

有機酸和乳酸菌之相互關係

林志勳

台灣動物科技研究所 副研究員兼組長

在經濟動物中限制使用抗生素和藥物，為世界畜牧生產的趨勢。因此，尋求抗生素使用的替代方式，如有機酸的利用乃是值得探討之方向。何況人類使用有機酸來保存飼料已有數世紀的歷史，有機酸可以防止飼料受到微生物和真菌所造成的腐敗或污染，或者是增加發酵類飼料之保存效果，例如青貯飼料。甲酸和丙酸尤其被廣泛使用於此。

常用於飼料添加物的有機酸有延胡索酸(fumaric acid)、檸檬酸(citric acid)、乙酸(acetic acid)甲酸(formic acid)、乳酸(lactic acid)、丙酸(propionic acid)等，種類不同，其特性也有差異。檸檬酸、延胡索酸有較高的分子量及酸離子係數，而檸檬酸可溶性較延胡索酸高，其他的酸如乙酸、丙酸、乳酸分子量均較低，可溶性也較低。

在豬隻實驗中，有機酸如檸檬酸、延胡索酸、甲酸和丙酸，都會影響豬隻之生長性能。研究報告指出：有機酸對營養的影響，在剛離乳的小豬身上最為明顯。離乳豬常因為消化道受到大腸桿菌感染而腹瀉導致生病，一些因素也會使離乳豬生病，例如鹽酸和消化酵素的分泌不足，和餵食高蛋白飼料，都是造成離乳豬種種問題的原因。酸性的陰離子已知會與鈣、

磷、鎂、鋅複合，使這些物質產生更佳的消化力。故採用有機酸可增加胃的酸度，刺激胰臟酵素分泌，腸上皮細胞分化發育和其代謝吸收，改善營養分消化與蓄積，進而提高動物之生長。另外，飼料添加有機酸是為了抑制腸道細菌跟宿主競爭有用的營養物，減少可能有毒的細菌代謝物(氨和胺)，及抑制飼料和腸胃道中可能的病原菌之生長，例如大腸桿菌和沙門氏菌，所以能改善動物的健康。

乳酸菌依代謝途徑及其最終產物之不同，可分為同型乳酸發酵(homofermentation)和異型乳酸發酵(heterofermentation)二類。同型發酵乳酸菌之葡萄糖代謝以乳酸為主要最終產物；異型發酵乳酸菌在代謝葡萄糖後，除了乳酸外同時會產生二氧化碳及酒精。乳酸菌在發酵時可進行同型及異型發酵，但是進行異型發酵時則無法分解檸檬酸。

有機酸如同中間代謝反應的基質，所以乳酸菌也可分解有機酸，例如蘋果酸、丙酮酸(pyruvic acid)、延胡索酸、酒石酸(tartaric acid)和檸檬酸，但是也有部份有機酸不能被乳酸菌分解，如琥珀酸(succinic acid)、戊二酸鹽(glutarate)和 2-酮戊二酸(2-oxo-glutarate)。另外，乳酸菌會分解延胡索酸、蘋果酸、檸檬酸且產生琥珀酸。乳酸菌發酵過程中，檸檬酸是個高度氧化的物質，可分解為二乙醃(diacetyl)和乙醛(acetaldehyde)。另外，乳酸菌在發酵過程可應用檸檬酸為電子接受者，則在乳酸同時存在下，可產生醋酸、甲酸、琥珀酸及二氧化碳產物。兼性型異型發酵乳酸桿菌在葡萄糖含量有

限時醱酵會產生乳酸、醋酸、乙二醇(ethylene glycol)和甲酸。枯草桿菌則可以透過核酮糖磷酸鹽途徑(ribulose Monophosphate Pathway)利用乳酸菌所產生的甲酸。

有機酸的抗菌能力與其 pH 值的高低和解離能力有關，解離能力是由個別酸的 pKa 值和周圍環境的 pH 值來決定的。pH 值愈低，則抗菌能力就會愈高。有機酸在未解離狀態下是脂溶性的，因此可進入微生物細胞內，其輸送機制與細菌細胞膜運輸有關。有機酸一旦進入細胞內，其羧酸基(-COOH)，將會釋放氫離子至鹼性的環境中，導致細胞內的 pH 值降低，抑制了細菌代謝中重要的酵素作用，並迫使細菌細胞用能量去釋放更多的氫離子，導致細胞內酸性陰離子的累積，此累積物只能依賴 pH 梯度來穿過細胞膜排出。有機酸和其鹽類的抗菌效果似乎與酸性陰離子有著重要關聯性。許多研究顯示，有機酸在腸道中，pH 值並無明顯減少，就有很好的殺菌效果。

