

貳、文獻整理

一、餐包

市面上常見的餐包有硬式、軟式兩種，軟式餐包與麵包不同之處在於餐包配方使用較多的糖與油，甚至使用蛋，蛋的用量 6-10% 左右，但有的餐包甚至完全不用蛋。硬式餐包廣以歐洲為主，尤以早餐最常見，其糖、油用量較軟式餐包少，口感似法國長棍麵包（徐，2001）。

製作餐包所使用的配方比例及材料品質對餐包品質具影響力，今分述如下：

（一）主要材料

1. 麵粉

餐包配方麵粉為 100%。麵粉成分會因小麥品種不同而有所差異，而我國進口小麥以美國最為大宗。依美國小麥協會製訂出小麥種類可分：硬紅春麥（hard red spring）、硬紅冬麥（hard red winter）、軟紅春麥（soft red spring）、軟紅冬麥（soft red winter）、白麥（white wheat）及杜蘭小麥（durum）等。其中紅麥多屬硬麥，屬高蛋白質小麥。而白麥多屬軟麥，蛋白質含量較低，但春麥蛋白質含量高於冬麥。小麥品質會因自然因素影響，造成品質差異，因此於烘焙加工時，須適度調整（徐，2001）。

小麥皆需經過潤麥程序，將潤好的小麥以磨粉機細磨成粉，市面上之小麥水分含量為 13-15%，蛋白質 7-15%、碳水化合物 65-78%、脂質約 1% 及灰分約在 1% 以下（吳，2002）。一般製作餐包會使用蛋白質 10-11% 之中筋麵粉或高筋麵粉與低筋麵粉調配成適當蛋白質含量的麵粉。麵粉中蛋白質 85% 為麵筋蛋白（gluten protein），其參與麵筋形成（dough formation），是麵粉最主要的蛋白質，具有形成黏彈性麵糰（viscoelastic dough）之特性，於製作餐包時具有保氣性質。製備餐包時，麵粉加水拌合形成麵筋，此時麵筋蛋白作為餐包骨架，以連續網狀結構呈現（continuous network），而小麥澱粉顆粒及其他成分則嵌入其中，形成麵糰（廖，2000）。再者，麵粉中內含約 70% 的澱粉，當麵糰攪拌時會於網狀結構中與麵筋競爭水份，因而避免麵筋過度黏合。

麵粉中之蛋白質可分為五種即麥穀蛋白（glutenin）、醇溶蛋白（gliadin）、酸溶蛋白（mesonin）、白蛋白（albumin）、球蛋白（globulin）。前三者非水溶性，後兩者則極易溶於水而流失，因此以水洗滌麵粉糊時，麥穀蛋白與醇溶蛋白即互相黏聚在一起形成麵筋，其中除麥穀蛋

白及醇溶蛋白外，尚有少部分之纖維及澱粉。若貯藏時間太長，因受潮之影響導致發黴而變性，雖然蛋白質含量未減少，但麵筋之凝結力已逐漸降低進而影響餐包製作（徐，2001）。

2. 水

水為濕性材料，在餐包製作上佔很大比例，水需溶解其他副材料如糖、鹽等，水與麵粉混合形成麵糰。製作餐包中等硬度水，pH 值 4-5 最佳，若水硬度過硬則麵筋過於堅韌，反之則過軟。水溫方面可依季節及產品需求調整，水溫會影響麵糰溫度進而影響酵母生長、繁殖，理想麵糰溫度為攪拌完成此時麵糰溫度 26°C，故需因季節調整，可以添加冰塊調整水溫，若水溫過高則製作的產品組織較乾硬（徐，2001）。Fessas & Schiraldi（1998）研究指出水的添加量會影響麵包質地及貯存時間；若水量過低則導致麵包製品乾硬，若水量過多則外觀呈現坍塌、不美觀、易發霉、貯存時間縮短。

3. 鹽

配方中若缺鹽會導致麵糰醱酵速度過快且不穩定，且易醱酵過度導致麵糰太酸化、產品味道異常，若鹽過多反而會延緩醱酵。適量鹽量可抑制蛋白質分解酶作用，有助於強化麵筋組織、穩定醱酵並提供產品風味。食鹽用量一般為烘焙百分比 1-2%，食鹽之功能：（1）提供風味；（2）增進麵糰流變性（rheological property）。盧，（1992）提出添加食鹽可增進麵筋強度，推測其因為電荷遮避（shielding charges）於麵糰蛋白質所致。

