



1

Chapter

緒論

Introduction

第一節 食品發酵的定義與相關微生物

Definition of Food Fermentation and
the Related Microorganisms

第二節 自然發酵與菌醃發酵

Natural Fermentation and
Fermentation with Starter

第三節 食品發酵的原理與控制方法

Principles and Control of Food
Fermentation



周正俊
編著

學習目標

研讀本章後，應能達成以下目標：

1. 了解食品發酵之定義及其優缺點。
2. 認識食品發酵之主要微生物。
3. 了解自然發酵及利用菌醃發酵的差別。
4. 了解發酵時食品中主要成分之變化。

關鍵字

- » 食品發酵 (food fermentation)
- » 菌醃 (starter/starter organism)
- » 自然發酵 (natural fermentation)

前言

人類祖先早在認識微生物的存在及了解酵素的作用前，就在他們日常生活中進行「發酵食品」的製造，如醬、醋等。最初這類食品之處理方式主要是用於延緩食品腐敗現象的發生，並同時發現其具有改進食品色香味之效果，故此類藉著微生物與酵素作用製備之「發酵食品」釀造，實已具有悠久歷史。

目前已知食品中微生物的生長會導致食品品質劣變，造成食品腐敗而變成不適合人類食用；除此之外，食品中若含有病原菌或病原菌所產生之毒素，亦可能會隨著食物進入人體，而引起健康安全之疑慮。然而在另一方面，微生物也可以改進食品的品質，為人類帶來好處，如日常生活中常食用的一些具有特殊風味、質地之食物，包括乾酪、發酵乳、泡菜、醬油、味噌等，均為微生物作用之結果，即所謂的「發酵食品」，其在人類目前日常飲食中佔有重要的地位。因此微生物促成食品之腐敗與發酵食品之製造可謂一體兩面，二者都是微生物在食物中生長的結果，但前者因微生物生長所引起之變化是人類所不樂意看到的，而後者卻因微生物之作用而導致延長食物之保存期限，並增進食物之色、香、味，甚至營養價值等效果，也就是所謂的「食品發酵」，是人類所故意促成的。



第一部

食品發酵的定義與相關微生物

Definition of Food Fermentation and the Related Microorganisms

壹、食品發酵的定義

Definition of Food Fermentation

隨著人類對微生物、酵素及生物化學之了解，在人類文明演進過程中，人類祖先對食品發酵曾給予不同的定義，僅將其中幾個主要的定義略述如下。

發酵乃是指在厭氧環境下將碳水化合物之物質加以分解，也是生物化學上所稱的「發酵」。然而廣義的「發酵」則是指在嫌氣與好氧環境下，將碳水化合物的類似物質加以分解，此定義比較符合「食品發酵」之使用，因為食品發酵進行之程序有些是在厭氧而有些是在好氧環境下進行；常見的例子即為利用醱類做為基質進行食用醋釀造。儘管目前對發酵的定義有狹義與廣義區分，然而食品發酵過程中，除了藉由微生物的生長及酵素 [如：蛋白酶 (protease)、脂解酶 (lipase)、澱粉酶 (amylase)] 的作用分解碳水化合物外，食品原料基質中的蛋白質、脂質等其他成分，也在發酵過程中被分解。

貳、參與食品發酵的微生物種類

Main Microorganisms Involved in Food Fermentation

儘管微生物的種類很多，但參與食品發酵的微生物，一般以細菌、酵母菌及黴菌者為多。表 1-1 為幾類微生物的主要特徵。



Die Gruene Kiste
<https://goo.gl/4VsHc1>

參與食品發酵的微生物，以細菌、酵母菌及黴菌為多

緒論

Chapter

1

表 1-1 參與食品發酵的微生物種類及其主要特徵

微生物	體積	主要特徵
細菌 (bacteria)	0.5~1.5 μm ×1.0~3.0 μm	原核細胞，為單細胞生物，內部構造簡單，能夠在實驗室所配置之培養基中生長，一般以二分裂法進行增殖
酵母菌 (yeasts)	5.0~10.0 μm	真核細胞，為單細胞生物，能夠於實驗室所配置之培養基中生長，以有性生殖或出芽生殖進行增殖
黴菌 (molds)	2.0~10.0 μm ×several mm	真核細胞，為多細胞生物，具菌絲之構造，能在實驗室所配置之培養基中生長，以有性及無性生殖方式進行增殖

