

113 年台灣雜糧發展基金會補助計畫

計畫名稱：國產硬質玉米儲存條件與微生物毒素產生與
去毒化之探討

計畫編號：113-02-005

期中報告

實施期間：113 年 1 月 1 日至 113 年 12 月 31 日

執行機構：國立臺灣大學農業化學系

計畫主持人：賴喜美教授

計畫執行：金禹圻、曾令偉

113 年 8 月 15 日

前言

玉米(*Zea mays* L.)、小麥與稻米為全球產量前三大的穀物作物，其中，玉米除可供作人類糧食外，更是牲畜飼料與生質燃料等之主要原料來源。臺灣玉米屬於內銷型產業，硬質玉米之年栽培面積與收穫面積約 22638 公頃，平均收穫量為 4286 公斤公頃，年產量為 97,024 公噸，前五大生產縣市為台南市、嘉義縣、雲林縣、花蓮縣與高雄市，其年生產量佔總產量之 95%(資料來源：行政院農委會各項作物產量排序查詢 https://agr.afa.gov.tw/afa/pgcropsigqty_cond.jsp)。臺灣由於長年進口大量玉米，其中 99%來自美國和巴西，這些幾乎都是基改玉米，主要為飼料用途。為提高國內糧食自給率和活化農地利用，於 101 年起農業委員會(現為農業部)推動「調整耕作制度活化農地計畫」，旨在增加農民收入及擴大穀物自給率。其中，硬質玉米更是計畫中進口替代補助作物之一，同時將國內農民種植的馬齒種或硬粒種的黃色玉米統稱為硬質玉米(賴，2022)。係指玉米成熟時，植株苞葉枯黃，玉米籽粒質地堅硬，顏色為黃色、橙色或紅色，除可作為飼料外，更希望能作為食品加工或玉米澱粉生產等多元用途，以利雜糧產業推展及增加農民收益。

目前國內除了普遍種植之芻料玉米栽培品種，臺農 1 號(TK1)、臺南 24 號(TN24)、明豐 3 號(MF3)等，在農業試驗單位多年來的努力下，也育種及釋出多個硬質玉米品系，包括優質蛋白玉米(quality protein maize, QPM)台農 7 號、高直鏈澱粉玉米(high amylose maize, HAM)等。國產硬質玉米具有非基因改造、收穫後加工原料新鮮及有利於多元與加值化應用之優點外，相較於進口玉米則有較短的碳足跡，符合資源永續之目標。但國內農地有限，作物生產成本遠高於進口原料，唯有提高國產硬質玉米之附加價值，農民才能種有所得、種有所值。

農委會於 105 年推動「大糧倉計畫」，建構代耕體系及採後處理中心、建立國產雜糧集團產區、成立雜糧產業策略聯盟與發展多元加工、行銷及強化食農教育等。更於 112 年規劃在六年內將硬質玉米、甘藷、大豆及高粱等四項雜糧面積擴增 27,250 公頃，並研議開放非基期年土地所種植雜糧，由政府提供獎勵。在穀物原料擴大種植面積下，勢必會提高穀物原料的產量，因此，以產業生產鏈的觀點而言，穀物原料最大的特點在於可以長期貯存、穩定供應，且應用多元，可以做為主食、亦可作為副食。但是，貯存期間的品質變化必須特別重視，也是國產

穀物要取代部分進口原料及應用於高附加價值加工產品的首要條件。

近 20 年來，越來越多的流行病學證據顯示，高全穀物攝取量有益於心血管疾病之預防及降低肥胖和糖尿病的風險(Guoa et al., 2021)；經常攝入全麥穀物可以降低慢性病的風險並對人體健康達到顯著的改善效果(GBD, 2017)。整合分析(Meta analysis)結果亦顯示，與低全穀物攝取者相比，高全穀物攝取者之全因死亡率(all-cause mortality)及癌症致死率均較低，並指出全穀物攝取量低是失能調整生命年(Disability Adjusted Life Year, DALY)的主要飲食風險因子(Reynolds et al., 2019)。因此，全穀原料的提供與全穀食品的需求愈來愈高，也是產、學、研極為重視的研發議題。硬質玉米為全穀食品製作之極佳原料，不僅可以製作全穀主食亦可以加工成多中全穀點心食品；但其前提必須為使用安全、優質之玉米籽粒為原料。

真菌毒素(Mycotoxin)是穀物原料在作物生長階段(收成前)，或是儲藏期間(收成後)，甚至是在加工過程及運輸過程中，遭受到黴菌(真菌)感染後產生具有毒性的二次代謝產物。常見於收成前感染作物的黴菌為伏馬鐮孢屬(*Fusarium spp.*)，收成後大多會受到麴黴菌屬(*Aspergillus spp.*)和青黴菌屬(*Penicillium spp.*)的感染，導致此類黴菌於穀粒原料儲藏期間感染作物並產生黴菌毒素。即使儲藏期間穀粒水分含量控制在 12~18%且溫度調控在 10~50°C 之間，穀粒仍有機會被感染並產生毒素。為了防止毒素對於作物的危害及累積在穀粒中，在作物生長過程中，應避免病原菌的感染與後續菌群的形成與毒素的產生，因此，採收之穀粒，應檢測微生物感染情況與真菌毒素含量，並藉由調控儲藏條件來遏止病原菌的生長與群聚。

硬質玉米於採收前及貯存期間(採收後)容易受到產真菌毒素(mycotoxigenic)之黴菌感染。主要產真菌毒素之菌種屬於麴菌(*Aspergillus spp.*)及鐮菌(*Fusarium spp.*)兩類，前者可能產生黃麴毒素(aflatoxins)及赭麴毒素(ochratoxins)，後者則可能產生伏馬毒素(fumonisin)、新月毒素(trichothecenes)及玉米赤黴烯酮(zearalenone)。Zhang 等人(2021)研究指出，在四個月貯藏期間，玉米中的黃麴毒素於貯藏前為未檢出，貯藏後則有檢出；而屬於新月毒素的嘔吐毒素(deoxynivalenol)含量於貯藏前後無顯著變化。由此顯示，麴菌所產的毒素相較於

鐮球菌所產的毒素，在貯藏期間可能具有較高的累積現象。由於穀物貯存期間之安全性與穀粒內在因子，尤其是水分含量有關，即需貯存於安全水分含量以下，以控制微生物之生長與毒素之產生。但穀粒水分含量會受到貯存環境的溫度與濕度影響。例如：即使在 24°C 下貯存，但環境相對濕度低(50% RH)時，玉米的平衡含水量為 11.0%，因此，可以安全儲存。然而，即使在較低的貯存溫度(15°C)，但相對濕度較高(75% RH)時，玉米平衡含水量則是 16.2%，就相當危險(Steyn, 2023)。另，Garcia-Cela 等人(2019)研究發現，產真菌毒素黴菌 *Aspergillus flavus* 在玉米中最佳生長溫度為 30°C。國內目前多使用戶外穀倉，此於夏季日照下局部溫度可能高於預期，造成黴菌生長熱點(hotspot)，具有真菌毒素污染之疑慮。近年來冷鏈倉貯的興起雖成為穀類貯藏的選項之一，但低溫貯藏成效與冷鏈技術成本間權衡仍未明朗。因此，貯藏溫度條件與玉米品質間之關聯性值得進一步探討。

