

1-5、有機酸用在豬隻飼養的潛能

有機酸(organic acids) 和其鹽類具有成為離乳仔豬、生長肥育豬和懷孕母豬的生長促進劑之潛力。

根據發表在 *J. Animal Science and Biotechnology*(October, 2015) 報導 "A review of the effects of dietary organic acids fed to swine" 一文中提到，在消費者針對豬肉中抗生素殘留有所疑慮之計，其他添加物如草本植物和其產品，促生素，益生菌等的使用漸受到重視。諸多的飼料添加物(劑)均可達到促進生長和減少藥物殘留的目的，本文特針對有機酸和其鹽類利用於豬隻飼養，進行深度的探討。

一、背景說明

當仔豬基本液態母豬乳取得的減少，轉換為固體教槽料的攝取，消化道生理因而改變。此時，不同飼料添加物的介入是需要的，期望達到最大的營養利用。在仔豬離乳之前和後的期間內引起胃-腸道的擾亂，因而導致養豬業者極大的經濟損失。離乳的轉變是個複雜的過程，仔豬必須克服突然離開母豬，混合其他不同窩仔豬和進入新的飼養環境，面對具高消化的母豬乳轉換為低消化的教槽料之衝擊。即使仔豬出生後 10 天就開始提供教槽料，面臨的情況也是一樣。離乳使這些未成熟動物的緊迫更形惡化。

一般而言，50%仔豬在離乳 24 小時後才首次採食，而有 10%仔豬在離乳後 48 小時才開始進食。仔豬本身提供維持所需能量祇足夠其離乳後 3 天之需要，和仔豬需要 8-14 天才能恢復其離乳前能量的攝取量。

強化豬隻飼養為提高母豬生產性能的方法，這導致仔豬吮乳時間從 6 週縮短為 3-4 週，以加大母豬每年生產的能力。3-4 週齡仔豬早期離乳的複雜性導致離乳後的下痢，這引起仔豬生長停滯和提高死亡率。為抑制下痢和改善性能，飼料抗菌添加物如抗生素，添加預防性用量到保育料和生長期飼料。抗生素用於動物生產已逾 50 年。抗生素應用到飼料中，變成所有畜產動物營養策略之重點。豬隻飼料採用抗生素能提高增重 3.3-8%和飼料效率約 3%。近年來，消費者考量到抗生素的使用導致抗藥性病原菌株的發生，畜產品抗生素的殘留，這鼓勵進行研發以控制下痢而不會危害人類健康的替代方法。

故提高注意力於抗生素禁用以避免豬肉產品的藥物殘留，並避免病原菌對抗生素的交叉殘留。

為阻止細菌對抗生素的耐受力，如其他飼料添加物---發酵液態飼料(fermented liquid feed, FLF)建議成為抗生素的替代物。FLF 不僅降低胃液 pH 值，而且提高飼料和水的供應量，致使仔豬由母豬乳轉換為固體飼料更為容易。

FLF 利用飼料培養，和水或來自食物或乙醚產物的發酵成為液態飼料。在培養的過程中，微生物發酵產生不同的有機酸，主要為乳酸(lactic acid) 和乙酸(醋酸, acetic acid)，這降低胃液 pH 值。因為有益生的成分，FLF 證明為優良的有機酸。發酵良好的飼料產生有機酸為一種成本能有效回收的作法。有機酸具有抑

制細菌繁殖(bacteriostatic) 和殺菌(bacteriocidal) 的作用，兩作用因有機酸含量而不同。這些有機酸能有效地和其他的飼料添加物一起併用。

不同的飼料添加物如有機酸、硫酸銅、氧化鋅、維生素、促生素和草本植物用於早期離乳仔豬已廣泛性加以研究。飼料添加有機酸提高動物生長性能和調節豬隻腸道微生物。乳酸降低胃液 pH 值和延緩腸內大腸桿菌的繁殖，較其他有機酸更能有效地改善豬隻生長性能。

當仔豬在 3-4 週齡早期離乳，其暴露在營養和環境兩緊迫源之下，常導致飼料採食量的降低，致使減少或根本沒有增重，甚至發生下痢、罹病和死亡。在這離乳後生長停滯之期間，因胃中鹽酸、胃蛋白酶不足和突然改變飼料濃度和攝取，致使消化和吸收能力的受損。

