

人工授粉對百香果果實品質的影響

張芳魁¹

¹行政院農業委員會臺東區農業改良場斑鳩分場 助理研究員

摘 要

本研究主要探討人工授粉對百香果果實品質的影響，比較人工授粉與自然授粉的著果率與果實品質。試驗材料為‘台農1號’、‘滿天星’(蜜糖)及‘黃金’等3個臺灣主要的百香果品種，人工授粉以自身花粉為授粉親。試驗結果顯示，各品種人工授粉之著果率、果重、大小及種子數等均較自然授粉者高或多。‘台農1號’、‘滿天星’與‘黃金’人工授粉之著果率分別高於自然授粉者5.6、2.0及1.8倍；單果重分別增加27%、37%及19%。人工授粉對各品種的果實形狀、總可溶性固形物含量、可滴定酸含量及糖酸比的影響並不明顯，僅有人工授粉之‘滿天星’果汁總可溶性固形物含量及糖酸比顯著高於自然授粉者。總結來說，3個百香果品種經人工授粉，果實不僅可提高產量，果實的重量與大小也都有增加的趨勢。

一、前言

百香果 (*Passiflora edulis*) 係西番蓮科 (passifloraceae)、西番蓮屬 (*passiflora*) 多年生蔓性果樹，由於果汁風味特別，甜酸適中，色澤艷麗，又富含多種營養成分，成為一種世界性的飲料。目前臺灣以‘台農1號’種植面積最多，其次是‘滿天星’(或稱蜜糖)和‘黃金’百香果(圖1)。「台農1號」係農業試驗所鳳山分所於1975年，以紫色種(*Passiflora edulis* sim.) 和黃色種(*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*)雜交育成，是國內的主要栽培品種，栽培技術之研究較多；‘滿天星’與‘黃金’為近十年之流行品種，相關研究相對少。「台農1號」係自交親和的品種，不須人工授粉即能著果⁽¹⁾；黃色種百香果多有自交不親和性，需人工授粉才能著果^(1,12)，其不親和性屬於孢子體型遺傳系統⁽³⁾；‘滿天星’尚無文獻提到相關的資訊。人工授粉主要

是輔助自然環境下昆蟲授粉與自花授粉的不足，除了提高授粉的機會，對果實品質也會有顯著的影響。Banu(2009)研究指出，紫色種百香果經人工授粉著果率可達82.5%，而自然授粉僅15.0%；而Gachanja和Gurnah(1978)則提出，紫色種百香果自花授粉(隔絕任何授粉媒介)著果率即有60%，而自然授粉可達83%。Das等(2013)比較黃色種百香果自花授粉(隔絕任何授粉媒介)、自然授粉及人工授粉，著果率分別為3%、18%及37%，以人工授粉的種子數最多，而自然授粉的果實重量與大小則最高，果型指數(果實長寬比)也最大。Akamine和Girolami(1959)研究黃色種百香果指出，花粉在柱頭上的數量會決定著果量、種子數、果實重量及果實產量。綜上前人研究所述，授粉方式對不同百香果品種的著果及果實品質的影響有很大的差異。因此本研究擬調查人工授粉對國內主要的百香果栽培品種著果與果實品質的影響，作為產業應用上的參考。



圖1. 臺灣主要的百香果品種。(左至右：‘台農1號’、‘滿天星’及‘黃金’)
Fig. 1. Main passion fruit cultivars in Taiwan. (left to right: ‘Tainung no.1’, ‘Honey’ and ‘Golden’)

二、材料與方法

(一) 試驗材料與栽種方式

以「台農1號」、「滿天星」、「黃金」3個百香果品種之無病毒嫁接苗為試驗材料，2019年4月定植於斑鳩分場。為方便人工授粉與記錄花朵位置，試驗採籬壁式栽培，使枝條水平生長、垂直分布。籬壁式栽培係以水泥柱作支柱，間距6公尺，兩柱間以繩連繫，每繩上下相距15公分，共9條，每兩柱中間種1株。

