

海藻發酵物之製程技術與應用

洪郁嵐、黃培安、吳純衡

水產試驗所水產加工組

前言

乳酸菌及酵母菌長久以來被廣泛應用於食品發酵產業上，研究指出，乳酸菌及酵母菌具有協同作用，可賦予發酵食品特殊風味、提高營養價值，還可延長保存時間（林，2004）。例如：醋、酒（陸生植物發酵物）、酸酪乳（陸生動物發酵物）及魚露（海洋動物發酵物）等發酵食品。儘管亞洲人食用海藻歷史久遠，且已成功運用在商業上，但卻鮮少有海藻發酵的研究及產品（潘等，2009），推究其原因為海藻多醣分子結構太大不易被微生物利用，故不適合作為發酵基質。然隨著多醣水解酵素研究及量產日趨成熟，近來學者已成功運用多醣水解酵素將海藻的大分子醣類降解成小分子，以利微生物發酵。發酵過程中海藻細胞壁膠質會被破壞，進而碎裂成小於 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的單細胞碎裂體（Single cell detritus, SCD），使其活性物質和營養物質更易被生物吸收及利用，因此 SCD 含量多寡亦是海藻發酵成功與否的評估點之一（Uchida and Miyoshi, 2013）。近年來，儘管海藻發酵物已應用在土壤改良及牲畜與水產養殖之飼料添加，但其發酵製程仍缺乏細部規劃，因此本文彙整相關研究，針對不同藻種、菌種、前處理方法及發酵時間對海藻發酵物的影響進行探討，以評估發酵製程關鍵點，期能建

立海藻發酵物相關技術，開創創新興海藻產業。

海藻發酵物之製程技術

影響海藻發酵製程之因素主要包含藻種、前處理方法、菌種及發酵時間，這些因子牽動發酵物的特性及應用性；海藻發酵的整體製程及發酵方式會因素材不同而大有變化，因此以下依製程順序逐步探討四大因素。

一、藻種

相較於海藻，微藻發酵技術開發較早也較為成熟，為了瞭解海藻是否也適合作為發酵基質及其與微藻的發酵差異，學者選擇 1 種海藻（裙帶菜 *Undaria pinnatifida*）及 5 種微藻（綠球藻 *Chlorella* sp.、四鞭毛藻 *Tetraselmis* sp.、巴夫藻 *Pavlova lutheri*、角刺藻 *Chaetoceros* sp.、擬球藻 *Nannochloropsis* sp.）進行試驗。先以多醣水解酵素將裙帶菜及 5 種微藻水解，再接種乳酸菌 (*Lactobacillus casei*) 發酵 9 天。結果得知，5 種微藻發酵物 pH 值介於 3.09–3.80、乳酸量介於 1.5–9.6 g/L，而裙帶菜發酵物 pH 值為 3.87、乳酸量為 3.6 g/L，兩者無顯著差異，顯示海藻亦可作為乳酸菌的發酵基質（Uchida and Miyoshi, 2010）。海藻又可細分為綠藻、褐藻與紅藻，其組成分雖以多醣為主，但單醣組成依藻種不同而有差異，進而影響

發酵結果。學者為瞭解其間的差異，選用 2 種綠藻、10 種褐藻及 9 種紅藻進行試驗（乳酸菌：*L. casei*；酵母菌：*Debaryomyces hansenii, Candida* sp.）。結果顯示，所有樣品中，以綠藻中的石蓴 (*Ulva lactuca*) 發酵物 pH 值較低 (pH 2.3)、乳酸量較高 (0.76 g/100 ml) (Uchida et al., 2013)。而褐藻則以海帶 (*Laminaria japonica*) 及裙帶菜發酵物 pH 值較低 (pH 3.3 及 3.5) 及乳酸量較高 (0.16 及 0.25 g/100 ml)。而紅藻發酵物產物則含有較高量的乙醇，與綠藻及褐藻大不同，應較適合作為生質酒精之開發。由以上文獻可知，海藻是適合作為乳酸發酵之基質，其中綠藻發酵物乳酸量高於褐藻及紅藻發酵物 (Uchida et al., 2013)。

二、前處理

海藻的水溶性多醣會增加發酵基質黏度，使得乳酸菌或酵母菌不易使用基質中的氧氣，讓菌生長受阻而不利於發酵。因此降低基質黏度是改善發酵的重要因素，其中最常使用多醣水解酵素來降低黏度。Uchida 等人 (2013) 以不同濃度 (0.1、0.25、0.5、1、3 及 5%) 的多醣水解酵素處理裙帶菜，再接種乳酸菌及酵母菌，觀察其發酵物 SCD 含量，結果顯示，經水解前處理的裙帶菜發酵物 SCD 含量皆較未水解組為高。然 SCD 含量並非與酵素濃度呈現正相關，其中以 0.25% 酵素濃度組 SCD 變化最大；其次為 0.5% 酵素濃度組，因此學者認為 0.25 及 0.5% 酵素水解所得的產物，較適合用於乳酸菌及酵母菌發酵。

