

区域性土壤形成特征及其在土壤基层分类和土壤质量评价中的应用

张甘霖, 杜国华, 龚子同

(中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

摘 要: 结合区域基层分类研究提出了区域性土壤形成特征的概念, 指出它们既是土壤基层分类的鉴别标准, 也是决定区域土壤基础质量的重要因素。在分析典型区域土壤形成特征的基础上, 探讨了它们在基层分类和土壤质量评价要素中的共性和应用, 指出这有助于全面地理解土壤质量而不是简单地将其等同于耕层养分状况。介绍了服务于土壤基层分类和质量评价的公用数据库的结构。

关键词: 区域性土壤形成特征; 土壤基层分类; 土壤质量; 土壤质量评价

中图分类号: S158

文献标识码: A

1 前言

土壤是具有不同作用尺度的成土因素共同作用的结果^[1], 大尺度的如气候因子、植被类型等, 小尺度的如景观过程, 他们共同决定土壤的总体属性。土壤调查和分类的基本目的就是通过揭示土壤的形成因子和过程进而表达土壤的地理分布、评价土壤的能力并预测土壤的行为^[2]。宏观的土壤分布通常使用经过抽象得到的高级分类级别作为制图单元, 而区域性和局部范围的土壤分布规律依靠基层分类单元表达^[3]。土壤质量是特定类型土壤在自然或农业生态系统边界内保持动植物生产力, 保持或改善大气和水的质量以及支持人类健康和居住的能力^[4]。土壤质量是表征土壤运行能力的土壤内在和本质属性, 只有通过对可以直接测定的土壤性质的综合评价才能被间接了解^[4]。选择合适的土壤质量指标是土壤质量评价的基础。在土族与土系等基层分类级别, 分类指标倾向于更多使用与生产实际密切相关的指标, 这些属性指标通常具有区域性, 可以作为土壤质量指标用于土壤质量评价特别是生产能力评价中。另一方面, 土壤质量评价的结果也借助

类型作为载体表达, 因此, 基层分类单元通常也是区域土壤质量评价的空间实体(spatial entities)。本文在我国典型区域研究的基础上总结了有关区域土壤形成特征并探讨了它们在基层分类和土壤质量评价中的应用。

2 区域土壤形成特征

区域性土壤形成特征是指特定区域土壤形成背景和在该条件下形成的土壤形态学和物理、化学特征, 它们是区域自然背景和人为活动共同作用的产物。已经广泛用于土系划分的特征土层^[5]就是区域性土壤形成特征的一个重要表现, 它既指土层颜色、厚度、结构、结持程度、新生体及界面过渡等形态学特征的表现差异, 也包括颗粒组成、酸碱度、有机碳、碳酸盐含量、交换性能等物理化学性状上的差异。但土壤形成特征包括更广泛的内容, 它还可以包括区域地形、地貌以及成土母质特征, 土壤景观特征以及微域生境条件, 因此它是土壤形成环境和土壤属性的组合, 在理论上它近似于土壤—地体单元属性组合^[6], 在生产实践上与土壤基础地力构成^[7]或秉承(inherent)质量要素相当。

收稿日期: 2002-02-21。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(49831004)和国家重点基础研究规划项目(G1999011809)资助

作者简介: 张甘霖(1966—), 男, 湖北通山人, 博士, 研究员, 主要从事土壤形成演化与分类、土壤质量和土壤地球化学研究, 发表论著 70 余篇(部)。E-mail: glzhang@issas.ac.cn

2.1 土壤—景观模式与区域土壤形成特征

景观是可以直观感知的地表部分, 是地形的组合^[8]。理解景观和地形及其对土壤分布和属性的影响是确定微域土壤分布的基础。土壤—景观模式(paradigm)的建立是区域性土壤分类和制图的重要理论基础。土壤—景观模式理论的主要内容可概括如下^[9]:

1. 在一个土壤景观—观单元中, 成土因素以独特的行为方式相互作用。具有相同土壤—景观单元的区域, 则发育相同的土壤类型。

2. 景观单元差别越大则土壤呈现突变和不连续性, 土壤景观单元之间越相似土壤不连续性趋向于渐变和微弱。

3. 两个地形越是相似则它们之间土壤组合(组成和比例)越相似。

4. 相邻的不同土壤景观单元区域有可以预测的土壤空间关系。

5. 一旦一个地区土壤和地形单元之间的关系被确立, 便能通过识别土壤景观单元来推断土壤的类型。

因此, 土壤不仅是剖面个体还是景观单元^[2]。土壤—景观单元的划分是确定土壤形成的区域特征的一个重要步骤, 因为按照土壤—景观模式理论, 相同的景观单元意味着相同或相似的土壤类型, 同时也暗示土壤基础质量要素的接近。景观只是土壤区域特征的地表部分, 而土壤组成和矿物类型则由岩性因子决定。

2.2 区域土壤形成特征的组成要素

2.2.1 景观—地体特征

景观—地体特征是与土壤类型、分布、质量特征直接相关的地形、地貌及成土母质特征。地形主要指中地形部位与微地貌或景观单元; 成土母质则为第四纪风化壳的物质组成、岩性与堆积状况。一般情况下, 在地形类型划分及其特征描述中, 河流及河谷冲积平原分河漫滩、低阶地、中阶地、高阶地, 冲积平原低平地、低洼地、倾斜平原等; 黄土地貌包括塬、梁、峁、坪、边坡、坡麓、沟坝地、川地等; 洪积扇与山前平原包括扇形地顶部、扇形地中部、扇形地下部(前缘)、扇前扇间低洼地; 低山丘陵漫岗包括丘陵顶部、丘陵坡面、丘陵坡麓、丘陵间谷地和洼地; 平原河

网地区可以分为排水较好的良水田、低平易涝田和渍害低洼田; 丘陵冲垄稻田分岗、冲, 而冲分冲头、中部、冲口; 岩溶地貌分石芽地、坡麓、峰丛洼地、溶蚀谷地、岩溶平原(盆地)等^[7]。景观类型和位置的差别决定了土壤过程和速率的不同, 是影响土壤形成发育和属性表现的主要因素^[10]。

成土母质包括残积物、坡积物母质、洪积—冲积物母质、黄土母质等。其中每一种类型又因为母岩种类或者搬运距离的远近或者再生环境等的不同产生多种分异, 如因年代的不同冲积物分近代河流冲积物、老第四纪洪积物, 又如黄土因形成的地质年代和沉积后环境的差异分第三纪上新世黄土、第四纪更新世午城黄土、离石黄土、马兰黄土等。母质类型的影响主要体现在土壤的粗粒和黏粒矿物种类和组成特征的差异上, 通常是土族划分的重要依据^[11]。

2.2.2 土壤特征层次(组合)与理化属性

特征土层的概念既包括为确定亚类以上高级单元所制定的诊断层和诊断层的细分, 还包括具有明显母质特征的土层、具有残留成土特征的发生层、异质性发生层以及发生过渡层。诊断层的形成是宏观尺度因子影响下的土壤发生过程的反映, 例如低活性富铁层就是亚热带季风气候区热性土壤温度和湿润土壤水分条件下形成的由土壤黏粒矿物组合和其离子交换性能决定的层次, 它可以跨越整个湿润亚热带, 因此作为富铁土土纲的诊断层。而区域性的特征层次则是各种景观—地体特征条件下形成的区域特有土层, 一般不会出现在跨地带的不同自然区域内。

土体各层次的物理化学性状构成土壤形成特征的一部分, 但通常指那些由区域景观—地体条件影响的特殊性状, 如极端的(砂或黏)机械组成、盐分富集、碱化、高矿化度、强烈的还原特征、明显污染等。受管理影响容易变化的属性, 如速效氮磷钾含量等, 往往与区域条件联系不大, 不属于区域形成特征, 而在基层分类中一般也不宜使用这些指标^[12]。

表1列出了我国一些典型区域的土壤形成特征。从中也可以看出, 地理上相近的区域具有某些类似的形成特征(如浙江衢州和安徽宣城样区), 而同一诊断层则可以出现在更广的空间范围内(如低活性富铁层从海南到安徽均可出现)。

