

以克利金差值法進行田間有效氮採樣間距估算之研究

陳鈞華⁽¹⁾、宋建明⁽²⁾、甘俊二⁽³⁾

⁽¹⁾屏東科技大學土木工程系副教授、水利技師

⁽²⁾屏東科技大學土木工程系博士生

⁽³⁾七星農田水利基金會董事長、水利技師

摘要

本研究的目的即在探討如何利用田間土壤中硝酸態氮、銨態氮及礦化態氮之檢測資料，使用克利金差值法(Kriging interpolation method)在水田地土壤中氮有效性含量之變異之採樣點間距最佳化，以作為精準農業中施行變異施肥採樣點間距訂定之參考依據。

關鍵詞：克利金差值法、水田、採樣點間距。

一、研究動機目的

精準農耕是結合農耕知識與多種應用技術，即時掌控土壤空間與時間的變異性，期能獲取最佳經濟收益，且兼顧環境保護和生態維護，以確保農業永續發展的新技術（申, 2000；林和楊, 2000），為近年來農業經營研究上漸受重視的策略之一。林等人（2000）指出實施精準農耕的第一個重要步驟，便是評估土壤肥力的空間變

異。依 Auernhammer 等人（1991）指出在相同產量的收益下，實施精準農耕變異施肥技術比傳統農耕方式，可以節省 15 到 30 % 的肥料施用量。Fisher 等人（1993）亦指出可以節省 25 % 的肥料用量，並估計全美實施變異施肥，每年可節省約 1.1 億美元的肥料費用。

二、理論基礎、方法步驟

2.1 基本假設說明

地理統計學主要是以區域化變量(region alized variable)理論為基礎，研究那些分佈於空間上並顯示出一定結構性與隨機性的自然現象。當一個變量呈現空間分佈時，稱為”區域化”，這種變量常常反應某種空間現象的特徵，用區域化變量描述的現象稱之為”區域化現象”。地理統計(Geo statistics) 是以區域化變數理論為基礎，利用變異圖(Variogram)進行一區域化隨機變量 $Z(x)$ 之資料結構分析(Data

Structure Analysis)而得到區域化變數空間相依(Spatial dependence)性，以克利金法(Kriging Method) 推估未採樣點數值之最佳線性無偏估計(Best Linear Unbias ed Estimate，簡稱 B.L.U.E.)。由於地理統計學中，空間抽樣只能得到一對樣本的數值 $Z(x)$ 與 $Z(x+h)$ ，不可能在空間上同一點取得重複，這就在統計推論上出現了問題，為克服這個問題，必須對區劃變量 $Z(x)$ 做一些假設：

A.二階定常性(Second-order Stationary)：

若一隨機變量域之平均值、變異數及共變異數滿足下列條件，稱為二階定常性。

(A)在整個研究區內，區域化變量 $Z(x)$ 的數学期望值對任意 x 存在且等於常數。

平均值： $E[Z(x)]=m$ ， m 為常數。(1)

(B)在整個研究區內，區域化變量的共變異數函數對任意 x 與 h 存在且平穩。

變異數： $Var[Z(x)]=\sigma^2$ ， σ^2 為常數。(2)

共變異數： $Cov[Z(x), Z(x+h)] = E\{Z(x)Z(x+h)\} - E[Z(x)]E[Z(x+h)] = E[X(x)Z(x+h)] - m^2 = C(h)$ (3)

式中 h 為點 $x+h$ 及 x 之距離，表示空間中任意兩點之共變異數與絕對位置無關，只與相對距離有關。

B.內在假設(Intrinsic Hypothesis)：

若區域化變量 $Z(x)$ 滿足下面兩個條件，稱該區域化變量為內在假設或弱二階定常性。

(A)在整個研究區域內，區域化變量 $Z(x)$ 的增量 $[Z(x)-Z(x+h)]$ 的數学期望值對任意 x 與 h 存在且等於零。

$E[Z(x)-Z(x+h)]=0$(4)

(B)在整個研究區域內，區域化變量的增量 $[Z(x)-Z(x+h)]$ 的共變異函數對任意 x 和 h 存在且平穩。

$Var[Z(x)-Z(x+h)]=E[Z(x)-Z(x+h)]^2=2\gamma(h)$(5)

式中， $2\gamma(h)$ 為變異圖(Variogram)或半變異圖(Semivariogram)。

C.正定條件 (positive definite condition)

