.

^{a-c} Mean in each milk sample by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

透析二價鐵之效果 ($P < 0.05$)。

圖 9 為不同機能性添加物對硫酸亞鐵強化之不同脂肪含量還原乳經體外消化試驗後其可透析總鐵之測定值。異麥芽寡糖 (IMO) 於硫酸亞鐵強化脫脂還原乳 (RSM) 及全脂還原乳 (RWM) 時，其存在皆對可透析總鐵造成不利之影響 ($P < 0.05$)，而於低脂還原乳 (RLM) 卻有益於改善可透析總鐵之測定值 ($P < 0.05$)；另果寡糖 (FO) 於 RWM 與 RSM 組其差異較控制組不顯著外，其於 RLM 組對 TDFe 值具正面之效用 ($P < 0.05$)；於圖 9 可發現到月見草油 (GLA) 之添加對硫酸亞鐵強化還原乳之可透析總值測定值似呈負面影響且達差異顯著 ($P < 0.05$)；而 DHA 亦呈現相似之趨勢，惟其添加入硫酸亞鐵強化低脂還原乳時對鐵質生物可利用率造成之影響外不顯著外，對全脂與脫脂還原乳所測定之 TDFe 值皆具負面之影響且達顯著差異 ($P < 0.05$)；另 EPA 之添加無論處於何種脂肪含量之鐵強化還原乳下，皆對可透析總鐵之測定值皆有正面改善之功效 ($P < 0.05$) 且與圖 8 呈現相同之結果。

另觀察於添加不同機能性添加物因子於各不同脂肪含量硫酸亞鐵強化還原乳之未透析二價鐵測定值，顯示如圖 10。此處異麥芽寡糖與果寡糖呈現出相反之結果，異麥芽寡

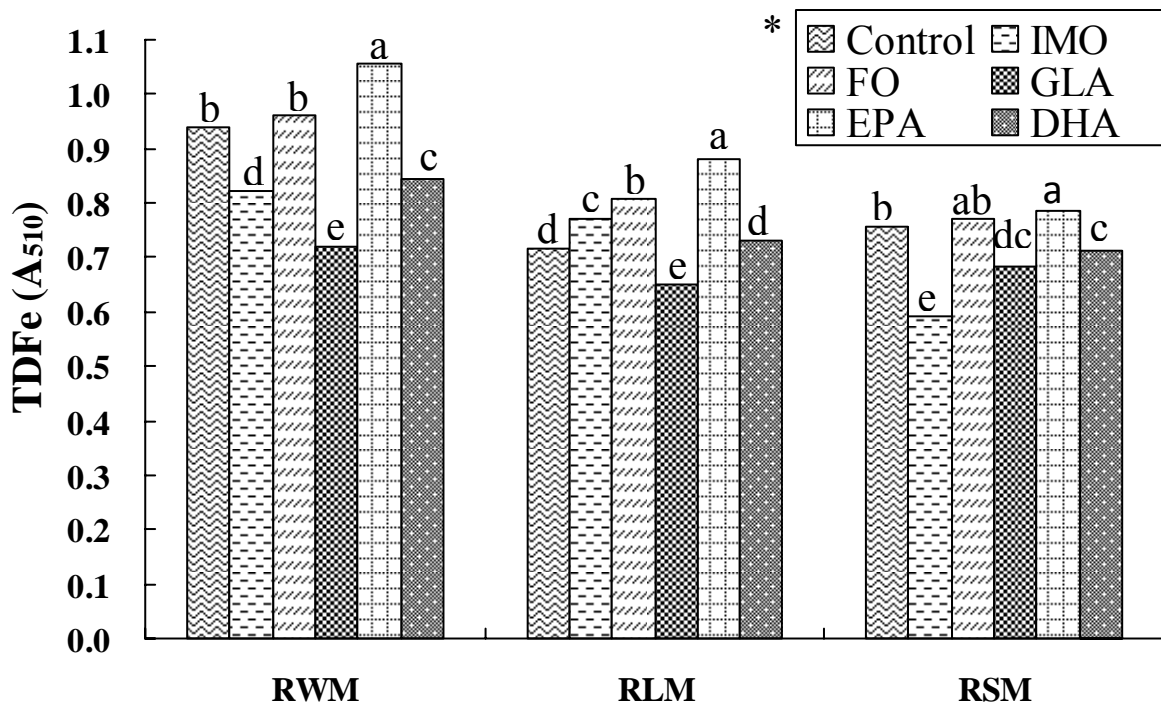


圖 9. 不同機能性添加物對不同脂肪含量硫酸亞鐵強化還原乳經體外消化試驗後其可透析總鐵 (TDFe) 之影響。

Fig. 9. The effect of functional additives in different fat levels with ferrous sulfate fortified reconstituted milk on total dialyzable iron (TDFe) during *in vitro* digestion.

RWM, RLM and RSM were expressed as the same as Figure 8.

* Each control means different reconstituted milk was only fortified by ferrous sulfate without any functional additives, and IMO, FO, GLA, EPA and DHA were expressed as the same as Figure 8.

^{a-e} Mean in each milk sample by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

糖 (IMO) 添加入硫酸亞鐵強化還原乳中，無論是 RWM、RLM 組亦或是 RSM 組與控制組相比較下，皆對其 NDFe (II) 值表現出負面之影響且差異達顯著 ($P<0.05$)，而果寡糖則否。由圖 10 可知果寡糖 (FO) 之添加對任一硫酸亞鐵強化還原乳之未透析二價鐵而言，皆呈現出正面之影響；另月見草油 (GLA) 於此呈現出與異麥芽寡糖相同之結果，其對各不同脂肪含量之硫酸亞鐵強化還原乳之 NDFe (II) 值相較於控制組而言，其存在皆對未透析二價鐵之測定值造成負面之影響 ($P<0.05$)；同樣 DHA 及 EPA 之添加與月見草油呈現出相反之結果，除 DHA 添加入 RLM 時與控制組差異不顯著外，其餘各試樣與控制組相比較皆表現出對未透析二價鐵之測定值正面改善之效果並達差異顯著 ($P<0.05$)，且與月見草油之添加呈現相反之趨勢。另 EPA 於圖 10 仍可發現其具提升所測之 NDFe (II) 值之功效，且差異達顯著 ($P<0.05$) 並與 DFe (II)、TDFe 值有相同之趨勢呈現。

(二)機能性添加物對不同脂肪含量之氯化鐵強化還原乳其鐵質生物可利用率之影響

於不同脂肪含量之氯化鐵強化還原乳中，額外添加各機能性添加物因子經體外消化試驗後，測定所含之可透析二價

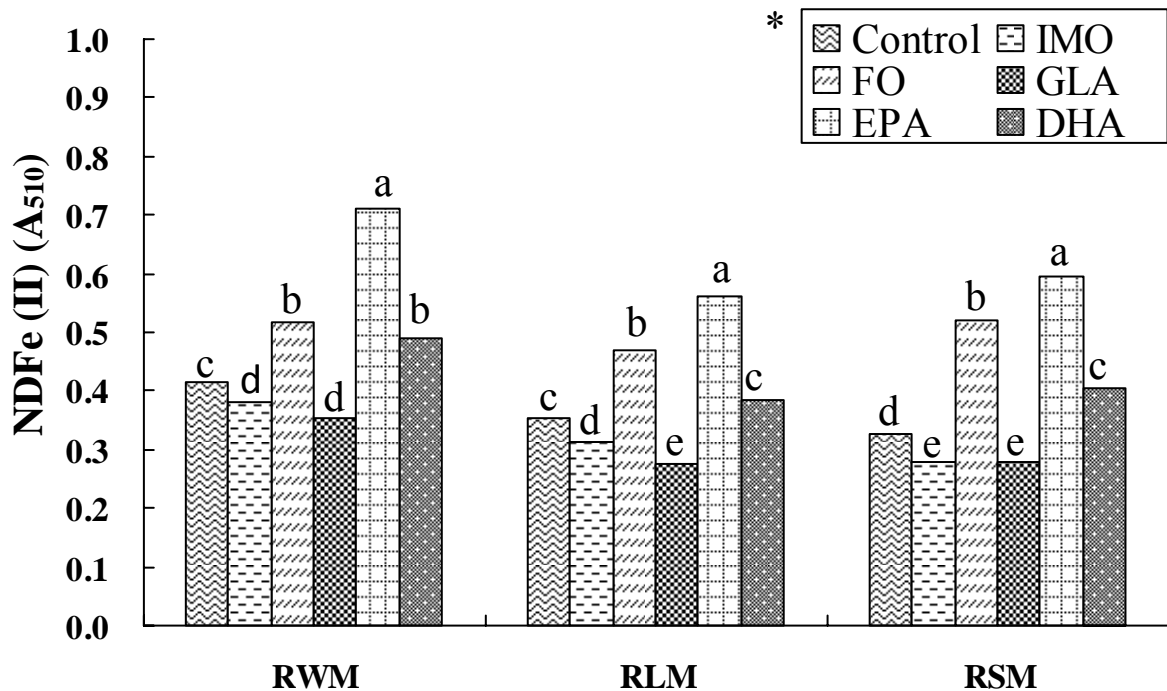


圖 10. 不同機能性添加物對不同脂肪含量硫酸亞鐵強化還原乳經體外消化試驗後其未透析二價鐵 (NDFe (II)) 之影響。

Fig. 10. The effect of functional additives in different fat levels with ferrous sulfate fortified reconstituted milk on nondialyzable ferrous iron (NDFe (II)) during in vitro digestion.

RWM, RLM and RSM were expressed as the same as Figure 8.

* Each control means different reconstituted milk was only fortified by ferrous sulfate without any functional additives, and IMO, FO, GLA, EPA and DHA were expressed as the same as Figure 8.

