

南极半岛海洋气候区的土壤 空间可变性与土壤景观

陈 杰 龚子同

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所) 南京 210008)

摘 要 本文通过对南极海洋气候区自然环境和地表特征分析,指出本区土被发育与分布具有明显的不连续性特征;同时,在分析研究本区成土因素的空间变化格局及其对土壤发生、发育与演化影响的基础上,论述了南极海洋气候区土壤属性上的强烈空间可变性和类型上的高度分异性;最后,对本区有代表性的土壤景观系列进行了分析,指出成土因素空间变异的微域性特点造成了本区土壤景观的多样性与复杂性,本区自然环境的快速变化可能最终导致土壤景观的演变与重塑。

关键词 南极;土壤;空间变异;景观

中图分类号 S153

与地球上其他地区的土壤一样,在大的空间尺度上南极土壤可以按传统的发生学理论划分地带性土壤(zonal soils)、隐域性土壤(intrazonal soils)以及泛域性土壤(azonal soils)^[1]。由于气候因素在南极地区各种成土因素中处于主导地位,早期一些根据气候-生物条件的土壤区带划分的土壤地理学研究中甚至没有体现隐域、泛域性土壤。譬如,Tedrow 曾把整个南极地区划分为3个土壤带,其中寒漠土带(cold desert zone)位于66°S以南的干旱内陆地区;极地漠土带(polar desert zone)位于60°S附近;而苔原带土壤(tundra soils)则覆盖南极半

岛北段及其毗邻岛屿等海洋气候区、60°S以外、40°S以内的南大洋(Southern Sea)海域岛屿^[2]。在南极地区,水分条件直接制约着土壤形成与发育过程,而降水量和气温则是土壤水分含量及其有效性(water availability)的控制因素。因此,Campbell和Claridge根据气温和降水量将南极地区不同气候区内的土壤归纳为极干旱土壤、干旱土壤、干旱至亚干旱土壤、海洋性亚干旱土壤以及湿润土壤^[3](表1)。在南极海洋气候区分布的土壤均属于湿润土壤,即表层土壤在一年内的任何时间均可能有短期的自由水活动或非冻结(unfrozen)状态存在。

表1 南极气候带与土壤水分状况
Table 1 Classification of Antarctic climate and soil moisture regime of different zones

南极气候带	地理位置	气温变幅 (°C)	降水量(mm)	土壤水分状况
内陆高原 (Interior Antarctic plateau)	东、西南极内陆冰原 (ice sheets)	-15 ~ -16	20 ~ 100	无地表裸露
内陆山地 (Inland Mountain)	南极横贯山脉 (Transantarctic Mountains) 内陆一侧	-5 ~ -50	< 50	极干旱 (Ultraxerous)
中心山地 (Central Mountain)	南极横贯山脉内陆大部	+1 ~ -40	50 ~ 100	干旱 (Xerous)
滨海山地 (Coastal Mountain)	南极横贯山脉滨海一侧, 毗邻罗斯冰盖 (Ross Ice Shelf)	+5 ~ -30	100 ~ 200	干旱至亚干旱 (Subxerous-xerous)
滨海地区 (Coastal Antarctic)	东、西南极滨海与南极半岛东海岸地区	+10 ~ -20	200 ~ 500	海洋性亚干旱 (Oceanic xerous)
海洋气候区 (Maritime Antarctic)	南极半岛西海岸以及毗邻岛屿	+12 ~ -12	200 ~ 1000	湿润 (Moist)

较高的气温和降水量以及相对强烈的生物活动是导致南极海洋气候区土壤发生、发育与演化过程不同于南极其他地区的关键因素^[3]。由于自由水分和生物活动在空间和时间上参与土壤形成与发育过程的强度较大、冰缘地貌过程导致的地表形态改造与母质重新分配作用较强, 南极海洋气候区与南极其他地区相比, 土壤的空间可变性 (spatial variability) 更大、土壤类型更多、土壤分布的微域性与不连续性更加明显。土壤空间可变性是成土因素空间变异及其动态变化过程的直接结果和客观表现。因此, 对成土因素与成土过程的深入分析, 是揭示土壤属性变化与类型分异的最常用和最有效手段。