參、常見發酵食品及其相關微生物

Various Fermentated Food and the Related Microorganisms

目前在全球各地由於人類的飲食習性、原料之取得及歷史背景等不同，而存在許多特性迥異之發酵食品。所使用之發酵原料基質及參與發酵的微生物種類不同，所製備出的發酵食品特性亦有所差異。以高蛋白質為發酵基質進行食品發酵為例，其製備之原料與參與發酵之相關微生物在東、西方國家具有一些差異性，西方國家多以動物性原料（如：牛乳）為發酵基質；而東方國家則多以植物性原料（如：黃豆、小麥）為發酵基質。此外，西方國家進行發酵時，多使用細菌及酵母菌類，而東方國家則以黴菌為主。表 1-2 為一些常見之發酵食品及其相關微生物與原料基質。



西方國家多以動物性原料（如：牛乳）為發酵基質



表 1-2 常見之發酵食品及其相關微生物與原料基質

微生物	發酵基質	發酵食品
lactic acid bacteria	黃瓜 (cucumbers)	dill pickles, sour pickles, salt stock
	橄欖 (olives)	green olives, ripe olives
	捲心菜 (cabbage)	sauerkraut
	肉類 (meats)	sausages (salami, lebanon bologna)
	乳製品 (dairy products)	sour milk drinks (acidophilus, yogurt, cultured buttermilk)
	乳製品 (dairy products)	cheese (cheddar, American cheese)
lactic acid bacteria + propionibacteria	乳製品 (dairy products)	Swiss cheese
lactic acid bacteria + surface ripening bacteria	乳製品 (dairy products)	limburger, brick cheese
lactic acid bacteria + yeasts	乳製品 (dairy products)	kefir, koumiss
lactic acid bacteria + molds	乳製品 (dairy products)	roquefort, camembert, blue cheese
lactic acid bacteria + acetic acid bacteria	酒 (wine)、蘋果汁 (cider)、麥芽 (malt)、蜂蜜 (honey) 或任何含酒精、糖類或澱粉的飲料 (any alcoholic and sugary or starchy)	vinegar
yeasts	麥芽 (malt)	beer, ale
	水果 (fruit)	wine
	酒 (wines)	brandy
	糖蜜 (molasses)	rum
	穀 (grain mash)	whiskey
yeasts + lactic acid bacteria	穀製品 (cereal products)	sour dough bread, sour dough pancakes, rye bread
molds + lactic acid bacteria + yeasts	穀製品、豆類等 (cereal products, soybeans etc.)	miso, chiang, soy sauce
molds	豆類 (soybeans)	sufu
molds + yeasts	米 (rice)	lao chao

自然發酵與菌醃發酵

Natural Fermentation and Fermentation with Starter

壹、自然發酵與菌醃發酵的不同

進行食品發酵時，基本上主要讓某些特定的微生物在食品原料中生長，因此常把這些特定之微生物添加於食品原料中，而這些添加的微生物即稱為菌醃 (starter organism/starter)。然而目前仍有一些發酵食品的釀造，並未特別將菌醃添加於原料基質中，只是讓本來存在於原料容器或環境中的某些微生物，藉著添加鹽、酸或其他控制條件，使其迅速生長成為優勢微生物族群，同時也使其他雜菌無法生長而達到發酵之效果。這種未刻意添加菌醃進行食品發酵之方式常被稱為「自然發酵」，目前一些發酵食品，如：酸菜、泡菜，及魚露等，即為「自然發酵」之結果。

雖然目前食品之發酵常利用「自然發酵」方式達成，一般現代化工廠進行大量發酵食品時，大都以添加菌醃之發酵方式進行，藉以控制品質及減少異常發酵之發生。利用菌醃進行食品發酵可能帶來的好處如下：

1. 產品品質較均勻：利用添加菌醃進行食品發酵，品質不會因批次之不同而有所差異。
2. 防止不良微生物之生長：添加菌醃能迅速建立優勢微生物，降低其他雜菌生長機會。
3. 減少所需之設備、空間、人力、時間：添加菌醃能使發酵進行更有效率，而可降低所需之設備、空間、人力並縮短發酵時間。

貳、食品菌醃之選擇與來源

Sources and Selection of Food Fermentation Starter

菌醃可藉自行分離取得，或由其他單位、機關取得，甚至可向專門提供發酵菌株之廠商購得。

食品發酵菌醃之選擇應特別注意該菌株生理特性之穩定性 (stability)，以及能否有效產生理想的發酵產物或使發酵原料基質產生有效的理想變化。因此，進行發酵時依據發酵食品之種類可能選用單一菌株 (single



culture) · 亦可能同時使用二種或多種菌株 (multiple culture or mixed culture) 做為菌醃，添加於發酵基質原料中。此外參與發酵之微生物種類有可能僅為細菌、酵母菌或黴菌，但亦可能有不同類型之微生物參與，釀造啤酒時，僅需要接種啤酒酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*)；而製備優酪乳 (yoghurt) 時，所使用之基本菌醃為二種乳酸菌株：*Streptococcus thermophilus* 和 *Lactobacillus bulgaricus*；釀造醬油時，參與之微生物則包含有米麴菌（如：*Aspergillus oryzae*）、耐鹽性乳酸菌，如：小球菌 (*Pediococcus sp.*) 和酵母菌（如：*Torulopsis sp.*）等。