4. 糖

製作餐包中，糖之功能為（1）增加產品甜味（2）提供酵母醱酵主要能量來源（3）增加產品顏色（4）增加其他材料香味（5）改變麵糰物理性質（6）增加濕度（moisture）的保留（廖，2000）。配方中糖添加量在 5% 左右可以增加酵母醱酵力，但若超過 8% 以上，所產生的滲透壓會破壞酵母細胞，導致醱酵速度變慢（徐，2001）。製作餐包配方中糖量高達 8-15%，因滲透壓之故，使酵母醱酵作用變慢，故須仰賴延長醱酵方式以達理想體積。此外，麵糰在烤焙過程因高溫，麵糰中胺基酸與糖作用進行梅納反應（maillard reaction）產生非酵素性的褐變，提升麵包香氣及麵包表面色澤（Esteller *et al.*, 2006）。

5. 油脂

製作麵包所添加油脂量為 2-4%，其功能為 (1) 增加氣體保留 (2) 潤滑及軟化組織 (3) 提高產品體積 (4) 改善操作特性 (5) 延緩產品老化及增長貯存時效等。添加油脂之時機為麵糰攪拌至擴展階段時再加入，此時對麵糰黏著性與延展性產生可塑性，可以改良醱酵麵糰的流變性質 (Noraiti & Che maimon, 1996)。推測其因為油脂與麵糰在攪拌過程中與澱粉顆粒表面形成對抗作用進而抑制麵筋網膜形成，若於製作時事先與其他材料混合反而會影響麵筋網膜形成，導致延長達到麵筋擴展時間，最後影響麵包的品質 (徐，2001)。

(二) 餐包製作方法

1. 直接醱酵法 (straight dough method)

將製作餐包的材料全部放入攪拌缸內混合成麵糰以達擴展階段，而後經分割、滾圓、整形，烘烤製成產品，直接醱酵法與中種法不同在於 (1) 攪拌至完成僅一次攪拌，可節省人工與機器的操作。(2) 醱酵時間較短，減少麵糰的醱酵耗損。(3) 較具有麥香味。目前為講究效率的烘焙業所愛用 (徐，2001)。

2. 中種法 (sponge dough method)

中種法製作餐包時，先將麵粉與酵母和水等原料混合，經由麵糰先行醱酵後，再與剩餘副材料進行二次攪拌至完成階段，而後分割、滾圓、整型與最後醱酵、烘焙即完成製品。中種法的優點：(1) 酵母醱酵與產氣效率較佳，其因為初期酵母利用麵粉中澱粉酶所分解的葡萄糖進行發酵，而後利用第二次添加麵粉與糖，作為醱酵基質，使麵糰內部產氣率與醱酵品質比直接法醱酵程度來的良好；(2) 製作時間較彈性；(3) 經長時間醱酵可增加產品風味，但為其缺點耗時 (徐，2001)。

3. 酸麵糰 (sourdough)

將麵粉與水混合放置一段時間，使附著在穀物上的乳酸菌與酵母菌自然醱酵，其這種麵糰稱為「起麵或沅」(starter)。「起麵」具有使麵糰膨大效果因為麵粉中之澱粉，從澱粉可分解成葡萄糖酵母菌利可用，但膨脹時間需時較長 (Luangsakul *et al.*, 2009)，酸麵糰的功能為 (1) 增加風味；(2) 延長貯存期限；(3) 抑制異菌；(4) 產品質地柔軟及賦予保濕。但因酵母活性過弱，製出的產品體積呈現較小且質地緊密 (Arendt *et al.*, 2007)。

