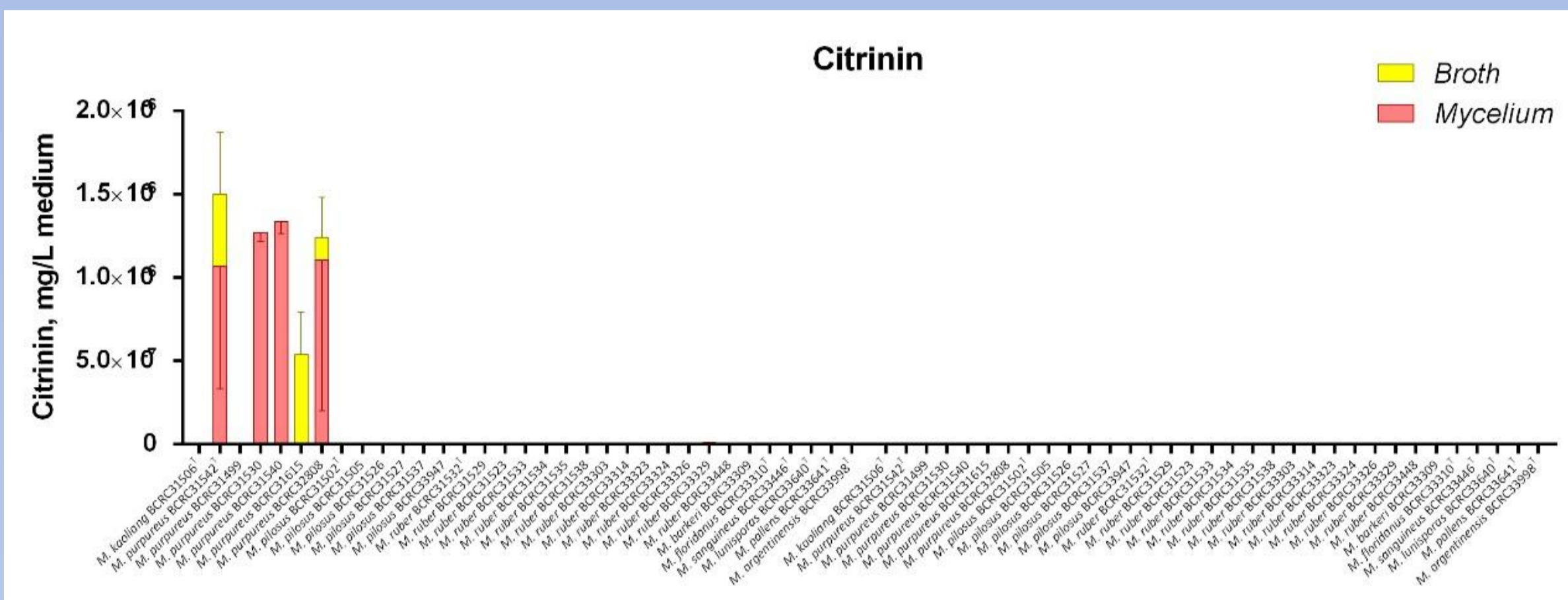


# 主要紅麴菌種的二次代謝物特徵 Secondary metabolite signature of major *Monascus* species

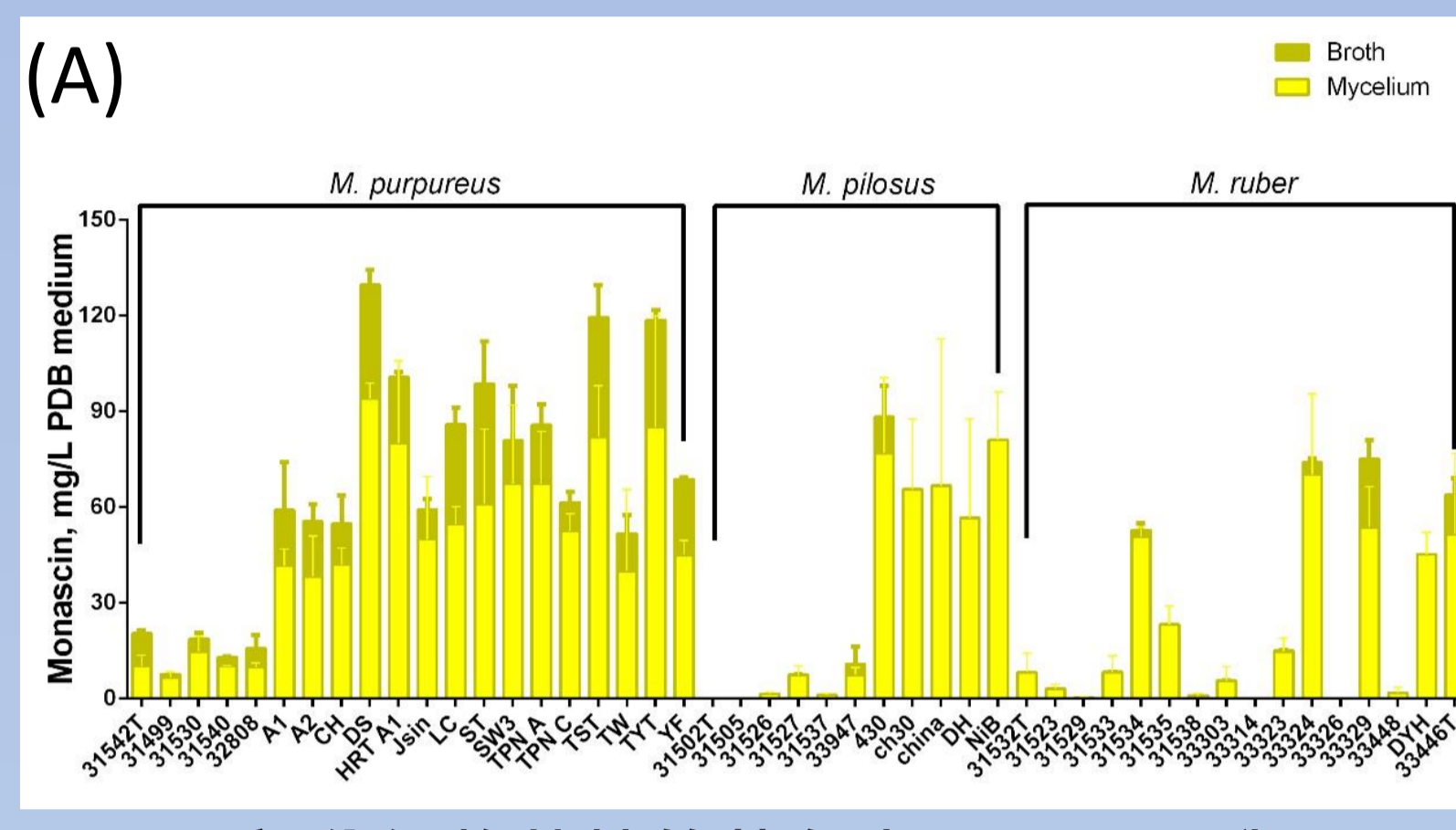
## 摘要

紅麴菌為東方國家常見之食品微生物，主要的二次代謝物有 monacolin K、monascin、ankaflavin 和 citrinin 等。前人研究指出紅麴菌有多項的保健功效，例如：降低血脂、血糖、膽固醇以及預防高血壓等，然而基因體研究顯示，*Monascus purpureus* 和 *M. pilosus/ruber* (同物異名) 在二次代謝產物中的 citrinin 和 monacolin K 生產能力方面完全不同。本研究針對 92 株紅麴菌、27 種紅麴米及 6 款市售紅麴保健食品進行酒萃物中二次代謝物分析。