

# 運用氣象資料預測當期荔枝產量之可行性研究

方信秀<sup>1</sup> 邱國棟<sup>2</sup> 徐智政<sup>1</sup> 李文立<sup>3,\*</sup>

## 摘要

方信秀、邱國棟、徐智政、李文立。2022。運用氣象資料預測當期荔枝產量之可行性研究。台灣農業研究 71(4):343–357。

荔枝產量每年受到冬季氣溫影響甚劇，低溫可刺激花芽穩定分化，但遇到暖冬則因花芽分化不穩定與開花比例下降導致減產。本研究調閱主產區鄰近氣象站過去 9 年 11 月至隔年 2 月的氣象資料，將每日處於 10–35°C 的小時數加總後，依荔枝品種不同分別與當期批發市場荔枝交易總量進行回歸分析。結果顯示 12 月的氣溫與當期的產量相關性最高，並以『較長的低溫期』比『較寒冷的溫度』對產量的影響更關鍵，「玉荷包」、「黑葉」與「糯米糍」荔枝分別在每日低於 24°C、13°C 與 22°C 的小時數加總與當期產量進行回歸分析的決定係數 ( $R^2$ ) 可達 0.6938、0.8578 與 0.8215。本研究結果顯示，未來可依荔枝品種不同，將產區 12 月低於特定溫度的小時數加總後帶入回歸方程式計算，即可提早預估當年度的荔枝產量。此創新方法可作為農政單位產銷調節，或荔枝產銷業者提早規劃內外銷訂單之參考資料。

**關鍵詞：**荔枝、產量、暖化、氣象資料。

## 前言

荔枝 *Litchi chinensis* Sonn.) 為無患子科常綠果樹，花芽分化受到溫度、水分逆境及枝條成熟度所影響 (O'Hare 2002; Malhotra *et al.* 2018; Su *et al.* 2021)。溫度可決定新芽發展為葉片或是花朵 (Menzel *et al.* 1989)，惟必需有一段足夠的低溫期才可誘導花芽分化 (Chen & Huang 2005; Chen *et al.* 2013)。冬季低溫誘導荔枝花芽分化成花芽混合葉芽基體 (rudimentary leaves) 及花芽基體 (panicle primordia)，若持續處於足夠低的溫度，葉芽基體則停止生長，花芽基體則持續發展為完整的圓錐花序。暖冬或暖春可使葉芽基體持續生長為完整葉片，而花芽基體則停止生長或萎縮，也可能形成帶葉花序，影響開花率 (Zhou *et al.* 2008, 2012; Yang *et al.* 2017)。由於全球暖化，暖冬或是溫暖的春天會抑制花芽分化或花芽敗育而影響荔枝產量 (Kumar 2014; Liu *et al.* 2019)。

依據 2020 年農糧署農業統計年報顯示，台灣荔枝的栽培面積為 9,727 ha ([https://agr.afa.gov.tw/afa/afa\\_frame.jsp](https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp))。另依農產品批發市場交易行情站資料顯示，台灣批發市場交易主要荔枝品種為「黑葉」、「玉荷包」、「竹葉黑」、「糯米糍」及「桂味」。因不同荔枝品種對誘導花芽分化的低溫需求不同，在台灣長期栽培下不同荔枝品種逐漸形成各自產地。「黑葉」荔枝集中於台中、南投與彰化，「玉荷包」荔枝集中於高雄與屏東，「竹葉黑」荔枝產地分散於嘉義、台南、台中。「糯米糍」荔枝主要集中為南投、台中。「桂味」荔枝則分布於台中、南投、新竹 (Zhang & Teng 2011)。

由於冬季氣溫偏高影響荔枝開花著果穩定性，若冬季有足夠低溫期，則開花率普遍較穩定。有學者利用氣象資料進行荔枝產量推估，營養生長期及開花期的降雨對產量有負面影響，抽花穗期每日最低溫和開花期每日最高溫

投稿日期：2022 年 3 月 1 日；接受日期：2022 年 8 月 31 日。

\* 通訊作者：wenlly@tari.gov.tw

<sup>1</sup> 農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系助理研究員。台灣 高雄市。

<sup>2</sup> 農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系副研究員兼系主任。台灣 高雄市。

<sup>3</sup> 農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所研究員兼分所長。台灣 高雄市。

之溫度較高時產量較高，不同的荔枝品種對氣溫變化的敏感度不同。中國大陸東莞荔枝種植面積約 1.4 萬公頃，以「糯米糍」、「桂味」及「懷枝」為主要栽培品種，使用結果大小年對比當年度氣象資料，結果顯示以 1 月上旬的平均氣溫與當年荔枝產量密切，相關係數  $r = -0.5443$ ，表示平均氣溫及產量呈現負相關 (Wang 2001; Qi & OuYang 2017, 2019)。

因低溫具有誘導荔枝芽點休眠與刺激花芽分化的功能，但目前對於「低溫期較久」與「較冷的低溫」哪個對荔枝產量較關鍵尚不明瞭。本研究調閱氣象資料，使用每個月低於高溫臨界溫度的「度數」加總，以此數值呈現當月份「是否夠寒冷」。舉例來說：將高溫臨界溫度為 35°C 計算時，若某小時溫度為 30°C，則低於 35°C 以下的度數為 5°C；或是某小時溫度為 10°C，低於 35°C 以下的度數則為 25°C，當把整個月份每小時低於 35°C 以下的度數加總數值愈大，代表當月份愈寒冷。所以「高溫臨界溫度以下的度數」加總數值愈大，若批發市場荔枝「銷售量」也愈多時，兩者即呈現正相關。又本研究中使用每個月低於高溫臨界溫度的「小時數」加總，為呈現當月份「低溫期是否夠久」。舉例來說：臨界溫度為 20°C 計算時，當天 24 h 中有 5 h 低於 20°C 時，則取得數值為 5；當天 24 h 中有 18 h 低於 20°C 時，則取得數值為 18。若把整個月份低於 20°C 的小時數加總數值愈大，代表當月份低溫期較久。所以「高溫臨界溫度以下的小時數」加總數值愈大，若批發市場荔枝「銷售量」也愈多時，兩者即呈現正相關。

本研究利用不同荔枝品種主產區 2013–2022 年的氣象站資料，各別使用 10–35°C 之間的氣溫作為為高溫臨界溫度，加總每個月份的高溫臨界溫度以下「度數」與「小時數」加總，與全台批發市場的荔枝交易總量，進行回歸分析。推估影響荔枝產量最相關月份的氣象資料，並觀察不同高溫臨界溫度條件的決定係數 ( $R^2$ )，以最高的決定係數條件，運用回歸方程式於產期前提早推估該期荔枝產量，以推估「低溫期較久」與「較冷的低溫」那個對荔枝產量較關鍵，分析結果另可作為農政單位或荔枝產業

提早進行農業政策研擬或內外銷規劃之重要參考資料。

## 材料與方法

### 氣象資料取得

本研究選定 5 個台灣主要荔枝栽培品種之主產地鄰近氣象站為資料來源，全數氣象資料由中央氣象局觀測資料查詢網站 (<http://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>) 下載。「玉荷包」荔枝資料來源為高雄溪埔站 (C0V350，經度 120.4467E、緯度 22.7385N)，「黑葉」荔枝資料來源為台中中竹林站 (C0F9A0，經度 120.751061E、緯度 24.103556N)，「竹葉黑」荔枝資料來源為嘉義站 (467480，經度 120.432906E、緯度 23.495925N)，「糯米糍」資料來源為南投草屯站 (C0H960，經度 120.680850E、緯度 23.973672N)，「桂味」資料來源為新竹寶山站 (C0D580，經度 121.025192E、緯度 24.735006N)。因部分氣象站為 2013 年新架設，所以統一取用 2013–2022 年 11、12、1 和 2 月等 4 個月份的每日氣象資料，每日的氣象資料以 1 h 為 1 個資料點，每日有 24 筆資料。每個氣象站共取得 25,920 h 的資料進行分析。高雄站 (467441，經度 120.312389E、緯度 22.730500N) 與台中站 (467490，經度 120.6840E、緯度 24.1457N) 1995–2021 年氣象資料亦由上述網站取得。

### 荔枝批發市場交易量資料取得

荔枝銷售管道包括網路直銷、大賣場、超商、團購、外銷、行口、批發市場及產地直銷等多元銷售方式，要精準估算當年荔枝產量實屬不易。本研究直接取用「批發市場的交易總量」作為回歸分析基礎資料，主要是因批發市場清楚記錄每筆荔枝交易資料，涵括全台數千個荔枝農戶銷售資料。因樣本數量多，有豐產年銷售量較多、減產年銷售量較少之特性，且批發市場包括台北市、台北二、台北一、板橋區、三重區、宜蘭市、桃農、台中市、豐原區、東勢區、南投市、嘉義市、高雄市、鳳山區及台東市等 15 個市場，平均分布全台，對於荔枝產量具有相當的代表性。

不同荔枝品種當年的產量，以批發市場的總交易量作為參考資料。於農產品批發市場交易行情站網站 (<https://amis.afa.gov.tw/main/Main.aspx>)，分別取得 2014–2022 年的「玉荷包」、「黑葉」、「竹葉黑」、「糯米糍」及「桂味」荔枝每年於所有批發市場的交易總量。因網站資料無法顯示到貨荔枝產區，本研究直接依各品種批發市場交易總量進行回歸分析。

