

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

碩士論文
Master Thesis

指導教授：姜樹興 博士
Advisor: Dr. Shu-Hsing Chiang

飼糧中脂肪含量對肉雞腸道水解及吸收脂肪部位之影響

Effect of Dietary Fat Levels on the Hydrolysis and Absorption of Fat
Along the Intestinal Tract of Broiler Chickens

研究生：何重志
Graduate student: Chong-Zhi Ho

中華民國一百零六年十月
October, 2017

致謝

本論文能順利完成，承蒙指導教授 姜樹興博士耐心地指導與教誨，並在學習態度與為人處事上多方教導，僅此致上無上之敬意及感謝。

論文口試期間，承蒙中興大學動物科學系 余碧博士、行政院農業委員會畜產試驗所 李恆夫博士及財團法人農業科技研究院動物科技研究所 林傳順博士詳細審閱，且遠道而來給予寶貴意見與指正，使本論文更加完善，特此感謝。

在學研究期間，感謝農牧場 劉嘉佑組長協助雞隻現場管理。感謝本實驗室的佩儀助教、張勝博學長、林國長學長及黃正耀學長給予研究方針及指導相關實驗技術；感謝實驗室學弟謝宜道、郭桓禎、陳容均及林雅品於在學期間多方幫助，並於動物試驗及實驗分析上的鼎力相助，使試驗可以順利完成；亦感謝東海畜產男子排球隊所有隊員，陪我走過實驗低潮，使我有動力完成研究。

最後，感謝無時無刻都一直關心、忍耐、包容我的父母，支持我求學，使我能夠堅持到論文完成的一刻。面對家人無盡的關愛與溫暖，在此致上我最大的感激，謝謝你們。

目次

目次.....	I
表次.....	V
圖次.....	VI
摘要.....	1
前言.....	2
文獻檢討.....	4
一、脂質之定義.....	4
二、脂質之分類.....	4
三、脂肪酸之分類.....	5
四、脂肪之消化及吸收.....	6
(一) 消化.....	6
1. 解脂酶.....	6
(1) 種類.....	6
a. 十二指腸前脂肪酶.....	6
b. 胰解脂酶.....	8
(2) 影響因子.....	11

a. 飼糧中不同脂肪濃度	11
b. 飼糧中添加解脂酶.....	12
c. 年齡	13
2. 膽汁酸.....	13
(1) 影響因子	16
a. 飼糧中不同脂肪濃度	16
b. 飼糧中添加膽鹽.....	17
c. 年齡	17
(二) 吸收.....	18
1. 脂肪酸結合蛋白質.....	20
(1) 影響因子	20
a. 飼糧中不同脂肪濃度	20
b. 年齡.....	20
五、飼糧中添加不同含量脂肪對腸道部位脂肪水解及吸收之影響..	21
材料與方法.....	23
一、試驗設計	23
二、試驗飼糧	23
三、雞隻飼養管理及採樣	23

四、樣品分析	27
(一) 酸水解脂肪	27
(二) 粗脂肪萃取	27
(三) 薄層色層分析法	28
(四) 脂肪酸組成測定	28
(五) 二氧化鈦濃度測定	29
五、數據計算	29
(一) 各腸道部位各個脂肪酸表面流量	29
(二) 各腸道部位各個脂肪酸表面消失量	30
(三) 脂肪水解率	31
(四) 表面消化率	31
(五) 真消化率	31
(六) 統計分析	32
結果	33
一、內源性脂肪酸	33
二、脂肪水解率	36
三、脂肪酸消化率	42
(一) 各腸道部位之脂肪酸表面消化率	42

(二) 各腸道部位之脂肪酸真消化率	45
四、各腸道部位之脂肪酸表面消失量	47
五、各腸道部位之脂肪酸真消失量	51
討論	53
一、內源性脂肪及脂肪酸	53
二、腸道脂肪水解	54
三、各腸道部位之脂肪酸表面消化率	56
四、各腸道部位之脂肪酸真消化率	58
五、各腸道部位之脂肪酸消失量	58
結論	60
參考文獻	61
附錄	72
英文摘要	139

表次

表 1. 解脂酶之種類	7
表 2. 實用飼糧組成	24
表 3. 試驗飼糧組成 (24-35 日齡).....	25
表 4. 肉雞各腸道部位內源性脂肪酸排泄量 (無脂飼糧及直線迴歸 法)	34
表 5. 肉雞各腸道部位之內源性總脂肪酸產生量及其脂肪酸組成 (無脂飼糧、直線迴歸法).....	35
表 6. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中脂肪及各個 脂肪酸水解率 (%) 之影響.....	40

圖次

圖 1. 胰解脂酶之結構	10
圖 2. 膽汁酸結構	14
圖 3. 肉雞各腸道部位各個內源性脂肪酸所佔比例 (無脂飼糧法) ...	37
圖 4. 肉雞各腸道部位各個內源性脂肪酸所佔比例 (直線迴歸法) ...	38
圖 5. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中脂肪水解率 之影響.....	39
圖 6. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 (a) 棕櫚酸 (C16:0) (b) 硬脂酸 (C18:0) (c) 油酸 (C18:1) (d) 亞麻油酸 (C18:2) (e) 飽和脂肪酸 (SFA) (f) 不飽和脂肪酸 (USFA) (g) 總脂 肪酸 (TFA) 表面消化率之影響	44
圖 7. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 (a) 棕櫚酸 (C16:0) (b) 硬脂酸 (C18:0) (c) 油酸 (C18:1) (d) 亞麻油酸 (C18:2) (e) 飽和脂肪酸 (SFA) (f) 不飽和脂肪酸 (USFA) (g) 總脂 肪酸 (TFA) 真消化率之影響 (無脂飼糧法)	46
圖 8. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中(a) 棕櫚酸	

(C16:0) (b) 硬脂酸 (C18:0) (c) 油酸 (C18:1) (d) 亞麻油酸
(C18:2) (e) 飽和脂肪酸 (SFA) (f) 不飽和脂肪酸 (USFA) (g) 總脂
肪酸 (TFA) 表面消失量之影響50

圖 9. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中(a) 棕櫚酸

(C16:0) (b) 硬脂酸 (C18:0) (c) 油酸 (C18:1) (d) 亞麻油酸
(C18:2) (e) 飽和脂肪酸 (SFA) (f) 不飽和脂肪酸 (USFA) (g) 總脂
肪酸 (TFA) 真消失量之影響。52

摘要

飼料中常額外添加油脂，以提供能量及必需脂肪酸來源。脂肪必須被解脂酶水解後透過腸道吸收，才可被動物利用。本研究為探討飼糧中脂肪含量，對肉雞腸道水解及吸收脂肪部位之影響。160隻24日齡羅斯肉雞，分配至5處理，每處理4重複，每重複8隻，分別飼予添加0, 2, 4, 6及8%大豆油之半純化飼糧。雞隻於35日齡時犧牲，取出腸道，將腸道分成十二指腸(D)，空腸前(J1)、中(J2)及後(J3)段，迴腸前(I1)、中(I2)及後(I3)段，共七段，分別收集內容物後，測定各段腸道內容物脂肪水解率、各個脂肪酸消化率及消失量。結果顯示，大部分脂肪在D即被水解，且不受飼糧脂肪含量之影響($P>0.05$)。脂肪酸之真消化率，在處理×腸道部位之交互作用不顯著($P>0.05$)。總脂肪酸消失量在D最高，依次為J1及J2。不飽和脂肪酸於D消失量最高，而飽和脂肪酸消失量則於J1最高。綜合以上，飼糧脂肪含量不影響脂肪在肉雞腸道中之水解及吸收部位。脂肪酸主要在十二指腸，空腸前段及中段被吸收，而不飽和脂肪酸較飽和脂肪酸在腸道較快被吸收。

關鍵語：脂肪酸、水解率、消化率、消失量、腸道、肉雞

前言

飼料中常額外添加油脂，以提供能量及必需脂肪酸來源。脂肪必須被解脂酶水解後透過腸道吸收，才可被動物利用。

Renner (1965), Tanchoenrat *et al.* (2014) 及黃 (2017) 均發現，空腸為肉雞吸收脂肪之主要部位。Hurwitz *et al.* (1973) 指出，在蛋雞亦是如此。而飼糧中脂肪含量可能會影響脂肪在雞隻腸道中吸收之部位。雖然研究指出，雞隻胰液中解脂酶含量 (Hulan and Bird, 1972) 及糞便中膽酸含量 (Lindsay *et al.*, 1969) 隨飼糧中脂肪含量之增加而提高，但提高之程度可能不足所需。Honda *et al.* (2009) 測得當飼糧脂肪含量達 10% 時，190 日齡來亨產蛋雞脂肪之主要吸收部位由空腸中段延後至空腸末端。Booth *et al.* (1961a, b) 在人類及大鼠亦發現，提高脂肪攝食量會將脂肪之吸收部位由空腸延後至迴腸。

許多研究指出，十二指腸有大量內源性脂肪產生 (Sklan *et al.*, 1973, 1975; Tanchoenrat *et al.*, 2014; 黃, 2017)，且大部分內源性脂肪至空腸末端才被吸收 (黃, 2017)。黃 (2017) 表示，測定腸道中脂肪或脂肪酸消化率需要矯正內源性脂肪，並以真消化率為準，尤其當飼糧中脂肪含量不同時。當以表面消化率為準時，飼糧中脂肪含量會影響內源性脂肪佔腸道中所有脂肪的比例，而不同程度地拉

低脂肪之表面消化率，會使得測得之脂肪吸收部位失準。

本研究以表面及真消化率，分別探討飼糧中脂肪含量對脂肪酸於肉雞腸道中吸收部位之影響，並了解胰解脂酶水解脂肪之能力是否為肉雞吸收脂肪之限制因素。

文獻檢討

一、 脂肪之定義

脂肪為一群不溶於水，但易溶於乙醚、石油醚、氯仿等有機溶劑之化合物。脂肪多存在於植物種籽中；動物則是皮下、內臟及肌間脂肪組織中。除了提供生物所需能量外，亦參與生物體生化代謝過程及反應，其必需脂肪酸（essential fatty acid, EFA）為維持動物細胞膜完整及生長發育所必須（姜，2014）。

二、 脂肪之分類

脂肪主要分為可皂化（saponifiable）及不可皂化（unsaponifiable）兩大部分。可皂化又可分為：（1）簡單脂肪（simple lipids）；脂肪為其唯一組成，又稱三酸甘油酯（triglyceride）或中性脂肪（neutral fat），為脂肪酸之羧基（-COOH）與甘油脂醇基（-CH₂OH）所形成之酯類（esters），包含脂（fat）、油（oil）及臘（wax），而常溫為固態者稱為脂；為液態者稱為油；（2）複合脂肪（compound lipids），脂肪不是其唯一組成，含有其他官能基團之酯類，包括含蛋白質之脂蛋白質（lipoproteins）、含醣類之醣脂（glycolipids）、含磷酸根之磷脂（phospholipids）及含神經鞘胺醇之神經鞘脂（sphingolipids）。而不可皂化部分亦稱為衍生脂肪，包括脂溶性維生素、類固醇（steroids）、膽固醇及前列腺素等脂肪酸衍生物。

三、 脂肪酸之分類

脂肪酸屬羧酸 (carboxylic acid)，主要由脂肪經水解後而產生。

脂肪酸可依據碳氫結構之不同來分類。

依碳氫鏈中雙鍵之有無可將脂肪酸分為飽和脂肪酸 (saturated fatty acid, SFA) 或不飽和脂肪酸 (unsaturated fatty acid, USFA)。飽和脂肪酸為碳氫鏈中碳與碳之間皆為單鍵；不飽和脂肪酸則為碳氫鏈中碳與碳之間具有一個或以上之雙鍵，若其中僅具一個雙鍵者為單不飽和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid, MUSFA)；而具有一個以上之雙鍵者則為多不飽和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acid, PUSFA)。

依碳鏈分支情況之有無，可分為直鏈 (straight-chain) 及支鏈 (branched-chain) 脂肪酸。直鏈脂肪酸普遍存在於自然界中，而支鏈脂肪酸多存在於革蘭氏陽性菌 (Sasser, 1990)。

依碳氫鏈中碳數多寡，可分為碳數在 6 以下者為短鏈脂肪酸 (short-chain fatty acid, SCFA)，如乙酸、丙酸、丁酸，因熔點極低，且易揮發，又稱之為揮發性脂肪酸 (volatile fatty acids; VFA)；碳數介於 6 至 12 者為中鏈脂肪酸 (medium-chain fatty acid, MCFA)，而椰子油富含中鏈脂肪酸，因碳鏈較短鏈脂肪酸長，熔點較高，但在室溫下為液狀，水溶性較低；碳數在 12 以上者為長鏈脂肪酸 (long-

chain fatty acid, LCFA)，自然界中存在最多的脂肪酸，水溶性極低，而因碳鏈較長，熔點較高，飽和脂肪酸在室溫下多呈固狀，不飽和脂肪酸則因雙鍵介入，使其熔點降低，在室溫下呈液狀。

四、 脂肪之消化及吸收

(一) 消化

脂肪的水解主要發生在胃及腸道，舌解脂酶 (lingual lipase)、胃解脂酶 (gastric lipase) 及胰解脂酶 (pancreatic lipase) 參與水解作用。動物物種、年齡及腸道內容物中脂肪種類及含量影響水解酶之活性。

1. 解脂酶

(1) 種類

解脂酶種類繁多，依物種做簡略分類，如表 1 所示。脂肪在胃受十二指腸前脂肪酶 (preduodenal lipase) 所水解，後進入十二指腸。十二指腸為胰解脂酶主要水解部位，但有時十二指腸前脂肪酶 (如舌解脂酶及胃解脂酶) 會促進胰解脂酶之效率 (Mu and Hoy, 2004)。

a. 十二指腸前脂肪酶

食糜中脂肪於胃被舌解脂酶及胃解脂酶水解成雙酸甘油酯 (diacylglycerols, DG) 及游離脂肪酸 (free fatty acid, FFA)，舌解脂酶及

表 1. 解脂酶之種類

Table 1. Species of lipase

Type	Optimum pH	sn-	References
Mammalian			
Lingual lipase	4.5-5.5	sn-3>1	Mu and Hoy, 2004
Gastric lipase	4.5-5.5	sn-3>1	Mu and Hoy, 2004
Pancreatic lipase	6.5-8.5	sn-1, 3	Borgstrom and Brockman, 1984
Lipoprotein lipase	8-9	sn-1>3	Borgstrom and Brockman, 1984
Poultry			
Pancreatic lipase	6.5-8.5	sn-1, 3	Borgstrom and Brockman, 1984
Plant			
Wheat	7.5-8.0	sn-1, 3	Tavener <i>et al.</i> , 1972
Oat	7.4	sn-1, 2, 3*	Berner and Hammod, 1970
Fungal			
<i>Aspergillus niger</i>	2.2-6.8	sn-1, 3	Okumura <i>et al.</i> , 1976
<i>Geotrichum candidum</i>	4.2-9.8	sn-1, 2, 3	Okumura <i>et al.</i> , 1976
Bacterial			
<i>Candida antarctica</i> A	7.44-7.45	sn-2>1, 3	Rogalska <i>et al.</i> , 1993
<i>Pseudomonas aemginosa</i>	5.0-10.5	sn-1	Rogalska <i>et al.</i> , 1993
<i>Candida antarctica</i> B	7-10	sn-3	Rogalska <i>et al.</i> , 1993

*It hydrolyzes triglyceride, but does not hydrolyze mono- or diglyceride.

胃解脂酶優先作用於脂肪中甘油之第三碳原子 (sn-3)，而形成 1, 2-雙酸甘油酯 (Hamosh and Scow, 1973; Mu and Hoy, 2004; Paltauf *et al.*, 1974)。

舌解脂酶由舌側腺分泌 (Field and Scow, 1983)，而胃解脂酶由胃黏膜所分泌 (Hamosh, 1990)，此兩種解脂酶之活性受到物種所影響 (DeNigris *et al.*, 1988)。齧齒類舌解脂酶活性較高，但胃解脂酶活性較低；而靈長類胃解脂酶活性高 (Mu and Hoy, 2004)；禽類則無這兩種解脂酶 (Krogdahl, 1985)。此兩種解脂酶最適 pH 值介於 4.5 至 5.5 之間 (Mu and Hoy, 2004)；水解脂肪之活性隨 pH 值 (5.5 至 8.0) 上升而下降 (Hamosh and Scow, 1973)。

食糜中脂肪於胃水解 10~30%，水解產物的形成增加了三酸甘油酯之乳化，促進輔解脂酶 (colipase) 的結合以及游離脂肪酸刺激小腸分泌膽囊收縮素 (cholecystokinin, CCK)，使脂肪於十二指腸更易被水解 (DiMagno *et al.*, 1973)。當脂肪在胃部分水解後，進入十二指腸，脂肪水解產物促使 CCK 的分泌使膽囊收縮，排出膽鹽，並促使胰解脂酶分泌。

b. 胰解脂酶

胰解脂酶因胰臟受 CCK 刺激而分泌，由共同膽管運至十二指

腸，主要水解三酸甘油酯中甘油之第一及三碳原子 (sn-1 及 sn-3) 上脂肪酸，而釋出兩個游離脂肪酸及一個 2-單酸甘油酯 (monoglyceride, MG)。

胰解脂酶由兩個結構域所組成，分別為 N-端 (N-terminal domains) 及 C-端 (C-terminal domains) (圖 1)。N 端涉及酵素活性，與催化反應有關，C-端與輔解脂酶連接，有調控酵素催化反應之功能 (Jaeger and Eggert, 2002)。扇 (flap) 與酵素活化位 (active site) 有關，當輔解脂酶與 C-端結合後，會使扇變形，使基質易與活化位結合 (Hermoso *et al.*, 1996)。最適 pH 值為 6.5-8.5，pH 值低於 4.0 則完全失去活性 (Holt, 1971)。

脂肪經乳化後，因膽鹽聚集在脂肪表面，其電荷造成胰解脂酶無法與脂肪結合，需輔解脂酶先結合油與水的界面 (water-oil interface)，使膽鹽分子離去，胰解脂酶再與輔解脂酶結合，進行解脂作用 (Mu and Hoy, 2004)。在脂肪水解作用進行之同時，重碳酸鹽也會持續從胰臟釋出，提高小腸 pH 值，以適合胰解脂酶作用。

胰解脂酶具有立體特異性 (stereo-specificity)，在單胃動物 2-單酸甘油酯很少會被繼續水解，若將 2-單酸甘油酯重組成 1 (3)-單酸甘油酯，則會完全被水解成甘油及游離脂肪酸 (Mattson and Volpenhein, 1964)。在反芻動物，微生物產生之解脂酶，可將三酸甘

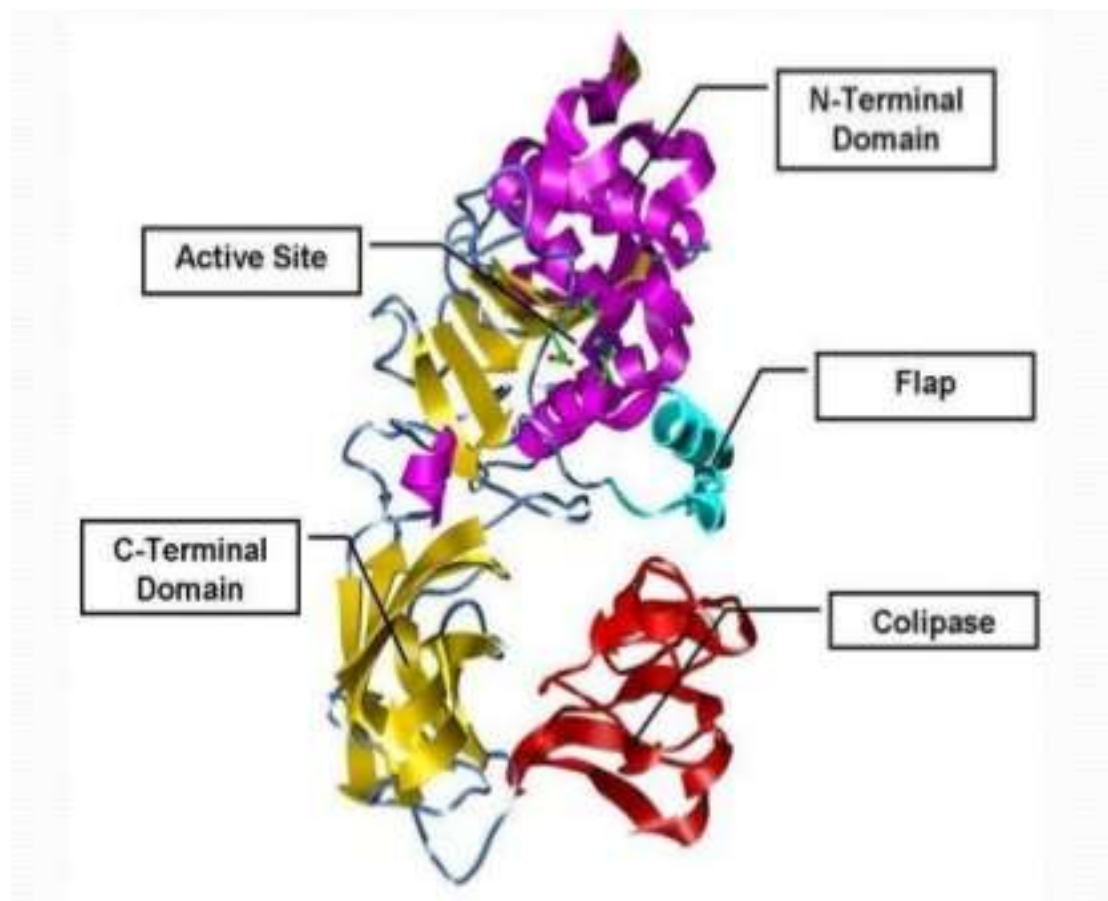


圖 1. 胰解脂酶之結構。

Figure 1. Structure of pancreatic lipase.

油酯完全水解成脂肪酸及甘油。能水解三酸甘油酯中甘油之第二個碳原子之微生物，種類非常少，其中只有南極洲念珠菌 (*Candida antarctica* A) 偏好水解 sn-2，大部分解脂酶則偏好水解 sn-1 及 sn-3 (Rogalska *et al.*, 1993)。

脂質之水解產物，一般為雙親性 (amphipathic) 使得其與膽鹽以親水端朝外，親油端朝內的方式形成微膠粒 (micelle)；具有親油的脂質核心 (包含 2-單酸甘油酯、游離脂肪酸、脂溶性維生素、飽和脂肪酸及膽固醇酯)，親水的外圍 (包含膽鹽及磷脂) (Krogdahl, 1985)。如此，脂質之水解產物才會與小腸內之水環境互溶，與腸細胞之刷狀緣接觸，而被吸收 (姜，2014)。

(2) 影響因子

a. 飼糧中不同脂肪濃度

Hulan and Bird (1972) 將 14 週齡公雞之胰管接廢管，餵飼無氮飼糧含 4.5 及 14.5% 脂肪，試驗期為三個四天，採雙交叉設計，低脂換高脂，逐漸增加胰解脂酶活性，高脂換低脂，逐漸減少胰解脂酶活性。Dror *et al.* (1976) 發現，於 3 週齡雞隻。飼糧中添加 15% 大豆油，其胰解脂酶活性高於攝食無脂飼糧之雞隻 30%。然而雞隻在孵化後之前幾週，胰解脂酶活性大幅增加，因此不代表成

年雞隻會發生同樣的改變。Bucko and Kopec (1979) 表示，大鼠在攝食飼糧含玉米油 4 至 18%，其胰解脂酶濃度隨之增加，但進一步增加玉米油含量，對胰解脂酶濃度無影響。

b. 飼糧中添加解脂酶

飼糧中添加 0.2% 解脂酶可增加雞隻對牛油之脂肪消化率，但添加膽鹽比解脂酶有效 (Polin *et al.*, 1980)。Al-Marzooqi and Lesson (1999) 指出，飼糧中添加 0、0.214、0.428、0.642、0.856 及 1.070% 之胰解脂酶，在 4 至 12 日齡公肉雞，脂肪消化率呈線性增加，總脂肪排泄呈線性下降，氮矯正代謝能呈線性增加，但使每日飼料採食量及每日增重呈線性下降。原因為解脂酶之萃取來自豬胰臟，胰解脂酶受到 CCK 所污染，CCK 使雞隻產生飽足感，使每日飼料採食量下降，而影響到每日增重。

也有部分作者指出，添加解脂酶並不影響雞隻生長性能及脂肪消化率，雞隻胰解脂酶的不足，並非脂肪消化不全之因素 (Meng *et al.*, 2004; Slominski *et al.*, 2006)。雞隻隨著年齡增加，十二指腸內胰解脂酶量隨之增加，但相對應每單位飼料採食量之解脂酶活性卻減少 (Noy and Sklan, 1995; Uni *et al.*, 1995)。Sklan (2001) 表示，若考慮飼料採食量，雞隻之解脂酶分泌量，可能不是那麼的不足。

c. 年齡

在新生大鼠中，腸道內容物之胰解脂酶活性偏低，但在2週齡時，胰解脂酶活性快速增加 100 倍，至 3 週齡達最高峰 (Robberecht *et al.*, 1971; Grand *et al.*, 1976)。在人類，1 月齡之新生兒，胰臟對於 CCK 之刺激不敏感，小鼠也有相似的結果 (Blass *et al.*, 1979; Lebenthal *et al.*, 1980)。雛雞孵出的第一天其解脂酶之濃度相當低，於第一週開始緩慢增加直至第 8 週 (Sell *et al.*, 1986)。在火雞，0 至 21 日齡胰解脂酶活性不受低或高脂飼糧影響，於 21 至 56日齡，火雞餵飼高脂飼糧，胰解脂酶活性為低脂飼糧之 5 倍，表示幼年火雞胰解脂酶活性不受脂肪含量影響，但成熟後，脂肪含量會影響解脂酶活性 (Krogdahl and Sell, 1989)。

2. 膽汁酸

膽汁酸 (bile acid) 由膽固醇透過肝細胞合成，主要結構為膽酸 (cholic acid) 或鵝脫氧膽酸 (chenodeoxycholic acid) 分別與牛磺酸 (taurine) 或甘胺酸 (glycine) 結合而形成，如圖 2，從而增加水溶性且減少細胞毒性 (Borgstrom, 1974; Gaull and Wright, 1987)。在豬隻，膽汁酸主要為膽酸結合甘胺酸，而雞隻只與牛磺酸結合。於腸道環境中，膽汁酸易與鈉及鉀離子形成膽鹽 (bile salt)。膽汁酸 (bile acid) 分為初級膽汁酸 (primary bile acids) 及次級膽汁酸 (secondary

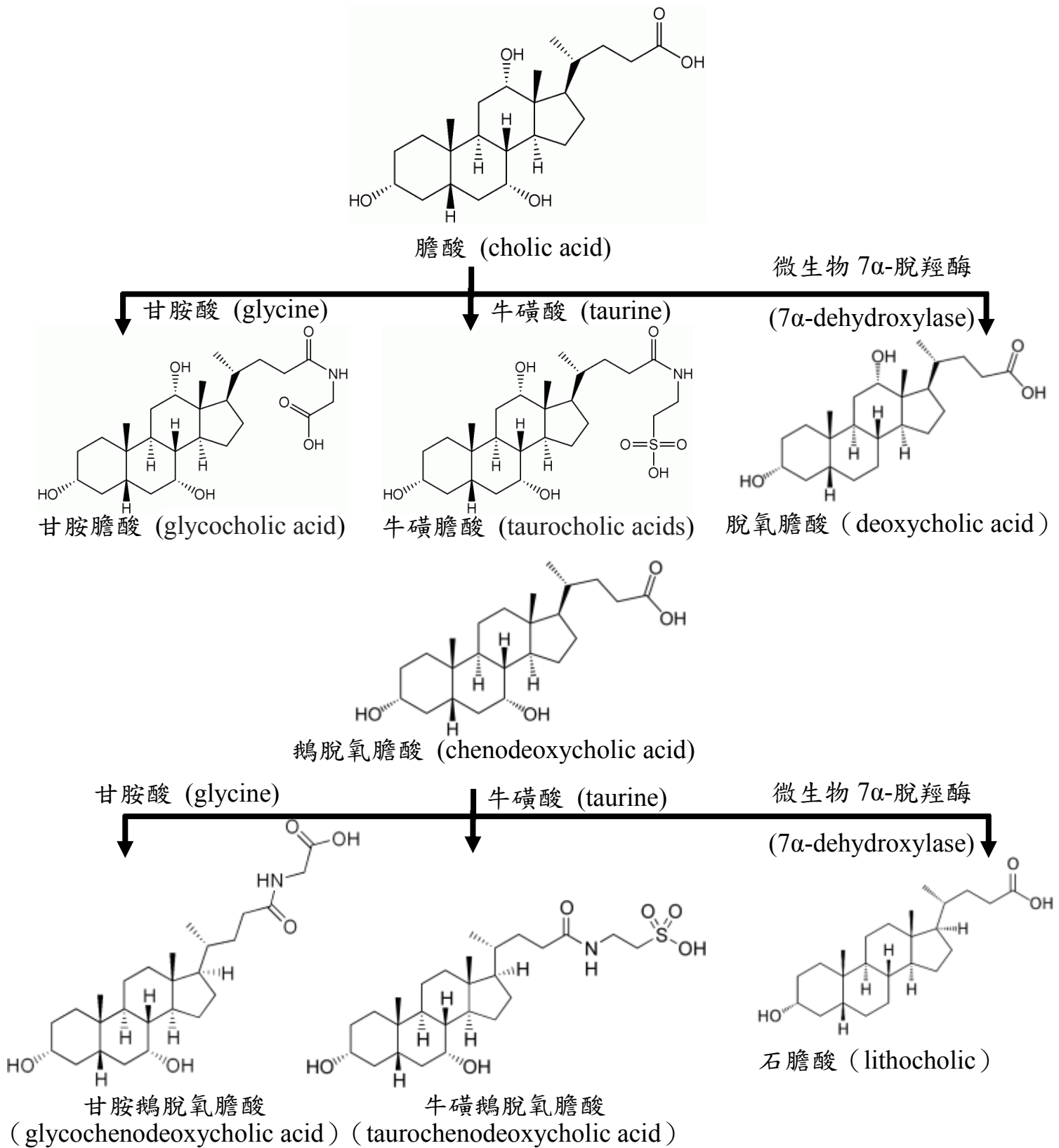


圖 2. 膽汁酸結構。

Figure 2. Bile acids structure.

bile acids)，初級膽汁酸包含膽酸及鵝脫氧膽酸，由膽固醇經肝臟直接合成，故為初級膽汁酸。而初級膽汁酸進入腸道後，經微生物 7 α -脫羥酶作用 (7 α -dehydroxylase)，得脫氧膽酸 (deoxycholic acid) 及石膽酸 (lithocholic acid)，此為次級膽汁酸。膽鹽為兩性物質，為極佳乳化劑，疏水端為固醇類，親水端為羥基及羧基離子。膽鹽與磷脂可一起乳化脂肪，增加脂肪與胰解脂酶作用之表面積，提高水解效率 (Krogdahl, 1985)。然而膽鹽的主要效果為乳化脂肪水解產物，膽鹽將水解產物從胰解脂酶作用位上去除，若水解產物未被去除，水解產物將抑制整個脂肪水解作用 (Bauer *et al.*, 2005)。根據 Patton and Carey (1981)，當缺乏膽鹽，脂肪之水解及吸收將會受影響，消化過程將延長至小腸末端。Demarne *et al.* (1982) 將大鼠膽管結紮，其對脂肪之表面吸收率降低 50%。

形成微膠粒取決於膽鹽之濃度，膽鹽濃度需超過臨界微膠濃度 (critical micellar concentration, CMC)，才可形成微膠粒。在體外，純膽鹽溶液中膽鹽之 CMC 為 2 mM。然而在體內，因可能存在內源性單酸甘油酯及磷脂，使其 CMC 為 0.75 至 1 mM (Holt, 1971)。一般來說，腸道中膽鹽之濃度不是固定，濃度會依據時間以及在小腸不同部位，而有所變化 (Bauer *et al.*, 2005)。

Northfield and McColl (1973) 及 Heaton (1985) 指出，餐後膽鹽

在十二指腸濃度會急遽上升，十二指腸濃度約為 15 mM，隨時間濃度逐漸降為 6 mM。在空腸濃度為 10 mM，進入迴腸後因主動吸收，濃度降為 4 mM。

(1) 影響因子

a. 飼糧中不同脂肪濃度

膽汁的釋出受到飼糧組成之調控。Lindsay *et al.* (1969) 指出飼糧中脂肪濃度、質量、固醇及卵磷脂濃度會影響成年公雞膽汁之釋出。將飼糧中 15% 葡萄糖替代為 15% 玉米油、鯡魚油或椰子油，經 17 日後，飼糧含玉米油或鯡魚油時糞便中膽鹽濃度提高 20%，含椰子油則膽鹽濃度降低 10%。於生長公雞，飼糧中分別含大豆卵磷質及 β -谷固醇 (β -sitosterol)，2.5 及 0.5%，增加糞便中膽鹽濃度 81 及 20%，卻減少血漿中固醇濃度。植物固醇增加糞便中膽鹽濃度之原因，可能為阻斷迴腸對膽鹽及膽固醇之重吸收 (Sklan *et al.*, 1974)。

改變飼糧組成，造成微生物菌落之改變，使膽鹽由初級膽鹽轉化為次級膽鹽。無菌雞隻及餵食抗生素之雞隻，因減少微生物對於膽鹽及解脂酶之降解，其初級膽鹽吸收飽和脂肪酸能力及能量利用效率較一般雞來得佳 (Boyd and Edwards, 1967; Cole *et al.*, 1982)。次級膽鹽會降低雞隻對於脂肪之吸收 (Hazelwood, 1967)。

b. 飼糧中添加膽鹽

有許多實驗指出在飼糧中添加膽鹽可以改善脂肪消化率，Fengler *et al.* (1988) 指出，於雛雞飼糧添加膽鹽可改善對牛油之利用。於 3 週齡雞隻，飼糧中分別添加動物性混合油及玉米油各 15%，添加混合膽鹽 0.25%，分別改善雞隻對動物性混合油 12% 之消化率及玉米油之消化率 2%，主要改善對飽和脂肪酸 C16:0 及 C18:0 之吸收 (Kussaibati *et al.*, 1982a)。Gomez and Polin (1976) 表示，於飼糧中添加 0.05% 膽鹽可改善 2 週齡雞隻對 8% 牛油之消化率。

c. 年齡

許多研究指出，雛雞消化脂肪之能力不完全，特別是對飽和脂肪 (Jin *et al.*, 1998)。Freeman (1976) 整理各類脂肪在雞隻 1 週齡至 8 週齡之消化率，牛油之消化率持續漸增至 8 週齡；年齡不太影響植物油之消化率，只有在第 1 週齡及第 2 週齡有些微較低。Scheele (1983) 指出，8 週齡至成雞，其對於動物性脂肪之消化率持續增加，且增加代謝能。Serafin and Nesheim (1970) 比較生大豆及熱處理大豆對於 2 週齡及 6 週齡雞隻膽鹽之影響，餵飼熱處理大豆對於 2 週齡及 6 週齡雞隻膽鹽含量無影響，而餵飼生大豆雖不

改變 2 週齡膽鹽之含量，但改變 6 週齡膽鹽之含量，此表示幼雞在需要提高膽鹽含量時，無法增加合成量。

在人類，新生兒對於脂肪的消化功能是不成熟，除了母乳之外的其它脂肪，可能造成消化上之干擾。膽鹽之分泌量低於成人 (Watkins *et al.*, 1973)，迴腸似乎也缺少對於膽鹽之重吸收能力 (Little and Lester, 1978; Lester, 1979)。

(二) 吸收

脂肪水解產物，透過滲透方式被黏膜細胞吸收，其主要機制是靠高濃度水解產物在黏膜細胞內外之濃度位差。這種位差之形成，主要是靠細胞質中脂肪酸結合蛋白質 (fatty acid binding protein; FABP)，或稱 α -蛋白質 (α -protein)，具高度親和力，可快速的將脂質水解產物帶至內質網，進行再酯化作用 (re-esterification)。

有許多研究指出 (Hurwitz *et al.*, 1973; Whitehead and Fisher, 1975)，空腸為雞隻主要吸收脂肪之部位，迴腸為吸收亞麻仁油酸、硬脂酸及棕櫚油酸重要部位。Sklan *et al.* (1979) 指出，在雞隻十二指腸可吸收油酸，但也有可能是雞隻腸道中食糜逆行的關係 (Ogeno and Ikeda, 1974)。Dziuk and Duke (1972) 觀察到，火雞小腸中的食糜，每小時會回推至砂囊 2 至 4 次。

Sklan *et al.* (1974) 已觀察到，膽鹽在十二指腸及空腸以被動擴散之方式重吸收，且兩個部位之吸收速率相似，而後在迴腸則以主動

運輸。雞隻與火雞以十二指腸及空腸為主要吸收膽鹽之部位 (Sklan *et al.*, 1979; Sklan, 1980)。因此在家禽脂肪與膽鹽之吸收部位有重疊 (Krogdahl, 1985)。

脂肪是被動方式通過刷狀緣，其速率受脂肪酸鏈長及脂肪酸飽和度所影響。進入細胞質與 FABP 結合，其親合力在不飽和脂肪酸比飽和脂肪酸來得佳，而中鏈脂肪酸及短鏈脂肪酸不需與 FABP 結合 (Ockner *et al.*, 1972; Ockner and Manning, 1974)。在雞隻，FABP 在小腸前端濃度最高，而小腸末端則減少 (Katongole and March, 1979)。Katongole and March (1980) 指出，小腸黏膜 FABP 之濃度隨腸道中膽鹽增加而增加，反之減少。

在家禽，三酸甘油酯的再酯化作用 (re-esterification) 涉及兩種途徑，單酸甘油酯途徑及甘油-3-磷酸途徑，新形成之三酸甘油酯隨即併入脂蛋白。因家禽缺乏淋巴系統，故再酯化後產生之三酸甘油酯與卵磷脂及膽鹼形成肝門球 (portomicron) 進入肝門靜脈 (portal vein)，運輸送至肝臟中進一步代謝。

而短 (碳數少於 6) 或中鏈脂肪酸 (碳數介於 6-12) 與游離態甘油，則可直接以擴散方式由小腸黏膜細胞吸收，進入肝門靜脈，運送至肝臟中被利用。

1. 脂肪酸結合蛋白質

FABP 存在於小腸黏膜，濃度隨小腸前段至小腸末段而減少，濃度越高脂肪水解產物吸收越快。

(1) 影響因子

a. 飼糧中不同脂肪濃度

FABP 濃度受飼糧中脂肪及膽鹽濃度之影響。3週齡雞隻，高脂飼糧或低脂飼糧添加 0.05% 牛磺膽鹽，低脂飼糧提高 FABP 濃度 5 倍，高脂飼糧，則可提高 6 倍之 FABP 濃度 (Katongole and March, 1980)。FABP 在腸道黏膜細胞之變化與脂肪吸收之結果一致。

b. 年齡

許多作者指出，家禽 FABP 濃度也受年齡所影響，肉雞腸道 FABP 濃度隨週齡增加至 5 週齡，火雞腸道 FABP 濃度隨週齡增加至 6 週齡 (Katongole and March, 1980; Sell *et al.*, 1986)。

Katongole and March (1980) 發現，肉雞對動物性脂肪之利用，隨腸道 FABP 濃度增加，而利用性提高。Cera *et al.* (1988) 及 Reinhart *et al.* (1992) 亦發現，仔豬離乳後 1 至 2 週，FABP 活性較低，但對飼糧中脂肪之吸收隨年齡增加而提高，與 FABP 活性逐漸提高有關。

五、 飼糧中添加不同含量脂肪對腸道部位脂肪水解及吸收之影響

雞隻腸道之分界不明確，在小腸中從砂囊末端至迴盲交界處分為十二指腸、空腸及迴腸，三者部位尚無明顯之分界處，而膽管大約位於十二指腸末端，梅克爾憩室 (Meckel's diverticulum, MD) 則為小腸表面上之突起物。大多數研究都是以 MD 及迴盲交界處，作為腸道分段之依據，空腸及迴腸分界處以 MD 為分界處，迴腸末段則以迴盲交接處為分界處 (Hurwitz *et al.*, 1973; Sklan *et al.*, 1975; Honda *et al.*, 2009; Tancharoenrat *et al.*, 2014)。目前已知有些動物含有十二指腸前解脂酶，包含：老鼠、小牛、羊、豚鼠、馬、兔子、猴子、狗、豬及人類 (DeNigris *et al.*, 1988; Moreau *et al.*, 1988; Gargouri *et al.*, 1989; Engstrom *et al.*, 1968; Clark *et al.*, 1969; Newport and Howarth, 1985)，然而並沒有報告指出禽類含有十二指腸前解脂酶。在人類、豬或老鼠，十二指腸為主要水解脂肪，次要為胃(水解率 10-30%) (Armand *et al.*, 1994; Levy *et al.*, 1982; Helander and Olivecrona, 1970; Drackley, 2000)。Laws and Moore (1963) 將雞隻小腸分為三段，十二指腸、空腸及迴腸，測定胰解脂酶，胰解脂酶活性在十二指腸較高，其次為空腸。

Booth *et al.* (1961 a, b) 指出，空腸為人類及大鼠吸收脂肪主要區

域，而增加飼糧中脂肪含量會增加空腸吸收能力，剩餘脂肪會延後至迴腸吸收。Honda *et al.* (2009) 於酪蛋白及玉米澱粉為主之飼糧中添加 3、5、8 或 10% 之牛油，並將蛋雞腸道分為空腸前及末段、迴腸前及末段及結腸，結果顯示，僅在空腸前段，10% 牛油組之脂肪之消化率較低，此顯示飼糧中脂肪含量較高，可能會延遲脂肪在腸道中之吸收，而空腸末段之後皆無差異，且脂肪吸收最活躍部位為空腸。黃 (2017) 於肉雞半純化飼糧中添加 0、2、4、6 或 8% 之大豆油，以真消化率表示時，飼糧中脂肪含量並不影響脂肪酸在腸道中之吸收部位，皆以十二指腸及空腸前端為主要吸收部位。

Hulan and Bird (1972) 於公雞飼糧中含 14.6% 及 4.5% 之脂肪，在高脂飼糧中造成胰解脂酶含量上升，但可能不足以水解高脂飼糧，使得脂肪水解部位往後推延。Lindsay (1969) 指出公雞飼糧中含 0% 及 15% 之脂肪，糞便中膽酸含量隨飼糧中脂肪含量之增加而提高，但提高之程度可能不足所需。可能飼糧中脂肪含量較高時，解脂酶及 (或) 膽鹽會提高補足空腸前端不足所需。Krogdahl (1985) 指出，膽酸為脂肪吸收之限制因素。

材料與方法

一、 試驗設計

200 隻羅斯 (Ross) 雛肉雞，飼養於開放式平飼雞舍中，飼予以玉米及大豆粕為主配成之實用飼糧，營養分含量參照 NRC (1994) 肉雞營養標準，組成如表 2 所示。於 24 日齡時，選體重近平均值雞隻 160 隻，逢機分配至 5 處理組，每處理 4 重複，每重複 8 隻。

二、 試驗飼糧

試驗飼糧以大豆濃縮蛋白及葡萄糖為主配成之五種半純化無脂飼糧，分別為添加 (1) 0；(2) 2；(3) 4；(4) 6；(5) 8% 大豆油。試驗飼糧營養分含量參照 NRC (1994) 肉雞營養標準，其添加大豆油時，以大豆油取代等量的葡萄糖，充分混勻。組成如表 3 所示。

三、 雞隻飼養管理及採樣

雞隻飼養於開放式平飼雞欄 (2.98 m × 1.47 m) 中，以稻穀為墊料，架設紅外線保溫燈，使雞隻處於適溫下，24 小時給予照明。達 35 日齡時結束。

表 2. 實用飼糧組成

Table 2. Composition of practical diets (day 0-23)

Age, day	0-17	18-23
Ingredient, %		
Corn yellow dent	51.22	58.80
Dehulled soybean meal (47% CP)	40.00	33.00
Sodium chloride	0.35	0.35
Soybean oil	4.50	4.49
Monocalcium phosphate	1.65	1.21
Calcium carbonate	1.63	1.60
Choline chloride (75%)	0.15	0.15
DL-Methionine	0.18	0.08
Vitamin premix ¹	0.15	0.15
Mineral premix ²	0.05	0.05
Butylated hydroxytoluene	0.02	0.02
Ultra-amprocci powder ³	0.10	0.10
Calculated values		
Crude protein, %	23.16	20.41
ME, kcal/kg	3340.31	3384.34

¹Provided per kilogram of diet: vitamin A, 12,000 IU; vitamin D₃, 2,000 IU; vitamin E, 40 IU; vitamin K₃, 4 mg; vitamin B₁, 1.5 mg; vitamin B₂, 5 mg; vitamin B₆, 4 mg; vitamin B₁₂, 0.05 mg; niacin, 25 mg; pantothenic acid, 16 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 0.2 mg.

²Provided per kilogram of diet: Fe, 150 mg; Mn, 40 mg; Zn, 100 mg; Cu, 20 mg; Se, 0.3 mg; I, 1 mg; Co, 0.3 mg.

³Per kilogram contains 250 gram amprolium and 16 gram ethopabate.

表 3. 試驗飼糧組成 (24-35 日齡)

Table 3. Composition of experimental diets (day 24-35)

Soybean oil, %	0	2	4	6	8
Ingredients, %					
Glucose	67.00	65.00	63.00	61.00	59.00
Soybean protein (80% CP)	24.50	24.50	24.50	24.50	24.50
Cellulose	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Soybean oil	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00
Sodium chloride	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Limestone	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
Monocalcium phosphate	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Choline chloride (75%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
DL-methionine	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Titanium oxide	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Vitamin premix ¹	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Mineral premix ²	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Calculated values					
Crude protein, %	21.19	21.19	21.19	21.19	21.19
ME, kcal/kg	3363.3	3464.68	3565.7	3666.9	3768.1
Analyzed values					
Crude protein, %	21.02	21.06	21.06	21.07	21.10
Total fatty acid (TFA), %	0.21	1.87	4.13	5.39	6.51
% of TFA					
C16:0	27.92	14.29	13.44	13.27	13.25
C18:0	11.73	5.03	5.08	5.04	4.99
C18:1	17.60	26.54	24.83	24.95	24.99
C18:2	42.74	54.13	56.64	56.74	56.77

¹Provided per kilogram of diet: vitamin A, 12,000 IU; vitamin D₃, 2,000 IU; vitamin E, 40 IU; vitamin K₃, 4 mg; vitamin B₁, 1.5 mg; vitamin B₂, 5 mg; vitamin B₆, 4 mg; vitamin B₁₂, 0.05 mg; niacin, 25 mg; pantothenic acid, 16 mg; folic acid, 1 mg; biotin, 0.2 mg.

²Provided per kilogram of diet: Fe, 150 mg; Mn, 40 mg; Zn, 100 mg; Cu, 20 mg; Se, 0.3 mg; I, 1 mg; Co, 0.3 mg.

