國立臺灣大學生物資源暨農學院農藝學系

國立臺灣大學

農藝學系

碩士論文

Department of Agronomy

College of Bio-resources and Agriculture

National Taiwan University

碩士論文 番茄（*Solanum Pimpinellifolium*）種原花柱外突之全基因組關聯分析 閻大瑞 撰 **110**

Master Thesis

番茄（*Solanum Pimpinellifolium*）種原花柱外突之全基因 組關聯分析

Genome-wide Association Studies for Stigma Exsertion in Tomato (*Solanum Pimpinellifolium*) Germplasm Collection

閻大瑞

Da-Rui Yen

指導教授：陳凱儀 博士

Advisor: Kai-Yi Chen, Ph.D.

中華民國 110 年 12 月

August 2021

**12**

國立臺灣大學生物資源暨農學院農藝學系

碩士論文

Department of Agronomy

College of Bio-resources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

番茄（*Solanum Pimpinellifolium*）種原花柱外突之全基因 組關聯分析

Genome-wide Association Studies for Stigma Exsertion in Tomato (*Solanum Pimpinellifolium*) Germplasm Collection

閻大瑞

Da-Rui Yen

指導教授：陳凱儀 博士

Advisor: Kai-Yi Chen, Ph.D.

中華民國110年12月  
August 202

國立臺灣大學碩士學位論文

口試委員會審定書

番茄（*Solanum Pimpinellifolium*）種原花柱外突之全基因組關聯分析

Genome-wide Association Studies for Stigma Exsertion in Tomato (*Solanum Pimpinellifolium*) Germplasm Collection

本論文係閻大瑞君（R08621110）在國立臺灣大學農藝學系、所完成之碩士學位論文，於民國110年8月1日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明。

口試委員：

（指導教授）

系主任、所長 　　　　　　　　　　　（簽名）

誌 謝

感謝

摘 要

番茄

關鍵字：野生番茄（*Solanum Pimpinellifolium*）、花柱外突、RAD-capture、連鎖不平衡、族群結構、全基因組關聯分析

Abstract

Tomato

Key words: wild tomato (*Solanum Pimpinellifolium*), stigma exsertion, RAD-capture, linkage disequilibrium, population structure, genome-wide association study (GWAS)

縮 寫 表

A-D Anderson-Darling

ANOVA analysis of variance

AVRDC Asian vegetable research and development center

DAPC discriminant analysis of principal components

DEG differential expression gene

EMMA efficient mixed-model association

EMMAX efficient mixed-model association expedited

FaST-LMM factored spectrally transformed linear mixed models

GC genomic control

GEMMA genome-wide efficient mixed model association

GLM generalized linear model

GRAMMAR genome-wide rapid association using mixed model and regression

GWAS genome-wide association study

IBD isolation by distance

IBD identity by descent

IBS identity by state

LD linkage disequilibrium

LMM linear mixed model

P3D population parameters previously determined

PVE phenotype variance explained

QTL quantitative trait loci

MAF minor allele frequency

MAGIC multi-parent advanced generation inter-cross

MLM mixed linear model

MLMM multi-locus mixed model

NGS next generation sequencing

NILs near isogenic lines

PCA principal component analysis

PCoA principal coordinate analysis

RAD restriction-site associate DNA

REML restricted maximum likelihood

RFLP restriction fragment length polymorphism

RILs recombinant inbred lines

SNP single nucleotide polymorphism

TGRC tomato genetics resource center

USDA United States department of agriculture

目 錄

口試委員會審定書………………………………………………………………….. i

誌謝……………………………………………………………………………. ii

摘要…………………………………………………………………………… iii

abstract………………………………………………………………… iv

縮寫表……………………………………………………………………………. v

目錄…………………………………………………………………………………... vi

圖目錄………………………………………………………………………….. vii

表目錄………………………………………………….………………………… viii

第一章 前言………………………………………………………………... 1

第一節 番茄種原……………………………………………. #

第二節 全基因組關聯分析……………………………………………. #

第三節 研究目的……………………………………………. #

第二章 材料與方法…………………………………………………………... #

第一節 外表型收集……………………………………………. #

第二節 試驗設計……………………………………………. #

第三節 基因型探勘…………………………………………………………. #

第四節 族群遺傳結構………………………………………………………. #

第五節 全基因組關聯分析…………………………………………………. #

第三章 結果…………………………………………………………………... #

第一節 花柱外突分布…………………………………………………. #

第二節 基因型與連鎖…………………………………………. #

第三節 番茄族群結構……………………………………………………. #

第四節 全基因組關聯分析………………………………………. #

第四章 討論………………………………………………………... #

第一節 花柱外突……………………………………………………………. #

第二節 族群結構……………………………………………………………. #

第三節 關聯分析………………………………………………………. #

第五章 結論………………………………………………………………………... #

參考文獻………………………………………………….……………………… #

附錄…………………………………………………………………………………. #

附錄圖……………………………………………. #

附錄表……………………………………………. #

圖 目 錄

圖、 地理分布

圖、 對照組之雄雌蕊長，對照組之花柱外突長

圖、 雄雌蕊分布，花柱外突分布

表 目 錄

表一、 外表型試驗之生長環境因子

第一章 前言

第一節 番茄種原

野生番茄

野生番茄原生於南美洲，分布範圍包括厄瓜多中部、祕魯、智利北部，以及加拉巴哥群島；而野生番茄生存的環境多樣性也相當高，海拔從接近海平面到超過三千公尺，生存之氣候環境包括厄瓜多的熱帶雨林、太平洋沿岸之乾燥氣候和相對潮濕的安地斯山脈等地（Paralta & Spooner, 2000; Zuriaga *et al*., 2009）。除了氣候及環境上的差異，由於安地斯山脈西側河流甚多，形成許多狹窄山谷，長久以來不同地理位置的野生番茄適應了當地的氣候和土壤等環境，族群的地理分化日益明顯，也因此不同野生番茄族群之間的遺傳歧異度相當高（Paralta & Spooner, 2000）。

對於現代栽培種番茄的育種計畫，野生番茄是相當珍貴的遺傳資源，能夠提供調控包括花器、抗病、抗非生物逆境等相當多重要農藝性狀之基因體片段（Zuriaga *et al*., 2009; Bedinger *et al*., 2011）。而隨著生物分類標準的不同，早期對於野生番茄的種、亞種、品種等分類並沒有一致的認定，直到分子標誌的出現，透過分子層次的遺傳變異能夠更客觀的評估各個種之間的差異（Paralta & Spooner, 2000）。現今最廣為接受的番茄演化支（*Solanum* section *Lycopersicon*）共包含13個種，其中*S. Pimpinelifolium*相當適合作為現代栽培種番茄的育種材料，其優勢不勝枚舉：種內整體遺傳歧異度較栽培種番茄大；遺傳組成與栽培種番茄最相近的野生種之一；果實多為紅色；不論作為雄親或者雌親可以與栽培種番茄雜交；自交親和的特性使其可以透過自交留種以及增加基因體中同型結合比例等等（Zuriaga *et al*., 2009; Bedinger *et al*., 2011）。

*Solanum Pimpinelifolium*

*S. Pimpinelifolium*為多年生番茄，在南美洲的地理分布範圍廣，且溫度、溼度等氣候條件差異相當大，從厄瓜多西部的熱帶雨林、北祕魯的熱帶沙漠、一直到男秘魯的溫帶沙漠都有發現其蹤跡（Lin *et al*., 2019）。在厄瓜多以及北祕魯經常可以在人跡罕至的地方發現大量族群，而在祕魯中南部則只零星的出現在田野和路邊；此外，雖然*S. Pimpinelifolium*是異交作物，並且普遍有花柱外突的特徵，其在野外的自交率卻可以達到16% 至100%（Zuriaga *et al*., 2009）。許多學者認為*S. Pimpinelifolium*經歷了兩階段馴化，第一階段被稱作馴化（domestication），由小果的野生種逐漸轉變為果實為櫻桃大小的栽培種變種*S. l. cerasiforme*；而第二階段被稱作改良（improvement），再由*S. l. cerasiforme*逐漸轉變成為現在市面上常見的大果栽培種番茄；相較於其祖先*Pimpinelifolium*，栽培種番茄除了果實明顯較大以外，也有果皮較厚、子房室（locule）數量較多、檸檬酸和可溶性固形物含量下降等已知與現代番茄馴化高度相關的性狀（Razifard *et al*., 2020）。

根據Zuriaga等人使用微衛星（microsatellites）作為分子標誌的分析結果，北祕魯的*S. Pimpinelifolium*次族群有最高的遺傳歧異度；Razifard等人以全基因組SNP分析次族群之歧異度，則發現南厄瓜多族群有最高之遺傳歧異度，再來依序為北厄瓜多和秘魯次族群，另外來自厄瓜多的*S. l. cerasiforme*次族群遺傳歧異度與*S. Pimpinelifolium*相當，是栽培種番茄中遺傳歧異度最高的次族群；Lin等人使用RAD-seq所探勘之SNP分析次族群遺傳歧異度，得知遺傳變異最高的兩個次族群都位於祕魯北部，因此推論祕魯北部應為*S. Pimpinelifolium*之起源中心；Lin等人選用94個*S. Pimpinelifolium*品系，並且沿用了Lin等人（2019）的定序資料和ADMIXTURE結果重新分群，結果顯示位於北方的次族群（即厄瓜多次族群）有最高的核苷酸多型性，因此推論*S. Pimpinelifolium*族群最早出現於厄瓜多，隨後依序向秘魯北部和南部擴散，並且逐漸適應當地氣候和環境而出現距離隔離（isolation by distance, IBD）效應，進而分化為數個次族群（Zuriaga *et al*., 2009; Razifard *et al*., 2020; Lin *et al*., 2019; Lin *et al*., 2020）。

花柱外突

對於被子植物，其交配模式由異交逐漸轉變為自交是相當常見的演化方向，而栽培種番茄便是其中一例（Georgiady *et al*., 2002）。番茄花器中雄蕊與雌蕊的相對位置深深影響其交配模式，花柱外突於花藥使得柱頭有機會透過昆蟲等媒介傳遞花粉，而花柱外突越長，也越不容易沾到自己的花粉（Rick *et al*., 1977）。對於栽培種以及傾向於自交的野生番茄，其星狀（stellate）花瓣通常較小，花柱則通常被全包覆於雄蕊中，如此構造可以大幅增加自花授粉機率；而對於傾向於異交的野生番茄，則通常有較大的星狀花結構，並且花柱外突於雄蕊之外；此外，自交不親和的野生番茄（例如*S. pennellii*、*S. peruvianum*、*S. chilense*、*S. habrochaites*）還常有花辦以及花藥較鮮艷等特徵（Paralta & Spooner, 2000; Bedinger *et al*., 2011; Riccini *et al*., 2021）。花柱外突性狀與雄蕊長度（意即花的尺寸）、異花授粉率、異型結合率等性狀呈現顯著相關性，有些學者推論可能是更大的花和花序能夠吸引更多昆蟲協助授粉，而更長的花柱外突可以增加昆蟲授粉機率，因此這些交配相關性狀彼此的關聯非常緊密（Rick *et al*., 1977; Rick *et al*., 1978）。

番茄的花柱外突性狀至今已受到不少學者關注，Bernacchi等人在栽培種番茄和*L. hirsutum*作為親本的回交族群數量性狀基因座定位（QTL mapping）中，於第二條染色體上定位到了一主效基因座 *se2.1*，可以解釋約20% 的外表型變異；Georgiady等人使用一花柱外突以及一花柱不外突*S. Pimpinelifolium*品系作為親本的F2族群，在第四、八、九條染色體上辨認到了與雄蕊長緊密連鎖之QTL，其解釋之外表型變異分別約為10%、35%、36%（Bernacchi & Tanksley, 1997; Georgiady *et al*., 2002）。Chen等人選用由野生種*S. pennellii*和栽培種番茄作為親本之近同源系（near isogenic lines, NILs），針對*se2.1*基因座進一步進行精確定位（fine mapping），定位結果顯示*se2.1*基因座其實是由包括*stamen2.1*、*stamen2.2*、*stamen2.3*、*style2.1*、*dehiscence2.1*等至少五個彼此緊密連鎖之花柱外突相關性狀所組成，這些基因分別負責調控雄蕊長度、雌蕊長度、雄蕊頂端彎曲程度等性狀，而上述性狀的變異最終也會使得花柱外突性狀上出現差異；此外作者亦推論這群基因在番茄交配模式演化歷程中可能為同適應基因複合體（co-adapted gene complex）；Chen等人隨後透過一系列的基因轉殖株，更進一步驗證*Style2.1*能夠正向調控花柱發育，使得花柱細胞延長，其轉錄之蛋白質產物累積越多，花柱外突的長度會越長（Chen & Tanksley, 2004; Chen *et al*., 2007）。

第二節 全基因組關聯分析

基因定位與關聯分析

QTL mapping是遺傳育種領域經常用來辨認造成目標性狀變異之基因體片段的研究方法，應用於番茄數量性狀的遺傳研究累積了相當豐碩的研究成果，至今仍被廣泛應用。Bernacchi等人選用*L. esculentum*作為輪迴親，*L. hirsutum*作為供給親建立回交族群，並且使用限制性片段長度多態性（restriction fragment length polymorphism, RFLP）作為分子標誌進行基因定位，辨認到與花柱外突等九個花器及繁殖相關性狀緊密連鎖之QTL；Zhang等人選用野生番茄（*S. pimpinelifolium*）和栽培種番茄（*S. lycopersicum*）作為親本建立重組自交系（recombinant inbred lines, RILs），利用單核苷酸多型性（single nucleotide polymorphism, SNP）建構高解析度之連鎖圖譜，並且針對果實重量、果皮顏色等18個重要農藝性狀定位，偵測到多個與已知基因緊密連鎖之QTL（Bernacchi & Tanksley, 1997; Zhang *et al*., 2018）。然而QTL定位具有兩大限制：一是此方法只能偵測到在雙親本（或者數個親本）之間存在變異的基因體片段，若是不存在差異，則後代在該基因體片段亦不會分離；二是藉由親本雜交產生後代族群，其雜交的代數有限，也因此其定位的解析度很難進一步提升（Korte & Farlow, 2013）。

全基因組關聯分析（genome-wide association studies; GWAS）利用大量的個體作為族群，旨在搜尋每一個分子標誌和外表型之間的關聯性，由於族群不再受限於少數親本，因此能夠克服上述QTL定位所受到的兩項限制。GWAS已經被廣泛應用於探勘致病基因等醫學研究領域，應用於動物也不乏成功案例；而GWAS亦相當適合應用於植物遺傳研究中，從模式植物阿拉伯芥到水稻、番茄等重要作物，都有相當好的研究成果（Korte & Farlow, 2013; Kang *et al*., 2008; Zhou *et al*., 2017; Bauchet *et al*., 2017a; Tieman *et al*., 2017; Phan *et al*., 2019; Bauchet *et al*., 2017b; Mata-Nicolás *et al*., 2020; Ye *et al*., 2020; Wang *et al*., 2020; Arafa *et al*., 2017）。值得注意的是，選用大量個體作為族群進行關聯分析並非沒有缺點，複雜的族群結構以及個體間的親緣關係將使得偽陽性上升（Korte & Farlow, 2013; Kang *et al*., 2008）。在廣義線性模型（generalized linear model, GLM）中加入基因組控制（genomic control, GC）、主成分分析（principal component analysis, PCA）等方法皆可以修正族群結構所造成的偽陽關聯性，然而GC在族群效應較大時表現並不佳，PCA則是被認為只能控制部分的族群結構和遺傳關係（Kang *et al*., 2008; Zhang *et al*., 2010; Kang *et al*., 2010）。而在動物育種領域發展了混合線性模型（mixed linear model, LMM），也被稱作MLM（mixed linear model），可以同時控制族群結構和個體間親緣關係，是解決數量性狀關聯分析中偽陽性膨脹問題最有效的統計方法之一。MLM將族群結構作為固定型效應，親緣間的遺傳關係作為隨機型效應放入模型中控制，能夠有效減少偽陽關聯性的發生（Korte & Farlow, 2013; Kang *et al*., 2008; Zhou & Stephen, 2012; Zhang *et al*., 2010; Kang *et al*., 2010; Lippert *et al*., 2011）。

