

森林土壤有效養分測定方法之比較

程煒兒^{1,2)} 洪富文¹⁾ 林光清¹⁾

摘要

本研究旨在探討 Mehlich No.3 (M3), 與 acidic ammonium acetate-EDTA (AA-EDTA)兩方法取代慣用之 Bray No.1 及 neutral ammonium acetate (AA)方法測定土壤肥力之可行性。經測定 38 個土系之臺灣森林土壤結果顯示: 分別以 M3, 及 AA-EDTA 方法測定土壤有效性磷、鉀、鈣、鎂含量與慣用之方法相比, 均成直線迴歸相關, 相關係數均在 0.9 以上, 只有磷例外, 相關性達 0.1% 極顯著水準, 並由其迴歸方程式可推算 M3, 及 AA-EDTA 方法測值之肥力等級, 作為植物有效養分元素狀況之指標。

關鍵詞: 土壤測定方法、土壤有效性養分。

程煒兒、洪富文、林光清 1997 森林土壤有效養分測定方法之比較。台灣林業科學 12(2): 177-188。

Comparison of Testing Methods for Available Nutrients of Forest Soil

Wei-er Cheng^{1,2)}, Fu-wen Horng¹⁾ and Kung-ching Lin¹⁾

【 Summary 】

The purpose of this study was to study the possibility of using Mehlich No.3 (M3), and acidic ammonium acetate-EDTA (AA-EDTA) methods to replace the conventional methods of Bray No.1 and neutral ammonium acetate (AA) to test soil fertility. Thirty-eight soil series of Taiwan forest soil were selected for this study.

The soil available phosphorus, potassium, calcium, and magnesium tested by M3 and AA-EDTA methods were linearly correlated to Bray No.1, and AA methods at the 0.1% significance level. The coefficients of correlation were all above 0.9 except for available phosphorus. The linear regression equations can be used to estimate the fertility level of soil tested by M3 and AA-EDTA methods, and we recommend their use as an index of the available nutrient status of soils.

Key words: soil testing method, soil available nutrients.

Cheng, W. E., F. W. Horng, and K. C. Lin. 1997. Comparison of testing methods for available nutrients of forest soils. Taiwan J. For. Sci. 12(2): 177-188.

1) 台灣省林業試驗所育林系, 台北市南海路53號 Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute. 53 Nan-Hai Rd., Taipei, Taiwan, ROC.

2) 通訊作者 Corresponding author

1996年11月送審 1996年12月通過 Received November 1996, Accepted December 1996.

一、緒言

土壤測定之所以被重視，乃由於肥力之測定與植物體分析同為評定土壤肥力及植物養分元素狀況的重要方法；其亦可監測經耕種作業後土壤及植物環境所發生之變化(Jones, 1988)。Cope 和 Evans (1985)認為，土壤肥力測定被廣泛採用，是因其能預測需否施用石灰及肥料。事實上，土壤測定非侷限於土壤肥力之描述及施肥用量之推薦，亦可用為土壤分類，養分循環，重金屬或環境監測等等，不但其應用範圍廣泛，且其測定結果可作為土壤有效經營並維持其品質之最佳指標。

自 1920 年代末期、直到 1940 年代至 1950 年代期間，實施土壤測定快速增加，多種新抽出液及方法亦被介紹(Cope and Evans, 1985)。如 Olsen 法(Olsen *et al.*, 1954) 測定鹼性土壤磷素，Bray No.1 法(Bray-Kurtz, 1945)測定酸性土壤磷素，以及 neutral ammonium acetate (Schollenberger and Simon, 1945)以傳統抽出液及方法測定土壤交換性鉀、鈣、鎂等至今仍被廣泛使用。本試驗室數十年來亦慣用上述之傳統方法，以及以往所使用之設備，如原子吸收光譜儀等。上述方法及設備在分析土壤 K、Na、Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu 等等元素時，每次每一樣品只能測定一種元素，而 P 尚須以不同處理及用分光光譜儀測定。此類耗工費時之分析工作，往往不易在短時間內完成大量待測之樣品。兩年前本所購置之感應耦合電漿光譜分析儀(簡稱 ICP)為能容納多種元素之儀器，可同時直接測定土壤抽出液中多種元素，既省工又省時。唯必須選用能同時抽出多種元素之土壤抽出方法以配合該儀器之使用始能奏效。據 Jones (1988)推薦，適用於酸性礦質土及有機質土壤之 Mehlich No.3 方法，其抽出液可同時抽取 9 種元素，其中包含植物生長所需之巨量元素與微量元素。

又據 Foetisch (1991)介紹之 acidic ammonium acetate-EDTA 方法，可同時抽取 18 種土壤元素，該法在瑞士農業機構被正式接受，用以測定土壤之主要及次要之植物有效養分元素，土壤中工業廢棄物之重金屬含量，以及土壤環境(品質)之監測

等。而本試驗之目的在探討用 Mehlich No.3 方法及 acidic ammonium acetate-EDTA 方法，測定 38 個土系臺灣森林土壤有效性磷、鉀、鈣、鎂，以研究取代慣用土壤測定方法之可行性，而提供有關單位參考。

二、材料與方法

(一) 供試土壤

參試土壤樣品共 245 個，係採自臺灣北、中、南部之 38 個土系(附錄)，該 38 個土系分佈於海拔高 200 m 至 2610 m 範圍內，成土母岩有板岩、頁岩、砂岩、千枚岩、以及泥岩，但以前三者居多。地上物有天然針闊葉混交林、天然闊葉林、以及針、闊葉樹人工林，樹種包含有諸如柳杉(*Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don)、紅檜(*Chamaecyparis formosensis* Matsum.)、二葉松(*Pinus taiwanensis* Hay.)等等之針葉樹，石楠(*Photinia serrulata* Lindl.)、楓香(*Liquidambar formosana* Hance)、槲櫟林(Fagaceae forest)、相思樹(*Acacia confusa* Merr.)等之闊葉樹，尚有竹類如桂竹(*Phyllostachys makinoi* Hay.)、麻竹(*Dendrocalamus latiflorus* Munro)、綠竹(*Bambusa oldhami* Munro)等，果樹類則有柑桔、檸檬及龍眼等。