於 24 日齡時分組，分組後開始逐漸換料，替換玉米-大豆粕實用飼糧為試驗飼糧，至 29 日齡時全部替換。第 29-35 日齡期間，於飼糧中添加 0.5% 二氧化鈦作為測定消化率之指示劑。

於 34 日齡晚上開始禁食 16 小時，接著於 35 日齡開始任飼，經 3 小時後，以氯化鉀 (KCl, 20%, 1 mL) 注射翼靜脈犧牲。取出消化道，分為七段且結紮：

1. 十二指腸 (duodenum, D)：十二指腸迴路 (duodenum loop)。
2. 空腸 (jejunum, J)：十二指腸末端至梅克爾憩室 (Meckel's diverticulum, MD)，分成三等份，分別為前 (J1)、中 (J2) 及後段 (J3)。
3. 迴腸 (ileum, I)：MD 至迴盲交界處 (ileo-cecal junction)，分成三等份，分別為前、中及後段。

七段腸道分別以蒸餾水沖洗收集各段腸道內容物，將每欄雞隻腸道內容物合併，立即放入碎冰中冰鎮後，以 -20°C 冷凍保存，以備測定雞隻各段腸道內容物脂肪水解率及單酸甘油酯、三酸甘油酯、游離脂肪酸之消化率、各個脂肪酸流量及各個脂肪酸消失量。

四、 樣品分析

(一) 酸水解脂肪

參考 Operation manual Extraction Unit E-816 HE (2009) (Extraction Unit E-816 HE, BUCHI, Switzerland) 所述之方法。於 250 mL 燒杯秤樣品 0.1 g，並加入 100 mL HCl (4 M) 及 3~4 顆沸石。將表玻璃蓋於燒杯上，於加熱攪拌器上加熱至沸騰，沸騰後，酸水解 30 分鐘。酸水解完成後，使用濾紙 (Schleicher & Schuell, 595 1/2, diameter 150 mm, Whatman, Germany) 過濾。使用 100 mL 沸騰去離子水沖洗濾紙及玻璃漏斗，使濾紙達至中性。濾紙成中性後，放入烘箱 102°C，45 分鐘後取出回溫，待萃取。

(二) 粗脂肪萃取

參考 Operation manual Extraction Unit E-816 HE (2009) (Extraction Unit E-816 HE, BUCHI, Switzerland) 所述之方法。於萃取杯中放入沸石 (3 - 4 顆) 後快速秤重並記錄。秤取樣品或酸水解處理後之樣品，置於圓筒濾紙 (Paper thimbles, 33×80, 15220030, FOSS, Sweden) 中。加入 100 mL 乙醚於萃取杯中，將圓筒濾紙依序置於萃取杯上方 holder。脂肪萃取機設定 (2055 SOXTEC, FOSS, Sweden)：溫度為 80°C，設定萃取、潤洗、風乾及乾燥之所需時間分別為 1:30、2:00、0:20、0:15 分鐘。萃取後取出萃取杯置於抽風櫃，確定無乙醚

殘留。放入烘箱 102°C，30 分鐘後，置於乾燥皿平衡（約 30 分鐘）後秤重。計算酸水解粗脂肪含量。另外，以 4 mL 氯仿回溶萃取杯內粗脂肪，以備薄層色層分析。

(三) 薄層色層分析法

將待分離樣品點樣於矽膠板 (TLC silica gel-60 F₂₅₄, Merck Chemical Co., Darmstadt, Germany) 上後置於展開槽，以展開液 [petroleum ether: ethyl ether (60:40)，外加 1.6% formic acid] 展開。待展開完畢，將矽膠板取出，置於抽氣櫃中，使用氮氣吹乾。於 UV 燈 254 nm 下，圈出單酸甘油酯 (MG)、三酸甘油酯 (TG) 及游離脂肪酸 (FFA)，分別刮取後置入離心管，加入 5 mL chloroform:methanol: water (5: 5: 1, v/v/v) 溶液，混勻過濾，於濾液中加入 4.5 mL 氯仿及 2.0 mL 0.05 M tris buffer，混合使其分離，將上層液丟棄，下層液以氮氣吹乾。待脂肪酸組成測定。

(四) 脂肪酸組成測定

依照 Sukhija and Palmquist (1988) 之方法，取適量之飼料及腸道內容物，添加 pentadecanoic acid (C15:0) (Matreya, Inc., U.S.A) 作為內標 (internal standard)，使用 benzene，methanolic HCl 及 K₂CO₃ 將樣品中脂肪酸甲基化，再以氣相層析儀 (Trace GC ultra, Thermo,

Finland) 定量樣品中脂肪酸。樣品注入分離管柱毛細管 (Rtx-2330, Restek, USA) (長 30 m, ID 0.32 mm), oven、injector 及 detector 溫度分別為 160-200°C (3°C/min)、250°C 及 260°C。移動相氣體為 N₂ 流速為 3 ml/mm、split ratio 10:1, 藉由與已知量 C15:0 之比例, 計算總脂肪酸及個別脂肪酸含量。

(五) 二氧化鈦濃度測定

飼料及各段腸道部位內容物樣品中鈦濃度之分析, 依 Short et al. (1996) 所述之方法。取適量樣品置於坩鍋中, 於 600°C 灰化 13 小時。冷卻後, 加入 10 mL 7.4 M 硫酸至坩鍋內, 緩緩加熱至沸騰後, 繼續加熱直到液體澄清 (從室溫加熱至澄清, 時間約 2 小時)。冷卻後, 倒入含有 25 mL 蒸餾水的燒杯中, 過濾至 100 mL 定量瓶。以分光光度計 (Hitachi U-2000, Japan) 於波長 410 nm 下測定吸光度。

五、 數據計算

(一) 各腸道部位各個脂肪酸表面流量 (apparent flow)

參考 Urriola and Stein (2010) 方法, 以指示劑計算脂肪酸表面流量: 各段腸道脂肪酸表面流量 (g/kg of DMI)=

$$\text{各段腸道乾物質中脂肪酸含量} \times \left(\frac{\text{飼糧乾物質中鈦含量}}{\text{各段腸道乾物質中鈦含量}} \right)$$

並將飼糧中添加 2-8% 大豆油之各段腸道脂肪酸流量，扣除飼糧添加 0%大豆油之各段腸道脂肪酸流量，可得各段腸道脂肪酸真流量 (true flow)。

(二) 各腸道部位各個脂肪酸表面消失量 (apparent disappearance)

參考 Jaworski and Stein (2017) 方法，以指示劑計算脂肪酸表面消失量：

$$D \text{ 各個脂肪酸消失量 (g/kg of DMI) =}$$

$$\text{飼糧各個脂肪酸含量} - J1 \text{ 各個脂肪酸流量}$$

$$J1 \text{ 各個脂肪酸消失量 (g/kg of DMI) =}$$

$$D \text{ 各個脂肪酸流量} - J2 \text{ 各個脂肪酸流量}$$

$$J2 \text{ 各個脂肪酸消失量 (g/kg of DMI) =}$$

$$J1 \text{ 各個脂肪酸流量} - J3 \text{ 各個脂肪酸流量}$$

$$J3 \text{ 各個脂肪酸消失量 (g/kg of DMI) =}$$

$$J2 \text{ 各個脂肪酸流量} - I1 \text{ 各個脂肪酸流量}$$

$$I1 \text{ 各個脂肪酸消失量 (g/kg of DMI) =}$$

$$J3 \text{ 各個脂肪酸流量} - I2 \text{ 各個脂肪酸流量}$$

$$I2 \text{ 各個脂肪酸消失量 (g/kg of DMI) =}$$

$$I1 \text{ 各個脂肪酸流量} - I3 \text{ 各個脂肪酸流量}$$

並將飼糧中添加 2-8%大豆油之各段腸道脂肪酸表面消失量，扣除飼糧添加 0%大豆油之各段腸道脂肪酸表面消失量，可得各段腸道脂肪酸真消失量 (true disappearance)。

(三) 脂肪水解率

以各段腸道部位中 TG、MG 及 FFA 含量相加，FFA 佔其比例，求出各腸道部位中脂肪水解率：

$$\text{脂肪水解率 (\%)} = 100 \times \left(\frac{\text{腸道乾物質中 FFA 含量}}{\text{腸道乾物質 TG 中 FFA 含量} + \text{MG 中 FFA 含量} + \text{FFA 含量}} \right)$$

(四) 表面消化率

以飼糧及各段腸道部位中脂肪酸濃度與鈦濃度之比，求出各腸道部位中脂肪酸之表面消化率：

$$\text{表面消化率 (\%)} = 100 - 100 \times \left(\frac{\text{飼糧鈦濃度 (\%)} \times \text{各腸道部位內容物脂肪酸濃度 (\%)}}{\text{各腸道部位內容物鈦濃度 (\%)} \times \text{飼糧脂肪酸濃度 (\%)}} \right)$$

(五) 真消化率

參考 Stein *et al.* (2007) 方法，以指示劑計算真消化率步驟如下：先求得各段腸道內源性脂肪酸流量：

各段腸道內源性脂肪酸流量 (g/kg of DMI) =

$$\text{各段腸道乾物質中脂肪酸含量} \times \left(\frac{\text{無脂飼糧乾物質中鈦含量}}{\text{各段腸道乾物質中鈦含量}} \right)$$

求得各段腸道內源性脂肪酸流量後，帶入下列公式，求得脂肪酸真消化率。脂肪酸真消化率 (%) =

$$\text{脂肪酸表面消化率} + \left[\left(\frac{\text{各段腸道內源性脂肪酸流量}}{\text{飼糧乾物質中脂肪酸含量}} \right) \times 100 \right]$$

(六) 統計分析

各腸道部位數據以混合程序 (Proc Mixed) 進行統計分析，選用複合對稱結構 (compound symmetry, CS)，無結構(unstructured, UN) 及一階自動回歸結構 (autoregressive order one, AR [1]) 方式定義，並選取擬合統計量 BIC (Schwartz's Bayesian criterion) 絕對值最低者為準 (李等，2012)，統計模式為處理效應、腸道部位效應及兩者間交互作用。如處理效應顯著 (P<0.05)，則以最小平方差異法 (least square difference, LSD)，測定各處理間之差異。

結果

一、內源性脂肪酸

肉雞各腸道部位之內源性脂肪酸產生量，如表 4 所示。表 4 中以兩種方法測得各腸道部位各個脂肪酸之內源性產生量，為無脂飼糧 (fat-free diet) 法；及直線迴歸 (linear regression) 法。直線迴歸法測得之各腸道部位內源性脂肪酸產生量幾乎都較無脂飼糧法低。無脂飼糧法及直線迴歸法分別測得之內源性脂肪產生量從 D (7.93 vs. 4.11 g/kg DMI) 開始減少，至 I1 有最少量 (0.19 vs. 0.02 g/kg DMI)。

肉雞各腸道部位之內源性總脂肪酸產生量及其脂肪酸組成，如表 5 所示。無脂飼糧法及直線迴歸法測得之內源性總脂肪酸產生量及其脂肪酸組成相似。各腸道部位之主要內源性脂肪酸是以 C16:0、C18:0 之 SFA 為主，C18:1 及 C18:2 之 USFA 為次要。

表 4. 肉雞各腸道部位內源性脂肪酸產生量 (無脂飼糧及直線迴歸法)

Table 4. Endogenous fatty acids secretion in different intestinal section of broiler chickens (fat-free diet and linear regression methods)

Intestinal section ¹	D	J1	J2	J3	I1	I2	I3
Fat-free diet method, g/kg DMI ³							
TFA ²	7.93	2.06	1.28	0.40	0.19	0.19	0.28
C16:0	2.49	0.63	0.34	0.12	0.07	0.07	0.09
C18:0	2.74	0.92	0.46	0.12	0.05	0.05	0.08
C18:1	1.48	0.22	0.17	0.06	0.03	0.03	0.05
C18:2	1.11	0.25	0.30	0.11	0.03	0.03	0.03
SFA ²	5.23	1.55	0.80	0.24	0.12	0.12	0.17
USFA ²	2.71	0.51	0.48	0.16	0.07	0.07	0.11
Linear regression method, g/kg DMI ³							
TFA ²	4.11	1.56	1.14	0.35	0.02	0.16	0.14
C16:0	1.28	0.47	0.31	0.10	0.01	0.06	0.05
C18:0	1.43	0.69	0.40	0.10	0.01	0.04	0.04
C18:1	0.76	0.17	0.15	0.05	0.00	0.02	0.02
C18:2	0.58	0.20	0.27	0.09	0.00	0.02	0.01
SFA ²	2.72	1.16	0.71	0.21	0.01	0.10	0.09
USFA ²	1.40	0.40	0.43	0.15	0.01	0.06	0.05

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third section of jejunum; I1 to I3: first to third section of ileum.

²TFA: total fatty acids; SFA: saturated fatty acids (C16:0 + C18:0); USFA: unsaturated fatty acids (C18:1 + C18:2).

³DMI: dry matter intake.

表 5. 肉雞各腸道部位之內源性總脂肪酸產生量及其脂肪酸組成 (無脂飼糧、直線迴歸法)

Table 5. Endogenous fat secretion and its fatty acids composition in different intestinal section of broiler chickens (fat free diet and linear regression methods)

Intestinal section ¹	D	J1	J2	J3	I1	I2	I3
	————— Fat-free diet method, g/kg DMI ³ —————						
TFA ² , g/kg DMI ³	7.93	2.06	1.28	0.40	0.19	0.19	0.28
Fatty acid composition, %							
C16:0	31.83	31.30	26.81	29.21	38.85	39.93	36.97
C18:0	35.07	45.26	36.25	30.34	28.25	27.58	30.03
C18:1	18.90	10.89	13.10	14.02	16.38	15.78	20.38
C18:2	14.20	12.55	23.85	26.43	16.52	16.71	12.61
	————— Linear regression method, g/kg DMI ³ —————						
TFA ² , g/kg DMI ³	4.11	1.56	1.14	0.35	0.02	0.16	0.14
Fatty acid composition, %							
C16:0	31.68	30.92	27.32	29.17	37.81	40.49	38.44
C18:0	35.33	44.82	35.75	29.99	28.86	28.29	31.12
C18:1	18.77	11.14	13.11	14.28	16.13	15.56	18.54
C18:2	14.22	13.11	23.82	26.57	17.20	15.65	11.91

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third section of jejunum; I1 to I3: first to third section of ileum.

²TFA: total fatty acids (C16:0 + C18:0+ C18:1 + C18:2).

³DMI: dry matter intake.

肉雞各腸道部位之內源性脂肪酸消長情況，如圖 3 及 4 所示。

圖 3 為無脂飼法，圖 4 為直線迴歸分析法測得之各腸道部位內源性脂肪酸產生比例。在各腸道部位中，內源性脂肪酸含量增減情況起伏不大，表示各個內源性脂肪酸在不同腸道部位中之消長相似。

二、 脂肪水解率

飼糧中添加不同含量大豆油對脂肪於腸道各部位之各個脂肪酸及 TFA 水解率之影響，如表 6 及圖 5 所示。除了 0% 大豆油組外，2、4、6 及 8% 大豆油組之脂肪水解率於 D 已達最高峰。各處理間於 J1 後皆無顯著差異 ($P>0.05$)。此顯示，脂肪水解率不受飼糧中脂肪含量之提高所影響。

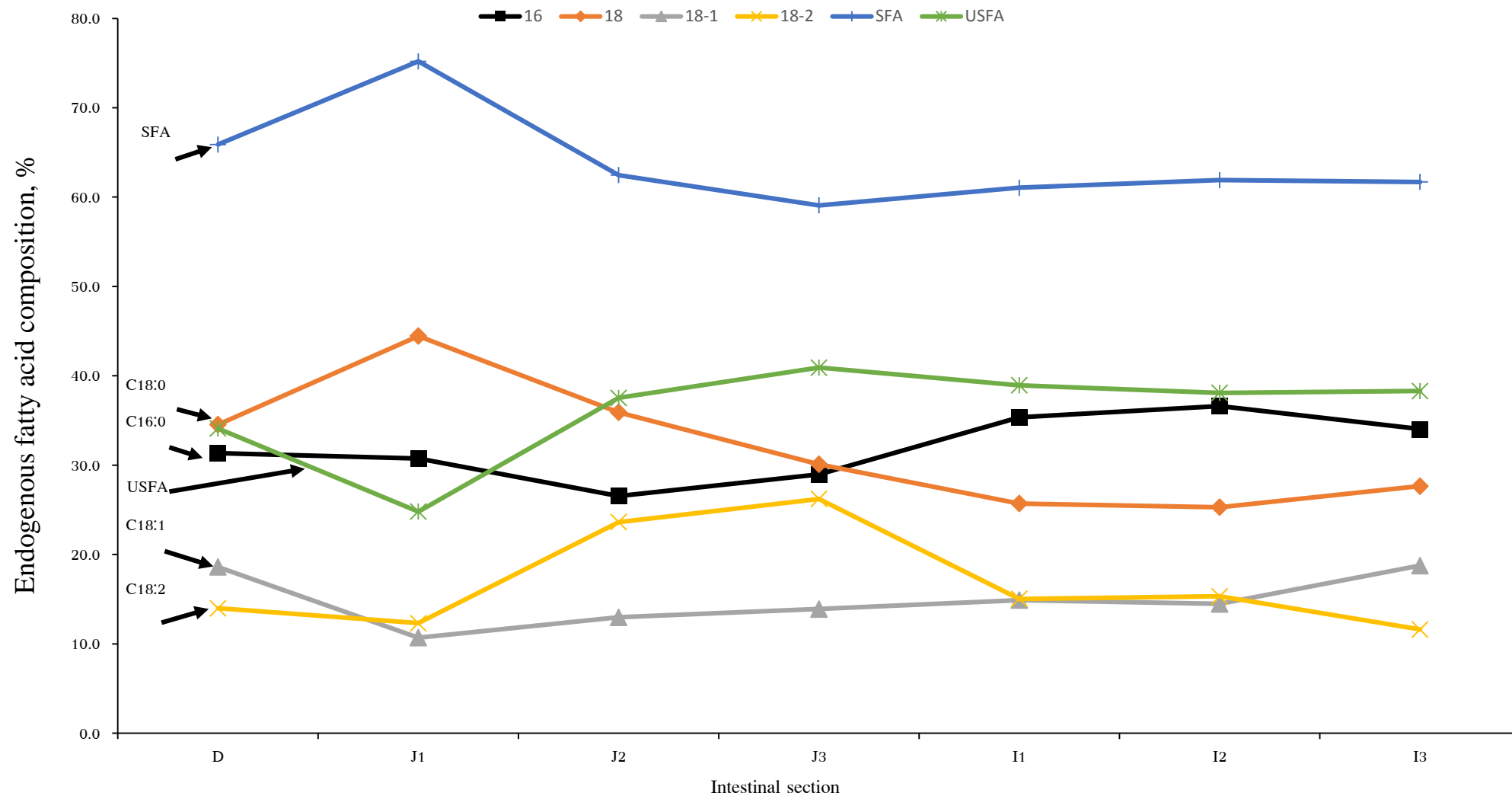


圖 3.肉雞各腸道部位各個內源性脂肪酸所佔比例 (無脂飼糧法)。

Figure 3. Composition of endogenous fatty acids secretion in different intestinal section of broiler chickens (fat-free diet method).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

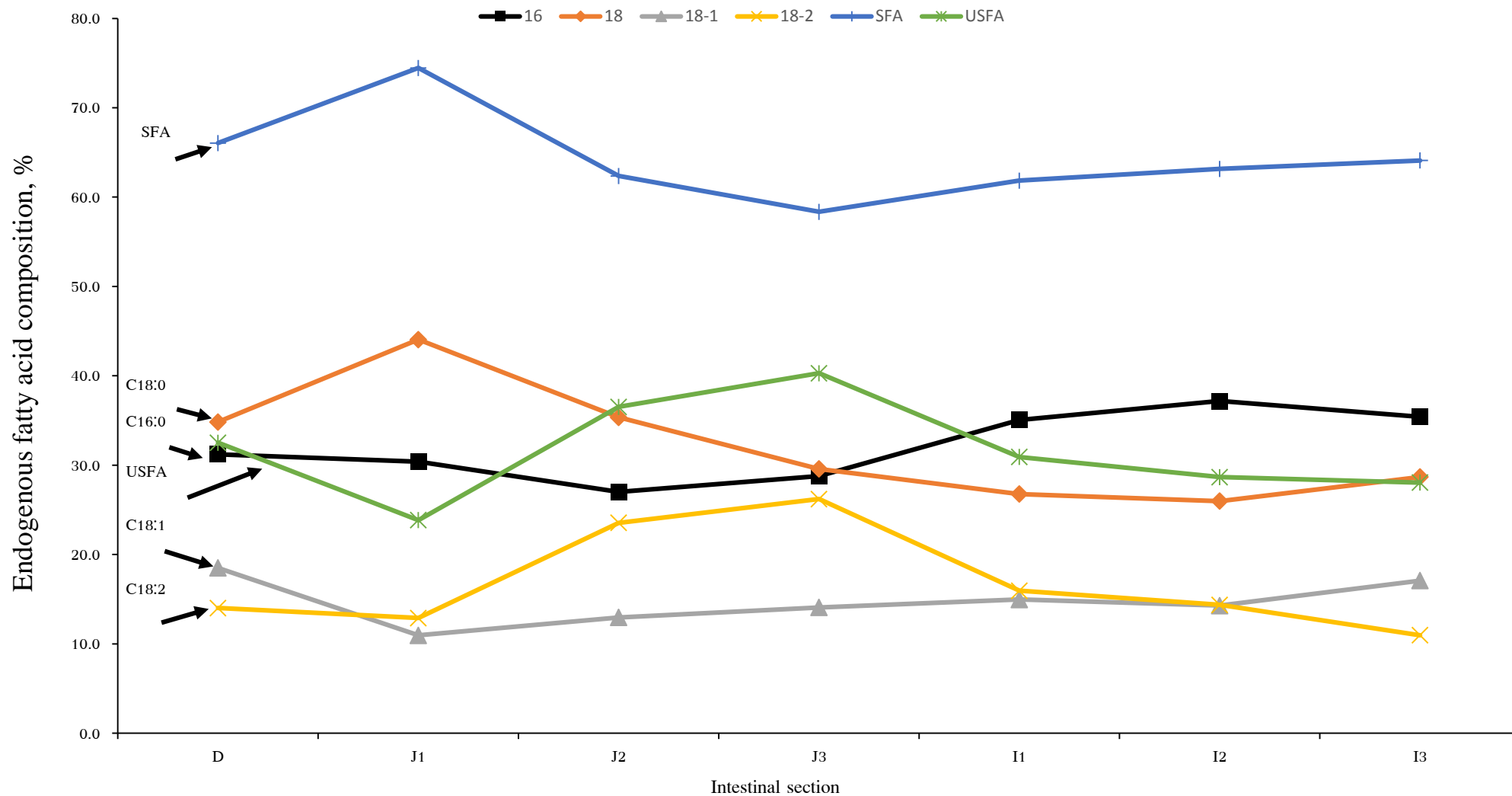


圖 4.肉雞各腸道部位各個內源性脂肪酸所佔比例 (直線迴歸法)。

Figure 4. Composition of endogenous fatty acids secretion in different intestinal section of broiler chickens (linear regression method).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

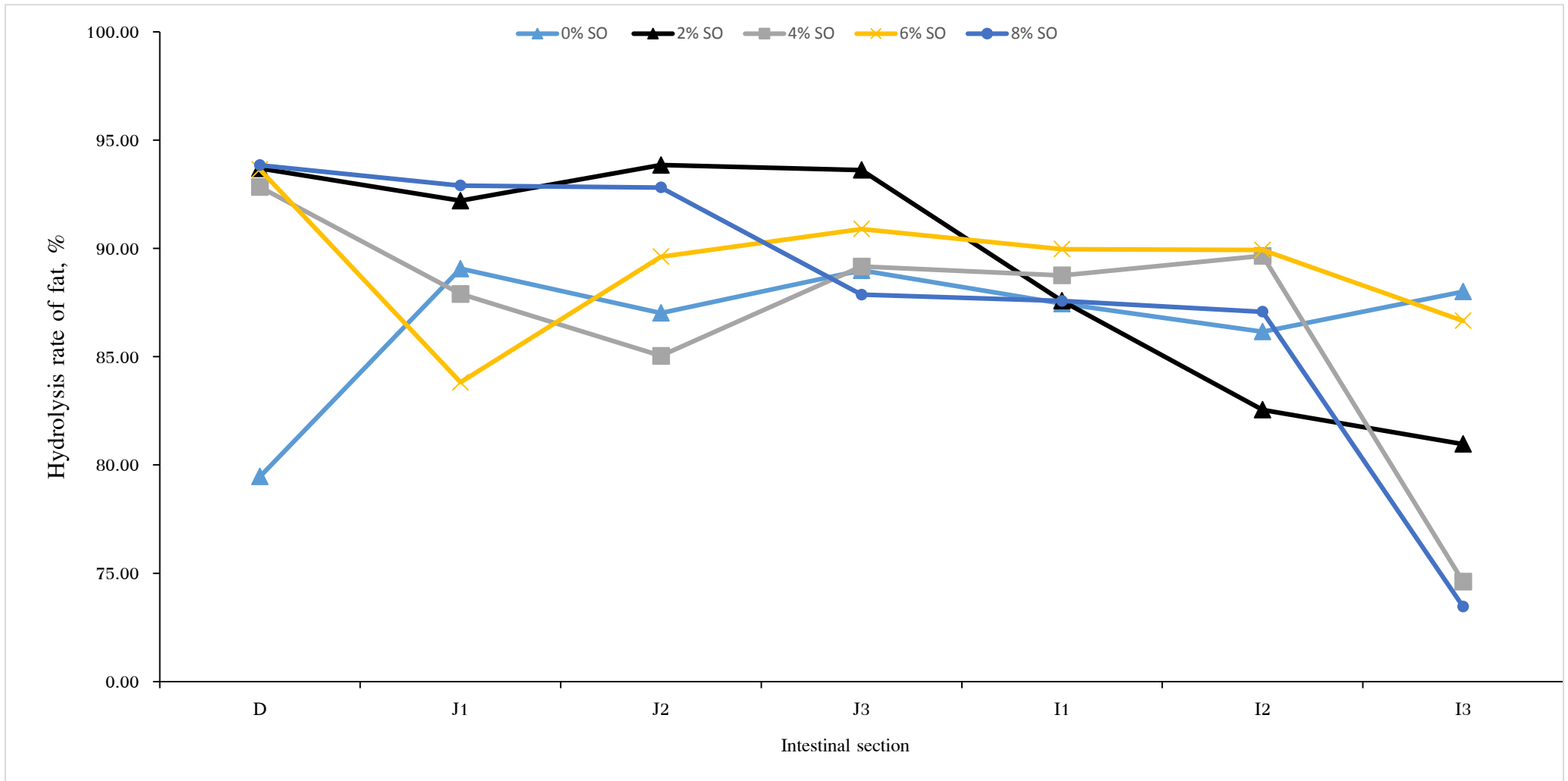


圖 5. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中脂肪水解率之影響。

Figure 5. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on hydrolysis rate of fat in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P=0.72$ (SEM=1.78); section effect: $P<0.01$ (SEM=1.99); treatment \times section effect: $P=0.26$ (SEM=4.33).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

表 6-1. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中脂肪及各個脂肪酸水解率 (%) 之影響

Table 6-1. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on hydrolysis rate (%) of fat and each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, %	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA
0	D	79.95	77.13	77.23	84.87	78.71	81.20	79.46
	J1	85.14	88.50	93.80	95.87	87.20	94.47	89.06
	J2	85.51	86.69	85.69	90.32	86.33	88.24	87.02
	J3	85.94	84.82	92.49	96.29	85.53	93.79	88.99
	I1	84.19	85.30	90.11	90.17	86.95	88.42	87.45
	I2	85.18	85.99	89.85	89.87	85.52	87.42	86.15
	I3	86.79	87.70	93.41	92.90	87.20	90.25	88.01
2	D	93.85	95.13	91.18	92.10	94.47	91.51	93.69
	J1	90.30	91.64	92.78	96.71	90.78	94.73	92.20
	J2	92.88	93.34	93.95	94.94	93.14	94.56	93.85
	J3	92.52	92.56	94.81	95.46	92.54	94.72	93.62
	I1	85.27	85.49	89.74	90.89	85.37	89.95	87.58
	I2	81.61	81.19	83.58	85.87	81.47	83.67	82.55
	I3	78.47	79.53	83.89	85.77	78.94	83.69	80.97
4	D	93.43	96.38	92.75	93.26	94.15	92.82	92.83
	J1	86.12	89.46	90.45	93.61	90.65	89.45	87.90
	J2	85.59	89.80	86.26	88.37	86.85	87.55	85.04
	J3	90.18	93.20	89.93	92.23	90.06	91.34	89.16
	I1	88.76	88.62	93.13	93.96	88.70	93.66	88.76
	I2	89.66	89.65	93.65	92.85	89.66	92.82	89.66
	I3	75.21	74.76	81.41	81.89	74.43	81.83	74.62
6	D	94.19	94.26	95.09	93.55	93.69	93.57	93.64
	J1	83.12	83.09	85.79	85.66	82.66	84.91	83.82
	J2	83.84	86.89	88.67	90.21	88.89	90.10	89.62
	J3	89.14	87.07	91.50	92.31	89.65	91.83	90.90
	I1	90.29	86.30	90.09	89.87	89.81	90.11	89.97
	I2	89.30	87.46	89.75	90.28	89.58	90.29	89.93
	I3	85.22	88.54	87.29	86.89	86.59	86.81	86.66

表 6-2. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中脂肪及各個脂肪酸水解率 (%) 之影響

Table 6-2 . Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on hydrolysis rate (%) of fat and each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, %	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA
8	D	92.77	94.90	93.65	93.75	93.73	93.82	93.85
	J1	91.39	92.72	93.84	93.40	92.00	93.63	92.90
	J2	90.94	89.72	93.11	94.42	91.85	93.55	92.81
	J3	87.40	85.96	88.12	88.39	87.88	87.85	87.86
	I1	87.17	83.59	88.60	88.78	86.79	88.16	87.57
	I2	86.42	86.73	89.21	89.72	86.56	88.55	87.07
	I3	75.32	68.25	72.05	78.02	72.10	74.52	73.46
Pooled SEM		4.32	5.65	4.88	4.26	4.66	4.22	4.33
Significance								
Fat %		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Intestinal section		**	*	NS	NS	**	*	**
Fat % × intestinal section		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third part of jejunum; I1 to I3: first to third part of ileum.

NS: not significant; * $P = 0.05$; ** $P < 0.01$.

三、 脂肪酸消化率

(一) 各腸道部位之脂肪酸表面消化率

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 C16:0 表面消化率之影響，如圖 6a 所示。於 D、J1 及 J2 中，0% 大豆油組 C16:0 之表面消化率較其它組低 ($P<0.05$)。至 J3 後各處理組間表面消化率相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 C18:0 表面消化率之影響，如圖 6b 所示。於 D 中，0% 大豆油組 C18:0 之表面消化率較其它組低 ($P<0.05$)，而 6 及 8% 組 C18:0 之表面消化率較 2 及 4% 組高 ($P<0.05$)。於 J1 中，0% 大豆油組 C18:0 之表面消化率較其它組低 ($P<0.05$)。至 J2 後各處理組間表面消化率相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 C18:1 表面消化率之影響，如圖 6c 所示。於 D、J1 及 J2 中，0% 大豆油組 C18:1 之表面消化率較其它組低 ($P<0.05$)。至 J3 後各處理組間表面消化率相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 C18:2 表面消化率之影響，如圖 6d 所示。於 D 中，0% 大豆油組 C18:2 之表面消化率較其它組低 ($P<0.05$)，而 2、4 及 8% 組 C18:2 之表面消化率較 6% 組高 ($P<0.05$)。於 J1、J2 及 J3 中，0% 大豆油組 C18:2 之表面

消化率較其它組低 ($P<0.05$)。至 I1 後各處理組間表面消化率相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 SFA 表面消化率之影響，如圖 6e 所示。於 D 及 J1 中，0% 大豆油組 SFA 之表面消化率較其它組低 ($P<0.05$)。至 J2 後各處理組間表面消化率相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 USFA 表面消化率之影響，如圖 6f 所示。於 D、J1、J2 及 J3 中，0% 大豆油組 USFA 之表面消化率較其它組低 ($P<0.05$)，而 2% 組之 USFA 於 D 有最高表面消化率 ($P<0.05$)。至 I1 後各處理組間表面消化率相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 TFA 表面消化率之影響，如圖 6g 所示。於 D、J1 及 J2 中，0% 大豆油組 TFA 之表面消化率較其它組低 ($P<0.05$)。TFA 在各腸道部位之表面消化率，具處理×腸道部位間交互作用 ($P<0.001$)。小腸前端 (D 至 J2) 中 TFA 表面消化率處理間差異顯著 ($P<0.05$)，但小腸中後端 (J3-I) 中 TFA 表面消化率則處理間無顯著影響。此顯示，隨著飼糧中脂肪含量之提高，TFA 之主要吸收部位提前，惟吸收皆持續至 J3 為止。

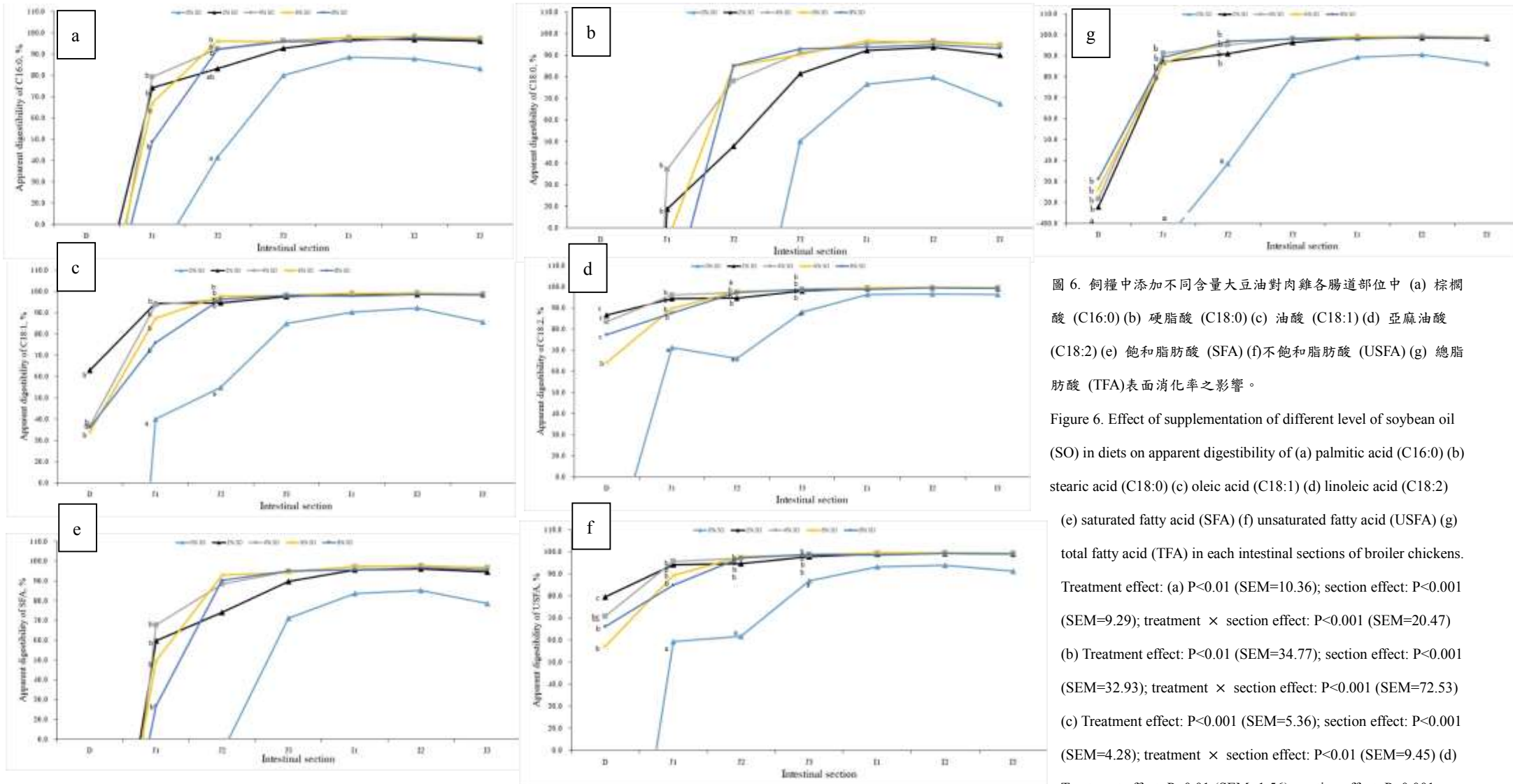


圖 6. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 (a) 棕櫚酸 (C16:0) (b) 硬脂酸 (C18:0) (c) 油酸 (C18:1) (d) 亞麻油酸 (C18:2) (e) 飽和脂肪酸 (SFA) (f) 不飽和脂肪酸 (USFA) (g) 總脂肪酸 (TFA) 表面消化率之影響。

Figure 6. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent digestibility of (a) palmitic acid (C16:0) (b) stearic acid (C18:0) (c) oleic acid (C18:1) (d) linoleic acid (C18:2) (e) saturated fatty acid (SFA) (f) unsaturated fatty acid (USFA) (g) total fatty acid (TFA) in each intestinal sections of broiler chickens. Treatment effect: (a) $P < 0.01$ (SEM=10.36); section effect: $P < 0.001$ (SEM=9.29); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=20.47) (b) Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=34.77); section effect: $P < 0.001$ (SEM=32.93); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=72.53) (c) Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=5.36); section effect: $P < 0.001$ (SEM=4.28); treatment \times section effect: $P < 0.01$ (SEM=9.45) (d) Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=1.56); section effect: $P < 0.001$

(SEM=1.49); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=3.27) (e) Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=16.13); section effect: $P < 0.001$ (SEM=15.33); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=33.77) (f) Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=1.98); section effect: $P < 0.001$ (SEM=1.67); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=3.67) (g) Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=3.22); section effect: $P < 0.001$ (SEM=4.49); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=9.86).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

^{abc} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).

(二) 各腸道部位之脂肪酸真消化率

將脂肪酸表面消化率以無脂飼糧法及直線迴歸法測得之內源性脂肪酸矯正，求得兩種脂肪酸真消化率，直線迴歸法放於附錄。

飼糧中添加不同含量大豆油對各腸道部位總脂肪酸真消化率之影響，分別如圖 7 所示，無脂飼糧法及直線迴歸法求得之真消化率之結果相似，僅腸道部位效應顯著 ($P < 0.001$)；處理效應及處理×腸道部位交互作用，僅 C18:2 及 USFA 顯著 ($P < 0.01$)，其餘脂肪酸及 TFA 皆不顯著 ($P > 0.05$)。此顯示，飼糧中添加 2-8% 脂肪並不影響各腸道部位中各個脂肪酸之真消化率。另外，飼糧中脂肪含量，並不影響脂肪酸在腸道中之吸收部位，D 及 J1 為最主要之吸收部位，吸收至 J2 或 J3 為止。

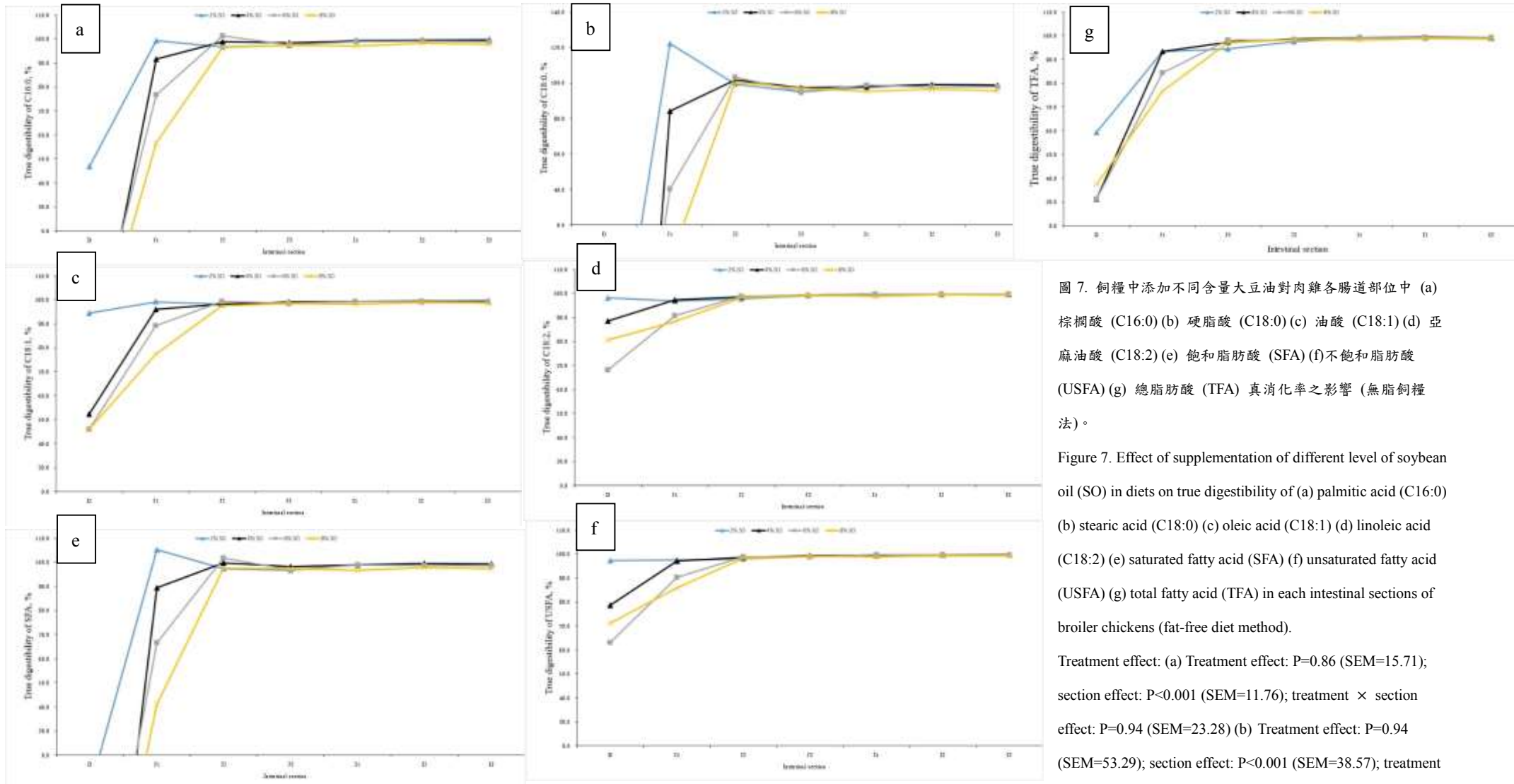


圖 7. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 (a) 棕櫚酸 (C16:0) (b) 硬脂酸 (C18:0) (c) 油酸 (C18:1) (d) 亞麻油酸 (C18:2) (e) 飽和脂肪酸 (SFA) (f) 不飽和脂肪酸 (USFA) (g) 總脂肪酸 (TFA) 真消化率之影響 (無脂飼糧法)。

Figure 7. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of (a) palmitic acid (C16:0) (b) stearic acid (C18:0) (c) oleic acid (C18:1) (d) linoleic acid (C18:2) (e) saturated fatty acid (SFA) (f) unsaturated fatty acid (USFA) (g) total fatty acid (TFA) in each intestinal sections of broiler chickens (fat-free diet method).