在傳統的動物育種試驗中，一般會使用譜系作為校正個體間親緣關係之依據，然而在現代植物育種計畫中，大多沒有完整的譜系可以參考，因此利用分子標誌估算親緣關係會是較適合且較有效的方式，透過計算任兩個體之間IBS（identity by state）之平均值以估算並調整兩兩個體之間的IBS，再以此IBS近似IBD（identity by descent）（Yu *et al*., 2006）。MLM能夠有效控制遺傳背景，使其成為最常被使用於關聯分析的統計模型之一，隨著次世代定序（next generation sequencing, NGS）技術的蓬勃發展，透過高通量的SNP分子標誌以及足夠大的族群個體數，能夠更精確的估計MLM模型中的族群結構Q以及親緣關係K（Yu *et al*., 2006）。

全基因組關聯分析於番茄遺傳研究之應用

GWAS在番茄遺傳育種研究上已經累積了相當多的研究成果，利用栽培種番茄以及野生番茄（*S. pimpinellifolium*）作為種原，定位到了多個與果實大小、果皮顏色與食味品質、花器與花序、抗逆境能力等眾多重要農藝性狀緊密連鎖之基因體片段（Phan *et al.,* 2019; Bauchet *et al.,* 2017a; Tieman *et al.,* 2017; Burgos et al., 2020; Zhao *et al.,* 2019; Bauchet *et al.,* 2017b; Mata-Nicolás *et al.,* 2020; Ye *et al.,* 2020; Wang *et al.,* 2020）。

果實相關性狀是番茄最重要的農藝性狀之一，Phan等人以192個*S. lycopersicum*和*S. pimpinellifolium*組成的族群，針對六個果實性狀定位到了41個與性狀顯著關聯的位點，也辨認到可能具有基因多效性（pleiotropic effects）之QTL；Bauchet等人選用包含*S. lycopersicum*、*S. l. cerasiforme*和*S. pimpinellifolium*三個種組成的300個番茄種原作為族群，針對醣類、有機酸、胺基酸、脂肪酸、萜類等影響番茄風味的化合物進行關聯分析，共辨認到79個顯著QTL，並且也辨認了數個與番茄代謝途徑相關之候選基因（candidate gene）；Tieman等人同樣使用此三個種組成的398個番茄種原作為族群，針對醣類、有機酸和有機揮發物等果實食味相關性狀定位，不僅辨認到多個番茄果實風味相關候選基因，從研究結果也推論現代栽培種番茄相對於野生種番茄以及較古老的地方種，其風味相關代謝物含量大幅降低，很可能是在番茄馴化過程中為了選擇大果，而導致風味相關基因隨之逐漸流失；Burgos等人也使用了上述同樣三個種組成的136個小果番茄品系，針對番茄果實中生育醇（tocopherol）以及三烯生育醇（tocotrienol）兩種形式之維生素E含量定位，同時也建立了多親本互交進階世代（multi-parent advanced generation inter-cross, MAGIC）族群以進行QTL定位，合併兩族群之定位結果共辨認到25個與性狀緊密連鎖之QTL（Phan *et al.,* 2019; Bauchet *et al.,* 2017a; Tieman *et al.,* 2017）。此外，Zhao等人利用了在醫學研究上較常使用的統合分析（meta-analysis）法，合併了三篇前人的番茄果實風味GWAS成果，總共包含775個番茄品系以及兩百萬個SNP。透過統合分析獲得了更強的檢定力，辨認到多個先前三篇研究沒有偵測到的位點（Zhao *et al.,* 2019）。

番茄的花器及繁殖相關性狀同樣受到許多學者關注，Bauchet等人選用包含*S. lycopersicum*、*S. l. cerasiforme*和*S. pimpinellifolium*組成的300個種原作為族群，針對開花期、果實成熟期以及果實重量等性狀定位，辨認到了多個在兩年的試驗中都達到顯著的位點；Mata-Nicolás等人選用了包含上述同樣三個種的163個番茄種原作為族群，定位了26個數量性狀和27個質量性狀，其中包括花序中的花朵數、花瓣曲度、花序數量、花序類型、花瓣長度、果實子房室數量、果實重量和果實顏色等眾多花和果實相關性狀都有辨認到與之顯著連鎖的位點，並且在這些連鎖片段內也辨認到了多個前人研究中證實過的候選基因；Ye等人選用的族群不僅包含上述三個番茄種，尚包含了少數的*S. habrochaites*、*S. cheesmaniae*、*S. neorickii*、*S. peruvianum*、*S. galapagense*、*S. corneliomuelleri*野生種，共605個品系，針對包括花柱外突、雄雌蕊長、花瓣和花萼數量、花瓣和花萼長等27個花器相關性狀定位，偵測到239個顯著位點之外，也找到了一個負責轉錄蘋果酸轉運蛋白的候選基因，並且進一步成功驗證了此基因能夠藉由調控葉氣孔形成增加植株之抗旱能力（Bauchet *et al.,* 2017b; Mata-Nicolás *et al.,* 2020;Ye *et al.,* 2020）。

在全球氣候變遷問題日益嚴重的背景下，番茄對於非生物逆境的抗性性狀也逐漸受到重視。Wang等人選用369個包含*S. lycopersicum*、*S. l. cerasiforme*和*S. pimpinellifolium*三個種的番茄種原，使用植株根和莖的鈉離子含量、鉀離子含量以及鈉鉀離子比等性狀作為耐鹽指標，總共；並且從候選基因中挑選了一負責轉錄鈉鉀離子運輸蛋白之基因*SlHAK20*，接著藉由重新定序（resequencnig）以及野生種和栽培種基因轉殖株，成功證實了此基因在番茄抗鹽性狀中扮演重要角色（Wang *et al.,* 2020）。以上研究成果不僅說明了GWAS在番茄遺傳育種研究上是相當常見且有力的工具，其偵測到與多個重要農藝性狀顯著關聯的基因體片段以及片段中的候選基因，也都有可能是現代番茄育種上極具潛力的遺傳資源。

第三節 研究目的

前一節回顧了眾多番茄GWAS的研究成果，辨認到相當多重要農藝性狀之QTL以及候選基因，對於現代番茄育種計畫及具有潛力；然而針對番茄花柱外突相關性狀之GWAS研究卻非常少，目前僅Ye等人針對一系列花器以及花柱外突相關性狀執行過GWAS，並且偵測到不少與目標性狀顯著關聯之QTL（Ye *et al.,* 2020）。事實上花柱外突相關性狀並非不受關注，至今已累積不少遺傳研究成果，辨認並且驗證了一主效基因座*se2.1*之功能；近年也有研究收集了花柱外突與不外突的兩群番茄品系，透過bulk RNA-seq法從近千個差異表現基因（differential expression gene, DEG）中挑出了數個花柱外突相關候選基因，並且認為番茄演化過程中由花柱外突轉為不外突的原因是長久以來多個基因喪失功能（loss of function）所導致（Bernacchi & Tanksley, 1997; Georgiady *et al*., 2002; Chen *et al*., 2004; Chen *et al*., 2007; Riccini *et al*., 2021）。有鑑於番茄花柱外突GWAS的研究相對其他重要農藝性狀少得多，本篇研究希望能夠利用GWAS探勘野生番茄種原的花柱外突相關基因體片段，除了嘗試偵測前人已證實之QTL，也希望能夠偵測到更多尚未被發掘之基因體片段。

而在GWAS的族群選擇方面，近年來番茄GWAS研究大多選擇*S. lycopersicum*、*S. l. cerasiforme*和*S. pimpinellifolium*三個種組成之種原，少數研究中會再納入數個其他野生種品系（Phan *et al.,* 2019; Bauchet *et al.,* 2017a; Tieman *et al.,* 2017; Burgos et al., 2020; Zhao *et al.,* 2019; Bauchet *et al.,* 2017b; Mata-Nicolás *et al.,* 2020; Ye *et al.,* 2020; Wang *et al.,* 2020）。其中*S. pimpinellifolium*在花柱外突相關性狀以及自花授粉率都存在相當大之變異，適合作為研究花柱外突性狀之GWAS族群，而其自交親和的特性，也使得育種工作中建立自交系以及留種更為方便（Riccini *et al*., 2021）。因此，本篇研究希望能廣為收集世界各地之*S. pimpinellifolium*品系，用於花柱外突之GWAS研究，以期能夠偵測到更多元的基因體片段。

本篇研究收集了235個*S. pimpinellifolium*品系，其來源地遍布美洲各地，主要來自於墨西哥、厄瓜多和祕魯。本次研究目的主要有三：（一）調查*S. pimpinellifolium*族群之花柱外突相關性狀，了解種內在目標性狀上是否有觀察到變異；（二）透過RAD-capture定序技術探勘高通量之SNP分子標誌，接著使用分子標誌解析*S. pimpinellifolium*族群之遺傳歧異度、連鎖不平衡、族群結構等遺傳特性，並且探討不同次族群的地理分布位置；（三）利用GWAS分析花柱外突性狀，辨認與花柱外突相關性狀緊密連鎖之基因體片段。

第二章 材料與方法

第一節 外表型收集

野生番茄種原

本次全基因組關聯分析使用的材料為野生番茄種原，共有235個*S. Pimpinellifolium*品系，其中172個品系來自台南區農業改良場，其種原來源為美國農業部（USDA）；另外63個品系來自台灣大學農藝系陳凱儀老師研究室。根據番茄遺傳資源中心（TGRC）的品系編號，兩個不同來源的*S. Pimpinellifolium*品系中共有21個品系是重複的，然而考量到可能具有相當之遺傳變異，因此在本次研究中仍將其視為不同品系。若將此235個品系依據採集地區分，共有211個品系來自南美洲：包括祕魯191個、厄瓜多19個、委內瑞拉1個；19個品系來自中美洲：包括墨西哥17個、薩爾瓦多1個、宏都拉斯1個；4個品系來自北美洲：包括美國3個、加拿大1個；另尚有1個品系來自印度。所有種原採集地和經緯度資訊皆來自TGRC（https://tgrc.ucdavis.edu/）和USDA（ https://www.usda.gov/）；此外，若是TGRC和USDA記載之種名或者各項資訊有出入，則以USDA為準。

植株栽培管理方面，首先將種子浸泡於1.5 % 次氯酸鈉中約半小時消毒，沖洗乾淨後再移入穴盤中。播種二至三星期後（約為二至三葉齡），將幼苗移至六吋盆栽，並且開始施用花寶五號，按照建議稀釋濃度一次施用100 – 200 ml，一周施用一次；播種一至二個月後改為施用花寶四號，待出現第一花序後再改為施用花寶三號。穴盤和盆栽中的介質由泥炭土（Kekkila愛沙尼亞泥炭土）和30 mm蛭石以2:1混和均勻而成。

外表型測量

植株播種後約三個月後第一花序上的所有花朵將完全開展，可以開始收集外表型。本次研究測量雄蕊長度、雌蕊長度、並且由雄蕊和雌蕊長度計算花柱外突長度，總共得到3個與花相關之外表型性狀。從植株上取下當天或者前一天開展之花朵，以鑷子將雄蕊、雌蕊、胚珠等花器仔細拆解後，放置於相片掃描器（HP scanjet G4010）掃描，並且於相片掃描器內黏貼比例尺，以作為後續測量長度之基準。掃描完成之圖檔接著使用Imagej (1.52 v.) 手動測量雄蕊及雌蕊的長度；其中雌蕊長度的定義為 (花柱長度 + 胚珠長度)，花柱外突長度則定義為 (雌蕊長度 – 雄蕊長度)；將一品系中調查的每一朵花之數據平均，即為該品系之最終觀測值。

由於三個花柱外突相關性狀之資料分布皆不近似於常態分布（結果詳見第三章第一節），因此進行GWAS分析之前，先以Box-Cox轉換、Yeo-Johnson轉換和分位數（quantile transformation）三個方式進行資料轉換，並且藉由分位圖（QQ plot）和薛卜若-維克（Shapiro-Wilk）檢定之結果判斷轉換成果，以利選擇最適合將三個花柱外突相關性狀轉換為近似常態分布之方法；其中資料轉換使用R軟體中的bestNormalize套件（Peterson, 2017），分位圖使用car套件。

第二節 試驗設計

試驗設計

外表型試驗測量了235個品系的雄蕊和雌蕊長度，共調查三重複，每一品系在每一重複中皆調查一株，每一株調查八朵花。然而受限於人工氣候室空間有限，因此將每一重複進一步分為兩個批次，每一次僅種植並且調查一個批次。並且，由於多數品系的種子數量甚少，因此於親代每個品系皆為種植單株，並且經過自交一代後從單株上收穫種子，作為後續所有試驗之材料。因此在本次試驗中，前兩個批次為台南農業改良場以及台大農藝系陳凱儀老師研究室提供之親代，後四個批次則為前兩個批次所自交一代產生的後代。

此外，由於每一季租借到的溫室並不一致，以及受到病害、種子不足等因素影響，每一批次所包含的品系數量以及生長環境都不盡相同：第一批次種植於人工氣候室中20oC / 15oC的自然光照室，共有133個品系，於2019年7月播種；第二批次種植於台大農場玻璃溫室，共有102個品系，於2019年12月播種；第三批次種植於人工氣候室中25oC / 20oC的自然光照室，共有61個品系，於2020年3月播種；第四批次種植於人工氣候室中25oC / 20oC的自然光照室，共有173個品系，於2020年8月播種；第五批次種植於人工氣候室中25oC / 20oC的自然光照室，共有125個品系，於2020年10月播種；第六批次種植於台大農場園藝分場溫室，共有107個品系，於2020年12月種植。

對照組

有鑑於試驗設計中六個批次的栽培環境在生長季節、溫度、濕度、日照長度和強度等環境因子都存在相當大的差異，為了儘可能釐清上述環境因子是否會對花柱外突外表型造成影響，因此依據第一批次中調查到的外表型資料，選出了五個花柱外突（PI 365910、PI 270440、PI 270448、PI 270452、PI 127805）以及五個花柱不外突（PI 270446、PI 313943、PI 127807、PI 365963、PI 251318）的品系，共十個品系作為對照組。按照原先的試驗設計，這十個對照組只會種植於第一、三、五批次中，而為了比較不同環境因子是否會對花柱外突性狀造成顯著影響，也在第二、四、六批次中加入這十個品系作為對照，並且在這三個批次中作為對照組的品系將不會納入後續的分析。將不同批次作為因子，利用R軟體（R Core Team, 2013）進行單因子變方分析（one-way ANOVA）。

第三節 基因型探勘

DNA文庫製備

每一品系於摘取一片剛開展之嫩葉，以改良過的CTAB法（Fulton *et al*., 1995）萃取植株DNA。

純化?RAD capture? NsiI?

次世代定序資料分析

過濾讀序?比對參考序列?

辨認變異位點

辨認(Stacks)?篩選標準?

基因型資料存取

NCBI?

第四節 族群遺傳結構

連鎖不平衡

保留代表SNP?

LD decay(Plink)?

族群結構

主成分分析(Plink)?

視覺化MDS(Plink)?

分群(Admixture)?

地理分布(python)?

第五節 全基因組關聯分析

TASSEL?演算法?

