

# 捐血中心最佳生產模式及其軟體之建立

蘇 喜<sup>1</sup> 游張松<sup>2</sup> 張銀益<sup>3</sup>

本研究為釐清捐血中心血品生產製程，導出血品及其製程之關係圖，並提出募血及其製程組合的“最佳生產製程規劃模式”。在各血品生產限制下，求取最佳生產製程組合，即以最低採血及製程成本來滿足各成分血需求。進一步應用線性規劃方法提出精簡快速的演算法，並以此演算法為依據，建立血品決策支援系統的雛形系統，稱為台北捐血中心血品製程規劃系統。(中華衛誌 1996; 15(1): 61-79)

關鍵詞：血液生產函數、血液生產模式、血液生產管理資訊系統、全血／成分血

## 前 言

台灣各地捐血中心負責供應各地醫療用血，其所供應的血液成品，從早期的每一種血型只有全血一種血品，到八十一年時已有12種血品，除全血外，尚有九種成份血品和二種血液析離數特殊血品[1]。由於血液成品的增加，使得血品的生產製造(production process)更加複雜，整個生產成本也變得不易控制。因此捐血中心在生產規劃中，如何規劃其各生產製程的生產組合，使得其血品產能(產量+庫存品數量)不僅能滿足每日的需求數量，並且能達到最低的生產成本，將是捐血中心在經營管理上的重要課題。

關於捐血中心的血液供需問題，Surgenor曾對1982年至1988年間美國血液收集和輸血規模作一次統計分析，發現全血用量逐漸減少，成份血用量逐漸增加[2]。同樣地，Sun & Yeh也進行自1990至1992間台灣地區的

血液使用量調查研究，研究發現紅血球濃厚液(Blood Cell, RBC)、冷凍血漿(Frozen Plasma, FP)、冷凍沈澱品(Cryoprecipitate, CRYO)和血小板濃厚液(Platelet Concentrated, PLA)均有明顯增多[3]。由此知，成份血的需求增加，則此部份的製造規劃，需加以研究。Prastacos亦曾對血品的庫存管理加以研究，並提出一個大區域的庫存演算方法，解決大區域的血品庫存和供應問題[4]。以上相關文獻，均未從生產製造方面來研究每日最適生產量及最低成本生產規畫作業問題。

本研究將從捐血中心的每個血液生產流程開始進行分析，將流程中的原料血及流程之最終血液成品之關係給予量化，建立血品生產製程的數學模型。接著分析每個製程的生產成本及血液成品之庫存數量、需求量與安全存量的關係，以建立出血品製程的生產規劃數學模式。最後，本研究發展一個輔助軟體來協助求解，並實際選取捐血中心的生產資料加以應用。

## 分 析

### 一、捐血中心各血品之生產模式

一般採得的血液經過檢驗合格後便可以供應醫院使用。但如果要製成成份血液，則必需經過不同的生產方式。研究小組為瞭解

<sup>1</sup>國立臺灣大學醫療機構管理研究所

<sup>2</sup>國立臺灣大學商學研究所

<sup>3</sup>長庚醫學暨工程學院工業管理學系

聯絡人：蘇 喜

聯絡地址：台北市仁愛路一段1號1512室

收稿日期：83年10月

接受日期：84年9月

血品生產的製程，經與台北捐血中心主管訪談後，蒐集得以下的資料，在生產血品模式中，依血液採集後處理時間的不同，可適用的生產模式有很大的差異，基本上依處理時間的不同可分為二大類，一種為採得血液六小時內處理的生產模式，另一種為採得血液超過六小時後的生產模式，詳細程序請參考圖1及圖2 [1]。處理六小時以上的血液其主要是做血小板、新鮮血漿之用，且由於時間的長度，使血液中第八因子存活性低，因此離心後不能做白血球濃厚液。

二、生產排程模式

台北捐血中心目前各血型計有十二種血品，如下列：

1. 全血(WHOLE BLOOD, WB)。
2. 紅血球濃厚液(RED BLOOD CELL CONCENTRATED, RBC)。
3. 洗滌紅血球(WASH RED BLOOD CELL CONCENTRATED, WRBC)。
4. 冷凍以甘板紅血球(FROZEN DEGLYCOLIZED RED BLOOD CELL CONCENTRATED, FDRBC)。
5. 減除白血球之紅血球濃厚液(LEUKOCYTE POOR RED BLOOD CELL CONCENTRATED, LPRBC)。
6. 白血球濃厚液(WHITE BLOOD CELL CONCENTRATED, WBC)。
7. 血小板濃厚液(PLATELET CONCENTRATED, PLA)。

