

水稻種原對瘤野螟抗性檢定

廖君達²、陳宗禮³、許志聖⁴

摘 要

瘤野螟(*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée)是臺灣水稻(*Oryza sativa* L.)第2期作重要的害蟲，幼蟲會將水稻營養葉及劍葉縱捲成苞，隱匿內部取食葉片上表皮及葉肉組織，降低受害葉片的光合作用能力，受害嚴重時造成顯著的產量損失。育成對瘤野螟具抗性的水稻品種所需的抗性種原非常有限。本試驗連續2年於瘤野螟好發的水稻第2期作分別種植240個(2011年)及270個(2012年)水稻種原供瘤野螟自然產卵及取食危害，於水稻分蘖期及乳熟期調查不同種原葉片的受害情形，進行水稻種原對瘤野螟的抗感性檢定。供試水稻種原中，94個對瘤野螟達中抗等級，且有7個達抗等級，占篩選種原的2.6%。進一步選擇清流(Qingliu)、Prasanna、白穀晚(Baiqiaowan)、TKM 6、Xian Biao 3及笹錦(Sasanishiki)等6個抗等級水稻種原，台梗9號(Taikeng 9)、Mochidawara、高雄145號(Kaohsiung 145)、台梗10號(Taikeng 10)、3141-2 及台北177號(Taipei 177)等6個感等級的水稻種原，並於2013及2014年進行為期2年的田間檢定，確認這12個水稻種原具有穩定的抗或感性的表現，可作為後續國內水稻瘤野螟抗性育種與檢定之參考。

關鍵詞：水稻、種原、瘤野螟、抗性

前 言

對田間害蟲的防治，除了噴施化學藥劑外，天敵及開發對害蟲具抗性的水稻品種(系)是對於農業環境較友善的對策⁽¹⁾。抗性品種的選育首先要取得對標的害物具備抗性的種原，而後再運用傳統抗性育種、誘變育種、分子輔助抗性育種或基因轉殖等技術，將抗性基因導入現有優良的商業栽培品種或選育出新的水稻品種。而在發展抗性水稻品種(系)時，瞭解寄主所具備的抗性機制及尋找作為抗性指標的植物特性等，均成為抗性育種的研究方向。

國際稻米研究所(International Rice Research Institute, IRRI)自1962年起，展開水稻種原對害蟲抗性的篩選，最早選定的害蟲標的為三化螟(*Scirpophaga incertulas* Walker, Yellow stem borer)及二化螟(*Chilo suppressalis* Walker, Striped stem borer)⁽⁷⁾。而後，經過多年發展及調整水稻種原的篩選方

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0992 號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員。

³ 國立中興大學農藝學系教授。

⁴ 行政院農業委員會臺中區農業改良場前研究員。

法，已能夠廣泛應用於30種水稻害蟲的檢定^(9,10)。國內對於水稻抗生物性逆境的育種，著重於稻熱病、白葉枯病、紋枯病、縐葉枯病、黃萎病及黃葉病等6種病害、褐飛蟲、白背飛蟲、斑飛蟲及二化螟等4種蟲害，並設置統一檢定圃進行水稻抗病蟲篩選工作⁽¹⁾，但迄今仍未建立對瘤野螟(*Cnaphalocrocis medinalis*, Rice leaffolder)的抗蟲檢定。

瘤野螟原為水稻次要的害蟲，在1980年代後期起，由於完善的灌溉設施、多期作水稻栽培制度、大面積種植高產的半矮性水稻品種、肥料的過量使用及殺蟲劑持續的施用等，導致瘤野螟於亞洲各地均有大發生的紀錄^(2, 12, 13, 23)。由於瘤野螟幼蟲將水稻葉片縱捲成苞，隱匿其中取食上表皮及葉肉部分，影響光合作用，導致產量的減損^(5,14)，並曾有高達63-80%水稻產量損失的紀錄^(18, 20)。

Heinrichs 等學者⁽⁸⁾提出鑑定及選育對瘤野螟具抗性的水稻品種有迫切的重要性，於國際稻米研究所的溫室篩選來自62個國家17,914個水稻種原，得到來自10個國家對瘤野螟具備抗性及中抗等級的115個編錄號(accessions)的種原，其中達抗性等級僅有35個，佔篩選種原的0.2%；而且，僅有Darukasail及Choorapundy等2個種原在抗性分級0-9級中符合第1級⁽⁸⁾。Joshi等學者⁽¹¹⁾以台中在來1號(TN1)為感性對照，經抗性檢定後，推薦TKM 6、Ptb 33、ASD 5、IR 4704-106-3-2及GEB 24等水稻種原可能作為對瘤野螟及刷鬚野螟(*Marasmia patnalis* Bradley)抗性的給予者(donor)⁽¹¹⁾。此外，野生稻對於環境有極佳的適應性，可供作為病蟲害抗性基因的來源，由264個野生稻(Wild rice, *Oryza* spp.)中篩選出10個抗性種原⁽⁸⁾。而印度、斯里蘭卡、蘇利南、臺灣、菲律賓、中國、孟加拉、義大利、馬來西亞及泰國等10個國家的學者也陸續進行水稻對瘤野螟的抗性檢定，篩選出271個具有抗性的基因型(genotype)^(8,9,13,22)。Chintalapati等學者⁽⁴⁾將抗性親本W1263與感性親本TN1進行雜交，培育出160個重組自交系族群，選拔出2個穩定的抗性種原⁽⁴⁾。

水稻種原對害蟲的抗性檢定，若能在田間自然染蟲的狀態進行評估，最能反應出害蟲對水稻種原的抗感性；然而，害蟲於田間發生的頻度及族群密度，經常受到環境條件的影響而有極大的差異。因此，建立害蟲大量飼育技術，並發展人為接蟲技術，也成為學者的研究方向。有關瘤野螟的大量飼育技術，亦有長足的發展，並建立以玉米幼苗為飼養材料的繁殖流程^(6, 24, 26)。經考量到穩定維持足夠數量的瘤野螟仍有其困難性，而且，水稻一個期作有2-3次的瘤野螟幼蟲危害期，若將水稻種植於可控制的室內環境，於幼苗階段接種瘤野螟初齡幼蟲固然可行；但若針對抽穗期後的危害階段，此時，水稻需要有足夠的空間供其生長發育，一般不容易取得足夠的空間；況且，長期栽培於溫室內的水稻植株，其農藝性狀經常與種植於田間者間出現質量上的差異，可能影響到瘤野螟成蛾的產卵偏好、幼蟲的取食偏好或水稻的受害程度。因此，本研究將水稻種植於田間，以自然染蟲的方式，連續2年於好發瘤野螟的第2期作，分別於水稻分蘖盛期及抽穗後調查不同種原葉片的受害情形，進行水稻種原對瘤野螟的抗感性檢定，據以選擇數個對瘤野螟具抗性及感性的水稻種原，並進行為期2年的抗感穩定性測試。

