

## 為何日本職人磨山藥泥不手癢？ 解析山藥減癢之科學

作物改良科 助理研究員 任珮君、林宜樺、葉永銘 分機 253、236、225

去日本旅遊時，最難忘的滋味莫過於那一碗山藥泥飯（とろろご飯, Tororo Gohan）（圖1）。看著職人俐落地將山藥研磨成細緻如雪的泥狀，拌入醇厚的醬油及柴魚昆布高湯，淋在熱騰騰的白飯上，最後綴以蔥花、海苔、芥末，加上一顆飽滿的生雞蛋蛋黃。那種滑順、清甜且富有層次的口感，總讓人回味再三。旅程結束回到臺灣後，許多人為了重現這份熟悉的滋味，想嘗試自己動手製作，特地去市場挑選了一根上好的山藥，照著料理店老闆的動作，依樣畫葫蘆地削去山藥外皮準備研磨，發現接觸去皮山藥的手部逐漸發癢，這個癢感維持了好一陣子。一樣的處理方式，為什麼餐廳的職人處理時這麼優雅且自如？

### 是什麼原因引發手部發癢？

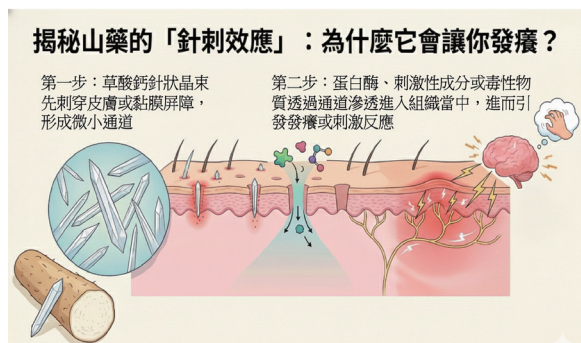
接觸生鮮削皮山藥出現的發癢不適感



▲圖 1. 山藥泥飯質地滑順、清甜且富有層次。

源自於物理性刺激，其關鍵原因與山藥組織中的草酸鈣（Calcium Oxalate）、蛋白酶及刺激性成分有關。草酸鈣廣泛存在於許多植物的組織當中，例如葉、塊莖、根及果實，以不同的結晶型態存在，例如簇晶（Druses）、稜柱狀晶（Prismatic crystals）、晶砂（Crystal sand）、針狀晶束（Raphides）及柱狀晶（Styloids）等。其中，唯有針狀晶束與發癢或刺激呈正相關。

這是因為針狀晶束具有細長且兩端極為尖銳的結構，能刺穿動物皮膚或黏膜等物理屏障，造成細微的損傷。然而，草酸鈣針狀晶束並無法單獨造成刺激，需要協同其他防禦因子（例如蛋白酶、刺激性成分或毒性物質）一同作用。具體而言就是，針狀晶束先刺穿皮膚或黏膜屏障，形成微小通道，蛋白酶、刺激性成分或毒性物質透過通道滲透進入組織當中，進而引發發癢或刺激反應（圖2）。科學家認為這



▲圖 2. 「針狀晶束－酵素協同假說」原理。

是植物為了抵禦植食性動物所演化出的防禦機制，稱之「針狀晶束-酵素協同假說」( Synergistic Hypothesis of Raphides and Enzymes ) ( Konno *et al.*, 2014; Okoli & Green, 1987; Raman *et al.*, 2014 )。