表 1 一些代表性区域的土壤形成特征

Table 1 Soil formation features in some typical regions

区域	代表类型	景观—地体特征	特征层次	异常理化性状/质量特征
海南北部 ^[3]	热带超恒热湿润强风化区	台地、缓丘，更新世早、中、晚及全新世喷发玄武岩，矿物组成具有系列演变特征	受发育时间影响形成的不同厚度和发育程度（颜色、黏粒含量等）的低活性富铁层和铁铝层	某些土壤具有极低的盐基饱和度和比较高的铝饱和度
福建漳浦 ^[4]	亚热带热性湿润强风化区	沿海丘陵台地（平原—台地—低丘系列），不同时期的玄武岩	受地形部位影响形成的不同诊断层（锥形层、低活性富铁层、铁铝层）和不同发育程度的低活性富铁层	由黏粒、铁锰异常导致的某些土壤磷吸持能力极高或物理通透极差
浙江衢州 ^[5]	中北亚热带热性湿润低山丘陵区	低丘（岗、冲）、河谷平原，现代河流冲积物，第四纪红色粘土和紫色砂页岩残积物	受母质、地形和发育时间影响形成的粗骨淡薄红土层、均质红土层、褐斑红土层、铁锰斑纹层、焦砾层、焦砾斑纹层、砾石层等	母质导致的质地异常（如砂性）、与形态学特征相关的不同形态铁锰含量差异
安徽宣城 ^[6]	中亚热带北缘热性湿润低山丘陵区	低丘岗地（岗、冲），紫色砂页岩、第四纪红色粘土和下蜀黄土	受母质、地形和发育时间影响形成的淡薄红土层、均质红土层、焦斑红土层、网状红土层、淡薄黄土层、焦斑黄土层、铁锰斑纹层等	与形态学特征相关的不同形态铁锰含量差异
安徽怀远 ^[7]	温带温性湿润平原区	倾斜平原、宽阔的河流中阶地，不同年代河流冲积物、疏松的黄土性冲积沉积物、浅湖泊沼泽沉积物	受母质和局部地形影响形成的残留黑土层、砂礓结核层、砂质结构、砂壤质结构层、壤质结构层、不同质地的无新生结构的母质层	碳酸盐含量和形态差异、盐分含量差异、母质导致的质地异常（黏重、沙化）
沈阳东陵 ^[1]	暖温带温性湿润区	漫岗（顶、中、底）—黄土沉积，低丘，片麻岩风化沉积物和冰水沉积物	受地形部位和母质影响形成的不同厚度的黏化层和黏化斑纹层，不同质地（砂、壤）的母质层	可能因碳酸钙含量和游离硅含量不同产生更复杂的特征组合

1) 王秋兵, 等. 沈阳东陵样区土系记述, 2001.

3 区域性土壤形成特征在基层分类和质量评价中的应用

3.1 基层分类和土壤质量评价要素的共性

基层分类指标的选取原则和常用特征目前已经比较明确^[3, 12]，特别重视能体现区域空间变异和相对稳定的特性，并且能与土壤的利用和管理相结合。毫无疑问，基层分类指标体现了区域土壤形成因子和这些因子影响下的土壤特征的综合。

单一土壤特性在评价土壤质量差异时用途是十分有限的，因此通常必须将多个变量转化为统一的指标体系^[18]。目前针对土壤质量提出了各种评价体系^[7, 19, 20]，但无论在定性评价体系还是定量评价体系中，都注意不同层次指标的有机组合，以体现土壤质量的综合意义和影响总体质量的因子多元性。

以定性的 USDA 土地生产潜力^[19]分级为例，评价指标中表示区域特征的坡度和排水等级以及与此相关的土层厚度占据重要的位置，接下来障碍因子如盐分和有害物质含量也是重要的因子，表土质地

和渗透能力是与母质有关的继承性因子。易变的因子基本上不在考虑范畴之内。这说明了与土壤形成有关的稳定因子对土壤能力的重要决定作用。从这样的原则来看，基层分类指标和土壤质量评价因子具有共性，在区域的意义上它们很大程度上可以互相借用。

在定量的 Storie 指数分级（SIR）方法^[20]中，9 个属性被组合在计算公式中

$$SIR = (A \times B \times C \times \prod X_i) \times 100 \tag{1}$$

其中 A 为土壤形态指标，B 为表层质地指标，C 为坡度， X_i 代表 6 个指示排水等级、碱度、酸度、侵蚀、微地形和综合肥力的指标。每一个指标都经过标准化被确定在 1% 到 100% 范围内，然后转化为总体分值。

