

# 發泡煉石薄層屋頂冬日保溫效果之研究

Thermal Insulation Effect of the LECA Thin-Layer Roof in  
Winter

黃宜瑜、王宇石、張志祥

## 研究動機 Research Motivation

- 發展出一年四季均可發揮節能效果的綠屋頂
- 在台灣夏天可以達到降溫效果，節電省能源，減低熱島效應
- 在冬天可發揮保溫效果，減少暖氣的使用

## 研究目的 Research Purpose

- 目的一：找出具有最大邊際降溫效果的土壤深度
- 目的二：找出最具有降溫效果的發泡煉石比例
- 目的三：找出最具有保溫效果的發泡煉石放置方式
- 目的四：探討植栽是否可以增強綠屋頂的保溫效果





# 研究設計

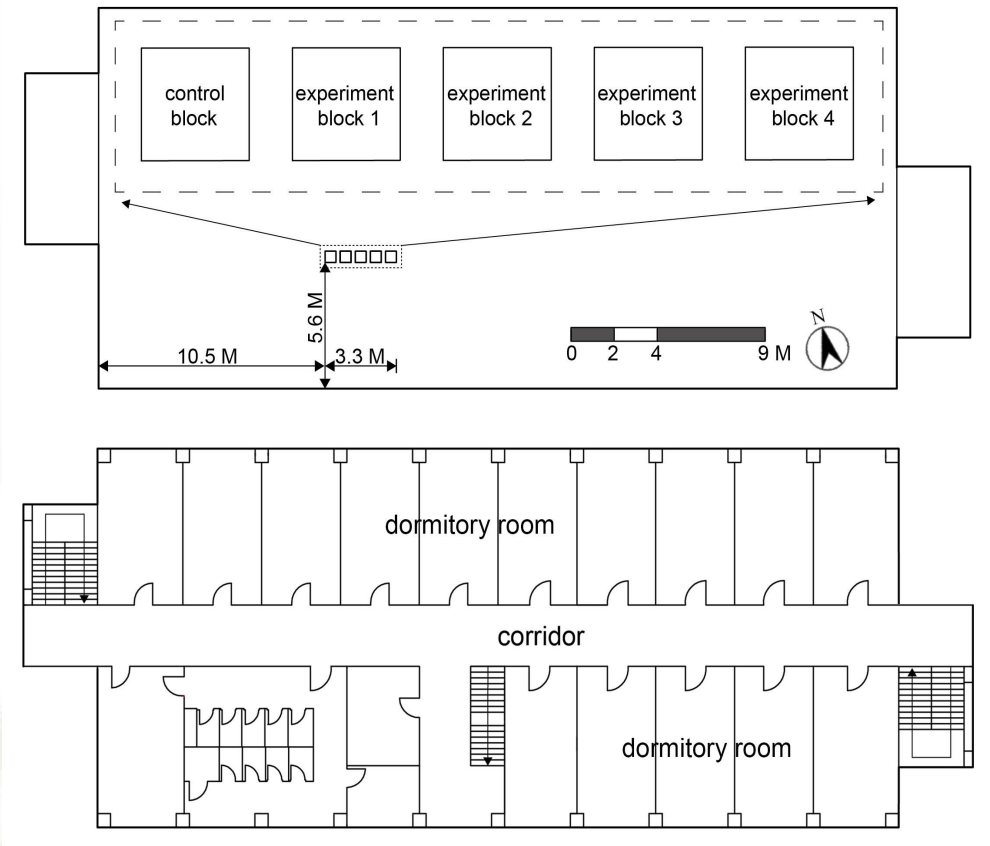
## STUDY DESIGN



# 實驗場所與實驗階段

## Experiment site & Experiment stages

# 實驗基地 Experiment site





# 實驗架設 Experiment Setup



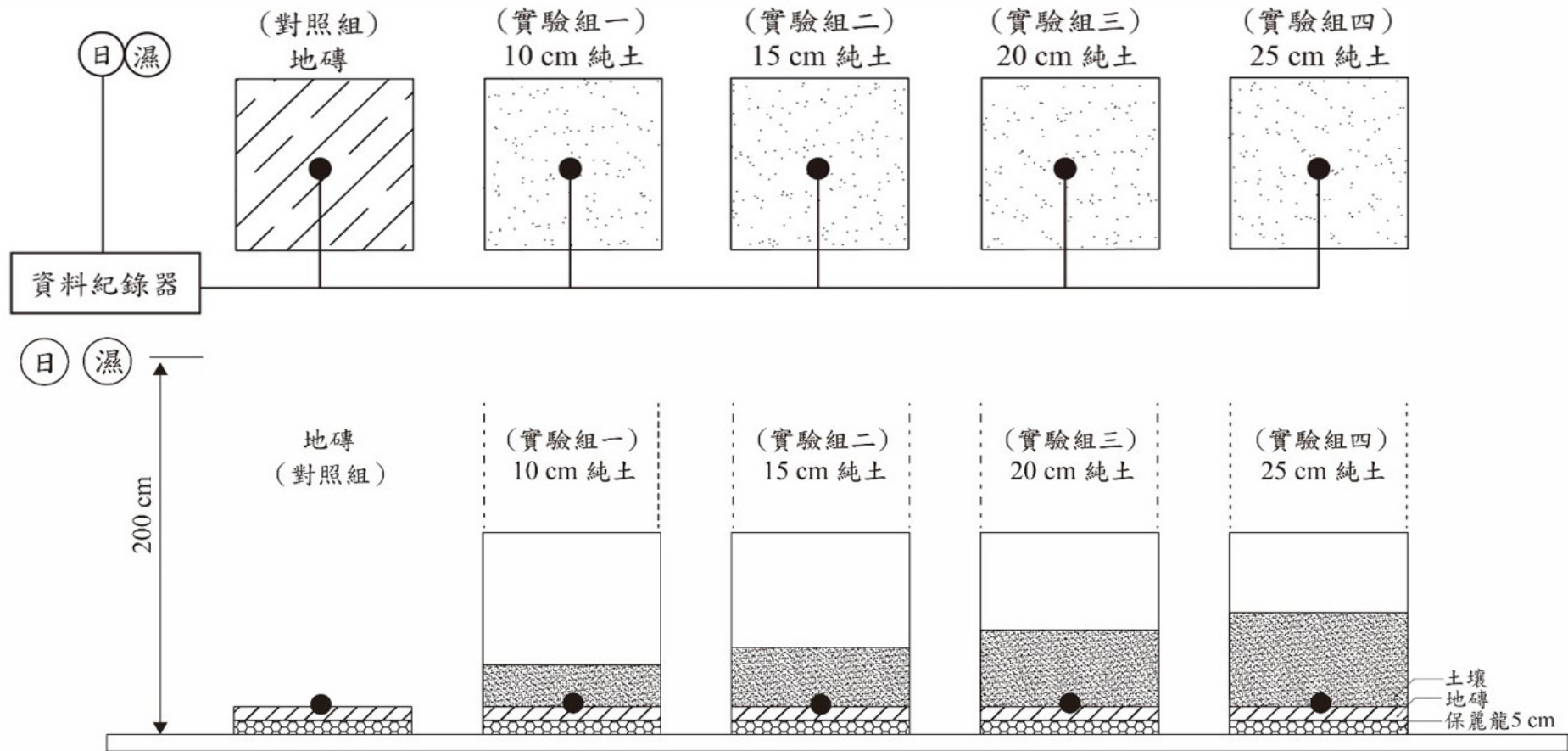


# 研究結果

## RESULTS

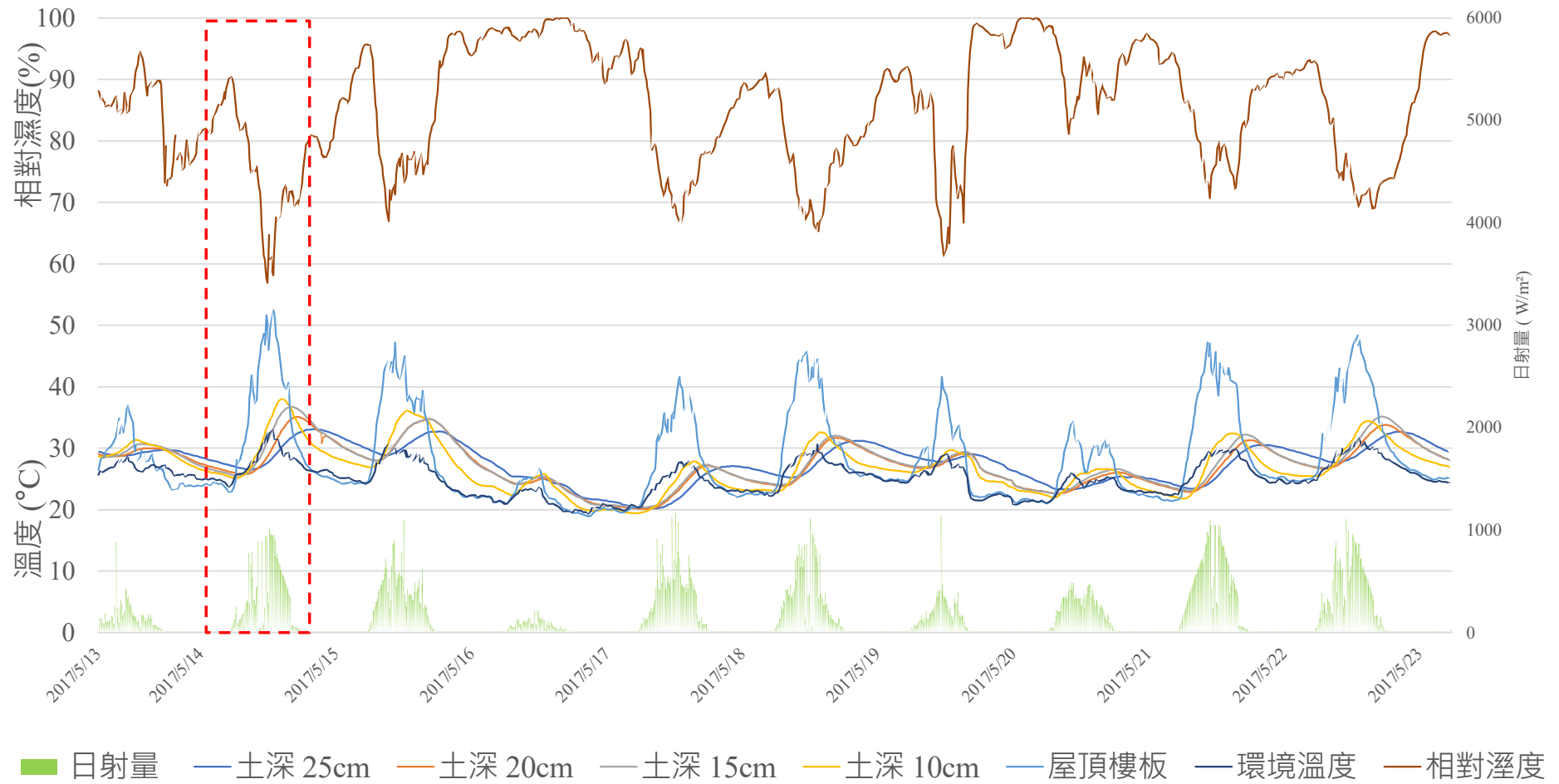


# 第一階段實驗架設 The First Stage

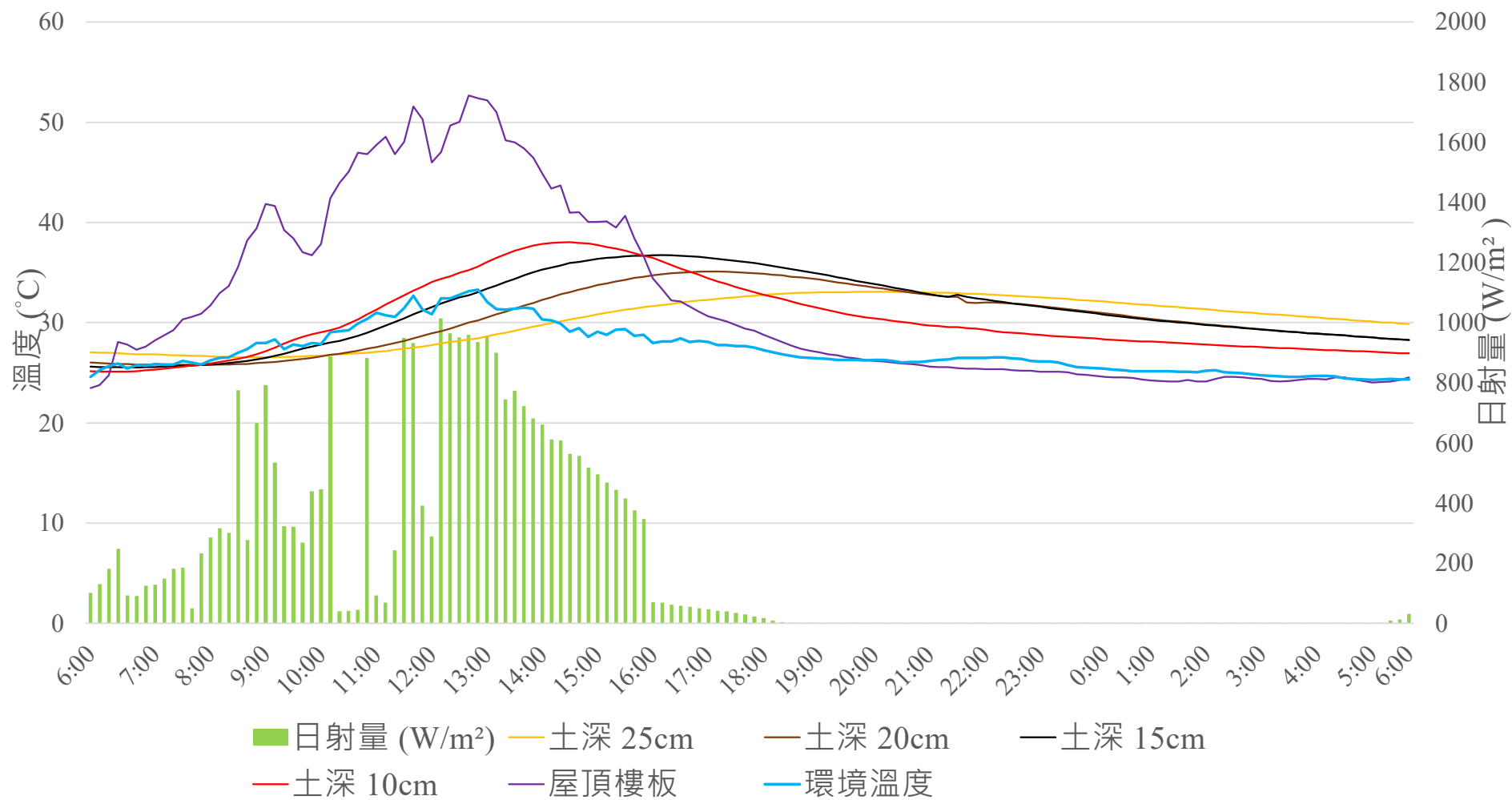