### (一) 山藥的草酸鈣「埋伏」在哪裡？

山藥塊莖草酸鈣呈現細長、兩端極度尖銳晶束，主要分布於兩處：

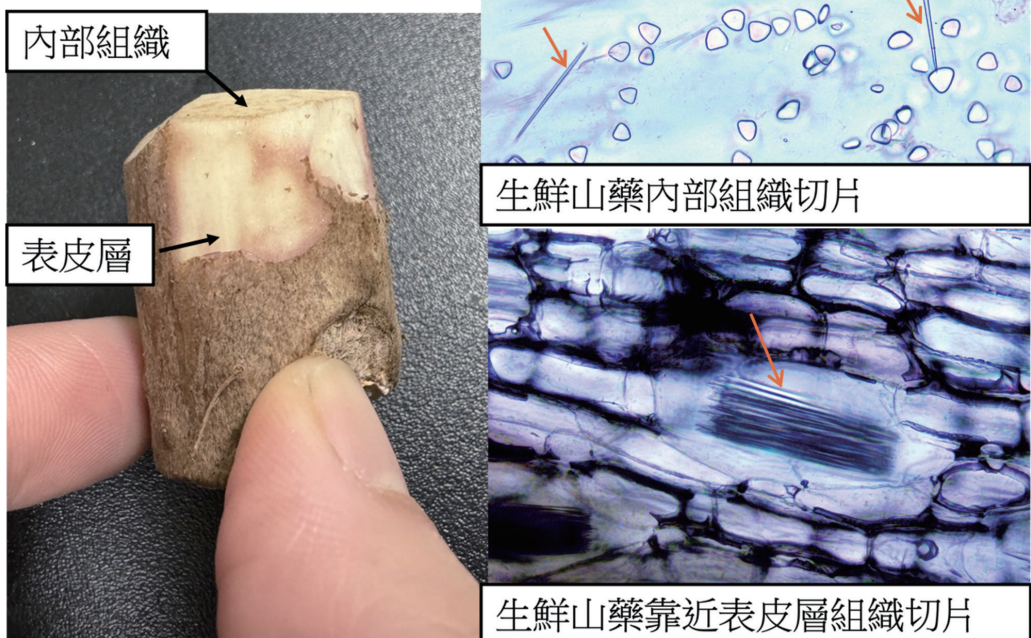
#### 1. 表皮層及含有澱粉顆粒的薄壁組織之間

此區域的草酸鈣針狀晶束體積明顯較大，是造成手部發癢的主要致癢因子，是由140根到250根針狀晶體組成的，單根針狀晶體長度約125微米至165微米、直徑約1.5微米至5.8微米，聚集後形成直徑約29微米至65微米的晶束，體積明顯大於一般澱粉顆粒的尺寸( 16.8微米至18.6微米 )。當我們削皮或切開山藥時，這些針

狀晶束會隨著山藥黏液一同釋出，對接觸的皮膚進行「萬針齊發」的穿刺，引發明顯的刺癢感( 圖3 )。

#### 2. 澱粉粒內晶體

另一類草酸鈣晶體則存在於澱粉粒內部，其大小與形狀變化較大，例如針狀晶束、晶砂狀、可單獨存在或不規則聚集，長度約2微米至30微米，主要位於澱粉粒臍點( Hilar region )。臍點( Hilum )為澱粉粒的發育核心，是最早開始沉積澱粉的位置，直鏈與支鏈澱粉由此處由內向外逐層堆積，形成生長環( Growth rings )，最終構成立體的澱粉顆粒結構。然而，並非所有澱粉粒均含晶體，科學家認為這是一種



▲ 圖 3. 不同部位山藥組織切片 (於顯微鏡 200x 觀察，草酸鈣針狀晶束體如箭頭所示)。

植物儲存草酸或鈣離子的形式，而非澱粉合成必要結構。此區晶體因被澱粉包裹，不易接觸皮膚，致癢機會較低。

## （二）發癢的主因：刺激性蛋白酶

除了草酸鈣針狀晶束的物理穿刺作用外，刺激性蛋白酶（例如半胱氨酸蛋白酶，**Cysteine proteases**）被認為是山藥引發致癢關鍵因子之一，這類蛋白酶可透過草酸鈣針狀晶束所形成的微小通道滲入皮膚或黏膜組織，破壞皮膚或黏膜表層蛋白質，促進發炎介質的釋放，並刺激感覺神經末梢，引發一連串局部反應，包括微血管擴張（出現紅斑）、血管通透性增加（造成局部腫脹），以及神經末梢敏感度提升，使原本的刺痛感進一步轉化為發癢與灼熱感。由於大部分的蛋白質具熱不穩定性，可以透過加熱處理使蛋白酶變性而失去活性，因此即便草酸鈣針狀晶束結構仍然存在，只要蛋白酶失去功能性，其致癢效果便會大幅降低。這也合理解釋了為什麼煮熟的山藥較不易引發刺激感，而生鮮山藥則容易造成發癢（圖4）。

## 如何減少發癢的感受？

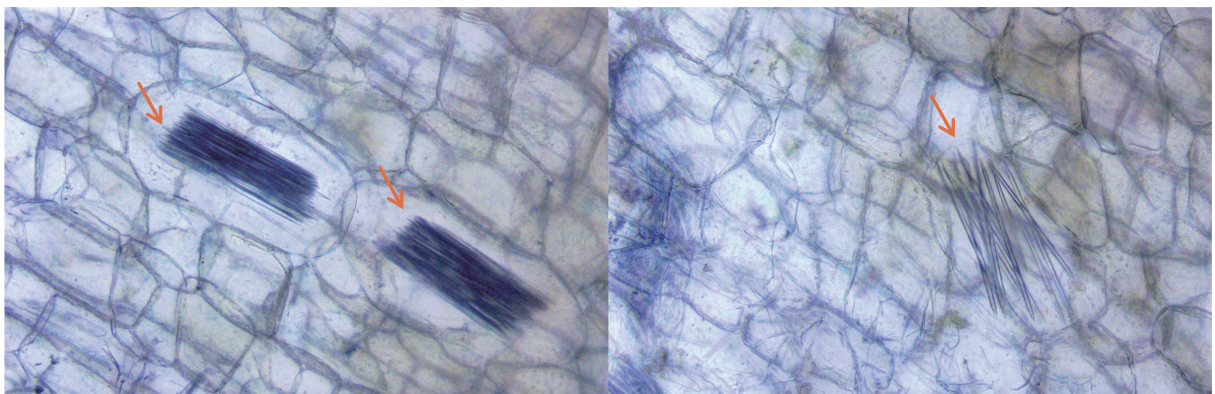
了解「針狀晶束-酵素協同假說」後，我們便能明白，要解決發癢問題，必須同時從物理阻斷及蛋白質失活兩方面著手。觀察日式料理店師傅處理生鮮山藥的過程，我們可以歸納出以下三種極具科學根據的減癢方法（圖5）：