第三章 結果

第一節 花柱外突分布

花柱外突相關性狀

235個*S. Pimpinellifolium*族群中每一品系都會調查雄蕊長度、雌蕊長度兩個性狀，並且利用此兩性狀計算花柱外突長度。在所有品系中，雄蕊長度呈現雙峰（bimodal）分布，分布範圍為5.402 – 11.489 mm，平均值為8.25 mm，各品系之間的標準差為1.418 mm ；雌蕊長度亦呈現雙峰分布，分布範圍為6.132 – 13.676 mm，平均值為9.255 mm，各品系之間的標準差為2.047 mm；花柱外突長度則是單峰分布，分布範圍為 -0.999 – 3.174 mm，平均值為1.005 mm，各品系之間的標準差為0.781 mm；此外，235個品系中有218個品系之花柱外突性狀為正值，花柱外突率高達92.8 %，此結果與田間觀察的經驗十分相似。比較此三個性狀，雌蕊平均較雄蕊長1 mm，標準差也比雄蕊大得多，而花柱外突的標準差則是三個性狀中最小的。

各次族群之外表型分布（分群結果詳見第三章第三節），

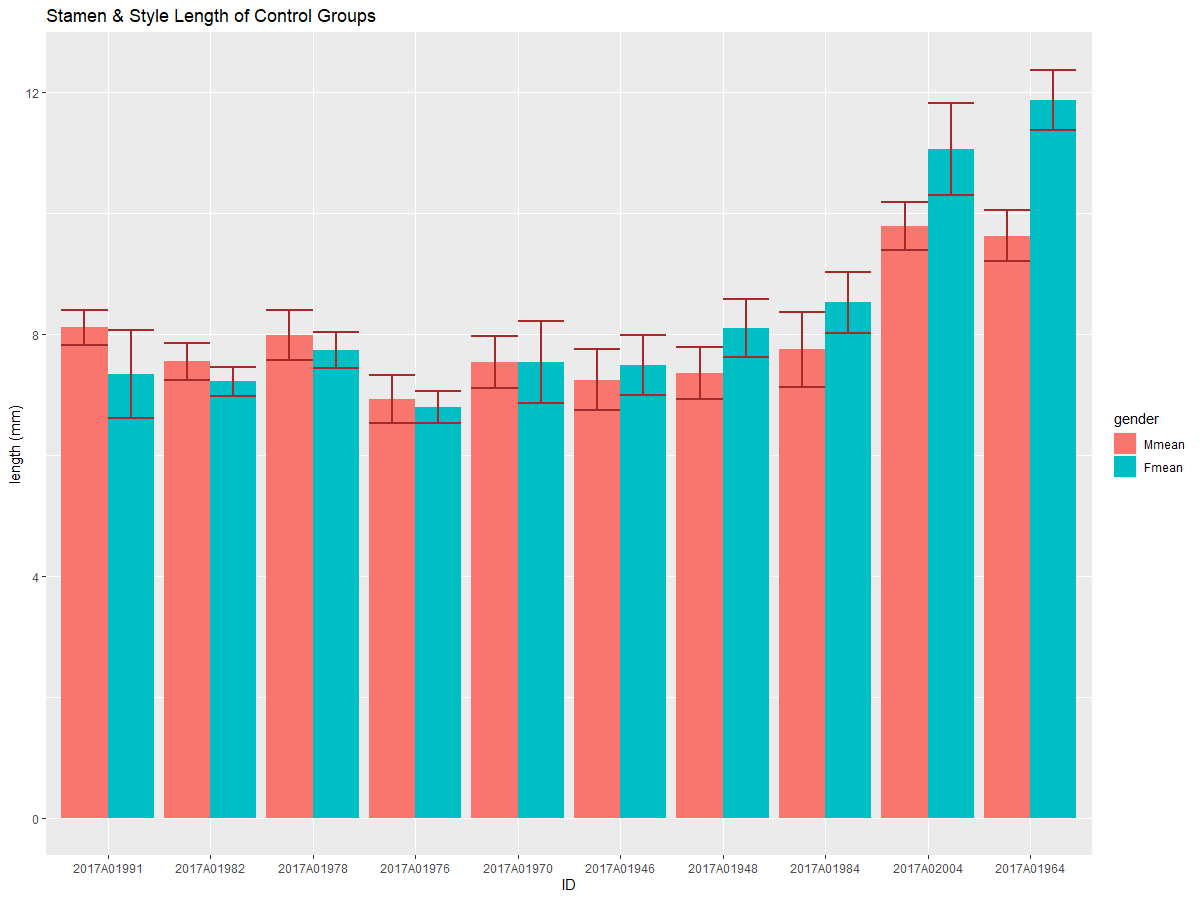
對照組

在第一批次的外表型調查中，選出了具有花柱外突以及花柱不外突特性的各五個品系作為對照組，其中花柱外突最明顯的品系外突了將近3mm；而花柱最不外突的品系，其雌蕊則平均比雄蕊短了超過1 mm。於六個批次的外表型調查全部結束後將六個批次的數據平均，平均後的結果可以看出這十個品系中仍然是五個花柱外突，五個花柱不外突；其中在第一批次中花柱最外突之品系，在六個批次平均後仍然有超過2 mm的外突，而在第一批次中最不外突之品系，在六個批次平均後雌蕊也仍然較雄蕊短了將近1 mm，並且此品系的花柱外突是對照組中最大的。選擇對照組的目的是為了瞭解不同的光週期、溫度、濕度、病蟲害等環境因子是否會對花柱外突相關性狀造成顯著影響，因此以批次作為因子進行變方分析。由變方分析結果，三個性狀之p-value都未達到顯著（α = 0.05），表示對照組的三個花柱外突相關性狀在六個批次之間應沒有顯著差異，因此後續的試驗分析將忽略批次效應。

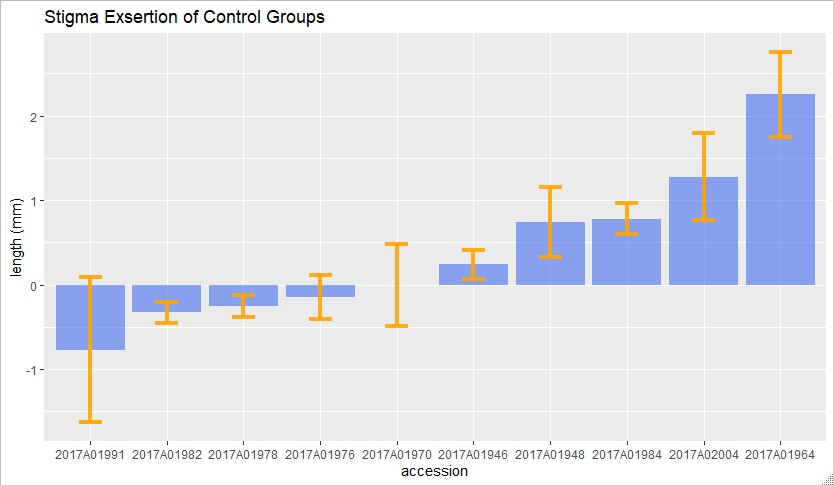
外表型轉換

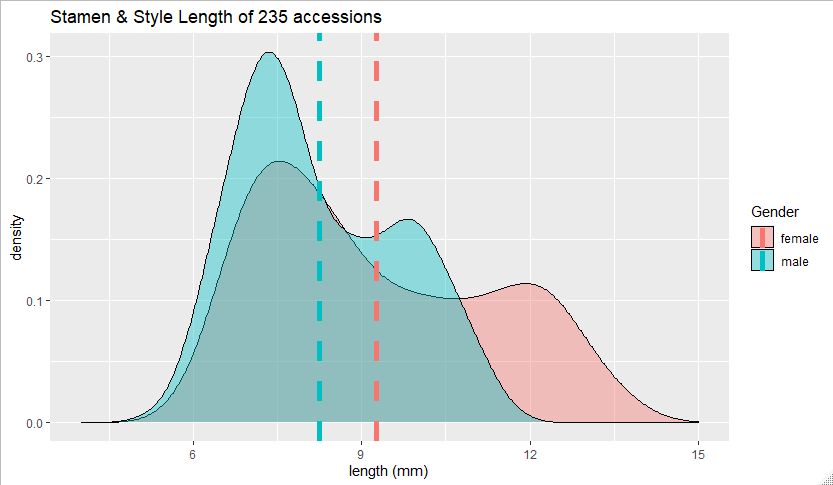
雄蕊長度和雌蕊長度兩性狀為雙峰分布，明顯不近似常態；藉由分位圖也可以看出資料點的分布並沒有近似於直線。而花柱外突分布為單峰分布，雖然其分位圖看似接近常態分布，然而經由Shapiro-Wilk檢定，仍然是顯著不為常態分布（α = 0.01）。為了滿足GWAS中的統計檢定假設，在進行GWAS分析之前，先使用Box-Cox轉換和Yeo-Johnson轉換兩種作物GWAS研究中經常使用的資料轉換方法將三個性狀之外表型分布轉換，並且透過分位圖和Shapiro-Wilk檢定判斷轉換後是否能夠近似常態分布。

經由Box-Cox轉換針對雄蕊長度以及雌蕊長度兩性狀轉換後，由分位圖可以看出資料點仍然不近似一直線，由Shapiro-Wilk檢定也仍顯著不為常態分布，並且由於Box-Cox轉換不允許資料中包含負數，因此無法對花柱外突性狀之原始資料進行轉換；而經由Yeo-Johnson轉換後，雄蕊長度以及雌蕊長度兩性狀仍然不近似常態分布，而花柱外突性狀在分位圖中則是較接近一直線，Shapiro-Wilk檢定結果若是將顯著水準放寬至α = 0.05，則不能拒絕資料分布不為常態之虛無假設。綜合以上結果可以說明花柱外突性狀可藉由Yeo-Johnson轉換近似常態分布，然而雄蕊長度以及雌蕊長度仍然不近似常態。有鑑於以上轉換結果並不理想，最終我們決定使用分位數轉換，其特色為轉換後會完全符合標準常態分布，因此可以使得三個花柱外突相關性狀都能夠符合GWAS的統計檢定假設。

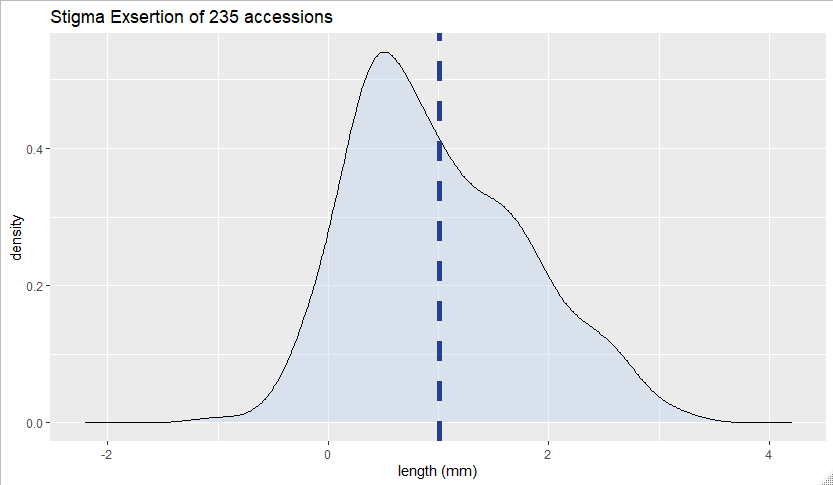


圖一、六個批次對照組之雄蕊長度以及雌蕊長度

圖二、六個批次對照組之花柱外突長度

**(A)** 

**(B)**

圖三、*S. pimpinellifolium*族群之 (A) 雄蕊和雌蕊長度；(B) 花柱外突長度

第二節 基因型與連鎖

RAD-capture

定序結果

SNP探勘

Stack軟體

第三節 番茄族群結構

連鎖衰退

衰退

遺傳歧異度

核苷酸多樣性

S. pimpinellifolium族群分群

次族群/地理分布



圖四、*S. pimpinellifolium*族群之地理位置分布（共154個品系）

第四節 全基因組關聯分析

關聯分析

關聯

第四章 討論

第一節 花柱外突

外表型測量誤差

本研究中的外表型測量會先在溫室採集花朵樣本，再帶回實驗室將花器拆解，接著將雄蕊和雌蕊分開放置於附有比例尺之照片掃描器上掃描成電腦檔案，最後利用ImageJ軟體測量花器長度。在此測量流程中有不少步驟都會出現不可完全避免之測量誤差；而我們認為最大的差異來自於花朵的水分流失，失去過多水分的花器，其長度將被嚴重低估。在採集花朵以及將花朵帶回實驗室的過程中，花朵便會因為水分逐漸流失而稍稍縮小；而將花器拆解並放置於照片掃描機上更是會加劇花器水分流失的速度，因此會造成最終的數據產生誤差。此誤差的解決方法是在溫室採集時將取下之花朵插在沾濕的海綿上以減少水分流失，並且盡可能減少一次採收的花朵數量，以降低花朵的處理時間。不過透過長期觀察可以發現在每一次進行掃描前，最初被拆解的花朵都有明顯的縮水情形。事實上，根據我們的花朵處理經驗，在有空調的室內環境中，只要五到十分鐘即能夠觀察到雄蕊和雌蕊都有明顯的水分流失。

由於花器為立體結構，因此在掃描成二維平面時也有可能出現誤差。許多品系的雌蕊沒有辦法很完美的平貼於掃描平面上，通常原因為胚株較大，而使得花柱根部無法平貼於掃描平面，進而使得雌蕊在掃描後之長度被低估。雄蕊同樣有立體結構的問題，然而相較於雌蕊能夠較好的平貼於平面上，因此誤差應能夠比雌蕊小一些。另外，以ImageJ軟體測量花器長度時也有可能出現測量誤差，其原因在於許多品系之雄蕊和雌蕊呈彎曲狀，而ImageJ軟體僅能夠以多個直線片段來近似曲線，因此難免有些微的測量誤差，不過與前面所述的水分流失以及立體結構等困難相比，此測量誤差應為小得多。

花柱外突性狀表現可能受到環境因子影響

光照、溫度、溼度等多種環境因子都有可能影響番茄之開花期。以光照來說，番茄若種植於溫室內，並且沒有補充足夠的人工光照，則開花期會延後，開花期前的葉數也會較多；至於光週期，栽培種番茄在長日照以及短日照的環境下都能夠順利開花，然而短日照可能使得開花前的葉數較長日照之下（一天日照16小時）少了一到兩節，因此也有些學者認為番茄傾向於短日照植物（Samach & Lotan, 2007; Hurd, 1973）。光週期以及光強度所造成番茄開花期的變異，是否會進而對於花柱外突相關性狀造成影響，目前尚不能確定。而在溫度因子上則是已經有相當多的研究證實對於花柱外突性狀會造成影響，在較高溫的環境下，番茄的雄蕊和雌蕊都會因為細胞數量減少而顯著縮短，而雄蕊縮短的程度比雌蕊大得多，導致番茄的花柱外突情形更明顯（Pan *et al*., 2019）。此外，較極端的溫度因子（例如日溫高於30 oC或者夜溫低於13 oC）將使得番茄的花器生長停滯，也使得花朵更容易掉落（Arthanari & Dhanapalan, 2019）。濕度對於番茄花朵的生長也可能造成影響，栽培種番茄最適的生長環境濕度約為40% - 70%，超過此範圍不僅會使得花粉活性下降，也使得花朵易落。此外，過大的風或者缺水逆境，也都有可能減少花朵數量（Arthanari & Dhanapalan, 2019）。以上探討的環境因子除了高溫外，大多是影響番茄的開花期以及花朵品質，並不能確定對於花柱外突相關性狀是否會造成顯著影響，