說明：●表示溫度測量點 (日)表示日射計 (濕)表示溫溼度感應計

圖一．第一階段實驗溫度、相對濕度與日射量

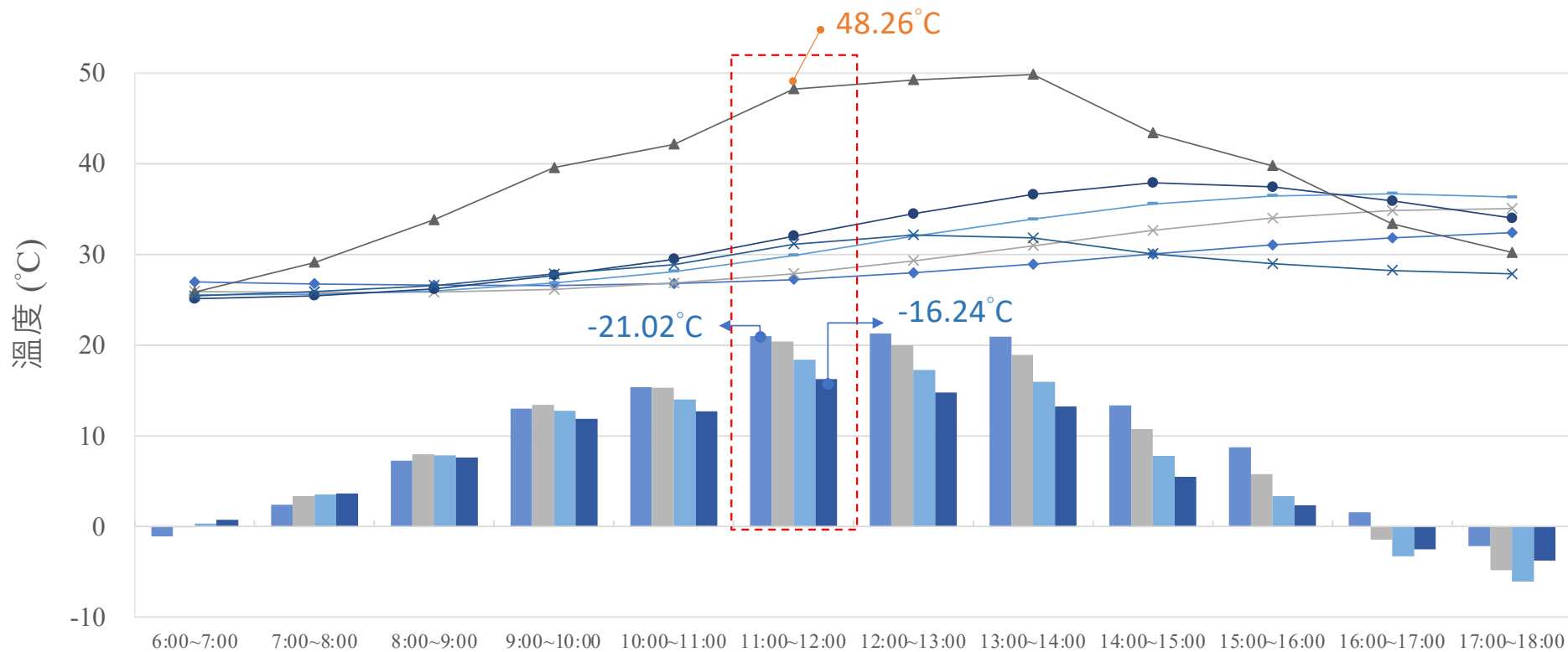


圖二.第一階段降溫效果分析圖 (2017/5/14 清晨6:00至5/15清晨6:00)





圖三. 不同土深純土薄層屋頂降溫效果分析圖 (2017/5/14早上6:00至晚上18:00)




■ 土深 25cm 降溫幅度   
 ■ 土深 20cm 降溫幅度   
 ■ 土深 15cm 降溫幅度   
 ■ 土深 10cm 降溫幅度   
 ◆ 土深 25cm  
× 土深 20cm   
 — 土深 15cm   
 ● 土深 10cm   
 ▲ 屋頂樓板   
 × 環境溫度

$$\text{薄層屋頂邊際降溫效果} = \frac{\text{降溫幅度的變化}}{\text{土壤深度的變化}}$$

表一. 不同土深純土薄層屋頂邊際降溫效果之計算表

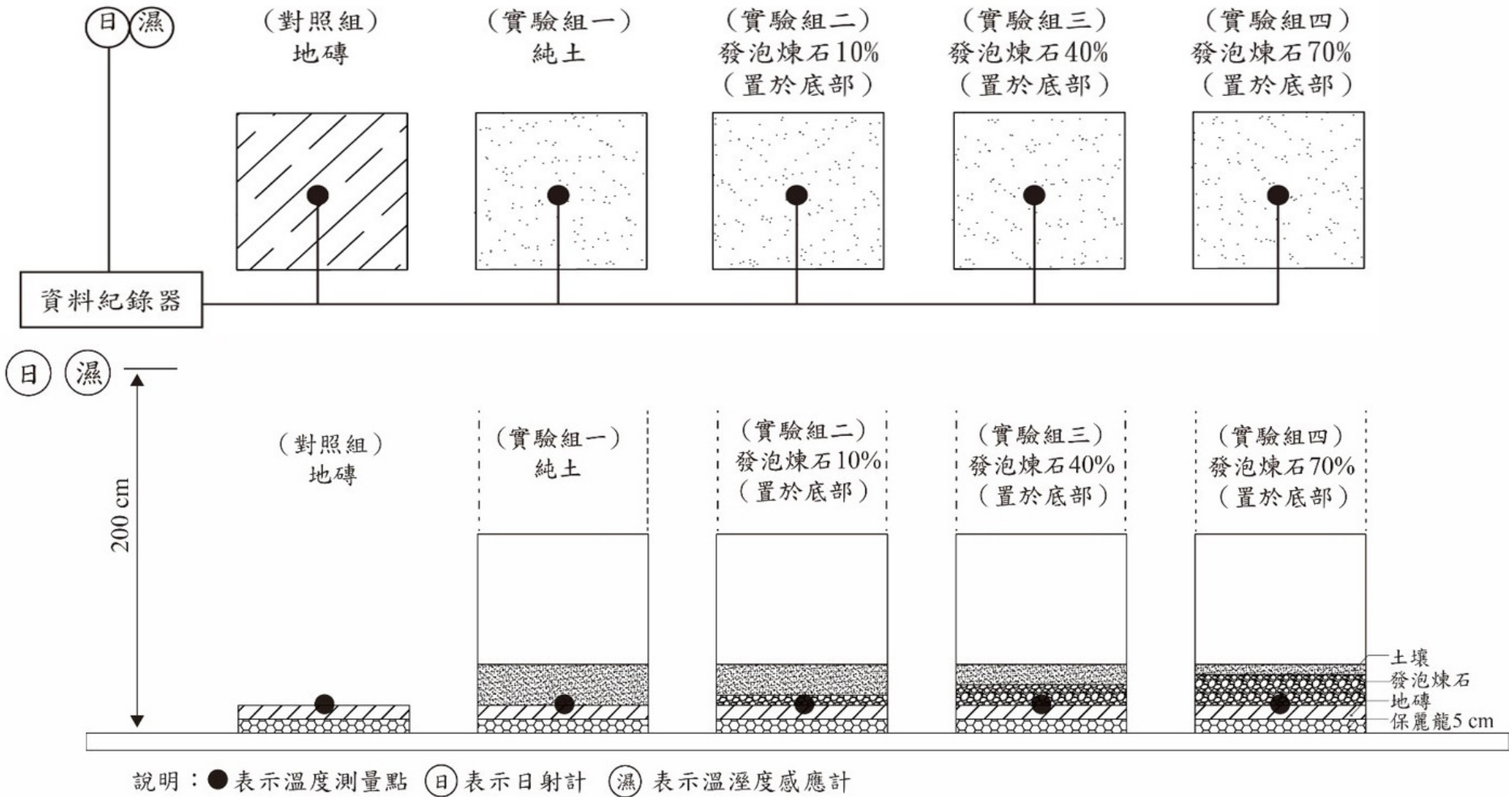
土壤深度	降溫幅度(°C)	額外降溫效果(°C)	土壤深度的變化(cm)	邊際降溫效果(°C)
土深10cm	16.24	16.24	10	1.62
土深15cm	18.36	2.12	5	0.42
土深20cm	20.38	2.02	5	0.40
土深25cm	21.02	0.64	5	0.13