國產硬質玉米為了能與進口玉米在市場利用及價值方面有所區隔，全穀原料及全穀產品的應用開發是除了具有非基改、原料新鮮之優勢外，若是我們能確保硬質玉米在儲藏期間之安全性與品質穩定性，則更是可以著力的方向。簡而言之，加工業者必會樂意採用國產玉米原料進行高品質且具備健康訴求產品的開發、生產及販售；消費大眾也會樂見市面上有以國產原料製作之富營養與保健功能之玉米加工食品可供選擇與食用。由於消費市場對安全且優良之玉米加工產品的需求提高，食品加工廠必會尋求並購買優質的國產玉米原料，以供利用生產；農民也會因為玉米原料的需求量增加及優質玉米原料售價提高，而有更大的意願擴大種植。終其結果，國產硬質玉米產業才能成長，國家農業政策才能得以落實。

材料與方法

(一)材料

本試驗使用之硬質玉米為明豐 3 號(MF3)，計 200 公斤(112 年期)，購自農民蘇震鎡先生(台南學甲)。其他藥品均為分析及以上。

(二)試驗設計

將玉米原料明豐 3 號(MF3)(購自臺南青農)去除雜質、外來物、破碎粒等，取

完整粒區分為六份(1600g/份)，分別預計調整水分含量為 10-12、12-14 及 14-16% (濕基)，即 11.1-13.6、13.6-16.7 及 16.7-21.4%(乾基)，計三種水分範圍樣品。各取一種水分含量玉米，以針織袋分包(共八包)後，各取四包置於密封箱(2 個)中，先進行 15°C 貯存試驗，即將密封箱分放於 2 個培養箱中(健鑫儀器有限公司，新北市)，視為兩重複試驗。之後，重複玉米籽粒調濕處理，並置於 38°C 培養箱中貯存，以分別代表冷鏈低溫儲藏及高溫(室外)穀倉儲藏。本試驗共計六種試驗條件組合(3 種水分含量×2 種溫度)，儲藏至少 3 個月。

玉米原料將先進行黴菌毒素分析檢測及微生物培養，同時於儲存期間定期檢測微生物及監測黴菌毒素的變化。擬定每兩週進行外觀評估、鏡檢及水分、水活性測定。每四週除外觀評估及水分、水活性測定外，同時進行真菌毒素分析，若儲藏期間，雖未達取樣檢測及發現有黴菌生長時，則立即取樣並進行黴菌毒素分析檢測及微生物培養，同時記錄當下之水分含量與水活性值後，停止儲藏室驗。

(三)分析測定方法

1.原料

1.1 外觀評估、鏡檢

依據中華民國國家標準 CNS 3287，評估玉米粒之色澤、顆粒大小之整齊度、氣味等。並依 CNS 2432 評估破碎粒、夾雜物及損害粒之情形，使用解剖顯微鏡觀察玉米粒尖端是否有黴菌生長跡象。

1.2 水分、水活性、灰分、粗蛋白、粗脂肪測定。

1.21 根據 AACC 44-15.02，將 15 克玉米粒置於水分測定盤中，於 103±1°C 烘乾 72 小時後，記錄損失重，即可計算得水分含量。

1.2.2 使用 AquaLab TDL (Meter Group, USA) 於 25°C 下測定水活性。

1.2.3 根據 AACC 46-11.02，取 1.0 克磨碎混勻之玉米樣品，以凱氏定氮法(Improved Kjeldahl Method, Copper Catalyst Modification)測定粗蛋白含量。

1.2.4 根據 AACC 30-20.01，取 2-5 克玉米樣品，於 95-100°C 真空烘箱中烘乾約 5 小時後，以無水乙醚萃取，冷凝速率約每秒 2-3 滴，共萃取 16 小時。萃取

液於 100°C 烘乾 30 分鐘後，冷卻稱重即可計算得粗脂肪含量。

1.3 總生菌素測定

根據衛福部「食品微生物之檢驗方法—生菌數之檢驗」進行樣品檢測。

1.4 微生物分析(感染率)

根據 Bacteriological Analytical Manual (Tournas, et al., 2001) 第 18 章中直接平板接種法(Direct Plating Technique for Foods That Can Be Handled with Forceps)，每次取樣約 100 克，置於-20°C、72 小時後，分別取 50 克進行表面感染(surface-disinfected, SD)及非表面感染 (non-surface-disinfected, NSD)分析。

表面感染分析使用鑷子將玉米粒放置於 Dichloran 18% glycerol (DG18) agar，於 25°C 暗處培養 5 日後觀察微生物生長情形，依發生黴菌生長的顆粒數計算感染百分比，並以低倍數 (10-30X)顯微鏡觀察黴菌外觀。

非表面感染(non-surface-disinfected, NSD)分析則先使用漂白水浸泡 2 分鐘，再以滅菌蒸餾水潤洗二次後，使用鑷子將玉米粒放置於 DG18 agar 上，同於 25°C 暗處培養 5 日後觀察，並計算感染百分比。

2. 儲藏試驗期間(每四週)

2.1 外觀評估(顏色、大小、完整粒)、鏡檢

同 1.1。

2.2 水分及水活性測定

同 1.2.1 及 1.2.2。

3. 微生物分析(感染率)

同 1.3。

4. 真菌毒素分析

依據衛福部公告方法(MOHWT0010.02)，食品中黴菌毒素檢驗方法—多重毒素之檢驗，利用液相層析串聯質譜儀進行黃麴毒素(Aflatoxin, AF) B₁、B₂、G₁ 及

G₂，赭麴毒素(Ochratoxin A, OTA)，鐮刀黴菌毒素(Fusarium toxin) T-2 及 HT-2，脫氧雪腐鐮刀菌烯醇(Deoxynivalenol, DON)，玉米赤黴毒素(Zearalenone, ZEA)，伏馬毒素(Fumonisin) B₁ 及 B₂，共 11 種毒素分析。

將玉米籽粒磨碎後，取約 5 克，加入磷酸鹽緩衝溶液 5 毫升混勻後，再加入 70%乙腈之甲醇溶液 20 毫升，震盪萃取 30 分鐘後，以 4300×g 離心 5 分鐘，取上清液 5 毫升，於 50°C 下以氮氣吹乾後，最後以 20%乙腈溶液定容至 1 毫升，經由 0.45 μm 過濾後，上機分析。使用之液相層析儀為 ACQUITY UPLC I class, (Waters Co., Milford, MA, USA)，層析管柱為 ACQUITY BEH C18 (2.1 × 100 mm, 1.7 μm)，串聯質譜儀為 XEVO TQ-XS (Waters Co., Milford, MA, USA)。