本研究中的外表型調查總共分為六個批次，每一個批次從播種至完成調查約需要三至四個月；並且由於外表型調查人力以及溫室空間有限，因此批次之間重疊的時間相當短，這意味著不同批次的族群生長於不同的季節、不同的日溫和夜溫、以及不同的光週期以及光強度。此外，每一批次租借到的溫室亦不盡相同：人工氣候室能夠精準控制溫度和濕度，因此能夠將日溫和夜溫設定在適合番茄生長之條件，然而濕度幾乎都維持在80 %以上對於一些*S. Pimpinelifolium*品系來說或許太高了，使得植株葉片因濕度太高而捲曲、表面破裂，最後葉片枯萎甚至長黴菌；台大農場玻璃溫室的蟲害較為嚴重，並且由於散熱較差，夏天時陽光照射下的溫度都相當高，可能對於某些*S. Pimpinelifolium*品系已經是高溫逆境；園藝分場溫室雖然不能精準控溫，然而溫室中的水牆、循環扇等設施，可以使得溫室內保持涼爽通風的環境，因此最適合*S. Pimpinelifolium*生長。

有鑑於不同批次在多個環境因子上都存在不可忽視的差異，因此於第一批次的外表型調查中選出了十個品系作為對照組，在往後的五個批次中也都會調查其花柱外突相關性狀。而經由變方分析結果，批次效應在三個花柱外突相關性狀上都不顯著，由此結果推論本研究中包括光照、溫度、濕度、病蟲害等種種環境因子，對於花柱外突性狀應沒有造成顯著的差異，因此將批次效應忽略。

外表型分布轉換

由於三個花柱外突相關性狀之分布都不近似常態分布，因此在GWAS分析前先進行資料轉換。我們首先嘗試了bestNormalize套件中的Box-Cox轉換以及Yeo-Johnson轉換，前者是作物GWAS分析中相當常見的變數轉換法，後者則是旨在縮小與常態分布之KL散度（Kullback-Leibler divergence），此轉換法在轉換目標為非負數時結果與前者非常接近，並且可以解決前者不能對負數轉換的問題（Peterson, 2017）。然而以上兩轉換法對於近似雙峰分布的雄蕊長度和雌蕊長度兩性狀效果都相當差，為了滿足GWAS在統計檢定上的常態假設，最終決定將三個花柱外突相關性狀都轉換為完美的標準常態分布，並且在後續的GWAS分析中，會將未經轉換的資料和經分位數轉換的資料分析結果進行比較（Goh & Yap, 2009）。

Goh等人利用現有的疾病模型模擬了常態分布、左偏分布、右偏分布、以及雙峰分布四種關聯分析之資料分布，而經由GWAS模擬結果，認為在大樣本（樣本數4000以上）或者QTL效應足夠大（外表型變異解釋量（PVE, phenotype variance explained）達到20 %）的情境下，資料是否進行轉換對於GWAS結果影響甚微；然而在以上兩條件都不能滿足時，透過資料轉換能夠增加檢定之靈敏度，尤其以基於排序（rank-based）轉換法的檢定力最佳（Goh & Yap, 2009; Peng *et al*., 2007）。然而基於排序轉換法並非沒有缺點，靈敏度提高的代價是偽陽性比例也會稍稍提高，不過作者認為在樣本較小且偵測目標為微效QTL的情境下，即使原始資料看似接近常態分佈，使用基於排序的轉換法仍能夠提升偵測到致病QTL之機率（Goh & Yap, 2009）。有鑑於以上模擬結果，由於不能確定在花柱外突相關性狀上除了前人研究中在第二條染色體上定位到的*se2.1*主效基因座之外，是否也有其他微效基因共同調控，因此我們試著將轉換前和轉換後的外表型資料都納入GWAS分析中，並比較結果。

第二節 族群結構與遺傳變異

*S. Pimpinelifolium*次族群比較

有鑑於*S. Pimpinelifolium*種內具有相當大的遺傳歧異度，也經歷過馴化和當地適應的歷程，說明了*S. Pimpinelifolium*族群內或許可以再進一步分為若干次族群。Zuriaga收集了213個*S. Pimpinelifolium*品系，利用STRUCTURE軟體進行族群分群，可以明確地將*S. Pimpinelifolium*族群分為來自秘魯和來自厄瓜多兩個次族群，利用PCoA及近鄰結合（neighbor-joining）法也得到相近的分群趨勢（Zuriaga *et al*., 2009）。而現今的種原遺傳相關研究經常會利用高通量之分子標誌將族群分群，在Mata-Nicolás等人的研究中，藉由主座標分析（principal coordinate analysis, PCoA）的視覺化結果可以看出來自秘魯和厄瓜多之*S. Pimpinelifolium*存在不小的變異，可以將27個*S. Pimpinelifolium*品系依據原生地分為祕魯和厄瓜多兩次族群；Bauchet等人則使用了主成分判別分析（discriminant analysis of principal components, DAPC）將由*S. Pimpinelifolium*以及栽培種組成的族群分為六群，其中有兩群分別為北祕魯以及南祕魯之*S. Pimpinelifolium*，另有一群為*S. Pimpinelifolium*以及*S. l. cerasiforme*的混合次族群；Razifard等人將49個*S. Pimpinelifolium*以及245個栽培種組成的番茄種原分為九群，其中*S. Pimpinelifolium*可以進一步分為北厄瓜多沿岸、南厄瓜多山區以及祕魯三個次族群；Lin等人利用ADMIXTURE軟體將98個*S. Pimpinelifolium*品系分為三個單一祖先和四個混合祖先的次族群，而三個單一祖先次族群分別來自厄瓜多、北祕魯和南祕魯（Mata-Nicolás *et al.,* 2020; Bauchet *et al.,* 2017b; Razifard *et al*., 2020; Lin *et al*., 2019）。

分群方法Discriminant analysis of principal components: a new method for the analysis of genetically structured populations

連鎖衰退

連鎖衰退/基因型等等

第三節 全基因組關聯分析

關聯分析選用族群及分子標誌

由以上番茄GWAS研究文獻回顧，近年來的作物GWAS研究大多已經不再使用SNP陣列（array），而改為使用次世代定序探勘高通量之SNP；並且至少需要近萬個SNP分子標誌。在族群數量上，最少會納入將近200個現代和野生番茄品系，規模較大的研究中甚至包含了五百個以上的品系。此外，近年的番茄育種研究不僅會使用包括*S. lycopersicum*和*S. l. cerasiforme*兩個栽培種番茄，然而栽培種番茄之遺傳歧異度相對野生種低得多，因此也經常會將遺傳組成上與栽培種最相近的野生種*S. pimpinellifolium*納入族群中，或者納入少量的其他野生種番茄品系，由GWAS結果來看往往能夠獲得不錯的成果；而*S. l. cerasiforme*之遺傳歧異度亦不低，尤其原生於祕魯北部之*S. l. cerasiforme*次族群，其遺傳歧異度甚至接近*S. pimpinellifolium*，因此也有番茄GWAS研究選用了大量的*S. l. cerasiforme*品系，希望能夠藉助番茄種原中較現代栽培種番茄更為豐富之遺傳資源，增加GWAS之檢定力（Yang *et al*., 2014; Phan *et al.,* 2019; Bauchet *et al.,* 2017a; Tieman *et al.,* 2017; Burgos et al., 2020; Zhao *et al.,* 2019; Bauchet *et al.,* 2017b; Mata-Nicolás *et al.,* 2020; Ye *et al.,* 2020; Wang *et al.,* 2020）。

外表型分布轉換對於GWAS之影響

轉換前和轉換後之比較。

此外，在目標外表型分布明顯偏離常態分布的情境下，除了使用資料轉換方法，無母數的GWAS模型也可以避免資料不符合常態假設的問題。在Yang等人使用了513個玉米種原，並且對17個重要農藝性狀進行GWAS；而特別的是作者使用A-D檢定（Anderson-Darling test）偵測QTL，並且將無母數GWAS的分析結果與線性模型以及MLM比較（Yang *et al*., 2014）。當外表型分布中含有大量雜訊，或者外表型相當偏離常態分佈時，利用A-D檢定能夠偵測到多個MLM所偵測不到的微效QTL；然而無母數GWAS並非完美，由於對於族群結構等遺傳成分的控制效果不如MLM，對於主效且頻度足夠高的QTL，檢定能力也未必能勝過MLM，因此作者認為基於A-D檢定的GWAS和現今流行的MLM等模型各有所長，研究者可以依據不同的性狀以及QTL選擇較適合的統計方法（Yang *et al*., 2014）。

關聯分析演算法

誠如前段所述，受惠於高通量定序技術日益成熟，現今遺傳研究欲取得高通量的基因型資料已不是難事，然而GWAS龐大的資料儲存、處理和運算量卻成了另一大挑戰，也因此各領域陸續開發出計算效率更高之演算法。Kang等人首先提出EMMA（efficient mixed-model association）法，其結果不僅更接近全局最佳解（global optimization），使得統計推論上更加準確；以簡單的遺傳相似度矩陣作為親緣關係矩陣，也可以避免每次迭代中繁複的矩陣運算（Kang *et al*., 2008）。然而EMMA演算法在計算親緣關係上的時間複雜度與個體的三次方成正比，意即GWAS分析時間將隨著個體上升而快速增加（Zhou & Stephen, 2012; Zhang *et al*., 2010）。

為了進一步增加演算速度，Aulchenko等人開發了GRAMMAR（genome-wide rapid association using mixed model and regression）法（Aulchenko *et al*., 2007）。GRAMMAR並非精確的關聯檢定，而是以兩階段的統計流程近似：第一階段利用不包含分子標誌效應項的MLM估計殘差，第二階段再將此殘差作為依變數放入含有分子標誌效應項的GLM中估計分子標誌效應；藉由兩階段的模型可以大幅減少估計每一個分子標誌效應所需要耗費的時間（Aulchenko *et al*., 2007; Zhang *et al*., 2010）。同樣是拆為兩階段的近似估計演算法，Zhang等人提出P3D（population parameters previously determined）法，而P3D與GRAMMAR的差異主要在於P3D於第二階段中的GLM依然使用原始資料作為依變數，並且會放入在第一階段中已經估計好的變方成分，如此便不需要重複估計親緣關係效應（Zhang *et al*., 2010; Zhou & Stephen, 2012）。此外，Zhang等人亦開發了compression MLM，藉由將個體分為若干群，可以減少親緣關係矩陣的運算量（Zhang *et al*., 2010）。Kang等人開發了另一套近似估計的演算法EMMAX（efficient mixed-model association expedied），其核心在於只需要估計一次變方成分，並且估計每一個分子標誌效應時都使用相同的變方成分，如此同樣可以達到避免反覆估計親緣關係的目的（Kang *et al*., 2010）。

至於精確估計的GWAS方面，也有不少改良的演算法被發表。Lippert等人開發了FaST-LMM（factored spectrally transformed linear mixed models）演算法，在最佳化步驟中簡化了限制最大概似估計（restricted maximum likelihood, REML）式，因此只需要執行一次特徵分解（eigen decomposition），如此能夠大幅降低計算量（Lippert *et al*., 2011）。Zhou等人開發的GEMMA（genome-wide efficient mixed model association）演篹法同樣透過減少最佳化步驟中特徵分解的次數以及矩陣運算量等方式，在減少計算時間的同時還可以達到數值上與EMMA相同的結果。FaST-LMM和GEMMA演算法的時間複雜度都與個體數的平方成正比，比起較早期的EMMA更具計算效率（Zhou & Stephen, 2012）。

以上所述的演算法皆使用單一基因座GWAS模型，意即每一次只估計單一一個分子標誌之效應，全部估計完後再以邦佛洛尼校正（Bonferroni correction）等多重檢定矯正調整閾值，避免偵測到過多的偽陽性關聯；然而這一類的閾值校正趨向過於保守，使得單一基因座GWAS模型不容易偵測到複雜性狀中的微效基因，也因此不需要執行多重檢定矯正的多基因座混合模型（multi-locus mixed model, MLMM）近年來逐漸受到重視（Segura *et al.*, 2012; Cui *et al*., 2018）。多數的多基因座GWAS採用兩階段演算法：第一階段先使用單一基因座GWAS模型，並且保留偵測到效應顯著之QTL；第二階段再使用多基因座GWAS模型同時偵測第一階段保留的所有QTL，在第二階段仍達到顯著的QTL才會被視為是真正與目標性狀顯著關聯的位點（Cui *et al*., 2018）。

花柱外突相關QTL

本次研究選擇了演算法，GWAS結果比較

第五章 結論

本研究

參 考 文 獻

Arthanari, M., & Dhanapalan, S. (2019). A survey of tomato blossom and flower drop to the influence of environmental phenomena (solanum lycopersicum L.). International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, 3(1), 12- 15.

Aulchenko, Y. S., De Koning, D. J., & Haley, C. (2007). Genomewide rapid association using mixed model and regression: a fast and simple method for genome wide pedigree-based quantitative trait loci association analysis. Genetics, 177(1), 577- 585.

(a) Bauchet, G., Grenier, S., Samson, N., Segura, V., Kende, A., Beekwilder, J., ... & Causse, M. (2017). Identification of major loci and genomic regions controlling acid and volatile content in tomato fruit: implications for flavor improvement. New Phytologist, 215(2), 624-641.

(b) Bauchet, G., Grenier, S., Samson, N., Bonnet, J., Grivet, L., & Causse, M. (2017). Use of modern tomato breeding germplasm for deciphering the genetic control of agronomical traits by Genome Wide Association study. Theoretical and applied genetics, 130(5), 875-889.

Bedinger, P. A., Chetelat, R. T., McClure, B., Moyle, L. C., Rose, J. K., Stack, S. M., ... & Royer, S. (2011). Interspecific reproductive barriers in the tomato clade: opportunities to decipher mechanisms of reproductive isolation. Sexual Plant Reproduction, 24(3), 171-187.

Bernacchi, D., & Tanksley, S. D. (1997). An interspecific backcross of Lycopersicon esculentum× L. hirsutum: linkage analysis and a QTL study of sexual compatibility factors and floral traits. Genetics, 147(2), 861-877.

Burgos, E., Belen De Luca, M., Diouf, I., de Haro, L. A., Albert, E., Sauvage, C., ... & Carrari, F. (2021). Validated MAGIC and GWAS population mapping reveals the link between vitamin E content and natural variation in chorismate metabolism in tomato. The Plant Journal, 105(4), 907-923.

Chen, K. Y., Cong, B., Wing, R., Vrebalov, J., & Tanksley, S. D. (2007). Changes in regulation of a transcription factor lead to autogamy in cultivated tomatoes. Science, 318(5850), 643-645.

Chen, K. Y., & Tanksley, S. D. (2004). High-resolution mapping and functional analysis of se2. 1: a major stigma exsertion quantitative trait locus associated with the evolution from allogamy to autogamy in the genus Lycopersicon. Genetics, 168(3), 1563-1573.

Cui, Y., Zhang, F., & Zhou, Y. (2018). The application of multi-locus GWAS for the detection of salt-tolerance loci in rice. Frontiers in plant science, 9, 1464.

Fulton, T. M., Chunwongse, J., & Tanksley, S. D. (1995). Microprep protocol for extraction of DNA from tomato and other herbaceous plants. Plant Molecular Biology Reporter, 13(3), 207-209.

Georgiady, M. S., Whitkus, R. W., & Lord, E. M. (2002). Genetic analysis of traits distinguishing outcrossing and self-pollinating forms of currant tomato, Lycopersicon pimpinellifolium (Jusl.) Mill. Genetics, 161(1), 333-344.

Goh, L., & Yap, V. B. (2009). Effects of normalization on quantitative traits in association test. BMC bioinformatics, 10(1), 1-8.

Hurd, R. G. (1973). Long‐day effects on growth and flower initiation of tomato plants in low light. Annals of Applied Biology, 73(2), 221-228.

Kang, H. M., Sul, J. H., Service, S. K., Zaitlen, N. A., Kong, S. Y., Freimer, N. B., ... & Eskin, E. (2010). Variance component model to account for sample structure in genome-wide association studies. Nature genetics, 42(4), 348-354.