結論：以**10cm**作為本研究後續栽培介質的深度



## 第二階段:The Second Stage

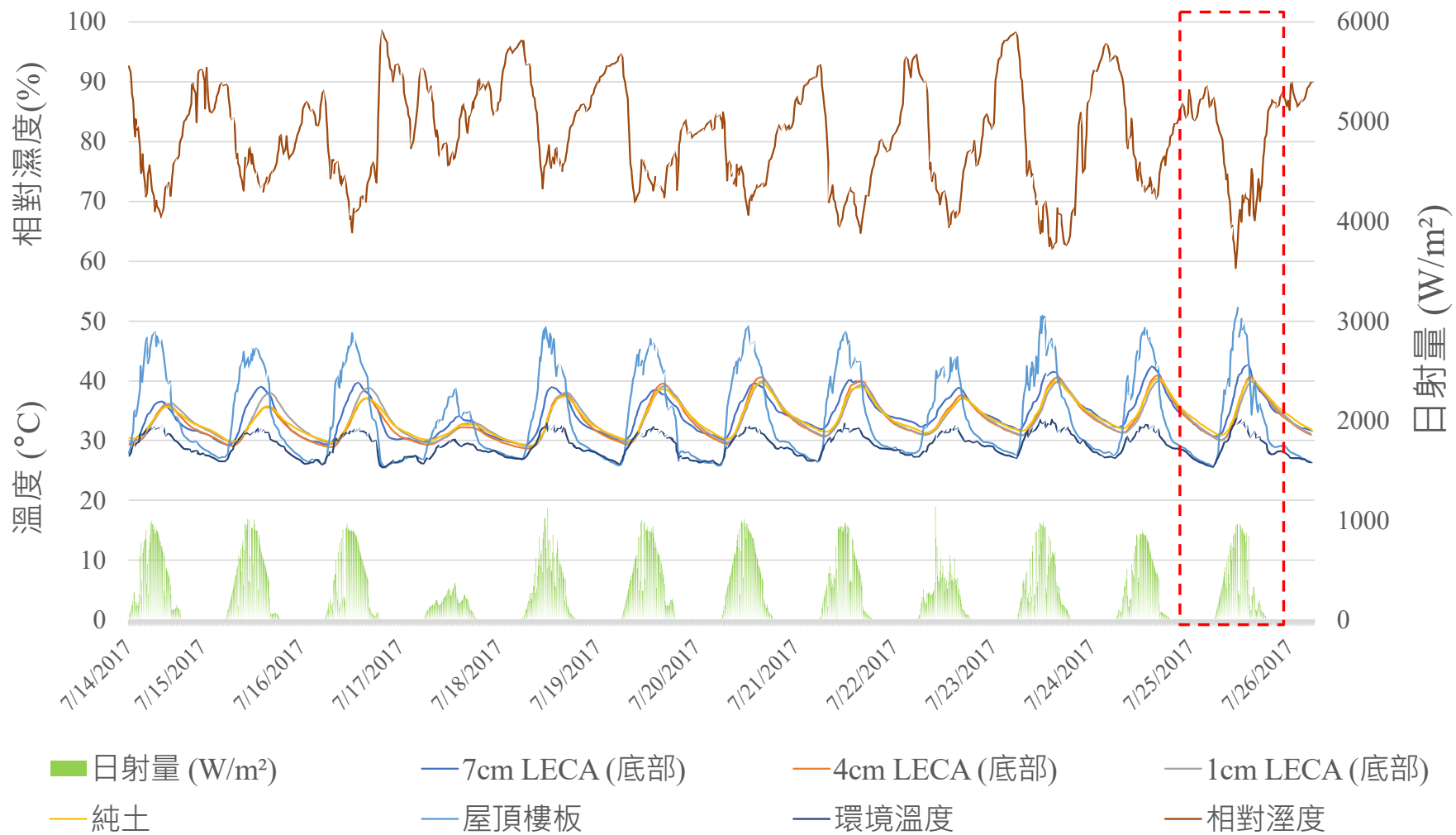


# 發泡煉石特性 LECA Features

1. 為陶土粉與鋸木屑之混合物，在 $1100^{\circ}\text{C}$ 高溫下燒製而成，有機含量高，混入土壤後可使植栽獲得更多的養分。
2. 重量輕、可以減輕建築物載重
3. 多孔性材質、可發揮阻斷熱傳導的效果

