

DOI: 10.11766/trxb201504200151

中国主要土壤类型的土壤容重传递函数研究*

韩光中¹ 王德彩² 谢贤健^{1†}

(1 内江师范学院地理与资源科学学院, 四川内江 641112)

(2 河南农业大学林学院, 郑州 450002)

摘要 由于我国大多数土壤数据库缺失或部分缺失土壤容重数据, 利用土壤其他属性来预测土壤容重具有重要意义。我国土壤类型多样, 已有的土壤容重传递函数在不同土壤类型中的适用性也值得进一步探讨。本文基于我国现有的土壤数据库, 对已有的两种土壤容重传递函数在不同土壤类型(土纲)中的预测精度与适用性进行评估, 最后通过SPSS 进行回归分析建立我国主要土壤类型最适宜的容重传递函数。研究表明, 已有的两种土壤容重传递函数应用于部分土壤类型时预测精度不高, 但基于土壤系统分类的数据分组后建立的容重传递函数能够明显提高预测精度。新建的容重传递函数对有机土、铁铝土、潜育土、均腐土、富铁土、淋溶土、雏形土、新成土和变性土土壤容重的预测精度较高, 但人为土、盐成土和干旱土土壤容重传递函数的预测精度整体偏低, 在应用时需要慎重。在利用土壤容重传递函数时一定要注意研究区及适用范围。

关键词 土壤容重; 传递函数; 土壤系统分类; 土壤类型

中图分类号 S159.2 **文献标识码** A

容重是土壤的一个重要的物理性质, 可用作计算土壤持水力和导水性^[1-2], 也可用作土壤属性数据的换算(如质量分数换算为体积分数等), 因此是土壤学很多模型中的一个必要参数。由于一些土壤中植物根系和砾石较多, 很难或无法通过环刀法采样来测定土壤容重; 此外, 获取大量系统的土壤容重数据也是一项费时费力、甚至不切实际的工作^[3-4], 这造成我国大多数土壤数据库缺失或部分缺失土壤容重数据。因此, 利用土壤其他属性来预测土壤容重具有重要意义。

大量研究表明, 土壤容重与土壤有机质(或有机碳)和土壤质地关系密切^[5-9], 也与土壤深度^[10-11]、土壤类型^[12-13]、土地利用和植被^[14]有一定的关系。研究还表明, 基于土壤系统分类的数据分组可以改进模型的预测精度^[15-16]。国内已有

一些土壤容重传递函数的研究, 如Han等^[17]基于我国现有土壤数据库, 利用SPSS采用逐步回归方法确定了我国土壤容重传递函数。但我国地域广阔, 土壤类型复杂多样, 已发表的土壤容重传递函数在不同土壤类型中的适用性也值得探讨。因此, 本文基于现有的土壤数据资料, 对已发表的两种土壤容重传递函数在不同土壤类型(土纲)中的预测精度和适用性进行评估, 最后通过SPSS 进行回归分析得到我国主要土壤类型最适宜的土壤容重传递函数。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来自全国第二次土壤普查成果资料^[18-22]、

* 国家自然科学基金项目(41401235)、四川省教育厅重点项目(14ZA0241)资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 41401235) and the Key Fund Project of Sichuan Provincial Department of Education (No. 14ZA0241)

† 通讯作者 Corresponding author, Email: xxj007-14@tom.com

作者简介: 韩光中(1981—), 男, 山东费县人, 博士, 副教授, 主要从事土壤发生与土壤退化研究。E-mail: hanguangzhong@163.com

收稿日期: 2015-04-20; 收到修改稿日期: 2015-06-20

中国土壤系统分类资料^[23-26]和已发表的其他资料^[27-28], 覆盖了我国主要的土壤类型。其中, 第二次土壤普查成果等资料通过与中国土壤系统分类的近似参比^[29-32], 转化成土壤系统分类体系。通过对数据进行质量筛选, 剔除部分异常值, 现有完整的2 441个数据代表了我国主要的土壤类型。异常值剔除条件如下: (1) 土壤容重非烘干法测定; (2) 砂粒、粉粒和黏粒三者百分含量 > 106% 或 < 94%^[3]。

基于中国土壤系统分类的土纲检索, 将上述数据分选为12个土纲, 灰土和火山灰土土纲本研究未涉及。这是因为第二次土壤普查中的发生学土种均不属于灰土土纲, 也就是说我国尚未发现属于中国土壤系统分类体系的灰土剖面。火山灰土土纲只有极少量的数据, 这可能主要因为我国火山灰土的分布面积极少, 且火山灰土中往往含有较多的砾石, 很难通过环刀法来测定容重, 土壤容重数据匮乏, 因此本研究也不再涉及。土壤粒径大小的分级采用1978年制定的中国土壤质地粒级分类标准: 砂粒(1~0.05 mm)、粉粒(0.05~0.001 mm)和黏粒(<0.001mm)。