這期間，仔豬免疫狀態亦因無母豬乳所提供免疫球蛋白而降低其被動免疫能力，自體主動免疫能力則正開始發展之際。稍能降低飼料 pH 值的弱有機酸，如檸檬酸(citric acid)、甲酸(formic acid)、延胡索酸(fumaric acid)、乳酸或丙酸(propionic acid)的添加，對仔豬離乳後生長停滯期間的問題有所幫助。

飼料或飲水的酸化處理始於 1968 年。Cole et al.(1968) 報告，添加 0.8% 乳酸到飲用水對離乳仔豬生長反應和飼料效率有明顯地改善效果，因其降低十二指腸和結腸的大腸桿菌的數量。較早的報告證明，添加有機酸或酸化劑對離乳仔豬的生長有利。本文所稱有機酸一詞為有機酸和酸化劑，包括有機酸鹽類。

胃內容物低 pH 值有利的途徑，在於其提高胃蛋白酶的酸化環境，增加蛋白質的利用和避免氮的排出；這對生產環境和經濟效益有利。低 pH 值亦經由仔豬小腸乳糜腺高度和深度的改變而提高營養分的消化率。

這現象能解釋為來自母豬乳的蛋白質(酪蛋白)需要豬隻胃液 pH 值為 4 使之凝固，沉澱和達到最佳的消化率達約 98%。但植物性蛋白質和魚蛋白則不同，需要胃蛋白酶在 pH 值 2-3.5 的環境下才能達到最佳的消化率，祇有依靠有機酸才能達到這水準。

雖然有機酸添加始自離乳仔豬。愈來愈多的證據顯示，酸化飼料對肉豬(生長肥育豬)亦有好處。肉豬飼料添加有機酸對蛋白質和胺基酸的表面迴腸消化率，和礦物質的吸收亦有所改善。取得的利益不僅是改善豬隻生長性能，亦降低氮和磷的排出而減輕環境污染的壓力。有機酸亦是有效的保鮮劑，其抑制飼料中不良細菌和黴菌的生長，和延長飼料保存和品質維護而對豬隻生長性能有利。酸化劑對飼料原料貯存主要作用是降低其 pH 值。

本文在於評估離乳仔豬、肉豬和繁殖母豬對其飼料添加有機酸的反應，利用生長性能，如增重、飼料採食量和飼料效率加以說明。另外，不同反應的理由和有機酸可能的作用模式亦加以討論。

二、方法的調查

(一)、有機酸的作用模式

就如同抗生素，有機酸有抗菌作用。有機酸能穿透細胞壁和破壞某些細菌如

沙門氏桿菌、大腸桿菌、梭菌(*clostridia spp*) 和李斯特菌(*listeria*) 以及大腸桿菌群(*coliforms*)，因餵飼有機酸添加飼料可降低某些腸道正常的微生物和病原菌的數量。有機酸降低微生物的競爭而提供動物營養分的能力，降低亞臨床疾病的風險，降低腸道免疫反應和降低有害細菌組成的產生而改善所有生產性能。在堅果殼有機酸(*nut shell organic acids*) 降低胃液 pH 值(Bosi et al.,1999)，轉變無活性胃蛋白酶元成為具有活性的胃蛋白酶，抑制病原菌的繁殖，作用如一在胃-腸道的能量來源，促成胃內容物排空速率而強化內源性酵素的分泌和礦物質的整合。下文中將再討論。

1、降低胃液 pH 值

在家禽，有機酸的主要作用是抗菌。在豬方面，主要作用是在於降低胃液 pH 值。豬隻飼料蛋白質的消化始於胃，胃黏膜分泌是酵素的先質(胃蛋白酶元)，在胃環境 pH 值 2.0 轉變最快速而在 pH 值 5.0-6.0 則遲緩，胃蛋白酶元轉變成胃蛋白酶才開始其消化的作用。換言之，胃蛋白酶在酸性環境中作用最好，而在 pH 值增加，則其活性很快地降低。唾液中澱粉酶的作用，不同於胃蛋白酶，胃中鹽酸(胃酸)的 pH 值降至 3.5 即無作用。

