

擠壓加工全脂大豆粉—套筒溫度、螺軸轉速及進料速率對滯留時間分佈與擠壓產品物理性質之影響

Extrusion Cooking of Full-Fat Soybean Flour — Effects of Barrel Temperature, Screw Speed and Feed Rate on the RTD and Physical Properties of Extrudates

國立中興大學農業機械工程學系副教授

彭錦樵
Jin-chyau Peng

國立中興大學農業機械工程學研究所碩士
現服務於食品工業研究所副研究員

陳立煌
Li-Huang Chen

摘要

本研究以全脂大豆粉為原料，利用 $3 \times 3 \times 3$ 複因子實驗設計，以探討改變單軸擠壓機之操作參數（套筒溫度、螺軸轉速及進料速率），對原料在擠壓機內之滯留時間分佈及對擠壓產品物理性質之影響。

實驗結果顯示：

1. 套筒溫度、螺軸轉速及進料速率對原料在擠壓機內的平均滯留時間均有影響；其中以進料速率之影響最為顯著，進料速率愈低時，物料在擠壓機內的平均滯留時間會愈長。

2. 進料速率之改變對軸向擴散數及產品總色差值均有顯著影響。當進料速率愈高時，軸向擴散數愈大，而產品總色差值反而愈小。

關鍵詞：單軸擠壓機，滯留時間分佈，軸向擴散數。

ABSTRACT

The full-fat soybean flour was used as the raw material to study the effects of process parameters on extrudates residence time distributions and physical properties by single-screw extruder. The process parameters were barrel temperature, screw speed and feed rate. The experiment was a $3 \times 3 \times 3$ factorial design.

Results showed that:

1. Barrel temperature, screw speed and feed rate were influential in mean residence time. Mean residence time was significantly affected by the feed rate. Decreasing the feed rate raised the mean residence time.

2. The feed rate had the greatest effect on the vessel dispersion number ($D/\mu L$) and total color differences (ΔE). Increasing the feed rate raised the vessel dispersion number, but decreased the total color differences.

Keywords : Single-screw extruder, Residence time distribution, Vessel dispersion number.

一、前言

臺灣地區飼料工業，由於近十年來畜牧事業的發展已趨向於大規模企業化經營，而使得飼料工業發展迅速。飼料在畜牧生產成本中，佔有極重要之地位，即畜牧生產成本中飼料費用佔 70 % 以上（洪，1989），所以如何提高飼料利用效率，以降低生產成本，增加飼養者之收益，實為重要課題。

擠壓技術 (Extrusion technology) 乃是利用外力作用於物料，使其在特定容器中流動，而受到不同程度的混合、搓揉與剪斷的程序，在物料流動的同時，再施以蒸煮的作用，然後經由容器的末端模口成型而膨發的一種加工技術。擠壓機乃集物料輸送、壓縮、混合、搓揉、剪切、加熱、殺菌、組織化、成形與膨發等功能，為一種高溫短時間 (HTST) 的加工技術。此種加工技術源於十九世紀末，於 1930 年間運用於塑膠原料的射出成形，於 1940 年間生產由麵粉製成的膨發點心 (Harper, 1981)，到目前為止，已經廣泛的應用在即食食品、玉米點心與寵物飼料等一般食品業界的成品製作程序上 (Harper, 1986)。至於運用擠壓技術來生產飼養家禽、家畜的單味飼料以及水產飼料，近年來已有廠商及研究單位積極投入（彭，1992），希望能藉由擠壓蒸煮技術，來生產高利用效率的飼料，以降低生產成本，並提升業者的收益。

傳統的飼料加工方式，依原料、加工目的、產品需求的不同，而有所差異；然而，對飼料加工業者而言，在傳統的飼料加工程序中，原料的二次加工、輸送運搬、批次加工等，均是傳統飼料加工方式的瓶頸所在。擠壓機具備一機多用途的功能特性，且能連續運轉生產，可運用擠壓技術的這些特點，來克服傳統飼料加工方式的瓶頸。

本研究之目的乃是利用擠壓技術來從事全脂大豆粉飼料的生產，以探討操作參數（套筒溫度、螺

軸轉速及進料速率）對於物料在擠壓機內之滯留時間分佈（平均滯留時間、滯留時間分佈變域、軸向擴散係數）及擠壓產品物理性質（最終含水率及總色差值等）之影響，以期提供日後業界生產飼料之參考依據。

