

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 應用核磁共振影像探討蔬果內部之物化性質 ( 3/3 )

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2313-B-002-017-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物產業機電工程學系暨研究所

計畫主持人：林達德

計畫參與人員：林達德，錢中方，吳可涵，鄭宇哲，李杰浩

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 18 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 應用核磁共振影像探討蔬果內部之物化性質(3/3)

### Assessment of Internal Physicochemical Properties of Selected Vegetables and Fruits Using Magnetic Resonance Imaging (III)

計畫編號：NSC 92-2313-B-002-017

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：林達德 國立臺灣大學生物產業機電工程學系

#### 一、中文摘要

本三年計畫的第三年度成果報告如下所述：(1)針對核磁共振影像測試了四種影像二分化方法的處理效果，所估算得之水果內部損傷體積分別與人工判斷影像分割所得之結果進行比較。(2)應用化學位移影像探討香蕉在後熟過程中內部性質的關聯性，並找出香蕉在後熟過程中內部的水份及糖分之轉變。四種自動二分化方法分別為：Ridler & Calvard法、Kapur et al.法、保矩法、和Otsu法。四種方法中除了Kapur et al.法較不適用外，其他三種方法均可以適用於影像分割的二分化處理，而三種方法中又以保矩法之效能較好。而在香蕉內部物化性質的分析上則可藉由化學位移影像明顯看出內部水分及糖分含量之變化趨勢及空間分佈情形，同時也發展出一套展示特定成分空間分佈的頻譜分析與影像處理方法。

**關鍵字：**核磁共振影像、自動二分化、化學位移影像

#### Abstract

The achievements in the third year of this 3-year-project were: (1) Four unsupervised thresholding scheme for magnetic resonance images were tested and evaluated by comparing the estimated bruise volumes with the manually estimated bruise volume of selected fruits. (2) Investigation of changes of internal physicochemical properties of banana such as water and sugar content

changes during ripening process using the established MR-CSI technique. In this study, four unsupervised thresholding methods including Ridler and Calvard method, Kapur et al. method, moment preserving method, and Otsu method were used to segment the bruise region of selected fruits in the MR images. Judging from estimation errors and the stability index of each method, the Kapur et al. method appeared to be not suitable for bruise region segmentation. The other three thresholding methods were all appropriate for bruise region segmentation. The moment preserving method worked best among the three methods. As for the analyses of internal properties of banana, both the spatial and temporal changes of water and sugar content can be observed clearly by chemical shift MR imaging. Software algorithms for spectroscopic and image analyses were also developed to visualized spatial distribution of water and sugar contents in the MR images.

**Keywords:** Magnetic resonance image, Automatic threshold, Chemical shift imaging

#### 二、緣由與目的

水果為一般民眾日常生活中所必須之民生用品，通常在選購時較為注重的品質指標為外觀及其內部質地和甜度、酸度等。而水果在採收與儲運過程中，由於外部碰撞之影響，常會造成表面或內部之損傷而影響到水果之品質。因此在許多探討水果組織力學性質，以及改善蔬果收穫與

儲運技術的研究中，需要量測水果因為不同程度或不同方式碰撞而產生的損傷範圍、形狀或體積(Mohsenin, 1984)。水果外觀上的損傷可以透過目測或是影像處理等非破壞性檢測的方法加以偵測，而對於內部損傷的檢測，傳統上則多是採取破壞性的方法，以解剖水果或切片檢視水果內部損傷的部位，再以近似的幾何形狀來歸納分析損傷部位的性狀(Bollen et al., 1999)。至於內部化學性質的量測，則更是得仰賴傳統的化學分析方法才能作為數量化的描述。

近年來，核磁共振影像與 X 光技術的發展，為水果內部性狀的檢測提供了更有效的方法，這些方法不僅可以非破壞性地偵測水果內部的損傷，使研究工作者得以連續觀察同一顆水果內部的損傷變化，對於損傷區域的判別也更為精確與客觀(McCarthy et al., 1995)。而近一步利用化學位移影像同時兼具磁振造影的解剖影像性質及磁振頻譜的化學成份分析性質，也就是在掃描樣本的時候可同時獲得樣本的空間及化學性質，則可用來分析待測水果內部各種物化性質的空間分佈。

