

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別： 生活與應用科學科(一)

組 別： 國小組

作品名稱：黃麴毒素自動辨識 AI 電子鼻

關 鍵 詞：電子鼻/AI/黃麴毒素

編號：A6011

摘要

電子鼻結合 Wio Terminal 晶片與多通道氣體感測器的裝置，是一種模仿嗅覺系統的技術，能夠偵測並辨識氣味分子。我們運用電子鼻在 Edge Impulse 的氣味 AI 模型進行標註訓練，可辨識黃麴毒素的花生粉、花生醬、蘿蔔糕、玉米、燕麥等食品，使其在黴菌生長前即預測黃麴毒素，提升食品安全。

傳統上，實驗室利用色譜技術檢測黃麴毒素，但需仰賴昂貴設備與專業操作。相比之下，本研究開發的電子鼻 AI 技術能夠快速檢測，可應用於食品生產與銷售，即時偵測污染，進一步保護消費者健康，並增強食品安全信心。

壹、研究動機

花生醬搭配吐司或美式漢堡，是許多人喜愛的美味組合。然而，你是否曾經想過，這些日常食品中可能含有黃麴毒素？根據健保署統計，台灣近年來肝癌就醫人數逐年上升，從 108 年的 5 萬 3,920 人增加至 112 年的 5 萬 7,340 人，增幅達 6.3%。研究顯示，黃麴毒素是導致肝癌的主要致癌物之一，長期攝取會對人體健康造成嚴重影響。

黃麴毒素廣泛存在於花生、穀類、堅果、玉米、咖啡豆等食品，特別是在台灣高溫潮濕的環境下，更容易促進其產生。尤其是花生，作為台灣常見的雜糧食物，通常儲存於常溫環境，成為黃麴毒素滋生的高風險食品。目前，黃麴毒素的檢測方式主要依賴實驗室色譜技術，雖然準確但成本高昂且需專業操作人員，使得一般消費者與食品業者難以及時檢測並確保食品安全。

為了解決這一問題，我們希望透過電子鼻技術，開發出一款快速、便利的 AI 自動辨識系統，讓消費者、食品業者甚至小型食品製造商，都能即時檢測食品中的黃麴毒素。此技術不僅能夠在食品尚未出現肉眼可見的黴菌生長前就進行預警，更能幫助食品供應鏈提升食品安全標準，降低消費者罹患肝癌的風險，確保飲食健康。

貳、研究目的

一、建立食物被黃麴毒素污染之氣味分類模型

透過多通道氣體感測器與 Wio Terminal 設備，蒐集受黃麴毒素污染食物的氣味數據，並運用 Edge Impulse AI 建模，以建立高準確度的氣味辨識系統。

二、開發快速電子鼻 AI 檢測系統

設計並測試一款便於攜帶的電子鼻裝置，使其能夠迅速分析食品的氣味，並即時回報黃麴毒素污染的可能性，減少食品安全風險。

三、驗證電子鼻技術的準確性與應用性

透過實驗比對電子鼻 AI 模型的辨識結果與傳統黃麴毒素檢測試劑的測試結果，確認電子鼻技術在食品檢測領域的可靠性，並探討其未來應用於食品加工與銷售的可行性。

參、文獻探討

一、Wio Terminal

Wio Terminal 是一款專門用於 IoT 與 TinyML 的多功能開發板 - 包含了 ATSAMD51P19 晶片並以 ARM Cortex-M4F 為核心 (20MHz)，已支援多種針對微控制器的 ML 推論框架。本開發板已包含：

光感測器（類比）

麥克風可自訂按鈕 x 34 英吋彩色 LC 加速度感測器

Grove 接頭 x 2，可連接多達 300 種 Grove 感測器

就軟體面來說，Arduino IDE 已可用於開發各種支援 Edge Impulse 與 Tensorflow Lite 的微控制

器裝置來進行神經網路訓練與推論，開發環境。使用者可透過網頁介面就可以完成整個 tinyML 作業流程，從資料收集、資料處理、訓練神經網路到匯出部署，在此研究的假設為，不同的氣味在多通道氣體感測器上偵測時，會產生可區別的氣體濃度資料，我們就是要把這些資料送到 Edge Impulse 網站來處理、學習，並匯出一個 Wio Terminal 可執行推論的神經網路模型檔。

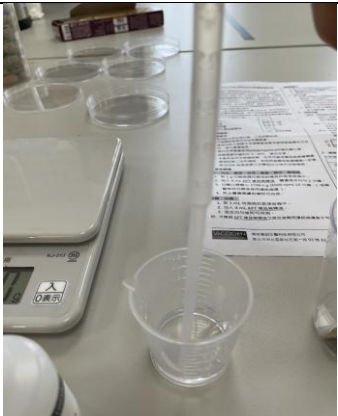
二、黃麴毒素

黃麴毒素是由黃麴黴菌等真菌產生的毒性代謝物，屬於一級致癌物，威脅健康。黃麴毒素菌必須在適當的溫度、濕度及穀物含水量下才能產生，黃麴毒素具有極高的熱安定性，需要高溫下才能被消滅，台灣的高溫潮濕環境特別有利於這些黴菌的繁殖，尤其在 25 至 37 度之間，黃麴黴菌會大量產生並釋出毒素。這些毒素無色無味，肉眼難以辨識，但對人體健康造成嚴重威脅，長期攝取可能導致肝癌。有些食物在儲存不當或加工過程中衛生條件不佳時，容易受到黃麴黴菌感染。黃麴黴菌在有氧環境下生存並產毒，在酸鹼度約在 5.6 左右，適合的溫度和濕度條件下，可能產生黃麴毒素。

三、電子鼻

電子鼻是一種模仿人類嗅覺系統的儀器，主要由以下關鍵元件組成：(一)氣體感測器陣列(二)信號處理系統(三)模式識別演算法。多通道氣體感測器的工作原理如下：1. 感測器種類：多通道氣體感測器通常包含多種不同類型的感測器：(1)金屬氧化物半導體(MOS)感測器(2)電化學感測器(3)導電聚合物感測器(4)表面聲波(SAW) 2. 感測機制：每種感測器對氣體分子的響應原理略有不同：a. 金屬氧化物半導體感測器：當氣體分子接觸感測器表面時，引起表面電子密度變化，導致電阻值發生改變，不同氣體分子產生不同電阻響應。b. 電化學感測器：氣體分子與電極表面發生氧化還原反應，產生電流信號，信號大小與氣體濃度成正比。c. 導電聚合物感測器：氣體分子吸附到聚合物薄膜表面，改變聚合物分子鏈的電學特性，導致電導率發生變化。3. 信號獲取與處理：多個不同類型感測器同時工作，每個感測器對特定氣體分子敏感程度不同，形成獨特的"指紋"圖譜。4. 模式識別：利用機器學習算法進行數據分析：(1)主成分分析(PCA)(2)人工神經網路(ANN)(3)支持向量機(SVM)感測器。

肆、研究設備及器材

圖片			
器材	黃麴毒素總量(AFT) 快速檢驗試劑	燒杯和滴管	Wio Terminal 感測器組

圖片			
器材	磨豆機	電子磅秤	濾紙
圖片			
器材	筆電	孵蛋器	花生醬含黃麴毒素樣品
圖片			
器材	發黴玉米	發霉花生醬	發霉蘿蔔糕
圖片			
器材	發霉花生粉	發霉白米	發霉燕麥

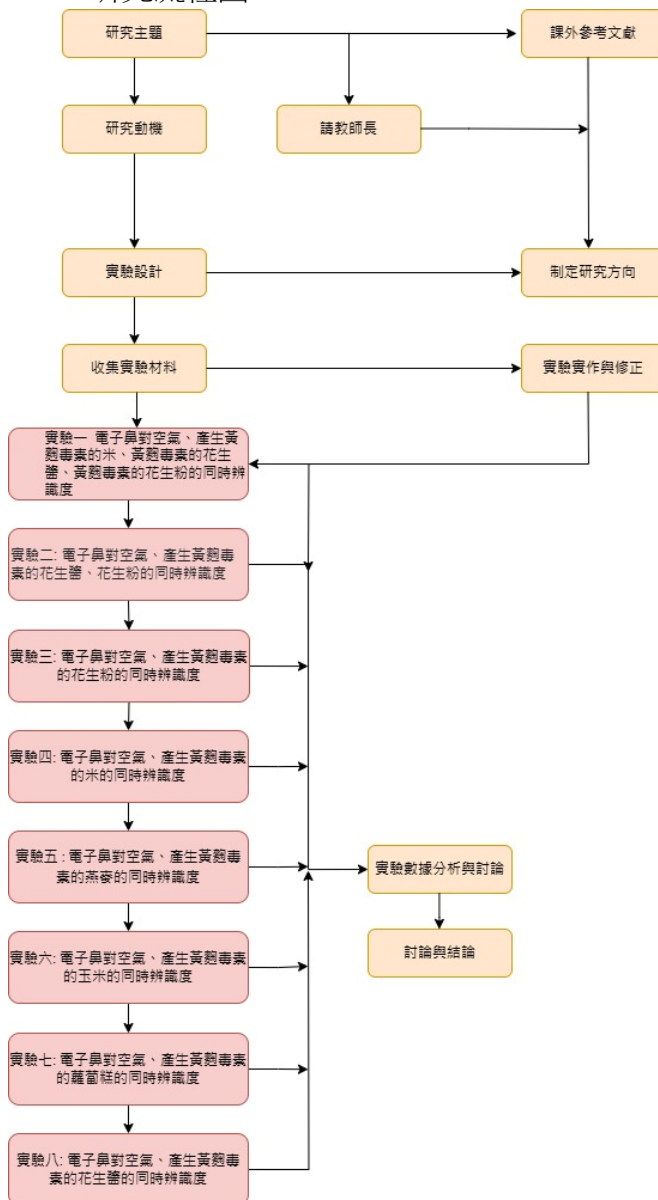
圖片皆自行拍攝

伍、研究過程及方法

一、研究過程

- (一)、培養黃麴毒素
- (二)、收集數據
- (三)、數據正規化
- (四)、AI 模型訓練
- (五)、模型上傳與部署
- (六)、辨識黃麴毒素實驗測試與數據收集分析
- (七)、快速試劑檢驗黃麴毒素