同样，可以注意到该方法对区域特征的重视程度。在土壤质量评价实践中，如果简单地将土壤质量与耕层养分相等同将会忽略一些决定性的因素，可能得出与实际相差甚远的结果。固然土壤肥力质量与养分状况密切相关，但决定土壤能力和表现的往往是形成过程和继承特征所决定的。

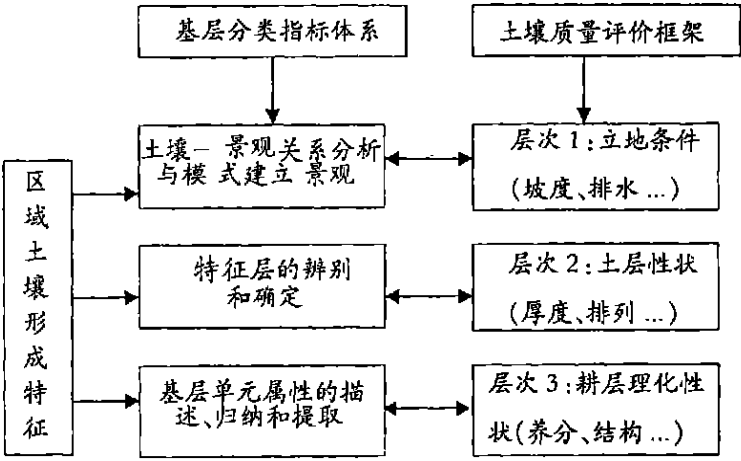


图1 基层分类和质量评价的区域土壤形成特征同一性

Fig. 1 Identities of regionalized soil formation features in basic soil classification and soil quality assessment

3.2 区域土壤形成特征与土壤质量评价

图1表示了在区域尺度用于基层分类和土壤质量的土壤形成特征的层次和内容的共性。由此提出一个评价土壤总体质量的模型

$$Q=f(H1)\times f(H2)\times f(H3) \tag{2}$$

式中 $H1, H2, H3$ 分别表示质量评价框架中区域土壤形成特征三个层次。每个层次可以包含一个以上的变量, 这些测定获得的变量可以通过标准化函数方法^[21] 转化为单一数值, 然后获得一个综合的数值度量。

Halvorson 用类似的方法^[18] 将评价结果与克立格插值方法相结合研制了景观水平土壤质量满足特定要求的概率分布图。

这样的体系比较综合地反映了土壤质量构成的实际, 并且最大的优势是便于确定评价的空间实体对象—具有特定景观特征的空间区域。实际上, 目前一些仅使用土壤物理化学特性为标准的评价体系和方法只能针对土壤个体进行评价, 如果要了解区域土壤质量必然要解决评价单元的空间定位问题。使用土壤图是解决的可能途径之一, 但众所周知, 传统的土壤图是依据土壤的发生特性而不是生产性能作为空间分异的标准, 这二者的变异规律无疑不是任何时候都一致的。与此相对应的是, 考虑区域土壤形成特征的评价体系直接将景观—地体特征作为

评价的属性因子, 景观单元特征不仅是土壤基层分类指标和类型确定的重要依据, 也成为决定土壤基础质量的重要因素。

4 构筑服务基层分类和土壤质量评价的公用数据库

区域土壤形成特征是土壤基层分类和土壤质量评价的共同基础。这样的模式将基层分类研究与其应用有机地结合起来, 既体现基层分类研究为土壤合理利用和管理服务的重要目的, 也客观地体现决定土壤质量的因子的多尺度和多元性。任何评价体系中, 单一的模型只是对土壤质量的一种理解, 必须与评价的空间实体相结合。构筑一个包含区域背景和土壤形成特征的数据库是基层分类和各种评价的前提。

表2是针对上述目的建立的一个关系型数据库的属性数据结构, 它包含从评价单元到代表性单个土体的多级信息, 既包含表征各种土壤属性的字段, 也包括各种主要的景观环境数据, 是区域性土壤形成特征的体现。它通过土体编码应用土壤个体信息, 并通过制图单元编码与空间评价单元相连接, 从而可以结合GIS技术直接输出各种目的的评价结果空间分布图^[24]。