定量極限依據公告方法，分別為黃麴毒素及赭麴毒素 A：0.5 ppb、鐮刀黴菌毒素：1 ppb、脫氧雪腐鐮刀菌烯醇及玉米赤黴毒素：5 ppb、伏馬毒素：20 ppb。

結果與討論

一、玉米原料性質

購入之玉米籽粒，先將明顯破碎及發黴籽粒去除後，選取完整籽粒(圖一)，進行水分含量、水活性、灰分、粗蛋白、粗脂肪等之測定，其水分含量為 10.50% (濕基)，即 11.73% (乾基)，水活性為 0.3842。



圖一、玉米籽粒外觀影像。

儲藏前之玉米籽粒生菌數為 35000 CFU/g；微生物感染率在儲藏前未以漂白水清洗的玉米籽粒感染率高，介於 80-90%之間，但經由漂白水清洗後，非表面感染(non-surface-disinfected, NSD)之感染率明顯降低至 2-5%之間(圖二)，顯示玉

米籽粒內部被真菌感染的比例並不高，真菌主要為附著於籽粒表面之表面感染 (surface-disinfected, SD)。因此，儲藏前玉米籽粒之清潔、篩選非常重要。

Tempered grain Moisture Content (wb)	-			+			Infection rate	
							Chlorine (-)	Chlorine (+)
13.20%							83.85%	4.65%
16.22%							89.76%	2.29%
18.38%							88.37%	4.96%

圖二、玉米原料微生物感染率試驗結果。-：玉米籽粒未用漂白水清洗；+：玉米籽粒先以 2.5% 漂白水處理後再培養。

二、玉米籽粒調濕及儲藏試驗結果

從購入之玉米籽粒選取完整顆粒且無發霉之樣品，測定其水分含量為濕基 9.1% (10.01%，乾基)，使用無菌水調整玉米水分含量，使其水分含量達到預設定之濕基為 10、12 及 14%，即 11.11、13.64 及 16.28% (乾基)。但因初步調濕時計算出入，因此，調濕後實際水分含量(濕基)分別為 13.20% (Treatment A)、16.22% (Treatment B) 及 18.38% (Treatment C)，缺乏最低水分之組別，故於後續再製備二批濕基分別為 12% (Treatment D) 及 10% (Treatment E) 之樣品，並進行儲藏試驗。

二、不同水分含量(調濕)玉米籽料於 15°C 儲藏期間之水分與水活性變化

將調濕完成之玉米籽粒分裝成 8 包，每 4 包裝一箱，再將 2 箱分別移置兩座 15°C 培養箱中儲藏，分別標識為 batch#1 及 batch#2；初期 batch#2 之培養箱溫度稍有跳動，平均約為 18°C，但第 2 週後，溫度已可維持恆定。截至目前，個處理

組別之水分含量及水活性測定結果整理於表一。Treatment A 組(調濕後 MC=13.20% (wb)、 $a_w=0.5632$)在儲藏初期(0-6 weeks)水分含量大致隨著儲藏時間增長而增加，但在第八週後逐漸下降， a_w 亦是先提高後降低，但其在第四週 (batch#2)與第六週(batch#1)時則高於 0.80，且 batch#1 於第 10 週取樣時觀察到部分玉米籽開始產生黴菌，而 batch#2 亦於第 12 週時觀察到有大量黴菌產生，便終止儲藏室驗。Treatment B 組(調濕後 MC=16.22% (wb)、 $a_w=0.7658$)在儲藏 2 週時水分含量稍微減少，但隨後則再次增加，水活性之變化趨勢類似，兩重複之玉米籽粒，在儲藏第六週時均被觀察到部分玉米籽開始產生黴菌。Treatment C 組因調濕後玉米籽粒水分含量過高(18.38%, wb)，此時水活性($a_w=0.8609$)已達到黴菌可生長範圍，因此，在儲藏 2 週之第一次取樣時即發現籽粒發霉，此時水分含量及水活性分別為 19.46% (wb)及 0.9097 (batch#1)及 19.63% (wb)及 0.9206 (batch#2)。所有玉米處理樣品均在發現黴菌生長後即停止後續之儲藏試驗與取樣檢測分析。先前調濕樣品因計算疏失導致水分含量較當初實驗設計時高，故及時再製備兩組水分含量較低之玉米樣品，即 Treatment D (MC=11.75% (wb)、 $a_w=0.5031$)及 Treatment E (MC=10.15% (wb)、 $a_w=0.3846$)，目前兩組樣品之儲藏時間分別為第 9 週及第 7 週。兩組樣品之水分及水活性含量雖然都隨者儲藏時間之延長而增加，但樣品尚未觀察到有黴菌生長。

表一、儲藏期間(15°C)玉米籽粒之水分含量與水活性

Treatment	Moisture content (%) (Expected)		Storage time (week)	batch#1			batch#2			Note	
	Wet basis	Dry basis		Moisture content (%) (Actual)		a_w	Moisture content (Actual)		a_w		
				Wet basis	Dry basis		Wet basis	Dry basis			
A	12	13.46	0	13.20	15.21	0.5632	13.20	15.21	0.5632	• MC is higher than expected.	
			2	14.84	17.44	0.7266	15.07	17.76	0.7534		
			4	15.23	17.98	0.7721	15.14	17.95	0.8056		
			6	16.16	19.28	0.8413	15.19	17.91	0.7564		
			8	16.11	19.20	0.7726	14.47	16.92	0.7120		
			10	15.57	18.43	0.8051	14.11	16.42	0.6989		• Mold was found in batch# 1 at the 10-week.
			12	N/A	N/A	N/A	13.80	16.00	0.7194		
B	14	16.28	0	16.22	19.36	0.7658	16.22	19.36	0.7658	• MC is higher than expected (close to treatment C). • Mold was found during the 6- week.	
			2	15.56	18.43	0.7641	15.25	18.00	0.7335		
			4	16.80	20.19	0.8053	18.59	22.83	0.7863		
			6	16.74	20.11	0.8064	17.77	21.61	0.7340		
C	16	19.05	0	18.38	22.53	0.8609	18.38	22.53	0.8609	• MC is higher than expected. • Mold was found during the 2 nd week.	
			2	19.46	24.16	0.9097	19.63	24.42	0.9206		
D	12	13.64	0	11.75	13.31	0.5031	11.75	13.31	0.5031		
			2	12.79	14.67	0.5673	13.09	15.06	0.6069		
			4	13.31	15.36	0.6100	12.75	14.63	0.5632		
			6	13.33	15.38	0.7032	12.11	13.77	0.6054		
			8	13.89	16.12	0.7035	12.61	14.42	0.6013		

E	10	11.11	0	10.15	11.30	0.3846	10.15	11.30	0.3846	• Dried grain in an oven to lower the MC.
			2	10.62	11.88	0.4263	10.32	11.51	0.4193	
			4	10.37	11.57	0.4000	10.10	11.24	0.4101	
			6	10.24	11.40	0.4256	9.64	10.67	0.4410	