材料與方法

一、水稻材料

2011年進行240個水稻(*Oryza sativa* L.)種原對瘤野螟的抗性檢定，2012年新增30個水稻種原(編號241-270)，合計270個水稻種原(表一)。水稻種子分別收集自國際稻米研究所、行政院農業委員會農業試驗所、臺南區農業改良場及臺中區農業改良場等單位，作為育種材料的種原。為增加水稻種原的歧異度，供試材料來源包括亞洲的臺灣131個(內含68個臺灣傳統在來稻)、日本30個、國際稻米研究所24個、中國大陸14個、印度11個、菲律賓5個、印尼4個、泰國3個、韓國3個、越南2個、孟加拉、巴基斯坦、尼泊爾、寮國、緬甸、斯里蘭卡、伊朗 各1個、美國14個、拉丁美洲5個、海地3個、古巴1個、非洲8個、澳洲2個及義大利1個等，涵蓋23個國家及地區。為能夠提高篩選到對瘤野螟具抗性水稻種原的機會，以極淡或淡的葉色、直立或半直立性稻稈作為初步篩選標準，由400個臺灣傳統在來稻種原選出68個參與本次試驗。而且，供試材料中，包括TKM 6、DV 85、Ptb 9、Pankaj、Mudgo、IR 74、Basmati 370、IR 5685-26-1、Tetep 9645及Tetep 10046等10個已被檢定為對瘤野螟具抗性的水稻種原^(8,9,13,22)。供試材料於2011及2012年第2期作種植於行政院農業委員會臺中區農業改良場試驗田(大村，彰化，臺灣)，2重複，4行區，每行26株，行株距30.0x15.0 cm，單本植，小區面積4.68 m²。栽培期間不噴灑鱗翅目害蟲的化學藥劑。

由2011及2012年第2期作的水稻種原抗瘤野螟檢定結果，選出6個抗性及6個感性水稻種原，於2013及2014年第2期作種植於臺中區農業改良場試驗田，4重複，4行區，每行26株，行株距30.0x15.0 cm，單本植，小區面積4.68 m²。

表一、水稻種原對瘤野螟抗性檢材料及其來源

Table 1. Rice genotypes and its origin for screening *C. medinalis* resistant

No.	Rice genotypes	Origin	No.	Rice genotypes	Origin
1	紅腳赤殼大花(台中)	Taiwan	13	竹絲	Taiwan
2	早大花(農試)	Taiwan	14	赤殼(嘉義)	Taiwan
3	朮變	Taiwan	15	赤殼(台中)	Taiwan
4	半天仔(台中)	Taiwan	16	亞崙	Taiwan
5	打鐵崙	Taiwan	17	短廣花螺(頭城)	Taiwan
6	白米粉(台北)	Taiwan	18	白殼花螺(頭城)	Taiwan
7	白米粉(農試)	Taiwan	19	硬尾花螺	Taiwan
8	白葉(高雄)	Taiwan	20	硬尾	Taiwan
9	白殼舊(台中 1)	Taiwan	21	花肚(新竹)	Taiwan
10	白殼舊(台中 2)	Taiwan	22	花殼	Taiwan
11	白米耳	Taiwan	23	金精(台中 1)	Taiwan
12	白骨仔	Taiwan	24	金精(台中 2)	Taiwan

No.	Rice genotypes	Origin	No.	Rice genotypes	Origin
25	阿猴矯	Taiwan	62	清流	Taiwan
26	柳州(農試)	Taiwan	63	大麻里烏占(台東)	Taiwan
27	高腳柳州(台北)	Taiwan	64	晚三杯	Taiwan
28	烏殼柳州	Taiwan	65	三貂	Taiwan
29	柳頭仔	Taiwan	66	朮舊	Taiwan
30	南路草	Taiwan	67	白殼晚	Taiwan
31	青心仔	Taiwan	68	水蛋	Taiwan
32	白殼員粒	Taiwan	69	台中 65 號	Taiwan
33	紅鬚格仔	Taiwan	70	高雄 145 號	Taiwan
34	格仔	Taiwan	71	台梗 5 號	Taiwan
35	通興	Taiwan	72	台梗 9 號	Taiwan
36	白殼埔占	Taiwan	73	台中 192 號	Taiwan
37	大烏殼	Taiwan	74	台南 11 號	Taiwan
38	烏殼	Taiwan	75	台北 177 號	Taiwan
39	烏尖	Taiwan	76	台北 301 號	Taiwan
40	高腳烏粘	Taiwan	77	嘉農 242 號	Taiwan
41	正清油	Taiwan	78	台東 30 號	Taiwan
42	白殼清油	Taiwan	79	新竹 64 號	Taiwan
43	新桃園清油	Taiwan	80	高雄 1 號	Taiwan
44	清油 1	Taiwan	81	高雄 141 號	Taiwan
45	清油 2	Taiwan	82	高雄 139 號	Taiwan
46	接花	Taiwan	83	台梗 7 號	Taiwan
47	葫蘆墩	Taiwan	84	台梗 10 號	Taiwan
48	新支早造田基慶	Taiwan	85	台農 69 號	Taiwan
49	樞槌	Taiwan	86	台農 71 號	Taiwan
50	一期作霜降	Taiwan	87	台農 70 號	Taiwan
51	烏殼早(高雄)	Taiwan	88	吉野 1 號	Taiwan
52	柳占(新竹)	Taiwan	89	台中糯 70 號	Taiwan
53	葫蘆墩(台北)	Taiwan	90	台梗 2 號	Taiwan
54	半天白(台中)	Taiwan	91	興大 1 號	Taiwan
55	白葉(嘉義)	Taiwan	92	台南 9 號	Taiwan
56	在 8	Taiwan	93	台中 178 號	Taiwan
57	在 31	Taiwan	94	高雄 140 號	Taiwan
58	在 97	Taiwan	95	CKY 97206	Taiwan
59	在 98	Taiwan	96	CKY 12037	Taiwan
60	在 145	Taiwan	97	CKY 11829	Taiwan
61	在 94	Taiwan	98	CKY 10706	Taiwan