二、研究流程圖



三、實驗步驟

(一)、黃麴毒素培養

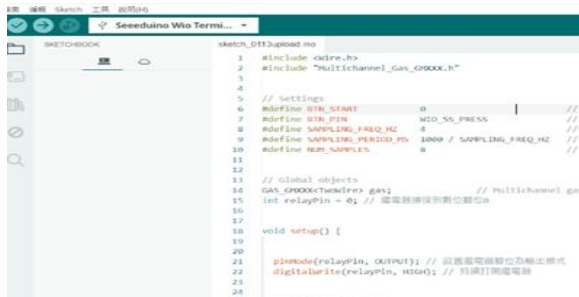
- 1.將市面上買到的花生醬利用孵蛋器提升溫溼度放置到發霉。
- 2.將市售花生顆粒打成花生粉，利用孵蛋器提升溫溼度放置到發霉。
- 3.將市面上買到的米，利用孵蛋器提升溫溼度放置到發霉

- 4.將市面上買到的玉米罐頭，利用孵蛋器提升溫溼度放置到發霉。
- 5.將市面上買到的蘿蔔糕，利用孵蛋器提升溫溼度放置到發霉。
- 6.將市面上買到的燕麥，利用孵蛋器提升溫溼度放置到發霉。

(二)、電子鼻黃麴毒素氣味訓練

1.步驟一氣體採樣:

1-1:開啟 arduino 將氣體吸收程式打開並燒錄至 wio terminal。



圖一，自行截圖繪製



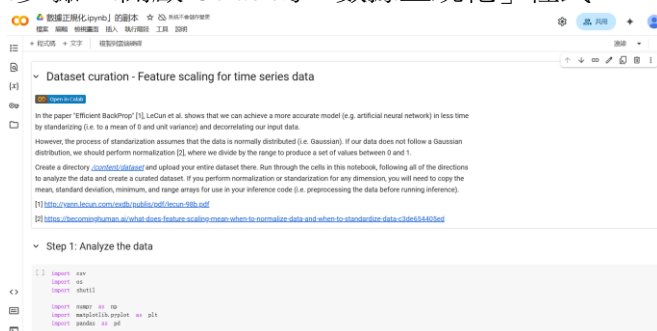
圖二，自行截圖繪製

1-2:開啟 CMD

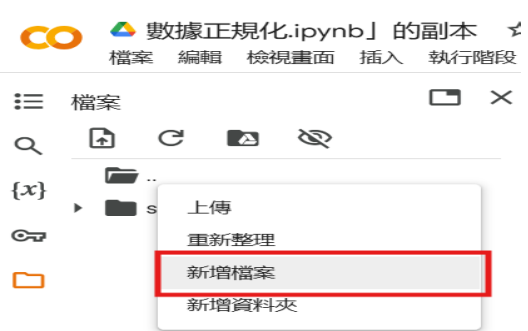
(1).key 入命令提示字元 cd C:/ai-nose 按 enter

(2). python serial-data-collect csv.py -p <PORT> -b 115200 -d dataset -l <LABEL>按 enter 即開始吸收氣體，等待十分鐘氣體採集後，按下 Ctrl C，結束氣體採樣（<PORT>要改成 com3(實際的连接埠)，<LABEL>要改成發霉食物的名稱。像是：peanut 或 air 等）。