^{a-e} Mean in each milk sample by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

鐵，其測定值如圖 11 所示。異麥芽寡糖 (IMO) 添加於氯化鐵強化脫脂還原乳 (RSM)、低脂還原乳 (RLM) 與全脂還原乳 (RWM) 時，分別與控制組相比較可發現到，除 RWM 對於可透析二價鐵之測定值皆具負面之影響且差異顯著 ($P<0.05$) 外，其餘兩組差異皆不達顯著；另果寡糖 (FO) 對任一還原乳之 DFe (II) 值而言，與控制組相比之下，所呈現之數值皆明顯下降 ($P<0.05$)。月見草油 (GLA) 於圖 11 也呈現出與果寡糖相似之趨勢，惟 RLM 組差異不顯著外，其無論添加入何種氯化鐵強化還原乳中，月見草油皆對所測定之 DFe (II) 值造成負面之影響 ($P<0.05$)；另 DHA 之添加與控制組相比較下，其對可透析二價鐵之影響差異並不顯著；而 EPA 呈現出與月見草油相反之結果，不論添加入何處氯化鐵強化還原乳與控制組相比較，EPA 皆具有提升可透析二價鐵測定值之功效 ($P<0.05$)。

另觀察各機能性添加物因子於不同脂肪含量之氯化鐵強化還原乳之可透析總鐵測定值，測定之結果顯示於圖 12。異麥芽寡糖 (IMO) 與果寡糖 (FO) 對測得之 TDFe 值呈現出相同之趨勢，其分別添加於氯化鐵強化全脂、低脂還原乳時，其對 TDFe 值之影響明顯地較未添加之控制組來的低

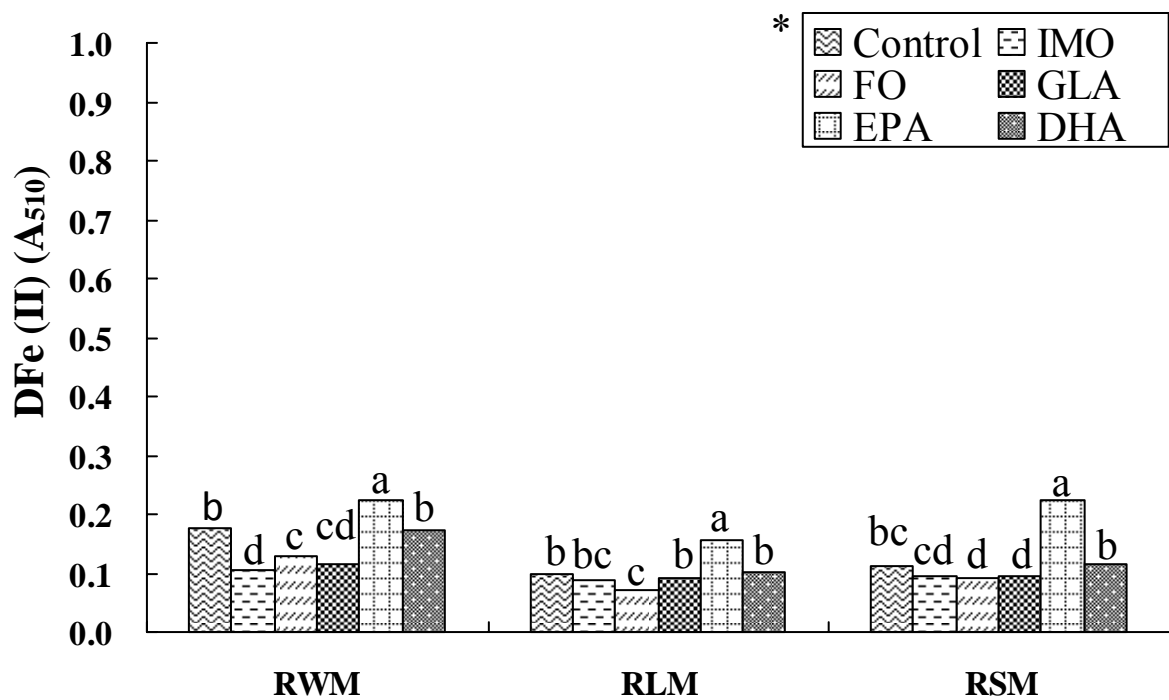


圖 11. 不同機能性添加物對不同脂肪含量氯化鐵強化還原乳經體外消化試驗後其可透析二價鐵 (DFe (II)) 之影響。

Fig. 11. The effect of functional additives in different fat levels with ferric chloride fortified reconstituted milk on dialyzable ferrous iron (DFe (II)) during *in vitro* digestion.

RWM, RLM and RSM were the reconstituted whole milk, reconstituted low fat milk and reconstituted skim milk with ferric chloride fortification, respectively.

*Each control means different reconstituted milk was only fortified by ferric chloride without any functional additives, and IMO, FO, GLA, EPA and DHA mean isomalto-oligosaccharides, fructo-oligosaccharides, γ -linolenic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid, respectively.

^{a-d} Mean in each milk sample by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

($P < 0.05$)，而其添加於 RSM 組則無明顯之影響變化產生；此現象也同樣地發生在添加月見草油 (GLA) 的各氯化鐵強化還原乳試樣中，亦除 RSM 組無顯著差異外，RWM 與 RLM 組其添加月見草油後其測定之 TDFe 值較控制組呈現明顯下降之趨勢 ($P < 0.05$)；而添加 DHA 於各氯化鐵強化還原乳式樣中 (除 RWM 組外) 測定之 TDFe 值與圖 11 之 DFe (II) 值有相似之表現且差異不顯著。雖其於可透析二價鐵之測定值時差異不顯著，然其 TDFe 值於 RWM 組時與控制組相比下具明顯負面之影響 ($P < 0.05$) 而有別於之；最後觀測添加入 EPA 的各氯化鐵強化還原乳試樣，雖其於 DFe (II) 值時具正面提升之效用，然此處卻未表現出相似之趨勢，EPA 之添加於 RSM 與 RLM 組與控制組相比其對 TDFe 值之影響差異不顯著，而添加入 RWM 組所測之 TDFe 值較控制組相較下更顯示降低之趨勢 ($P < 0.05$)。EPA 於此呈現與 DHA 之添加對氯化鐵強化還原乳所測之可透析總鐵測定值相同影響之趨勢。

鐵質之生物可利用率除可透析部分外，另針對未透析之二價鐵進行分析。經各機能性添加物因子添加入 RSM、RLM 及 RWM 各組經體外消化試驗後測定其 NDFe (II) 值顯示於

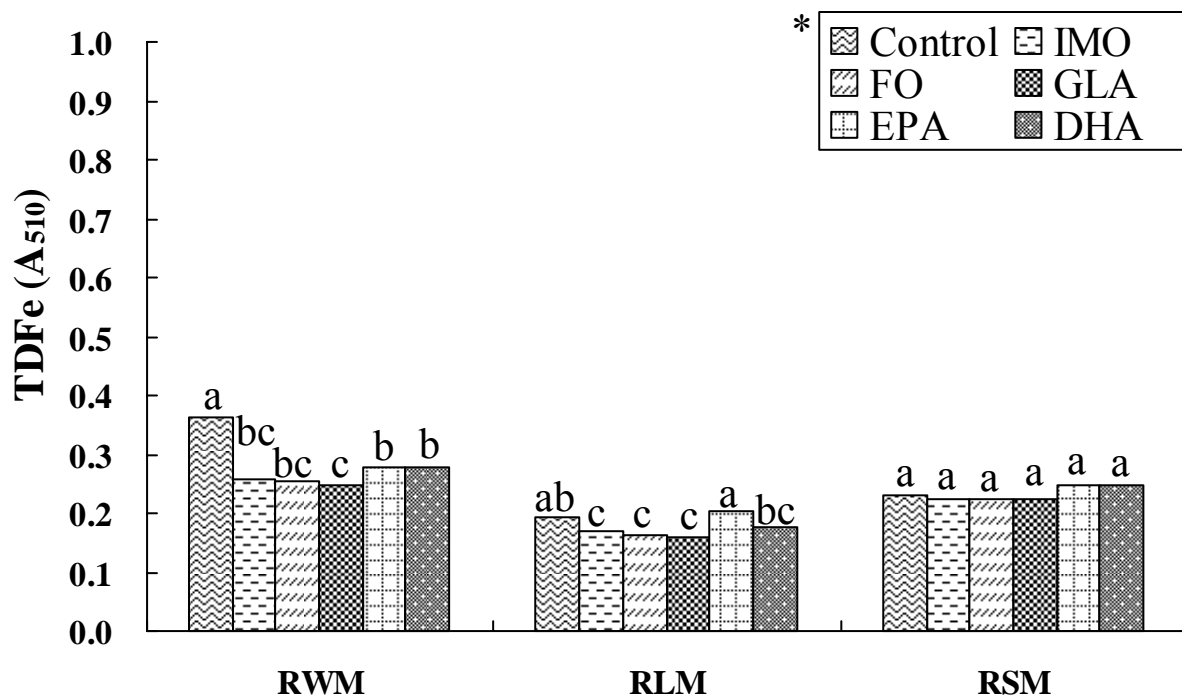


圖 12. 不同機能性添加物對不同脂肪含量氯化鐵強化還原乳經體外消化試驗後其可透析總鐵 (TDFe) 之影響。

Fig. 12. The effect of functional additives in different fat levels with ferric chloride fortified reconstituted milk on total dialyzable iron (TDFe) during *in vitro* digestion.

RWM, RLM and RSM were expressed as the same as Figure 11. *Control means each ferric chloride fortified reconstituted milk without food additives, and IMO, FO, GLA, EPA and DHA were expressed as the same as Fig. 11.