Kang, H. M., Zaitlen, N. A., Wade, C. M., Kirby, A., Heckerman, D., Daly, M. J., & Eskin, E. (2008). Efficient control of population structure in model organism association mapping. Genetics, 178(3), 1709-1723.

Korte, A., & Farlow, A. (2013). The advantages and limitations of trait analysis with GWAS: a review. Plant methods, 9(1), 1-9.

Lin, Y. P., Liu, C. Y., & Chen, K. Y. (2019). Assessment of genetic differentiation and linkage disequilibrium in Solanum pimpinellifolium using genome-wide high- density SNP markers. *G3: Genes, Genomes,Genetics*, *9*(5), 1497-1505.

Lin, Y. P., Lu, C. Y., & Lee, C. R. (2020). The climatic association of population divergence and future extinction risk of Solanum pimpinellifolium. AoB Plants, 12(2), plaa012.

Lippert, C., Listgarten, J., Liu, Y., Kadie, C. M., Davidson, R. I., & Heckerman, D. (2011). FaST linear mixed models for genome-wide association studies. Nature methods, 8(10), 833-835.

Mata-Nicolás, E., Montero-Pau, J., Gimeno-Paez, E., Garcia-Carpintero, V., Ziarsolo, P., Menda, N., ... & Díez, M. J. (2020). Exploiting the diversity of tomato: the development of a phenotypically and genetically detailed germplasm collection. Horticulture research, 7(1), 1-14.

Pan, C., Yang, D., Zhao, X., Jiao, C., Yan, Y., Lamin‐Samu, A. T., ... & Lu, G. (2019). Tomato stigma exsertion induced by high temperature is associated with the jasmonate signalling pathway. Plant, cell & environment, 42(4), 1205-1221.

Peng, B., Robert, K. Y., DeHoff, K. L., & Amos, C. I. (2007, December). Normalizing a large number of quantitative traits using empirical normal quantile transformation. In BMC proceedings (Vol. 1, No. 1, pp. 1-5). BioMed Central.

Peralta, I. E., & Spooner, D. M. (2000). Classification of wild tomatoes: a review.

Peterson, R. A., & Peterson, M. R. A. (2017). Package ‘bestNormalize’.

Phan, N. T., Trinh, L. T., Rho, M. Y., Park, T. S., Kim, O. R., Zhao, J., ... & Sim, S. C. (2019). Identification of loci associated with fruit traits using genome-wide single nucleotide polymorphisms in a core collection of tomato (Solanum lycopersicum L.). Scientia Horticulturae, 243, 567-574.

R Core Team, R. (2013). R: A language and environment for statistical computing.

Razifard, H., Ramos, A., Della Valle, A. L., Bodary, C., Goetz, E., Manser, E. J., ... & Caicedo, A. L. (2020). Genomic evidence for complex domestication history of the cultivated tomato in Latin America. Molecular biology and evolution, 37(4), 1118- 1132.

Riccini, A., Picarella, M. E., De Angelis, F., & Mazzucato, A. (2021). Bulk RNA-Seq analysis to dissect the regulation of stigma position in tomato. Plant Molecular Biology, 105(3), 263-285.

Rick, C. M., Holle, M., & Thorp, R. W. (1978). Rates of cross-pollination in Lycopersicon pimpinellifolium: impact of genetic variation in floral characters. Plant Systematics and Evolution, 129(1), 31-44.

Rick, Charles M., Jon F. Fobes, and Miguel Holle. "Genetic variation in Lycopersicon pimpinellifolium: evidence of evolutionary change in mating systems." Plant Systematics and Evolution 127.2 (1977): 139-170.

Samach, A., & Lotan, H. (2007). The transition to flowering in tomato. Plant Biotechnology, 24(1), 71-82.

Segura, V., Vilhjálmsson, B. J., Platt, A., Korte, A., Seren, Ü., Long, Q., & Nordborg, M. (2012). An efficient multi-locus mixed-model approach for genome-wide Tieman, D., Zhu, G., Resende, M. F., Lin, T., Nguyen, C., Bies, D., ... & Klee, H. (2017). A chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. Science, 355(6323), 391-394.

association studies in structured populations. Nature genetics, 44(7), 825.

Wang, Z., Hong, Y., Zhu, G., Li, Y., Niu, Q., Yao, J., ... & Zhu, J. K. (2020). Loss of salt tolerance during tomato domestication conferred by variation in a Na+/K+ transporter. TheEMBO journal, 39(10), e103256.

Yang, N., Lu, Y., Yang, X., Huang, J., Zhou, Y., Ali, F., ... & Yan, J. (2014). Genome wide association studies using a new nonparametric model reveal the genetic architecture of 17 agronomic traits in an enlarged maize association panel. PLoS genet, 10(9), e1004573.

Ye, J., Wang, X., Wang, W., Yu, H., Ai, G., Li, C., ... & Ye, Z. (2020). Genome-wide association study reveals the genetic architecture of 27 yield-related traits in tomato. bioRxiv.

Yu, J., Pressoir, G., Briggs, W. H., Bi, I. V., Yamasaki, M., Doebley, J. F., ... & Buckler, E. S. (2006). A unified mixed-model method for association mapping that accounts for multiple levels of relatedness. Nature genetics, 38(2), 203-208.

Zhang, Z., Ersoz, E., Lai, C. Q., Todhunter, R. J., Tiwari, H. K., Gore, M. A., ... & Buckler, E. S. (2010). Mixed linear model approach adapted for genome-wide association studies. Nature genetics, 42(4), 355-360.

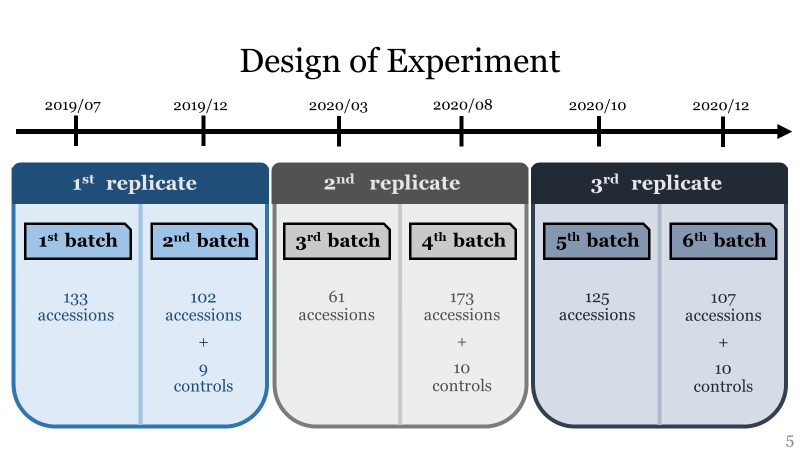
Zhang, S., Yu, H., Wang, K., Zheng, Z., Liu, L., Xu, M., ... & Cui, X. (2018). Detection of major loci associated with the variation of 18 important agronomic traits between Solanum pimpinellifolium and cultivated tomatoes. The Plant Journal, 95(2), 312-323.

Zhao, J., Sauvage, C., Zhao, J., Bitton, F., Bauchet, G., Liu, D., ... & Causse, M. (2019). Meta-analysis of genome-wide association studies provides insights into genetic control of tomato flavor. Nature communications, 10(1), 1-12.

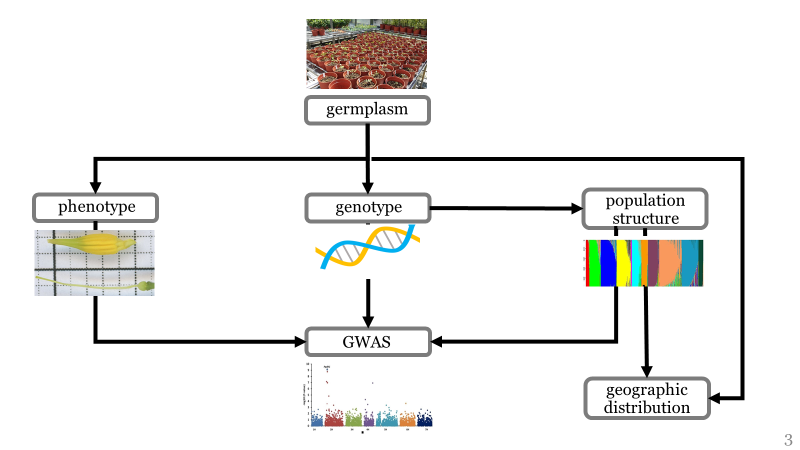
Zhou, X., & Stephens, M. (2012). Genome-wide efficient mixed-model analysis for association studies. Nature genetics, 44(7), 821.

Zuriaga, E., Blanca, J. M., Cordero, L., Sifres, A., Blas-Cerdán, W. G., Morales, R., & Nuez, F. (2009). Genetic and bioclimatic variation in Solanum pimpinellifolium. Genetic Resources and Crop Evolution, 56(1), 39-51.