分析結果與基因體分析推論相符，*M. pilosus/ruber* 不產 citrinin 而 *M. purpureus* 不產 monacolin K。此外 *M. purpureus* 中黃色素 monascin 和 ankaflavin 的生產具有高度的關聯性，而 *M. purpureus* 和 *M. ruber/pilosus* 的 p10.9 與 monascin 比值有顯著差異。本研究證明 HPLC 色譜圖的特徵可用於區分 *M. purpureus* 和 *M. pilosus/ruber*，將有助於追溯紅麴食品中的紅麴物種，作為紅麴食品安全管理的有效工具。

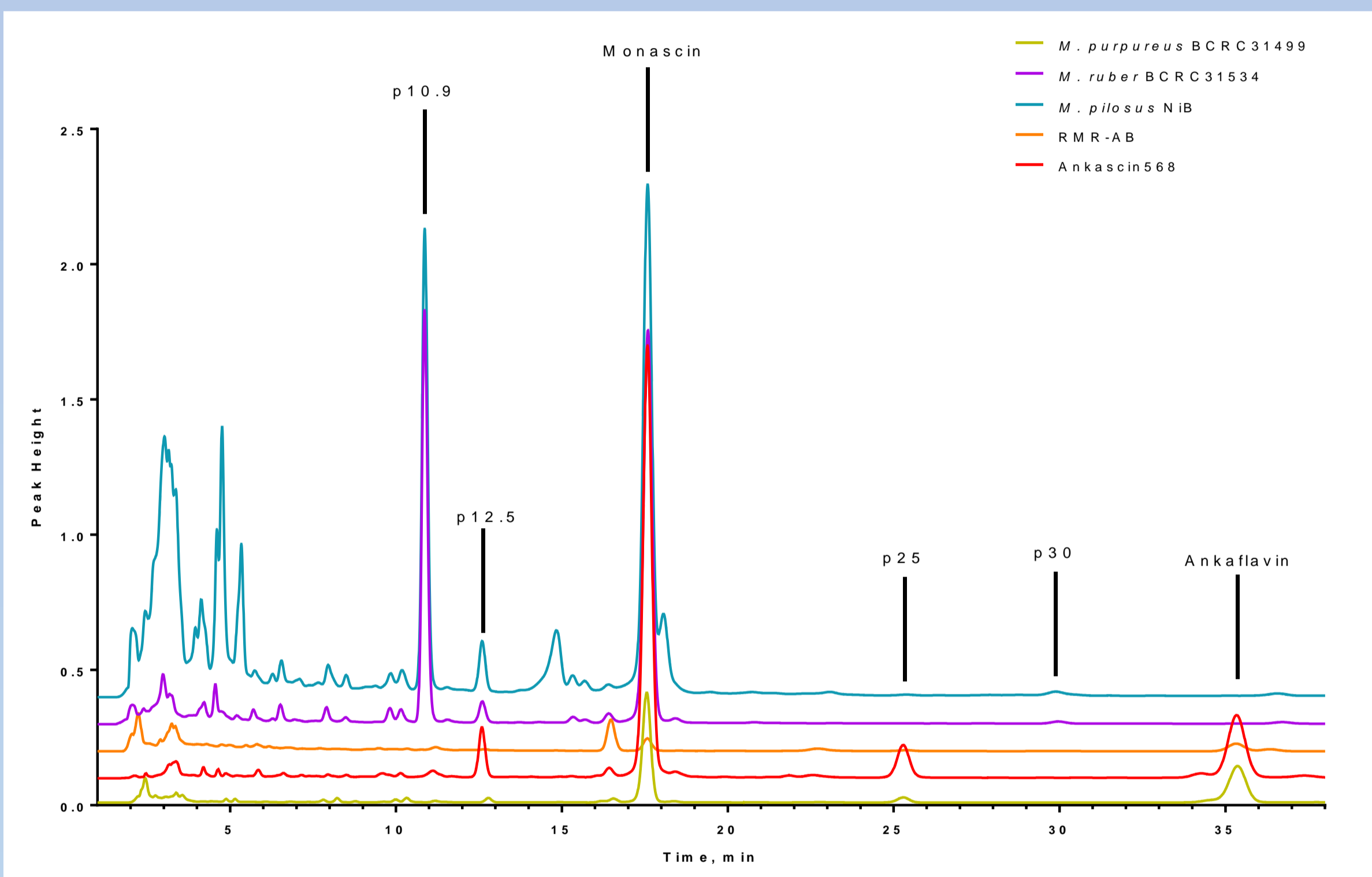
## 結果



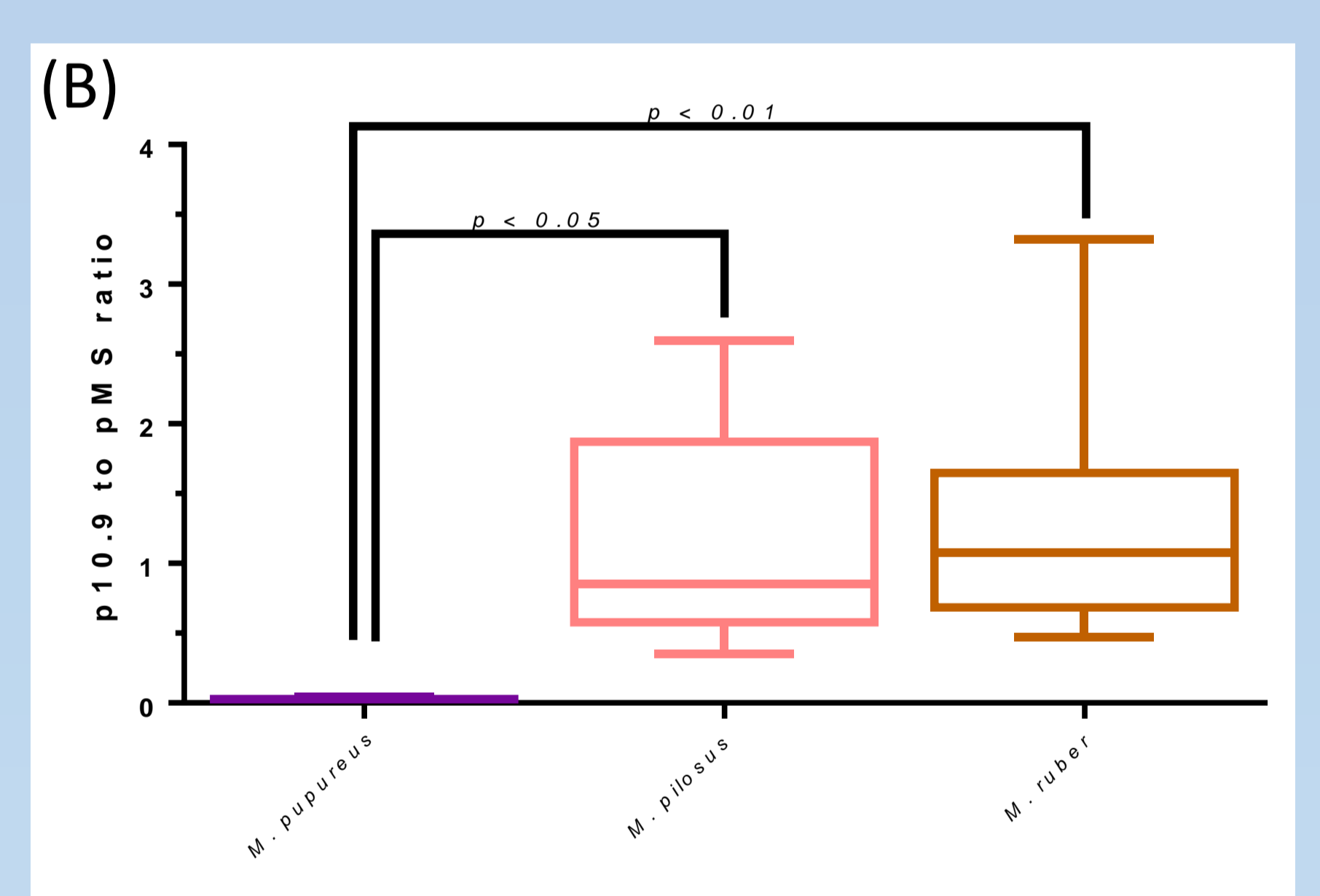
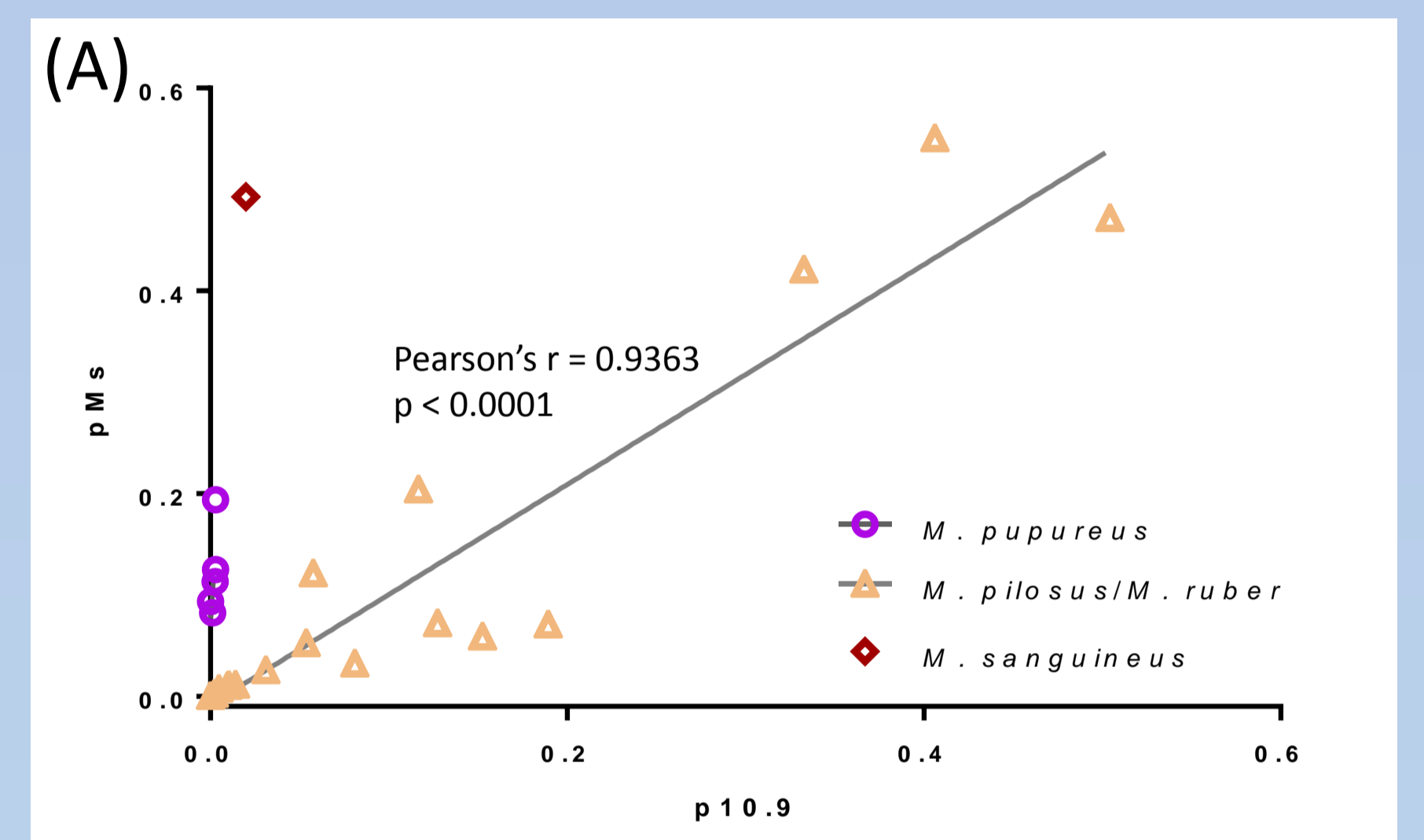