^{a-c} Mean in each milk sample by different letters are significantly different ($P < 0.05$)

圖 13。異麥芽寡糖 (IMO) 之添加無論對於何種氯化鐵強化之還原乳其對未透析二價鐵之測定值皆具明顯下降趨勢 ($P<0.05$)；另果寡糖 (FO) 於此處 NDFe (II) 值之表現除 RWM 組差異不顯著外，其添加對各氯化鐵強化還原乳皆具明顯改善效果 ($P<0.05$)；月見草油 (GLA) 之添加除 RLM 不顯著外其於 RWM 與 RSM 組皆呈現下降之趨勢 ($P<0.05$)；另 DHA 及 EPA 之添加對於各氯化鐵強化還原乳組所測定之 NDFe (II) 值影響趨勢相同，皆有助於提升未透析二價鐵之測定值且差異達顯著 ($P<0.05$)。

(三)機能性添加物對不同脂肪含量之混合鐵劑鐵強化還原乳其鐵質生物利用率之影響

針對硫酸亞鐵 (二價鐵) 及氯化鐵 (三價鐵) 強化之不同脂肪含量還原乳，添加各機能性添加物因子對其 DFe (II)、TDFe 以及 NDFe (II) 之測定值於前述 (一)、(二) 項探討外，另將此兩種鐵劑以二價鐵與三價鐵之比例為 1 比 1 之條件下，採混合之鐵劑續對其強化不同脂肪含量之還原乳額外添加各機能性添加物後對 DFe (II)、TDFe 及 NDFe (II) 之測定值進行探討，其結果如後 (圖 14、15、16)。

當異麥芽寡糖 (IMO) 與果寡糖 (FO) 添加對於各混和

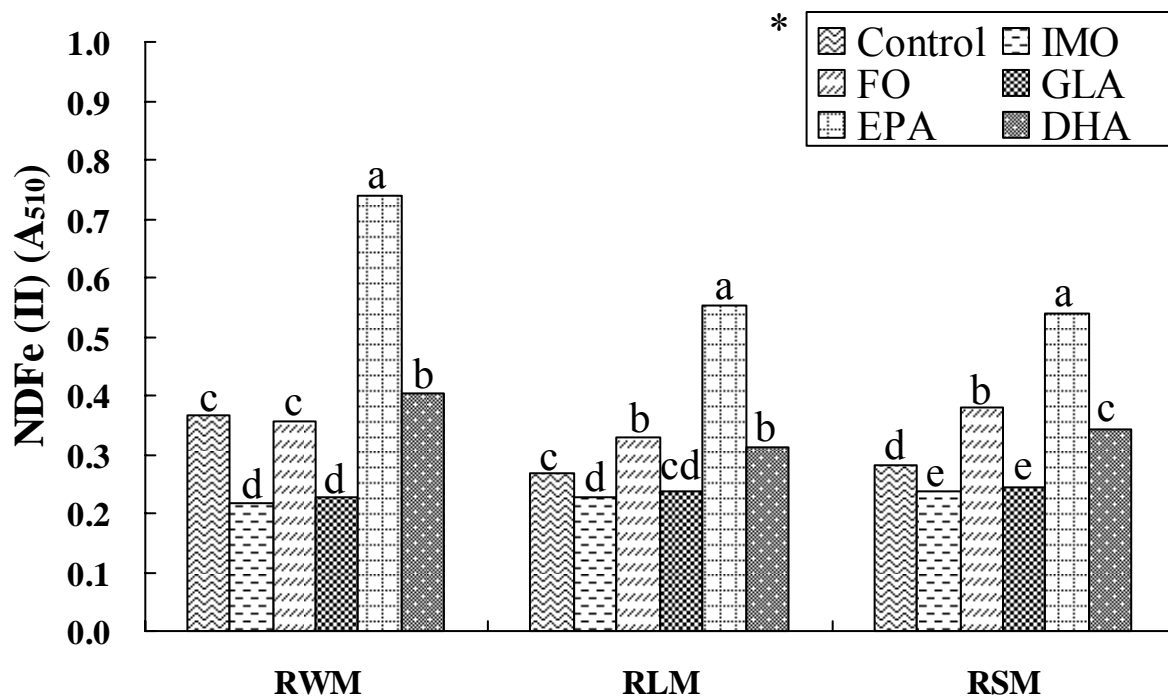


圖 13. 不同機能性添加物對不同脂肪含量氯化鐵強化還原乳經體外消化試驗後其未透析二價鐵 (NDFe (II)) 之影響。

Fig. 13. The effect of functional additives in different fat levels with ferric chloride fortified reconstituted milk on nondialyzable ferrous iron (NDFe (II)) during *in vitro* digestion.

RWM, RLM and RSM were expressed as the same as Figure 11.
 *Control means each ferric chloride fortified reconstituted milk without food additives, and IMO, FO, GLA, EPA and DHA were expressed as the same as Fig. 11.

^{a-e} Mean in each milk sample by different letters are significantly different (P<0.05)

鐵劑強化還原乳其可透析二價鐵之測定值有相同表現趨勢，除 RLM 組差異不顯著外，其於 RWM 與 RSM 皆有明顯下降之趨勢產生 ($P<0.05$)；同樣現象亦發生於月見草油 (GLA) 添加於各混和鐵劑強化還原乳中；而 DHA 與 EPA 之添加對混和鐵劑強化之各還原乳試樣，惟 DHA 之添加無明顯差異外，EPA 添加則明顯地具提升改善 DFe (II) 值之效果 ($P<0.05$)。

混合鐵劑強化之不同脂肪含量還原乳其可透析總鐵之測定值，經添加各機能性添加物因子後其結果如圖 15 所示。可發現到異麥芽寡糖 (IMO)、果寡糖 (FO)、月見草油 (GLA) 與 DHA 之添加於各混和鐵劑強化之還原乳皆有相似表現，此四種機能性添加物因子於 RSM 與 RWM 組所測得之 TDFe 值較控制組而言皆具不良之抑制效用，且差異達顯著 ($P<0.05$)，但 RLM 組差異則不顯著；另 EPA 於圖 15 仍可發現到，EPA 之添加除對可透析二價鐵之測定值具提升之功效外，亦對 TDFe 值具提升之功效。

另針對未透析之二價鐵進行分析。經各機能性添加物因子添加入 RSM、RLM 及 RWM 各組經體外消化試驗後測定其 NDFe (II) 值顯示於圖 16。異麥芽寡糖 (IMO) 之添加對

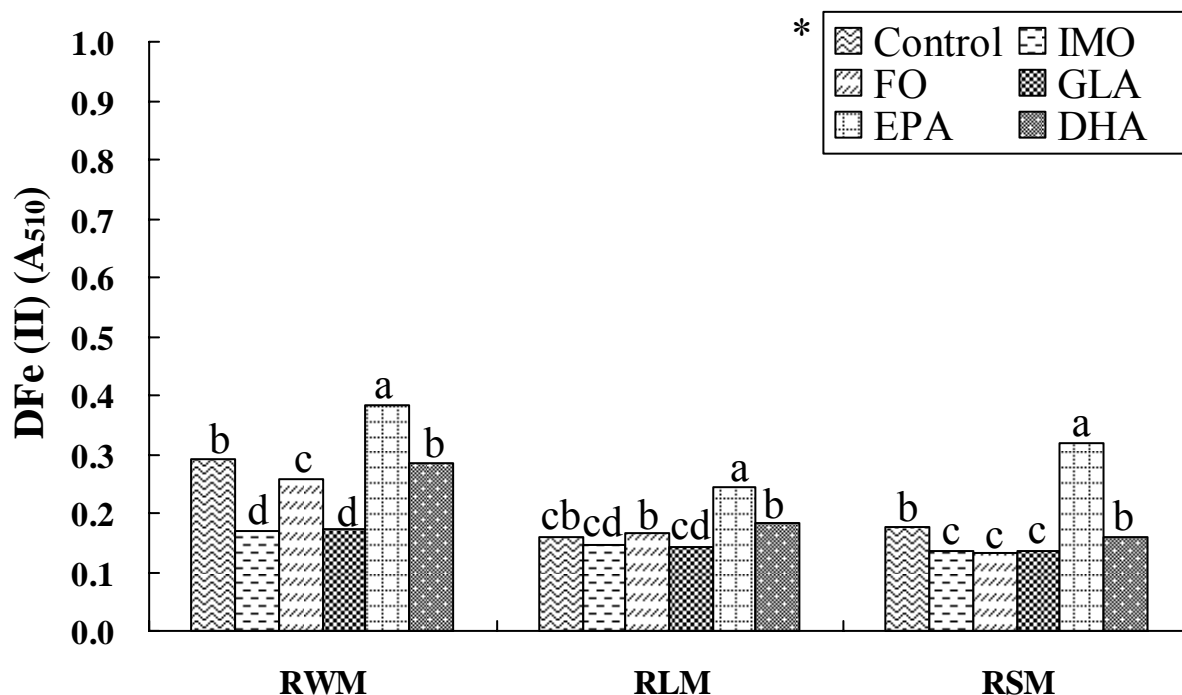


圖 14. 不同機能性添加物對不同脂肪含量混合鐵劑強化還原乳經體外消化試驗後其可透析二價鐵 (DFe (II)) 之影響。

Fig. 14. The effect of functional additives in different fat levels with mixture iron compound fortified reconstituted milk on dialyzable ferrous iron (DFe (II)) during *in vitro* digestion.

RWM, RLM and RSM were the reconstituted whole milk, reconstituted low fat milk and reconstituted skim milk with mixture iron compound fortification, respectively.

Mixture iron compound means 1/2 ferrous sulfate with 1/2 ferric chloride mixed irons.

*Each control means different reconstituted milk was only fortified by mixture iron compound without any functional additives, and IMO, FO, GLA, EPA and DHA mean isomalto-oligosaccharides, fructo-oligosaccharides, γ -linolenic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid, respectively.