2.步驟二:開啟 Colab 的「數據正規化」程式。



圖三，自行截圖繪製



圖四，自行截圖繪製

2-1 點選左邊資料夾圖示，在跳出來的視窗按下右鍵，並新增資料夾命名 dataset。

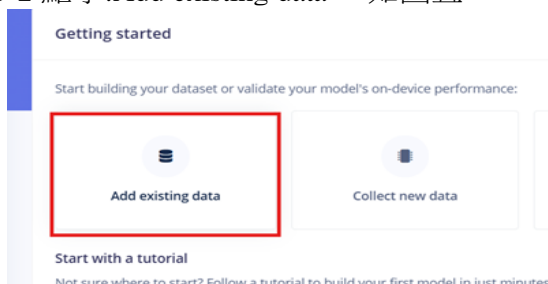
2-2 把剛剛收集的數據全部丟到 dataset 資料夾裡面，如圖四。

2-3.把所有程式執行過一遍後左邊會出現一個「out.zip」右鍵點擊下載並解壓縮

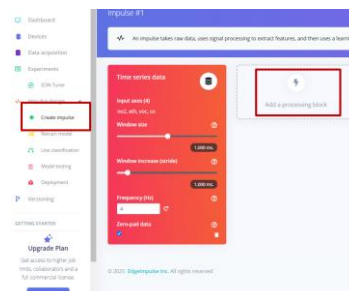
3.步驟三:模型訓練

3-1google 搜尋:Edge Impulse 註冊並登入

3-2 點擊:Add existing data，如圖五。



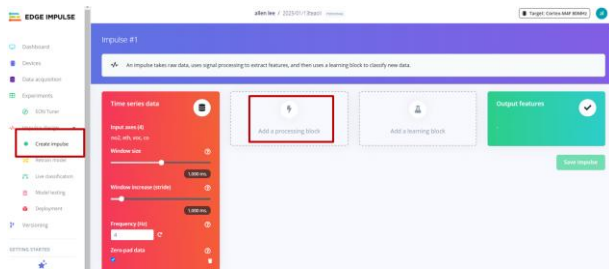
圖五，自行截圖繪製



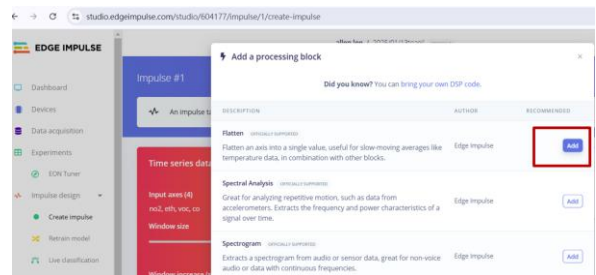
圖六，自行截圖繪製

3-3 點擊左邊 Impulse design，如圖六。

3-4 按照下圖設定數據，如圖七。



圖七，自行截圖繪製

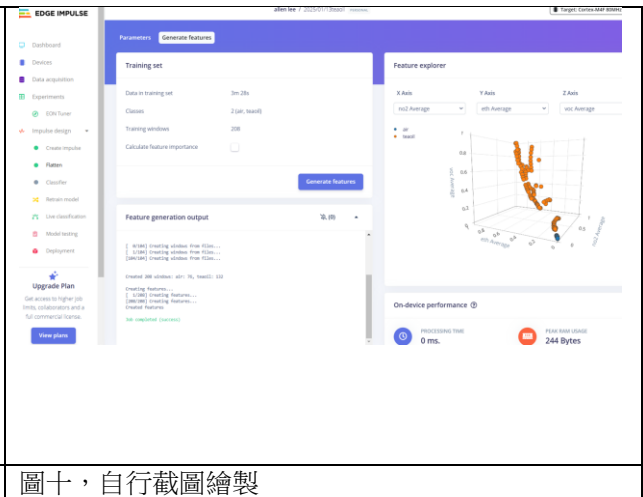


圖八，自行截圖繪製

3-5 點擊左邊 Flatten，最下面 2 項取消勾選，點選儲存如圖九及 Generate features 如圖十。

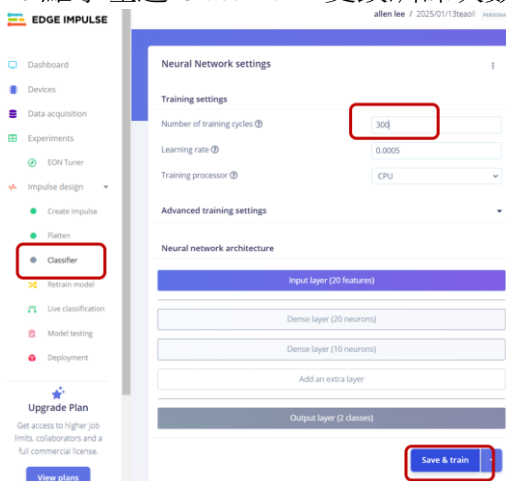


圖九，自行截圖繪製

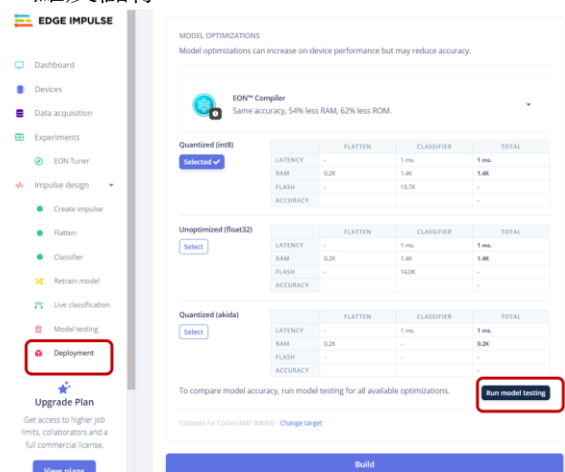


圖十，自行截圖繪製

3-6 點擊左邊 Classifier，更改訓練次數為 300，點及儲存。

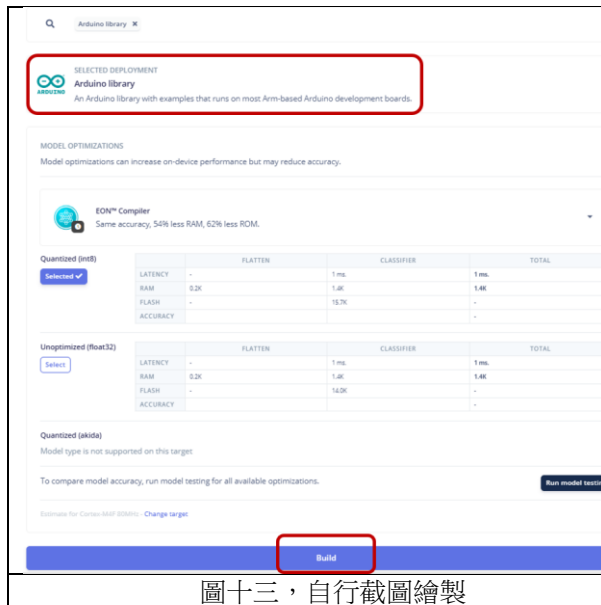


圖十一，自行截圖繪製

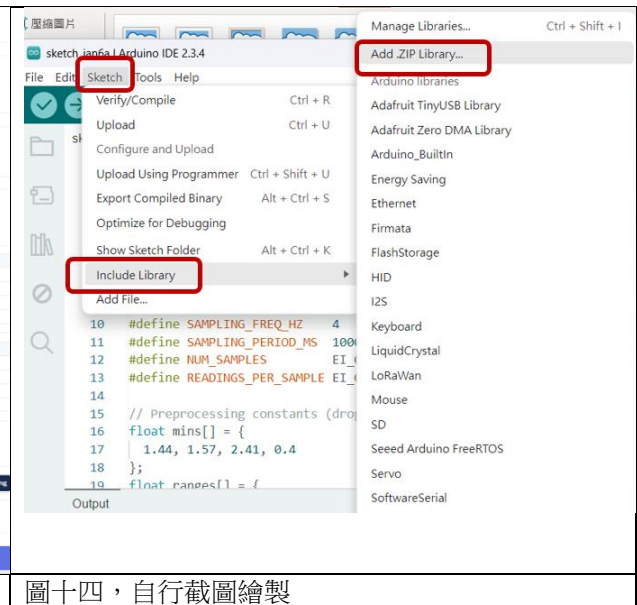


圖十二，自行截圖繪製

3-7 點擊 Deployment 並測試模型，如圖十二，選擇 arduino library 並 Build，如圖十三，壓縮檔即會下載。



圖十三，自行截圖繪製

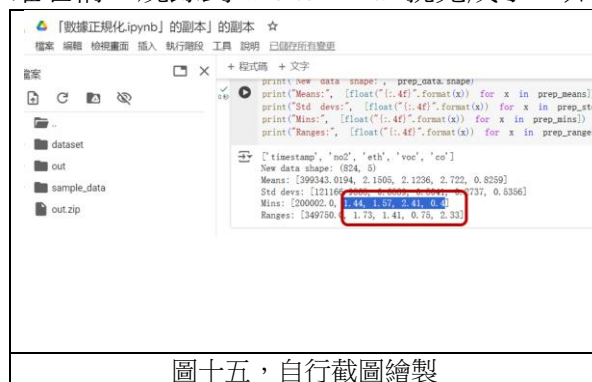


圖十四，自行截圖繪製

4.步驟四:將訓練好的模型部屬到 wio terminal

4-1 將剛剛下載的函式庫安裝到 Arduino，如圖十四。

4-2 分別在 min 和 range 中打入先前正規化的數值後，如圖十五，打上#include"函示庫正確名稱，燒錄到 wio terminal 就完成了，如圖十六。



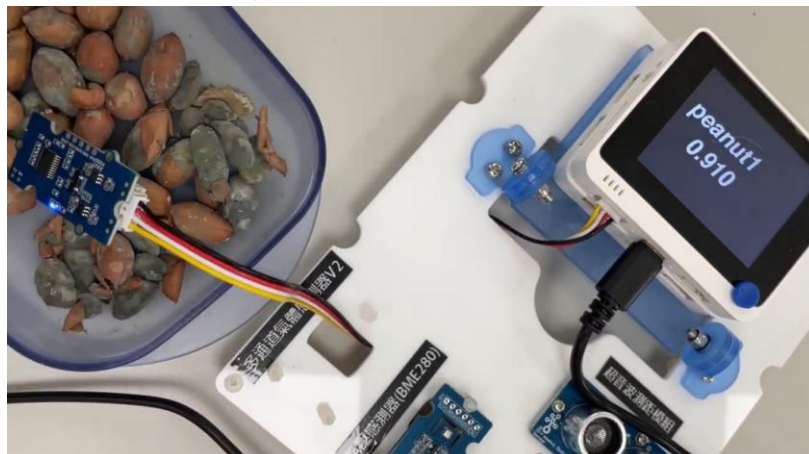
圖十五，自行截圖繪製



圖十六，自行截圖繪製

5.步驟五: 電子鼻自動辨識氣體

將多通道氣體感測器靠近欲辨識物件，約莫 20 秒，即可正確辨識，如圖十七。



圖十七: 自行拍攝

(三)、黃麴毒素總量(AFT)快速檢測試劑檢驗
依據所附說明書進行食物黃麴毒素檢測。

陸、研究結果

實驗一: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的米、黃麴毒素的花生醬、黃麴毒素的花生粉的同時辨識度。

實驗一名稱	電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的米、黃麴毒素的花生醬、黃麴毒素的花生粉的同時辨識度	
實驗目的:電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的米、黃麴毒素的花生醬、黃麴毒素的花生粉的同時辨識度。	操縱變因	不同產生黴菌的樣品
	控制變因	取樣時間 10 分鐘
	應變變因	電子鼻辨識的準確度

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	第十一次	第十二次	第十三次	第十四次	第十五次	第十六次	第十七次	第十八次	第十九次	第二十次
空氣 (辨視度)	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984
	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
花生粉 (辨視度)	0.934	0.934	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功	辨識成功
花生醬 (辨視度)	0.812	0.727	0.812	0.727	0.812	0.812	0.812	0.727	0.812	0.727	0.812	0.727	0.812	0.812	0.727	0.812	0.727	0.727	0.812	0.812
	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉

	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
米	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉	辨識成花生粉

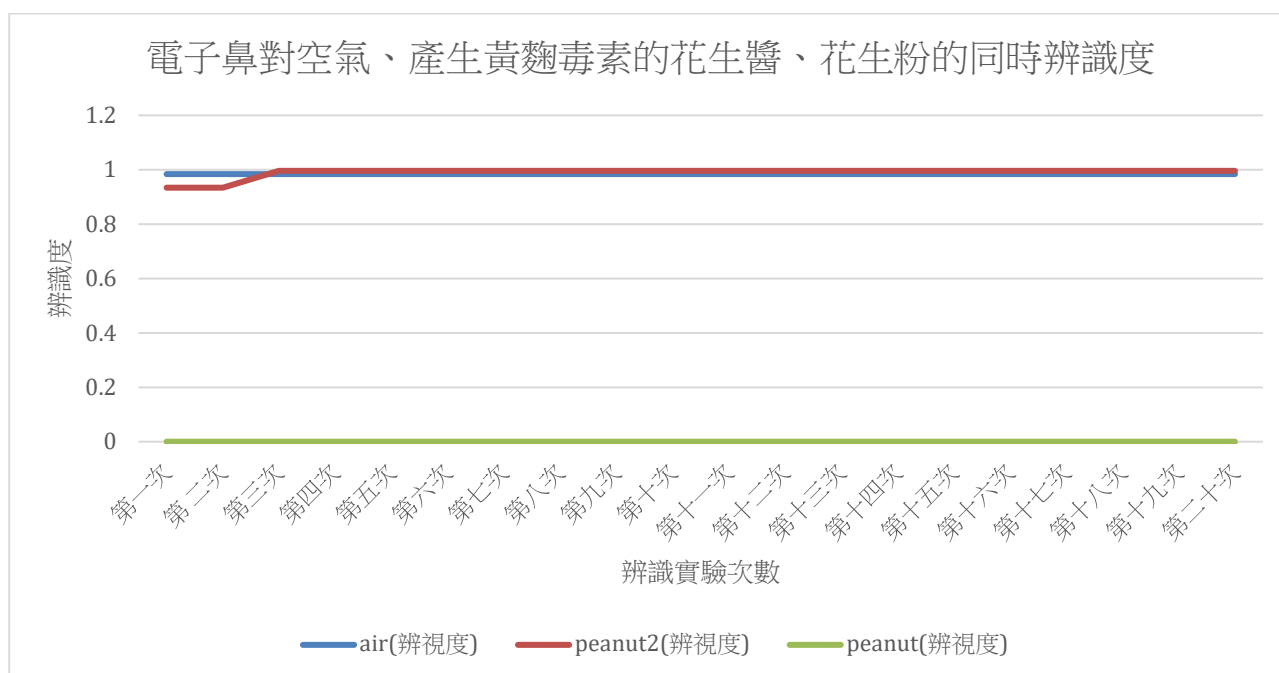
小結:我們將空氣、產生黃麴毒素的米、花生醬(peanut1)和花生粉(peanut2)進行辨識，卻發現我們的電子鼻會把、產生黃麴毒素的米與花生醬辨識成產生黃麴毒素的花生粉。