（三）攪拌作用

攪拌主要功能是將配方中之原料混合，並均勻分佈於麵糰中。此外，因麵粉加水攪拌加速麵粉吸水形成麵筋，並擴展之，攪拌前期，麥穀蛋白分子不定排列且不具方向性存在於麵糰中，而分子間，以氫鍵或疏水鍵連結，使得次級鍵結（secondary bonds）產生加乘作用，提高麵糰韌性；攪拌使氣體混入麵糰中並形成氣核，對後續的醱酵及熟成有決定性的影響，酵母在醱酵過程產生二氧化碳，往氣核集中，氣核便漸增大而成為氣室，以致於麵糰體積逐漸上升，也賦予烘焙製品多孔性、輕、軟之質地與大體積和低比重的特性。攪拌作用目的使麵筋擴展、形成網狀結構，並拌入空氣，由於酵母並不會形成新的氣室，會使原有氣泡膨大，因此攪拌後的氣泡，提供後續發酵所產生氣體存放之用。在麵筋形成過程中，因於麵粉內蛋白質，所含的胺基酸帶電性非常微弱，使得麵筋蛋白容易相互靠近鍵結成氫鍵（hydrogen bonds）與疏水鍵（hydrophobic bonds），而水分子則以非共價鍵形式參與反應，使麵糰具有黏性。當麵糰繼續攪拌後麵粉中蛋白質分子間，再以氫鍵與雙硫鍵結合，形成連續性的網狀結構，而改變麵糰流變性。（陳，2000）。

（四）醱酵作用

麵糰經攪拌後，酵母利用糖代謝生成二氧化碳，使麵糰膨脹，並使麵筋擴展（dough develop），而體積脹大是由於醱酵初期，氧氣被利用而產生二氧化碳並溶於麵糰中，當二氧化碳達飽和狀態後會擴散出來，使氣室內壓力逐漸增大導致黏彈性麵糰內氣室增大，直至氣室內外壓力趨於平衡狀態，此時的麵糰體積會明顯大，約 70% 的體積為氣體所佔（廖，2000）。

（五）烤焙作用

麵糰醱酵完成，進行烘烤，由於烤爐內溫度增加，表皮膨脹，這種反應稱為烤焙彈性（oven spring），其體積會脹至醱酵完成時之體積三分之一。當氣體受熱膨脹會增加氣體壓力，使麵糰內出現千百萬個小的密閉氣孔，因熱作用造成增加氣壓而膨脹。溫度達 50°C，酵母開始被抑制，麵糰於烤焙前期仍具有保氣性質，直到溫度達 74°C，麵糰才喪失保氣能力，爾後一直到烤完為止，麵筋之水會被澱粉吸走，使得麵筋脫水，到達烤焙後期澱粉受熱膨化導致內壓減低，烘焙製品即定型（廖，2000）。

二、市售酵母

麵包酵母在醱酵工業中廣範被應用，其主要功能為麵包體積膨大來源，介紹如下：

(一) 壓榨酵母

早期的麵包酵母採壓榨酵母。市面上以 1 磅或 1 公斤之重量單位售出，外形呈塊狀，剝碎後則為顆粒或不規則形狀。

壓榨酵母水份含量 27-34%、蛋白質 42-56% (乾物重)。可直接使用且適用於所有類型的麵糰，但需貯存於低溫 (0-4°C)，貯存期限為 3-4 星期，若貯存愈久，酵母的醱酵能力則會降低，若置於高溫狀態，酵母的品質則會下降。欲製作冷凍麵糰則以此種酵母為佳。

(二) 乾酵母

乾酵母主要分為兩類：活性乾酵母 (active dry yeast, ADY) 和速發乾酵母 (instant dry yeast, IDY)。

1. 活性乾酵母起源於 1920 年，是商用酵母產物，一般為真空包裝，為了延長保存期限，充填氮氣以利保存，置放於室溫下可儲存一年。

活性乾酵母水份含量 6-8%、蛋白質 40-43% (乾物重)。此酵母缺點：活性不高、在麵包製作時，原料的消耗量較多及乾燥成本昂貴。使用時先以溫水 (43°C) 來復水，此階段會使細胞組成份流失而造成麵糰膨脹力降低。

速發乾酵母於 1970 年才開始推行，也是近期烘焙業者的常使用的酵母。是高品質的活性乾酵母，外形呈小棒狀，可直接使用不需復水，其用量為壓榨酵母的 0.33-0.4 倍。

商用酵母的特性顯示於表二，商用酵母的優缺點則顯示於表三 (Verachttert, De Mot & Series, 1990)。

表一、三種商用酵母的主要特性

Table 2. Characteristics of three types of industrial yeasts

產品	形狀	乾燥方法	乾重 (%)	蛋白質 (%) ^a	產氣評估 (mL) ^b
壓榨酵母	塊或顆粒狀		27-34	42-56	300-400
活性乾酵母	不規則球狀	Rotolouver	92-94	40-43	160-185
	不規則顆粒狀	Belt	92-94	40-43	140-160
快速乾酵母	小型棒狀	Fluidized bed	94-96	42-52	230-340

