



應用基因演算法於餐飲集團中央廚房生產規劃問題之研究

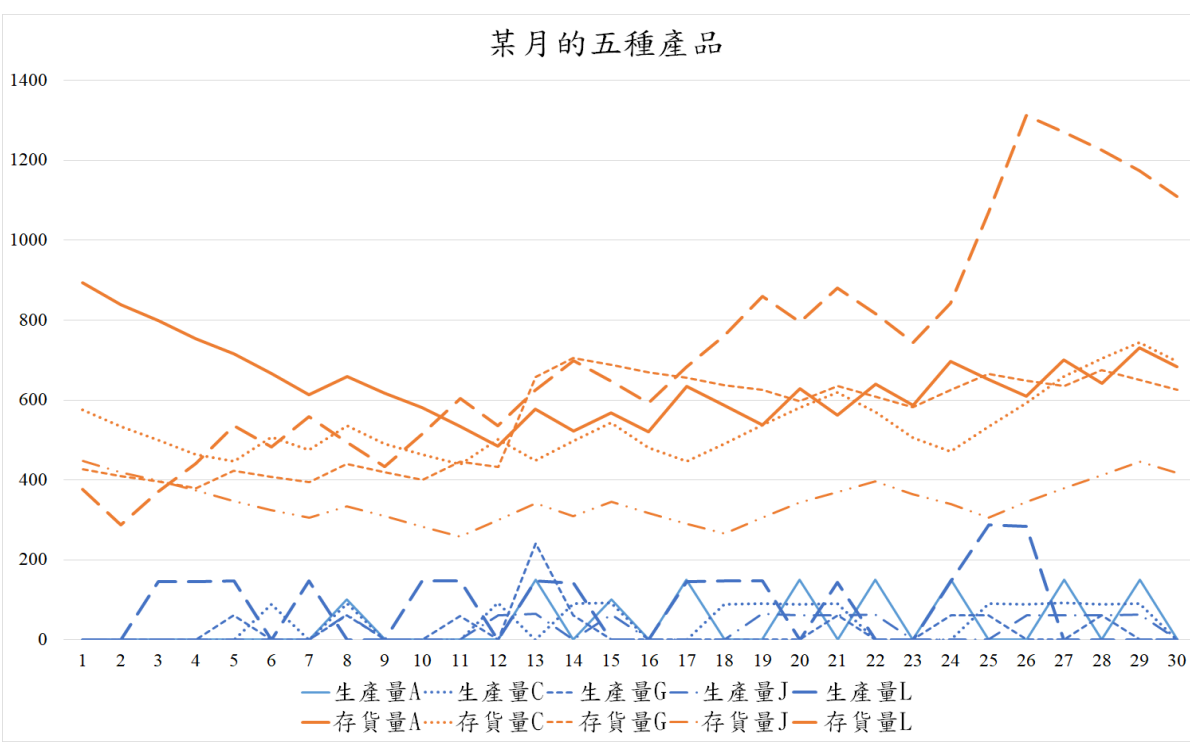
Using Genetic Algorithm to Solve the Production Planning Problem in Central Kitchens

指導教授：丁慶榮 教授

學生：顏裕珊 陳雅葯

研究背景與動機

根據衛生福利部調查，近年國人外食比例上升，各餐飲集團逐漸引入中央廚房的觀念，至今的產能規劃大多仰賴廚師的經驗，然而會產生如右圖的存貨過多及生產不穩定等問題。為了減少成本支出，本研究在實務上考量產能、最小生產量、安全庫存量及最大庫存量等限制。