(二) 試驗方法

試驗方法共四種，分別為 Bray No.1 法測有效磷和 neutral ammonium acetate 法測交換性鉀、鈉、鈣、鎂，以下簡稱 AA 法(Page *et al.*, 1982; Dellavelle *et al.*, 1992); Mehlich No.3 法，以下簡稱 M3 法(Dellavelle *et al.*, 1992; 楊光盛和洪崑煌, 1992)，以及 acidic ammonium acetate-EDTA 法，以下簡稱 AA-EDTA 法(Foetisch, 1991)，測定有效性磷、鉀、鈣、鎂。

以上 4 種方法之抽出液之化學組成分、土壤與抽出液比例、振盪時間，以及使用之測定儀器如 Bray No.1 法用分光光譜儀(Beckman Du 62 型)，其他方法如 M3，AA，AA-EDTA 抽出之土壤供試液直接以感應耦合電漿光譜分析儀(ICP ARL Accuris)測定，分列於 Table 1。另需說明的為 AA 法之分析步驟是以振盪離心方法連續抽取其交換性陽離子總量；此外，原 M3 法之土壤與

抽出液比例為體積比, 而本試驗乃採用楊光盛等(1992)之重量比, 又 AA-EDTA 法之振盪 60 分鐘, 需維持在 19-20 °C 溫度之下進行。

試驗方法是以推薦之 M3 法及 AA-EDTA 法, 分別與慣用之 Bray No.1 法及 AA 法測定土壤磷、鉀、鈣、鎂含量之比較。

又因土樣不足, 故供試樣品的數目亦不一致。M3 法所用之土樣共 254 個, 而 AA-EDTA 法計 197 個。

(三) 供試土壤性質

1. 土壤反應自極酸性至鹼性(pH 3.5-pH 8.2)。在 245 個供試樣品中, 共有 233 個樣品在極酸性(pH 3.5)至中酸性(pH 5.98)範圍, 僅 12 個樣品在中性(pH 6.5)至鹼性(pH 8.2)之間, 而該 12 個樣品均分佈於海拔高 350 公尺以下林地。
2. 土壤有機物含量範圍, 自極低等級之 0.12%至極高等級之 56.8%。

3. 土壤 CEC 值在 3.48-114.21 cmol(+)kg⁻¹ 範圍。

4. 土壤質地, 其中以細質地土壤(SiC、SC)及中細質地土壤(SCL、SiCL、CL)居多, 其次為中質地(SiL、L)、粗質地土壤(SL)甚少。

(四) 資料分析

以新測試的方法與慣用方法測定個別養分元素(P, K, Ca, Mg)之平均值, 最大值與最小值, 以及迴歸分析均分兩部份進行, 其一是 pH 3.5-pH 5.98 之酸性土壤部份, 係根據 Jones (1988)報導, M3 方法適用於酸性土壤而進行分析; 其二是 pH 3.5-pH 8.20 即酸性土至鹼性土壤部份, 乃根據 Mehlich (1984)和楊光盛等(1992)試驗結果 M3 方法亦適用於鹼性土壤, 是故該部份乃將 12 個屬於鹼性土壤包括在內予以分析。至於 Foetisch (1991)推薦之方法資料分析亦比照分兩部份進行。

Table 1. Comparison of soil testing methods.

| Method | Bray No.1 | AA | M3 | AA-EDTA |
|---|---|---|---|---|
| Adaptability limits | Acid soils with moderate CEC | Wide range of soils | Acid mineral and organic soils | |
| Sample weight (g) | 2 | 4 | 5 | 5 |
| Volume of extractant (mL) | 20 | 100 | 50 | 50 |
| Chemical composition of extracting solution | 0.03 N NH ₄ F 0.025 N HCl pH 3.5 | 1.0 N NH ₄ OAC pH 7.0 | 0.2 N CH ₃ COOH 0.25 N NH ₄ NO ₃ 0.015 N NH ₄ F 0.013 N HNO ₃ 0.001 M EDTA pH 2.5 | 0.5 N NH ₄ OAC 0.44 N CH ₃ COOH 0.1 N EDTA pH 4.34 |
| Shaking time (min) | 1 | 15 | 5 | 60 |
| Shaking action and speed | Reciprocating 180+ oscillations/min | Reciprocating 180+ oscillations/min | Reciprocating 180+ oscillations/min | rotating 150 rpm |
| Method of elements determination in extract | Molybdenum blue spectrophotometer | ICP | ICP | ICP |
| Elements determined | P | K Ca Na Mg | P Ca Mn K Mg Zn Na Fe Cu | P Fe Al Co K Mn Si Cr Na Zn S Ni Ca Cu Pb Mg Mo Cd |

三、結果與討論

(一) 土壤有效磷含量測定方法之比較

土壤反應自極酸性(pH 3.5)至中酸性(pH 5.98)之土壤樣品所測得之有效磷含量結果(Table 2)中，M3 法平均值為 9.02 mg kg⁻¹ 比 Bray No.1 法之 6.57 mg kg⁻¹ 高 27.2%；而 AA-EDTA 法有效磷含量之平均值為 17.23 mg kg⁻¹ 較 Bray No.1 之 3.93 mg kg⁻¹ 卻高出 77.2%。

土壤反應自極酸性(pH 3.5)至鹼性(pH 8.2)的土壤中，以 M3 法測得之有效磷平均為 8.96 mg kg⁻¹，比 Bray No.1 法之有效磷平均 6.38 mg kg⁻¹ 高 28.8%；而 AA-EDTA 法之有效磷含量平均為 22.9 mg kg⁻¹，較之 Bray No.1 之 5.66 mg kg⁻¹ 高 75.3% (Table 2)。

據 Mehlich 氏(1984)試驗結果，M3 法有效磷抽出量比 Bray No.1 平均多 3%-4% ($n = 102, r = 0.96, p < 0.01$)，而楊光盛等(1992)試驗結果是 M3 法之平均有效磷含量，比 Bray No.1 法平均可多抽出 44%-55% ($n = 50, r = 0.93, p < 0.01$)；而本試驗 M3 法比 Bray No.1 多 27.2%-28.8%，其相差之幅度則介乎 Mehlich 氏與楊氏之間，此或由於土壤間之差異；而所採用之測定步驟亦可能是原因之一。本試驗與楊氏等(1992)相同，均為以 M3 抽出液抽取後，直接以 ICP 測定，而 Mehlich 氏則以 M3 抽出液抽取後之供試土壤濾液，經加鉬酸鉍等

