

Journal of Far East University

# 遠東學報

第三十九卷第二期



**VOL.39.NO.2**

## 遠東學報第三十九卷第二期目錄

隔離型高降壓比直流-直流轉換器之研製	pp.47~56	楊隆生	江鼎平
超臨界二氧化碳萃取薑黃之最適參數研究	pp.57~68	賴一誠 許顯榮	林綉敏
臺南市國小教師辦理戶外教育的教學成效、 實施困境與教學能力需求之研究	pp.69~82	邱姿穎	黃啟明



# 隔離型高降壓比直流-直流轉換器之研製

## Implementation of a High Step-Down DC-DC Converter with Electrical Isolation

楊隆生 遠東科技大學電機工程系副教授

江鼎平 遠東科技大學電機工程系學生

### 摘 要

本文旨在研製一隔離型高降壓比直流-直流轉換器。本轉換器採用脈波寬度調變技術，使用單一切換開關整合切換電容式直流-直流轉換器及順向式直流-直流轉換器。本轉換器之前半級採用切換電容技術，利用兩相同電容量的電容器作串聯儲存能量及並聯釋放能量。此前半級可以提供降壓及低輸入電流漣波之功能。本轉換器之後半級為順向式直流-直流轉換器，可提供降壓、電氣隔離、及低輸出電流漣波之功能。因此，在串級的架構下，本轉換器可提供高降壓比的功能。本文中對本轉換器的動作原理、穩態分析、及邊界條件作詳盡的探討。以提供參數設計及元件選擇。最後，實際製作一雛形電路以驗證本轉換器的性能。

**關鍵詞：**脈波寬度調變、高降壓比、切換電容式

Lung-Sheng Yang, Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Far East University  
Ding-Ping Jiang, Undergraduate Student, Department of Electrical Engineering, Far East University

### **Abstract**

This paper presents a high step-down DC-DC converter with electrical isolation. The pulse-width-modulation technique is adapted for the proposed converter. Single switch is utilized for the proposed converter to integrate a switched-capacitor DC-DC converter with a DC-DC forward converter. The switched-capacitor technique is adopted for the front semi-stage of the proposed converter. Two capacitors with same capacitance are charged in series and are discharged in parallel. The front semi-stage can provide step-down voltage conversion and low input-current ripple. The rear semi-stage of the proposed converter is a DC-DC forward converter, which can provide step-down voltage conversion, electrical isolation, and low output-current ripple. Therefore, the proposed converter can achieve high step-down voltage conversion. The operating principles, steady-state analyses, boundary conditions, and circuit parameters design are discussed. In order to illustrate the performance, a prototype hardware circuit of the proposed converter is implemented.

**Keywords:** pulse-width-modulation, high step-down voltage conversion, switched capacitor

## 一、前言

直流電源被廣泛的應用在工業、商業、航太、通訊、醫療、及車用等方面的各式各樣產品。早期使用的直流電源供應器為線性式直流電源供應器，存在效率低、功率密度低、體積大等缺點。由於電力電子技術快速發展，目前採用電源供應器大多為切換式電源供應器，具有高效率、高功率密度之優點。因此，為應用於各式產品所需的直流電源，設計各種切換式電源轉換器。其中部份產品需要具有高降壓轉換比的直流-直流轉換器。傳統降壓型直流-直流轉換器，理論上可以達到高降壓轉換比的[1]-[3]。然而，此時切換開關之責任週期操作很低。為提供足夠的能量，輸入電流的脈動電流將太大，電磁干擾增加。造成功率元件電流應力變大，輸出暫態響應，及轉換器轉換效率變差。因此，一些文獻提出許多架構，在合理的責任週期操作下，達到高降壓轉換比。這些架構在應用上有非電氣隔離型及電氣隔離型。非電氣隔離型包含切換電容型、切換電感型、修正式錯相降壓型、電容分壓型、串級型、耦合電感型。切換電容型係採用相同電容量的電容器，切換開關導通時作並聯釋放能量及截止時作串聯儲存能量[4]-[7]。切換電感型則採用相同電感量的電感器，切換開關導通時作串聯儲存能量及截止時作並聯釋放能量[6]-[8]。修正式錯相降壓型及電容分壓型，降壓後利用錯相技術提供相對於傳統降壓型轉換器較高的降壓比及低輸出電流漣波[9]-[13]。串級型為多個傳統降壓型轉換器使用單個開關結合成單級化控制，此轉換器可提供高降壓比及低輸出電流漣波[14]-[16]。耦合電感型利用調整匝數比達到高降壓比功能，然而此轉換器的輸入電流的漣波太高，且控制較複雜[17]-[21]。電氣隔離型利用調整變壓器的匝數比以設計合理的責任週期，可避免高峯值電流產生，並減少功率切換元件切換損失。然而電氣隔離型轉換器無法提供的低輸入電流漣波[22]-[26]。

本論文研究一隔離型高降壓比轉換器，僅使用單一切換開關 $S_1$ ，如圖1所示。本轉換器的前半級採用一切換電容式直流-直流轉換器，使用的電容器 $C_1$ 及 $C_2$ 具有相同電容量，可提供降壓功能及低輸入電流漣波。當切換開關導通時，兩電容器作並聯釋放能量。當切換開關截止時，兩電容器作串聯儲存能量。本轉換器的後半級為順向式型直流-直流轉換器，可提供電氣隔離、降壓、及低輸出電流漣波。在串級的架構下，本轉換器可提供高降壓比之功能。因此本轉換器具有下列優點：(1) 可提供高降壓比之功能；(2) 低輸入電流漣波；(3) 低輸出電流漣波；(4) 電氣隔離；(5) 單一切換開關、控制簡單。

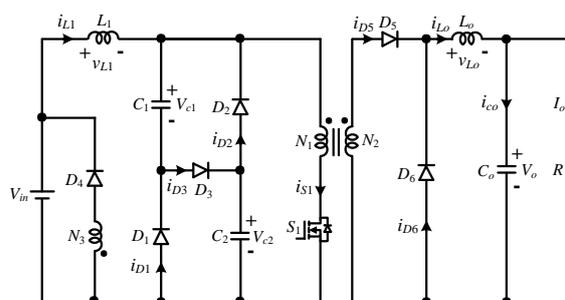


圖 1 本文提出之隔離型高降壓比直流-直流轉換器

## 二、操作原理

本轉換器採用脈波寬度調變技術控制切換開關 $S_1$ 。圖1中電容器 $C_1$ 及 $C_2$ 具有相同電容量，假定其電容量夠大，電容電壓 $V_{c1}$ 、 $V_{c2}$ 可視為定值，且 $V_{c1} = V_{c2}$ 。以下分析電感器 $L_1$ 及 $L_o$ 皆操作於連續導通模式。圖2為本轉換器於單一切換週期主要波形圖。其操作原理敘述如下：

### (1) 模式 1：

在區間 $[t_0, t_1]$ ，切換開關 $S_1$ 導通，電流路徑如圖3所示。此區間，輸入電源 $V_m$ 的能量傳送至輸入電感器 $L_1$ 及電容器 $C_1$ 、 $C_2$ 。儲存於電容器 $C_1$ 、 $C_2$ 的能量經由變壓器並聯送至輸出電感器 $L_o$ 、輸出電容器 $C_o$ 、及負載 $R$ 。因此輸入電感電流 $i_{L1}$ 及輸出電感電流 $i_{L_o}$ 呈線性增加，如圖2所示。當 $t = t_1$ 時，此操

作模式結束。此區間，跨於電感器 $L_1$ 及 $L_o$ 之電壓為

$$v_{L1} = V_{in} - V_{c1} \quad (1)$$

$$v_{L_o} = nV_{c1} - V_o \quad (2)$$

其中變壓器的匝數比 $n = N_2/N_1$ 。

由方程式(1)及(2)，可得輸入電感電流及輸出電感電流之微分方程式為

$$\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{V_{in} - V_{c1}}{L_1} \quad (3)$$

$$\frac{di_{L_o}}{dt} = \frac{nV_{c1} - V_o}{L_o} \quad (4)$$

因此，可知輸入電感及輸出電感之電流為

$$i_{L1}(t) = \frac{V_{in} - V_{c1}}{L_1}(t - t_0) + i_{L1}(t_0), \quad t_0 \leq t \leq t_1 \quad (5)$$

$$i_{L_o}(t) = \frac{nV_{c1} - V_o}{L_o}(t - t_0) + i_{L_o}(t_0), \quad t_0 \leq t \leq t_1 \quad (6)$$

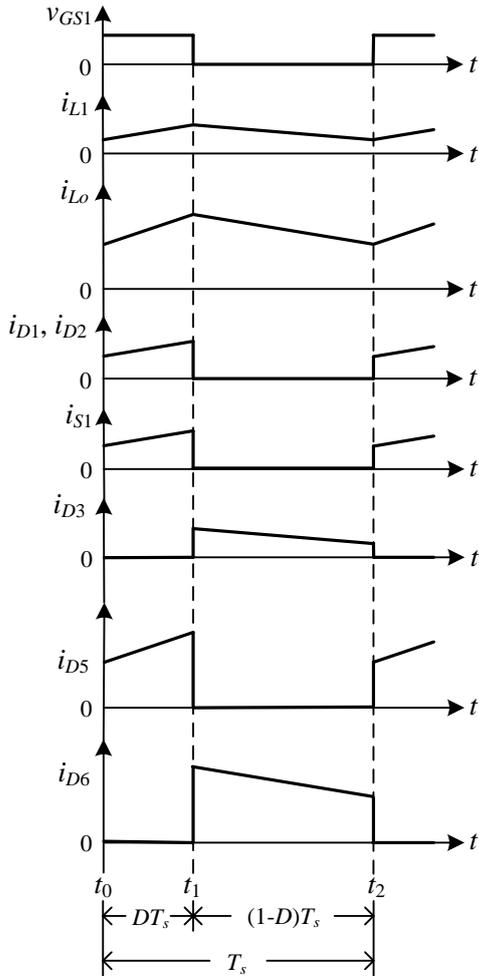


圖 2 本轉換器操作在連續導通模式之單一切換週期主要波形

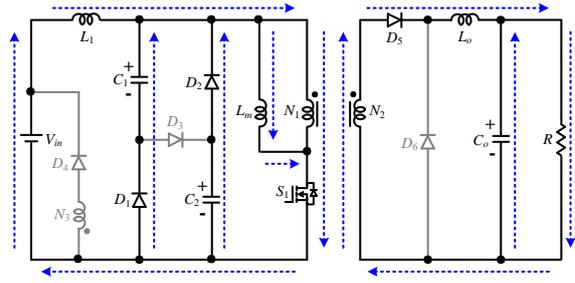


圖 3 本轉換器操作於模式 1 之電流路徑圖

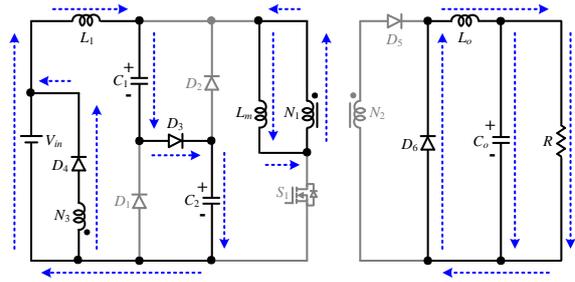


圖 4 本轉換器操作於模式 2 之電流路徑圖

(2)模式 2：

在區間 $[t_1, t_2]$ ，切換開關 $S_1$ 截止，電流路徑如圖4所示。此區間，輸入電源 $V_{in}$ 與儲存於輸入電感器 $L_1$ 串聯，將其能量傳送至電容器 $C_1$ 及 $C_2$ 。此時電容器 $C_1$ 及 $C_2$ 係串聯儲存能量。變壓器的剩磁能量經由第三繞組回送至輸入電源。輸出電感器 $L_o$ 及輸出電容器 $C_o$ 供應能量至負載 $R$ 。因此輸入電感電流 $i_{L1}$ 及輸出電感電流 $i_{L_o}$ 呈線性減少，如圖2所示。當 $t = t_2$ 時，切換開關 $S_1$ 再度導通，此操作模式結束。此區間，跨於電感器 $L_1$ 及 $L_o$ 之電壓為

$$v_{L1} = V_{in} - V_{c1} - V_{c2} = V_{in} - 2V_{c1} \quad (7)$$

$$v_{L_o} = -V_o \quad (8)$$

由方程式(7)及(8)，可得輸入電感電流及輸出電感電流之微分方程式為

$$\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{V_{in} - 2V_{c1}}{L_1} \quad (9)$$

$$\frac{di_{L_o}}{dt} = -\frac{V_o}{L_o} \quad (10)$$

因此，可知輸入電感及輸出電感之電流為

$$i_{L1}(t) = \frac{V_{in} - 2V_{c1}}{L_1}(t - t_1) + i_{L1}(t_1), \quad t_1 \leq t \leq t_2 \quad (11)$$

$$i_{L_o}(t) = -\frac{V_o}{L_o}(t-t_1) + i_{L_o}(t_1), \quad t_1 \leq t \leq t_2 \quad (12)$$