參與醬油釀造的微生物有米麴菌、乳酸菌及酵母菌

參、食品菌醃之擴大增殖

Propagation of Starter Organism

雖然進行某些食品之釀造，特別是發酵乳製品之製備時，有可能將取自供應廠商之菌醃（一般為冷凍濃縮之培養物）直接添加於含乳品之原料基質中進行發酵，但食品發酵工廠往往自行進行菌醃之擴大增殖，以應付產品大規模生產時對菌醃的大量需求。

一、菌醃的增殖方式

Propagation Methods of Starter Organism

菌醃增殖過程中，一步步擴大菌醃培養物之體積，在各階段的培養物有「種培養物」(seed culture; mother culture)、「中間培養物」(intermediate culture) 及「大量培養物」(bulk culture) 之區分。以發酵乳工廠為例，在乳酸菌菌醃之擴大製備過程中，一般先將保存菌株接種於約 100 mL 脫脂牛乳中，經培養後，即為所謂「種培養物」；將「種培養物」擴大移殖培養於 8 磅脫脂牛乳中，此乃稱「中間培養物」；最後進一步將其擴大培養於 2,000 磅之脫脂牛乳後，一般稱為「大量培養物」，此培養物將直接添加於牛乳基質中進行發酵乳製品之製備。

二、菌醃的增殖條件

❖ Propagation Condition of Starter Organism

製備之培養物中應僅含理想微生物菌株，具有相同之活菌數與活性，不因製備批次不同而有差異；若為含有混合菌株者，其菌數之比例應固定；此外，這些所製備培養物中之菌體除具有理想活性外，對不良環境應具有抵抗力。為達到上述之目標，進行菌醃增殖製備之程序應標準化，如所使用之培養基成分、滅菌方式、培養條件，包括培養之溫度及時間均應固定。一般而言培養之溫度大多是該菌株生長最適當之溫度；培養之時間則依該菌株使用之目的而定。若培養至其對數增殖期後期 (late log phase)，則使用此培養物菌體能迅速生長；若培養至其靜止期 (stationary phase)，則此培養物之菌體對不良環境具備最大耐受度。

發酵原料中所含之抗生素含量（如：飼養動物時施用之抗生素）可能會出現在作為發酵基質之牛乳中；而使用消毒劑（如：過氯酸鹽、四級銨化合物等），對一些器具、容器進行消毒，若未充分去除而留下殘餘物以及噬菌體，均可能對發酵工廠中所使用之菌醃造成傷害，影響其活性而導致異常發酵之發生，此為使用菌醃時所應注意之事項。

第三節

食品發酵的原理與控制方法

Principles and Control of Food Fermentation

壹、發酵造成的食品成分變化

Changes in Food Constituents due to Fermentation

食品中的微生物多能產生不同活性之蛋白酶、脂解酶及碳水化合物分解酵素，這些酵素能分別催化蛋白質、脂肪以及碳水化合物的分解。一般而言，所謂的蛋白質分解菌 (proteolytic organisms)、脂質分解菌 (lipolytic organisms) 及發酵菌 (fermentative organisms)，分別指能產生上述酵素且活性較高之微生物：



1. **蛋白質分解菌**：在食物中生長，能分解蛋白質及其他含氮化合物，最後產生腐敗氣味，當蛋白質分解超過某一程度，就食品品質而言並無助益。
2. **脂質分解菌**：能分解脂質及其相關物質，最後可能會為食品帶來酸敗、腥臭之味道。
3. **發酵菌**：能分解碳水化合物生成乙醇、酸類及二氧化碳，這些產物的氣味，一般並不會讓人感到厭惡。

由於發酵菌之生長及其所產生乙醇與酸類含量達到某一程度時，即能抑制脂質分解菌與蛋白質分解菌生長，產生防腐效果；然而實際的食品發酵過程中很少只產生乙醇與酸類，卻沒有蛋白質及脂質分解之情況發生，一般除了碳水化合物分解外，尚有蛋白質、脂質某種程度的分解作用。表 1-3 說明微生物在食品中作用之幾個典型例子。