### 資料整理及回歸分析

所有資料整理、製表及回歸分析使用 Microsoft Excel 2016 進行。先撰寫巨集資料，執行巨集將氣象資料各別自動匯入，並同時自動分析資料。本研究將臨界溫度範圍設為 10–35°C，並特別將高溫臨界溫度設於 35°C 的高溫標準，目的為涵蓋大部分的溫度資訊，設於 35°C 時可同時瞭解高溫期與低溫期的資訊；如果臨界溫度最高只設於 25°C 以下的溫度，只可得知是否有足夠的低溫期，但卻無法瞭解是否有過多的高溫期促進營養生長或抑制花芽分化。

巨集資料匯入每日氣象資料，即可自動計算『每個月低於高溫臨界溫度的小時數總合』以及『每個月低於高溫臨界溫度的度數總合』，最後再將取得的數值分別和『當季批發市場總交易量』進行回歸分析。

因過去不瞭解溫度影響荔枝產量最關鍵的月份與臨界溫度，觀察 5 個不同荔枝品種的回歸分析結果，先找出決定係數 ( $R^2$ ) 平均值最高的月份，再找出決定係數最高之臨界溫度，即以此臨界溫度的回歸方程式作為預估未來產量使用。

## 結果

### 『低於高溫臨界溫度以下的小時數加總』氣象資料與批發市場荔枝總交易量相關性分析結果

綜合比較「玉荷包」、「黑葉」、「竹葉黑」、「糯米糍」及「桂味」等 5 種荔枝品種『11 月、12 月、1 月、2 月、12–1 月與 11–2 月低於臨界溫度以下的小時數加總』與『當期批發市場荔枝總量』之相關性分析 (圖 1、2、3、4、5)。

結果顯示，不同月份決定係數的平均值，以 12 月之決定係數最高。

進一步觀察 12 月份資料，「玉荷包」荔枝批發市場總交易量與臨界溫度 24°C 以下小時數總合之決定係數 ( $R^2$ ) 0.6938 最高 (圖 1A)。「黑葉」荔枝批發市場總交易量與臨界溫度 13°C 以下小時數總合之決定係數 ( $R^2$ ) 0.8578 最高 (圖 2A)；「竹葉黑」荔枝批發市場總交易量與臨界溫度 20°C 以下小時數總合之決定係數 ( $R^2$ ) 0.5224 最高 (圖 3A)；「糯米糍」荔枝批發市場總交易量與臨界溫度 22°C 以下小時數總合之決定係數 ( $R^2$ ) 0.8215 最高 (圖 4A)；「桂味」荔枝批發市場總交易量與臨界溫度 28°C 以下小時數總合之決定係數 ( $R^2$ ) 0.2915 最高 (圖 5A)。

### 『低於臨界溫度以下的度數總合』氣象資料與批發市場荔枝總交易量相關性分析結果

綜合比較「玉荷包」、「黑葉」、「竹葉黑」、「糯米糍」及「桂味」等 5 種荔枝品種『11 月、12 月、1 月、2 月、12–1 月與 11–2 月低於臨界溫度以下的度數總合』與『當期批發市場荔枝總量』之相關性分析 (圖 1、2、3、4、5)。結果顯示不同月份決定係數的平均值，也以 12 月之決定係數最高。

進一步觀察 12 月份資料，「玉荷包」荔枝批發市場總交易量與臨界溫度 30°C 以下的度數總合之決定係數 ( $R^2$ ) 0.3537 最高 (圖 1B)。「黑葉」荔枝批發市場總交易量與臨界溫度 15°C 以下度數加總之決定係數 ( $R^2$ ) 0.8638 最高 (圖 2B)；「竹葉黑」荔枝批發市場總交易量與臨界溫度 35°C 以下度數加總之決定係數 ( $R^2$ ) 0.4468 最高 (圖 3B)；「糯米糍」荔枝批發市場總交易量與臨界溫度 28°C 以下度數加總之決定係數 ( $R^2$ ) 0.8268 最高 (圖 4B)；「桂味」荔枝批發市場總交易量與臨界溫度 35°C 以下度數加總之決定係數 ( $R^2$ ) 0.0798 最高 (圖 5B)。

### 以各品種 12 月最高決定係數之回歸方程式推估當期荔枝品種產量

據各品種 12 月最高決定係數的臨界溫度條件下，導出回歸方程式，以作為未來產量預估使用 (表 1、2 及圖 6)。結果顯示，5 個荔枝

(A)	Coefficients of determination ( $R^2$ )						(B)	Coefficients of determination ( $R^2$ )					
	Critical temperature	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Dec.– Jan.		Nov.– Feb.	Critical temperature	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
35°C	0.0183	0.1091	0.1272	0.0004	0.1202	0.0530	35°C	0.0074	0.3467	0.0224	0.0082	0.2394	0.1114
34°C	0.0123	0.1091	0.1272	0.0004	0.1202	0.0489	34°C	0.0078	0.3486	0.0234	0.0082	0.2415	0.1131
33°C	0.0046	0.1091	0.1272	0.0004	0.1202	0.0422	33°C	0.0082	0.3505	0.0243	0.0082	0.2436	0.1147
32°C	0.0193	0.0737	0.1272	0.0006	0.1061	0.0117	32°C	0.0083	0.3523	0.0253	0.0082	0.2457	0.1161
31°C	0.1238	0.0103	0.1272	0.0212	0.0354	0.0262	31°C	0.0075	0.3536	0.0263	0.0082	0.2472	0.1165
30°C	0.3863	0.1504	0.0531	0.1249	0.0127	0.2605	30°C	0.0043	0.3537	0.0272	0.0078	0.2482	0.1139
29°C	0.3899	0.2247	0.0010	0.1190	0.1069	0.2925	29°C	0.0004	0.3532	0.0277	0.0067	0.2487	0.1073
28°C	0.2820	0.3330	0.0674	0.1296	0.2250	0.2862	28°C	0.0012	0.3516	0.0272	0.0052	0.2476	0.0980
27°C	0.2306	0.4711	0.1079	0.1245	0.3414	0.3015	27°C	0.0065	0.3446	0.0249	0.0033	0.2405	0.0859
26°C	0.0042	0.6152	0.1694	0.1268	0.4687	0.3220	26°C	0.0086	0.3288	0.0212	0.0016	0.2255	0.0743
25°C	0.0789	0.6258	0.2322	0.0844	0.5092	0.2773	25°C	0.0046	0.3034	0.0150	0.0004	0.1997	0.0632
24°C	0.0904	0.6938	0.1698	0.0299	0.5277	0.2047	24°C	0.0006	0.2694	0.0087	0.0000	0.1654	0.0523
23°C	0.0280	0.6248	0.1305	0.0005	0.4674	0.1145	23°C	0.0005	0.2349	0.0045	0.0000	0.1337	0.0450
22°C	0.0006	0.5171	0.0125	0.0071	0.3250	0.0585	22°C	0.0041	0.2050	0.0027	0.0000	0.1102	0.0415
21°C	0.0091	0.3492	0.0003	0.0152	0.2071	0.0446	21°C	0.0056	0.1819	0.0028	0.0001	0.0966	0.0400
20°C	0.0158	0.2842	0.0076	0.0157	0.1395	0.0302	20°C	0.0040	0.1647	0.0042	0.0011	0.0890	0.0425
19°C	0.0112	0.2599	0.0000	0.0179	0.1391	0.0293	19°C	0.0002	0.1469	0.0062	0.0049	0.0811	0.0467
18°C	0.0014	0.1847	0.0232	0.0129	0.1599	0.0407	18°C	0.0030	0.1238	0.0064	0.0154	0.0643	0.0487
17°C	0.0005	0.1882	0.0597	0.0035	0.2023	0.0703	17°C	0.0165	0.1080	0.0039	0.0374	0.0430	0.0485
16°C	0.0191	0.1082	0.0255	0.0258	0.1016	0.0772	16°C	0.0320	0.0832	0.0011	0.0627	0.0208	0.0413
15°C	0.1078	0.0919	0.0057	0.0816	0.0461	0.0729	15°C	0.1364	0.0869	0.0002	0.0719	0.0120	0.0343
14°C	0.0000	0.1040	0.0002	0.1363	0.0212	0.0697	14°C	0.0000	0.0897	0.0000	0.0518	0.0061	0.0209
13°C	0.0000	0.0700	0.0071	0.1681	0.0257	0.0809	13°C	0.0000	0.0999	0.0000	0.0160	0.0031	0.0074
12°C	0.0000	0.0264	0.0250	0.0534	0.0340	0.0508	12°C	0.0000	0.1472	0.0035	0.0002	0.0003	0.0000
11°C	0.0000	0.2316	0.0114	0.0206	0.0275	0.0290	11°C	0.0000	0.2593	0.0230	0.0097	0.0160	0.0140
10°C	0.0000	0.2630	0.0065	0.0008	0.0013	0.0012	10°C	0.0000	0.2630	0.0541	0.0475	0.0527	0.0523
Average	0.0705	0.2626	0.0674	0.0508	0.1766	0.1114	Average	0.0103	0.2404	0.0149	0.0148	0.1355	0.0634

圖 1. 高雄溪埔站 2013–2022 年氣象資料與當年度「玉荷包」荔枝批發市場交易量之相關性分析。(A) 『不同月份低於臨界溫度以下的小時數加總』與『當期批發市場「玉荷包」荔枝總量』之決定係數 ( $R^2$ )；(B) 『不同月份低於臨界溫度以下的度數加總』與『當期批發市場「玉荷包」荔枝總量』之決定係數 ( $R^2$ )。相關係數大小以紅色深淺背景表示。

Fig. 1. Correlation analysis of meteorological data collected at Kaohsiung Xipu and the auction market sold litchi amount of 'Yu-Her-Bao' litchi during 2013–2022. (A) The coefficients of determination ( $R^2$ ) of accumulated daily hours below the threshold low temperature in different months and auction market sold litchi amount in the current year; (B) The coefficients of determinations ( $R^2$ ) of accumulated temperature degrees below the threshold low temperature in different months and auction market sold litchi amount in the current year. The numerical value of the coefficients of determination is represented by the shade of red background.

