

芫荽連作之生育性狀調查

盛 天 黎¹⁾ 黃 三 光²⁾

關鍵字：芫荽、連作、自毒物質、酚酸

摘要：芫荽 (*Coriandrum sativum* L.) 為臺灣重要之香料作物，在芫荽連作障礙試驗中，利用不同栽培次數介質濾液施加於芫荽種子中，可發現芫荽種子之發芽率與介質總酚含量呈負相關性，推測介質經多次栽培後由於芫荽根系分泌之二次代謝物，即酚酸之累積，可能為造成芫荽連作種子發芽受抑制之重要因子。於栽種三次及四次介質處理下，'香菜'、'明豐'、'香荳'及'遠香'之株高、葉片數、莖徑、地上部及根部鮮重與乾重及葉面積等表現皆較栽種一次及二次介質之處理顯著來的低，此外，'香菜'各項性狀表現於栽種三次之處理組降低幅度最高，而'香荳'於覆種多次後性狀變化最為和緩。酚酸含量的上升及微量元素缺乏可能為導致栽種三次介質處理植株生長勢下降之原因之一，而介質中微量元素之缺乏則可能為造成栽種四次介質處理植株生長勢下降之原因。

前 言

芫荽 (*Coriandrum sativum* L.) 又稱香菜，為亞洲地區重要之香料作物，臺灣以春、冬季較適合種植，栽培上普遍被認為具有連作問題，連續種植超過三次後生長不佳 (蔡和戴，2014)。連續覆種後易導致植株矮小、缺株、產值降低等現象，導致連作障礙之因素可能與土壤物化性質之改變有關，包含土壤物性之破壞、土壤養分失衡以及土壤鹽化等因素以及植體經由葉片、根系分泌或植體腐解產生之二次代謝物質所導致之毒害、又或因介質土壤中之微生物相產生變動，使介質微生物相失衡，因而產生危害。其中自毒物質可能對植株生長、礦物元素吸收及光合作用不利且可能會造成膜體之過氧化 (Huang *et al.*, 2013)。

本研究於溫室內進行栽培試驗，選用四種商用芫荽品種於介質連續覆種之條件下，比較各品種連作後之生育性狀，期能釐清不同品種芫荽對連作之耐受性是否存在差異性。

1) 國立中興大學園藝學系碩士班研究生。

2) 國立中興大學園藝學系副教授，通訊作者。

材料與方法

一、試驗材料

(一)泥碳土 (peat moss)：採用德國 Klasmann-Deilmann 公司生產的 Potground H 商用育苗介質 (中纖黑泥碳 90%、白泥碳 10%)。

(二)植物材料：

表 1. 供試芫荽品種及來源。

Table 1. Cultivars and sources of coriander tested in this study.

Cultivar	Source
香荽 (Xiang sui)	農友種苗公司 (KNOWN-YOU SEED CO., LTD)
香菜 (Xiangca)	農友種苗公司 (KNOWN-YOU SEED CO., LTD)
遠香 (Yuan xiang)	豐田種苗公司 (PO YU TRADING CO., LTD)
明豐 (Minfon)	明豐種苗公司 (MING-FON SEED CO., LTD)

二、試驗方法

(一)栽培管理

將泥碳土填入60個黑軟盆 (半徑6 cm、高14.5 cm，購自天岱行)，並裝至9分滿，供試用之芫荽種子於50°C 熱水浴消毒30分鐘 (劉和李，2006)，黑軟盆內每間隔3~4 cm 播1粒種子，一黑軟盆播3粒，一重複5盆，進行三重覆，於中興大學園藝系溫室內種植，澆水至盆底有水流，並依土表狀態補足水分，待本葉長出後每週澆灌花寶2號 (HYPONEX; N:P:K = 20:20:20)一次，稀釋1000倍後施用，栽培期間以 HOBOTemperature/Relative Humidity Data Logger (U23-001)及 HOBOPendant Temperature/Light Data Logger (UA-002-64)紀錄溫室內之溫度、濕度及光度變化，連作試驗所使用之介質從2018年4月24日開始收集，總共收集經栽培過一、二、三及四次之介質，並於2018年10月10日-2018年11月29日使用上述收集之介質同時進行栽培試驗。

(二)介質濾液發芽率測定

秤取經栽種一次至四次後之介質各3 g，分別加入15 ml 去離子水後震盪30分鐘以 ADVENTURE 1號濾紙過濾收集濾液，接續取不同供試品種之芫荽種子各20粒播於含有 ADVENTURE 1號濾紙之小型玻璃培養皿 (直徑5.5 cm，高1.5 cm)中，每皿分別加入1.5 ml 各供試介質之濾液，並放置20°C 恆溫生長箱，每品種每介質各三重覆，並以下列公式計算最終發芽百分率 (Final Germination Percentage; FGP)及平均發芽天數 (Mean Germination time; MGT) (Orchard, 1977)。

1. 最終發芽百分率 (Final Germination Percentage; FGP)

$$FGP (\%) = (\sum X_n / EN) \times 100$$

ΣX_n ：累計至當日之每日新發芽之種子數

EN：參試種子數

n：自播種日起至當日之天數

2. 平均發芽天數 (Mean Germination time; MGT)

$$(\text{days}) = \Sigma(X_n \times n) / \Sigma X_n$$

ΣX_n ：累計至當日之每日新發芽之種子數

:

(三) 植株性狀調查

播 取上述不同栽培次數介質播種後50天生長之植株進行以下生育性狀調查，每重複選取植株生長勢相近之植體進行量測，共三重複。

日 莖徑：以游標尺量取莖基部之寬度，單位為公厘 (mm)。

起 株高：苗株基部至拉直後最長之葉尖長度，單位為公分 (cm)。

至 根長：將苗株根部以水洗淨後，測量主根之長度，單位為公分 (cm)。

嘗 地上部鮮重：取苗株之地上部稱重，單位為公克 (g)。

日 地上部乾重：取苗株地上部，置於紙袋中，於70°C烘箱中72小時後稱重，單位為公克(g)。

日 地下部鮮重：取苗株洗淨後之地下部，用紙巾將殘留水分吸乾後稱重，單位為公克 (g)。

天 地下部乾重：取苗株洗淨後之地下部，置於紙袋中，於70°C烘箱中72小時後稱重，單位數為公克 (g)。

8. 葉數：苗株展開之本葉數量。

9. 葉面積：以 LI-COR 3100A (LI-COR, Lincoln Neb) 葉面積儀測量所有本葉展開之葉面積，單位為平方公分 (cm²)。

(四) 介質酸鹼值 (pH) 與電導度 (EC) 之測定

取試驗介質5g於燒杯中，加入25ml去離子水(1:5)。接著以100rpm震盪一小時後，靜置30分鐘。再使用濾紙(ADVANTEC NO.1)過濾取得濾液，分別以pH meter (Suntex-SP-23, Taiwan) 與 EC meter (Suntex-SP 170, Taiwan) 測定各介質濾液之 pH、EC 值。每處理三重複。

(五) 介質總酚含量測定

取乾燥試驗介質2.5g於燒杯中，加入20ml去離子水混合均勻，於室溫下震盪一小時，以ADVANTEC NO.1濾紙過濾後取1ml萃取液於試管中，依序加入飽和碳酸鈉 (Na₂CO₂) 水溶液1ml和Folin-Ciocalteu phenol reagent (Ferak Berlin GmbH, Germany) 0.5ml，震盪均勻後靜置30分鐘，再利用Elisa Reader (BMG LABTECH, FLUOstar Omega Ω, Germany) 測定溶液於660nm之吸光值，標準品以gallic acid配製，每處理三重複。

(六) 介質總氮測定

參考Micro-Kjeldahl法(Cunniff, 1995)。精秤0.2g乾燥樣品粉末包於濾紙(ADVANTEC NO.1)後投入分解管中，加入1g之催化劑(selenium reagent mixture, Merck 8030, Germany)

及4.5 ml 濃硫酸，接著置於分解爐中以410°C加熱分解，分解期間每隔1小時轉動試管，將管壁殘留物以管中液體洗下，待管中液體呈澄清之綠色且無白煙冒出後即視為分解完畢，取出冷卻後加入15 ml 蒸餾水。完全分解的樣品移至 Micro-Kjeldahl 裝置，加入20 ml 的12 N NaOH，通蒸氣使其氨化，氨氣以承裝20 ml 燒氮指示劑 (含 bromocresol green 19 μ M 與 methyl red 25 μ M 之2% 硼酸溶液)之塑膠燒杯蒐集，至塑膠燒內液體達50 ml 為止，再以1/14 N H₂SO₄進行滴定，並計算氮於樣品中之百分比，單位為%。每處裡三重複。

(七)介質有效性磷、鉀、鎂與鈣元素測定

取風乾之試驗介質2.5 g 於燒杯中，加入50 ml 之雙酸萃取液 (0.05 N HCl-0.025 N H₂SO₄)，震盪一小時後先以濾紙 (ADVANTEC NO.1)過濾，再以濾紙 (Whatman NO.42)過濾，將濾液盛裝於 PE 瓶中於4°C 保存以備測定。每處裡三重複。有效性磷使用 Elisa Reader (BMG LABTECH, FLUOstar Omega Ω , Germany)測定，而有效性鉀、鎂與鈣則使用原子吸收光譜儀 (atomic absorption spectrophotometer, Hitachi Z-2300, Japan)測定。每處裡三重複。

1. 磷：取 1 ml 濾液於試管中，依序加入 3 ml 去離子水和 1 ml 鉬黃試劑 [1000 ml 試劑中包含 (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O 22.5 g 及 NH₄VO₃ 1.25 g 溶於 25% HNO₃]混合均勻後靜置三十分鐘。以 Elisa Reader (BMG LABTECH, FLUOstar Omega Ω , Germany)測定溶液在 470 nm 的吸光值，標準液以 KH₂PO₄ 配置，單位為%。

2. 鉀、鎂：取稀釋十倍之濾液 0.5 ml 加入 9.5 ml 去離子水，震盪均勻後以原子吸收光譜儀測定濃度，單位為%。

3. 鈣：取稀釋十倍之濾液 1 ml，依序加入去離子水 8 ml 及 5% 氧化鏷 1 ml (La₂O₃, Lanthanum oxide，溶於 25% 硫酸溶液)，震盪均勻混合後以原子吸收光譜儀測定濃度，單位為%。

三、統計分析

數據統計採隨機完全區集設計 (Randomized Complete Block Design, RCBD)。調查所得數據以 SAS 套裝軟體9.1版 (SAS Institute, Cary, NC)中的 ANOVA (analysis of variance procedure)進行變方分析 ($\alpha = 0.05$)，以 Fisher's LSD 進行試驗各處理間平均值的比較。

結 果

一、介質濾液發芽率試驗

於'香菜'介質濾液試驗中，新鮮泥碳土及栽種一次介質對'香菜'種子最終發芽百分 (FGP)率並無顯著差異性之影響，發芽率分別為 85%及 78.33%，栽種二次及栽種四次介質發芽率顯著低於栽種一次及泥碳土之處理，分別為 63.33%與 61.67%，栽種三次介質於五項處理當中顯著最低，發芽率僅 38.33%；平均發芽日數 (MGT)方面，栽種三次之平均發芽日數為 2.96 天，顯著高於栽種一次及四次之介質，與其餘處理組間並無顯著差異。對'明豐'而言，泥碳土及栽種一次介質濾液之 FGP 並無顯著差異，發芽率皆不低於 80%，其