### 三、穩態分析

(1)電壓增益：

應用伏秒平衡原理於電感器  $L_1$  及  $L_o$  時，可得如下的方程式

$$\int_{t_0}^{t_1} v_{L_1}(t)dt + \int_{t_1}^{t_2} v_{L_1}(t)dt = 0 \quad (13)$$

$$\int_{t_0}^{t_1} v_{L_o}(t)dt + \int_{t_1}^{t_2} v_{L_o}(t)dt = 0 \quad (14)$$

將方程式(1)、(2)、(7)、及(8)代入(13)及(14)可得

$$(V_{in} - V_{c1})DT_s + (V_{in} - 2V_{c1})(1-D)T_s = 0 \quad (15)$$

$$(nV_{c1} - V_o)DT_s + (-V_o)(1-D)T_s = 0 \quad (16)$$

其中  $D$  為責任週期， $T_s$  為切換週期，如圖 2 所示。化簡方程式(15)，可得本轉換器的前半級之電壓增益方程式為

$$M_1 = \frac{V_{c1}}{V_{in}} = \frac{1}{2-D} \quad (17)$$

化簡方程式(16)，可得本轉換器的後半級之電壓增益方程式為

$$M_2 = \frac{V_o}{V_{c1}} = nD \quad (18)$$

因此，可知本轉換器之電壓增益方程式為

$$M = \frac{V_o}{V_{in}} = M_1 M_2 = \frac{nD}{2-D} \quad (19)$$

本轉換器的電壓增益之曲線如圖 5 所示，可看出本轉換器具有高倍降壓之功能。

(2)本轉換器的後半級之邊界操作條件：

當本轉換器的後半級操作於邊界導通模式時，由方程式(4)可得流經輸出電感器  $L_o$  的電流峰值為

$$I_{Lop} = \frac{nV_{c1} - V_o}{L_o} DT_s \quad (20)$$

在穩態時，輸出電感器的電流平均值等於輸出電流。因此

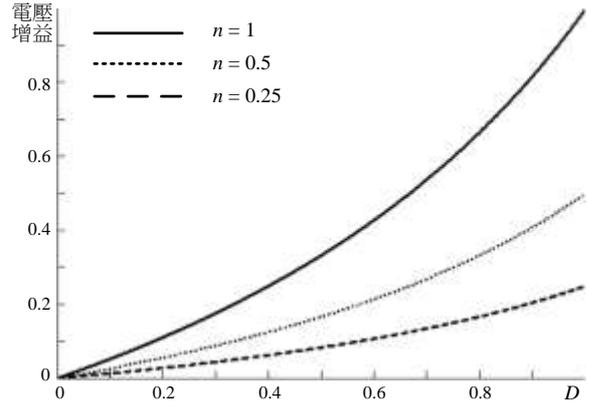


圖 5 本轉換器之電壓增益曲線

$$\frac{I_{Lop}}{2} = \frac{V_o}{R} \quad (21)$$

定義本轉換器輸出電感器的時間常數為

$$\tau_{Lo} \equiv \frac{L_o}{RT_s} = \frac{L_o f_s}{R} \quad (22)$$

其中  $f_s$  為切換頻率。

由方程式(20)、(21)、及(22)，可得本轉換器的後半級操作於邊界導通模式時，輸出電感器時間常數的方程式為

$$\tau_{LoB} = \frac{D(nV_{c1} - V_o)}{2V_o} \quad (23)$$

將方程式(18)代入方程式(23)化簡，可得

$$\tau_{LoB} = \frac{1-D}{2} \quad (24)$$

圖 6 為本轉換器後半級之邊界操作條件曲線圖。當  $\tau_{Lo} > \tau_{LoB}$  時，本轉換器的後半級操作在連續導通模式。

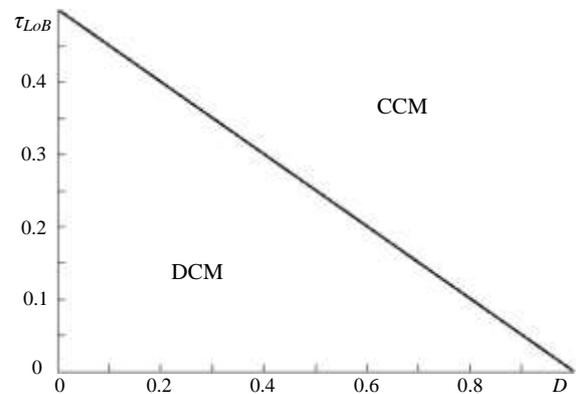


圖 6 本轉換器的後半級之邊界操作條件

(3)本轉換器的前半級之邊界操作條件：

當本轉換器的前半級操作於邊界導通模式時，由方程式(3)可得流經輸入電感器  $L_1$  的電流峰值為

$$I_{L1p} = \frac{V_{in} - V_{c1}}{L_1} DT_s \quad (25)$$

由圖 7 可知，流經電容器  $C_1$  的電流平均值為

$$I_{c1} = \frac{(\frac{1}{2} I_{L1p} - nI_{Lo})D}{2} + \frac{1}{2} I_{L1p}(1-D) \quad (26)$$

其中  $I_{Lo}$  為流經輸出電感器  $L_o$  的電流平均值。

穩態時，這兩個電流平均值  $I_{Lo}$  及  $I_{c1}$  分別等於輸出電流  $I_o$  及零。將  $I_{Lo} = I_o$  及  $I_{c1} = 0$  代入方程式(26)，可得

$$I_{L1p} = \frac{2nD}{2-D} I_o \quad (27)$$

定義本轉換器輸入電感器的時間常數為

$$\tau_{L1} \equiv \frac{L_1}{RT_s} = \frac{L_1 f_s}{R} \quad (28)$$

由方程式(25)、(27)、及(28)，可得本轉換器的前半級操作於邊界導通模式時，輸入電感器時間常數的方程式為

$$\tau_{L1B} = \frac{(2-D)(V_{in} - V_{c1})}{2nV_o} \quad (29)$$

將方程式(18)及(19)代入(29)化簡，可得

$$\tau_{L1B} = \frac{(2-D)(1-D)}{2n^2 D} \quad (30)$$

圖 8 為本轉換器前半級之邊界操作條件曲線圖。當  $\tau_{L1} > \tau_{L1B}$  時，本轉換器前半級操作在連續導通模式。

(4)功率元件之電壓應力：

由圖 3 可知，跨於二極體  $D_3$ 、 $D_4$ 、及  $D_6$  的電壓應力為

$$V_{D3} = \frac{1}{2-D} V_{in} \quad (31)$$

$$V_{D4} = \frac{3-D}{2-D} V_{in} \quad (32)$$

$$V_{D6} = nV_{c1} \quad (33)$$

由圖 4 可知，跨於切換開關  $S_1$ 、二極體  $D_1$ 、 $D_2$ 、及  $D_5$  的電壓應力為

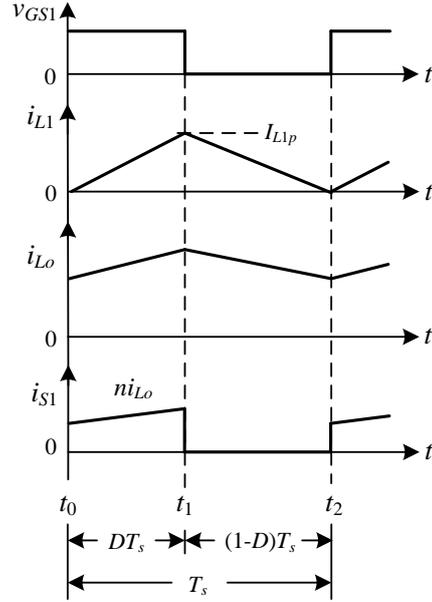


圖 7 本轉換器前半級操作在邊界導通模式之單一切換週期主要波形

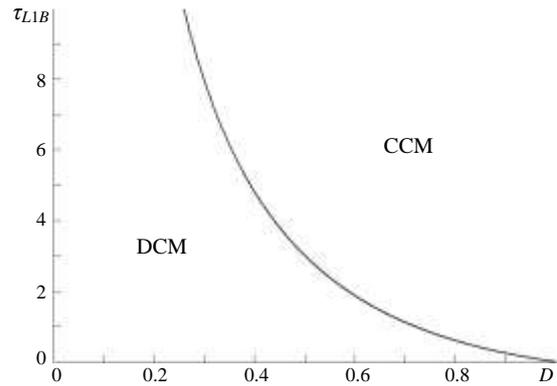


圖 8 本轉換器的前半級之邊界操作條件

$$V_{S1} = \frac{4-D}{2-D} V_{in} \quad (34)$$

$$V_{D1} = V_{D2} = \frac{1}{2-D} V_{in} \quad (35)$$

$$V_{D5} = nV_{in} \quad (36)$$

## 四、實驗結果

本章節顯示實驗結果以驗證本文所提轉換器之性能。電氣規格及元件參數為

(1)輸入電壓  $V_{in} = 200$  V

- (2)輸出電壓  $V_o = 25\text{ V}$
- (3)滿載輸出功率  $P_o = 200\text{ W}$
- (4)切換頻率  $f_s = 50\text{ kHz}$
- (5)電容器  $C_1 = C_2 = C_o = 100\text{ }\mu\text{F}$
- (6)變壓器匝數比  $n = 0.5$
- (7)切換開關  $S_1$  : IXFK64N60P
- (8)二極體  $D_1/D_2/D_3/D_5/D_6$  : DSSK60-02A、 $D_4$  : DSEP15-06A

由上述電氣規格，可知電壓增益  $M = 0.125$ 。將  $M = 0.125$  及  $n = 0.5$  代入方程式(19)，可得責任週期  $D = 0.4$ 。將  $D = 0.4$  代入方程式(24)及(30)，可得  $\tau_{LoB} = 0.3$  及  $\tau_{LiB} = 4.8$ 。設計本轉換器操作於 25% 負載以上時，操作於連續導通模式。此時，等效電阻  $R$  為  $12.5\text{ }\Omega$ 。因此，由方程式(22)及(28)可得

$$L_{oB} = \frac{R}{f_s} \tau_{LoB} = \frac{12.5}{50k} \times 0.3 = 75\text{ }\mu\text{H} \quad (37)$$

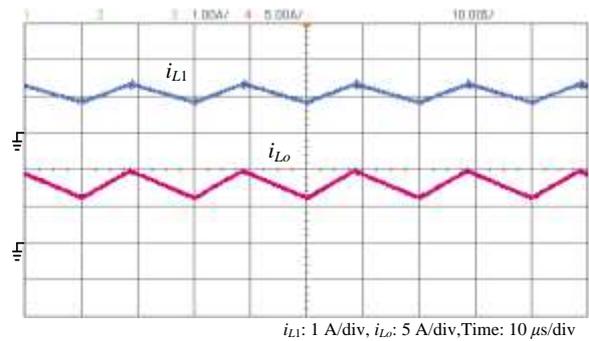
$$L_{iB} = \frac{R}{f_s} \tau_{LiB} = \frac{12.5}{50k} \times 4.8 = 1.2\text{ mH} \quad (38)$$

採用電感器  $L_1$  及  $L_o$  之電感量為  $77\text{ }\mu\text{H}$  及  $1.2\text{ mH}$ 。當輸入電壓  $V_m = 200\text{ V}$ 、輸出電壓  $V_o = 25\text{ V}$ 、及輸出功率  $P_o$  為滿載  $200\text{ W}$  時，圖 9 及 10 分別為實驗的電流及電壓波形。圖 9(a) 為流經輸入電感器  $L_1$  及輸出電感器  $L_o$  之電流波形，可看出本轉換器的兩半級皆操作在連續導通模式。圖 9(b) 為流經二極體  $D_1$  及  $D_2$  之電流波形，可看出兩電流  $i_{D1}$  及  $i_{D2}$  幾乎是相同的。圖 9(c) 為流經切換開關  $S_1$  及二極體  $D_3$  之電流波形。當切換開關  $S_1$  導通時，流經切換開關  $S_1$  之電流  $i_{S1}$  為流經輸入電感器  $L_1$ 、二極體  $D_1$ 、及  $D_2$  之電流  $i_{L1}$ 、 $i_{D1}$ 、及  $i_{D2}$  總和。當切換開關  $S_1$  截止時，流經二極體  $D_3$  之電流  $i_{D3}$  等於流經輸入電感器  $L_1$  之電流  $i_{L1}$ 。圖 9(d) 為流經二極體  $D_5$  及  $D_6$  之電流波形。當切換開關  $S_1$  導通時，流經二極體  $D_5$  之電流  $i_{D5}$  等於流經輸出電感器  $L_o$  之電流  $i_{Lo}$ 。當切換開關  $S_1$  截止時，流經二極體  $D_6$  之電流  $i_{D6}$  等於流經輸入電感器  $L_o$  之電流  $i_{Lo}$ 。圖 10(a) 為輸入電壓  $V_m$ 、電容電壓  $V_{c1}$ 、及輸出電壓  $V_o$  之波形，可

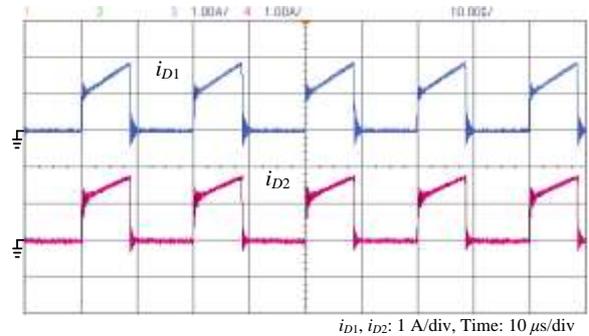
看出輸出電壓  $V_o$  可穩定的控制在  $25\text{ V}$ 。此時電容電壓  $V_{c1}$  為  $125\text{ V}$ ，與方程式(17)相符合。圖 10(b) 為跨於二極體  $D_1$  及  $D_2$  之電壓波形，穩態時其電壓應力為  $125\text{ V}$ 。圖 10(c) 為跨於切換開關  $S_1$  及二極體  $D_3$  之電壓波形，穩態時其電壓應力分別為  $450\text{ V}$  及  $125\text{ V}$ 。圖 10(d) 為跨於二極體  $D_5$  及  $D_6$  之電壓波形，穩態時其電壓應力分別為  $100\text{ V}$  及  $62.5\text{ V}$ 。由實驗結果顯示，與上述的理論分析相符合。