對哺乳仔豬而言，其胃酸分泌量低，主要酸的來源來自母豬乳中乳糖經由細菌發酵成乳酸。胃中高量乳酸鹽趨向於抑制胃酸的分泌。固體飼料的攝取會降低胃中的乳酸量和刺激胃酸的分泌。但，實際上，仔豬到 4 週齡時的教槽料採食量尚低和採食量間的差異大。離乳時，低胃酸的分泌，又缺乏乳糖作為發酵的基質；在短期間內大量採食飼料而導致胃液 pH 值的提高，通常超過 5.0，這現象可能維持數天之久。飼料中高酸固著/緩衝能力(溶液承受外來酸鹼而不影響 pH 值)幫助胃液 pH 值更進一步的提高。離乳後保育一期料含有乳清或乳糖以確保細菌發酵和持續乳酸的產生。哺乳仔豬胃酸分泌能力的發育較哺乳仔豬更快速。飼料添加 1%檸檬酸的胃液 pH 值由 4.6 降低至 3.5；而飼料添加 0.7%延胡索酸，胃液 pH 值由 4.6 降低至 4.2。另一方面，無機酸如鹽酸和磷酸(二者可降低胃液 pH 值)並不能改善豬隻生長性能和飼料效率。

對剛離乳仔豬而言，降低酸-固著能力可幫助由母豬乳轉換成固體飼料更自在。離乳後，胃液 pH 值提高導致飼料營養分消化能力的降低，而後，未消化營養分移動至後腸道發酵，可能引起下痢。高胃液 pH 值亦同時讓病原菌存活和較高機會定居在消化道中。

2、病原菌的抑制

乳酸有降低胃液 pH 值和延緩腸產毒性大腸桿菌(*enterotoxigenic E. coli*) 繁殖的效果，乳酸較其他有機酸更能有效改善豬隻生長性能。

離乳仔豬由母豬乳轉換成固體飼料，據稱可破壞腸內微生物的平衡和影響胃-腸道機能不佳。現瞭解到低胃液 pH 值與消化道內容物的流速有關，低胃液 pH 值降低微生物在胃-腸道內的移植(其附著於黏膜表面)。

實際上，動物和植物依賴不同細菌的共生而生存，其能保護宿主不受病原菌的移植；維持腸道發育的正常，或生產維生素和荷爾蒙給宿主；但某些細菌引起

疾病的發生。胃-腸道內細菌的存在一般會導致宿主動物和細菌之間對營養分的競爭。此外，細菌能更進一步分泌有毒物質，例如毒性胺基酸(其作用如抗代謝物質)代謝物質，降低脂肪的消化，促進吸收性上皮細胞(absorptive epithelial cells) 迅速轉移，需要利用腸道杯狀細胞(goblet cell) 提高黏膜分泌的速率，和刺激免疫系統的發育和發炎的反應。所有這些效應導致生長性能的低下，研究證明因細菌分泌有毒物質而導致飼料高約 6%淨能(net energy)的損失。

故這不僅極為重要以控制可能有害細菌的生存，且亦保持腸道菌叢良好的平衡。有機酸被鑑定能改變胃-腸道微生物已經是很久以前的事，特別是有機酸經由減少不耐酸細菌種類，如大腸桿菌、沙門氏桿菌和彎曲桿菌(campylobacter)，而提昇豬隻生長性能。這又顯示，有機酸更能抑制革蘭氏陽性菌的強化效果。這是革蘭氏陽性菌和革蘭氏陰性菌在結構上的不同。一般而言，細胞質為細胞質膜所包圍。細胞質膜表面由厚細胞壁所覆蓋，細胞壁主要成分是肽糖(peptidoglycan)和連接胞外多醣體(extracellular polysaccharides，革蘭氏陽性菌細胞壁上的多醣)、磷壁酸(teichoic acid)和糖醛酸磷壁酸(teichuronic acid)。革蘭氏陰性菌相較於革蘭氏陽性菌，其肽糖層相當的薄。但革蘭氏陰性菌為額外的外膜所包圍，由於外膜是肽糖的存在，其特性將抵抗疏水性抗生素和洗滌劑的侵襲。

有機酸通常與其他自然衍生物如必需油脂(essential oil)的組合，以期利用二者的聯合作用去對抗病原菌。另外，必需油脂通常作用如抗氧化物質，刺激免疫系統、抑制有害微生物，但促進有益細菌生長為其另一優點。必需油脂調整酵素活性，特別是胃蛋白酶，其保護腸乳糜腺和干擾細菌細胞 DNA 的複製而有抗菌的效果。