研究目的

本研究有容量限制的產能規劃問題，透過建構數學模型以及啟發式演算法，解決中央廚房生產規劃不足的問題，最後並進行分析及比較。本研究主要目的為：

1. 建構數學模式。
2. 發展基因演算法求解。
3. 標竿例題驗證及分析比較。

問題描述

本研究生產的產品以低溫冷凍冷藏方式保存，並採先進先出方式出貨，產品皆於保存有效期間送出。各時期需求預測和期初庫存皆已知，決策為各產品生產時期及數量，各產品會有最少生產量，同時確保各時期的各產品存貨必須維持在安全庫存和最大可儲存庫存之間，同時每一時期均有產能可用限制，目標是要使規劃期間的總成本最小化。

問題假設

本研究數學模型屬於混合整數規劃模型，建立基本假設來了解本研究設計數學模型的條件依據，假設如下：

1. 每一個時期的最大產能為已知。
2. 每項產品的預測需求量、期初存貨及單位耗用產能為已知。
3. 每項產品在每一時期皆有安全庫存量及最大安全庫存量。
4. 每一項產品必須滿足最小生產量。
5. 入庫存貨以低溫冷凍冷藏為主，以先進先出，不會產生產品品質衰退。

數學模型

符號及參數

J : 產品的種類數量	I_{j0} : 產品j的規劃期初存貨
T : 總時期數	I_{\min}^j : 產品j安全庫存量
b_j : 產品j的最小生產量	I_{\max}^j : 產品j最大安全庫存量
c_{jt} : 產品j在時期t的生產成本	P_j : 產生一單位的產品j的時間
d_{jt} : 產品j在時期t的預測需求量	Q_t : 時期t可用的產能
h_{jt} : 產品j在時期t的非負數存貨成本	s_{jt} : 產品j在時期t非負數的設置成本

決策變數

I_{jt} : 產品j在時期t的存貨量	$x_{jt} = \begin{cases} 1 & \text{如果產品j在時期t生產} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$
q_{jt} : 產品j在時期t的生產數量	

數學模型

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J (s_{jt}x_{jt} + c_{jt}q_{jt} + h_{jt}I_{jt}) \quad (1)$$

$$\text{S.T.} \quad I_{j(t-1)} + q_{jt} - d_{jt} = I_{jt} \quad j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (2)$$

$$x_{jt}b_j \leq q_{jt} \quad j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$q_{jt} \leq x_{jt} \min(I_{\max}^j, d_{jt}) \quad j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$I_{\min}^j \leq I_{jt} \leq I_{\max}^j \quad j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (5)$$