化學試劑再以分光光譜儀測定。筆者曾於 1995 年以 Bray No.1 抽出液抽取土壤($n = 122$)有效磷，分別用鉬藍法以分光光譜儀測定，以及直接以 ICP 測定抽取後之土壤濾液中 P 含量做比較，其結果前者平均值為 3.45 mg kg⁻¹，而後者為 5.42 mg kg⁻¹，即以 ICP 測定比分光光譜儀高 36.3%，但是兩者間之相關性很高，相關係數 $r = 0.9931(p < 0.01)$ 。據 Kalra 和 Maynard (1991)報導，溶液中磷也可以 ICP-AES 測定，不過 ICP-AES 測定溶液中所有的磷，不僅是正磷酸鹽而已。因此，在森林土壤(尤其是有機質層)，ICP-AES 除了可測出正磷酸鹽外，尚可測出可溶性有機磷化合物，故磷測值較 Mehlich 氏之結果為高。由此可見抽取步驟相同，而測定方法不同，其結果亦異。至於土壤間之差異，留待與有效性 K、Ca、Mg 一併討論。

又以 AA-EDTA 法測定的有效磷含量比 Bray No.1 法高 75%-77%，除上述使用 ICP 測值增加為其原因之一外，尚因磷抽出量隨振盪時間之增加而增加 (Kalra and Maynard, 1991; Walsh and Beaton, 1973)，Bray No.1 法振盪一分鐘，AA-EDTA 法振盪 60 分鐘，此亦為測值增加原因之二，此外又據 Hons 等(1990)報導，以 AA-EDTA 法抽取土壤磷，在抽出液中之 acetate ion 可置換 Al-P 中之 P，使用 AA-EDTA 法的有效磷含量比 Bray No.1 法為高，而兩者均以比色法測定；本試驗之 AA-EDTA 抽出液與 Hons 氏等(1990)不同係

Table 2. A comparison of available phosphorus content determined by different methods (units: mg kg⁻¹)

| | M3 vs Bray No.1 (n=233) | | AA-EDTA vs Bray No.1 (n=187) | |
|--------------------|----------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| | Mean ¹⁾ | range | Mean ¹⁾ | range |
| Mean ¹⁾ | 9.02 | | 6.57 | |
| range | | | | |
| Max | 144.8 | | 131.3 | |
| Min | 1.20 | | 0.04 | |
| | (n=245) | | (n=197) | |
| Mean ²⁾ | 8.96 | | 6.38 | |
| range | | | | |
| Max | 144.8 | | 131.1 | |
| Min | 1.20 | | 0.04 | |

¹⁾ Means of soil pHs were 3.5-5.98.

²⁾ Means of soil pHs were 3.5-8.20.

含有 0.04 N CH₃COOH，而 Hons 氏等(1990)則除使用 NH₄OAC-EDTA 外，尚含有 1.0 N HCl，但兩方法之 pH 在 4.2-4.3 之間，雖抽出物組成份略異，但本試驗 AA-EDTA 抽出液所含之 acetate ion 亦具有同樣功能置換 Al-P 中之 P，故此亦為測值增加原因之三。就土壤有效磷之測定，本試驗所採用之 M3 法及 Bray No.1 法與 Mehlich(1984)及楊光盛等(1992)相同，且結果趨勢一致，均以 M3 法高於 Bray No.1 法，但高出之幅度彼此間相差頗大。因此方法相同，但隨土壤間之差異其表現亦異。

(二) 土壤有效性鉀、鈣、鎂含量測定方法之比較

土壤 pH 值 3.5 至 5.98 土樣以 M3 法測得之有效性鉀平均含量(Table 3)為 72.2 mg kg⁻¹，較 AA 法之交換性鉀的 69.6 mg kg⁻¹ 高 3.5%；而以 AA-EDTA 法測定的有效性鉀含量為 63.09 mg kg⁻¹ 比 AA 法的 66.78 mg kg⁻¹ 卻低 5.8%。

在 pH 值 3.5 至 8.2 土樣所測得之土壤鉀平均含量而言，M3 法者為 74.18mg kg⁻¹ 比 AA 法的 71.13 mg kg⁻¹ 高 4.1%；而 AA-EDTA 法的鉀含量為 69.44 mg kg⁻¹ 卻比 AA 法之 73.42 mg kg⁻¹ 低 5.7% (Table 3)。

Table 3. A comparison of available potassium, calcium, and magnesium contents determined by different methods (units: mg kg⁻¹)

| | M3 vs AA (n=233) | | AA-EDTA vs AA (n=187) | |
|--------------------|---------------------|--------|--------------------------|--------|
| | M3 | AA | AA-EDTA | AA |
| Potassium | | | | |
| Mean ¹⁾ | 72.20 | 69.60 | 63.09 | 66.78 |
| range | | | | |
| Max | 408.9 | 474.4 | 273.3 | 251.3 |
| Min | 15.70 | 16.18 | 14.58 | 16.30 |
| Mean ²⁾ | 74.18 | 71.13 | 69.44 | 73.42 |
| range | | | | |
| Max | 408.9 | 474.4 | 345.9 | 351.0 |
| Min | 15.70 | 16.18 | 14.58 | 16.30 |
| Calcium | | | | |
| Mean ¹⁾ | 186.9 | 188.8 | 167.9 | 148.5 |
| range | | | | |
| Max | 4541.2 | 4206.9 | 3306.0 | 2535.6 |
| Min | 2.37 | 1.53 | 3.43 | 3.53 |
| Mean ²⁾ | 291.4 | 315.1 | 486.1 | 343.7 |
| range | | | | |
| Max | 4541.2 | 6072.2 | 12061.3 | 6072.2 |
| Min | 2.37 | 1.53 | 3.43 | 3.53 |
| Magnesium | | | | |
| Mean ¹⁾ | 52.33 | 42.18 | 38.20 | 36.54 |
| range | | | | |
| Max | 683.5 | 694.0 | 440.9 | 368.1 |
| Min | 2.32 | 1.97 | 1.52 | 1.97 |
| Mean ²⁾ | 64.31 | 51.51 | 54.66 | 46.28 |
| range | | | | |
| Max | 683.5 | 694.0 | 617.3 | 368.1 |
| Min | 2.32 | 1.97 | 1.52 | 1.97 |

¹⁾ Means of soil pHs were 3.5-5.98.