No.	Rice genotypes	Origin	No.	Rice genotypes	Origin
99	台中在來 1 號	Taiwan	136	日野光	Japan
100	台中秈 10 號	Taiwan	137	M 401	USA
101	台農秈 12 號	Taiwan	138	Annada	USA
102	台農秈育 2414 號	Taiwan	139	Lemont	USA
103	台中秈 17 號	Taiwan	140	Nato	USA
104	台中秈糯 1 號	Taiwan	141	Jasmine 85	USA
105	台秈糯 2 號	Taiwan	142	Aromatic Lemont	USA
106	台秈 2 號	Taiwan	143	M 202	USA
107	台農秈糯 2 號	Taiwan	144	Pegonil	USA
108	嘉農秈 11 號	Taiwan	145	Nortai	USA
109	台農秈 14 號	Taiwan	146	Pelde	USA
110	台農秈 19 號	Taiwan	147	Taro	USA
111	台農秈 20 號	Taiwan	148	Jely	USA
112	台南秈 15 號	Taiwan	149	IR 65598-112-2	IRRI
113	高雄秈 7 號	Taiwan	150	IR 65600-27-1-2-2	IRRI
114	秋田小町	Japan	151	IR 66159-189-5-5-3	IRRI
115	北陸 100	Japan	152	Hill padi	IRRI
116	絹光	Japan	153	IR 72	IRRI
117	日本晴	Japan	154	IR 61608-3B-20-2-2-1-1	IRRI
118	越光	Japan	155	B6490	IRRI
119	豐錦	Japan	156	BSI325	IRRI
120	明星	Japan	157	IR 76904-7-19	IRRI
121	笹錦	Japan	158	IR 75286-AC5	IRRI
122	栃木酒 14	Japan	159	IR 76-83-3-1	IRRI
123	山田錦	Japan	160	IR 24	IRRI
124	500 万擔	Japan	161	IR 8	IRRI
125	星豐	Japan	162	IR 29	IRRI
126	峰朝日	Japan	163	PsBRc 4	Philippine
127	一目惚	Japan	164	PsBRc 10	Philippine
128	轟早生	Japan	165	IR 74	IRRI
129	關東 154	Japan	166	IR 5685-26-1	IRRI
130	福錦	Japan	167	TKM 6	India
131	奧羽 342	Japan	168	Tetep 9645	Vietnam
132	夢光	Japan	169	Tetep 10046	Vietnam
133	津輕乙女	Japan	170	DV 85	Bangladesh
134	南錦	Japan	171	Ptb 9	India
135	花之舞	Japan			

No.	Rice genotypes	Origin	No.	Rice genotypes	Origin
172	撰 7	Japan	207	Milky Princess	Japan
173	Azucena	Philippine	208	山美-4	Taiwan
174	Basmati 370	India	209	Kasalath	India
175	Basmati T3	India	210	月眉	Taiwan
176	Pakistan Basmati	Pakistan	211	春陽	Taiwan
177	KDML-105	Thailand	212	Sesea	Italy
178	Ku 79-1	Taiwan	213	茶山-1	Taiwan
179	Prenifull	India	214	NERICA	Africa
180	Pokhareli	Nepal	215	Fins Brown	Australia
181	Milyang 23	Korea	216	IF 176	IRRI
182	光復香糯	Taiwan	217	BG 367-4-1	Sri Lanka
183	Ku 2986	Taiwan	218	3141-2	IRRI
184	Kabasic	Philippine	219	CITA-960504	Latin America
185	Warisan-Mochi 2	Taiwan	220	Milfore	Philippine
186	農委 BW	Indonesia	221	Cisedane	Africa
187	地方種 BW	Taiwan	222	Khazar	Iran
188	日本紫香糯	Japan	223	Ai-Zi-Dao	China
189	成功紅糯	Taiwan	224	Pusa 44	Myanmar
190	Me Hang	IRRI	225	Houei Dong	Lao PDR
191	TH	Philippine	226	Giza 4120-205	Egypt
192	Pankaj	Indonesia	227	大理早秈	China
193	SLG 21	Japan	228	Adan	Indonesia
194	東陸 3	Taiwan	229	CT 9159-13-2-2-1	Latin America
195	FKR 19	Africa	230	Jinya-31	China
196	ASD 16	India	231	MGG	Haiti
197	ATM 3	Africa	232	Beta	Haiti
198	WAB 56-50	Africa	233	Schella	Haiti
199	WAB 365-B-1-1-H1-HB	Africa	234	Xian Biao 3	Korea
200	WAB 450-11-1-1P31-HB	Africa	235	Yangjubyeo	Korea
201	Hseng-Nuv-1	China	236	CSR 10	India
202	金香松	China	237	BemBeramo	Indonesia
203	綠香松	China	238	Cuyamel 3820	Latin America
204	CD-5	Taiwan	239	Tha-5	Thailand
205	Mudgo	India	240	CITA-8	Latin America
206	Milky Queen	Japan	241	Mochidawara	Japan
			242	台南 5 號	Taiwan
			243	阿里山糯	Taiwan

No.	Rice genotypes	Origin	No.	Rice genotypes	Origin
244	大陸籼	China	258	IR 64	IRRI
245	華粳籼 74	China	259	IR 3825-11-3-2-3-1	IRRI
246	瀋農 265	China	260	Basmati 385	India
247	蘇香粳 1 號	China	261	ECIA 67-82-J-3	Cuba
248	揚粳 186 號	China	262	Prasanna	India
249	揚稻 201 號	China	263	新泰米	Thailand
250	Amaroo	Australia	264	郭香	Taiwan
251	Molokosi	Japan	265	RI 358	Taiwan
252	A-301	USA	266	MTK 15	Taiwan
253	S-301	USA	267	Sub-Swa-1	IRRI
254	IR 28	IRRI	268	瑞源香糯	Taiwan
255	IR 30	IRRI	269	內地旱稻品種 1	China
256	IR 36	IRRI	270	內地旱稻品種 3	China
257	IR 56	IRRI			