1.2 研究方法

本文首先比较了已发表的多项式与非线性模型^[17]在不同土纲中的预测精度, 这两种容重传递函数的表达式分别为:

$$\ln BD = 0.4345 - 0.0356OM^{0.5} - 0.0007OM - 0.0215TN + 0.0001Clay \quad (1)$$

$$BD = 0.167 \times 1.526 / [1.526OM + 0.167(1-OM)] \quad (2)$$

式中, BD为土壤容重($g\ cm^{-3}$), TN为全氮($g\ kg^{-1}$), Clay为黏粒($g\ kg^{-1}$); 多项式模型(1)中OM为土壤有机质含量($g\ kg^{-1}$), 非线性模型(2)中OM为土壤有机质含量($g\ g^{-1}$)。利用平均误差(MPE)、均方根差(RMSPE)和 R^2 对容重传递函数的预测精度进行检验。

最后, 基于现有数据库, 通过回归分析, 得到各土纲的多项式模型。同时对Federer等^[33]提出的非线性模型参数进行重新校正, 模型通式为:

$$BD = a \times b / [bOM + a(1-OM)] \quad (3)$$

式中, a和b为常数, BD为土壤容重($g\ cm^{-3}$), OM为土壤有机质($g\ g^{-1}$)。

2 结果与讨论

2.1 我国主要土壤类型属性的统计特征

对我国12个土纲的土壤样本进行统计, 结果表明(表1)不同土纲的土壤属性差异明显: 有机土和潜育土的土壤容重相对较低, 土壤有机质、全氮和全磷含量相对较高; 变性土、干旱土、富铁土和新成土的土壤容重相对较高, 土壤有机质、全氮和全磷含量相对较低; 变性土、潜育土、铁铝土和均腐土的黏粒含量相对较高, 而新成土和干旱土的黏粒含量相对较低。

2.2 现有土壤容重传递函数模型的比较

本文对已发表的2种容重传递函数的预测精度进行了比较, 并基于预测精度对其适用性进行评估, 统计结果见图1和图2。多项式模型获取的有机土、盐成土、潜育土、均腐土和雏形土的土壤容重MPE值为负值(-0.06~-0.01), 说明模型高估了这些土纲的容重; 而人为土、铁铝土、干旱土、富铁土、淋溶土、新成土和变性土的土壤容重MPE值为正值(0.00~0.02), 说明模型低估了这些土纲的容重。非线性模型获取的干旱土、盐成土、均腐土和富铁土的土壤容重MPE值为负值(-0.02~-0.01), 说明模型高估了这些土纲的容重; 而有机土、人为土、铁铝土、潜育土、淋溶土、雏形土、新成土和变性土的土壤容重MPE值为正值(0.00~0.10), 说明模型低估了这些土纲的容重。综合比较MPE、RMSPE、 R^2 和土壤容重实测值与预测值的散点图(图1~图2), 多项式模型和非线性模型在同一土纲中的预测精度差异不大。其中有机土和潜育土的预测精度最高, 铁铝土、均腐土、雏形土、新成土和变性土的预测精度较高, 但人为土、干旱土、盐成土、富铁土和淋溶土的预测精度偏低, 可以认为这2种模型不适用于这5类土纲的土壤容重的预测。

总体而言, 已发表的2种土壤容重传递函数应用于部分土壤类型时预测精度不高, 而且在一些预测精度相对较高的土壤类型中(如有机土和潜育土, 见图1和图2)仍有较大的MPE和RMSPE值, 应考虑从土壤类型分组的角度来重新拟合容重传递函数模型。