推論:我們推論是因為產生黃麴毒素的花生粉味道太重，產生黃麴毒素的米沒有明顯的味道，而產生黃麴毒素的花生醬味道與產生黃麴毒素的花生粉太接近，又沒有產生黃麴毒素的花生粉味道重，導致產生黃麴毒素的米和花生醬全辨識成產生黃麴毒素的花生粉。

實驗二: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生醬、花生粉的同時辨識度。

實驗二名稱	電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生醬、花生粉的同時辨識度	
實驗目的:	操縱變因	產生黃麴毒素的花生醬與花生粉
電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生醬、花生粉的同時辨識度	控制變因	取樣時間 10 分鐘
	應變變因	電子鼻辨識的準確度

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	第十一次	第十二次	第十三次	第十四次	第十五次	第十六次	第十七次	第十八次	第十九次	第二十次
air(辨視度)	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984
peanut2(辨視度)	0.934	0.934	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
peanut(辨視度)	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2	辨識成 peanut2



圖十八: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生醬、花生粉的同時辨識度折線圖，自行繪製

小結:我們在做這個實驗時，我們發現電子鼻只能辨識出花生粉不能辨識出花生醬。

推論：由 Edge Impulse 的混淆矩陣中看到模型預測的準確度相當高，如圖二十，但實際測試卻不然，由圖十九在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖中，可以看到產生黃麴毒素的花生粉(Peanut2)與空氣(Air)分類分布較開，所以這二類的辨識會較明顯且準確，而產生黃麴毒素的花生粉(Peanut2)與產生黃麴毒素的花生醬(Peanut) 分類分布太相近，因此二類的辨識上會較不明顯，因此我們推論，可能因為產生黃麴毒素的花生粉的味道比較重，蓋過了產生黃麴毒素的花生醬的味道，加上我們當時做實驗時窗戶全關起來的，沒有通風，造成味道都在教室中。



圖十九: 空氣、產生黃麴毒素的花生醬與花生粉在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖，自行截圖繪製

Model

Model version: ?

Quantized (int8) ▾

Last training performance (validation set)



Confusion matrix (validation set)

	AIR	PEANUT	PEANUT2
AIR	100%	0%	0%
PEANUT	0%	100%	0%
PEANUT2	0%	0%	100%
F1 SCORE	1.00	1.00	1.00

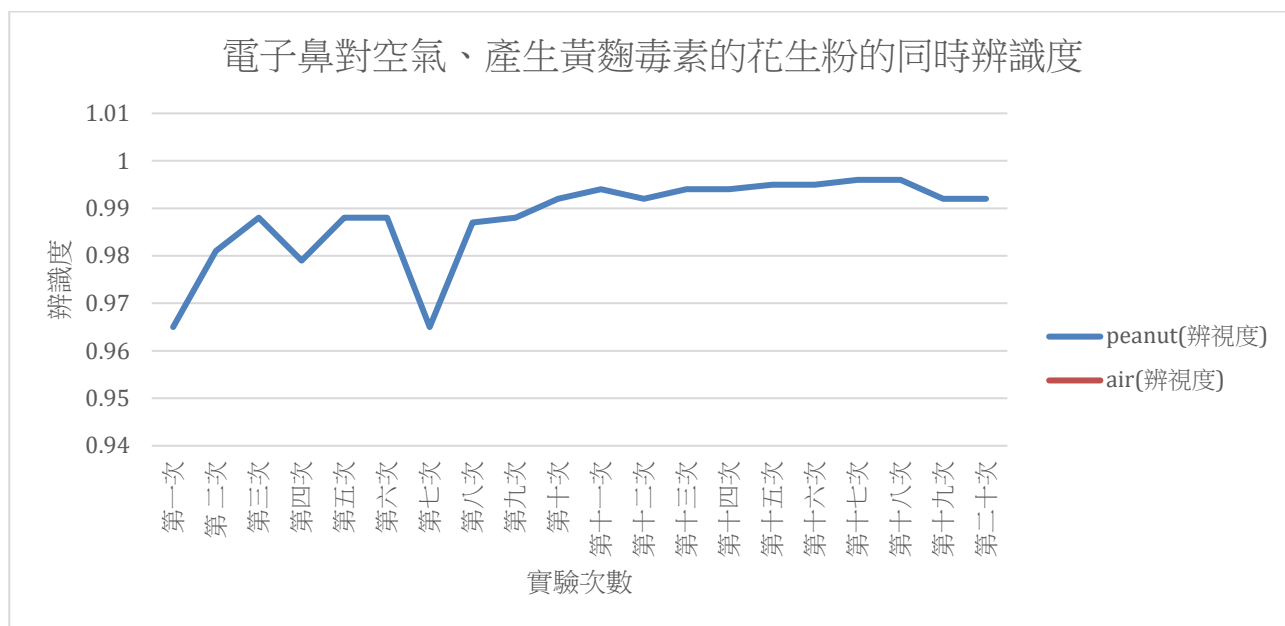
圖二十：空氣、產生黃麴毒素的花生醬與花生粉在 Edge Impulse 的混淆矩陣，自行截圖繪製

實驗三: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生粉的同時辨識度。

實驗三名稱	電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生粉的同時辨識度	
實驗目的:電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生粉的同時辨識度。	操縱變因	產生黃麴毒素的花生粉
	控制變因	取樣時間 10 分鐘
	應變變因	電子鼻辨識的準確度

3-1 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生粉的同時辨識度

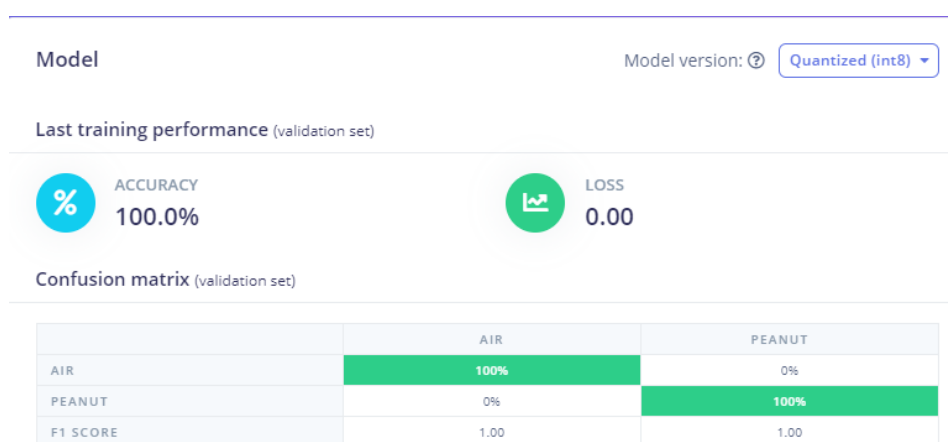
次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	第十一次	第十二次	第十三次	第十四次	第十五次	第十六次	第十七次	第十八次	第十九次	第二十次
peanut(辨視度)	0.965	0.981	0.988	0.979	0.988	0.988	0.965	0.987	0.988	0.992	0.994	0.992	0.994	0.994	0.995	0.995	0.996	0.996	0.992	0.992
air(辨視度)	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識



圖二十一: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生粉的同時辨識度折線圖，自行繪製



圖二十二: 空氣、產生黃麴毒素的花生粉在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖，自行截圖繪製



圖二十三: 空氣、產生黃麴毒素的花生粉在 Edge Impulse 的混淆矩陣，自行截圖繪製

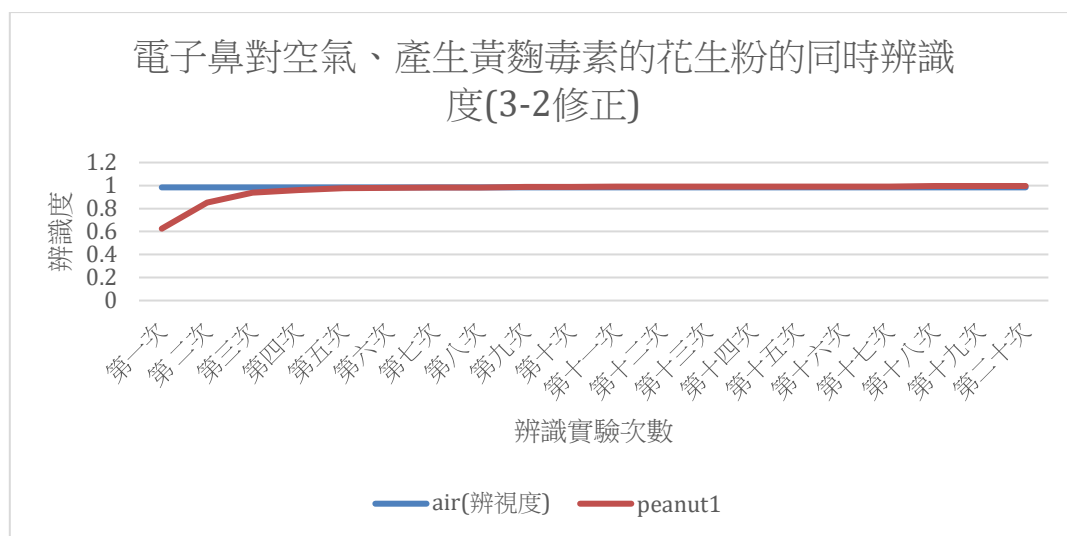
小結:我們在做這個實驗時，我們的電子鼻無法分辨產生黃麴毒素的花生粉和空氣。

推論：由圖二十二空氣、產生黃麴毒素的花生粉(peanut)在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖我們推論，做空氣採樣時，因為我們同步把花生搗成花生粉，因此可能在空氣中參雜了花生粉的味道，所以在圖二十二發現在空氣樣本分群分佈有些較靠近產生黃麴毒素的花生粉(peanut)，因此讓做辨識實驗時的數據有所誤差。