二、抗性檢定

供試水稻種植於田間，任由瘤野螟幼蟲自然捲葉取食，於水稻分蘖期及乳熟期各調查一次，評估不同水稻種原對瘤野螟的抗感性程度。每小區隨機取樣9叢水稻植株，依據國際稻米研究所建立水稻標準評估系統⁽¹⁰⁾，調查每叢水稻葉片數及將被捲葉危害的葉片分為0-3等級(grade)(0, 未受害、等級1, 捲葉未達1/3葉片、等級2, 捲葉介於1/3至1/2葉片、等級3, 捲葉大於1/2 葉片)。將不同受害等級水稻葉片數分別加總，以下列公式換算為受害級數百分率(% damage rating, R)。

$$\text{受害級數百分率(R)} = \frac{(\text{等級1葉數} \times 1) + (\text{等級2葉數} \times 2) + (\text{等級3葉數} \times 3)}{\text{總調查葉數}} \div 6 \times 100 \%$$

編號147的美國水稻品種Taro於2011年及2012年第2期作均維持穩定的高度受害級數百分率，故將Taro設定為感性對照。將不同水稻種原的受害級數百分率除以Taro的受害級數百分率，再乘以100，作為該水稻品種調整後的受害級數百分率(Adjusted % damage rating, D)。

$$\text{調整後受害級數百分率(D)} = \frac{\text{水稻種原受害級數}\%}{\text{感性對照 Taro 受害級數}\%} \times 100 \%$$

接著將調整後的受害級數百分率(D)對應到尺度(0、1、3、5、7 及9)及反應編碼，極抗(HR)、抗(R)、中抗(MR)、中感(MS)、感(S)及極感(HS)等6種反應(reaction)等級(表二)。最後，將2011及2012年檢定的尺度值平均，再將平均值轉換為反應等級。

表二、水稻種原對瘤野螟抗性檢定尺度及反應編碼

Table 2. Scale and reaction code of rice genotypes for screening *C. medinalis* resistant

Scale	% damage rating	Reaction code
0	No damage	Highly resistant, HR
1	1-10%	Resistant, R
3	10.1-30%	Moderately resistant, MR
5	30.1-50%	Moderately susceptible, MS
7	50.1-75%	Susceptible, S
9	More than 75.1%	Highly susceptible, HS

2013及2014年進行經選定的6個抗等級及6個感等級水稻種原對瘤野螟的檢定，同樣於田間任由瘤野螟幼蟲自然捲葉取食危害，調查每叢水稻葉片數及被捲葉危害的葉片，換算為受害級數百分率。

三、統計分析

試驗數據以SPSS軟體(SPSS Inc. 2016)進行統計分析。分析前，百分率資料先以arcsine角度轉換處理。2011及2012年的受害級數百分率進行變異數分析(analysis of variance, ANOVA)，當結果之p-value<0.05時，進一步以Fisher's least significant difference(LSD)比較各處理間均值。2013及2014年的數據以獨立樣本Student's t-檢定分析經選定為抗性及感性的水稻種原間之受害級數百分率是否達到顯著性差異。使用Pearson's correlation coefficient(r)分析不同水稻生育階段受害程度間的關係。

結 果

不同水稻種原經過2年第2期作的瘤野螟自然染蟲的抗感性檢定，水稻葉片受害級數百分率結果如表三。2011年第2期作，供試水稻種原有240個，分蘗期受害級數介於0.21-5.94% (表三:F = 1.453; df = 239, 240; P = 0.002)，乳熟期受害級數介於2.25-31.80% (表三:F = 1.276; df = 239, 240; P = 0.03)。2012年第2期作，供試水稻種原有270個，分蘗期受害級數介於0-5.85% (表三:F = 1.362; df = 269, 270; P = 0.006)，乳熟期受害級數介於0.27-34.43% (表三:F = 1.418; df = 269, 270; P = 0.02)。4個水稻生育階段的變異係數以2012年分蘗期的受害級數達到77.98%為最高，2011年乳熟期的受害級數為47.86%為最低(表三)。由於設定為感性對照標號147的水稻品種Taro，於2011及2012

年第 2 期作分蘖期的受害級數分別為 3.49%及 2.65%，考量到受害級數偏低可能不具代表性，因此，水稻分蘖期的葉片受害級數不進行抗感性分析。至於第 2 期作乳熟期的受害級數分別為 25.2%及 24.4%，設定為調整受害級數百分率的感性對照，進行後續的抗感性分析。

以水稻品種 Taro 為感性對照，調整後分年度受害級數百分率、抗性反應及 2 年平均值尺度及反應等級如表四所示。編號 1-240 的水稻種原依據 2 年平均值尺度及反應等級，編號 241-270 的水稻種原依據 2012 年的尺度及反應等級來區分。270 個供試水稻種原中均無極抗(HR)等級者，抗(R)等級者包括 Prasanna 等 7 個、中抗(MR)等級者包括 IR 56 等 94 個、中感(MS)等級包括 Ku 2986 等 99 個、感(S)等級包括白殼花螺(頭城)等 57 個、極感(HS)等級包括柳頭仔等 13 個(表四)；分別占供試種原的 0、2.6、34.8、36.7、21.1 及 4.8%。

表三、不同生育時期瘤野螟危害不同水稻種原的變異

Table 3. Variation in damage rating by *C. medinalis* on different rice genotypes at different rice growth stage

Periods	N	Minimum %	Maximum %	Mean %	Standard deviation	Coefficient of variation %	P value	F value
Tillering stage								
2 nd season, 2011	240	0.21	5.94	1.56	0.92	58.68	0.002	1.453
2 nd season, 2012	270	0	5.85	1.13	0.88	77.98	0.006	1.362
Milky stage								
2 nd season, 2011	240	2.25	31.80	10.27	4.92	47.86	0.03	1.276
2 nd season, 2012	270	0.27	34.43	9.47	6.47	68.50	0.02	1.418

N, numbers of tested rice genotypes.