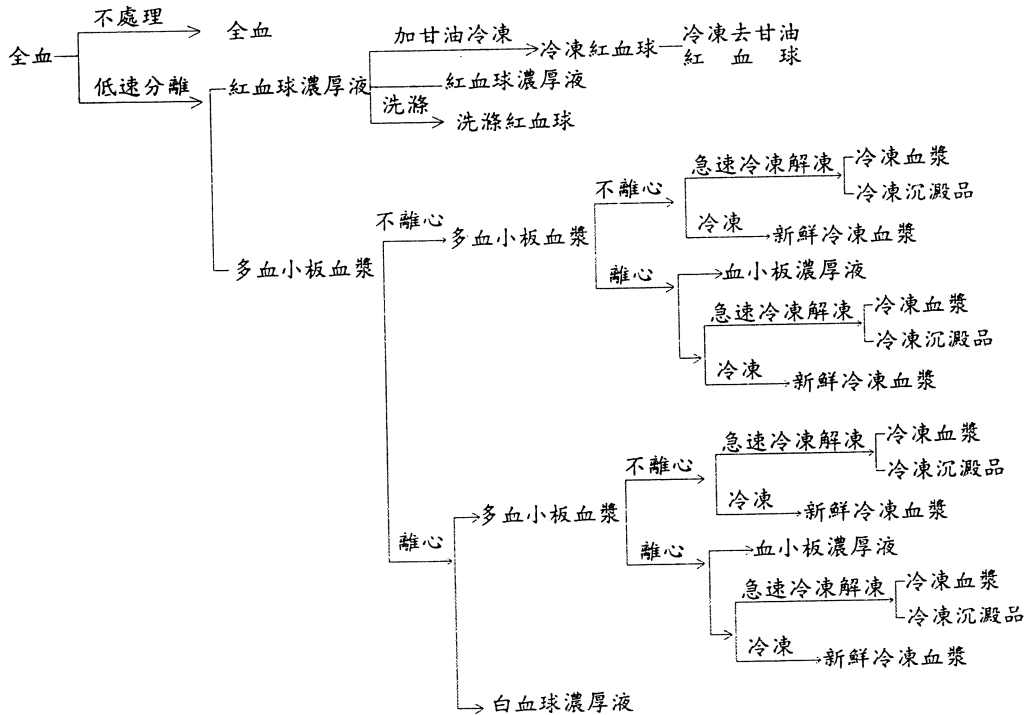


圖1：處理時間六小時以內

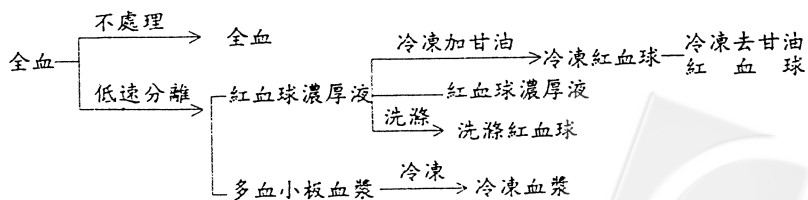


圖2：處理時間六小時以上

8. 冷凍血漿(FROZEN PLASMA, FP)。
9. 惹鮮冷凍血漿(FRESH FROZEN PLASMA, FFP)。
10. 冷凍沉澱品(CRYOPRECIPITATE, CRYO)。
11. 血乚板分離術(PLATELET PHERESIS, PLAPH)。
12. 白血球分離術(WHITE BLOOD CELL PHERESIS, WBCPH)。

這十二種血品的生產製程共可分成三大類。第一類為由採集的新鮮血液，經標準檢驗程序，製成合格的新鮮全血。第二類將合格的全血(新鮮及庫存)經特別程序，製成各種成份血。第三類是直接從供血人身上析離取出成份血。這三類的生產製程彼此獨立，且

產出的血品也互相獨立。

第一類生產製程的產品為全血(WB)。第二類生產製程的產品為成份血，計有九種血品：分別是紅血球濃厚液(RBC)、洗滌紅血球(WRBC)、冷凍去甘油紅血球(FDRBC)、減除白血球之紅血球濃厚液(LPRBC)、白血球濃厚液(WBC)、血小板濃厚液(PLA)、冷凍血漿(FP)、新鮮冷凍血漿(FFP)和冷凍沉澱品(CRYO)。第三類生產製程的產品有兩種血品，分別為血小板分離術(PLAPH)和白血球分離術(WBCPH)。

接著針對每類的各種生產製程進行分析，發現這三類生產製程共有23個生產流程。每個流程的原料及產品關係，詳如附錄A。

## 附錄A

### 第一類：全血製程

生產流程 1 (process 1)：原料為新採的血液，產品為合格全血。

1 單位新鮮原血經標準檢驗程序得到 1 單位合格全血。

製程1:

(採得血液) → 標準檢驗 → (全血)

生產關係1:

1 單位血液  $\xrightarrow{\text{process 1}}$  1 單位全血

### 第二類：成份血製程

成份血的製程依其製程特性，將原料分成二種，一種為採集至製成全血的時間尚未滿六小時的時間尚未滿六小時的新鮮全血，另一種為採集至製成全血的時間已超過六小時的庫存全血。以新鮮全血為原料的製程計有16個，而以庫存全血為原料則有4個，全部20個製程。

製程2:

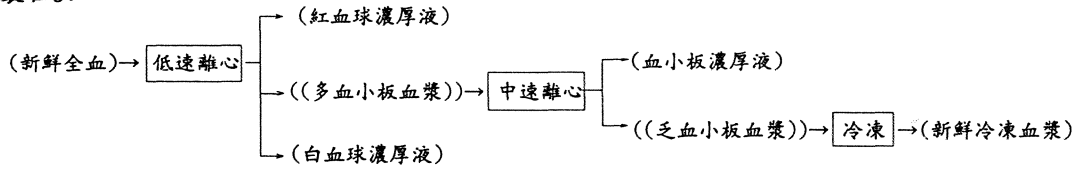
(新鮮全血) → 高速離心 → (紅血球濃厚液)  
((乏血小板血漿)) → 冷凍 → (新鮮冷凍血漿)

生產關係2:

1 單位全血  $\xrightarrow{\text{process 2}}$  1 單位紅血球濃厚液 + 1 單位新鮮冷凍血漿

〔註 1〕 ( ) 表示血品，  表示程序，(( )) 表示暫時產品

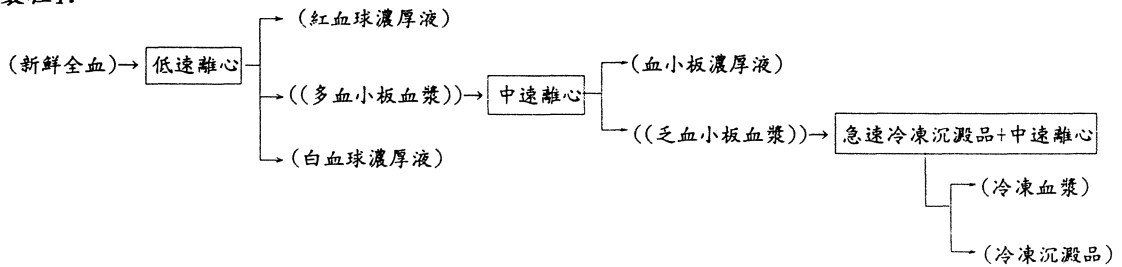
**製程3:**



**生產關係3:**

process 3  
 1單位全血  $\Rightarrow$  1單位紅血球濃厚液+1單位血小板濃厚液+1單位新鮮冷凍血漿+1單位白血球濃厚液

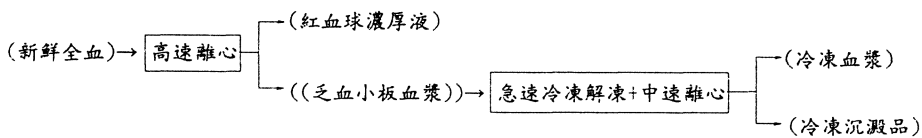
**製程4:**



**生產關係4:**

process 4  
 1單位全血  $\Rightarrow$  1單位紅血球濃厚液+1單位血小板濃厚液+1單位冷凍血漿+1單位冷凍沉澱品+1單位白血球濃厚液