²⁾ Means of soil pHs were 3.5-8.20.

土壤鉀含量以 M3 法測值比慣用之 AA 法為高，據 Mehlich (1984) 報導，因 M3 抽出液中含有 H^+ ，故 K、Ca、Mg 之抽出量較高。本試驗 AA 法所抽出之成分係交換性 K、Ca、Mg 之總量，而 M3 法抽出之 K 量比 AA 法為高，此或因抽出液中之 HNO_3 溶出部份非交換性鉀或潛在有效性 (potentially available) 鉀所致。Mehlich (1984) 及楊光盛等 (1992) 試驗結果顯示，以 M3 法的有效性鉀平均含量比 AA 法的多 6%-8%，均比本試驗之 3.5%-4.1% 為高。其原因除土壤間差異外，尚因本試驗所使用之方法不盡相同。Mehlich 及楊光盛等所用之 M3 法及 AA 法均為快速平衡抽出，而本試驗除 M3 法採用快速平衡抽出外，AA 法則仍以慣用之振盪離心連續抽出 K、Ca、Mg 之交換總量，而使本試驗以 M3 法與 AA 法抽取 K 量相差之百分率低於 Mehlich 及楊光盛等結果。

至於土壤鉀含量以 AA-EDTA 法測定值，比慣用之 AA 法為低，此或由於 AA-EDTA 抽出液 NH_4OAC 濃度為 0.5 N 較之 AA 法之 NH_4OAC 濃度 1 N 為低的原故。

pH 值 3.5 至 pH 5.98 土壤以 M3 法測定之有效性鈣平均含量為 186.9 mg kg^{-1} 比 AA 法交換性鈣之 188.8 mg kg^{-1} 約低 0.97%；而以 AA-EDTA 法所得之 167.9 mg kg^{-1} 卻比 AA 法之 148.5 mg kg^{-1} 約高 11.5% (Table 3)。

又 pH 3.5 至 pH 8.2 土壤鈣的平均含量仍以 M3 法之 291.4 mg kg^{-1} 比 AA 法之 315.1 mg kg^{-1} 低 8.1%；而以 AA-EDTA 法測得之 486.1 mg kg^{-1} 比 AA 法之 343.7 mg kg^{-1} 高 29.3% (Table 3)。

據 Mehlich 及楊光盛等試驗結果，M3 法測定的有效性鈣平均含量較 AA 法分別多 28% 與 57.8%。而本試驗 M3 法的測定值卻比 AA 法低 0.96%-8.1%，前已述及本試驗所用之 AA 法除抽出液為 1 N NH_4OAC pH 7.0 相同，但土壤與抽出液比例 Mehlich 及楊光盛等為 1:10，振盪時間為 5 分鐘，而本試驗沿慣用比例為 1:25，振盪時間為其 3 倍 (5 分鐘 \times 3)。因此，雖抽出液完全相同，但所抽出之鈣量卻較高為交換性鈣之總量。而筆者亦曾採用抽出步驟與 Mehlich (1984) 及楊光盛等 (1992) 完全相同之 M3 及 AA 法分析土壤有效性與交換性的鈣和鎂，所取土壤樣品 ($n = 49$) 在 pH 3.5-8.2 間平均分配，結果是土壤鈣平均含量以 M3

法者為 893 mg kg^{-1} ，較 AA 法之 566.8 mg kg^{-1} 高 36.5%，但相關性良好 ($r = 0.9777, p < 0.01$)。此顯示測定結果會受到振盪時間及土壤與抽出液比例，以及土壤間差異之影響。

又土壤鈣含量以 AA-EDTA 法測定比 AA 法測值高 11.5%-29.3% 之間，前已論及 AA 法所測定為交換性鈣總量，而 AA-EDTA 法測定比 AA 法為高，或許是抽出液性質不同，如 AA 法抽出液 pH 為 7.0，AA-EDTA 則為 pH 4.3。而鈣、鎂存在於土壤除交換性外，尚有鹼土金屬化合物，酸可溶性及有機錯合物等型態之鈣、鎂化合物 (Page *et al.*, 1982) 亦可能被抽出。此外，AA-EDTA 法振盪時間 60 分鐘為 AA 法之 4 倍，此亦可能係較 AA 法抽出鈣量為高的原因。

在 pH 3.5 至 pH 5.98 土壤，以 M3 法測定之有效性鎂平均含量為 52.23 mg kg^{-1} ，比 AA 法交換性鎂之 42.18 mg kg^{-1} 高 19.2%；而 AA-EDTA 法測定的為 38.20 mg kg^{-1} ，比 AA 法 36.54 mg kg^{-1} 高 4.1% (Table 3)。

在 pH 3.5 至 pH 8.2 土壤，以 M3 法測定的有效性鎂平均含量為 64.31 mg kg^{-1} ，比 AA 法之 51.51 mg kg^{-1} 高 19.9%；而 AA-EDTA 法測定的為 54.66 mg kg^{-1} ，比 AA 法之 46.28 mg kg^{-1} 高 15.3% (Table 3)。

Mehlich (1984) 的試驗以 M3 法測定的比 AA 法高 6%-8%，而楊光盛等 (1992) 的結果則高 40%，本試驗則高 20% 左右。於前段討論鈣時曾述及，以與 Mehlich (1984) 及楊光盛 (1992) 等採用方法完全相同的方法分析土壤 ($n = 49$) 鈣和鎂，結果 M3 法有效性鎂平均含量為 $123.11 \text{ mg kg}^{-1}$ ，比 AA 法交換性鎂之 71.58 mg kg^{-1} 多 41.9%，但兩方法相關達 0.1% 極顯著水準 ($r = 0.9912$)。其原因除如 Mehlich (1984) 所指因 M3 抽出液含有 H^+ 外，或亦因土壤間之差異。至於 AA-EDTA 法比 AA 法多 4.1%-15.3% 原因亦與 Ca 相同。

(三) 不同土壤理化性質對測定結果之影響

前已述及，本試驗採用與 Mehlich (1984) 及楊光盛等 (1992) 相同之 M3 法及 Bray No.1 法測有效磷，結果均以 M3 法高於 Bray No.1 法，如 Mehlich (1984) 試驗結果高 3%-4%；楊光盛等 (1992) 高 44%-45%；而本試驗則高 27%-29%。相差幅度彼此間差距頗大，此或受土壤性質影響所致，故今