表 2 基层分类和区域土壤质量评价公用属性数据库结构
Table 2 The structure of soil and terrain digital database

单元信息

1 制图单元编码 2 分类单元(土族/土系)编码 3 单元名称 4 暂定单元编码 5 单元组成百分比(如果制图单元中包含多于一个分类单元时) 6 表层质地 7 坡度 8 侵蚀度

景观环境数据

9 分类单元编码 10 暂定分类单元编码 11 建立日期 12 母质 13 地形 14 植被 15 排水情况 16 地表石质度(%) 17 土地利用状况

典型单个土体数据

18 分类单元编码 19 暂定分类编码 20 单个土体编码 21 经度 22 纬度 23 海拔高度 24 FAO 分类 25 CST 亚类 26 上级分类单元 27 采样日期 28 表层有机碳(gkg⁻¹)

土壤发生层数据

29 单个土体编码 30 发生层数目 31 发生层深度 32 诊断层 33 诊断特性 34 润态颜色 35 干态颜色 36 结构类型 37 粗碎屑的丰度(%) 38 过度状况 39 总砂量(2.0-0.05mm) 40 粉粒(0.05-0.002mm) 41 粘粒(<0.002mm) 42 质地(美制) 43 容重(kgdm⁻¹) 44 水提 pH 45 盐提 pH 46 CEC(pH7.0, cmolc(+)kg⁻¹) 47 有机碳(gkg⁻¹) 48 全氮(gkg⁻¹) 49 全磷(gkg⁻¹) 50 盐基总量(cmol(+)kg⁻¹) 51 盐基饱和度(%) 52 电导率(Ecc, dsm⁻¹) 53 交换性 H⁺(cmol(+)kg⁻¹) 54 交换性 Al³⁺(cmol(+)kg⁻¹) 55 交换性 Ca²⁺(cmolc(+)kg⁻¹) 56 交换性 Mg²⁺(cmolc(+)kg⁻¹) 57 交换性 K⁺(cmol(+)kg⁻¹) 58 交换性 Na⁺(cmol(+)kg⁻¹) 59 水溶性 Ca²⁺(cmol(+)kg⁻¹) 60 水溶性 Mg²⁺(cmol(+)kg⁻¹) 61 水溶性 Na⁺(cmol(+)kg⁻¹) 62 水溶性 K⁺(cmol(+)kg⁻¹) 63 水溶性 CO₃-2(cmol(+)kg⁻¹) 64 水溶性 HCO₃-1(cmol(+)kg⁻¹) 65 水溶性 SO₄-2(cmol(+)kg⁻¹) 66 水溶性 Cl⁻(cmol(+)kg⁻¹) 67 碳酸盐总含量(gkg⁻¹) 68 石膏(gkg⁻¹) 69 矿物类型(AL 水铝英石、CH 绿泥石、IL 伊利石、KA 高岭石、MO 蒙脱石、SE 三氧化二物、VE 蛭石) 70 Fe、Al、Mn 等全量分析数据 71 其他特殊项目

参考文献:

[1] Jenny, H. Factors of Soil Formation[M], McGraw-Hill, New York, 1941.

[2] United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Soil Survey Manual [M]. U.S. Dep. Agric. Handb. 18. 1993.

[3] 张甘霖, 龚子同. 中国土壤系统分类中的基层分类与制图表达. 土壤[J]. 1999, 31(2): 64~69. 1999.

[4] Karlen D, Mausbach L. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation[J]. Soil Science Society of America Journal. 1997, 61: 4~10.

[5] 杜国华, 张甘霖, 龚子同. 论特征土层与土系划分[J]. 土壤, 2001, 33(1): 1~6.

[6] Van Engelen, V. P. Global and national soil and terrain digital databases (SOTER). Procedures and manual (revised edition) [M]. ISSS-UNEP-FAO-ISRIC, Wageningen, the Netherlands, 1996.

[7] 王蓉芳, 曹富友, 彭世琪, 等. 中国耕地的基础地力与土壤改良[M]. 北京: 中国农业出版社. 1996.

[8] Ruhe, R. V. Geomorphic surface and nature of soils[J]. Soil Science. 1956 82: 441~455.

[9] Hudson, B. D. The soil survey as a paradigm-based science[J]. Soil Science Society of America Journal. 1992, 56: 836~841.

