



前言

人工配合飼料常使用植物性原料來補充魚類碳水化合物及能量，如脫殼豆粉、米糠、粉頭、玉米、小麥及菜子粕等。一般來說，魚類對於碳水化合物的利用率為草食性 > 雜食性 > 肉食性魚類，以鱈魚為例，其對植物性原料之消化率普遍偏低（表 1）。另一方面，植物性原料中常含有營養抑制因子，如米糠中的植酸、豆科植物中的胰蛋白酶抑制因子、菜子粕中的芥子鹼等，這些植物性原料在製造過程中可經由加熱方式或其他化學物質處理，將部分營養抑制因子去除，但魚類對植物性原料之消化利用性仍然有限。然而為因應原物料持續高漲，如何提高植物性原料利用率，成為當前的重要課題。

表 1 鱈魚對碳水化合物的澱粉消化率

原物料	澱粉消化率 (%)
米	39
小麥	54
馬鈴薯	< 5
木薯	< 15
玉米 (28% amylose)	33

註：資料整理自 Bergot, 1979; Kaushik & Medale, 1994

就植物性原料而言，提高其糊化度有助於魚類的消化與利用，而一般原料經製粒加工製程後糊化度會大為提高。飼料製造過程中，原料會先經過粉碎使其顆粒度均勻變小（剪力破壞），在調質過程中，加上蒸氣與水蒸煮原料，再利用溫度與壓力作用擠壓成型，最後經過乾燥過程讓原料熟化度提高。飼料工業中，澱粉在經過製粒機、膨發機或擠壓機等飼料加工機械時，藉由蒸氣（熱與水）注入物料中，其澱粉才會產生糊化作用，在不同飼料製程階段其糊化程度會有所變化（表 2）。

表 2 澱粉經擠壓後之糊化度

加工階段	澱粉糊化率 (%)
粉碎機	15.5
↓ 前調質	31.6
↓ 擠壓機	92.8
↓ 乾燥機	96.7

註：資料來源自 Wenger, 2004

在水產飼料配方中，魚料使用較多植物性原料，飼料生產皆使用打粒機 (pellet) 製作，製程條件中，調質與製粒階段溫度及壓

力均低於擠壓發泡成型機 (extruder) 製程。因此利用製造工藝的改變，使用擠壓發泡成型機製程生產魚料，以提高植物性原料中碳水化合物糊化度，增加魚類對植物性原料之利用性。

材料與方法

一、試驗飼料原料組成與飼料製程

試驗飼料為使用米糠 25%、脫殼豆粉 25%、菜子粕 25%、玉米 14%、粉頭 8%、其他 3% 等配製而成。飼料製程條件如表 3，對照組飼料利用打粒機製作，飼料生產過程為原料經粉碎→混合→調質→打粒成型→乾燥→成品。試驗組飼料使用擠壓發泡成型機製造，生產過程為原料粉碎→混合→調質→擠壓成型→乾燥→成品。

二、飼料物性測定

飼料物性測定項目包括：飼料容重、硬度、含粉率、軟心時間及糊化度。

- (一) 飼料容重 (g/L)：將飼料成品於正方形容器中 (容器的長 × 寬 × 高 = 10 × 10 × 10 cm) 鋪平，秤重並計算飼料容重。
- (二) 硬度 (kg/cm²)：使用硬度計測定。
- (三) 含粉率 (%)：取 1 kg 的飼料成品放入耐磨機中，經 180 秒的滾動後，取出飼料成品並且秤重，計算飼料含粉率。
- (四) 軟心時間 (分鐘)：取 10 g 飼料成品放置於水中並觀測其飼料變化，確認所有飼料完全軟化之時間。
- (五) 糊化度 (%)：參考美國大豆協會發表之飼料澱粉糊化度 (熟化度) 的測定方法測定。