### （一）選擇草酸鈣針狀晶束較少的品種

全球已知山藥屬品種超過600多種，但真正被馴化並作為主要經濟作物的僅約10種（Obidiegwu *et al.*, 2020）。日本人在製作生食山藥泥，通常會選擇草酸鈣針狀晶束含量低、晶體長度較短之品種，例如日本長芋（Nagaimo，日文長いも，學名*Dioscorea polystachya*或*Dioscorea opposita*變種）及自然薯（Tsukuneimo，日文じねんじょ，學名*Dioscorea japonica*）進行製作，並在磨碎前先去山藥外皮，使草酸鈣針狀晶隨著黏液釋出，進而降低刺激風險。

### （二）使蛋白酶失去功能性

山藥中的刺激性來自蛋白酶，蛋白酶



煮熟山藥靠近表皮層組織切片

煮熟山藥內部組織切片

▲圖4. 加熱處理不會破壞草酸鈣針狀晶束體（於顯微鏡 200x 觀察，草酸鈣針狀晶束體如箭頭所示）。

是由特定氨基酸序列組成，摺疊成特定3D立體結構，形成具特定功能的蛋白質。一旦結構遭破壞，蛋白酶便失去活性，無法刺激產生癢感。因此，可透過不同的加工方式，改變蛋白酶的結構以抑制其功能。

### 1.調整酸鹼值：

山藥本身的環境接近中性（pH 6.0~7.0）。蛋白質為兩性分子，同時含有帶正電的胺基（ $-\text{NH}^{3+}$ ）及帶負電的羧基（ $-\text{COO}^-$ ），其淨電荷會隨環境pH值改變而變化。當我們使用食用醋或檸檬汁浸泡削皮後的山藥，酸性環境會使改變蛋白質分子間電荷平衡，分子間排斥力降低，進而導致結構不穩定，使酵素活性下降。

### 2.添加食鹽：

食鹽溶於水後會解離成鈉離子（ $\text{Na}^+$ ）及氯離子（ $\text{Cl}^-$ ）。高濃度的鹽離子會搶奪蛋白質表面的水合層，使原本包覆於蛋白質內部的疏水性官能基暴露，導致蛋白質結構改變，失去既有的功能性結構。

### 3.加熱：

是上述方法中最有效且顯著的方法，加熱所產生的熱能會破壞蛋白質分子內鍵結，使得蛋白質結構展開，形成不規則的線性結構，導致蛋白酶發生不可逆的變性反應，而失去原有的生物活性。

### （三）搭配其他食材進行稀釋及包覆

日式料理鮮少直接生啃塊莖，會透過研磨處理改變其物理型態：將成束的草酸鈣針狀晶束打散成零星單根結晶，降低穿刺力。研磨後的山藥會釋放大量澱粉與多醣體，這些黏滑成分會如同緩衝墊般包覆住細微晶體，使它們難以接觸並刺穿口腔黏膜。山藥泥通常會搭配混合高湯、生蛋黃及白飯一同食用，不僅創造了多層次的風味，更直接降低了單位面積內的晶體濃度，將刺激感降至最低。

### 致謝

感謝花卉及生物技術研究室林宜樺助理研究員協助顯微鏡拍攝。



▲圖 5. 減少山藥發癢的方法。

## 參考文獻

1. 孫冬紅、宏玉曉、陳洪鐸、高興華。2021。山藥及其外觀致癢成分分析。中國醫科大學學報。50：1069-1075。
2. Konno, K., T.A. Inoue, and M. Nakamura 2014. Synergistic defensive function of raphides and protease through the needle effect. *PloS one*. 9:1-7.
3. Okoli, B.E., and B.O. Green. 1987. Histochemical localization of calcium oxalate crystals in starch grains of yams ( *Dioscorea* ) . *Annals of Botany*. 6:391-394.
4. Raman, V., H.T. Horner, and I.A. Khan. 2014. New and unusual forms of calcium oxalate raphide crystals in the plant kingdom. *J. Plant Res.*. 127:721-730.
5. Obidiegwu, J.E., J.B. Lyons, and C.A. Chilaka. 2020. The *Dioscorea* Genus ( Yam ) —An appraisal of nutritional and therapeutic potentials. *Foods*. 9:1-45.
6. Zayed, A., G.M. Adly, and M.A. Farag. 2025. Management strategies for the anti-nutrient oxalic acid in foods: A comprehensive overview of its dietary sources, roles, metabolism, and processing. *Food Bioprocess Technol*. 18: 4280-4300.
7. 獨立行政法人農畜產業振興機構。2025。今月のやさい：やまのいも。<[https://www.alic.go.jp/koho/kikaku03\\_001616.html](https://www.alic.go.jp/koho/kikaku03_001616.html)>。