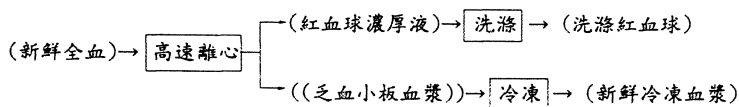
**製程5:**



**生產關係5:**

process 5  
 1單位全血  $\Rightarrow$  1單位紅血球濃厚液+1單位冷凍血漿+1單位冷凍沉澱品

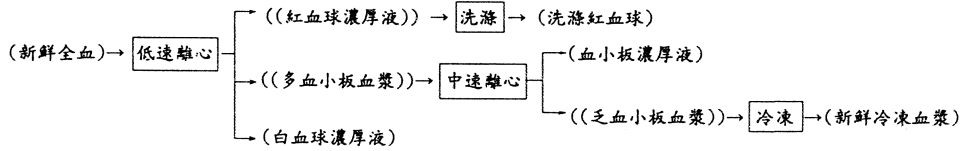
**製程6:**



**生產關係6:**

process 6  
 1單位全血  $\Rightarrow$  1單位洗滌紅血球+1單位新鮮冷凍血漿

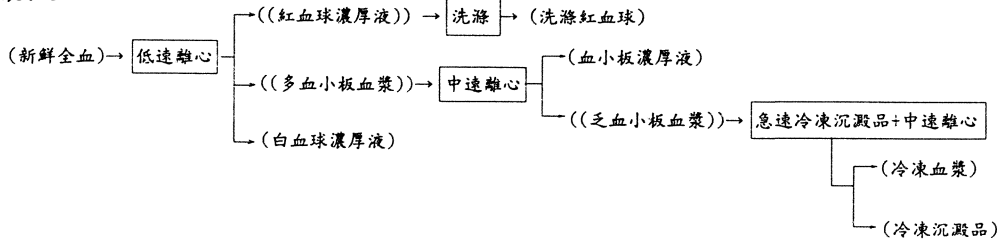
製程7:



生產關係7:

process 7  
1單位全血 → 1單位洗滌紅血球+1單位血小板濃厚液+1單位新鮮冷凍血漿+1單位白血球濃厚液

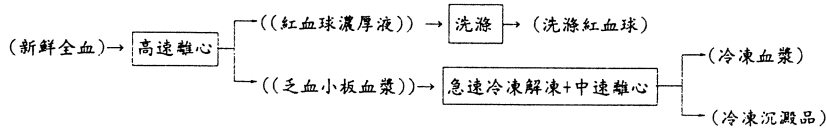
製程8:



生產關係8:

process 8  
1單位全血 → 1單位洗滌紅血球+1單位血小板濃厚液+1單位冷凍血漿+1單位冷凍沉澱品+1單位白血球濃厚液

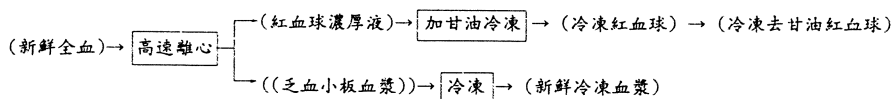
製程9:



生產關係9:

process 9  
1單位全血 → 1單位洗滌紅血球+1單位冷凍血漿+1單位冷凍沉澱品

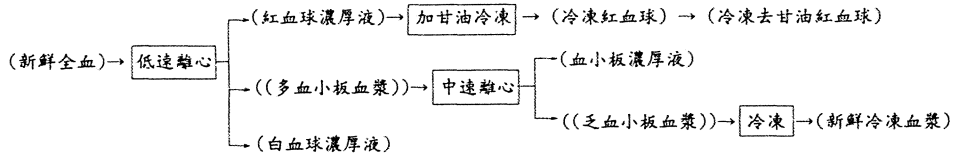
製程10:



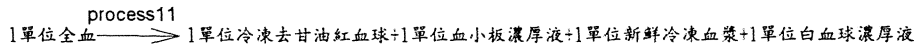
生產關係10:

process 10  
1單位全血 → 1單位冷凍去甘油紅血球+1單位新鮮冷凍血漿

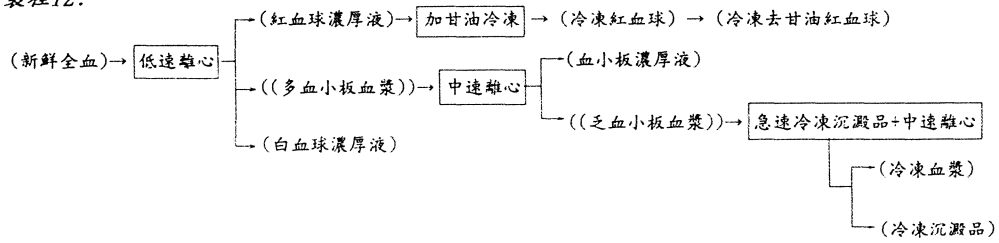
製程11:



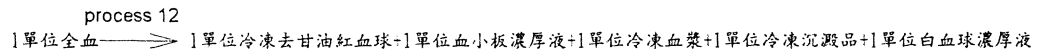
生產關係11:



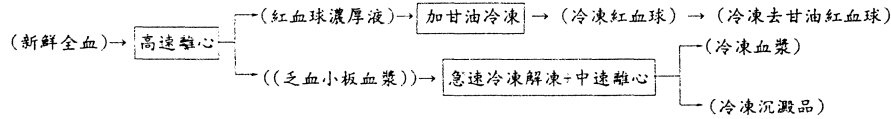
製程12:



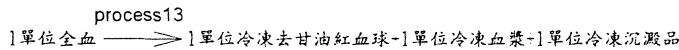
生產關係12:



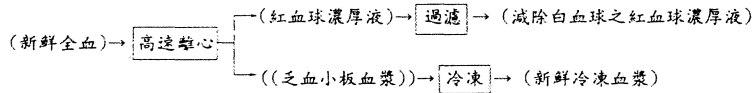
製程13:



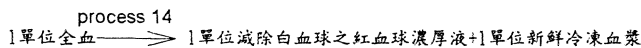
生產關係13:



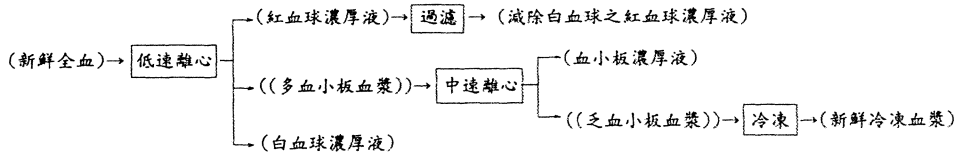
製程14:



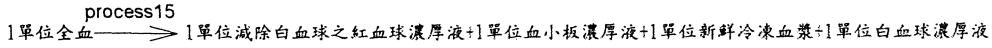
生產關係14:



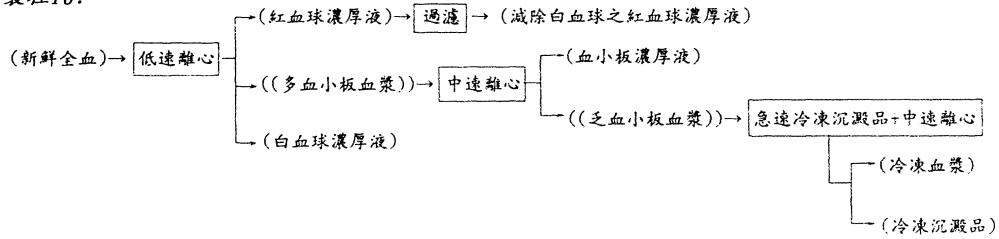
製程15:



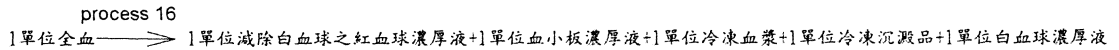
生產關係15:



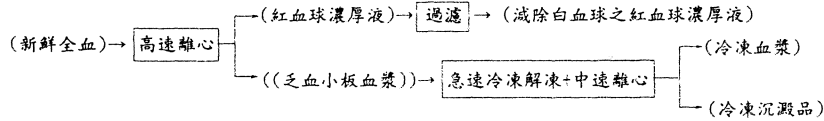
製程16:



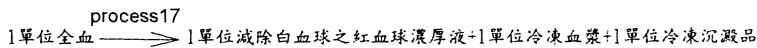
生產關係16:



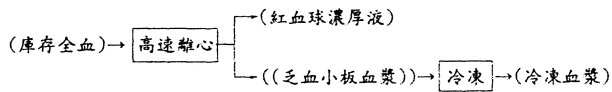
製程17:



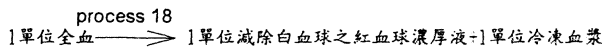
生產關係17:



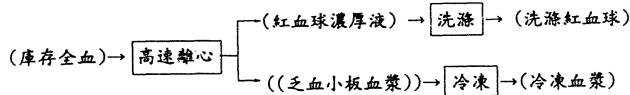
製程18:



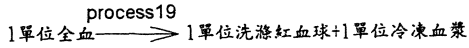
生產關係18:



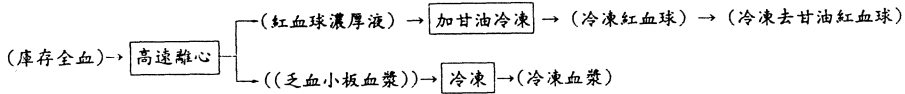
製程19:



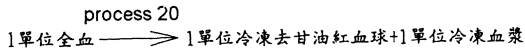
生產關係19:



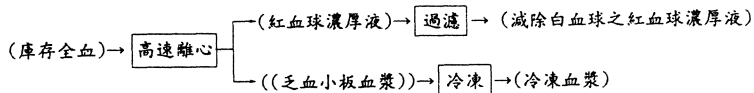
製程20:



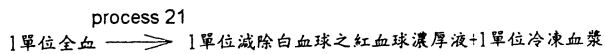
生產關係20:



製程21:

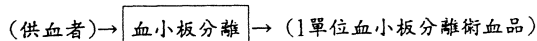


生產關係21:

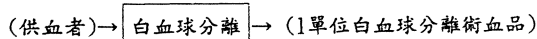


第三類：全血製程

製程22:



製程23:



析離術係直接自供血者身上採取，故可依所需數量直接取出，無需將鮮血採至全血血袋中，可以無需再列生產關係式，不過成品數量仍能以多少單位計算。



在此23種製程中的成份血製程部份(2至21製程), 2至17製程均屬於採得血液6小時內的新鮮血液生產模式, 18至21製程則屬於採得血液6小時以上的庫存血液生產模式。有關各血品單位容積大小請參考捐血中心所訂之血品單位容積大小。

現有12種血品, 若以 $X_i$ 代表第 $i$ 種血品的產量, 則 $X_i$ 的對應關係如表1; 再以 $P_j$ 表前述23個製程的第 $j$ 個製程的執行次數,  $P_j$ 的對應關係依前述23個製程的順序關係。另外以 $A_{[i, j]}$ 來代表第 $j$ 個製程在每一次製程中所能生產第 $i$ 種血品的數量比值, 單位為血品單位/生產次數,  $i=1, 2, \dots, 12, j=1, 2, \dots, 23$ 。我們因每個製程的生產關係式中得到每個 $A_{[i, j]}$ 值, 其值如下:

- 第 1個製程:  $A_{[1,1]}=1, A_{[i,1]}=0, i=2, 3, \dots, 12$ 。
- 第 2個製程:  $A_{[2,2]}=A_{[9,2]}=1, A_{[i,2]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 2, 9$ 。
- 第 3個製程:  $A_{[2,3]}=A_{[6,3]}=A_{[7,3]}=A_{[9,3]}=1, A_{[i,3]}=0, i=1, 3, 4, 5, 8, 10, 11, 12$ 。
- 第 4個製程:  $A_{[2,4]}=A_{[6,4]}=A_{[7,4]}=A_{[8,4]}=A_{[10,4]}=1, A_{[i,4]}=0, i=1, 3, 4, 5, 9, 11, 12$ 。
- 第 5個製程:  $A_{[2,5]}=A_{[8,5]}=A_{[10,5]}=1, A_{[i,5]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 2, 8, 10$ 。
- 第 6個製程:  $A_{[3,6]}=A_{[9,6]}=1, A_{[i,6]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 3, 9$ 。
- 第 7個製程:  $A_{[3,7]}=A_{[6,7]}=A_{[7,7]}=A_{[9,7]}=1, A_{[i,7]}=0, i=1, 2, 4, 5, 8, 10, 11, 12$ 。
- 第 8個製程:  $A_{[3,8]}=A_{[6,8]}=A_{[7,8]}=A_{[8,8]}=A_{[10,8]}=1, A_{[i,8]}=0, i=1, 2, 4, 5, 9, 11, 12$ 。
- 第 9個製程:  $A_{[3,9]}=A_{[8,9]}=A_{[10,9]}=1, A_{[i,9]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 3, 8, 10$ 。
- 第10個製程:  $A_{[4,10]}=A_{[9,10]}=1, A_{[i,10]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 4, 9$ 。
- 第11個製程:  $A_{[4,11]}=A_{[6,11]}=A_{[7,11]}=A_{[9,11]}=1, A_{[i,11]}=0, i=1, 2, 3, 5, 8, 10, 11, 12$ 。
- 第12個製程:  $A_{[4,12]}=A_{[6,12]}=A_{[7,12]}=A_{[8,12]}=A_{[10,12]}=1, A_{[i,12]}=0, i=1, 2, 3, 5, 9, 11, 12$ 。
- 第13個製程:  $A_{[4,13]}=A_{[8,13]}=A_{[10,13]}=1, A_{[i,13]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 4, 8, 10$ 。
- 第14個製程:  $A_{[5,14]}=A_{[9,14]}=1, A_{[i,14]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 5, 9$ 。
- 第15個製程:  $A_{[5,15]}=A_{[6,15]}=A_{[7,15]}=A_{[9,15]}=1, A_{[i,15]}=0, i=1, 2, 3, 4, 8, 10, 11, 12$ 。
- 第16個製程:  $A_{[5,16]}=A_{[6,16]}=A_{[7,16]}=A_{[8,16]}=A_{[10,16]}=1, A_{[i,16]}=0, i=1, 2, 3, 4, 9, 11, 12$ 。
- 第17個製程:  $A_{[5,17]}=A_{[8,17]}=A_{[10,17]}=1, A_{[i,17]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 5, 8, 10$ 。
- 第18個製程:  $A_{[2,18]}=A_{[8,18]}=1, A_{[i,18]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 2, 8$ 。
- 第19個製程:  $A_{[3,19]}=A_{[8,19]}=1, A_{[i,19]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 3, 8$ 。
- 第20個製程:  $A_{[4,20]}=A_{[8,20]}=1, A_{[i,20]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 4, 8$ 。
- 第21個製程:  $A_{[5,21]}=A_{[8,21]}=1, A_{[i,21]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 5, 8$ 。
- 第22個製程:  $A_{[11,22]}=1, A_{[i,22]}=0, i=1, \dots, 12, i \neq 11$ 。
- 第23個製程:  $A_{[12,23]}=1, A_{[i,23]}=0, i=1, \dots, 11$ 。