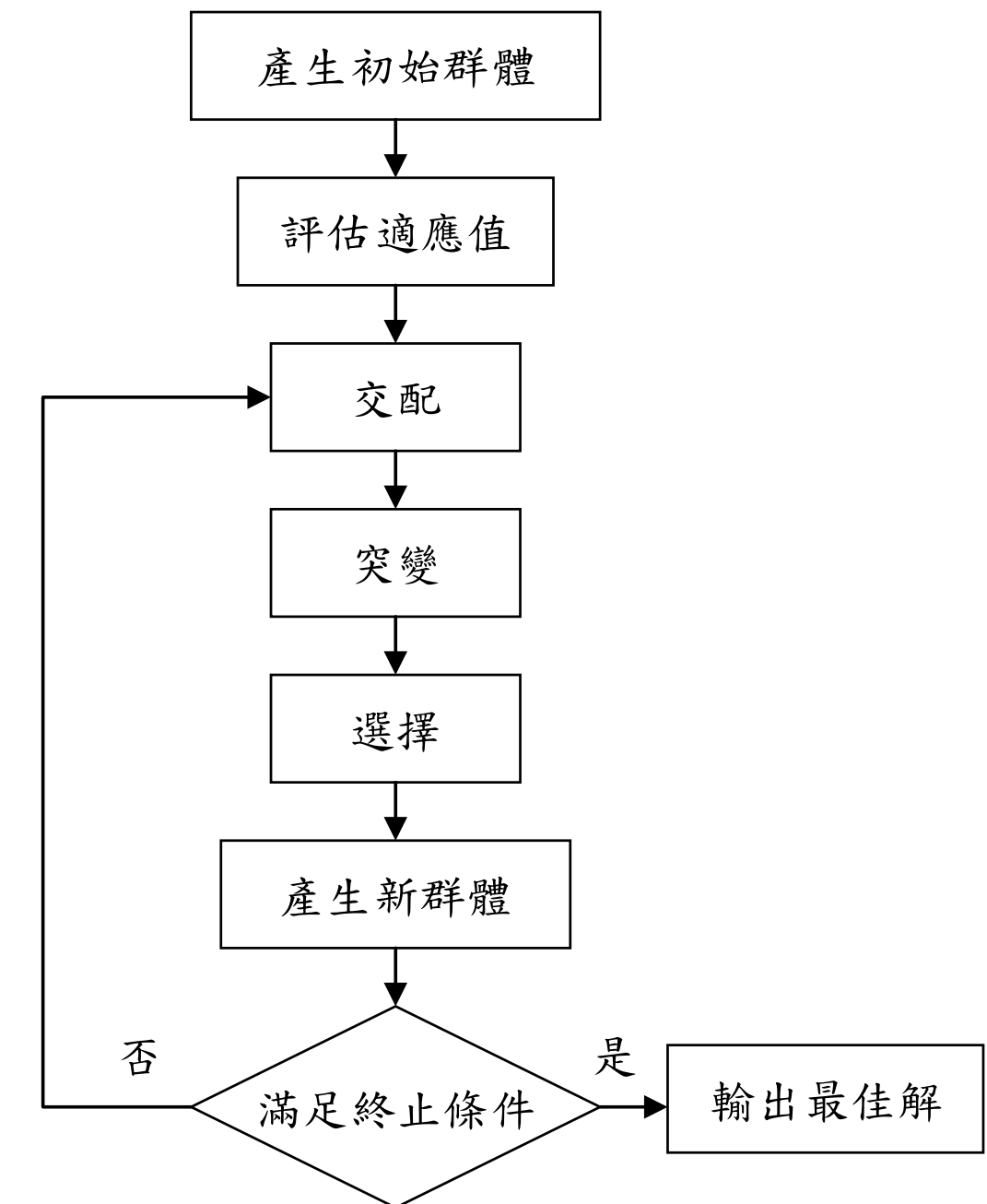
$$\sum_{j=1}^J (p_j q_{jt}) \leq Q_t \quad t = 1, \dots, T \quad (6)$$

$$x_{jt} \in \{0,1\} \quad j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (7)$$

基因演算法

基因演算法架構

1. 產生初始染色體群體
2. 評估個體適應值
3. 個體進行雙點交配
4. 隨機突變個體
5. 採用菁英取代法及輪盤法選擇新群體個體
6. 獲得最佳近似解



參數設定

群體數量：200
迭代數：100
交配率：0.7
突變率：0.5

編碼方式

<p>生產決策</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>x_{11}</td><td>x_{12}</td><td>x_{13}</td><td>x_{14}</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>x_{21}</td><td>x_{22}</td><td>x_{23}</td><td>x_{24}</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>x_{31}</td><td>x_{32}</td><td>x_{33}</td><td>x_{34}</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	產品2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	產品3	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}	<p>數量決策</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>q_{11}</td><td>q_{12}</td><td>q_{13}</td><td>q_{14}</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>q_{21}</td><td>q_{22}</td><td>q_{23}</td><td>q_{24}</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>q_{31}</td><td>q_{32}</td><td>q_{33}</td><td>q_{34}</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	q_{11}	q_{12}	q_{13}	q_{14}	產品2	q_{21}	q_{22}	q_{23}	q_{24}	產品3	q_{31}	q_{32}	q_{33}	q_{34}	<p>存貨量</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>I_{11}</td><td>I_{12}</td><td>I_{13}</td><td>I_{14}</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>I_{21}</td><td>I_{22}</td><td>I_{23}</td><td>I_{24}</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>I_{31}</td><td>I_{32}</td><td>I_{33}</td><td>I_{34}</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{14}	產品2	I_{21}	I_{22}	I_{23}	I_{24}	產品3	I_{31}	I_{32}	I_{33}	I_{34}	<p>透過生產決策，並考慮存貨量產生最小生產量</p> <p>存貨公式 $I_{jt} = I_{j(t-1)} + q_{jt} - d_{jt}$</p>
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																																											
產品1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}																																																											
產品2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}																																																											
產品3	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}																																																											
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																																											
產品1	q_{11}	q_{12}	q_{13}	q_{14}																																																											
產品2	q_{21}	q_{22}	q_{23}	q_{24}																																																											
產品3	q_{31}	q_{32}	q_{33}	q_{34}																																																											
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																																											
產品1	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{14}																																																											
產品2	I_{21}	I_{22}	I_{23}	I_{24}																																																											
產品3	I_{31}	I_{32}	I_{33}	I_{34}																																																											