二、材料與方法

(一) 實驗材料

本實驗所使用的擠壓原料為大豆粉；係採用福壽牌大豆粒原料，經過鎚碎機 (Hammer mill) 粉碎後，所得之粉粒狀原料。經鎚碎機粉碎後之黃豆原料，其含水率約為 16 % (wb) 左右，再將原料的含水率調整至 20 % (wb) 左右，經粉碎及調濕後的大豆原料，以美國標準局於 1910 年所制定的泰勒標準篩網分析原料粒徑（盧，1986），得平均粒徑約為 20mesh 左右。

(二) 實驗設備

擠壓機：本實驗所使用之擠壓機，係由泰宇實業有限公司（臺北，蘆洲）所生產之單軸擠壓機。使用交流電動機 (220V, 15HP) 為動力驅動來源，電動機動力輸出經過一減速齒輪組 (15:1) 的減速作用後，帶動擠壓機螺旋軸。螺旋軸的運轉速度乃是由交流馬達控制。加熱裝置位於擠壓機螺旋軸的外圍，以四個套筒組 (Barrel liner) 包覆擠壓機螺旋軸。套筒具有中空的管套腔，可通入冷卻水，配合包覆於套筒外側的加熱套 (220V, 2600W 以及 220V, 2200W)，透過電磁閥、溫控開關、溫度感測器及冷卻水循環系統等構成一擠壓機加熱溫度控制系統。

(三) 實驗設計

本實驗設計採用 $3 \times 3 \times 3$ 複因子設計，如表 1 所示，探討改變擠壓機操作參數（套筒溫度、螺旋轉速以及進料速率等），對物料在擠壓機內之滯留時間分佈（平均滯留時間、滯留時間分佈變域及軸向擴散數等）及擠壓產品物理性質之影響。

由於控制擠壓機的操作面板上所示之螺旋轉速

及進料速率的數據，並非螺軸轉速及進料速率的真實數據，需再經過轉換程序。擠壓機螺旋主軸之齒輪比為 15:1，所以馬達主機轉速為 1200rpm，1400rpm 及 1600rpm 時，真正螺軸轉速設定範圍應該為 80.0rpm、93.3rpm 及 106.7rpm；進料速率之修正，乃將大豆粉倒入料桶中，再以進料機轉速表顯示的數據 300rpm、450rpm 及 600rpm 進行大豆粉進料量的測量，而得 12.5kg/h、17.6kg/h、23.3kg/h。

表 1. 3 × 3 × 3 複因子實驗設計

處理	加工變數		
	套筒溫度	螺軸轉速	進料速率
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	0	2
4	0	1	0
5	0	1	1
6	0	1	2
7	0	2	0
8	0	2	1
9	0	2	2
10	1	0	0
11	1	0	1
12	1	0	2
13	1	1	0
14	1	1	1
15	1	1	2
16	1	2	0
17	1	2	1
18	1	2	2
19	2	0	0
20	2	0	1
21	2	0	2
22	2	1	0
23	2	1	1
24	2	1	2
25	2	2	0
26	2	2	1
27	2	2	2

[註] 套筒溫度(BT)：0-130 °C, 130 °C, 90 °C

(每處理為三 1-150 °C, 150 °C, 90 °C

段式加熱) 2-170 °C, 170 °C, 90 °C

(三段式加熱乃本擠壓機套筒加熱之設計)

螺軸轉速(SS)：0-80.0rpm(馬達主機：1200rpm)

1-93.3rpm(馬達主機：1400rpm)

2-106.7rpm(馬達主機：1600rpm)

進料速率(FR)：0-12.5kg/h(進料轉速：300rpm)

1-17.6kg/h(進料轉速：450rpm)

2-23.3kg/h(進料轉速：600rpm)

四 滯留時間分佈曲線

使用 Hunterlab 色差計來量測每一不同處理樣

本的色彩值，再根據色差標準曲線(Peng et al., 1994)來換算追蹤劑的濃度值，濃度值已知後，即可繪出各個不同處理樣本的滯留時間分佈曲線曲線(E曲線)；得知E曲線後，可推導出平均滯留時間、滯留時間分佈變域及軸向擴散數。

1. 樣本收集方法

本實驗採 3 × 3 × 3 之複因子設計，共有 27 組處理之樣本需收集。當擠壓機操作狀態已達穩定時，將 1g 的紅色食用六號染料(KIRIYA CHEMICAL CO., LTD.)瞬間投入擠壓機進料口，並起動馬錶開始記錄時間，同時展開樣本收集的動作，樣本收集共維持十二分鐘。樣本收集程序如下述：在樣本收集過程的前面 420 秒(七分鐘)，每 15 秒為一收集區間，最後的五分鐘(從 420 秒~ 720 秒)，每 30 秒為一收集區間。所以每一個不同的操作條件下，需取 38 個樣本。將取得樣本經由桌上型粉碎機粉碎後，量測各個樣本的颜色值(L, a, b)，再經由色差標準曲線的校正及轉換可獲得樣本中染料之真實濃度值，而繪出 E 曲線。