就土壤差異亦即在土壤性質(pH 值, 有機碳、陽離子交換容量、質地)不同條件下, 以 M3 法分別與 Bray No.1 法及 AA 法測定土壤磷、鉀、鈣、鎂含量予以比較。

土壤反應自極酸性(pH < 4.5)、甚強酸性(pH 4.5-5.0)、強酸性(pH 5.0-5.5)、中酸性(pH 5.5-6.0)、弱酸性(pH 6.0-6.5)、中性(pH 6.5-7.3)以及鹼性(pH > 7.8)共 7 等級之土壤樣品測定而言, M3 法測定的土壤有效性磷含量較之 Bray No.1 法為高, 在 pH < 4.5 時高 19.4%, 其相差幅度隨 pH 值提高而增加, 至 pH > 7.8 時相差 91.5%; 土壤鉀、鎂含量亦以 M3 法比 AA 法為高, 在 pH < 4.5 土壤, 分別高 5.3%與 23.6%, 但在 pH > 7.8 時, 則高出 16.9%與 28.9%, 雖其相差幅度亦呈隨 pH 值提高而增加之趨勢, 但不如有效性磷之一致性; 以 M3 法測定的土壤有效性鈣含量比 AA 法為低, 在 pH < 4.5 時低 2.9%, 隨 pH 值提高而相差幅度加大, 在 pH > 7.8 時低 22.8%。由上結果顯示土壤反應不同, 其表現亦異, 但不論在何種土壤反應下, 兩方法之相關性甚高, 相關係數均在 0.9 以上, 並且達 0.1%極顯著水準, 唯有效磷在弱酸性至鹼性土壤相關性並不顯著, 而在中酸性土壤相關係數為 0.8157($p < 0.05$)略低, 而鉀則在中性土壤相關性亦不顯著, 中性及鹼性土壤以 M3 法測定的鎂與 AA 法之相關性只達 5%顯著水準。

以土壤有機碳含量自極高(> 20%), 高(10%-20%)、中(4%-10%)、低(2%-4%)、以及極低(< 2%)五等級之土壤樣品測定結果而言, 土壤磷、鉀、鎂含量以 M3 法測定者高於 Bray No.1 以及 AA 法, 而在極高等級有機碳的土壤中, 以 M3 法測定的有效性磷和鎂分別比後二測定法高 14.1%和 10.5%; 隨有機碳含量之下降而相差幅度增大, 至極低等級時分別高出 55.2%和 23.4%。雖鉀亦有此趨勢, 但不若磷和鎂具一致性。土壤鈣含量以 M3 法測定者低於 AA 法, 唯在高等級有機碳含量土壤例外, 其相差幅度與磷、鉀、鎂不同, 無一定規則可循。由此可知, 有機碳含量不同之土壤, 方法之間測定結果相差幅度亦異。但不論在何種等級土壤有機碳含量之下, M3 法分別與 Bray No.1 法, 以及 AA 法之相關性甚高, 僅在低等級有機碳含量土壤磷之相關係數為 0.8750($p < 0.01$)與高等級有機碳含量土壤之鉀相關係數為

0.7279($p < 0.01$)略低外, 其餘均在 0.9 以上, 且顯著性均達 0.1%。

不論是粘性土壤(clayey soil)或壤性土壤(loamy soil)中之有效性磷、鉀、鈣、鎂含量均以 M3 法測定者比 Bray No.1 法, 以及 AA 法為高。有效性磷含量以 M3 法測定者比 Bray No.1 法在粘性土壤高 20.8%, 而在壤性土壤則高 27.6%。因此兩方法相差幅度以壤性土壤較粘性土壤為大。而鉀、鈣、鎂適相反, 兩方法在壤性土壤相差依次為 0.8%、4.6%、17%, 比粘性土壤之 5.0%、13%與 32%相差幅度較低。雖土壤質地不同, 但 M3 法分別與 Bray No.1 法及 AA 法相關性甚高, 相關係數均在 0.9 以上, 且達 0.1%極顯著水準, 僅在粘性土壤之有效性鎂相關係數為 0.8813 ($p < 0.01$)略低。

土壤 CEC 值($\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$)極高(> 40)、高(25-40)、中(15-25)、低(5-15)以及極低(< 5)共 5 等級土壤中之磷、鉀、鈣、鎂含量以 M3 法測定者比 Bray No.1 法及 AA 法為高, 僅鈣在極高及高 CEC 值等級之含量以 M3 法測定者比 AA 法為低者例外; 方法間相差之幅度磷、鉀、鈣、鎂依次自極高等級之 CEC 值之 14.6%、4.5%、3.9%以及 10.8%增加至低等級 CEC 值之 35.7%、8.3%、18.3%以及 23.2%。因此, 相差幅度呈隨 CEC 值等級之增加而下降之趨勢, 而以磷及鎂較一致。雖在不同等級 CEC 值下該等測定值相差幅度不一, 但相關性甚高, 相關係數在 0.9 以上, 且達 0.1%極顯著水準。只有在極低等級 CEC 值下, 土壤磷、鉀、鈣、鎂含量 M3 法測定值與 Bray No.1 法, 以及 AA 法不具相關, 相關係數均不顯著; 但在參試 245 個土壤樣品中僅有 3 個土樣 CEC 值是屬極低等級。

以上結果顯示, 雖方法相同, 但其結果會隨土壤性質而改變。除土壤性質差異外, 尚受其他因素之影響。Mehlich (1984)認為: 土壤測值可具有決定性的呈現多變的特質—該特質與土壤、氣候、管理、經濟等均有關。大體言之, 雖土壤性質具有差異性, 但不論在土壤反應自極酸性至鹼性, 有機碳含量與 CEC 值自極高等級至極低等級, 以及不同質地之土壤, 其有效性磷、鉀、鈣、鎂含量以 M3 法測定者與 Bray No.1, 及 AA 法測定, 其相關性甚高, 此亦顯示 M3 法之適應範圍頗廣。再者測試之土壤樣品並非受單一土壤性