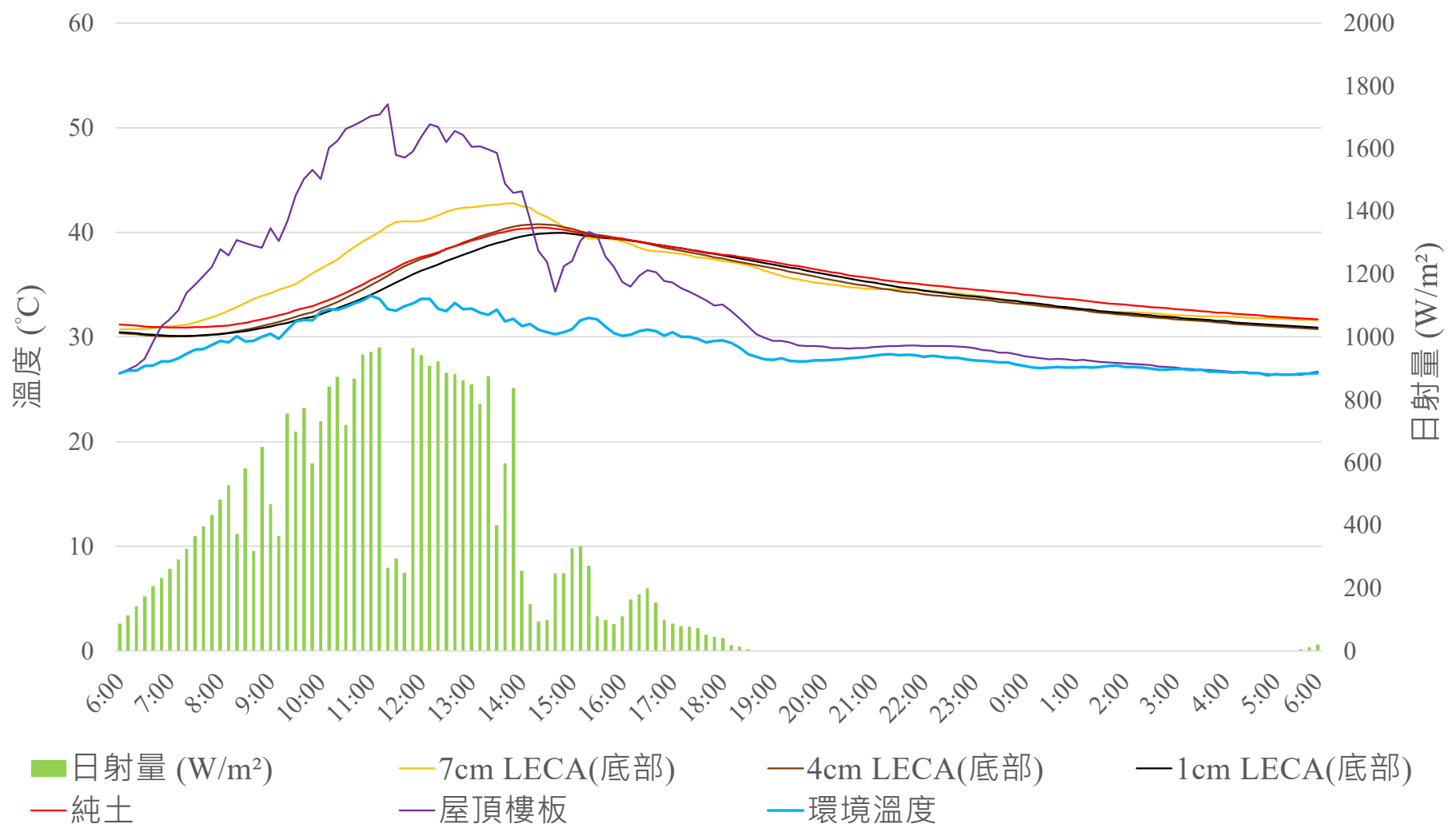


圖四.第二階段實驗溫度、相對濕度與日射量

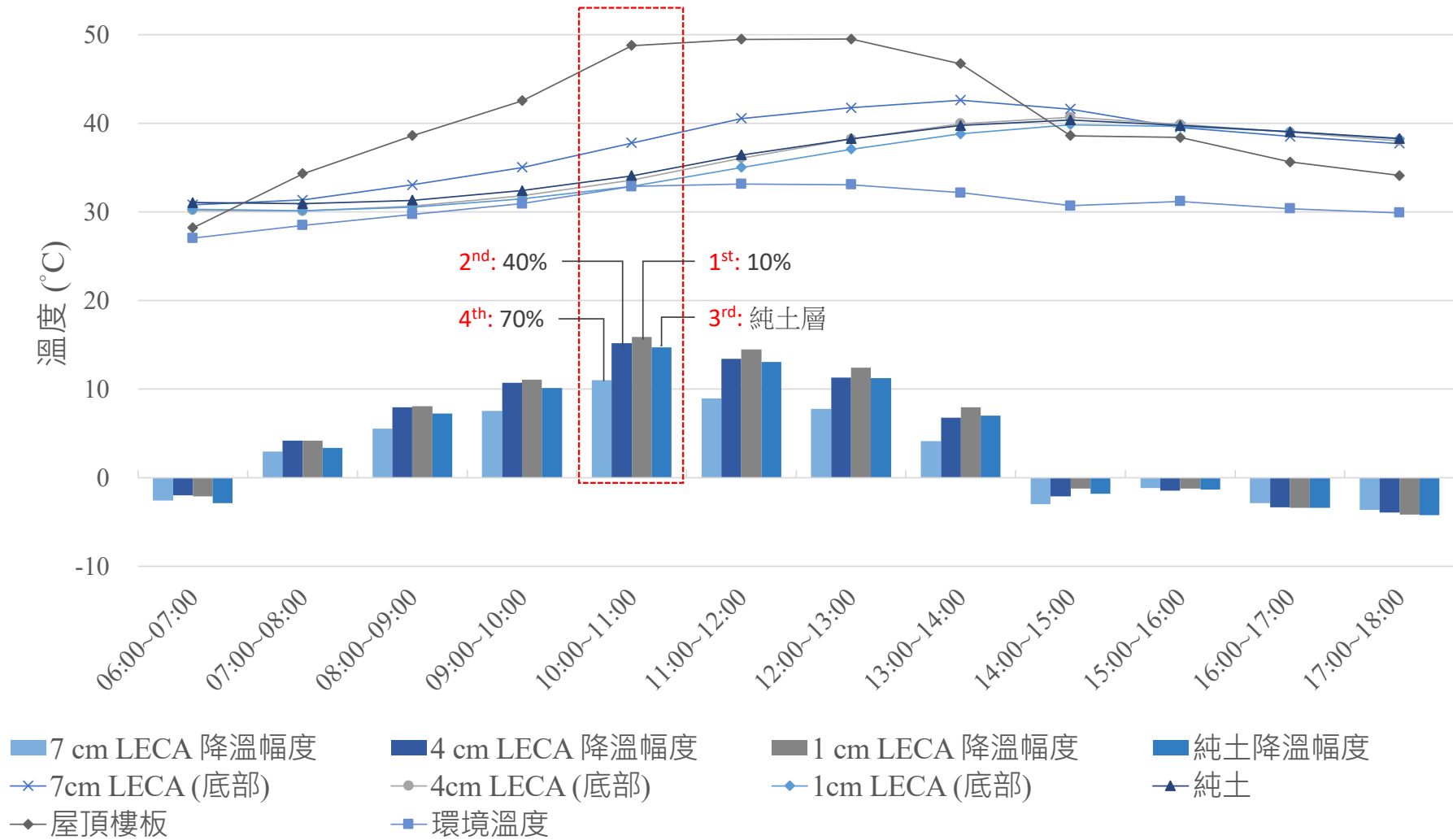





圖五 .不同比例發泡煉石薄層屋頂之降溫效果分析圖 ( 2017/7/25清晨6:00至7/26清晨6:00 )



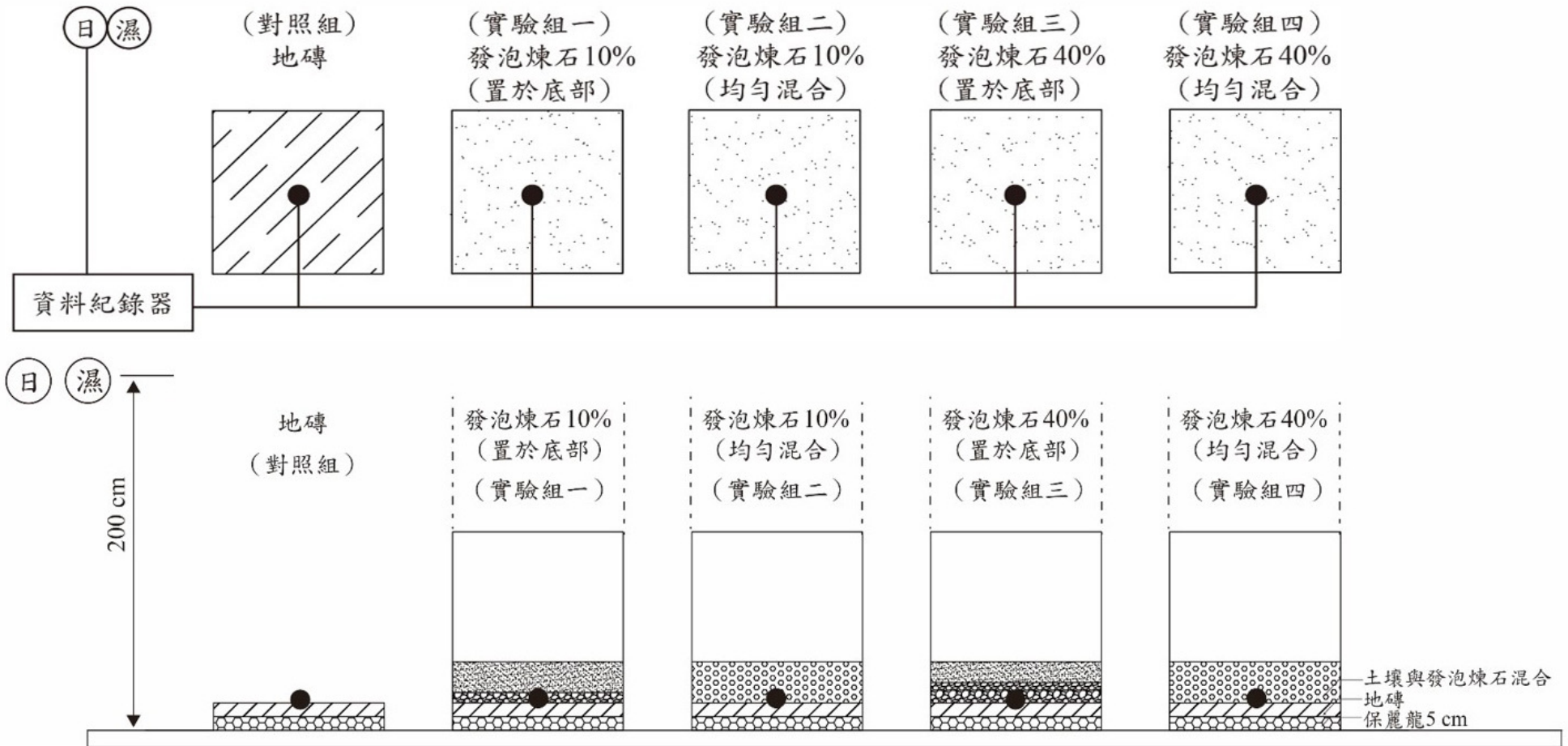
圖六.第二階段各時段降溫效果分析圖 (2017/7/25清晨6:00至7/25晚上18:00)