1 土壤空间可变性及其影响因素

1.1 地表裸露状况与土被不连续性

从中新世开始, 南极地区绝大部分地区就已为冰盖和冰川覆盖, 迄今尚未发现形成于中新世以前风化与成土作用的南极古土壤^[3]。换言之, 地表为常年性冰雪覆盖, 事实上造成土被 (soil catena) 发育的不连续性。气候变化导致的冰川消退作用使南极气候区大部分地表裸露, 裸露地体分为基岩露头 (bedrock outcrop) 和风化沉积层 (regolith) 两种类型, 但并不是所有裸露地表均有土壤的形成与发育。

对于那些新近出露地表的基岩, 由于遭受外界营力作用的时间较短, 岩石尚处于风化的初始阶段, 风化层难以形成, 成土过程尚未发生; 对于某些裸露基岩已处于较高风化阶段的区域, 由于风化产物为冰川、流水、风力、重力等外力因素的侵蚀作用而发生搬运、迁移, 未能在原地形成相应的残留风化层, 因此也没有土壤的发生、发育。裸露的风化沉积地表是南极海洋气候区土壤形成与发育的主要区域, 然而, 对于那些冰缘地貌过程强烈、地表高度不稳定的区域, 表层物质不断在外力作用下发生迁移, 如冰川运动、泥石流、水蚀与风蚀作用导致的表层物质水平移动, 以及地表沉积覆盖和剖面冻扰 (cryoturbation) 作用导致的物质垂直迁移, 致使成土过程频繁中断, 土壤理化属性和形态特征难以发育。因此, 对于当前那些沉积风化及其上发育的土壤已被完全剥蚀或者被新近沉积物完全覆盖的地表, 可以认为没有土壤的形成和分布。

常年为冰雪覆盖、裸露地表岩石风化微弱和风化产物迁移、以及沉积风化地表强烈不稳定导致南极海洋气候区内土被发育呈现不连续模式 (图1)。同一气候条件下, 影响地表裸露状况、物质迁移与能量分配是以地形为主导的微域因素。因此, 南极海洋气候区土被发育的不连续性同时具有显著的微域性特点。

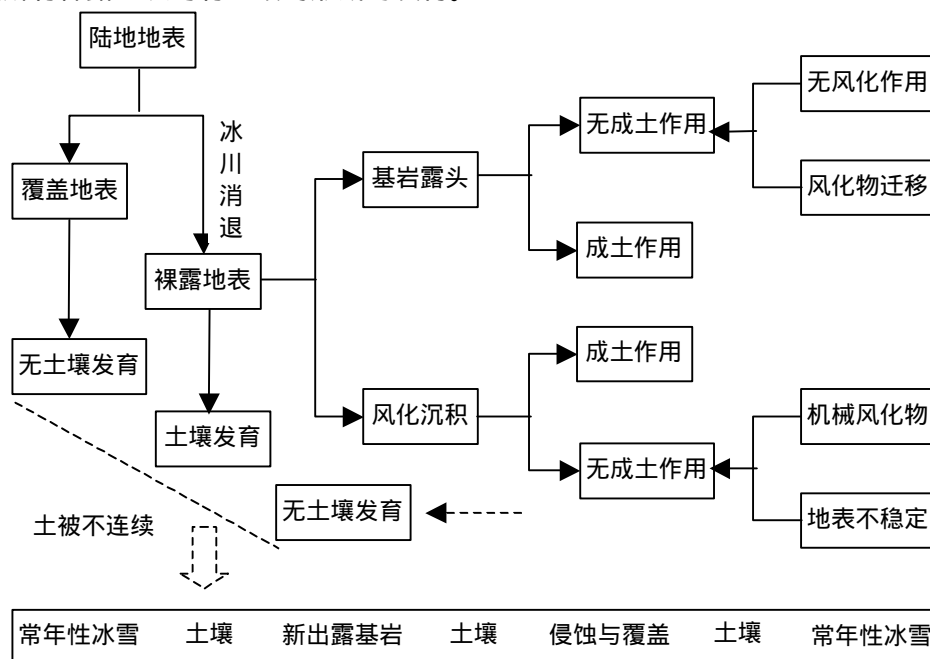


图1 南极海洋气候区土被不连续性及其影响因素分析

Fig. 1 Analysis of discontinuity of soil catena and its influencing factors in the maritime Antarctic