品種於 12 月份最高決定係數的臨界溫度不同，於決定係數最高的臨界溫度條件下，臨界溫度以下的度數與小時數加總和批發市場的銷售量皆呈現正相關的趨勢，表示荔枝於 12 月愈低溫或低溫期愈長，當期的荔枝銷售量就愈多。

## 討論

荔枝需經過適當的低溫期，才可以刺激花芽分化，不同荔枝品種對低溫的需求程度不一。Zhang *et al.* (1997) 將「糯米糍」以 15°C/

13°C 下處理 15 wk，枝梢開花率為 85.4%，20°C/15°C 下為 5.9%，25°C/20°C 下無開花。或將 7 種荔枝品種於白天、夜晚溫度設定為 30°C/25°C、25°C/20°C、20°C/15°C 及 15°C/10°C 等 4 種溫度，結果在 30°C/25°C、25°C/20°C 處理完全沒有開花，15°C/10°C 則全數可誘導花芽分化，其中有 5 個品種有帶葉花序，而 20°C/15°C 處理條件下，7 個品種皆有不同比例的不開花、帶葉花序與全開花結果 (Menzel & Simpson 1988)。

本研究分別進行『低於高溫臨界溫度以下

(A) Coefficients of determination ( $R^2$ )							(B) Coefficients of determination ( $R^2$ )						
Critical temperature	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Dec.–Jan.	Nov.–Feb.	Critical temperature	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Dec.–Jan.	Nov.–Feb.
35°C	0.0723	0.0192	0.0334	0.0691	0.0277	0.0520	35°C	0.4186	0.7322	0.2029	0.1075	0.5487	0.5023
34°C	0.0723	0.0192	0.0334	0.0691	0.0277	0.0520	34°C	0.4288	0.7336	0.2049	0.1087	0.5511	0.5070
33°C	0.0723	0.0192	0.0334	0.0691	0.0277	0.0520	33°C	0.4390	0.7350	0.2068	0.1099	0.5535	0.5116
32°C	0.0723	0.0192	0.0334	0.0691	0.0277	0.0520	32°C	0.4492	0.7364	0.2087	0.1111	0.5558	0.5161
31°C	0.0723	0.0192	0.0334	0.0691	0.0277	0.0520	31°C	0.4593	0.7376	0.2106	0.1123	0.5580	0.5206
30°C	0.0498	0.0192	0.0334	0.0521	0.0277	0.0425	30°C	0.4695	0.7388	0.2124	0.1136	0.5601	0.5250
29°C	0.0000	0.0146	0.0334	0.0314	0.0250	0.0159	29°C	0.4786	0.7400	0.2143	0.1148	0.5622	0.5288
28°C	0.1502	0.0033	0.0334	0.0023	0.0163	0.0064	28°C	0.4846	0.7411	0.2161	0.1157	0.5643	0.5313
27°C	0.4538	0.0056	0.0130	0.0093	0.0005	0.1378	27°C	0.4853	0.7424	0.2177	0.1161	0.5663	0.5321
26°C	0.4751	0.0833	0.0064	0.0486	0.0188	0.2999	26°C	0.4793	0.7442	0.2187	0.1163	0.5685	0.5318
25°C	0.4456	0.2005	0.0079	0.0540	0.1157	0.3577	25°C	0.4735	0.7474	0.2198	0.1167	0.5718	0.5318
24°C	0.4656	0.3825	0.0743	0.0315	0.2668	0.3666	24°C	0.4726	0.7515	0.2205	0.1172	0.5757	0.5334
23°C	0.3992	0.5475	0.1660	0.0439	0.4049	0.4389	23°C	0.4792	0.7554	0.2205	0.1199	0.5791	0.5359
22°C	0.3691	0.5487	0.1983	0.0536	0.4176	0.4759	22°C	0.4733	0.7607	0.2203	0.1224	0.5841	0.5334
21°C	0.3551	0.5633	0.2300	0.0528	0.4469	0.5147	21°C	0.4610	0.7667	0.2171	0.1270	0.5885	0.5287
20°C	0.4813	0.6220	0.3046	0.0676	0.5190	0.5486	20°C	0.4137	0.7756	0.2100	0.1309	0.5935	0.5211
19°C	0.4728	0.6273	0.2457	0.0598	0.5126	0.4830	19°C	0.3428	0.7861	0.1974	0.1363	0.5961	0.5141
18°C	0.2756	0.6426	0.2990	0.0212	0.5693	0.4172	18°C	0.2973	0.8059	0.1845	0.1476	0.5988	0.5167
17°C	0.2147	0.6706	0.2524	0.0139	0.5634	0.3881	17°C	0.2972	0.8252	0.1669	0.1753	0.5911	0.5294
16°C	0.2257	0.7398	0.2613	0.0206	0.6329	0.4632	16°C	0.3169	0.8541	0.1447	0.2155	0.5793	0.5467
15°C	0.2234	0.8244	0.2860	0.0558	0.7317	0.5638	15°C	0.3641	0.8638	0.1134	0.2656	0.5255	0.5353
14°C	0.3733	0.8349	0.3694	0.1699	0.7833	0.6517	14°C	0.4074	0.8487	0.0697	0.3087	0.4078	0.4825
13°C	0.3832	0.8578	0.3181	0.2629	0.7096	0.6410	13°C	0.4195	0.7937	0.0237	0.3196	0.2481	0.3926
12°C	0.4149	0.8478	0.2343	0.2758	0.5781	0.5793	12°C	0.4323	0.6588	0.0003	0.3258	0.0992	0.2824
11°C	0.3695	0.7364	0.0535	0.3531	0.3785	0.5048	11°C	0.4940	0.4883	0.0155	0.3241	0.0088	0.1584
10°C	0.5296	0.3998	0.0018	0.4510	0.0674	0.3246	10°C	0.5296	0.3750	0.0439	0.2749	0.0044	0.0676
Average	0.2880	0.3949	0.1380	0.0953	0.3048	0.3262	Average	0.4333	0.7399	0.1685	0.1674	0.4900	0.4776

圖 2. 台中中竹林站 2013–2022 年氣象資料與當年度「黑葉」荔枝批發市場交易量之相關性分析。(A) 『不同月份低於臨界溫度以下的小時數加總』與『當期批發市場「黑葉」荔枝總量』之決定係數 ( $R^2$ )；(B) 『不同月份低於臨界溫度以下的度數加總』與『當期批發市場「黑葉」荔枝總量』之決定係數 ( $R^2$ )。相關係數大小以紅色深淺背景表示。

Fig. 2. Correlation analysis of meteorological data at Taichung Zhongzhulin and the auction market sold litchi amount of 'Hei-Yeh' litchi during 2013–2022. (A) The coefficient of determinations ( $R^2$ ) of accumulated daily hours below the threshold low temperature in different months and auction market sold litchi amount in the current year; (B) The coefficient of determination ( $R^2$ ) of accumulated temperature degrees below the threshold low temperature in different months and auction market sold litchi amount in the current year. The numerical value of the coefficients of determination is represented by the shade of red background.