本年度研究內容延續前兩年度的計畫以應用 MRI 成像技術量測水果內部損傷體積為主，研究目的有以下二項：(1)比較分析影像分割方法中所採用的影像二元化演算法之優劣並建立指標以評估其適用性。(2)應用化學位移影像探討香蕉在後熟過程中內部的水份及糖分之轉變。

### 三、研究設備與方法

在本研究中水果內部損傷影像是以磁振造影技術來擷取，所使用的儀器為設置於台灣大學電機系核磁共振影像光譜實驗室之 Bruker 3T MedSpec 磁振造影儀，射頻線圈和梯度線圈分別為 mini 射頻線圈和 mini 梯度線圈，實驗時水果置於射頻線圈中進行掃描取像。所挑選的實驗材料為市售之美國進口加州李和國產水蜜桃。產生不同程度水果內部損傷的方法，是採用自由落體的方式，在不同的高度釋放水果樣

本掉落，藉由落地的撞擊造成水果樣本內部的損傷，水果落地的高度以及掉落過程採用高速攝錄影機(NAC HSV-1000)以每秒 500 張影像的速度予以記錄(鄭, 2002)。水果於落地撞擊後，於室溫下等待三小時再進行磁振造影之影像擷取實驗，經過掃描後之水果再解剖觀察損傷褐化之部位(Mattus et al., 1959)。

### 自動二元化演算法

為了將水果的損傷部位由核磁共振影像中分割出來，在本研究中所發展的影像分割方法中，我們挑選了四種較為常用的非監督式(unsupervised)二元化演算法進行測試，以損傷體積的估算以及方法的穩定性來比較其適用性。所測試的四種方法分別為：Ridler & Calvard 法、Kapur et al.法(Kapur et al., 1985)、保矩法(moment preserving method) (Tsai, 1985)和 Otsu 法(Otsu, 1979)。

### 化學位移影像

由於不同原子核的化學位移相差不大，有時會發生共振吸收頻率飄移的現象，因此化學位移並不能直接精確量測，一般是以相對值表示，而在本實驗中，是針對不同化合物與水的化學位移差值所產生的頻譜進行分析。由於磁振頻譜對水份極為敏感，所以當實驗樣本中含有水份時，其頻譜會在水的頻率上有極大的強度出現，因此壓抑到其他化合物訊號的表現。所以在取得化學位移影像的同時，需進行 water suppression 的動作，適度地壓抑水份的訊號，可使其他物質的訊號較易於在頻譜上分析。

### 四、結果與討論

#### (一)自動二元化影像之比較

圖 1A 為一個加州李之磁振影像切面，左側較明亮之部位為損傷區域。圖 1B 為將損傷區域放大的影像，以提供較詳細的損傷區域與正常果肉之對照，由影像中可以觀察到有部分區域，尤其是在損傷區域外圍，正常果肉與損傷區域之區分並不明

顯。圖 1C 至 1F 為使用四種自動二元化演算法對整張影像進行處理所得到的結果，由圖 1C 中可以看到，當我們使用整張影像來做二元化處理時，Ridler & Calvard 法無法正確分割出損傷區域，反而約略分割出整個水果的範圍；Kapur et al.法可較清楚地將損傷部份分離，但仍有部份所分割出來的區域為正常果肉；保矩法與 Otsu 法的效果比 Ridler & Calvard 法好，但其在正常果肉和損傷部份卻未能夠完全地分離。以整張影像進行二元化處理的結果並不理想，主要原因為全張影像之灰階統計直方圖並非雙峯形態，而是約略分為近黑色背景、正常果肉與損傷區域三個灰階聚落，因此二元化處理不易找到適當的閾值。為解決這個問題，應該使得所處理的影像範圍之灰階統計直方圖符合雙峯形態之基本假設，如此自動二元化演算法才能適用分割出前景與背景。圖 1G 至 1J 所列為設定限制處理範圍後再進行自動二元化所得到的結果。對照圖 1B 之損傷區域影像，此結果顯示四種二元化演算法，均能順利將損傷區域分割出來，唯在損傷區域邊緣界定