## 五、結 論

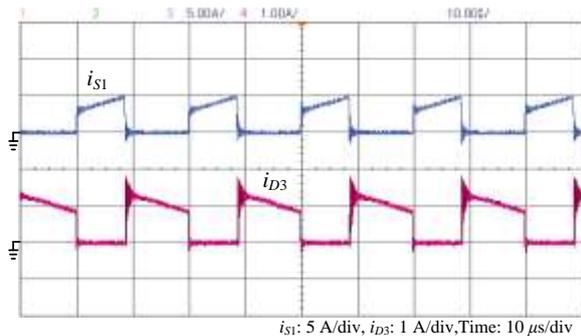
本論文介紹一隔離型高降壓比直流-直流轉換器，使用單一切換開關整合切換電容式直流-直流轉換器及順向式直流-直流轉換器。本轉換器可提供高降壓電壓轉換、電氣隔離、和連續輸入/輸出電流。論文中詳細討論其工作原理和穩態分析。實際製作本轉換器的雛型電路以驗證其性能。從實驗結果可以看出，這些實驗波形與理論分析一致。



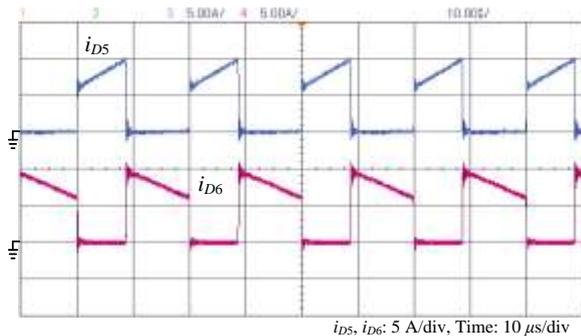
(a)  $i_{L1}$ 、 $i_{Lo}$



(b)  $i_{D1}$ 、 $i_{D2}$



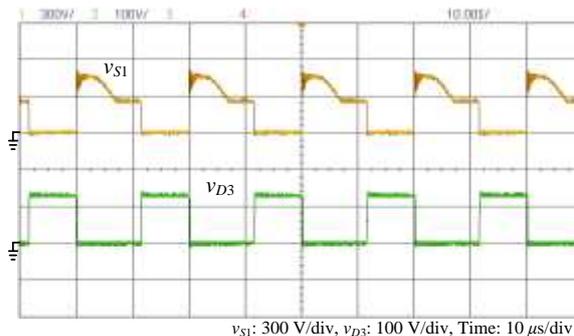
(c)  $i_{S1}$ 、 $i_{D3}$



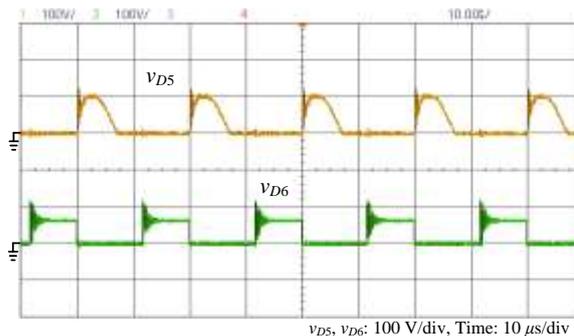
(d)  $i_{D5}$ 、 $i_{D6}$

圖 9 本轉換器操作於滿載 200 W 之電流波形。

(a)  $i_{L1}$ 、 $i_{Lo}$  (b)  $i_{D1}$ 、 $i_{D2}$  (c)  $i_{S1}$ 、 $i_{D3}$  (d)  $i_{D5}$ 、 $i_{D6}$ 。



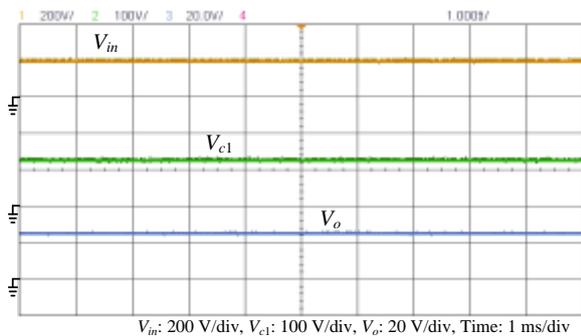
(c)  $v_{S1}$ 、 $v_{D3}$



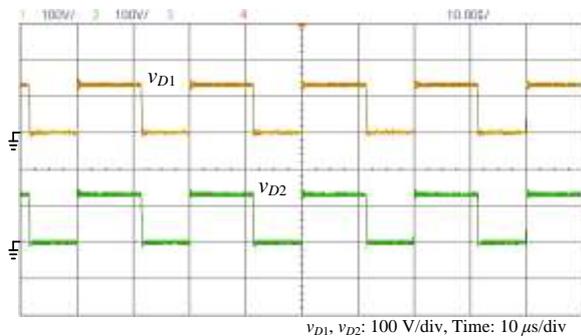
(d)  $v_{D5}$ 、 $v_{D6}$

圖 10 本轉換器操作於滿載 200 W 之電壓波形。

(a)  $V_{in}$ 、 $V_{c1}$ 、 $V_o$  (b)  $v_{D1}$ 、 $v_{D2}$  (c)  $v_{S1}$ 、 $v_{D3}$  (d)  $v_{D5}$ 、 $v_{D6}$ 。



(a)  $V_{in}$ 、 $V_{c1}$ 、 $V_o$



(b)  $v_{D1}$ 、 $v_{D2}$

## 參考文獻

- [1] Y. Zhao, W. Qiao, and D. Ha, "A sliding-mode duty-ratio controller for DC/DC buck converters with constant power loads," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 50, no. 2, pp. 1448-1458, Mar./Apr. 2014.
- [2] E. C. D. Santos, "Dual-output dc-dc buck converters with bidirectional and unidirectional characteristics," *IET Power Electronics*, vol. 6, no. 5, pp. 999-1009, 2013.
- [3] C. Zhang, J. Wang, S. Li, B. Wu, and C. Qian, "Robust control for PWM-Based DC-DC buck power converters with uncertainty via sampled-data output feedback," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 30, no. 1, pp. 504-515, Jan. 2015.
- [4] S. Xiong, S. C. Tan, and S. C. Wong, "Analysis and design of a high-voltage-gain hybrid switched-capacitor buck converter," *IEEE*

- Trans. on Circuits and Systems - I: Regular Papers*, vol. 59, no. 5, pp. 1132-1141, May 2012.
- [5] Y. Jiao and F.L. Luo, "N-switched-capacitor buck converter: topologies and analysis," *IET Power Electronics*, vol. 4, no. 3, pp. 332-341, 2011.
- [6] B. Axelrod, Y. Berkovich, and A. Ioinovici, "Switched-capacitor/switched-inductor structures for getting transformerless hybrid DC-DC PWM converters," *IEEE Trans. on Circuits and Systems - I: Regular Papers*, vol. 55, no. 2, pp. 687-696, Mar. 2008.
- [7] O. Pelan, N. Muntean, O. Cornea, and F. Blaabjerg, "High voltage conversion ratio, switched C & L cells, step-down DC-DC converter," *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, pp. 5580-5585, 2013.
- [8] I. Rezaei and M. Akhbari, "Transformerless hybrid buck converter with wide conversion ratio", *IEEE Power Electronics and Drive Systems and Technologies Conference*, pp. 599-603, 2011.
- [9] I. O. Lee, S. Y. Cho, and G. W. Moon, "Interleaved buck converter having low switching losses and improved step-down conversion ratio," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 27, no. 8, pp. 3664-3675, Aug. 2012.
- [10] Y. Jang, M. M. Jovanovic, and Y. Panov, "Multi-phase buck converters with extended duty cycle," *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, pp. 38-44, 2006.
- [11] M. Esteki, B. Poorali, E. Adib, and H. Farzanehfard, "Interleaved buck converter with continuous input current, extremely low output current ripple, low switching losses, and improved step-down conversion ratio," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 8, pp. 4769-4776, Aug. 2015.
- [12] C. F. Chuang, C. T. Pan, and H. C. Cheng, "A novel transformer-less interleaved four-phase step-down DC converter with low switch voltage stress and automatic uniform current-sharing characteristics," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 31, no. 1, pp. 406-417, Jan. 2016.
- [13] C. T. Pan, C. F. Chuang, and C. C. Chu, "A novel transformerless interleaved high step-down conversion ratio DC-DC converter with low switch voltage stress," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 10, pp. 5290-5299, Oct. 2014.
- [14] J. A. M. Saldana, R. L. Palomo, and E. P. Hernandez, "Parameters selection criteria of proportional-integral controller for a quadratic buck converter," *IET Power Electronics*, vol. 7, no. 6, pp. 1527-1535, 2014.
- [15] L. H. Saldierna, J. L. Ramos, and M. G. Lopez, "Current-controlled switching regulator using a DC-DC converter with high-step-down voltage gain," *IET Power Electronics*, vol. 5, no. 7, pp. 1147-1153, 2012.
- [16] J. A. M. Saldaña, J. L. Ramos, E. E. C. Gutierrez, and M. G. O. Lopez, "Average current-mode control scheme for a quadratic buck converter with a single switch," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 23, no. 1, pp. 485-490, Jan. 2008.
- [17] P. Xu, J. Wei, and F. C. Lee, "Multiphase coupled-buck converter - a novel high efficient 12 V voltage regulator module," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 18, no. 1, pp. 74-82, Jan. 2003.
- [18] L. Jiang, C. C. Mi, S. Li, C. Yin, and J. Li, "An improved soft-switching buck converter with coupled inductor," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 28, no. 11, pp. 4885-4891, Nov. 2013.
- [19] W. Li and X. He, "A family of interleaved

- DC-DC converters deduced from a basic cell with winding-cross-coupled inductors (WCCIs) for high step-up or step-down conversions,” *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 23, no. 4, pp. 1791-1801, Jul. 2008.
- [20] K. I. Hwu, W. Z. Jiang, and Y. T. Yau, “Ultrahigh Step-Down Converter,” *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 30, no. 6, pp. 3262-3274, Jun. 2015.
- [21] T. Modeer, S. Norrga, and H. P. Nee, “High-voltage tapped-inductor buck converter utilizing an autonomous high-side switch,” *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, vol. 62, no. 5, pp. 2868-2878, 2015.
- [22] S. Zong, Q. Luo, C. Li, W. Li, X. He, and S. Su, “Three-level frequency-doubling LLC resonant converter with high step-down ratio for high input voltage applications,” *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, pp. 14-19, 2014.
- [23] M. Jinno, H. W. Su, J. L. Tsai, and H. Matsuo, “Practical study of a high step-down converter,” *IEEE International Power Electronics Conference*, pp. 1781-1787, 2014.
- [24] J. Y. Lin, W. Z. Tzeng, C. Y. Lin, C. F. Wang, and P. J. Liu, “Active-clamping forward converter with non-linear step-down conversion,” *IET Power Electronics*, vol. 8, no. 1, pp. 112-119, 2015.
- [25] T. F. Wu, C. T. Tsai, Y. D. Chang, and Y. M. Chen, “Analysis and implementation of an improved current-doubler rectifier with coupled inductors,” *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 23, no. 6, pp. 2681-2693, Nov. 2008.
- [26] C. Huo, J. Zhao, K. Qu, and F. Li, “A isolated soft-switching DC-DC converter with high step-down conversion,” *IEEE PEAC*, 2014.

## 超臨界二氧化碳萃取薑黃之最適參數研究

# Study on the optimum parameters of supercritical carbon dioxide extraction of turmeric

賴一誠 遠東科技大學餐飲管理系碩士

林綉敏 遠東科技大學餐飲管理系副教授

許顯榮 遠東科技大學工業設計系副教授

### 摘 要

薑黃自古以來常被運用在醫療和保健用途上，現今醫療品質與水準日益月新，但不減對於薑黃在醫療與保健的研究熱潮，更發現薑黃中的薑黃素其應用與功效遠比想像的多。

雖然薑黃在醫療與保健上有很高的價值，但從薑黃原料完整萃取薑黃素卻屬不易，且對於薑黃素萃取之研究較少，使得高價值的薑黃無法被妥善運用。

本研究為提高薑黃素的萃取率，運用超臨界萃取技術從薑黃裡萃取薑黃素，並運用高效能液相層析儀分析數據，將分析數據帶入反應曲面法中；先使用一階反應曲面法確認萃取過程中壓力、溫度與液固比是否存在相互關係與最佳點位置，進一步使用二階反應曲面法中的中心混成實驗，找出最佳的萃取率條件，以公式計算出最適的壓力、溫度和液固比等參數。

結果發現當溫度升高時對於類薑黃素萃取效率會有明顯的提升。溶劑比方面，亞臨界乙醇在此壓力與溫度下與類薑黃素極性相近，因此較高的乙醇含量能增加薑黃萃取效率。壓力方面亦因為亞臨界狀態的乙醇影響，類薑黃素在低壓下即可達到較高的萃取效率，分別為壓力 1256psi、溫度 76.8°C 與溶劑比(CO<sub>2</sub>:乙醇)0.32:1。

**關鍵詞：**薑黃、超臨界萃取、反應曲面法

Yi-Cheng Lai, Former Graduate student, Depart. of Department of Catering Management, Far East University  
Xiu-Min LIN, Associate Professor, Depart. of Department of Catering Management Far East University  
Shane-Rong Sheu, Associate Professor, Depart. of Department of Industrial Design, Far East University

### **Abstract**

Turmeric has been used for the purposes of medical treatment and health care since ancient times. Nowadays, the quality and level of medical care are getting better and better, the research on turmeric in medical and health care has not diminished. It has been found that the application and efficacy of curcumin in turmeric are far beyond imagination.