的小時數加總』與『低於高溫臨界溫度以下的度數加總』和當期批發市場交易總量進行回歸分析。分析結果顯示，11–2 月之前的氣象資料，無論是『低於高溫臨界溫度以下的小時數加總』與『低於高溫臨界溫度以下的度數加總』，皆以 12 月的低溫情況對當期荔枝的產量有最高的相關性，不同品種達到穩定生產之溫度條件不同。以「黑葉」荔枝過去研究為例，10–1 月具有花芽比例分別為 0–3.3%、3.3–46.7%、18.3–72.3% 及 28.3–67%，由此可見 11 月的花芽比例仍低，至 12 月花芽比

例才大幅提升，而到 1 月時之花芽比例並沒有再向上提升 (Zhang *et al.* 1997)。上述研究結果顯示，「黑葉」荔枝主要的花芽形成時間應為 12 月，與本試驗結果相呼應。於「玉荷包」荔枝不同月份『低於高溫臨界溫度以下的小時數加總』與批發市場交易總量回歸分析，在 35–10°C 的臨界溫度條件下，12 月所有決定係數總平均為 0.2626，相較之下 11 月、1 月、2 月、12–1 月和 11–2 月之決定係數總平均為 0.0705、0.0674、0.0508、0.1766 及 0.1114 (圖 1A)。然而，「玉荷包」荔枝不同月份『低於高

(A)							(B)						
Critical temperature	Coefficients of determination ( $R^2$ )						Critical temperature	Coefficients of determination ( $R^2$ )					
	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Dec.–Jan.	Nov.–Feb.		Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Dec.–Jan.	Nov.–Feb.
35°C	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	35°C	0.2579	0.4468	0.0323	0.0741	0.2535	0.2830
34°C	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	34°C	0.2579	0.4468	0.0323	0.0741	0.2535	0.2830
33°C	0.0378	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0378	33°C	0.2579	0.4468	0.0323	0.0741	0.2535	0.2829
32°C	0.3033	0.0000	0.0000	0.3575	0.0000	0.5043	32°C	0.2575	0.4468	0.0323	0.0741	0.2535	0.2827
31°C	0.4413	0.3575	0.0000	0.5348	0.3575	0.7176	31°C	0.2558	0.4468	0.0323	0.0738	0.2535	0.2819
30°C	0.3583	0.3575	0.3575	0.4641	0.3575	0.6306	30°C	0.2529	0.4464	0.0323	0.0730	0.2533	0.2801
29°C	0.3379	0.3196	0.2232	0.1482	0.3185	0.5239	29°C	0.2476	0.4452	0.0320	0.0721	0.2524	0.2770
28°C	0.3005	0.3185	0.2134	0.0938	0.3059	0.3829	28°C	0.2411	0.4445	0.0317	0.0712	0.2514	0.2736
27°C	0.2268	0.3312	0.0725	0.1157	0.2675	0.3329	27°C	0.2353	0.4447	0.0310	0.0702	0.2502	0.2705
26°C	0.2878	0.2949	0.0849	0.1160	0.2306	0.3260	26°C	0.2276	0.4450	0.0303	0.0686	0.2487	0.2673
25°C	0.3423	0.4007	0.0354	0.1334	0.2353	0.3822	25°C	0.2230	0.4457	0.0297	0.0660	0.2477	0.2646
24°C	0.2652	0.4155	0.0235	0.1411	0.2136	0.4033	24°C	0.2078	0.4451	0.0293	0.0627	0.2471	0.2582
23°C	0.2658	0.4121	0.0114	0.0786	0.1946	0.3496	23°C	0.1963	0.4442	0.0298	0.0598	0.2479	0.2508
22°C	0.2992	0.4800	0.0052	0.0463	0.2188	0.3304	22°C	0.1639	0.4428	0.0305	0.0588	0.2484	0.2418
21°C	0.2696	0.5148	0.0001	0.0106	0.2380	0.2592	21°C	0.1212	0.4331	0.0325	0.0624	0.2453	0.2315
20°C	0.1968	0.5224	0.0004	0.0132	0.2862	0.2444	20°C	0.0869	0.4176	0.0374	0.0717	0.2406	0.2264
19°C	0.1669	0.5085	0.0234	0.0158	0.3093	0.2349	19°C	0.0585	0.3951	0.0404	0.0820	0.2279	0.2191
18°C	0.0759	0.4576	0.0787	0.0268	0.3332	0.2434	18°C	0.0371	0.3664	0.0389	0.0973	0.2065	0.2078
17°C	0.0584	0.4352	0.0928	0.0249	0.3428	0.2487	17°C	0.0300	0.3361	0.0303	0.1217	0.1726	0.1919
16°C	0.0227	0.4081	0.0884	0.0920	0.3218	0.2847	16°C	0.0245	0.2978	0.0202	0.1480	0.1287	0.1656
15°C	0.0112	0.3768	0.0797	0.1369	0.2552	0.2644	15°C	0.0272	0.2427	0.0118	0.1553	0.0861	0.1293
14°C	0.0068	0.2402	0.0644	0.1891	0.1584	0.2041	14°C	0.0410	0.2030	0.0024	0.1493	0.0470	0.0902
13°C	0.0262	0.2016	0.0298	0.2609	0.0970	0.1677	13°C	0.0724	0.1854	0.0005	0.1209	0.0174	0.0518
12°C	0.0849	0.1678	0.0157	0.2240	0.0616	0.1223	12°C	0.0849	0.1903	0.0123	0.0685	0.0014	0.0171
11°C	0.0849	0.2074	0.0001	0.1151	0.0248	0.0680	11°C	0.0849	0.1942	0.0442	0.0320	0.0093	0.0000
10°C	0.0849	0.2038	0.0173	0.0537	0.0001	0.0113	10°C	0.0849	0.1440	0.0747	0.0005	0.0416	0.0211
Average	0.1752	0.3051	0.0584	0.1305	0.1972	0.2798	Average	0.1552	0.3709	0.0301	0.0801	0.1900	0.2057

圖 3. 嘉義站 2013–2022 年氣象資料與當年度「竹葉黑」荔枝批發市場交易量之相關性分析。(A) 『不同月份低於臨界溫度以下的小時數加總』與『當期批發市場「竹葉黑」荔枝總量』之決定係數 ( $R^2$ )；(B) 『不同月份低於臨界溫度以下的度數加總』與『當期批發市場「竹葉黑」荔枝總量』之決定係數 ( $R^2$ )。相關係數大小以紅色深淺背景表示。

Fig. 3. Correlation analysis of meteorological data at Chiayi and the auction market sold litchi amount of 'Zhu-Ye-Hei' litchi during 2013–2022. (A) The coefficient of determinations ( $R^2$ ) of accumulated daily hours below the threshold low temperature in different months and auction market sold litchi amount in the current year; (B) The coefficient of determinations ( $R^2$ ) of accumulated temperature degrees below the threshold low temperature in different months and auction market sold litchi amount in the current year. The numerical value of the coefficients of determination is represented by the shade of red background.

溫臨界溫度以下的度數加總』與批發市場交易總量回歸分析，以 35–10°C 的臨界溫度條件下，12 月所有決定係數總平均為 0.2404，相較之下 11 月、1 月、2 月、12–1 月及 11–2 月之決定係數總平均為 0.0103、0.0149、0.0148、0.1355 和 0.0634 (圖 1B)。由此可知，12 月的低溫相較其他月份於「玉荷包」荔枝之產量具有最關鍵的影響，11 月、1 月和 2 月份的低溫對當年度的產量影響明顯較少許多。進一步觀察「黑葉」、「竹葉黑」與「糯米糍」的回歸分析結果可得到與「玉荷包」類似的結果 (圖 2、

3、4、5)，結果顯示不同荔枝品種皆以「12 月」的低溫對產量影響最關鍵。

進一步比較各品種 12 月份『不同月份低於高溫臨界溫度以下的小時數加總』與『當期批發市場荔枝總量』之決定係數，可發現「玉荷包」、「黑葉」、「竹葉黑」及「糯米糍」於圖 1A、2A、3A、4A 於不同臨界溫度條件下，決定係數都呈現漸增後漸減的現象，依此方式找到最高的決定係數以作為影響當期荔枝總量最適當的臨界溫度條件。會有這種決定係數隨著臨界溫度漸增後漸減為本分析預期中的現