^{a-d} Mean in each milk sample by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

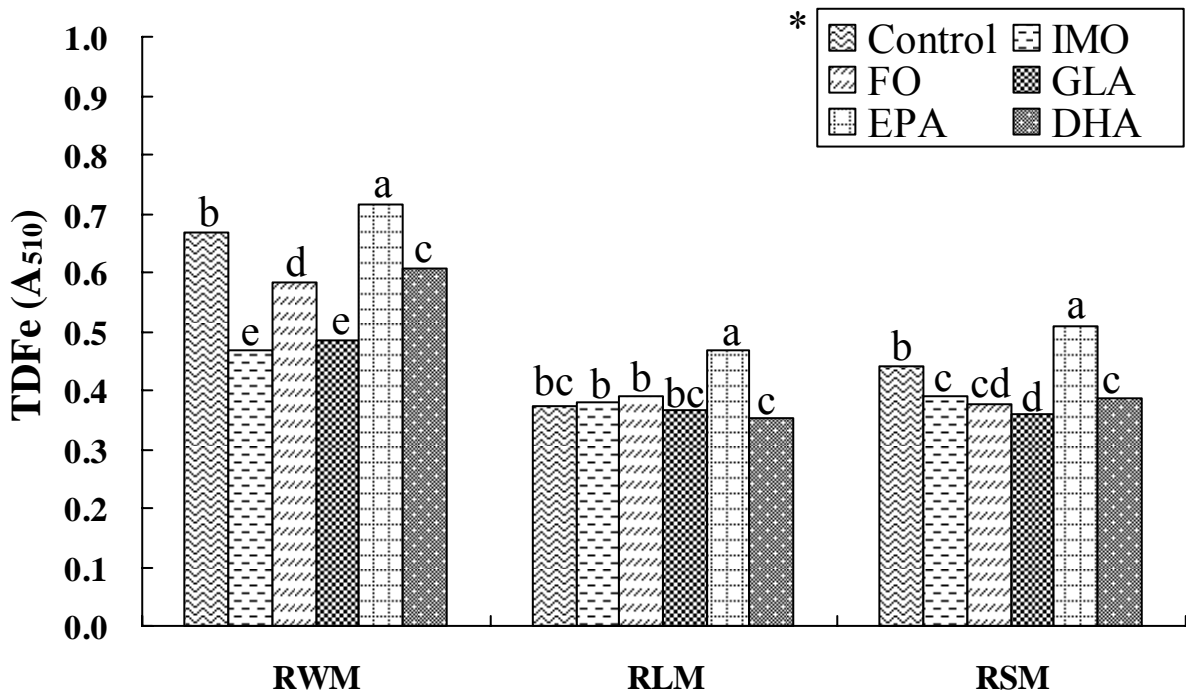


圖 15. 不同機能性添加物對不同脂肪含量混合鐵劑強化還原乳經體外消化試驗後其可透析總鐵 (TDFe) 之影響。

Fig. 15. The effect of functional additives in different fat levels with mixture iron compound fortified reconstituted milk on total dialyzable iron (TDFe) during *in vitro* digestion.

RWM, RLM and RSM were expressed as the same as Figure 14.

Mixture iron compound was expressed as the same as Figure 14.

*Each control means different reconstituted milk was only fortified by mixture iron compound without any functional additives, and IMO, FO, GLA, EPA and DHA were expressed as the same as Figure 14.

^{a-e} Mean in each milk sample by different letters are significantly different (P<0.05)

測定之 NDFe (II) 值惟 RWM 組具明顯之負面影響且差異達顯著 ($P<0.05$)，其於 RLM、RSM 組則無明顯之影響；另果寡糖 (FO) 之添加，惟 RSM 組較控制組之未透析二價鐵測定值高且達差異顯著 ($P<0.05$) 外，其餘影響程度皆不顯著；而月見草油 (GLA) 之添加於圖 16 仍明顯呈現出，其對 NDFe (II) 值具負面之功效 ($P<0.05$)，並與 DHA 及 EPA 有助於提升 NDFe (II) 值之效用相異；另 DHA 與 EPA 之添加對各混和鐵劑強化還原乳之試樣具相同表現之趨勢，對所測定之 NDFe (II) 值皆具有提升改善之明顯功效 ($P<0.05$)。

探討至此，吾人試圖將實驗中各項因子（強化用之鐵劑、不同脂肪含量之乳粉及各機能性添加物因子）對鐵質之生物可利用率做一整合性之歸納。

藉由裂區統計設計分析實驗所得之各項數據，予以區分並探討各因子對鐵質生物可利用率評估指標之影響，並就鐵劑種類、乳粉種類與機能性添加物因子三大因子之影響分別描述如圖 17、18 與 19 所示。

在本次實驗中所採用之三種鐵劑於鐵質之生物可利用率之各項指標上，於圖 17 可觀察到，硫酸亞鐵顯著的優於氯化鐵與兩鐵劑以 1：1 比例混和之鐵劑 ($P<0.05$)，氯化鐵

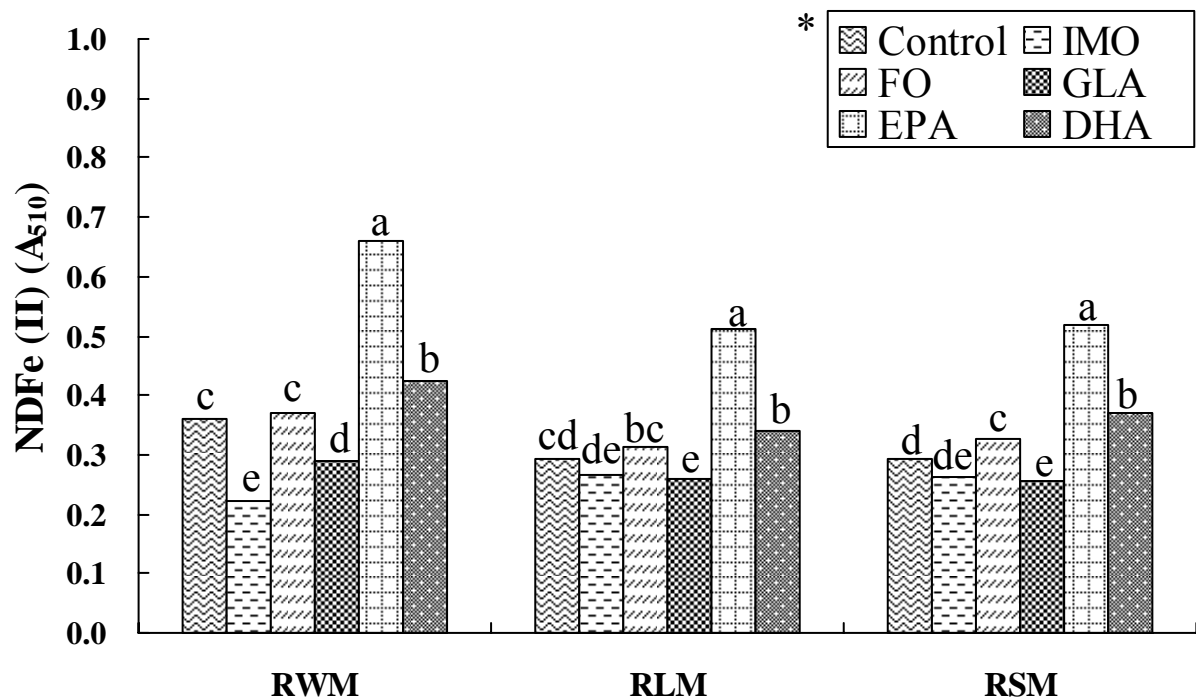


圖 16. 不同機能性添加物對不同脂肪含量混合鐵劑強化還原乳經體外消化試驗後其未透析二價鐵 (NDFe (II)) 之影響。

Fig. 16. The effect of functional additives in different fat levels with mixture iron compound fortified reconstituted milk on nondialyzable ferrous iron (NDFe (II)) during *in vitro* digestion.

RWM, RLM and RSM were expressed as the same as Figure 14.

Mixture iron compound was expressed as the same as Figure 14.

*Each control means different reconstituted milk was only fortified by mixture iron compound without any functional additives, and IMO, FO, GLA, EPA and DHA were expressed as the same as Figure 14.

^{a-e} Mean in each milk sample by different letters are significantly different ($P < 0.05$)

除未透析二價鐵 (NDFe (II)) 外，其餘之指標數據為三種鐵劑中效用最差的；其次為評估不同脂肪含量之乳粉對鐵質之生物可利用率之影響 (圖 18)，全脂乳粉在鐵質之生物可利用率上顯著地優於低脂與脫脂乳粉 ($P<0.05$)，且低脂與脫脂乳粉間差異不顯著；最後於額外添加的機能性添加物因子 (異麥芽寡糖、果寡糖、月見草油、DHA 與 EPA) 而言，由圖 19 可觀察出其對鐵質之生物可利用率之影響。異麥芽寡糖 (IMO) 與月見草油 (GLA) 對於各指標數值皆具有負面之效應，果寡糖 (FO) 與 DHA 除對 NDFe (II) 值具提升之效用外，其於 DFe (II) 與 TDFe 值其影響程度未達差異顯著，另 EPA 則在各項鐵質生物可利用率之指標數值皆具明顯提升之效果 ($P<0.05$)。

綜上所述，硫酸亞鐵之鐵質生物可利用率確實為最佳者，氯化鐵之生物可利用率為最低，而採用兩鐵劑以 1:1 比例混合之混和鐵劑居中 (除 NDFe (II) 值混和鐵劑與氯化鐵差異不顯著外)。另鐵強化還原乳之鐵強化效用於全脂還原乳具較優之表現，鐵強化低脂與脫脂還原乳兩者間所呈現之效果相當。這與第一部份所做之實驗結果相符合，乳脂肪的存在對於鐵劑之生物可利用率確實具有改善提升之功效。