離乳時，仔豬面臨由母豬乳轉換成固態教槽料的緊迫，假如胃液 pH 值無法降低，大腸桿菌群就會抑制乳酸菌的生長。在胃處於酸性環境下，有助於乳酸菌的生長。因酸性環境下，妨礙附著的位置和乳酸的生成而抑制大腸桿菌的移動和繁殖；乳酸生成的代謝產物又降低胃液 pH 值，故阻礙病原菌的生長。更多的乳酸強化殺菌性質。非離子有機酸能穿透細胞和破壞細菌正常的生理。當未解離有機酸穿透細胞，其取得未解離的氫離子和陰離子。這作用又更進一步降低細菌內部的 pH 值而控制對 pH 敏感的大腸桿菌屬、梭菌、李斯特菌的生長，因這類細菌不能忍受內部 pH 值範圍大和外在的胃液 pH 值。另一方面，非 pH 值敏感的細菌，如乳酸桿菌(lactobacilli) 和雙歧桿菌(bifidobacterium spp，比菲德氏菌) 能忍受細菌內部和外在胃液 pH 值的變化。未解離有機酸不易被腸道上皮細胞所吸收。

有機酸具有抑菌和殺菌的性質。未解離有機酸為親脂性，其能穿越革蘭氏陰性菌，如沙門氏桿菌的細胞膜。一旦，有機酸進入細菌，較高細胞質 pH 值引發酸的解離，釋放出氫離子；這下一步是降低細胞內 pH 值。細胞代謝依靠酵素活力，其在較低 pH 值的環境下降低酵素活力。糾正平衡，細胞被迫要利用能量去排出質子經由細胞膜以 H^+ -ATPase 幫浦去恢復細胞質 pH 值為正常。經過一段暴露於有機酸的時間，這足以殺死細菌。

據報導，酸化劑促進有益菌的生長而改善腸道的健康，其經由降低 pH 值和飼料緩衝能力(溶液承受外來酸鹼而不影響 pH 值)抑制病原菌的生長。飼料添加有機酸，降低酸-緩衝能力可減少不良細菌的移植。傷寒沙門氏桿菌(*salmonella enteritica typhimurium*) 為歐洲豬隻屠體優勢的血清型菌種，統計上有 71%的比例。有些血清型菌種對抗生素有抗藥性，這對豬隻生產者有壓力而企圖去避免污染。當沙門氏桿菌尚無法由豬場全面加以清除，祇能控制以減少消費者的風險。雖然飼料製作經過熱處理為減少沙門氏桿菌污染的有效方法，但飼料在轉運、貯藏和其後的飼養過程卻有再污染的風險。當飼料製作和飼養環境少有傳播細菌性的感染，沙門氏桿菌的污染可降低。下一個危害控制點是豬隻腸道內，其再成為細菌生長的良好環境。沙門氏桿菌生長的良好環境是腸內水分高於 12%和 pH 值在 4.5 和 9.0 之間。這不是巧合，豬隻腸道的環境正適合沙門氏桿菌之所需，讓其茁壯成長。

3、能量來源

有機酸作用之一為豬隻腸道細胞能量的來源，當作檸檬酸中間產物，協助組織避免來自葡萄糖新生作用和脂肪分解的損壞。有機酸具有促進生長效果，來自其提供的能量。Kircheggssner and Roth(1982)建議，豬隻利用延胡索酸，其效果如同葡萄糖。Blank et al.(1999) 報告，延胡索酸可能為一個現成的能量來源，對小腸黏膜具有局部營養作用和導致小腸中吸收表面能力的提高，因而仔豬離乳後胃-腸道上皮細胞較快恢復其功能。

4、礦物質利用

有機酸離子能與鈣、磷、錳和鋅結合而形成複合物，改善這些礦物質的消化和降低這些補充性礦物質的排出，和氮的排出。有機酸對植酸磷鹽的作用可能導致來自豬隻胃-腸道 pH 值的改變至水解植酸磷鹽的最佳條件。Kircheggssner and Roth(1999)報告，延胡索酸的添加，改善鈣、磷、錳和鋅表面吸收和蓄積。降低腸道 pH 值，對磷的溶解度有益；在較低 pH 值的酸性環境下，微生物植酸酶更具活力，故補充有機酸非直接地幫助磷的吸收。Boling et al.(2000) 建議檸檬酸對螯合鈣的競爭以改善植酸磷鹽的利用，降低不溶解性鈣-植酸磷鹽化合物的形成。深入瞭解得知，有機酸作用依靠飼料種類和飼料礦物質含量而定。在豬隻飼餵稍低於鋅的正常用量，每 kg 飼料添加 15 g 檸檬酸並不顯現皮膚角質化的症狀。但對鋅或其他礦物質(鈣、磷、鎂、鐵、銅和錳) 的表面吸收率並無顯著的影響。