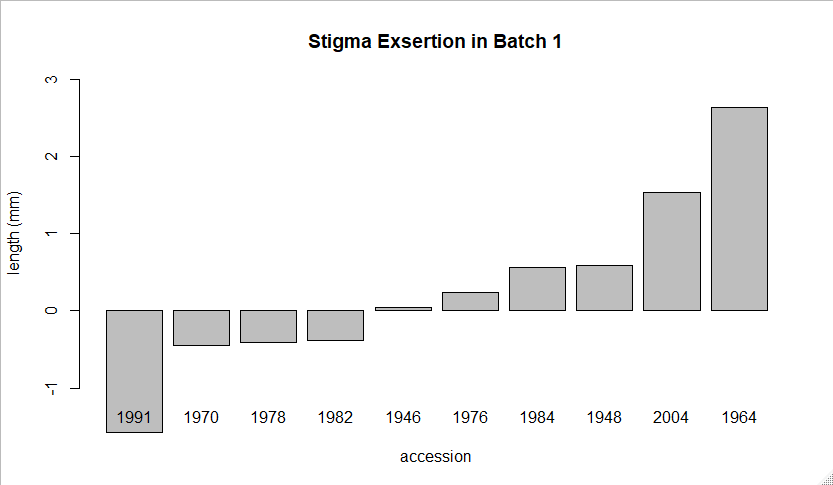
附 錄



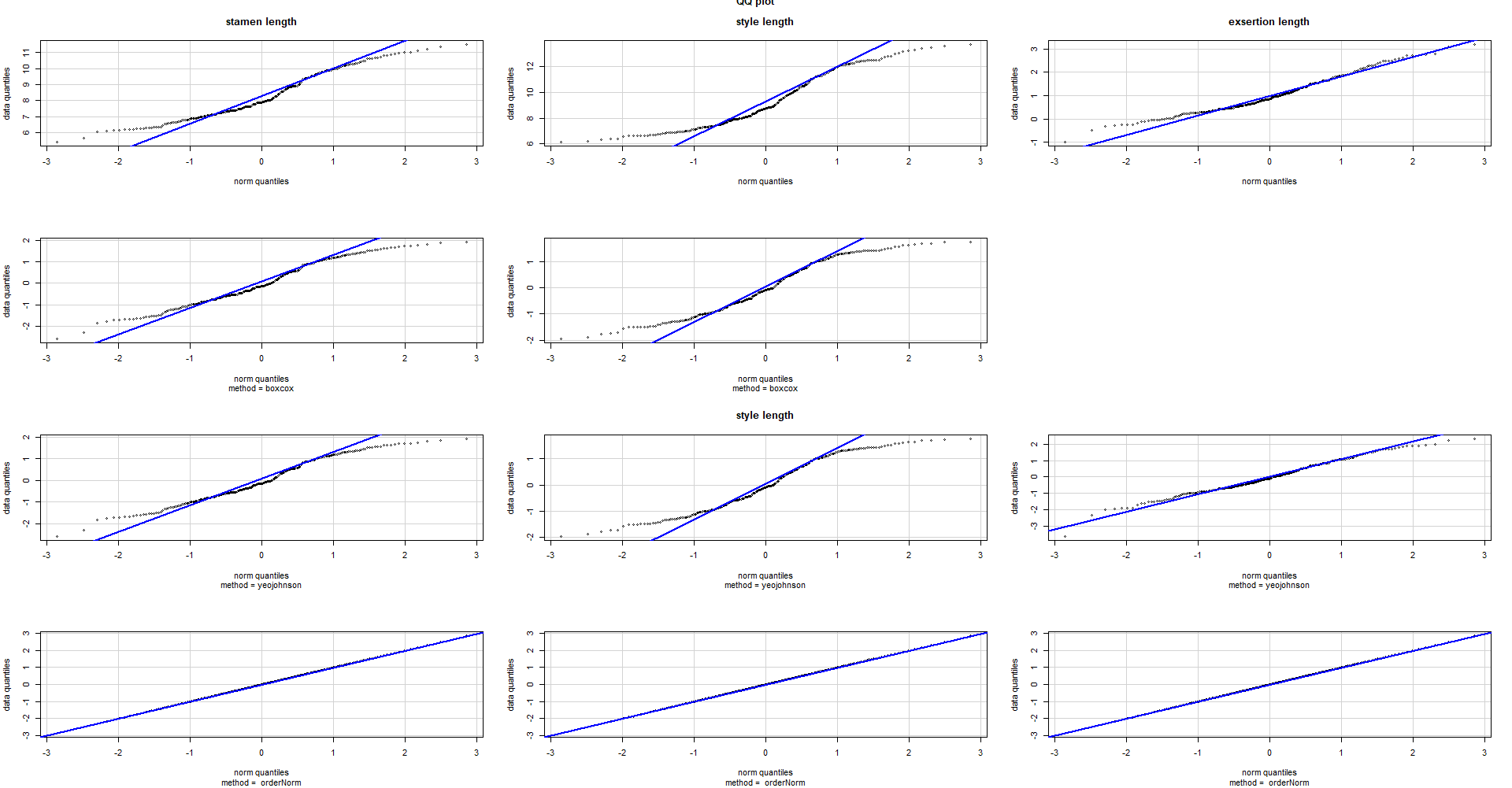
附錄圖 一、試驗設計概要圖



附錄圖二、研究流程概要圖



附錄圖三、第一批次對照組之花柱外突外表型



附錄圖四、三個花柱外突相關外表型以及外表型轉換之分位圖（QQ plot）

附錄表一、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2013A01594 | *S. pimpinellifolium* | LA2181 |  | VI037972 | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01921 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 634844 |  | Tainan district agricultural and extension station | United States |  |
| 2017A01922 | *S. pimpinellifolium* | LA2348 | PI 79532 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01924 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 124039 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01925 | *S. pimpinellifolium* | LA2934 | PI 126430 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-11.854444,-77.0375) |
| 2017A01926 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126432 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01927 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126433 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01928 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126436 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A01929 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126924 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01930 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126925 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01931 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126927 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01933 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126932 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01934 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126933 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01935 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126934 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01936 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126936 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01937 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126937 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A01938 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126938 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01939 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126939 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01940 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126940 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01941 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126941 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01942 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126947 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01944 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 126953 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01946 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 127805 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01947 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 127806 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A01948 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 127807 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01949 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 127833 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01954 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 211838 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01955 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 211839 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01956 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 211840 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01957 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 212408 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01958 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 212409 |  | Tainan district agricultural and extension station | Venezuela |  |
| 2017A01959 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 224709 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A01961 | *S. pimpinellifolium* | LA0381 | PI 251315 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-7.2,-79.05) |
| 2017A01962 | *S. pimpinellifolium* | LA0384 | PI 251316 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-7.216667,-78.833333) |
| 2017A01963 | *S. pimpinellifolium* | LA0397 | PI 251317 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-6.75,-79.7) |
| 2017A01964 | *S. pimpinellifolium* | LA0400 | PI 251318 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01965 | *S. pimpinellifolium* | LA0411 | PI 251319 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador |  |
| 2017A01966 | *S. pimpinellifolium* | LA0412 | PI 251320 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador | (-1.076944,-79.488611) |
| 2017A01967 | *S. pimpinellifolium* | LA0413 | PI 251321 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador | (-2.333333,-80.266667) |
| 2017A01968 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 263589 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A01969 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270439 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01970 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270440 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01971 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270441 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01972 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270442 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01973 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270443 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01974 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270444 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01975 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270445 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01976 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270446 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A01977 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270447 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01978 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270448 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01979 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270449 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01980 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270450 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01981 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270451 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01982 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 270452 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico |  |
| 2017A01984 | *S. pimpinellifolium* | LA1993 | PI 313943 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A01986 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 344102 |  | Tainan district agricultural and extension station | United States |  |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A01987 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 344103 |  | Tainan district agricultural and extension station | United States |  |
| 2017A01988 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 346340 |  | Tainan district agricultural and extension station | India |  |
| 2017A01989 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 358956 |  | Tainan district agricultural and extension station | El Salvador |  |
| 2017A01990 | *S. pimpinellifolium* | LA1236 | PI 365909 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador |  |
| 2017A01991 | *S. pimpinellifolium* | LA1237 | PI 365910 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador |  |
| 2017A01992 | *S. pimpinellifolium* | LA1245 | PI 365911 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador |  |
| 2017A01993 | *S. pimpinellifolium* | LA1246 | PI 365912 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador | (-3.99,-79.36) |
| 2017A01994 | *S. pimpinellifolium* | LA1259 | PI 365914 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador | (-1.583333,-79.466667) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A01995 | *S. pimpinellifolium* | LA1260 | PI 365915 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador | (-1.566667,-79.5) |
| 2017A01996 | *S. pimpinellifolium* | LA1261 | PI 365916 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador | (-1.791667,-79.533333) |
| 2017A01997 | *S. pimpinellifolium* | LA1262 | PI 365917 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador | (-2.25,-79.616667) |
| 2017A01998 | *S. pimpinellifolium* | LA1263 | PI 365918 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador | (-2.3,-79.233333) |
| 2017A01999 | *S. pimpinellifolium* | LA1269 | PI 365957 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-11.483333,-77.075) |
| 2017A02000 | *S. pimpinellifolium* | LA1332 | PI 365958 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-14.833333,-74.95) |
| 2017A02001 | *S. pimpinellifolium* | LA1335 | PI 365959 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02002 | *S. pimpinellifolium* | LA1342 | PI 365960 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-9.460278,-78.329444) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02003 | *S. pimpinellifolium* | LA1344 | PI 365962 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-8.086111,-78.888056) |
| 2017A02004 | *S. pimpinellifolium* | LA1349 | PI 365963 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-6.743611,-79.499722) |
| 2017A02005 | *S. pimpinellifolium* | LA1355 | PI 365964 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-9.183333,-78.35) |
| 2017A02006 | *S. pimpinellifolium* | LA1359 | PI 365966 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-9.55,-77.9) |
| 2017A02007 | *S. pimpinellifolium* | LA1375 | PI 365967 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-13.074722,-76.4025) |
| 2017A02008 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 370093 |  | Tainan district agricultural and extension station | Canada |  |
| 2017A02009 | *S. pimpinellifolium* | LA 1279 | PI 379019 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-12.065833,-76.761667) |
| 2017A02010 | *S. pimpinellifolium* | LA 1341 | PI 379020 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-11.970833,-76.791667) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02011 | *S. pimpinellifolium* | LA 1345 | PI 379021 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-7.983333,-78.666667) |
| 2017A02012 | *S. pimpinellifolium* | LA 1348 | PI 379022 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02013 | *S. pimpinellifolium* | LA 1370 | PI 379023 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-11.867222,-76.644722) |
| 2017A02014 | *S. pimpinellifolium* | LA 1371 | PI 379024 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-11.889444,-76.653889) |
| 2017A02015 | *S. pimpinellifolium* | LA 1374 | PI 379025 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-14.683333,-75.158333) |
| 2017A02016 | *S. pimpinellifolium* | LA 1380 | PI 379026 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02017 | *S. pimpinellifolium* | LA 1383 | PI 379027 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02018 | *S. pimpinellifolium* | LA 1384 | PI 379028 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-12.533333,-76.733333) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02019 | *S. pimpinellifolium* | LA 1247 | PI 379058 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador | (-3.99,-79.36) |
| 2017A02020 | *S. pimpinellifolium* | LA1719 | PI 390519 |  | Tainan district agricultural and extension station | Ecuador | (-3.55,-79.98333333) |
| 2017A02021 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390688 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-10.33333333,-77.63333333) |
| 2017A02022 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390689 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-10.5,-77.73333333) |
| 2017A02023 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390690 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-1.1,-77.5) |
| 2017A02024 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390691 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-10.63333333,-77.76666667) |
| 2017A02025 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390692 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02026 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390693 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-7.83333333,-79.16666667) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02028 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390695 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-7,-79.61666667) |
| 2017A02029 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390696 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-7,-79.61666667) |
| 2017A02030 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390697 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-6.3,-79.75) |
| 2017A02032 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390699 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-6.68333333,-79.9) |
| 2017A02033 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390700 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-6.16666667,-79.7) |
| 2017A02034 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390701 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-5.6,-79.91666667) |
| 2017A02035 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390702 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02036 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390703 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-5.13333333,-80.16666667) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02038 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390705 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-5,-80.25) |
| 2017A02042 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390709 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-5.53333333,-80.81666667) |
| 2017A02043 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390710 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-5.53333333,-80.81666667) |
| 2017A02044 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390711 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.9,-80.78333333) |
| 2017A02045 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390712 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.9,-80.96666667) |
| 2017A02046 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390713 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.9,-80.96666667) |
| 2017A02047 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390714 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.9,-80.96666667) |
| 2017A02048 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390715 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02049 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390716 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.88333333,-81.06666667) |
| 2017A02050 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390717 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.88333333,-81.06666667) |
| 2017A02051 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390718 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-5.26666667,-79.96666667) |
| 2017A02052 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390719 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02054 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390721 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-5.41666667,-79.71666667) |
| 2017A02055 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390722 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.85,-80.75) |
| 2017A02056 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390723 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.85,-80.75) |
| 2017A02057 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390724 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.85,-80.75) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02058 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390725 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.85,-80.75) |
| 2017A02059 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390726 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.85,-80.75) |
| 2017A02060 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390727 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-4.85,-80.75) |
| 2017A02061 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390728 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02062 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390729 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02063 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390730 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02064 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390731 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02065 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390732 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02066 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390733 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02067 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390734 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02068 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390735 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02069 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390736 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02070 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390737 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02071 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390738 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02072 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390739 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02073 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390741 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02074 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390742 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02075 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390743 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02076 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390745 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02078 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390747 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.61666667,-80.51666667) |
| 2017A02079 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390748 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-3.55,-80.41666667) |
| 2017A02081 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 390750 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02082 | *S. pimpinellifolium* | LA 1571 | PI 407533 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-11.983333,-76.816667) |
| 2017A02083 | *S. pimpinellifolium* | LA 1573 | PI 407534 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-11.983333,-76.816667) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02084 | *S. pimpinellifolium* | LA 1575 | PI 407535 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-12.066667,-76.766667) |
| 2017A02085 | *S. pimpinellifolium* | LA 1577 | PI 407536 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-7.8375,-79.233333) |
| 2017A02086 | *S. pimpinellifolium* | LA 1581 | PI 407538 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-6.591667,-79.8875) |
| 2017A02087 | *S. pimpinellifolium* | LA 1582 | PI 407539 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02088 | *S. pimpinellifolium* | LA 1583 | PI 407540 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02089 | *S. pimpinellifolium* | LA 1584 | PI 407541 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-6.367778,-79.789722) |
| 2017A02090 | *S. pimpinellifolium* | LA 1585 | PI 407542 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02091 | *S. pimpinellifolium* | LA 1587 | PI 407543 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02092 | *S. pimpinellifolium* | LA 1588 | PI 407544 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-8.1125,-78.9625) |
| 2017A02093 | *S. pimpinellifolium* | LA 1589 | PI 407545 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02094 | *S. pimpinellifolium* | LA 1590 | PI 407546 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-8.375,-78.726944) |
| 2017A02095 | *S. pimpinellifolium* | LA 1591 | PI 407547 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02096 | *S. pimpinellifolium* | LA 1592 | PI 407548 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-8.170833,-79.004167) |
| 2017A02097 | *S. pimpinellifolium* | LA 1593 | PI 407549 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02098 | *S. pimpinellifolium* | LA 1594 | PI 407550 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-9.477778,-78.257778) |
| 2017A02099 | *S. pimpinellifolium* | LA 1595 | PI 407551 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02100 | *S. pimpinellifolium* | LA 1596 | PI 407552 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02101 | *S. pimpinellifolium* | LA 1597 | PI 407553 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-9.4875,-78.273611) |
| 2017A02102 | *S. pimpinellifolium* | LA 1599 | PI 407554 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-10.067222,-78.126389) |
| 2017A02103 | *S. pimpinellifolium* | LA 1601 | PI 407555 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02104 | *S. pimpinellifolium* | LA 1604 | PI 407556 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-11.483333,-77.075) |
| 2017A02105 | *S. pimpinellifolium* | LA 1606 | PI 407557 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02106 | *S. pimpinellifolium* | LA 1610 | PI 407558 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-12.763889,-76.508333) |
| 2017A02107 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 438898 |  | Tainan district agricultural and extension station | Mexico | (16.23333333,-93.25) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| 2017A02108 | *S. pimpinellifolium* |  | PI 452284 |  | Tainan district agricultural and extension station | Honduras |  |
| 2017A02111 | *S. pimpinellifolium* | LA 2647 | PI 503519 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02112 | *S. pimpinellifolium* | LA 2653 | PI 503521 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru |  |
| 2017A02113 | *S. pimpinellifolium* | LA 2659 | PI 503523 |  | Tainan district agricultural and extension station | Peru | (-5.216667,-80.625) |
| LA0114 | *S. pimpinellifolium* | LA0114 |  |  | lab | Peru | (-7.4,-79.566667) |
| LA0373 | *S. pimpinellifolium* | LA0373 |  |  | lab | Peru | (-9.936944,-78.218333) |
| LA0400 | *S. pimpinellifolium* | LA0400 |  |  | lab | Peru | (-5.223611,-80.022222) |
| LA0411 | *S. pimpinellifolium* | LA0411 |  |  | lab | Ecuador | (-1.076944,-79.488611) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| LA0442 | *S. pimpinellifolium* | LA0442 |  |  | lab | Peru | (-9.481667,-78.259167) |
| LA1236 | *S. pimpinellifolium* | LA1236 |  |  | lab | Ecuador | (-0.25,-79.15) |
| LA1237 | *S. pimpinellifolium* | LA1237 |  |  | lab | Ecuador | (0.866667,-79.85) |
| LA1245 | *S. pimpinellifolium* | LA1245 |  |  | lab | Ecuador | (-3.458333,-79.966667) |
| LA1280 | *S. pimpinellifolium* | LA1280 |  |  | lab | Peru | (-12.034444,-76.71) |
| LA1301 | *S. pimpinellifolium* | LA1301 |  |  | lab | Peru | (-13.731944,-75.92) |
| LA1335 | *S. pimpinellifolium* | LA1335 |  |  | lab | Peru | (-16.4,-73.220833) |
| LA1348 | *S. pimpinellifolium* | LA1348 |  |  | lab | Peru | (-7.45,-79.5) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| LA1380 | *S. pimpinellifolium* | LA1380 |  |  | lab | Peru | (-5.25,-80.05) |
| LA1381 | *S. pimpinellifolium* | LA1381 |  |  | lab | Peru | (-5.566667,-79.966667) |
| LA1382 | *S. pimpinellifolium* | LA1382 |  |  | lab | Peru |  |
| LA1466 | *S. pimpinellifolium* | LA1466 |  |  | lab | Peru | (-6.633333,-79.383333) |
| LA1469 | *S. pimpinellifolium* | LA1469 |  |  | lab | Peru | (-5.8625,-79.8) |
| LA1478 | *S. pimpinellifolium* | LA1478 |  |  | lab | Peru | (-5.216667,-80.083333) |
| LA1514 | *S. pimpinellifolium* | LA1514 |  |  | lab | Peru | (-11.045278,-77.118889) |
| LA1521 | *S. pimpinellifolium* | LA1521 |  |  | lab | Peru | (-12.764722,-76.505278) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| LA1547 | *S. pimpinellifolium* | LA1547 |  |  | lab | Ecuador | (0.583333,-77.933333) |
| LA1578 | *S. pimpinellifolium* | LA1578 |  |  | lab | Peru | (-7.344444,-79.580556) |
| LA1580 | *S. pimpinellifolium* | LA1580 |  |  | lab | Peru | (-6.591667,-79.890278) |
| LA1582 | *S. pimpinellifolium* | LA1582 |  |  | lab | Peru | (-6.15,-79.716667) |
| LA1583 | *S. pimpinellifolium* | LA1583 |  |  | lab | Peru | (-6.213889,-79.708333) |
| LA1585 | *S. pimpinellifolium* | LA1585 |  |  | lab | Peru | (-6.690278,-79.466667) |
| LA1586 | *S. pimpinellifolium* | LA1586 |  |  | lab | Peru | (-6.905,-79.572222) |
| LA1587 | *S. pimpinellifolium* | LA1587 |  |  | lab | Peru | (-7.420833,-79.508333) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| LA1589 | *S. pimpinellifolium* | LA1589 |  |  | lab | Peru | (-8.433333,-78.816667) |
| LA1591 | *S. pimpinellifolium* | LA1591 |  |  | lab | Peru | (-7.716667,-79.108333) |
| LA1593 | *S. pimpinellifolium* | LA1593 |  |  | lab | Peru | (-8.544444,-78.673611) |
| LA1595 | *S. pimpinellifolium* | LA1595 |  |  | lab | Peru | (-9.2625,-78.475) |
| LA1596 | *S. pimpinellifolium* | LA1596 |  |  | lab | Peru | (-8.920833,-78.568056) |
| LA1601 | *S. pimpinellifolium* | LA1601 |  |  | lab | Peru | (-10.676111,-77.700833) |
| LA1602 | *S. pimpinellifolium* | LA1602 |  |  | lab | Peru | (-11.833333,-77) |
| LA1606 | *S. pimpinellifolium* | LA1606 |  |  | lab | Peru | (-13.457778,-76.176111) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| LA1617 | *S. pimpinellifolium* | LA1617 |  |  | lab | Peru | (-3.566667,-80.466667) |
| LA1628 | *S. pimpinellifolium* | LA1628 |  |  | lab | Peru | (-7.166667,-79.55) |
| LA1645 | *S. pimpinellifolium* | LA1645 |  |  | lab | Peru | (-12.131389,-77.033333) |
| LA1659 | *S. pimpinellifolium* | LA1659 |  |  | lab | Peru | (-9.546667,-77.858611) |
| LA1670 | *S. pimpinellifolium* | LA1670 |  |  | lab | Peru | (-17.833333,-70.516667) |
| LA1683 | *S. pimpinellifolium* | LA1683 |  |  | lab | Peru | (-4.87,-81.11) |
| LA1686 | *S. pimpinellifolium* | LA1686 |  |  | lab | Peru | (-4.849722,-80.905278) |
| LA1687 | *S. pimpinellifolium* | LA1687 |  |  | lab | Peru | (-4.85,-80.906667) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| LA1689 | *S. pimpinellifolium* | LA1689 |  |  | lab | Peru | (-5.176389,-80.6175) |
| LA1720 | *S. pimpinellifolium* | LA1720 |  |  | lab | Peru | (-9.516667,-78) |
| LA1729 | *S. pimpinellifolium* | LA1729 |  |  | lab | Peru | (-13.296944,-75.640556) |
| LA1923 | *S. pimpinellifolium* | LA1923 |  |  | lab | Peru | (-14.666667,-75.283333) |
| LA1924 | *S. pimpinellifolium* | LA1924 |  |  | lab | Peru | (-14.628889,-75.214167) |
| LA1933 | *S. pimpinellifolium* | LA1933 |  |  | lab | Peru | (-15.475,-74.445833) |
| LA1936 | *S. pimpinellifolium* | LA1936 |  |  | lab | Peru | (-15.825,-74.020833) |
| LA2146 | *S. pimpinellifolium* | LA2146 |  |  | lab | Peru | (-7.301944,-79.416111) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| LA2149 | *S. pimpinellifolium* | LA2149 |  |  | lab | Peru | (-7.218056,-78.787778) |
| LA2181 | *S. pimpinellifolium* | LA2181 |  |  | lab | Peru | (-5.775833,-78.783056) |
| LA2389 | *S. pimpinellifolium* | LA2389 |  |  | lab | Peru | (-7.25,-79.133333) |
| LA2390 | *S. pimpinellifolium* | LA2390 |  |  | lab | Peru | (-7.233333,-79.141667) |
| LA2533 | *S. pimpinellifolium* | LA2533 |  |  | lab | Peru | (-11.3,-77.36) |
| LA2645 | *S. pimpinellifolium* | LA2645 |  |  | lab | Peru | (-5.166667,-80.183333) |
| LA2647 | *S. pimpinellifolium* | LA2647 |  |  | lab | Peru | (-5.175,-79.983333) |
| LA2653 | *S. pimpinellifolium* | LA2653 |  |  | lab | Peru | (-4.75,-80.583333) |