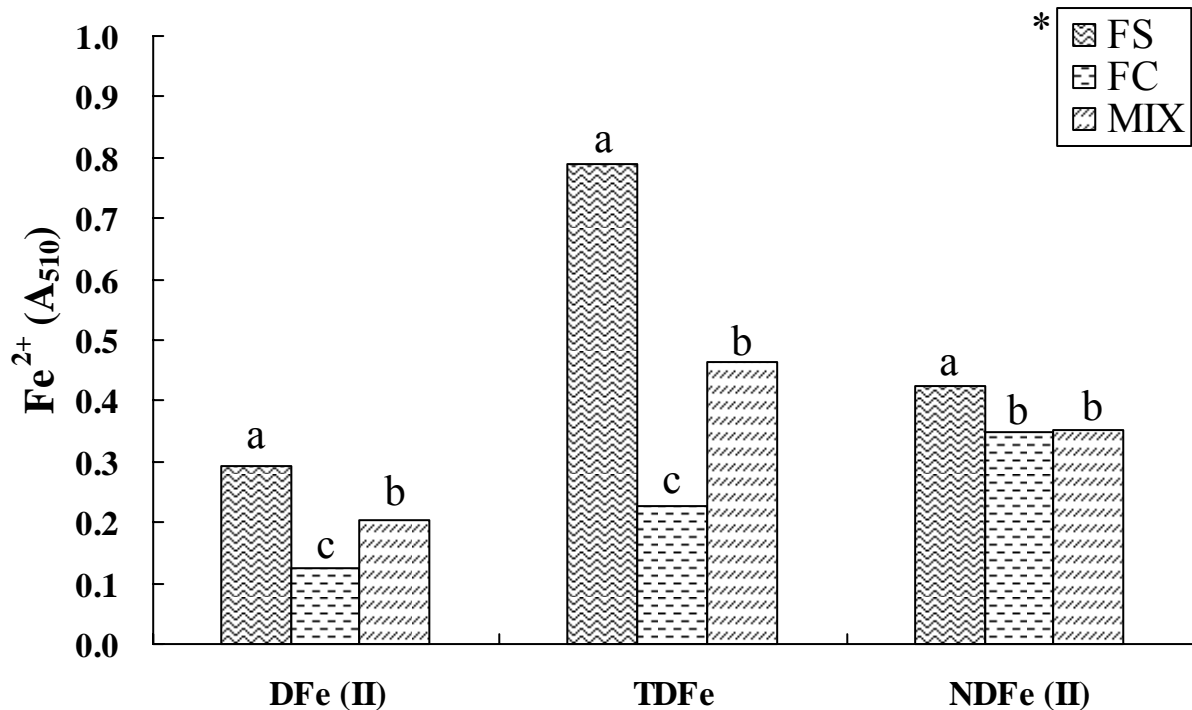


圖 17. 不同鐵強化用鐵劑於鐵強化還原乳經體外消化試驗後對鐵之生物可利用率之影響。

Fig. 17. The effect of different iron compounds in iron fortified reconstituted milk on iron bioavailability during *in vitro* digestion.

Bioavailability indexes for DFe (II), TDFe and NDFe (II) were the dialyzable ferrous iron, total dialyzable iron and nondialyzable ferrous iron, respectively.

* FS, FC and Mix mean ferrous sulfate, ferric chloride and 1/2 ferrous sulfate with 1/2 ferric chloride mixed irons, respectively.

^{a-c} Mean in each bioavailability index by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

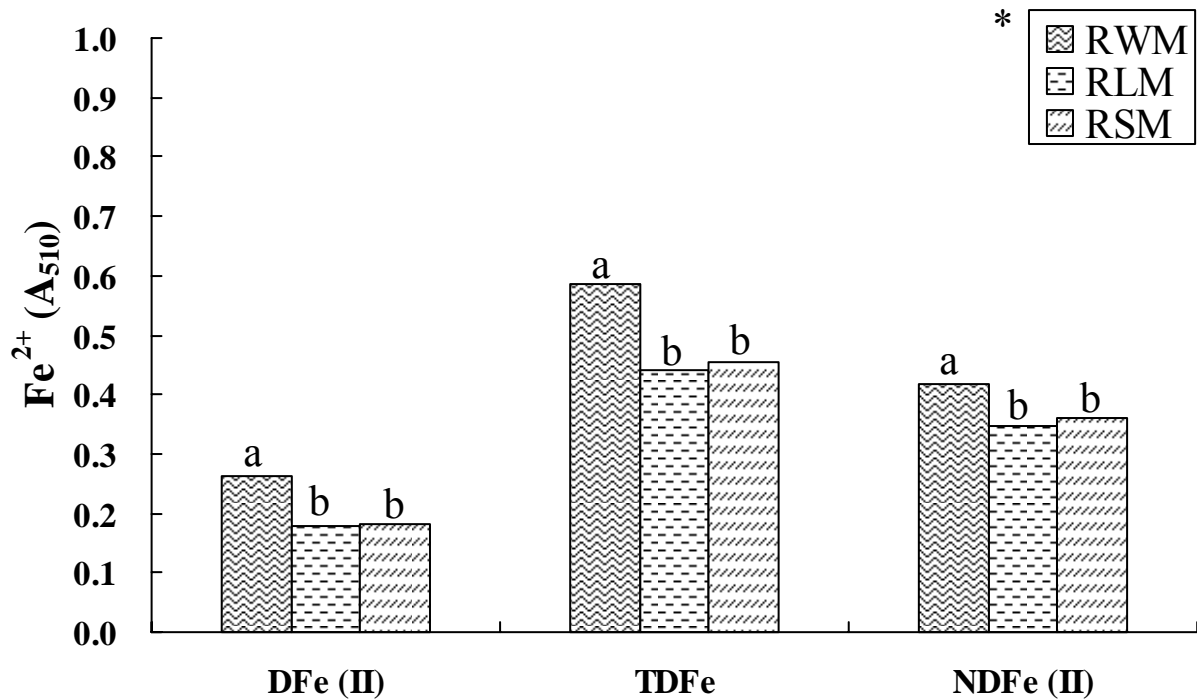


圖 18. 不同脂肪含量之還原乳於鐵強化還原乳經體外消化試驗後對鐵之生物可利用率之影響。

Fig. 18. The effect of different fat levels in iron fortified reconstituted milk on iron bioavailability during *in vitro* digestion.

Bioavailability indexes for DFe (II), TDFe and NDFe (II) were expressed as the same as Figure 17.

*RWM, RLM and RSM mean reconstituted whole milk, reconstituted low fat milk and reconstituted skim milk, respectively.

^{a-b} Mean in each bioavailability index by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

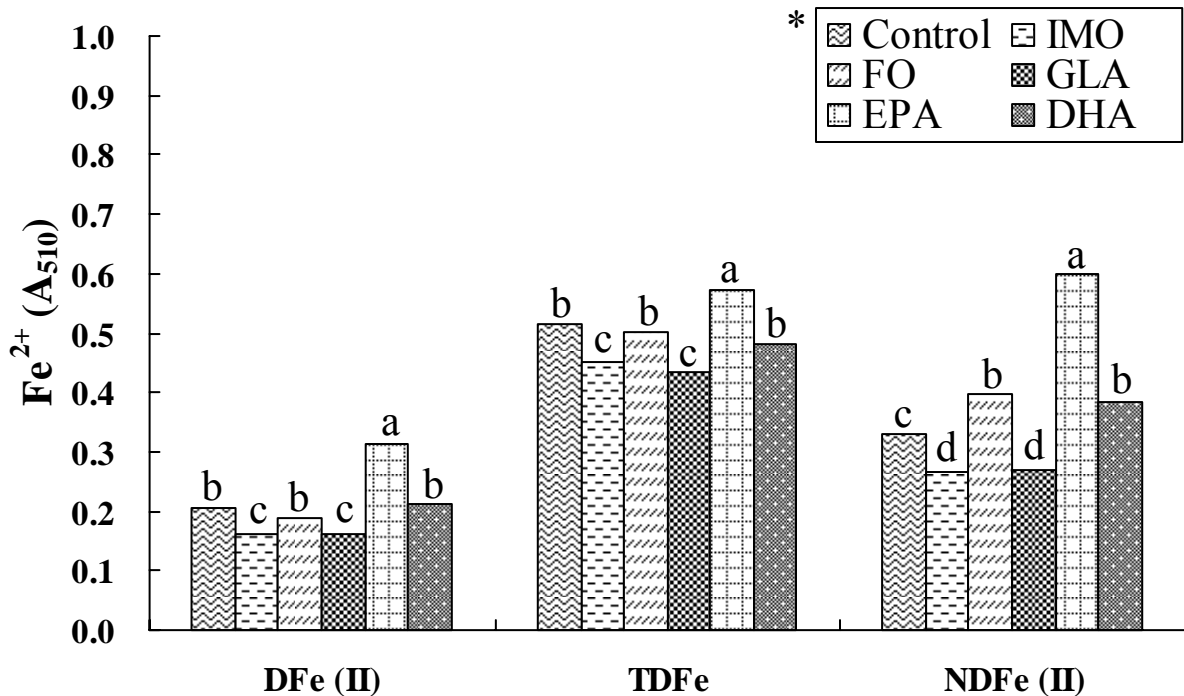


圖 19. 不同機能性添加物於鐵強化還原乳經體外消化試驗後對鐵之生物可利用率之影響。

Fig. 19. The effect of different functional additives in iron fortified

reconstituted milk on iron bioavailability during *in vitro* digestion.

Bioavailability indexes for DFe (II), TDFe and NDFe (II) were were expressed as the same as Figure 17.