交配方式

採用雙點交配，隨機選取兩個父代，相互交換產生兩個子代，修正確保可行。

<p>父代1</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	1	0	1	0	產品2	1	1	0	1	產品3	1	1	1	1	<p>父代2</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	1	0	1	0	產品2	1	0	0	0	產品3	1	0	0	1
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																					
產品1	1	0	1	0																																					
產品2	1	1	0	1																																					
產品3	1	1	1	1																																					
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																					
產品1	1	0	1	0																																					
產品2	1	0	0	0																																					
產品3	1	0	0	1																																					
<p>子代1</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	1	0	1	0	產品2	1	1	0	1	產品3	1	0	0	1	<p>子代2</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	1	0	1	0	產品2	1	1	0	0	產品3	1	1	1	1
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																					
產品1	1	0	1	0																																					
產品2	1	1	0	1																																					
產品3	1	0	0	1																																					
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																					
產品1	1	0	1	0																																					
產品2	1	1	0	0																																					
產品3	1	1	1	1																																					

突變方式

生產決策突變，減少生產期數，修正確保可行。

<p>父代1</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	1	0	1	0	產品2	1	1	0	1	產品3	1	1	1	1	<p>父代2</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>23</td><td>0</td><td>34</td><td>0</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>13</td><td>29</td><td>0</td><td>10</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>12</td><td>11</td><td>18</td><td>16</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	23	0	34	0	產品2	13	29	0	10	產品3	12	11	18	16
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																					
產品1	1	0	1	0																																					
產品2	1	1	0	1																																					
產品3	1	1	1	1																																					
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																					
產品1	23	0	34	0																																					
產品2	13	29	0	10																																					
產品3	12	11	18	16																																					
<p>子代1</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	1	0	1	0	產品2	1	1	0	1	產品3	1	1	0	1	<p>子代2</p> <table border="1"> <tr><th>時期</th><th>時期1</th><th>時期2</th><th>時期3</th><th>時期4</th></tr> <tr><th>產品1</th><td>23</td><td>0</td><td>34</td><td>0</td></tr> <tr><th>產品2</th><td>13</td><td>29</td><td>0</td><td>10</td></tr> <tr><th>產品3</th><td>12</td><td>29</td><td>0</td><td>16</td></tr> </table>	時期	時期1	時期2	時期3	時期4	產品1	23	0	34	0	產品2	13	29	0	10	產品3	12	29	0	16
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																					
產品1	1	0	1	0																																					
產品2	1	1	0	1																																					
產品3	1	1	0	1																																					
時期	時期1	時期2	時期3	時期4																																					
產品1	23	0	34	0																																					
產品2	13	29	0	10																																					
產品3	12	29	0	16																																					

測試例題與分析

使用工具

測試使用Microsoft Visual C++ 2017撰寫程式，執行操作的電腦為具有處理器Intel(R) Core(TM) i5-8265U CPU @ 1.60GHz、記憶體(RAM) 12.0 GB、Windows 11作業系統，Gurobi為10.0.1版本。