Treatment effect: (a) Treatment effect: $P=0.86$ (SEM=15.71); section effect: $P<0.001$ (SEM=11.76); treatment \times section effect: $P=0.94$ (SEM=23.28) (b) Treatment effect: $P=0.94$ (SEM=53.29); section effect: $P<0.001$ (SEM=38.57); treatment \times section effect: $P=0.99$ (SEM=76.44) (c) Treatment effect:

$P=0.55$ (SEM=5.04); section effect: $P<0.001$ (SEM=3.83); treatment \times section effect: $P<0.12$ (SEM=7.58) (d) Treatment effect: $P=0.25$ (SEM=1.76); section effect: $P<0.001$ (SEM=1.27); treatment \times section effect: $P<0.001$ (SEM=2.53) (e) Treatment effect: $P=0.92$ (SEM=25.86); section effect: $P<0.001$ (SEM=18.67); treatment \times section effect: $P<0.98$ (SEM=37.00) (f) Treatment effect: $P=0.43$ (SEM=2.58); section effect: $P<0.001$ (SEM=1.83); treatment \times section effect: $P<0.001$ (SEM=3.62) (g) Treatment effect: $P=0.96$ (SEM=6.48); section effect: $P<0.001$ (SEM=4.58); treatment \times section effect: $P=0.93$ (SEM=9.07).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

四、各腸道部位之脂肪酸表面消失量

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中棕櫚酸 (C16:0) 表面消失量之影響，如圖 8a 所示。於 D 中，0% 組 C16:0 表面消失量較 6% 及 8% 組低 ($P<0.05$)，而 2-8% 組彼此之間表面消失量無差異。於 J1 中，各組表面消失量達最高，4、6 及 8% 組 C16:0 表面消失量較 0 及 2% 組高 ($P<0.05$)，8% 組較 4% 組高 ($P<0.05$)，而 6% 組與 8% 組之間沒有差異。於 J2 中，8% 組 C16:0 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)。至 J3 後各處理組間表面消失量相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中硬脂酸 (C18:0) 表面消失量之影響，如圖 8b 所示。於 D 中，各處理組間表面消失量相近。於 J1 中，各處理組間消失量達最高，8% 組 C18:0 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)，而 2-8% 組間無差異。於 J2 中，8% 組 C18:0 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)。至 J3 後各處理組間表面消失量相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中油酸 (C18:1) 表面消失量之影響，如圖 8c 所示。於 D 中，各處理組間表面消失量達最高，6 及 8% 組 C18:1 表面消失量較 0、2 及 4% 組高 ($P<0.05$)，2 及 4% 組 C18:1 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)。於 J1 中，6 及 8% 組 C18:1 表面消失量較 0、2 及 4% 組高 ($P<0.05$)，

4% 組 C18:1 表面消失量較 2 及 0% 組高 ($P<0.05$)。於 J2 中，8% 組 C18:1 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)，至 J3 後各處理組間消失量相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中亞麻油酸 (C18:2) 表面消失量之影響，如圖 8d 所示。於 D 中，各處理組表面消失量達最高，依序 8% 組最高，0% 組最低，各處理組間差異顯著。於 J1 中，6 及 8% 組 C18:2 表面消失量較 0、2 及 4% 組高 ($P<0.05$)。於 J2 中，8% 組 C18:2 表面消失量較 0、2 及 4% 組高 ($P<0.05$)。至 J3 後各處理組間表面消失量相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中飽和脂肪酸 (SFA) 表面消失量之影響，如圖 8e 所示。於 D 中，6% 組 SFA 表面消失量較 0、2 及 4% 組高 ($P<0.05$)。於 J1 中，各處理組表面消失量達最高，8% 組 SFA 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)。於 J2 中，8% 組 SFA 表面消失量較 0、2、4 及 6% 組高 ($P<0.05$)。至 J3 後各處理組間表面消失量相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中不飽和脂肪酸 (USFA) 表面消失量之影響，如圖 8f 所示。於 D 中，各處理組表面消失量達最高，6 及 8% 組 USFA 表面消失量較 0、2 及 4% 組高 ($P<0.05$)，4% 組 USFA 表面消失量較 0 及 2% 組高 ($P<0.05$)，2% 組

USFA 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)。於 J1 中，6 及 8% 組 USFA 表面消失量較 0、2 及 4% 組高 ($P<0.05$)，4% 組 USFA 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)。於 J2 中，8% 組 USFA 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)。至 J3 後各處理組間表面消失量相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中總脂肪酸 (TFA) 表面消失量之影響，如圖 8g 所示。於 D 中，各處理組表面消失量達最高，6 及 8% 組 TFA 表面消失量較 0、2 及 4% 組高 ($P<0.05$)，4% 組 TFA 表面消失量較 0 及 2% 組高 ($P<0.05$)，2% 組 TFA 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)。於 J1 中，6% 組 TFA 表面消失量較 0 及 2% 組高 ($P<0.05$)，8% 組 TFA 表面消失量較 0% 組高 ($P<0.05$)。於 J2 中，8% 組 TFA 表面消失量較其它組高 ($P<0.05$)。至 J3 後各處理組間表面消失量相近。

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 SFA，包含 C16:0 及 C18:0，主要消失之腸道部位為 J1。而 USFA，包含 C18:1 及 C18:2，主要消失之腸道部位為 D。此顯示，USFA 在腸道中較 SFA 提早在 D 就被吸收。

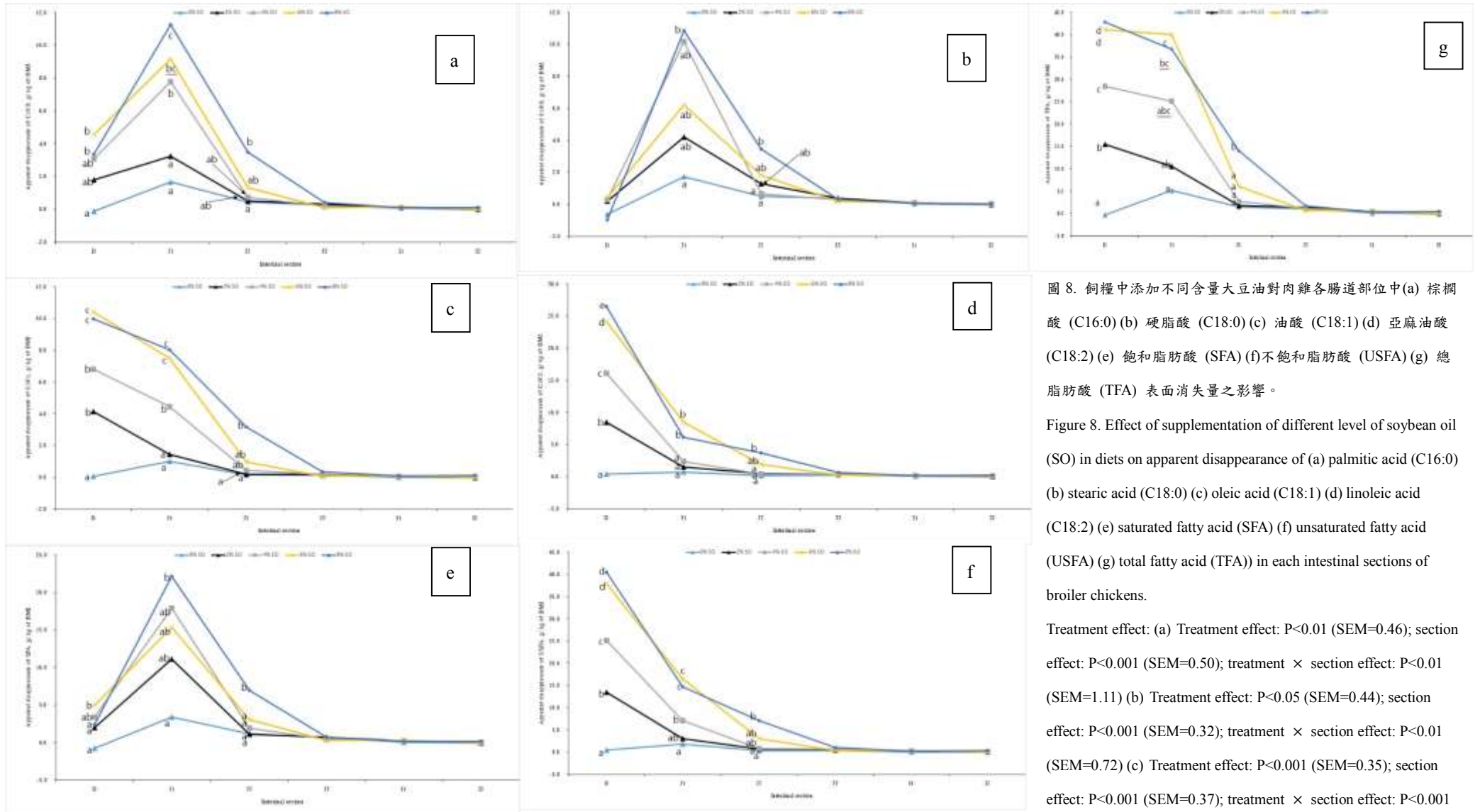


圖 8. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中(a) 棕櫚酸 (C16:0) (b) 硬脂酸 (C18:0) (c) 油酸 (C18:1) (d) 亞麻油酸 (C18:2) (e) 飽和脂肪酸 (SFA) (f) 不飽和脂肪酸 (USFA) (g) 總脂肪酸 (TFA) 表面消失量之影響。

Figure 8. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent disappearance of (a) palmitic acid (C16:0) (b) stearic acid (C18:0) (c) oleic acid (C18:1) (d) linoleic acid (C18:2) (e) saturated fatty acid (SFA) (f) unsaturated fatty acid (USFA) (g) total fatty acid (TFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: (a) Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=0.46); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.50); treatment \times section effect: $P < 0.01$ (SEM=1.11) (b) Treatment effect: $P < 0.05$ (SEM=0.44); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.32); treatment \times section effect: $P < 0.01$ (SEM=0.72) (c) Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=0.35); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.37); treatment \times section effect: $P < 0.001$

(SEM=0.82) (d) Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=0.40); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.37); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.81) (e) Treatment effect: $P < 0.05$ (SEM=0.88); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.62); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=1.39) (f) Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=0.73); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.72); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=1.58) (g) Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=1.41); section effect: $P < 0.001$ (SEM=1.05); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=2.36).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

abcde Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).

各個脂肪酸在各腸道部位之表面消失量，皆具處理×腸道部位間交互作用 ($P<0.05$; 圖 8)。小腸前端 (D 至 J2) 中脂肪酸表面消失量各處理組間有差異 ($P<0.05$)，但對小腸中後端 (J3-I) 中脂肪酸表面消失量則處理組間無顯著差異。此顯示，隨著飼糧中脂肪含量之提高，脂肪表面消失量也隨之提高，但 D 及 J1 對表面脂肪酸消失量有上限，而使之延後至 J2，惟吸收皆持續至 J3 為止。

五、 各腸道部位之脂肪酸真消失量

飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位各個脂肪酸真消失量之影響，於 SFA，包含 C16:0 及 C18:0，僅腸道部位效應顯著 ($P<0.05$)；處理效應及處理×腸道部位交互作用皆不顯著 ($P>0.05$; 圖 9a、9b 及 9e)。而於 USFA，包含 C18:1 及 C18:2，腸道部位效應、處理效應及處理×腸道部位交互作用皆顯著 ($P<0.01$; 圖 9c、9d 及 9f)。SFA 及 USFA 中表面消失量與真消失量間有相似之趨勢，8%組皆會延後腸道對其之吸收，惟吸收皆持續至 J3 為止。另外，於 TFA，腸道部位效應、處理效應及處理×腸道部位交互作用皆顯著 ($P<0.05$; 圖 9g)，此顯示，飼糧中脂肪含量，影響脂肪酸在腸道中之吸收部位，但 D 及 J1 還是最主要之吸收部位，吸收至 J3 為止。

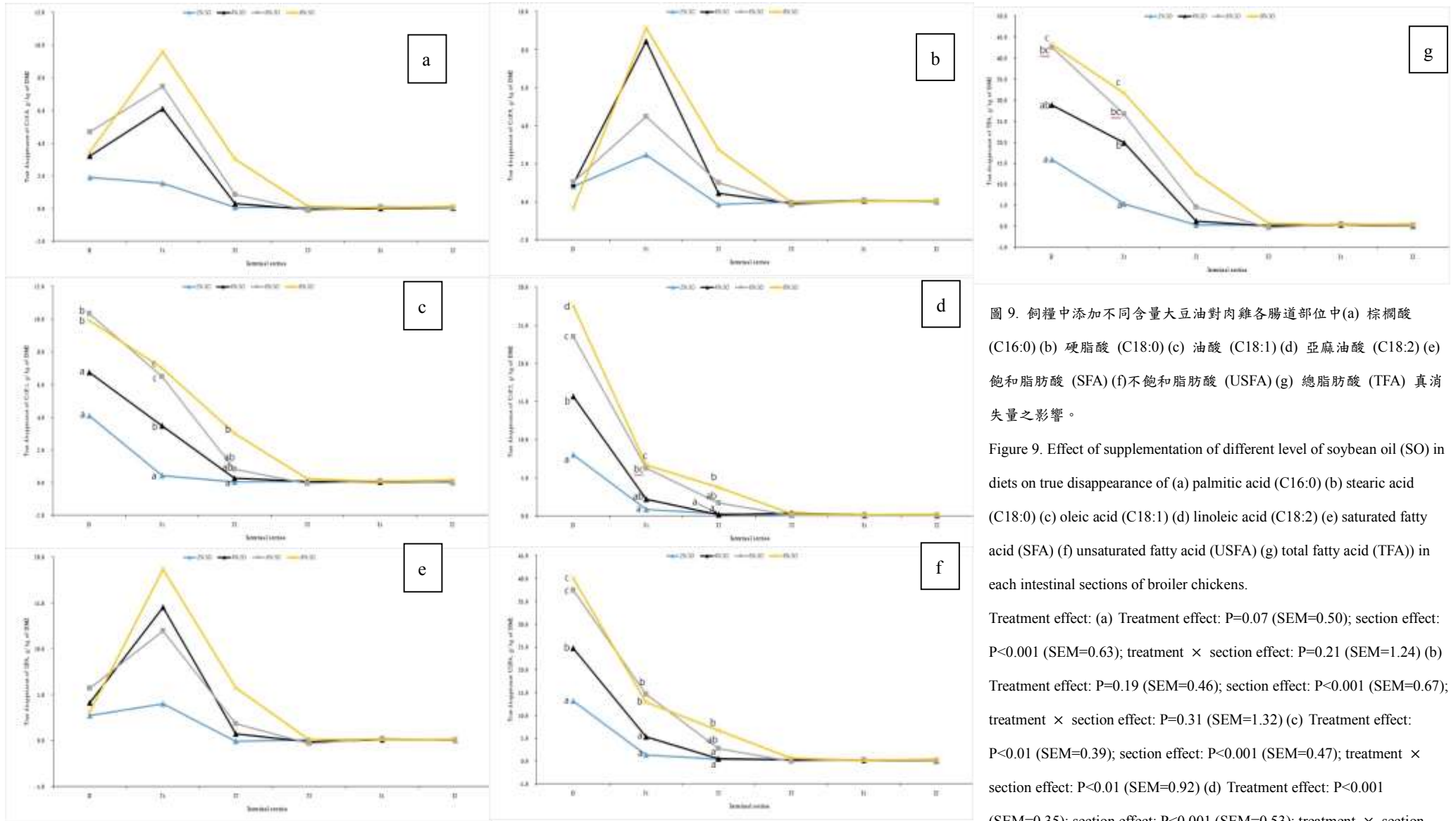


圖 9. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中(a) 棕櫚酸 (C16:0) (b) 硬脂酸 (C18:0) (c) 油酸 (C18:1) (d) 亞麻油酸 (C18:2) (e) 飽和脂肪酸 (SFA) (f) 不飽和脂肪酸 (USFA) (g) 總脂肪酸 (TFA) 真消失量之影響。

Figure 9. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true disappearance of (a) palmitic acid (C16:0) (b) stearic acid (C18:0) (c) oleic acid (C18:1) (d) linoleic acid (C18:2) (e) saturated fatty acid (SFA) (f) unsaturated fatty acid (USFA) (g) total fatty acid (TFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: (a) Treatment effect: $P=0.07$ (SEM=0.50); section effect: $P<0.001$ (SEM=0.63); treatment \times section effect: $P=0.21$ (SEM=1.24) (b) Treatment effect: $P=0.19$ (SEM=0.46); section effect: $P<0.001$ (SEM=0.67); treatment \times section effect: $P=0.31$ (SEM=1.32) (c) Treatment effect: $P<0.01$ (SEM=0.39); section effect: $P<0.001$ (SEM=0.47); treatment \times section effect: $P<0.01$ (SEM=0.92) (d) Treatment effect: $P<0.001$ (SEM=0.35); section effect: $P<0.001$ (SEM=0.53); treatment \times section

effect: $P<0.001$ (SEM=0.97) (e) Treatment effect: $P=0.13$ (SEM=0.93); section effect: $P<0.001$ (SEM=1.26); treatment \times section effect: $P=0.29$ (SEM=2.48) (f) Treatment effect: $P<0.01$ (SEM=0.81); section effect: $P<0.001$ (SEM=0.90); treatment \times section effect: $P<0.001$ (SEM=1.78) (g) Treatment effect: $P<0.01$ (SEM=1.55); section effect: $P<0.001$ (SEM=2.04); treatment \times section effect: $P<0.05$ (SEM=4.02).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{abcd} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P<0.05$).

討論

一、 內源性脂肪及脂肪酸

內源性脂肪主要來源為脫落之消化道上皮細胞、微生物來源之脂肪、與黏蛋白結合之脂質及膽汁，膽汁包含膽鹽、膽固醇、膽色素、脂溶性維生素、磷脂及消化道分泌物 (Ajuyah *et al.*, 1996; Tancharonrat *et al.*, 2014)。先前大部分研究皆測定迴腸末端內源性產生量 (Ajuyah *et al.*, 1996; 林, 2010; Tancharonrat *et al.*, 2014)。唯有本實驗室先前研究將十二指腸至結腸末段，分為九段測定每段內源性脂肪酸產生量 (黃, 2017)。本研究將十二指腸至迴腸分為七段，採兩種方法 (無脂飼糧法及直線迴歸法) 測定每段內源性脂肪酸產生量，以了解內源性脂肪酸在腸道中產生及消長之情況與其比較。以無脂飼糧法測得之各個內源性脂肪酸產生量比直線迴歸分析法皆來得高，但與黃 (2017) 測得之數據相反。惟本試驗與黃 (2017) 皆發現，J1 及 J2 為內源性脂肪酸之主要吸收部位。以無脂飼糧法及直線迴歸分析法測量 I3 內源性總脂肪酸產生量 (0.28 and 0.14 g/kg DMI) 比 Ajuyah *et al.* (1996)、林 (2010)、Tancharonrat *et al.* (2014) 及黃 (2017) 測得之結果 (0.37, 2.58, 0.83 and 0.49 g/kg) 皆較低。

本研究以無脂飼糧法及直線迴歸分析法測量 D 內源性總脂肪酸產生量 (7.93 and 4.11 g/kg DMI) 比黃 (2017) 測得之結果 (31.3 g/kg

DMI) 差異甚大，與 Sklan *et al.* (1973 and 1975) 數據估算 (25-38 and 100-276 g/kg DMI) 亦是如此。可能是因為本研究使用 TLC 將腸道內容物之脂肪分成單酸甘油酯、三酸甘油酯及游離脂肪酸各別分析，而剔除其餘磷脂、膽固醇酯或脂肪結合之混和物，包含膽汁、消化道上皮細胞、微生物來源之脂肪、與黏蛋白結合之脂質。

Tancharonrat *et al.* (2014) 測得之結果，內源性脂肪之脂肪酸與膽汁之脂肪酸比例相近，並表示內源性脂肪，48%為脂肪酸，52%為非脂肪酸，顯示膽汁可能為內源性脂肪之主要成分。因此本研究使用 TLC 將其剔除，造成內源性總脂肪酸產生量較其他作者來得低。若結合黃 (2017) 之研究，以無脂飼糧法計算，遭剔除之內源性脂肪酸為 74.7%。Sklan *et al.* (1975) 指出，超過一半的膽酸在 D 及 J 前端被吸收，其餘的持續吸收至迴腸末端。Krogdahl (1985)，表示家禽脂肪與膽鹽之吸收部位有重疊。

本研究發現，無論在任何腸道部位，內源性脂肪酸組成都以 C16:0、C18:0、C18:1 及 C18:2 為主，這與林 (2010)及 Tancharonrat *et al.* (2014) 在迴腸之結果相符。且與黃 (2017) 之各腸道部位內源性脂肪酸比例及消長相似。

二、 腸道脂肪水解

Laws and Moore (1963) 將雞隻小腸分為三段，D、J 及 I，測定

胰解脂酶活性，胰解脂酶活性在 D 較高，其次為 J，I 最低。且雞雞胰解脂酶的不足，並非脂肪消化不全之因素 (Meng *et al.*, 2004; Slominski *et al.*, 2006)。雞雞隨著年齡增加，十二指腸內胰解脂酶量隨之增加，但相對應每單位飼料採食量之解脂酶活性卻減少 (Noy and Sklan, 1995; Uni *et al.*, 1995)。Sklan (2001) 表示，若考慮飼料採食量，雞雞之解脂酶分泌量，可能不是那麼的不足。

本研究發現，脂肪水解率不受飼糧脂肪含量之提高所影響，此結果顯示，胰解脂酶水解脂肪的能力高，即使在飼糧中添加 8% 脂肪仍無問題。而在 D 中，脂肪便大部分被水解。雞隻無舌解脂酶及胃解脂酶 (Krogdahl, 1985)，且雞隻之共同膽管之開口位於 D 之末端，惟 Duke (1992) 指出，雞隻腸道食糜往返沙囊及 D 間數次，可能使得胰解脂酶能夠水解 D 中的脂肪。另外，D 中，0% 組，內源性脂肪水解率較 2、4、6 及 8% 組來得低 (79.46 and >92%)，至 J1 各個處理組間才無差異。可能原因為，0% 組腸道脂肪含量少，導致胰解脂酶活性不足，造成內源性脂肪延後水解。Dror *et al.* (1976) 發現，飼糧中添加大豆油，其胰解脂酶活性高於無脂飼糧之雞隻 30%。也可能是因為膽汁分泌不足，Krogdahl (1985) 指出，膽酸為脂肪吸收之限制因素。膽汁分泌不足導致胰解脂酶不易水解內源性脂肪。Duke (1992) 表示，腸道食糜往返砂囊及十二指腸，是受

CCK 及禽類胰多肽 (avian pancreatic polypeptide) 所調控。人類在低脂飲食時，CCK 濃度隨之下降 (Froehlich, 1995)。本研究餵飼無脂飼糧，可能導致 CCK 濃度下降，而減少食糜往返砂囊及十二指腸，進而減少 D 中內源性脂肪水解率降低原因之一。內源性脂肪中，消化道上皮細胞脂肪及微生物脂肪，因在細胞內，可能較難被解脂酶水解，黏蛋白結合之脂肪，可能因受蛋白質所包圍，而較難被解脂酶水解。

本研究中，脂肪水解率由 D 至 I3 具逐漸下降之現象，此可能為水解釋出之 FFA 逐漸被腸道吸收所致。

三、 各腸道部位之脂肪酸表面消化率

本研究 TFA 之表面消化率在 J1 迅速提高，至 J3 達最高峰，此與黃 (2017) 結果一致。但與黃 (2017) 相比，各個脂肪酸於 D 及 J1 中表面消化率在數字上差異甚大，主要原因為樣品經過 TLC 處理，而剔除主要之內源性脂肪來源膽汁，使 D 之表面消化率皆較高。D 末端有共同膽管接入，膽汁及胰液由此進入腸道，藉由砂囊收縮，使食糜、消化酶及膽汁於砂囊及 D 間往返，使其均勻混和，消化機制發揮最大功能 (Duke, 1982)，這也說明 Sklan *et al.* (1973; 1975)、Tancharonrat *et al.* (2014) 及黃 (2017)，在 D 中，內源性脂肪上升可能主要來源為膽汁。TFA 在各腸道部位之表面消化率，具處

理與腸道部位間交互作用 ($P < 0.05$)，因為 0% 組內源性脂肪所造成，內源性脂肪吸收較慢。

本研究中 USFA 於各段腸道部位中表面消化率高於 SFA，雖然與黃 (2017) 之結果有所差異。但許多研究指出，脂肪酸不飽和度愈高，吸收能力愈好，消化率愈高 (Sklan *et al.*, 1973; Freeman, 1976; Tancharonrat *et al.*, 2014)。Honda *et al.* (2009) 表示，添加牛油於蛋雞飼糧中，於 J1，表面消化率隨牛油濃度增加而下降。但本研究於肉雞飼糧中添加大豆油，於 J1，表面消化率並不受大豆油濃度所影響。這顯示，於高濃度油脂中，於小腸前段 (D-J1) USFA 含量高之大豆油表面消化率較 SFA 含量高之牛油來得佳，顯示 USFA 比 SFA 在腸道中不但較易且較快被吸收。USFA 較 SFA 容易與單酸甘油酯及膽鹽行成微膠粒，進而透過小腸之刷狀緣吸收 (Krogdahl, 1985)。SFA 消化率較低則因極性較低關係，且需要依賴適量膽鹽、USFA 及消化酶來進行乳化作用及水解 (Polin *et al.*, 1980)。Gomez and Polin (1976) 表示，於飼糧中添加 0.05% 膽鹽可改善雞隻對 8% 牛油之消化率。而 Kussaibati *et al.* (1982b) 發現，於飼糧中添加 0.5% 膽鹽改善雞隻對動植物混合油之消化率較玉米油來得佳 (6 and 3%)，主要是增加 SFA C16:0 及 C18:0 的吸收。飼糧中添加 0.2% 解脂酶可增加雞隻對牛油之脂肪消化率，但添加膽鹽比解脂酶有效

(Polin *et al.*, 1980)。

四、 各腸道部位之脂肪酸真消化率

各腸道部位脂肪酸真消化率結果顯示，脂肪酸之吸收在 J2 便達高峰，這與黃 (2017) 之結果 J1 有所差異。表面消化率因受到共同膽管所排出之內源性脂肪干擾，可能使得測得之吸收部位延後至 J3。Sklan *et al.* (1974, 1975, 1979, 1980) 已觀察到，膽鹽及磷脂等主要內源性脂肪由 D 分泌後，在 D 及 J 中以被動擴散之方式重吸收，且兩個部位之吸收速率相似，而後在 I 則以主動運輸。雖 Renner (1965) 以真消化率測定發現，脂肪在肉雞腸道吸收部位為 J，且持續至 I。但許多研究證明，D-J 已將大部分脂肪消化吸收 (Sklan *et al.*, 1974; Honda *et al.*, 2009; 黃, 2017)。TFA 在各腸道部位之真消化率，處理與腸道部位間無交互作用 ($P>0.05$)，表示飼糧中脂肪含量並不影響脂肪酸在腸道中之吸收部位。真消化率因扣除內源性脂肪之干擾，應該較準確。

五、 各腸道部位之脂肪酸消失量

無論以表面或真消失量表示時，D、J1 及 J2 為脂肪酸之吸收部位，其中 USFA 於 D 消失量為最高峰，而 SFA 消失量則延後至 J1，此結果顯示 USFA 比 SFA 較快在腸道被吸收。USFA 較 SFA 容易與

單酸甘油酯及膽鹽形成微膠粒，進而透過小腸之刷狀緣吸收，而 SFA 需透過更多之膽汁進行乳化作用 (Krogdahl, 1985)。

各種脂肪酸之消失量隨著飼糧脂肪含量之提高而增加。脂肪酸消失量有隨飼糧脂肪含量提高而延後至 J2 之現象。不過仍以 D 及 J1 為主要消失部位。脂肪酸消失量於 J3 便趨平緩，且各處理間無顯著差異。

結論

內源性脂肪酸從 D 開始減少，至 I2 最少，主要在 D, J1, J2 及 J3 被吸收。不同內源性脂肪酸在各腸道部位之消長相似。

大部分脂肪在 D 便被解脂酶水解，且不受飼糧添加 2-8% 脂肪所影響，表示胰解脂酶之水解能力，並不是肉雞吸收脂肪之限制因素。

TFA 在各腸道部位之表面消化率，具處理×腸道部位間交互作用，表示飼糧中脂肪含量會影響脂肪酸在腸道中之吸收部位。而 TFA 在各腸道部位之真消化率，處理與腸道部位間則無交互作用，表示飼糧脂肪含量不會影響脂肪酸在腸道中之吸收部位。真消化率於 J2 或 J3 達最高峰。真消化率因扣除內源性脂肪酸之干擾，應較準確。

以消失量表示時，脂肪酸在 D, J1 及 J2 消失。USFA 在 D 大量消失，比 SFA 在 J1 大量消失來得提前。

提高飼糧中脂肪含量有延後脂肪酸消失至 J2 之現象，不過仍以 D 及 J1 為主要消失部位。

參考文獻

- 林傳順。2010。調整脂肪成分及 sn-2 脂肪酸飽和度提高豬隻及雞隻對脂肪之利用。博士論文，東海大學畜產研究所。
- 李德南、呂効儒、陳保基及楊天樹。2012。比較不同 SAS 程序分析動物試驗重複測量資料之差異。中畜會誌 41:177-186。
- 姜樹興。2014。動物營養學原理。華香園出版社，台北市。
- 黃正耀。2017。飼糧中脂肪含量對肉雞腸道吸收脂肪酸部位之影響。碩士論文，東海大學畜產研究所。
- Ajuyah, A. O., D. Balnave, and E. F. Annison. 1996. Determination of apparent and true dietary fatty acid digestibilities and metabolisable energy using ileal digesta and excreta from broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 62:131-139.
- Al-Marzooqi, W., and S. Leeson. 1999. Evaluation of dietary supplements of lipase, detergent, and crude porcine pancreas on fat utilization by young broiler chicks. *Poult. Sci.* 78:1561-1566.
- Armand, M., P. Borel, C. Dubois, M. Senft, J. Peyrot, J. Salducci, H. Lafont, and D. Lairon. 1994. Characterization of emulsions and lipolysis of dietary lipids in the human stomach. *Am. J. Physiol.* 266:372-381.
- Bauer, E., S. Jakob, and R. Mosenthin. 2005. Principles of physiology of lipid digestion. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 18:282-295.
- Berner, D. L., and E. G. Hammond. 1970. Phylogeny of lipase specificity. *Lipids* 5:558-562.
- Blass, E. M., W. Beardsley, and W. G. Hale. 1979. Age-dependent inhibition of suckling by cholecystokinin. *Am. J. Physiol.* 236:567-570.
- Booth, C. C., A. E. Read, and E. Jones. 1961a. Studies on the site of fat

- absorption. 1. The sites of absorption of increasing doses of ¹³¹I-labelled triolein in the rat. *Gut* 2:23-31.
- Booth, C. C., D. Alldis, and A. E. Read. 1961b. Studies on the site of fat absorption. 2. Fat balances after resection of varying amounts of the small intestine in man. *Gut* 2:168-174.
- Borgstrom, B. 1974. Fat digestion and absorption. In: D. H. Smyth (Ed.) *Biomembranes*. pp. 555-620. Plenum. Press. New York. USA.
- Borgstrom B., and H. L. Brockman (Ed.). 1984. *Lipases*. pp. 1-46. Elsevier Science Publishers. Amsterdam. Holland.
- Boyd, F. M., and H. M. Edwards Jr. 1967. Fat absorption by germ-free chicks. *Poult. Sci.* 46:1481-1483.
- Bucko, A., and L. Kopec. 1979. The adaptation of pancreas to the nature of foods. *Cah. Nutr. Diet.* 14:71-76.
- Cairns, S. R., and T. J. Peters. 1983. Micromethods for quantitative lipid analysis of human liver needle biopsy specimens. *Clin. Chim. Acta.* 127:373-382.
- Cera K. R., D. C. Mahan, and G. A. Reinhart. 1988. Weekly digestibilities of diets supplemented with corn oil, lard or tallow by weanling swine. *J. Anim. Sci.* 66:1430-1437.
- Clark, S. B., B. Brause, and P. R. Holt. 1969. Lipolysis and absorption of fat in the rat stomach. *Gastroenterology* 56:214-222.
- Cole, C. B., R. C. Fuller, and M. E. Coates. 1982. Effect of gut flora on lipid absorption in the chick. pp. 365-368. Tokai University Press. Tokyo. Japan.
- Demarne, Y., T. Corring, A. Pihet, and E. Sacquet. 1982. Fat absorption in germ-free and conventional rats artificially deprived of bile secretion. *Gut* 23:49-57.

- DeNigris, S. J., M. Hamosh, D. K. Kasbekar, T. C. Lee, and P. H. Amosh. 1988. Lingual and gastric lipases: species differences in the origin of prepancreatic digestive lipases and in the localization of gastric lipase. *Biochim. Biophys. Acta.* 959:38-45.
- DiMagno, E. P., V. L. W. Go, and W. H. J. Summerskill. 1973. Relations between pancreatic enzyme outputs and malabsorption in severe pancreatic insufficiency. *N. Engl. J. Med.* 288:813-815.
- Drackley, J. D. 2000. Lipid metabolism. In: J. P. F. D'Mello (Ed.) *Farm Animal Metabolism and Nutrition.* pp. 97-119. CAB International publishing. UK.
- Dror, Y., A. Shamga, and P. Budowski. 1976. Effect of dietary fat on pancreatic lipase activity in chicken. *Int. J. Vit. Nutr. Res.* 46:83-86.
- Duke, G. E. 1982. Gastrointestinal motility and its regulation. *Poult. Sci.* 61:1245-1256.
- Duke, G. E. 1992. Recent studies on regulation of gastric motility in turkeys. *Poult. Sci.* 71:1-8.
- Dziuk, H. E., and G. E. Duke. 1972. Cineradiographic studies of gastric motility in turkeys. *Am. J. Pathol.* 222:159-166.
- Engstrom, J. F., J. J. Rybak, M. Duber, and N. J. Greenberger. 1968. Evidence for a lipase system in canine gastric juice. *Amer. J. Med. Sci.* 256:346-351.
- Fengler, A. I., J. R. Pawlik, and R. R. Marquardt. 1988. Improvement in nutrient retention and changes in excreta viscosities in chicks fed rye-containing diets supplemented with fungal enzymes, sodium taurocholate and penicillin. *Can. J. Anim. Sci.* 68:483-491.
- Field, R. B., and R. O. Scow. 1983. Purification and characterization of rat lingual lipase. *J. Biol. Chem.* 258:14563-14569.

- Freeman, C. P. 1976. Digestion and absorption of fat. In:K. N. Boorman and B. M. Freeman (Ed.) Digestion in the Fowl. pp. 117-142. Br. Poult. Sci. Edinburgh. Scotland.
- Froehlich, F., J. J. Gonvers, and M. Fried. 1995. Role of nutrient fat and cholecystokinin in regulation of gallbladder emptying in man. Dig. Dis. Sci. 40:529-533.
- Gargouri, Y., H. Moreau, M. K. Jain, G. H. DeHaas, and R. Verger. 1989. Ajoene prevents fat digestion by human gastric lipase in vitro. Biochim. Biophys. Acta. 1006:137-139.
- Gaull, G. E., and C. E. Wright. 1987. Taurine conjugation of bile acids protects human cells in culture. Adv. Exp. Med. Biol. 217:61-67.
- Gomez, M. X., and D. Polin. 1976. The use of bile salts to improve absorption of tallow in chicks, one to three weeks of age. Poult. Sci. 55:2189-2195.
- Grand, R., J. B. Watkins, and F. M. Torti. 1976. Development of the human gastrointestinal tract:a review. Gastroenterology. 70:790-810.
- Hamosh, M., and R. O. Scow. 1973. Lingual lipase and its role in the digestion of dietary lipid. J. Clin. Invest. 52:88-95.
- Hamosh, M. 1990. Lingual and gastric lipases. Nutrition. 6:421-428.
- Hazelwood, G. D. A. 1967. Bile salt evolution. J. Lipid Res. 8:535-550.
- Heaton, K. W. 1985. Bile salts. In:R. Wright, G. H. Millward-Sadler, K. G. M. M. Alberti and S. Karran (Ed.) Liver and Biliary Disease:Pathophysiology, Diagnosis, Management. pp. 277. Baillère Tindall, W.D. Saunders Co. Philadelphia. USA.
- Helander, H. F., and T. Olivecrona. 1970. Lipolysis and lipid absorption in the stomach of the suckling rat. Gastroenterology 59:22-35.

- Hermoso, J., D. Pignol, B. Kerfelec, I. Crenon, C. Chapus, and J. C. Fontecilla-Camps. 1996. Lipase activation by nonionic detergents the crystal structure of the porcine lipase-colipase-tetraethylene glycol monoethyl ether complex. *J. Biol. Chem.* 271:18007-18016.
- Holt, R. J. 1971. The esterase and lipase activity of aerobic skin bacteria. *Br. J. Dermatol.* 85:18-23.
- Honda, K., H. Kamisoyama, Y. Isshiki, and S. Hasegawa. 2009. Effects of dietary fat levels on nutrient digestibility at different sites of chicken intestines. *J. Poult. Sci.* 46:291-295.
- Hulan, H. W., and F. H. Bird. 1972. Effect of fat level in isonitrogenous diets on the composition of avian pancreatic juice. *J. Nutr.* 102:459-468.
- Hurwitz, S., A. Bar, M. Katz, D. Sklan, and P. Budowski. 1973. Absorption and secretion of fatty acids and bile acids in the intestine of the laying fowl. *J. Nutr.* 103:543-547.
- Jaeger, K. E., and T. Eggert. 2002. Lipases for biotechnology. *Curr. Opin. Biotechnol.* 13:390-397.
- Jaworski, N. W., and H. H. Stein. 2017. Disappearance of nutrients and energy in the stomach and small intestine, cecum, and colon of pigs fed corn-soybean meal diets containing distillers dried grains with solubles, wheat middlings, or soybean hulls. *J. Anim. Sci.* 95:727-739.
- Jin, S. H., A. Corless, and J. L. Sell. 1998. Digestive system development in post-hatch poultry. *Worlds Poult. Sci. J.* 54:335-345.
- Katongole, J. B. D., and B. E. March. 1979. Fatty acid binding protein in the intestine of the chicken. *Poult. Sci.* 58:372-375.

- Katongole, J. B. D., and B. E. March. 1980. Fat utilization in relation to intestinal fatty-acid binding protein and bile salts in chicks of different ages and different genetic sources. *Poult. Sci.* 59:819-827.
- Krogdahl, A. 1985. Digestion and absorption of lipids in poultry. *J. Nutr.* 115:675-685.
- Krogdahl, A., and J. L. Sell. 1989. Influence of age on lipase, amylase, and protease activities in pancreatic tissue and intestinal contents of young turkeys. *Poult. Sci.* 68:1561-1568.
- Kussaibati, R., J. Guillaume, and B. Leclercq. 1982a. The effects of age, dietary fat and bile salts, and feeding rate on apparent and true metabolisable energy values in chickens. *Br. Poult. Sci.* 23:393-403.
- Kussaibati, R., J. Guillaume, B. Leclercq, and J. P. Lafort. 1982b. Effects of the intestinal microflora and added bile salts on the metabolizable energy and digestibility of saturated fats in the chicken. *Arch. Gefluegelkd.* 46:42-46.
- Laws, B. M., and J. H. Moore. 1963. The lipase and esterase activities of the pancreas and small intestine of the chick. *Biochem. J.* 87:632-638.
- Lebenthal, E., and P. C. Lee. 1980. The development of the exocrine pancreatic function in perinatal period. *Int. Congr. Ser. Excerpta Med.* 518:90-95.
- Lester, R. 1979. Bile acid metabolism in the fetus and newborn. In: *Development of Mammalian Absorptive Processes.* pp. 99-115. Ciba Foundation Symposium 70. Excerpta Medica. Amsterdam. Holland.
- Levy, E., R. Goldstein, S. Freier, and E. Shafrir. 1982. Gastric lipase in the newborn rat. *Pediatr. Res.* 16:69-74.
- Lindsay, O. B., J. Biely, and B. E. March. 1969. Excretion of bile acids by cockerels fed different lipids. *Poult. Sci.* 48:1216-1222.

- Little, J. M., and R. Lester. 1978. Induction of intestinal bile salt absorption in the neonate. *Gastroenterology*. 74:1133-1137.
- Mattson, F. H., and R. A. Volpenhein. 1964. The digestion and absorption of triglycerides. *J. Biol. Chem.* 239:2772-2777.
- Meng, X., B. A. Slominski, and W. Guenter. 2004. The effect of fat type, carbohydrase, and lipase addition on growth performance and nutrient utilization of young broilers fed wheat-based diets. *Poult. Sci.* 83:1718-1727.
- Moreau, H., R. Laugier, Y. Gargouri, F. Ferrato, and R. Verger. 1988. Human preduodenal lipase is entirely of gastric fundic origin. *Gastroenterology* 95:1221-1226.
- Mu, H., and C. Hoy. 2004. The digestion of dietary triacylglycerols. *Prog. Lipid Res.* 43:105-133.
- Newport, M. J., and G. L. Howarth. 1985. Contribution of gastric lipolysis to the digestion of fat in the neonatal pig. In: J. A. Fernandez and H. Jorgensen (Ed.) *Proceedings of the 3rd International Seminar on Digestive Physiology in the pig*. pp. 143-145. Beretning Statens Husdyrbrugsforsog No. 580. Copenhagen. Denmark.
- Northfield, T. C., and I. McColl. 1973. Postprandial concentrations of free and conjugated bile acids down the length of the normal human small intestine. *Gut* 14:513-517.
- Noy, Y., and D. Sklan. 1995. Digestion and absorption in the young chick. *Poult. Sci.* 74:366-373.
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Ockner, R. K., J. A. Manning, R. B. Poppenhausen, and W. K. L. Ho.

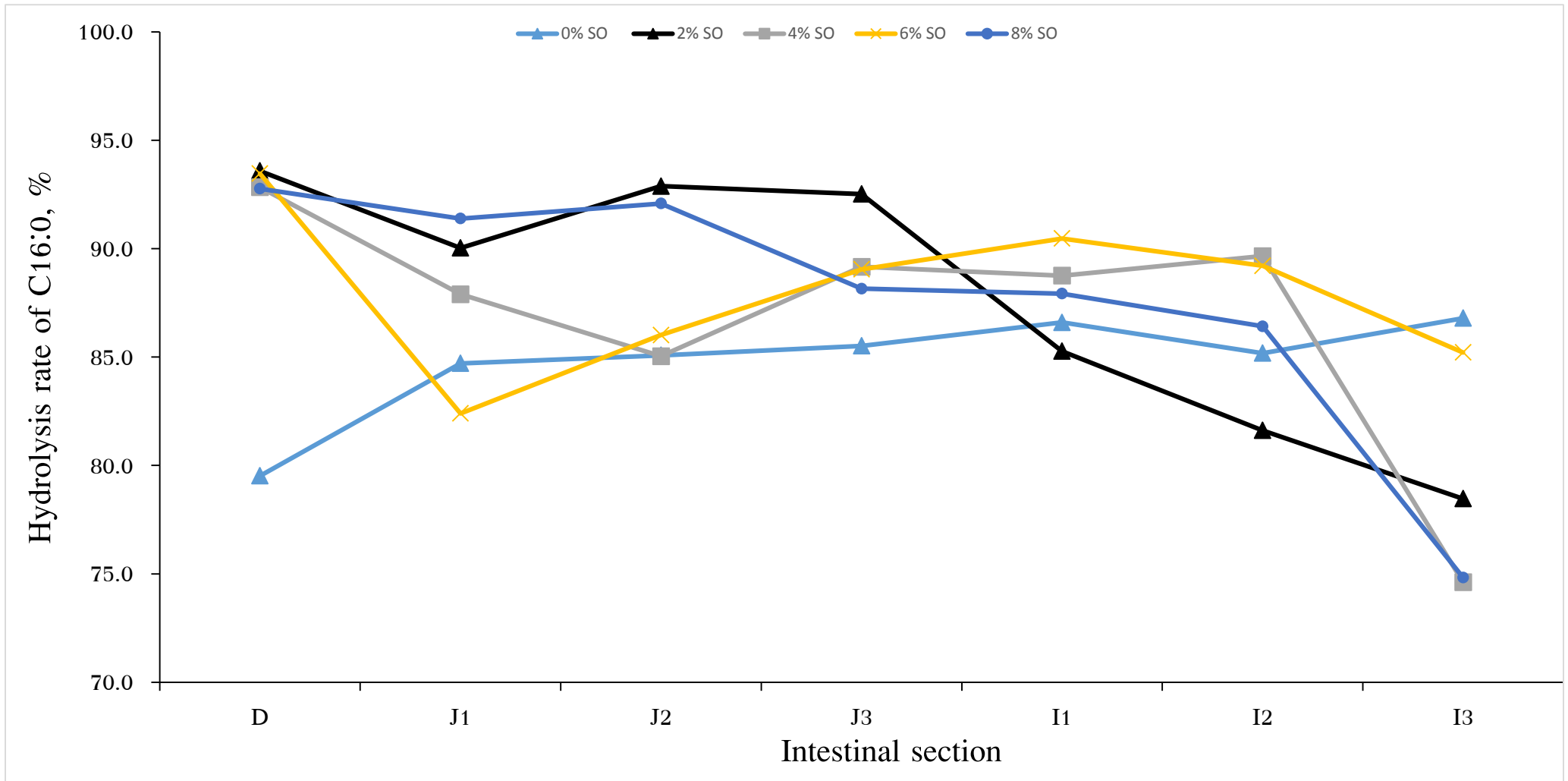
1972. A binding protein for fatty acids in cytosol of intestinal mucosa, liver, myocardium, and other tissues. *Science* 77:56-58.
- Ockner, R. K., and J. A. Manning. 1974. Fatty acid-binding protein in small intestine identification, isolation, and evidence for its role in cellular fatty acid transport. *J. Clin. Invest.* 54:326-338.
- Ogeno, K., and M. Ikeda. 1974. Studies on the transit of content of the chicken gastrointestinal. I. Regurgitation of the contents of the small intestine into the gizzard. *Jpn. J. Vet. Res.* 36:291-298.
- Okumura, S., M. Iwai, and Y. Tsujisaka. 1976. Positional specificities of four kinds of microbial lipases. *Agr. Biol. Chem.* 40:655-660.
- Operation manual Extraction Unit E-816 HE. 2009. BUCHI. Switzerland.
- Paltauf, F., F. Esfandi, and A. Holasek. 1974. Stereospecificity of lipases. Enzymic hydrolysis of enantiomeric alkyl diacylglycerols by lipoprotein lipase, lingual lipase and pancreatic lipase. *FEBS Lett.* 40:119-123.
- Patton, J. S., and M. C. Carey. 1981. Inhibition of human pancreatic lipase-colipase activity by mixed bile saltphospholipid micelles. *Am. J. Physiol.* 241:328-336.
- Polin, D. 1980. Increased absorption of tallow with lecithin. *Poult. Sci.* 59: 1652. (Abstr.).
- Polin, D., T. L. Wing, P. Ki, and K. E. Pell. 1980. The effect of bile acids and lipase on absorption of tallow in young chicks. *Poult. Sci.* 59:2738-2743.
- Reinhart, G. A., F. A. Simmen, D. C. Mahan, R. C. M. Simmen, and M. E. White. 1992. Perinatal ontogeny of fatty acid binding protein activity in porcine small intestine. *Nutr. Res.* 12:1345-1356.
- Renner, R. 1965. Site of fat absorption in the chick. *Poult. Sci.* 44:861-864.

- Robberecht, P., M. Deschodt-Lanckman, J. Camus, J. Bruylands, and J. Christophe. 1971. Rat pancreatic hydrolases from birth to weaning and dietary adaptation after weaning. *Am. J. Physiol.* 221:376-386.
- Rogalska, E., C. Cudrey, F. Ferrato, and R. Verger. 1993. Stereoselective hydrolysis of triglycerides by animal and microbial lipases. *Chirality* 5:24-30.
- Sasser, M. 1990. Identification of Bacteria by Gas Chromatography of Cellular Fatty Acids. Tech. note no. 101. MIDI, Newark, DE, USA.
- Sell, J. L., A. Krogdahl, and N. Hanyu. 1986. Influence of age on utilization of supplemental fats by young turkeys. *Poult. Sci.* 65:546-554.
- Serafin, J. A., and M. C. Nesheim. 1970. Influence of dietary heat-labile factors in soybean meal upon bile acid pools and turnover in the chick. *J. Nutr.* 100:786-796.
- Scheele, C. W. 1983. The effect of the age of poultry on metabolizable energy values of diets in relation to fat and crude fibre contents. Poster 4th Eur. Symp. Poult. Nutr. Tours. France.
- Short, F J., P. Gorton, J. Wiseman, and K. N. Boorman. 1996. Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. *Anim. Feed. Sci. Tech.* 59:215-221.
- Sklan, D., P. Budowski, I. Ascarelli, and S. Hurwitz. 1973. Lipid absorption and secretion in the chick:Effect of raw soybean meal. *J. Nutr.* 103:1299-1305.
- Sklan, D., P. Budowski, and S. Hurwitz. 1974. Effect of soy sterols on intestinal absorption and secretion of cholesterol and bile acids in the chick. *J. Nutr.* 104:1086-1090.
- Sklan, D., S. Hurwitz, P. Budowski, and I. Ascarelli. 1975. Fat digestion and

- absorption in chicks fed raw or heated soybean meal. *J. Nutr.* 105:57-63.
- Sklan, D., P. Budowski, and S. Hurwitz. 1979. Absorption of oleic and taurocholic acids from the intestine of the chick. Interactions and interference by proteins. *Biochim. Biophys. Acta.* 573:31-39.
- Sklan, D. 1980. Site of digestion and absorption of lipids and bile acids in the rat and turkey. *Comp. Biochem. Physiol.* 65:91-95.
- Sklan, D. 2001. Development of the digestive tract of poultry. *Worlds Poult. Sci. J.* 57:415-428.
- Slominski, B. A., X. Meng, L. D. Campbell, W. Guenter, and O. Jones. 2006. The use of enzyme technology for improved energy utilization from full-fat oilseeds. part ii: flaxseed. *Poult. Sci.* 85:1031-1037.
- Stein, H. H., B. Seve, M. F. Fuller, P. J. Moughan, and C. F. M. de Lange. 2007. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *J. Anim. Sci.* 85:172-180.
- Sukhija, P. S., and D. L. Palmquist. 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.* 36:1202-1206.
- Tanchaoenrat, P., V. Ravindran, F. Zaefarian, and G. Ravindran. 2014. Digestion of fat and fatty acids along the gastrointestinal tract of broiler chickens. *Poult. Sci.* 93:371-379.
- Tavener, R. J. A., and D. L. Laidman. 1972. The induction of lipase activity in the germinating wheat grain. *Phytochemistry* 11:989-997.
- Uni, Z., Y. Noy, and D. Sklan. 1995. Posthatch changes in morphology and function of the small intestines in heavy- and light-strain chicks. *Poult. Sci.* 74:1622-1629.

- Urriola, P. E., and H. H. Stein. 2010. Effects of distillers dried grains with solubles on amino acid, energy, and fiber digestibility and on hindgut fermentation of dietary fiber in a corn-soybean meal diet fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 2010. 88:1454-1462.
- Watkins, J. B., D. Ingall, P. Szczepanik, and P. D. Klein. 1973. Bile salt metabolism in the new born infant: measurement of pool size and synthesis by stable isotopic technique. *New Engl. J. Med.* 288:431-434.
- Whitehead, C. C., and C. Fisher. 1975. The utilization of various fats by turkeys of different ages. *Br. Poult. Sci.* 16:481-485.