結論：在夏天時，**10%**及**40%**發泡煉石置於底部，  
比純土薄層屋頂具有更高的降溫的效果

# 第三階段:The Third Stage



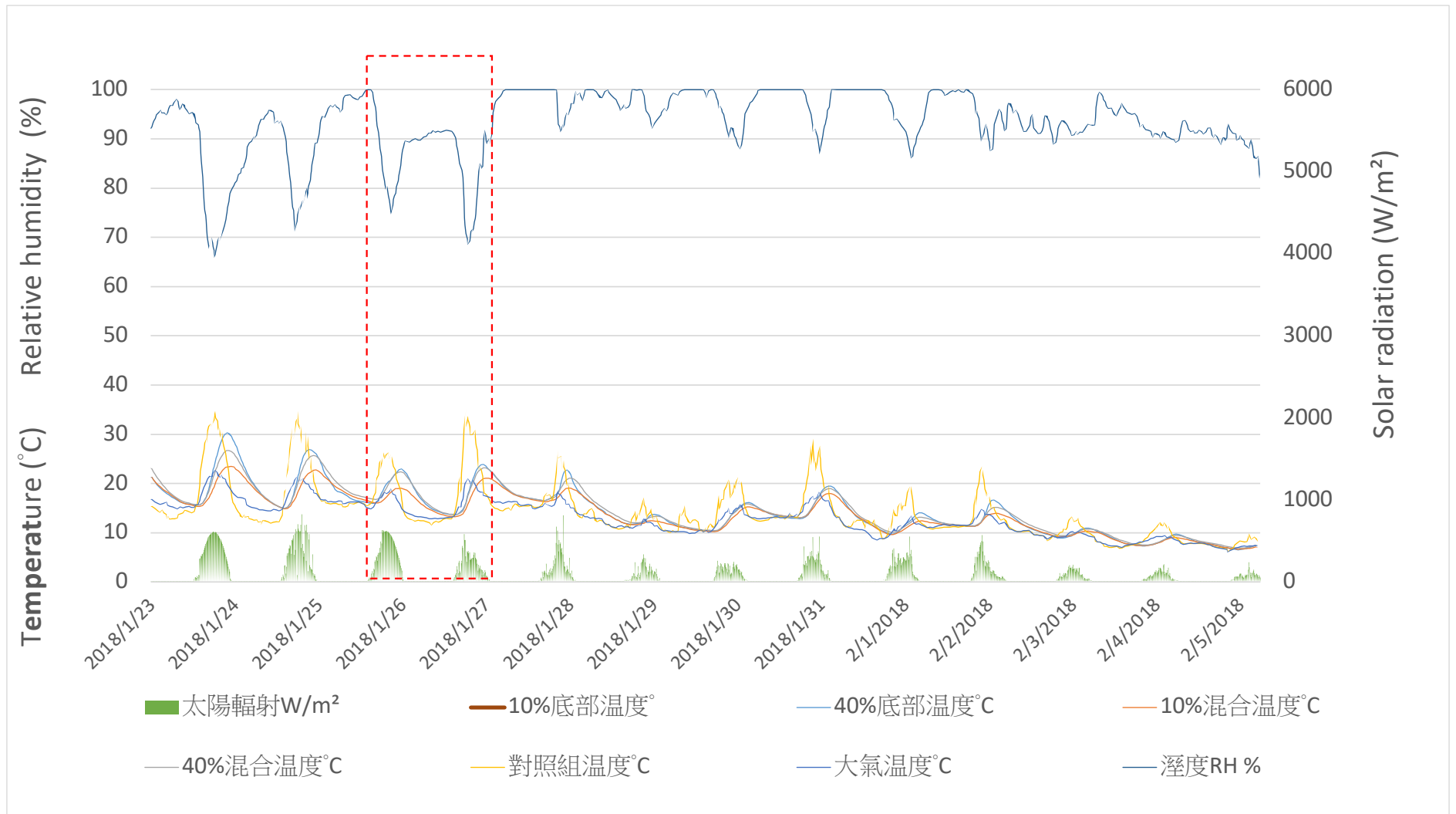
說明：●表示溫度測量點 (日)表示日射計 (濕)表示溫溼度感應計



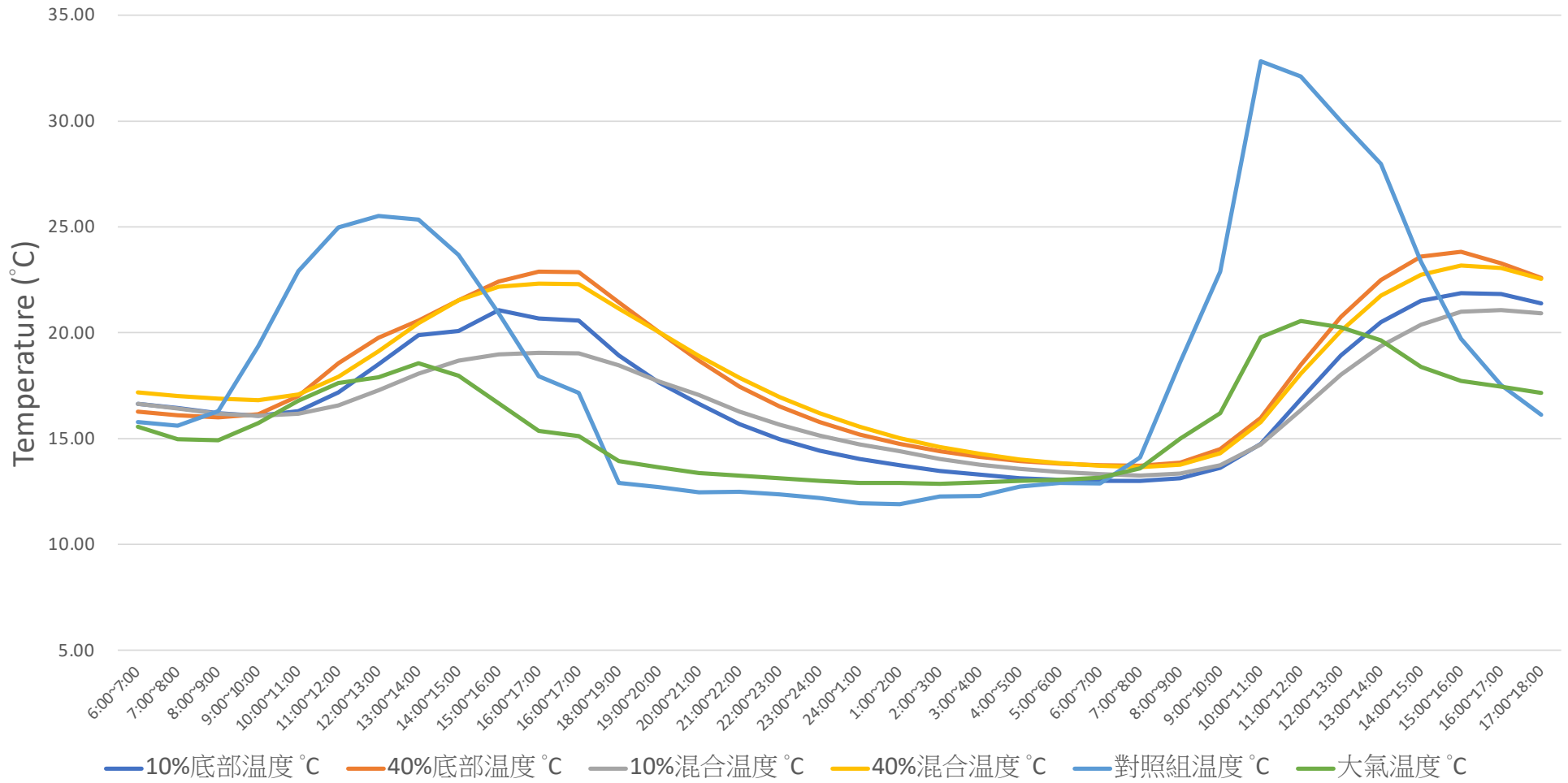
### 第三階段氣候狀況

測量時間	2018/1/23–2018/2/5
環境溫度範圍 (°C)	6.03–22.82
平均環境溫度 (°C)	12.93
屋頂樓板溫度範圍 (°C)	6.2–35.05
平均屋頂樓板溫度 (°C)	14.27
最大太陽輻射量 (W/m <sup>2</sup> )	825.6
平均相對溼度 (%)	93.4
選定後續分析之日期 (以框線註記)	2018/1/26