附錄表一（續）、 野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原資料集

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | species | #LA (TGRC) | #PI (USDA) | vino (AVRDC) | germplasm source | origin | coordinate |
| LA2655 | *S. pimpinellifolium* | LA2655 |  |  | lab | Peru | (-4.908333,-80.825) |
| LA2656 | *S. pimpinellifolium* | LA2656 |  |  | lab | Peru | (-3.8,-80.7) |
| LA3638 | *S. pimpinellifolium* | LA3638 |  |  | lab | Peru | (-12.566667,-76.316667) |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

附錄表五、各批次之生長環境

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1st 批次 | 2nd 批次 | 3rd 批次 | 4th 批次 | 5th 批次 | 6th 批次 |
| 地點 | 人工氣候室 | 台大農場 玻璃溫室 | 人工氣候室 | 人工氣候室 | 人工氣候室 | 台大農場  園藝分場溫室 |
| 溫度 | 20 / 15oC | × | 25 / 20oC | 25 / 20oC | 25 / 20oC | × |
| 濕度 | 80 - 90% | × | 80% | 80% | 80% | × |
| 播種月份 | 7 - 9 | 12 | 3 | 8 | 10 | 12 |
| 外表型調查月份 | 10 - 12 | 3 - 4 | 7 - 8 | 9 - 12 | 1 - 2 | 3 |
| 主要病害 | 白粉病 | 白粉病 | 細菌性斑點病 | × | × | × |
| 主要蟲害 | 葉螨 | 薊馬 | × | × | × | × |

附錄表二、野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原外表型調查結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | #PI (USDA) | style length | stamen length | stigma exsertion |
| 2013A01594 |  | 9.57±0.483 | 8.942±0.498 | 0.628±0.457 |
| 2017A01921 | PI 634844 | 7.502±0.602 | 7.03±0.569 | 0.472±0.238 |
| 2017A01922 | PI 79532 | 8.46±0.404 | 7.657±0.348 | 0.803±0.336 |
| 2017A01924 | PI 124039 | 8.186±0.281 | 7.378±0.319 | 0.807±0.303 |
| 2017A01925 | PI 126430 | 7.337±0.209 | 7.125±0.367 | 0.212±0.4 |
| 2017A01926 | PI 126432 | 7.243±0.398 | 7.058±0.372 | 0.186±0.381 |
| 2017A01927 | PI 126433 | 7.893±0.226 | 7.34±0.343 | 0.553±0.313 |
| 2017A01928 | PI 126436 | 7.34±0.505 | 6.892±0.445 | 0.448±0.359 |
| 2017A01929 | PI 126924 | 7.476±0.314 | 6.652±0.427 | 0.823±0.299 |
| 2017A01930 | PI 126925 | 6.897±0.388 | 6.645±0.409 | 0.252±0.345 |
| 2017A01931 | PI 126927 | 7.282±0.493 | 6.866±0.437 | 0.416±0.39 |
| 2017A01933 | PI 126932 | 9.185±0.448 | 8.001±0.485 | 1.184±0.397 |
| 2017A01934 | PI 126933 | 8.367±0.429 | 8.037±0.425 | 0.329±0.3 |
| 2017A01935 | PI 126934 | 8.819±0.709 | 7.767±0.827 | 1.052±0.414 |
| 2017A01936 | PI 126936 | 8.503±0.63 | 7.954±0.374 | 0.549±0.466 |
| 2017A01937 | PI 126937 | 8.104±0.333 | 7.492±0.33 | 0.612±0.288 |
| 2017A01938 | PI 126938 | 8.84±0.864 | 7.851±0.561 | 0.989±0.676 |
| 2017A01939 | PI 126939 | 6.699±0.387 | 6.03±0.377 | 0.669±0.206 |
| 2017A01940 | PI 126940 | 7.966±0.542 | 7.143±0.371 | 0.823±0.361 |
| 2017A01941 | PI 126941 | 8.822±0.965 | 7.872±0.47 | 0.95±0.688 |
| 2017A01942 | PI 126947 | 7.956±0.542 | 7.648±0.56 | 0.308±0.295 |
| 2017A01944 | PI 126953 | 11.013±0.563 | 8.748±0.37 | 2.266±0.374 |
| 2017A01946 | PI 127805 | 7.629±0.491 | 7.383±0.584 | 0.246±0.314 |
| 2017A01947 | PI 127806 | 8.864±0.443 | 8.515±0.433 | 0.349±0.228 |
| 2017A01948 | PI 127807 | 7.986±0.424 | 7.347±0.416 | 0.639±0.327 |
| 2017A01949 | PI 127833 | 7.468±1.029 | 7.213±0.614 | 0.255±0.54 |
| 2017A01954 | PI 211838 | 9.187±0.546 | 8.146±0.522 | 1.041±0.327 |
| 2017A01955 | PI 211839 | 8.62±0.448 | 7.504±0.425 | 1.116±0.463 |
| 2017A01956 | PI 211840 | 8.555±0.468 | 7.615±0.513 | 0.94±0.392 |

附錄表二（續）、野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原外表型調查結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | #PI (USDA) | style length | stamen length | stigma exsertion |
| 2017A01957 | PI 212408 | 8.634±0.482 | 7.469±0.337 | 1.165±0.373 |
| 2017A01958 | PI 212409 | 8.493±0.464 | 7.618±0.492 | 0.875±0.246 |
| 2017A01959 | PI 224709 | 6.644±0.34 | 6.91±0.486 | -0.266±0.373 |
| 2017A01961 | PI 251315 | 9.99±0.651 | 8.614±0.423 | 1.376±0.521 |
| 2017A01962 | PI 251316 | 6.921±0.447 | 6.787±0.544 | 0.133±0.287 |
| 2017A01963 | PI 251317 | 12.715±0.989 | 10.227±0.771 | 2.488±0.554 |
| 2017A01964 | PI 251318 | 12.253±0.572 | 9.861±0.518 | 2.393±0.687 |
| 2017A01965 | PI 251319 | 9.404±0.823 | 7.737±0.556 | 1.667±0.693 |
| 2017A01966 | PI 251320 | 8.846±0.59 | 7.758±0.461 | 1.088±0.365 |
| 2017A01967 | PI 251321 | 9.639±0.448 | 8.981±0.261 | 0.658±0.377 |
| 2017A01968 | PI 263589 | 7.113±0.344 | 6.997±0.416 | 0.117±0.279 |
| 2017A01969 | PI 270439 | 6.844±0.303 | 6.907±0.482 | -0.063±0.367 |
| 2017A01970 | PI 270440 | 7.568±0.912 | 7.613±0.612 | -0.046±0.705 |
| 2017A01971 | PI 270441 | 6.957±0.535 | 7.134±0.68 | -0.176±0.453 |
| 2017A01972 | PI 270442 | 7.276±0.462 | 7.393±0.488 | -0.118±0.346 |
| 2017A01973 | PI 270443 | 7.378±0.413 | 7.372±0.506 | 0.005±0.408 |
| 2017A01974 | PI 270444 | 6.686±0.312 | 6.793±0.48 | -0.107±0.378 |
| 2017A01975 | PI 270445 | 6.634±0.341 | 6.621±0.482 | 0.013±0.264 |
| 2017A01976 | PI 270446 | 6.912±0.308 | 6.982±0.518 | -0.07±0.414 |
| 2017A01977 | PI 270447 | 7.089±0.307 | 7.094±0.366 | -0.005±0.353 |
| 2017A01978 | PI 270448 | 7.888±0.421 | 8.196±0.685 | -0.308±0.436 |
| 2017A01979 | PI 270449 | 7.006±0.444 | 7.267±0.379 | -0.261±0.351 |
| 2017A01980 | PI 270450 | 6.948±0.433 | 6.997±0.442 | -0.048±0.307 |
| 2017A01981 | PI 270451 | 6.867±0.259 | 7.134±0.469 | -0.267±0.344 |
| 2017A01982 | PI 270452 | 7.29±0.36 | 7.567±0.396 | -0.277±0.252 |
| 2017A01984 | PI 313943 | 8.573±0.575 | 7.9±0.67 | 0.673±0.302 |
| 2017A01986 | PI 344102 | 7.918±0.471 | 7.626±0.396 | 0.292±0.337 |
| 2017A01987 | PI 344103 | 8.324±0.403 | 7.866±0.337 | 0.458±0.461 |
| 2017A01988 | PI 346340 | 8.157±0.429 | 7.642±0.4 | 0.515±0.336 |

附錄表二（續）、野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原外表型調查結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | #PI (USDA) | style length | stamen length | stigma exsertion |
| 2017A01989 | PI 358956 | 7.638±0.577 | 7.62±0.579 | 0.018±0.298 |
| 2017A01990 | PI 365909 | 7.662±0.667 | 7.192±0.437 | 0.47±0.39 |
| 2017A01991 | PI 365910 | 6.988±0.849 | 7.987±0.52 | -0.999±1.146 |
| 2017A01992 | PI 365911 | 9.94±0.833 | 9.108±0.88 | 0.833±0.325 |
| 2017A01993 | PI 365912 | 10.093±0.853 | 9.681±0.394 | 0.412±0.705 |
| 2017A01994 | PI 365914 | 9.146±0.579 | 7.917±0.375 | 1.229±0.434 |
| 2017A01995 | PI 365915 | 8.58±0.601 | 7.376±0.299 | 1.204±0.419 |
| 2017A01996 | PI 365916 | 8.702±0.422 | 7.917±0.283 | 0.785±0.397 |
| 2017A01997 | PI 365917 | 9.505±0.495 | 8.671±0.493 | 0.834±0.391 |
| 2017A01998 | PI 365918 | 9.762±0.567 | 8.421±0.405 | 1.342±0.385 |
| 2017A01999 | PI 365957 | 6.966±0.564 | 6.666±0.548 | 0.3±0.235 |
| 2017A02000 | PI 365958 | 7.902±0.732 | 7.303±0.574 | 0.599±0.418 |
| 2017A02001 | PI 365959 | 6.647±0.239 | 6.229±0.279 | 0.418±0.222 |
| 2017A02002 | PI 365960 | 8.084±0.666 | 7.293±0.353 | 0.792±0.554 |
| 2017A02003 | PI 365962 | 7.787±0.549 | 7.228±0.53 | 0.559±0.443 |
| 2017A02004 | PI 365963 | 11.207±0.689 | 9.873±0.473 | 1.333±0.662 |
| 2017A02005 | PI 365964 | 7.293±0.528 | 7.067±0.491 | 0.227±0.315 |
| 2017A02006 | PI 365966 | 7.388±0.319 | 6.619±0.38 | 0.768±0.268 |
| 2017A02007 | PI 365967 | 8.655±0.347 | 8.089±0.456 | 0.566±0.306 |
| 2017A02008 | PI 370093 | 7.644±0.635 | 6.769±0.455 | 0.875±0.3 |
| 2017A02009 | PI 379019 | 6.634±0.333 | 6.176±0.419 | 0.458±0.271 |
| 2017A02010 | PI 379020 | 6.967±0.467 | 6.721±0.442 | 0.246±0.299 |
| 2017A02011 | PI 379021 | 8.059±0.418 | 7.763±0.421 | 0.296±0.247 |
| 2017A02012 | PI 379022 | 9.395±1.135 | 8.862±1.012 | 0.533±0.618 |
| 2017A02013 | PI 379023 | 7.364±0.381 | 6.918±0.369 | 0.447±0.208 |
| 2017A02014 | PI 379024 | 6.903±0.366 | 6.567±0.344 | 0.337±0.276 |
| 2017A02015 | PI 379025 | 8.311±0.442 | 7.543±0.458 | 0.768±0.4 |
| 2017A02016 | PI 379026 | 9.682±0.637 | 8.9±0.573 | 0.782±0.343 |
| 2017A02017 | PI 379027 | 10.423±0.653 | 9.988±0.867 | 0.435±0.489 |

附錄表二（續）、野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原外表型調查結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | #PI (USDA) | style length | stamen length | stigma exsertion |
| 2017A02018 | PI 379028 | 6.748±0.485 | 6.321±0.508 | 0.427±0.25 |
| 2017A02019 | PI 379058 | 9.423±0.387 | 8.887±0.362 | 0.537±0.378 |
| 2017A02020 | PI 390519 | 10.122±0.64 | 8.892±0.507 | 1.229±0.503 |
| 2017A02021 | PI 390688 | 7.602±0.216 | 7.352±0.267 | 0.251±0.158 |
| 2017A02022 | PI 390689 | 7.9±0.262 | 7.615±0.263 | 0.285±0.296 |
| 2017A02023 | PI 390690 | 7.299±0.305 | 6.946±0.547 | 0.353±0.422 |
| 2017A02024 | PI 390691 | 6.852±0.489 | 6.766±0.483 | 0.086±0.205 |
| 2017A02025 | PI 390692 | 7.908±0.825 | 6.875±0.656 | 1.033±0.284 |
| 2017A02026 | PI 390693 | 8.426±0.447 | 7.796±0.461 | 0.63±0.313 |
| 2017A02028 | PI 390695 | 10.293±0.618 | 8.754±0.575 | 1.539±0.499 |
| 2017A02029 | PI 390696 | 9.553±0.722 | 8.465±0.487 | 1.088±0.426 |
| 2017A02030 | PI 390697 | 12.226±0.964 | 9.95±0.511 | 2.276±0.693 |
| 2017A02032 | PI 390699 | 10.152±0.805 | 9.008±0.942 | 1.144±0.395 |
| 2017A02033 | PI 390700 | 12.467±0.818 | 9.989±0.545 | 2.478±0.567 |
| 2017A02034 | PI 390701 | 12.459±1.308 | 10.832±0.988 | 1.628±0.659 |
| 2017A02035 | PI 390702 | 12.124±1.07 | 9.415±0.682 | 2.709±0.597 |
| 2017A02036 | PI 390703 | 12.163±0.608 | 10.668±0.37 | 1.495±0.662 |
| 2017A02038 | PI 390705 | 12.248±0.956 | 10.608±0.56 | 1.641±0.513 |
| 2017A02042 | PI 390709 | 13.676±0.558 | 10.976±0.389 | 2.7±0.668 |
| 2017A02043 | PI 390710 | 13.584±0.792 | 10.88±0.412 | 2.704±0.664 |
| 2017A02044 | PI 390711 | 12.123±0.536 | 10.351±0.44 | 1.772±0.543 |
| 2017A02045 | PI 390712 | 13.005±0.857 | 10.261±0.795 | 2.744±0.671 |
| 2017A02046 | PI 390713 | 12.363±0.775 | 9.752±0.37 | 2.611±0.69 |
| 2017A02047 | PI 390714 | 13.16±1.351 | 11.029±1.27 | 2.131±0.482 |
| 2017A02048 | PI 390715 | 11.868±0.762 | 8.694±0.437 | 3.174±0.513 |
| 2017A02049 | PI 390716 | 12.342±1.342 | 10.168±0.679 | 2.173±0.831 |
| 2017A02050 | PI 390717 | 11.728±1.099 | 9.415±0.58 | 2.313±0.865 |
| 2017A02051 | PI 390718 | 12.455±0.883 | 10.908±0.573 | 1.548±0.739 |
| 2017A02052 | PI 390719 | 12.784±1.27 | 10.826±1.043 | 1.958±0.502 |