表1 不同土壤类型部分理化属性的统计特征

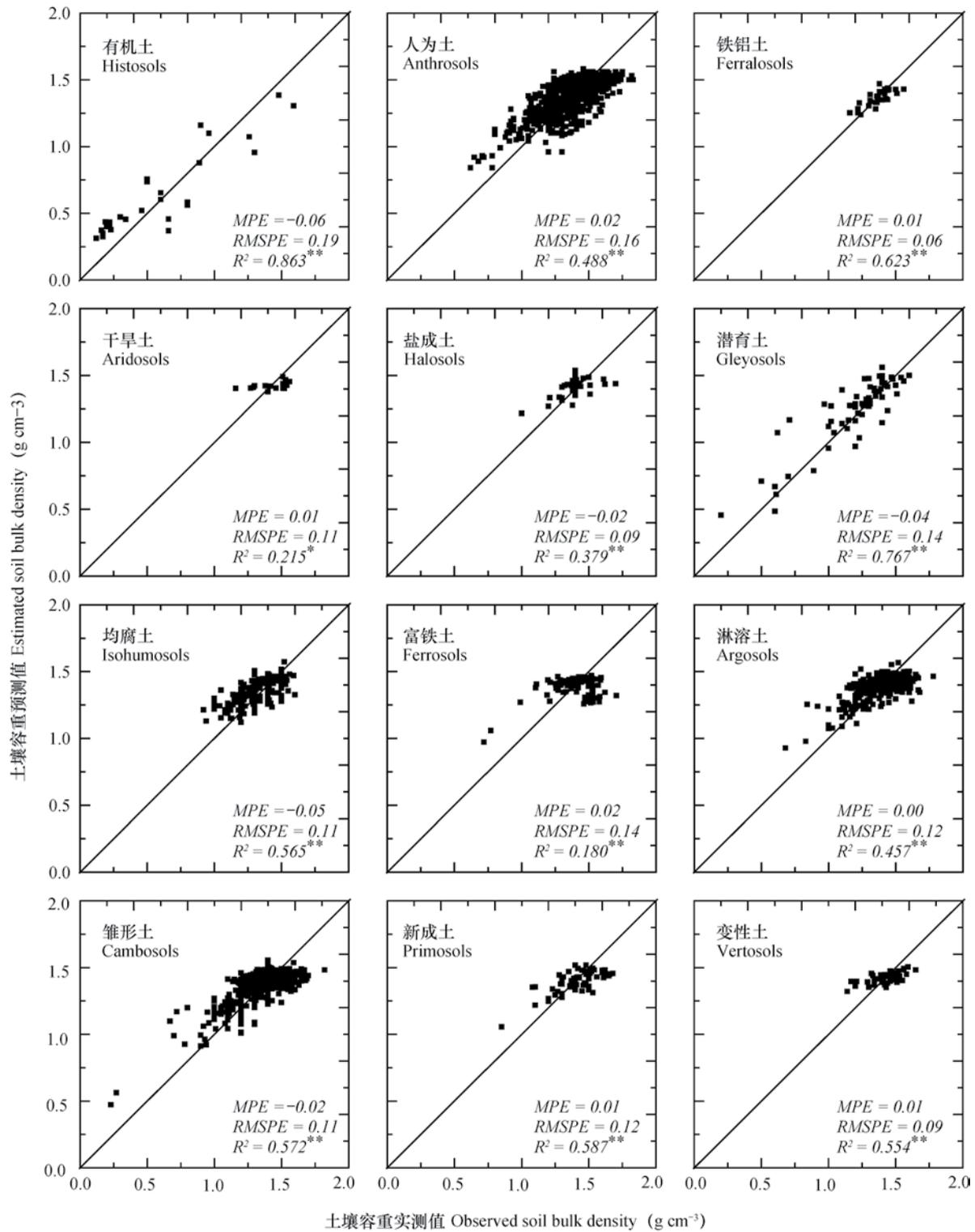
Table 1 Descriptive statistics of some soil properties of the types of soils studied								
土纲	样本数	统计值	土壤容重	有机质	全氮	全磷	全钾	黏粒
Soil orders	Sample number	Statistical values	Bulk density (g cm^{-3})	OM	TN	TP	TK	Clay (%)
				————— (g kg^{-1}) —————				
有机土	27	平均值 Mean	0.60	426.0	14.26	1.37	10.83	23.67
Histosols		标准差 SD	0.43	258.0	7.55	1.03	7.52	9.07
人为土	878	平均值 Mean	1.37	18.32	1.08	0.47	17.15	26.64
Anthrosols		标准差 SD	0.19	11.47	0.61	0.32	6.18	11.03
铁铝土	28	平均值 Mean	1.37	17.43	0.09	0.04	1.34	31.26
Ferralsols		标准差 SD	0.10	9.20	0.04	0.03	1.16	15.00
干旱土	16	平均值 Mean	1.43	7.27	0.05	0.07	1.88	18.22
Aridosols		标准差 SD	0.12	2.17	0.02	0.04	0.19	11.04
盐成土	41	平均值 Mean	1.39	11.96	0.73	0.48	55.79	29.91
Halosols		标准差 SD	0.12	9.02	0.50	0.22	88.54	15.86
潜育土	64	平均值 Mean	1.19	68.70	2.95	0.78	20.15	33.00
Gleyosols		标准差 SD	0.29	112.0	3.74	0.61	4.29	11.09
均腐土	229	平均值 Mean	1.30	21.78	1.16	0.62	20.00	31.12
Isohumosols		标准差 SD	0.16	15.34	0.84	0.36	8.59	10.84
富铁土	107	平均值 Mean	1.41	9.89	1.16	0.42	20.32	21.15
Ferrosols		标准差 SD	0.15	14.84	1.19	0.40	12.66	9.19
淋溶土	311	平均值 Mean	1.38	15.78	0.93	0.55	18.48	28.59
Argosols		标准差 SD	0.16	17.06	0.80	0.73	5.25	12.60
锥形土	623	平均值 Mean	1.34	19.85	1.05	0.59	20.20	23.98
Cambosols		标准差 SD	0.17	33.26	1.18	0.42	8.12	11.93
新成土	67	平均值 Mean	1.40	12.23	0.64	0.39	23.90	13.62
Primosols		标准差 SD	0.17	15.91	0.71	0.47	8.45	12.48
变性土	50	平均值 Mean	1.45	9.95	0.65	0.41	18.58	34.55
Vertosols		标准差 SD	0.11	4.91	0.28	0.15	3.84	14.31