5、內源性酵素分泌和腸道形態

據報導，短鏈脂肪酸對豬隻胰臟內分泌和外分泌激素二者具有促進效果。自然酸如胃分泌的鹽酸能使 pH 值降至 1.3，而來自母豬乳中乳糖分解為乳酸致使 pH 值降至 3.8。pH 值高於 3.8，血清胰泌素(secretin)量減少。胰臟外分泌激素和膽汁分泌二者受胰泌素的刺激才能釋出。腸道因鹽酸或單羧酸(monocarboxylic acids) 或有機酸而提昇血清胰泌素(由十二指腸黏膜分泌)。胰臟外分泌激素因單羧酸之一的延胡索酸而有最大的反應，其次是乳酸、丙酮酸(pyruvic acid)、乙酸(醋酸)、丁酸(butyric acid) 和丙酸(propionic acid) 。短鏈脂肪酸如丙酸、乙酸，

n-丁酸為飼料纖維經由大腸微生物的發酵而產生，能提高上皮細胞的增生。Overland et al.(1990) 證實，豬隻飼餵添加 0.17% 丁酸鈉飼料，提高迴腸微黏膜高度和盲腸腺窩(crypts) 深度，改變腸道形態。提高上皮細胞的增生亦發現口服短鏈脂肪酸，或靜脈注射或胃腸注入短鏈脂肪酸當作飼料有機酸添加，影響小腸發酵的模式。另外的研究證明，飼料添加有機酸經由代謝酵素活性的刺激。例如丙酸，為大腸上皮細胞的能量來源，被認為促進上皮細胞的生長有效。

6、生長性能和營養利用

飼料中有機酸有效的添加量能改善豬隻生產力達到與抗生素生長促進劑相同的水準。Overland et al.(2000)證實，添加 0.8 或 1.2% 二甲酸鉀(potassium diformate) 繁殖-泌乳期初產母豬和經產母豬的飼料中。這些母豬所生產仔豬的生長性能加以記錄，並進行比較。研究者發現，雖然每日飼料採食量和體重並未改變，母豬餵飼二甲酸鉀提高懷孕母豬背脂厚度。餵飼二甲酸鉀亦顯示，有提高出生仔豬體重的趨勢，此與添加的劑量無關。這亦改善平均日增重，導致有較高的仔豬離乳體重。母豬餵飼二甲酸鉀的飼料，測定分娩後 12 天的母豬乳發現，有提高乳中脂肪量的趨勢。另一方面，在熱帶地區的母豬餵飼 0.8% 二甲酸鉀添加量有提高母豬分娩後 3 天後的飼料採食量。進而，在離乳時母豬體重和背脂的損失較少。

添加甲酸鈉(sodium formate) 0.9% 到生長豬飼料中，改善日增重和飼料效率，但肥育豬則無效(Suryanarayana and Suresh,2010)。報告稱，飼料添加甲酸鈉 0.9%，提高生長豬隻粗蛋白質和乾物質的消化率。Falkowski and Aherne(1984) 證實，4 週齡仔豬提供甲酸鹽或檸檬酸致使日增重的提昇 4 至 7% 和飼料效率改善 5 至 10%。Giesting and Easter(2007) 報告，飼料分別提供甲酸量 0、1、2、3 和 4%，導致日增重和飼料效率呈線型的提昇而不受飼料蛋白質用量的影響。Blank et al.(1999) 指出，添加甲酸改善粗蛋白質、總能和胺基酸迴腸消化率。另一不同的結果，Gabert and Sauer(1995)報告，小麥-大豆粕為基礎豬隻飼料添加甲酸，隨甲酸劑量的增加對粗蛋白質和胺基酸迴腸消化率有不良的影響。Suryanarayana et al.(2012)證明，添加 0.15% 檸檬酸到玉米-大豆粕為基礎豬隻飼料，改善離乳後仔豬的日增重，對飼料效率無影響(表 1)。Metzler and Mosenthin(2007)報告，豬隻餵飼不同有機酸提高蛋白質和能量(表 2)不同表面總腸道消化率和氮蓄積。提高有機酸用量破壞酸基的平衡、代謝酸中毒，和降低飼料採食量和生長性能。