質，而是受所有土壤性質綜合影響之結果，至於該結果各方法之間相關性討論於下。

(四) 土壤測定方法之間相關性

土壤有效性磷、鉀、鈣、鎂含量以 M3 法，以及 AA-EDTA 法測定分別與慣用之 Bray No.1 法測有效磷及 AA 法測定交換性鉀、鈣、鎂之結果經迴歸分析結果均呈直線迴歸相關，且相關係數均達 0.1%極顯著水準。

M3 法與 Bray No.1 法，以及 AA 法測定之 pH

3.5-pH 5.98 土壤的磷、鉀、鈣、鎂含量之相關性分析結果其迴歸方程式及相關係數分別示於，Fig. 1. 由鈣、鎂、磷、鉀之相關係數依次為 0.9713，0.9932，0.9854 及 0.9623 ($p < 0.01$)顯示，方法之間相關性甚高。又自 pH 3.5-pH 8.2 土壤中鉀、鈣、鎂、磷含量，以 M3 與 Bray No.1 法及 AA 法測定結果經迴歸分析其相關性亦達 0.1%極顯著水準，相關係數在 0.9 以上(Fig. 2)。

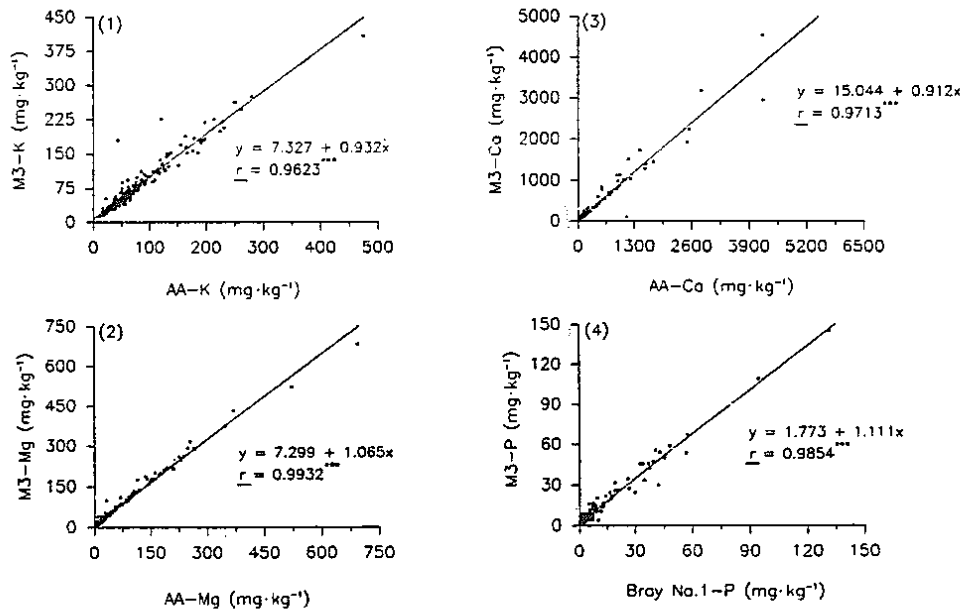


Fig. 1. Relationships between M3 and AA methods for (1) K, (2) Mg, and (3) Ca; and M3 and Bray No. 1 methods for (4) P for Taiwan forest soils. (pH 3.5-5.98)

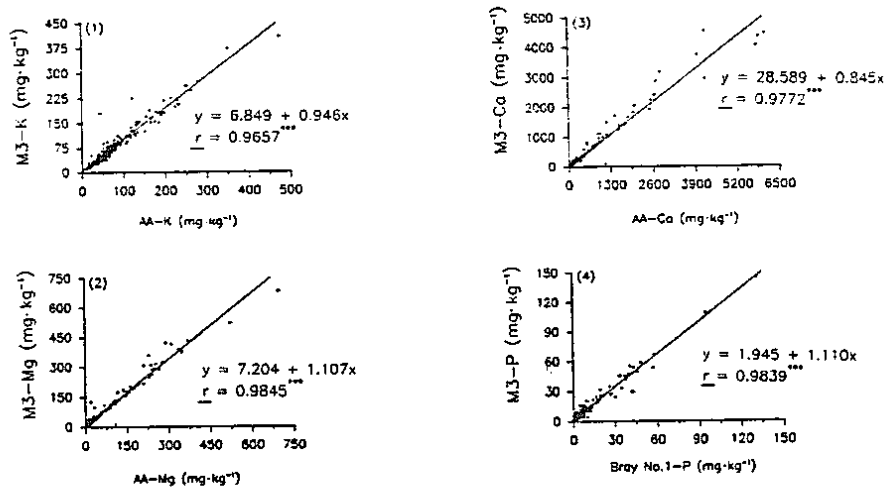


Fig. 2. Relationships between M3 and AA methods for (1) K, (2) Mg, and (3) Ca; and M3 and Bray No.1 methods for (4) P for Taiwan forest soils. (pH 3.5-8.2).

以 AA-EDTA 法分別與 Bray No.1, 以及 AA 法測定之 pH 3.5-pH 5.98 土壤的鉀、鈣、鎂、磷含量之相關性分析結果, 其迴歸方程式及相關係數分別示於 Fig. 3, 方法之間均達到極顯著水準 0.1% 相關($r_k = 0.9268$, $r_{Ca} = 0.9768$, $r_{Mg} = 0.9769$, $r_p = 0.8032$)。pH 3.5-pH 8.2 土壤以 AA-EDTA 法與 Bray No.1 法及 AA 法測定土壤中鉀、鈣、鎂、磷含量之迴歸分析結果相關性亦甚高, 相關係數均在 0.9 以上($p < 0.01$), 僅有效磷為 0.7210 ($p < 0.01$) 略遜(Fig. 4)。

據以上結果, 土壤磷、鉀、鈣、鎂含量測定

方法之間相關性達 0.1% 極顯著水準; 雖然 pH 3.5-pH 8.2 土壤磷、鉀、鈣、鎂以 M3 法分別與 Bray No.1 法, 以及 AA 法測定結果相差之幅度均比 pH 3.5-pH 5.98 為大, 但其相關性仍甚高, 相關係數均在 0.9 以上, 此與 Mehlich (1984) 及楊光盛等 (1992) 試驗結果相似, 相關係數亦在 0.9 以上; 故以該種多元素抽出液之 M3 法, 取代目前慣用之土壤測定方法應屬可行。至於 AA-EDTA 法與 AA 法相關性雖甚高, 唯比 Bray No.1 法稍差, 且其抽取步驟較 M3 法耗時, 並需控溫設備, 為求簡便快速, 故採用 M3 法較 AA-EDTA 法為宜。