三、玉米籽粒於 15°C 儲藏期間之微生物變化

(一)總生菌數

每次取樣之玉米籽粒樣品，若以肉眼無法觀察到黴菌生長時，則除了水分含量及水活性測定外，亦進行生菌數及微生物感染率測定。生菌數檢測是一種檢測食品中微生物數量的方法，總生菌數是指食品中所有微生物的總數，包括細菌、真菌、藻類等。生菌數測定結果(表二)顯示，原始玉米籽粒之生菌素量為 35000 CFU/g，但是調濕之玉米籽粒經儲藏後，其生菌數量均較為儲藏前降低，雖然，相同處理之樣品存在重複試驗之差異，但其隨儲藏時間延長而降低之趨勢似乎與黴菌滋長情形呈負相關，推測原因有二，其一為玉米籽粒之調濕處理及儲藏條件導致微生物間之生存競爭，即優勢菌種(黴菌)開始孳生、大量繁殖，而劣勢菌種(細菌)無法存，逐漸生死亡，其二為生菌數檢測方法主要用於檢測食品中可能因處理不當，包括加工衛生條件不佳、加熱處理不當、貯藏條件錯誤等所導致的微生物滋長情形評估，用以評估玉米籽粒主要污染菌原—真菌並不恰當。因此，在後續 38°C 儲藏試驗，將不再進行生菌數檢測。

表二、玉米籽粒於 15°C 儲藏期間之生菌數量

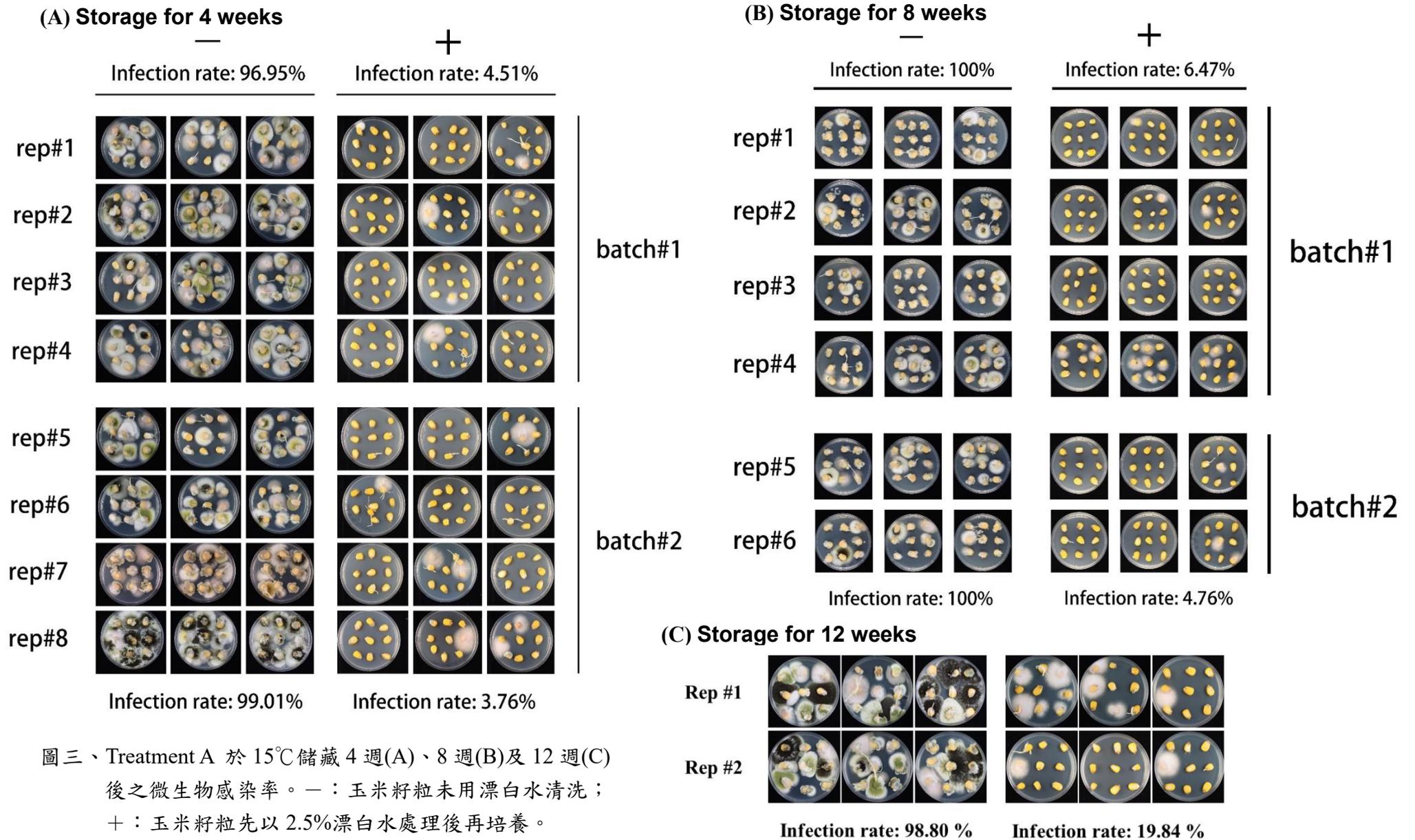
Treatment	Storage time	#	Aerobic plate count										
			Batch 1				CFU/g	Batch 2					
			Dilution Ratio					Dilution Ratio					
			1:10	1:10 ²	1:10 ³	1:10 ⁴		1:10	1:10 ²	1:10 ³	1:10 ⁴		
Control	-	1	TNTC ¹	TNTC	37	6	35000	--	--	--	--	--	
		2	TNTC	TNTC	32	6	35000	--	--	--	--	--	
		3	TNTC	TNTC	35	5	35000	--	--	--	--	--	
A	4	1	75	22	2	0	745	41	24	1	0	410	
		2	106	40	6	1	256	26	2	1	0	260	
		3	12	2.5	0	0	120*	10	1	1	0	100*	
		4	9	1.5	0	0	90*	--	--	--	--	--	
	8	1	14	2	0	0	145*	40	9	1	0	400	
		2	11	2	0	0	110	34	5	2.5	0	340	
		3	23	8	1	0	230*	--	--	--	--	--	
		4	40	4	1	0	400	--	--	--	--	--	
	12	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12	1	1	0	120*	
		2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	17	2	2.5	0	170*	
	B	4	1	18	9	9	0	175*	10	3	1	0	105*
			2	27	4	1	0	270	26	4	1	0	260
3			14	3	1	0	140*	21	4	1	0	210*	
4			14	7	1	0	145*	9	4	0	0	90*	
D	4	1	236	78	14	3	5105	65	15	2	0	650	
		2	168	64	7	2	4063	45	7	1	1	450	
		3	112	40	7	1	2583	99	30	3	0	1998	
		4	22	4	1	0	220*	14	2.5	1	0	140*	