設 $Z(x)$ 為一平穩性隨機函數，其數学期望為 m ，共變異數為 $C(h)$ ，變異函數

為 $\gamma(h)$ ，令 Y 是該類型隨機函數的任意有限線性組合，即

$$Y = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

$$Var\{Y\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C(x_i - x_j) \geq 0$$

$$C(x_i - x_j)$$

$$\gamma(h) = C(0) - C(h)$$

$$Var\{Y\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 0$$

$$Var\{Y\} \geq 0$$

$$\gamma(h)$$

$$-\gamma(x_i - x_j)$$

$$C(h) = E\{[Z(x) - \mu_z][Z(x+h) - \mu_z]\}$$

$$2\gamma(h) = C(0) - C(h) = \sigma^2 - C(h) \dots (6)$$

$$\gamma(\infty) = C(0) = \sigma_z^2$$

則 Y 為隨機變量，其變異數 $Var[Y] \geq 0$ ，並可表示為：

$$Var\{Y\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C(x_i - x_j) \geq 0 \dots (7)$$

當 $C(x_i - x_j)$ 必須滿足上述各變異數 ≥ 0 ，

則稱 $C(h)$ 為正定。因為

$\gamma(h) = C(0) - C(h)$ ，則：

$$Var\{Y\} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) \geq 0 \dots (8)$$

在 $\gamma(x_i - x_j)$ 滿足 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 0$ 的條件下，

$Var\{Y\} \geq 0$ ，稱 $\gamma(h)$ 為正定條件。正定條件在分析共變異數函數和變異函數特性時非常有用。地理統計學中研究的共變異數 $C(h)$ 必須是個非負定的函數，即由 $C(x_i - x_j)$ 構成的共變異數函數矩陣，必須是個非負定的矩陣。而變異函數必須是條件

陳鈞華、宋建明、甘俊二《以克利金差值法進行田間有效氣採樣間距估之研究》

非負定函數，即由 $-\gamma(x_i - x_j)$ 構成的矩陣必須是條件非負定矩陣，它的條件是

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 0 \text{ 成立。}$$

變異元與共變異函數之對應關係若隨機變域 $Z(x)$ 具二階定常性，且其共變異函數以 $C(h)$ 表示， $C(h) = E\{[Z(x) - \mu_z][Z(x+h) - \mu_z]\} \dots (9)$

，其中 μ_z 為 $Z(x)$ 之期望值，則 $\gamma(h)$ 與 $C(h)$ 有如下之關係：

$$2\gamma(h) = C(0) - C(h) = \sigma_z^2 - C(h) \dots \dots (10)$$

$$\gamma(\infty) = C(0) = \sigma_z^2$$

其中 σ_z^2 為 $Z(x)$ 變異數，其相互關係如圖1所示。

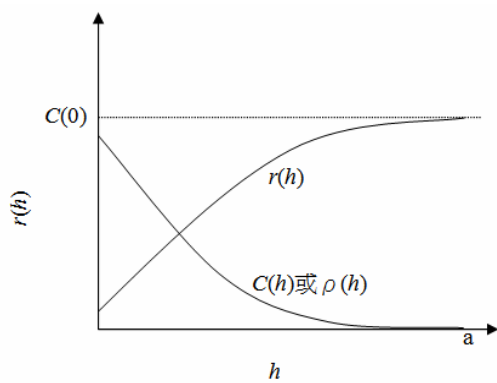


圖 1 半變異元函數 $\gamma(h)$ 與共變異函數 $C(h)$ 之關係圖

三、結果與討論

3.1 模擬分析之結果

- 1.由表 2 中可知隨著間距增大，協方差 $C(h)$ 和自相關函數 $\rho(h)$ 逐漸變小，而共變異函數 $r(h)$ 逐漸增大。南北方向取到 10m 量測一個點， $\rho(h)$ 可達 0.6，如圖 2 所示，故在南北長 70m 之水田地，取樣 5 個地點間距 10m，南、北田埂間不取樣。
- 2.由表 3 中可知東西方向取到 20m 量測一個點， $\rho(h)$ 可達 0.7，故在東西寬 110m

2.2 研究樣區

秀姑巒溪全長約 90 公里，流域面積 1790.46 平方公里，台灣東部第一大河川，也是形成花東縱谷沖積扇的主要河流。從台東縣池上附近的北坡地沿花東縱谷北流，於瑞穗鄉瑞美村東折，橫斷海岸山脈，由大港口出海。由瑞穗到長虹大橋段之秀姑巒溪峽谷，水道寬長 22 公里。