2.3 我国主要土壤类型土壤容重的传递函数

我国地域广阔，土壤类型复杂多样，国内已建立的2个容重传递函数未考虑土壤类型差异的影响。为了提高土壤容重的预测精度，基于土壤系统分类对我国现有的土壤数据资料进行分组，通过SPSS 统计软件进行逐步回归分析，分别建立各土纲的多项式模型。其中，自变量包括土壤有机质、质地、土壤深度以及全氮、全磷、全钾、pH等土壤调查中常见的数据资料。此外，同时对部分土壤属性进行了换算，包括 $\text{OM}^{0.5}$ （OM：土壤有机质）、 $\ln\text{OM}$ 和 $(\ln\text{OM})^2$ ，这是因为以往的研究表

明这些参数与土壤容重关系密切^[10, 12]；因变量为容重或容重的对数。建立的多项式模型与经过参数校正的非线性模型进行比较，最后得到各土纲最优土壤容重传递函数（表2）。

综合比较MPE、RMSPE、 R^2 和土壤容重实测值与预测值的散点图（图1、图2与图3），基于土壤系统分类的数据分组能大幅度提高土壤容重的预测精度。不同土纲的土壤容重预测模型差异较大，说明在不同土纲中土壤容重与其他土壤属性的关系并不完全相同，这可能是来自土壤自身的差异，同时也是不进行土壤类型分类，直接利用所有土壤数



注: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; MPE: 平均误差; RMSPE: 均方根差。下同 Note: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; MPE: Mean prediction error; RMSPE: Root mean squared prediction error. The same below

图1 土壤容重的实测值与多项式模型预测值的比较

Fig. 1 Observed soil bulk density versus the soil bulk density predicted with the published polynomial model