圖七.第三階段實驗溫度、相對濕度與日射量



第三階段各時段溫度變化圖（2018/1/26清晨6:00至1/27晚上18:00）

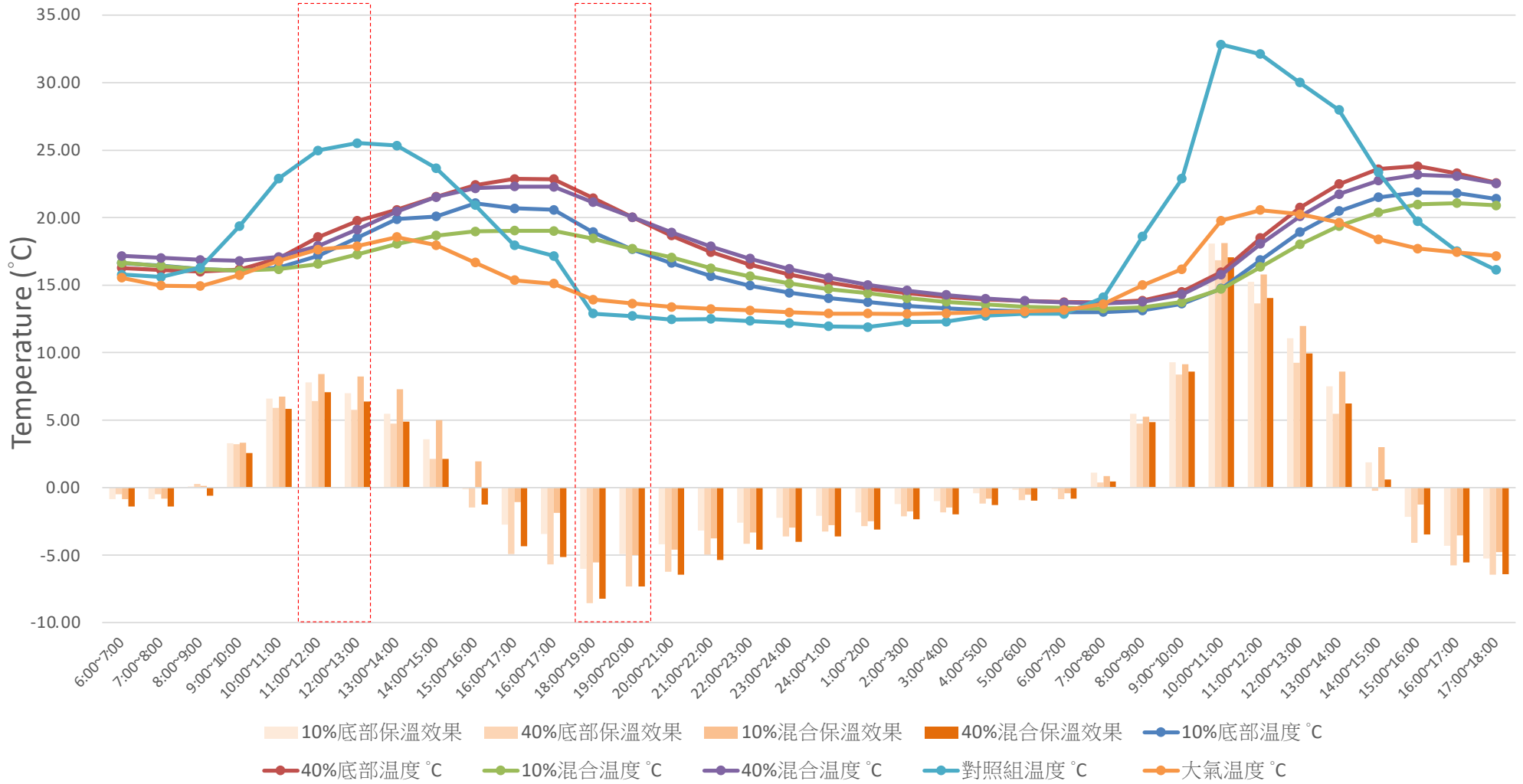


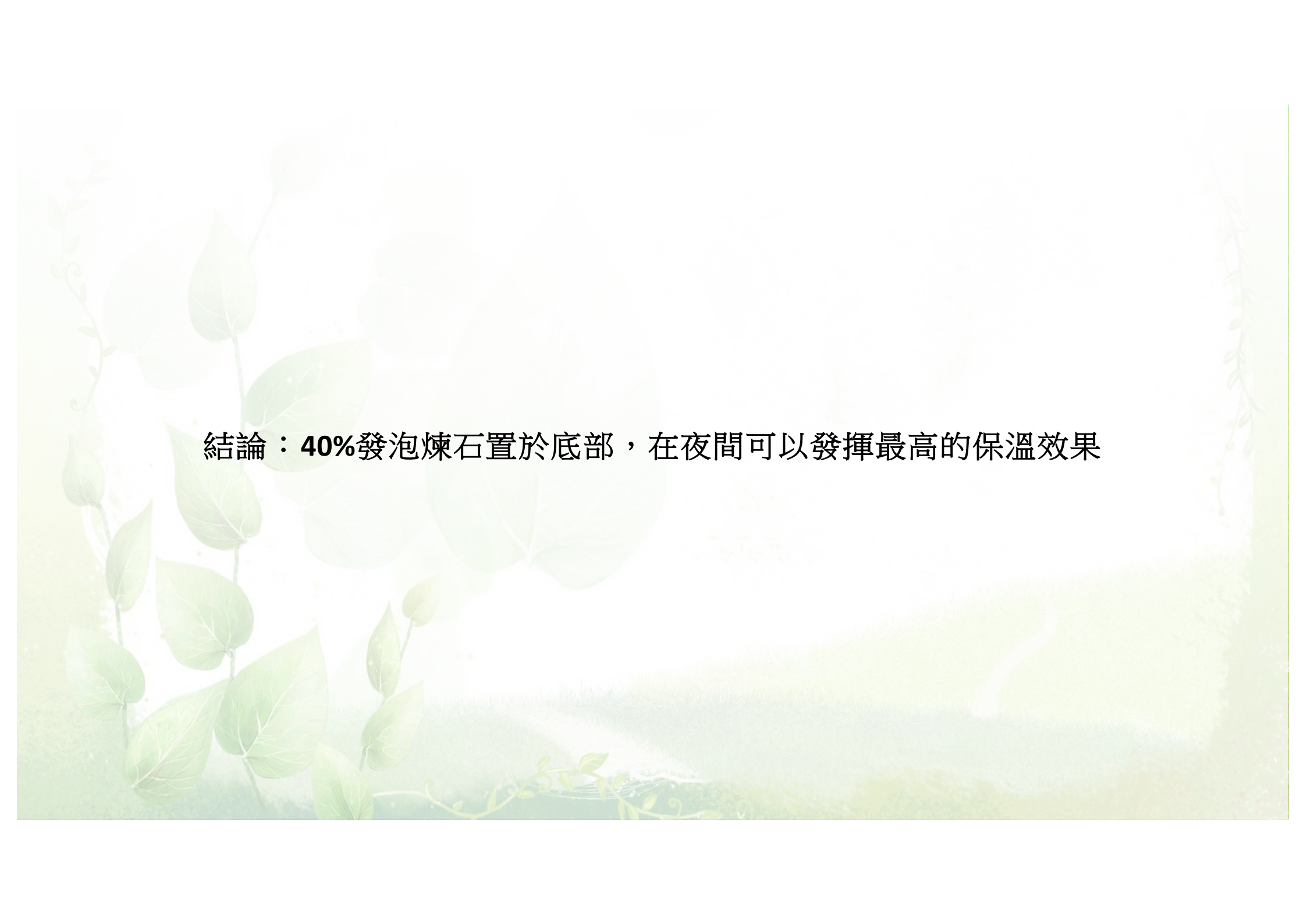
表二.發泡煉石位置佔比不同的效果分析表

時間		06:00~	07:00~	08:00~	09:00~	10:00~	11:00~	12:00~	13:00~	14:00~	15:00~	16:00~	17:00~	
0600~1800	上午~下午	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	
環境溫度		15.55	14.96	14.92	15.74	16.79	17.63	17.89	18.55	17.96	16.67	15.37	14.33	
樓板溫度		15.78	15.60	16.29	19.38	22.91	24.98	25.51	25.34	23.66	20.93	17.95	14.02	
加入發泡	3rd	底部10%	16.63	16.44	16.19	16.07	16.30	17.18	18.51	19.88	20.08	21.06	20.68	19.91
	1st	底部40%	16.28	16.11	16.00	16.16	17.00	18.56	19.77	20.58	21.53	22.41	22.87	22.45
	4th	混合10%	16.65	16.42	16.18	16.06	16.18	16.57	17.28	18.06	18.68	18.97	19.04	18.82
	2nd	混合40%	16.65	17.01	16.87	16.81	17.09	17.91	19.13	20.46	21.53	22.18	22.31	21.96
保溫效果	3rd	底部10%	-0.85	-0.84	0.09	3.30	6.60	7.80	7.00	5.46	3.58	-0.14	-2.73	-5.89
	1st	底部40%	-0.50	-0.50	0.29	3.22	5.90	6.42	5.75	4.76	2.13	-1.48	-4.92	-8.43
	4th	混合10%	-0.87	-0.81	0.11	3.32	6.73	8.42	8.24	7.28	4.99	1.96	-1.09	-4.80
	2nd	混合40%	-1.39	-1.41	-0.58	2.57	5.82	7.07	6.39	4.88	2.13	-1.26	-4.36	-7.94
時間		18:00~	19:00~	20:00~	21:00~	22:00~	23:00~	24:00~	01:00~	02:00~	03:00~	04:00~	05:00~	
1800~0600	晚上~凌晨	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	
環境溫度		13.93	13.64	13.37	13.24	13.13	12.99	12.89	12.90	12.86	12.92	12.99	13.06	
樓板溫度		12.89	12.70	12.45	12.49	12.35	12.18	11.94	11.90	12.26	12.28	12.73	12.90	
加入發泡	3rd	底部10%	18.92	17.64	16.63	15.68	14.96	14.43	14.03	13.75	13.48	13.29	13.13	13.05
	1st	底部40%	21.44	20.02	18.67	17.46	16.52	15.78	15.19	14.75	14.40	14.13	13.93	13.81
	4th	混合10%	18.45	17.70	17.05	16.26	15.66	15.13	14.71	14.39	14.03	13.76	13.57	13.41
	2nd	混合40%	21.14	20.03	18.91	17.86	16.96	16.19	15.55	15.02	14.60	14.27	14.01	13.84
保溫效果	3rd	底部10%	-6.03	-4.94	-4.18	-3.18	-2.61	-2.25	-2.09	-1.85	-1.22	-1.00	-0.40	-0.15
	1st	底部40%	-8.55	-7.32	-6.22	-4.97	-4.17	-3.60	-3.25	-2.85	-2.14	-1.85	-1.20	-0.92
	4th	混合10%	-5.55	-4.99	-4.61	-3.77	-3.31	-2.95	-2.77	-2.50	-1.77	-1.48	-0.84	-0.51
	2nd	混合40%	-8.24	-7.33	-6.46	-5.37	-4.61	-4.01	-3.61	-3.12	-2.35	-1.98	-1.28	-0.95
時間		06:00~	07:00~	08:00~	09:00~	10:00~	11:00~	12:00~	13:00~	14:00~	15:00~	16:00~	17:00~	
0600~1800	上午~下午	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	
環境溫度		13.14	13.60	15.00	16.19	19.79	20.55	20.25	19.64	18.39	17.71	17.44	17.17	
樓板溫度		12.88	14.10	18.61	22.89	32.82	32.12	30.00	27.98	23.35	19.72	17.53	16.13	
加入發泡煉石	3rd	底部10%	13.01	13.00	13.13	13.61	14.74	16.86	18.93	20.49	21.50	21.87	21.82	21.39
	1st	底部40%	13.74	13.71	13.86	14.50	15.96	18.49	20.73	22.49	23.59	23.82	23.28	22.58
	4th	混合10%	13.31	13.25	13.35	13.74	14.72	16.34	18.01	19.38	20.37	20.98	21.07	20.91
	2nd	混合40%	13.71	13.65	13.77	14.31	15.77	18.05	20.08	21.74	22.74	23.17	23.06	22.55
保溫效果	3rd	底部10%	-0.12	1.10	5.48	9.27	18.08	15.26	11.07	7.49	1.86	-2.15	-4.29	-5.26
	1st	底部40%	-0.85	0.38	4.75	8.39	16.86	13.63	9.27	5.49	-0.24	-4.11	-5.75	-6.45
	4th	混合10%	-0.43	0.85	5.26	9.15	18.11	15.77	11.99	8.60	2.98	-1.26	-3.54	-4.78
	2nd	混合40%	-0.83	0.45	4.84	8.58	17.05	14.06	9.92	6.24	0.61	-3.46	-5.53	-6.42



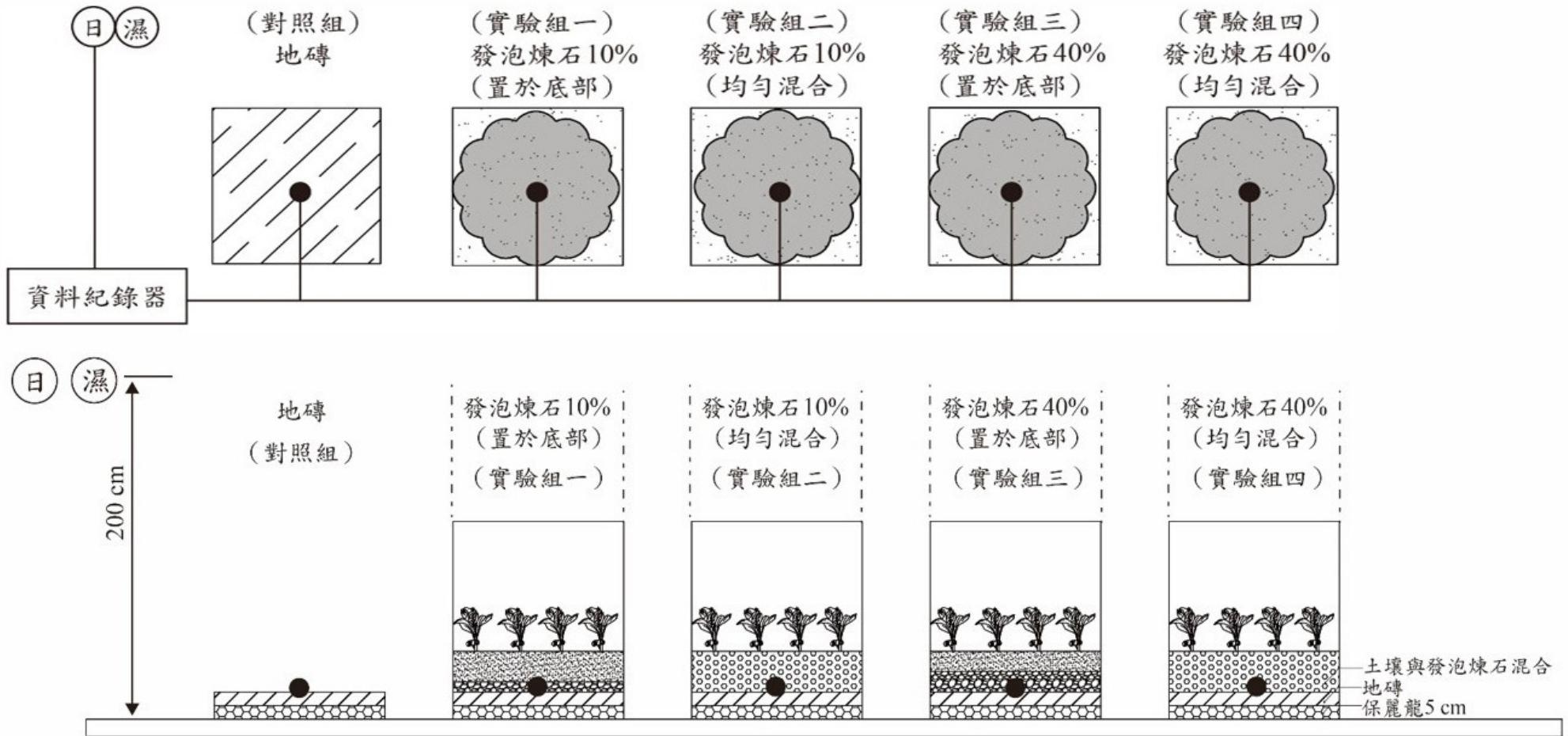
圖七.第三階段各時段降溫效果分析圖（2018/1/26清晨6:00至1/27晚上18:00）