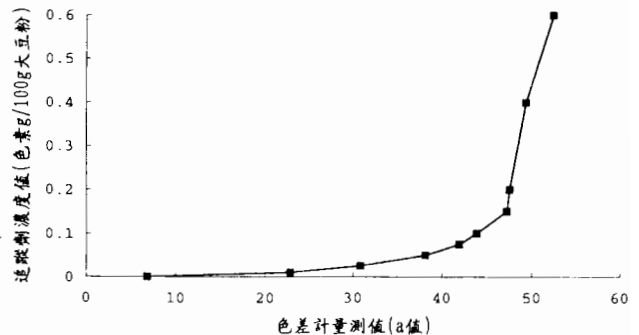


圖 1. 色差標準曲線圖

2. 色差標準曲線製作

色差標準曲線的製作，乃使用擠壓原料(大豆粉)及追蹤劑(紅色食用染料)以 0.0%，0.025%，0.05%，0.075%，0.1%，0.15%，0.2%，0.4%，0.6% 的比例充分混合後，再透過擠壓機(以進料速率為 17.6kg/h，螺軸轉速為 93.3rpm 及 150 °C，150 °C，90 °C 三段式加熱的套筒溫度，其它操作條件不變)進行擠壓加工。分批收集不

同比例原料混合後之擠壓樣本，進行顏色值 (L,a 及 b) 的測定，可得在色差計量測值與追蹤劑濃度值的關係圖，而製作色差標準曲線 (如圖 1)。

(n) 平均滯留時間

由 E 曲線的求得，可得知滯留時間分佈的情形，然而在有關擠壓機內部物料分佈情形的探討，平均值是一重要的指標，一般稱之為平均滯留時間 (Mean residence time)，以 \bar{t} 表示；此一平均值所代表的意義，在統計學的觀點下應稱之為期望值，計算公式如公式(1)所示 (Levenspiel, 1972; Harper, 1981)。

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t C dt}{\int_0^{\infty} C \Delta t} \equiv \frac{\sum_0^{\infty} t C_i}{\sum_0^{\infty} C \Delta t} \quad (1)$$

其中 t : 平均滯留時間
C : 追蹤劑濃度值
t : 時間

不論是傳統或是擠壓製造的加工生產過程，有效的使用熱源可以降低生產成本，而熱源的有效運用，不外乎在加工程序中有效的控制加熱溫度與加熱時間；所以經由平均滯留時間的取得，可大略得知物料在擠壓機內的反應時間長短為何，有助於日後試製產品時，作為擠壓機操作條件修正的指標。

(o) 滯留時間分佈變域

有關滯留時間分佈之另一重要的描述量為曲線的變域 (Spread of residence time distribution)，一般以曲線的變異數 σ^2 (Variance) 來表示，計算公式如公式(2)所示。

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{\int_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 C dt}{\int_0^{\infty} C dt} = \frac{\int_0^{\infty} t^2 C dt}{\int_0^{\infty} C dt} - \bar{t}^2 \\ &\equiv \frac{\sum_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 C \Delta t}{\sum_0^{\infty} C \Delta t} = \frac{\sum_0^{\infty} t^2 C \Delta t}{\sum_0^{\infty} C \Delta t} - \bar{t}^2 \quad (2) \end{aligned}$$

其中 σ^2 : 滯留時間分佈變域
C : 追蹤劑濃度值
t : 時間

(p) 軸向擴散數

Jager et al.(1992) 指出物料在擠壓機內的混合

模式有三種主要的方式：軸向混向 (Axial mixing)、擴散混合 (Dispersive mixing) 及穩流混合 (Laminar mixing)，其中軸向混合乃是指擠壓機軸方向的混合程度；擠壓機經螺旋軸作用產生壓力流 (Pressure flow)，將物料往出口端推送，而物料受管壁內襯紋的作用產生摩擦，並有溢流 (Leakage Flow) 現象產生，回流的物料會與往前推送的物料產生混合的作用，此即為單軸擠壓機內部物料主要的混合作用。

Levenspiel (1972) 根據 Filk's law 來探討反應器 (Reactor) 中分子擴散模式，若以擠壓機內部物料的軸向作用來考量時，並假設反應器擴散程度很大，物料流非理想流體，且反應器視為一密閉容器時，則可得知反應器擴散數與平均滯留時間及滯留時間分佈變域之間的關係，如公式(3)所示。

$$\frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = 2 \frac{D}{\mu L} - 2 \left(\frac{D}{\mu L} \right)^2 (1 - e^{-\frac{\mu L}{D}}) \quad (3)$$