(二) 試驗設計與處理

選定健康完好的植株，‘台農1號’ 2株、‘滿天星’ 3株及‘黃金’ 2株，在開花期於不同月份(8月至11月)隨機分配花朵進行人工授粉與自然授粉(CK)，田間試驗採完全逢機設計，‘台農1號’ 8月份各處理20朵、9月份60朵、10月份60朵花(每月為1重複，共3重複)；‘滿天星’ 8月份各處理100朵、9月份40朵、10月份20朵、11月份40朵(每月為1重複，共4重複)；‘黃金’ 9月份各處理50朵、10月份90朵、11月份30朵(每月為1重複，共3重複)。人工授粉係採自花授粉(授粉前後無隔絕任何授粉媒介)，以徒手摘取花藥，拿花藥觸碰自身柱頭，使花粉沾滿柱頭；自然授粉則在自然環境下任由昆蟲或花器自然碰觸授粉。授粉後，標記每一朵花的授粉方式及著果情形。著果後，果實用網袋套袋，待果實自行掉落再採收並調查品質。

(三) 果實品質調查

果實品質調查的數量，係根據著果成功且發育完好的果實數量決定，調查項目包括：果重、大小、果型指數、果皮厚度、可食率、種子數、總可溶性固形物含量、可滴定酸含量及糖酸比，說明如下：

1. 果重：以電子天平測量剪除果梗之果實重量。
2. 大小：以電子式游標尺測量果長與果寬，果長為果蒂端至果頂端之長度，果寬為果實赤道位置之直徑。
3. 果型指數：計算果長與果寬的比值。比值等於1，果實為圓形；比值大於1，果實偏長橢圓形；比值小於1，果實偏扁橢圓形。
4. 果皮厚度：以電子式游標尺測量果實橫切面之外殼加海綿組織的厚度，取2個位置平均。
5. 可食率：將可食部分挖出，包括果汁、假種皮及種子，秤其果皮的重量，計算可食重占全果的比例， $\text{可食率} = (\text{果重} - \text{果皮重}) \div \text{果重} \times 100\%$ 。
6. 種子數：計算充分轉色發育成熟的種子數目。

7. 總可溶性固形物含量：將可食部分挖出並過篩濾出果汁，以數位式屈折度計(Digital refractometer PAL-1, ATAGO)測定，單位為°Brix。
8. 可滴定酸含量：將可食部分挖出並過篩濾出果汁，以酸度計(Acidity titrator TA-70, TOA-DKK)測定，檸檬酸為當量基準，單位為%。
9. 糖酸比：計算出糖度與酸度的比值。

三、結果與討論

(一) 著果率

比較人工授粉與自然授粉花朵的著果率，兩者有顯著差異(表1)。「台農1號」8月至10月人工授粉的平均著果率為81%，自然授粉著果率14%，兩者相差5.6倍；「滿天星」8月至11月人工授粉的平均著果率73%，自然授粉著果率37%，兩者相差2.0倍；「黃金」9月至11月人工授粉的平均著果率37%；自然授粉著果率20%，兩者相差1.8倍。3個品種以人工授粉的著果率皆明顯高於自然授粉者。著果是由於花粉管順利進入子房中的胚珠，成功受精使果實發育，而著果率的增加與提高花粉接觸柱頭的機會有直接的關係，而人工授粉相較於自然環境中借助蟲媒傳播花粉，有更高的機會使花粉接觸柱頭，因此人工授粉有較高的著果率。

肖(2018)以自交親和的福建百香果1號(雜交種)比較人工授粉與自然授粉的著果率，結果與本試驗「台農1號」的表現相似，採人工授粉的著果率平均86.0%，自然授粉者僅7.6%。Nor等(2019)有不同的試驗結果，其紫色種人工授粉與自然授粉著果率分別為28.6%及25.5%，兩者沒有明顯差異，且著果率皆不高。這可能導因於不適合的栽培氣候，文中提到環境的日溫度在28-35°C，且栽培期間有大雨發生。對於自交親和的紫果品系，天氣好，人工或自然授粉效果都好；天氣極差，人工或自然授粉同樣都受影響。黃等(2008)研究指出，「台農1號」百香果藉由蜜蜂授粉，著果率可超過80%，但日最高溫度高於27°C時，著果率會降低，溫度達32°C則無法著果，結果顯示蜜蜂最適授粉溫度為21-27°C。研究也指出，中華蜜蜂(*Apis cerana*

cerana)授粉之著果率高於義大利蜜蜂(*Apis mellifera ligustica*)授粉者，顯示蜜蜂種類也是影響著果率的原因之一。本研究栽培管理過程，有觀察到蜜蜂造訪花朵，不過自然授粉存在較多不確定因素，天氣與附近農藥的使用皆有可能導致蜜蜂授粉減少，因此本試驗人工授粉的著果率較高且穩定。

許多文獻指出黃色種百香果多為自交不親和^(1,3,5)，但本研究對黃色種的‘黃金’採自花人工授粉，其著果率同樣有提高的現象，表示‘黃金’屬於可自交親和的品種。然而與另外兩品種相比，‘黃金’人工授粉的著果率仍偏低，這可能是受原本自交不親和性的影響，以及品種本身對不利環境因素較為敏感，受影響程度較大的關係。

表1. 臺灣3個主要百香果品種人工授粉與自然授粉的著果率

Table 1. Percent fruit set of hand and natural pollination in three passion fruit cultivars.