3-2 修正實驗:採樣空氣時，教室開窗保持通風，電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生粉的同時辨識度

實驗 3-2 名稱	電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生粉的同時辨識度	
實驗目的:電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生粉的同時辨識度。	操縱變因	產生黃麴毒素的花生粉
	控制變因	取樣時間 10 分鐘 空氣採樣時開窗保持教室通風
	應變變因	電子鼻辨識的準確度

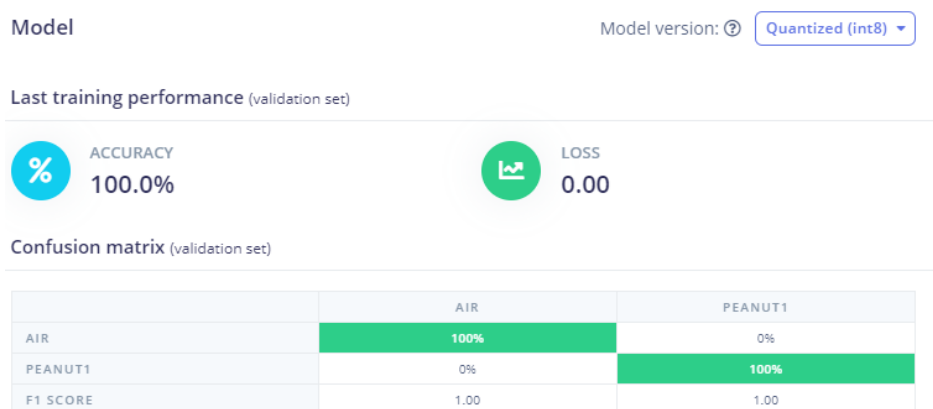
次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	第十一次	第十二次	第十三次	第十四次	第十五次	第十六次	第十七次	第十八次	第十九次	第二十次
air(辨視度)	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4	0.98 4
peanut 1	0.62 5	0.85 2	0.93 8	0.96 1	0.97 7	0.98 0.98	0.98 4	0.98 4	0.98 8	0.98 8	0.99 2	0.99 2	0.99 2	0.99 2	0.99 2	0.99 2	0.99 2	0.99 6	0.99 6	0.99 6



圖二十四: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生粉的同時辨識度折線圖，自行繪製



圖二十五: 空氣、產生黃麴毒素的花生粉在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖，自行截圖繪製



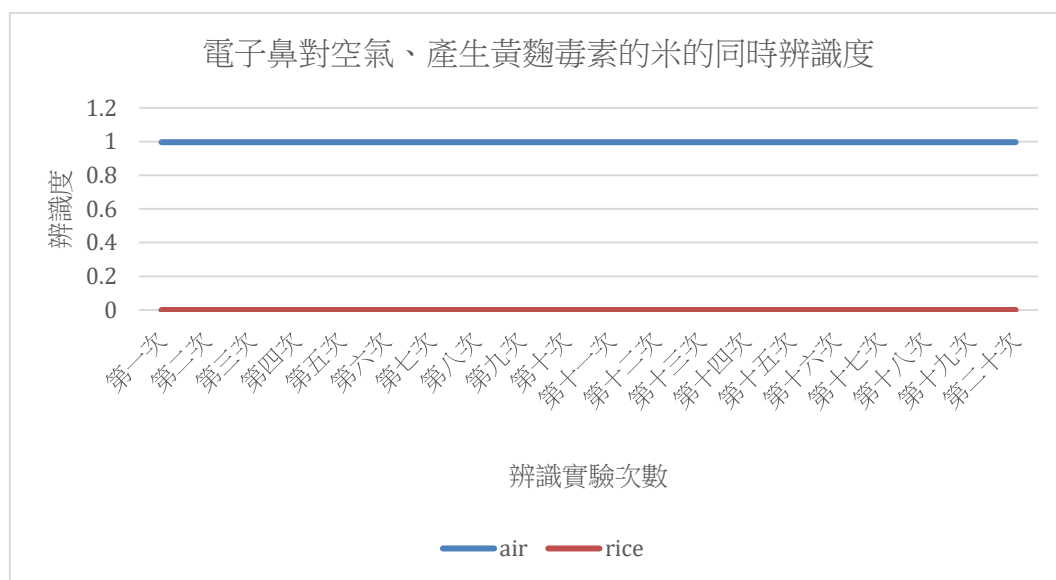
圖二十六: 空氣、產生黃麴毒素的花生粉在 Edge Impulse 的混淆矩陣，自行截圖繪製

小結:由圖二十四電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生粉的同時辨識度折線圖與圖二十五空氣、產生黃麴毒素的花生粉在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖可以看出來，我們修正採樣空氣時開窗讓教室通風，修正 3-1 的實驗錯誤，3-2 的實驗電子鼻就可以正確分辨產生黃麴毒素的花生粉和空氣。

實驗四: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的米的同時辨識度

實驗四名稱	電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的米的同時辨識度	
實驗目的: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的米的同時辨識度	操縱變因	產生黃麴毒素的米
	控制變因	取樣時間 10 分鐘 空氣採樣時開窗保持教室通風
	應變變因	電子鼻辨識的準確度

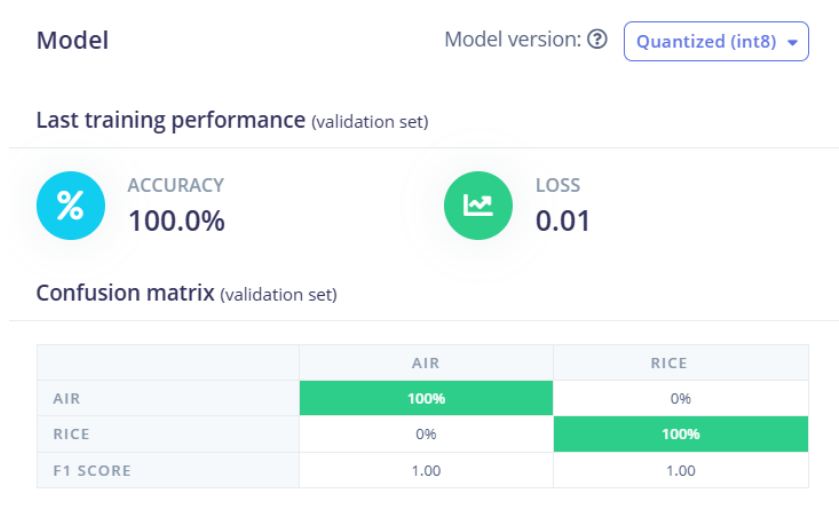
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	第十一次	第十二次	第十三次	第十四次	第十五次	第十六次	第十七次	第十八次	第十九次	第二十次
air	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
rice	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識	無法辨識



圖二十七: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的米的同時辨識度折線圖，自行繪製



圖二十八: 空氣、產生黃麴毒素的米在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖，自行截圖繪製



圖二十九:空氣、產生黃麴毒素的米在 Edge Impulse 的混淆矩陣，自行截圖繪製

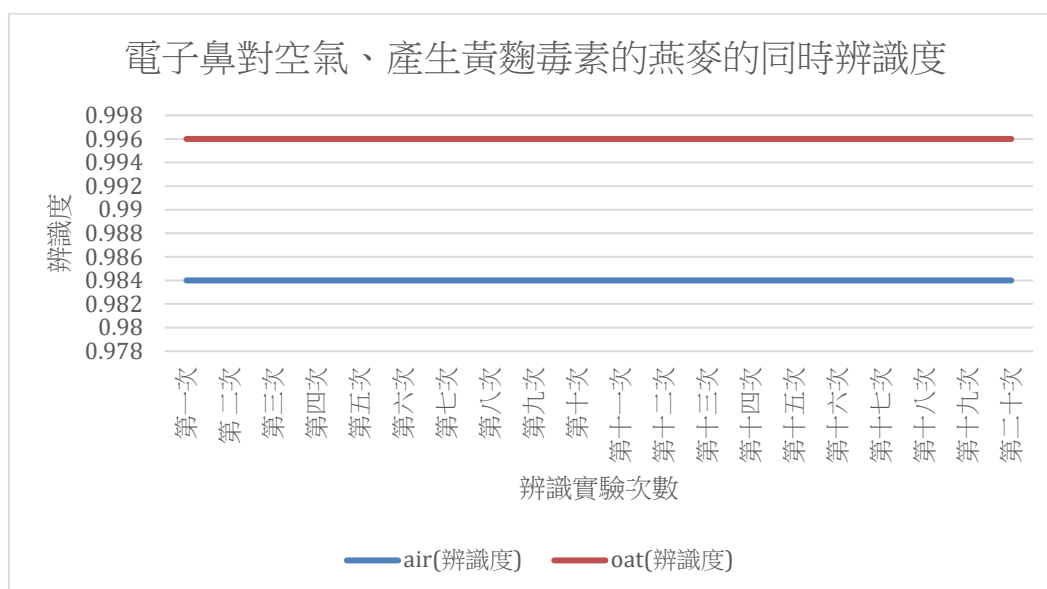
小結:由圖二十七電子鼻空氣、產生黃麴毒素的米的同時辨識度折線圖與圖二十八空氣、產生黃麴毒素的米在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖可以看出來，產生黃麴毒素的米在實驗中無法讓電子鼻正確分辨出產生黃麴毒素的米和空氣。