附錄

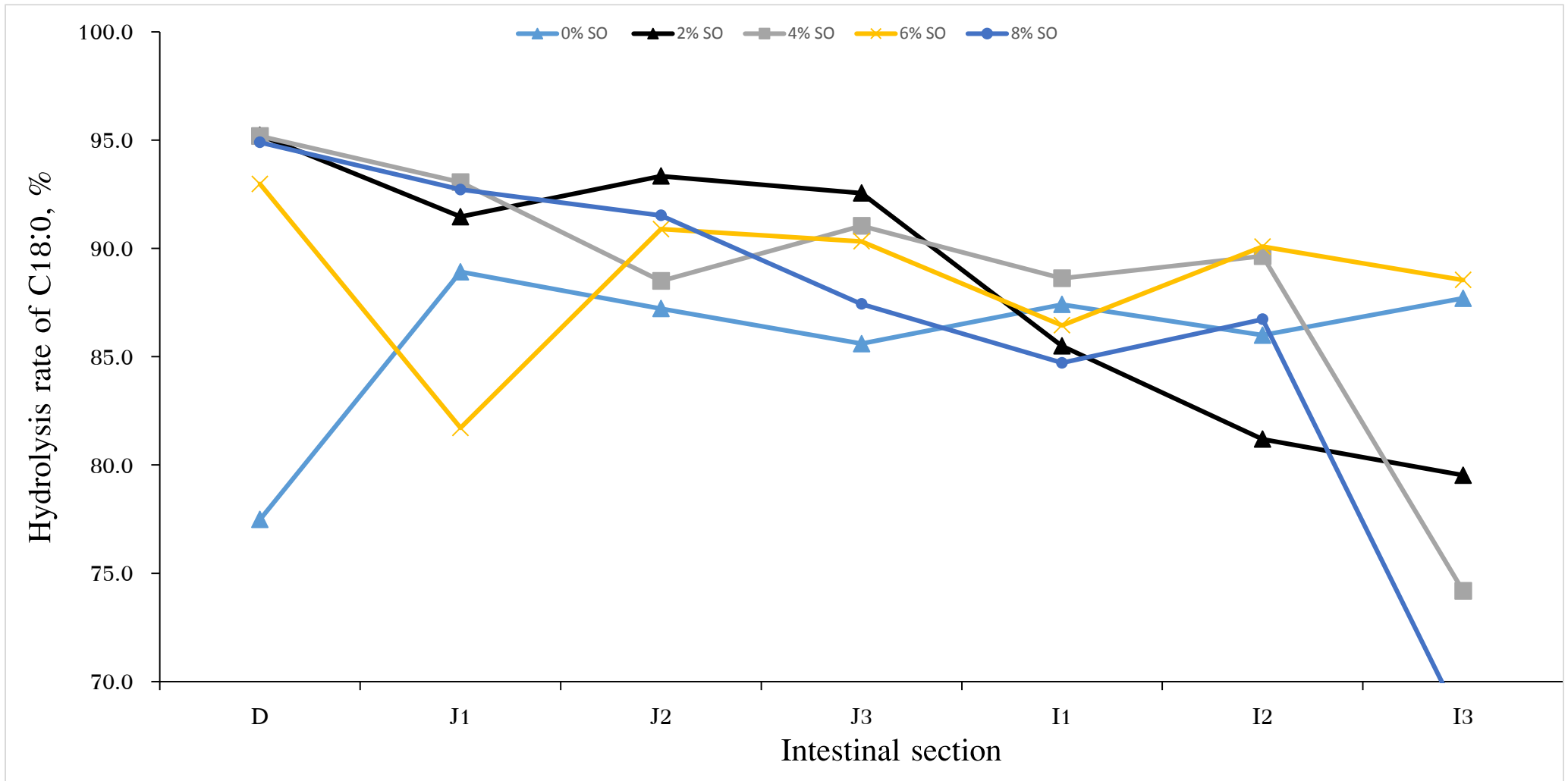


附錄 1. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 C16:0 水解率之影響。

Appendix 1 . Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on hydrolysis rate of C16:0 in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: P=0.70 (SEM=1.89); section effect: P<0.01 (SEM=1.98); treatment × section effect: P=0.26 (SEM=4.32).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

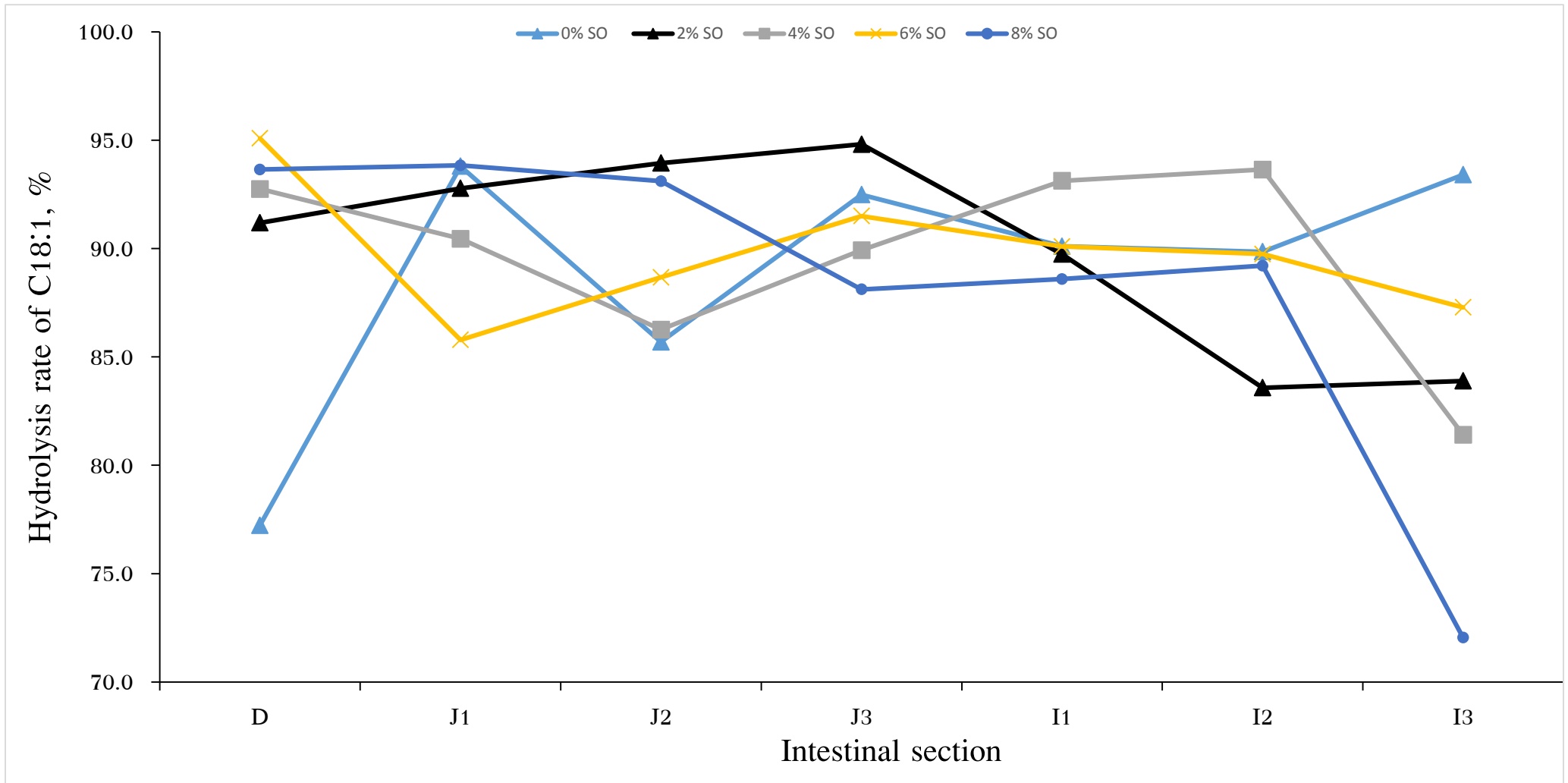


附錄 2. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 C18:0 水解率之影響。

Appendix 2. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on hydrolysis rate of C18:0 in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P=0.87$ (SEM=3.02); section effect: $P<0.05$ (SEM=2.60); treatment \times section effect: $P=0.25$ (SEM=5.65).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

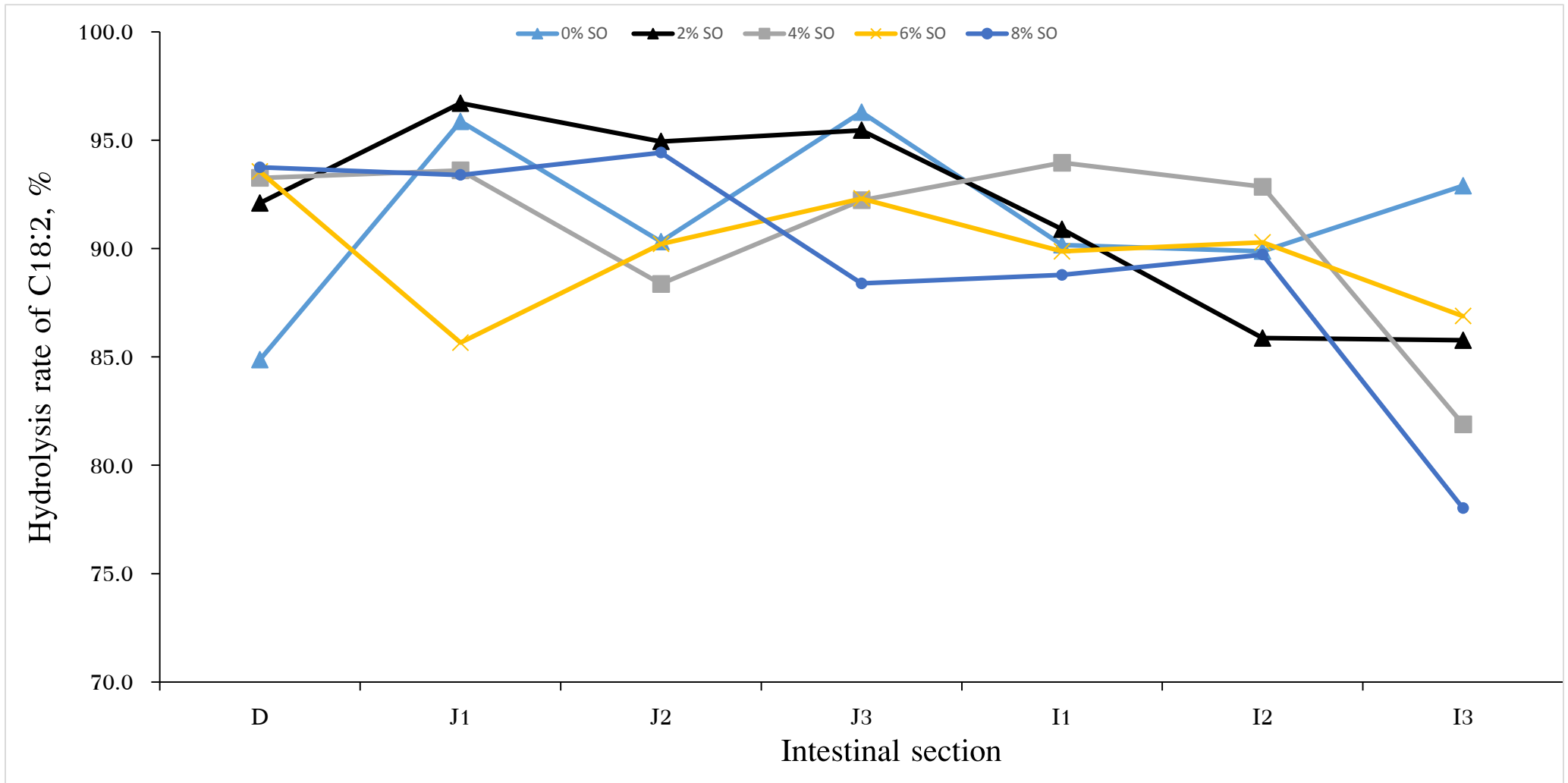


附錄 3. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 C18:1 水解率之影響。

Appendix 3. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on hydrolysis rate of C18:1 in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P=0.93$ (SEM=1.63); section effect: $P=0.14$ (SEM=2.24); treatment \times section effect: $P=0.21$ (SEM=4.88).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

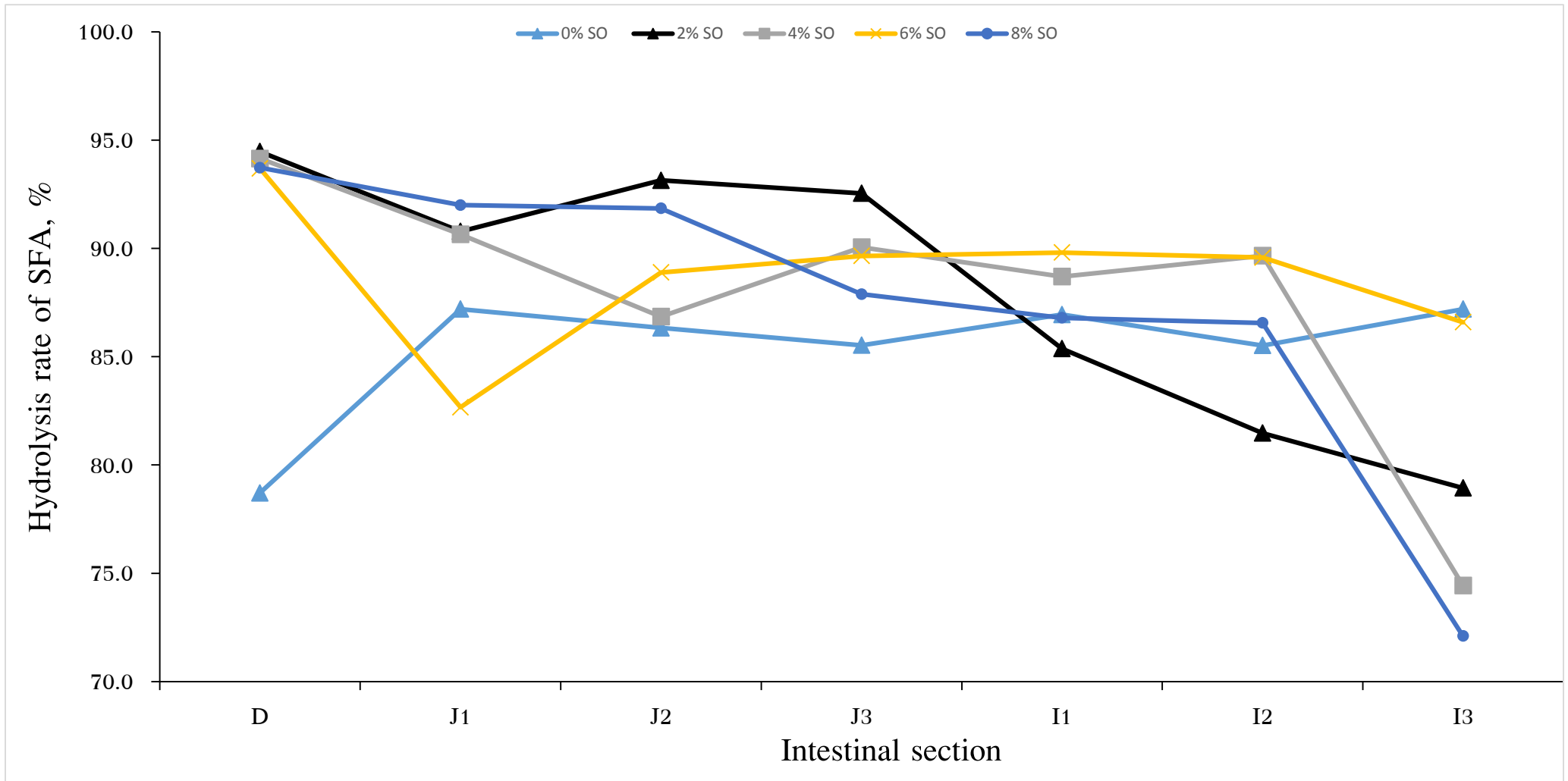


附錄 4. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中 C18:2 水解率之影響。

Appendix 4. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on hydrolysis rate of C18:2 in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P=0.86$ (SEM=1.96); section effect: $P=0.07$ (SEM=1.96); treatment \times section effect: $P=0.42$ (SEM=4.26).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

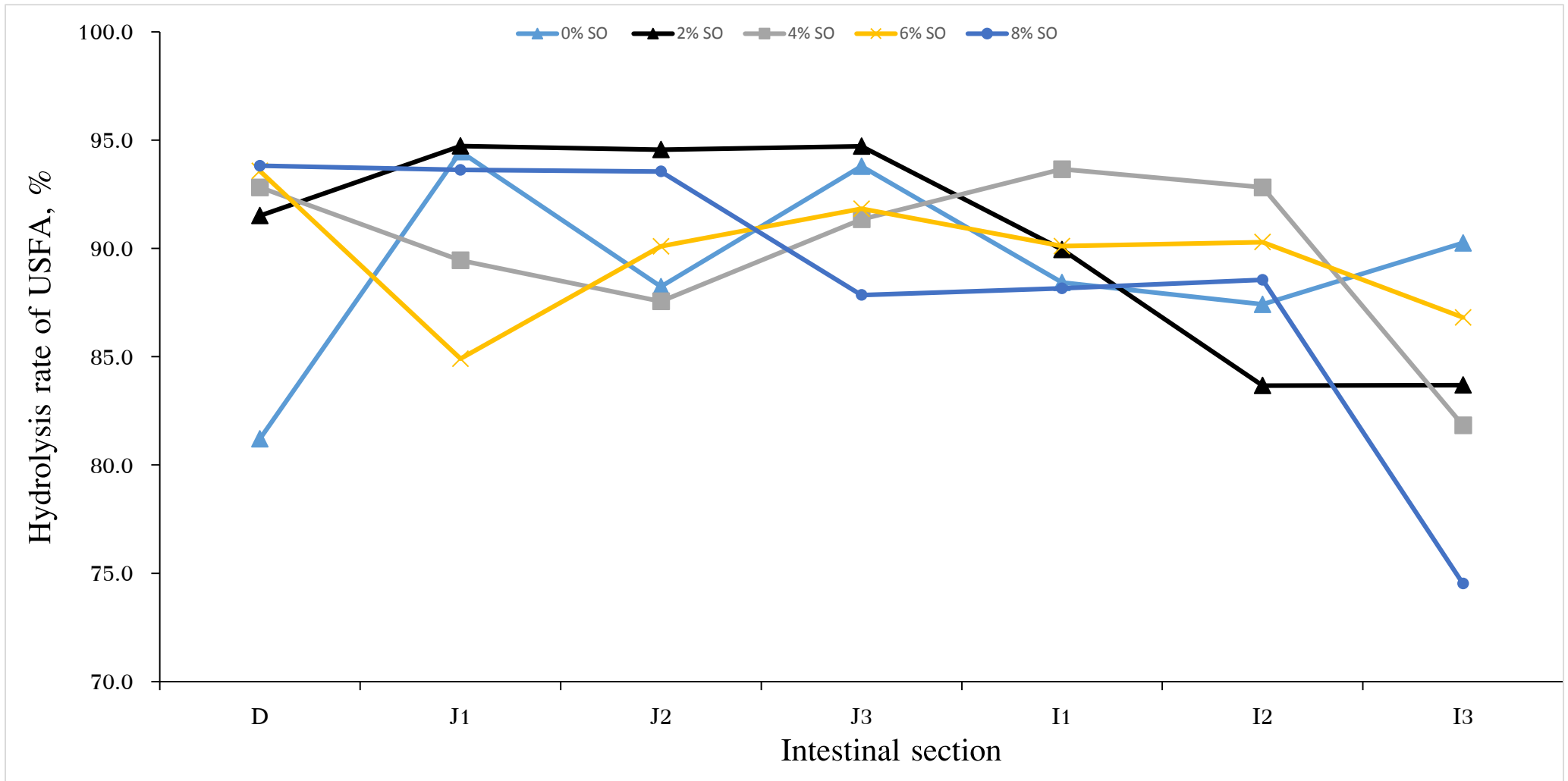


附錄 5. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中飽和脂肪酸 (SFA) 水解率之影響。

Appendix 5 . Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on hydrolysis rate of SFA in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P=0.75$ (SEM=2.06); section effect: $P<0.01$ (SEM=2.14); treatment \times section effect: $P=0.28$ (SEM=4.66).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

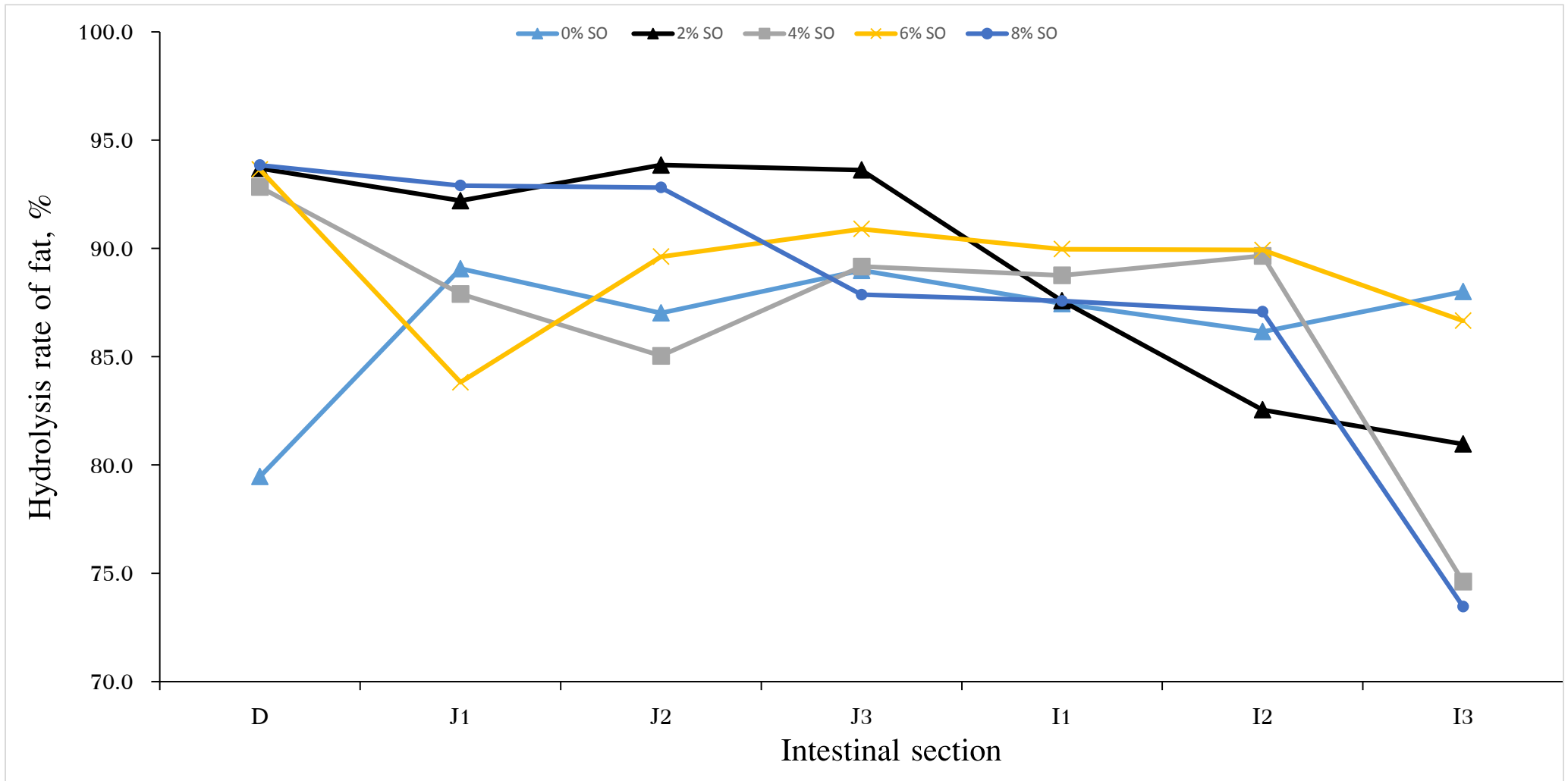


附錄 6. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中不飽和脂肪酸 (USFA) 水解率之影響。

Appendix 6 . Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on hydrolysis rate of USFA in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P=0.90$ (SEM=1.66); section effect: $P<0.05$ (SEM=1.94); treatment \times section effect: $P=0.23$ (SEM=4.22).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.



附錄 7. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中脂肪水解率之影響。

Appendix 7 . Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on hydrolysis rate of fat in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P=0.72$ (SEM=1.78); section effect: $P<0.01$ (SEM=1.99); treatment \times section effect: $P=0.26$ (SEM=4.33).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

附錄 8-1. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中各個脂肪酸表面消化率 (%) 之影響
 Appendix 8-1. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on apparent digestibility (%) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, %	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA
0	D	-405.30 ^a	-1220.57 ^a	-345.62 ^a	-35.69 ^a	-647.20 ^a	-136.07 ^a	-338.54 ^a
	J1	-9.63 ^a	-275.74 ^a	39.96 ^a	71.31 ^a	-88.58 ^a	59.19 ^a	0.65 ^a
	J2	41.41 ^a	-87.78 ^a	54.94 ^a	65.98 ^a	3.08 ^a	61.79 ^a	38.53 ^a
	J3	79.82 ^a	50.32 ^a	84.75 ^a	88.08 ^a	71.07 ^a	86.85 ^a	80.60 ^a
	I1	88.39 ^a	76.51 ^a	90.26 ^a	96.40 ^a	83.45 ^a	93.02 ^a	89.23 ^a
	I2	87.62 ^a	79.74 ^a	92.09 ^a	96.47 ^a	85.28 ^a	93.93 ^a	90.51 ^a
	I3	83.04 ^a	67.58 ^a	85.62 ^a	96.34 ^a	78.46 ^a	91.29 ^a	86.21 ^a
2	D	-51.81 ^b	-419.75 ^b	62.90 ^b	86.55 ^c	-147.62 ^b	79.48 ^c	17.74 ^b
	J1	74.12 ^b	18.87 ^b	94.38 ^b	94.23 ^b	59.73 ^b	94.10 ^b	87.12 ^b
	J2	83.09 ^{ab}	47.74 ^a	94.52 ^b	94.55 ^b	73.88 ^a	94.70 ^b	90.90 ^b
	J3	92.64 ^a	81.32 ^a	97.42 ^a	97.94 ^b	89.69 ^a	97.80 ^b	96.32 ^a
	I1	96.72 ^a	92.14 ^a	98.70 ^a	99.18 ^a	95.53 ^a	99.05 ^a	98.41 ^a
	I2	96.77 ^a	93.65 ^a	98.60 ^a	99.38 ^a	95.96 ^a	99.15 ^a	98.57 ^a
	I3	96.01 ^a	90.08 ^a	98.46 ^a	99.31 ^a	94.46 ^a	99.03 ^a	98.20 ^a
4	D	-94.87 ^b	-530.68 ^b	36.83 ^b	83.30 ^c	-214.31 ^b	70.74 ^{bc}	21.68 ^b
	J1	79.18 ^b	37.03 ^b	93.60 ^b	96.08 ^b	67.63 ^b	95.59 ^b	91.12 ^b
	J2	92.27 ^b	78.13 ^a	96.33 ^b	97.21 ^b	88.39 ^a	97.07 ^b	95.17 ^b
	J3	96.17 ^a	90.91 ^a	98.34 ^a	98.69 ^b	94.73 ^a	98.62 ^b	98.24 ^a
	I1	97.74 ^a	95.44 ^a	98.92 ^a	99.41 ^a	97.11 ^a	99.29 ^a	98.92 ^a
	I2	98.16 ^a	96.65 ^a	99.12 ^a	99.55 ^a	97.74 ^a	99.45 ^a	99.15 ^a
	I3	97.28 ^a	94.69 ^a	98.70 ^a	99.50 ^a	96.57 ^a	99.29 ^a	98.82 ^a
6	D	-71.32 ^b	-315.73 ^c	34.03 ^b	64.22 ^b	-138.61 ^b	57.05 ^b	26.25 ^b
	J1	67.07 ^b	4.05 ^b	87.32 ^b	89.66 ^b	49.72 ^b	89.15 ^b	86.49 ^b
	J2	95.99 ^b	84.79 ^a	97.79 ^b	97.69 ^b	92.91 ^a	97.78 ^b	96.95 ^b
	J3	95.79 ^a	90.28 ^a	98.07 ^a	98.52 ^b	94.28 ^a	98.43 ^b	97.73 ^a
	I1	97.77 ^a	96.63 ^a	98.95 ^a	99.52 ^a	97.46 ^a	99.38 ^a	99.05 ^a
	I2	97.95 ^a	95.81 ^a	99.00 ^a	99.60 ^a	97.36 ^a	99.44 ^a	99.09 ^a
	I3	97.42 ^a	94.81 ^a	98.60 ^a	99.52 ^a	96.70 ^a	99.28 ^a	98.84 ^a

附錄 8-2. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中各個脂肪酸表面消化率之影響

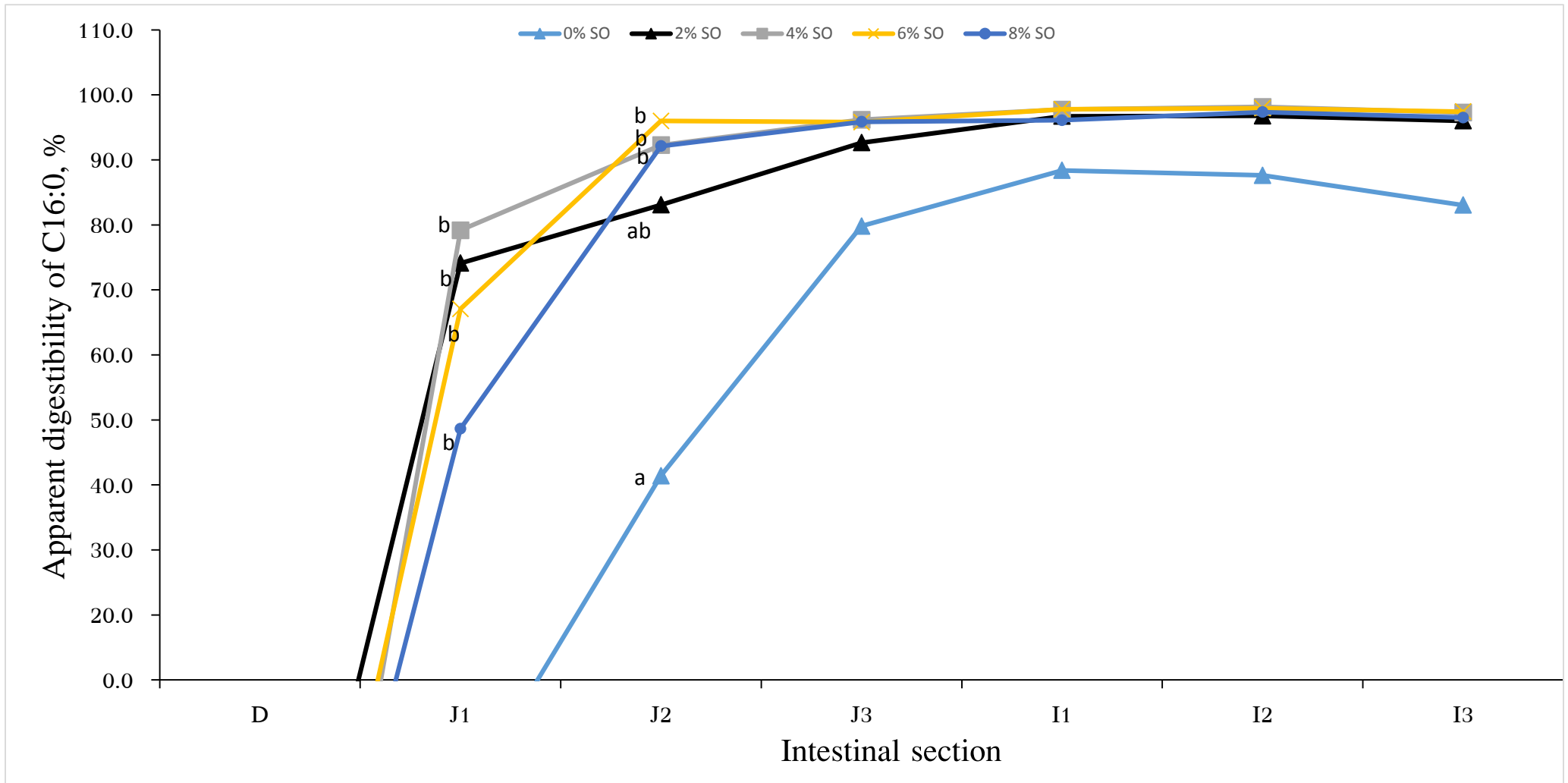
Appendix 8-2. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on apparent digestibility (%) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, %	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA
8	D	-71.18 ^b	-324.63 ^c	36.12 ^b	77.22 ^c	-140.56 ^b	66.20 ^b	31.19 ^b
	J1	48.65 ^b	-30.75 ^b	75.87 ^b	87.52 ^b	26.91 ^b	84.90 ^b	89.21 ^b
	J2	92.12 ^b	85.14 ^a	96.29 ^b	97.29 ^b	90.21 ^a	97.22 ^b	96.81 ^b
	J3	95.85 ^a	92.83 ^a	97.95 ^a	98.81 ^b	95.02 ^a	98.66 ^b	98.04 ^a
	I1	96.09 ^a	93.65 ^a	97.82 ^a	98.75 ^a	95.42 ^a	98.58 ^a	98.05 ^a
	I2	97.35 ^a	94.72 ^a	98.54 ^a	99.34 ^a	96.63 ^a	99.15 ^a	98.72 ^a
	I3	96.51 ^a	93.04 ^a	98.28 ^a	99.16 ^a	95.56 ^a	98.91 ^a	98.34 ^a
Pooled SEM		20.47	72.53	9.45	3.27	33.77	3.67	9.86
Significance								
Fat %		***	**	***	***	**	***	***
Intestinal section		***	***	***	***	***	***	***
Fat % × intestinal section		***	***	***	***	***	***	***

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third part of jejunum; I1 to I3: first to third part of ileum.

^{a-c}Means in each intestinal section not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

NS: not significant; * $P = 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.



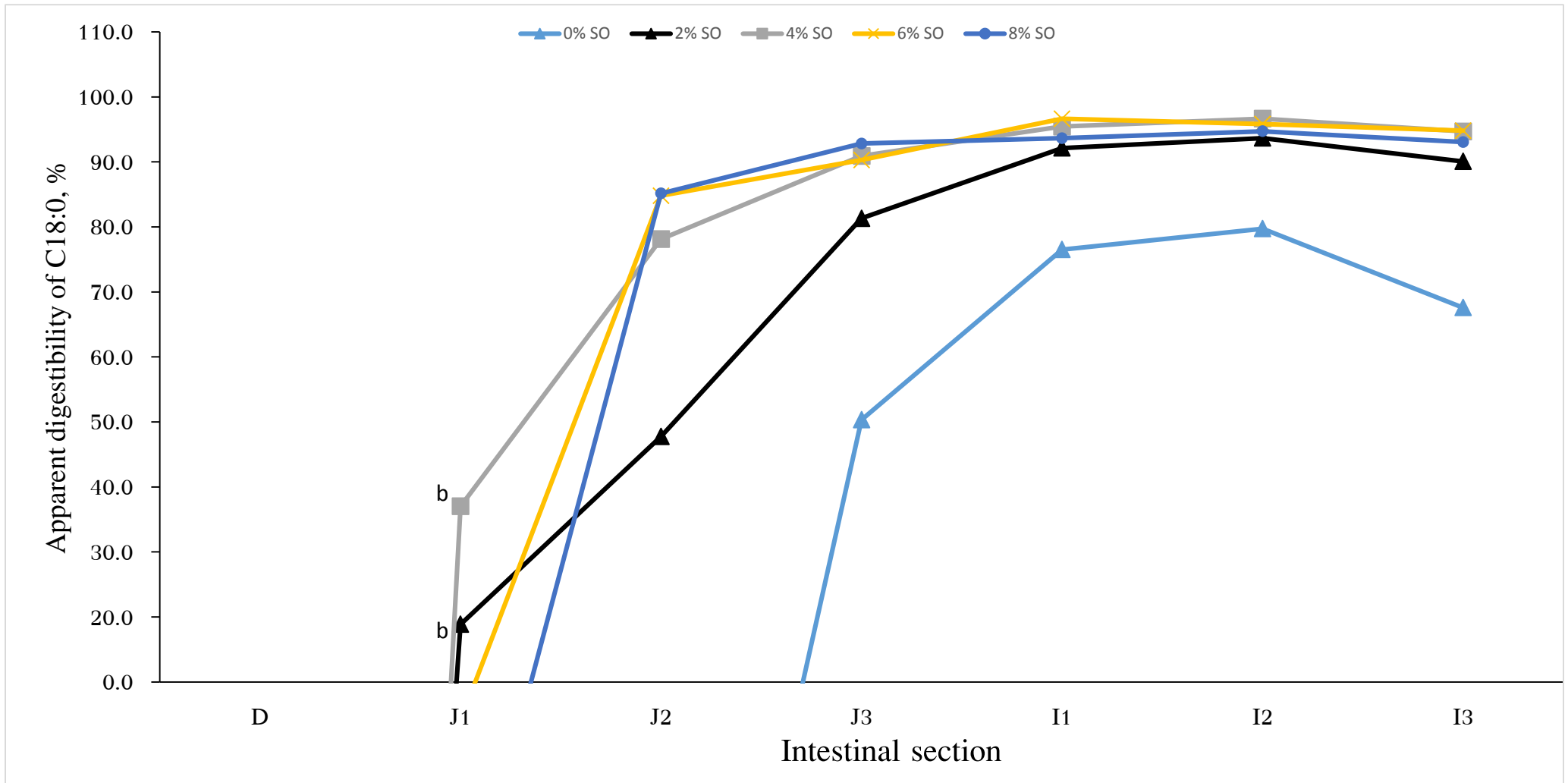
附錄 9. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中棕櫚酸 (C16:0) 表面消化率之影響。

Appendix 9. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent digestibility of palmitic acid (C16:0) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=10.36); section effect: $P < 0.001$ (SEM=9.29); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=20.47).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

^{ab} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



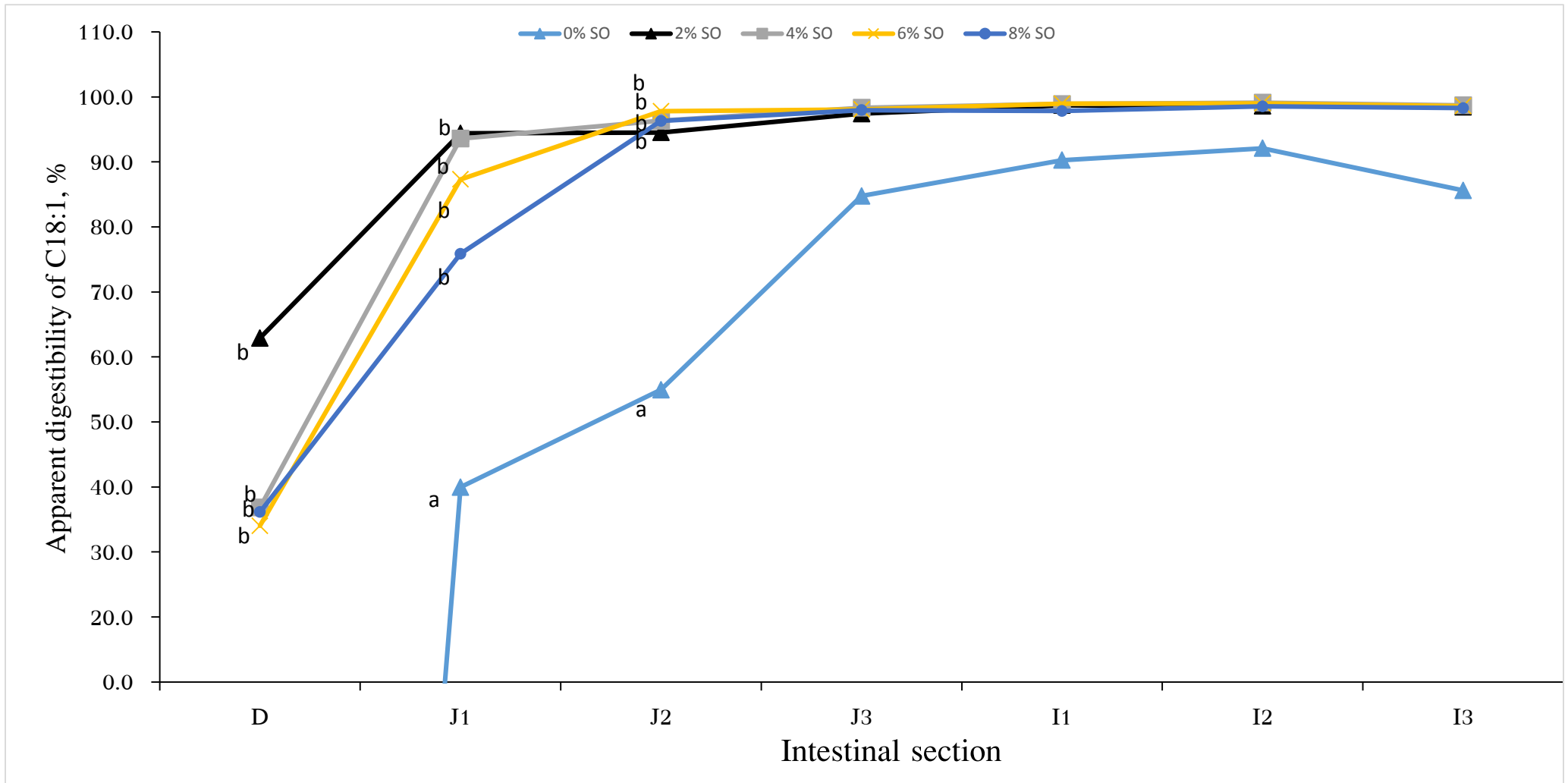
附錄 10. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中硬脂酸 (C18:0) 表面消化率之影響。

Appendix 10. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent digestibility of stearic acid (C18:0) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=34.77); section effect: $P < 0.001$ (SEM=32.93); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=72.53).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

^{abc} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



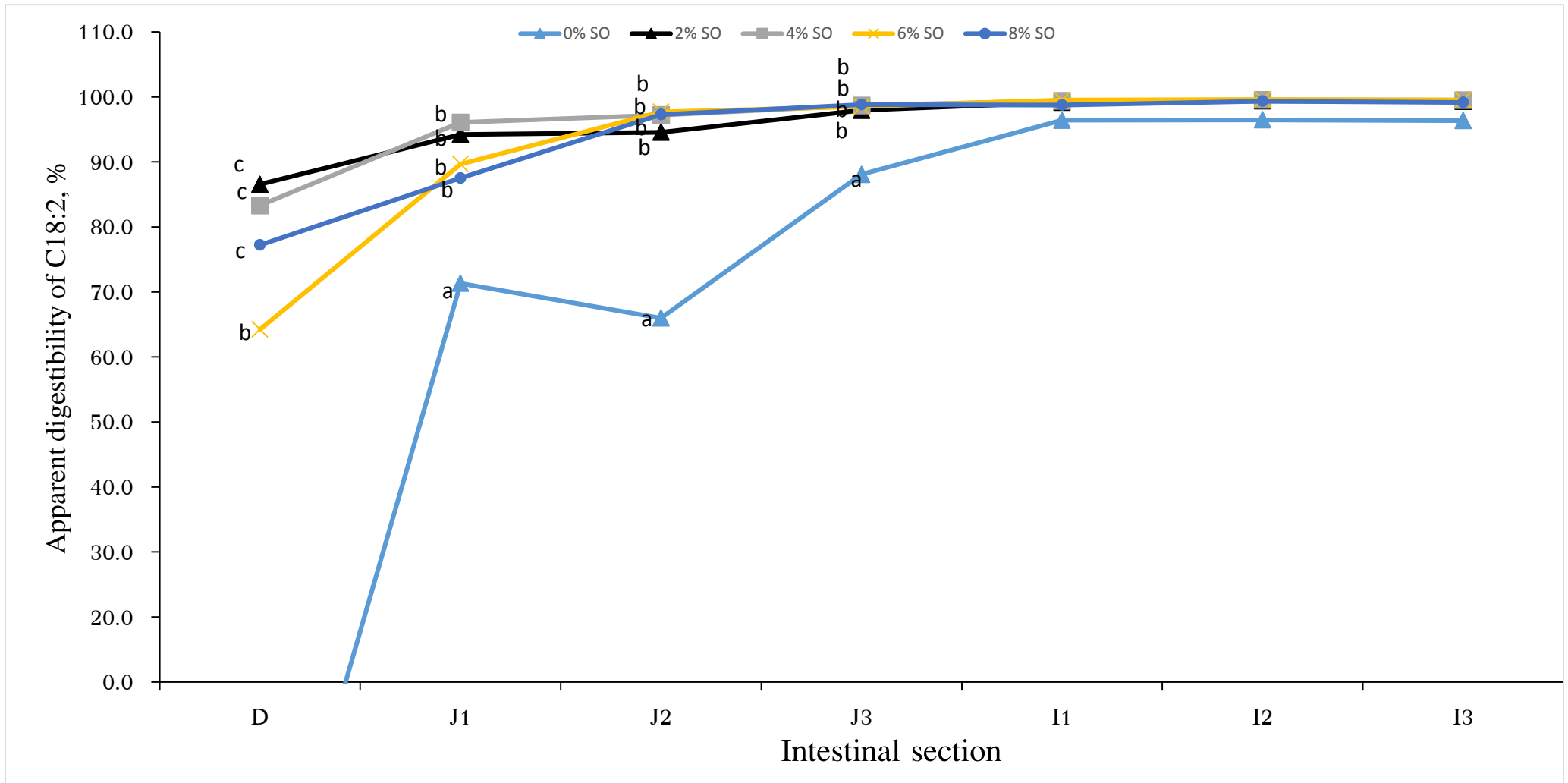
附錄 11. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中油酸 (C18:1) 表面消化率之影響。

Appendix 11. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent digestibility of oleic acid (C18:1) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=5.36); section effect: $P < 0.001$ (SEM=4.28); treatment \times section effect: $P < 0.01$ (SEM=9.45).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

^{ab} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



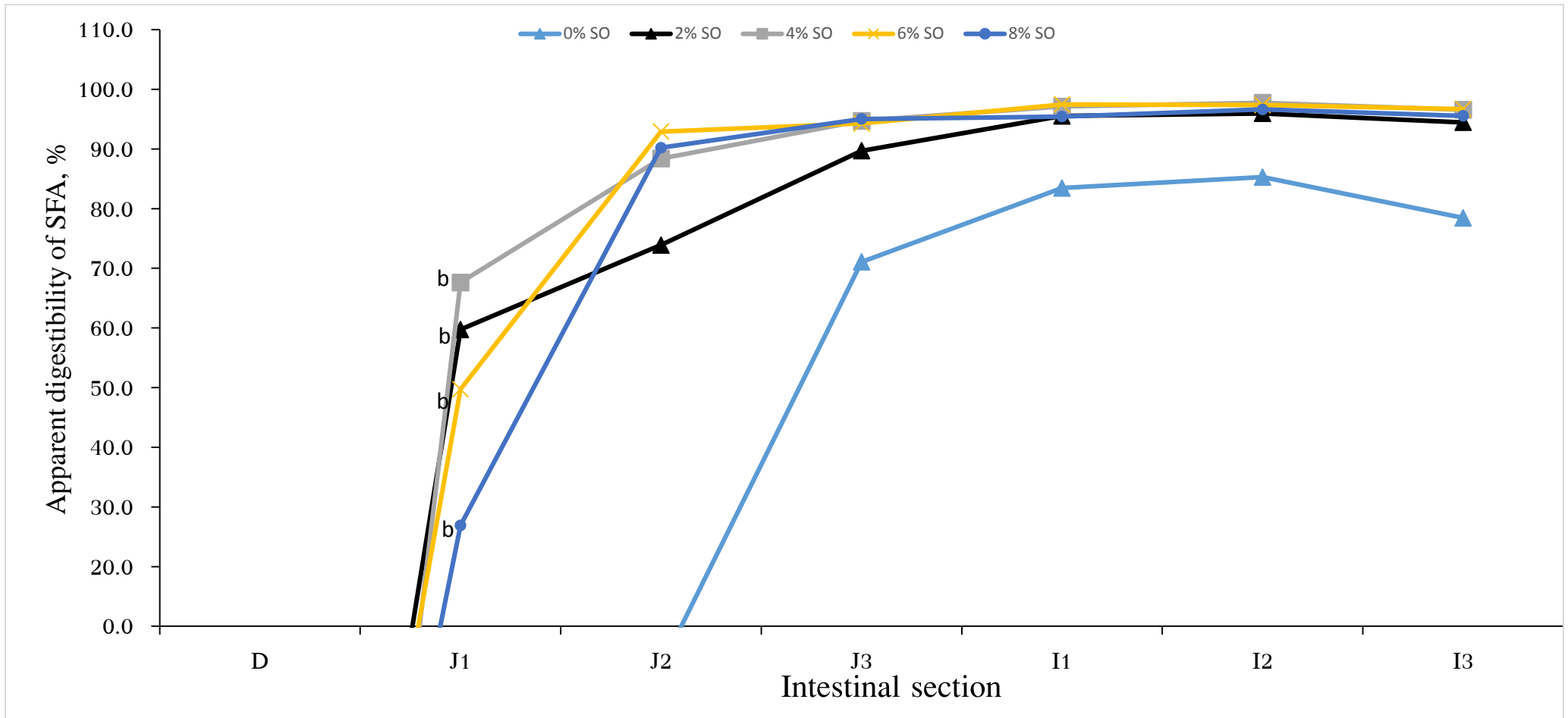
附錄 12. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中亞麻油酸 (C18:2) 表面消化率之影響。