1.2 土壤性状空间可变性与发生机制

在南极海洋气候区内无冰地表 (ice-free ground surface) 上发育的土壤, 其空间上的性状变化与类型分化非常明显, 几十米甚至几米范围内可能分布着两种或两种以上不同的土壤类型, 而且单个土体 (pedon) 之间表现出强烈的突变特点。理论上, 任何成土因素如地形、母质、生物活动以及风化-成土年龄的空间变化都直接对土壤形成与演化产生影响 (表 2), 而土壤高度的空间可变性更多地是由几种成土因素空间变化共同作用的结果。譬如, 微域空间上的地形变化不仅导致微气候环境的差异, 从而影响太阳辐射与大气降水的重新分配, 造成土壤含水量及其有效性空间上的变化; 而且地形空间变化很大程度上导致地表遭受侵蚀和承接沉积方面的差异, 造成母质和土层厚度的明显变化。距离海岸远近以及海拔高度则决定海洋脊椎动物在不同地形部位的活动强度和栖息地分布, 从而直接影响海洋有机物进入土壤的途径和强度^[4]。

自由水既是气候时间和空间变化的产物, 又是参与南极海洋气候区冰缘地貌过程与土壤冻-融作用的关键介质, 其空间变化不仅影响土壤过程和物质在水平和垂直方向上的运移, 进而影响土壤的层次分化与剖面形态表达, 而且直接制约地表植被的生长发育, 从而对土壤有机质积累作用产生重要影

响。冰川活动和自由水参与的强烈的冰缘地貌过程使南极海洋气候区地表被切割得十分破碎、凌乱, 大致可分为夷平与基岩残积地貌、冰蚀与冰碛地貌、海蚀与海积地貌以及冰缘沉积地貌等几种地貌类型^[5], 成土母质在沉积类型、物质组成、风化程度、形成年龄方面表现出强烈的空间不均一性。由于南极土壤具有幼年性这一鲜明特点, 因此母质的空间分异很大程度上造成了土壤在土层深度、土壤颜色、机械组成、矿物学特性以及永冻层与活动层特征等属性上具有强烈的空间可变性^[6]。

在第四纪以来气候显著变化背景下, 南极海洋气候区现代地貌过程正在加强, 成土因素在时间序列上的动态演变进一步强化了它们在空间上的分异, 对土壤发展演化的速率与方向产生不同程度的影响, 导致土壤的空间可变性增强。譬如, 近 50 年来冰川日益加速的消退作用拓展了土壤发育空间、提供了新的母质基础, 同时也改变了冰川前缘及附近区域的土被结构, 增加了土壤空间变异的可能性。以寒冻风化作用、冻-融分选和蠕移作用、雪融作用为主要形式的冰缘地貌过程一方面导致成土母质和土壤物质在空间上的移动, 另一方面在时间序列上改变土壤的形成与演化过程速率, 大大提高了土壤属性在空间上的变异程度和土壤组合的复杂程度。