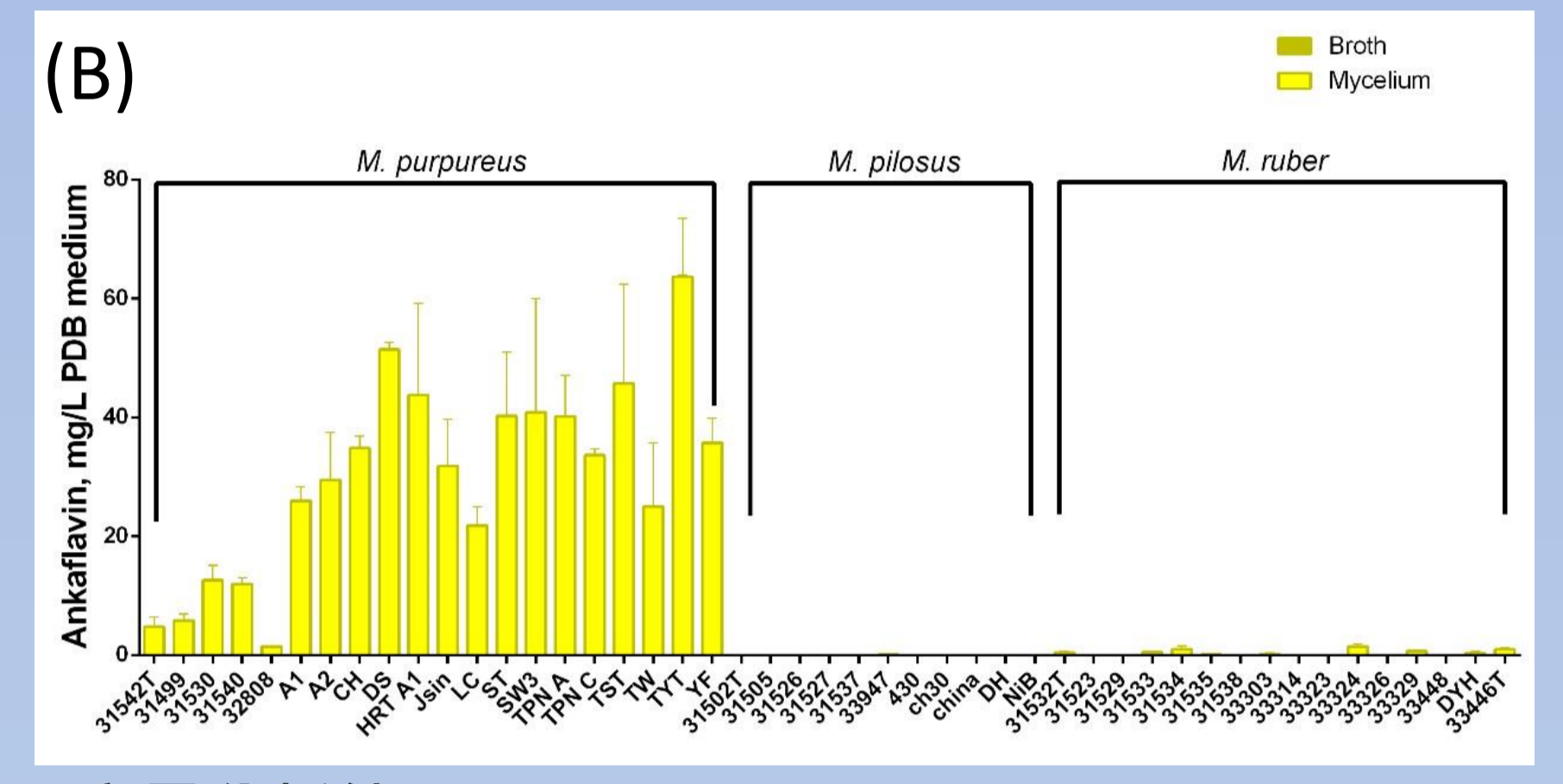
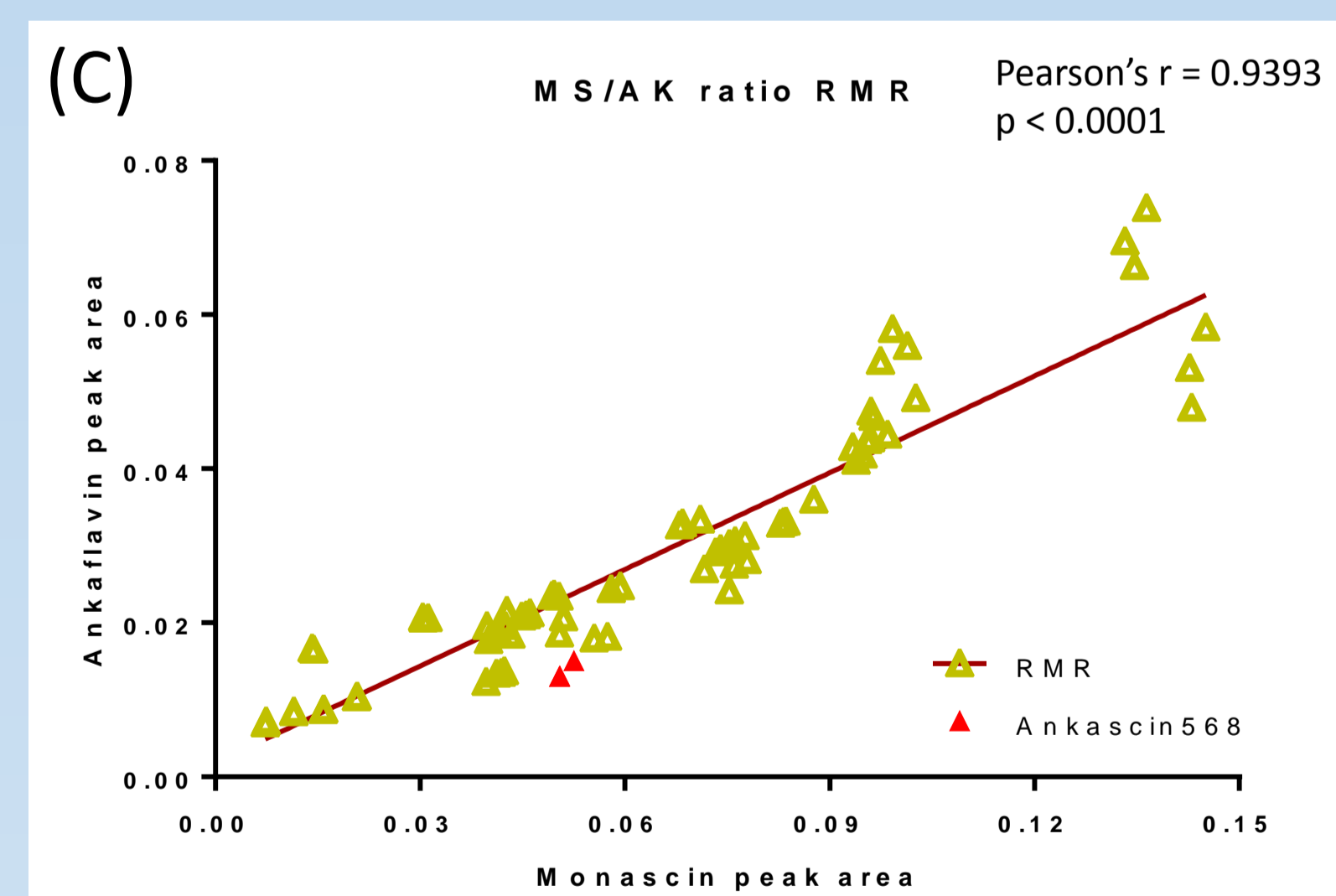
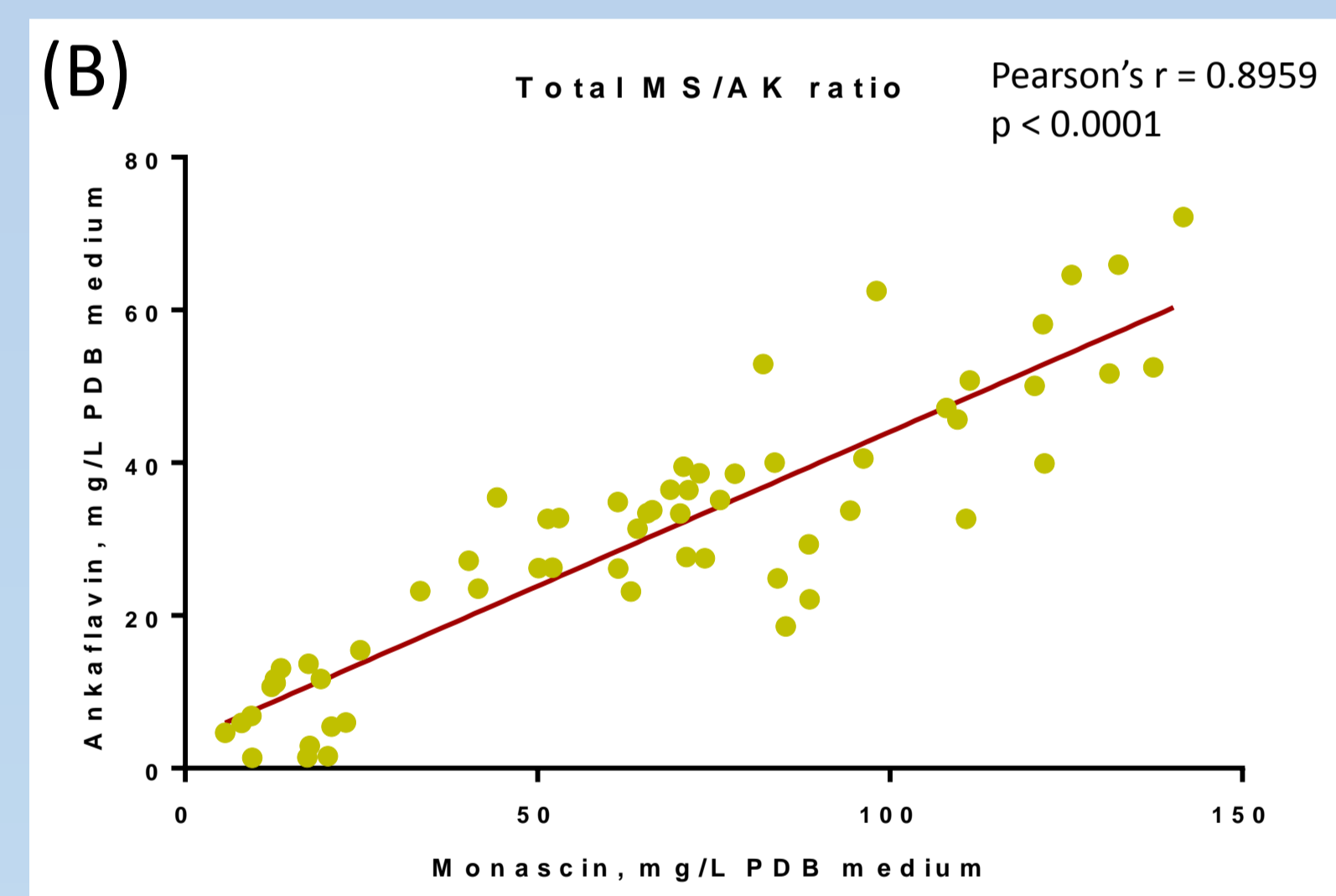
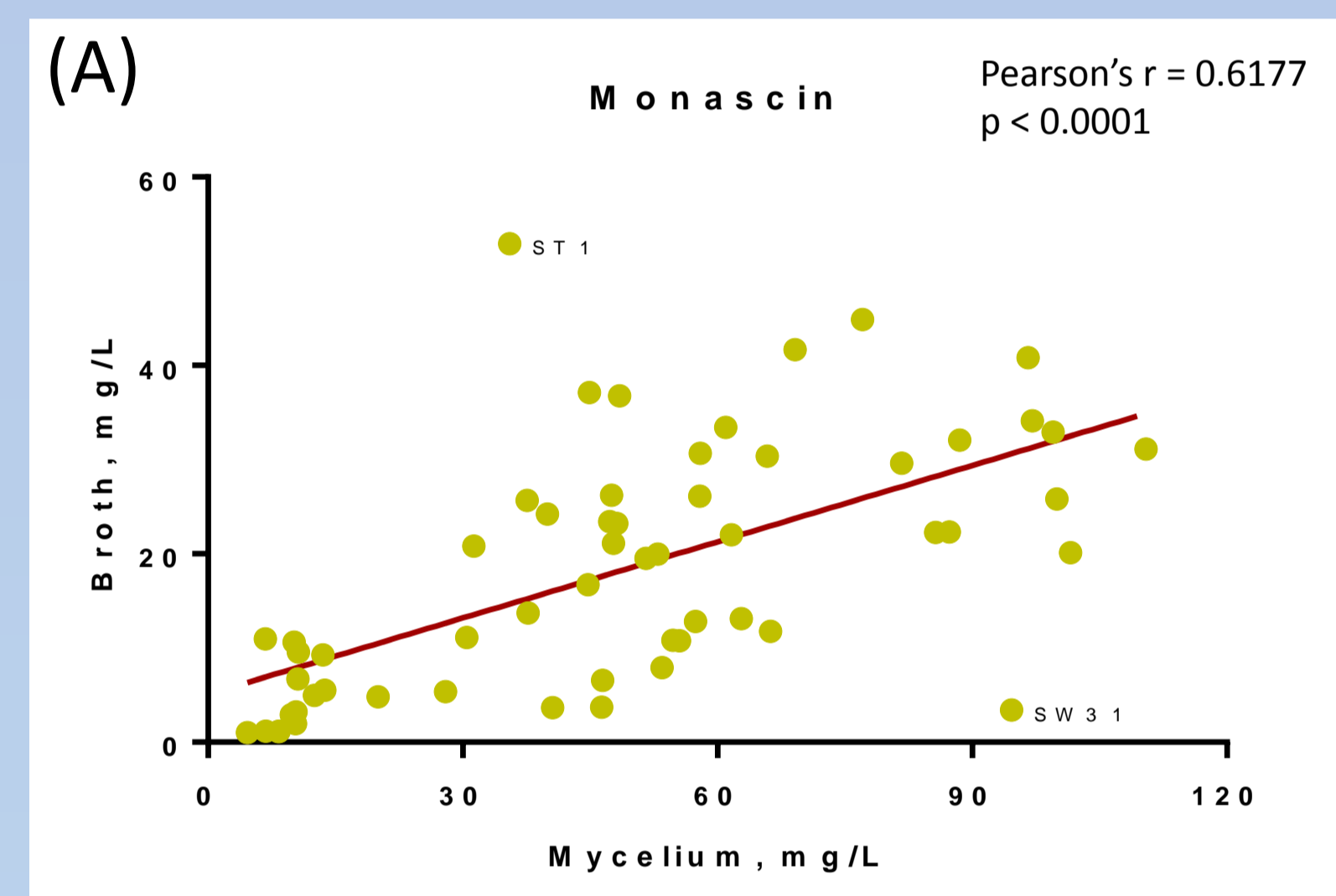
圖一、紅麴菌株的 citrinin 產量。  
僅 *M. purpureus* 會產生 citrinin 且各菌株間的差異很大。



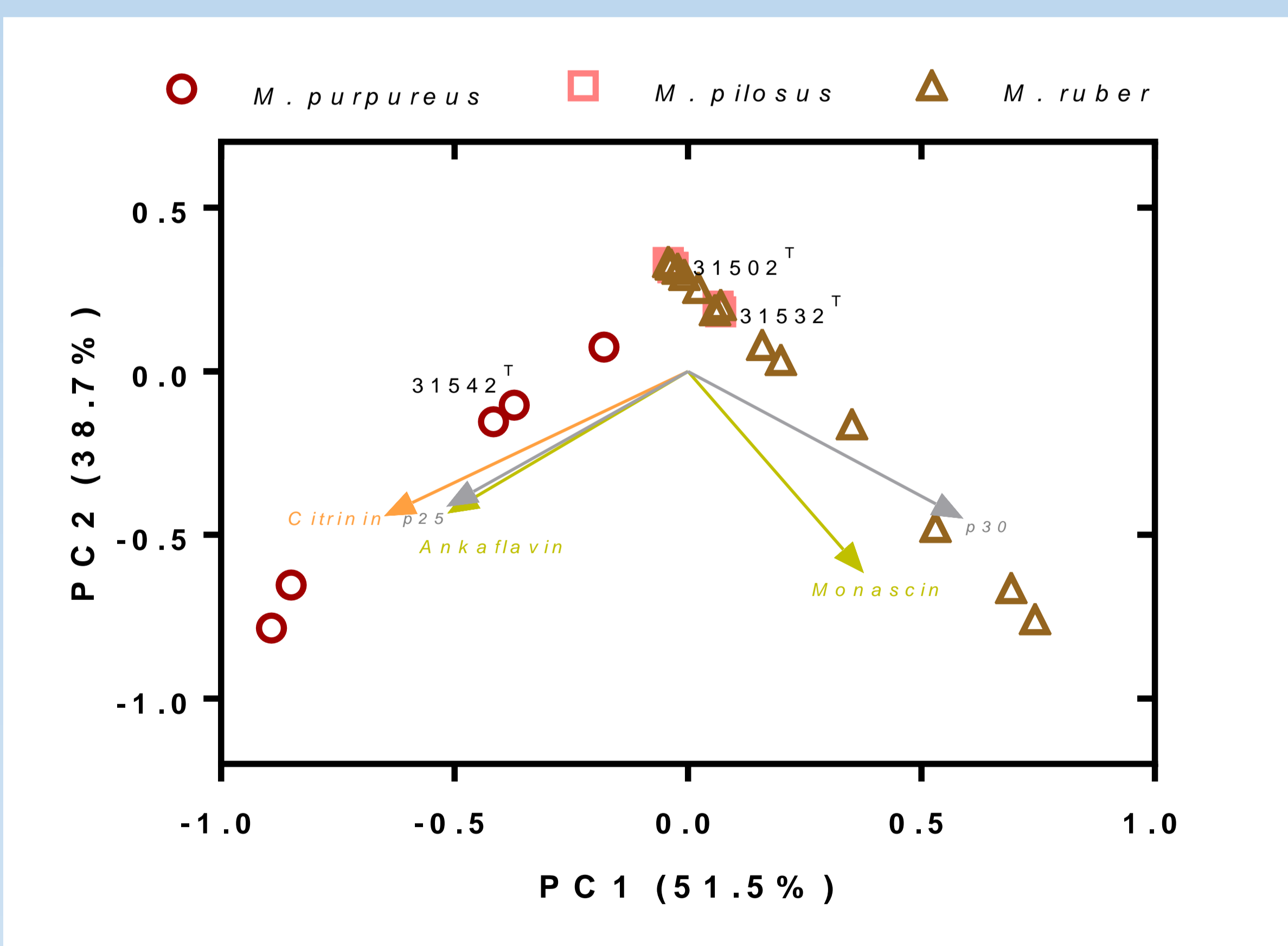
圖二、部分紅麴菌株的黃色素 monascin 與 ankaflavin 產量分析結果。  
(A) Monascin。 (B) Ankaflavin。 *M. purpureus* 菌株普遍具有較高的黃色素產量，尤其是 ankaflavin，其他菌種幾乎不產。Monascin 同時存在於菌體與菌液中，而 ankaflavin 只存在於菌體中。