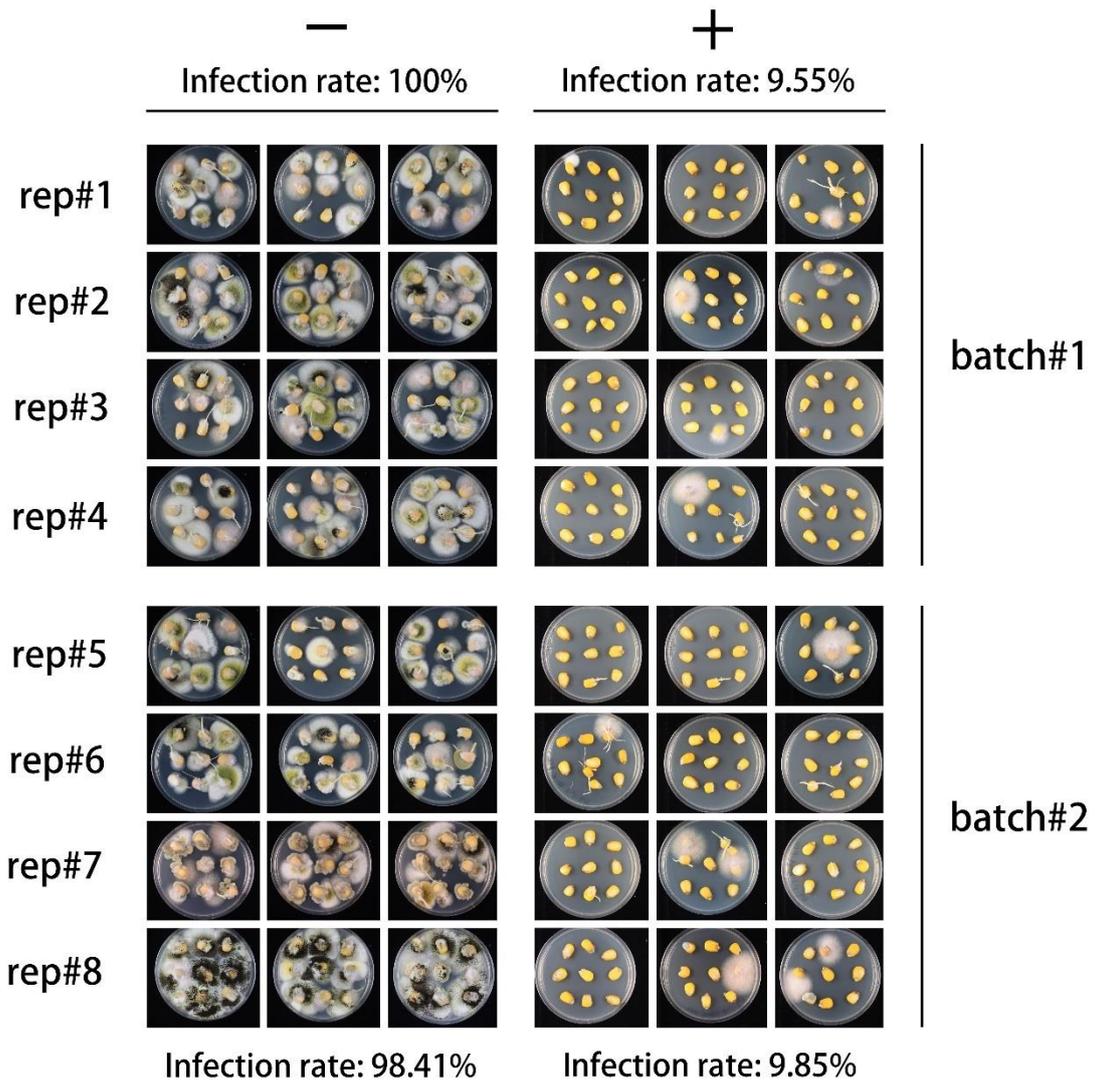
		1	219	118	2	0	6968	26	3	0	0	260
	8	2	32	5	1	0	315	30	2	1	0	300
		3	40	10	0	0	400	23	3	0	0	230*
		4	40	6	0	0	395	15	3	1	0	150*
		1	196	61	14	3	4030	27	3	14	3	270
E	4	2	57	15	7	3	565	32	3	7	3	320
		3	60	24	7	1	595	17	3	7	1	170*
		4	26	7	1	0	255	30	5	1	0	300

¹TNTC：菌落太多無法計數，菌落明顯多於 250；*表示估計值。

(二)微生物感染率

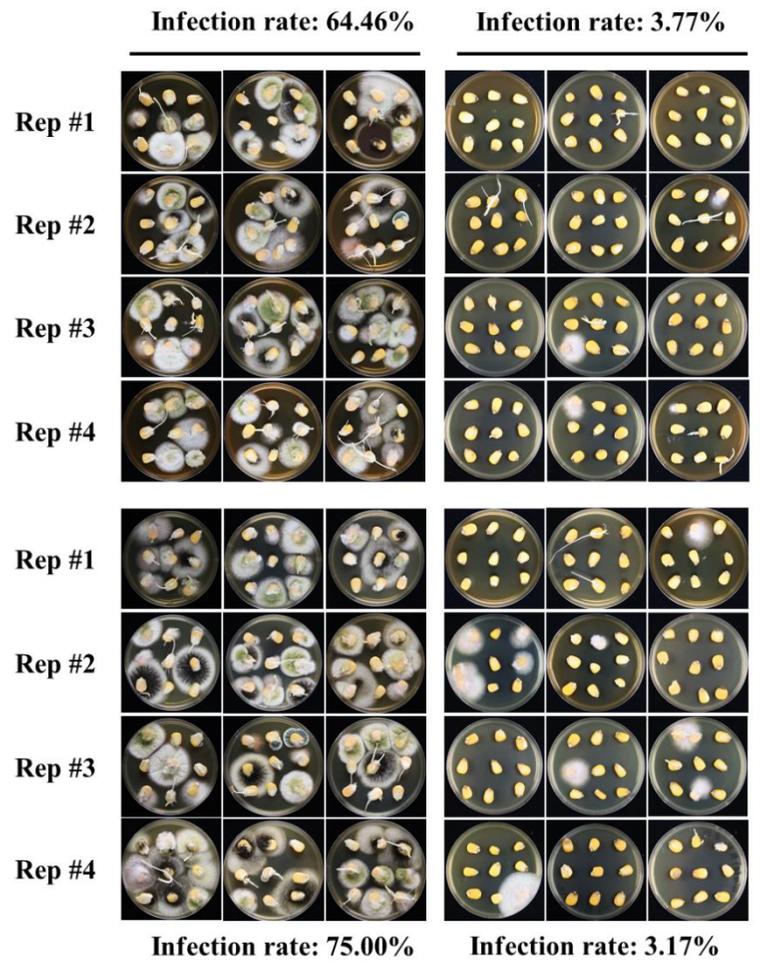
圖三~圖六為玉米籽粒於 15°C 儲藏期間之微生物感染率檢測結果。結果顯示，白水清洗的感染率要比儲藏前更高，2 個 batch 均高於 95% (圖三)。Treatment A 儲藏 4、8 及 12 週後之微生物感染率分別為 96.95% (batch#1)與 99.01% (batch#2)、100% (batch#1)、及 98.80% (batch#2)；當儲存玉米籽粒以 2.5%漂白水洗後再培養，其儲藏 4、8 及 12 週後之微生物感染率則分別為 4.51% (batch#1)與 3.76% (batch#2)、6.47% (batch#1)與 4.76% (batch#2)、及 19.84% (batch#2)。Treatment B 儲藏 4 週後之玉米籽粒微生物感染率(圖四)為 100% (batch#1)與 98.41% (batch#2)，而當儲存玉米籽粒以 2.5%漂白水洗後再培養，其儲藏 4 週後之微生物感染率則分別為 9.55% (batch#1)與 9.85% (batch#2)。由於 Treatment B 在儲藏 6 週後發霉，故此組之後不進行感染率檢測。Treatment D 儲藏 4 及 6 週後之微生物感染率(圖五)分別為 64.46% (batch#1)與 75.00% (batch#2)、及 64.46% (batch#1)與 86.31% (batch#2)；當儲存玉米籽粒以 2.5%漂白水洗後再培養，儲藏 4 及 6 週後之微生物感染率則分別為 3.77% (batch#1)與 3.17% (batch#2)、及 2.97% (batch#1)與 0.79% (batch#2)。Treatment E 儲藏 4 週後之玉米籽粒微生物感染率(圖六)為 79.96% (batch#1)與 68.45% (batch#2)，而當儲存玉米籽粒以 2.5%漂白水洗後再培養，其儲藏 4 週後之微生物感染率則分別為 2.18% (batch#1)與 0.79% (batch#2)。總而言之，儲藏時間越長，微生物感染率上升，水活性值越高，微生物感染率亦上升；但儲藏玉米籽粒經漂白水處理後，感染率均顯著下降，推測漂白水可以顯著降低儲藏玉米籽粒真菌滋生之機會。