2.3 取樣與測量

於 2008 年 3 月，於玉里鎮大禹段 2、3 期水田重劃區內試驗水田區設傳統樣區樣點共 88 個，其中南北方向間隔 10m 為 8 個間隔，東西方向間隔 10m 為 11 個間隔，如表 1。其取樣與測量方式如下：

- 1.各供試土壤均採 0-20 公分之表土，經風乾、磨碎並過篩（2 mm）後備用。
- 2.硝酸態氮（ NO_3^- ）、銨態氮（ NH_4^+ ）及礦化態氮（ $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ）含量：分別取各製備土壤 5 克添加 50 ml 2N KCl 後震盪 1 小時，以 42 號濾紙過濾，取其過濾液以比色法測定硝酸態氮及銨態氮（Keeney and Nelson, 1982），並以兩者之和當作礦化態氮的量。

之水田地，取樣 3 個地點間距 20m，東、西田埂間不取樣。由圖中另外可得知於 85m 處取樣，也可得到 $\rho(h)$ 達 0.7，如圖 3 所示，但由於在 85m 處取樣一個點會造成整體取樣樣本數據太少，會導致後續研究之統計計算樣本數不足問題等。本試驗地為東西寬 100m，南北長 70m。

3.由以上計算推估採樣點為 15 點(南北方向(10m)5 點 * 東西方向(20m)3 點)，平均

$\rho(h)$ 為 0.65。如採樣點為 20 點(南北方向(10m)5 點*東西方向(15m)4 點),平均

$\rho(h)$ 為 0.7。

四、結果與建議

1.本研究主要目標為利用 Kriging 內插法進行土壤有效氮的分布模擬,在模式進行的過程中可以發現到 Kriging 內插法在土壤有效氮應用上的適用與限制點所在。首先,Kriging 內插法屬於空間內插,在所有製圖樣點的分布中選取東、西、南、北四個方位角的最端點畫一矩形,此矩形內的範圍等於預測圖層的範圍。因此在最開始的樣點分佈會限制製

圖的範圍,當樣點分布並未包含灌溉渠道(或選取樣區區塊)的最外端點時,預測圖層將無法表現在矩形外的流域(或選取樣區區塊)的預測狀況。

2.在 indicator Kriging 中,計算時的資料並非連續性的數值,而是採用二項式化之後的資料,本研究的預測結果中無樣區處的空間走勢已經過校正,使預測結果更接近實際的土壤有效氮分布。

參考文獻

- 1.申雍。2000。遙測科技在精準農業之應用—土壤與作物空間變異之檢測。水稻精準農業(耕)體系之研究。第 93~102 頁。行政院農業委員會農業試驗所。
- 2.林俊義、楊純明。2000。發展精準農業關鍵性技術,加速農業生產技術升級。水稻精準農業(耕)體系之研究。第 1~6 頁。行政院農業委員會農業試驗所。
- 3.林木連、郭鴻裕、黃維廷、張明暉。2000。土壤變異之精準管理。水稻精準農業(耕)體系之研究。第 1~6 頁。行政院農業委員會農業試驗所。
- 4.林裕彬、王能超。地理資訊系統 SuperGIS 之地理統計演算元件平台技術開發。第 13~14 頁。行政院國家科學委員會。
- 5.Auernhammer, H., M. Demmel, J. Rattmeier, and T. Muhr. 1991. Futer developments for fertilizing in Germany. ASAE, 93 : 1040.
- 6.Fisher, K.B., C.L. Peterson, G.L. Shropshire, and E.A. Dowding. 1993. Aspatially variable fertilizer applicator for wheat. ASAE, 93 : 1074..