(Verachttert, De Mot & Series, 1990)

^a 蛋白質定義以乾物重計算，使用凱氏氮係數 6.25。

^b 標準麵糰(由麵粉、水、酵母和鹽於 28°C 中)，每 285 毫克酵母乾物重醱酵 165 分鐘所得到的二氧化碳數，以毫升數表示。



表二、商用酵母的優缺點

Table 3. Advantages and shortcomings of industrial yeasts

	壓榨酵母	活性乾酵母	速發乾酵母
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制活性準確 2. 質量穩定 3. 醱酵力強 4. 醱酵速度快 5. 價格便宜 6. 使用方便 7. 醱酵耐受性強 8. 能用於冷凍麵糰 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 運輸方便 2. 醱酵活性較壓榨酵母高 3. 包裝小、不佔空間 4. 不需低溫貯存 5. 醱酵能力較壓榨酵母好 6. 貯存時限較壓榨酵母長 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 活性較壓榨酵母與活性乾性母高 2. 活性穩定 3. 不需低溫貯存 4. 使用不需以溫水活化 5. 可長途運輸 6. 醱酵速度較壓榨酵母與活性乾酵母快
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 活性與醱酵力較乾酵母低 2. 活性不穩定 3. 貯存條件嚴苛 4. 不便長途運輸 5. 使用前需以水調開使酵母活化 6. 貯存時限短 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用前需以溫水活化 2. 醱酵速度較慢、醱酵時間長 3. 成本高 4. 使用不便 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 價格昂貴 2. 製作出麵包風味較弱，不如壓榨酵母 3. 醱酵耐受性差 4. 不能用於冷凍麵糰

(Verachtert, De Mot & Series, 1990)

三、酸麵糰簡介

(一)酸麵醱酵的歷史

最早出現酸麵糰製做麵包的文獻在古埃及文化歷史中（西元前1500年）。雖然當時希伯來人已學會用此種方法製做成麵包，但當他們離開埃及時還未能使用烤爐來烘烤麵包。因此，他們所吃的還是屬於薄餅，未醱酵完成的麵包（Jacob, 2007）。在傳統簡易酸麵糰以附著在穀物上的乳酸菌和酵母菌先行醱酵，再與麵粉、鹽、水混合攪拌成麵糰，而後製作成麵包（Hansen and Schieberle, 2005）。

至於酸麵包一詞來自於羅馬（西元前168年），是由旅行者從埃及傳播到羅馬帝國（Dupaigne, 1999）。以酸麵糰製作傳統小麥麵包的技術也傳播於地中海、中東及美國舊金山等地區（Hansen and Schieberle, 2005）。

(二)酸麵醱酵的特性

市面上所見之老麵、天然酵母（nature yeast）、酒種、米麴、Levain、Biga、Poolish、Sourdough、Starter 指的皆為酸麵糰，不同國家製作酸麵糰方法有差異而別稱亦不同，以下介紹幾種老麵的種類與特性（宋，2002）。

1. 酸酵頭（mother sour）

酸麵糰是經過數個特定的步驟於定溫及定時醱酵完成的混合麵糰，在製成過程中不添加市售酵母，而其膨發及風味主要來自細菌及天然酵母的醱酵所產生的。酸麵糰的 pH 值在 3.7~4.1，乳酸及醋酸濃度分別為 7.7~15.7。酸老麵製作之麵包會呈現微酸的味且組織柔軟、顏色稍白及具特殊風味，但若未醱酵完全的酸老麵製作之麵包呈現甜甜的，顏色則較淡、形成的氣孔較少，最後 pH 值為 6.0 左右。若醱酵過度的酸麵糰則呈現流體狀，麵包呈很強的酸味，顏色則偏灰、氣孔大而圓及 pH 值約在 3~4（許，2006）。

2. Biga

麵粉加水相互作用外，添加少量的市售酵母於 18~20°C 培養至 16~18 小時。由於培養時間較短，麵糰中乳酸菌較酸麵糰少、酵母濃度高，因此膨發體積較大且柔軟，但香味相對也較少（許，2006）。