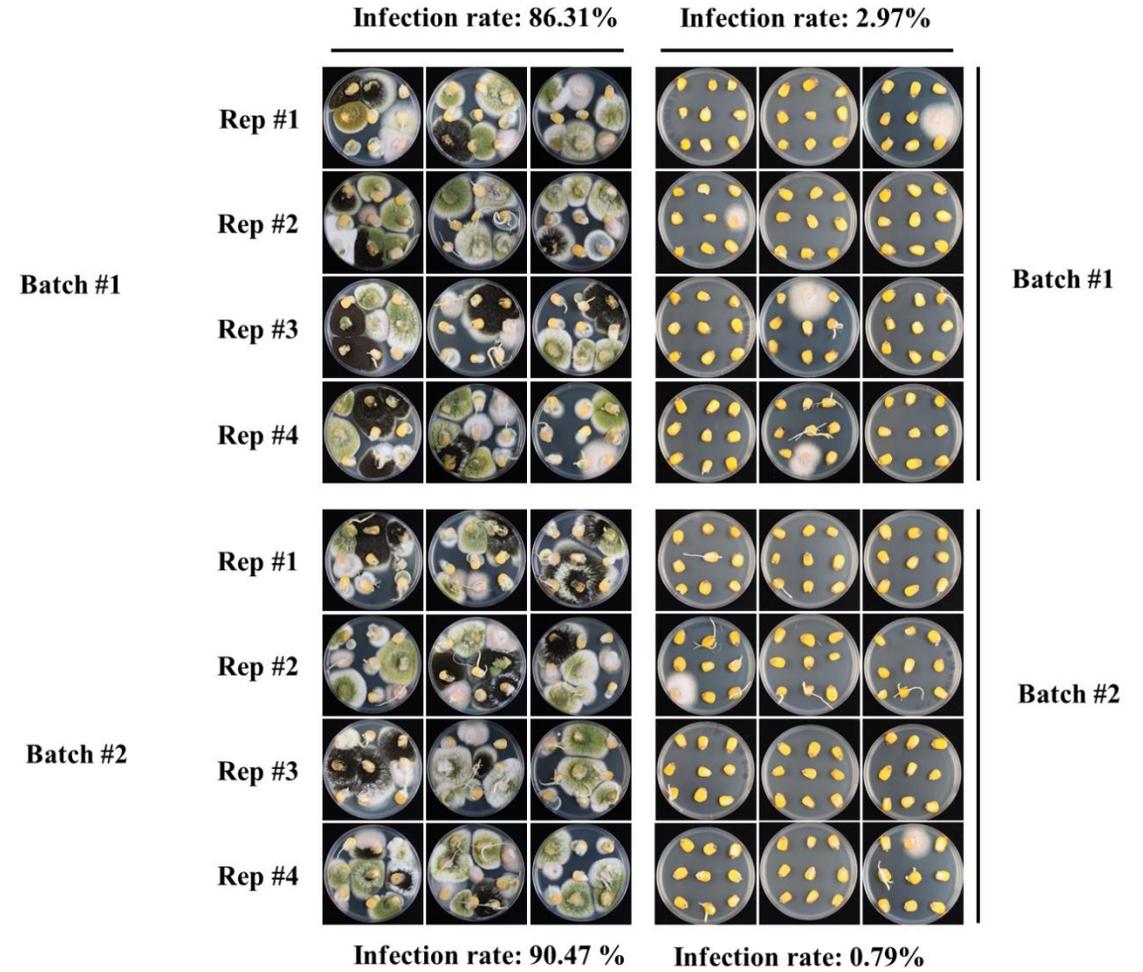


圖四、Treatment B 於 15°C 儲藏 4 週後之微生物感染率。—：玉米籽粒未用漂白水清洗；+：玉米籽粒先以 2.5% 漂白水處理後再培養；Rep#1~4 為 batch#1 的 4 重複；rep#5~8 為 batch#2 的 4 重複。