Appendix 12. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent digestibility of linoleic acid (C18:2) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=1.56); section effect: $P < 0.001$ (SEM=1.49); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=3.27).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

^{abc} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



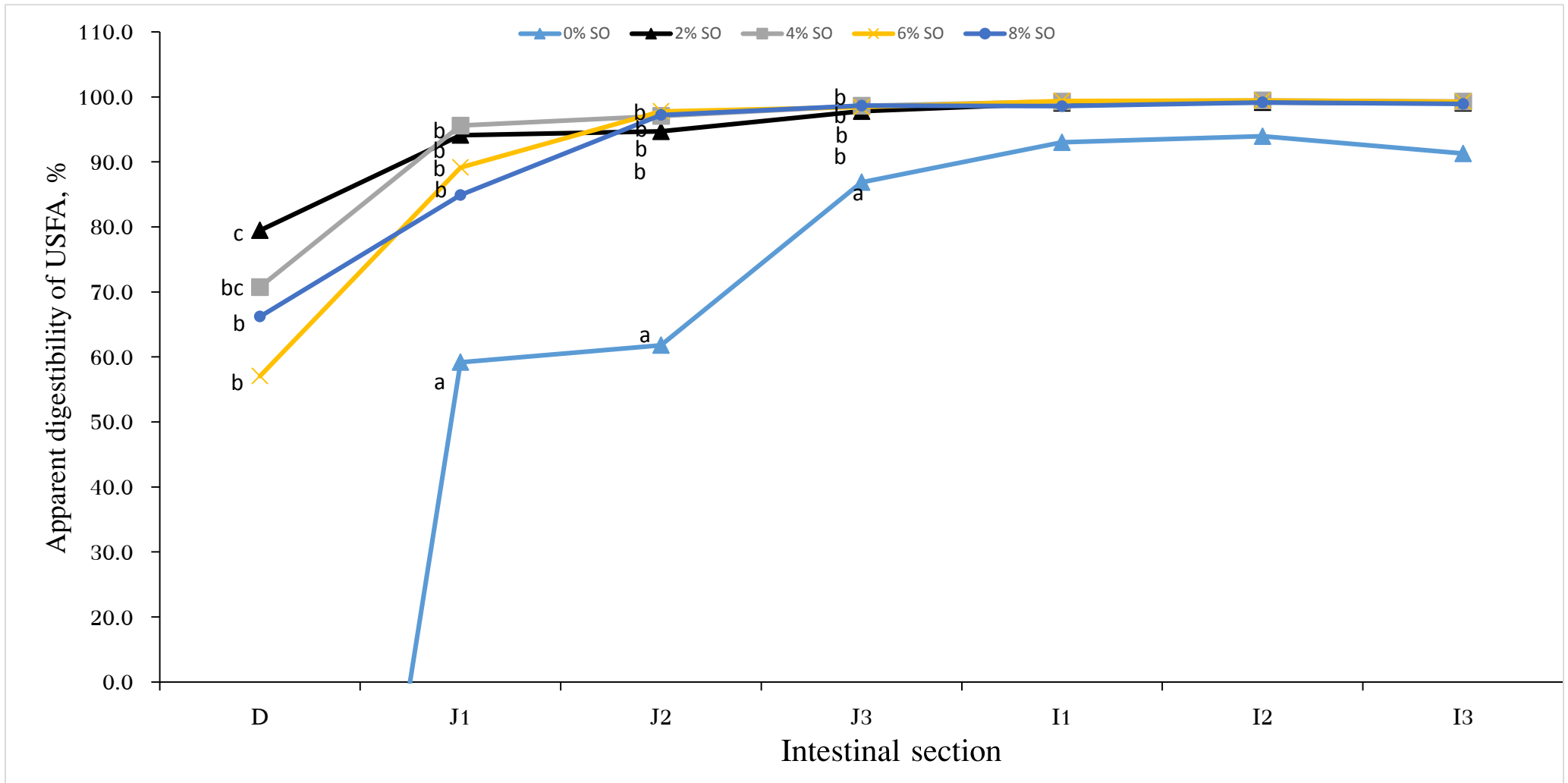
附錄 13. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中飽和脂肪酸 (SFA) 表面消化率之影響。

Appendix 13. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent digestibility of saturated fatty acid (SFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=16.13); section effect: $P < 0.001$ (SEM=15.33); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=33.77).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

^{ab} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



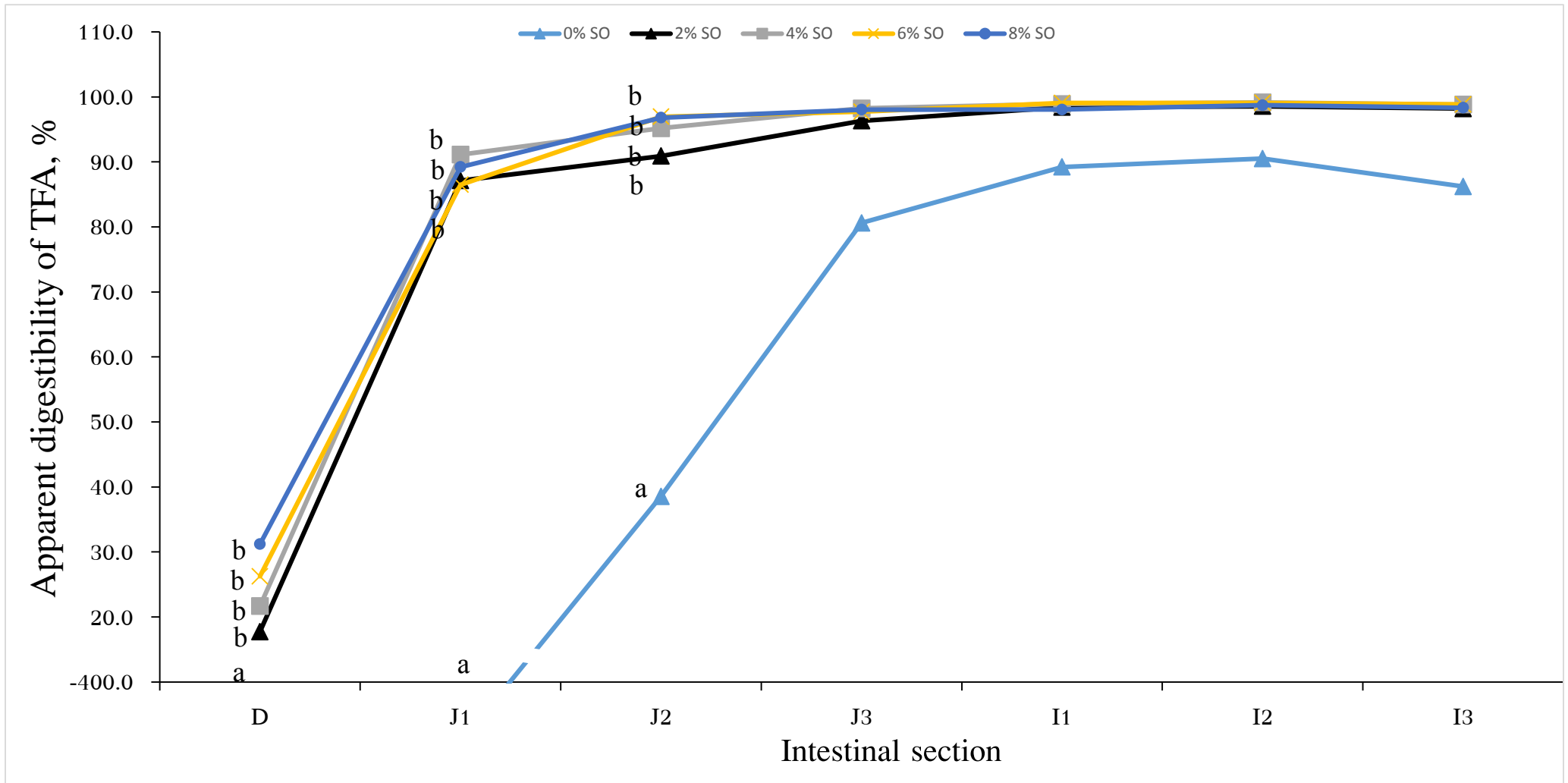
附錄 14. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中不飽和脂肪酸 (USFA) 表面消化率之影響。

Appendix 14. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent digestibility of unsaturated fatty acid (USFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=1.98); section effect: $P < 0.001$ (SEM=1.67); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=3.67).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

^{abc} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



附錄 15. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中總脂肪酸 (TFA) 表面消化率之影響。

Appendix 15. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent digestibility of total fatty acid (TFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=3.22); section effect: $P < 0.001$ (SEM=4.49); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=9.86).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

^{ab} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).

附錄 16. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中各個脂肪酸真消化率之影響 (無脂飼糧法)
 Appendix 16. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on true digestibility (%) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens (fat-free diet method)

Added fat, %	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA
2	D	46.69	-111.48	94.40	98.14	5.50	97.16	59.25
	J1	99.23	122.03	99.09	96.88	105.17	97.45	93.34
	J2	96.51	99.30	98.05	97.71	97.24	97.83	94.31
	J3	97.26	94.96	98.62	99.05	96.66	98.87	97.39
	I1	99.38	97.63	99.31	99.48	98.93	99.54	98.92
	I2	99.47	98.94	99.18	99.68	99.33	99.61	99.06
	I3	99.77	98.76	99.58	99.65	99.51	99.73	98.95
4	D	-46.70	-390.11	52.32	88.40	-140.82	78.64	31.28
	J1	91.46	84.07	95.91	97.25	89.43	97.08	93.27
	J2	98.84	101.64	98.07	98.60	99.60	98.47	97.12
	J3	98.43	97.13	98.93	99.18	98.07	99.11	98.44
	I1	99.04	97.94	99.22	99.54	98.74	99.51	99.15
	I2	99.47	99.07	99.40	99.69	99.36	99.65	99.38
	I3	99.12	98.65	99.25	99.65	98.99	99.60	99.16
6	D	-33.90	-207.21	45.84	68.12	-81.62	63.11	31.11
	J1	76.61	40.37	89.09	90.55	66.63	90.29	84.35
	J2	101.09	102.94	99.12	98.75	101.60	98.85	98.14
	J3	97.55	95.08	98.52	98.89	96.87	98.80	98.10
	I1	98.79	98.57	99.18	99.62	98.72	99.55	99.23
	I2	98.97	97.67	99.21	99.70	98.62	99.60	99.26
	I3	98.85	97.86	99.02	99.64	98.58	99.52	99.10
8	D	-40.12	-233.85	45.90	80.46	-93.16	71.20	37.28
	J1	56.57	-0.37	77.33	88.26	40.98	85.84	76.66
	J2	96.35	100.32	97.38	98.17	97.44	98.11	97.01
	J3	97.31	96.84	98.32	99.12	97.18	98.96	98.35
	I1	96.93	95.27	98.01	98.83	96.47	98.72	98.19
	I2	98.20	96.27	98.71	99.42	97.67	99.28	98.87
	I3	97.69	95.60	98.63	99.25	97.12	99.10	98.55
Pooled SEM		23.28	76.44	7.58	2.53	37.00	3.62	9.07
Significance								
Fat %		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Intestinal section		***	***	***	***	***	***	***
Fat % × intestinal section		NS	NS	NS	***	NS	***	NS

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third part of jejunum; I1 to I3: first to third part of ileum.

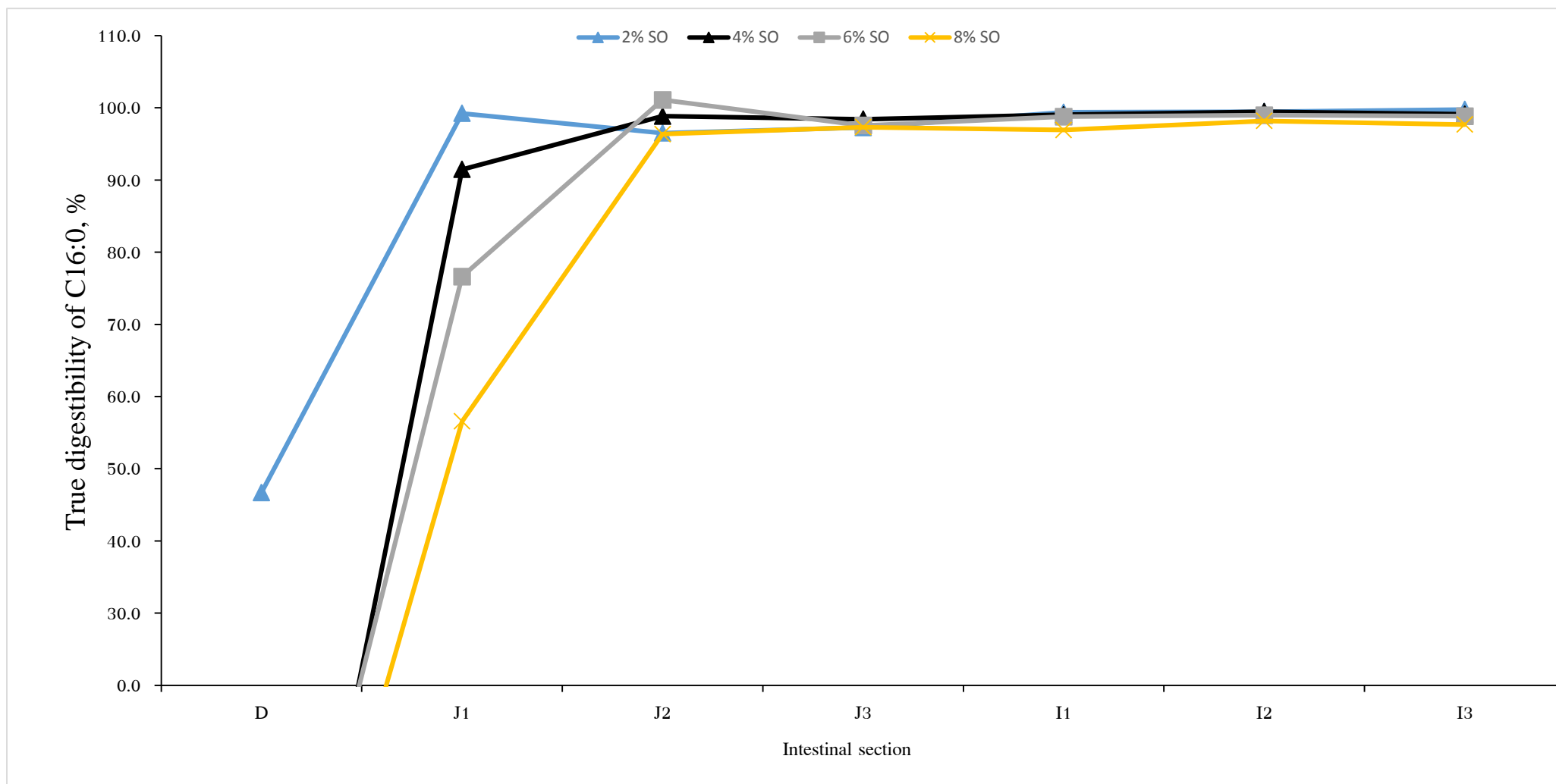
NS: not significant; * $P = 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

附錄 17. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中各個脂肪酸真消化率之影響 (直線回歸法)
 Appendix 17. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on true digestibility (%) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens (linear regression method)

Added fat, %	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA
2	D	-0.92	-258.52	79.14	92.58	-68.00	88.60	60.04
	J1	92.90	96.22	98.03	96.33	93.76	96.71	96.17
	J2	95.29	93.08	97.68	97.36	94.71	97.50	96.99
	J3	96.68	93.11	98.49	98.91	95.75	98.76	98.21
	I1	97.04	92.83	98.77	99.22	95.94	99.11	98.53
	I2	99.10	98.27	99.09	99.62	98.88	99.53	99.41
	I3	97.91	94.44	98.95	99.47	97.00	99.35	98.92
4	D	-69.98	-457.16	44.82	85.96	-176.10	74.82	31.64
	J1	89.72	69.34	95.51	97.53	84.13	97.13	94.89
	J2	97.91	97.30	97.52	98.03	97.74	97.97	97.93
	J3	98.64	97.51	99.10	99.31	98.33	99.26	99.10
	I1	97.89	95.75	98.96	99.42	97.31	99.32	98.97
	I2	99.29	98.76	99.36	99.66	99.15	99.62	99.54
	I3	98.21	96.68	98.95	99.57	97.79	99.43	99.15
6	D	-51.99	-258.97	40.12	66.25	-108.98	60.18	31.39
	J1	74.21	31.28	88.69	90.37	62.39	90.04	85.33
	J2	100.63	100.75	98.98	98.64	100.66	98.74	99.07
	J3	97.33	94.43	98.47	98.85	96.53	98.76	98.38
	I1	97.90	96.87	98.98	99.53	97.61	99.40	99.10
	I2	98.83	97.43	99.18	99.68	98.45	99.57	99.38
	I3	98.14	96.34	98.79	99.58	97.64	99.38	99.09
8	D	-55.14	-277.15	41.16	78.90	-115.91	68.78	37.51
	J1	54.57	-7.97	77.00	88.10	37.45	85.63	77.47
	J2	95.97	98.49	97.27	98.07	96.66	98.01	97.78
	J3	97.12	96.30	98.28	99.08	96.90	98.93	98.58
	I1	96.19	93.85	97.85	98.76	95.55	98.60	98.08
	I2	98.08	96.08	98.69	99.41	97.53	99.26	98.97
	I3	97.10	94.32	98.43	99.20	96.34	99.00	98.55
Pooled SEM		20.70	72.68	7.20	2.43	34.90	3.48	8.63
Significance								
Fat %		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Intestinal section		***	***	***	***	***	***	***
Fat % × intestinal section		NS	NS	NS	***	NS	**	NS

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third part of jejunum; I1 to I3: first to third part of ileum.

NS: not significant; * $P = 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

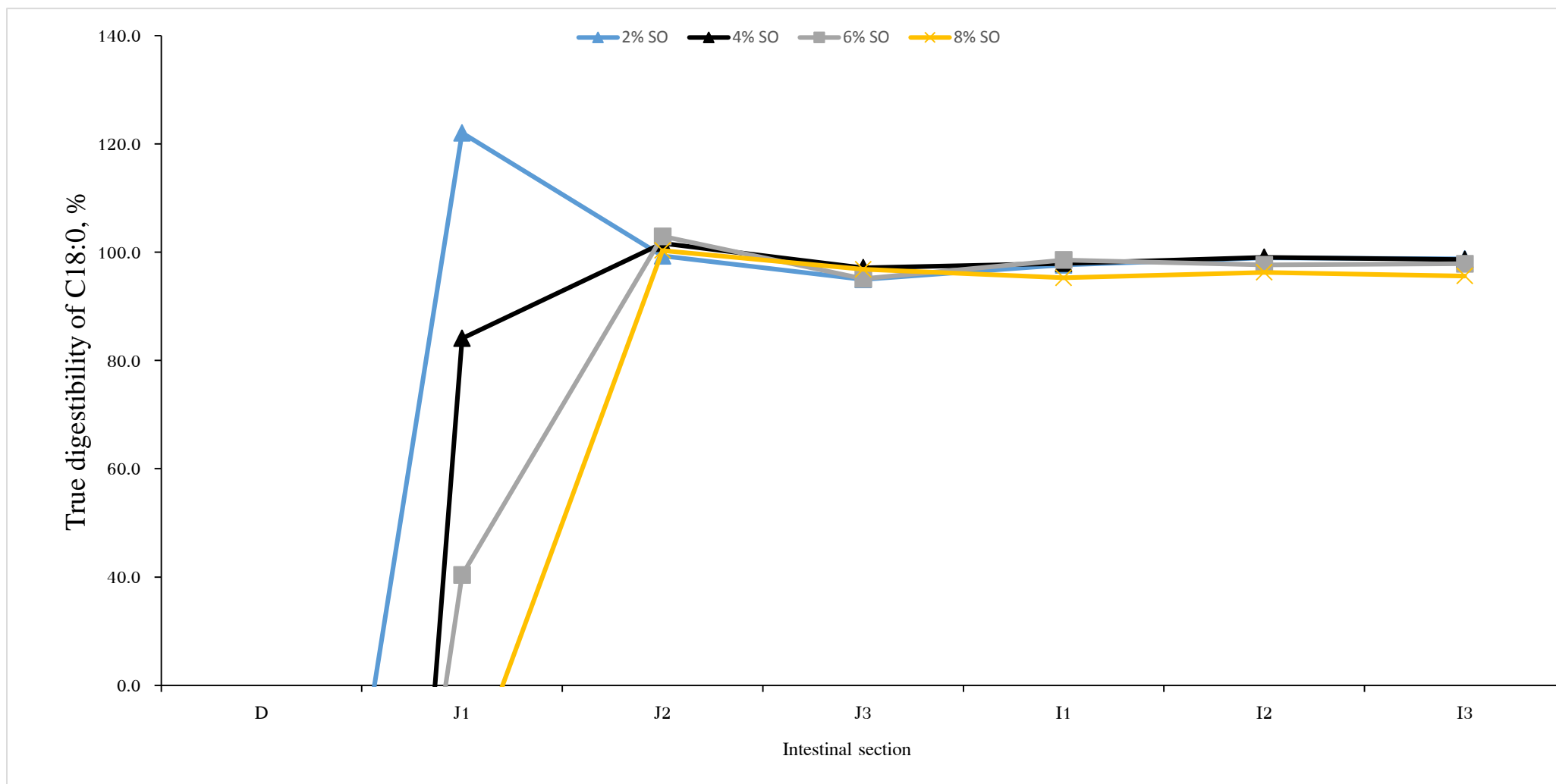


附錄 18. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中棕櫚酸 (C16:0) 真消化率之影響 (無脂飼糧法)。

Appendix 18. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of palmitic acid (C16:0) in each intestinal sections of broiler chickens (fat-free diet method).

Treatment effect: $P=0.86$ (SEM=15.71); section effect: $P<0.001$ (SEM=11.76); treatment \times section effect: $P=0.94$ (SEM=23.28).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

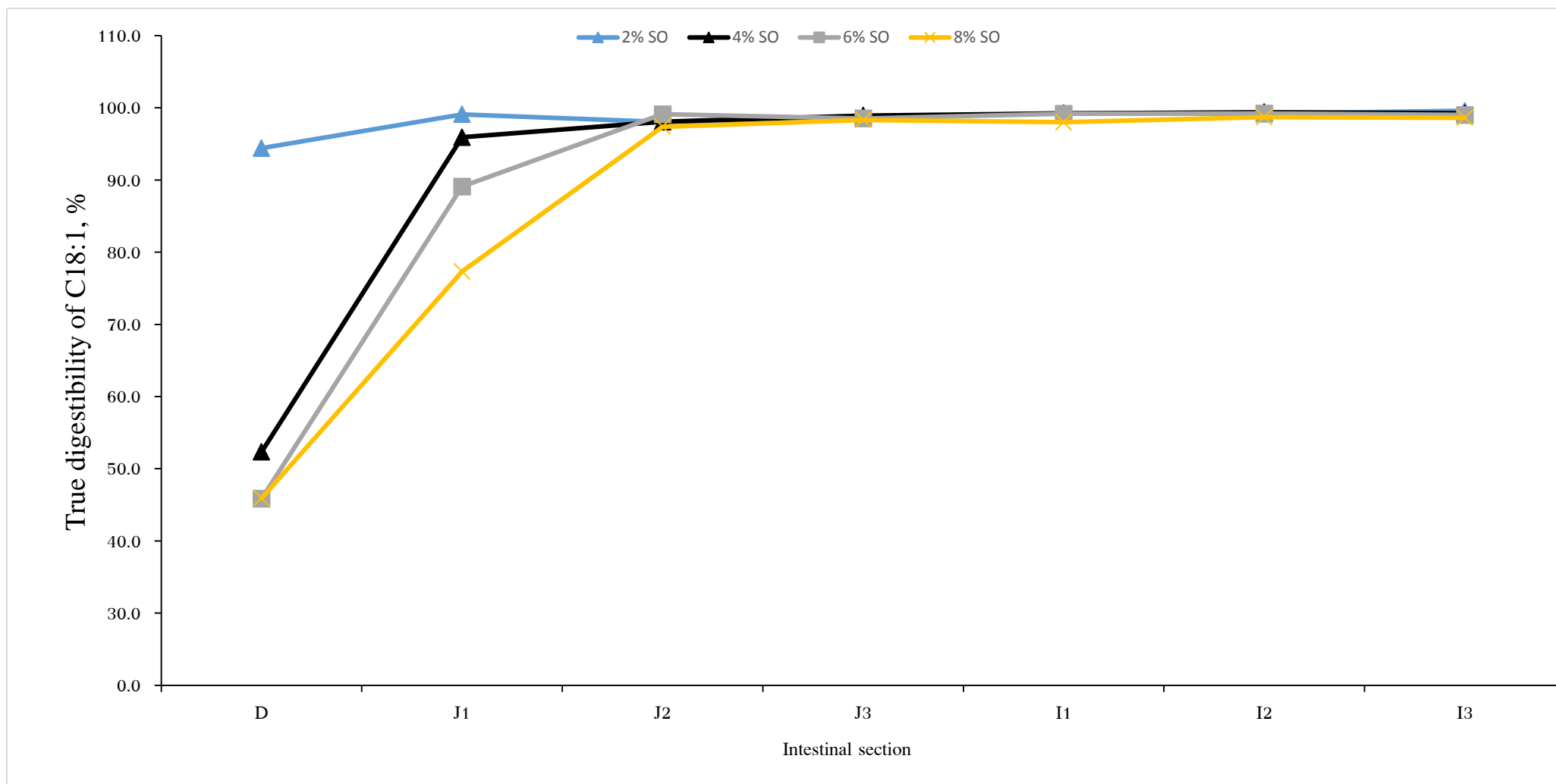


附錄 19. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中硬脂酸 (C18:0) 真消化率之影響 (無脂飼糧法)。

Appendix 19. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of stearic acid (C18:0) in each intestinal sections of broiler chickens (fat-free diet method).

Treatment effect: $P=0.94$ (SEM=53.29); section effect: $P<0.001$ (SEM=38.57); treatment \times section effect: $P=0.99$ (SEM=76.44).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

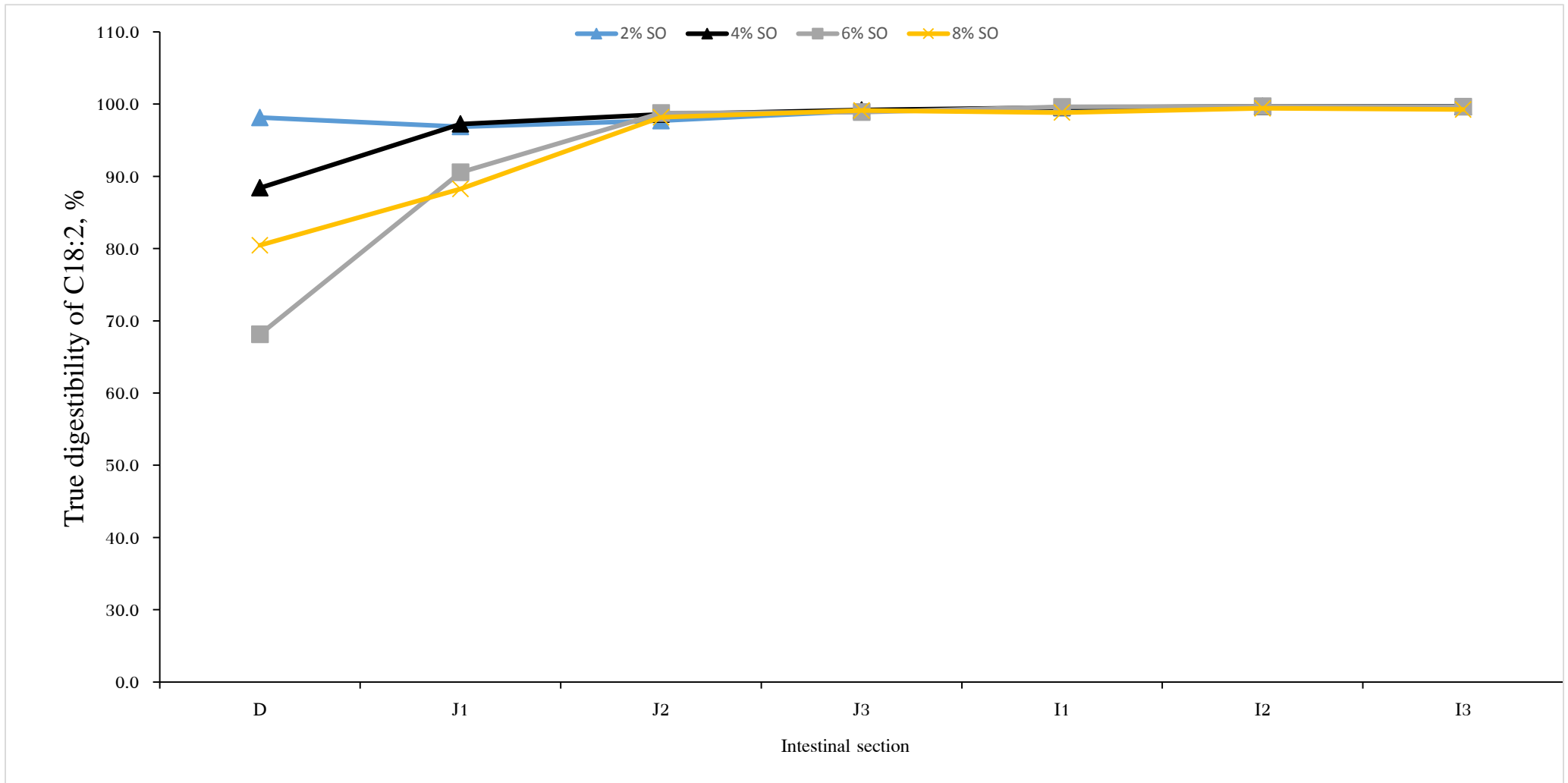


附錄 20. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中油酸 (C18:1) 真消化率之影響 (無脂飼糧法)。

Appendix 20 . Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of oleic acid (C18:1) in each intestinal sections of broiler chickens (fat-free diet method).

Treatment effect: $P=0.55$ (SEM=5.04); section effect: $P<0.001$ (SEM=3.83); treatment \times section effect: $P<0.12$ (SEM=7.58).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

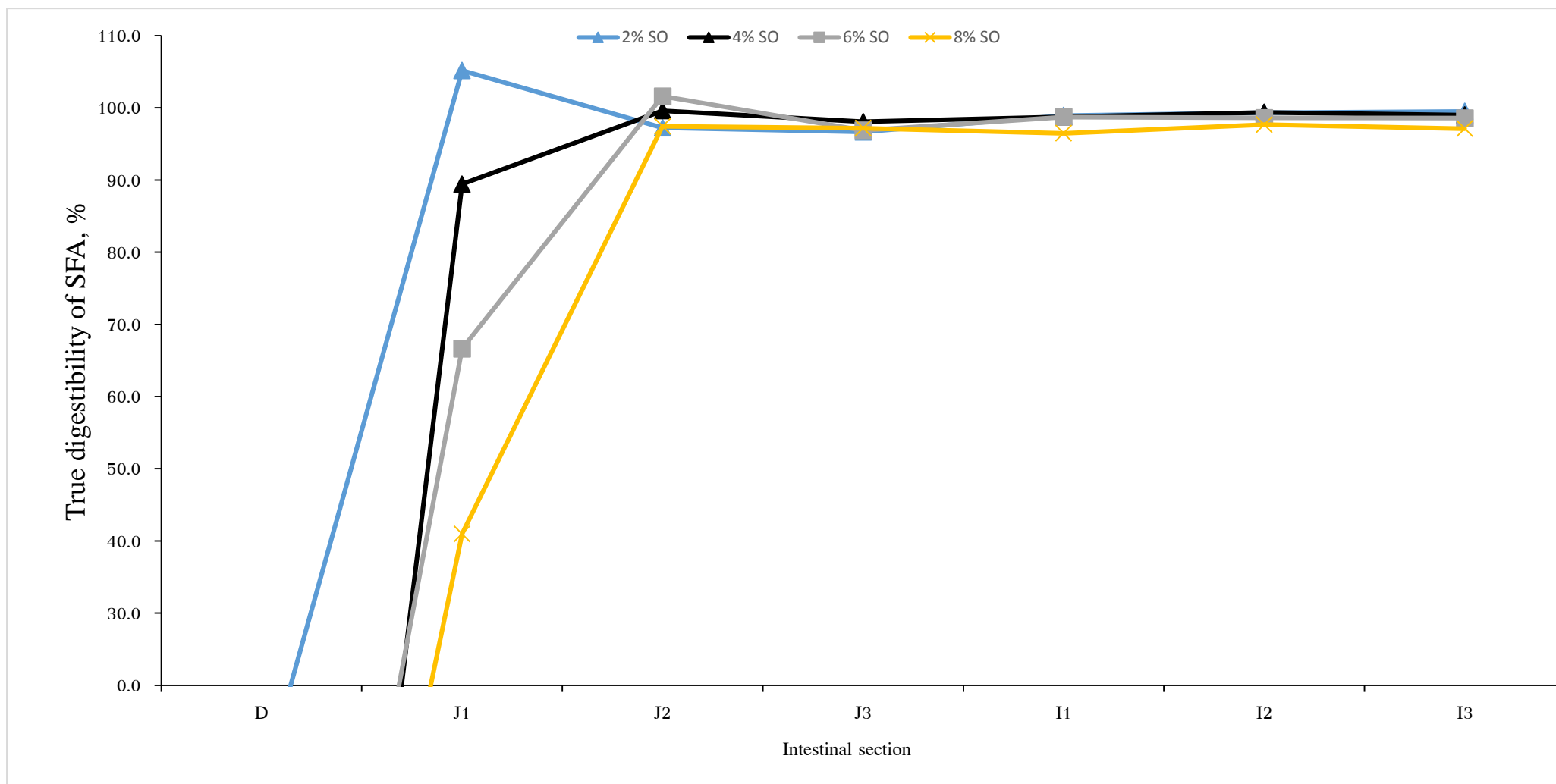


附錄 21. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中亞麻油酸 (C18:2) 真消化率之影響 (無脂飼糧法)。

Appendix 21. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of linoleic acid (C18:2) in each intestinal sections of broiler chickens (fat-free diet method).

Treatment effect: $P=0.25$ (SEM=1.76); section effect : $P<0.001$ (SEM=1.27); treatment \times section effect: $P<0.001$ (SEM=2.53).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

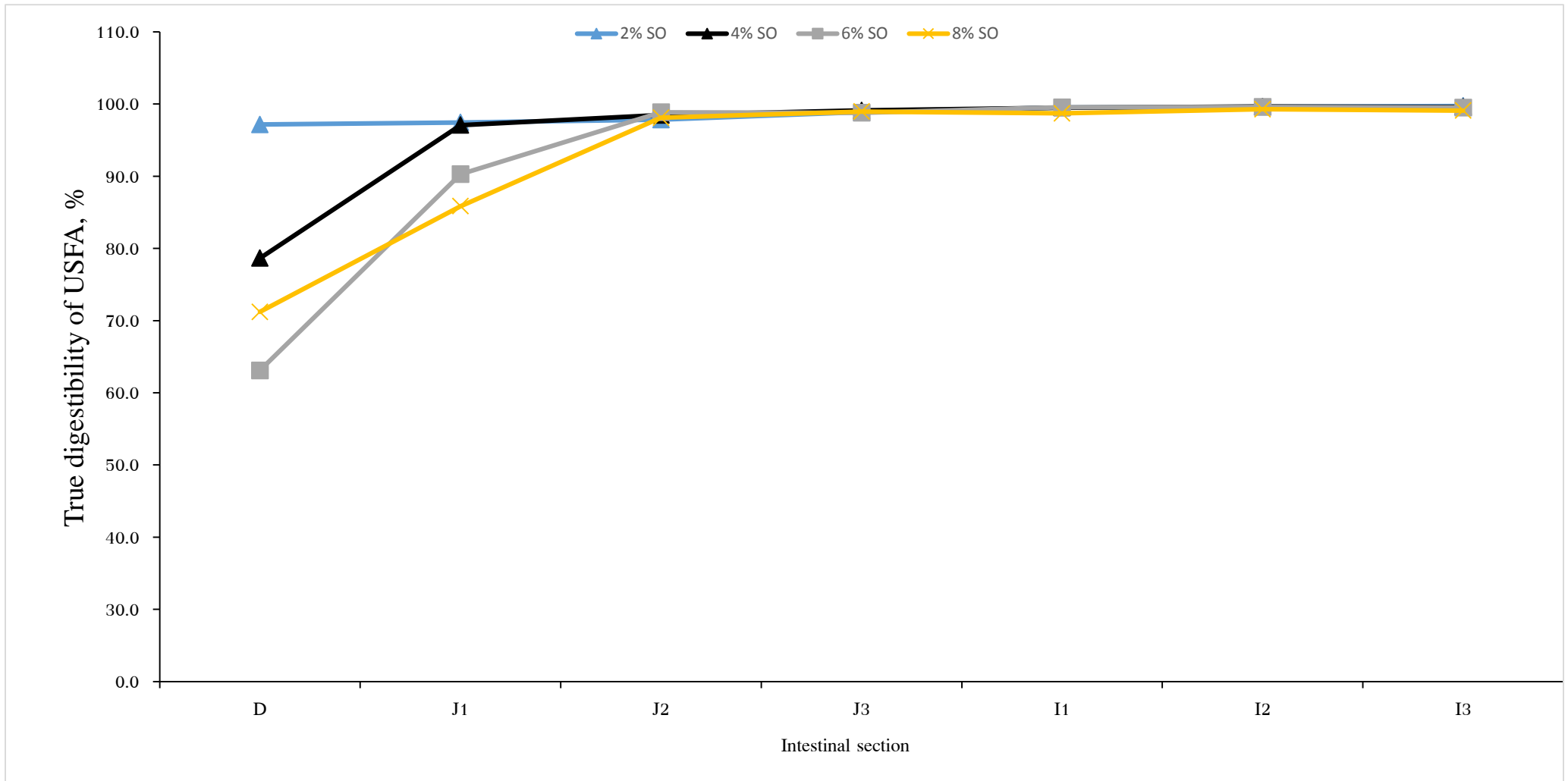


附錄 22. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中飽和脂肪酸 (SFA) 真消化率之影響 (無脂飼糧法)。

Appendix 22. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of saturated fatty acid (SFA) in each intestinal sections of broiler chickens (fat-free diet method).

Treatment effect: $P=0.92$ (SEM=25.86); section effect: $P<0.001$ (SEM=18.67); treatment \times section effect: $P<0.98$ (SEM=37.00).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

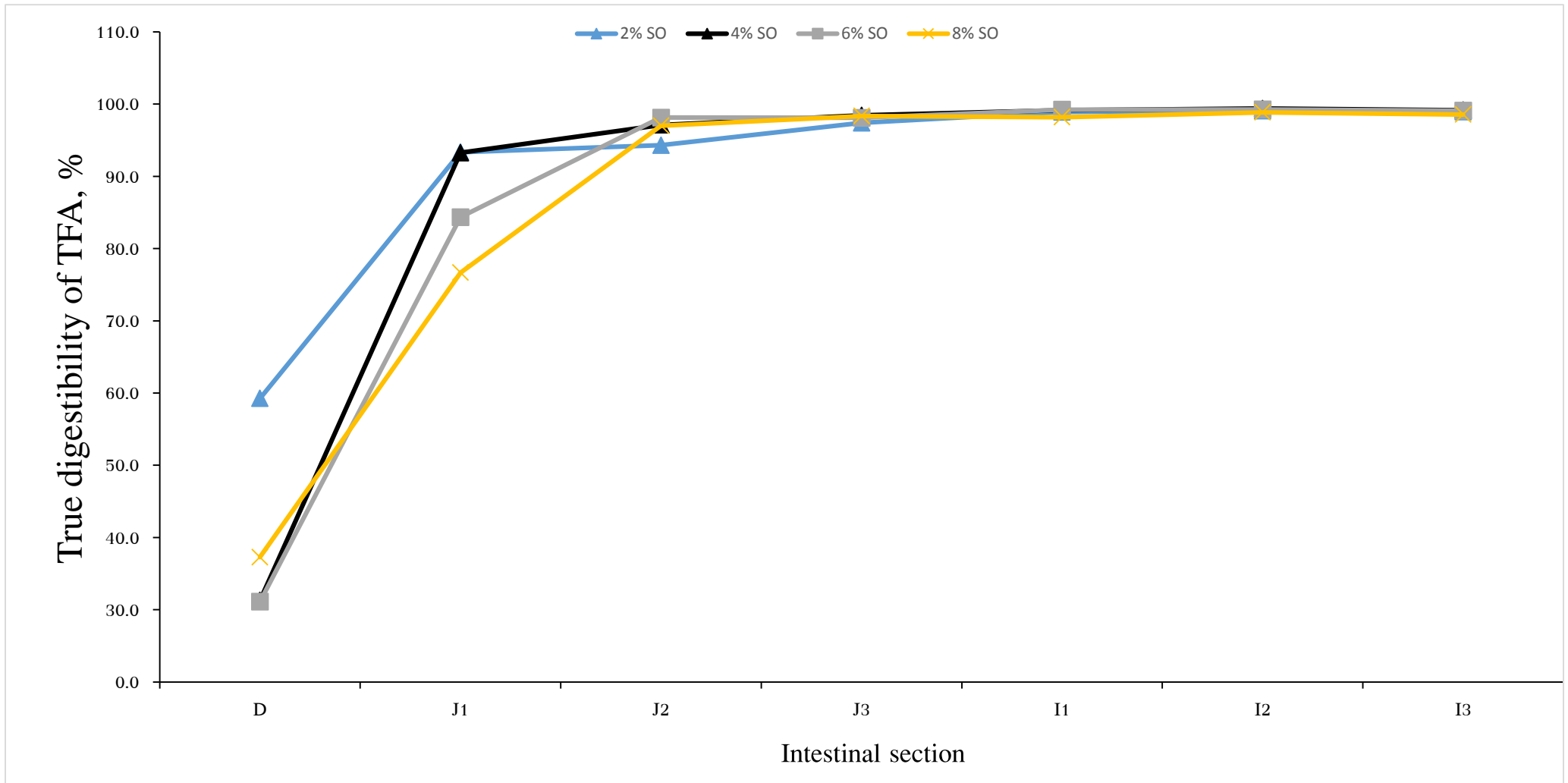


附錄 23. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中不飽和脂肪酸 (USFA) 真消化率之影響 (無脂飼糧法)。

Appendix 23. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of unsaturated fatty acid (USFA) in each intestinal sections of broiler chickens (fat-free diet method).

Treatment effect: $P=0.43$ (SEM=2.58); section effect: $P<0.001$ (SEM=1.83); treatment \times section effect: $P<0.001$ (SEM=3.62).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

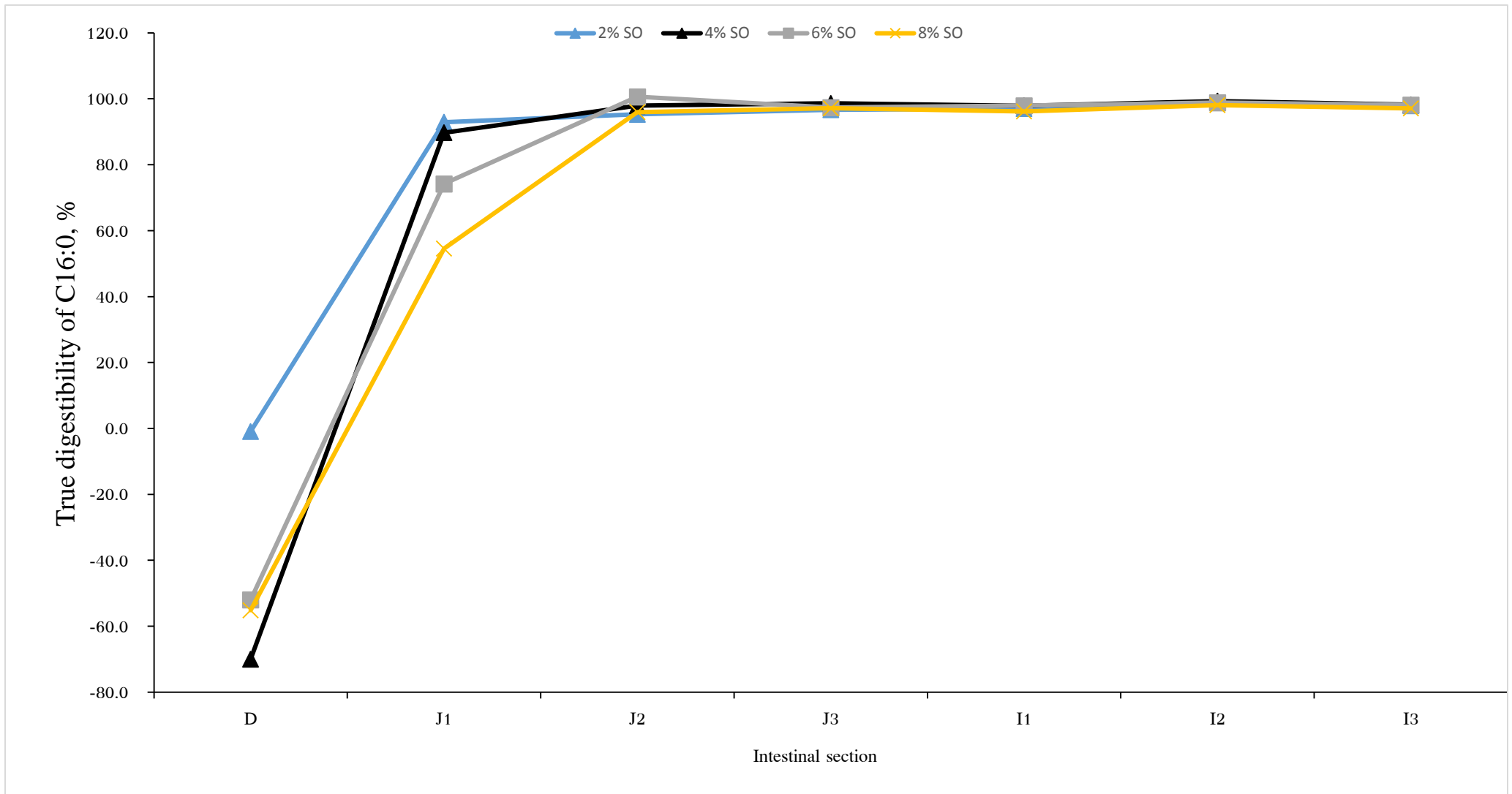


附錄 24. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中總脂肪酸 (TFA) 真消化率之影響 (無脂飼糧法)。

Appendix 24. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of total fatty acid (TFA) in each intestinal sections of broiler chickens (fat-free diet method).