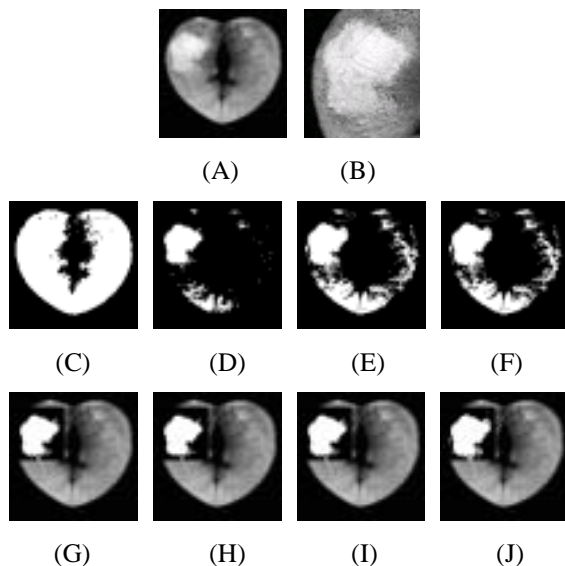


圖 1 加州李二元化影像處理方法之比較：(A)原始影像，(B)損傷區域影像放大，(C)~(F)分別為 Ridler & Calvard 法、Kapur et al.法、保矩法和 Otsu 法四種方法對整張影像進行處理所得之二元化影像，(G)~(J)分別為上述四種方法加上設定處理範圍再進行處理之二元化影像

了比較四種自動二元化演算法在分割損傷區域上的效能，我們需要進一步從損傷體積的估算，以及自動二元化演算法正確處理影像的穩定性來進行量化分析。

### 與人工判斷體積之比較

圖 2 至圖 5 是以加州李的磁振影像分別就四種影像自動二元化演算法所估算的體積跟人工判斷之損傷體積做比較，在這四張圖中，橫軸為人工判斷之損傷體積，縱軸則是自動二元化演算法所求出之損傷體積。表 1 所列則是以人工判斷所得之體積為基準，分析四種自動二元化演算法處理後所估算體積之相對誤差、均方根誤差及圖 2 至圖 5 中線性迴歸線之  $R^2$ 、斜率(m)、截距(C)。比較四者之均方根誤差，可以發現保矩法之均方根誤差最低，其值為  $332 \text{ mm}^3$ ，而 Kapur et al.法則是均方根誤差最大者，其值為  $705 \text{ mm}^3$ 。而就相對誤差而言，除了 Kapur et al.法的相對誤差為  $20.2 \pm 27.3\%$ ，其他三種方法的平均相對誤差均在 10%左右。由估算誤差來比較四種方法，Kapur et al.法的誤差偏高，顯示此二元化演算法較不適用。若同時對照圖 2 至圖 5 中的線性迴歸線，四種方法的  $R^2$  值，除 Kapur et al.法較低外，其他三種方法的  $R^2$  值均達 0.98 以上，顯示此三種自動二元化演算法所切割出來的損傷邊界與人工判斷的範圍有相當高的一致性。然而觀察各迴歸線的斜率值介於 0.84 至 0.90 之間，此顯示此四種自動二元化演算法均傾向於低估損傷體積。綜合表 1 中的結果，以保矩法對加州李磁振影像的體積估算最為理想。同樣地，四種二元化演算法應用於水蜜桃磁振影像損傷體積的估算，其相對誤差均顯著較大，Kapur et al.法的相對誤差達  $26.4 \pm 25.3\%$ ，最低的 Ridler & Calvard 法其相對誤差為  $14.8 \pm 14.0\%$ 。