Although turmeric has high value in medical and health care, it is not easy to completely extract curcumin from turmeric raw materials. There are few studies on the extraction of curcumin, so that high-value turmeric cannot be properly used.

In this study, in order to improve the extraction rate of curcumin, supercritical extraction technology was used to extract curcumin from turmeric, and high performance liquid chromatography was used to determine the important compounds. The analysis data was brought into the response surface method. The relationship between pressure, temperature and liquid-solid ratio and the optimal point position during the extraction process were determined by the first-order response surface method, then further use the central composite design in the second-order response surface method to calculate the optimum pressure, temperature and liquid-solid ratio by formula.

It was found that the extraction efficiency of curcuminoids was significantly improved when the temperature was increased. In terms of solvent ratio, subcritical ethanol is similar in polarity to curcuminoids at this pressure and temperature, so higher ethanol content can increase the extraction efficiency of turmeric. In terms of pressure, due to the influence of ethanol in the subcritical state, curcuminoids can achieve high extraction efficiency at low pressure, which are pressure 1256 psi, temperature 76.8 °C and solvent ratio (CO<sub>2</sub>:ethanol) 0.32:1.

**Keywords:** Turmeric, Supercritical extraction, Reaction surface method.

## 一、前言

薑黃(*turmeric*)屬於薑科薑黃屬植物[1]，自古以來人們將薑黃的根部磨成粉末後運用在醫療、食品、顏料和保健等，薑黃在這些運用上都表現得極為出色，在食品方面，薑黃也常被運用在各種菜餚內，在印度及中東國家薑黃是飲食裡不可或缺的香料，尤其咖哩已被推廣至全世界成為知名的印度美食[2]。

薑黃在醫療與保健食品中也具有很高的價值，在古印度時期薑黃常被視為藥品，作為消炎、抗氧化與抗憂鬱等用途[3]，甚至流傳於中國後也常被作為藥品使用。

現今人們對保健、健康養生的意識逐漸抬頭，對於自身健康狀況也越來越重視[4]，因此，薑黃也逐漸被重視。薑黃可以用以抗炎症[5]或預防憂鬱症等各種疾病，許多保健食品與藥品也添加薑黃做為輔助劑[6]；在 2019 年，新冠病毒(COVID-19)在全球肆虐，依據衛福部疾管署 2022 統計現今已以累計有 5 億人感染，死亡人數也高達 600 萬人[7]，有研究指出薑黃素能有效預防肺部感染性疾病[8]，目前有許多學者積極投入薑黃研究。

本研究以超臨界流體(SFE)萃取進行預實驗時發現，類薑黃素中去甲氧基薑黃素(Demethoxycurcumin)與雙去甲氧基薑黃素(Bis-demethoxycurcumin)在高壓狀態下對於薑黃素(curcumin)萃取率存在相互作用的關係，但關於去甲氧基薑黃素與雙去甲氧基薑黃素相關萃取文獻較少，而研究此兩種薑黃素對於吸收率與功效的相關文獻卻相對較多。[9]

因此，本研究為探討去甲氧基薑黃素與雙去甲氧基薑黃素與薑黃素所存在著的相互關係，且影響類薑黃的萃取效益，運用超臨界萃取法與反應曲面模式下，透過此方式改善薑黃萃取效益，使薑黃的價值提高能更有效益得被利用。

## 二、材料與方法

本實驗使用來自台南玉井紅薑黃 (Yujing Turmeric.)。

將薑黃，逆紋切片，放入-80℃冷凍櫃，冷凍約 12~13 小時後放入真空凍乾機；待完全乾燥後，以粉碎機將凍乾薑黃片粉碎至 2mm 大小過篩備用。過篩後薑黃粉原料以每批次 30g 填入槽體中，並在槽體內放入鐵氟龍填充物以減少槽體容積，使流體能穩定達到實驗的設定壓力。

本實驗運用反應曲面法中的中心混成模式並將壓力、溫度與溶劑比依序設為 x1、x2 和 x3，再以壓力 3400psi、溫度 50℃與溶劑比 3:1 作為中心點參數向外延伸，壓力分別設定為 1256psi、2600psi、3500psi、4200psi 和 5544psi，溫度為 38.42℃、40℃、50℃、60℃和 76.8℃，溶劑比使用 0.32:1、2:1、3:1、4:1 和 5.68:1 做為實驗參數。

實驗所得萃取樣品以 HPLC 液相層析儀進行檢測，再將實驗分析數據運用 minitab 軟體帶入反應曲面迴歸分析，進一步了解因子在線性、平方與交互作用下個別對薑黃素、去甲氧基薑黃素與雙去甲氧基薑黃素是否為顯著關係，後由得出各項係數建立出本實驗公式，以檢測此模型之可信度。

運用 minitab 軟體建立反應曲面 3D 模型圖，並求得超臨界萃取類薑黃素最佳壓力、溫度與溶劑比參數後，檢驗此模式的確適性，確認此模式的可靠性，進而獲得以超臨界二氧化碳萃取薑黃之最適操作條件。

## 三、結果與討論

### (一)中心混成實驗

藉由 minitab 軟體建立實驗組排列與順序，本實驗分別為薑黃素、去甲氧基薑黃素、雙去甲氧基薑黃素，進行 8 組角點、6 組軸點、3 組中心點實驗模組，三重複實驗共 51 次實驗。

### (1) 薑黃素

實驗結果如表 1 所示，將數據輸入 minitab 軟體進行反應曲面迴歸分析，並進行各因子對薑黃素萃取率之影響評估。

結果如表 2 所示，先以 F test(F)值判定因子各項是否具有相關性，在以 Probability(P)值為此迴歸模型之標準，當  $P < 0.05$  時表示有顯著影響，而  $P < 0.01$  時，表示有極顯著的影響，在  $P > 0.05$  時代表影響較不顯著。

因子間的交互作用下(壓力\*溫度)、(溫度\*溶劑比)F 值皆為 0.00 不相關，將兩者剔除後重新進行反應曲面迴歸分析，表 3 重新分析後 P 值線性項溫度與溶劑比 P 值  $< 0.05$  而壓力  $> 0.05$ ，若以單因子來看溫度與溶劑比對於薑黃素較顯著影響，因子平方項壓力 P 值  $< 0.05$ ，溫度與溶劑比皆  $> 0.05$ ，結果顯示在因子平方項壓力對於萃取薑黃素有較顯著影響；結果亦顯示因子交互作用項對於薑黃素均無顯著影響。

藉由計算得出薑黃素三變數二次多項方程式的各項係數，結果如下： $y = 661.462 - 38.9814x_1 + 129.126x_2 - 312.826x_3 + 145.264x_1^2 - 78.38x_2^2 - 8.818x_3^2 + 96.601x_1x_2$

圖 1 為壓力與溫度對薑黃素萃取之影響圖，圖中可明顯看出整個面呈現凹面，最佳回應值落在溫度 76.8℃、壓力 1256psi，而在高溫下槽體壓力 5544psi 所得回應值相近於最大回應值，有此可知在相同溫度下高壓與低壓對於超臨界二氧化碳萃取薑黃素的效率相似。

圖 2 為壓力與溶劑比對薑黃素萃取之影響圖，圖中可得知溶劑比 0.32:1、壓力 1256psi 為薑黃素最佳回應值；由於在此溫度範圍且壓力為 1256psi 時，乙醇在槽體中處於亞臨界狀態，而此狀態下乙醇的極性相近於薑黃素，因此對於薑黃素的萃取效益較高。

圖 3 為本實驗溫度與壓力對薑黃素萃取之影響圖，圖中可得知溶劑比在 0.32:1、溫度為 76.8℃對

薑黃素萃取的回應值最高，依據圖 1、圖 2 結果可得知當壓力為固定狀態，溫度提高明顯增加薑黃素萃取效率，且槽體裡溶劑極性也與之相近，因此對於薑黃素萃取之回應值最大。

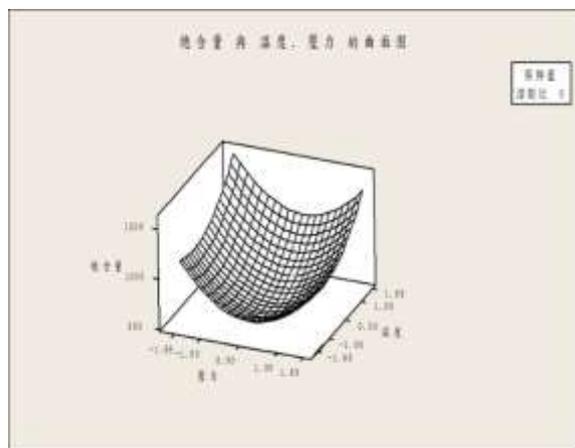


圖 1 溫度與壓力對薑黃素之曲面圖

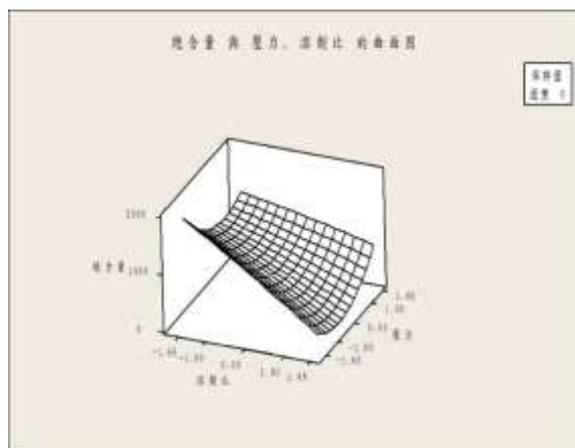


圖 2 壓力與溶劑比對薑黃素之曲面圖

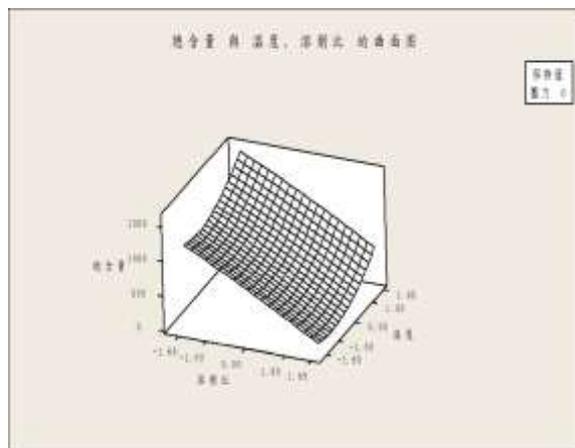


圖 3 溫度與溶劑比對薑黃素之曲面圖

表 1 薑黃素實驗數據表

實驗組數	壓力	溫度	溶劑比	$x_1$	$x_2$	$x_3$	總含量 mg
1	2600	40	2:1	-1	-1	-1	1130.39
2	4200	40	2:1	1	-1	-1	849.59
3	2600	60	2:1	-1	1	-1	1468.81
4	4200	60	2:1	1	1	-1	1162.11
5	2600	40	4:1	-1	-1	1	247.65
6	4200	40	4:1	1	-1	1	324.80
7	2600	60	4:1	-1	1	1	569.35
8	4200	60	4:1	1	1	1	677.05
9	1256	0	0	-1.68	0	0	1213.58
10	5544	0	0	1.68	0	0	1136.19
11	0	38.42	0	0	-1.68	0	855.46
12	0	76.80	0	0	1.68	0	1115.96
13	0	0	0.32:1	0	0	-1.68	1179.27
14	0	0	5.68:1	0	0	1.68	298.87
15	3400	50	3:1	0	0	0	605.13
16	3400	50	3:1	0	0	0	653.45
17	3400	50	3:1	0	0	0	690.61

表 2 薑黃素反應曲面回歸分析表

	自由度	SS	MS	F	P
回歸	9	1959780	217753	9.34	0.004
線性	3	1585128	528376	22.66	<0.001
壓力	1	20788	20788	0.89	0.376
溫度	1	227589	227589	9.76	0.017
溶劑比	1	1336751	1336751	57.34	0.000
平方	3	300014	100005	4.29	0.051
壓力*壓力	1	218141	237850	10.20	0.015
溫度*溫度	1	80994	69240	2.97	0.128
溶劑比*溶劑比	1	879	879	0.04	0.852
交互作用	3	74638	24879	1.07	0.422
壓力*溫度	1	3	3	0.00	0.992
壓力*溶劑比	1	74569	74569	3.20	0.117
溫度*溶劑比	1	66	66	0.00	0.959
殘差誤差	7	163188	23313		
缺失性	5	159513	31903	17.36	
純誤差	2	3675	1838		0.055
總離差	16	2122969			