Treatment effect: $P=0.96$ (SEM=6.48); section effect: $P<0.001$ (SEM=4.58); treatment \times section effect: $P=0.93$ (SEM=9.07).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

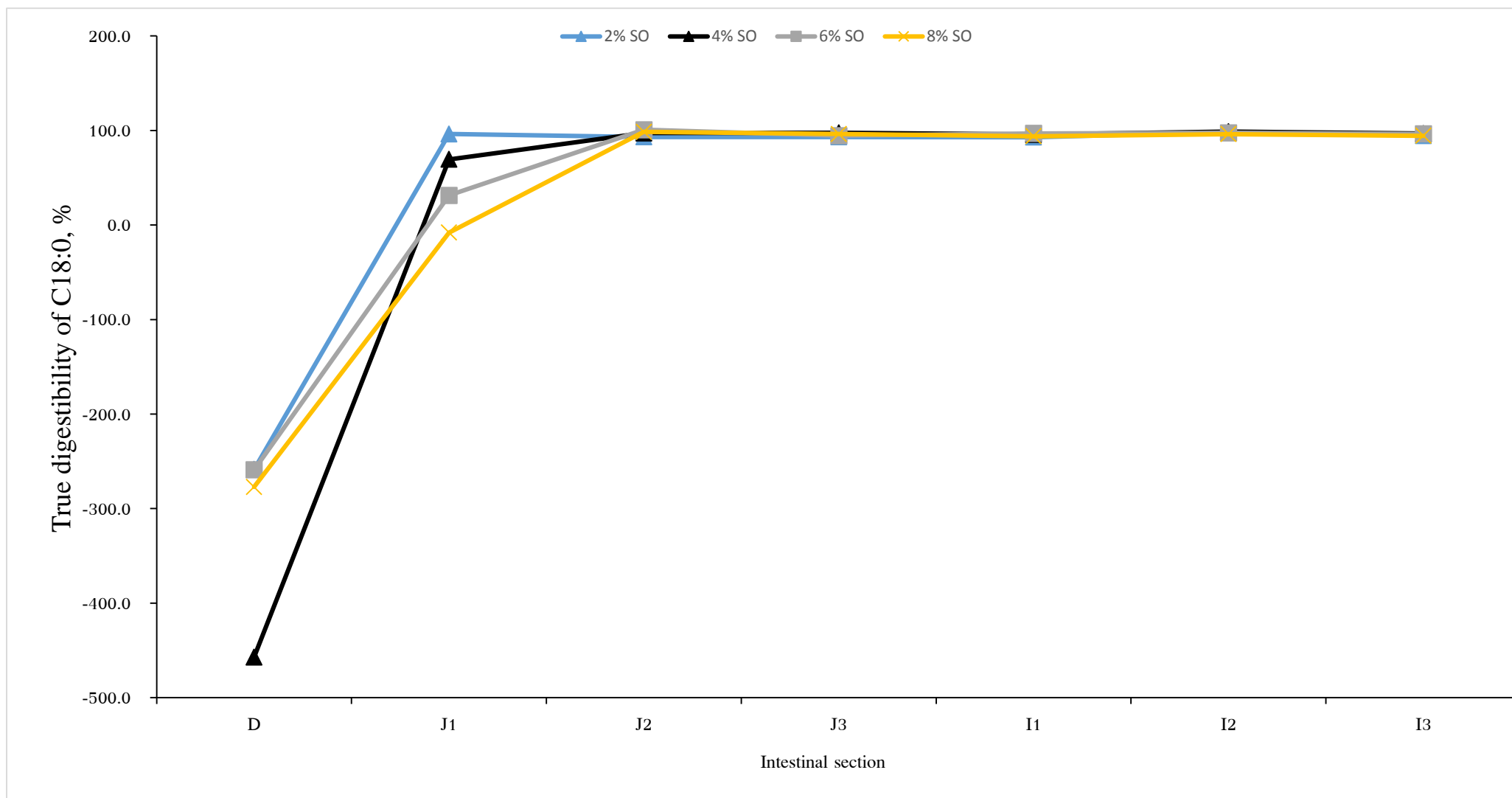


附錄 25. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中棕櫚酸 (C16:0) 真消化率之影響 (直線回歸法)。

Appendix 25. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of palmitic acid (C16:0) in each intestinal sections of broiler chickens (linear regression method).

Treatment effect: $P=0.96$ (SEM=14.58); section effect: $P<0.001$ (SEM=10.92); treatment \times section effect: $P=0.93$ (SEM=20.70).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

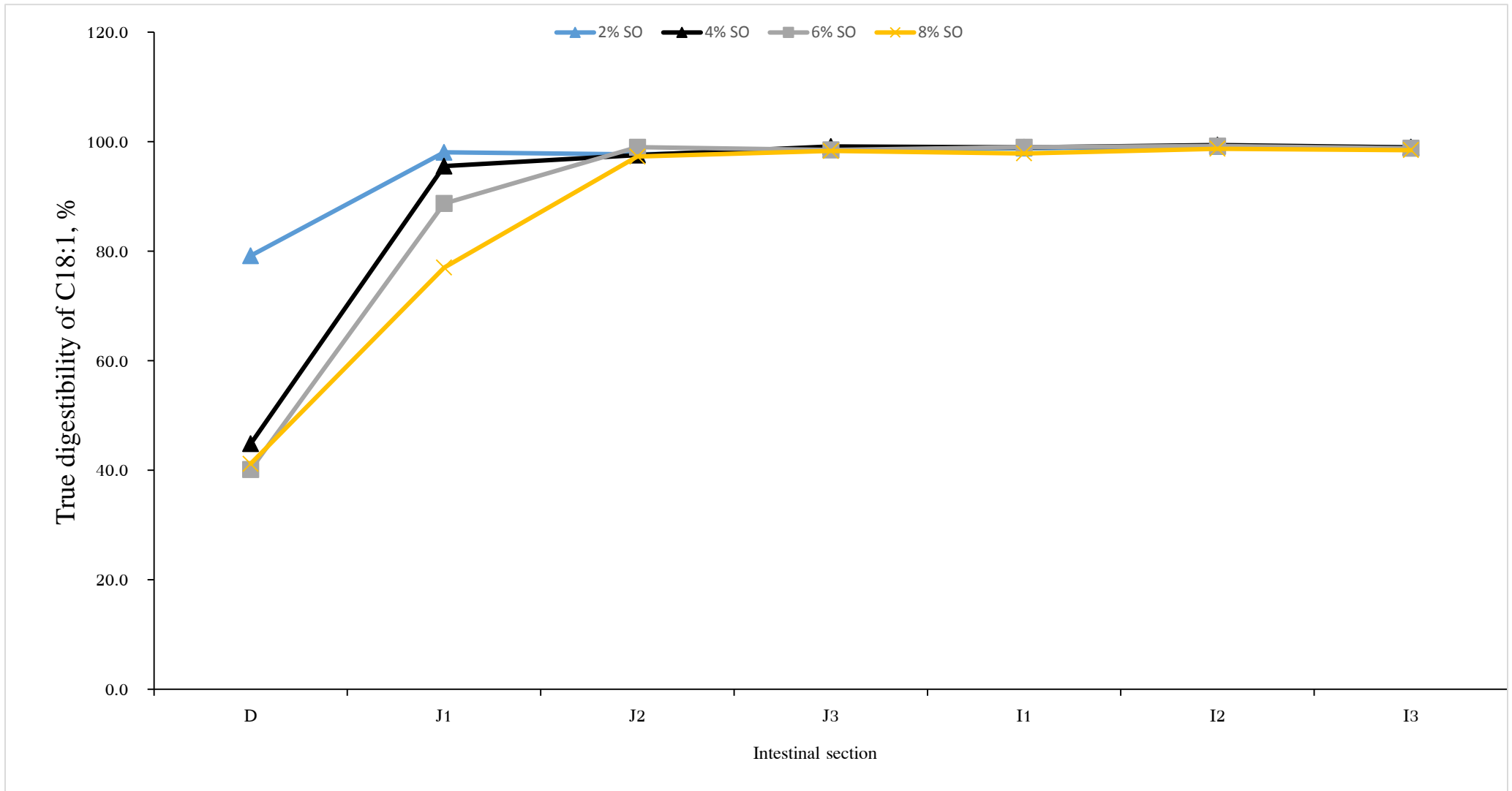


附錄 26. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中硬脂酸 (C18:0) 真消化率之影響 (直線回歸法)。

Appendix 26. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of stearic acid (C18:0) in each intestinal sections of broiler chickens (linear regression method).

Treatment effect: $P=0.98$ (SEM=51.66); section effect: $P<0.001$ (SEM=36.53); treatment \times section effect: $P=0.60$ (SEM=72.68).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

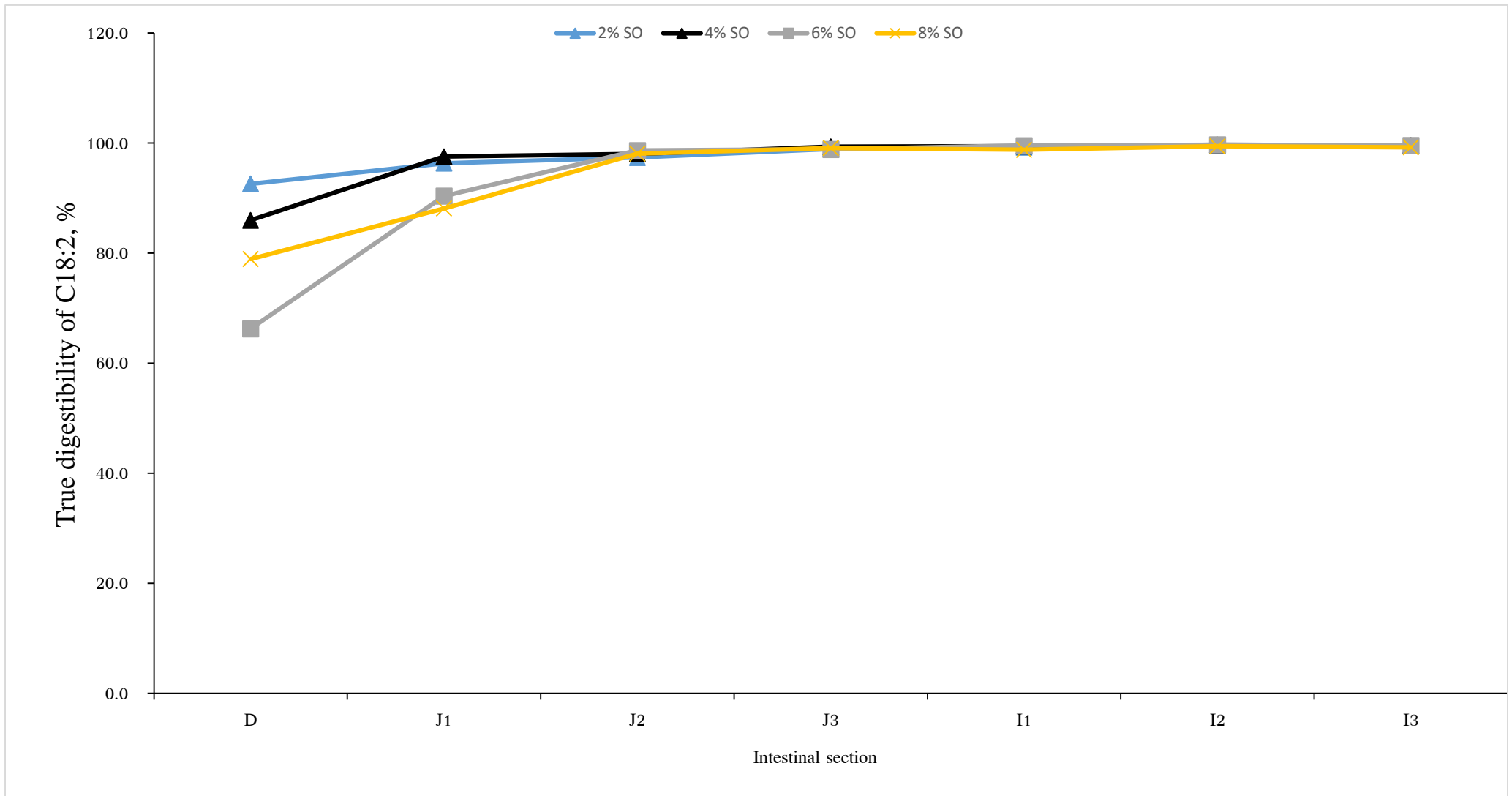


附錄 27. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中油酸 (C18:1) 真消化率之影響 (直線回歸法)。

Appendix 27. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of oleic acid (C18:1) in each intestinal sections of broiler chickens (linear regression method).

Treatment effect: $P=0.85$ (SEM=4.93); section effect: $P<0.001$ (SEM=3.62); treatment \times section effect: $P=0.34$ (SEM=7.20).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

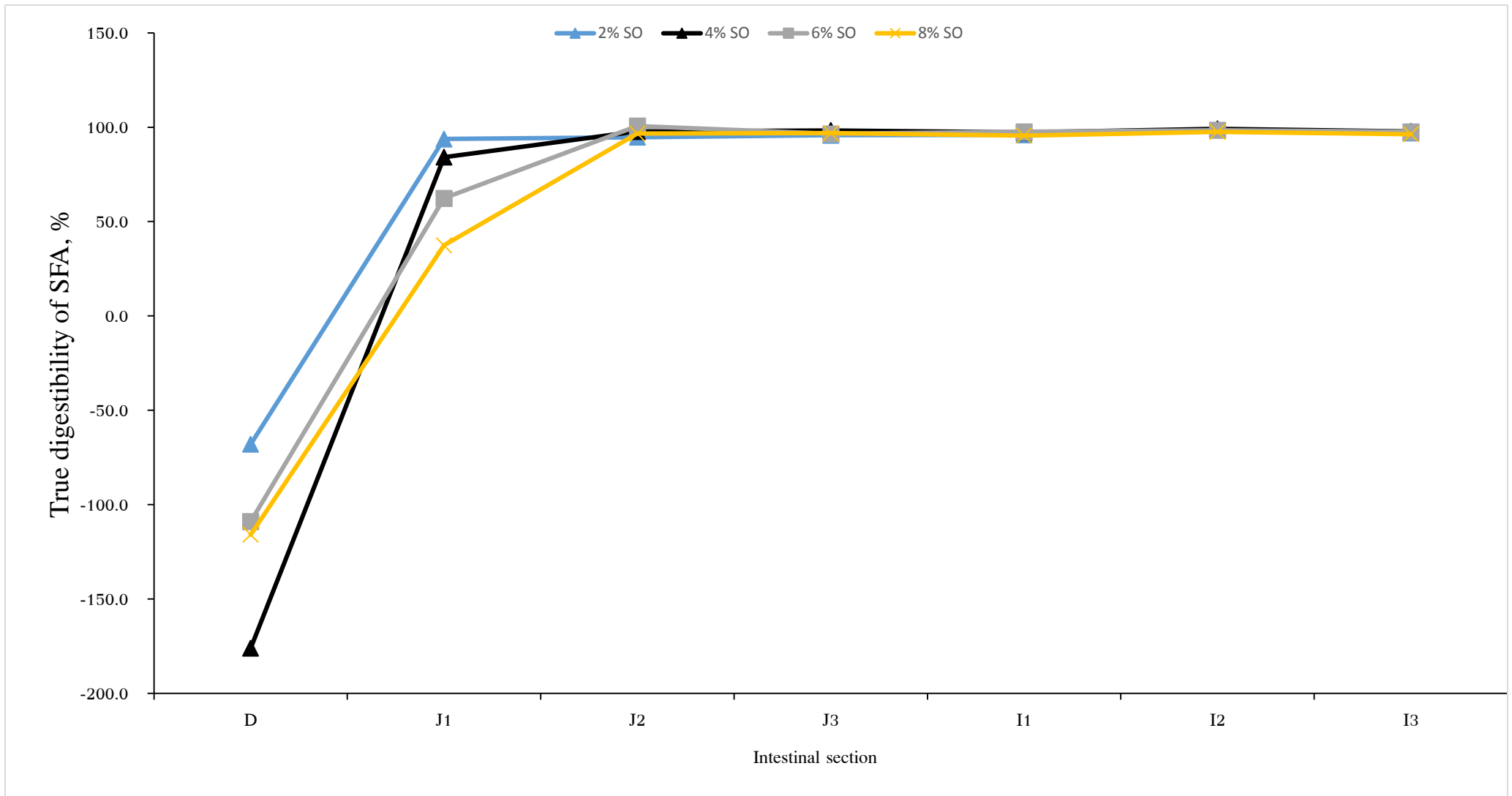


附錄 28. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中亞麻油酸 (C18:2) 真消化率之影響 (直線回歸法)。

Appendix 28. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of linoleic acid (C18:2) in each intestinal sections of broiler chickens (linear regression method).

Treatment effect: $P=0.51$ (SEM=1.77); section effect: $P<0.001$ (SEM=1.22); treatment \times section effect: $P<0.001$ (SEM=2.43).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

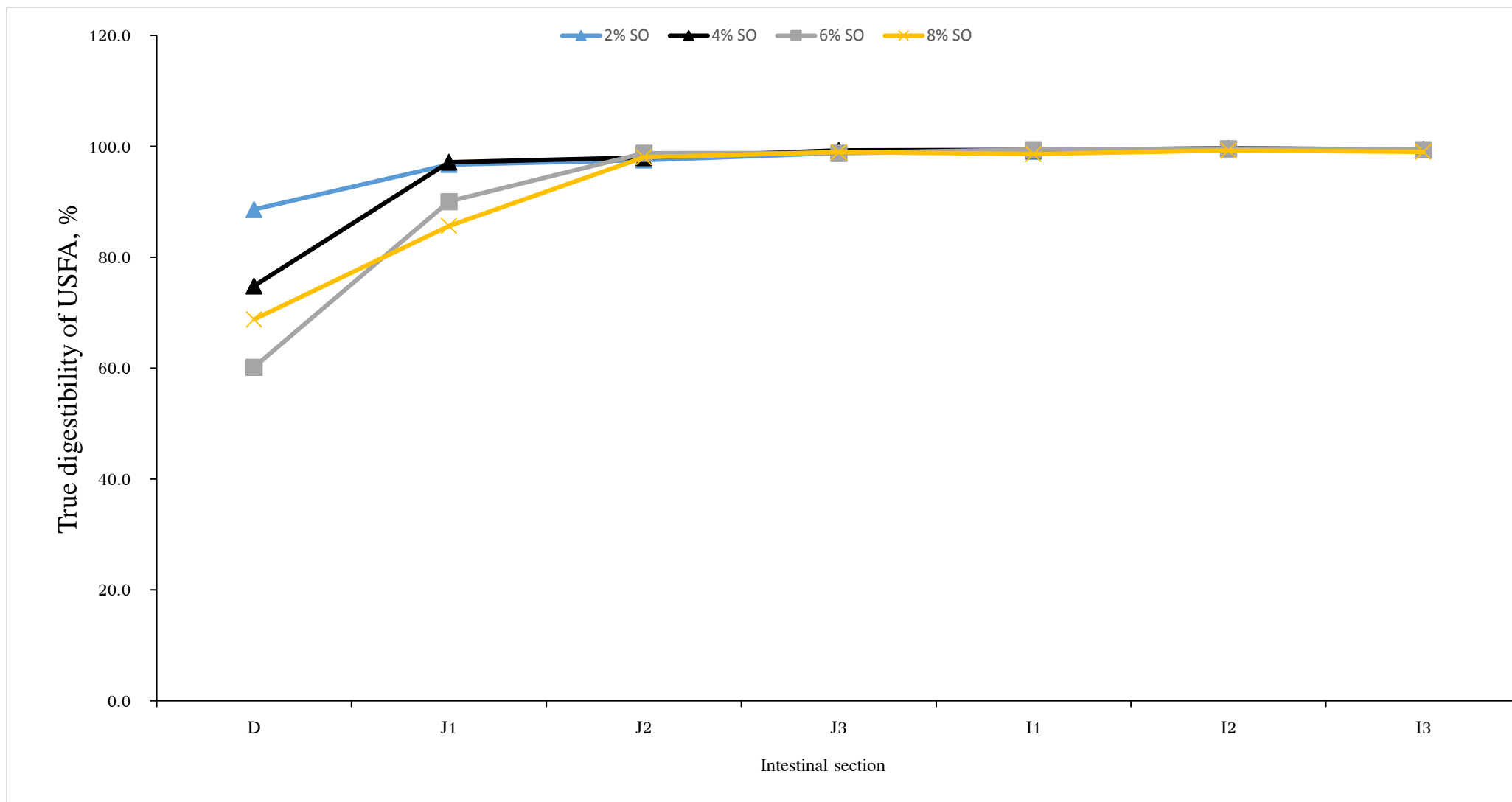


附錄 29. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中飽和脂肪酸 (SFA) 真消化率之影響 (直線回歸法)。

Appendix 29. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of saturated fatty acid (SFA) in each intestinal sections of broiler chickens (linear regression method).

Treatment effect: $P=0.98$ (SEM=24.61); section effect: $P<0.001$ (SEM=17.54); treatment \times section effect: $P=0.76$ (SEM=34.90).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

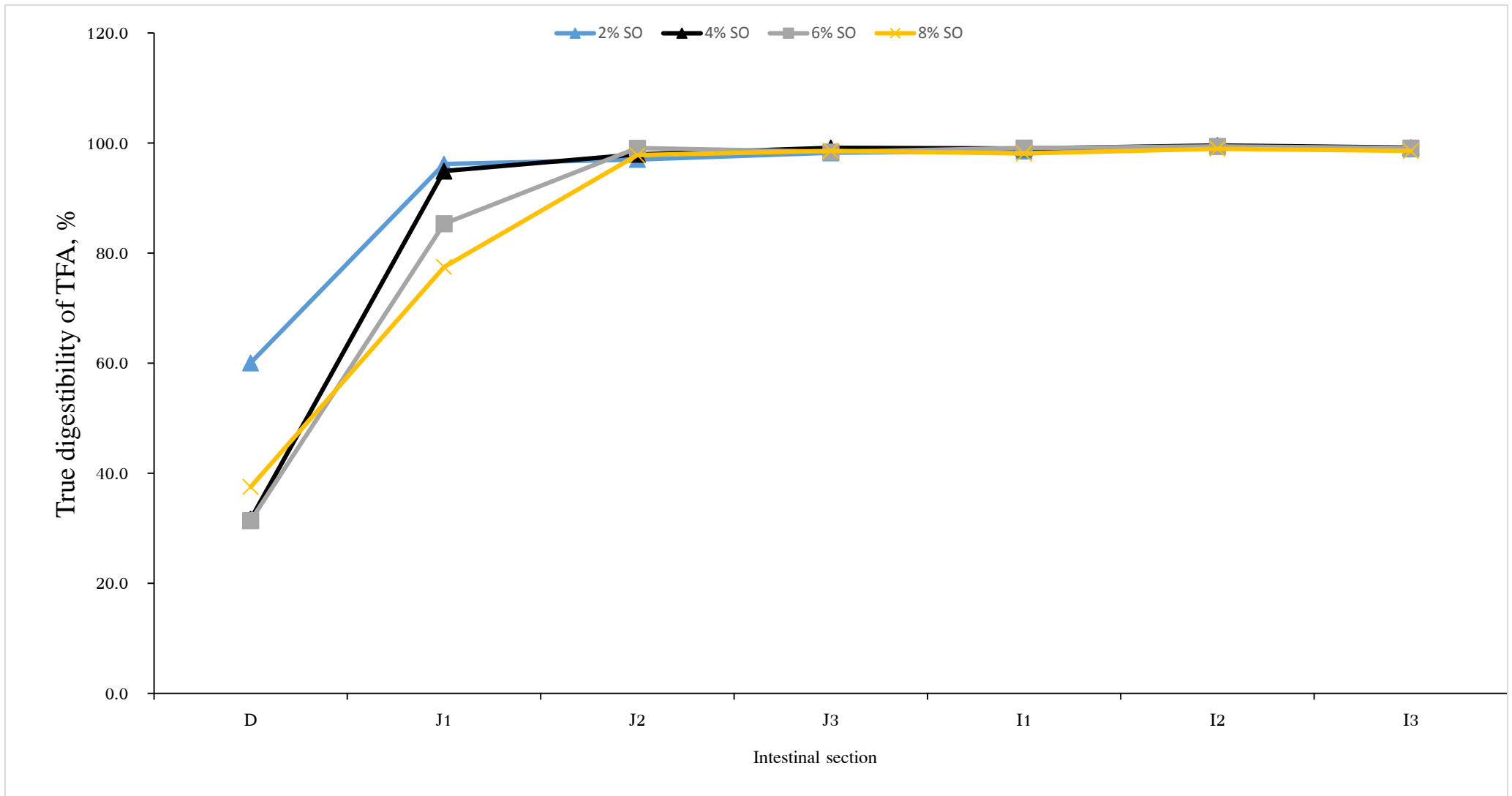


附錄 30. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中不飽和脂肪酸 (USFA) 真消化率之影響 (直線回歸法)。

Appendix 30. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of unsaturated fatty acid (USFA) in each intestinal sections of broiler chickens (linear regression method).

Treatment effect: $P=0.79$ (SEM=2.56); section effect: $P<0.001$ (SEM=1.75); treatment \times section effect: $P<0.01$ (SEM=3.48).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.



附錄 31. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中總脂肪酸 (TFA) 真消化率之影響 (直線回歸法)。

Appendix 31. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true digestibility of total fatty acid (TFA) in each intestinal sections of broiler chickens (linear regression method).

Treatment effect: $P=0.97$ (SEM=6.26); section effect: $P<0.001$ (SEM=4.34); treatment \times section effect: $P=0.53$ (SEM=8.63).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I3: first to third section of ileum.

附錄 32-1. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中脂肪酸表面消失量之影響

Appendix 32-1. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on apparent disappearance (g/kg) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, g/kg	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA	MG	TG
0	D	-0.12 ^a	-0.43 ^a	0.05 ^a	0.23 ^a	-0.65 ^a	0.21 ^a	-0.31 ^a	0.01	0.58
	J1	1.68 ^a	0.75 ^a	1.00 ^a	0.52 ^a	2.77 ^a	1.56 ^a	4.75 ^a	0.08	1.64
	J2	0.44 ^a	0.49 ^a	0.15 ^a	0.00 ^a	1.07 ^a	0.15 ^a	1.44 ^a	0.05	0.33
	J3	0.25 ^a	0.36 ^a	0.12 ^a	0.11 ^a	0.62 ^a	0.19 ^a	0.99 ^a	0.03	0.32
	I1	0.07 ^a	0.05 ^a	0.03 ^a	-0.02 ^a	0.14 ^a	-0.04 ^a	0.26 ^a	0.02	0.16
	I2	-0.03 ^a	-0.03 ^a	-0.02 ^a	0.00 ^a	-0.05 ^a	-0.03 ^a	-0.09 ^a	0.01	-0.01
2	D	2.02 ^{ab}	-0.72 ^a	4.27 ^b	8.53 ^b	0.39 ^a	13.62 ^b	14.52 ^b	0.47	1.02
	J1	3.23 ^a	6.41 ^{ab}	1.42 ^a	1.38 ^a	11.08 ^{ab}	2.88 ^{ab}	13.62 ^{ab}	0.29	1.47
	J2	0.74 ^{ab}	1.29 ^{ab}	0.30 ^a	0.57 ^a	2.20 ^a	0.84 ^a	2.76 ^a	0.08	0.47
	J3	0.32 ^a	0.36 ^a	0.18 ^a	0.40 ^a	0.68 ^a	0.61 ^a	1.30 ^a	0.02	0.04
	I1	0.10 ^a	0.10 ^a	0.05 ^a	0.13 ^a	0.20 ^a	0.20 ^a	0.40 ^a	-0.01	0.00
	I2	-0.02 ^a	-0.02 ^a	-0.01 ^a	0.01 ^a	-0.03 ^a	0.00 ^a	-0.03 ^a	0.00	-0.03
4	D	3.31 ^{ab}	0.67 ^a	6.92 ^b	16.02 ^c	3.72 ^{ab}	25.18 ^c	27.36 ^c	0.32	5.96
	J1	7.64 ^b	10.29 ^b	4.41 ^b	2.54 ^a	17.54 ^{ab}	7.22 ^b	22.75 ^{abc}	0.28	0.92
	J2	0.81 ^{ab}	0.65 ^a	0.49 ^{ab}	0.53 ^a	0.84 ^a	0.94 ^{ab}	0.54 ^a	0.19	-
	J3	0.05 ^a	0.28 ^a	0.12 ^a	0.46 ^a	0.46 ^a	0.62 ^a	0.92 ^a	0.08	0.08
	I1	-0.07 ^a	0.08 ^a	-0.02 ^a	0.17 ^a	0.14 ^a	0.18 ^a	0.32 ^a	0.03	-0.04
	I2	0.02 ^a	0.01 ^a	0.02 ^a	0.05 ^a	0.03 ^a	0.08 ^a	0.11 ^a	0.03	-0.02
6	D	4.42 ^b	0.33 ^a	10.35 ^c	24.20 ^d	5.17 ^b	37.84 ^d	41.06 ^d	1.59	0.70
	J1	8.90 ^{bc}	8.43 ^{ab}	7.35 ^c	8.45 ^b	18.33 ^{ab}	16.39 ^c	40.02 ^c	1.49	-0.18
	J2	1.17 ^{ab}	1.81 ^{ab}	0.92 ^a	1.92 ^{ab}	2.65 ^a	3.08 ^{ab}	6.51 ^a	1.94	0.58
	J3	0.07 ^a	0.13 ^a	0.05 ^a	0.27 ^a	0.02 ^a	0.32 ^a	0.57 ^a	0.03	0.30
	I1	0.16 ^a	0.09 ^a	0.11 ^a	0.23 ^a	0.25 ^a	0.34 ^a	0.60 ^a	0.19	0.06
	I2	0.01 ^a	0.00 ^a	-0.02 ^a	0.05 ^a	0.01 ^a	0.03 ^a	0.04 ^a	0.10	-0.01

附錄 32-2. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中脂肪酸表面消失量之影響

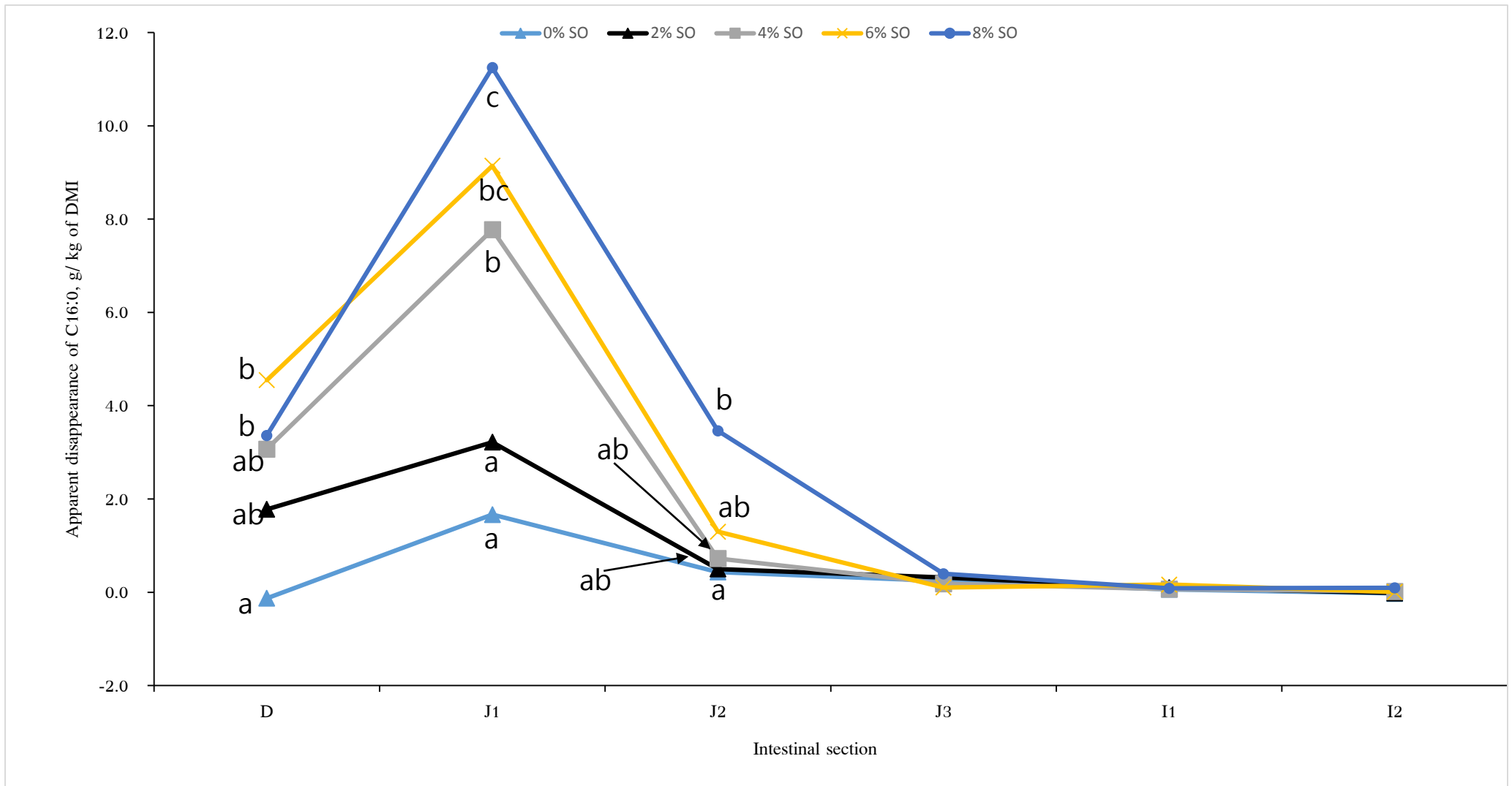
Appendix 32-2. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on apparent disappearance (g/kg) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, g/kg	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA	MG	TG
8	D	3.36 ^b	-0.97 ^a	9.98 ^c	26.48 ^e	2.39 ^a	40.43 ^d	42.81 ^d	1.33	4.84
	J1	11.25 ^c	10.85 ^b	8.02 ^c	6.12 ^b	22.10 ^b	14.66 ^c	36.76 ^{bc}	0.37	1.55
	J2	3.46 ^b	3.46 ^b	3.17 ^b	3.67 ^b	6.92 ^b	7.03 ^b	13.96 ^b	-0.22	0.22
	J3	0.39 ^a	0.32 ^a	0.34 ^a	0.63 ^a	0.72 ^a	0.97 ^a	1.69 ^a	-0.26	0.06
	I1	0.08 ^a	0.05 ^a	0.08 ^a	0.18 ^a	0.13 ^a	0.26 ^a	0.39 ^a	-0.23	0.20
	I2	0.11 ^a	0.02 ^a	0.13 ^a	0.08 ^a	0.09 ^a	0.15 ^a	0.45 ^a	-0.21	-0.03
Pooled SEM		1.11	0.72	0.82	0.81	1.39	1.58	2.36	0.27	0.90
Significance										
Fat %		**	*	***	***	**	***	***	NS	NS
Intestinal section		***	***	***	***	***	***	***	***	***
Fat % × intestinal section		**	***	***	***	***	***	***	***	NS

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third part of jejunum; I1 to I3: first to third part of ileum.

^{a-d}Means in each intestinal section not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

NS: not significant; * $P = 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.



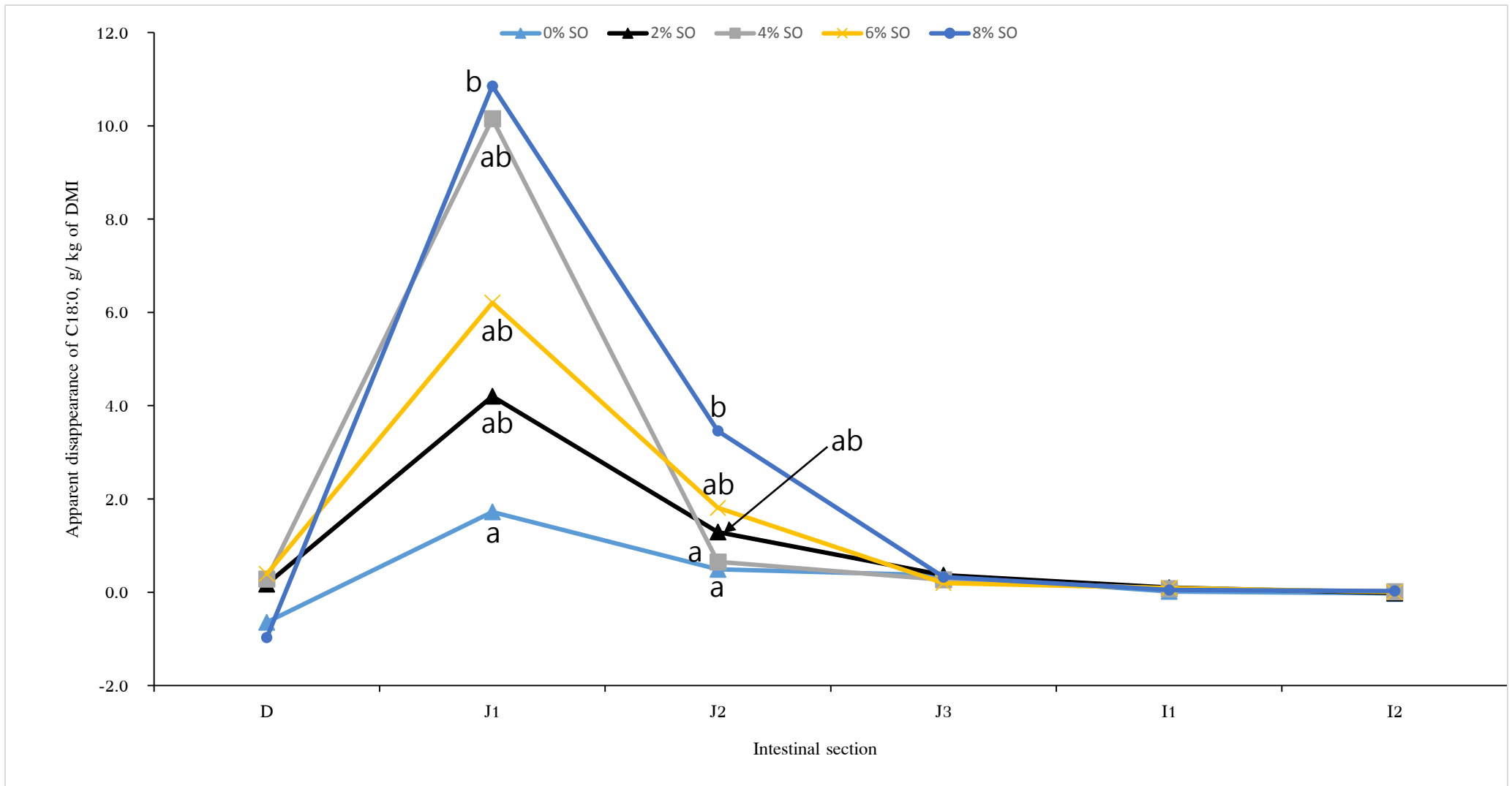
附錄 33. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中棕櫚酸 (C16:0) 表面消失量之影響。

Appendix 33. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent disappearance of palmitic acid (C16:0) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=0.46); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.50); treatment \times section effect: $P < 0.01$ (SEM=1.11).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{abc} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



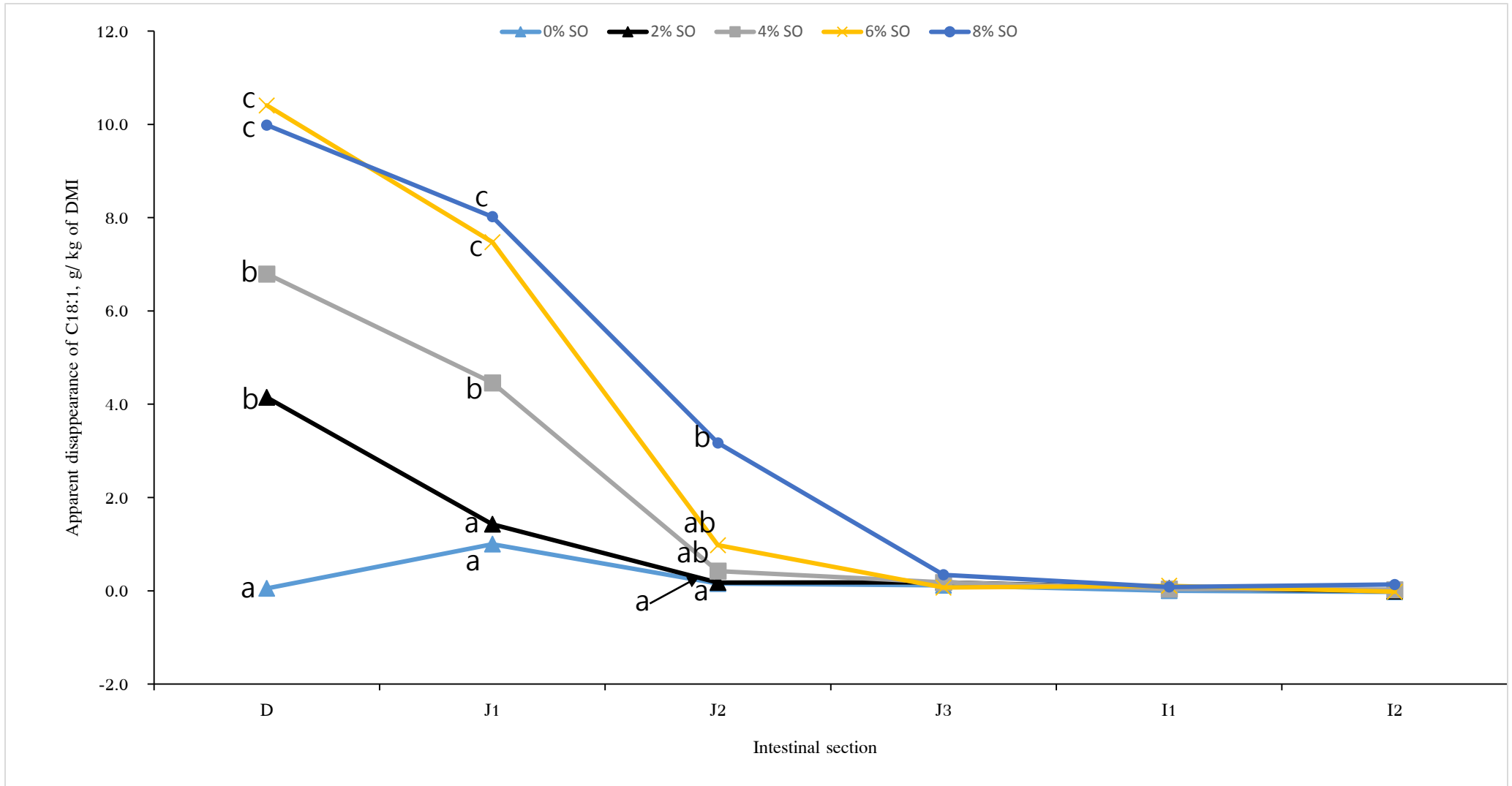
附錄 34. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中硬脂酸 (C18:0) 表面消失量之影響。

Appendix 34. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent disappearance of stearic acid (C18:0) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.05$ (SEM=0.44); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.32); treatment \times section effect: $P < 0.01$ (SEM=0.72).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{ab} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



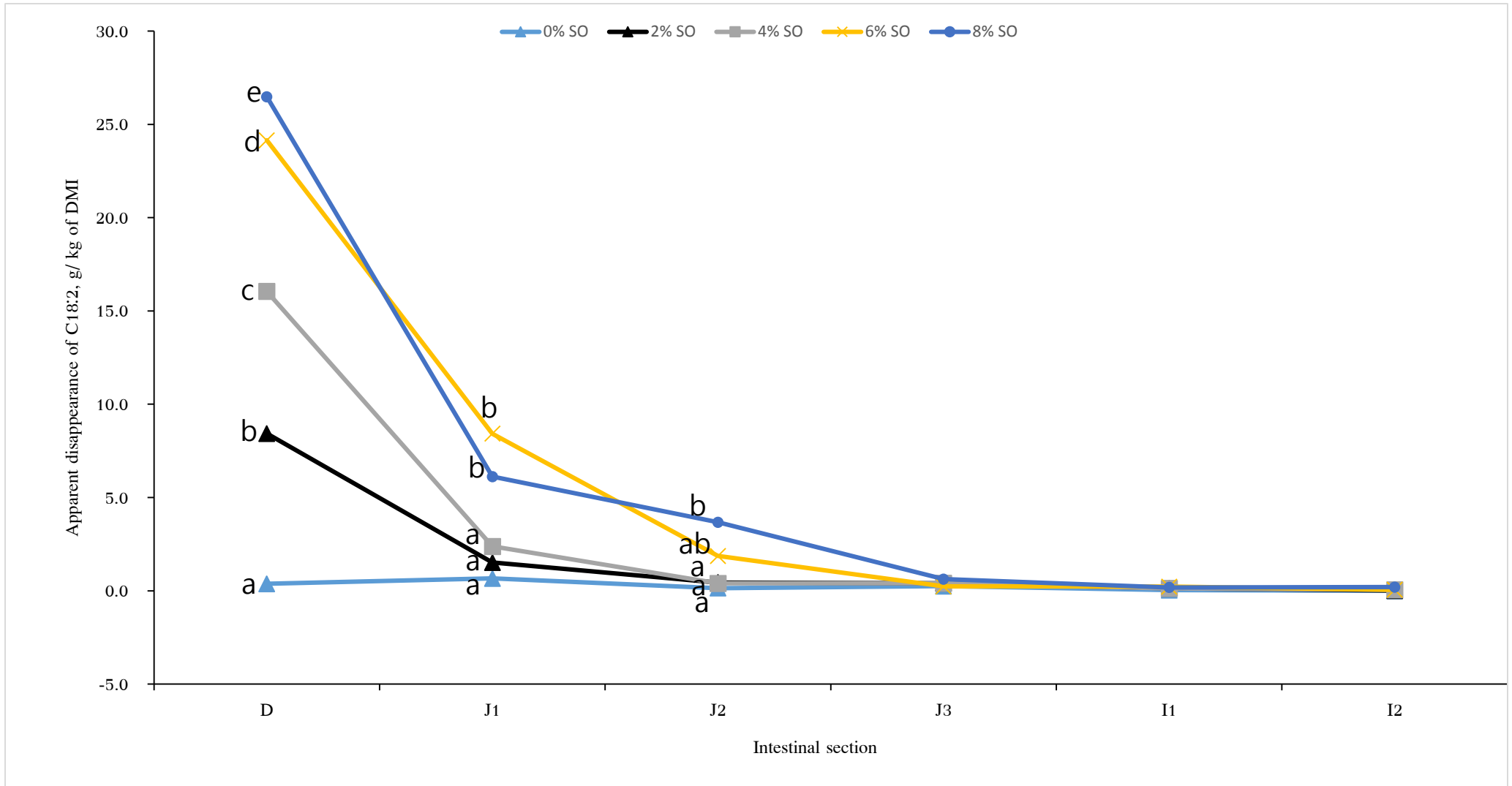
附錄 35. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中油酸 (C18:1) 表面消失量之影響。

Appendix 35. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent disappearance of oleic acid (C18:1) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=0.35); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.37); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.82).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{abc} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