表四、供試水稻種原於乳熟期對瘤野螟抗感性反應、抗性分級及占比

Table 4. Resistant / susceptible reaction, scale and percentage by *C. medinalis* on different rice genotypes at the milky stage

Reaction	Scale	Rice genotypes	N	%
HR	0			
R	1	Parasana、郭香、大陸秈、新泰米、白殼晚、阿里山糯、華稈秈 74 號	7	2.6
MR	3	IR 56、TKM 6、籼錦、Xian Biao 3、清流、Prenifull、RI 358、台農秈 19 號、Tha-5、IR 3825-11-3-2-3-1、關東 154、A301、DV 85、接花、BG 367-4-1、揚稈 186 號、金精(台中 1)、內地旱稻品種 1、KDML-105、白葉(高雄)、Jinya-31、在 8、TH、朮舊、台稈 2 號、在 98、台中半	94	34.8

Reaction	Scale	Rice genotypes	N	%
		天白、新支早造田基慶、BemBeramo、水蛋、半天仔(台中)、Pakistan Basmati、台中 192 號、IR 76-83-3-1、紅腳赤殼大花(台中)、IR 8、Jasmine 85、Annada、台農秈 20 號、IR 61608-3B-20-2-2-1-1、奧羽 342、IR 64、赤殼(台中)、秋田小町、在 145、月眉、Cuyamel-3820、紅鬚格仔、IR 36、夢光、IR 65600-27-1-2-2、津輕乙女、花殼、台東 30 號、PsBRc 4、Basmati 370、白米耳、白葉(嘉義)、高腳烏粘、Ptb 9、白骨仔、越光、春陽、葫蘆墩(台北)、阿猴矯、山美-4、CD-5、打鐵崙、烏殼早(高雄)、Hseng-Nuv-1、Pegonil、Mudgo、花肚(新竹)、高雄秈 7 號、Azucena、台秈 2 號、CYK 12037、南路草、大烏殼、轟早生、Lemont、CT 9159-13-2-2-1、IR 74、瑞源香糯、撰 7、台中在來 1 號、Tetep 9645、地方種 BW、台中秈 10 號、台南秈 15 號、高雄 141 號、Milky Queen、Me Hang、台秈糯 2 號		
MS	5	Ku 2986、Kabasico、赤殼(嘉義)、Amaroo、早大花(農試)、ECIA 67-82-J-3、硬尾、Sub-Swa-1、三貂、Milyang 23、IR 30、檣槌、茶山-1、峰朝日、Pokhareli、明星、Kasalath、MTK 15、IR 24、朮變、Basmati T3、Asd 16、Tetep 10046、CSR 10、大麻里烏占(台東)、北陸 100、在 94、白殼員粒、白殼清油、一目忽、興大 1 號、豐錦、Yangjubyeo、晚三杯、瀋農 265、烏殼柳州、通興、新桃園清油、格仔、PsBRc 10、Milfore、清油 1、CITA-8、葫蘆墩、清油 2、日本晴、Basmati 385、高雄 139 號、金精(台中 2)、台南 5 號、烏殼、Jely、硬尾花螺、Cisedame、ATM 3、嘉農 242 號、台中 178 號、M 401、揚稻 201 號、IR 76904-7-19、500 万擔、M 202、Molokosi、Khazar、IR 66159-189-5-5-3、星豐、在 31、高腳柳州(台北)、台農秈育 2414 號、台農秈 14 號、亞崙、內地早稻品種 3、一期作霜降、台北 301 號、柳州(農試)、IR 72、白殼舊(台中 2)、IR 29、新竹柳占、成功紅糯、青心仔、Pankaj、IF 176、高雄 140 號、Adan、吉野 1 號、蘇香稈 1 號、嘉農秈 11 號、Aromatic Lemont、B6490、台中 65 號、高雄 1 號、Nortai、日本紫香糯、Pelde、台農秈 12 號、CYK97206、Beta、台中秈 17 號	99	36.7
S	7	白殼花螺(頭城)、在(97)、NERICA、白殼埔占、FKR 19、枋木酒 14、烏尖、IR 28、正清油、台農 71 號、BSI325、台南 9 號、Sesea、Giza 4120-205、CYK 10706、白米粉(台北)、IR 75286-AC5、白米粉(農試)、大理早秈、S 301、台中糯 70 號、白殼舊(台中 1)、Milky Princess、Schella、花之舞、日野光、金香松、山田錦、Pussa 44、Warisan mochi 2、WAB 365-B-1-1-H1-HB、新竹 64 號、南錦、台農 70 號、東陸 3、IR 5685-26-1、IR 65598-112-2、台南 11 號、CITA-960504、台北 177 號、光復香糯、竹絲、絹光、綠香松、台稈 9 號、台農秈糯 2 號、WAB 450-11-1-1P31-HB、Mochidauara、福錦、台農 69 號、短廣花螺(頭城)、Fins Brown、CYK11829、農委 BW、台稈 10 號、高雄 145 號、3141-2	57	21.1

Reaction	Scale	Rice genotypes	N	%
HS	9	柳頭仔、WAB 56-50、Ai-Zi-Dao、MGG、Houei Dong、台中秈糯 1 號、Hill padi、SLG 21、Ku 79-1、Nato、台稈 7 號、台稈 5 號、Taro	13	4.8

N, number of genotypes; HR, highly resistant; R, resistant; MR, moderately resistant; MS, moderately susceptible; S, susceptible; HS, highly susceptibles.