附錄表二（續）、野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原外表型調查結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | #PI (USDA) | style length | stamen length | stigma exsertion |
| 2017A02054 | PI 390721 | 11.367±0.9 | 9.498±0.734 | 1.869±0.389 |
| 2017A02055 | PI 390722 | 12.422±0.489 | 11.038±0.631 | 1.383±0.501 |
| 2017A02056 | PI 390723 | 12.775±0.715 | 10.29±0.368 | 2.485±0.527 |
| 2017A02057 | PI 390724 | 11.492±0.889 | 9.862±0.518 | 1.63±0.849 |
| 2017A02058 | PI 390725 | 12.99±1.059 | 10.421±0.997 | 2.569±0.669 |
| 2017A02059 | PI 390726 | 13.256±0.826 | 11.348±0.756 | 1.908±0.622 |
| 2017A02060 | PI 390727 | 11.953±0.597 | 10.113±0.44 | 1.841±0.616 |
| 2017A02061 | PI 390728 | 11.506±0.749 | 9.973±0.621 | 1.532±0.363 |
| 2017A02062 | PI 390729 | 12.147±1.013 | 10.328±0.442 | 1.819±0.773 |
| 2017A02063 | PI 390730 | 12.459±0.68 | 10.608±0.56 | 1.851±0.445 |
| 2017A02064 | PI 390731 | 12.096±0.897 | 10.467±0.794 | 1.628±0.626 |
| 2017A02065 | PI 390732 | 11.712±0.854 | 10.279±0.638 | 1.433±0.476 |
| 2017A02066 | PI 390733 | 10.18±0.732 | 8.322±0.295 | 1.858±0.579 |
| 2017A02067 | PI 390734 | 10.574±0.992 | 9.229±0.658 | 1.345±0.47 |
| 2017A02068 | PI 390735 | 11.756±0.786 | 9.81±0.426 | 1.946±0.559 |
| 2017A02069 | PI 390736 | 12.143±0.669 | 9.877±0.413 | 2.266±0.486 |
| 2017A02070 | PI 390737 | 11.275±0.663 | 9.709±0.534 | 1.566±0.464 |
| 2017A02071 | PI 390738 | 10.478±1.47 | 9.528±0.587 | 0.951±1.636 |
| 2017A02072 | PI 390739 | 11.948±0.865 | 9.413±0.571 | 2.535±0.58 |
| 2017A02073 | PI 390741 | 10.5±1.022 | 8.907±0.808 | 1.593±0.773 |
| 2017A02074 | PI 390742 | 10.588±0.674 | 8.837±0.421 | 1.752±0.467 |
| 2017A02075 | PI 390743 | 10.713±0.845 | 8.831±0.518 | 1.882±0.479 |
| 2017A02076 | PI 390745 | 11.232±0.815 | 9.158±0.368 | 2.074±0.598 |
| 2017A02078 | PI 390747 | 12.593±1.017 | 11.107±0.755 | 1.487±0.622 |
| 2017A02079 | PI 390748 | 12.342±0.748 | 10.72±0.584 | 1.622±0.35 |
| 2017A02081 | PI 390750 | 13.449±0.826 | 10.364±0.381 | 3.085±0.854 |
| 2017A02082 | PI 407533 | 6.894±0.358 | 6.239±0.44 | 0.655±0.24 |
| 2017A02083 | PI 407534 | 6.827±0.435 | 6.439±0.489 | 0.388±0.218 |
| 2017A02084 | PI 407535 | 7.258±0.27 | 6.796±0.22 | 0.462±0.15 |

附錄表二（續）、野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原外表型調查結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | #PI (USDA) | style length | stamen length | stigma exsertion |
| 2017A02085 | PI 407536 | 9.975±0.505 | 8.908±0.439 | 1.067±0.36 |
| 2017A02086 | PI 407538 | 11.363±0.619 | 9.877±0.387 | 1.486±0.394 |
| 2017A02087 | PI 407539 | 11.349±0.693 | 8.884±0.336 | 2.465±0.561 |
| 2017A02088 | PI 407540 | 12.06±0.509 | 9.635±0.407 | 2.425±0.61 |
| 2017A02089 | PI 407541 | 11.251±0.866 | 10.006±0.587 | 1.245±0.754 |
| 2017A02090 | PI 407542 | 10.995±0.519 | 9.352±0.457 | 1.643±0.46 |
| 2017A02091 | PI 407543 | 10.465±0.607 | 9.433±0.487 | 1.032±0.51 |
| 2017A02092 | PI 407544 | 8.101±0.388 | 7.151±0.269 | 0.95±0.309 |
| 2017A02093 | PI 407545 | 8.877±0.746 | 8.286±0.896 | 0.591±0.416 |
| 2017A02094 | PI 407546 | 8.818±0.538 | 7.845±0.626 | 0.973±0.303 |
| 2017A02095 | PI 407547 | 8.726±0.759 | 7.762±0.594 | 0.964±0.404 |
| 2017A02096 | PI 407548 | 8.155±0.683 | 7.416±0.726 | 0.739±0.314 |
| 2017A02097 | PI 407549 | 8.007±0.366 | 7.319±0.253 | 0.688±0.256 |
| 2017A02098 | PI 407550 | 7.122±0.399 | 6.532±0.269 | 0.59±0.254 |
| 2017A02099 | PI 407551 | 7.844±0.316 | 6.849±0.308 | 0.995±0.288 |
| 2017A02100 | PI 407552 | 8.741±0.376 | 8.028±0.267 | 0.712±0.225 |
| 2017A02101 | PI 407553 | 8.092±0.578 | 7.564±0.51 | 0.528±0.375 |
| 2017A02102 | PI 407554 | 7.196±0.496 | 6.148±0.29 | 1.048±0.514 |
| 2017A02103 | PI 407555 | 8.893±0.327 | 8.255±0.532 | 0.638±0.436 |
| 2017A02104 | PI 407556 | 6.754±0.541 | 6.278±0.559 | 0.477±0.257 |
| 2017A02105 | PI 407557 | 8.418±0.725 | 7.338±0.561 | 1.081±0.37 |
| 2017A02106 | PI 407558 | 7.216±0.612 | 6.369±0.336 | 0.847±0.56 |
| 2017A02107 | PI 438898 | 6.569±0.317 | 6.365±0.246 | 0.204±0.261 |
| 2017A02108 | PI 452284 | 7.29±0.487 | 7.079±0.43 | 0.211±0.249 |
| 2017A02111 | PI 503519 | 10.751±0.618 | 9.787±0.59 | 0.963±0.413 |
| 2017A02112 | PI 503521 | 11.442±0.635 | 9.518±0.483 | 1.924±0.393 |
| 2017A02113 | PI 503523 | 12.511±0.899 | 10.46±0.499 | 2.051±0.67 |
| LA0114 |  | 10.39±0.435 | 8.537±0.323 | 1.853±0.361 |
| LA0373 |  | 9.084±0.566 | 8.162±0.521 | 0.922±0.529 |

附錄表二（續）、野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原外表型調查結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | #PI (USDA) | style length | stamen length | stigma exsertion |
| LA0400 |  | 10.442±0.575 | 8.726±0.531 | 1.716±0.465 |
| LA0411 |  | 9.746±0.671 | 7.887±0.461 | 1.859±0.581 |
| LA0442 |  | 8.16±0.521 | 7.872±0.504 | 0.288±0.29 |
| LA1236 |  | 9.868±0.432 | 9.529±0.399 | 0.339±0.444 |
| LA1237 |  | 7.481±0.685 | 7.953±0.391 | -0.472±0.604 |
| LA1245 |  | 8.367±0.761 | 7.253±0.411 | 1.113±0.761 |
| LA1280 |  | 6.67±0.352 | 6.202±0.324 | 0.468±0.418 |
| LA1301 |  | 7.525±0.766 | 7.383±0.668 | 0.142±0.643 |
| LA1335 |  | 6.327±0.425 | 5.64±0.355 | 0.687±0.221 |
| LA1348 |  | 11.575±0.863 | 10.055±0.71 | 1.52±0.548 |
| LA1380 |  | 7.428±0.588 | 7.459±0.361 | -0.031±0.42 |
| LA1381 |  | 13.399±0.53 | 10.632±0.44 | 2.768±0.416 |
| LA1382 |  | 12.195±0.756 | 10.067±0.67 | 2.128±0.413 |
| LA1466 |  | 10.926±0.602 | 9.79±0.607 | 1.136±0.483 |
| LA1469 |  | 7.739±0.855 | 7.493±0.482 | 0.246±0.822 |
| LA1478 |  | 9.816±0.325 | 8.562±0.37 | 1.253±0.411 |
| LA1514 |  | 6.368±0.379 | 6.141±0.324 | 0.228±0.248 |
| LA1521 |  | 7.467±0.655 | 7.032±0.666 | 0.435±0.308 |
| LA1547 |  | 6.4±0.321 | 6.105±0.248 | 0.295±0.339 |
| LA1578 |  | 9.378±0.523 | 8.086±0.293 | 1.292±0.518 |
| LA1580 |  | 12.424±0.773 | 10.169±0.792 | 2.255±0.728 |
| LA1582 |  | 11.996±0.716 | 10.238±0.492 | 1.758±0.711 |
| LA1583 |  | 11.275±0.523 | 9.361±0.353 | 1.914±0.416 |
| LA1585 |  | 8.676±0.403 | 7.232±0.39 | 1.443±0.274 |
| LA1586 |  | 11.698±0.847 | 10.182±0.607 | 1.516±0.696 |
| LA1587 |  | 11.249±0.422 | 9.617±0.304 | 1.631±0.362 |
| LA1589 |  | 9.019±0.651 | 8.028±0.671 | 0.991±0.304 |
| LA1591 |  | 7.891±0.502 | 7.86±0.309 | 0.031±0.471 |
| LA1593 |  | 9.823±0.809 | 8.279±0.637 | 1.544±0.43 |

附錄表二（續）、野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原外表型調查結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | #PI (USDA) | style length | stamen length | stigma exsertion |
| LA1595 |  | 7.352±0.304 | 7.059±0.347 | 0.293±0.21 |
| LA1596 |  | 7.777±0.326 | 6.682±0.453 | 1.095±0.367 |
| LA1601 |  | 7.037±0.372 | 6.518±0.426 | 0.519±0.237 |
| LA1602 |  | 6.831±0.358 | 6.304±0.312 | 0.527±0.301 |
| LA1606 |  | 8.988±0.487 | 7.489±0.362 | 1.499±0.357 |
| LA1617 |  | 8.787±0.628 | 7.378±0.67 | 1.408±0.351 |
| LA1628 |  | 9.9±0.958 | 8.572±0.882 | 1.327±0.314 |
| LA1645 |  | 7.417±0.424 | 6.997±0.449 | 0.42±0.213 |
| LA1659 |  | 8.769±0.397 | 8.002±0.411 | 0.767±0.208 |
| LA1670 |  | 7.95±0.479 | 7.123±0.355 | 0.827±0.286 |
| LA1683 |  | 11.008±0.695 | 8.839±0.404 | 2.169±0.598 |
| LA1686 |  | 12.412±1.225 | 11.489±0.939 | 0.923±1.22 |
| LA1687 |  | 12.487±0.929 | 10.693±0.449 | 1.793±0.811 |
| LA1689 |  | 6.96±0.281 | 6.612±0.301 | 0.348±0.278 |
| LA1720 |  | 8.016±0.491 | 7.372±0.345 | 0.644±0.362 |
| LA1729 |  | 7.816±0.316 | 7.212±0.44 | 0.604±0.422 |
| LA1923 |  | 6.207±0.427 | 6.263±0.391 | -0.056±0.309 |
| LA1924 |  | 7.86±0.496 | 7.289±0.729 | 0.571±0.36 |
| LA1933 |  | 6.132±0.517 | 5.402±0.313 | 0.729±0.351 |
| LA1936 |  | 6.646±0.274 | 6.183±0.371 | 0.462±0.298 |
| LA2146 |  | 11.267±0.578 | 9.902±0.499 | 1.364±0.495 |
| LA2149 |  | 7.238±0.369 | 6.879±0.405 | 0.359±0.165 |
| LA2181 |  | 11.106±0.7 | 9.732±0.583 | 1.374±0.322 |
| LA2389 |  | 10.2±0.641 | 8.395±0.492 | 1.805±0.475 |
| LA2390 |  | 8.153±0.255 | 7.893±0.415 | 0.26±0.408 |
| LA2533 |  | 6.654±0.556 | 6.337±0.415 | 0.317±0.41 |
| LA2645 |  | 10.588±0.572 | 9.412±0.72 | 1.175±0.675 |
| LA2647 |  | 9.849±0.6 | 9.443±0.516 | 0.407±0.583 |
| LA2653 |  | 10.104±0.329 | 8.852±0.551 | 1.252±0.446 |

附錄表二（續）、野生番茄（*S. pimpinellifolium*）種原外表型調查結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| accession | #PI (USDA) | style length | stamen length | stigma exsertion |
| LA2655 |  | 13.242±0.61 | 11.198±0.632 | 2.045±0.647 |
| LA2656 |  | 11.134±0.84 | 9.557±0.57 | 1.577±0.55 |
| LA3638 |  | 7.139±0.359 | 6.318±0.357 | 0.822±0.204 |

附錄表三、對照組 (A) 雄蕊長度；(B) 雌蕊長度；(C) 花柱外突長度 之變方分析（ANOVA）表

**(A)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Stamen Length | | | | | |
|  | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
| batch | 5 | 3.882 | 0.77632 | 0.7348 | 0.6006 |
| residuals | 53 | 55.993 | 1.05647 |  |  |

**(B)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Style Length | | | | | |
|  | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
| batch | 5 | 2.075 | 0.4149 | 0.1304 | 0.9848 |
| residuals | 53 | 168.604 | 3.1812 |  |  |

**(C)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Stigma Exsertion Length | | | | | |
|  | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
| batch | 5 | 1.867 | 0.37341 | 0.4056 | 0.8428 |
| residuals | 53 | 48.788 | 0.92053 |  |  |

附錄表四、 三個花柱外突相關性狀之Shapiro-Wilk統計量

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | stamen length | style length | stigma exsertion |
| 1st replicate | 1.1669e-04 | 2.3422e-08 | 1.0319e-04 |
| 2nd replicate | 6.3910e-08 | 1.0493e-09 | 3.9539e-05 |
| 3rd replicate | 8.1116e-06 | 3.0476e-08 | 1.5921e-04 |
| Overall replicates | 9.4899e-07 | 2.5750e-09 | 1.5806e-04 |
| Boxcox transform | 9.9753e-05 | 2.7284e-07 | NA |
| Yeojohnson transform | 9.0700e-05 | 2.3964e-07 | 6.1652e-02 |
| Quantile transform | 1.0000e+00 | 1.0000e+00 | 1.0000e+00 |