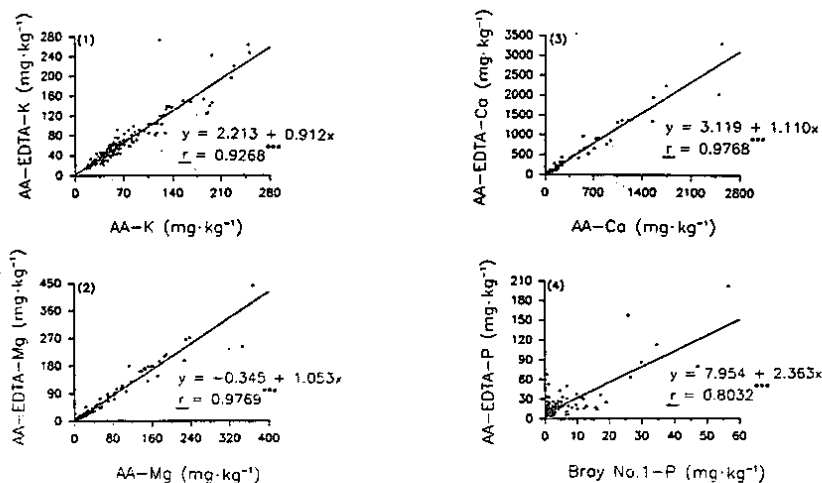


Fig. 3. Relationships between AA-EDTA and AA methods for (1) K, (2) Mg, and (3) Ca; and AA-EDTA and Bray No.1 methods for (4) P for Taiwan forest soils. (pH 3.5-5.98).

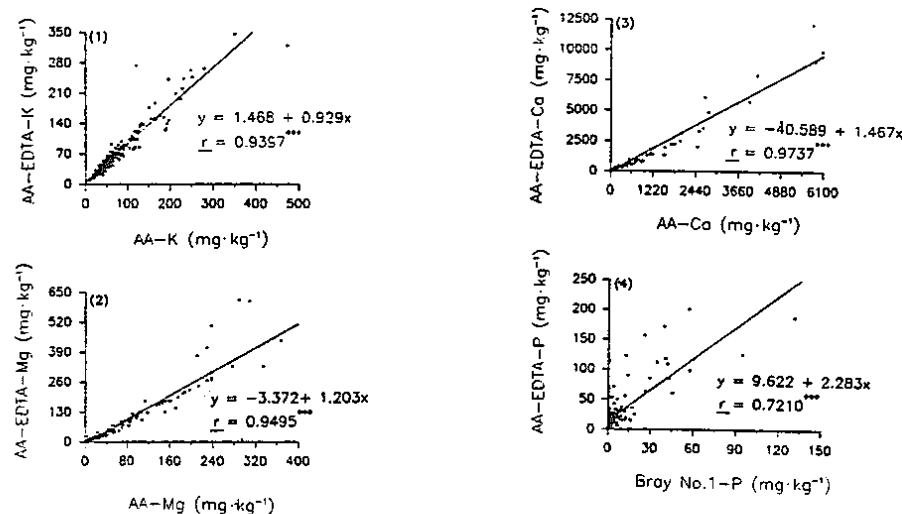


Fig. 4. Relationships between AA-EDTA and AA methods for (1) K, (2) Mg, and (3) Ca; and AA-EDTA and Bray No.1 methods for (4) P for Taiwan forest soils. (pH 3.5-8.2).

(五) 土壤有效性磷、鉀、鈣、鎂測值等級之劃分

土壤樣品測值可作為提供植物有效養分元素狀況之指標(Walsh and Beaton, 1973), 亦即自土壤測定結果可明瞭各養分元素含量適當與否。因此參照 Bray No.1 法土壤有效磷, 以及 AA 法土壤交換性鉀、鈣、鎂之肥力分級標準(Landon, 1984; 謝兆申、王明果, 1995), 經由 Fig. 1 與 Fig. 3 中之 pH 3.5-pH 5.98 土壤磷、鉀、鈣、鎂各個別元素之迴歸方程式換算為以 M3 法與 AA-EDTA 法測定土壤有效性磷、鉀、鈣、鎂之測值等級劃分(Table 4), 如有效性磷以 Bray No.1 法測值小於 15 mg kg⁻¹ 屬含磷量低的等級, 若以 M3 法測定, 則小於 18 mg kg⁻¹ 時始屬含磷量為低等級, 又如以 AA 法測定之交換性鉀、鈣、鎂, 其低等級範圍分別是 4-12 mg kg⁻¹, 40-100 mg kg⁻¹ 以及 4-12 mg kg⁻¹, 若以 M3 法測定, 則其測值範圍分別在 11-18 mg kg⁻¹, 52-106 mg kg⁻¹, 以及 11-20 mg kg⁻¹ 始屬於低等級範圍。至於其他等級可經由 Fig. 1 至 Fig. 4 迴歸方程式以此類推。

由上推算結果可知, 肥力等級隨抽出液及抽出方法而變, 但由於 M3 法與 Bray No.1 法, 以及

AA 法相關性甚高, 故若以 M3 法取代 Bray No.1 及 AA 法時, 由其迴歸方程式推算其測值或肥力等級範圍是可行的。

四、結論

土壤有效性磷、鉀、鈣、鎂含量分別以 M3 方法及 AA-EDTA 方法測定結果, 與慣用之 Bray No.1 法測有效磷及 AA 法測交換性鉀、鈣、鎂所得之結果均成直線迴歸相關, 相關性達 0.1% 極顯著水準, 故以該兩方法取代慣用之土壤測定方法應屬可行, 同時亦可經由其迴歸方程式推算其肥力等級範圍作為植物有效養分元素狀況之指標。

唯兩方法相比, 則 M3 法之分析過程較 AA-EDTA 法簡便, 快速, 且應用性較廣, 所同時抽出之 9 種元素亦包含植物生長所需之巨量及微量元素, 是故採用 M3 法替代 Bray No.1 法及 AA 法, 再配合可同時容納測定多種元素之感應耦合電漿光譜分析儀設備, 不但可節省人力, 時間, 同時對有關土壤植物養分狀況資訊之提供亦較迅速。