經選定作為探討水稻對瘤野螟抗性機制的 6 個抗(R)等級種原，包括清流(Qingliu)、Prasanna、白殼晚(Baiqiaowan)、TKM 6、Xian Biao 3、笹錦(Sasanishiki)等，6 個感(S)等級種原包括台稈 9 號(Taikeng 9)、Mochidawara、高雄 145 號(Kaohsiung 145)、台稈 10 號(Taikeng 10)、3141-2 及台北 177 號(Taipei 177)等，於 2013 及 2014 年進行 2 年第 2 期作的水稻種原抗瘤野螟檢定。結果顯示，2013 年第 2 期作，抗等級種原群組於分蘗期之受害級數百分率介於 3.5-5.2%，感等級種原群組介於 5.3-11.7%，兩個群組種原間之受害級數百分率有極顯著性差異(表五; $t = -4.466$; $df = 46$; $P < 0.001$)，感性種原的平均值為抗性種原的 185.7%；抗等級種原群組於乳熟期之受害級數百分率介於 2.5-12.1%，感等級種原介於 34.5-68.2%，兩個群組種原間之受害級數百分率有極顯著性差異(表五; $t = -9.276$; $df = 46$; $P < 0.001$)，感性種原的平均值為抗性種原的 650%。2014 年第 2 期作，抗等級種原群組於分蘗期之受害級數百分率介於 0.8-3.1%，感等級種原介於 4.0-11.4%，抗性及感性兩個群組種原間之受害級數百分率有極顯著性差異(表五; $t = -4.003$; $df = 46$; $P < 0.001$)，感性種原的平均值為抗性種原的 405.9%；抗等級種原於乳熟期之受害級數百分率介於 1.7-10.2%，感等級種原介於 12.9-34.5%，兩個群組種原間之受害級數百分率有極顯著性差異(表五; $t = -5.946$; $df = 46$; $P < 0.001$)，感性種原的平均值為抗性種原的 406.8%。顯示抗等級水稻種原清流、Prasanna、白殼晚、TKM 6、Xian Biao 3 及笹錦等葉片受害級數百分率於 2 年第 2 期作的分蘗期及乳熟期均低於台稈 9 號、Mochidawara、高雄 145 號、台稈 10 號、3141-2 及台北 177 號等 6 個感性水稻種原(表五)，顯示選定的水稻種原具有良好抗或感性表現的穩定度。

進行 12 個水稻種原於分蘗期與乳熟期之受害級數百分率間的相關性分析，2013 年分蘗期與乳熟期間的相關係數(Pearson correlation coefficient, r)為 0.527， P 值 < 0.001 ；2014 年分蘗期與乳熟期間的相關係數(r)為 0.585， P 值 < 0.001 。顯示同一期作水稻分蘗期與乳熟期之受害級數百分率間呈極顯著性正相關。

表五、瘤野螟危害選定水稻種原的受害級數百分率(%)

Table 5. Damage rating(%) by *C. medinalis* on selected rice genotypes

Rice genotypes	Reaction	Damage rating(%)			
		Tillering stage		Milky stage	
		2013	2014	2013	2014
Qingliu	Resistant	4.4 ± 2.4 ns	1.9 ± 1.7 ns	2.5 ± 1.4a	1.7 ± 1.4a
Prasanna	Resistant	3.6 ± 0.5 ns	1.5 ± 1.2 ns	4.6 ± 1.8a	3.5 ± 1.3ab
Baiqiaowan	Resistant	3.5 ± 1.6 ns	0.8 ± 1.2 ns	4.6 ± 2.8a	2.4 ± 1.1ab
TKM 6	Resistant	3.8 ± 0.7 ns	1.4 ± 1.2 ns	6.7 ± 2.7ab	2.3 ± 1.0ab
Xian Biao 3	Resistant	4.7 ± 2.5 ns	1.5 ± 0.9 ns	11.6 ± 8.1b	6.2 ± 4.0b
Sasanishiki	Resistant	5.2 ± 1.2 ns	3.1 ± 3.9 ns	12.1 ± 3.7b	10.2 ± 4.6c
Mean(R)		4.2 ± 1.6	1.7 ± 2.0	7.0 ± 5.2	4.4 ± 3.9
Taikeng 9	Susceptible	5.3 ± 2.0a	5.7 ± 5.2 ns	34.5 ± 16.3a	15.6 ± 3.7a
Mochidawara	Susceptible	8.7 ± 2.9ab	4.0 ± 0.6 ns	36.5 ± 22.9ab	13.4 ± 7.7a
Kaohsiung 145	Susceptible	6.5 ± 1.4ab	4.0 ± 3.1 ns	35.3 ± 11.1a	12.9 ± 7.8a
Taikeng 10	Susceptible	7.0 ± 1.1ab	11.1 ± 7.7 ns	38.6 ± 3.4ab	13.1 ± 3.9a
3141-2	Susceptible	11.4 ± 7.1b	11.4 ± 9.1 ns	60.0 ± 17.8bc	34.5 ± 14.2b
Taipei 177	Susceptible	8.0 ± 1.7ab	5.0 ± 3.1 ns	68.2 ± 17.0c	19.6 ± 5.0a
Mean(S)		7.8 ± 3.6	6.9 ± 6.0	45.5 ± 19.7	17.9 ± 10.5
Overall Mean		6.0 ± 3.3	4.3 ± 5.1	26.3 ± 24.1	11.6 ± 10.4
CV%		55.1	119.9	91.8	93.3
F test		3.486	7.599	22.477	6.119
t-value R vs. S		-4.466	-4.003	-9.276	-5.946
P value		< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Mean within each column of resistance or susceptible group followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to LSD.

R, resistance; S, susceptible.

結 論

本次試驗篩選了來自23個國家或地區的270個水稻種原，得到來自15個國家101個種原對瘤野螟具備抗(R)及中抗(MR)等級，其中達抗(R)等級者有7個(來自4個國家或地區)，佔篩選種原的2.6%(表四)。在進行水稻種原對瘤野螟抗性檢定前，已針對供試材料進行初步的篩選，包括選擇具備極淡或淡的葉色、直立或半直立性稻稈的臺灣傳統在來稻，並納入TKM 6等10個已被檢定為對瘤野螟具抗性的水稻種原。感性水稻品種TN 1相較於抗性水稻品種清流有較高的SPAD(soil plant analysis development)值，且瘤野螟幼蟲對水稻葉片取食危害程度與SPAD值呈顯著正相關^(25,27)，顯示葉色較淡的種原可能對瘤野螟具有較佳的抗性。直立或半直立性稻稈的水稻具有較開闊的稻叢環境，不利於害蟲隱匿及有利於天敵搜尋獵物。因此，相較於先前由17,914個水稻種原僅篩選出35個達抗等級者(佔0.2%)⁽¹⁸⁾，本試驗可得到較高比率對瘤野螟達抗及中抗等級的水稻種原。