圖三、HPLC 分析的 385 nm 吸光色譜圖。  
選擇 6 個波峰做為 Redundancy analysis (RDA) 多變量分析標的。包含滯留時間 10.9、12.5、16.5 (monascin)、25、30 與 35.5 (ankaflavin) 分鐘。



圖五、HPLC 385 nm 吸光度色譜圖中 p10.9 與 pMS 波峰面積比值可用於鑑別 *M. pilosus/ruber*。  
(A) p10.9 與 pMS 波峰面積的 Pearson correlation 關聯性分析。(B) 各個菌株的 p10.9 與 pMS 波峰面積比值。*M. ruber/pilosus* 相較於 *M. purpureus*，p10.9 與 monascin 的波峰比值顯著較高，顯示具有應用於鑑別 *M. ruber/pilosus* 的潛力。



圖四、385 nm 吸光度色譜圖的 RDA 多變量分析結果。  
箭頭為變量梯度，箭頭間或樣點與箭頭的夾角越小，表示彼此的相關性越高。前兩軸 (PC1 加 PC2) 共可解釋 87.7% 的變量。*M. purpureus* 與 citrinin、p25 與 ankaflavin 具有高度相關，而 *M. pilosus/ruber* 與 p30 具有高度相關，顯示代謝物特徵可作為菌種鑑別的依据。

圖五、紅麴菌 *M. purpureus* 黃色素 monascin 與 ankaflavin 產量的 Pearson correlation 關聯性分析。  
(A) 菌絲體及菌液中的 monascin 含量呈現顯著正相關。(B) 總 monascin 與 ankaflavin 含量呈現顯著正相關。monascin 與 ankaflavin 的比值可以作為 *M. purpureus* 菌種鑑別的依据。(C) 紅麴米中的總 monascin 與 ankaflavin 含量亦呈現顯著正相關。