表 3 試驗飼料原料組成與飼料製程

		對照組	試驗組
成分分析	水分	9.4%	9.8%
	粗蛋白	26.4%	26.0%
	粗脂肪	11.6%	11.3%
	總能	3,631 kcal/kg	3,617 kcal/kg
製程條件	飼料機械	打粒機 (pellet)	擠壓機 (extruder)
	混合時間	3.5 min	3.5 min
	粉碎 (通過 60 mesh)	25%	25%
	調質溫度	78°C	100°C
	調質加水量	2%	8%
	主機溫度	80-85°C	90-110°C

三、吳郭魚成長試驗

將吳郭魚放養至 FRP 圓形桶槽中，並將兩種不同製程之飼料分別投餵吳郭魚，試驗期間採流水養殖，養殖水溫為 27–31°C，魚體初重為 19–20 g，實驗進行 8 週。採飽食投餵。期末量測魚體重，並計算增重率、飼料轉換率 (FCR) 與蛋白效率 (PER)。

結果與討論

一、飼料物性結果

兩種飼料糊化度經檢測後，對照組為 45.9%，試驗組為 64.6%，即試驗組飼料糊化度提高 40.74%。在擠壓機製程中，調質溫度與主機溫度均高於打粒機製程條件，且在調質過程中，將調質機加水量提高至 8%，並利

用水及蒸汽來傳導熱能，有助於飼料原料糊化。

試驗組飼料容重為 645 g/L、硬度為 6.5 kg/cm²、軟心時間約 14–16 分鐘，均高於對照組（表 4）。其原因為原料在擠壓過程中，高溫與高壓會使原料鍵結較佳（黏結性好），而讓飼料密度較高較為紮實。另飼料耐水性（水中安定性）提高與含粉率降低，可減少飼料在養殖池中之耗損。

表 4 試驗飼料物性之測定

	對照組	試驗組
容 重 (g/L)	635	645
硬 度 (kg/cm ²)	4.2	6.5
含粉率 (%)	0.12	0.08
軟心時間 (min)	10-12	14-16

二、吳郭魚成長結果

成長試驗結果如表 5 所示，試驗組的增重率為 $158.7 \pm 5.7\%$ ；飼料轉換率為 1.57 ± 0.03 ；蛋白質效率為 2.41 ± 0.05 ，均優於對照組（增重率為 $151.9 \pm 2.7\%$ ；飼料轉換率為 1.68 ± 0.05 ；蛋白效率為 2.25 ± 0.07 ）。

一般植物性原料中澱粉粒破裂及糊化後，會讓魚類腸道內之澱粉酶較易分解澱粉後吸收利用，因此飼料經擠壓後，其直鏈與支鏈澱粉均易分解成簡單碳水化合物且植物細胞璧的破碎，可增加魚類消化道中消化酵素分解之效率。因此投餵熟化較佳的試驗組飼料對吳郭魚成長結果較佳。

表 5 吳郭魚成長試驗結果

	對照組	試驗組
初重 (g)	19.5 ± 0.1	20.0 ± 0.4
末重 (g)	49.1 ± 0.6	51.8 ± 0.2
增重率 (%)	151.9 ± 2.7	158.7 ± 5.7
蛋白質效率 (PER)	2.25 ± 0.07	2.41 ± 0.05
飼料轉換率 (FCR)	1.68 ± 0.05	1.57 ± 0.03

$n = 36$

另外在試驗期間也發現，試驗組飼料風味優於對照組，吳郭魚較容易被誘引攝食。探究其原因為植物性原料中的碳水化合物在飼料製程中經過溫度與壓力的作用，其澱粉分子間氫鍵斷裂，因失去水分子而發生糖分焦化作用，風味較佳，提高了吳郭魚的攝食率。

結語

魚類對於生澱粉利用性很差，糊化程度不足之澱粉對魚類消化吸收影響很大，因此藉由飼料製程中溫度與壓力的調整，提高飼料的熟化度。澱粉糊化後其黏度提高有助於飼料顆粒成型與安定性提高，另外糊化澱粉破壞了天然澱粉束狀結構，有利於消化道中澱粉酶作用，可提升魚類對碳水化合物消化率，進而提高魚類增重率。因此選擇擠壓熟化度高之飼料或是熟化原料（預擠壓原料）來飼養水產生物，在成長表現上應有更佳之成果。