68個臺灣傳統在來稻種原中，抗(R)等級者有白殼晚1個，中抗(MR)等級者有27個、中感(MS)等級有29個、感(S)等級有10個、高感(HS)等級有柳頭仔1個；達到抗及中抗等級者分別佔供試種原的1.5及39.7%，合計高達41.2%(表四)。顯示臺灣傳統在來稻可以作為潛在瘤野螟抗性種原的來源。

TKM 6普遍用於水稻對瘤野螟抗性檢定、抗性機制探討及瘤野螟成蛾產卵及幼蟲取食試驗的抗性對照^(3, 19, 21)，並被推薦為抗性來源的親本^(11, 22)。試驗結果顯示，供試材料TKM 6、DV 85、Ptb 9、Pankaj、Mudgo、IR 74、Basmati 370、IR 5685-26-1、Tetep 9645及Tetep 10046等10個已被檢定為對瘤野螟具抗性的水稻種原^(8, 9, 13, 22)，於本次試驗結果顯示，TKM 6、DV 85、Ptb 9、Mudgo、IR 74、Basmati 370及Tetep 9645等7個為中抗(MR)等級，至於Pankaj及Tetep 10046為中感(MS)等級、IR 5685-26-1呈現感(S)等級(表四)。顯示多數已知的抗性種原仍然維持良好的抗性。至於，台中在來1號(TN 1)及IR36經常被用來作為水稻種原對瘤野螟抗性檢定的感性對照^(11, 17, 19)。試驗結果顯示，TN 1在2011及2012年分別屬於中抗及中感等級，經平均後為尺度3的中抗等級；IR 36在2012年的檢定為中抗等級(表四)，兩者均不同於先前的報告。造成TN 1及IR 36於本次檢定呈現中抗等級的原因，是否瘤野螟於不同地區有不同抗感性反應的族群，或者環境條件不同而影響水稻農藝性狀表現的差異，或者由於田間檢定時種植大量的水稻種原而影響瘤野螟雌成蛾的產卵偏好性等，則有待後續研究來證實。

供試材料中包括台南 11 號等 46 個臺灣改良種水稻，檢定結果顯示並無屬於極抗(HR)及抗(R)等級者，中抗(MR)等級有 11 個，中感(MS)等級有 19 個，感(S)等級有 13 個，極感(HS)等級有 3 個(表四)。其中，改良稻的台中 192 號、台東 30 號及台梗 2 號，改良秈稻的台農秈 19 號及台農秈 20 號屬於尺度為 3 的中抗等級。台南 11 號屬於尺度為 7 的感等級。台梗 7 號為極感等級。由於臺灣多年來於水稻抗病抗蟲的育種，在育種程序並無針對瘤野螟進行相關的檢定，此為造成臺灣改良水稻品種多屬感性種原的原因。本試驗也是臺灣首次進行較大規模的水稻種原對瘤野螟抗性檢定工作。比對經行政院農業委員會公告之 106 年水稻推廣品種包括台梗 8 號、台梗 14 號、台梗 16 號、

台中 192 號、台南 11 號、台東 30 號及台東 33 號等 7 種，本次試驗供試水稻品種僅有中抗等級的台中 192 號、台東 30 號及感等級的台南 11 號，未能夠涵蓋所有的水稻推廣品種，因此，後續將追蹤這些水稻推廣品種對瘤野螟的抗感性。

根據不同水稻種原對瘤野螟抗感性分級反應資料(表四)，由抗等級及中抗等級種原中，選出臺灣傳統在來稻的清流(Qingliu)及白殼晚(Baiqiaowan)、來自印度的TKM 6及Prasanna、來自韓國的Xian Biao 3及來自日本的笹錦(Sasanishiki)等6個，並由57個感等級種原選出臺灣改良粳稻的台稉 9 號(Taikeng 9)、高雄145號(Kaohsiung 145)、台稉10號(Taikeng 10)及台北177號(Taipei 177)、來自日本的Mochidawara及來自國際稻米研究所的3141-2等6個。經過2013及2014年連續2年2個第2期作的田間自然染蟲檢定，抗等級及感等級水稻種原於分蘗期及乳熟期均能維持穩定的抗感性(表五)，顯示可以作為後續水稻種原對瘤野螟抗性機制研究的材料。而且，清流、Prasanna、白殼晚、TKM 6、Xian Biao 3及笹錦等6個抗等級水稻種原，自2011-2014年連續4年的檢定資料，對於水稻瘤野螟能夠呈現穩定的抗性，均有潛力作為水稻抗瘤野螟育種的抗性親本來源。而且，人為將瘤野螟幼蟲移至這些選出的水稻種原葉片，發現幼蟲取食抗等級水稻種原葉片需要較長的時間來完成捲葉及呈現較高的死亡率⁽¹⁵⁾。

本試驗藉由篩選240/270個水稻種原對瘤野螟的抗感性，再由抗及感等級種原中各選定6個抗、感等級種原。再經過2年期的評估，確認這12個水稻種原具有穩定的抗感性，除可作為瘤野螟抗性育種的材料，並可進一步由植物形態特性、化學組成特性、瘤野螟成蛾產卵及幼蟲取食表現等面向，來探討水稻種原對瘤野螟的抗性機制。