其 \bar{t} : 平均滯留時間

σ^2 : 滯留時間分佈變域

$\frac{D}{\mu L}$: 軸向擴散數

(q) 產品總色差值測定

取每一不同操作條件下所得樣本，再使用 Hunterlab 色差計來量測每一組不同處理樣本的色差值，得產品亮度值 (L)、產品紅度值 (a) 及產品黃度值 (b)。將以上所測得之量測值代入公式(4)，得總色差值 ΔE 。產品總色差值可當作熱加工程度的指標 (陳與楊，1983)，當產品總色差值愈高時，則表示熱加工的程度愈高。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (4)$$

其中 L : 產品亮度值
a : 產品紅度值
b : 產品黃度值

三、結果與討論

(一) 操作參數對平均滯留時間及滯留時間分佈變域之影響

由統計上的變異數分析 (ANOVA)，以探討擠壓操作條件變化對平均滯留時間及滯留時間分佈變域之影響程度，得表 2 至表 4 之結果。

由表 2 顯示，當套筒溫度由 130 °C 升至 150 °C 時，平均滯留時間之變化並無顯著差異；但當套筒溫度升至 170 °C 時，則平均滯留時間有漸升的趨勢，且平均滯留時間之變化與 130 °C 及 150 °C 時有顯著差異。Harper(1981) 曾討論到，套筒溫度之變化對於平均滯留時間的影響而言是存在，但其影響程度較不顯著。根據本實驗的經驗得知，當擠壓全脂大豆時，因套筒加熱溫度升高，擠壓機內因高溫高壓而使油脂分離，造成擠壓螺軸的動力打滑（此時觀察擠壓機的電流表，總電流值有下

表 2. 套筒溫度對平均滯留時間及滯留時間分佈變域之影響

套筒溫度 (°C)	平均滯留時間 (s)	滯留時間分佈變域 (s)
130,130,90	106.4 ^a	70.1 ^a
150,150,90	111.2 ^a	81.1 ^a
170,170,90	119.3 ^b	87.9 ^b

相同英文字母代表平均值不具顯著差異 (P<0.05)

降的趨勢)，原料輸送過程的延遲，進而影響平均滯留時間的結果。

由表 2 顯示，當套筒溫度由 130 °C 升至 150 °C 時，滯留時間分佈變域之變化有顯著差異性存在，隨著套筒溫度的升高而增加；當套筒溫度升至 170 °C 時，則滯留時間分佈變域之變化與 150 °C 時，無顯著的差異。然而從文獻中 (Harper, 1981) 得知，套筒溫度對於滯留時間分佈變域之影響實為有限，但在本實驗中套筒溫度對滯留時間分佈變域之影響有部份顯著影響，乃因擠壓全脂大豆粉的过程中，因擠壓套筒內的高溫高壓環境造成大豆油脂的分離，導致物料流動模式的改變，進而造成滯留時間分佈變域亦受影響。

由表 3 顯示，螺軸轉速由 80.0rpm 升至 93.3rpm

表 3. 螺軸轉速對平均滯留時間及滯留時間分佈變域之影響

螺軸轉速 (rpm)	平均滯留時間 (s)	滯留時間分佈變域 (s)
80.0	117.4 ^b	81.5 ^a
93.3	114.6 ^b	81.2 ^a
106.7	104.9 ^a	76.4 ^a

相同英文字母代表平均值不具顯著差異 (P<0.05)

時，對於平均滯留時間之變化並無顯著影響；當螺軸轉速升至 106.7rpm 時，平均滯留時間有降低的趨勢，且平均滯留時間之變化與前面兩種螺軸轉速間則有明顯差異存在。彭(1992)，以雙軸擠壓機探討操作變數（螺軸元件組合、進料速率及螺軸轉速）對滯留時間分佈之影響，Lin(1988) 亦探討有關操作參數（螺軸元件組合、進料速率、螺軸轉速、物料水份及套筒溫度）對平均滯留時間之影響，得螺軸轉速的變化對平均滯留時間具有顯著之影響，本實驗結果之趨勢與他們頗為一致。其次 Davidson et al. (1983) 及 Altomare and Ghossi (1986) 亦研究有關螺軸轉速對平均滯留時間的變化，本實驗結果亦與其研究之結果頗為一致，所以物料在擠壓機內之平均滯留時間將隨擠壓機螺軸轉速之升高而降低。