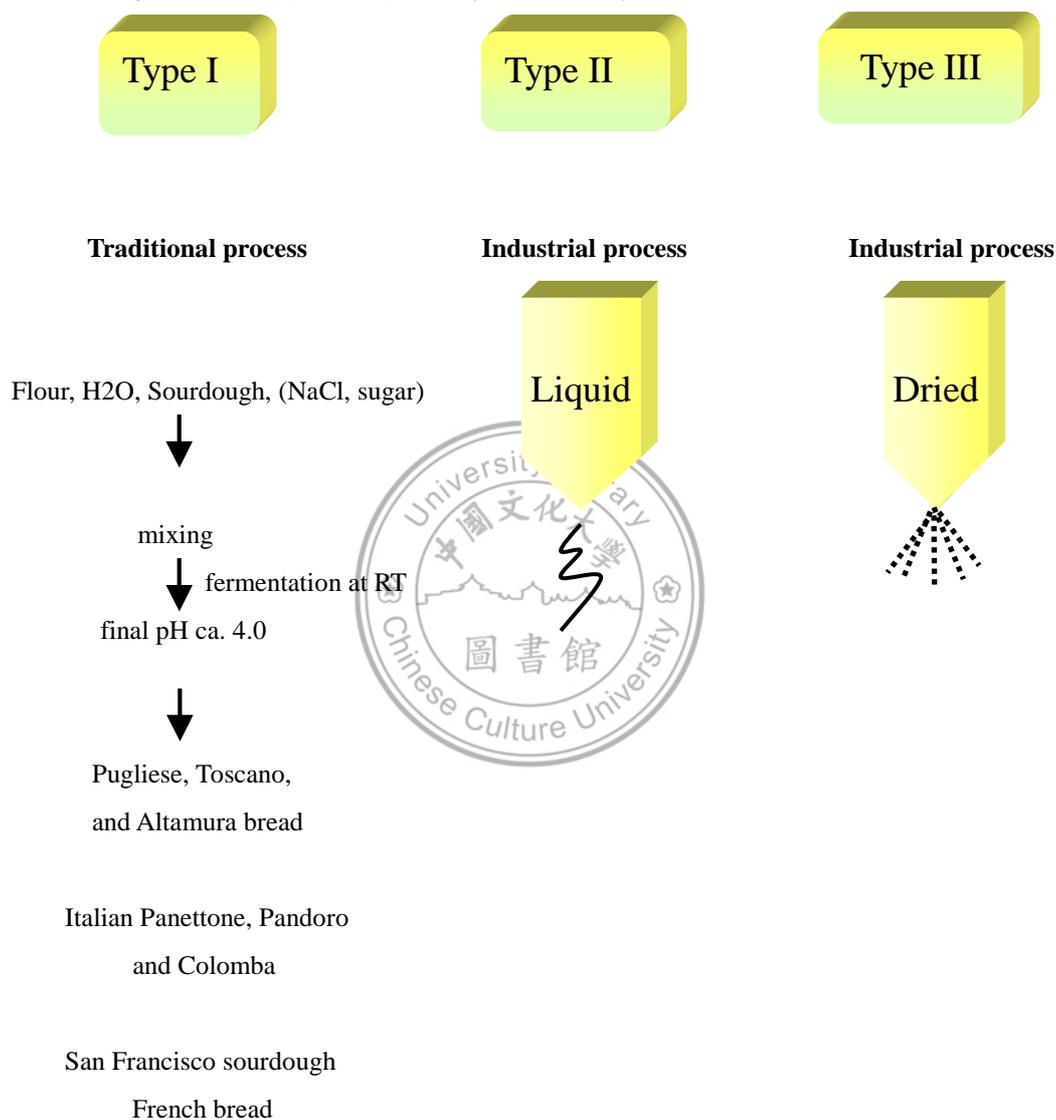
3. Poolish

為法式醱酵法（french method），預醱酵介於 Biga 及 mother sour 酸麵糰方法之間。一般使用等量的麵粉及水，至於酵母添加量則依醱

酵時間而定，若醱酵時間短則酵母添加量少，當醱酵時間及酵母添加量的不同則麵糰中乳酸菌及酵母菌的菌種及菌量將不同（許，2007）。

(三)酸麵糰的分類

酸麵糰應用技術主要分為三類，詳如圖一：



圖一、三類型酸麵糰的製作流程圖

Fig. 1. Scheme illustrating production process of Type I, II & III sourdough.