因此 $A_{[i, j]}$ 形成一個 $12 \times 23$ 的矩陣,  $X_i$ 為

表1: 各血品產量符號 $X_i$ 與其種類之對應關係

指標 $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
變數 $X_i$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$
第 $i$ 種血品	WB	RBC	WRBC	FCRBC	LPRBC	WBC	PLA	FP	FFP	CRYO	PLAPH	WBCPH

一個 $12 \times 1$ 的矩陣， $P_j$ 為一個 $23 \times 1$ 的矩陣。令  $A$ 、 $X$ 、 $P$ 分別代表 $A[i, j]$ 、 $X_i$ 、 $P_j$ 矩陣，則得到生產製程與血品的生產數學等式： $AP=X$ ，將此數學等式依矩陣乘法乘開，並去除等式中係數為0的變數項，得到新的數學關係式如下：

$$\begin{aligned} X_1 &= P_1 \\ X_2 &= P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_{18} \\ X_3 &= P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{19} \\ X_4 &= P_{10} + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{20} \\ X_5 &= P_{14} + P_{15} + P_{16} + P_{17} + P_{21} \\ X_6 &= P_3 + P_4 + P_7 + P_8 + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{16} \\ X_7 &= P_3 + P_4 + P_7 + P_8 + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{16} \\ X_8 &= P_2 + P_3 + P_6 + P_7 + P_{12} + P_{13} + P_{16} + P_{17} + P_{18} + P_{19} + P_{20} + P_{21} \\ X_9 &= P_2 + P_3 + P_6 + P_7 + P_{10} + P_{14} + P_{15} \\ X_{10} &= P_4 + P_5 + P_8 + P_9 + P_{12} + P_{13} + P_{16} + P_{17} \\ X_{11} &= P_{22} \\ X_{12} &= P_{23} \end{aligned}$$

本研究期望透過此生產模式分析找到最佳的生產模式組合；即在滿足產品需求量的前題下，生產的成本能愈低愈好。假設每一個製程 $j$ 的生產成本為 $C_j$ ,  $j=1, \dots, 23$ 。由捐血中心的血品供需作業中，發現影響每日產量的變項有四個，分別是需求量、庫存量、安全存量和庫存損壞量，我們以 $N_i$ 表示血品 $i$ 的當日需求量， $Z_i$ 表示血品 $i$ 的庫存量， $B_i$ 表示血品 $i$ 的安全存量和 $L_i$ 表示血品 $i$ 的庫存損壞量， $i=1, \dots, 12$ ， $Z$ 表示所有製程的生產總成本，則可分別得到目標式和血品需求量限制式如下：

$$\text{目標式：} \min Z = \sum_{j=1}^{23} C_j P_j$$

限制式：

$$\begin{aligned} X_i &\geq (N_i + B_i) - (Z_i - L_i), i = 1, 2, \dots, 12 \\ C_j, P_j &\geq 0, j = 1, 2, 3 \\ X_i, N_i, B_i, Z_i, L_i &\geq 0, j = 1, 2, \dots, 12 \end{aligned}$$

在限制式的第一項全血限制式中，發現因製程2至製程17等16個製程均需耗用採集時間未達六小時的新鮮全血，故需要修正如下：

$$X_1 - \sum_{j=2}^{17} P_j \geq (N_1 + B_1) - (Z_1 - L_1) \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\text{且 } X_1 \geq \sum_{j=2}^{17} P_j \dots\dots\dots(3.2)$$

由製程18至製程21等4個製程中發現，這些製程仍需要耗用全血血品，雖然基本上是耗用庫存全血，但當無庫存全血或不足時，仍需等新鮮全血存放至採集時間超過六小時後，再用做生產所需的原料，但仍是耗用全血血品。因此得知在全血一項的總數量(包含新生產的新鮮血液總量 $X_1$ 可用庫存全血總量 $Z_1 - L_1$ )再去除供應製程2至17的需求後，仍需滿足當日全血血品的安全存量及製程18至21的全血需求數量，因此得到另一個全血血品的限制式如下：

$$X_1 + (Z_1 - L_1) - \left(\sum_{j=2}^{17} P_j\right) \geq N_1 + B_1 + (P_{18} + P_{19} + P_{20} + P_{21})$$

經整理後，得下列的限制式：

$$X_1 \geq \left(\sum_{j=2}^{21} P_j\right) + (N_1 + B_1) - (Z_1 - L_1) \dots\dots\dots(3.3)$$

我們比較(3.1)和(3.3)式發現，就 $X_1$ 而言，滿足(3.3)式即會自動滿足(3.1)式，所以可將(3.1)式去除。於是得到整個最佳化模式，如下：

$$\text{目標式：} \min Z = \sum_{j=1}^{23} C_j P_j$$

限制式：

$$\begin{aligned} X_1 &\geq \sum_{j=2}^{21} P_j + (N_1 + B_1) - (Z_1 - L_1) \\ X_i &\geq \sum_{j=2}^{17} P_j \\ X_i &\geq (N_i + B_i) - (Z_i - L_i), i = 2, \dots, 12 \end{aligned}$$