(A)	Coefficients of determination ( $R^2$ )						(B)	Coefficients of determination ( $R^2$ )					
	Critical temperature	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Dec.– Jan.		Nov.– Feb.	Critical temperature	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
35°C	0.1482	0.1672	0.2133	0.1831	0.1970	0.1964	35°C	0.3452	0.8249	0.5391	0.0653	0.7813	0.6458
34°C	0.1482	0.1672	0.2133	0.1831	0.1970	0.1964	34°C	0.3495	0.8252	0.5420	0.0665	0.7830	0.6493
33°C	0.1123	0.1672	0.2133	0.1831	0.1970	0.1884	33°C	0.3538	0.8255	0.5448	0.0676	0.7846	0.6527
32°C	0.0803	0.1672	0.2133	0.1831	0.1970	0.1810	32°C	0.3584	0.8258	0.5475	0.0688	0.7861	0.6557
31°C	0.0368	0.1441	0.2133	0.1709	0.1839	0.0906	31°C	0.3628	0.8259	0.5502	0.0699	0.7875	0.6581
30°C	0.3817	0.0831	0.1991	0.0931	0.1399	0.0055	30°C	0.3641	0.8261	0.5528	0.0710	0.7890	0.6593
29°C	0.3912	0.0157	0.1667	0.0422	0.0124	0.2092	29°C	0.3615	0.8263	0.5553	0.0721	0.7906	0.6595
28°C	0.3866	0.1670	0.0548	0.0024	0.0386	0.2759	28°C	0.3541	0.8268	0.5578	0.0736	0.7930	0.6594
27°C	0.3745	0.4553	0.0017	0.0024	0.2884	0.3608	27°C	0.3483	0.8268	0.5607	0.0750	0.7951	0.6602
26°C	0.2595	0.6381	0.1466	0.0102	0.4895	0.4359	26°C	0.3459	0.8260	0.5639	0.0764	0.7972	0.6620
25°C	0.2156	0.6957	0.2469	0.0051	0.5672	0.4460	25°C	0.3478	0.8251	0.5691	0.0789	0.8004	0.6647
24°C	0.2243	0.7627	0.3209	0.0130	0.6175	0.5106	24°C	0.3455	0.8243	0.5750	0.0828	0.8052	0.6669
23°C	0.1449	0.7706	0.3412	0.0170	0.6375	0.5109	23°C	0.3502	0.8222	0.5801	0.0878	0.8116	0.6695
22°C	0.2066	0.8215	0.2958	0.0308	0.6756	0.5261	22°C	0.3536	0.8186	0.5849	0.0926	0.8187	0.6740
21°C	0.2029	0.8183	0.2900	0.0193	0.6556	0.4692	21°C	0.3456	0.8134	0.5914	0.0994	0.8261	0.6820
20°C	0.2543	0.7788	0.3741	0.0191	0.6847	0.4673	20°C	0.3292	0.8093	0.5952	0.1100	0.8344	0.6971
19°C	0.3042	0.7864	0.4327	0.0203	0.7344	0.4904	19°C	0.3267	0.8058	0.5991	0.1241	0.8396	0.7214
18°C	0.3004	0.7658	0.5406	0.0099	0.7657	0.5155	18°C	0.3293	0.7950	0.6011	0.1522	0.8402	0.7547
17°C	0.3097	0.7873	0.6109	0.0162	0.8343	0.5987	17°C	0.3400	0.7808	0.5864	0.2013	0.8285	0.7882
16°C	0.2967	0.7681	0.7377	0.0772	0.8739	0.7075	16°C	0.3593	0.7651	0.5490	0.2649	0.7931	0.8083
15°C	0.2528	0.7709	0.7429	0.1688	0.8776	0.8012	15°C	0.3817	0.7165	0.4710	0.3203	0.7087	0.7851
14°C	0.3520	0.7468	0.7172	0.2462	0.8283	0.8587	14°C	0.4463	0.6545	0.3427	0.3575	0.5718	0.7029
13°C	0.4558	0.7015	0.6663	0.3528	0.7644	0.8626	13°C	0.4558	0.5968	0.1945	0.3797	0.3966	0.5749
12°C	0.4558	0.5021	0.4840	0.4943	0.5874	0.7969	12°C	0.4558	0.5341	0.0723	0.3211	0.1972	0.3694
11°C	0.4558	0.4289	0.2402	0.3808	0.3914	0.6228	11°C	0.4558	0.5384	0.0102	0.2258	0.0503	0.1505
10°C	0.0000	0.6617	0.1272	0.2338	0.2576	0.3598	10°C	0.0000	0.4214	0.0020	0.1370	0.0007	0.0252
Average	0.2597	0.5284	0.3386	0.1215	0.4882	0.4494	Average	0.3526	0.7608	0.4784	0.1439	0.6927	0.6268

圖 4. 南投草屯站 2013–2022 年氣象資料與當年度「糯米糍」荔枝批發市場交易量之相關性分析。(A) 『不同月份低於臨界溫度以下的小時數加總』與『當期批發市場「糯米糍」荔枝總量』之決定係數 ( $R^2$ )；(B) 『不同月份低於臨界溫度以下的度數加總』與『當期批發市場「糯米糍」荔枝總量』之決定係數 ( $R^2$ )。相關係數大小以紅色深淺背景表示。

**Fig. 4.** Correlation analysis of meteorological data at Nantou Caotun and the auction market sold litchi amount of ‘No-Mai-Tsz’ litchi during 2013–2022. (A) The coefficient of determinations ( $R^2$ ) of accumulated daily hours below the threshold low temperature in different months and auction market sold litchi amount in the current year; (B) The coefficient of determinations ( $R^2$ ) of accumulated temperature degrees below the threshold low temperature in different months and auction market sold litchi amount in the current year. The numerical value of the coefficients of determination is represented by the shade of red background.

象。例如高溫臨界溫度設置於 35°C 時，35°C 以下的小時數加總在荔枝豐產年或減產年的數值都很大，決定係數就相對低。高溫臨界溫度設置於 10°C 時，10°C 以下的小時數加總在荔枝豐產年或減產年的數值都很小，決定係數也相對低。惟有特定的高溫臨界溫度以下的小時數加總會隨著當期荔枝產量多少呈現明顯的正相關時，決定係數即相對高。因為每個品種對於可抑制新梢生長的溫度條件不同，所以呈現最

關鍵臨界溫度也不同。此報告結果之高溫臨界溫度只用於呈現與當期荔枝產量具有最高相關性的臨界溫度條件，至於誘導花芽分化的臨界溫度，則需使用梯度定溫設備才可以進行相關試驗。

為了瞭解『較久的低溫期』或『較冷的低溫』對荔枝產量有比較高的影響，5 個荔枝品種『主產區 12 月低於高溫臨界溫度以下的小時數總合』與『當期批發市場荔枝總量』之最

(A) Coefficients of determination ( $R^2$ )							(B) Coefficients of determination ( $R^2$ )						
Critical temperature	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Dec.– Jan.	Nov.– Feb.	Critical temperature	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Dec.– Jan.	Nov.– Feb.
35°C	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	0.0039	0.0039	35°C	0.1787	0.0798	0.0281	0.0008	0.0725	0.0989
34°C	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	0.0039	0.0039	34°C	0.1787	0.0798	0.0281	0.0008	0.0725	0.0989
33°C	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	0.0039	0.0039	33°C	0.1787	0.0798	0.0281	0.0008	0.0725	0.0989
32°C	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	0.0039	0.0039	32°C	0.1787	0.0798	0.0281	0.0008	0.0725	0.0989
31°C	0.0578	0.0000	0.0039	0.0000	0.0039	0.0653	31°C	0.1787	0.0798	0.0281	0.0008	0.0725	0.0988
30°C	0.0761	0.0000	0.0039	0.0000	0.0039	0.0807	30°C	0.1788	0.0798	0.0281	0.0008	0.0725	0.0986
29°C	0.1060	0.2903	0.0039	0.1908	0.2064	0.1356	29°C	0.1789	0.0798	0.0281	0.0008	0.0725	0.0980
28°C	0.0444	0.2915	0.0298	0.5305	0.3496	0.1042	28°C	0.1795	0.0796	0.0281	0.0007	0.0723	0.0966
27°C	0.1030	0.2078	0.0157	0.0711	0.1597	0.1531	27°C	0.1803	0.0791	0.0280	0.0007	0.0720	0.0944
26°C	0.1907	0.1448	0.0192	0.0052	0.0945	0.2117	26°C	0.1787	0.0785	0.0281	0.0007	0.0719	0.0919
25°C	0.2410	0.0956	0.0923	0.0673	0.0318	0.1683	25°C	0.1760	0.0777	0.0284	0.0007	0.0718	0.0897
24°C	0.1908	0.1801	0.0768	0.0401	0.0972	0.1179	24°C	0.1686	0.0766	0.0289	0.0009	0.0718	0.0874
23°C	0.1822	0.1917	0.0328	0.0615	0.0889	0.0976	23°C	0.1668	0.0742	0.0296	0.0012	0.0712	0.0858
22°C	0.1308	0.0541	0.0867	0.0206	0.0015	0.0395	22°C	0.1632	0.0735	0.0314	0.0017	0.0729	0.0850
21°C	0.1081	0.0419	0.0710	0.0359	0.0009	0.0222	21°C	0.1555	0.0749	0.0351	0.0023	0.0774	0.0846
20°C	0.1380	0.0635	0.0300	0.0512	0.0134	0.0356	20°C	0.1453	0.0748	0.0390	0.0038	0.0814	0.0846
19°C	0.1867	0.0890	0.0177	0.0474	0.0697	0.0726	19°C	0.1222	0.0730	0.0419	0.0059	0.0831	0.0819
18°C	0.1846	0.0417	0.0742	0.0135	0.0603	0.0601	18°C	0.0898	0.0715	0.0389	0.0091	0.0805	0.0768
17°C	0.1314	0.0517	0.1400	0.0005	0.0993	0.0803	17°C	0.0690	0.0737	0.0336	0.0135	0.0774	0.0750
16°C	0.1022	0.1061	0.1163	0.0009	0.1505	0.1152	16°C	0.0448	0.0702	0.0247	0.0171	0.0651	0.0657
15°C	0.0757	0.1250	0.1990	0.0003	0.2301	0.1373	15°C	0.0297	0.0527	0.0126	0.0241	0.0398	0.0497
14°C	0.0353	0.0894	0.2078	0.0006	0.2069	0.1056	14°C	0.0211	0.0348	0.0009	0.0355	0.0120	0.0306
13°C	0.0079	0.0443	0.0897	0.0215	0.0862	0.0724	13°C	0.0224	0.0213	0.0035	0.0507	0.0002	0.0162
12°C	0.0128	0.0232	0.0216	0.0565	0.0296	0.0552	12°C	0.0190	0.0096	0.0242	0.0583	0.0090	0.0032
11°C	0.0018	0.0039	0.0041	0.0887	0.0048	0.0375	11°C	0.0265	0.0070	0.0513	0.0468	0.0312	0.0003
10°C	0.0008	0.0119	0.0044	0.1302	0.0003	0.0220	10°C	0.0484	0.0087	0.0943	0.0222	0.0702	0.0130
Average	0.0888	0.0826	0.0522	0.0552	0.0771	0.0771	Average	0.1253	0.0642	0.0307	0.0116	0.0630	0.0732

圖 5. 新竹寶山站 2013–2022 年氣象資料與當年度「桂味」荔枝批發市場交易量之相關性分析。(A) 『不同月份低於臨界溫度以下的小時數加總』與『當期批發市場「桂味」荔枝總量』之決定係數 ( $R^2$ )；(B) 『不同月份低於臨界溫度以下的度數加總』與『當期批發市場「桂味」荔枝總量』之決定係數 ( $R^2$ )。相關係數大小以紅色深淺背景表示。

Fig. 5. Correlation analysis of meteorological data at Hsinchu Baoshan and the auction market sold litchi amount of 'Gui-Wei' litchi during 2013–2022. (A) The coefficient of determinations ( $R^2$ ) of accumulated daily hours below the threshold low temperature in different months and auction market sold litchi amount in the current year; (B) The coefficient of determination ( $R^2$ ) of accumulated temperature degrees below the threshold low temperature in different months and auction market sold litchi amount in the current year. The numerical value of the coefficients of determination is represented by the shade of red background.