有機酸在 100mM (pH 4.5)時對大腸菌屬有生長的抑制效果，其順序為苯甲酸(benzoic acid)>延胡索酸>乳酸>丁酸(butyric acid)>甲酸>丙酸。但在 pH 5.5 時則上述有機酸只剩 3 種有抑制效果，如苯甲酸>甲酸>丁酸。有機酸對大腸桿菌 O157:H7 抗菌作用之順序為乙酸>乳酸>檸檬酸>蘋果酸(malic acid)，以及對沙門氏桿菌抗菌作用之順序為苯甲酸>己二烯酸(sorbic acid)>乳酸>丙酸>甲酸>乙酸。

有機酸不僅作用於病原菌，對有益菌也有調控作用。例如有機酸對枯草桿菌的最小抑制濃度(g/L)在甲酸為 2.2-1.7、延胡索酸為 42.4-50.0、檸檬酸為 3.68-26.1、乳酸為 3.48-8.32、醋酸為 2.02-0.105 和丁酸為 0.959-0.096。而對乳酸桿菌的最小抑制濃度(g/L)則甲酸 26.0，延胡索酸 35.6，檸檬酸 15.8-26.1 和乳酸 25.3-30.7。研究報告顯示，肥育豬飼料中添加數種混合的有機酸或單獨的延胡索酸，則在混合的有機酸組中採集的糞便及腸道內容物與對照組無明顯差別，但是在單獨的延胡索酸組則減少糞便中大腸菌與乳酸桿菌，並且減少盲腸和結腸中的乳酸桿菌。故延胡索酸添加在飼料中會抑制腸道乳酸桿菌之生長。

一般而言，乳酸菌可以在 pH 相當低的環境下生長，表示乳酸菌比大腸桿菌等更能耐受有機酸，因為乳酸菌可以代謝分解部分有機酸，且其細胞內含有高濃度的鉀離子，也可以中和有機酸。通常提高有機酸濃度或是增加碳鏈長度，其殺菌效果更佳；然而，乳酸菌會將中長鏈的有機酸吸收代謝。通常，有機酸少於 8 個碳原子對革蘭氏陰性菌制菌效果較佳，脂肪酸鏈長及分子較具親脂性之有機酸對革蘭氏陽性菌制菌效果較佳。此外，生長力強的細菌對於有機酸較芽孢形式之菌體為敏感。

有機酸在飼料或是動物腸胃道中都能發揮其殺菌效果。飼料中添加的有機酸只能於豬的腸胃道近端的部位被吸收。有機酸的 pH 值和殺菌能力在胃和小腸最好。病原菌(沙門氏菌)透過飼料而進入動物的腸胃道裡，則動物

要對抗病原菌的感染，須視飼料中微生物組成和 pH 值。例如，飼料中有大量的乳酸菌和 pH 值低，則會降低飼料中沙門氏菌的發生。

飼料中有機酸之抗菌效果主要在消化道的上部。高濃度的甲酸與丙酸混合加入飼料後，經採食則飼料中的酸可能主要應用於消化道上部，而當飼料到達消化道下部和盲腸後，丙酸可能已被吸收或分解所剩無幾了。

有機酸在豬的體內和體外均具有抑制革蘭氏陰性病原菌如大腸桿菌的生長。這種抑制作用可能部分是因為 pH 值的效用，干擾細菌生理作用而有抗菌作用。例如，大腸桿菌在 pH 值為 8 時生長得很好，因此降低 pH 值將會抑制其生長，一旦 pH 值降至 4.5 則會產生抑菌作用。但是益生菌能代謝分解有機酸，如乳酸桿菌能分解延胡索酸和檸檬酸，而枯草桿菌能分解甲酸。故有機酸和益生菌共同使用時必須注意其特性和含量以免在動物體內或飼料液體(固體)發酵時產生互相抵消作用而喪失其應有的效果。