(二)、對豬隻有益的有機酸

有機酸抗菌的活性因酸種類不同而異，和依其數量和 pH 不同而有所差別。例如乳酸對胃液 pH 值和大腸桿菌更具效果，而其他有機酸如延胡索酸和丙酸，隨著真菌和酵母而對沙門氏桿菌、大腸桿菌和傷寒沙門氏桿菌更具廣泛性抑制活動的範圍。諸多的報告指出，有機酸降低腸道內大腸桿菌叢和仔豬下痢的效果，特別是離乳後下痢的發生。

表 1、檸檬酸對離乳仔豬生長性能的影響(Suryanarayana et al., 2012)

對照組	檸檬酸	益生菌	檸檬酸(0.15%)
-----	-----	-----	------------

		(0.15%)	(0.1%)	益生菌(0.1%)
開始體重(kg)	4.20	4.87	4.78	3.57
結束體重(kg)	13.40	13.55	13.74	13.92
總增重(kg)	9.04b	12.42a	11.52a	11.99a
每日飼料採食量(g)	652.0a	628.5a	595.5b	555.0c
日增重(g)	158.5b	191.0b	185.0b	200.5a
飼料：增重	3.90	2.49	3.05	2.99

(註) 同行 abc 字母不同，表示不同處理間之差異顯著(p < 0.05)

表 2、有機酸對粗蛋白質、總能和氮蓄積表面總腸道消化率的影響(Metzler and Mosenthin, 2007)

有機酸用量	粗蛋白質		總能		氮蓄積	
	D(%)	ΔD	D(%)	ΔD	R(%)	ΔR
甲酸(1.4%)	80.6	+1.4	82.2	+0.7	48.3	+4.9
丙酸(2.7%)	80.6	+1.4	82.2	+1.6	48.3	+4.0
延胡索酸(1.8%)	80.6	-1.0	82.2	+0.7	48.3	+2.9
丁酸(1.4%)	80.2	+2.3	77.9	+1.4	-	-

相較於對照組(無添加) 的差異；+者為提昇和-者為減低。ΔD 為相較於對照組消化率(%)的改變，ΔR 為相較於對照組蓄積率(%)的改變。

(三)、微生物對酸的適應力

對酸環境的容忍度認為是許多微生物重要的存活策略。最近的發展在於瞭解這種現象，利用監管鑑定、還有結構上基因，包括特定對酸的適應機能。統一的概念是酸包圍下的微生物將面臨惡化的環境和特定、緊迫-誘發蛋白質的合成，經歷依程序所產生的分子反應。這些合成蛋白質用以保護或修正來自緊迫所引起的高分子蛋白質之損害。某些緊迫蛋白質通過一系列緊迫環境的誘導，而其他則是誘發特定緊迫的反應(Bearson et al., 1997)。依據腸道內細菌對酸的緊迫和致病能力間有相關性之存在。Kwon and Ricke (1998)建議，在宿主動物消化道或食物的短鏈脂肪酸可能提供沙門氏桿菌對酸的容忍度提高而增加病毒性。Oh (2004)研究轉糖鏈球菌(streptococcus mutants) 對酸的適應機制顯示，相對於在 pH 值 7，此一細菌在 pH 值 5 的生長環境下顯著地導致細胞膜脂肪酸組成之改變。依據這些研究，生長於較低 pH 值的酸性環境下，飽和/不飽和脂肪酸比例的轉變，改變細胞膜脂肪酸組成，這與酸的適應機能都有直接的關聯。

三、個別有機酸的營養

(一)、檸檬酸

檸檬酸(citric acid)為無色結晶，具良好的酸口味。檸檬酸相較於其他有機酸，其抗菌能力較差。添加 1.5%檸檬酸於對照組飼料並不影響腸道 pH 值，雖乳仔豬在胃、十二指腸、結腸中揮發性脂肪酸或非揮發性脂肪酸含量，或微生物群(總

厭氧菌、乳酸菌、傷寒沙門氏桿菌和大腸桿菌)含量或較低的結腸內容物(Risley et al., 1991; 1993)。此外，添加 1.5%檸檬酸並不影響仔豬離乳後大腸桿菌感染的嚴重性或下痢的發生頻率。