由表 4 得知，改變進料速率對本擠壓機的平均

表 4. 進料速率對平均滯留時間及滯留時間分佈變域之影響

進料速率 (kg/h)	平均滯留時間 (s)	滯留時間分佈變域 (s)
12.5	129.9 ^c	83.2 ^a
17.6	110.3 ^b	78.8 ^a
23.3	96.8 ^a	77.1 ^a

相同英文字母代表平均值不具顯著差異 (P<0.05)

滯留時間有顯著之影響。隨著擠壓機進料速率的變化，由 12.5kg/h 增加至 17.6kg/h 而至 23.3kg/h，其平均滯留時間則漸次降低；此為物料的進料速率增加，造成擠壓螺軸內物料的填充較為緊密，後端的物料會推擠前端物料，而使物料較不易發生滑滯現象，所以平均滯留時間會漸次降低。這實驗結果與 Peng. et al. (1994)、陳(1991)、Jager et al. (1991) 等的實驗結果符合。從本研究得知改變擠壓機操作參數一套筒溫度、螺軸轉速及進料速率，對平均滯留時間之影響以物料的進料速率變化最為顯著。

彭(1992)，Lin(1991) 以及 Jager et al. (1992) 等人，研究螺軸轉速及進料速率對滯留時間分佈變域之影響，得知當擠壓機之螺軸轉速及進料速率提高時，滯留時間分佈變域隨之降低。由表 3 與表 4 中得知，螺軸轉速及進料速率的變化，對於滯留

時間分佈變域無顯著之影響。

(二)平均滯留時間與滯留時間分佈變域之迴歸模式

探討滯留時間分佈對於有關擠壓機的動態模擬及日後大型擠壓設備的製程分析均有其助益；因此根據本實驗所得之數據，應用統計迴歸分析方法，可找出一有關平均滯留時間與滯留時間分佈變域與操作參數間之關係。一般而言，可將平均滯留時(\bar{t})與操作參數(套筒溫度、螺軸轉速及進料速率)間視為一函數關係式，如公式(5)所示。

$$\bar{t} = f(BT, SS, FR) \quad (5)$$

式中 \bar{t} ：平均滯留時間

BT：套筒溫度

SS：螺軸轉速

FR：進料速率

表 5. 操作參數對平均滯留時間之二階迴歸模式表

操作參數	係數值
截距項	668.1547336
BT	-4.2585537
SS	-3.2571886
FR	-28.6229919
BT*SS	0.0402602
BT*FR	0.1237071
SS*FR	0.2554576
BT*SS*FR	-0.0015568
BT ²	0.0040247
SS ²	-0.0194872
FR ²	0.1382558

$$R^2 = 0.884$$

其中 BT：套筒溫度(°C)

SS：螺軸轉速(rpm)

FR：進料速率(kg/h)

經 GLM (簡單線性迴歸) 分析後，一階方程式迴歸結果得 R^2 為 0.830，二階方程式迴歸結果得表 5，其 R^2 為 0.884，然而二階方程式中有許多項為不具顯著影響者，所以運用 SAS 中的逐步迴歸(Backward stepwise)得表 6 之線性迴歸方程式，其 R^2 為 0.838。於表 5 及表 6 中，前者為一具有十個項數的迴歸方程式，後者僅具有三個項數之迴歸方程式，雖然前者之 R^2 較高，然以方程式之適用性而言，可選擇表 6 之迴歸方程式來預估在本實驗

表 6. 操作參數對平均滯留時間之後項捨棄二階迴歸模式

操作參數	係數值
截距項	164.06777357
FR	-3.05629607
BT*SS	0.00360711
SS*SS	-0.00541909

$$R^2 = 0.838$$

其中 BT：套筒溫度(°C)

SS：螺軸轉速(rpm)

FR：進料速率(kg/h)

表 7. 操作參數對滯留時間分佈變域之迴歸模式表

操作參數	係數值
截距項	-2134.36013188
BT	20.88476178
SS	22.19037524
FR	74.62302158
BT*SS	-0.13697746
BT*FR	0.18348665
SS*FR	-1.20060403
BT*SS*FR	-0.00275278
BT ²	-0.09852616
SS ²	-0.02104964
FR ²	-1.80190187
BT*BT*SS	0.00091091
BT*BT*FR	0.00046056
SS*SS*FR	0.00401378
SS*SS*BT	-0.00041686
FR*FR*SS	0.02501535
FR*FR*BT	-0.00318802

$$R^2 = 0.798$$

其中 BT：套筒溫度(°C)