表 1 加州李損傷體積之比較

	m	C	$R^2$	相對誤差 (%)	均方根誤差 ( $\text{mm}^3$ )
Ridler & Calvard 法	0.84	465	0.99	$10.0 \pm 10.6$	392
Kapur et al.法	0.86	558	0.89	$20.2 \pm 27.3$	705
保矩法	0.90	458	0.98	$12.4 \pm 16.4$	332
Otsu 法	0.84	392	0.99	$9.4 \pm 9.6$	431

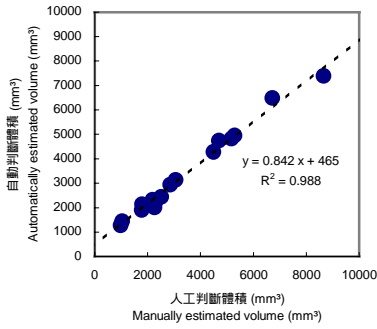


圖 2 以 Ridler & Calvard 法估算加州李之損傷體積與人工判斷損傷體積之比較

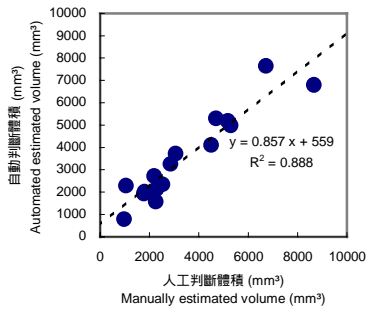


圖 3 以 Kapur et al. 法估算加州李之損傷體積與人工判斷損傷體積之比較

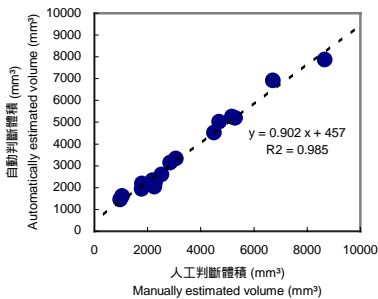


圖 4 以保矩法估算加州李之損傷體積與人工判斷損傷體積之比較

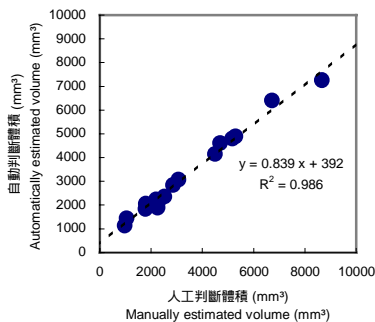
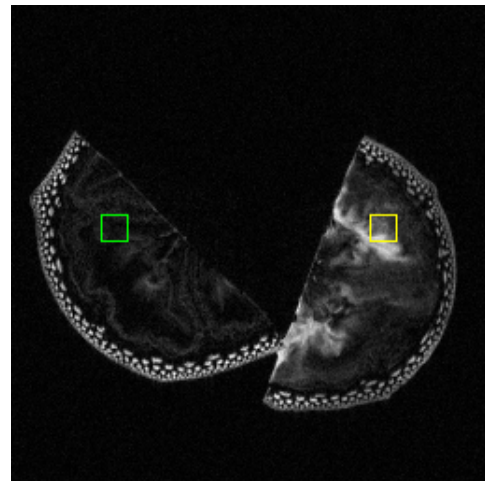