餘處理組之發芽率依序為栽種四次之介質 70%、栽種二次及三次之介質發芽率分別為 60% 及 53.33%，平均發芽日數則於栽種二次及栽種三次介質顯著高於其他處理，分別為 2.60 及 2.85 天，另外'香荳'栽種一次介質之發芽率 73.33%，顯著低於泥碳土 85%，栽種二次、三次及四次介質間則無顯著差異，分別為 58.33%、56.67% 及 61.67%，平均發芽日數以栽種三次及四次介質顯著高於泥炭土，分別為 2.95 及 2.88 天，'遠香'栽種三次介質發芽率為 46.67%，顯著低於其他處理組，除泥碳土發芽率 81.67% 顯著最高外，栽種一、二、四次介質間則無顯著差異，平均發芽日數則以栽種三次及四次介質之 2.87 天與 2.60 天顯著高於泥碳土及栽種一次之介質 (表 2)。

表 2. 不同栽種介質濾液對芫荽種子平均發芽日數及最終發芽百分率之影響。

Table 2. Effect of filtrates derived from different growth substrates on mean germination time (MGT) and final germination percentage (FGP) of coriander seeds.

Cultivar	Treatment	MGT	FGP
		(days)	(%)
香菜 (Xiangca)	泥碳土 (peat moss)	2.45 ab ^Z	85.00 a
	栽種一次 (1)	2.39 b	78.33 a
	栽種二次 (2)	2.63 ab	63.33 b
	栽種三次 (3)	2.96 a	38.33 c
	栽種四次 (4)	2.41 b	61.67 b
明豐 (Minfon)	泥碳土 (peat moss)	2.30 a	88.33 a
	栽種一次 (1)	2.20 a	80.00 a
	栽種二次 (2)	2.60 a	60.00 c
	栽種三次 (3)	2.85 a	53.33 c
	栽種四次 (4)	2.46 a	70.00 b
香荳 (Xiang sui)	泥碳土 (peat moss)	2.08 b	85.00 a
	栽種一次 (1)	2.50 ab	73.33 b
	栽種二次 (2)	2.57 ab	58.33 c
	栽種三次 (3)	2.95 a	46.67 d
	栽種四次 (4)	2.88 a	61.67 c
遠香 (Yuan xiang)	泥碳土 (peat moss)	2.26 a	81.67 a
	栽種一次 (1)	2.29 a	68.33 b
	栽種二次 (2)	2.43 a	63.33 b
	栽種三次 (3)	2.87 a	46.67 c
	栽種四次 (4)	2.60 a	61.67 b

^ZMeans in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

二、植株性狀調查

'香菜'使用栽種三次及四次介質栽培後植株株高為 14.13 cm 及 13.24 cm，皆顯著低於使用栽種一次及二次之介質所培育之株高，另外使用栽種三次及四次介質所得之葉片數相較於使用栽種一次及二次介質所得之葉片數，大約減少兩片葉，莖徑、地上部鮮重及總葉面積皆具有相似之結果，使用栽種三次及四次介質之處理組皆顯著低於使用栽種一次及二次介質之處理組，根長部分以栽種四次介質處理之 7.39 cm 顯著低於栽種一次介質處理之 10.52 cm，地上部乾重及根部乾鮮重有相似之結果。使用栽種三次及四次介質處理之'明豐'株高為 15.76 cm 及 14.46 cm，顯著低於使用栽種一次介質處理之 22.37 cm 及使用栽種二次介質處理之 20.78 cm，使用栽種三次及四次介質處理之葉片數減少至 7 至 8 片葉，顯著低於使用栽種一次及二次介質處理之 9 至 10 片葉，使用栽種三次及四次介質處理之莖徑相對於使栽種一次及二次介質處理降低 0.7 mm 左右，地上部鮮重於使用栽種三次介質及四次介質後較使用栽種一次及二次介質下降 70% 之多，介質栽種三次及四次後根部鮮重相較於介質栽種一次及二次後也下降 43% 及 52%，根長方面使用栽種四次後介質為 5.86 cm 顯著低於介質栽種一次後之 7.69 cm。使用栽種三次及四次後介質，'香荳'相較於使用栽種一次及二次之介質栽種時，株高顯著較低，分別為 19.18 cm 及 18.74 cm，葉片數則於使用栽種四次後介質處理的 9.83 片葉顯著低於使用栽種一次後介質處理之 12.17 片葉，使用栽種二次及三次介質處理對'香荳'葉片數而言無顯著差異，莖徑則於使用栽種四次介質處理時顯著低於其他處理，栽種過第四次之介質處理於之地上部鮮種顯著低於使用栽種一次介質之處理，根部鮮重於使用栽種一次介質處理顯著大於其他處理，使用栽種二、三、四次介質處理根部鮮重則無顯著差異，另外在葉面積方面於使用栽種一、二、三、四次介質處理皆無顯著差異，介於 166.50 cm² 至 210.75 cm²，'遠香'株高於使用栽種三次及四次介質處理時顯著低於栽種一次及二次之介質處理，降低約 30%，使用栽種一次、二次及三次介質處理葉片數無顯著差異，介於 8.17 至 9.33 之間，莖徑於使用栽種四次介質處理顯著低於其他處理組，使用栽種一次介質處理顯著最高，地上部鮮乾重於使用栽種三次及四次介質處理時顯著低於使用栽種一次及二次介質處理，其中又以使用栽種四次介質處理之地上部鮮重 2.08 g 及乾重 0.17 g 顯著最低，葉面積同樣在使用栽種三次及四次介質處理顯著低於栽種一次及二次之介質處理，分別下降 65% 及 60% (表 3)。

表 3. 四品種芫荽使用栽種一、二、三、四次介質栽培後之植株性狀。
 Table 3. Phenotypic analysis of four cultivars of coriander grown on growth substrates that has been cultivated once, twice, thrice