表 3 薑黃素反應曲面回歸分析表

	自由度	SS	MS	F	P
回歸	7	195962	279947	15.44	<0.001
線性	7	158492	528308	29.14	<0.001
壓力	1	20752	20752	1.14	0.313
溫度	1	227708	227708	12.56	0.006
溶劑比	1	1336464	1336464	73.71	<0.001
平方	3	300048	100016	5.52	0.020
壓力*壓力	1	218163	237889	13.12	0.006
溫度*溫度	1	81008	69259	3.82	0.082
溶劑比*溶劑比	1	877	877	0.05	0.831
交互作用	1	74654	74654	4.12	0.073
壓力*溶劑比	1	74654	74654	4.12	0.073
殘差誤差	9	163192	18132		
缺失性	7	159517	22788	12.40	0.077
純誤差	2	3675	1838		
總離差	16	2122819			

(2)去甲氧基薑黃素

實驗結果如表 4 所示，使用 minitab 軟體帶入反應曲面迴歸分析中，並進行各因子對去甲氧基薑黃素萃取率之影響評估。回歸結果如表 5 所示，各項因子 F 值皆高於 0.00 具有相關性，確定相關性後再經由 P 值進行確認影響程度，線性項溫度 P 值 <0.05、溶劑比 P 值 <0.001 而壓力 >0.05，若以單因子衡量，溫度與溶劑比對於去甲氧基薑黃素萃取率有較顯著影響，其中溶劑比更極為顯著；因子平方項壓力 P 值 <0.05 而溫度與溶劑比皆 >0.05，結果顯示在因子平方項壓力對於萃取去甲氧基薑黃素較有顯著影響；在因子交互作用項中，(壓力\*溶劑比)P 值 <0.05 具有顯著影響，而(壓力\*溫度)與(溫度\*溶劑比)皆無顯著影響。

藉由計算之係數得到去甲氧基薑黃素三變數二次多項方程式的公式如下： $y = 432.274 - 19.503x_1 + 48.802x_2 - 123.840x_3 + 43.541x_1^2 - 25.666x_2^2 + 11.620x_3^2 - 16.169x_1x_2 + 32.972x_1x_3 + 10.265x_2x_3$

圖 4 為本實驗壓力與溫度對去甲氧基薑黃素萃取之影響圖，圖中當萃取條件在溫度為 76.8℃、壓力在 1256psi 下對去甲氧基薑黃素回應值較高，由此可得知在溶劑比參數為相同情況下，槽體內溶劑

在高溫與低壓下的極性與去甲氧基薑黃素極性較相似，因此較容易將去甲氧基薑黃素萃取出來。

圖 5 為壓力與溶劑比對去甲氧基薑黃素之影響圖，圖中得知溶劑比 0.32:1、壓力 1256psi 為去甲氧基薑黃素最佳回應值，由於在此條件下槽體中乙醇處於亞臨界狀態，其極性與去甲氧基薑黃素相近，因此對於去甲氧基薑黃素萃取效益較高。

圖 6 為本實驗溫度與壓力對去甲氧基薑黃素萃取之影響圖，圖中可得知本實驗中溶劑比在 0.32、溫度為 76.8℃時對去甲氧基薑黃素回應值最高，依據圖 4、圖 5 結果可得知當壓力為固定狀態下，溫度提高能明顯增加去甲氧基薑黃素萃取效率。

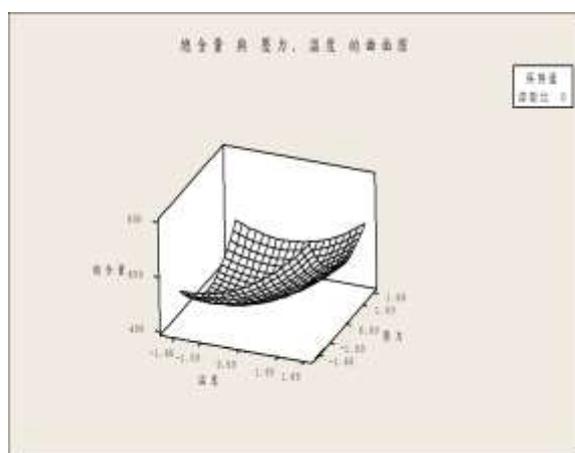


圖 4 壓力與溫度對去甲氧基薑黃素之曲面圖

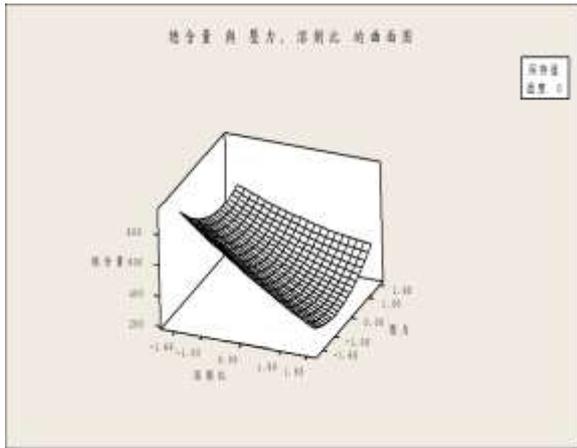


圖 5 壓力與溶劑比對去甲氧基薑黃素之曲面圖

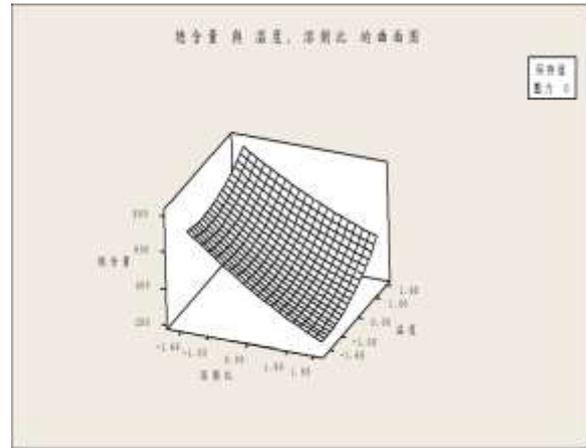


圖 6 溫度與溶劑比對去甲氧基薑黃素之曲面圖

表 4 去甲氧基薑黃素實驗數據表

實驗組數	壓力	溫度	溶劑比	$x_1$	$x_2$	$x_3$	含量 mg
1	2600	40	2:1	-1	-1	-1	617.10
2	4200	40	2:1	1	-1	-1	527.29
3	2600	60	2:1	-1	1	-1	765.43
4	4200	60	2:1	1	1	-1	609.75
5	2600	40	4:1	-1	-1	1	283.24
6	4200	40	4:1	1	-1	1	324.12
7	2600	60	4:1	-1	1	1	470.80
8	4200	60	4:1	1	1	1	448.83
9	1256	0	0	-1.68	0	0	577.62
10	5544	0	0	1.68	0	0	553.60
11	0	38.42	0	0	-1.68	0	478.17
12	0	76.80	0	0	1.68	0	551.94
13	0	0	0.32:1	0	0	-1.68	682.86
14	0	0	5.68:1	0	0	1.68	267.79
15	3400	50	3:1	0	0	0	407.65
16	3400	50	3:1	0	0	0	431.87
17	3400	50	3:1	0	0	0	453.80

表 5 去甲氧基薑黃素反應曲面回歸分析表

	自由度	SS	MS	F	P
回歸	9	282421	31380	20.80	0.000
線性	3	247167	82389	54.62	<0.001
壓力	1	5195	5195	3.44	0.106
溫度	1	32526	32526	21.56	0.002
溶劑比	1	209446	209446	183.86	<0.001
平方	3	23623	7874	5.22	0.033
壓力*壓力	1	15995	21372	14.17	0.007
溫度*溫度	1	6105	7426	4.92	0.062
溶劑比*溶劑比	1	1522	1522	1.01	0.349
交互作用	3	11632	3877	2.57	0.137
壓力*溫度	1	2092	2092	1.39	0.277
壓力*溶劑比	1	8679	8679	5.77	0.047
溫度*溶劑比	1	843	843	0.56	0.479
殘差誤差	7	10559	10559		
缺失性	5	9493	1899	3.56	0.234
純誤差	2	1066	533		
總離差	16	292980			

### (3)雙去甲氧基薑黃素

實驗結果如表 6 所示，將數據輸入 minitab 軟體執行反應曲面迴歸分析，並進行各因子對雙去甲氧基薑黃素萃取率之評估。回歸結果如表 7 所示，各項因子 F 值皆高於 0.00 具有相關性，確定相關性後再經由 P 值進行確認影響程度，線性項溶劑比 P 值 < 0.05 而壓力與溫度皆 > 0.05，溶劑比對於雙去甲氧基薑黃素萃取有較顯著的影響；因子平方項壓力 P 值 < 0.05 而溫度與溶劑比皆 > 0.05，所以在因子平方項壓力對於萃取雙去甲氧基薑黃素較有顯著影響；而在因子交互作用項雙去甲氧基薑黃素之萃取均無顯著影響。

計算係數得出雙去甲氧基薑黃素三變數二次多項方程式如下： $y = 590.120 - 26.465x_1 + 40.769x_2 - 70.250x_3 + 61.331x_1^2 + 45.430x_2^2 + 15.873x_3^2 - 44.029x_1x_2 + 20.321x_1x_3 + 23.184x_2x_3$

圖 7 為壓力與溫度對雙去甲氧基薑黃素萃取率之影響圖，圖中可得在溫度為 76.8℃、壓力在 1256psi 下雙去甲氧基薑黃素之回應值較高，由此可得知在溶劑比參數相同情況下，槽內流體在高溫與低壓下的極性與雙去甲氧基薑黃素極性相似，因此萃取率較高。

圖 8 為壓力與溶劑比對雙去甲氧基薑黃素萃取率之影響圖，圖中可得知溶劑比在 0.32:1、壓力 1256psi 時對雙去甲氧基薑黃素回應值較高，由於在壓力 1256psi 且溫度相同下乙醇在槽體中處於亞臨界狀態，而此低壓狀態下乙醇與雙去甲氧基薑黃素之極性較相近，因此對雙去甲氧基薑黃素萃取效益較高。

圖 9 為溫度與溶劑比對雙去甲氧基薑黃素萃取率之影響圖，圖中可得知溶劑比在 0.32、溫度為 76.8℃對雙去甲氧基薑黃素回應值最高；根據圖 7 和圖 8 結果可知，當壓力為固定狀態下，溫度提高能明顯增加雙去甲氧基薑黃素萃取效率，此時槽體裡溶劑極性也與之相近，因此對於雙去甲氧基薑黃素回應值最大。

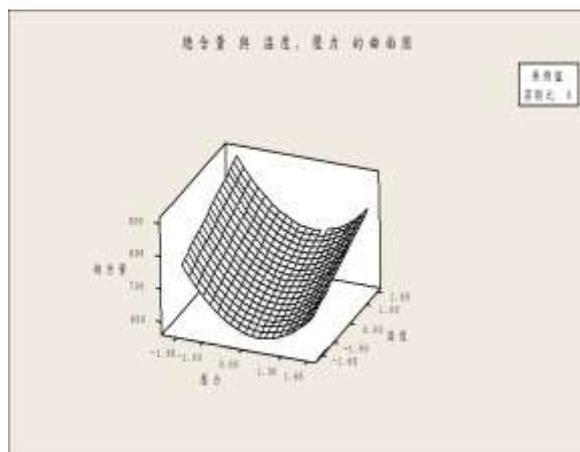


圖 7 溫度與壓力對雙去甲氧基薑黃素之曲面圖

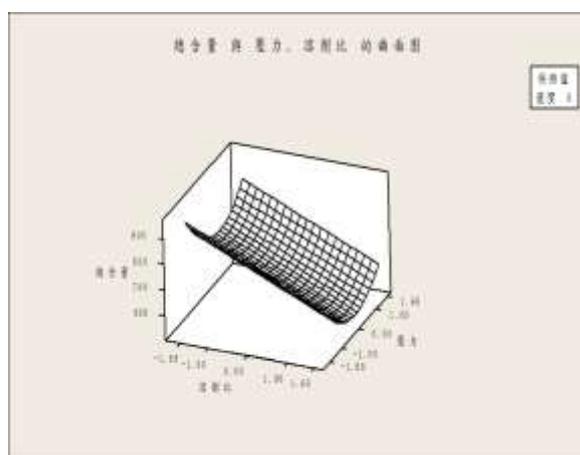


圖 8 壓力與溶劑比對雙去甲氧基薑黃素之曲面圖

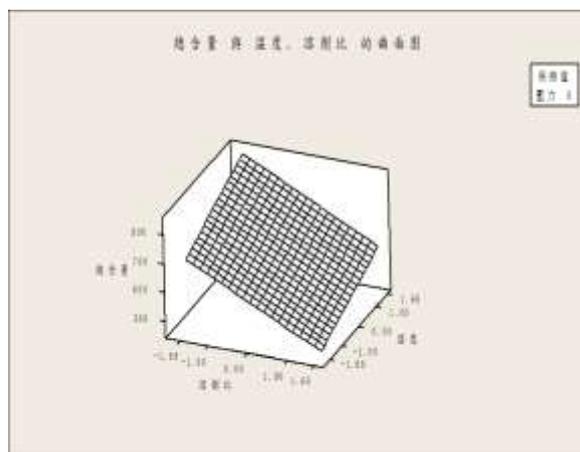


圖 9 溫度與溶劑比對雙去甲氧基薑黃素之曲面圖

表 6 雙去甲氧基薑黃素實驗數據表

實驗組數	壓力	溫度	溶劑比	$x_1$	$x_2$	$x_3$	含量 mg
1	2600	40	2:1	-1	-1	-1	728.96
2	4200	40	2:1	1	-1	-1	687.18
3	2600	60	2:1	-1	1	-1	866.82
4	4200	60	2:1	1	1	-1	670.07
5	2600	40	4:1	-1	-1	1	513.19
6	4200	40	4:1	1	-1	1	573.84
7	2600	60	4:1	-1	1	1	764.93
8	4200	60	4:1	1	1	1	628.32
9	1256	0	0	-1.68	0	0	825.05
10	5544	0	0	1.68	0	0	797.14
11	0	38.42	0	0	-1.68	0	727.53
12	0	76.80	0	0	1.68	0	804.71
13	0	0	0.32:1	0	0	-1.68	827.20
14	0	0	5.68:1	0	0	1.68	537.84
15	3400	50	3:1	0	0	0	546.36
16	3400	50	3:1	0	0	0	587.62
17	3400	50	3:1	0	0	0	620.08