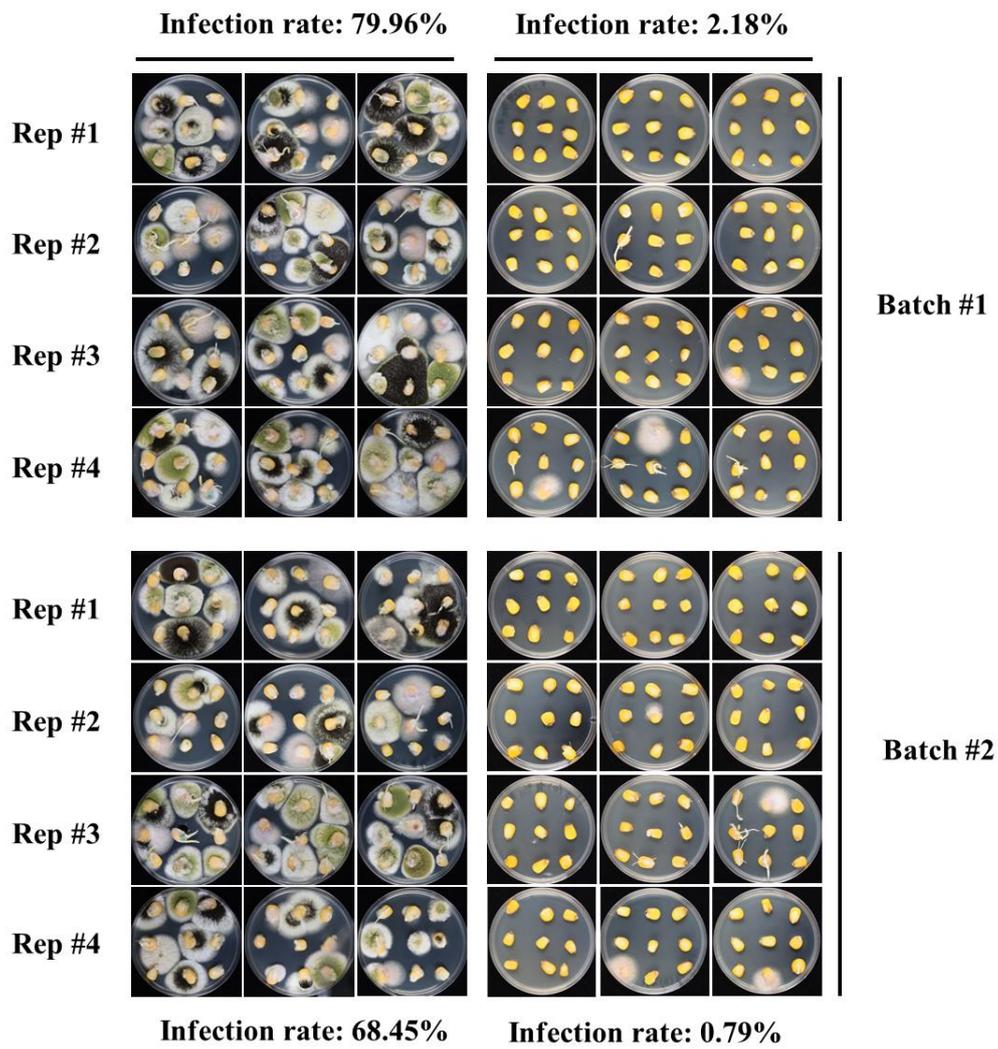
(A) Storage for 4 weeks



(B) Storage for 6 weeks



圖五、Treatment D 於 15°C 儲藏 4 週(A)及 6 週(B)後之微生物感染率。－：玉米籽粒未用漂白水清洗；＋：玉米籽粒先以 2.5% 漂白水處理後再培養。



圖六、Treatment E 於 15°C 儲藏 4 週後之微生物感染率。-：玉米粒未用漂白水清洗；+：玉米粒先以 2.5% 漂白水處理後再培養；Rep#1~4 為 batch#1 的 4 重複；rep#5~8 為 batch#2 的 4 重複。

四、玉米籽粒之真菌毒素分析

真菌毒素為真菌感染穀物後，所產生的二次代謝產物，目前估計約超過 500 種以上的毒素被發現存在於各類的穀物及飼料中，污染食品和飼料，危害動物及人體的健康與安全。目前較受重視的黴菌毒素包括黃麴毒素(aflatoxin)、橘黴素(citrinin)、脫氧雪腐鏟刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)、赭麴毒素(ochratoxin)、棒麴毒素(patulin)、T-2 鏟刀黴菌毒素(T-2 trichothecene)、麥角生物鹼(ergot alkaloids)和玉米赤黴烯酮(zearalenone; ZEA)等；而在玉米原料中尤以伏馬(鏟孢)毒素(Fumonisin)更為常見。

伏馬鏟孢毒素主要是由鏟孢菌(*Fusarium*)中的 *F. verticillioides* 與 *F. proliferatum* 所產生，此菌於高相對濕度(>70% RH)或水分含量大於 22%的環境中有助於生長與產生毒素，而此菌的最適生長溫度範圍為 16~36°C，最適產毒溫度為 28~32°C，尤以 28°C 為最佳。此類毒素含 28 種構造類似的毒素群，主要分為伏馬鏟孢毒素 A、B、C 與 P 共四型，其中伏馬(鏟孢)毒素 B 型包含伏馬(鏟孢)毒素 B₁、B₂ 與 B₃ 為穀物飼料中最常見，又以伏馬(鏟孢)毒素 B₁ 的檢出率及含量占最高。

伏馬(鏟孢)毒素為神經醯胺合成酶的抑制劑，而神經醯胺合成酶對於鞘脂的生產至關重要。由於伏馬鏟孢毒素與遊離鞘脂鹼的結構相似，為一種競爭性抑制。鞘脂為高度生物活性化合物，也是細胞膜的重要成分，因此。伏馬(鏟孢)毒素的抑制作用將會導致鞘氨醇及其磷酸鹽，特別是二氫鞘氨醇及其磷酸鹽的含量增加(Schrenk et al., 2022)。伏馬(鏟孢)毒素為水溶性易被動物快速消化代謝，主要藉由抑制神經醯胺激酶(ceramide kinase)而衍生一連串毒性效應，該酶的重要性為參與動物體內的發炎反應，甚至造成動物多種致命性之疾病，且針對不同的動物會傷及特定之標的器官(Lin et al., 2010)。

目前行政院衛福部訂定有「食品中污染物質及毒素衛生標準」，針對穀物原料中的玉米籽粒及其研磨產品之真菌毒素限量應符合表三所示。

表三、玉米原料及未經佳玉米之毒素衛生標準(衛福部)

食品	真菌毒素種類		限量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	註 (附表二)
	中文	英文		
米、玉米及麥類原料 ¹	總黃麴毒素 (B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂)	Aflatoxins total (B ₁ +B ₂ +G ₁ +G ₂)	10	1.1.1
米及玉米原料 ¹	黃麴毒素 B ₁	Aflatoxin B ₁	5	3.1.1
米、玉米、麥類及其他 穀類原料 ¹	赭麴毒素 A	Ochratoxin A	5	4.1.1
未經加工 ² 之玉米	伏馬毒素 (B ₁ +B ₂)	Fumonisin (B ₁ +B ₂)	4000	7.1.1
玉米細粉及玉米粗粉	伏馬毒素 (B ₁ +B ₂)	Fumonisin (B ₁ +B ₂)	2000	7.1.2 (maize flour and maize meal)
未經加工 ² 之杜蘭小麥 (durum wheat)、燕麥及 玉米	脫氧雪腐鏟刀 菌烯醇	Deoxynivalenol, DON	1750	8.1.1
以小麥、玉米或大麥為 原料加工之細粉、粗 粉、粗粒 (semolina)及 薄片(flakes)	脫氧雪腐鏟刀 菌烯醇	Deoxynivalenol, DON	1000	8.1.3
未經加工 ² 之玉米	玉米赤黴毒素	Zearalenone	350	9.1.1

¹「原料」指未經進一步選別或處理之原料。所稱之選別或處理，包括脫殼、漂白、色選、比重及外觀損傷分類等，以去除可能受真菌毒素污染之原料，降低真菌毒素污染濃度之處理。