SS：螺軸轉速(rpm)

FR：進料速率(kg/h)

範圍內任一操作點之平均滯留時間。

同樣地，滯留時間分佈變域(σ^2)與操作參數(套筒溫度、螺軸轉速及進料速率)間亦可視為一函數關係式，如公式(6)所示。

$$\sigma^2 = (BT, SS, FR) \quad (6)$$

式中 σ^2 ：滯留時間分佈變域

BT：套筒溫度

SS：螺軸轉速

FR：進料速率

經 GLM (簡單線性迴歸) 分析後，一階方程

式迴歸結果得 R^2 為0.463，二階方程式迴歸結果得 R^2 為0.648；然而利用表7之迴歸模式，其方程式迴歸結果之 R^2 為0.798，再使用SAS中的逐步迴歸(Backward stepwise)，其中 R^2 為0.638，為一僅具有六個項數之迴歸方程式，前者之 R^2 比後者高甚多，故以方程式之適用性而言，可選擇表7之迴歸方程式來預估在本實驗範圍內任一操作點之滯留時間分佈變域。

(二)軸向擴散數

由統計的變異數分析，以探討擠壓操作參數對軸向擴散數之影響，得表8至表10。

以單軸擠壓機而言，物料在擠壓機內受螺旋軸作用而向出口端前進，在物料前進的過程中，與擠壓機套筒壁的襯紋有摩擦的作用產生，而使得物料流有遲滯的現象，此一物料流遲滯現象，將造成前端物料與後續物料流的混合作用。所以軸向擴散數愈大，對單軸擠壓機而言則表示物料流間之混合現象愈趨明顯(葉等，1991)。

由表8顯示，當套筒溫度由130℃升至150℃

表 8. 套筒溫度對擠壓產品軸向擴散係數及總色差值之影響

套筒溫度 (°C)	軸向擴散係數 (D/ μ L)	產品總色差值 (ΔE 值)
130,130,90	0.3139 ^a	40.381 ^b
150,150,90	0.4913 ^b	38.844 ^a
170,170,90	0.4986 ^b	39.662 ^b

相同英文字母代表平均值不具顯著差異(P<0.05)

時，軸向擴散數之變化有顯著之差異，隨套筒溫度的升高而增加；當套筒溫度升至170℃時，軸向擴散數則與150℃時之軸向擴散數間無顯著差異。在本研究擠壓全脂大豆粉的過程中，套筒溫度的改變影響軸向混合擴散數的結果，亦可說是擠壓全脂大豆粉時，由於擠壓機套筒溫度的提升造成擠壓物料油脂的分離，進而改變物料流動模式所導致的結果。誠如前所言，軸向擴散數愈大，對單軸擠壓機而言則表示物料流間之混合現象愈趨明顯；所以，本實驗中擠壓機之軸向擴散數有隨著套筒溫度的升高而增加的趨勢，即表示套筒溫度的提升將使得擠壓機內的物料，因物料擴散作

用的加劇，導致產生物料的遲滯現象愈趨明顯。以上討論可與前(一)節與(一)之表2套筒溫度對平均滯留時間及滯留時間分佈變域之影響間作個驗證，當軸向擴散數隨著套筒溫度的升高而增加時，即物料在擠壓機內的遲滯現象愈趨明顯，則將造成隨擠壓機套筒溫度的升高而增加物料在擠壓機內的平均滯留時間及滯留時間分佈變域之趨勢。

表 9. 螺軸轉速對擠壓產品軸向擴散係數及總色差值之影響

螺軸轉速 (rpm)	軸向擴散係數 (D/ μ L)	產品總色差值 (ΔE 值)
80.0	0.4023 ^a	39.998 ^b
93.3	0.4507 ^a	39.894 ^b
106.7	0.4508 ^a	38.995 ^a

相同英文字母代表平均值不具顯著差異(P<0.05)

表 10. 進料速率對擠壓產品軸向擴散係數及總色差值之影響

進料速率 (kg/h)	軸向擴散係數 (D/ μ L)	產品總色差值 (ΔE 值)
12.5	0.2913 ^a	40.832 ^c
17.6	0.4668 ^b	39.521 ^b
23.3	0.5957 ^c	38.535 ^a

相同英文字母代表平均值不具顯著差異(P<0.05)