高決定係數 ( $R^2$ ) 總平均值為 0.6350 (表 1)。而 5 個荔枝品種『主產區 12 月低於高溫臨界溫度以下的度數總合』與『當期批發市場荔枝總量』之最高決定係數 ( $R^2$ ) 總平均為總平均值為 0.5142 (表 2)。結果顯示，低於高溫臨界溫度以下的『小時數』加總的決定係數平均值較高，表示『較久的低溫期』相較於『較冷的低溫』用於產量預估上較為準確。因荔枝開花比例高的前提為需要一段低溫期停止荔枝新梢生長，即使有相當寒冷的寒流來襲，寒流離開後的高溫

則可能造成新梢抽出，減少開花比例 (Menzel & Simpson 1992; Nagao *et al.* 2000)。所以 12 月『較久的低溫期』比『較冷的低溫』對停止荔枝營養生長更為關鍵。

因決定係數 ( $R^2$ ) 愈高，代表使用氣象資料預估當年度產量的可信度愈高，於本研究中，「黑葉」和「糯米糍」的決定係數高於 8 成，而「玉荷包」的決定係數接近 7 成，使用回歸方程式推估產量的可信度較高。而「竹葉黑」與「桂味」荔枝的決定係數皆為 5 成以下，使用回歸方程

表 1. 5 個荔枝品種『主產區 12 月低於臨界溫度以下的小時數總合』與『當期批發市場荔枝總量』之最高決定係數 ( $R^2$ )、臨界溫度及回歸方程式。

**Table 1.** The highest coefficient of determination ( $R^2$ ), threshold temperature and regression equation of accumulated daily hours below the threshold temperature in December and auction market sold litchi amount in the current year of five litchi varieties.

Variety	Weather station	The threshold temperature of highest coefficient of determination ( $^{\circ}\text{C}$ )	Coefficient of determination ( $R^2$ )	Regression equation
'Yu-Her-Bao'	Kaohsiung Xipu	24	0.6938	$y = 12.267x - 5529.6$
'Hei-Yeh'	Taichung Zhongzhulin	13	0.8578	$y = 15.083x + 301.69$
'Zhu-Ye-Hei'	Chiayi	20	0.5224	$y = 1.7721x - 434.88$
'No-Mai-Tsz'	Taichung Caotun	22	0.8215	$y = 4.3849x - 2258.5$
'Gui-Wei'	Hsinchu Baoshan	29	0.2794	$y = 360.77x - 268030$
Average			0.6350	

表 2. 5 個荔枝品種『主產區 12 月低於臨界溫度以下的度數總合』與『當期批發市場荔枝總量』之最高決定係數 ( $R^2$ )、臨界溫度及回歸方程式。

**Table 2.** The highest coefficient of determination ( $R^2$ ), threshold temperature and regression equation of accumulated temperature degrees below the threshold temperature in December and auction market sold litchi amount in the current year of five litchi varieties.

Variety	Weather station	The threshold temperature of highest coefficient of determination ( $^{\circ}\text{C}$ )	Coefficient of determination ( $R^2$ )	Regression equation
'Yu-Her-Bao'	Kaohsiung Xipu	30	0.3537	$y = 0.6152x - 2764.6$
'Hei-Yeh'	Taichung Zhongzhulin	15	0.8638	$y = 3.048x + 281.09$
'Zhu-Ye-Hei'	Chiayi	35	0.4468	$y = 0.1464x - 1358.7$
'No-Mai-Tsz'	Taichung Caotun	32	0.8268	$y = 0.2454x - 1334.8$
'Gui-Wei'	Hsinchu Xiangshan	35	0.0798	$y = 0.0775x - 686.99$
Average			0.5142	

式推估產量的可信度較低。過去資料顯示，「黑葉」荔枝占全台荔枝品種比例約 67.6%，「玉荷包」荔枝占 25.5%，「糯米糍」占 2%，其它品種共占 4.8% (Zhang & Teng 2011)。因種植面積愈大，產區愈集中，使用氣象資料推估產量的可信度有較高的現象，故未來若要以氣象資料推估當年度產量，以「黑葉」、「糯米糍」及「玉荷包」的回歸方程式可信度較高。而「竹葉黑」、「桂味」荔枝的種植面積較少且產地較為分散。於本試驗分析結果顯示，11–2 月的氣象資料與當期批發市場交易總量的相關性較低，高溫臨界溫度之可信度低，較不適用於產量預估。

因「黑葉」、「玉荷包」和「糯米糍」的種植面積較大且產區較集中，統計分析可信度較

高，未來可使用回歸方程式進行當期荔枝的產量預估 (表 1、圖 6)。以「黑葉」荔枝為例，先取得主產區 12 月低於  $13^{\circ}\text{C}$  臨界溫度以下的小時數總合作為  $x$  值，代入  $y = 15.083x + 301.69$  的回歸方程式，即可預估當年的「黑葉」批發市場交易總量  $y$  值。再和其他年份的交易總量進行比較，即可提前預估當期荔枝產量多寡。

本文重申於本研究所推估出的高溫臨界溫度 (表 1、2)，並不代表各品種誘導花芽分化的臨界溫度，而是與產量最相關的臨界溫度，此臨界溫度包含足夠的高低溫資訊，可用於推估當期荔枝產量。整理 5 個荔枝主產區於 2013–2022 年的每月平均溫度 (圖 7)，進一步觀察 11 月至 2 月的氣溫中，以 1 月的氣溫最

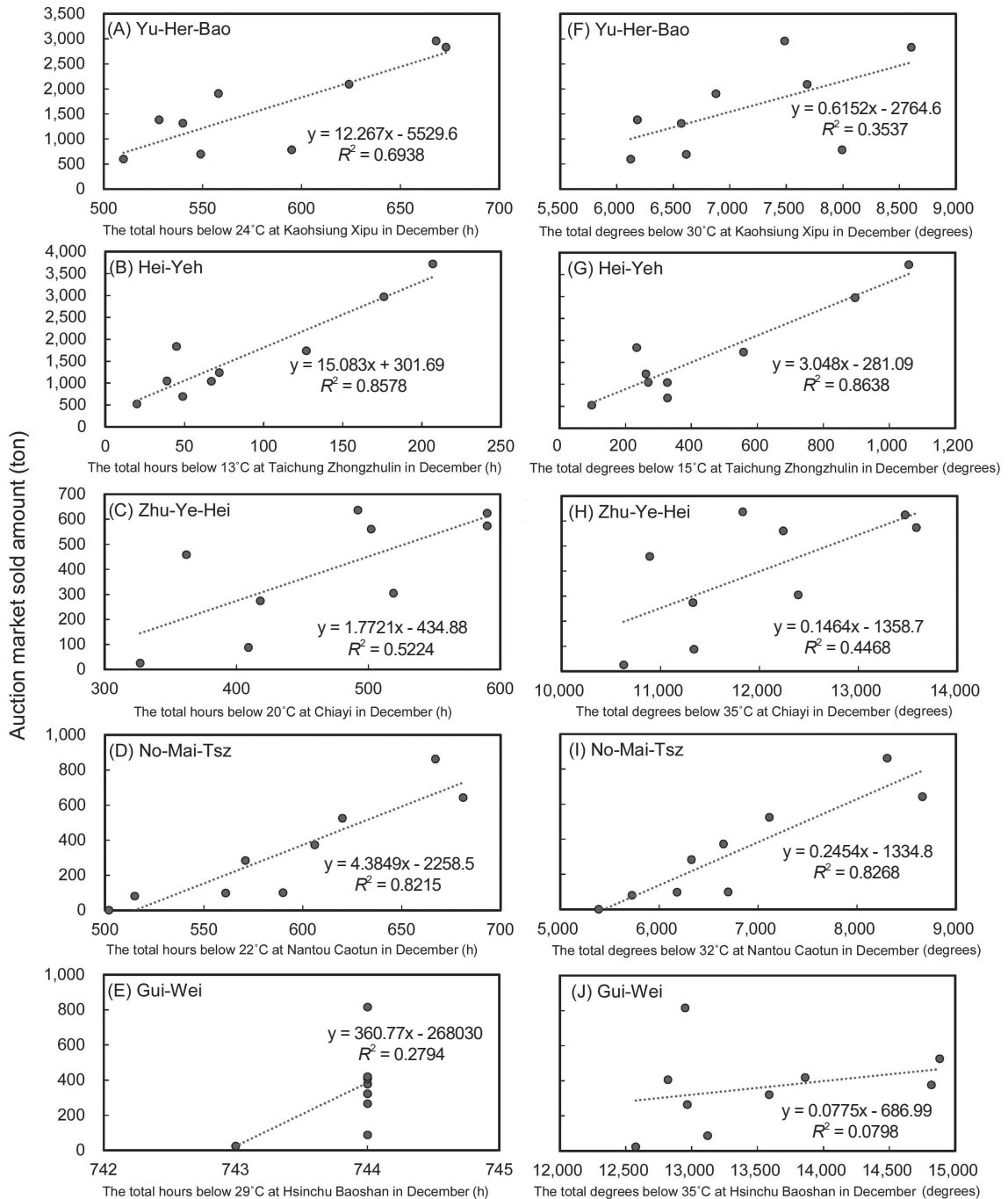


圖 6. 5 個荔枝品種『主產區 12 月低於臨界溫度以下的小時數總合或度數總合』與『當期批發市場荔枝總量』之最高決定係數 ( $R^2$ )、臨界溫度及回歸方程式。