*Each control means different iron fortified reconstituted milk without any functional additives, and IMO, FO, GLA, EPA and DHA mean isomalto-oligosaccharides, fructo-oligosaccharides, γ -linolenic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid, respectively.

^{a-d} Mean in each bioavailability index by different letters are significantly different ($P < 0.05$).

另於機能性添加物因子部分，寡糖因其特殊鍵結結構而有別於一般糖類之碳水化合物，使其於腸道中對消化酵素具有一定之容忍程度，實驗採用模擬腸道消化實驗進行，亦去除了腸道部分所含各類菌群之作用，實驗結果如預期一般除異麥芽寡糖外，所測定出之鐵質生物可利用率評估指標並未受到寡糖添加之影響。雖此處異麥芽寡糖顯然成為抑制鐵質吸收利用之負面因子，另果寡糖於此為呈現對鐵質吸收利用效率之影響（惟其於 NDFe (II) 值呈現促進之現象外），其影響機制尚未明瞭。然仍有報告指出，寡糖添加對於鐵質吸收利用效率之提升具有相當之功效 (Perez-Conesa *et al.*, 2007)。報告指出寡糖之功效主要來自於腸道中存在之菌群生長代謝導致，因其具有可將寡糖分解代謝之能力，經代謝利用後產生短鏈脂肪酸（乳酸、醋酸與甲酸等）並進一步改變降低腸道內之 pH 值，此現象則有益於提升腸道對鐵質之吸收利用效率 (Remesy *et al.*, 1992；Delzenne *et al.*, 1995)；另報告指出日糧中短鏈寡糖之添加除降低盲腸之 pH 值外，亦可提高可溶性鐵之含量進而影響鐵質之透析，此舉對整體鐵質吸收利用率亦有提升改善之效用 (Ohta *et al.*, 1995b)；並有報告指出寡糖之存在對大腸於鐵質之生物可利用率有改善提

升之效用 (Ebihara *et al.*, 1994 ;Ebihara and Okano, 1995)；於生理方面，另有報告針對大鼠經胃切除手術後造成缺之鐵性貧血現象，日糧中寡醣 (特別指果寡糖) 之添加對缺鐵性貧血狀態與鐵質生物可利用率，由貧血症狀之血液學指標數值評估，具明顯改善效用 (Ohta *et al.*, 1998 and 1999 ;Sakai *et al.*, 2000)。

月見草油、EPA 與 DHA 對鐵質之吸收利用於月見草油部分呈現出抑制之結果，DHA 差異不顯著 (除 NDFe (II) 值外) 而 EPA 則具促進之效用。造成此現象之產生，推斷與添加物本身具有之特性即長鏈多元不飽和脂肪酸氧化程度有關。由結構式得知，月見草油所富含之 γ -次亞麻油酸亦為長鏈多元不飽和脂肪酸之一，與 EPA 及 DHA 之差異為碳鏈之長短與雙鍵鍵結之數量，此結構亦為造成其氧化程度差異之主因。報告指出，脂肪於日糧中存在之比例對鐵質生物可利用率具影響力，日糧中存在較多量的脂肪時，對鐵質生物可利用率具促進之功效 (Johnson *et al.*, 1986 ; Tichelaar *et al.*, 1997 ; Ortega *et al.*, 1998 ; Shotton and Droke, 2004)；另有報告針對脂肪型態對鐵質生物可利用率進行探討，報告中指出長鏈多元不飽和脂肪酸添加於日糧中對鐵質吸收利用之效

率較它者具提升改善之功效 (Chetty *et al.*, 1999 ; Willatts and Forsyth, 2000 ; Vaquero *et al.*, 2001)。於本實驗結果呈現，吾人推測此處對鐵質生物可利用率呈現促進之功效，可歸因於EPA自氧化速率相較於鐵強化還原乳試樣內物質之氧化速率高出許多，此現象提供了極佳之還原環境，造成強化用之鐵劑經胃酸作用還原成二價鐵後，於腸道中降低其被氧化成三價鐵之量，進而能維持較多之二價鐵型態被吸收利用，達到提升鐵質之生物可利用率之功效。

VI、結論

綜觀上述結果，鐵強化乳粉之開發除著重於強化用鐵劑之生物可利用率外，乳粉中額外添加之機能性添加物因子也應一併考量。由實驗結果證實，鐵強化乳粉之鐵質生物可利用率受限於乳粉本身之原始組成分，尤以乳脂肪含量之影響最為顯著。乳脂肪含量最高之全脂乳粉其強化後鐵質生物可利用率之表現較低脂與脫脂乳粉優。另外，當前市場上由於強調健康養身之風氣，各類型之機能性添加物被參入市售之乳粉中，如於當前以低脂肪含量為消費者所考量首選之趨勢下，於鐵強化乳粉製成時一併添加入可促進鐵質生物可利用率之因子（二十碳五烯酸 (EPA)）與不影響之因子（二十二碳六烯酸 (DHA) 與果寡糖），期能達到完美之搭配，以提升還原乳粉中鐵質之生物可利用率並增進其附加之額外營養價值。

VII、參考文獻

林仁混。1991。生化學通論，第 263-274 頁。聯經出版社，台北市。

林慶文。1976。乳品製造學，第 26-29、132-134 頁。華香園出版社，台北市。

林東茂。2006。鐵劑之篩選與其於鐵強化乳粉中生物可利用性之評估。碩士論文。東海大學畜產與生物科技學系研究所。

林東茂、李丹昂、葉玉霜、閻立平、周繼發。2007。鐵劑之篩選及其於鐵強化乳粉中體外生物可利用性之評估。台灣農業化學與食品科學，45 (3):155-162。

行政院衛生署食品衛生處。<http://www.doh.gov.tw/>。

張勝善。1995。牛乳與乳製品，第 88-89、256-259、283-284 頁。長河出版社，台北市。

陳柏璋、葉依凝、李丹昂、周繼發。2008。不同鐵劑與維生素強化對不同脂肪含量還原乳之體外鐵質生物可利用率之影響。台灣農業化學與食品科學，46 (2):96-102。

趙繼嫻、葉玉霜、林東茂、周繼發。2005。動物性蛋白質對非血色質鐵利用效率之比較。中畜會誌，34 (2):107-116。

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。

蕭寧馨。2001。國人鐵營養狀況之研究。台大校友雙月刊
12:12-13。

Allen, L. H. and N. Ahluwalia. 1997. Improving iron status through diet. Nutrition Dept. Pennsylvania State University.
<http://www.mostproject.org/PDF/improving%20iron%20status.pdf>。

Amine, E. K. and D. M. Hegsted. 1975. Effect of dietary carbohydrates and fats on inorganic iron absorption. J. Agrical. Food Chem., 23:204-208.

Andersson, H. B., L. H. Ellegard and I. G. Bosaeus. 1999. Nondigestibility characteristics of inulin and oligofructose in humans. J. Nutr., 129:1428-1430.

Baba, S., A. Ohta, M. Ohtsuki, T. Takizawa, T. Adachi and H. Hara. 1996. Fructooligosaccharides stimulate the absorption of magnesium from the hindgut in rats. Nutr. Res., 16:657-666.

Berseth, C. L., J. E. V. Aerde, S. Gross, S. I. Stolz, C. L. Harris and J. W. Hansen. 2004. Growth, efficacy, and safety of feeding an iron-fortified human milk fortifier. Pediatrics, 144:e699-e706.

- 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 and phenolic compounds: importance of different phenolic structures. *Euro. J. Clin. Nutr.*, 43:547-558.
- Burr, M. L., A. M. Fehily, J. F. Gilbert, S. Rogers, R. M. Holliday, P. M. Sweetnam, P. C. Elwood and N. M. Deadman. 1989. Effects of changes in fat, fish, and fibre intakes on death and myocardial reinfarction : diet and reinfarction trial. *Lancet*, 2:757-761.
- Chen, H. L., Y. H. Lu, J. J. Lin and L.Y. Ko. 2001. Effects of isomalto-oligosaccharides on bowel functions and indicators of nutritional status in constipated elderly men. *J. Am. Coll. Nutr.*, 20 (1):44-49.
- Chetty, K. N., R. Conway, K. C. Harris, W. C. Dorsey, D. Hill, S. Chetty, R. Yerrapragada and S. Jain. 1999. Dietary supplementation with olive oil influences iron concentrations in rats. *Nutr. Res.*, 19 (11):1665-1670.
- Chiplonkar, S. A., K. V. Tarwadi, R. B. Kavedia, S. S. Mengale, K. M. Paknikar and V. V. Agte. 1999. Fortification of vegetarian diets for increasing bioavailable iron density using green leafy vegetables. *Food Res. Int.*, 32:169-174.

- Cook, J. D. and M. Reusser. 1983. Iron fortification:an update. *Am. J. Clin. Nutr.*, 38:648-659.
- Crittenden, R. G and M. J. Playne. 1996. Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. *Trends Food Sci. Technol.*, 7:353-361.
- Delzenne, N. and M. B. Roberfroid. 1994. Physiological effects of nondigestible oligosaccharides. *Lebensm-Wiss. Technol.*, 27:1-6.
- Delzenne, N., J. Aertssens, H. Verpleatse, M. Roccaro and M. Roberfroid. 1995. Effect of fermentable fructo-oligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rat. *Life Sci.*, 57 (17):1579-1587.
- Ebihara, K., J. Okano and T. Miyata. 1994. Comparison of ferrous and ferric iron bioavailability following rat cecal infusion. *Nutr. Res.*, 14:221-228.
- Ebihara, K. and J. Okano. 1995. Comparison of bioavailability and hemoglobin repletion of ferric and ferrous iron infused into the cecum in anemic rats. *Nutr. Res.*, 15:889-897.
- Fairweather-Tait, S. J. 1992. Bioavailability of trace elements. *Food Chem.*, 43:213-217.