Cultivar	Treatment	Height (cm)	Number of leaf (mm)	Stem diameter (mm)	Root length (cm)	Aboveground			Root			Leaf area (cm ²)
						fresh weight (g)	dry weight (g)	dry weight (g)	fresh weight (g)	dry weight (g)	dry weight (g)	
香菜 (Xiangca)	栽種一次(1)	22.98 a	10.33 ab	3.05 a	10.52 a	6.58 a	0.57 a	0.17 a	0.03 a	0.03 a	208.61 a	
	栽種二次(2)	22.06 a	10.72 a	2.77 a	9.67 ab	6.02 a	0.42 b	0.13 b	0.02 b	0.02 b	182.77 a	
	栽種三次(3)	14.13 b	8.72 b	1.73 b	8.06 bc	2.04 b	0.19 c	0.07 c	0.01 c	0.01 c	66.36 b	
	栽種四次(4)	13.24 b	8.61 b	1.63 b	7.39 c	1.87 b	0.18 c	0.07 c	0.01 c	0.01 c	64.36 b	
明豐 (Minfon)	栽種一次(1)	22.37 a	9.89 a	2.75 a	7.69 ab	5.37 a	0.48 a	0.23 a	0.03 a	0.03 a	192.37 a	
	栽種二次(2)	20.78 a	10.44 a	2.87 a	8.76 b	4.45 a	0.32 b	0.17 a	0.03 b	0.03 b	164.93 a	
	栽種三次(3)	15.76 b	8.00 b	2.10 b	6.54 bc	1.64 b	0.17 c	0.09 b	0.02 c	0.02 c	56.63 b	
	栽種四次(4)	14.46 b	7.39 b	2.09 b	5.86 c	1.42 b	0.16 c	0.09 b	0.02 c	0.02 c	55.46 b	
香荳 (Xiang sui)	栽種一次(1)	22.69 a	12.17 a	2.69 b	10.44 a	6.52 a	0.58 a	0.21 a	0.03 a	0.03 a	210.75 a	
	栽種二次(2)	21.52 a	10.83 ab	2.64 b	9.64 a	6.35 ab	0.51 a	0.16 b	0.02 b	0.02 b	195.18 a	
	栽種三次(3)	19.18 b	10.44 ab	2.21 a	10.46 a	4.60 ab	0.32 ab	0.17 c	0.02 b	0.02 b	170.59 a	
	栽種四次(4)	18.74 b	9.83 b	2.08 c	10.67 a	4.02 b	0.49 b	0.12 ab	0.03 ab	0.03 ab	166.50 a	
遠香 (Yuan xiang)	栽種一次(1)	23.19 a	9.33 a	3.25 a	9.26 a	6.14 a	0.51 a	0.21 a	0.03 a	0.03 a	204.50 a	
	栽種二次(2)	22.65 a	8.17 ab	2.64 b	10.10 a	5.19 a	0.47 a	0.19 ab	0.03 ab	0.03 ab	167.30 b	
	栽種三次(3)	16.50 b	8.50 ab	2.36 b	9.21 a	3.66 b	0.28 b	0.12 bc	0.02 b	0.02 b	70.17 c	
	栽種四次(4)	15.54 b	7.44 b	1.90 c	8.69 a	2.08 c	0.17 c	0.09 c	0.01 c	0.01 c	68.51 c	

^z Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

三、介質化學性質與礦物元素濃度測定

(一)介質總酚、pH 值及 EC 值

栽種一次後'香菜'介質總酚含量顯著高於泥碳土，於栽種二次後較栽種一次後顯著增加，並於栽種三次來到 391.32 $\mu\text{g/g}$ 顯著最高，而於栽種四次後顯著下降，'明豐'栽種一次介質總酚顯著高於泥碳土，一樣於栽種三次時酚酸含量顯著最高達到 420.16 $\mu\text{g/g}$ ，栽種二次及四次則無顯著差異，'香荃'於栽種三次時酚酸含量顯最高，栽種二次酚酸含量顯著高於栽種一次，而栽種四次介質酚酸與栽種一次及二次介質無顯著差異，'遠香'總酚含量於栽種三次之 401.39 $\mu\text{g/g}$ 顯著最高，栽種四次及二次介質則無顯著差異 (表 4)。圖 1 為總酚含量與各別芫荽種子發芽率之相關性分析，發現'香菜'、'明豐'、'香荃'及'遠香'之種子發芽率均與總酚含量呈負相關， r 值分別為-0.83、-0.84、-0.84 及-0.87。

'香菜'栽種四次之 pH 值為 5.54 顯著最低，栽種三次則為 5.62 次之，介質 EC 值以栽種二次 3.18 dS/m 顯著最高，其餘處理無顯著差異性，'明豐'栽種介質 pH 值無顯著差異，EC 值以栽種二次及三次，分別為 3.09 dS/m 及 2.90 dS/m 顯著最高，'香荃'栽種四次介質 pH 值為 5.5 顯著最低，'香荃'EC 值則於栽種二次顯著最高，栽種三次及四次與栽種一次 EC 值無顯著差異，'遠香'於栽種三次及四次 pH 值顯著較低，分別為 5.37 及 5.38，EC 值則於栽種二次及三次介質顯著高於其他處理 (表 4)。