Table 4. Soil¹⁾ -Test Ratings (units: mg kg⁻¹)

| Method | Rating | | | | | |
|--------|-----------|-----------------|-----------|-----------|----------|------|
| | Very High | High | Medium | Low | Very Low | |
| P | Bray No.1 | > ²⁾ | > 50 | 50 - 15 | < 15 | - |
| | M3 | - | > 57 | 57 - 18 | < 18 | - |
| | AA-EDTA | - | > 126 | 126 - 43 | < 43 | - |
| K | AA | > 39 | 20 - 39 | 12 - 20 | 4 - 12 | < 4 |
| | M3 | > 44 | 26 - 44 | 18 - 26 | 11 - 18 | < 11 |
| | AA-EDTA | > 38 | 20 - 38 | 13 - 20 | 4 - 13 | < 4 |
| Ca | AA | > 400 | 200 - 400 | 100 - 200 | 40 - 100 | < 40 |
| | M3 | > 378 | 198 - 378 | 106 - 198 | 52 - 106 | < 52 |
| | AA-EDTA | > 447 | 225 - 447 | 114 - 225 | 48 - 114 | < 48 |
| Mg | AA | > 97 | 24 - 97 | 12 - 24 | 4 - 12 | < 4 |
| | M3 | > 111 | 33 - 111 | 20 - 33 | 11 - 20 | < 11 |
| | AA-EDTA | > 102 | 25 - 102 | 13 - 25 | 3 - 13 | < 3 |

¹⁾ Soil pHs ranged 3.5 to 5.98.

²⁾ "—" not detected.

引用文獻

- 楊光盛、洪崑煌 1992 Mehlich No 3 抽出法對臺灣土壤的適用性 I. 土壤有效性磷、鉀、鈣與鎂抽取試驗。中國農業化學會誌 30(2): 364-412。
- 謝兆申、王明果 1992 土壤調查技術手冊。參 41-43 頁。國立中興大學土壤調查試驗中心。行政院農業委員會。
- Bray, R. H., and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Cope, J. T., and C. E. Evans. 1985. Soil testing. Pages 200-208 in B. A. Stewart, ed. *Advances in soil science*. Springer-Verlag, N.Y.B.A.
- Dellavalle, N. B., C. O. Plank, and J. B. Jones, Jr. 1992. Handbook on reference methods for soil analysis. Soil and Plant Analysis Council, Inc., GA. 202 pp.
- Foetisch, M. 1991. Plasma applications. ARL Ecublens, Switzerland. p. 159-161.
- Hons, F. M., L. A. Larson-Vollmer, and M. A. Locke. 1990. $\text{NH}_4\text{OAC-EDTA}$ -Extractable phosphorus as a soil test procedure. *Soil Sci.* 149: 249-256.
- Jones, Jr. J. B. 1988. Soil testing and plant analysis: procedures and use. Technical Bulletin of FFTC. No. 109.
- Kalra, Y. P., and D. G. Maynard. 1991. Methods manual for forest soil and plant analysis. Forestry Canada, Northern Forestry Centre, Alberta, Canada. 116 pp.
- Landon, G. R. 1984. Booker tropical soil manual. Longman, N. Y. 450 pp.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 15(12): 1409-1416.
- Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939.
- Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney eds. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, 1159 pp.
- Schollenberger, C. J., and R. H. Simon. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil-ammonium acetate method. *Soil Sci.* 59: 13-24.
- Soil Survey Staff. 1994. Keys to soil taxonomy. Sixth edition. USDA-SCS, 306 pp.
- Walsh, L. M., and J. D. Beaton. 1973. Soil testing and plant analysis. Soil Sci., Soc. Amer. Inc., Madison, Wisconsin, 491 pp.

Appendix. Soil series and classification of tested soils.

| Soil Series | Classification (USDA 1994) |
|--|--|
| Huan His Shan Series | Typic Hapludults |
| San Ti Men Series | Typic Haplohumults |
| Wan Shan Series | Typic Dystrochrepts |
| Wu Tai Tsun Series | Lithic Haplumbrepts |
| Nan Shan Series | Typic Udorthents |
| Nan Su Ao Shan Series | Typic Haplumbrepts |
| Ta Hu Tung Series | Hapludults or Dystrochrepts |
| Pin Ho Tsun Series | Lithic Haplumbrepts |
| Wei Chuang Series | Typic Dystrochrepts |
| Dou Na Series | Typic Hapludults |
| Gi Tan Shan Series | Typic Dystrochrepts |
| Hu Pi Wu Series | Typic Dystrochrepts |
| Lun Yuan Shan Series | Typic Haplohumults |
| Shi Shan Series | Lithic Udorthents |
| Wu Shan Series | Typic Udorthents |
| Tun Tzu Shan Series | Typic Dystrochrepts |
| Hsi An Shan Series | Lithic or Typic Udorthents |
| Niang Tzu Keng Series | Lithic or Typic Dystrochrepts |
| Yin Ting Shan Series | Lithic Udorthents |
| Ang Keng Series | Typic Dystrochrepts |
| Feng Pin Tsun Series | Ochreptic or Typic Hapludults |
| Lin Tzu Nei Series | Lithic Udorthents |
| Lu Ma Chan Series | Lithic Udorthents |
| Ay Wen Shan Series | Typic Dystrochrepts |
| Che Cheng Series | Lithic or Typic Dystrochrepts |
| Shang Lu Pu Series | Lithic Udorthents |
| Hsaing Yuan Wo Series | Dystrochrepts |
| Pai Ch'uan Shan Series | Lithic Udorthents |
| Shi Shan Shu Hu Series | Typic Haploorthods |
| San Chui Shan Series | Typic Dystrochrepts |
| Lenghuikeng Series - Linlishan Series | Typic Hapludults Lithic Dystrochrepts |
| Nan Shaoshan Series- Yung Chunli Series | Lithic Dystrochrepts Lithic Dystrochrepts |
| Ssu Ma Hsien Series | Udorthents |
| Hsiao Hsüeh Shan Series | Typic Haplohumults or Hapludults |
| An Ma Shan Series | Lithic or Typic Haplumbrepts |
| Hsüeh Shan K'êng Hsi Series | Lithic Udorthents |
| Shih Shan Hsiu Hu Series | Typic Haplohumults |
| Wu Shih K'êng Series | Typic Dystrochrepts |