	‘台農1號’ ‘Tainung No1.’		‘滿天星’ ‘Honey’		‘黃金’ ‘Golden’	
	Hand-pollination	Natural-pollination	Hand-pollination	Natural-pollination	Hand-pollination	Natural-pollination
August	90%	25%	65%	31%		
September	77%	12%	75%	10%	44%	16%
October	75%	7%	90%	55%	52%	40%
November			60%	50%	13%	3%
Average ^z	81%**	14%	73%*	37%	37%*	20%

^z* and ** indicate difference significantly at 5% and 1% levels, respectively by T-test.

(二) 果實重量

比較人工授粉與自然授粉的果實重量，兩者有顯著差異(表2、3、4)。「台農1號」人工授粉的果實，平均104.0公克，自然授粉的果實平均81.8公克；「滿天星」人工授粉的果實，平均118.7公克，自然授粉的果實平均86.4公克；「黃金」人工授粉的果實，平均111.7公克，自然授粉的果實平均94.2公克。結果顯示，人工授粉的果實明顯較自然授粉的果實重，「台農1號」、「滿天星」及「黃金」果實分別增加22.2、32.3及17.5公克，分別提升單果27%、37%及19%重量。人工授粉增加花粉管進入子房受精的數量，促進果實發育，使得果重

增加。肖(2018)有相似的結果，研究指出經人工授粉單果重為90.3公克，自然授粉的單果重82.6公克，顯示在相同管理條件下，人工授粉可提升單果重9.3%。Akamine和Girolami(1959)也指出，黃色種百香果以人工授粉單果重為112.2公克，自然授粉單果重僅62.2公克，經人工授粉的單果重增加了80%。綜上所述，品種不同，授粉方式影響果實重量的程度差異很大。

表2. '台農1號'百香果人工授粉與自然授粉的果實品質

Table 2. Effects of hand and natural pollination on fruit qualities of 'Tainung No.1' passion fruit.

	Hand- pollination	Natural- pollination	Significance ^z
Weight (g)	104.0	81.8	*
Length (mm)	67.9	63.7	*
Breadth (mm)	66.3	61.2	*
Length/breadth ratio	1.03	1.04	ns
Peel thickness (mm)	7.0	6.5	ns
Percentage of pulp (%)	43.5	39.4	*
Number of seeds	167	121	*
Total soluble solids (°Brix)	19.0	18.8	ns
Titrateable acidity (%)	3.18	3.38	ns
Sugar/acid ratio	6.1	5.6	ns

^z ns, *, and ** indicate non-significant, significant at 5% and 1% levels, respectively by T-test. (n=12)

表3. '滿天星'百香果人工授粉與自然授粉的果實品質

Table 3. Effects of hand and natural pollination on fruit qualities of 'Honey' passion fruit.

	Hand-pollination	Natural-pollination	Significance ^z
Weight (g)	118.7	86.4	**
Length (mm)	71.5	67.2	**
Breadth (mm)	69.5	62.7	**
Length/breadth ratio	1.03	1.07	**
Peel thickness (mm)	9.6	9.6	ns
Percentage of pulp (%)	45.2	38.3	**
Number of seeds	158	115	**
Total soluble solids (°Brix)	17.0	15.8	**
Titrateable acidity (%)	1.52	1.60	ns
Sugar/acid ratio	12.4	10.7	**

^z ns, *, and ** indicate non-significant, significant at 5% and 1% levels, respectively by T-test. (n=60)

表4. ‘黃金’百香果人工授粉與自然授粉的果實品質

Table 4. Effects of hand and natural pollination on fruit qualities of ‘Golden’ passion fruit.