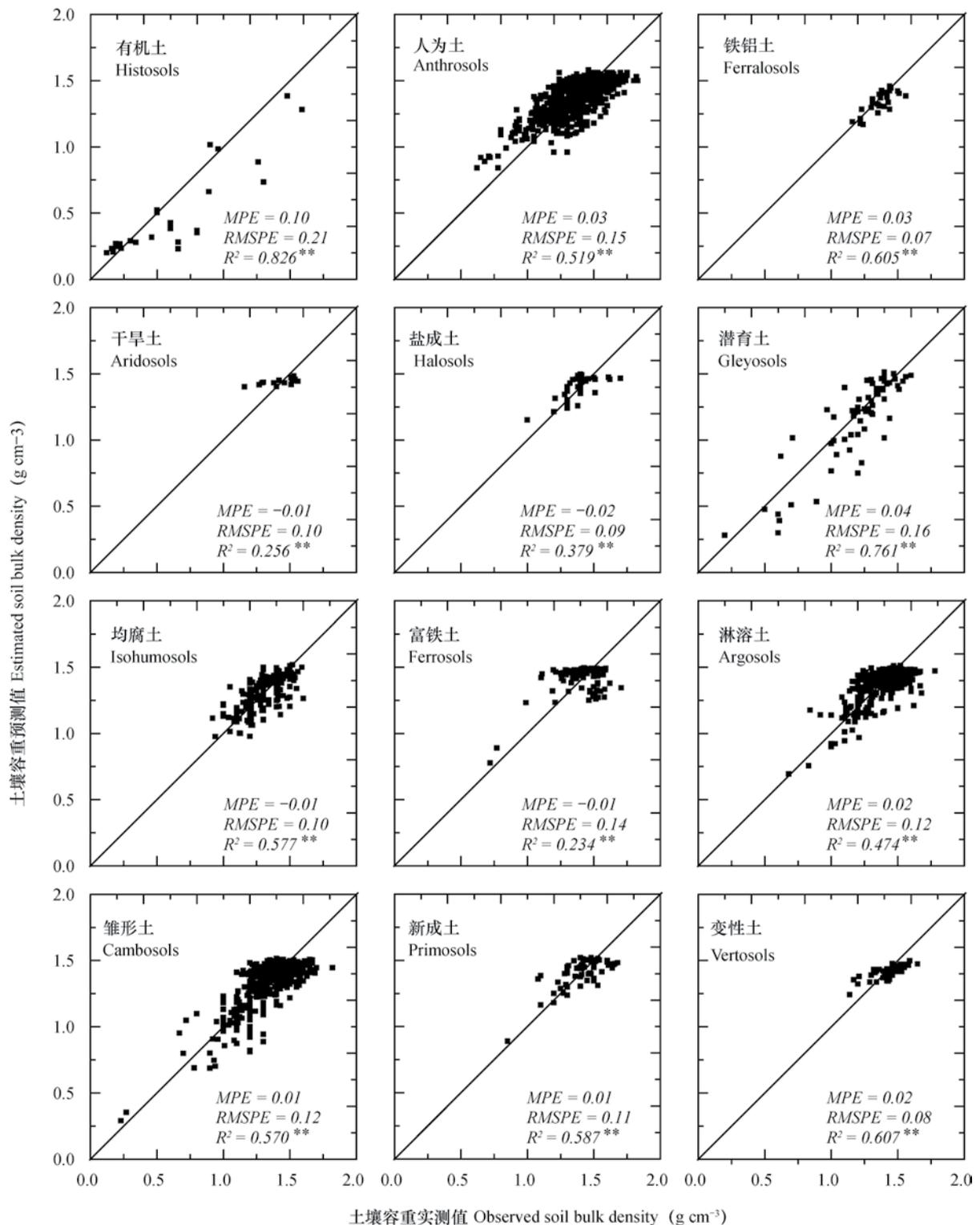


图2 土壤容重的实测值与非线性模型预测值的比较

Fig. 2 Observed soil bulk density versus the soil bulk density predicted with the published non-linear model

据资料求得的土壤容重传递函数应用于部分土壤类型时预测精度不高的主要原因之一。De Vos 等^[34]的研究结果表明已发表的容重传递函数在应用于函数建立研究区以外的其他地区时预测精度往往并不稳定。因此,在利用土壤容重传递函数时一定要注意研究区及适用范围。Han等^[17]研究发现当土壤类型相似且采样区域不大时,土壤容重与土壤深度

呈极显著正相关。从不同土纲的容重传递函数来看,本研究进一步验证了上述结果。因此,在研究土壤容重传递函数时一定要特别注意土壤深度这一参数。尽管如此,当土壤有机质含量较高或土壤容重与土壤有机质相关系数过高时,土壤深度在土壤容重预测中的作用并不一定能体现出来(表2)。

表2 不同土壤类型的最优容重传递函数

Table 2 Optimal PTFs for different types of soils

土纲 Soil orders	土壤容重传递函数 Pedotransfer functions of soil bulk density
有机土 Histosols	$\ln BD = 0.373 - 0.0028OM$
人为土 Anthrosols	$\ln BD = 0.407 - 0.019OM + 0.028 (\ln OM)^2 + 0.001 \text{clay}$
铁铝土 Ferralosols	$BD = 0.186 \times 1.541 / [1.541OM + 0.186 (1-OM)]$
干旱土 Aridosols	$\ln BD = 0.277 - 0.0019 \text{depth}$
盐成土 Halosols	$\ln BD = 0.407 - 0.0069OM$
潜育土 Gleysols	$\ln BD = 0.215 - 0.0025OM + 0.0017 \text{depth}$
均腐土 Isohumosols	$\ln BD = 0.341 - 0.054OM + 0.0006 \text{depth}$
富铁土 Ferrosols	$\ln BD = 0.283 - 0.0039OM - 0.040TN + 0.0022 \text{depth}$
淋溶土 Argosols	$BD = 0.197 \times 1.506 / [1.506OM + 0.197 (1-OM)]$
锥形土 Cambosols	$BD = 0.156 \times 1.538 / [1.538OM + 0.156 (1-OM)]$
新成土 Primosols	$BD = 0.154 \times 1.529 / [1.529OM + 0.154 (1-OM)]$
变性土 Vertosols	$\ln BD = 0.436 - 0.0103OM + 0.0006 \text{depth}$

注: BD: 土壤容重 (g cm^{-3}); OM: 土壤有机质(淋溶土、锥形土和新成土模型中单位为 g g^{-1} , 其他模型中单位为 g kg^{-1}); clay: 黏粒(%); depth: 土壤深度(cm) Note: BD: Soil bulk density (g cm^{-3}); OM: Soil organic matter (Units in models for Argosols, Cambosols and Primosols are g g^{-1} , Units in others are g kg^{-1}); clay: Clay (%); depth: Soil depth (cm)

相比较而言,有机土、潜育土、富铁土和锥形土的土壤容重传递函数的预测精度最高(MPE接近于0, $\text{RMSPE} < 0.16$, $R^2 > 0.778$)。铁铝土、变性土、均腐土、淋溶土、新成土和变性土土壤容重传递函数预测精度较高(MPE接近于0, $\text{RMSPE} < 0.11$, $R^2 > 0.623$)。但人为土土壤容重传递函数的预测精度与已发表的模型相比,提高并不明显,整体上还是偏低($R^2 = 0.551$),这可能与人为土特殊的成土环境和成土过程有关,如水耕人为土和起源土壤在理化性质上有非常明显的区别,而且土壤容重也受淹水耕作的强烈影响^[35]。干旱土和盐成土土壤容重传递函数的预测精度与已发表的模型相比虽然有了大幅度的提高,但和其他土纲相比,预测精度仍然偏低($R^2 < 0.520$),在应用时需要