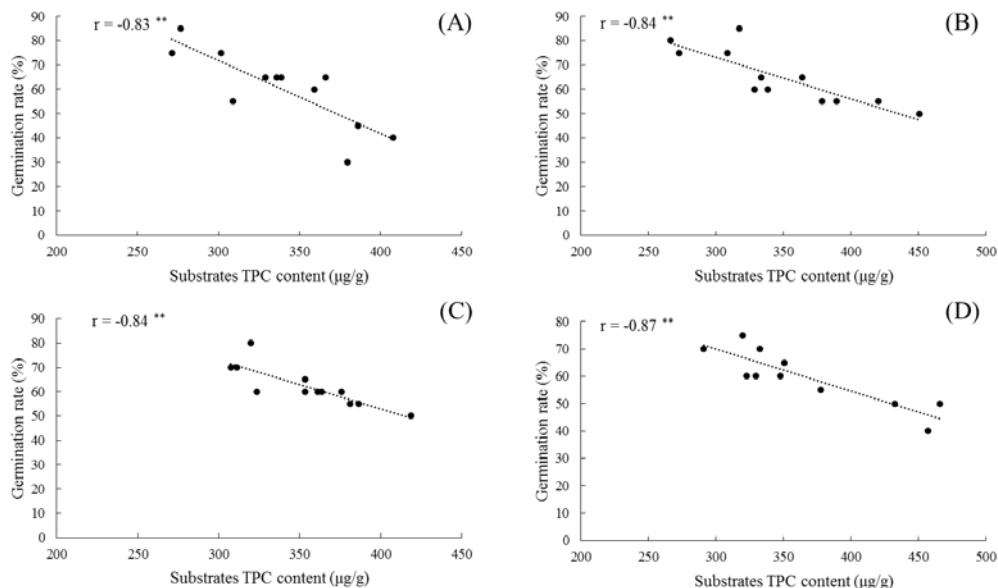


圖 1. '香菜' (A)、'明豐' (B)、'香荃' (C)、'遠香' (D)芫荽種子發芽率與介質總酚含量之相關性。

Fig. 1. Correlation between total phenolic compound in the substrate and germination rate of 'xiangca' (A), 'Minfon' (B), 'Xiang sui' (C) and 'Yuan xiang' (D) coriander.

表 4. 泥碳土及栽種一、二、三、四次芫荽介質之總酚含量、pH 值及 EC 值。

Table 4. Total phenolic compound, pH and EC values of peat moss and growth substrates that has been used to cultivate coriander once, twice, thrice and four times.

Cultivar	Treatment	TPC ($\mu\text{g/g}$)	pH	EC (dS/m)
香菜 (Xiangca)	泥碳土 (peat moss)	194.98 e	5.86 a	2.12 b
	栽種一次 (1)	283.27 d	5.64 bc	2.06 b
	栽種二次 (2)	354.62 b	5.74 ab	3.18 a
	栽種三次 (3)	391.32 a	5.64 c	2.15 b
	栽種四次 (4)	324.62 c	5.64 d	2.10 b
明豐 (Minfon)	泥碳土 (peat moss)	194.98 d	5.86 a	2.12 c
	栽種一次 (1)	285.41 c	5.50 bc	2.53 b
	栽種二次 (2)	360.10 b	5.63 b	3.09 a
	栽種三次 (3)	420.16 a	5.50 b	2.90 a
	栽種四次 (4)	323.44 b	5.50 c	2.16 c
香荳 (Xiang sui)	泥碳土 (peat moss)	194.98 d	5.86 a	2.12 c
	栽種一次 (1)	312.70 c	5.53 bc	2.40 bc
	栽種二次 (2)	365.96 b	5.59 b	3.26 a
	栽種三次 (3)	488.16 a	5.53 b	2.57 b
	栽種四次 (4)	342.63 bc	5.53 c	2.17 c
遠香 (Yuan xiang)	泥碳土 (peat moss)	194.98 d	5.86 a	2.12 b
	栽種一次 (1)	313.40 c	5.47 c	2.32 b
	栽種二次 (2)	353.60 b	5.62 b	3.05 a
	栽種三次 (3)	451.39 a	5.47 bc	2.87 a
	栽種四次 (4)	340.27 bc	5.47 c	2.05 b

^z Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

(二) 介質礦物元素濃度測定

介質大量元素濃度可見表 5，'香菜'介質之有效氮濃度於栽種二、三、四次顯著高於栽種一次及泥碳土之土壤，有效磷則於栽種二次顯著最高，栽種四次顯著低於泥碳土，有效鉀濃度於植體栽種三次及四次顯著低於泥碳土，有效鈣濃度於栽種四次顯著低於泥碳土，其餘處理皆於泥碳土含量相近或更高，有效鎂濃度於栽種三次及四次顯著低於其他處理；

'明豐'介質之有效氮與'香菱'及'遠香'具有相似之趨勢，濃度於不同栽培次數介質中皆無顯著差異，並顯著較泥碳土來的高，有效磷濃度甚至於各不同四次栽培次數介質中皆顯著高於泥碳土，有效鉀濃度於栽種二、三、四次顯著低於泥碳土及栽種一次之介質，有效鈣濃度於栽種四次顯著低於泥碳土介質，有效鎂濃度同樣於栽種四次顯著較低；'香菱'有效磷濃度於栽種一、二、三次皆較泥碳土高，有效鉀濃度則於栽種二、三、四次介於 0.05% 至 0.09% 顯著低於栽種一次及泥碳土，有效鈣濃度於栽種四次時為 0.87%，顯著低於泥碳土，有效鎂濃度則於栽種三次及四次分別為 0.18% 及 0.15%，顯著低於泥碳土，'遠香'有效鉀濃度於栽種三次及四次時顯著低於栽種一次及二次之介質，有效鎂含量於栽種三次及四次時顯著低於泥碳土。

介質微量元素可見表 6，'香菜'、'明豐'、'香菱'及'遠香'之有效鐵濃度於栽種三四次之介質皆偵測不到，'香菜'之有效錳濃度於栽種三次及四次時分別為 6.23 ppm 及 4.23 ppm，顯著低於栽種一次及二次之介質，有效鋅濃度於栽種三次及四次時相近，並顯著低於泥碳土，有效銅濃度於栽種二次 1.26 ppm 顯著最高；'明豐'有效錳於栽種三次及四次時分別為 6.65 ppm 及 4.65 ppm 顯著較低，並於栽種二次時顯著最高，有效鋅濃度於栽種四次顯著最低，有效銅濃度除了栽種一次及二次顯著高於泥碳土，其餘處理無顯著差異；'香菱'有效錳濃度於栽種四次介質顯著較泥碳土來的低，有效鋅濃度同樣於栽種四次僅有 2.21 ppm，有效銅濃度於栽種一次顯著較高，其餘處理組與泥碳土相較無顯著差異；'遠香'於栽種三次及四次有效錳濃度顯著最低，分別為 7.35 ppm 及 6.15 ppm，有效鋅濃度於栽種四次顯著最低，有效銅濃度同樣於栽種一次及二次顯著高於其他處理。