## 結論

- Citrinin 可用作為 *M. purpureus* 的指標性代謝物，而 monacolin K 可作為 *M. ruber/pilosus* 的指標性代謝物。
- Monascin 與 ankaflavin 的比值可以作為 *M. purpureus* 菌種鑑別的依据。
- *M. ruber/pilosus* 相較於 *M. purpureus*，p10.9 與 monascin 的波峰比值顯著較高，顯示具有應用於鑑別 *M. ruber/pilosus* 的潛力。
- 代謝物特徵具有應用於紅麴食品中菌種鑑別潛力 (7 of 9)。

表一、紅麴食品中的菌種鑑別分析結果

	微庫醇	益淨麴	紅麴壓片糖果	台糖紅麴	科達紅麴	統欣紅麴	桂格紅麴燕麥	江記紅麴豆腐乳	元氣家紅麴納豆
Species Labelling	<i>M. pilosus</i>	<i>M. purpureus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Type	Capsule	Capsule	Tablet	Capsule	Capsule	Capsule	Cereal	Fermented Tofu	Baked beans
Marker metabolites	Monacolin K (+) ( <i>M. pilosus/M. ruber</i> )	Ankaflavin (+) ( <i>M. purpureus</i> )	Monacolin K (+) ( <i>M. pilosus/M. ruber</i> )	Monacolin K (+) ( <i>M. pilosus/M. ruber</i> )	Monacolin K (+) ( <i>M. pilosus/M. ruber</i> )	Monacolin K (+) ( <i>M. pilosus/M. ruber</i> )	Monacolin K (+) ( <i>M. pilosus/M. ruber</i> )	ND	ND
Species-specific DNA detection	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	<i>M. purpureus</i>	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	ND	<i>M. purpureus</i>	<i>M. purpureus</i>
Conclusion	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	<i>M. purpureus</i>	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	<i>M. pilosus/M. ruber</i>	<i>M. purpureus</i>	<i>M. purpureus</i>