Fig. 6. The highest coefficient of determination ( $R^2$ ), threshold temperature and regression equation of accumulated daily hours and temperature degrees below the threshold temperature in December and auction market sold litchi amount in the current year of five litchi varieties.

Weather station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Hsinchu Baoshan	15.2	15.3	17.6	20.7	24.3	26.8	27.6	27.0	26.0	23.3	20.8	16.8
Nantou Caotun	17.4	18.1	20.7	23.6	26.6	28.3	29.0	28.5	28.3	26.0	23.2	18.9
Taichung Zhongzhulin	15.9	16.6	19.2	21.8	24.6	26.1	26.6	26.0	25.8	23.7	21.2	17.1
Chiayi	17.4	18.2	20.9	23.9	27.1	29.0	29.3	28.6	28.2	25.7	22.9	18.9
Kaohsiung Xipu	18.9	19.7	22.4	25.0	27.3	28.3	28.4	27.6	27.9	26.3	24.1	20.2

圖 7. 5 個荔枝主產區於 2013–2022 年的每月平均溫度。相關係數大小以紅色深淺背景表示。

Fig. 7. Monthly average temperature of 5 main litchi producing areas during 2013–2022. The numerical value of the coefficients of determination is represented by the shade of red background.

低，2 月氣溫次之，12 月的氣溫再次之，而 11 月的氣溫最高。本分析結果發現 12 月的氣溫對荔枝產量的影響最大，而不是氣溫更低的 1、2 月。對比台灣荔枝的生育狀態，通常於 12 月處於停梢狀態、1 月為停梢至萌動狀態、2 月為花芽抽出的時間。由以上結果推論，12 月的停梢狀態穩定度受到氣象影響甚劇。若 12 月沒有一個穩定的低溫期使荔枝處於休眠狀態，即使 1 月及 2 月有寒冷的低溫，仍會有產量不穩定的影響。

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (n.d.) 提出的『全球增溫攝氏 1.5°C 特別報告』，揭示全球暖化將會造成的重大的災情。以荔枝為例，若將荔枝低溫處理後，再以 20°C 以上溫度處理，結果顯示 20°C 的時間愈長，愈不利花芽分化 (Menzel & Simpson 1995)。荔枝於低溫持續時間 6–8 wk 的成花比例高，短於 4 wk 的不成花或帶葉花序比例高 (Menzel & Timpson 1989)。由此可知，低溫期愈長對開花穩定性提升有幫助，若冬季遇到較高的溫度亦會影響開花穩定性。據農糧署農業統計年報顯示，台灣荔枝種植面積 2000–2010 年介於 12,000 ha 左右，這些年間面積波動不大。但從 2010 年荔枝種植面積由 11,717 ha 降至 2020 年的 9,726 ha，減少近 2,000 ha ([https://agr.afa.gov.tw/afa/afa\\_frame.jsp](https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp))。分析荔枝主產區台中和高雄 1995–2021 年的 12 月均溫，兩個地區的 12 月均溫皆呈現上升趨勢 (圖 8)，若比較 1995–2014 年與 2015–2021 年平均資料，可發現台中和高雄 12 月均溫於近 6 年已較前 20 年提高 1.21°C 與 1.45°C (表 3)。比對批

發市場交易總量資料可知，對荔枝生產已開始造成影響 (圖 9)。

## 結論

雖然荔枝採收後，並不是全數送往批發市場交易，另有行口、宅配、傳統市場或外銷等交易方式。但因「黑葉」、「玉荷包」及「糯米糍」荔枝的栽培面積較大且產區集中，推估每年有固定比例果農送往批發市場，由批發市場總交易量模擬當年產量與氣象資料進行分析有其應用合理性與實用意義。本研究分析結果顯示，12 月『較長的低溫期』比『較寒冷的溫度』對產量的影響更關鍵，可使用 12 月氣象資料推估當期「玉荷包」、「黑葉」及「糯米糍」的荔枝產量，來提供農政單位提早進行產銷因應之參考依據，或內外銷業者亦可提早進行交易通路規劃。至於荔枝栽培者，則應確實於 11 月進行適當的停止晚梢動作，使荔枝於 12 月穩定處於停梢狀態，待 1 月份植體感受低溫時，較可提高開花比例。根據中央氣象局測站觀測資料，台灣年平均氣溫在過去 110 年 (1911–2020 年) 上升約 1.6°C，且近 30 年增溫有加速的趨勢。台灣氣候變遷科學團隊推估未來台灣各地氣溫將持續上升，全球暖化最劣情境 [shared socioeconomic pathway (SSP) 5–8.5] 下，21 世紀中、末之年平均氣溫可能上升超過 1.8°C、3.4°C；理想減緩情境 (SSP 1–2.6) 下，可能增加 1.3°C、1.4°C (Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform 2021)。荔枝產業應密切注意暖冬是否持續，若氣候暖化趨於常態，將會對荔枝生產

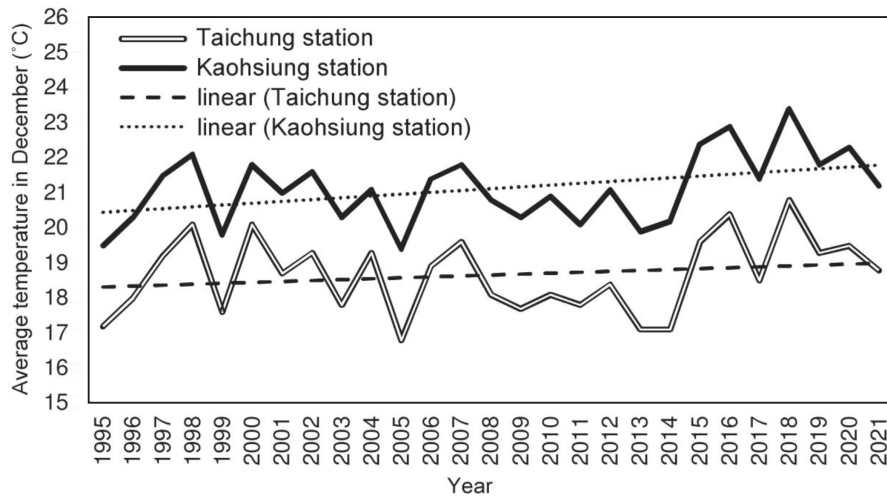


圖 8. 高雄市與台中市氣象站 1995–2021 年 12 月平均溫度。

Fig. 8. The average temperature at measured at Kaohsiung and Taichung weather stations in December during 1995–2021.

表 3. 高雄市與台中市氣象站 1995–2021 年 12 月平均溫度比較。

Table 3. The average temperature difference measured in December at Kaohsiung and Taichung weather stations during 1995–2021.

Weather station	Average temperature in December (°C)		Average temperature difference between 1995–2014 and 2015–2021 (°C)
	1995–2014	2015–2021	
Taichung	18.35	19.56	1.21
Kaohsiung	20.75	22.20	1.45
Average temperature difference between Taichung and Kaohsiung (°C)	2.40	2.64	

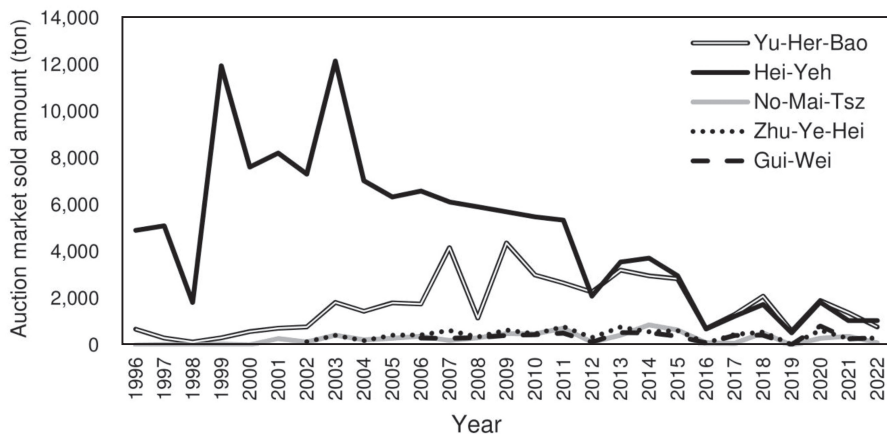


圖 9. 5 個荔枝品種 1996–2022 年全台批發市場交易總量。

Fig. 9. The total auction market sold litchi amount for five litchi varieties during 1996–2022 in Taiwan.