我們將生產關係數學等式代入限制式的 $X_i$ 變數，得到新的最佳化模式，如下：

$$\text{目標式 } \min Z = \sum_{j=1}^{23} C_j P_j$$

限制式：

$$\begin{aligned} P_1 - \sum_{j=2}^{21} P_j &\geq N_1 + B_1 - Z_1 + L_1 \\ P_1 - \sum_{j=2}^{17} P_j &\geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_8 &\geq N_2 + B_2 - Z_2 + L_2 \\
 P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{19} &\geq N_3 + B_3 - Z_3 + L_3 \\
 P_{13} + P_{14} + P_{15} + P_{20} &\geq N_4 + B_4 - Z_4 + L_4 \\
 P_{16} + P_{17} + P_{18} + P_{21} &\geq N_5 + B_5 - Z_5 + L_5 \\
 P_3 + P_2 + P_4 + P_5 + P_{11} + P_{12} + P_{15} + P_{16} &\geq N_6 + B_6 - Z_6 + L_6 \\
 P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_{11} + P_{12} + P_{15} + P_{16} &\geq N_7 + B_7 - Z_7 + L_7 \\
 P_4 + P_3 + P_4 + P_5 + P_{11} + P_{12} + P_{15} + P_{16} + P_{19} + P_{20} + P_{21} &\geq N_8 + B_8 - Z_8 + L_8 \\
 P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_{10} + P_{11} + P_{14} + P_{15} &\geq N_9 + B_9 - Z_9 + L_9 \\
 P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_{12} + P_{13} + P_{16} + P_{17} &\geq N_{10} + B_{10} - Z_{10} + L_{10} \\
 P_{22} &\geq N_{11} + B_{11} - Z_{11} + L_{11} \\
 P_{23} &\geq N_{12} + B_{12} - Z_{12} + L_{12}
 \end{aligned}$$

$P_j$  為正整數,  $j=1, \dots, 23$   
 $C_j, N_i, B_i, Z_i, L_i$  為常數變數

接著觀察  $N_i + B_i - Z_i + L_i$  的血品需求計算式, 如  $N_i + B_i - Z_i + L_i < 0$  則表示現有庫存量已滿足全部需求量, 因此此一血品應不須再生產, 故此項應設為 0 方有意義。所以我們用  $Q_i$  (Quantity) 來表示此項, 其值如下:

$$\begin{aligned}
 Q_i &= N_i + B_i - Z_i + L_i && \text{if } N_i + B_i - Z_i + L_i \geq 0 \\
 Q_i &= 0 && \text{if } N_i + B_i - Z_i + L_i < 0
 \end{aligned}$$

最後得到新的最佳化模式如下:

$$\text{目標式 } \min Z = \sum_{j=1}^{23} C_j P_j$$

限制式:

$$\begin{aligned}
 P_1 - \sum_{j=2}^{21} P_j &\geq Q_1 \\
 P_1 - \sum_{j=2}^{17} P_j &\geq 0 \\
 P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_8 &\geq Q_2 \\
 P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{19} &\geq Q_3 \\
 P_{10} + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{20} &\geq Q_4 \\
 P_{14} + P_{15} + P_{16} + P_{17} + P_{21} &\geq Q_5 \\
 P_3 + P_4 + P_5 + P_8 + P_{11} + P_{12} + P_{15} + P_{16} &\geq Q_6 \\
 P_3 + P_4 + P_5 + P_8 + P_{11} + P_{12} + P_{15} + P_{16} &\geq Q_7 \\
 P_4 + P_3 + P_4 + P_5 + P_{11} + P_{12} + P_{15} + P_{16} + P_{19} + P_{20} + P_{21} &\geq Q_8 \\
 P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_{10} + P_{11} + P_{14} + P_{15} &\geq Q_9 \\
 P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_{12} + P_{13} + P_{16} + P_{17} &\geq Q_{10} \\
 P_{22} &\geq Q_{11} \\
 P_{23} &\geq Q_{12}
 \end{aligned}$$

$P_j$  為正整數,  $j=1, 2, \dots, 23$

$Q_i, C_j, N_i, B_i, Z_i, L_i$  為常數變數

$$Q_i = N_i + B_i - Z_i + L_i \quad \text{if } N_i + B_i - Z_i + L_i \geq 0$$

$$Q_i = 0 \quad \text{if } N_i + B_i - Z_i + L_i < 0$$

本研究小組所得到的最佳化模式, 為作業研究領域上的標準整數規劃問題, 可運用該領域的研究成果, 來求最佳整數解。

### 三、生產規劃數學模式之輔助軟體設計

本研究所得之生產規劃模型, 仍是一個有較多變數的整數規劃問題。在作業研究領域上, 許多人認為分枝定界演算法(branch and bound algorithm)是最佳的演算法, 但其效率仍無法和線性規劃[5]的簡算法(simplex algorithm)相比, 因此分枝定界法均使用在變數較小的問題。因此對處理大型整數規劃問題的較佳方法乃用一種可行的啟發式演算法(heuristic algorithms), 但並不保證可得一最優解。

一般在設計啟發式演算法, 均盡量與簡算法結合, 因整數規劃與線性規劃的問題相當類似, 所差只有變數之整數限制。如用簡算法來解原整數規劃的限制式, 若解得的最優解為整數, 則此解必是原整數規劃的最優解。因此, 本研究將採用簡算法為求取捐血中心之生產規劃模式近似解的輔助工具。對於線性規畫問題的求解軟體有很多種, 如Lindo等, 但這些軟體均是求解使用, 無法結合資料庫處理技術, 形成決策支援系統。因而, 我們以大—M (BIG-M)法則的簡算法作為輔助軟體設計主體, 且採用C語言(C-language)為程式設計的程序語言, 設計出臺北捐血中心製程規劃系統(TMPS)來來建構輔助規畫使用的決策支援系統。當簡算法解出之值為整數值, 則為最優解, 若解出值不為整數值時, 則建議採用進位法, 取得近似解。

### 應用結果

由於台北捐血中心無法提供每個製程的成本資料, 研究小組只好由捐血中心各成份血的訂價來反估其製程可能的成本。研究小組模式中, 各製程(process)的生產成本估算, 乃是根據台北捐血中心提供的各項血品單價, 以製程之原料及產品之差價來估算製程之生產成本。血品單價表及各生產製程的成本估算值, 詳列於表2及表3。

我們以1組測試值及一個實際個案值, 來

表2：各血品單位價格（捐血中心提供）

品名	價格(單位/元)
全血 (WB)	500
紅血球濃厚液 (RBC)	400
洗滌紅血球	600
冷凍去甘油紅血球	1300
白血球濃厚液	300
血小板濃厚液	300
冷凍血漿	300
新鮮冷凍血漿	200
冷凍沉澱品	150
血小板分離術	4200
白血球分離術	6200
減除白血球之紅血球濃厚液	850

表3：單位製程成本估算表

單位：元

生產製程	成本(C <sub>i</sub> )	生產製程	成本(C <sub>i</sub> )
process 1	500	process 13	1250
process 2	100	process 14	550
process 3	700	process 15	1150
process 4	950	process 16	1400
process 5	350	process 17	800
process 6	300	process 18	200
process 7	900	process 19	400
process 8	1150	process 20	1100
process 9	550	process 21	650
process 10	1000	process 22	4200
process 11	1600	process 23	6200
process 12	1850		