慎重。需要特别指出的是,本研究提出的模型和以往的经验模型一样,未考虑地形、气候、母质等因素。一方面是因为经验模型在应用时预测精度相对较稳定,另一方面是因为地形、气候、母质等因素的数据量大,完整获取较困难。这些因素应在今后的深入研究中加以考虑。

3 结论

研究表明已发表的2种土壤容重传递函数应用于我国部分土壤类型时预测精度不高,但基于土壤系统分类的数据分组后建立的容重传递函数能够明显提高预测精度。总体而言,有机土、铁铝土、潜育土、均腐土、富铁土、淋溶土、锥形土、

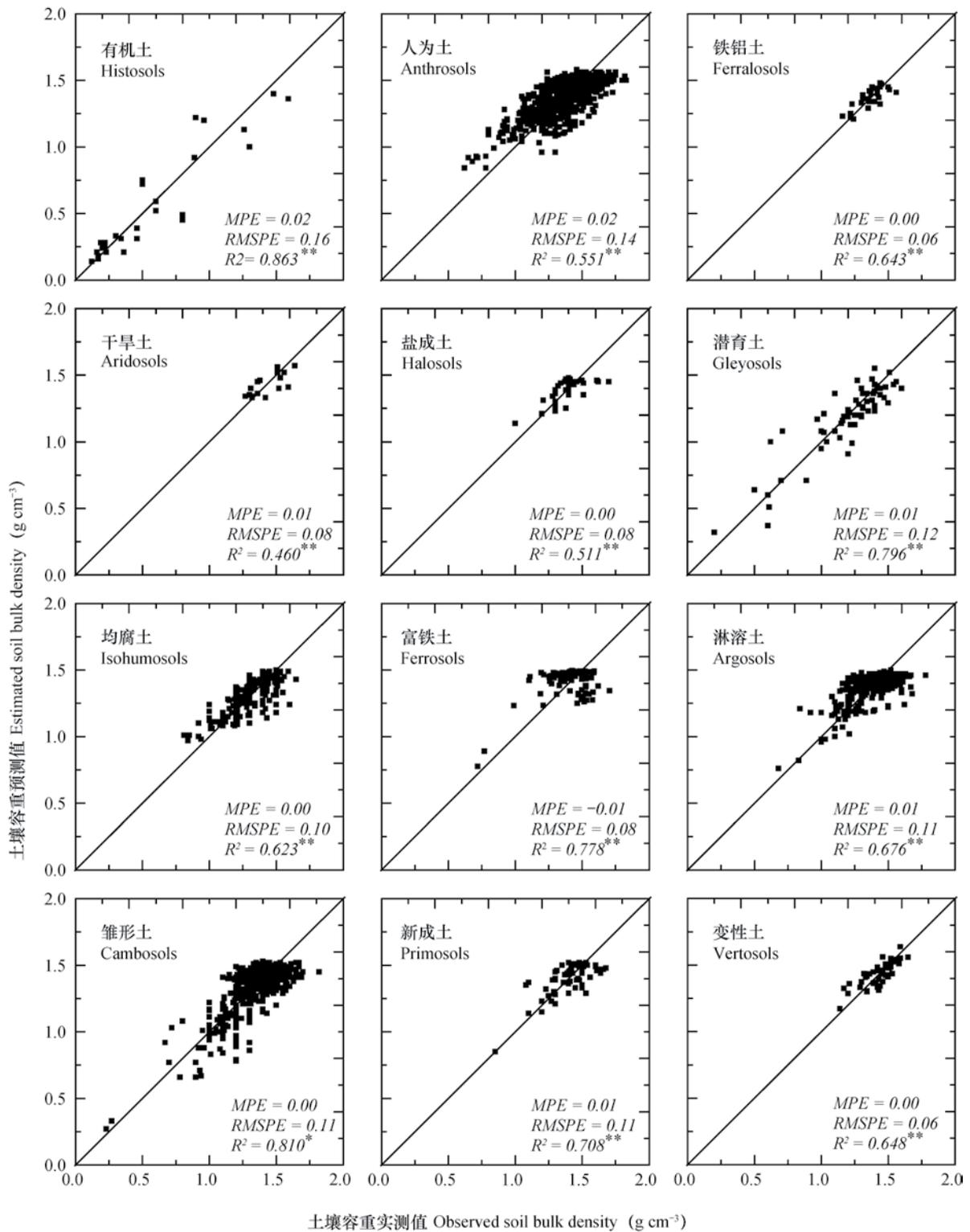


图3 土壤容重的实测值与最优模型预测值的比较

Fig. 3 Observed soil bulk density versus the soil bulk density predicted with the optimal models based on the taxonomical partitioning of data

新成土和变性土土壤容重传递函数的预测精度较高,能很好地实现各自土壤类型的土壤容重预测;但人为土、盐成土和干旱土土壤容重传递函数预测精度整体偏低,在应用时需要慎重。在利用土壤容重传递函数时一定要注意研究区及适用范围。