(Böcker, Stolz, & Hammes, 1995)

1. 第一型

第一型為傳統的酸麵糰，取部分已發酵的酸麵糰加入麵粉、水、鹽及糖混勻，醱酵溫度 20~30°C、最終 pH4.0。酸麵糰在較低溫度且連續式培養過程中，可促進酵母菌繁殖，在製作烘焙產品時不需額外添加商業酵母。舊金山酸麵包、義大利黃金麵包的麵糰即為此型酸麵糰 (Böcker, Stolz, & Hammes, 1995)。

2. 第二型

第二型為烘焙業所使用之酸麵糰，醱酵溫度 (大於 30°C)，並短時間 (2~5 天) 酸化形成酸麵糰 (Böcker *et al.*, 1995; Hammes & Gänzle, 1998)，此酸麵糰呈半液態特性，適用於大量生產烘焙製品。

3. 第三型

第三型為粉末狀，又稱為乾式麵糰。即在適宜溫度下進行醱酵，且 DY (為麵粉混合水形成麵糰與麵粉的比例) 值為 200 以上，呈液態酸麵糰，麵糰中菌相穩定且可長期保存，可提供麵包製品之酸味及香氣，同時也可以使烘焙製品的品質呈一致性 (Stolz *et al.*, 1996)。在乾燥過程中，多數乳酸菌可耐乾燥，如異質醱酵之 *L. brevis* 及兼性異質醱酵的 *P. pentosaceus* 和 *L. plantarum*，因此製作烘焙製品時也需添加商業酵母 (Böcker, Stolz, & Hammes, 1995)。

(四)酸麵糰中微生物組成

乳酸菌及酵母菌為酸麵糰發酵時主要之微生物，也提供麵包特殊風味。調整醱酵條件，酵母菌及乳酸菌在最適之條件生長，進而抑制其他雜菌生長 (施，2007)。

酸麵糰的微生物

以酸麵糰醱酵烤焙的麵包為酸麵包。酸麵糰中含有 20 餘種酵母菌，其中啤酒酵母最為常見；亦含有 50 餘種乳酸菌主要有乳酸菌種為 *Lactobacillus sanfranciscensis*、*Lactobacillus plantarum*、*Lactobacillus fermentum* 及 *Lactobacillus brevis*。酸麵糰含有代謝活性的乳酸菌，良好醱酵能力的酸麵糰，其乳酸菌的菌數為 10^8 - 10^9 cfu/g 及酵母菌菌數應達 10^6 - 10^7 cfu/g，當乳酸菌及酵母菌的比例為 100:1 時酸麵糰具有較佳的活性 (Corsetti, 2007; Gocmen *et al.*, 2007; Foschino *et al.*, 2004)。

酸麵糰中乳酸菌與酵母菌可利用碳源、小分子氨基酸。當二氧化碳生成量的不同彼此產生拮抗或相乘作用 (Gobbetti *et al.*, 1997；

Gobbetti *et al.*, 1994a,b)。乳酸菌可利用麥芽糖作為醱酵基質，並和不能利用麥芽糖之酵母菌互利共生 (Gobbetti *et al.*, 1997)。

(五) 酸麵糰中乳酸菌和酵母菌的作用與特性

1. 風味的形成

酸麵糰醱酵會產生非揮發性和揮發性風味化合物。而非揮發性化合物是同型醱酵和異型醱酵乳酸菌產生的有機酸。揮發性物則是在醱酵過程產生的醇、醛、酮、酯和羰基化合物 (Salim, Paterson *et al.*, 2006)。此風味複合物是乳酸菌和單一酵母相互作用產生 (Corsetti, 2007; Salim, Paterson *et al.*, 2006)。

2. 麵糰結構之影響

乳酸菌分泌到細胞外的多糖稱作胞外多糖，又可分為同菌胞外多糖和異菌胞外多糖，同菌多糖僅有一種單糖組成，以蔗糖為糖基供體通過菌胞外葡聚糖和果糖基輔移酶合成；異多糖由糖核苷前體在菌胞內合成。同菌多糖一般用於改善焙烤產品的特性，目前還沒發現酸麵糰乳酸菌產生異多糖 (Corsetti, 2007)。