啤酒是利用澱粉水解、發酵產生糖分後製成的酒精飲料

表 1-3 一些微生物在食品之作用的幾個例子

微生物與發酵基質	發酵產物
糖 (sugar) + 酵母 (yeast/ <i>Saccharomyces</i>)	酒精 (alcohol) + 二氧化碳 (CO ₂)
酒精 (alcohol) + 氧 (O ₂) + (acetic acid bacteria/ <i>Acetobacter</i>)	醋酸 (acetic acid) + 水 (H ₂ O)
酸 (acid) + 氧 (O ₂) + 黴菌 (molds)	酸度降低 (reduction in acidity)
蛋白質 (protein) + 細菌 (bacteria/ <i>Proteus</i>)	胺類 (amine) + 氨 (NH ₃) / 惡臭 (putrid)
脂質 (fat) + 細菌 (bacteria/ <i>Alcaligenes</i>)	脂肪酸 (fatty acid) / 酸敗 (rancid)
食物 (food) + <i>Clostridium botulinum</i>	毒素 (toxin)

貳、發酵類型

Types of Fermentation

依據發酵過程中，醱類被分解之情形及其最後之主要產物，發酵可分為下列幾種類型如表 1-4。

表 1-4 發酵類型及其產物之介紹

發酵類型	參與菌種	發酵產物
完全氧化 (complete oxidation)	主要為細菌、黴菌 及少數酵母菌	最後產物為二氧化碳和水
部分氧化 (partial oxidation)	主要為細菌、黴菌 及少數酵母菌	糖分於發酵後主要之產物為酸
酒精發酵 (alcohol fermentation)	以酵母菌為主，細 菌及黴菌亦可進行	<ul style="list-style-type: none"> ☞ 主要產物為乙醇 ☞ 細菌及黴菌同時產生醛類、有機酸及酯類，會造成酒精回收困難
乳酸發酵 (lactic acid fermentation)	主要乳酸菌進行發 酵	主要產物為乳酸
丁酸發酵 (butyric acid fermentation)	不適用於發酵食品 之釀造	主要由一些厭氧性微生物，因此產生醋酸、丁酸、乙醇、二氧化碳、氫氣外，尚會產生其他令人不快之風味物質

貳、食品發酵的優點

Merits of Food Fermentation

食物經過發酵後可能帶來的優點，茲分述如下表 1-5。

表 1-5 食品發酵之優點

優點	說明
延長保存期限	一般食物經過發酵後，如：牛乳發酵製成發酵乳、大白菜經乳酸菌發酵後製成酸菜，因其發酵後含有較高之鹽分與酸度，可抑制腐敗微生物生長，而達到防腐的效果
提升營養價值	<p>食物原料經過發酵後，常經由下列幾種方式而改進、提升其營養價值：</p> <ul style="list-style-type: none"> ☞ 一些植物性食物所含常無法被人體所分解的多醣類營養素 [如：纖維素 (cellulose)、木質素 (lignin)]，故食物經過人體攝食後仍無法加以利用；但經過微生物（特別是一些黴菌）發酵後，常因黴菌所產生的纖維素及木質素分解酵素的作用，將這些原本人體無法分解消化之多醣類分解，使包裹於其內之營養素釋放出來，以供人體吸收、利用，而達到提升營養價值之效果 ☞ 食品發酵時一些微生物能合成、產生原本食物中欠缺之營養物質，如：維生素 B₁₂(cobalamin)、維生素 C(ascorbic acid)、維生素 B₂ (riboflavine) 等，因而補足原先食物中較為欠缺之營養素 ☞ 一些食物成分，如：上述之纖維素、木質素，雖然人體無法分解吸收，但經由黴菌產生之纖維素、半纖維素、木質素分解酵素作用，將其分解產生葡萄糖或其他醣類，變成可以讓人體吸收、利用之醣類



表 1-5 食品發酵之優點 (續)

優點	說明
改變質地與外觀	如：利用牛乳發酵製備乾酪，其質地由流體變成膠體、半固體或固體之質地；又如：豆腐塊發酵後製成豆腐乳，具有鬆軟之質感
改變顏色	如：紅麴之發酵可產生紅色素，用於紅糟肉之製備
增進風味	如：牛乳發酵成酸乳酪或豆腐塊製成豆腐乳後，具有發酵前所沒有的特殊風味
移除有害物質	有些食品中含有對人體有害之物質，如：大豆中含有胰蛋白酶抑制劑 (trypsin inhibitor)、植酸 (phytic acid)，而藉由微生物作用可將這些物質分解，進而降低或減少其對人體可能帶來之害處
提高機能特性	如：乳酸發酵產品 (優酪乳等) 中所含之乳酸菌，甚或添加之雙叉桿菌 (bifidobacteria；益生菌)，可使產品具有提高免疫活性、降低膽固醇等機能特性