測試例題結果

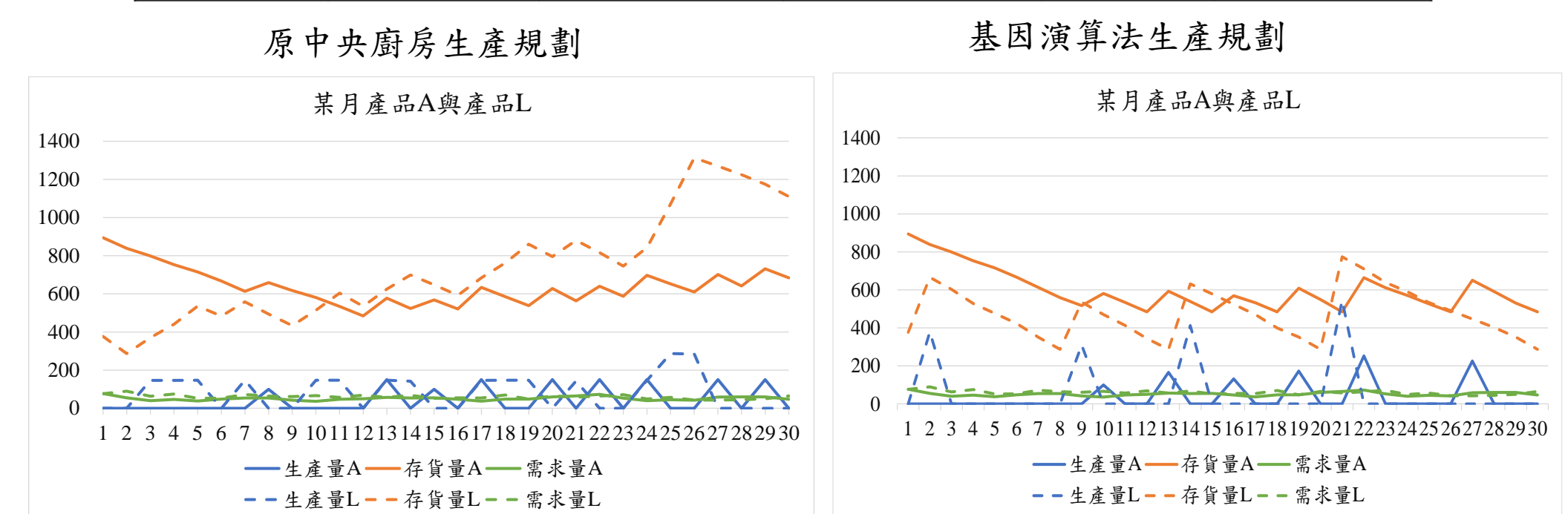
本研究以Ma et al.(2009)及Chan et al. (2015)文獻，使用Gurobi及基因演算法求解不同例題大小

產品*時期	Gurobi 最佳解	Gurobi 執行時間	GA 最佳解	GA 執行時間
5*5	1700	0.057s	1700	0.019
5*10	3185	0.06s	3200	0.02s
5*16	5537	0.08s	5644	0.04s
10*10	6465	0.06s	6709	0.05s

實例測試結果

將中央廚房實例數值套入Gurobi及基因演算法，求得結果如下。

產品*時期	原規劃成本	Gurobi 最佳解	Gurobi 執行時間	GA 最佳解	GA 執行時間
12*30	370976	304332	3.4s	323644	2s



結論

- ✓ 混合整數規劃數學模型與基因演算法都獲得不錯的結果且求解速度快。
- ✓ 與個案公司原始產能規劃相比，成本明顯降低且生產更穩定。
- ✓ 持續更新基因演算法的參數設計，如：選擇，交配等。
- ✓ 未來研究發展延伸倍數生產以及考量前置時間與多天生產問題。