推論：由圖二十八空氣、產生黃麴毒素的米(rice)在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖加上實驗時聞到的氣味較淡，所以我們推論會造成產生黃麴毒素的米無法辨識實驗成功。

實驗五：電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的燕麥的同時辨識度

實驗五名稱	電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的燕麥的同時辨識度	
實驗目的: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的燕麥的同時辨識度	操縱變因	產生黃麴毒素的燕麥
	控制變因	取樣時間 10 分鐘 空氣採樣時開窗保持教室通風
	應變變因	電子鼻辨識的準確度

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	第十一次	第十二次	第十三次	第十四次	第十五次	第十六次	第十七次	第十八次	第十九次	第二十次
air(辨識度)	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984
oat(辨識度)	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996



圖三十: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的燕麥的同時辨識度折線圖



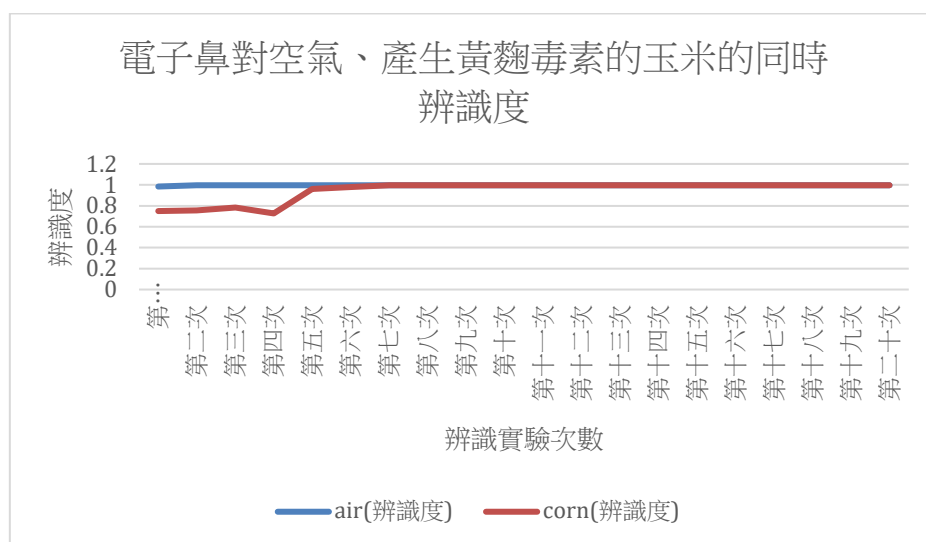
圖三十二:空氣、產生黃麴毒素的燕麥在 Edge Impulse 的混淆矩陣，自行截圖繪製

小結：由圖三十: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的燕麥的同時辨識度折線圖與圖三十一: 空氣、產生黃麴毒素的燕麥在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖可知，我們的電子鼻已經可以準確辨識產生黃麴毒素的燕麥和空氣。

實驗六: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的玉米的同時辨識度

實驗六名稱:	電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的玉米的同時辨識度	
實驗目的: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的玉米的同時辨識度	控制變因	產生黃麴毒素的燕麥
	操縱變因	取樣時間 10 分鐘 空氣採樣時開窗保持教室通風
	應變變因	電子鼻辨識的準確度

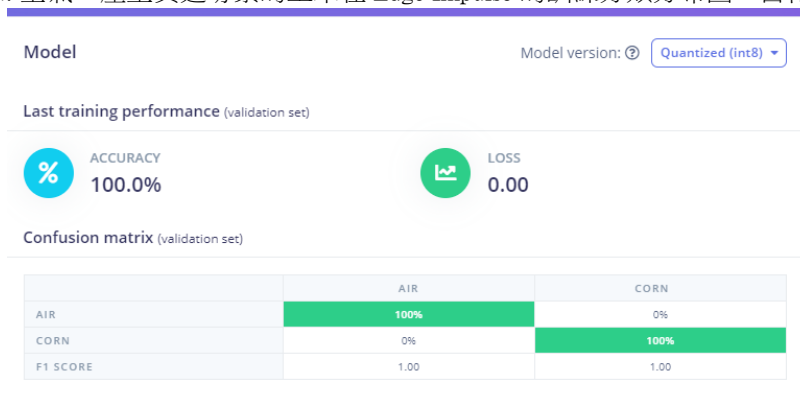
次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	第十一次	第十二次	第十三次	第十四次	第十五次	第十六次	第十七次	第十八次	第十九次	第二十次
air(辨識度)	0.984	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
corn(辨識度)	0.75	0.757	0.784	0.727	0.961	0.98	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996



圖三十三: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的玉米的同時辨識度折線圖，自行繪製



圖三十四: 空氣、產生黃麴毒素的玉米在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖，自行截圖繪製



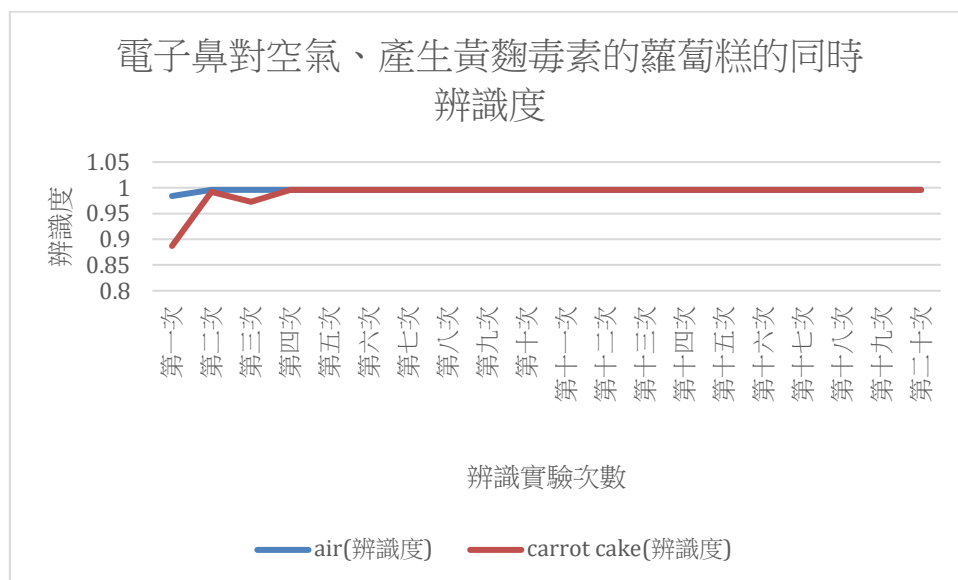
圖三十五:空氣、產生黃麴毒素的玉米在 Edge Impulse 的混淆矩陣，自行截圖繪製

小結：由圖三十: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的燕麥的同時辨識度折線圖與圖三十一: 空氣、產生黃麴毒素的玉米在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖可知，我們的電子鼻已經可以準確辨識產生黃麴毒素的玉米和空氣。

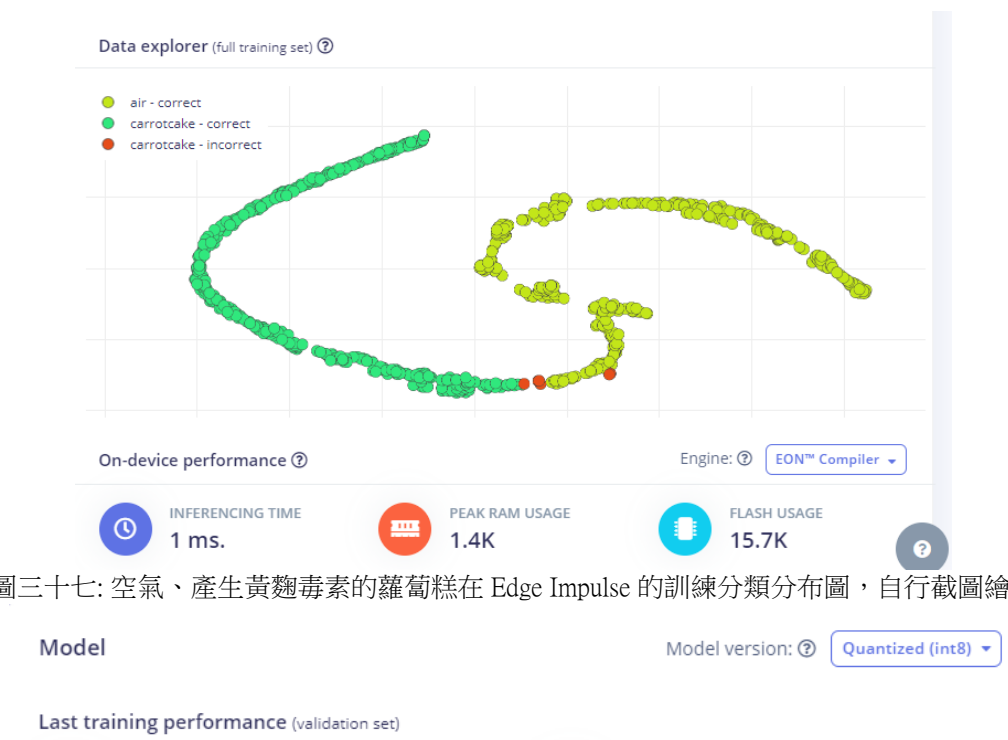
實驗七: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的蘿蔔糕的同時辨識度