²「未經加工」係指已經清潔、選別和乾燥程序之原料，但未經進一步物理或熱加工處理者。

表四為調濕處理之玉米籽粒於 15°C 儲藏期間之真菌毒素分析結果。結果顯示，所有樣品，包括採收後原料及經調濕儲藏之玉米籽粒，在儲藏期間均檢出伏馬(鏟孢)毒素(Fumonisin B₁, B₂)，且其含量隨者儲藏時間之延長而增加。本次收購自農民之玉米原料(明豐 3 號, MF3)其伏馬(鏟孢)毒素 B₁ 及 B₂ 含量分別為 323 及 51 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb)。直至今日為止，除了 Treatment A batch#2 儲藏八週後之伏馬(鏟孢)毒素 B₁、B₂ 及(B₁+B₂)含量別為 8811、1250 及 10061 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb)，已超出限量標準(4000 $\mu\text{g}/\text{kg}$)外，其餘樣品均低於限量標準。所有玉米樣品除伏馬(鏟孢)毒素被檢出外，其餘 9 種毒素則皆未被檢出(表四)。Treatment C 因調濕後水分含量高(18.38%, wb)，於 15-18°C 培養箱中儲藏 2 週後，第一次取樣即觀察到玉米籽

粒表面有黴菌菌絲，因此，提前採樣，並進行真菌毒素分析。結果顯示，兩個培養箱中之玉米樣品伏馬(鐮孢)毒素含量差異極大，其較未調濕前之玉米原料增加 7 倍與 1 倍(伏馬毒素 B₁)及增加 10 倍與 2 倍(伏馬毒素 B₂)。在儲藏溫度些微差異(3°C)下，在較高溫度下，高水分含量似乎加速伏馬(鐮孢)毒素的產生，其中處藏於 18°C 培養箱中者，其伏馬毒素 B₁ 及 B₂ 含量分別為 2685 及 561 ppm，已逼近衛福部「食品中污染物質及毒素衛生標準」所規定之未經加工玉米伏馬毒素(B₁+B₂)之限量—4000 ppm。

由微生物感染率檢測結果顯示，本次收購之明豐 3 號硬質玉米，表面附著之微生物量高，也有一些微生物，例如鐮孢菌已侵入穀粒，利用穀粒中的澱粉代謝成 FB₁ 毒素(Bluhm & Woloshuk, 2005)，若後續儲藏環境不當，則易使鐮孢菌滋長並產生毒素。為了防止 伏馬鐮孢毒素在玉米籽粒中出現，有效的方法應該是避免玉米籽粒在田間生長發育過程之病原菌的感染、採收後玉米籽粒須確實清潔、分級，以降低玉米籽粒表面之微生物附著，必要時須進行微生物感染率與真菌毒素檢測，排除高鐮孢菌侵入之玉米籽粒、儲藏時則需嚴格控制玉米籽粒之水分含量與環境溫度與濕度。

表四、玉米原料及儲藏期間之真菌毒素含量(())

Treatment	Batch No.	Treatment			AFG ₂	AFG ₁	AFB ₂	AFB ₁	OTA	T-2	HT-2	DON	ZEA	FB ₁	FB ₂	FB ₁ +FB ₂
		Actual Moisture content (% db)	Temp. (°C)	Storage time (week)												
MF3	--	--	0	ND*	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	323	51	374	
A	1	18°C	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	645	101	746	
	2	15°C	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	528	81	609	
	1	15°C	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1967	582	2549	
	2	15°C	7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1481	187	1668	
	2	15°C	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8811	1250	10061	
B	1	18°C	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	485	66	551	
	2	15°C	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	401	71	472	
	1	15°C	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	417	50	467	
	2	15°C	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	938	186	1124	
C	1	18°C	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2685	561	3246	
	2	15°C	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	707	150	857	
D	1	15°C	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	759	137	896	
	2	15°C	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1189	174	1363	

參考資料

- 賴喜美。2022。國產硬質玉米之特性與應用。2020 臺加全穀豆類營養保健與創新加工國際研討會論文輯。(編輯：林延諭、蘇致柔、陳裕星) 第 124-144 頁。行政院農業委員會臺中區農業改良場，彰化、台灣。
- AACC. 2000. Approved method of American Association of Cereal Chemists. AACC Inc., MN, USA.
- Bluhm BH, Woloshuk CP. 2005. Amylopectin induces Fumonisin B1 production by *Fusarium verticillioides* during colonization of maize kernels. *Mol. Plant Microb. Int.* 18: 1333-1339.
- FDA. 1998. Bacteriological Analytical Manual (BAM), 8th Edition, Revision A, Chapter 18: Yeasts, Molds, and Mycotoxins.
- Garcia-Cela E, Kiaitsi E, Sulyok M, Krska R, Medina A, Petit Damico I, Magan N. 2019. Influence of storage environment on maize grain: CO₂ production, dry matter losses and aflatoxins contamination. *Food Addit. Contam. A* 36, 175-185.
- GBD. 2017. Diet Collaborators. 2019. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet* 393:1958-1972.
- George WL. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th Edition, Method, 927.
- Guoa H, Wub H, Sajida A, Li Z. 2021. Whole grain cereals: the potential roles of functional components in human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 20:1-16.
- van der Kamp JW, Jones JM, Miller KB, Ross AB, Seal CJ, Tan B, Beck EJ. 2022. Consensus, global definitions of whole grain as a food ingredient and whole-grain foods presented on behalf of the whole grain initiative. *Nutrients* 14:138.
- Leite M, Freitas A, Silva AS, Barbosa J, Ramos F. 2020. Maize (*Zea mays* L.) and mycotoxins: A review on optimization and validation of analytical methods by liquid chromatography coupled to mass spectrometry. *Trends in Food Science & Technology* 99:542-565.
- Lin SR, Deng TS, Lin TC, Fan YK, Huang JW. 2010. Identification for *Fusarium* species producing fumonisin B1 and factors affecting the mycotoxin production. *Plant Pathol. Bull.* 19:191-200.
- Reynolds A, Mann J, Cummings J, Winter N, Mete E, Morenga LT. 2019. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses. *The Lancet* 393(10170):434-445.
- Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Leblanc J, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Schwerdtle T, Vleminckx C, Wallace H, Daenicke S, Nebbia CS, Oswald IP, Rovesti E, Steinkellner H, Hoogenboom L. 2022. Assessment of information as regards the toxicity of fumonisins for pigs, poultry and horses. *EFSA Journal* 20(8):7534,

<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7534>

Steyn PS. 2023. Mycotoxin in cereals. In “ICC Handbook of 21st Century Cereal Science and Technology,” (Eds. Shewry PR, Koksel H, and Taylor JRN) Chapter 21. Elsevier: London, UK.

Zhang J, Xu Y, Hu T, Sun C, Wu W. 2021. Experimental study on the status of maize mycotoxin production in farmers’ grain storage silos in northeastern China. *Toxins* 13(11):741.