討 論

一、介質濾液發芽率試驗

芫荽一般以直播栽培，為了解連續覆種之介質對芫荽種子發芽率之影響，故取介質濾液對種子發芽進行試驗，結果顯示'香菜'及'明豐'於泥碳土及栽種一次介質中之發芽率無顯著差異，'香菱'及'遠香'則在栽種後介質之發芽率皆顯著低於泥碳土，其中栽種三次介質濾液中'香菜'及'遠香'發芽率於五處理之中顯著較低，而'明豐'則於栽種二次及三次介質濾液中無顯著差異性，'香菱'栽種二至四次之發芽率亦無顯著差異 (表 2)，種子發芽率與介質總酚含量之相關性分析 (圖 1) 顯示發芽率與酚酸含量具有負相關性，前人研究也指出，玉米於連作土壤中之發芽率明顯受到抑制，且隨連作年限的增長，抑制作用也隨之增加 (王等，2009)，介質之 pH 值於'香菜'及'遠香'栽種三次及四次時顯著較低，而 EC 值表現則於'香菜'及'香菱'於栽種二次之介質顯著較高，'明豐'及'遠香'則於栽種二次及三次之介質顯著較高 (表 4)，較低之 pH 值及較高之 EC 值亦會影響種子之發芽，但在此試驗當中，pH 值及 EC 值之變化於不同栽培次數之表現較不明顯，並經由相關性分析中得知芫荽種子發芽率與總

表 5. 泥碳土及栽種一、二、三、四次芫荽介質之大量元素濃度。

Table 5. The macronutrient concentrations of peat moss and growth substrates that has been used to cultivate coriander once, twice, thrice and four times.

Cultivar	Treatment	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
香菜 (Xiangca)	泥碳土 (peat moss)	0.65 b	0.13 b	0.15 a	1.04 c	0.25 b
	栽種一次 (1)	0.66 b	0.15 b	0.09 b	1.34 b	0.25 b
	栽種二次 (2)	0.80 a	0.25 a	0.15 a	1.59 a	0.34 a
	栽種三次 (3)	0.82 a	0.18 b	0.06 c	0.98 c	0.17 c
	栽種四次 (4)	0.79 a	0.10 c	0.05 c	0.58 d	0.11 d
明豐 (Minfon)	泥碳土 (peat moss)	0.65 b	0.13 c	0.15 a	1.04 b	0.25 b
	栽種一次 (1)	0.77 a	0.17 b	0.11 a	1.40 a	0.25 b
	栽種二次 (2)	0.76 a	0.17 b	0.07 b	1.41 a	0.31 a
	栽種三次 (3)	0.81 a	0.21 a	0.07 b	0.91 b	0.18 bc
	栽種四次 (4)	0.81 a	0.16 b	0.05 b	0.54 c	0.14 c
香荳 (Xiang sui)	泥碳土 (peat moss)	0.65 b	0.13 b	0.15 a	1.04 b	0.25 a
	栽種一次 (1)	0.78 a	0.18 a	0.14 a	1.34 a	0.32 a
	栽種二次 (2)	0.75 a	0.19 a	0.05 c	1.45 a	0.26 a
	栽種三次 (3)	0.77 a	0.18 a	0.09 b	1.00 b	0.18 b
	栽種四次 (4)	0.77 a	0.14 b	0.07 bc	0.87 c	0.15 b
遠香 (Yuan xiang)	泥碳土 (peat moss)	0.65 b	0.13 b	0.15 a	1.04 b	0.25 b
	栽種一次 (1)	0.74 a	0.20 a	0.17 a	1.54 a	0.33 a
	栽種二次 (2)	0.71 a	0.19 a	0.09 b	1.62 a	0.31 a
	栽種三次 (3)	0.75 a	0.13 b	0.05 c	0.92 b	0.16 c
	栽種四次 (4)	0.75 a	0.10 b	0.05 c	0.83 b	0.16 c

^z Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

酚含量有相關性 (圖 1)，故推測植株經多次栽培後所產生之二次代謝物，即酚酸，可能為造成芫荽種子發芽受抑制之重要因子。

二、連續栽種後之植株表現

芫荽全株皆可食，一般台灣較常以以地上部切碎作為佐料食用。植株性狀方面，'香菜'及'明豐'兩品種之地上部鮮乾重、根部鮮重與葉面積表現與栽種一次處理組相比，栽種

表 6. 泥碳土及栽種一、二、三、四次芫荽介質之微量元素濃度。

Table 6. The micronutrient concentrations of peat moss and growth substrates that has been used to cultivate coriander once, twice, thrice and four times.