造成嚴重影響。長期下來則會造成荔枝栽培區域向北移動等現象。農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所早年有鑑於全球暖化的發生，即提早著手極早熟荔枝品種的選育，並於2011年推出荔枝「台農6號(豔荔)」，因其刺激花芽分化所需的低溫需求較「玉荷包」與「黑葉」荔枝少，於暖冬年亦可穩定開花，屬極早熟品種，未來若暖冬持續發生，此品種可作為品種更新的選擇(Teng & Chen 2011)。未來鳳山熱帶園藝試驗分所將持續進行極早熟與優質荔枝品種選育，以及耐候穩產相關栽培技術開發，以減少氣候暖化對荔枝產業之衝擊。

## 誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會經費補助(111農科-10.2.2-農-C1, 111AS-10.2.2-CI-C1)，農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系賴秋炫小姐、胡鐸騰先生、黃曜宗先生、馬秀燕小姐與王啟銀先生協助本研究進行，在此一併誌謝。

## 引用文獻

- Chen, H. B. and H. B. Huang. 2005. Low temperature requirements for floral induction in lychee. *Acta Hort.* 665:195–202. doi:10.17660/ActaHortic.2005.665.21
- Chen, P. A., S. F. Roan, C. L. Lee, and I. Z. Chen. 2013. The effect of temperature during inflorescence development to flowering and inflorescence length on yield of 'Yu Her Pau' litchi. *Sci. Hort.* 159:186–189. doi:10.1016/j.scienta.2013.04.029
- Intergovernmental Panel on Climate Change. n.d. Special report: Global warming of 1.5°C. <https://www.ipcc.ch/sr15/> (visit on 12/25/2021)
- Kumar, R. 2014. Effect of climate change and climate variable conditions on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) productivity and quality. *Acta Hort.* 1029:145–154. doi:10.17660/ActaHortic.2014.1029.16
- Liu, H., C. Wang, H. Chen, and B. Zhou. 2019. Genome-wide transcriptome analysis reveals the molecular mechanism of high temperature-induced floral abortion in *Litchi chinensis*. *BMC Genom.* 20:127. doi:10.1186/s12864-019-5493-8
- Malhotra, S. K., S. K. Singh, and V. Nath. 2018. Physiology of flowering in litchi (*Litchi chinensis*): A review. *Indian J. Agric. Sci.* 88:1319–1330.
- Menzel, C. M. and D. R. Simpson. 1988. Effect of temperature on growth and flowering of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cultivars. *J. Hort. Sci.* 63:349–360. doi:10.1080/14620316.1988.11515869
- Menzel, C. M., T. S. Rasmussen, and D. R. Simpson. 1989. Effects of temperature and leaf water stress on growth and flowering of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *J. Hort. Sci.* 64:739–752. doi:10.1080/14620316.1989.11516017
- Menzel, C. M. and D. R. Simpson. 1992. Growth, flowering and yield of lychee cultivars. *Sci. Hort.* 49:243–254. doi:10.1016/0304-4238(92)90161-5
- Menzel, C. M. and D. R. Simpson. 1995. Temperatures above 20°C reduce flowering in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). *J. Hort. Sci.* 70:981–987. doi:10.1080/14620316.1995.11515374
- Nagao, M. A., E. B. Ho-a, M. S. Nishina, and F. Zee. 2000. December pruning of vegetative flushes affects flowering of Kaimana lychee in Hawaii. *J. Hawaiian Pac. Agric.* 11:17–21.
- O'Hare, T. J. 2002. Interaction of temperature and vegetative flush maturity influences shoot structure and development of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). *Sci. Hort.* 95:203–211. doi:10.1016/S0304-4238(02)00035-3
- Qi, W. and X. OuYang. 2017. Impacts of climate variations on litchi yield in China. p.31–37. *in: Proceedings of International Symposium on Tropical Fruits.* October 23–25, 2017. Nadi, Fiji. TFNet. Publ., Nadi.
- Qi, W. and X. OuYang. 2019. Impacts of climate variations on litchi yield in China. *South China Fruits* 48:47–52.
- Su, Z., Q. Xiao, J. Shen, H. Chen, S. Yan, and W. Huang. 2021. Metabolomics analysis of litchi leaves during floral induction reveals metabolic improvement by stem girdling. *Molecules* 26:4048. doi:10.3390/molecules26134048
- Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform. 2021. Excerpts from the scientific key points of the sixth assessment report on climate change and the update report on the evaluation and analysis of Taiwan's climate change. [https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/data\\_document/20210810135326.pdf](https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/data_document/20210810135326.pdf) (visit on 08/10/2021) (in Chinese)
- Teng, Y. S. and K. S. Chen. 2011. Introduction of litchi new variety 'Tainung No.6' (Colorful Lychee). *Q. J. Technol. Serv.* 87:5–8.

- Wang, R. L. 2001. Primary analyses of the relationship between the yield of litchi and the weather in winter and spring in Dongguan. *South China Fruits*. 30:23–27.
- Yang, H. F., X. Y. Lu, H. B. Chen, C. C. Wang, and B. Y. Zhou. 2017. Low temperature-induced leaf senescence and the expression of senescence-related genes in the panicles of *Litchi chinensis*. *Biol. Plant*. 61:315–322. doi:10.1007/s10535-016-0667-6
- Zhang, J. W., C. N. Zhao, I. Z. Chen, and C. Y. Zheng. 1997. Effects of temperature and water stress on flowering of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *J. Chin. Soc. Hortic. Sci.* 43:322–329. (in Chinese)
- Zhang, J. W. and Y. S. Teng. 2011. A Brief Introduction to the Characteristics of New Litchi Varieties and Key Points for Attention in Cultivation. *Taiwan Agric. Res. Inst. Publ. Taichung, Taiwan*. 13 pp. (in Chinese)
- Zhou, B., H. Chen, X. Huang, N. Li, Z. Hu, Z. Gao, and Y. Lu. 2008. Rudimentary leaf abortion with the development of panicle in litchi: Changes in ultrastructure, antioxidant enzymes and phytohormones. *Sci. Hortic.* 117:288–296. doi:10.1016/j.scienta.2008.04.004
- Zhou, B., N. Li, Z. Zhang, X. Huang, H. Chen, Z. Hu, X. Pang, W. Liu, and Y. Lu. 2012. Hydrogen peroxide and nitric oxide promote reproductive growth in *Litchi chinensis*. *Biol. Plant*. 56:321–329. doi:10.1007/s10535-012-0093-3

# Feasibility Study on Using Meteorological Data to Forecast Litchi Yield

Hsin-Hsiu Fang<sup>1</sup>, Kuo-Dung Chiou<sup>2</sup>, Chih-Cheng Hsu<sup>1</sup>, and Wen-Li Lee<sup>3,\*</sup>

## Abstract

Fang, H. H., K. D. Chiou, C. C. Hsu, and W. L. Lee. 2022. Feasibility study on using meteorological data to forecast litchi yield. *J. Taiwan Agric. Res.* 71(4):343–357.

The annual yield of litchi is greatly affected by the temperature in winter. Low temperature can stimulate the stable differentiation of flower buds. However, the production will be reduced due to unstable differentiation of flower buds and decreased flowering ratio in mild winter. This study considers different litchi varieties, which are distributed in the main producing areas in Taiwan. The meteorological data was collected from November to February of the following year in the past 9 years close to the weather station in the main producing area. The sum of the daily hours ranging from 10°C to 35°C and the total sale volume of litchi in the auction market in the current season were evaluated by regression analyses. The results indicated that the temperature in December had the highest correlation with the auction market sold litchi amount in the current year. A longer low temperature period was more critical to yield than colder temperature. The accumulated daily differential hours below 24°C, 13°C and 22°C, respectively, and the previous sold amounts of ‘Yu-Her-Bao’, ‘Hei-Yeh’ and ‘No-Mai-Tsz’ litchi in the recent years are processed for correlation analysis. The coefficients of determination ( $R^2$ ) reached 0.6938, 0.8578, and 0.8215, respectively. In the future production estimation, depending on the variety, the number of hours below the threshold temperature in December could be applied to the equation to predict the litchi yield in the current year. This innovative method can be used as a reference for the production and sales adjustment of agricultural sector or for litchi operators to plan domestic and foreign sales orders in advance.

**Key words:** Litchi, Yield, Warming, Meteorological data.

---

Received: March 1, 2022; Accepted: August 31, 2022.

\* Corresponding author, e-mail: wenlly@tari.gov.tw

<sup>1</sup> Assistant Research Fellows, Department of Tropical Fruit Trees, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan, ROC.

<sup>2</sup> Associate Research Fellow and Division Director, Department of Tropical Fruit Trees, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan, ROC.

<sup>3</sup> Research Fellow and Director, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Kaohsiung, Taiwan, ROC.