此外學者也發現，在前處理過程中添加氯化鈉 (1、2.5、3.5、5 及 10%) 可影響海藻

發酵基質黏度。當氯化鈉濃度大於 2.5% 時，海藻基質黏度會隨著氯化鈉濃度上升而下降。然當氯化鈉濃度大於 5% 時，會因為滲透壓太大導致海藻脫水，產生不當的藻膠凝集現象，因此學者認為在 2.5–3.5% 氯化鈉濃度下，較能有效降低海藻基質黏度 (Uchida and Murata, 2002)。由於鹽濃度亦是影響微生物生長的因子，學者取 14 株乳酸菌在 3.5% 氯化鈉濃度下進行裙帶菜發酵實驗，結果顯示，添加氯化鈉組別之發酵物的 pH 值低於未添加組，且乳酸量也高於未添加組，因此學者認為適度添加氯化鈉不僅能降低發酵基質黏度以利於發酵，亦可提升其產物的品質 (Uchida et al., 2007)。

三、菌種

菌種選用是影響發酵物風味與特性關鍵，為瞭解不同菌種對海藻發酵物影響，乃嘗試單獨接種乳酸菌、酵母菌或兩者共同接種進行試驗。學者選用 3 株自行篩選菌株 (乳酸菌：*L. brevis*；酵母菌：*D. hansenii, Candida* sp.) 及 3 株商用菌株 (乳酸菌：*L. acidophilus, L. Plantarum*；酵母菌：*Saccharomyces cerevisiae*) 進行試驗。首先探討使用單一菌株對裙帶菜發酵物風味及乳酸量影響。結果得知，使用自行篩選乳酸菌株或商用菌株進行發酵時，裙帶菜發酵物會有腐敗酸臭味，若使用自行篩選酵母菌株，則裙帶菜發酵物有微弱酯味香氣產生，但乳酸量偏低。從上述實驗可得知，使用乳酸菌發酵可獲得較高量乳酸，而使用酵母菌發酵則可產生較佳風味香氣。因此學者進而以混合菌株進行發酵，觀察其對裙帶菜發酵物風味及發酵產物的影響，結果得知，若同時使用 3 株商用菌

株進行發酵，其裙帶菜發酵物雖仍有酸臭味，但味道比單一菌株佳，若同時使用 3 株自行篩選菌株，其裙帶菜發酵物酯味香氣更溫和且接受度佳，顯示將酵母菌與乳酸菌進行共同發酵有助於風味改善，且自行篩選菌株比商用菌株為佳。此外以自行篩選混合菌株發酵之裙帶菜發酵物 SCD 比例、乳酸量與 pH 值均優於商用混合菌者。因此認為風味佳者適合開發作為機能食品，而風味較差者則可作為飼料添加物 (Uchida et al., 2004)。

四、發酵時間

發酵物品質不易掌控，除了易受雜菌污染，另一原因乃是發酵製程中菌體持續生長，產物品質時時刻刻在變化，因此發酵時間的掌控決定了產品的接受度 (張，1983)。根據上述文獻，在多醣水解酵素 0.25 – 0.5%、鹽濃度為 2.5 – 3.5%，及自行篩選混合菌株 (*L. brevis*, *D. hansenii*, *Candida* sp.) 的條件下 (Uchida et al., 2013)，學者接續探討於 20°C 發酵天數 (3 hr、24 hr、4 days、6 days 及 12 days) 對裙帶菜發酵物之影響。結果顯示，隨著發酵時間愈長，SCD 含量愈高，發酵 6 天時，其 SCD 較控制組增加 3 倍，且風味佳。若持續發酵 12 天，儘管 SCD 較控制組增加 4 倍，但有酸敗味產生，接受性差。可以得知，有效控管發酵時間，不僅能提升品質，也能改善海藻發酵物風味。

海藻發酵物在產業上的應用

為瞭解發酵過程對海藻生理活性之影響，Uchida 等 (2004) 以乳酸菌 (*L. brevis*) 及酵母菌 (*D. hansenii*, *Candida* sp.) 對裙帶

菜進行 8 天發酵，所得的發酵產物添加於福克多珍珠蛤飼料中進行飼育試驗，結果顯示：裙帶菜發酵物能顯著提升福克多珍珠蛤的生長率及活存率。此外將搗布 (*Ecklonia* sp.) 發酵物添加於真鯛飼料進行飼養，結果發現，添加搗布發酵物組對抗虹彩病毒的能力高於未發酵組，且與控制組相較之下，其活存率由原本的 72% 上升至 88% (Uchida et al., 2005)。此外學者也進行了哺乳類動物實驗，以裙帶菜發酵物與未發酵物餵食高血脂症大鼠 4 週，結果顯示，裙帶菜發酵物與未發酵物皆能降低大鼠血液及肝臟中的三酸甘油脂含量，然在大鼠血液及肝臟中的總膽固醇含量，則以裙帶菜發酵物組優於未發酵組 (Uchida et al., 2013)。從上述的文獻中可以得知，海藻經過發酵後，不僅能增加其活性物質的含量亦能強化原有的生理活性。

結語

海藻是天然保健食品，將海藻以乳酸菌或酵母菌進行發酵，除了可強化海藻營養成分、促進益生菌生長外，其發酵物也具有低 pH 值的特性，可以達到延長食品保存期限及改善海藻風味的目的。然而在發酵製程中，需考量到若發酵條件控制不當，所引發的負面影響，如：令人不悅的風味、適口性差、甚至是腐敗菌污染等風險。因此製程條件的嚴格管控是開發發酵產品首要步驟，再將發酵物經消費者喜好性予以簡單的調整，基本上就已建構出海藻發酵物機能食品之雛型。未來將把研究重點放在提升製程安全性等，期能開發出高接受度的海藻發酵產品。