Cultivar	Treatment	Fe	Mn	Zn	Cu
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
香菜 (Xiangca)	泥碳土 (peat moss)	23.38 a ^z	10.71 b	5.74 b	0.63 c
	栽種一次 (1)	24.64 a	14.07 b	9.31 b	0.91 b
	栽種二次 (2)	24.50 a	21.07 a	15.05 a	1.26 a
	栽種三次 (3)	N.D. ^y	6.23 c	3.43 c	0.41 c
	栽種四次 (4)	N.D.	4.23 c	3.23 c	0.36 c
明豐 (Minfon)	泥碳土 (peat moss)	23.38 a	10.71 b	5.74 c	0.63 b
	栽種一次 (1)	21.70 a	16.59 b	10.71 b	0.98 a
	栽種二次 (2)	23.80 a	21.84 a	19.74 a	0.91 a
	栽種三次 (3)	N.D.	6.65 c	4.90 c	0.42 b
	栽種四次 (4)	N.D.	4.65 d	3.90 d	0.32 b
香荳 (Xiang sui)	泥碳土 (peat moss)	23.38 a	10.71 c	5.74 c	0.63 bc
	栽種一次 (1)	21.35 a	16.52 b	11.37 b	1.05 a
	栽種二次 (2)	14.14 a	19.81 a	12.43 a	0.84 b
	栽種三次 (3)	N.D.	8.26 c	3.64 c	0.42 c
	栽種四次 (4)	N.D.	6.26 d	2.21 d	0.34 c
遠香 (Yuan xiang)	泥碳土 (peat moss)	23.38 a	10.71 b	5.74 c	0.63 b
	栽種一次 (1)	22.26 a	15.61 b	11.34 b	1.12 a
	栽種二次 (2)	24.50 a	20.86 a	17.22 a	0.98 a
	栽種三次 (3)	N.D.	7.35 c	3.08 c	0.42 b
	栽種四次 (4)	N.D.	6.15 c	2.18 d	0.34 b

^z Means in a column with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test at 5% level.

^y Not Detectable

三次及四次處理組下降幅度達 60% 至 70%，為各性狀調查中下降幅度最高之項目，'遠香' 栽種三次及四次處理組之葉面積相較於栽種一次之處理組，也下降約 70%，而地上部鮮乾重及根部鮮重表現又以栽種四次之處理組下降比例大於栽種三次之處理組，株高方面'香菜'、'明豐'、及'遠香'於栽種三次及四次之處理組表現與栽種一次處理組相比也顯著下降 29% 至 42%，此性狀表現結果與前人研究相符 (牛等, 2015; Xiong *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2017)，唯'香菱'植株性狀表現於四品種當中栽種三次及四次處理組降低幅度最小 (表 3)，顯示'香菜'、'明豐'、及'遠香'三品種芫荽於連作三次後植株明顯較矮小。過去研究指出，導致連作障礙之原因可能包含土壤之劣化、植體分泌自毒物質以及微生物相之改變，其中根系分泌物是影響根際環境最大且最直接的原因之一，且根系分泌物為自毒物質之主要來源 (Bertin *et al.*, 2003)。本試驗結果顯示栽種三次介質之總酚含量於四品種中與其他處理組相比皆顯著最高 (表 4)，酚酸為自毒物質分類中之大宗種類，自毒物質會抑制原生質膜 H⁺-ATPase 活性，干擾根部分生組織，導致細胞分裂受損，並影響水分及離子之吸收 (Vaughan and Ord, 1990; Yu *et al.*, 2003; Ye *et al.*, 2006)。胡瓜試驗中，添加酚酸液之胡瓜苗株根部吸水及吸收養分功能明顯受到抑制，促使氣孔關閉，進而減少光合速率及蒸散速率，根系吸收水分及養分不足，導致植體鮮乾重顯著降低，葉面積也隨之下降 (Yu *et al.*, 2003)。綜觀植株性狀表現，'香菜'各項性狀表現於栽種三次之處理組後降低幅度最高，包含株高、莖徑、根長、地上部鮮乾重、根部鮮重及葉面積等，而'香菱'於覆種多次後性狀變化最為和緩 (表 3)。

三、介質化學性質測定

四品種中介質之總酚含量皆於栽種三次之處理組顯著最高，而栽種四次處理組之總酚含量則降低 (表 4)，本試驗利用半徑 6 cm、高 14.5 cm 之黑軟盆進行試驗，相較於前人研究，推測可能因盆器容量較小，介質於栽種多次後土壤水分容易流失，致使栽種四次處理組之總酚含量因淋洗而下降，可惜於栽培過程中並無監測介質水分含量之差異而無法確定。另外，Bertin 等 (2003) 指出根毛並非根分泌物滲出之來源，越接近根部頂端根分泌物釋放量越多，根部之活性也與根分泌物之含量呈正相關 (Huang *et al.*, 2013)，於栽種四次處理組中發現各品種芫荽根部皆有出現褐化現象，顯示根部活性可能已下降，這可能也是栽種四次後總酚含量下降之原因之一。

一般栽培介質合理之 pH 值範圍介於 5.2-6.3 之間 (Bunt, 2012)，本試驗中泥碳土本身之 pH 值就偏低，而'香菜'及'遠香'於栽種三次及四次處理組之 pH 值顯著低於栽種一次及二次之處理組 (表 4)，較低之 pH 值也較容易引發自毒物質之分泌 (Yu and Matsui, 1997)。EC 值則以栽種二次之處理組顯著最高，推測可能為栽種一次處理組中尚未分解完之肥料溶出所造成。在單一連續種植之系統中，作物根系長期反覆釋放相同類型之自毒物質，容易引起土壤中益菌與病原菌之不平衡 (Inderjit, 2005; Kang *et al.*, 2009)，微生物相之改變可能也是造成連作障礙發生之原因，此部分尚待後續進行進一步之研究。

介質之大量元素濃度如表 5 所示，前人指出介質合理之大量元素濃度分別為，N: 0.2-

1.5%、P: 0.001-0.4%、K: 0.01-0.5%、Ca: 0.3-3.6%、Mg: 0.5-1.2% (Zhang *et al.*, 2012)，四品種之芫荽栽培介質除有效鎂之外皆處於合理之範圍，然有效鎂元素於泥碳土本身濃度較為不足，微量元素濃度如表 6 所示，前人指出介質之微量元素合理之範圍分別為，鐵 300-1000 ppm、錳為 10-200 ppm、鋅則小於 206 ppm、銅小於 71.8 ppm (Zhang *et al.*, 2012)，於栽種三次及四次處理組之有效鐵含量於四品種中皆無法偵測到，另外有效錳濃度於栽種第三次及四次之處理組也顯著低於泥碳土與栽種一、二次介質，有效鋅濃度於栽種四次之介質顯著低於栽種一次之介質 (表 6)，有效鐵及有效錳濃度皆低於理想介質範圍。本研究僅施用花寶二號 (N:P:K = 20:20:20) 之肥料，並未補充微量元素，前人研究指出大量施用磷肥、土壤 pH 值過高或是土壤有機質含量過低皆有可能間接造成鐵及鋅之缺乏 (De Kock and Wallace, 1965)。