	Hand- pollination	Natural-pollination	Significance ^z
Weight (g)	111.7	94.2	**
Length (mm)	69.8	65.4	**
Breadth (mm)	66.6	62.3	**
Length/breadth ratio	1.05	1.05	ns
Peel thickness (mm)	10.2	9.6	*
Percentage of pulp (%)	40.9	39.4	ns
Number of Seeds	187	156	**
Total soluble solids (°Brix)	18.2	18.3	ns
Titratable acidity (%)	2.86	2.60	ns
Sugar/acid ratio	6.8	7.3	ns

^z ns, *, and ** indicate non-significant, significant at 5% and 1% levels, respectively by T-test. (n=30)

(三) 果實大小與形狀

比較人工授粉與自然授粉的果實大小，兩者有明顯差異。調查結果顯示，人工授粉的果長與果寬皆大於自然授粉者(表2、3、4)。人工授粉因促進果實發育，除了果重增加，體積也增加，結果與前人研究相同^(2,5,11)。形狀方面，僅‘滿天星’，人工授粉與自然授粉兩者有顯著差異，經人工授粉的果實較呈圓形(果型指數1.03)，自然授粉的果實較長橢圓形(果型指數1.07)。Nor等(2019)對紫色種百香果的研究指出，自然授粉的果型指數(1.05)大於人工授粉者(0.96)。Das等(2013)則亦認為，黃色種百香果的果型指數以自然授粉者為最大，為長橢圓形，其次是人工授粉，最小是自花授粉(隔絕任何授粉媒介)，形狀最接近圓形，授粉方法對果實形狀的影響有顯著差異。Akamine和Girolami(1959)則提出不同的看法，黃色種百香果人工授粉的果型指數1.07，大於自然授粉者1.04，人工授粉果實形狀較偏長橢圓形。由上述得知，授粉方式對果型的影響，在各品種間表現不一樣。

(四) 果皮厚

比較人工授粉與自然授粉的果皮厚度，兩者僅‘黃金’有顯著的

差異(表4)，經人工授粉的果實有較厚的果皮。本試驗所量測的果皮厚度包含外殼與海綿組織(圖2)，結果顯示，‘黃金’人工授粉不僅增加果實的大小，內部海綿組織加外殼的厚度也增加。‘台農1號’因為品種特性的關係，果腔內無海綿組織的結構，內壁僅有1層薄膜(圖3)，果皮厚度即外殼的厚度，人工授粉之果實大小有增加，但對果皮厚度影響不大。Lage等(2018)試驗8個品種表示，人工授粉對果皮(外殼)厚度的影響並不顯著。Krause等(2012)試驗7個品種則顯示，人工授粉的果皮(外殼)厚度顯著小於自然授粉者。因此不同品種之間，授粉方式對果皮厚度的影響，表現也不一樣。



圖2. 百香果品種之果實橫切面。(左至右：‘台農1號’、‘滿天星’、‘黃金’)
Fig. 2. Fruit profile of three passion fruit cultivars. (left to right: ‘Tainung No.1’, ‘Honey’ and ‘Golden’)



圖3. ‘台農1號’果實之橫切面。(左：果肉挖出前；右：果肉挖出後)
Fig. 3. Fruit profile of ‘Tainung No.1’. (Left: before pulped; right: after pulped)

(五)可食率

比較人工授粉與自然授粉果實的可食率，結果顯示，兩者在‘台農1號’與‘滿天星’有顯著差異(表2、3)。經人工授粉果實有較高的可食率，‘台農1號’與‘滿天星’兩者分別增加4.1%及6.9%。許多研究都有同樣的結果，Krause等(2012)試驗顯示，7個品種可食率人工授粉平均高自然授粉者5.2%；Lage等(2018)表示，8個品種可食率人工授粉平均高自然授粉者10.4%；Akamine和Girolami(1959)研究黃色種結果顯示，人工授粉可食率高自然授粉者12.4%。而本試驗‘黃金’的人工授粉與自然授粉可食率則沒有顯著差異，可能是該品種內部海綿組織結構較為厚實，限制假種皮內果汁累積的關係。從品質調查結果得知，‘黃金’人工授粉果實較大，果皮(包含海綿組織)也較厚，使得可食部分占全果的比例改變不大(表4)；而同樣有海綿組織結構的‘滿天星’，人工授粉果實較大，但果皮沒有較厚，表示相對果腔的空間較多，因此它的人工授粉可食率較高，且達顯著水準(表3)。

(六)種子數

種子數方面，3個品種人工授粉之果實種子明顯較自然授粉者多。成熟種子是由胚珠順利受精發育而來，人工授粉因柱頭充分沾滿花粉，增加胚珠受精的數量，因此人工授粉會提高成熟種子的數量。而成熟種子被假種皮包覆並伴隨果汁的儲存，因此種子數越多連帶假種皮越多，假種皮增加果汁量也跟著增加，果實的種子數與果實重量、大小、可食率都呈現正相關性，與前人研究有相同的結論。Akamine和Girolami(1959)研究顯示，黃色種人工授粉的種子數277粒高於自然授粉的110粒，多了167粒；而本試驗‘台農1號’、‘滿天星’及‘黃金’以人工授粉種子數分別增加46、43及31粒，與前人研究結果有落差，可能是因品種差異，本身胚珠數不同的關係。