結論：**40%**發泡煉石置於底部，在夜間可以發揮最高的保溫效果

# 第四階段 The Fourth stage



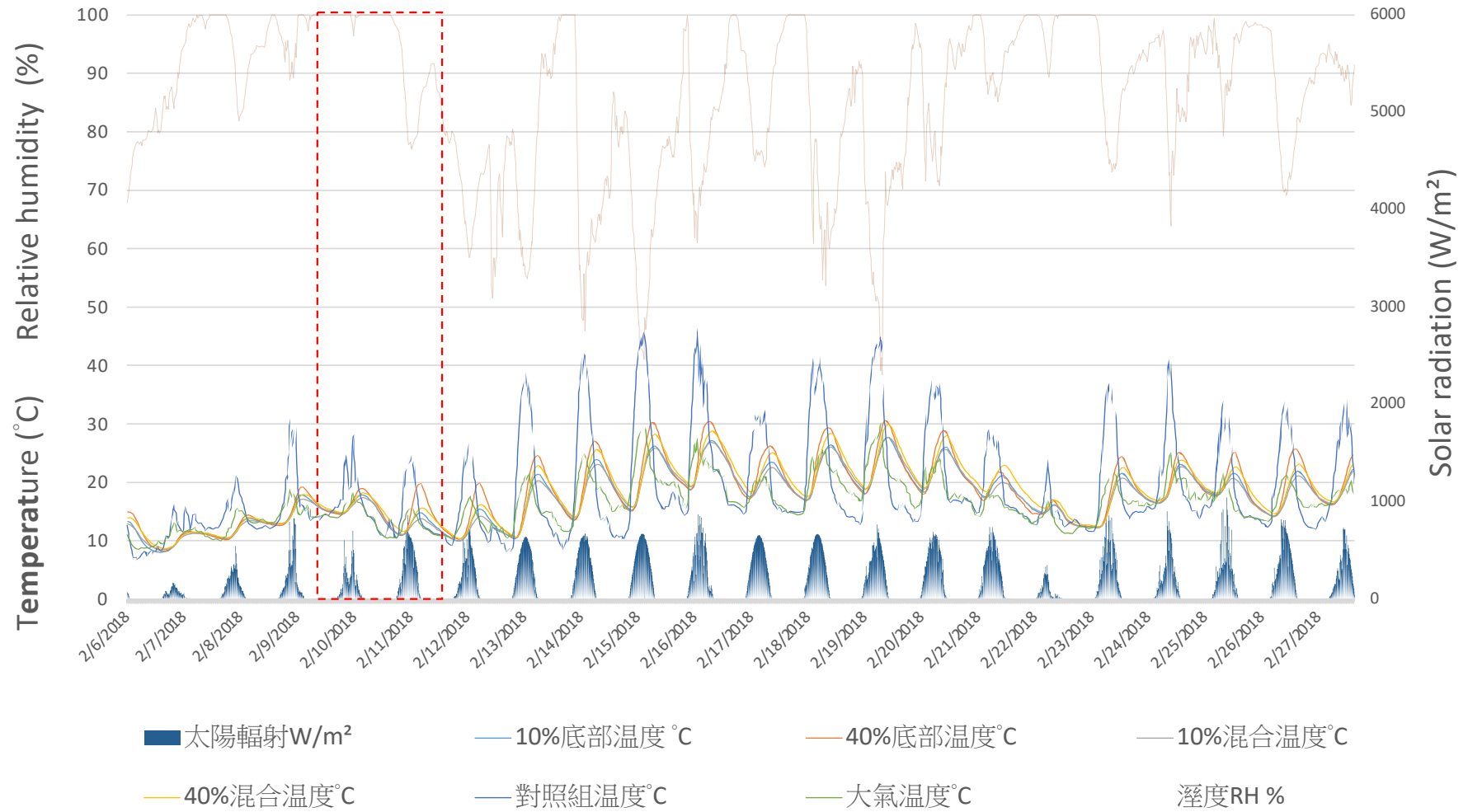
說明：●表示溫度測量點 (日)表示日射計 (濕)表示溫溼度感應計

## 第四階段氣候狀況

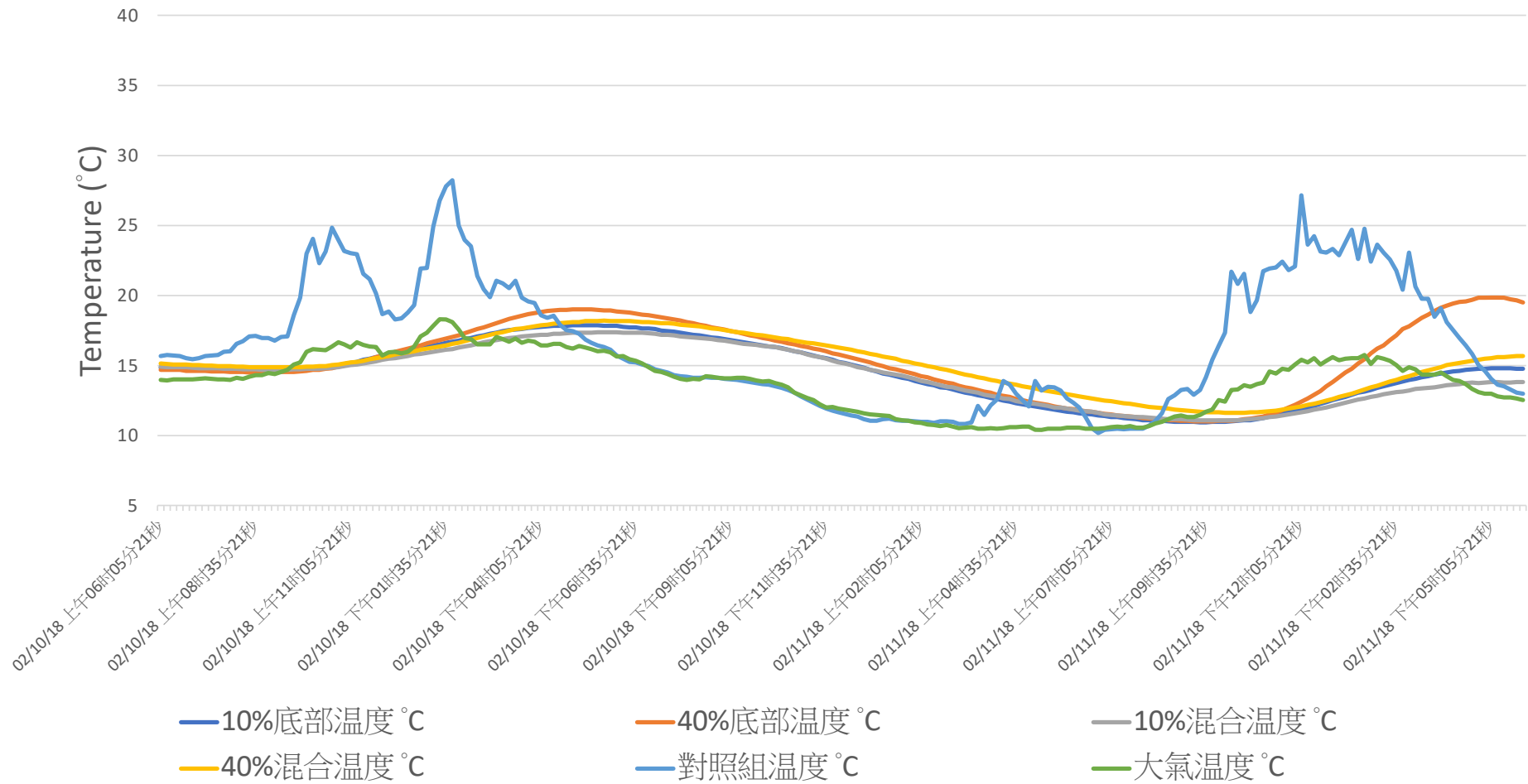
測量時間	2018/2/6–2018/2/27
環境溫度範圍 (°C)	8.54–30.44
平均環境溫度 (°C)	16.34
屋頂樓板溫度範圍 (°C)	6.71–46.45
平均屋頂樓板溫度 (°C)	18.73
最大太陽輻射量 (W/m <sup>2</sup> )	1043.1
平均相對溼度 (%)	86.16
選定後續分析之日期 (以框線註記)	2018/2/6



圖八.第四階段實驗溫度、相對濕度與日射量



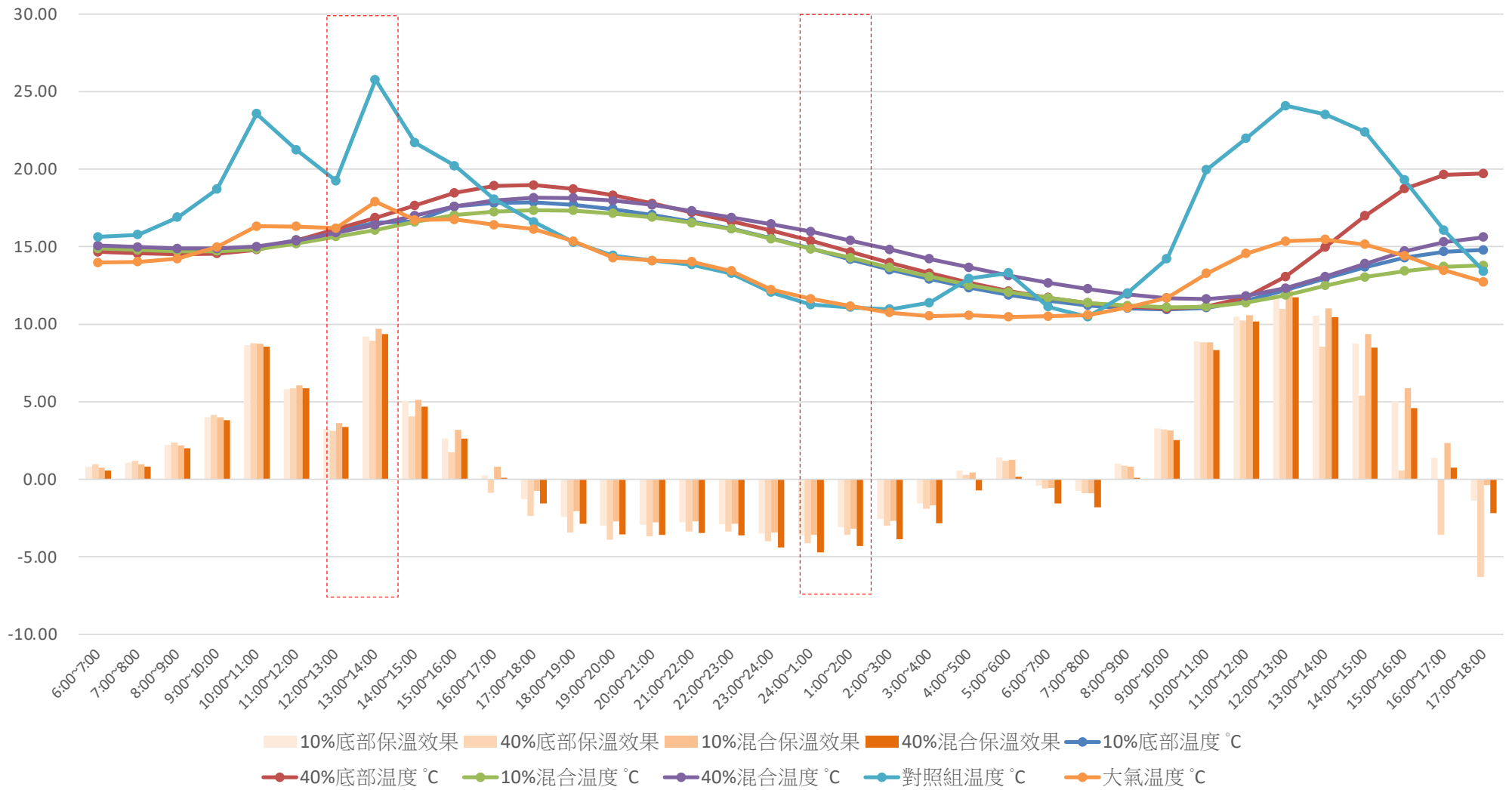
第四階段各時段溫度變化圖（2018/2/10清晨6:00至2/11晚上18:00）