測試此一生產排程模型。首先，第一組測試值為假設有一個生產作業規劃，選擇23製程的前21個製程來生產，每個製程的產量均為一單位，則我們可得各項血品之產量的總合，其數量如表4中需求量欄位所示。隨後將這些各血品的產量當作系統的需求量，假設系統中的庫存量、安全存量和庫存報廢量均為0。此程式系統得到的結果如表5，得到新的生產作業規劃且生產成本為27,450元。但如照原是的生產作業規劃執行，則可發現製程1原本產量為1，但為了其他20個製程均需耗用新鮮全血，故產量需提高至21，因而得到生產成本為27,450元，二者相等，但所選擇的製程不同，各血品的產量則相符。接著，我們任取一組測試值來檢測系統中庫存、需求量、安全存量與製程次數、血品產量間的正確性，測試數據如表6。首先我們將測試數據中的需求量加上安全存量減除(庫

存量—庫存報廢量)，計算出需生產的血品數量，如表7。

再依據 $Q$ 的計算方式得到生產量如表7中所示，經輔助軟體計算所得的生產製程之解如表8，恰符合整數限制為最佳解。比較表7與表8中僅有WB和FFP二項有差異，其原因為除P1製程為均會耗用全血，因此P2至P17製程計使用105單位新鮮全血，P18至P21製程使用15單位庫存全血，所以全血的產量需增加120單位，加上原有12單位需求，共計為132單位，符合表8中P1製程之生產次數。就整個生產模式，製程所產出的各種血品產量均需大於或等於血品的 $Q$ 值，因此FFP值大於原有FFP之 $Q$ 值仍是合理的解。

根據台北捐血中心的庫存量 and 供血量日報表中，選擇80年6月3日及80年6月4日的日報表，如附錄B當作實際測試案例。以6月3日的O型血品的庫存量當作系統的庫存量，和

表4

國科會計畫	台北捐血中心血品製程規劃系統				設計者：蘇喜，張銀益
血品：	1.庫存量	2.需求量	3.安全存量	4.庫存報廢量	
WB	0.00	1.00	0.00	0.00	
RBC	0.00	5.00	0.00	0.00	
WRBC	0.00	5.00	0.00	0.00	
FDRBC	0.00	5.00	0.00	0.00	
LPRBC	0.00	5.00	0.00	0.00	
WBC	0.00	8.00	0.00	0.00	
PC	0.00	8.00	0.00	0.00	
FP	0.00	12.00	0.00	0.00	
FFP	0.00	8.00	0.00	0.00	
CRYO	0.00	8.00	0.00	0.00	
PLAPH	0.00	0.00	0.00	0.00	
WBCPH	0.00	0.00	0.00	0.00	
輸入數據是否正確，需要修改 (y/n) ?					

表5

國科會計畫		台北捐血中心血品製程規劃系統		設計者：蘇喜，張銀益	
**	Approximation Solution	**	: Minial cost = 27450.000000		**
WB	= 21.00	PROCESS 1 =	21.00	PROCESS 13 =	0.00
RBC	= 5.00	PROCESS 2 =	0.00	PROCESS 14 =	5.00
WRBC	= 5.00	PROCESS 3 =	0.00	PROCESS 15 =	0.00
FDRBC	= 5.00	PROCESS 4 =	1.00	PROCESS 16 =	0.00
LPRBC	= 5.00	PROCESS 5 =	0.00	PROCESS 17 =	0.00
WBC	= 8.00	PROCESS 6 =	0.00	PROCESS 18 =	4.00
PC	= 8.00	PROCESS 7 =	0.00	PROCESS 19 =	0.00
FP	= 12.00	PROCESS 8 =	5.00	PROCESS 20 =	0.00
FFP	= 8.00	PROCESS 9 =	0.00	PROCESS 21 =	0.00
CRYO	= 8.00	PROCESS 10 =	3.00	PROCESS 22 =	0.00
PLAPH	= 0.00	PROCESS 11 =	0.00	PROCESS 23 =	0.00
WBCPH	= 0.00	PROCESS 12 =	2.00		
是否需要執行新的計算 (y/n) ?					

表6

國科會計畫		台北捐血中心血品製程規劃系統		設計者：蘇喜，張銀益	
血品：	1.庫存量	2.需求量	3.安全存量	4.庫存報廢量	
WB	20.00	12.00	20.00	0.00	
RBC	10.00	57.00	10.00	0.00	
WRBC	5.00	45.00	10.00	0.00	
FDRBC	7.00	3.00	10.00	0.00	
LPRBC	9.00	6.00	10.00	0.00	
WBC	13.00	0.00	10.00	0.00	
PC	200.00	111.00	10.00	0.00	
FP	19.00	34.00	10.00	0.00	
FFP	7.00	17.00	10.00	0.00	
CRYO	9.00	9.00	10.00	0.00	
PLAPH	0.00	0.00	0.00	0.00	
WBCPH	0.00	0.00	0.00	0.00	
輸入數據是否正確，需要修改 (y/n) ?					

表 7

血品	需求量+安全存量-(庫存量-庫存報廢量)	生產量(產能需求量)Q <sub>i</sub>
WB	12	12
RBC	57	57
WRBC	50	50
FDRBC	6	6
LPRBC	7	7
WBC	-3	0
PC	-79	0
FP	25	25
FFP	20	20
CRYO	10	10
PLAPH	0	0
WBCPH	0	0

表8

國科會計畫		台北捐血中心血品製程規劃系統		設計者：蘇喜，張銀益	
**	Approximation Solution	**	: Minial cost = 100500.000000		**
WB	= 132.00	PROCESS 1 =	132.00	PROCESS 13 =	0.00
RBC	= 57.00	PROCESS 2 =	32.00	PROCESS 14 =	7.00
WRBC	= 50.00	PROCESS 3 =	0.00	PROCESS 15 =	0.00
FDRBC	= 6.00	PROCESS 4 =	0.00	PROCESS 16 =	0.00
LPRBC	= 7.00	PROCESS 5 =	10.00	PROCESS 17 =	0.00
WBC	= 0.00	PROCESS 6 =	50.00	PROCESS 18 =	15.00
PC	= 0.00	PROCESS 7 =	0.00	PROCESS 19 =	0.00
FP	= 25.00	PROCESS 8 =	0.00	PROCESS 20 =	0.00
FFP	= 95.00	PROCESS 9 =	0.00	PROCESS 21 =	0.00
CRYO	= 10.00	PROCESS 10 =	6.00	PROCESS 22 =	0.00
PLAPH	= 0.00	PROCESS 11 =	0.00	PROCESS 23 =	0.00
WBCPH	= 0.00	PROCESS 12 =	0.00		
是否需要執行新的計算 (y/n) ?					