由表9得知，擠壓機螺軸轉速的改變對軸向混合擴散數的影響並不顯著。由流體力學的理論上知，當物料通過一圓筒形容器時，因物料與容器的壁面間有摩擦作用，造成物料流間有速度差存在，當流速愈快時，壁面間之摩擦效應亦趨明顯，造成壁面上之物料發生遲滯現象。因此，軸向擴散數隨著擠壓機螺軸轉速的升高而增加亦如是，此與葉等(1991)之實驗結果一致。而本實驗，軸向混合擴散數雖有隨螺軸轉速的升高而增加之趨勢，但尚未達顯著的水準，其原因可能為本實驗螺軸轉速的變化範圍，對軸向擴散係數尚不至於有顯著影響，而本實驗螺軸轉速及進料速率實驗範圍的取決，乃是以最高進料量為先決條件並配合本擠壓機之最高螺軸轉速。由此可見，本實驗所使用的單軸擠壓機其操作條件變化的範圍並不廣。

由表 10 得知，進料速率的改變對軸向擴散數的影響最為顯著。當擠壓機之物料進料速率由 12.5kg/h 增加至 23.3kg/h 時，軸向擴散數亦隨之上升，此與葉等 (1991) 及陳等 (1990) 的實驗結果一致。軸向擴散數隨著擠壓機之進料速率升高而增加；擠壓機內物料之軸向擴散數愈大時即表示物料在擠壓機內的軸向擴散反應更趨激烈，將造成擠壓機內物料的遲滯現象，故對於物料在擠壓機內的平均滯留時間及滯留時間分佈變域的變化，應該具有增加的趨勢才是，然而從前(一)節與(二)節之表 4，進料速率對平均滯留時間及滯留時間分佈變域之影響結果顯示，物料在擠壓機內的平均滯留時間是隨著進料速率的增加而降低，此與前所述，增加擠壓機進料速率時，物料在擠壓機內之軸向擴散數增加，造成物料在擠壓機內的滯留時間會延長的論點，似乎有點衝突。

事實上，前所述有關進料速率與軸向擴散數對物料在擠壓機內之滯留時間分佈影響均與理論相符合，然而在本實驗中，雖有些衝突，但仍可加以解釋並討論：從許多文獻中得知擠壓機進料速率對物料在擠壓機內之滯留時間分佈有顯著影響，從彭 (1992)、陳等 (1990)、Lin and Armstrong (1988) 等的實驗中顯示，進料速率對物料在擠壓機內之平均滯留時間的影響最為顯著，所以本實驗結果，以進料速率對滯留時間分佈之影響程度及軸向擴散數對滯留時間分佈之影響程度相比較下，推論進料速率對滯留時間分佈之影響程度應較軸向擴散數之影響為大。

再則，軸向擴散數對擠壓操作參數而言，可說是一系統參數（因變數），系統參數受外界影響較為複雜，亦較不易控制。因此，當擠壓機進料速率升高時，雖擠壓機內軸向擴散數會隨之增加，但是就進料速率升高時會造成平均滯留時間增加此一現象而言，軸向擴散數變化就不具影響力。

四、產品總色差值

以色差計分析每一不同處理的擠壓產品，得產品亮度值 (L)、產品紅度值 (a) 及產品黃度值 (b)。將以上所測得之量測值代入公式 4，得總色差值 (ΔE)。由變異數分析 (ANOVA)，以探討操作參數變化對擠壓產品總色差值的影響，得表 8 至

表 10。

由表 8 顯示，當套筒溫度由 130 °C 升至 150 °C，擠壓產品總色差值有些許降低，又當套筒溫度由 150 °C 升至 170 °C，擠壓產品總色差值則有些許增加。套筒溫度為 130 °C 及 170 °C 時，產品總色差值的變化並無顯著差異，而當套筒溫度為 150 °C 時，卻與 130 °C 及 170 °C 有差異性存在；理論上，蒸煮烘烤以製作全脂大豆粉飼料時，若蒸煮烘烤的時間一定，蒸煮烘烤的溫度愈高將會造成產品色澤加深，即總色差值 (ΔE) 增大 (陳與楊，1983)，當產品總色差值愈高時，則表示熱加工的程度愈高。而本實驗的結果應該是實驗誤差所造成的。

由表 9 顯示，當螺軸轉速由 80.0rpm 提升至 93.3rpm，其產品總色差值無顯著之變化，而螺軸轉速由 93.3rpm 提升至 106.7rpm，產品總色差值則隨之降低且與前兩種螺軸轉速間又有顯著差異，此乃由於螺軸轉速增加，會造成物料在擠壓機內的平均滯留時間縮短，導致熱加工時間降低所致。此趨勢與表 3 螺軸轉速對平均滯留時間之影響一致。