表 7 雙去甲氧基薑黃素反應曲面回歸分析表

	自由度	SS	MS	F	P
回歸	9	175327	19481	3.98	0.041
線性	3	99661	33220	6.79	0.018
壓力	1	9565	9565	1.95	0.205
溫度	1	22699	22699	4.64	0.068
溶劑比	1	67397	67397	13.77	0.008
平方	3	52554	17518	3.58	0.075
壓力*壓力	1	29213	42405	8.66	0.022
溫度*溫度	1	20501	23267	4.75	0.066
溶劑比*溶劑比	1	2840	2840	0.58	0.471
交互作用	3	23112	7704	1.57	0.279
壓力*溫度	1	15508	15508	3.17	0.118
壓力*溶劑比	1	3304	3304	0.67	0.438
溫度*溶劑比	1	4300	4300	0.88	0.380
殘差誤差	7	34267	4895		
缺失性	5	31537	6307	4.62	0.187
純誤差	2	2730	1365		
總離差	16	209594			

## (二) 萃取類薑黃素之最適參數

關鍵影響因子確定後，為建立最適萃取條件，運用 minitab 優化系統以本實驗模型對三種薑黃素分別分析出最佳化的因子參數，並得知最佳預測回應值。

本實驗模型所得出圖 10 薑黃素最佳參數分別為：A(壓力) 1256psi、B(溫度) 76.8°C 和 C(溶劑比) 0.32:1；初步預測萃取出的總含量  $y$ (總含量) 為 2341.16mg。圖 11 去甲氧基薑黃素之最佳參數分別

為：A(壓力) 1256psi、B(溫度) 76.8°C 和 C(溶劑比)

為 0.32:1，其預測萃取出的總含量  $y$ (總含量) 為 1094mg。圖 12 雙去甲氧基薑黃素最佳參數分別為：

A(壓力)1256psi、B(溫度) 76.8°C 和 C(溶劑比) 0.32:1，

預測萃取出的總含量  $y$ (總含量) 為 1284.64mg。

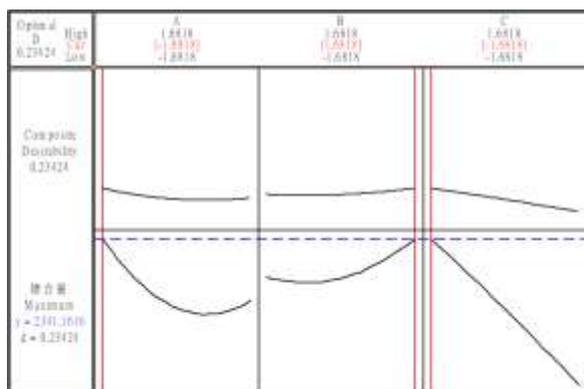


圖 10 薑黃素最佳參數圖

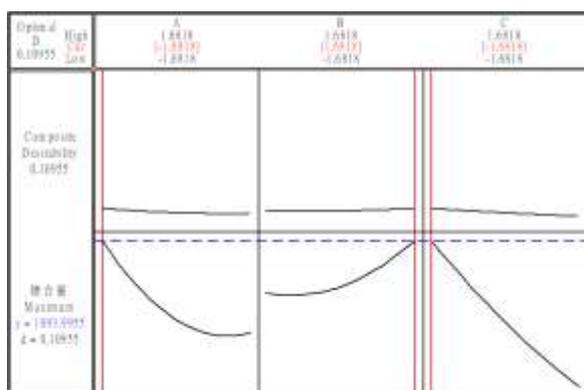


圖 11 去甲氧基薑黃素最佳參數圖

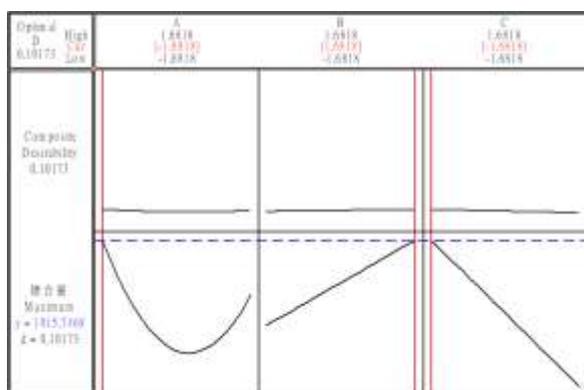


圖 12 去甲氧基薑黃素最佳參數圖

#### 四、結 論

本文運用反應曲面法得出類薑黃素裡三種成分最適操作參數，分別為壓力 1256psi、溫度 76.8 °C 與溶劑比 0.32:1。

結果發現當溫度升高時對於類薑黃素萃取效率會有明顯的提升。溶劑比方面，亞臨界乙醇在此壓力與溫度下與類薑黃素極性相近，因此，較高的乙醇含量能增加薑黃萃取效率。壓力方面亦因為亞臨界狀態的乙醇影響，類薑黃素在低壓下即可達到

較高的萃取效率，但依據本實驗反應曲面圖可發現，當壓力持續提高時此三種薑黃素成分回應值也逐漸提高，但在本實驗設定條件裡，在壓力為 1256psi 低壓下即可得到最適回應值。若要持續提高壓力依目前設備較無法達成如此高壓之操作，且在安全上也有疑慮。

本實驗結果顯示，在較低壓力下即可得到較高萃取效率，因此，在類薑黃素萃取做為商業用途方面，這樣的條件可減少設備成本，操作上較低壓力也可降低工安意外發生機率。

醫療上去甲氧基薑黃素與雙去甲氧基薑黃素的表現不遜色於薑黃素，但受限於此兩種成分較不易萃取，而本研究萃取出來的去甲氧基薑黃素與雙去甲氧基薑黃素萃取率皆有 90% 以上，未來可運用此條件萃取類薑黃素並進行純化後，運用於針對性醫療與商品開發。

#### 參考文獻

- [1] 高瑞隆, 賴瑞聲, 蕭翌柱, 胡敏夫, & 吳明哲. (2007). 春鬱金, 秋鬱金基原辨正. *技術服務*.
- [2] 邱琴瑟, & 郭堉圻. (2011). 薑黃素的成分與應用. *中華體育季刊*, 25(3), 410-418.
- [3] Aggarwal, B. B., Kumar, A., & Bharti, A. C. (2003). Anticancer potential of curcumin: preclinical and clinical
- [4] 卓玉聰, & 林千鈺. (2004). 消費者健康資訊網路資源之探討. *圖書資訊學刊*, 2(2), 57-85.
- [5] Lee, K. W., Kim, J. H., Lee, H. J., & Surh, Y. J. (2005). Curcumin inhibits phorbol ester-induced up-regulation of cyclooxygenase-2 and matrix
- [6] Goel, A., Kunnumakkara, A. B., & Aggarwal, B. B. (2008). Curcumin as "Curecumin": from kitchen to clinic. *Biochemical pharmacology*, 75(4), 787-

809.

- [7] 衛福部疾管署(2022) · 425 COVID-19 全球疫情地圖 · 取自 <https://covid-19.nchc.org.tw/index.php>
- [8] Zahedipour, F., Hosseini, S. A., Sathyapalan, T., Majeed, M., Jamialahmadi, T., Al-Rasadi, K., ... & Sahebkar, A. (2020). Potential effects of curcumin in the treatment of COVID-19 infection. *Phytotherapy Research*, 34(11), 2911-2920.
- [9] Hatamipour, M., Ramezani, M., Tabassi, S. A. S., Johnston, T. P., Ramezani, M., & Sahebkar, A. (2018). Demethoxycurcumin: A naturally occurring curcumin analogue with antitumor properties. *Journal of cellular physiology*, 233(12), 9247-9260.



# 臺南市國小教師辦理戶外教育的教學成效、實施困境與教學能力 需求之研究

## A Research on the Instructional Effectiveness of the Outdoor Education, the Practical Predicament and the Demand of Teaching Capability : A Case Study on Tainan Elementary School Teachers

邱姿穎 國立南科國際實驗高級中學教師

黃啟明 遠東科技大學休閒運動管理系暨碩士學位學程副教授

### 摘 要

本研究之目的在探討臺南市國小教師對於辦理戶外教育的教學成效、實施困境及教學能力需求的現況，並以不同的背景變項探討臺南市國小教師對於辦理戶外教育的教學成效、實施困境及教學能力需求之差異及影響情形。

本研究以臺南市國小教師為研究對象，問卷採用便利抽樣法方式進行採樣，實際發放 320 份問卷，回收有效問卷 315 份(有效率 98.4%)，以 SPSS 18.0 版套裝軟體為分析工具，以描述性統計、因素分析、信度分析、效度分析、獨立樣本 t 考驗、單因子變異數分析、迴歸分析，進行問卷資料的彙整與分析，所得結論如下：

- 一、教師認為辦理戶外教育課程具有提升教學成效之良好效果；此外，教師在實施戶外教育課程時感受到一定程度的實施困境，尤其是在「環境層面」所造成實施上的困難最大。教師一致認為若要將戶外教育的課程順利完成，需要具備多項教學能力，不僅教學前得完善課程規劃與教材設計，實際實施時還需要具備臨場的場控能力。
- 二、教師的教學年資和擔任職務會影響辦理戶外教育的教學成效，年資淺的教師與純科任教師認為戶外教育能有效提升教學成效。在實施戶外教育困境上，女性且資淺之教師在「學生與教學層面」、「環境層面」、「資源層面」此三構面認同度皆明顯高於資深教師。此外，年資淺的教師及純科任之教師皆認為欲順利辦理戶外教育須具備充足的教學能力。
- 三、教師辦理戶外教育的「教學成效」對「實施困境」具有一定程度之影響，結果顯示，辦理戶外教育教學成效的「知識面的充實」、「技能上的學習」、

「態度與價值觀的轉變」三構面認同度越高，教學能力需求的認同度亦會提高。而戶外教育的「實施困境」對「教學能力需求」的預測力很低，因此無法有效預測。

**關鍵詞：**戶外教育、教學成效、實施困境、教學能力需求

CHIU, TZU-YING, Teacher, National Nanke Interntional Experimental High School  
Chi-Ming Huang; Associate Professor, Master Degree Program in Leisure and Sports Management, Department  
of Leisure and Sports Management, Far East University

### **Abstract**

The study aims to explore the situation of teaching effectiveness, implementation difficulties and the demand for Teaching competence of implementing outdoor education of teachers of elementary schools in Tainan City, and to analyze differences and effect among teaching effectiveness, implementation difficulties and the demand for Teaching competence of implementing outdoor education of teachers of elementary schools in Tainan City by different background variables.

This questionnaire survey targeted teachers of primary schools in Tainan City , via 315 valid questionnaires out of 320 convenience sampling were collected( 98.4% rate). The data obtained from the survey were processed by SPSS18.0 statistical software for descriptive statistics, factor analysis, reliability analysis, validity analysis, independent sample t test, one-way ANOVA , and regression analysis. The following conclusions were derived according to analysis and discussion of research outcomes:

1. Teachers believe that courses of outdoor education be held has a good effect on improving teaching effectiveness; in addition, teachers were up against the wall when implementing outdoor education courses, especially at the environmental dimension . Teachers unanimously agreed that a successful course of outdoor education, required not only high teaching proficiency, and problem-solving skills of teachers, but also the well planned curriculum and materials .

2. The teaching seniority and current position of teachers have influence on the teaching effectiveness of outdoor education. Junior teachers and subject teachers believe that outdoor education can enhance teaching effectiveness. As far as implementation difficulties of outdoor education are concerned, female teachers and junior teachers are significantly more recognized than senior teachers in the three dimensions such as student and teaching dimension, environmental dimension and resource dimension. In addition, both junior teachers and subject teachers believe that in order to successfully implement outdoor education, they must have sufficient competence of teaching.

3. The teaching effectiveness has a certain degree of influence on the implementation difficulties of outdoor education. The results suggested that the factors of teaching effectiveness have positive correlation with the demand for teaching competence, including the enrichment of knowledge, learning skills, and

changes of attitude and values. However, the implementation difficulties of outdoor education has very low predictive power on the demand for teaching competence, so it cannot be effectively predicted.