3. 改善麵糰營養價值和健康價值

消費者對食品的營養價值和健康價值是特別關注的。

(1) 減少抗營養因子：穀物是礦物質如鉀、磷、鎂或鋅的重要來源。但是由於植酸的存在使得礦物質的利用受到限制。小麥和黑麥約含 2-58mg/g 植酸，以鎂、鉀鹽的形式存在於澱粉顆粒的糊粉層。植酸與 6 個磷結合，再與礦物離子形成不可溶複合物，因而阻礙礦物質的生物利用性。植酸含量的減少則在於植酸酶的活性。一般而言，低 pH 值有利植酸降解。而酸麵糰或酸化麵糰能增加植酸分解以提升礦物質的生物利用性。酸麵糰的 pH 值為 4.5 時，植酸酶的活性最佳，水解 Inositol hexakisphosphate (IP₆) 為 inositol pentakisphosphate (IP₅)，再進一步水解為低分子量的肌醇磷酸酯 (IP₄-IP₁)，這些物質較少與礦物質結合或形成較弱的礦物質複合物。(Corsetti, 2007) Reale 等 (2006) 研究發現，使用混合菌種 (*Lb.plantarum*, *Lb. brevis*, *Lactobacillus curvatus*) 製作的麵糰醱酵 12 小時後，IP₆ 降低約 80-90%，顯示微生物在改善穀物製品營養價值的潛力 (Corsetti, 2007; Gobbetti, Angelis, Corsetti *et al.*, 2005; Katina, Arendt *et al.*, 2005)。

(2) 轉化有毒化合物：酸麵包因具自然和傳統特性，然而由於含有穀蛋白，對 CS (Celiac sprue) gluten 敏感的病患是不佳的。腔內表面的蛋白分解酶作用於醇溶蛋白，產生複合脯氨酸和甘氨酸的多肽，這些多肽會引起 CS。當高分子量麥穀蛋白被分解時會釋放有毒多肽。Di cagno 等學者於 2004 年的研究闡明；一些乳酸菌對各種富含脯氨酸肽包括 33-色氨酸肽具有水解活性。

4. 產生抑菌物質

酸麵糰由於酸的存在，對抑制微生物活性也顯著作用。酸麵糰中的乳酸菌在醱酵食品的防腐和微生物上擔任非常重要的作用，可提高醱酵產品的微生物穩定性 (Corsetti, 2007; Corsetti *et al.*, 2005)。

(1) 抑黴菌化合物：由於乳酸菌的作用，酸麵包既延長貨架期又提高了微生物的安全性。異型醱酵乳酸菌可抑制真菌作用，其中 *Lb. sanfranciscensis CBI* 表現出最廣範圍的抑制真菌活性，其因為所產生醋酸、己酸、丙酸、酪酸和 n-萘草酸等混合產物，以己酸具有最高抗黴菌活性。Lavermicocca 等 (2000) 指出 *Lb. plantarum ITM 21B* 產生苯乳酸和 4-羥基-苯乳酸，烘焙後仍具有抗真菌活性。實驗證明其能延遲黑麴黴和青黴菌的生長達 7 天之久，顯著延長了麵包的架售期。另外亦發現 *Lb. plantarum* 產生抗真菌羥基脂肪酸，濃度為 10 μ g/mL 時即具活性。(Corsetti, 2007; Corsetti *et al.*, 2005)。

5. 酵母菌的作用

酵母菌的發酵可分為有氧代謝及厭氧代謝。在厭氧的條件下，氧化基質，即所謂的分子內呼吸，葡萄糖經 EMP (Embden-Meyerof-Parnas pathway) 及 HMP (Hexose-Monophosphate pathway) 兩路徑來行糖解作用 (glycolysis)。酵母菌通常會併用 EMP pathway 及 HMP pathway 進行糖代謝，不過以 EMP pathway 為主要代謝途徑，其比例為 EMP : HMP = 70~80% : 20~30% (Corsetti, 2007)。

酸麵糰中的酵母比市售新鮮酵母，對酸和溫度的抵抗力強 (Schulz, 1966)。Spicher and Schröder (1978) 在酸麵糰的研究中指出四種酵母菌，在 20~50 $^{\circ}$ C 能繁殖、最適溫度為 35 $^{\circ}$ C，pH 值為 3.6~5.6 間有活性，當 pH 值較低時，最適生長溫度會隨之降低。Spicher and Schöllhammer (1977) 發現酸麵糰產生的香氣有酵母味、水果味、酒精味和酸味，而純酵母菌只產生酸味。