由表 10 顯示，進料速率之變化對擠壓產品總色差值有顯著之影響。當進料速率由 12.5kg/h 升至 17.6kg/h 而至 23.3kg/h 時，產品總色差值則隨之降低；同於螺軸轉速升高時，產品總色差值隨之降低的原因，進料速率之增加，會造成物料在擠壓機內的平均滯留時間縮短，導致熱加工時間降低所致。此趨勢與表 4 進料速率對平均滯留時間之影響一致。

五、結 論

本實驗及以單軸擠壓機來加工全脂大豆粉，以 3 × 3 × 3 之複因子設計，探討操作參數（套筒溫度、螺軸轉速及進料速率）對於擠壓機內物料之滯留時間分佈及擠壓產品物理性質之影響。結論如下：

1. 操作參數對於擠壓機內物料之平均滯留時間有部份顯著影響。其中以進料速率對平均滯留時間之影響最為顯著。物料在擠壓機內之平均滯留時間隨進料速率增加而降低。

2. 在擠壓加工全脂大豆粉時，擠壓機套筒溫度

的改變會造成擠壓機內物料流動模式的變化，因此對於平均滯留時間及滯留時間分佈變域均有影響。

3.操作參數與平均滯留時間及滯留時間分佈變域間，可利用迴歸分析得到適切之迴歸模式。

4.操作參數對於擠壓機之軸向擴散數及產品總色差值均有部份顯著影響。其中以進料速率的影響最為顯著。軸向擴散數隨進料速率增加而增加，而產品總色差值隨進料速率增加而降低。

六、謝 誌

本研究進行期間，承陳忠智、陳淳和、李世平等同學協助實驗工作，謹於此致最大之謝忱。

七、參考文獻

- 1.洪平，1989，科學飼料及其配製。徐氏基金會，臺灣，臺北。
- 2.許順堯，1989，加工條件對直接膨發米與香蕉擠壓製品之影響。食品科學 16(1):36-44。
- 3.陳輝煌、劉信君、鄒文盛、孫寶年、龔鳴盛，1990，米之雙軸擠壓加工－II－滯留時間與螺軸轉速及進料速率之關係。食品科學 17(2): 138-149。
- 4.陳輝煌，1991，膨發型米穀雙軸擠壓加工之最適化研究。博士論文。基隆：國立臺灣海洋大學水產食品科學研究所。
- 5.陳世爵、楊培牆，1983，脫脂黃豆脫溶劑烘烤處理。黃豆粉與飼料專輯：15-16。美國黃豆協會編印。
- 6.彭錦樵，1992，米穀粉加工－螺絲原件組合，進料速率及螺軸轉速對滯留時間分佈之影響。農業機械學刊 1(3): 12-22。
- 7.彭育新，1992，擠壓技術發展概況。食品工業 24(8): 49-55。
- 8.葉安義、黃宣哲、郭靜娟，1991，雙軸擠壓機

操作條件對滯留時間分佈與軸向混合程度的影響。食品科學 18(2): 183-198。

- 9.盧福明，1986，農產加工工程學。茂昌圖書有限公司，臺灣，臺北。
10. Altomare, E. R. and P. Ghossi. 1986. An analysis of residence time distribution patterns in a twin-screw extruder. Biotechnology progress 2(3):157-163.
11. Davidson V. J., D. Paton, L. L. Diosady and W. A. Spratt. 1983. Residence time distribution for wheat starch in a single-screw extruder. J. Food Sci. 48:1157-1161.
12. Harper, J. M. 1981. Extrusion of foods - volume I and II. CRC press, Inc. Boca Raton, Florida, USA.
13. Harper, J. M. 1986. "Extrusion texturization of foods", Food Technol., 40(3):70-76.
14. Jager, T., D. J. Van Zuilichem and W. Stolp. 1992. Residence time distribution, mass flow and mixing in a corotating, twin-screw extruder. Food extrusion science and technology. Marcel Dekker, Inc, New York.
15. Jager, T., D. J. Van Zuilichem, J. G. Swart and K. Vant Riet. 1991. Modelling of a corotating, twin-screw extruder feed maize grits. J. Food Eng. 14:203-239.
16. Levenspiel, O. 1972. Chemical reaction engineering - nonideal flow. John Wiley & Sons, Inc. New York.
17. Lin, J. K. and D. J. Armstrong, 1988. Residence time distributions of cereals during extrusion. ASAE Paper No. 88-6518.
18. Peng, J., H. E. Huff and F. Hsieh. 1994. An RTD determination method for extrusion cooking. Journal of food processing and preservation 18(4):263-277.

收稿日期：民國 84 年 7 月 25 日

修正日期：民國 84 年 9 月 21 日

接受日期：民國 84 年 10 月 11 日