(二)、丙酸

丙酸(propionic acid)為一油性液態物質，具不良的惡臭味。丙酸是乳酪工場利用丙酸桿菌(propionibacterium)發酵乳液製作乳酪所產生，是細菌發酵最終的產物。利用離乳仔豬進行試驗，添加 Luprosil-NC(產品包含 53.5%丙酸) 0.3 和 1% 用量，並不影響胃和腸道 pH 值、乳酸濃度、短鏈脂肪酸濃度，但 1% 用量降低胃內大腸桿菌數，而 0.3% 用量無此反應。Sutton et al. (1991) 研究 0.25% Luprosil-NC 或 0.3% 丙酸鈉的添加對 8 週齡仔豬的胃、十二指腸、盲腸和結腸消化內容物的短鏈脂肪酸濃度、乳酸菌和大腸桿菌數。添加這些有機酸並無顯著地影響任何的測定數據。Mathew et al. (80) 添加 0.25、0.5 或 1% Luprosil-NC 到對照組飼料中，測定 8 和 12 週齡離乳仔豬胃、十二指腸、盲腸和結腸內 pH 值、大腸桿菌和乳酸菌。添加 Luprosil-NC 並不會對 8 週齡離乳仔豬有任何的影響，但 12 週齡離乳仔豬飼料添加 Luprosil-NC 飼料相較於對照組，顯示在十二指腸有較高的乳酸菌數。根據短鏈脂肪酸濃度的報告，EFSA Panel(2011)建議，丙酸最大安全用量在家禽為 10 g/kg 完全飼料而豬為 30 g/kg。換算成家禽在飲水中的用量為每公升添加 4 g 丙酸而豬為 10 g。丙酸、丙酸鈉和丙酸鈣均為歐盟所允許可應用在食物中。

(三)、延胡索酸

延胡索酸(fumaric acid) 1.5% 的添加量不影響離乳仔豬整個腸道內容物的 pH 值、揮發性脂肪酸濃度和微生物群(厭氧菌、乳酸菌、梭菌和大腸桿菌之總額)。對照組飼料添加延胡索酸，胃和空腸內延胡索酸濃度的增加，此酸並沒有影響整個消化道中乳酸菌和大腸桿菌的密度。Sutton et al. (1991) 添加 0.3% 延胡索酸鈉到對照組飼料，並未發現對短鏈脂肪酸、和整個腸道內 pH 值、大腸桿菌密度的影響。相同的研究人員亦發現，相較於對照組飼料，1% 延胡索酸的添加對 8 週齡離乳仔豬胃中大腸桿菌數有降低的效果；對揮發性脂肪酸濃度和整個腸道的乳酸菌，或十二指腸、盲腸和結腸並未發現其影響。Gedek et al. (1992) 研究證明，10 週離乳仔豬飼料 1.8% 延胡索酸的添加對十二指腸、迴腸、空腸和結腸內乳酸菌，十二指腸、迴腸和空腸內真菌(eubacteria)，十二指腸和空腸內腸球菌(enterococci) 和十二指腸內大腸桿菌有顯著地降低效果。Gabert and Sauer (1994) 飼料添加 1.5 或 3% 延胡索酸或 1% 延胡索酸鈉到迴腸開窗離乳仔豬的飼料中。此類飼料之添加對迴腸消化內容物的 pH 值沒有影響。飼料此類添加物相較於對照組，總短鏈脂肪酸濃度有較高的趨勢。

(四)、乳酸

乳酸(lactic acid)為某些飼料原料的天然成分，亦為許多細菌如乳酸菌、鏈球菌、雙歧乳酸桿菌(比菲德氏菌)等的發酵產物。添加 0.8% 乳酸到離乳仔豬飼料中能有

效地降低 8 週齡離乳仔豬的十二指腸和空腸內大腸桿菌數量。Thompson and Lawrence(1981)利用胃開窗仔豬的測定,1%乳酸到飲水中降低胃液 pH 值。進而,延緩腸毒性大腸桿菌的增生和減少動物的死亡率。乳液中添加 1%乳酸相較於正常母豬乳,導致 2 週齡離乳仔豬胃和十二指腸中大腸桿菌和乳酸桿菌數量的降低。仔豬飼料添加 0.7、1.4、或 2.8%乳酸亦顯示改變腸道特質(Maribo et al., 2000)。胃-腸道 pH 值因豬隻餵飼乳酸飼料而降低,小腸(添加 1.4%乳酸)乳酸菌密度降低和盲腸和結腸乳酸菌密度較為提昇。