表三.植栽保溫效果分析表

時間		06:00~	07:00~	08:00~	09:00~	10:00~	11:00~	12:00~	13:00~	14:00~	15:00~	16:00~	17:00~
0600~1800		上午~下午	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
環境溫度			13.98	14.03	14.23	14.98	16.31	16.30	16.19	17.89	16.73	16.76	16.41
樓板溫度			15.63	15.77	16.89	18.70	23.57	21.25	19.26	25.77	21.71	20.21	18.07
重植地瓜莖	發 泡 煉 石	底部10%	14.80	14.71	14.67	14.70	14.92	15.43	16.02	16.56	16.65	17.59	17.82
		底部40%	14.67	14.57	14.51	14.55	14.81	15.39	16.14	16.86	17.65	18.47	18.93
		混合10%	14.88	14.79	14.72	14.71	14.84	15.19	15.64	16.07	16.59	17.03	17.25
		混合40%	15.08	14.97	14.89	14.88	15.01	15.39	15.89	16.40	17.01	17.60	17.99
保溫效果	發 泡 煉 石	底部10%	0.83	1.05	2.23	4.00	8.65	5.82	3.24	9.22	5.06	2.62	0.25
		底部40%	0.96	1.19	2.38	4.15	8.77	5.86	3.12	8.91	4.05	1.74	-0.86
		混合10%	0.75	0.98	2.17	3.99	8.73	6.06	3.61	9.70	5.12	3.18	0.82
		混合40%	0.55	0.80	2.00	3.83	8.57	5.87	3.36	9.37	4.70	2.61	0.08
時間		18:00~	19:00~	20:00~	21:00~	22:00~	23:00~	24:00~	01:00~	02:00~	03:00~	04:00~	05:00~
1800~0600		晚上~凌晨	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00
環境溫度			15.35	14.29	14.10	14.02	13.43	12.23	11.64	11.17	10.75	10.53	10.58
樓板溫度			15.28	14.43	14.10	13.84	13.27	12.06	11.26	11.09	10.96	11.38	12.94
重植地瓜莖	發 泡 煉 石	底部10%	17.71	17.42	17.05	16.62	16.15	15.55	14.88	14.18	13.52	12.92	12.36
		底部40%	18.73	18.32	17.78	17.21	16.63	16.04	15.38	14.67	13.96	13.29	12.67
		混合10%	17.33	17.15	16.89	16.54	16.15	15.51	14.85	14.28	13.65	13.07	12.51
		混合40%	18.14	17.97	17.68	17.30	16.88	16.46	15.97	15.40	14.82	14.22	13.66
保溫效果	發 泡 煉 石	底部10%	-2.43	-3.00	-2.94	-2.78	-2.88	-3.49	-3.62	-3.08	-2.55	-1.54	0.58
		底部40%	-3.44	-3.89	-3.68	-3.37	-3.36	-3.98	-4.13	-3.57	-3.00	-1.91	0.27
		混合10%	-2.05	-2.72	-2.79	-2.70	-2.88	-3.44	-3.60	-3.19	-2.69	-1.69	0.43
		混合40%	-2.86	-3.55	-3.58	-3.45	-3.61	-4.39	-4.71	-4.30	-3.85	-2.84	-0.72
時間		next day	06:00~	07:00~	08:00~	09:00~	10:00~	11:00~	12:00~	13:00~	14:00~	15:00~	16:00~
0600~1800		上午~下午	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
環境溫度			10.52	10.60	11.08	11.69	13.27	14.55	15.35	15.46	15.15	14.42	13.48
樓板溫度			11.12	10.47	12.01	14.23	19.97	21.99	24.08	23.52	22.40	19.30	16.06
重植地瓜莖	發 泡 煉 石	底部10%	11.52	11.22	11.02	10.95	11.06	11.51	12.19	12.95	13.67	14.29	14.68
		底部40%	11.71	11.37	11.13	11.02	11.14	11.74	13.08	14.97	16.99	18.73	19.64
		混合10%	11.69	11.38	11.20	11.09	11.13	11.39	11.88	12.50	13.04	13.44	13.72
		混合40%	12.67	12.27	11.93	11.69	11.62	11.82	12.33	13.07	13.90	14.70	15.30
保溫效果	發 泡 煉 石	底部10%	-0.40	-0.75	0.99	3.28	8.91	10.47	11.88	10.57	8.73	5.01	1.37
		底部40%	-0.59	-0.89	0.88	3.21	8.83	10.25	11.00	8.55	5.41	0.56	-3.59
		混合10%	-0.57	-0.91	0.82	3.14	8.84	10.60	12.20	11.02	9.37	5.86	2.34
		混合40%	-1.55	-1.80	0.09	2.55	8.35	10.17	11.75	10.45	8.50	4.59	0.76

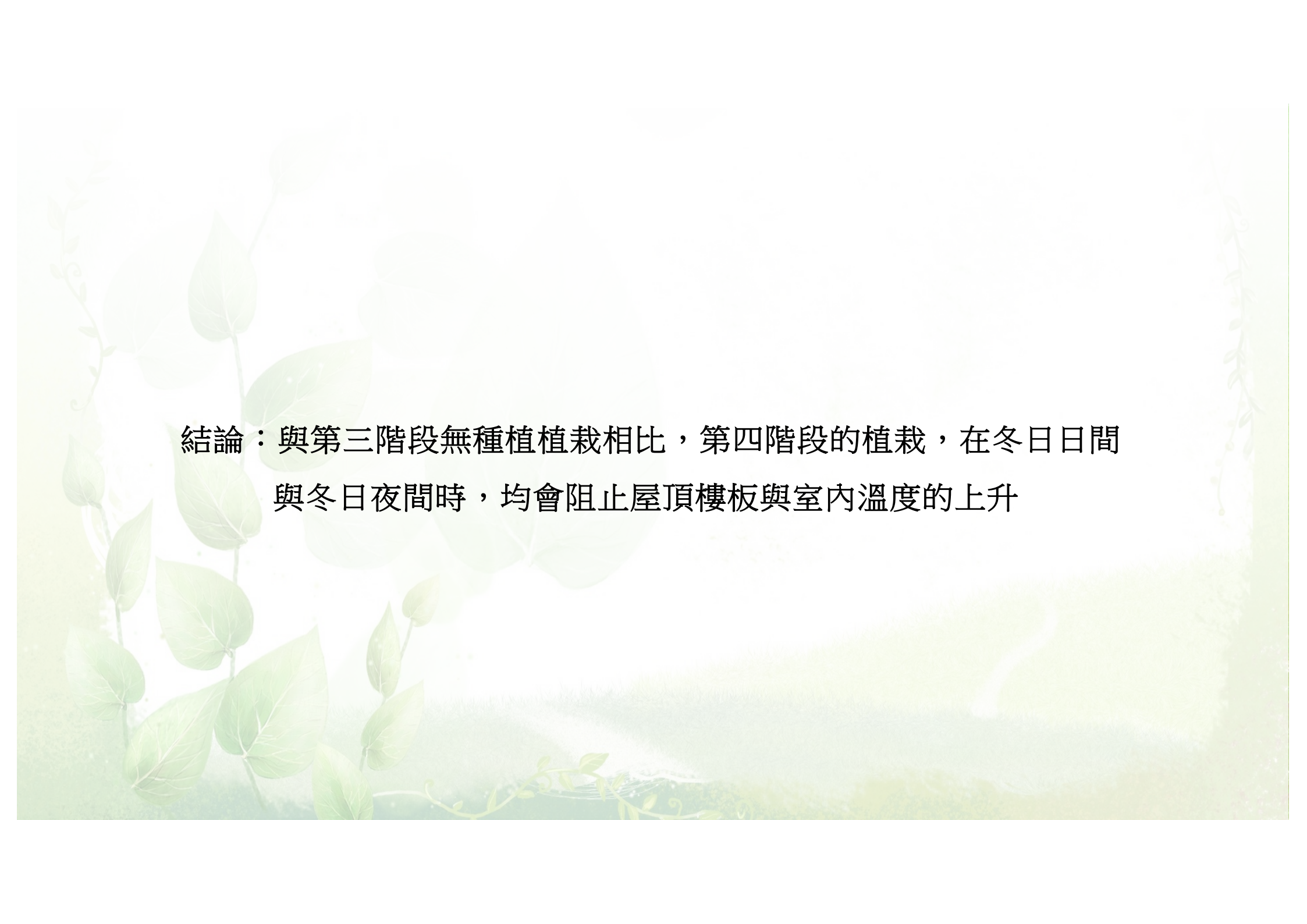
圖九.第四階段各時段降溫效果分析圖（2018/2/10清晨6:00至2/11晚上18:00）





表四 .有植栽跟沒植栽的溫度差異比較表:

日間	發泡煉石位置	第三階段 (沒植栽)	第四階段 (有植栽)	溫度 差異
	環境溫度	17.63	17.89	0.26
	樓板溫度	24.98	25.77	0.79
	底部10%	17.18	16.56	-0.62
	底部40%	18.56	16.86	-1.70
	混合10%	16.57	16.07	-0.50
	混合40%	17.91	16.40	-1.54
夜間	發泡煉石位置	第三階段 (沒植栽)	第四階段 (有植栽)	溫度 差異
	環境溫度	13.93	11.64	-2.29
	樓板溫度	12.89	11.26	-1.63
	底部10%	18.92	14.88	-4.04
	底部40%	21.44	15.38	-6.06
	混合10%	18.45	14.85	-3.60
	混合40%	21.14	15.97	-5.17



結論：與第三階段無種植植栽相比，第四階段的植栽，在冬日日間與冬日夜間時，均會阻止屋頂樓板與室內溫度的上升



# 結論

## CONCLUSIONS



## 結論

- 夏日日間，**10公分**栽培介質具有最大的邊際降溫效果
- 夏日日間，**40%發泡煉石**置於底部具有最大的降溫效果
- 冬日夜間，**40%發泡煉石**置於地部具有最大的保溫效果
- 冬日夜間，若為獲得較佳的保溫效果，則建議將植栽移除





謝謝聆聽