参考文献

- [1] Lenaviciute N. Predicting soil bulk and particle densities by pedotransfer functions from existing soil data in Lithuania. *Geografijos Metraštis*, 2000, 33: 317—328
- [2] Marco A, Marcello D. SOILPAR 2.00: Software to estimate soil hydrological parameters and functions. *European Journal of Agronomy*, 2003, 18: 373—377
- [3] Heuscher S A, Brandt C C, Jardine P M. Using soil physical and chemical properties to estimate bulk density. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69: 1—7
- [4] Benites V M, Machado P L O A, Fidalgo E C C, et al. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma*, 2007, 139: 90—97
- [5] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. *Global Change Biology*, 2000, 6: 317—327
- [6] Tremblay S, Ouimet R, Houle D. Prediction of organic carbon content in upland forest soils of Quebec, Canada. *Canadian Journal of Forest Research—revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 2002, 32: 1—12
- [7] Kaur R, Kumar S, Gurung H P. A pedo-transfer function (PTF) for estimating soil bulk density from basic soil data and its comparison with existing PTFs. *Australian Journal of Soil Research*, 2002, 40: 847—857
- [8] Prévost M. Predicting soil properties from organic matter content following mechanical site preparation of forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68: 943—949
- [9] Périé C, Ouimet R. Organic carbon, organic matter and bulk density relationships in boreal forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 2008, 88: 315—325
- [10] Huntington T G, Johnson C E, Johnson A H, et al. Carbon, organic matter and bulk density relationships in a forested Spodosol. *Soil Science*, 1989, 148: 380—386
- [11] Leonavičiūtė N. Predicting soil bulk and particle densities by pedotransfer functions from existing soil data in Lithuania. *Geografijos Metraštis*, 2000, 33: 317—330
- [12] Alexander E B. Bulk densities of California soils in relation to other soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 1980, 44: 689—692
- [13] Salifu K F, Meyer W L, Murchison H G. Estimating soil bulk density from organic matter content, pH, silt and clay. *Journal of Tropical Forest Science*, 1999, 15: 112—120
- [14] Harrison A F, Bocoock K L. Estimation of soil bulk-density from loss-on-ignition values. *Journal of Applied Ecology*, 1981, 8: 919—927
- [15] Manrique L A, Jones C A. Bulk density of soils in relation to soil physical and chemical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55: 476—481
- [16] Wösten J H M, Pachepsky Y A, Rawls W J. Pedotransfer functions: Bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2001, 251: 123—150
- [17] Han G Z, Zhang G L, Gong Z T, et al. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density in China. *Soil Science*, 2012, 177 (3): 158—164
- [18] 中国土壤普查办公室.中国土种志(1—6).北京:中国农业出版社, 1995
Soil Survey Office of China. Soil species in China (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1995
- [19] 山东省土壤肥料工作站.山东土种志.北京:中国农业出版社, 1993
Shandong Soil and Fertilizer Workstation. Soil species in Shandong (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1993
- [20] 河南省土壤普查办公室.河南土壤.北京:中国农业出版社, 2004
Soil Survey Office of Henan. Soils in Henan (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2004
- [21] 安徽省土壤普查办公室.安徽土种.北京:中国农业出版社, 1990
Soil Survey Office of Anhui. Soil species in Anhui (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1990
- [22] 安徽省土壤普查办公室.安徽土壤.北京:中国农业出版社, 1990
Soil Survey Office of Anhui. Soils in Anhui (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1990
- [23] 王庆云,徐能海,周勇,等.湖北省土系概要.武汉:湖北科学技术出版社, 1997
Wang Q Y, Xu N H, Zhou Y, et al. Generality of soil series in Hubei Province (In Chinese). Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1997
- [24] 章明奎,魏孝孚,厉仁安.浙江土系概论.北京:中国