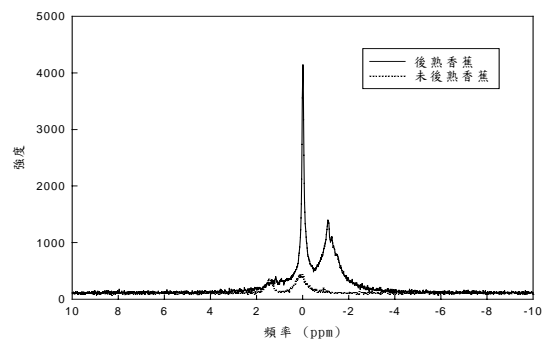
圖 5 以 Otsu 法估算加州李之損傷體積與人工判斷損傷體積之比較

## (二) 磁振化學位移影像

圖 6 展現了後熟前與後熟後香蕉的磁振頻譜及磁振影像，圖 6A 的左方為未經過後熟的香蕉，右方為經過後熟的香蕉。在實驗中，擷取兩種時期的香蕉果肉的化學位移頻譜進行比較，如圖 6A 中方框所標示的位置，其磁振頻譜如圖 6B 所示。在圖 6B 的磁振頻譜中可以看到，同樣在 0 ppm 處，後熟香蕉果肉的訊號強度較未後熟香蕉強得許多，而在此處的訊號主要仍是以水份為主。所以可說後熟香蕉會較未後熟香蕉的水份為多。同樣的可以看到在 -1 ppm 至 -2 ppm 間，後熟香蕉有一頻譜波峯，此化學位移對應於醣類的化學位移，顯示香蕉經過後熟過程醣類有顯著增加。由於化學位移影像中每個空間位置均可以分析其頻譜，因此化學位移磁振影像所提供的資訊相當豐富，非常適合應用於水果生理特性的研究。



(A)



(B)

圖 6 香蕉之(A)核磁共振影像與(B)後熟前後的化學位移頻譜比較。

## 五、計畫成果自評

本研究依預定目標成功地建立以核磁共振影像計算水果內部損傷體積之方法。研究過程中主要得到的結論有如下幾項：

- 1.以人工判斷之損傷區域為比較基準，分析加州李的磁共振影像，實驗結果顯示，四種分割方法對損傷體積估算平均相對誤差介於9.4~20.2%之間。四種方法中除了 Kaper et al.法因為誤差較大與較不具穩定度而不適用外，其他三種方法均可以適用於影像分割的二元化處理，此三種方法的體積估算誤差接近，但均有低估損傷體積的傾向，若考慮此點因素，則三種方法中以保矩法的表現最佳。利用本研究所發展的影像分割方法進行水果內部損傷區域的分析，除了可以較客觀地進行水果內部損傷體積的估算，減少人工處理影像之時間。
- 2.透過化學位移影像可以明顯地看出香蕉在後熟過程中，果肉中水份與醣類在後熟階段後有大量增加的趨勢。化學位移磁共振影像除了提供頻譜資訊以外亦提供測試對象內部物化特性的空間分佈特性，非常適合應用於生物體的非破壞性分析。在本研究中我們成功地建立的影像資料擷取的程序與後續頻譜與影像分析的方法與軟體，未來將可有效地應用於生物體的生理研究。

本研究所得到的結果目前已發表會議論文三篇與期刊論文一篇。

## 六、參考文獻

- [1] 鄭宇哲。2002。應用核磁共振影像探討水果內部損傷。碩士論文。台北：國立台灣大學生物產業機電工程學研究所。
- [2] Mattus, G. E., L. E. Scott and L. L. Claypool. 1959. Brown spot of Bartlett pears. *California Agriculture* 13(7): 8, 13.
- [3] Ridler, T. W. and S. Calvard. 1978. Picture thresholding using an iterative selection method. *IEEE Transactions on System, man, and cybernetics* 8(8): 630-632.
- [4] Otsu, N. 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE*

- transactions on Systems, man and cybernetics.* 9(1): 62-66
- [5] Mohsenin, N. N. 1984. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, 2<sup>nd</sup> ed. New York: Gordon & Breach Science Publishers.
- [6] Kapur, J. N., P. K. Sahoo and A. K. C. Wong. 1985. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 29: 273-285.
- [7] Tasi, W. H. 1985. Moment-preserving thresholding: a new approach. *Computer Vision Graphics, and Image Processing* 29: 377-393.
- [8] McCarthy, M. J., B. Zion, P. Chen, S. Ablett, A. H. Darke and P. J. Lillford. 1995. Diamagnetic susceptibility changes in apple tissue after bruising. *J. Sci. Food Agric.* 67: 13-20.
- [9] Bollen A. F., H. X. Nguyen and B. T. D. Rue. 1999. Comparison of methods for estimating the bruise volume of apples. *J. Agric. Engng Res.* 74: 325-330.