[10] 张甘霖. 土系研究与制图表达[M]. 合肥: 中国科技大学出版社. 2001

[11] 龚子同 等. 中国土壤系统分类 ~ 理论、方法、实践[M]. 北京: 科学出版社. 1999.

[12] 张凤荣, 黄勤. 土系分异特性的选取原则以及土系划分方法. 土壤[J]. 2001, 33: 18~21.

[13] 龚子同, 黄成敏. 海南岛北部火山岩分布区土壤—景观关系研究[J]. 土壤. 2001, 33: 13~17.

[14] 黄金良, 陈健飞, 陈松林. 闽东南漳浦样区的土系划分与土地利用[J]. 土壤. 2001, 33: 22~25.

[15] 魏孝孚, 章明奎, 历仁安. 浙江衢县样区土系的划分[J]. 土壤. 2001, 33: 26~31.

[16] 顾也萍, 吕成文, 刘付程, 等. 安徽宣城样区土系的划分[J]. 土壤. 2001, 33: 7~12.

[17] 杜国华, 张甘霖, 龚子同. 淮北平原土系的划分[J]. 土壤. 1999, 31(2): 70~76.

[18] Halvorson, J. J., J. L. Smith, R. I. Papendick. Integration of multiple soil parameters to evaluate soil quality: a field example. Bio. Fertil. Soils[J]. 1996 21: 207~214.

[19] Keltingbiel, A. A., and P. H. Montgomery. Land capability classification. Agriculture Handbook No. 210[M]. Soil Conservation Service USDA, Washington, DC. 1973.

[20] Stonie, R. E. Handbook of soil evaluation. Associated Students Store [M]. U. Cal. Berkeley, CA. 1964.

[21] Karlen D L, Stott D E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran J W, et al (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment[C]. Soil Science Society of American Publication No. 35. Inc. Madison, Wisconsin, USA, 53~72. 1994.

[22] 张学雷, 张甘霖, 龚子同. 中国土壤系统分类土系数据库的建立、更新与应用. 土壤[J]. 2001, 33(1): 42~46.

Regionalized Soil Formation Features and Their Application in Basic Soil Classification and Soil Quality Assessment

ZHANG Gan-lin, DU Guo-hua and GONG Zi-tong

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Abstract: Regional soil formation features refer to local soil formation background features and soil properties determined by these local-scale factors. They together make up not only criteria for basic soil category classification but also indicators for regional soil quality assessment. The components of local soil formation features of some typical regions are analyzed and presented. The paper discusses the common application of them in regional soil classification of basic categories and soil quality assessment. A soil quality assessment model incorporating different levels of soil formation features is introduced which focuses more contributing factors rather than nutrient status of surface soils only as adopted by some current soil quality evaluation methods. For the purpose of effective use of local soil formation features, the structure of soil and terrain digital database is introduced.

Key words: regional soil formation features; soil classification; soil quality; assessment

《中国紫色土(下篇)》即将出版

紫色土是我国在世界上的一种特有的土壤资源, 主要分布在我国南方地区, 集中分布在四川盆地, 紫色土研究无论在理论和实践上均有重要意义。中国科学院成都山地灾害与环境研究所土壤研究室(前身为中国科学院成都分院土壤研究室)在1991年曾经出出版了《中国紫色土(上篇)》, 主要总结了四川盆地紫色土的研究结果。

现在, 由何毓蓉研究员主编的《中国紫色土(下篇)》已完成。该书对全国其它10多个省区紫色土进行了研究, 同时在学科上补充了上篇尚未涉及的领域。全书分为16章, 计60万字, 主要内容包括: 中国紫色土资源、紫色土分布区的地理环境、紫色土的母岩母质与风化过程、紫色土的系统分类、紫色土的结构、紫色土的酸碱性、紫色土的胶体与肥力、紫色土的营养元素与施肥、红层地区生命元素地球化学、紫色土的微生物生态、紫色丘陵区的水本固氮与坡坎系统、红层古风化壳特征、紫色土的退化与农业可持续发展等。

目前该书已经被批准为由中国科学院出版基金资助出版的科学专著, 将由科学出版社于年内出版。欢迎订购!

联系人: 丁朝燕 电话: 028-5227124 E-mail: root@e1221.net