- 农业科技出版社, 2000
- Zhang M K, Wei X F, Li R A. Generality of soil series in Zhejiang Province (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [25] 龚子同, 张甘霖, 漆智平. 海南省土系概论. 北京: 科学出版社, 2004
- Gong Z T, Zhang G L, Qi Z P. Generality of soil series in Hainan Province (In Chinese). Beijing: Science Press, 2004
- [26] 张之一, 翟瑞常, 蔡德利. 黑龙江土系概论. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2006
- Zhang Z Y, Zhai R C, Cai D L. Generality of soil series in Heilongjiang Province (In Chinese). Harbin: Cartographic Publishing House of Harbin, 2006
- [27] 徐琪, 陆彦椿, 刘元昌, 等. 中国太湖地区水稻土. 上海: 上海科学技术出版社, 1980
- Xu Q, Lu Y C, Liu Y C, et al. The paddy soil of Taihu region in China (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980
- [28] 新疆维吾尔自治区林业厅. 新疆山地森林土壤. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1995
- Forestry Department of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Forest soils of Xinjiang mountain region (In Chinese). Urumqi: Xinjiang Science Technology and Hygiene Publishing House, 1995
- [29] Cooperative Research Group on Chinese Soil Taxonomy. Chinese Soil Taxonomy. Beijing: Science Press, 2003
- [30] 龚子同, 张甘霖, 陈志诚, 等. 以中国土壤系统分类为基础的土壤参比. 土壤通报, 2002, 33 (1): 1—5
- Gong Z T, Zhang G L, Chen Z C, et al. Soil reference on the bases of Chinese soil taxonomy (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33 (1): 1—5
- [31] 杨国祥, 史学正, 于东升, 等. 基于WebGIS的中国土壤参比查询系统研究. 土壤学报, 2007, 44 (1): 1—6
- Yang G X, Shi X Z, Yu D S, et al. A WebGIS-based inquiry system for reference between genetic soil classification of China and Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007, 44 (1): 1—6
- [32] 李德成, 张甘霖, 龚子同. 我国砂姜黑土土种的系统分类归属研究. 土壤, 2011, 43 (4): 623—629
- Li D C, Zhang G L, Gong Z T. On taxonomy of Shajiang black soils in China (In Chinese). Soils, 2011, 43 (4): 623—629
- [33] Federer C A, Turcotte D E, Smith C T. The organic fraction-bulk density relationship and the expression of nutrient content in forest soils. Canadian Journal of Forest Research-revue Canadienne De Recherche Forestiere, 1993, 23: 1026—1032
- [34] De Vos B, van Meirvenne M, Quataert P, et al. Predictive quality of pedotransfer functions for estimating bulk density of forest soils (In Chinese). Soil Science Society of America Journal, 2005, 69: 500—510
- [35] 龚子同, 陈志诚, 史学正, 等. 中国土壤系统分类: 理论. 方法. 实践. 北京: 科学出版社, 1999
- Gong Z T, Chen Z C, Shi X Z, et al. Chinese Soil Taxonomy: Theory-Methodology-Practice (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999

Pedotransfer Functions for Prediction of Soil Bulk Density for Major Types of Soils in China

HAN Guangzhong¹ WANG Decai² XIE Xianjian^{1†}

(1 College of Geography and Resources Science of Neijiang Normal University, Neijiang, Sichuan 641112, China)

(2 College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou, 450002, China)

Abstract Soil bulk density, which can be measured through several labor-intensive procedures, is often missing from most soil databases. However, it is an essential parameter in calculation in many cases and models, and it is feasible to derive soil bulk density from some other attributes of the soil. As China has a huge variety of soil types, whether the existing pedotransfer functions (PTFs) are still applicable to the various soils calls for in-depth analysis. The soil data involved in this study were cited from the Second National Soil Survey of China, from the database for the Chinese Soil Taxonomy and from other publications, covering all the major types of soils in China. The data gathered during the Second National Soil Survey were converted into the Chinese Soil Taxonomy system by means of approximate reference between the two systems using a WebGIS-based inquiry system. After screening of the data in quality and depleting some abnormal

values, a total of 2 441 complete soil datasets were obtained, covering all the major types of soils in China. In this paper, 2 published PTFs were evaluated and compared in prediction accuracy and applicability for different types of soils, and a PTF, the most adaptable to the major types of soils in China, was developed through regression analysis using SPSS. In addition, exploratory stepwise regression models were proposed and the parameters of the nonlinear model that used only the OM variable were revised based on taxonomical partitioning of the data. Results show that the two existing models varied in performance and were not high in prediction accuracy when used for some types of soils. The bulk density MPE values acquired with the polynomial model of Histosols, Halosols, Gleyosols, Isohumosols and Cambosols were negative ($-0.06 \sim -0.01$), while those of Anthrosols, Ferralosols, Aridosols, Ferrosols, Argosols, Primosols and Vertosols were positive ($0.00 \sim 0.02$), indicating that the model overestimated BDs of the soils in the former group, and underestimated those in the latter group. The MPE values obtained with the nonlinear model of Aridosols, Halosols, Isohumosols and Ferrosols were negative ($-0.02 \sim -0.01$), while those of Histosols, Anthrosols, Ferralosols, Gleyosols, Argosols, Cambosols, Primosols and Vertosols were positive ($0.00 \sim 0.10$), indicating the model overestimated BDs of the soils in the former group, and underestimated those of the soils in the latter group. Comprehensive comparison of the scattergraphs of MPE, RMSPE, R^2 and measured and predicted BDs indicates that the two models did not vary much in prediction accuracy when used for soils of the same soil order. The PTF developed after the data of the soil taxonomy were partitioned significantly improved the model's performance. The new PTF was pretty high in prediction accuracy when used for Histosols, Ferralosols, Gleyosols, Isohumosols, Ferrosols, Argosols, Cambosols, Primosols and Vertosols, but it tended to be low in accuracy when used for Anthrosols, Halosols and Aridosols. So the model should be used with care. Besides, in using PTFs, it is essential to pay special attention to area and scope they are applied to.

Key words Soil bulk density; Pedotransfer function; Chinese soil taxonomy; Soil type

(责任编辑: 檀满枝)