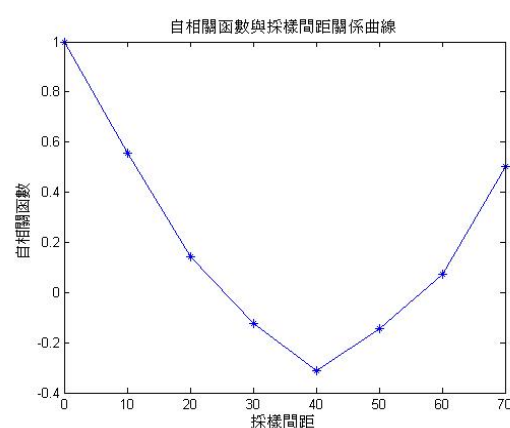
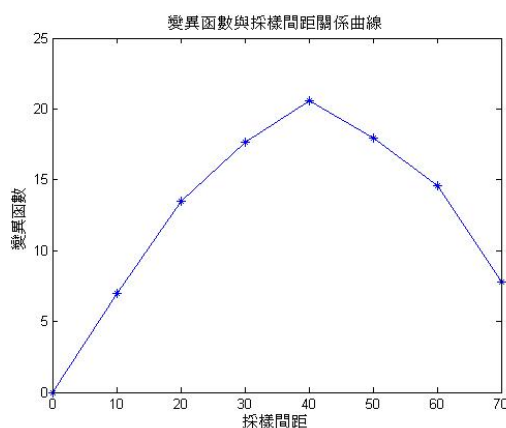


圖2南北向分析

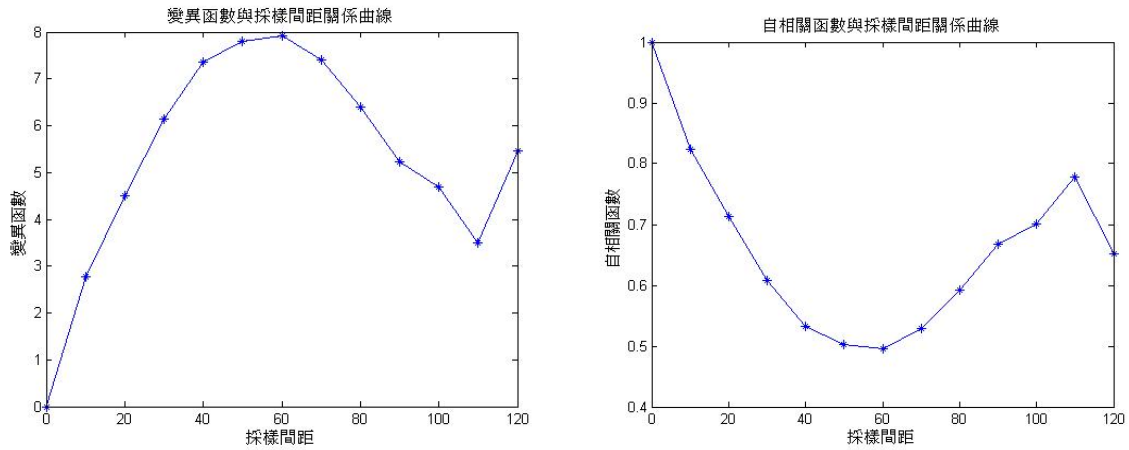


圖3東西向分析

表1 水田地採樣數據 (間距10m)

x(m)(西→東) y(m)(北→南)	x(m)(西→東)											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
0	41	40	39	43	42	40	38	37	39	38	37	
10	43	41	42	43	40	40	42	42	39	38	36	
20	38	38	38	35	39	38	38	34	35	34	35	
30	36	37	39	34	38	37	37	37	35	35	34	
40	36	35	37	35	35	34	34	30	30	32	31	
50	37	34	36	34	31	30	30	31	33	31	30	
60	38	37	35	32	30	29	29	30	32	31	32	
70	39	37	34	32	29	28	28	29	31	31	31	

表2 南北方向分析

h	0	10	20	30	40	50	60	70
C(h)	15.7054	8.7435	1.9234	-2.2748	-5.2202	-2.3529	1.2734	8.2492
r	0	6.954	13.4826	17.6176	20.6071	17.9518	14.5488	7.8148
rouh	1	0.5572	0.1415	-0.1218	-0.3121	-0.143	0.0736	0.5024

表3 東西方向分析

h	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
C(h)	15.7054	12.9644	11.1874	9.5227	7.9317	7.1137	6.7663	7.2245	8.381	9.6925	10.371
r	0	2.7816	4.4942	6.1471	7.3512	7.8012	7.9207	7.4074	6.3937	5.2278	4.6987
rouh	1	0.8229	0.7138	0.6086	0.5319	0.5033	0.4957	0.5284	0.5929	0.6671	0.7008

陳鈞華、宋建明、甘俊二《以克利金差值法進行田間有效氮採樣間距估之研究》