**Keywords:** outdoor education, instructional effectiveness, practical predicament, the demand of teaching capability

## 壹、緒 論

根據教育部國民中小學辦理戶外教育實施原則（2018），為落實國民中小學辦理戶外教育，以擴充學生知識領域、增加學習體驗、整合學習效果、深化認識臺灣，戶外教育為學校課程與教學之一環，依據國民中小學課程目標，以學校本位課程為主軸，結合領域教學及彈性學習課程，規劃系統性之戶外教育課程活動，據以實施。戶外教育課程活動內容以學生學習為核心，增進自然與人文關懷、認識家鄉及愛護家鄉為主要目標，避免流於以旅遊玩樂性質為主之活動。文中甚至提出，辦理戶外教育次數以每學年至少「一次」為原則，因此，戶外教育成為教師固定的教學活動之一。教師是戶外教育的主導者，在整個教學活動的規劃和實施方面具有決策權。教師能夠透過戶外教育的課程實施，使學生運用直接的感官進行觀察與知覺，藉此輔助或補足學校課堂上的不足，並拓展學生的生活體驗之廣度。戶外教育提供了真實而具體的情境，能統整各學科領域的知識技能，建構學校本位特色，更能讓學生透過體驗，提升學習成效。

綜上所述，若欲使學生獲得良好的學習成效，教師勢必需要在活動前設定適切的教學目標，藉以達成延伸正規課程的主要目的，並依照學習歷程設計系統性的教學活動與流程，提供學生在課室外實際探索、親身體驗的學習機會。活動中教師還要根據不同年級的學生，扮演觀察、輔導以及協助學生學習的重要角色，並於活動後設計多元評量方式，驗收學生的學習成效，以利日後辦理戶外教育的調整或改善。目前教師實施校外教學的教學成效如何，實有研究之必要，此為本研究動機之一。

許多教師在研擬戶外教育的行程上，往往礙於時間、交通、費用、安全、教學方便性、教學專業知能等考量而卻步。（王靜如，1991；余宗翰，1999；謝鴻儒，2000）研究者本身為國小教師，理解戶外教育對孩童的助益和重要性，但同時也感受到實施

過程中所面臨的壓力。對教師而言，當未有足夠的後勤人力支援，要將一群年幼的孩童帶出校園外，又必須負起照顧所有參與活動之學生的責任與安全是件很有壓力之事；而教師面對校內既有的緊湊課程外，如何再騰出時間與校方或行政端進行溝通、討論並規劃一套完善且有系統的戶外教育課程實屬不易。此外，教學實施上是否便於操作也是教師考量的因素之一，例如：活動場地器材是否足夠容納和支應全體學生同時體驗和操作。再者，一套完整的戶外教育之規劃與實施同時還須考量不同的家庭是否具有經濟能力足以負擔戶外教育的支出，甚至是家長的支持度與配合意願皆會影響實施戶外教育的成功與否。

此外，教育部推動戶外教育實施計畫（2016）提及，多數教師對於戶外教育提供的學習經驗應如何規劃和評估，普遍缺乏操作實施的專業訓練，而目前師資培育制度與教師在職研習課程，也普遍缺乏有關戶外教育內涵定義的解釋、教育價值與教學目標的設定、課程模式的規劃、學科專業知識與戶外教學的連結、學習成效評量等方面的瞭解和培訓，進而影響戶外教育的課程品質。因此，如何改變教育人員的戶外教育觀念，提升教師的戶外教學能力及投入意願尚有許多努力空間。

綜上所述，戶外教育的實施困境所涉及之層面廣泛，隨著臺灣對於戶外教育政策的發布與調整，以及教育人員對戶外教育的認知觀念改變，戶外教育的實施困境之程度是否會因為時空的變換而有所改變是一項值得探討的重要議題，此為本研究動機之二。

湯蔓嫻（2004）探討小型學校的經營策略之研究中指出，小型學校中的教師受限於學校經費拮据、地處交通不便之處，使得教師參加校外研習或進修的機會相對較少，只能自行設計校內近修活動，因此常無力滿足教師專業成長之需求。劉小萍（2009）探討臺灣偏遠地區國小教師校外教學之實施現況、阻礙因素及戶外教學能力需求之研究指

出，偏遠地區國小教師對於所有的戶外教學能力需求，普遍都感到需要，其中最需要具備及加強的安全方面能力需求為「安全急救技能」及「營造安全的戶外教學環境」。而關於環境教育方面「環境解說的能力」及「將環境教育融入戶外教學」這兩項能力則是偏遠教師認為在安全考量之外，最需具備及加強的能力。

綜上所述，一般國小教師對於戶外教育的教學能力需求程度是否也如上述，以及針對教師的不同背景變項，如：不同職務、年資、性別、任教年段、所任教的學校規模等因素是否會影響教師的教學能力需求，因此瞭解教師從事戶外教育時對於教學能力的需求程度為何，為本研究動機之三。

## 一、研究問題

根據上述之研究目的，本研究的研究問題為：

- (一)臺南市國小教師辦理戶外教育的教學成效、實施困境及教學能力需求之現況為何？
- (二)臺南市國小教師不同背景變項對辦理戶外教育的教學成效之看法是否有顯著差異？
- (三)臺南市國小教師不同背景變項對辦理戶外教育的實施困境之看法是否有顯著差異？
- (四)臺南市國小教師不同背景變項對辦理戶外教育的教學能力需求之看法是否有顯著差異？
- (五)臺南市國小教師辦理戶外教育的教學成效對教學能力需求是否具有顯著影響力？
- (六)臺南市國小教師辦理戶外教育的實施困境對教學能力需求是否具有顯著影響力？

## 貳、研究方法

### 一、研究對象與抽樣

#### (一)預試對象

研究預試問卷編製完成後，預試問卷分別以任職於 110 學年度臺南市國小教師為預試對象，於 2022 年 1 月實施預試問卷施測，預試問卷施測目

標人數訂為 120 人，回收後剔除無效問卷後，進行預試問卷信、效度分析。

#### (二)正式施測對象

本研究以臺南市國小正式教師為正式研究對象。採用便利抽樣方式進行，預計於 2022 年 3 月 7 至 3 月 18 日實施正式問卷施測，預計發出 320 份問卷。回收之有效問卷資料共 315 份，有效問卷率為 98.4%。

## 二、研究工具

### (一)教師個人背景資料變項

背景資料之測量構面選取「性別」、「教學年資」、「擔任職務」、「主要任教年段」等四個變項，以瞭解不同背景資料是否影響教師實施戶外教育的教學成效、實施困境、教學能力需求之相關及差異情形。

### (二)辦理戶外教育的教學成效問卷之編製

「辦理戶外教育的教學成效」問卷採用自編題目方式編製，題目編製係參考龔巧致(2020)、林子婷(2016)、徐治霜(2006)問卷的題目後，依照學校教師的特性進行題目編製，測量問卷題目共分為「知識面的充實」、「技能上的學習」、「價值觀與態度的轉變」等三個構面加以衡量，總計 16 題，問卷計分方式為分別依照受試者填答情形，採用 Likert 五點問卷方式給分。

### (三)辦理戶外教育的實施困境問卷之編製

「辦理戶外教育實施困境」問卷採用自編題目方式編製，題目編製係參考劉小萍(2009)、謝皓軒(2018)、林泳濤(2020)、龔巧致(2020)、林子婷(2016)等問卷的題目後，依照教師辦理戶外教育實施困境的特性進行題目編製，測量問卷題目共分為「學生層面」、「教學層面」、「環境層面」及「資源層面」等四個構面加以衡量，總計 18 題，問卷計分方式為分別依照受試者填答情形，採用 Likert 五點問卷方式給分。

## (四)辦理戶外教育的教學能力需求問卷之編製

「辦理戶外教育教學能力需求」問卷採用自編題目方式編製，題目編製係參考劉小萍(2009)、謝皓軒(2018)問卷的題目後，依照教師辦理戶外教育的教學需求能力分類進行題目編製，測量問卷題目共分為「教學準備」、「克服障礙」及「實際實施」等三個構面加以衡量，總計 13 題，問卷計分方式為分別依照受試者填答情形，採用 Likert 五點問卷方式給分。

## 參、結果與分析

## 一、臺南市國小教師辦理戶外教育的教學成效、實施困境與教學能力需求之現況分析

## (一) 教師辦理戶外教育「教學成效」之現況分析

本研究問卷採取五等問卷，欲瞭解臺南市國小教師辦理戶外教育的教學成效、實施困境與教學能力需求之現況。由統計結果可知，臺南市國小教師對「辦理戶外教育教學成效問卷」填答平均數皆在 4 分以上，表示教師認為實施戶外教育對學生具有良好的學習效益，而無論是在知識、技能或態度層面皆有優良的教學成效，其中以「技能上的學習」之認同度最高。

表 1 教師辦理戶外教育教學成效描述統計分析

問卷變項	題數	平均數	標準差
知識面的充實	3	4.18	0.62
技能上的學習	9	4.24	0.55
價值觀與態度的轉變	4	4.19	0.52
整體	16	4.20	0.48

## (二)教師辦理戶外教育「實施困境」之現況分析

本研究以臺南市國小教師為研究對象。國小教師對辦理戶外教育「實施困境」問卷之現況如表 2 所示。由統計結果可知，臺南市國小教師對「辦理

戶外教育實施困境問卷」結果顯示可推論，教師認為實施戶外教育的困境上，最具困難的是「環境層面」，較低實施困難程度的層面則為「學生與教學層面」。

表 2 教師辦理戶外教育實施困境描述統計分析

問卷變項	題數	平均數	標準差
學生與教學層面	8	3.44	0.69
環境層面	5	4.31	0.61
資源層面	5	4.03	0.59
整體	18	3.93	0.49

## (三)教師辦理戶外教育「教學能力需求」問卷之現況分析

本研究以臺南市國小教師為研究對象。國小教師對辦理戶外教育「教學能力需求」問卷之現況如

表 3 所示。由統計結果顯示可推論，教師一致認為若要順利辦理戶外教育須要具備多項教學能力，包含：課前的教學準備、克服障礙以及現場實際實施的場控的能力。

表 3 教師辦理戶外教育教學能力需求描述統計分析

問卷變項	題數	平均數	標準差
教學準備	4	4.25	0.56
克服障礙	3	4.04	0.62
實際實施	6	4.43	0.41
整體	13	4.24	0.45

二、臺南市國小教師在辦理戶外教育的教學成效、實施困境、教學能力需求之差異分析

本節旨在分析不同背景變項臺南市國小教師在辦理戶外教育「教學成效」、「實施困境」、「教學能力需求」這三個變項因素之差異情形，分別以

t考驗及單因子變異數分析(one-way ANOVA)來探討教師個人的「性別」、「教學年資」、「目前擔任職務」、「主要任教年段」之差異情形，若達顯著差異( $p < 0.05$ )，則以Scheffe法進行事後比較考驗。

表 4 研究結果差異分析彙整表

背景變項	教學成效	實施困境	教學能力需求
性別 (1)女性 (2)男性	無顯著差異	$p = 0.030 < .05$	無顯著差異
教學年資 (1)5 年以內 (2)6~10 年 (3)11~15 年 (4)16~20 年 (5)21 年以上	$p = 0.000 < .05$ 2>4、5 3>4、5	$p = 0.007 < .05$ 2>4	$p = 0.000 < .05$ 1、3>5 2>4、5
擔任職務 (1)級任導師 (2)教師兼行政 (3)純科任	$p = 0.016 < .05$ 3>1	無顯著差異	$p = 0.005 < .05$ 3>1
主要任教年段 (1)低年段 (2)中年段 (3)高年段	無顯著差異	$p = 0.004 < .05$ 2>3	無顯著差異

茲將各項戶外教育的教學成效、實施困境、教學能力需求與教師的背景變項做一探討，分述如下：

(一)由表 4 可知，教師的教學年資以及擔任職務別的不同會使教師對於實施戶外教育的教學成效產生不同程度的認知，進而形成明顯差異之情形，由此可推論，教學年資與擔任職務會對教師實施戶外教育的教學成效評估產生影響與形成一定程度之差異。

任教年資較高的教師族群如年資 16 年以上的

教師認為戶外教育具有提升良好的教學成效之功用明顯低於年資較低的教師族群，探究原因，可能是因為年輕族群的教師多為新進教師或剛踏入教職，因此具有高度的教學熱忱，在近幾年師資培訓的過程中，接收較多新穎的教學方法與訓練，以及願意嘗試活潑多樣性的教學方法，因此對於創新的教學方式具有較高的認同感。

擔任職務別方面，純科任教師認為戶外教育具有提升良好的教學成效的功用高於級任導師，探究原因，可能是因為純科任教師其任教的科目大多為

自然、社會、健體、美術、音樂等，與現行的戶外教育的資源與課程內容之安排有較直接性的連結，如：健體領域連結探險體驗式活動；社會領域結合史地人文的鄉土踏查、考古館、化石園區或古蹟走訪；自然領域符應生態環境觀察、科學教育館、防災教育館；藝文領域結合美術館、劇院的參訪等。

(二)由表 4 可知，教師的性別、教學年資以及任教年段的不同會使教師對於實施戶外教育的實施困境產生不同程度的認知，進而形成明顯差異之情形，由此可推論，性別、教學年資與任教年段會對教師實施戶外教育的實施困境評估產生影響與形成一定程度之差異。

女性國小教師對於辦理戶外教育的實施困境認知上顯著高於男性國小教師，探究原因，男性教師在面對突發狀況及危機處理的能力相對較佳且沉穩，而女性教師相對保守，對於求新創變或未知的掌控能力較缺乏自信。此外，現行的戶外教育之交通因素偶爾會延宕放學時程，而女性教師的身分多屬於下班後還得負擔較多家庭責任的職業婦女，需要兼顧家庭照顧及協助接送子女之責任，因此，對於實施困境的認同感也會較高。

任教年資較淺的教師族群如年資 6~10 年的教師認為實施戶外教育的困境明顯高於年資較深的教師族群如年資 16~20 年之教師，探究原因，可能是因為年資較淺的教師實施戶外教育的經驗較少，故對於戶外教育的相關資源之取得及瞭解，相對於年資較深的教師來說較不熟悉，因而造成在課程的規劃、教材的準備、臨場對學生的活動掌控度有較高的阻礙。