由以上敘述可知，好吃的天然酵母麵包其酸麵糰必須具備野生酵母和乳酸菌。酵母提供麵包的膨發體積，而乳酸菌則對麵包口感及風

味，兩者搭配起來具有加乘效果。

今歸納出天然酵母與商業酵母製作麵包製品之比較呈現於表一。

表三、天然酵母與商業酵母製作麵包製品之比較

Table 1. Comparison of characteristics of breads using natural and industrial yeast

	天然酵母麵包	商業酵母麵包
體積	小	大
密度	高	低
表皮顏色	淡	深
麵包內部	顏色深、不規則孔洞多	顏色淺、不規則孔洞少
口感	風味較強、微酸味	風味少且溫和
香味	較多醱酵香味	較多麥香味
醱酵時間	醱酵時間久	醱酵時間短
架售時間	時間較長	時間較短

(施, 2003)

四、麵包之老化 (bread stale)

(一) 麵包老化定義

老化的意義是麵糰經烤焙離開烤爐後，本來由鬆軟及濕潤的產品，在貯存期間發生變化，使得產品水份減少、味道變得平淡、不良或質地變得粗糙且硬，此過程稱為老化 (stale) (趙, 2008)。

(二) 影響麵包老化因素

1. 溫度 (temperature)

α 澱粉在含水狀態下放置室溫， α 澱粉內直鏈澱粉與支鏈澱粉產生離水作用，使直、支鏈澱粉自身間及相互間的接觸機會增加，再度形成無數氫鍵 (H-bond)，使完全崩解的結晶體，逐漸重新被配置形成規則排列， α 澱粉漸次恢復成 β 澱粉狀態。一般以 4°C 老化最快，使組織硬化，但把老化的麵包放置 50°C 以上的環境，部分 β -澱粉又再度轉化成 α -澱粉，麵包恢復新鮮時的狀態，其因為直鏈澱粉交錯排列所形成的澱粉膠體並不會被融化，但支鏈澱粉回凝所形成的結晶會融化而使麵包恢復新鮮狀態。因此，支鏈澱粉的回凝對麵包老化有很大的影響。(Palacios *et al.*, 2004)。

2. 水分 (moisture)

麵包在貯存初期外皮部分之水分下降速度最快，但隨著貯存時間

增長，各部位水分子移動速率有所差異，移動較慢的部分，水分子含量逐漸降低；移動較快的部分反而會隨著貯存時間增加水分子含量逐漸升高，造成製品內部水份往外移，使麵包外皮不再像剛烤好的麵包一樣乾、脆，反而是呈現又軟又堅韌的狀態 (Ruan *et al.*, 1996)。

3.澱粉 (starch)

麵包硬化主要是由於澱粉之回凝作用 (retrogradation) 所致。因為麵粉中佔 70% 澱粉，其中以支鏈澱粉 (amylopectin) 為最多，佔澱粉的 74-81%，直鏈澱粉 (amylose) 則佔 19-26%。將麵粉作成麵糰經烤焙成麵包後，澱粉呈完全糊化 (completely gelatinized)，或部分糊化狀態。已經糊化的澱粉，由不可溶性澱粉變成可溶性澱粉，但麵包出爐後由於貯藏時間增長，原本已糊化之澱粉又失去水份，此水份被麵筋吸收，從可溶性又轉變成不可溶性澱粉，因此麵包呈現硬化狀態 (Palacios *et al.*, 2004)。

(三) 抑制麵包老化之方法

1. 溫度：加熱及冷凍都可以防止麵包硬化，進而延長貯存時間。
2. 包裝 (wrapping)：可以減緩水分散失，使麵包延緩老化。
3. 調整食品配方：調整水份、蛋白質、油脂、糖含量；增加總水份量與保濕性，以延緩老化速率。
4. 添加酵素：添加液化酵素於麵糰醱酵及烤焙初期，使部份澱粉形成糊精，進而改變澱粉結構，降低澱粉回凝作用，延緩麵包硬化時間。
5. 乳化劑：添加乳化劑於麵糰中，乳化劑滲入澱粉顆粒內與直鏈澱粉結合形成螺旋狀結構，因而阻止水份從澱粉移出，降低離水作用進而保持水份。