豆腐塊製成豆腐乳後，具有發酵前所沒有的特殊風味

參、食品發酵的缺點

Drawback of Food Fermentation

儘管食物原料經過發酵後可以達到上述好處，但進行發酵食品的製造卻可能帶來下列幾個缺點：

1. 進行發酵食品之製造，需要花費較長的時間。
2. 所需成本費用增加。
3. 發酵時由於微生物在發酵基質上生長，需要的養分乃取自原料成分，因此食品發酵後，其重量常會減少 5~10%。
4. 發酵時必須冒著有害微生物汙染食品的風險。

肆、食品發酵之控制方法

Methods Used to Control Food Fermentation

進行食品發酵時常利用一些方式防止不良雜菌生長，同時促進相關微生物迅速成為優勢微生物族群，而達到發酵效果。目前常採用之控制條件有下列幾種，茲分述如下。

一、溫度

❁ Temperature

各種微生物有其生長之最佳溫度，因此控制適當之溫度以利於發酵相關微生物之迅速生長，是進行食品發酵時常使用之控制方法之一。以德國泡菜 (Sauerkraut) 為例，其發酵相關之微生物主要為初期之 *Leuconostoc mesenteroides* 及後期之 *Lactobacillus plantarum*。若溫度控制高於 *L. mesenteroides* 最佳生長溫度 (21°C)，則其他乳酸菌之生長會比 *L. mesenteroides* 旺盛，因而產生較高之酸度，進而會抑制 *L. mesenteroides* 之生長及其發酵作用，而無法獲得理想的發酵產物。



❁ 釀造醬油需經日曬利用微生物慢慢發酵

二、氧氣

❁ Oxygen

在食品發酵過程常控制氧氣的含量來促成或抑制某些微生物生長；如：食用醋之釀造在厭氧環境下，較有利於酵母菌進行酒精發酵，以將糖轉變為酒精，但必須通氧氣，以促進醋酸菌將酒精氧化為醋酸。值得注意的是，每一種微生物之生長及其發酵作用之進行，對氧之需求性可能都有所不同，以烘焙酵母 (baker's yeast) — *Saccharomyces cerevisiae* 及釀酒酵母 (wine yeast) — *Saccharomyces ellipsoideus* 為例，其在好氧之環境下菌體能迅速增殖，但對糖之發酵 (酒精發酵) 則於厭氧環境下進行較佳。



三、鹽分

❁ Salt

一些植物性發酵食品（如：發酵醬瓜、發酵橄欖、德國泡菜）製造之相關乳酸菌對鹽分具中等之忍受性，能忍受約 10~18% 之鹽度；相反地，可能汙染發酵的腐敗菌在 2.5% 以上的鹽度下則無法存活。因此釀造時藉著鹽分之添加，可抑制其他雜菌生長，讓乳酸菌有更好的生長機會，而迅速成為優勢微生物族群，使發酵能順利進行。



CC BY
Dubravko Sorić
<https://goo.gl/Tta3hS>

製作發酵食品時，添加鹽分可抑制其他雜菌生長

四、酸

❁ Acid

食品發酵過程中可藉由酸的直接添加或微生物所產生之酸，抑制不良雜菌之生長，並促進發酵相關微生物之生長。在德式泡菜之發酵過程，乳酸菌產生之乳酸使酸度提高，進而抑制汙染於原料中之其他雜菌生長，甚至造成死亡。

五、菌醃

❁ Starter

添加菌醃於原料中可促使其迅速成為優勢微生物，以利發酵目標順利達成。

六、酒精

❁ Alcohol

酒精具有抗菌作用，豆腐乳釀造時，將黴胚浸漬於約含 12% 乙醇之鹽水中進行熟成為例，添加酒精與產品風味的生成有關，也可做為防止腐敗微生物在豆腐乳熟成期間的生長之用。

參考文獻



- Ayres, J. C., Mundt, J. O., & Sandine, W. E. (1980). *Microbiology of foods*. California, USA: W.H. Freeman & Co.
- Ojha, K. S., & Tiwari, B. K. (eds) (2016). *Nonel food fermentation technologies*. New York, USA: Springer US.
- Potter, N. N., & Hotch-Riss, J. J. (1995). *Food Science* (5th ed.). New York, USA: Springer US.