總而言之，以株高及植株鮮乾重等表現來看，四品種當中以'香荳'之連作耐受性較佳，'遠香'次之，'香菜'及'明豐'連作耐受性最差。

參 考 文 獻

- 牛彩萍、王姣敏、劉寶文。2015。連作障礙對芹菜品質的影響研究。農業科技與信息 8: 66-67。
- 王磊、王蘭英、朱朝華、李娟。2009。玉米連作對其發芽率和苗期生長的影響。東北林業大學學報 37: 53-55。
- 劉興隆、李永安。2006。香菜細菌性葉枯病之發生與防治。臺中區農業改良場研究彙報 92: 1-10。
- 蔡正宏、戴振洋。2014。臺灣芫荽產銷問題之探討。臺中區農情月刊 173: 3-3。
- Bertin, C., R. N. Paul, S. O. Duke, and L. A. Weston. 2003. Laboratory assessment of the allelopathic effects of fine leaf fescues. *J. Chem. Ecol.* 29: 1919-1937.
- Bunt, B. 2012. *Media and Mixes for Container-Grown Plants*. 2nd ed. Springer Science & Business Media. Unwin Hyman Ltd., London.
- Cunniff, P. 1995. *Official methods of analysis of AOAC international*. 16th ed. Aoac Intl. Arlington, USA. 1141pp.
- De Kock, P. and A. Wallace. 1965. Excess phosphorus and iron chlorosis. *Calif. Agric.* 19: 3-4.
- Huang, L. F., L. Song, X. Xia, X. J., Mao, W. H., Shi, K., Zhou, Y. H. and J. Q. Yu. 2013. Plant-soil feedbacks and soil sickness: from mechanisms to application in agriculture. *J. Chem. Ecol.* 39: 232-242.
- Inderjit. 2005. Soil microorganisms: an important determinant of allelopathic activity. *Plant Soil.* 274: 227-236.

- Kang, N. J., Y. Im Kang, K. H. Kang, and B. R. Jeong. 2009. Induction of thermotolerance and activation of antioxidant enzymes in H₂O₂ pre-applied leaves of cucumber and tomato seedlings. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 78: 320-329.
- Orchard, T. 1977. Estimating the parameters of plant seedling emergence. *Seed Sci. Tec.* 5: 61-69.
- Vaughan, D. and B. Ord. 1990. Influence of phenolic acids on morphological changes in roots of *Pisum sativum*. *J. Sci. Food Agric.* 52: 289-299.
- Xiong, W., Z. Li, H. Liu, C. Xue, R. Zhang, H. Wu, R. Li, and Q. Shen. 2015. The effect of long-term continuous cropping of black pepper on soil bacterial communities as determined by 454 pyrosequencing. *PloS One* 10: e0136946.
- Ye, S. F., Y. H. Zhou, Y. Sun, L. Y. Zou, and J. Q. Yu. 2006. Cinnamic acid causes oxidative stress in cucumber roots, and promotes incidence of *Fusarium wilt*. *Environ. Exp. Bot.* 56: 255-262.
- Yu, J. Q., S. F. Ye, M. F. Zhang, and W. H. Hu. 2003. Effects of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and allelochemicals, on photosynthesis and antioxidant enzymes in cucumber. *Biochem. Syst. Ecol.* 31: 129-139.
- Yu, J. Q. and Y. Matsui. 1997. Effects of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings. *J. Chem. Ecol.* 23: 817-827.
- Zhao, H. T., T. P. Li, Y. Zhang, J. Hu, Y. C. Bai, Y. H. Shan, and F. Ke. 2017. Effects of vermicompost amendment as a basal fertilizer on soil properties and cucumber yield and quality under continuous cropping conditions in a greenhouse. *J. Soils Sed.* 17: 2718-2730.
- Zhang, R. H., Z. Q. Duan, and Z. G. Li. 2012. Use of spent mushroom substrate as growing media for tomato and cucumber seedlings. *Pedosphere* 22: 333-342.

Phenotypic Analysis in Continuous Cropping of Coriander (*Coriandrum sativum* L.)

Tien-Li Sheng¹⁾ San-Gwang Hwang²⁾

Key words: Coriander, Continuous cropping, Autotoxicity, Phenolic acid

Summary

Coriandrum sativum L. is an important spice crop in Taiwan. The coriander seeds were treated with the substrate filtrates collected from substrates with different cultivation times, and seed germination results indicated that the germination rate of the coriander seeds is negatively correlated to the total phenolic compound of the substrate. This result suggested that the accumulation of secondary metabolites, e.g. phenolic acid, may be one of the important factors causing reduction in germination of coriander seeds. Plant height, leaf number, stem diameter, shoot, root fresh weight and dry weight and leaf area of 'Xiangca', 'Minfon', 'Xiang sui', and 'Yuan xiang' grown in substrates with three and four cultivation times were significantly lower than those grown in substrates with one and two cultivation times. Furthermore, 'Xiangca' showed the most severe reduction in all phenotypes tested when grown in the substrate with three cultivation times. In contrast, 'Xiang sui' showed the least variation in all phenotypes tested when grown in substrates with different cultivation times. The increase of phenolic acid content and the lack of micronutrients may be the causes for the decrease of plant growth when grown in the substrate with three cultivation times, and the lack of micronutrients in the substrate may be the cause for the decrease of plant growth when grown in the substrate with four cultivation times.

1) Graduate student, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

2) Associate professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University.

Corresponding author.