實驗七名稱:	電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的蘿蔔糕的同時辨識度	
實驗目的: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的蘿蔔糕的同時辨識度	控制變因	產生黃麴毒素的蘿蔔糕
	操縱變因	取樣時間 10 分鐘 空氣採樣時開窗保持教室通風
	應變變因	電子鼻辨識的準確度

次數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	第十一次	第十二次	第十三次	第十四次	第十五次	第十六次	第十七次	第十八次	第十九次	第二十次
air(辨識度)	0.984	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
carrot cake(辨識度)	0.887	0.992	0.973	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996



圖三十三: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的蘿蔔糕的同時辨識度折線圖，自行繪製



圖三十七: 空氣、產生黃麴毒素的蘿蔔糕在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖，自行截圖繪製

Model Model version: ? **Quantized (int8)**

Last training performance (validation set)

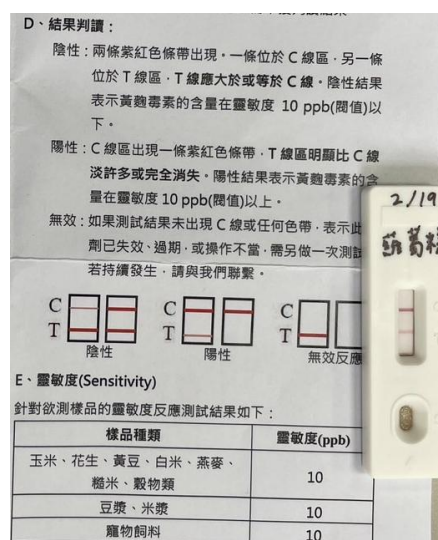
ACCURACY 98.4%

LOSS 0.05

Confusion matrix (validation set)

	AIR	CARROTCAKE
AIR	100%	0%
CARROTCAKE	3.0%	97.0%
F1 SCORE	0.98	0.98

圖三十八:空氣、產生黃麴毒素的蘿蔔糕在 Edge Impulse 的混淆矩陣，自行截圖繪製



圖三十九:使用黃麴毒素總量快速檢測試劑檢驗蘿蔔糕呈現陽性反應，自行拍攝

小結：由圖三十六: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的蘿蔔糕的同時辨識度折線圖與圖三十七: 空氣、產生黃麴毒素的蘿蔔糕在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖可知，我們的電子鼻已經可以準確辨識產生黃麴毒素的蘿蔔糕和空氣，加上如圖三十九:使用黃麴毒素總量快速檢測試

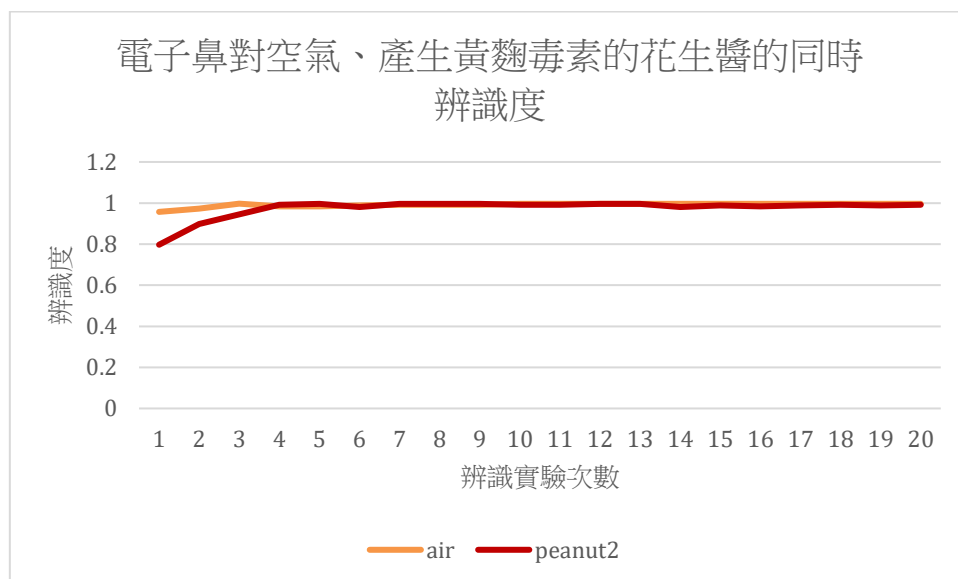
劑檢驗蘿蔔糕呈現陽性反應，因此可雙重證明電子鼻可以辨識具有黃麴毒素之蘿蔔糕。

實驗八: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生醬的同時辨識度

經由實驗一到實驗七同時運用黃麴毒素總量快速檢測試劑檢驗皆呈現陰性，在與試劑公司與食品專家進行專業諮詢後，才得知實驗一到實驗七的發黴食品，早在沒有看到發霉前，黃麴毒素菌株就已存在，但發霉後的強勢黴菌菌種，就將黃麴毒素菌種殲滅了，才會導致試劑驗不出陽性，因此在與試劑公司溝通後，出具實驗切結書，由公司提供具有黃麴毒素菌之花生醬樣品，供實驗比對確認。

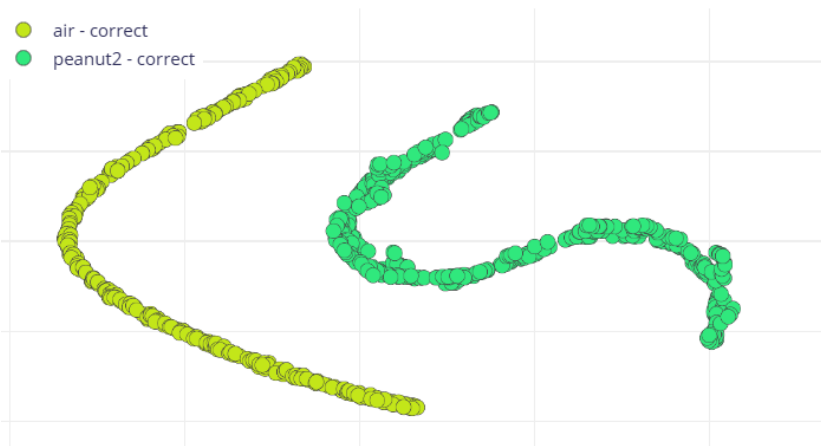
實驗八名稱:	電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生醬的同時辨識度(檢測公司提供具黃麴毒素之樣品)	
實驗目的: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的蘿蔔糕的同時辨識度	控制變因	產生黃麴毒素的花生醬
	操縱變因	取樣時間 10 分鐘 空氣採樣時開窗保持教室通風
	應變變因	電子鼻辨識的準確度
黃麴毒素總量快速檢測試劑進行檢驗黃麴毒素		

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
air	0.957	0.973	0.997	0.984	0.984	0.988	0.992	0.992	0.992	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
peanut2	0.797	0.898	0.945	0.992	0.996	0.998	0.996	0.996	0.996	0.992	0.992	0.996	0.996	0.998	0.988	0.984	0.988	0.992	0.988	0.992



圖四十: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生醬的同時辨識度折線圖，自行繪製

Data explorer (full training set) ?



On-device performance ?

Engine: ?

EON™ Compiler ▾



INFERENCE...

1 ms.



PEAK RAM USA...

1.4K



FLASH USAGE

15.8K

圖四十一: 空氣、產生黃麴毒素的花生醬在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖，自行截圖繪製

Model

Model version: ?