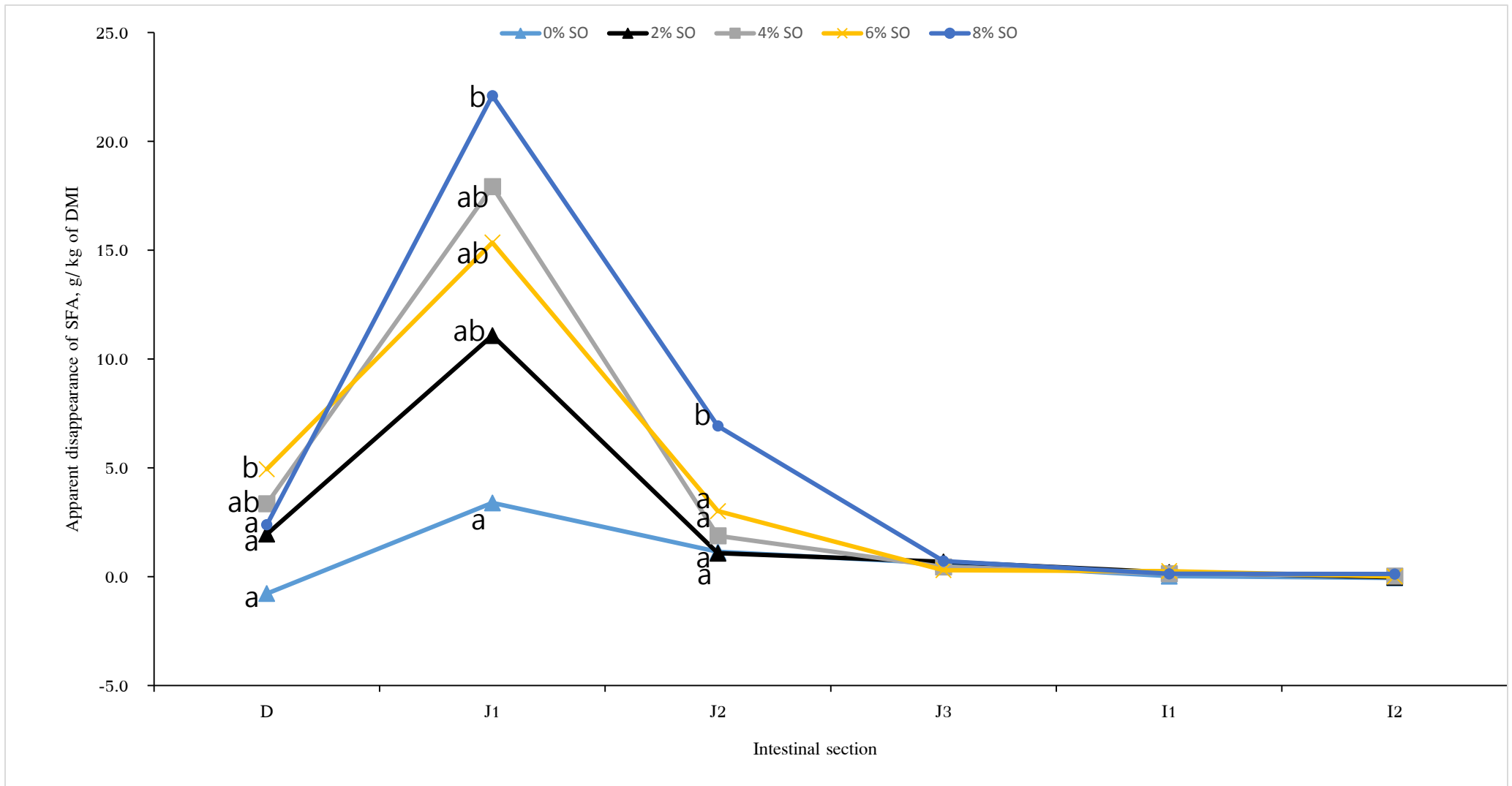
附錄 36. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中亞麻油酸 (C18:2) 表面消失量之影響。

Appendix 36. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent disappearance of linoleic acid (C18:2) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=0.40); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.37); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.81).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{abcde} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



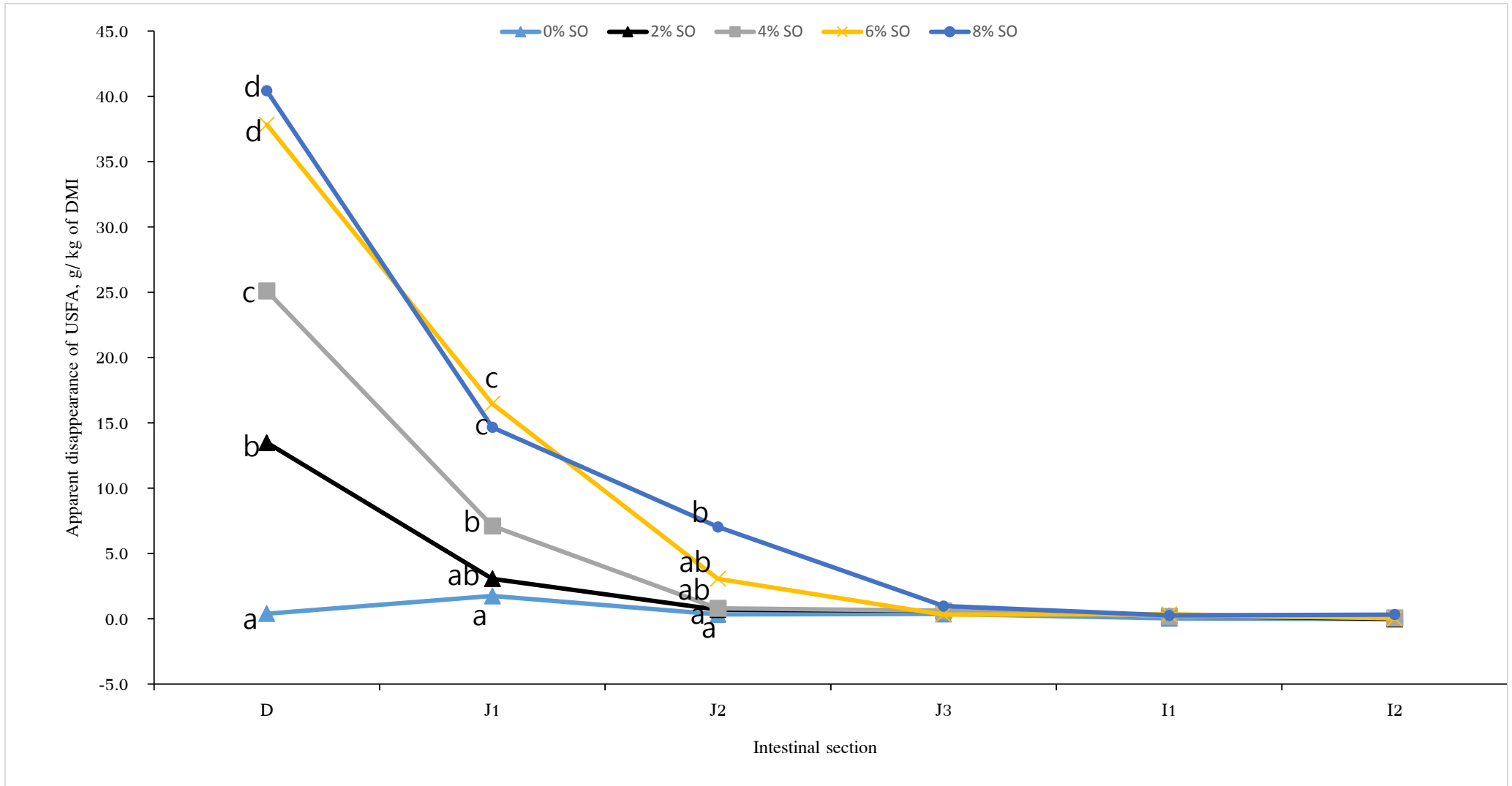
附錄 37. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中飽和脂肪酸 (SFA) 表面消失量之影響。

Appendix 37. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent disappearance of saturated fatty acid (SFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.05$ (SEM=0.88); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.62); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=1.39).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{ab} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



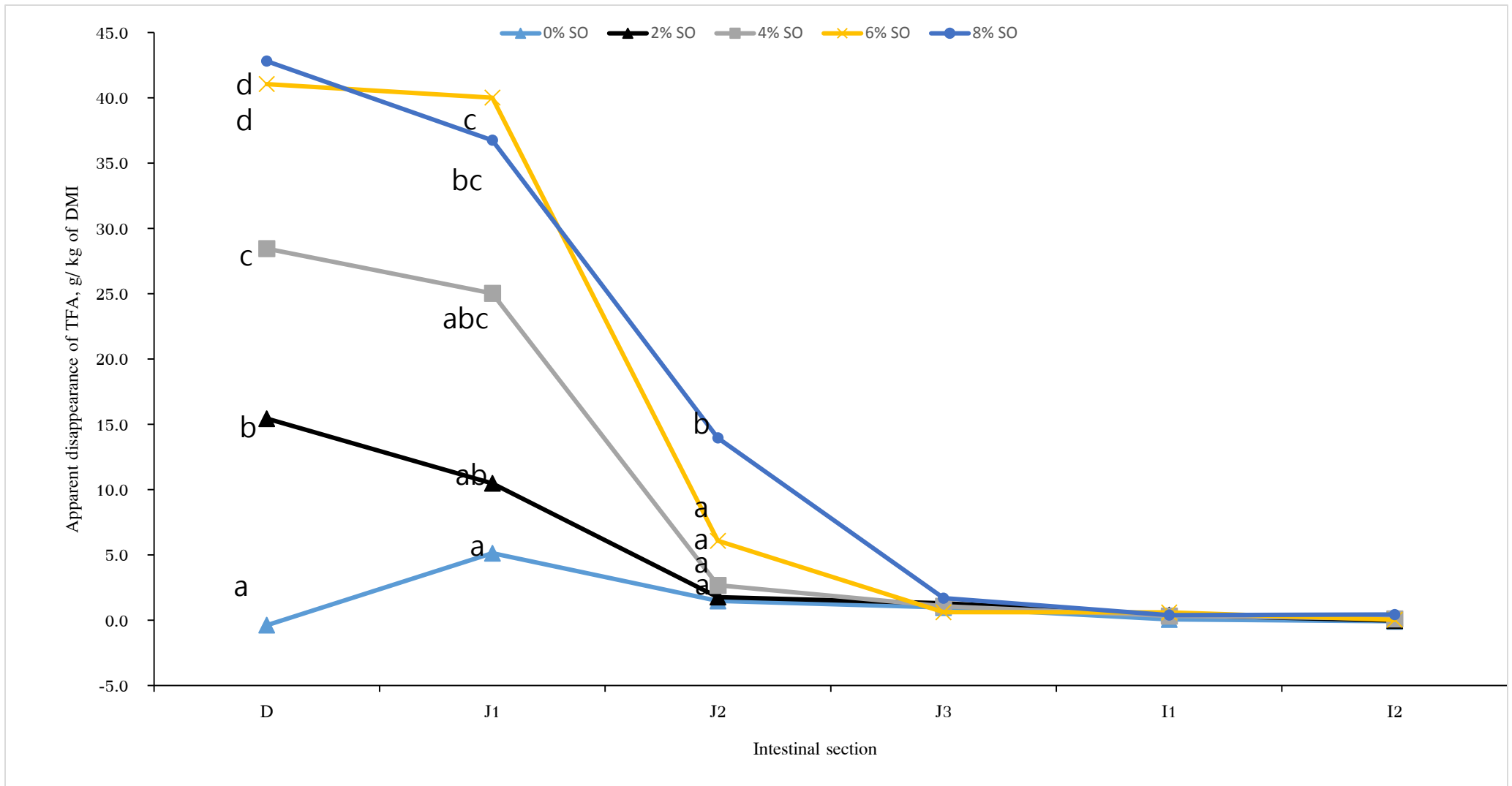
附錄 38. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中不飽和脂肪酸 (USFA) 表面消失量之影響。

Appendix 38. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent disappearance of unsaturated fatty acid (USFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=0.73); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.72); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=1.58).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{abcd} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



附錄 39. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中總脂肪酸 (TFA) 表面消失量之影響。

Appendix 39. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on apparent disappearance of total fatty acid (TFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=1.41); section effect: $P < 0.001$ (SEM=1.05); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=2.36).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{abc} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).

附錄 40. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中脂肪酸真消失量之影響

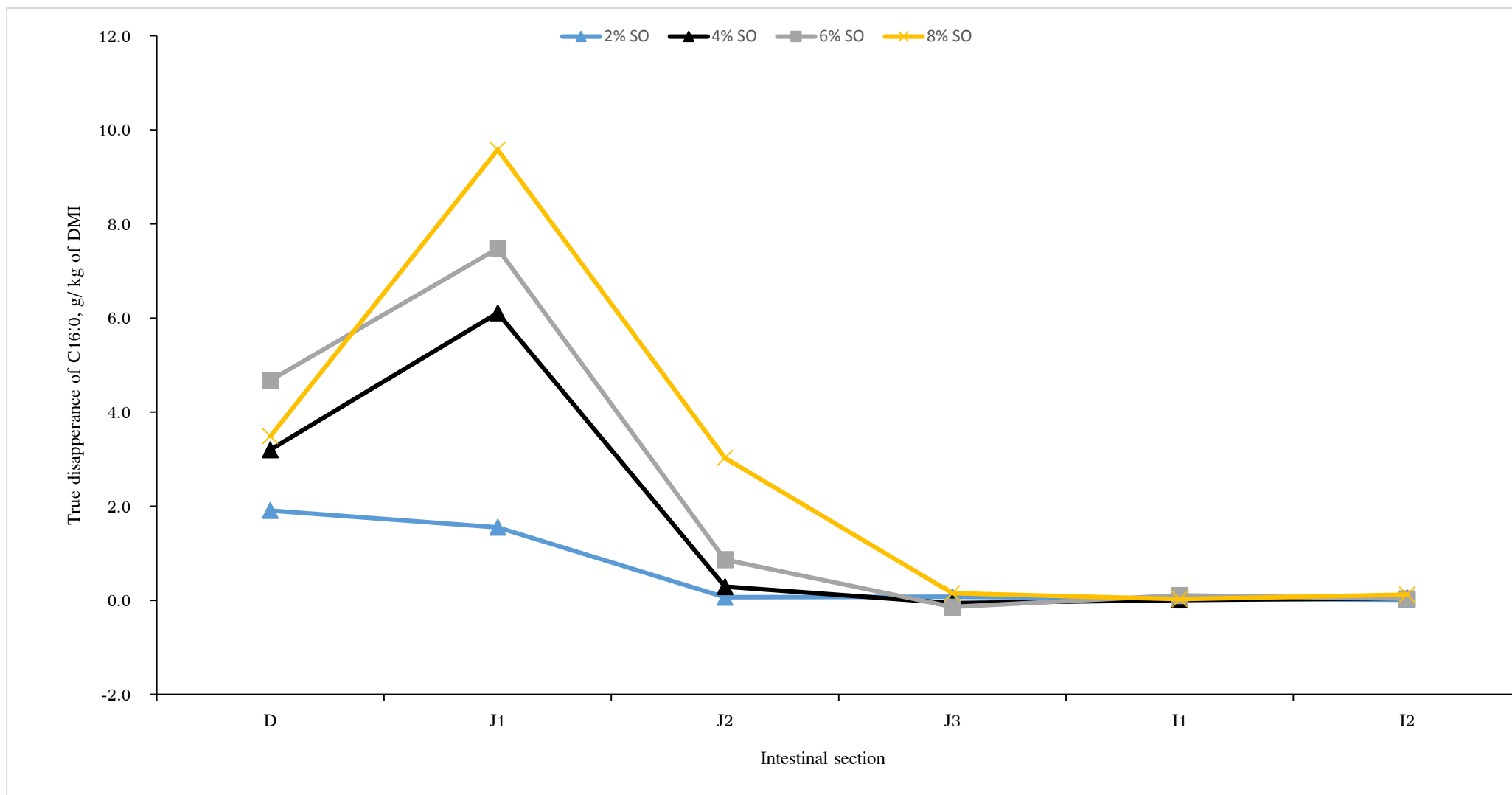
Appendix 40. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on true disappearance (g/kg) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, g/kg	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA	MG	TG
2	D	1.91	0.82	4.10 ^a	8.00 ^a	2.73	13.09 ^a	15.82 ^a	0.41	0.19
	J1	1.55	2.48	0.43 ^a	0.85 ^a	4.03	1.31 ^a	5.34 ^a	0.18	-0.16
	J2	0.06	-0.13	0.02 ^a	0.32 ^a	-0.06	0.36 ^a	0.30 ^a	0.01	-0.05
	J3	0.08	0.00	0.06 ^a	0.09 ^a	0.08	0.25 ^a	0.32 ^a	0.01	-0.12
	I1	0.04	0.08	0.05 ^a	0.02 ^a	0.17	0.17 ^a	0.34 ^a	-0.01	-0.02
	I2	0.01	0.01	0.01 ^a	0.02 ^a	0.02	0.03 ^a	0.06 ^a	-0.01	-0.02
4	D	3.20	0.93	6.74 ^a	15.63 ^b	4.13	24.71 ^b	28.84 ^{ab}	0.31	5.23
	J1	6.11	8.43	3.46 ^b	2.17 ^{ab}	14.54	5.37 ^a	19.90 ^b	0.15	-0.44
	J2	0.29	0.44	0.27 ^{ab}	0.13 ^a	0.73	0.47 ^a	1.21 ^a	0.16	-
	J3	-0.06	-0.09	0.06 ^a	0.38 ^a	-0.15	0.25 ^a	0.09 ^a	0.01	0.02
	I1	0.01	0.06	0.04 ^a	0.13 ^a	0.12	0.15 ^a	0.27 ^a	0.00	0.01
	I2	0.05	0.04	0.05 ^a	0.06 ^a	0.09	0.11 ^a	0.20 ^a	-0.01	-0.01
6	D	4.68	1.04	10.36 ^b	23.51 ^c	5.71	37.45 ^c	43.16 ^{bc}	1.60	0.39
	J1	7.48	4.48	6.48 ^c	6.24 ^{bc}	11.96	14.72 ^b	26.68 ^{bc}	1.78	-1.55
	J2	0.86	1.00	0.82 ^{ab}	1.72 ^{ab}	1.87	2.74 ^{ab}	4.61 ^a	1.24	0.51
	J3	-0.14	-0.17	-0.05 ^a	0.09 ^a	-0.31	-0.05 ^a	-0.36 ^a	0.00	-0.07
	I1	0.10	0.07	0.11 ^a	0.19 ^a	0.23	0.31 ^a	0.54 ^a	0.04	0.04
	I2	0.03	0.03	0.00 ^a	0.06 ^a	0.06	0.06 ^a	0.12 ^a	-0.01	0.01
8	D	3.49	-0.33	9.93 ^b	27.51 ^d	3.16	40.03 ^c	43.19 ^c	1.35	4.42
	J1	9.58	9.13	7.02 ^c	6.65 ^c	18.71	12.91 ^b	31.62 ^c	0.69	0.08
	J2	3.03	2.75	3.02 ^b	3.74 ^b	5.78	6.71 ^b	12.48 ^a	0.08	0.13
	J3	0.15	-0.04	0.22 ^a	0.31 ^a	0.11	0.60 ^a	0.72 ^a	0.01	-0.09
	I1	0.02	0.03	0.08 ^a	0.13 ^a	0.11	0.23 ^a	0.33 ^a	0.01	-0.01
	I2	0.12	0.05	0.16 ^a	0.21 ^a	0.18	0.35 ^a	0.52 ^a	0.01	-0.18
Pooled SEM		1.24	1.32	0.92	0.97	2.48	1.78	4.02	0.31	1.02
Significance										
Fat %		NS	NS	**	***	NS	**	**	NS	NS
Intestinal section		***	***	***	***	***	***	***	**	**
Fat % × intestinal section		NS	NS	**	***	NS	***	*	NS	NS

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third part of jejunum; I1 to I3: first to third part of ileum.

^{a-d}Means in each intestinal section not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

NS: not significant; * $P = 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

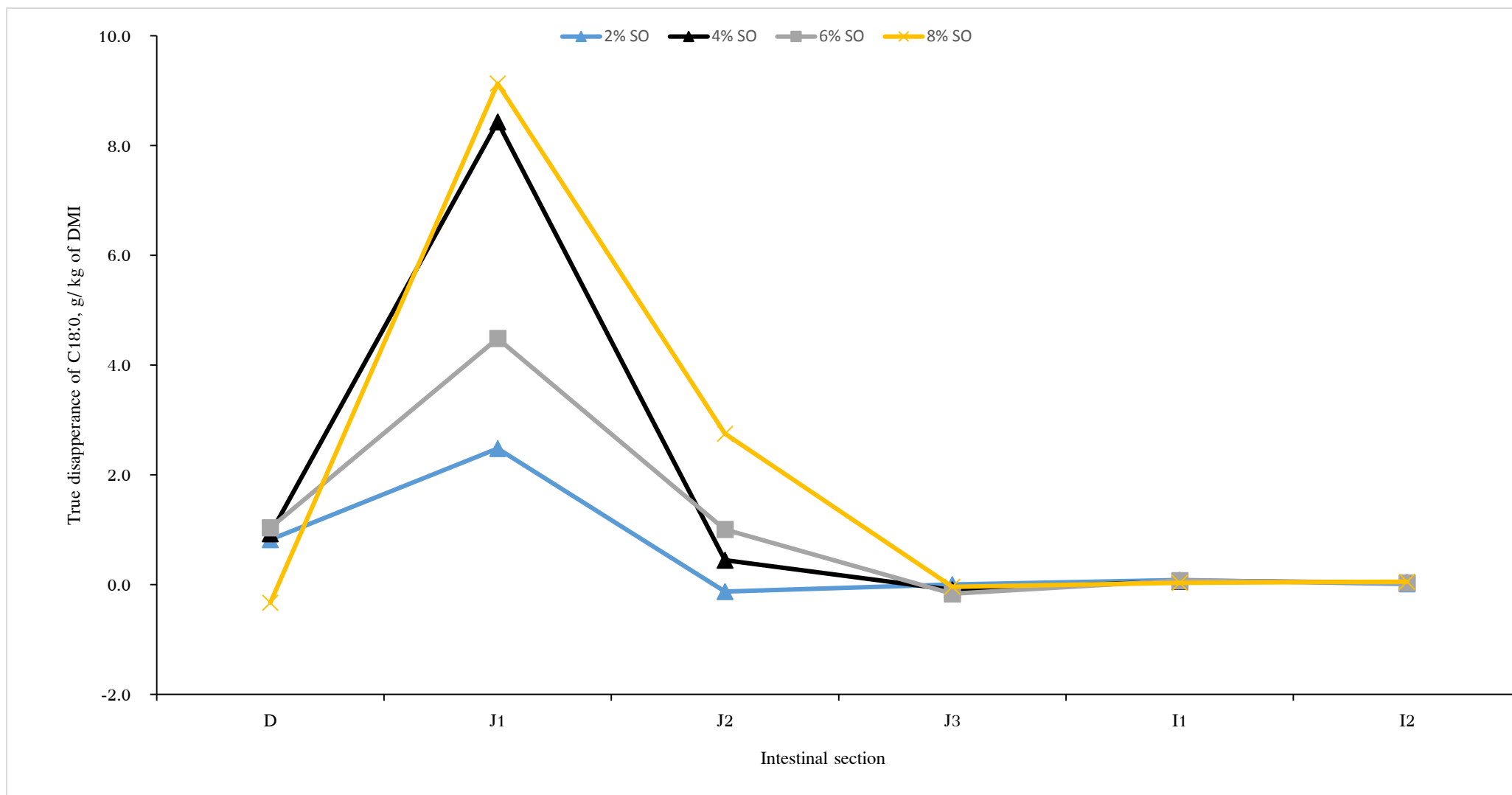


附錄 41. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中棕櫚酸 (C16:0) 真消失量之影響。

Appendix 41. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true disappearance of palmitic acid (C16:0) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P=0.07$ (SEM=0.50); section effect: $P<0.001$ (SEM=0.63); treatment \times section effect: $P=0.21$ (SEM=1.24).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

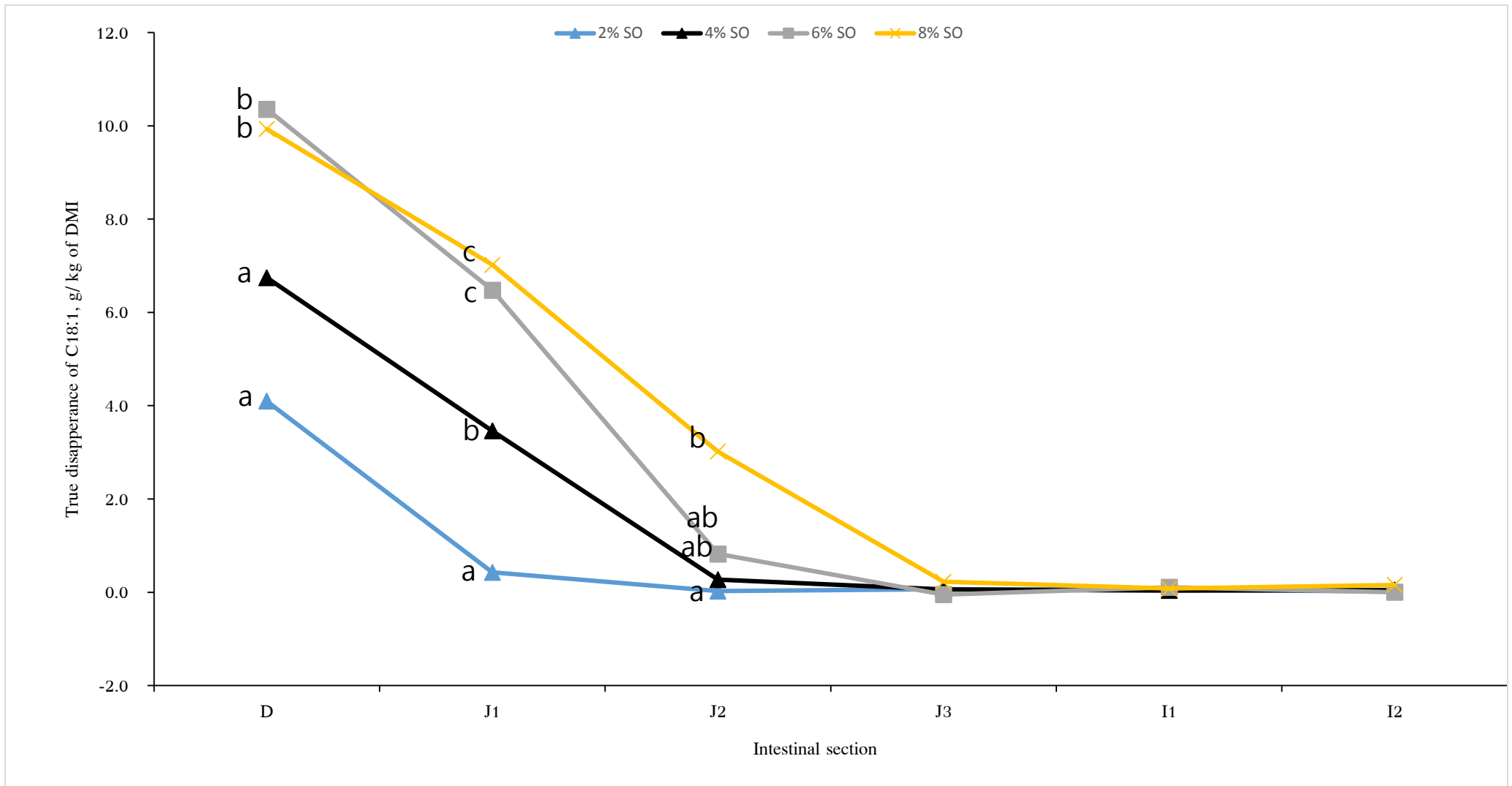


附錄 42. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中硬脂酸 (C18:0) 真消失量之影響。

Appendix 42. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true disappearance of stearic acid (C18:0) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P=0.19$ (SEM=0.46); section effect: $P<0.001$ (SEM=0.67); treatment \times section effect: $P=0.31$ (SEM=1.32).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.



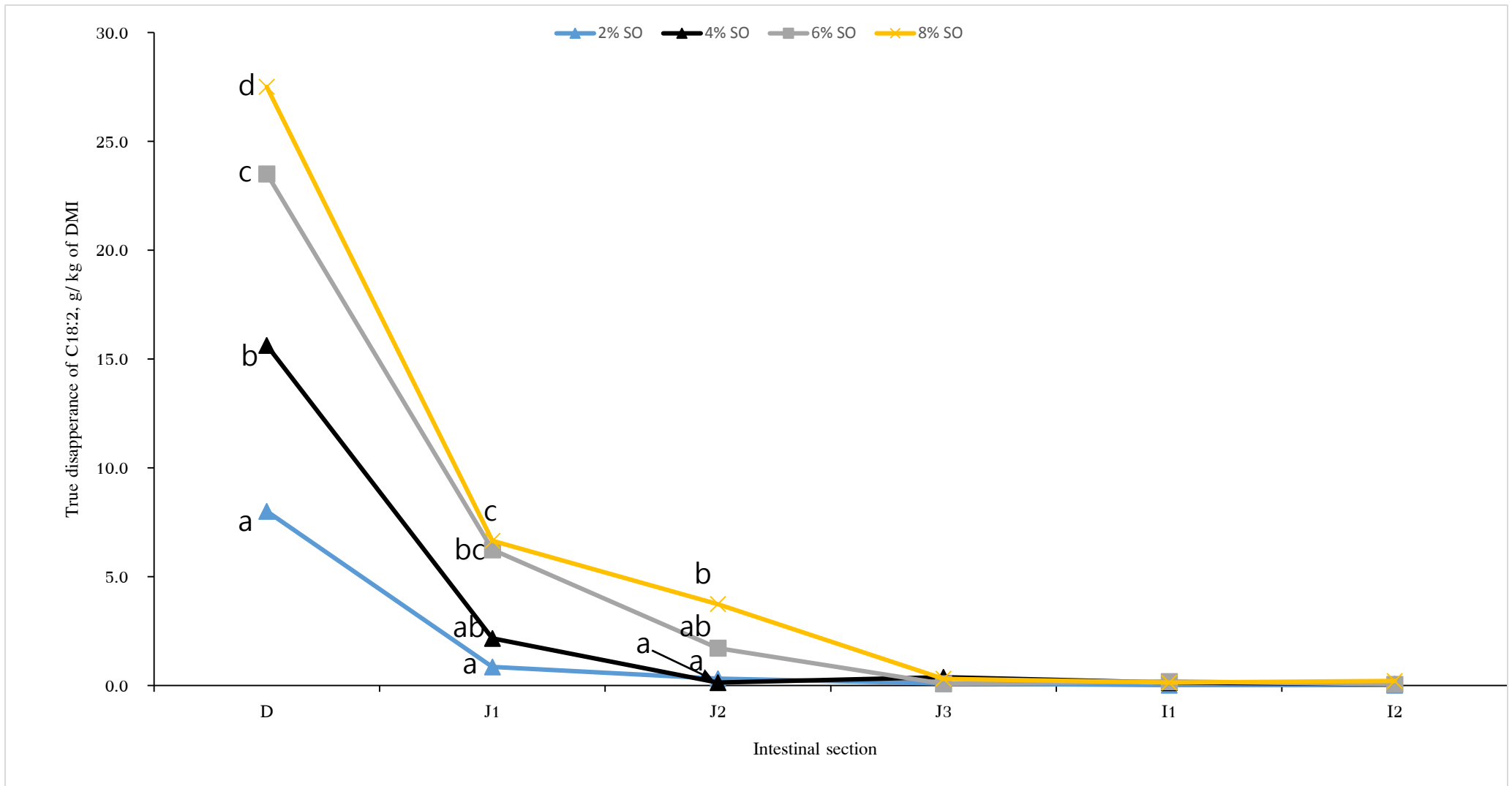
附錄 43. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中油酸 (C18:1) 真消失量之影響。

Appendix 43. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true disappearance of oleic acid (C18:1) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=0.39); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.47); treatment \times section effect: $P < 0.01$ (SEM=0.92).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{abc} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



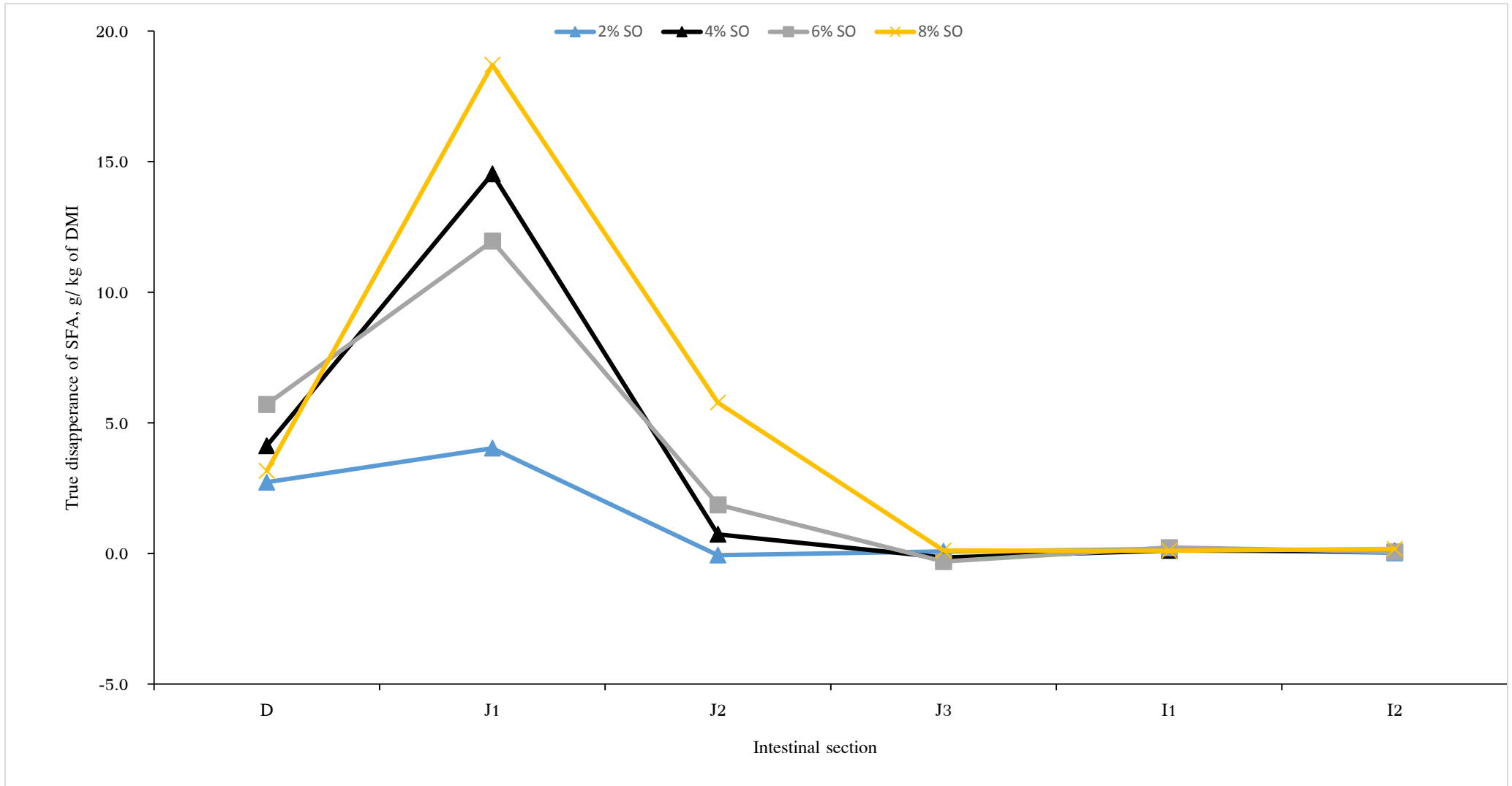
附錄 44. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中亞麻油酸 (C18:2) 真消失量之影響。

Appendix 44. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true disappearance of linoleic acid (C18:2) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.001$ (SEM=0.35); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.53); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.97).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{abcd} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).

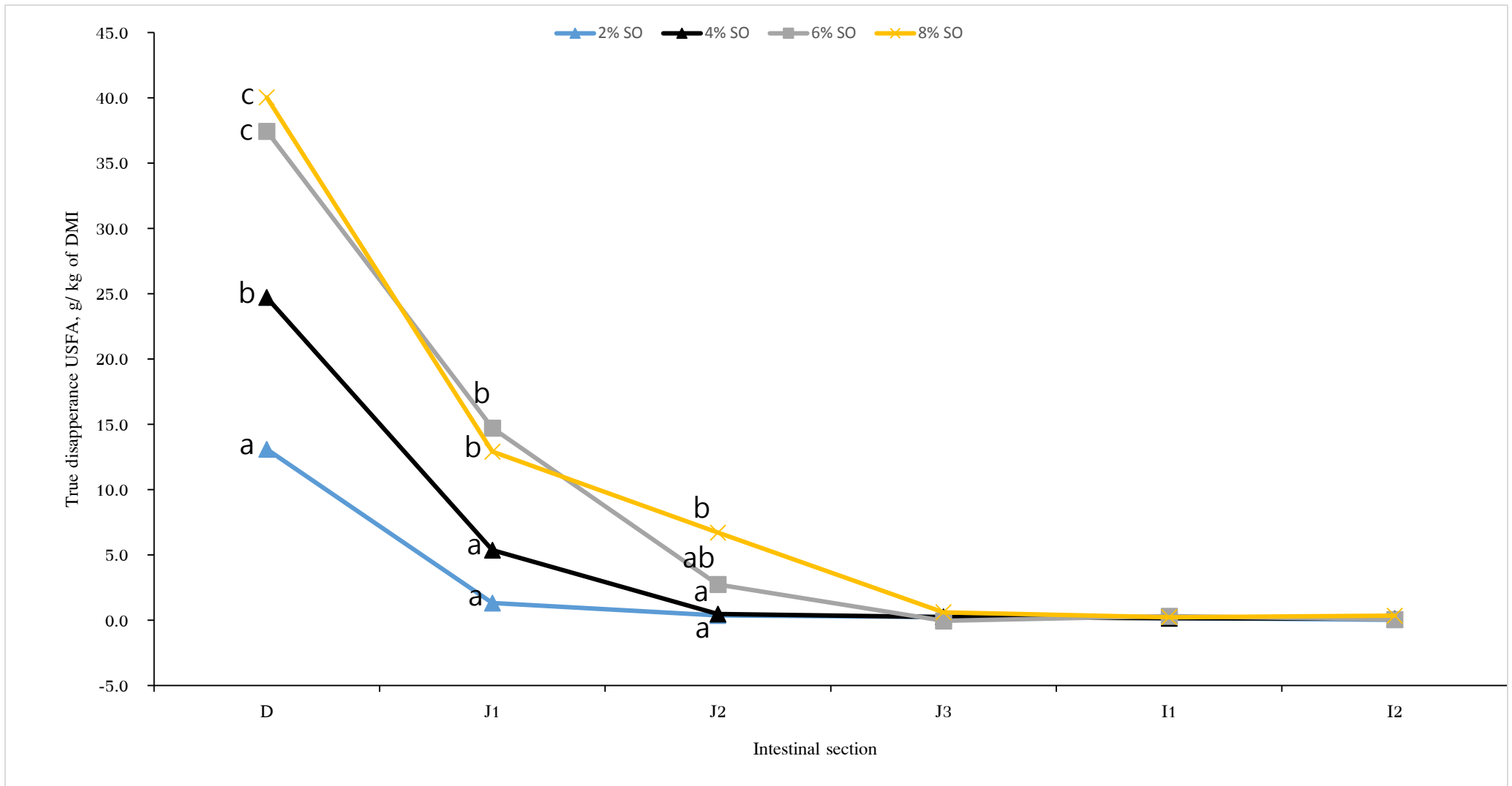


附錄 45. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中飽和脂肪酸 (SFA) 真消失量之影響。

Appendix 45. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true disappearance of saturated fatty acid (SFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P=0.13$ (SEM=0.93); section effect: $P<0.001$ (SEM=1.26); treatment \times section effect: $P=0.29$ (SEM=2.48).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.



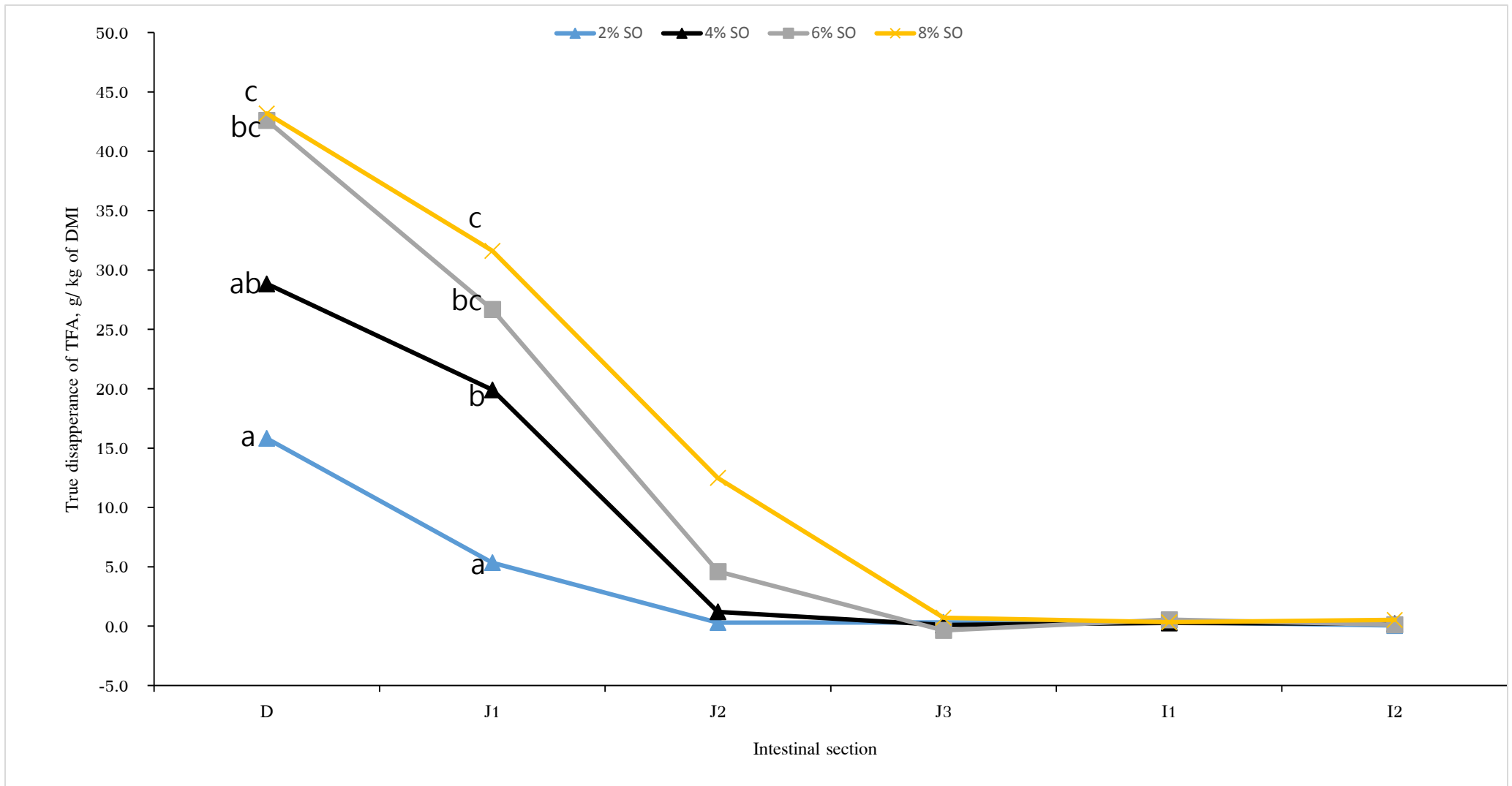
附錄 46. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中不飽和脂肪酸 (USFA) 真消失量之影響。

Appendix 46. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true disappearance of unsaturated fatty acid (USFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=0.81); section effect: $P < 0.001$ (SEM=0.90); treatment \times section effect: $P < 0.001$ (SEM=1.78).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first and second section of ileum.

^{abc} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).



附錄 47. 飼糧中添加不同含量大豆油對肉雞各腸道部位中總脂肪酸 (TFA) 真消失量之影響。

Appendix 47. Effect of supplementation of different level of soybean oil (SO) in diets on true disappearance of total fatty acid (TFA) in each intestinal sections of broiler chickens.

Treatment effect: $P < 0.01$ (SEM=1.55); section effect: $P < 0.001$ (SEM=2.04); treatment \times section effect: $P < 0.05$ (SEM=4.02).

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first to second section of ileum.

^{abc} Means with different superscript are significantly different from each other at each intestinal section ($P < 0.05$).

附錄 48-1. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中脂肪酸表面流量之影響

Appendix 48-1. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on apparent flow (g/kg) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, g/kg	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA	MG	TG
0	D	1.95	1.98	1.17	0.87	3.92	2.12	6.06	0.05	0.71
	J1	0.53	0.70	0.23	0.20	1.23	0.46	1.70	0.01	0.21
	J2	0.29	0.31	0.16	0.23	0.60	0.39	1.01	0.01	0.18
	J3	0.11	0.06	0.07	0.09	0.17	0.15	0.33	-0.02	0.04
	I1	0.06	0.04	0.02	0.02	0.10	0.06	0.16	0.01	0.01
	I2	0.06	0.04	0.02	0.02	0.10	0.06	0.16	0.01	0.01
	I3	0.08	0.07	0.05	0.03	0.15	0.10	0.25	0.00	0.03
2	D	3.54	4.49	1.64	1.92	8.03	3.71	11.76	0.23	1.40
	J1	0.64	0.79	0.32	0.95	1.42	1.37	2.80	0.01	0.58
	J2	0.38	0.42	0.23	0.47	0.80	0.74	1.54	0.02	0.07
	J3	0.16	0.14	0.11	0.18	0.30	0.30 ^a	0.61	0.01	0.03
	I1	0.06	0.05	0.05	0.07	0.12	0.12	0.24	0.00	0.03
	I2	0.06	0.04	0.05	0.05	0.11	0.10	0.21	0.02	0.03
	I3	0.08	0.07	0.06	0.06	0.15	0.12	0.27	0.00	0.06
4	D	7.97	10.58	4.69	2.91	18.57	7.93	26.50	0.42	1.19
	J1	1.04	0.65	0.58	0.71	1.66	1.25	2.91	0.03	0.45
	J2	0.24	0.44	0.25	0.53	0.69	0.84	1.53	0.09	0.18
	J3	0.13	0.18	0.11	0.23	0.32	0.37	0.70	0.00	0.04
	I1	0.10	0.07	0.09	0.11	0.17	0.22	0.39	0.01	0.03
	I2	0.09	0.06	0.08	0.09	0.14	0.18	0.32	0.01	0.02
	I3	0.08	0.06	0.07	0.06	0.14	0.14	0.28	0.01	0.05
6	D	9.88	8.76	7.37	8.65	18.65	16.61	35.27	1.68	1.79
	J1	1.56	1.88	1.18	2.28	3.45	3.71	7.17	0.59	0.75
	J2	0.29	0.48	0.23	0.54	0.77	0.79	1.56	-0.01	0.34
	J3	0.28	0.20	0.21	0.34	0.48	0.57	1.05	-0.09	0.11
	I1	0.15 ^a	0.12	0.13	0.17	0.27	0.31	0.57	0.06	0.05
	I2	0.12	0.11	0.10	0.12	0.23	0.22	0.45	-0.05	0.05
	I3	0.14	0.11	0.15	0.12	0.26	0.28	0.54	0.03	0.06

附錄 48-2. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中脂肪酸表面流量之影響

Appendix 48-2. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on apparent flow (g/kg) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, g/kg	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA	MG	TG
8	D	11.92	11.35	8.67	7.14	23.28	16.34	39.62	0.67	1.71
	J1	3.77	3.66	3.46	4.05	7.43	7.72	15.14	0.32	0.95
	J2	0.68	0.50	0.65	1.03	1.18	1.69	2.86	-0.05	0.16
	J3	0.30	0.20	0.29	0.38	0.50	0.68	1.18	0.12	0.11
	I1	0.28	0.17	0.31	0.40	0.46	0.71	1.17	0.00	0.10
	I2	0.22	0.15	0.21	0.21	0.37	0.42	0.80	0.06	0.06
	I3	0.20	0.09	0.19	0.21	0.29	0.43	0.72	0.01	0.31
	Pooled SEM		1.09	1.29	0.75	0.62	2.35	1.35	3.56	0.10
Significance										
Fat %		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS
Intestinal section		***	***	***	***	***	***	***	***	***
Fat % × intestinal section		***	***	***	***	***	***	***	***	NS

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third part of jejunum; I1 to I3: first to third part of ileum.