## 附錄B：

台北捐血中心80年6月3日庫存數量

品名 血型	全血	紅血球	血小板	新鮮冷凍 血 漿	冷凍血漿	冷 凍 沈澱品
O	998	3016	0	511	40978	1990
A	297	2622	0	162	9799	539
B	164	2197	34	270	9672	410
AB	92	737	5	170	3012	447
小 計	1551	8572	39	1113	63461	3386
合 計	10123		68000			
未處理血液	2332					
總 計	12455					

台北捐血中心80年6月4日庫存數量

品名 血型	全血	紅血球	血小板	新鮮冷凍 血 漿	冷凍血漿	冷 凍 沈澱品
O	187	294	93	237	98	20
A	109	189	66	198	5	0
B	66	127	64	109	4	0
AB	27	16	13	20	5	0
小 計	389	626	236	564	112	206
合 計	1015		942			
當月累積數	1781					

以6月4日的O型血品的供應量當作需求量，但仍讓安全存量及庫存損壞量為0，各數值請參閱表9，因而得到的最低生產成本為120,000元，請參閱表10。

## 討 論

在募血的作業上，若沒有規劃的方法，則無從決定需要募得的全血總量。而所募得的全血，是否全數進入檢驗並且利用血品製

程產生各類血品，亦值得商榷，因為經檢驗、生產之過程所製出的成份品，若未能在相當短的有效期限內被利用即告報廢，而所浪費的成本可能較採募全血之成本來得更高。因此，對於既定的血品需求量，如何募血並且如何組合各種製程以最經濟的方法來因應需求是本研究的動機。

本研究的第一個貢獻是釐清捐血中心之所有血品的生產製程，以及其全血及所製作



表9

國科會計畫	台北捐血中心血品製程規劃系統		設計者：蘇喜，張銀益	
血品：	1.庫存量	2.需求量	3.安全存量	4.庫存報廢量
WB	998.00	187.00	0.00	0.00
RBC	3016.00	294.00	0.00	0.00
WRBC	0.00	0.00	0.00	0.00
FDRBC	0.00	0.00	0.00	0.00
LPRBC	0.00	0.00	0.00	0.00
WBC	0.00	0.00	0.00	0.00
PC	0.00	93.00	0.00	0.00
FP	40978.00	98.00	0.00	0.00
FFP	511.00	237.00	0.00	0.00
CRYO	1990.00	20.00	0.00	0.00
PLAPH	0.00	2.00	0.00	0.00
WBCPH	0.00	0.00	0.00	0.00

輸入數據是否正確，需要修改 (y/n) ?

表10

國科會計畫	台北捐血中心血品製程規劃系統		設計者：蘇喜，張銀益	
**	Approximation Solution	**	: Minial cost = 120000.000000	**
WB	= 93.00	PROCESS 1 =	93.00	PROCESS 13 = 0.00
RBC	= 93.00	PROCESS 2 =	0.00	PROCESS 14 = 0.00
WRBC	= 0.00	PROCESS 3 =	93.00	PROCESS 15 = 0.00
FDRBC	= 0.00	PROCESS 4 =	0.00	PROCESS 16 = 0.00
LPRBC	= 0.00	PROCESS 5 =	0.00	PROCESS 17 = 0.00
WBC	= 93.00	PROCESS 6 =	0.00	PROCESS 18 = 0.00
PC	= 93.00	PROCESS 7 =	0.00	PROCESS 19 = 0.00
FP	= 0.00	PROCESS 8 =	0.00	PROCESS 20 = 0.00
FFP	= 93.00	PROCESS 9 =	0.00	PROCESS 21 = 0.00
CRYO	= 0.00	PROCESS 10 =	0.00	PROCESS 22 = 2.00
PLAPH	= 2.00	PROCESS 11 =	0.00	PROCESS 23 = 0.00
WBCPH	= 0.00	PROCESS 12 =	0.00	

是否需要執行新的計算 (y/n) ?

出之各種成份血之間的關係式，從而導出了血品及其製程的關係圖，這是我們做進一步研究的基礎。

本研究的最主要貢獻是提出募血及其製程組合的最佳生產製程規劃模式。本研究首先以血品及其製程的關係圖為基礎，參照預測的各成份血品的需求量，建制了血品及其製程組合的生產限制條件。然後，在這個生產限制條件下，求取最佳生產製程組合，即以最低的採血及製程成本，來滿足各成份血的需求。本研究所分析得到的血品最佳生產製程規劃模式是整數線性規劃的特例。

本研究的第三個貢獻是對上述的整數線性規劃提出解決方法。由於整數線性規劃在求解時，需要非常冗長的計算時間，所以我們進一步利用線性規劃的方法，提出精簡且快速的啟發式演算法。研究小組並嘗試將此

演算法以C語言來開發一個有關血品的決策支援系統。

### 參考文獻

1. 中華血液基金會編印，中華血液基金會八十一年年報，民81。
2. Surgenor DM, Wallace EL, Hao S and Chapman RH. Collection and transfusion of blood in the United States, 1982-1988. *New England Journal of Medicine*, 1990; **322**: 1646-51.
3. Sun CF and Yeh CC. Utilization and Sources of Blood Components in Taiwan, *J Formos Med Asso.* 1994; **93**: 758-64.
4. Prastacos GP. Blood Inventory Management: An Overview of Theory and Practice, *Management Science*, July 1994; **30**: 777-800.
5. Levin RI, Kir Kpartick CA and Rubin DS. *Quantitative Approaches to Management* 5th ed. McGraw-Hill, 1982; 15.

## OPTIMAL PRODUCTION DECISION SUPPORT SYSTEM FOR TAIPEI BLOOD CENTER

SYI SU<sup>1</sup>, CHANG-SUNG YU<sup>2</sup>, YIN-YIH CHANG<sup>3</sup>

This study was designed to elaborate production processes performed currently in Taipei Blood Center (TBC) and to coordinate the input material and output (whole blood and different type of blood component) relationship, thus so called production functions could be developed. Twenty-four production functions and thirteen constraints were clearly defined, and the decision support system optimal production software, that utilized linear programming method written in C language was es-

ablished.

The software was user oriented, once the daily required amount, inventory, safe and obsolescent level of whole blood, and each blood component were given, the selected processes and operation frequencies of production functions that must be triggered to meet demand at lowest possible cost could shown. TBC can then allocate manpower and arrange its work schedule accordingly. (*Chin J Public Health (Taipei)*: 1996; 15(1): 61-79)

**Key words:** *Blood Production Function, Blood Production Model, Decision Support System, Whole Blood/Component Blood*

---

<sup>1</sup> Institute of Health Care Organization Administration, National Taiwan University, No. 1, Sec. 1, Jen-Ai Rd. Taipei, Taiwan, R.O.C.

<sup>2</sup> Graduate School of Business Administration, National Taiwan University Taipei, Taiwan, R.O.C.

<sup>3</sup> Department of Industrial Management, Chang Gung College of Medicine and Technology, Kwei-San, Tao-Yuan, Taiwan, R.O.C.