主要任教年段方面，高年級教師認為實施戶外教育的困境明顯低於中年級教師，探究原因，可能是因為高年級學生的心智成熟度和行動力較佳，因此教師在管理學生的秩序及安全的掌控方面具有較低的阻礙感受，壓力相對也較小。此外，相對於中年級學生而言，高年級學生本身的背景知識涉及

的層面較廣，內容也較豐富，身體靈活度亦較高，因此高年級學生能體驗或參與的學習活動會更加多元，適宜採用或搭配的學習資源也更多，進而影響高年級教師可以應用的環境或相關資源來發揮及設計的教學內容更寬廣。

(三)由表 4 可知，教師的教學年資以及擔任職務別的不同會使教師對於實施戶外教育的教學能力需求產生不同程度的認知，進而形成明顯差異之情形，由此可推論，教學年資與擔任職務會對教師實施戶外教育的教學能力需求評估產生影響與形成一定程度之差異。

教學年資較低的教師族群如年資 15 年以下的教師認為辦理戶外教育所需具備的教學能力需求之認知明顯高於年資較深的教師族群，探究原因，可能是因為年資較淺之教師為新進教師或剛步入教職，因此實施戶外教育的經驗較少，故對於相關資源的取得和瞭解並不多，如：教學準備過程中包含的編寫戶外教育課程計畫、教材的準備與設計是否合適且充分、對場地及活動流程的熟悉度、臨場對學生活動掌控之熟練程度、應對家長提出質疑的能力，以及本身自我身心調適的能力等，年資較淺的教師因而意識到自身需要充實以上許多面向的能力。

而擔任職務別方面，純科任教師認為欲順利實施戶外教育即須具有教學能力需求的認同感高於級任導師，探究原因，可能是因為工作性質之緣故，以現行的教學現場之角度來看，級任導師因身分關係，除了教學能力外，還需要同時具備掌控與穩固班級經營的能力，以及與家長第一線的溝通應對能力，因此，教學準備的時間、心力、熱忱容易被消磨，而純科任的教師有較多的時間和心力直接專注投入於單一科目的教學準備，因此能將單一科目的教學設計與課程規劃鑽研得較深，再者，由於現行的戶外教育課程之主題也多與健體、自然、社會、藝文領域相關，科任教師在實施戶外教育的過程中，需要具備實地導覽的能力，因此科任教師勢

必須充實該方面的知識或培訓相關技能。

### 三、臺南市國小教師辦理戶外教育的教學成效、實施困境與教學能力需求的影響關係之分析

#### (一)教學成效對教學能力需求之迴歸分析

表 5 呈現以整體「教學成效」對於「教學能力需求」的分析摘要及變異數考驗結果，決定係數  $R^2 = 0.367$  表示「教學成效」變項對於「教學能力需求」之變異解釋量達 36.7%，F 檢定值達顯著的

181.71，顯示在預測教學能力需求上，「教學成效」是具有一定程度的預測效果，可推論若教師越認同戶外教育具有教學成效，那麼教師就會認為自己本身更需要提升教學能力。接著再進一步分析教學成效中「知識面的充實」、「技能上的學習」以及「態度與價值觀的轉變」三個子構面對於「教學能力需求」的預測情形。

表 5 臺南市國小教師辦理戶外教育的教學成效對教學能力需求之迴歸分析

依變項	預測變項	原始分數迴歸係數B	標準化迴歸係數β	t 值	p 值	R	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	F	D-W
教學能力需求	教學成效	0.562	0.606	13.480	0.000*	0.606	0.367	0.365	181.71	1.88
	常數	1.877		10.646	0.000*					

\*表  $p < .05$

表 6 呈現「知識面的充實」對「教學能力需求」的  $t$  值=1.665， $p$  值=0.097>.05，未達顯著水準，顯示「知識面的充實」對「教學能力需求」的預測不具有顯著效果；「技能上的學習」對「教學能力需求」的  $t$  值=4.976， $p$  值=0.000<.05，達顯著水準，顯示「技能上的學習」對「教學能力需求」的預測具有顯著效果，亦即如果教師認為欲提升「技能上的學習」此教學成效，那麼教師對於「學習技能」

這方面的需求能力就會隨之提高，其中又以「技能上的學習」對教學能力需求有最顯著的正向影響力，也就是說，對於「教學能力需求」的預測效果以「技能上的學習」為最高。「價值觀與態度的轉變」對「教學能力需求」的  $t$  值=4.481， $p$  值=0.000<.05，達顯著水準，顯示「價值觀與態度的轉變」對「教學能力需求」的預測具有顯著效果。

表 6 臺南市國小教師辦理戶外教育的教學成效對教學能力需求之迴歸分析

依變項	預測變項	原始分數迴歸係數 B	標準化迴歸係數 β	t 值	p 值
教學能力需求	知識面的充實	0.072	0.100	1.665	0.097
	技能上的學習	0.276	0.340	4.976	0.000*
	價值觀與態度的轉變	0.227	0.264	4.481	0.000*
	常數	1.815		10.208	0.000*

\*表  $p < .05$

#### (二)實施困境對教學能力需求之迴歸分析

表 7 呈現以整體「實施困境」對於「教學能力需求」的分析摘要及變異數考驗結果，決定係數  $R^2 = 0.019$  表示「實施困境」變項對於「教學能力需求」之變異解釋量為 1.9%，F 檢定值達顯著的

6.063，顯示在預測「教學能力需求」上，「教學成效」是具有一定程度的預測效果，雖然在統計上有達到顯著的效果，但是預測力和解釋力不高，因此

「實施困境」對「教學能力需求」的預測效果偏低，可視為不具有明顯之預測效果。接著再進一步分析實施困境中「學生與教學層面」、「環境層面」、「資

源層面」三個子構面對於「教學能力需求」的預測情形。

表 7 臺南市國小教師辦理戶外教育的實施困境對教學能力需求之迴歸分析

依變項	預測變項	原始分數迴歸係數B	標準化迴歸係數β	t 值	p 值	R	R <sup>2</sup>	△R <sup>2</sup>	F	D-W
教學能力需求	實施困境	0.125	0.138	2.462	0.014*	0.138	0.019	0.016	6.063	1.790
	常數	3.749		18.696	0.000*					

\*表 p < .05

表 8 呈現「學生與教學層面」對「教學能力需求」的 t 值 = -0.751, p 值 = 0.453 > .05, 未達顯著水準, 顯示「學生與教學層面」對「教學能力需求」的預測不具有顯著效果; 「環境層面」對「教學能力需求」的 t 值 = 0.490, p 值 = 0.624 > .05, 未達顯著

水準, 顯示「環境層面」對「教學能力需求」的預測不具有顯著效果; 「資源層面」對「教學能力需求」的 t 值 = 2.427, p 值 = 0.016 < .05, 達顯著水準, 顯示「資源層面」對「教學能力需求」的預測具有顯著效果。

表 8 臺南市國小教師辦理戶外教育的實施困境對教學能力需求之迴歸分析

依變項	預測變項	原始分數迴歸係數 B	標準化迴歸係數 β	t	p 值
教學能力需求	學生與教學層面	-0.030	-0.046	-0.751	0.453
	環境層面	0.025	0.034	0.490	0.624
	資源層面	0.132	0.176	2.427	0.016*
	常數	3.703		18.197	0.000

\*表 p < .05

## 肆、結論與建議

### 一、結論

(一)臺南市國小教師認為辦理戶外教育課程具有提升教學成效之良好效果; 此外, 教師在實施戶外教育課程時感受到一定程度的實施困境, 尤其是在「環境層面」所造成實施上的困難最大。教師一致認為若要將戶外教育的課程順利完成, 需要具備多項教學能力, 不僅教學前得完善課程規劃與教材設計, 實際實施時還需要具備臨場的場控能力。

(二)臺南市國小教師的教學年資和擔任職務之不同, 會影響辦理戶外教育的教學成效, 年資較淺的教師與純科任教師認為戶外教育能有效提升教學成效。在實施戶外教育困境上, 女性且資淺之教師

在「學生與教學層面」、「環境層面」、「資源層面」此三構面認同度皆明顯高於資深教師。此外, 年資淺的教師以及純科任之教師皆認為欲順利辦理戶外教育須具備充足的教學能力。

(三)臺南市國小教師辦理戶外教育的「教學成效」對「實施困境」具有一定程度之影響, 其結果顯示, 辦理戶外教育教學成效的「知識面的充實」、「技能上的學習」、「態度與價值觀的轉變」三構面認同度越高, 就會相對提高教學能力需求的認同度。而戶外教育的「實施困境」在統計上能預測「教學能力需求」的預測力很低, 因此無法有效預測。

### 二、建議

(一)對於年資淺的教師在辦理戶外教育時所面臨

的各式實施困境如：經費問題、交通問題、家長質疑、場地問題等部分，由行政端協助教師處理，邀請行政人員或相關科任教師、志工家長進行活動協助，提高教師辦理戶外教育的支援人力，給予教師最直接的幫助。此外，也可以透過戶外教育相關的教師專業成長社群，讓教師之間彼此經驗傳承與分享，善用團隊力量，減低工作量及壓力。

(二)學校可再多投入相關資源在戶外教育的課程規劃與實施方面，以減少教師在實施上的困擾程度，並舉辦教育訓練或相關研習，拓展教師的視野，也可利用相關線上資源與課程，增加辦理戶外教育的背景經驗，從中藉以提升教師在知識層面與技能層面的教學能力，如此一來，教學現場第一線的教師不僅能透過戶外教育增進教學成效，也能對戶外教育所伴隨而來的效益產生更深的認同感，學生亦能更有效的習得並體悟戶外教育的成果與價值。

(三)本研究受限於時間、經費、人力有限，僅以臺南市國小教師為研究對象，故無法將研究結果類推到其他縣市之國小教師。建議未來研究可以增加研究的範圍與樣本數，加入不同縣市國小教師的資料進行分析研究，其研究結果將會更具推論性與代表性，也更有參考價值。

(四)在研究變項方面：未來的研究者可以蒐集更多的相關因素，進一步探討其他變項，例如：辦理戶外教育的態度、考量因素、實施意願、納入整體性研究架構中，探討並驗證各個變項之間的關係，分析變項間的相互影響效果、中介效果。此外也可加入更多不同面向的教師背景變項，如：不同教師所服務的學校規模、不同教授科目的教師等，更能全面知道不同背景變項教師對辦理戶外教育的相關看法差異為何。

## 參考文獻

[1] 王靜如(1991)。高屏地區國小戶外教學現

況困難之調查分析。*屏師學報*，3，363-396。

- [2] 余宗翰(1999)。花蓮縣國小教師運用戶外環境教育教學資源之調查研究。國立花蓮師範學院國小科學教育研究所碩士論文，花蓮縣。取自<https://hdl.handle.net/11296/345jtt>
- [3] 林于婷(2016)。教保服務人員對校外教學的考量因素與學習成效之研究。朝陽科技大學幼兒保育系碩士論文，台中市。取自<https://hdl.handle.net/11296/mc2qk7>
- [4] 林泳溱(2020)。高雄市公立幼兒園教保服務人員對校外教學考量因素與實施意願之研究。國立屏東大學生態休閒教育教學學位學程碩士論文，屏東市。取自<https://hdl.handle.net/11296/x3b53r>
- [5] 徐治霜(2006)。臺南市國民小學實施戶外教學之研究。臺中教育大學國民教育學系碩士論文。臺中市。取自<https://hdl.handle.net/11296/h694vk>
- [6] 湯蔓嫻(2004)。花蓮縣小型學校校長學校經營策略及相關因素之探討。國立花蓮師範學院，花蓮市。取自<https://hdl.handle.net/11296/64a4u8>
- [7] 劉小萍(2009)。臺灣偏遠地區國小教師校外教學之實施現況、阻礙因素及戶外教育能力需求。國立臺中教育大學環境教育研究所碩士論文，臺中市。取自<https://hdl.handle.net/11296/gvd86q>
- [8] 謝皓軒(2018)。高雄市國小教師選擇高雄都會公園實施環境教育阻礙因素及教學需求。國立屏東科技大學森林系碩士論文，屏東市。取自<https://hdl.handle.net/11296/rj75pk>
- [9] 謝鴻儒(2000)。國小教師戶外教學現況與障礙之研究。國立台北師範學院課程與教育研究所碩士論文，台北市。取自<https://hdl.handle.net/11296/4w6n3v>
- [10] 龔巧致(2020)。國小教師戶外教育考量因素

與學習成效之研究—以台中市后里區國小為例。中華大學企業管理學系碩士論文，新竹市。取自<https://hdl.handle.net/11296/w66s2b>

- [11] 教育部國民中小學辦理戶外教育實施原則(2018)。國民及學前教育。檢自<https://edu.law.moe.gov.tw/LawContent.aspx?id=GL001146>



**Journal of Far East University** Vol.39 No.2

Publisher: Jung Sheng Wang

Published by Far East University

Editor: Synthetic Affairs Section of Far East University

Address: No.49, Zhonghua Rd., Xinshi Dist., Tainan City 744-48, Taiwan

(R.O.C.)

Telephone: (06) 597-9566 ext 7010

Fax: (06) 597-7010

Published in August 2022

ISSN: 1811-816X

Copyright Reserved 2022

**遠東學報 第三十九卷第二期**

發行人：王榮聖校長

發行單位：遠東科技大學

編輯：教務處綜合業務組

地址：744-48台南市新市區中華路49號

電話：(06) 597-9566 分機 7010

傳真：(06) 597-7010

出版日期：2022年 8月

I S S N：1811-816X

版權所有、禁止翻印