(七)總可溶性固形物含量、可滴定酸含量及糖酸比

比較人工授粉與自然授粉果實的總可溶性固形物含量、可滴定酸含量及糖酸比，結果顯示，‘滿天星’兩者的總可溶性固形物含量

與糖酸比有顯著差異，其餘的統計上皆沒有顯著差異(表2、3、4)。「滿天星」人工授粉的總可溶性固形物含量17.0°Brix，顯著高於自然授粉的15.8°Brix；人工授粉的糖酸比12.4，顯著高於自然授粉的10.7。前人研究結果不盡相同，肖(2018)研究指出，福建百香果1號人工授粉的可溶性固形物含量16.6°Brix，與自然授粉的16.8°Brix相當，沒有明顯差異；Lage等(2018)表示，8個栽培品種人工授粉的果實可溶性固形物、酸度、糖酸比，與自然授粉者沒有顯著差異；而Krause等(2012)試驗結果顯示，7個栽培品種人工授粉與自然授粉的可溶性固形物含量有顯著差異，平均分別是13.6與14.0°Brix。綜上所述，果實糖度受不同授粉方式的影響，在不同品種間表現不一樣，而酸度則沒有顯著性差異。

四、結論

人工授粉是輔助自然環境下昆蟲授粉與自花授粉的不足，增加花粉接觸柱頭的機會，進而增加結果的數量。本研究調查結果顯示，人工授粉能增加百香果著果率、果重、大小、可食率及種子數，除了「滿天星」人工授粉有較高的糖度與糖酸比，其餘對果實形狀、糖度、酸度及糖酸比的影響不明顯。人工授粉對果實品質的影響，不同品種之間表現有很大差異。期望本研究調查結果，能作為人工授粉在臺灣百香果產業上應用的依據。

參考文獻

1. 李文立、林榮貴。2008。百香果的栽培管理。農業試驗所技術服務74：4-8。
2. 肖蘭芝。2018。大棚百香果授粉試驗初探。現代園藝12：35-36。
3. 卓俊銘、許圳塗、曾夢蛟。2008。百香果自交不親和性與花粉發芽之研究。興大園藝33：42-52。
4. 黃仁才、高景林、吳朝波、韓文素、趙冬香。2018。中華蜜蜂和義大利蜜蜂為設施百香果授粉效果觀察。熱帶農業工程43(3)：7-10。

5. Akamine, E.K. and G. Girolami. 1959. Pollination and fruit set in the yellow passion fruit. Hawaii Agr. Expt. Sta. Tech. Bul. 59: 44.
6. Banu, M.B., M.Q.I. Matin, T. Hossain, and M.M. Hossain. 2009. Flowering behaviour and flower morphology of passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.). Int. J. Sustain. Crop Prod. 4(4):05-07.
7. Das, M.R., T. Hossain , M.A.B. Mia, J. U. Ahmed, A.J.M.S. Karim, and M.M. Hossain. 2013. Fruit setting behaviour of passion fruit. Am. J. Plant Sci. 4:1066-1073.
8. Gachanja, S.P. and A.M. Gurnah. 1978. Flowering and fruiting of purple passion fruit at Thika. E. Afr. Agric. For. J. 44(1): 47-51.
9. Krause, W., L.G. Neves, A. P. Viana, C.A.T. Araújo, and F. G. Faleiro. 2012. Productivity and fruit quality of yellow passion fruit cultivars with or without artificial pollination. Pesq. Agropec. Bras. 47(12):1738-1742.
10. Lage , L.A., W. Krause, C.A. Silva, D.C. Dias, M. Ambrósio, and S.S.O. Cobra. 2018. Morphometry, floral resources and efficiency of natural and artificial pollination in fruit quality in cultivars of sour passion fruit. Rev. Bras. Frutic. 40(3):1-10.
11. Nor, S. M., P. Ding, and C. S. Yeat. 2019. Role of assisted pollination in fruit shape of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.) Int. J. Agric. For. Plant. 8:128-133.
12. Schotsmans, W.C. and G. Fischer. 2011. 7-Passion fruit (*Passiflora edulis* Sim.) Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. p125-143.