Favier, A. E. 1993. Nutritional and clinical factors affecting the bioavailability of trace elements in humans. In:U. Schlemmer, Editor, Bioavailability '93; Nutritional, Chemical and Food Processing Implications of Nutrient Availability. Proceedings, Part 1:Ettlingen, pp. 202-212. Bundesforschungsanstalt Für Ernährung, Karlsruhe.

Felt, B. T. and B. Lozoff. 1996. Brain iron and behaviour of rats are not normalized by treatment of iron deficiency anemia during early development. *J. Nutr.*, 126:693.

García-Casal, M. N., M. Layrisse, J. P. Peña-Rosas, J. Ramírez, I. Leets and P. Matus. 2003. Iron absorption from elemental iron-fortified corn flakes in humans-Role of vitamins A and C. *Nutr. Res.*, 23:451-463.

Gaucheron, F. 2000. Iron fortification in dairy industry. *Trends Food Sci. Technol.*, 11:403-409.

George, D. E. and B.A. De Francesca. 1989. Human milk in comparison to cow milk. In: E. Lebenthal, Editor, *Textbook of Gastroenterology and Nutrition in Infancy*, pp. 239-260. Raven Press Ltd, New York.

Gibson, G. R. and X. Wang. 1994. Bifidogenic properties of different types of fructo-oligosaccharides. *Food Microbiol.*, 11:491-498.

- Gillooly, M., J. D. Torrance, T. H. Bothwell, A. P. MacPhail, D. Derman, W. Mills and F. Mayet. 1984. The relative effect of ascorbic acid on iron absorption from soy-based and milk-based infant formulas. *Am. J. Clin. Nutr.*, 40:522-527.
- Gillespie, S. R. 1998. Major issues in the control of iron deficiency. Micronutrient Initiative/UNICEF Ottawa, Canada.
- Grantham-McGregor, S. and C. Ani. 2001. A review of studies on the effect of iron deficiency on cognitive development in children. *J. Nutr.*, 131:649.
- Hadler, M. C. C. M., F. A. B. Colugnati and D. M. Sigulem. 2004. Risks of anemia in infants according to dietary iron density and weight gain rate. *Prev. Med.*, 39:713-721.
- Hallberg, L. 2001. Perspectives on nutritional iron deficiency. *Annu. Rev. Nutr.*, 21:1-21.
- Haumann, B. F. 1997. Nutritional aspects of n-3 fatty acids. *Int. News Fats Oils Relat. Mater.*, 8:428-447.
- Hercberg, S., and P. Galan. 1992. Nutritional anemias. *Baillieres Clin. Haematol.*, 5:143-168.
- Hekmat, S. and D. J. McMahon. 1998. Distribution of iron between caseins and whey proteins in acidified milk. *Lebensm-Wiss. U. Technol.*, 31:632-638.

- Hidaka, H., T. Eida and T. Hamaya. 1986. Livestock feed containing inulo-oligosaccharides and breeding of livestock by using the same. Eur. Pat. Appl., 0171026A2.
- Huang, Y. C. 2000. Nutrient intakes and iron status of vegetarians. *Nutr.*, 16:147-148.
- Huang, Y. C., Y. Wonga, S. L. Wueng, C. H. Cheng and K. H. Su. 2001. Nutrient intakes and iron status of elderly men and women. *Nutr. Res.*, 21:967-981.
- Hunt, J. R. and Z. K. Roughead. 1999. Nonheme-iron absorption, fecal ferritin excretion, and blood indexes of iron status in women consuming controlled lactoovovegetarian diets for 8 wk. *Am. J. Clin. Nutr.*, 69:944-952.
- Hurrell, R. F., M. B. Reddy, S. A. Dassenko, J. D. Cook and D. Shepherd. 1991. Ferrous fumarate for fortification of a chocolate drink powder. *Br. J. Nutr.*, 65:271-283.
- Hurrell, R. F. 1997. Preventing iron deficiency though food fortification. *Nutr. Rev.*, 55 (6):210-222.
- Hurrell, R. F. 1997. Bioavailability of iron. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 51:4-8.
- Hurrell, R. F. 2002. How to ensure adequate iron absorption from iron-fortified food. *Nutr. Rev.*, 60:7-15.

Hurrell, R. F., S. Lynch, T. Bothwell, H. Cori, R. Glahn, E. Hertrampf, Z. Kratky, D. Miller, M. Rodenstein, H. Streekstra, B. Teucher, E. Turner, C. K. Yeung and M. B. Zimmermann. 2004. Enhancing the absorption of fortification iron. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 74 (6):387-401.

Johnson, P. E., H. C. Lukaski and T. D. Bowman. 1986. Effects of level and saturation of fat and iron level and type in the diet on iron absorption and utilization by the rat. *J. Nutr.*, 117:501-507.

Kapsokefalou, M., I. Alexandropoulou, M. Komaitis and I. Politis. 2005. *In vitro* evaluation of iron solubility and dialyzability of various iron fortificants and of iron-fortified milk products targeted for infants and toddlers. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 56 (4):293-302.

Kelley, D. S. 1996. Dietary fat and human immune response. *INFORM*, 7:852-858.

Kruger, M. C. and L. M. Schollum. 2005. Is docosahexaenoic acid more effective than eicosapentaenoic acid for increasing calcium bioavailability? *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids*, 73:327-334.

Kohmoto T, F. Fujui, H. Takaku and T. Mitsuoka. 1991. Dose-response test of isomaltooligosaccharides for increasing fecal bifidobacteria. *Agric. Biol. Chem.*, 55:2157-2159.

- Kohmoto T., K. Tsuji, T. Kaneko, M. Shiota, F. Fukui, H. Takaku, Y. Nakagawa, T. Ichikawa and S. Kobayashi. 1992. Metabolism of ¹³C-isomaltooligosaccharides in healthy men. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 56:937-940.
- Langlands, S. J., M. J. Hopkins, N. CMoleman and J. H. Cummings. 2004. Prebiotic carbohydrates modify the mucosa associated microflora of the human large bowel. *Gut*, 53:1610-1616.
- Layrisse, M., J. F. Chaves, H. Méndez-Castellano, V. Bosch, E. Tropper, B. Bastardo and E. González. 1996. Early response to the impact of iron fortification in the Venezuelan population. *Am. J. Clin. Nutr.*, 64:903-907.
- Liu, S. and C. E. Tsai. 1995. Effects of biotechnically synthesized oligosaccharides and polydextrose on serum lipids in the human. *Nutr. Sci. J. Soc.*, 20:1-12.
- Lynch, S. R. and R. J. Stoltzfus. 2003. Iron and ascorbic acid : proposed fortification levels and recommended iron compounds. *J. Nutr.*, 133:2978-2984.
- Martínez-Navarrete, N., M. M. Camacho, J. Martínez-Lahuertab, J. Martínez-Monzó and P. Fito. 2002. Iron deficiency and iron fortified Foods-a review. *Food Res. Int.*, 35:225-231.

- Mikkelsen, L. L. and B. B. Jensen. 2004. Effects of fructo-oligosaccharides and transgalacto-oligosaccharides on microbial populations and microbial activity in the gastrointestinal tract of piglets post-weaning. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 117:107-119.
- Miller, D. D., B. R. Schicker, R. R. Rasmussen and D. V. Campen. 1981. An in vitro method for estimation of iron availability from meals. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34:2248-2256.
- Morck, T. A., S. F. Lynch and J. D. Cook. 1983. Inhibition of food iron absorption by coffee. *Am. J. Clin. Nutr.*, 37:416-420.
- Nayak, B. and K. M. Nair. 2003. In vitro bioavailability of iron from wheat flour fortified with ascorbic acid, EDTA and sodium hexametaphosphate, with or without iron. *Food Chem.*, 80:545-550.
- Nakakui, T. 1993. Oligosaccharides. Production, Properties and Applications (Japanese Technology Reviews Vol. 3, No, 2), Gordon and Breach Science Publishers.
- Ohta, A., M. Ohtsuki, B. Baba, S. Takizawa, T. Adachi and S. Kimura. 1995b. Effects of fructooligosaccharides on the absorption of iron, calcium and magnesium in iron-deficient anemic rats. *J. Nutr. Sci.*, 41:281-291.

- Ohta, A., M. Ohtsuki, M. Uehara, A. Hosono, M. Hirayama, T. Adachi and H. Hara. 1997. Dietary fructooligosaccharides prevent postgastrectomy anemia and osteopenia in rats. *J. Nutr.*, 128:934-939.
- Ohta, A., S. Baba, M. Ohtsuki, T. Takizawa, T. Adachi and H. Hara. 1997. In vivo absorption of calcium carbonate and magnesium oxide from the large intestine in rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 43:35-46.
- Ohta, A., S. Baba, T. Takizawa and T. Adachi. 1994. Effects of fructooligosaccharides on the absorption of magnesium in the magnesium-deficient rat model. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 40:171-180.
- Ohta, A., M. Ohtsuki, S. Baba, T. Adachi, T. Sakata and E. Sakaguchi. 1995a. Calcium and magnesium absorption from the colon and rectum are increased in rats fed fructooligosaccharides. *J. Nutr.*, 125:2417-2424.
- Ohta, A., S. Baba, M. Ohtsuki, A. Taguchi, T. Adachi and H. Hara. 1996. Prevention of coprophagy modifies magnesium absorption in rats fed with fructooligosaccharides. *Br. J. Nutr.*, 75:775-784.
- Ohta, A., M. Ohtsuki, M. Uehara, A. Hosono, T. Adachi and H. Hara. 1998. Dietary fructooligosaccharides prevent postgastrectomy anemia and osteopenia in rats. *J. Nutr.*, 128:934-939.