參考文獻

1. 陳隆澤、黃守宏、鄭清煥 2009 水稻病蟲害抗性檢定工作回顧 p.83-103 臺灣水稻保護成果及新展望研討會專刊 倪蕙芳、楊宏仁編 農業試驗所編印。
2. 鄭清煥 1987 嘉南地區瘤野螟之生態觀察 植保會刊 29: 135-146。
3. Abenes, M. L. P. and Z. R. Khan. 1990. Biology of leaffolders (LF) on susceptible IR 36 and resistant TKM 6. Intl. Rice Res. Newslett. 15: 14.
4. Chintalapati, P., D. Balakrishnan, T. V. Venu Gopal Nammi, S. Javvaji, S. K. Muthusamy, S. R. Lella Venkata, S. Neelamraju and G. Katti. 2019. Phenotyping and genotype × environment interaction of resistance to leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee(Lepidoptera: Pyralidae) in rice. Front. Plant Sci. 10:49. doi: 10.3389/fpls.2019.00049
5. Fraenkel, G. and F. Fallil. 1981. The spinning (stitching) behavior of the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis*. Entomol. Exp. Appl. 29: 138-146.
6. Fujiyoshi, N., M. Noda and H. Sakai. 1980. Simple mass-rearing method of grass leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée on young rice seedling. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 24: 194-196.
7. Heinrichs, E. A. 1986. Perspectives and directions for the continued development of insect-resistant rice varieties. Agric. Ecosys. Environ. 18: 9-36.
8. Heinrichs, E. A., E. Camanag and A. Romena. 1985a. Evaluation of rice cultivars for resistance to *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). J. Econ. Entomol. 78: 274-278.
9. Heinrichs, E. A., F. G. Medrano and H. R. Rapusas. 1985b. Genetic evaluation for insect resistance in rice. 356 pp. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philip.
10. IRRI 1996. Standard evaluation system for rice. 4th ed. Int. Rice. Res. Inst., Los Banos, Philip., 52p.
11. Joshi, R. C., E. Medina and E. A. Heinrichs. 1985. Reaction to *Marasmia patnalis* Bradley of varieties resistant to *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée. Int. Rice Res. Newslett. 10: 5.
12. Kaushik, C. 2010. Extent of damage by leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) in paddy cultivars at Raiganj, Uttar Dinajpur, West Bengal. Curr. Biotica 4: 365-367.
13. Khan, Z. R., A. T. Barrion, J. A. Litsinger, N. P. Castilla and R. C. Joshi. 1988. A bibliography of rice leaffolders (Lepidoptera: Pyralidae). Insect Sci. Appl. 9: 129-174.
14. Khan, Z. R., B. P. Rueda and P. Caballero. 1989. Behavioral and physiological responses of rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* to selected wild rices. Entomol. Exp. Appl. 25: 7-13.
15. Liao, C. T. and C. L. Chen. 2017. Oviposition preference and larval performance of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)(Lepidoptera: Pyralidae) on rice genotypes. J. Econ. Entomol. 110: 1291-1297.

16. Matteson, P. C. 2000. Insect pest management in tropical Asian irrigated rice. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 549-574.
17. Medina, E. B. and E. H. Tryon. 1986. Resistance of selected *Oryza sativa* and *O. brachyantha* cultivars to the rice leaffolder (LF). *Intl. Rice Res. Newslett.* 11: 10-11.
18. Muragesan, S. and S. Chelliah. 1987. Yield losses and economic injury by rice leaffolder. *Ind. J. Agric. Sci.* 56: 282-285.
19. Punithavalli, M., N. M. Muthukrishnan and M. B. Rajkumar. 2013. Influence of rice genotypes on folding and spinning behavior of leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* and its interaction with leaf damage. *Rice Sci.* 20: 442-450.
20. Rajendaran, R., S. Rajendaran and B. P. C. Sandra. 1986. Varietal resistance of rice to leaffolder. *Intl. Rice Res. Newslett.* 11: 17-18.
21. Ramachandran, R. and Z. R. Khan. 1991. Mechanisms of resistance in wild rice *Oryza brachyantha* to rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Chem. Ecol.* 17: 41-65.
22. Rekha, L. R., R. Singh and R. Singh. 2001. Sources and mechanisms of resistance in rice against rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) -a review. *Agric. Rev.* 22: 1-12.
23. Shanmugam, T. R., R. Sendhil and V. Thirumalvalavan. 2006. Quantification and prioritization of constraints causing yield loss in rice (*Oryza sativa*) in India. *Agric. Trop. Subtrop.* 39: 194-201.
24. Shono, Y. and M. Hirano. 1989. Improved mass-rearing of the rice leaffolder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae) using corn seedlings. *Appl. Entomol. Zool.* 24: 258-263.
25. Tu, K. Y., S. F. Tsai, T. W. Guo, H. H. Lin, Z. W. Yang, C. T. Liao and W. P. Chuang. 2018. The role of plant abiotic factors on the interactions between *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae) and its host plant. *Environ. Entomol.* 47: 857-866.
26. Waldbauer, G. P. and A. P. Marciano. 1979. Mass rearing of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae) under green-house conditions. *J. Entomol. Res.* 3: 1-8.
27. Xu, J., Q. X. Wang and J. C. Wu. 2010. Resistance of cultivated rice varieties to leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.* 103: 1166-1171.

Resistant Screening of Rice Genotypes on *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae)¹

Chung-Ta Liao², Chung-Li Chen³ and Chih-Sheng Sheu⁴

ABSTRACT

Cnaphalocrocis medinalis Guenée is the major rice pest during cultivated periods of second cropping season in Taiwan. *C. medinalis* moths lay eggs on leaf surfaces, and larvae longitudinally roll the leaves to hide inside the leaf buds and feed on the upper epidermis and mesophyll tissues. It would reduce the photosynthetic capacity of the damaged leaves and decrease the yield drastically. Few resistant germplasms with *C. medinalis* resistant trait are available for breeding program. In this study, there were more infestation for *C. medinalis* on the second cropping season, 240 in 2011 and 270 rice genotypes in 2012 were screened in the field under natural insect infestation to evaluate the degree of damage caused by *C. medinalis* larvae at the tillering and milky stages of rice. Among the tested rice genotypes, there were ninety-four genotypes belonged to moderately resistant, and seven genotypes were resistant, which occupied 2.6 percent of the screened ones. Six stable resistant rice genotypes, Qingliu, Prasanna, Baiqiaowan, Sasanishiki, TKM 6, Xian Biao 3, and six susceptible rice genotypes, Taikeng 9, Mochidawara, Kaohsiung 145, Taikeng 10, 3141-2, and Taipei 177 were selected for further study. Two-years field trials were proceeded to confirm the twelve selected genotypes have stable resistant/susceptible to *C. medinalis*, which should be as subsequently reference materials for *C. medinalis* resistant breeding and screening.

Key words: rice, genotype, *Cnaphalocrocis medinalis*, resistance

¹ Contribution No.0992 from Taichung DARES, COA

² Associate Researcher of Taichung DARES, COA.

³ Professor, Department of Agronomy, National Chung-Hsing University.

⁴ Former Researcher of Taichung DARES, COA.