^{a-d}Means in each intestinal section not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

NS: not significant; * $P = 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

附錄 49. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中脂肪酸真流量之影響

Appendix 49. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on true flow (g/kg) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, g/kg	Intestinal section ¹	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	SFA	USFA	TFA	MG	TG
2	D	1.53	2.38	0.44	0.97	3.91	1.46	5.37	0.17 ^a	0.66
	J1	0.05	-0.16	0.04	0.29	-0.10	0.37	0.27	0.01 ^a	-0.06
	J2	0.10	0.02	0.10	0.20	0.12	0.32	0.44	0.01 ^a	-0.10
	J3	0.06	0.04	0.06	0.08	0.10	0.15	0.25	0.00 ^a	-0.01
	I1	0.01	0.00	0.02	0.04	0.00	0.05	0.05	-0.01 ^a	0.01
	I2	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01	0.04	0.05	0.01 ^a	0.01
	I3	-0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.03	0.02	0.00 ^a	0.04
4	D	6.10	8.37	3.59	1.96	14.47	5.78	20.25	0.36 ^{ab}	0.50
	J1	0.37	0.40	0.35	0.46	0.78	0.78	1.55	0.07 ^a	0.14
	J2	-0.01	-0.06	0.13	0.25	-0.06	0.41	0.35	0.01 ^a	0.04
	J3	0.05	0.04	0.07	0.12	0.09	0.21	0.30	0.01 ^a	0.02
	I1	0.04	0.03	0.06	0.09	0.06	0.14	0.20	-0.01 ^a	0.02
	I2	0.03	0.02	0.05	0.07	0.04	0.11	0.16	0.00 ^a	0.01
	I3	0.00	-0.01	0.02	0.03	-0.01	0.04	0.03	0.00 ^a	0.02
6	D	8.04	6.74	6.29	7.73	14.78	14.49	29.27	1.61 ^c	0.99
	J1	1.10	1.14	1.01	2.03	2.24	3.24	5.48	0.56 ^b	0.61
	J2	-0.03	-0.08	0.07	0.14	-0.11	0.22	0.11	0.00 ^a	-0.03
	J3	0.18	0.10	0.16	0.24	0.28	0.41	0.69	0.04 ^a	0.07
	I1	0.09	0.07	0.10	0.14	0.15	0.23	0.38	-0.01 ^a	0.04
	I2	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.16	0.29	0.00 ^a	0.03
	I3	0.06	0.05	0.10	0.09	0.11	0.18	0.29	0.02 ^a	0.03
8	D	9.97	9.23	7.53	6.21	19.21	14.18	33.39	0.60 ^b	0.98
	J1	3.23	2.84	3.25	3.81	6.08	7.23	13.31	0.28 ^{ab}	0.64
	J2	0.39	0.10	0.51	0.76	0.50	1.27	1.77	0.02 ^a	-0.01
	J3	0.20	0.10	0.24	0.28	0.30	0.53	0.83	0.02 ^a	0.07
	I1	0.23	0.13	0.28	0.37	0.34	0.64	0.98	0.02 ^a	0.09
	I2	0.16	0.11	0.18	0.18	0.27	0.36	0.64	0.01 ^a	0.04
	I3	0.12	0.07	0.13	0.20	0.19	0.33	0.52	0.02 ^a	0.27
Pooled SEM		1.22	1.44	0.83	0.69	2.63	1.50	3.96	0.12	0.29
Significance										
Fat %		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	***	NS
Intestinal section		***	***	***	***	***	***	***	***	**
Fat % × intestinal section		NS	NS	**	***	NS	***	**	***	NS

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third part of jejunum; I1 to I3: first to third part of ileum.

NS: not significant; * $P=0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

附錄 50-1. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中各個脂肪酸表面及真消化率 (%) 之差異

Appendix 50-1. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on the different between apparent and true digestibility (%) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, %		2			4			6			8		
Intestinal section ¹	Apparent digestibility	True digestibility	Different ²	Apparent digestibility	True digestibility	Different	Apparent digestibility	True digestibility	Different	Apparent digestibility	True digestibility	Different	
C16:0	D	-51.81	46.69	210.97	-94.87	-46.70	-103.14	-71.32	-33.90	-110.37	-71.18	-40.12	-77.40
	J1	74.12	99.23	25.31	79.18	91.46	13.43	67.07	76.61	12.45	48.65	56.57	14.00
	J2	83.09	96.51	13.91	92.27	98.84	6.64	95.99	101.09	5.04	92.12	96.35	4.39
	J3	92.64	97.26	4.75	96.17	98.43	2.30	95.79	97.55	1.80	95.85	97.31	1.50
	I1	96.72	99.38	2.68	97.74	99.04	1.31	97.77	98.79	1.02	96.09	96.93	0.87
	I2	96.77	99.47	2.71	98.16	99.47	1.33	97.95	98.97	1.03	97.35	98.20	0.87
	I3	96.01	99.77	3.77	97.28	99.12	1.86	97.42	98.85	1.45	96.51	97.69	1.21
C18:0	D	-419.75	-111.48	-276.52	-530.68	-390.11	-36.04	-315.73	-207.21	-52.37	-324.63	-233.85	-38.82
	J1	18.87	122.03	84.53	37.03	84.07	55.96	4.05	40.37	89.97	-30.75	-0.37	-8284.49
	J2	47.74	99.30	51.92	78.13	101.64	23.13	84.79	102.94	17.63	85.14	100.32	15.13
	J3	81.32	94.96	14.36	90.91	97.13	6.40	90.28	95.08	5.05	92.83	96.84	4.15
	I1	92.14	97.63	5.63	95.44	97.94	2.56	96.63	98.57	1.96	93.65	95.27	1.70
	I2	93.65	98.94	5.35	96.65	99.07	2.43	95.81	97.67	1.91	94.72	96.27	1.62
	I3	90.08	98.76	8.79	94.69	98.65	4.01	94.81	97.86	3.12	93.04	95.60	2.67
C18:1	D	62.90	94.40	33.37	36.83	52.32	29.61	34.03	45.84	25.77	36.12	45.90	21.30
	J1	94.38	99.09	4.75	93.60	95.91	2.41	87.32	89.09	1.98	75.87	77.33	1.89
	J2	94.52	98.05	3.60	96.33	98.07	1.77	97.79	99.12	1.34	96.29	97.38	1.13
	J3	97.42	98.62	1.21	98.34	98.93	0.59	98.07	98.52	0.45	97.95	98.32	0.38
	I1	98.70	99.31	0.61	98.92	99.22	0.30	98.95	99.18	0.23	97.82	98.01	0.19
	I2	98.60	99.18	0.58	99.12	99.40	0.28	99.00	99.21	0.22	98.54	98.71	0.18
	I3	98.46	99.58	1.12	98.70	99.25	0.55	98.60	99.02	0.42	98.28	98.63	0.35

附錄 50-2. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中各個脂肪酸表面及真消化率 (%) 之差異

Appendix 50-2. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on the different between apparent and true digestibility (%) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, %		2			4			6			8		
Intestinal section ¹	Apparent digestibility	True digestibility	Different ²	Apparent digestibility	True digestibility	Different	Apparent digestibility	True digestibility	Different	Apparent digestibility	True digestibility	Different	
C18:2	D	86.55	98.14	11.82	83.30	88.40	5.77	64.22	68.12	5.73	77.22	80.46	4.02
	J1	94.23	96.88	2.74	96.08	97.25	1.20	89.66	90.55	0.99	87.52	88.26	0.84
	J2	94.55	97.71	3.23	97.21	98.60	1.41	97.69	98.75	1.07	97.29	98.17	0.90
	J3	97.94	99.05	1.12	98.69	99.18	0.49	98.52	98.89	0.38	98.81	99.12	0.31
	I1	99.18	99.48	0.30	99.41	99.54	0.13	99.52	99.62	0.10	98.75	98.83	0.08
	I2	99.38	99.68	0.30	99.55	99.69	0.13	99.60	99.70	0.10	99.34	99.42	0.08
	I3	99.31	99.65	0.34	99.50	99.65	0.15	99.52	99.64	0.11	99.16	99.25	0.10
SFA	D	-147.62	5.50	2782.80	-214.31	-140.82	-52.19	-138.61	-81.62	-69.83	-140.56	-93.16	-50.89
	J1	59.73	105.17	43.21	67.63	89.43	24.39	49.72	66.63	25.38	26.91	40.98	34.33
	J2	73.88	97.24	24.02	88.39	99.60	11.25	92.91	101.60	8.56	90.21	97.44	7.42
	J3	89.69	96.66	7.21	94.73	98.07	3.41	94.28	96.87	2.68	95.02	97.18	2.22
	I1	95.53	98.93	3.44	97.11	98.74	1.65	97.46	98.72	1.28	95.42	96.47	1.09
	I2	95.96	99.33	3.39	97.74	99.36	1.63	97.36	98.62	1.27	96.63	97.67	1.07
	I3	94.46	99.51	5.07	96.57	98.99	2.45	96.70	98.58	1.90	95.56	97.12	1.61
USFA	D	79.48	97.16	18.20	70.74	78.64	10.06	57.05	63.11	9.59	66.20	71.20	7.03
	J1	94.10	97.45	3.43	95.59	97.08	1.54	89.15	90.29	1.27	84.90	85.84	1.10
	J2	94.70	97.83	3.20	97.07	98.47	1.42	97.78	98.85	1.08	97.22	98.11	0.90
	J3	97.80	98.87	1.09	98.62	99.11	0.49	98.43	98.80	0.37	98.66	98.96	0.31
	I1	99.05	99.54	0.49	99.29	99.51	0.22	99.38	99.55	0.17	98.58	98.72	0.14
	I2	99.15	99.61	0.46	99.45	99.65	0.21	99.44	99.60	0.16	99.15	99.28	0.13
	I3	99.03	99.73	0.70	99.29	99.60	0.31	99.28	99.52	0.24	98.91	99.10	0.20

附錄 50-3. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中各個脂肪酸表面及真消化率 (%) 之差異

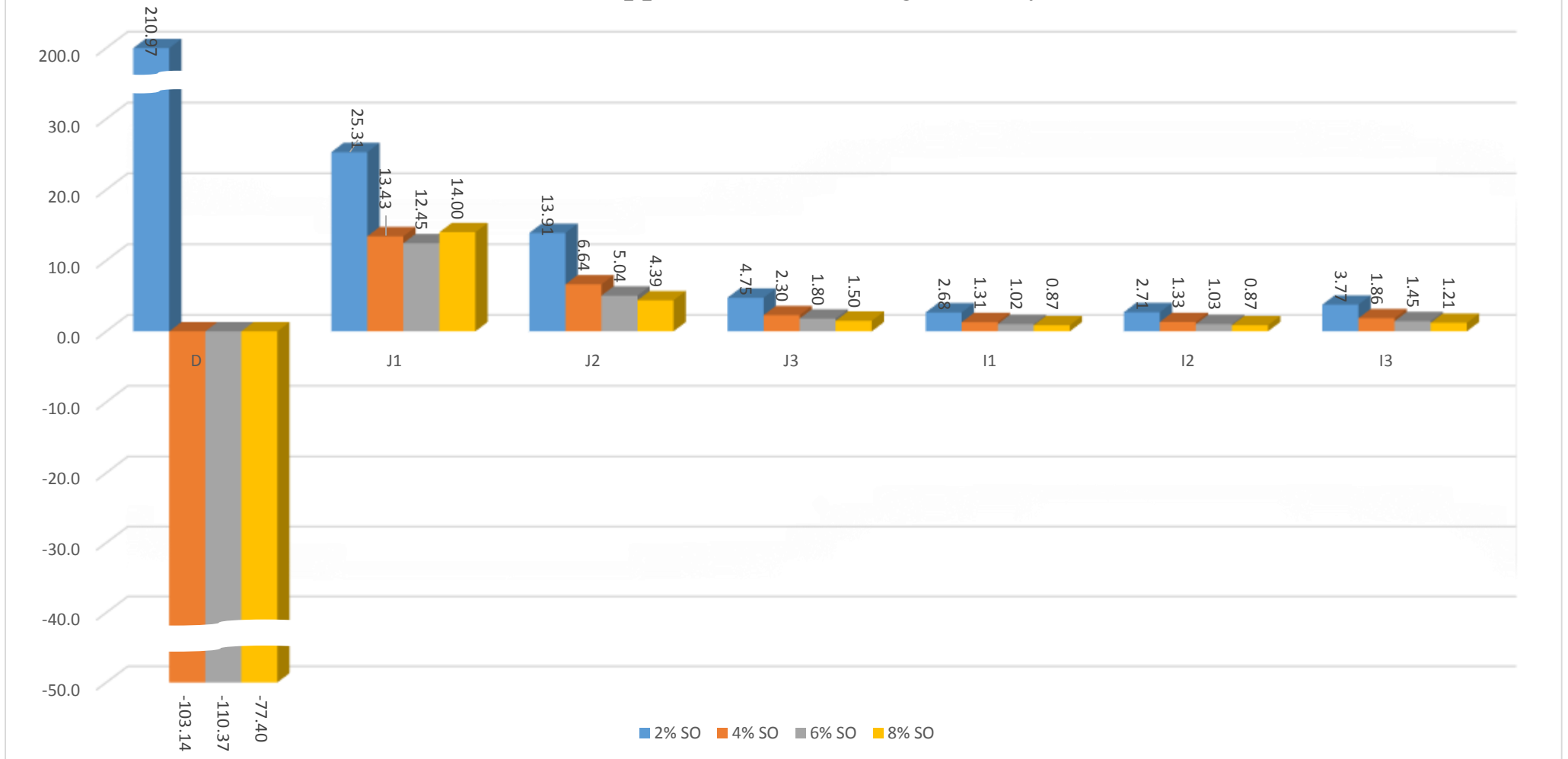
Appendix 50-3. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on the different between apparent and true digestibility (%) of each fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

Added fat, %		2			4			6			8		
Intestinal section ¹		Apparent digestibility	True digestibility	Different ²	Apparent digestibility	True digestibility	Different	Apparent digestibility	True digestibility	Different	Apparent digestibility	True digestibility	Different
TFA	D	17.74	59.25	70.06	21.68	31.28	30.69	26.25	31.11	15.62	31.19	37.28	16.34
	J1	87.12	93.34	6.66	91.12	93.27	2.31	86.49	84.35	-2.54	89.21	76.66	-16.37
	J2	90.90	94.31	3.62	95.17	97.12	2.01	96.95	98.14	1.21	96.81	97.01	0.21
	J3	96.32	97.39	1.10	98.24	98.44	0.20	97.73	98.10	0.38	98.04	98.35	0.32
	I1	98.41	98.92	0.52	98.92	99.15	0.23	99.05	99.23	0.18	98.05	98.19	0.14
	I2	98.57	99.06	0.49	99.15	99.38	0.23	99.09	99.26	0.17	98.72	98.87	0.15
	I3	98.20	98.95	0.76	98.82	99.16	0.34	98.84	99.10	0.26	98.34	98.55	0.21

¹D: duodenum; J1 to J3: first to third part of jejunum; I1 to I3: first to third part of ileum.

²Different= $100 \times (\text{true digestibility} - \text{apparent digestibility}) / \text{true digestibility}$.

Different between apparent and true digestibility of C16:0, %

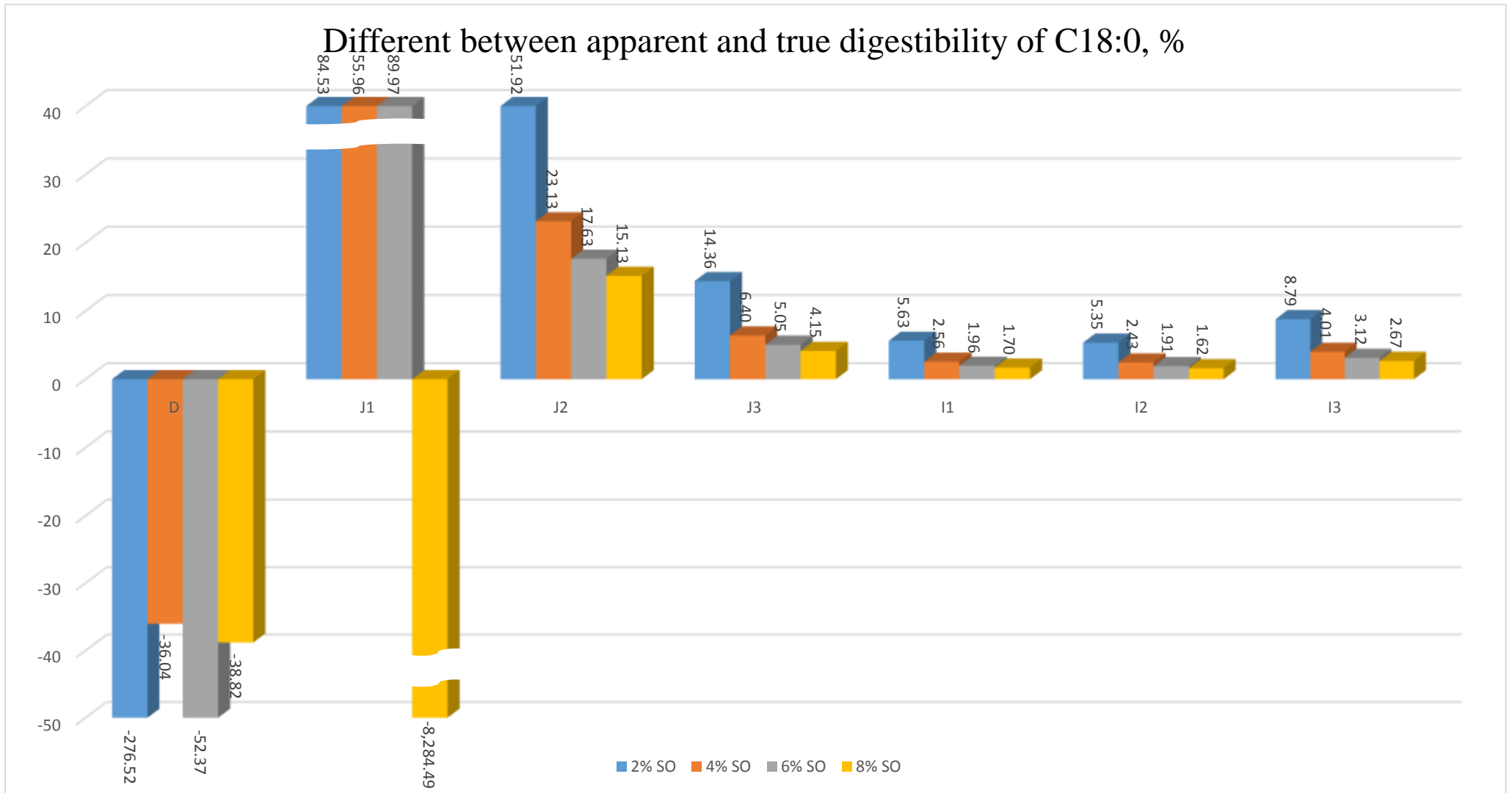


附錄 51. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中棕櫚酸 (C16:0) 表面及真消化率 (%) 之差異

Appendix 51. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on the different between apparent and true digestibility (%) of palmitic acid (C16:0) on each intestinal section in broiler chickens

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first to second section of ileum.

Different= $100 \times (\text{true digestibility} - \text{apparent digestibility}) / \text{true digestibility}$.



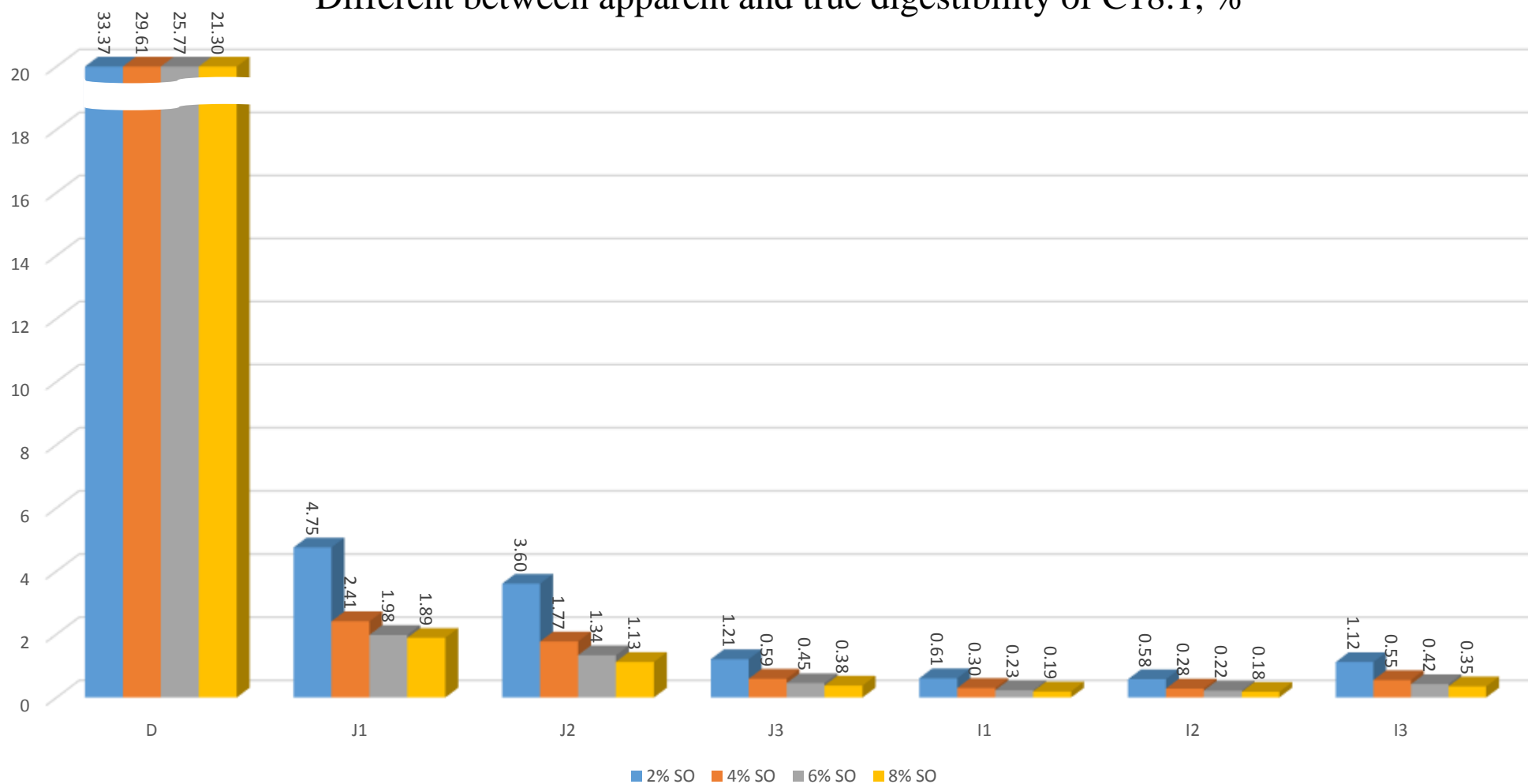
附錄 52. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中硬脂酸 (C18:0)表面及真消化率 (%) 之差異

Appendix 52. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on the different between apparent and true digestibility (%) of stearic acid (C18:0) on each intestinal section in broiler chickens

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first to second section of ileum.

Different= $100 \times (\text{true digestibility} - \text{apparent digestibility}) / \text{true digestibility}$.

Different between apparent and true digestibility of C18:1, %



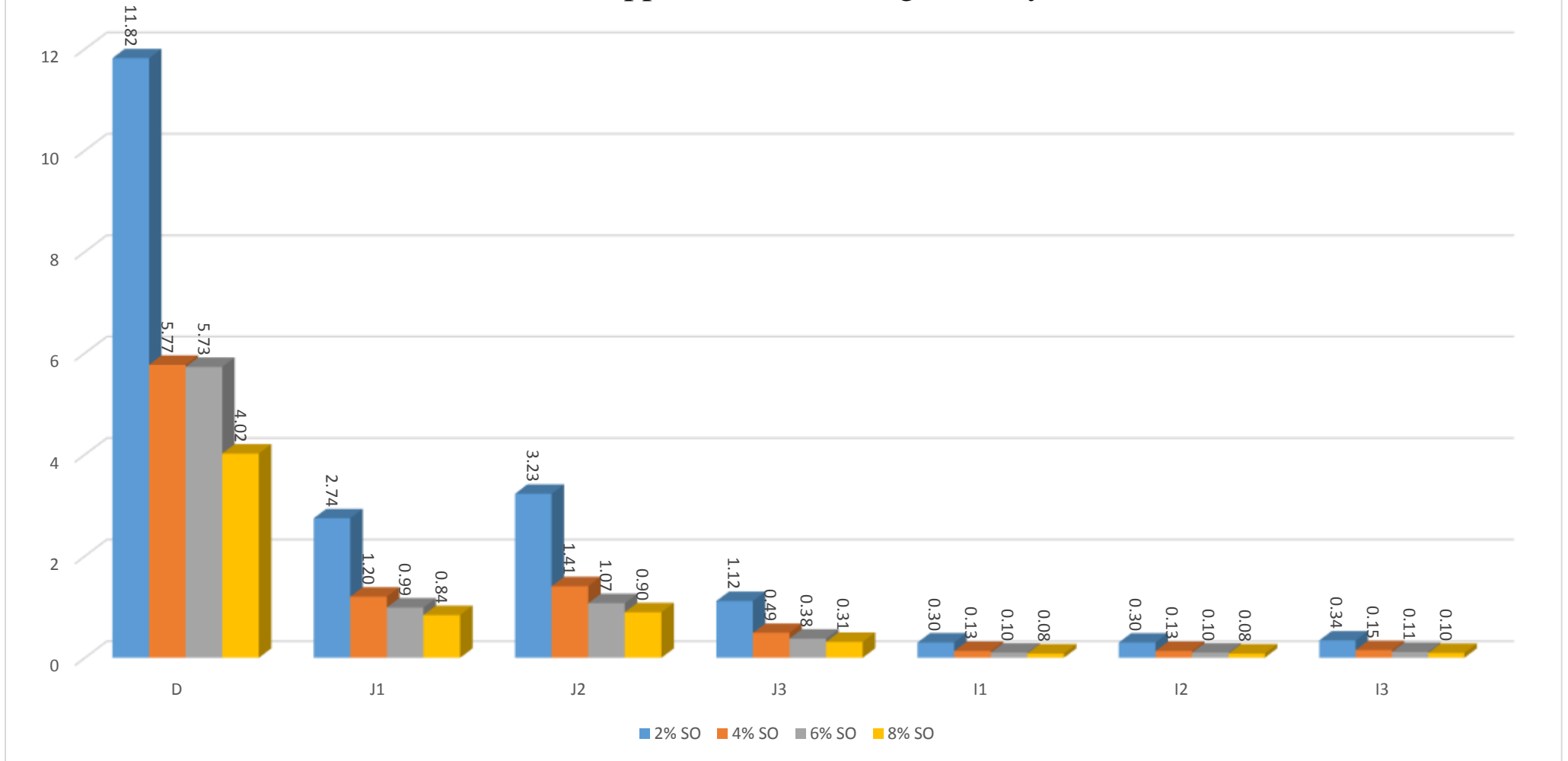
附錄 53. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中油酸 (C18:1)表面及真消化率 (%) 之差異

Appendix 53. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on the different between apparent and true digestibility (%) of oleic acid (C18:1) on each intestinal section in broiler chickens

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first to second section of ileum.

Different= $100 \times (\text{true digestibility} - \text{apparent digestibility}) / \text{true digestibility}$.

Different between apparent and true digestibility of C18:2, %

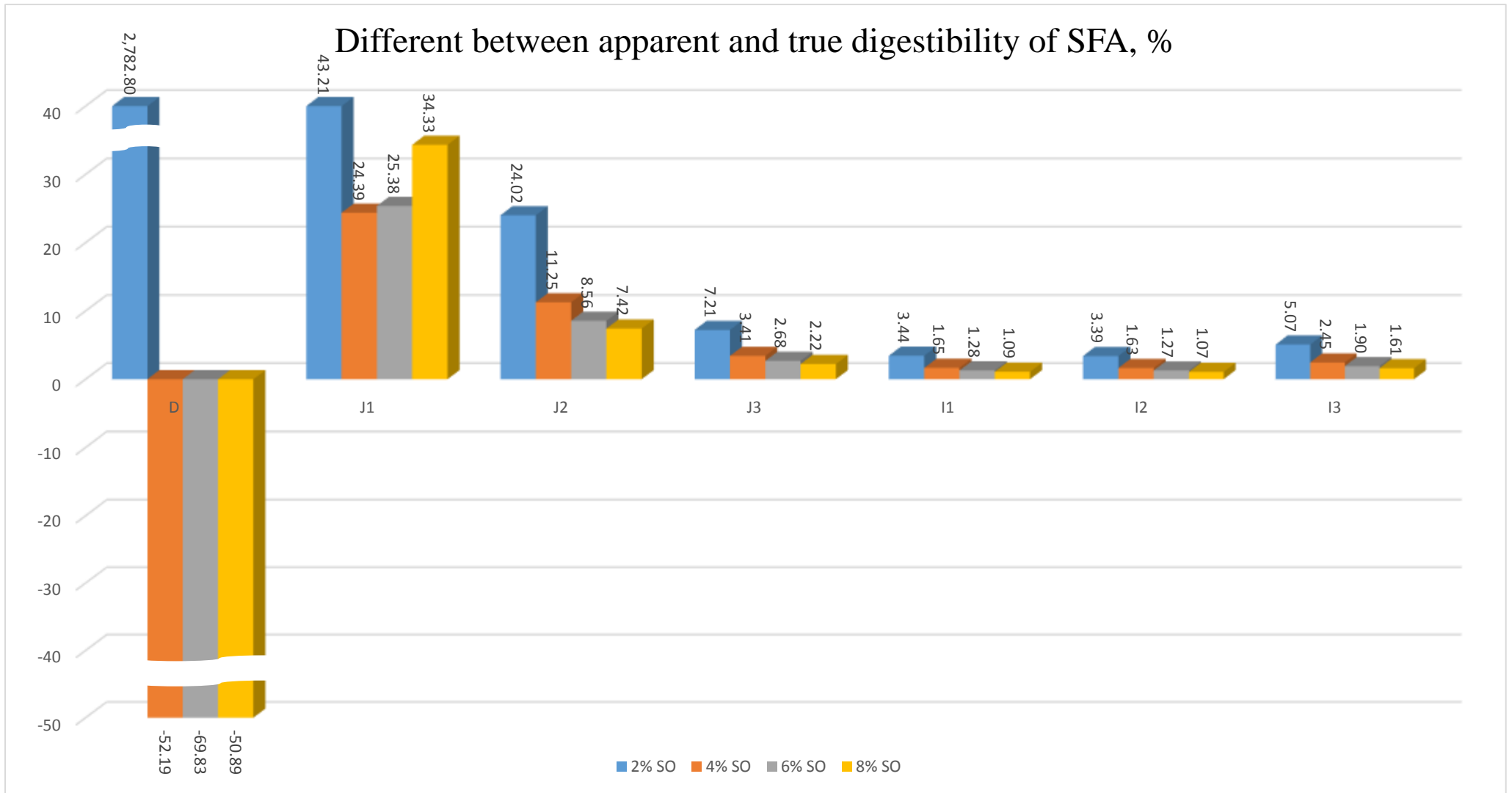


附錄 54. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中亞麻油酸 (C18:2) 表面及真消化率 (%) 之差異

Appendix 54. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on the different between apparent and true digestibility (%) of linoleic acid (C18:2) on each intestinal section in broiler chickens

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first to second section of ileum.

Different= $100 \times (\text{true digestibility} - \text{apparent digestibility}) / \text{true digestibility}$.



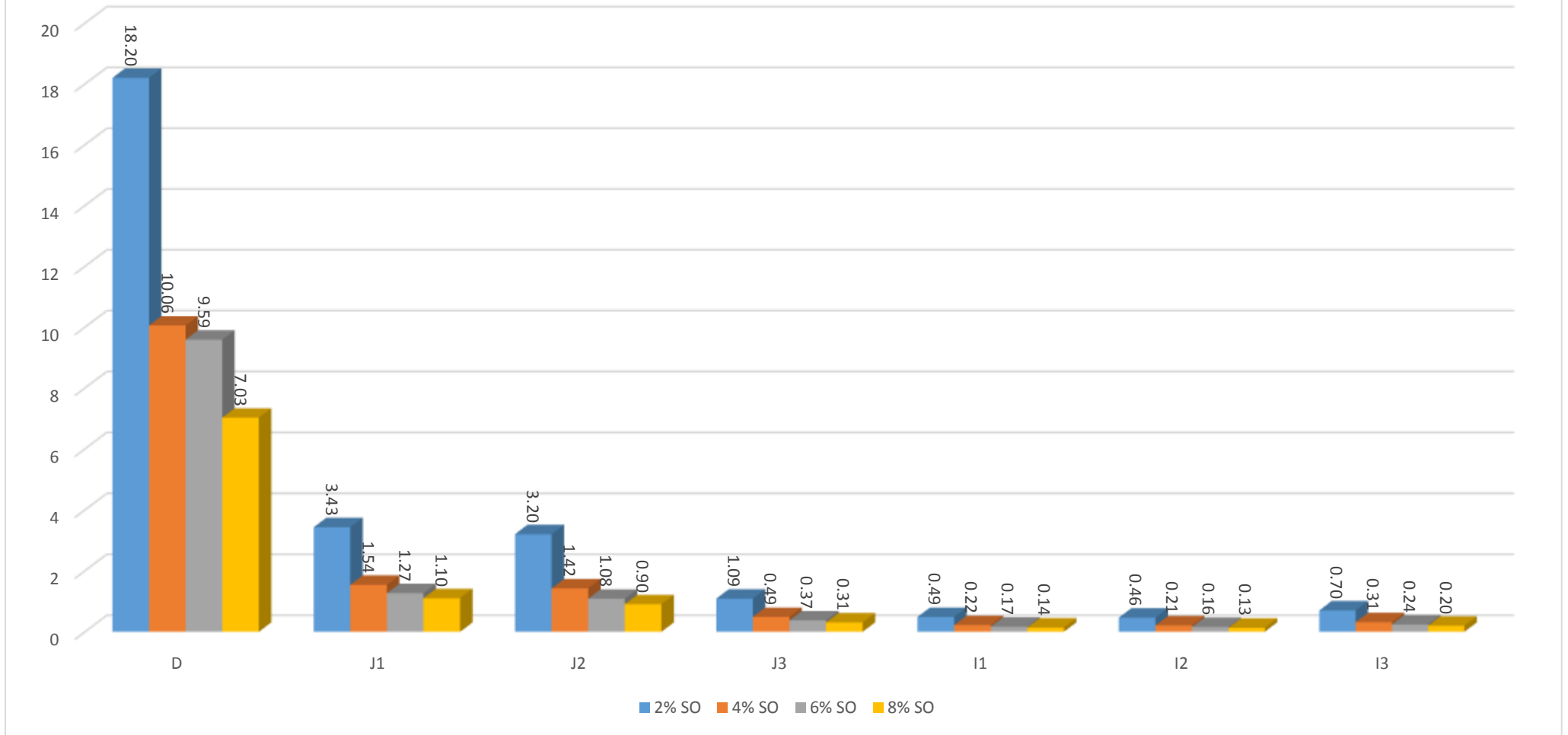
附錄 55. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中飽和脂肪酸 (SFA) 表面及真消化率 (%) 之差異

Appendix 55. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on the different between apparent and true digestibility (%) of saturated fatty acid (SFA) on each intestinal section in broiler chickens

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first to second section of ileum.

Different= $100 \times (\text{true digestibility} - \text{apparent digestibility}) / \text{true digestibility}$.

Different between apparent and true digestibility of USFA, %



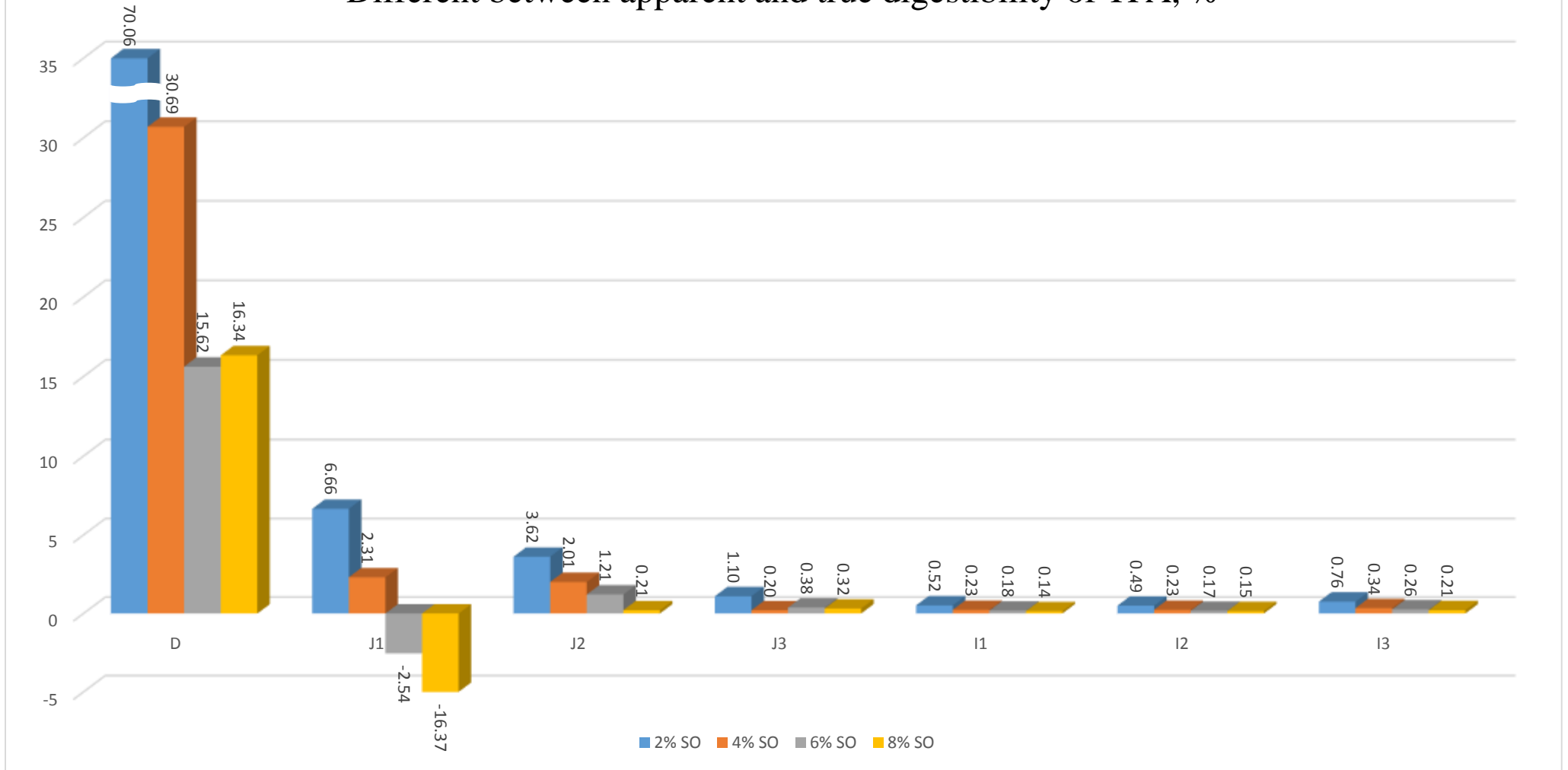
附錄 56. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中不飽和脂肪酸 (USFA) 表面及真消化率 (%) 之差異

Appendix 56. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on the different between apparent and true digestibility (%) of unsaturated fatty acid (USFA) on each intestinal section in broiler chickens

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first to second section of ileum.

Different= $100 \times (\text{true digestibility} - \text{apparent digestibility}) / \text{true digestibility}$.

Different between apparent and true digestibility of TFA, %



附錄 57. 飼糧中添加不同濃度油脂對肉雞各腸道部位中總脂肪酸表面及真消化率 (%) 之差異

Appendix 57. Effect of supplementation of different level of soybean oil in diets on the different between apparent and true digestibility (%) of total fatty acid on each intestinal section in broiler chickens

D: duodenum; J1-J3: first to third section of jejunum; I1-I2: first to second section of ileum.

Different= $100 \times (\text{true digestibility} - \text{apparent digestibility}) / \text{true digestibility}$.

附錄 58、酸水解脂肪

□參考文獻：Operation manual Extraction Unit E-816 HE (2009) 所述之方法。

□原理：使用 HCl 將樣品中皂化鹽酸水解成脂肪酸。

□材料及化學藥品：

1. 濾紙，Schleicher& Schuell, 595 $1/2$, diameter 150 mm。
2. 4M HCl。
3. 250 ml 燒杯。
4. 玻璃漏斗。
5. 沸石。
6. 表玻璃。
7. 去離子水。

□酸水解步驟

1. 於 250 ml 燒杯稱取樣品 0.1 g，並加入 100 ml HCl (4 M)及 3~4 顆沸石。
2. 將表玻璃蓋於燒杯上，於加熱攪拌器上加熱至沸騰，沸騰後，酸水解 30 分鐘。
3. 酸水解完成後，使用濾紙過濾。
4. 使用 100 ml 沸騰去離子水沖洗濾紙及玻璃漏斗，使濾紙達至中性。
5. 濾紙成中性後，放入烘箱 102°C，45 分鐘後取出回溫，待萃取。

附錄 59、粗脂肪萃取

□參考文獻：Operation manual Extraction Unit E-816 HE (2009) 所述之方法。

□原理：石油醚經熱及揮發，經冷卻管後滴入樣品，即將石油醚可溶物帶出，如此反覆進行一直到樣品不再存有石油醚可溶物，最後溶出物烘乾即為粗脂肪。

□材料及化學藥品：

1. 萃取杯。
2. 濾紙。
3. 石油醚。
4. 脂肪萃取機。
5. 沸石。
6. 圓筒濾紙。
7. 氯仿。

□先前準備

1. 萃取杯於烘箱 105°C 烘乾 1 小時後，置於乾燥皿平衡至室溫。
2. 測定前開啟低溫循環水槽使冷凝水溫度降至 3°C。
3. 開啟脂肪萃取機暖機 10 分鐘。

□脂肪萃取

1. 於萃取杯中放入沸石 (3 - 4 顆) 後快速稱重並記錄 (A)。
2. 秤取樣品或酸水解處理後之樣品 (B)，置於圓筒濾紙中。
3. 加入 100 ml 石油醚於萃取杯中，將圓筒濾紙依序置於萃取杯上方 holder。
4. 脂肪萃取機設定：
 - A. 溫度為 80°C。
 - B. 設定萃取、潤洗、風乾及乾燥之所需時間。
(分別為 1:30、2:00、0:20、0:15 分鐘)。
5. 萃取後取出萃取杯置於抽風櫃，確定無石油醚殘留。
6. 放入烘箱 102°C，30 分鐘後，置於乾燥皿平衡 (約 30 分鐘) 後秤重 (C)。
7. 計算可得酸水解粗脂肪含量：

□脂肪萃取計算式

$$\text{酸水解粗脂肪含量 (\%)} = \frac{C-A}{B} \times 100\%。$$

8. 萃取杯內粗脂肪使用 4 ml 氯仿回溶，以備分析脂肪酸含量或薄層色層分析。

附錄 60、薄層色層分析法

□參考文獻：Cairns, S. R., and T. J. Peters. 1983. Micromethods for quantitative lipid analysis of human liver needle biopsy specimens. Clin. Chim. Acta. 127: 373-382.

□原理：利用待測樣品成分間極性之不同，對薄板矽膠之吸附或展開液之極性亦有差異，使樣品個成分在薄板上移動距離不同。

□材料及化學藥品：

1. Petroleum ether 60 ml, 加 ethyl ether 40 ml, 外加 1.6 ml formic acid。
2. Chloroform: methanol (2: 1, v/v)。
3. Chloroform: methanol: water (5: 5: 1, v/v/v)。
4. Chloroform。
5. 0.05 M tris buffer (pH = 9)。
6. Deionized water。

□步驟

1. 將 TLC 板 (TLC silica gel-60 F₂₅₄, Merck Chemical Co., Darmstadt, Germany) 置於 102°C 烘箱中，活化 30 分鐘。
2. 展開液倒入展開槽中，內放置濾紙浸濕，並蓋上槽蓋 (塗抹凡士林)，平衡使槽中展開液呈飽和狀態，以減短展開時間。
3. 取 10 mg 之標準樣品置入 15 ml 玻璃離心管，並加入 1 ml 氯仿。

4. 以鉛筆 TLC 板上作記號，起點線及終止線距板緣約各為 2.5 cm 及 1.5 cm。
5. 以毛細管吸取標準品或樣品 5 μ l，點樣於 TLC 板上，以氯仿再吸一遍後點樣。
6. 將 TLC 板置於展開槽中並蓋上槽蓋，待展開液前緣展開至預定位置。
7. 將 TLC 板自展開槽中取出，自於抽氣櫃中，使用氮氣吹乾。
8. 置入烘箱 102°C，烘乾 30 分鐘。
9. 於 UV 燈 254 nm 下以鉛筆圈出斑點，並與標準品對照。
10. 刮取斑點至 15 ml 拋棄式玻璃離心管中。
11. 加入 5 ml 之氯仿：甲醇：水 (5：5：1, v/v/v) 混合試劑與刮下之矽膠均勻混合，萃取矽膠上之脂質成分。
12. 以玻璃棉及無水硫酸鈉之自製過濾器過濾。
重複第 11 及 12 之步驟。
13. 於 10 ml 濾液中加入 4.5 ml 氯仿及 2.0 ml 0.05 M tris buffer，均勻混合並使其分離。
14. 上層液丟棄。
15. 以氮氣吹乾。
16. 殘留物進行脂肪酸組成測定。

Effect of Dietary Fat Levels on the Hydrolysis and Absorption of Fat Along the Intestinal Tract of Broiler Chickens

Chong-Zhi Ho

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of dietary fat levels on the hydrolysis and absorption site of fatty acids in the intestine of broiler chickens. One hundred and sixty 24-d-old Ross chickens were allotted to 5 treatments with 4 replicates per treatment with 8 chickens per replicate and supplemented 0, 2, 4, 6 and 8% soybean oil in semi-purified diet, respectively. Chickens were sacrificed at 35-day-old and divided the intestinal tract into duodenum (D), first to third section of jejunum (J1, J2 and J3), and first to third section of ileum (I1, I2 and I3). Digesta were collected to determine the hydrolysis rate of fat, the digestibility and disappearance of each fatty acids in each intestinal section. The results showed that most of the fat was hydrolyzed at D and it was not affected by dietary fat level ($P>0.05$). The interaction between the treatment and intestinal section of true digestibility of the fatty acids were not significant ($P>0.05$). The disappearance of total fatty acid was occurred mainly at D1, J1 and J2. In which the disappearance of USFA and SFA occurred mainly at D and J1, respectively. In conclusion, dietary fat level did not affect the hydrolysis and absorption site of fat in the intestine. Fatty acids were absorbed mainly at D, J1 and J2, and USFA was absorbed faster than SFA was.

Key word: Fatty acid, Hydrolysis rate, Digestibility, Disappearance, Intestinal tract, Broiler chickens