- Ohta, A., K. Sakai, M. Takasaki, M. Uehara, T. Tokunaga and T. Adachi. 1999. Dietary heme iron does not prevent postgastrectomy anemia but fructooligosaccharides improve bioavailability of heme iron in rats. *Int. J. Vit. Nutr. Res.*, 69 (5):348-355.
- Ohtsuka, K., K. Tsuji, Y. Nakagawa, H. Ueda, O. Ozawa, T. Uchida and T. Ichikawa. 1990. Availability of 4' galactosyllactose (O-beta-D-galactopyranosyl-(1-4)-O-beta-D-galactopyranosyl-(1-4)-D-glucopyranose) in rat. *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*, 36 (3):265-276.
- Ortega, R. M., M. E. Quintas, M. J. Gaspar, P. Andres, A. M. Lopez-Sobaler, B. Navia and A. M. Requejo. 1998. The influence of saturated fatty acid consumption on energy and nutrient intake, blood lipid levels and iron indicators in a group of young women. *Nutr. Res.*, 18 (4):671-682.
- Pabón M. L. and B. Lönnerdal. 2001. Effects of type of fat in the diet on iron bioavailability assessed in suckling and weanling rats. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, 15:18-23.
- Perez-Conesa, D., G. Lopez and G. Ros. 2007. Effect of probiotic, prebiotic and synbiotic follow-up infant formulas on iron bioavailability in rats. *Food Sci. Technol. Int.*, 13 (1):69-77.
- Pollitt, E. 1993. Iron Deficiency and cognitive function. *Ann. Rev. Nutr.*, 13:521-537.

- Rao, B. S. N. and T. Prabhavathi. 1983. Contaminant iron in foods and its bioavailability predicted by in vitro method. *Indian J. Med. Res.*, 74:37-41.
- Remesy, C., S. R. Beher, M. A. Levrat, L. Gamet and C. Demigne. 1992. Fiber fermentability in the rat cecum and its physiological consequences. *Nutr. Res.*, 12:1235-1244.
- Roncagliolo, M., M. Garrido, T. Walter, P. Peirano and B. Lozoff. 1998. Evidence of altered central nervous system development in infants with iron deficiency anaemia at 6 months: delayed maturation of auditory brainstem responses. *Am. J. Clin. Nutr.*, 68:683-690.
- Rossander, L., A. S. Sandberg and B. Sandstron. 1992. The influence of dietary fiber on mineral absorption and utilization. In *Dietary Fiber-a Component of Food. Nutritional Function in Health and Disease*, pp. 197-216. London, Springer-Verlag.
- Sakai, K., A. Ohta, K. Shiga, M. Takasaki, T. Tokunaga and H. Hara. 2000. The cecum and dietary short-chain fructooligosaccharides are involved in preventing postgastrectomy anemia in rats. *J. Nutr.*, 130 (6):1608-1612.
- Salem, N. J. R., A. P. Simopoulos, C. Galli, M. Lagarde and H. R. Knapp. 1996. Fatty acids and lipids from cell biology to human disease. *Lipids*, 31 (suppl):S1-S326.

- SAS. 1999. SAS/STAT. Guide for personal computers (Version 8.1). SAS Inc., Cary, NC.
- Scrimshaw, S. N. 1998. Malnutrition, brain development, learning, and behavior. *Nutr. Res.*, 18:351-379.
- Shotton, A. D. and E. A. Droke. 2004. Iron utilization and liver mineral concentrations in rats fed safflower oil, flaxseed oil, olive oil, or beef tallow in combination with different concentrations of dietary iron. *Biol. Trace Elem. Res.*, 97 (3):265-277.
- Simopoulos, A. P. 1991. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *Am. J. Clin. Nutr.*, 54:438-463.
- Simopoulos, A. P., A. Leaf, N. Salem. 2000. Workshop statement on the essentiality of and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids*, 63:119-121.
- Spiegel, J. E., R. Rose, P. Karabell, V. H. Frankos and D. F. Schmitt. 1994. Safety and benefits of furtooligosaccharides as food ingredients. *Food Technol.*, 48:85-89.
- Thibault, H., P. Galan and S. Hercberg. 1992. Relations entre statut en fer, immunité et résistance aux infections. *Cah. Nutr. Diét.*, 27:153-160.

- Tichelaar, H. Y., C. M. Smuts, R. Gross, P. L. Jooste, M. Faber and A. J. S. Benade. 1997. The effect of dietary iron deficiency on the fatty acid composition of plasma and erythrocyte membrane phospholipids in the rat. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids*, 56:229-233.
- 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.
- Torrejón, C. S., C. Castillo-Durán, E. D. Hertrampf and M. Ruz. 2004. Zinc and iron nutrition in Chilean children fed fortified milk provided by the complementary national food program. *Nutr.*, 20 (2):177-180.
- Uchida, T., T. Oda, K. Sato and H. Kawakami. 2006. Availability of lactoferrin as a natural solubilizer of iron for food products. *Int. Dairy J.*, 16:95-101.
- Vaquero, M. P., M. Veldhuizen and B. Sarria. 2001. Consumption of an infant formula supplemented with long chain polyunsaturated fatty acids and iron metabolism in rats. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2 (3):211-217.

- Vianna, G. M. C. and A. L. Goncalves. 2002. Comparison between two methods of supplemental iron intake to prevent iron deficiency anemia in the first year of life of preterm infant. *J. Pediatr. (Rio. J.)*, 78 (4):315-320.
- Volker D. H., P. E. B. Fitzgerald, G. A. C. Major and M. L. Garg. 2000. Efficacy of fish oil concentrate in the treatment of rheumatoid arthritis. *J. Rheumatol.*, 27:2343-2346.
- Voragen, A. G. J. 1998. Technological aspects of functional food-related carbohydrates. *Food Sci. Technol.*, 9 : 328-335.
- Walker, A. R. 1998. The remedying of iron deficiency: what priority should it have? *Br. J. Nutr.*, 79:227-235.
- Wall, C. R., C. C. Grant, N. Taua, C. Wilson and J. M. D. Thompson. 2005. Milk versus medicine for the treatment of iron deficiency anaemia in hospitalized infants. *Arch. Dis. Child.*, 90:1033-1038.
- Walter, T., M. Arredondo and A. Stekel. 1986. Effect of iron therapy of phagocytosis and bactericidal activity in neutrophils of iron deficient infants. *Am. J. Clin. Nutr.*, 44:877.
- West, C. E. 1996. Strategies to control nutritional anemia. *Am. J. Clin. Nutr.*, 64:789-790.
- WHO. 2002. The World Health Report 2002-Reducing risks, promoting healthy life. WHO, Geneva.

- Willatts, P. and J. S. Forsyth. 2000. The role of long-chain polyunsaturated fatty acids in infant cognitive development. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids*, 63:95-100.
- Williams, C. M. 2000. Dietary fatty acids and human health. *Ann. Zootech.*, 49:165-205.
- Yang, Y. and C. E. Tsai. 1993. Effects of biosynthetic indigestible carbohydrates on digestion and lipid metabolism in rats. *Food Sci.*, 20:215-228.
- Yeung, C. K., R. P. Glahn, R. M. Welch and D. D. Miller. 2005. Prebiotics and iron bioavailability-Is there a connection? *J. Food sci.*, 70 (5):88-92.

VIII、英文摘要

The purpose of this research is to discuss when milk powder is fortified with different irons, the effect of milk fat levels and functional additives such as oligosaccharides (isomalto-oligosaccharides, fructo-oligosaccharides) and long-chain polyunsaturated fatty acids (γ -linolenic acid, eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid) on iron bioavailability. There are 0.3, 1.5, and 3.5 % of milk fat content in milk powder which is fortified with ferrous sulfate (FS), ferric chloride (FC), and 1/2 of each (MIX), respectively. Afterward the iron bioavailability is estimated by dialyzable ferrous iron (DFe (II)), dialyzable total iron (TDFe), and nondialyzable ferrous iron (NDFe (II)) during *in vitro* digestion. The result shows that the order of iron bioavailability among iron compounds is ferrous sulfate, mixed irons, and ferric chloride. Furthermore, the 3.5 % fat level has the best efficiency of iron bioavailability among fat content treatments, but there is no significance between 0.3 and 1.5 % of fat. In functional additives, isomalto-oligosaccharides and γ -linolenic acid seems

to depress iron bioavailability. However, the situation does not find in fructo-oligosaccharides and docosahexaenoic acid. Eicosapentaenoic acid is the only one of the functional additives can improve iron bioavailability in iron fortified milk powder.

IX、作者小傳

作者陳人杰，民國 70 年 4 月 20 日出生於花蓮縣花蓮市。先後畢業於花蓮市明禮國小、花蓮縣國風國中及台灣省立花蓮高級中學，於民國 89 年考取私立東海大學畜產學系，並在民國 93 年畢業同年亦考取母校畜產與生物科技學系研究所。追隨恩師 周繼發 博士，接受嚴謹且專業之儀器分析與邏輯思考訓練，於專業領域上研習與畜產品化學、乳品、蛋品加工及副產品應用等相關知識，使學生對畜產領域有了更深層的認知，其中亦學習如何利用基礎理論實際應用於畜產品加工上，以冀提升畜牧產值，增加經濟效應。承蒙恩師之悉心指導及栽培，順利於民國 97 年 6 月完成此碩士論文。

X、附錄

陳人杰、周繼發。2007。脂肪與機能性添加物對鐵強化乳粉
試管內鐵質生物可利用率之影響。中國畜牧學會會誌，
36 (增):310。

Y. N. Yeh, Y. S. Wang, P. C. Chen, J. C. Chen, T. A. Lee, and R.
S. Ho. 2008. Effect of bovine milk components and
functional additives on iron bioavailability during *in vitro*
digestion. 13th AAAP, Hanoi, Vietnam.