Quantized (int8) ▾

Last training performance (validation set)



ACCURACY

100.0%



LOSS

0.00

Confusion matrix (validation set)

	AIR	PEANUT2
AIR	100%	0%
PEANUT2	0%	100%
F1 SCORE	1.00	1.00

圖四十二: 空氣、產生黃麴毒素的花生醬在 Edge Impulse 的混淆矩陣，自行截圖繪製

黃麴毒素總量(Total Aflatoxin)快速檢測試劑

簡介：
黃麴毒素是一種有強烈生物毒性的化合物，主要由 *Aspergillus. flavus* 及 *Aspergillus. parasiticus* 等黴菌產生，這些黴菌會在玉米、花生、米、大豆等作物上生長，而毒素則在適當的溫度及濕度條件下大量產生。黃麴毒素又可以分為四種 (B1、B2、G1及G2)，其中又以B1最具有肝毒性，是目前發現最強的致癌物質之一。經濟動物若長時間攝取受黃麴毒素所污染的飼料，除了影響採食、增重之外，也會造成肝臟組織壞死。人若長期食用含有黃麴毒素的穀物雜糧或牛奶，嚴重可能會引發肝癌的發生。

而相較一般上機檢驗耗時又費工的方法，本公司推出方便又快速的高靈敏檢驗試劑，除了可有效縮短檢驗流程外，也大大降低的使用者的檢驗成本，對於落實源頭把關的關鍵防線是相當有利的篩檢工具。

試劑內容：
1、檢測卡
2、滴管
3、說明書
4、AFT 樣品稀釋液

試劑使用說明：
A、注意事項：
1、使用時才將包裝打開，以免試劑受潮。
2、勿碰觸試紙條中央白色膜面處。
3、產品內附之檢測卡及滴管皆為單次使用後拋棄式材料，請勿重複使用。
4、操作流程建議使用polypropylene材質的離心管。
5、試劑套組可儲存於4~30℃，請勿冷凍。
6、本產品為初步篩選試劑，任何可疑及陽性結果建議複測試第二次作確認，若依然為陽性則建議進一步用ELISA或者送第三方單位以公告方法做確認。

B、樣品製備：
玉米、花生、黃豆、白米、燕麥、糙米、穀物類：
1. 取1g已粉碎具代表性的樣品於乾淨容器中。
2. 加入4mL AFT 樣品稀釋液，震盪混合均勻2分鐘。

寵物飼料：
1. 取1g已粉碎具代表性的待測物於乾淨容器中。
2. 加入5mL AFT 樣品稀釋液。
3. 搖晃混合均勻1分鐘後，利用濾紙進行過濾。
4. 濾液即為待測液。

C、操作步驟：
1. 在進行檢測前先完整閱讀使用說明書，由切口撕開鋁箔包裝，取出檢測卡。
2. 使用包裝內所附之滴管吸取檢體，滴入4~5滴檢體(或使用Pipette吸取120μL)於樣品收集區中。
注意：切勿將檢體直接滴入CT線顯色判讀區中
3. 靜待5~10分鐘後依呈色結果判讀。**注意：請勿超過30分鐘判讀，以免因時間因素而干擾判讀結果。**

D、結果判讀：
陰性：兩條紫紅色條帶出現，一條位於C線區，另一條位於T線區，T線應大於或等於C線。陰性結果表示黃麴毒素的含量在靈敏度10ppb(閾值)以下。
陽性：C線區出現一條紫紅色條帶，T線區明顯比C線淡許多或完全消失。陽性結果表示黃麴毒素的含量在靈敏度10ppb(閾值)以上。
無效：如果測試結果未出現C線或任何色帶，表示此試劑已失效、過期，或操作不當，需另做一次測試。若持續發生，請與我們聯繫。



靈敏度(Sensitivity)
檢測樣品的靈敏度反應測試結果如下：

樣品種類	靈敏度(ppb)
玉米、花生、黃豆、白米、燕麥、糙米、穀物類	10
豆漿、米漿	10
寵物飼料	10

圖四十三:使用黃麴毒素總量快速檢測試劑檢驗花生醬呈現陽性反應，自行拍攝

小結：由圖四十: 電子鼻對空氣、產生黃麴毒素的花生醬的同時辨識度折線圖可知產生黃麴毒素的花生醬平均辨識度在 0.9742、空氣平均辨識度在 0.99 與圖四十一: 空氣、產生黃麴毒素的花生醬在 Edge Impulse 的訓練分類分布圖可知，我們的電子鼻已經可以準確辨識產生黃麴毒素的蘿蔔糕和空氣，加上如圖四十三:使用黃麴毒素總量(AFT)快速檢測試劑檢驗花生醬呈現陽性反應，因此可雙重證明電子鼻可以辨識具有黃麴毒素之花生醬。

柒、討論

- 一、在電子鼻辨識實驗中，發現產生黃麴毒素的米與花生醬易被誤判為產生黃麴毒素的花生粉。這可能是因為花生粉的氣味較濃，而米的氣味較淡，導致 AI 模型難以區分。
- 二、氣體採樣環境會影響辨識準確度。若教室窗戶緊閉，可能導致空氣樣本受到其他氣味干擾，影響 AI 訓練結果。應確保通風良好，避免誤判。
- 三、電子鼻無法準確辨識產生黃麴毒素的米，可能是因為氣味過於淡薄，導致感測器難以偵測明顯特徵。
- 四、黃麴毒素檢測試劑結果顯示，發霉食品中部分檢測為陰性，原因可能是強勢黴菌取代黃麴黴菌，導致黃麴毒素含量下降。這說明單靠試劑檢測可能存在盲點，需要搭配電子鼻技術進行輔助檢測。

捌、生活運用

本研究開發的電子鼻 AI 技術可應用於食品檢測，提供快速、非侵入式的黃麴毒素辨識方案，在家庭、餐廳、食品加工廠等場域均具實用價值。透過這項技術，消費者能夠快速判斷食品安全，食品業者可於生產與存儲過程中進行即時監測，進一步提升食品安全標準。此外，該技術可擴展至其他氣味檢測應用，如農產品新鮮度判別、食物變質偵測，甚至工業有害氣體監測，為食品與環境安全帶來更高層次的保障。

玖、結論

- 一、電子鼻 AI 技術能夠準確辨識發霉食品，如花生粉、花生醬、蘿蔔糕、燕麥、玉米等，並有效區分部分含黃麴毒素的食品。
- 二、電子鼻能夠快速檢測食品，相較於傳統色譜技術，具有便利性與即時性，可作為食品安全監測工具。
- 三、研究結果顯示，電子鼻 AI 辨識系統可應用於食品產業與一般家庭，提供更經濟、高效的食品安全解決方案。

拾、未來展望

本研究開發的電子鼻 AI 技術已展現良好的食品安全應用潛力，但仍可進一步優化：

- 一、提升辨識準確度：未來可優化 AI 訓練數據，提升辨識精細度，讓系統更精確區分不同程度的黃麴毒素污染。
- 二、開發便攜式電子鼻：未來可縮小設備體積，設計可攜式黃麴毒素檢測裝置，讓消費者能夠隨時隨地檢測食品。
- 三、擴展應用範圍：除了黃麴毒素辨識，可延伸至其他食品污染物檢測，如農藥殘留、細菌污染，進一步提升食品安全監控能力。
- 四、市場推廣與應用：未來可與食品業者、政府機構合作，將本技術應用於食品檢驗標準，進而提升食品供應鏈的安全管理。

透過持續研究與技術升級，電子鼻 AI 技術將能為食品安全與健康生活帶來更大的保障，減少消費者攝取有害物質的風險，推動更健康、更智能的食品檢測方式。

拾壹、參考文獻

1. FoodNEXT. (2023). 如何在家製作健康美味的發酵食品：從基本原理到實際操作的全方位 FoodNEXT. FoodNEXT. <https://www.foodnext.net/issue/paper/4852994049>
2. 國立臺灣科學教育館. (2023). 利用人工智慧技術提升農業生產效率之研究：以智慧農業系統為例. 國立臺灣科學教育館. <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/18/pdf/18m/173.pdf>
3. 國立臺灣科學教育館. (2024). 應用物聯網技術於智慧城市交通管理之研究：以台北市為例，探討交通流量與事故預防. 國立臺灣科學教育館. <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/19/pdf/19m/133.pdf>
4. 食力 foodNEXT. (2019). MediaTek Dimensity 9200+ | 終極旗艦 5G 智慧手機晶片 [影片]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=DuF1LR_KPMk

- 5.食品藥物管理署. (2023). 食品安全與健康：如何選擇適合的保健食品. 食品藥物管理署. 洪儷玲、鍾瑩慧、楊榮季. 食品中黃麴毒素從何而來？如何避免吃下肚. <https://article-consumer.fda.gov.tw/subject.aspx?subjectid=1&id=3686>
- 6.We Care You. (2023). 黃麴毒素的危害及預防：如何保護您的健康. We Care You. <https://www.wecareyou.cc/lifestyle/aflatoxin>
- 7.【TinyML 微型機器學習小教室】. (2023). Ep1: 什麼是 TinyML 與認識 WioTerminal 開發板 / Introduction to TinyML and Wio Terminal board [影片]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=sGpRnlGPapY>
- 8.陳伊柔, 鄭舒聿. (2024). 二維材料/有機半導體複合材料高靈敏有毒氣體偵測. 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會作品說明書, 臺中市私立明道高級中學.
- 9.林志明等. (2023). 電子鼻在食品安全檢測之應用研究. 農業科技期刊. <https://www.ag.gov.tw/journal/2023/12345>
- 10.多通道氣體感測器整合應用指南. (2023). Arduino Project Hub. <https://projecthub.arduino.cc/guides/gas-sensors>
- 11.食品藥物管理署. (2023). 花生製品中黃麴毒素含量檢驗方法指引. 食品藥物管理署. <https://www.fda.gov.tw/guidelines/aflatoxin/2023>
- 12.張明宏. (2023). 黃麴毒素檢測技術發展現況與展望. 食品工業期刊. <https://www.foodsafety.gov.tw/article/12345>
- Wang, Y., et al. (2023). Machine Learning Applications in Food Quality Assessment. IEEE Sensors Journal. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.789012>
- 13.黃敏瑜、王琪、吳秋君. (2004). 以上帝為師：電子鼻在甲醛偵測的開發及應用. 中華民國第 43 屆中小學科學展覽會作品說明書.
- 14.曾博仁、廖祐廷、胡靖. (2014). 使黑心商品無所遁形的 i-Hound. 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品說明書.
- 15.沈能元. (2024, 7 月 28 日). 健保大數據／肝癌總人數逐年上升：65 歲以上最多 男為女 2 倍. 聯合報健康網. <https://health.udn.com/health/story/6026/8121561>