(五)、甲酸(蟻酸)

甲酸(formic acid) 為一無色,透明液體,有刺激性的味道。Bolduan et al. (1988) 添加 0.35 或 1.2%甲酸到仔豬飼料中,發現經由 0.35%甲酸的添加降低仔豬胃液 pH 值而對腸道的短鏈脂肪酸濃度沒有影響。Roth et al. (1982) 餵飼添加 0.6、1.2、1.8 或 2.4%甲酸到離乳仔豬飼料,進行胃、小腸、盲腸至結腸的消化內容物的分析。甲酸添加導致小腸、盲腸至結腸的消化內容物有較高 pH 值。進而,相較於豬隻餵飼對照組飼料,添加甲酸導致小腸內乳酸濃度的提高和結腸內短鏈脂肪酸濃度的降低。利用離乳仔豬進行相同的試驗,Gedek et al. (1992) 發現,相較於對照組,飼料添加甲酸導致十二指腸內大腸桿菌數量的增加(1.8%甲酸添加)和盲腸和結腸內乳酸量的降低,和盲腸內真菌數的降低。

Maribo et al. (2000)餵飼 0.7 或 1.4%甲酸添加飼料,相較於對照組,添加 1.4%甲酸導致胃、盲腸和結腸腸內 pH 值、小腸內乳酸量的降低,和結腸內乳酸量的提高。相較於對照組,添加甲酸導致胃內甲酸濃度、小腸內醋酸量、盲腸和空腸內醋酸和丙酸量的增加。進而,相較於對照組,小腸末端和盲腸內乳酸量的降低,和胃內大腸桿菌量的減少(0.7%甲酸的添加),和整個腸道內酵母菌的降低。添加二甲酸鉀 1.8%到離乳仔豬飼料並不影響整個消化道的 pH 值,但提高胃和小腸內甲酸量。整個消化道的總厭氧菌、乳酸菌、梭菌和酵母菌量的降低。經統計分析,腸內大腸桿菌數並未顯著地降低(Ganibe et al., 2001)。利用相同劑量 1.2%甲酸的添加,Overland et al. (2000)發現甲酸降低生長肥育豬在十二指腸、空腸和直腸內大腸桿菌量的效果。另一方面,Mroz et al. (2001)餵飼添加二甲酸鉀 0.9 和 1.8%飼料後 65 小時發現,十二指腸消化內容物 pH 值的降低。仔豬餵飼添加二甲酸鉀 0.9 或 1.8%飼料發現,降低胃液 pH 值、大腸桿菌和鏈球菌數量,和結腸大腸桿菌量的降低。但不影響整個消化道乳酸菌的數量。

(六)、安息香酸(苯甲酸)

安息香酸(benzoic acid)尚未批准作為飼料添加物或保鮮劑之用,但其顯著地降低整個消化道乳酸菌和酵母菌的數量(Maribo et al., 2000)。安息香酸能在胃中檢測出相當的數量和在小腸內數量較少,此顯示安息香酸較其他有機酸的代謝速率慢。

四、結論

現代畜牧生產事業面對提高動物產品品質的要求，和消費者顧及動物和人類健康二者之間的爭論。有機酸和其鹽類證明有作為離乳仔豬、生長肥育豬和懷孕母豬之生長促進劑的潛能。有機酸和其鹽類能與其他的添加物安全和有效的使用，飼料工場、動物生產者和消費大眾較樂於接受。有機酸主要的作用模式是其抗菌效果，其抗菌強度依據個別有機酸和其鹽類的化學性質而異。某些調查顯示，有機酸有強化殺菌的效果，不會顯著地降低消化道的 pH 值。有機酸特別是丁酸鹽和丙酸鹽亦有刺激胰蛋白酶分泌的作用。但有機酸確實的作用模式尚在瞭解中，特別是其作用在不同胃-腸道的部分仍不清楚。在果殼有機酸能刺激胰蛋白酶的分泌，降低胃液的 pH 值、抑制病原菌，在胃-腸道中間代謝之作用如同一能量的來源；有機酸經由螯合過程中改善礦物質的利用，提高表面總腸道的消化率，和提昇豬隻生產性能。

(擇自 *Journal of Animal Science and Biotechnology*, October 2015；如需要參考文獻可上網 <http://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40104-0150042-z>)