表 2 微域因素对土壤特性的影响

Table 2 Influences of site differences on soil properties

微域因素	空间变化	受影响土壤属性
微地形	坡地 (坡度、坡向、坡面位置)、山顶、洼地、冰川河床、动物栖息地、潮间带、海滩等。	地表-土壤物质能量交换界面; 土体厚度和剖面层次分; 土壤水分状况; 生物活动强度; 土壤盐分特性 (含量与分布); 土壤颜色; 质地; 土层深度与分化程度; 机械组成; 矿物学特征; 土壤盐分与特性。
母质	母质类型与组成, 地质历史过程, 风化程度与强度。	地表-土壤物质能量交换界面; 土体厚度和剖面层次分; 土壤水分状况; 生物活动强度。
地表特征	地表年龄、暴露程度 (植被盖度, 动物栖息状况、冰川与雪堤、新成沉积地体)、地表稳定性 (冻-融作用强度、组合形地状况) 等。	土壤颜色; 有机质含量与特性; 土壤结持性与结构; 土壤矿物学特征与盐分含量, 土壤微生物特性等。
生物活动	生物种类 (低等植物、高等植物或脊椎动物)、群落结构 (如地表植被优势植物为地衣、苔藓或是藻类; 动物栖息地是企鹅、海鸥或者是海豹)、地表植被盖度和栖息地动物活动强度。	多种土壤特性。
其他因素		

1.3 土壤类型空间分异与土壤景观

成土因素在空间上的侧向可变性是土链中土壤个体属性发生变异的根本原因, 土壤个体属性变异导致不同土壤类型在土被中的分异。土壤调查结果显示, 在面积仅数百平方公里的乔治王岛无冰地区,

就形成和发育了 WRB 分类系统中包括冻土 (Cryosols) 有机土 (Histosols)、雏型土 (Cambisols)、黑土 (Phaeozems)、冲积土 (Fluvisols)、薄层土 (Leptosols)、灰土 (Podzols)、粗骨土 (Regosols)、石质土 (Lithosols) 以及暗瘠土 (Umbrisols) 在内的 10 个土类 (great

group)^[7, 8], 形成了以高度空间可变性为特征的独特的土壤景观系列。

所谓土壤景观, 是指景观的土壤部分, 它同景观与土壤一样具有多维的变化特征。众所周知, 景观是在一定地域范围内, 可以明显察觉得到的一组限区形成的、特定的、有规律的地域, 具有明显的空间异质性, 由相互作用的缀块或生态系统组成, 具有可辩识性和空间上的可重复性、以及特定的结构、功能与时空变化特征。景观是气候、地形、地貌、动植物、土壤、时间、水分等多种自然过程共同作用的结果。土壤是影响景观形成与演化的重要因素, 其自身属性的变异与类型的分化又取决于景观类型的形成与演化。景观是土壤发生、发育的基础, 土壤是景观的具体体现^[9, 10]。图2为南极乔治王岛菲尔德斯半岛(Fildes Peninsula)典型样区土壤景观示意图, 其中在相同岩性的风化基岩地貌单元上, 由于风化程度和地表生物活动不同, 导致其上发育土壤的属性发生变异, 其发生学类型的差异甚

至跨越大土类。如位于景观 的土壤剖面为粗骨寒冻薄层土(skeleti-gelic leptosol), 而具有相同岩性母质的景观 由于风化层薄、砾石含量高、地表植被稀疏、有机质积累作用微弱、土壤发生层发育微弱, 因而形成筒育寒冻石质土(hapli-gelic lithosol)。景观 和 均为上升海岸地貌海鸟栖息地, 由于黑背鸥与企鹅生活习性与食物结构不同, 对地表扰动程度以及有机质输入土壤的途径、强度以及形状不同, 分别发育成腐殖寒冻暗色土(humic-gelic umbrisol)和鸟成寒冻粗骨土(Ornithogeni-gelic regosol)。景观 为古冰碛沉积, 土层深厚、地表稳定、植被茂密、有机质积累作用明显、剖面形态特征较为发育, 土壤类型为暗沃寒冻锥形土(Moll-gelic cambisol), 而发育于附近现代冰缘地貌上的景观 , 地表强烈不稳定、植被稀疏、冻-融作用强烈, 剖面形态特征微弱, 无明显的发生层次分化, 但土层深厚直达永冻层, 土壤类型为潜育扰动冻土(Gleyi-turbic cryosol)(图2)。

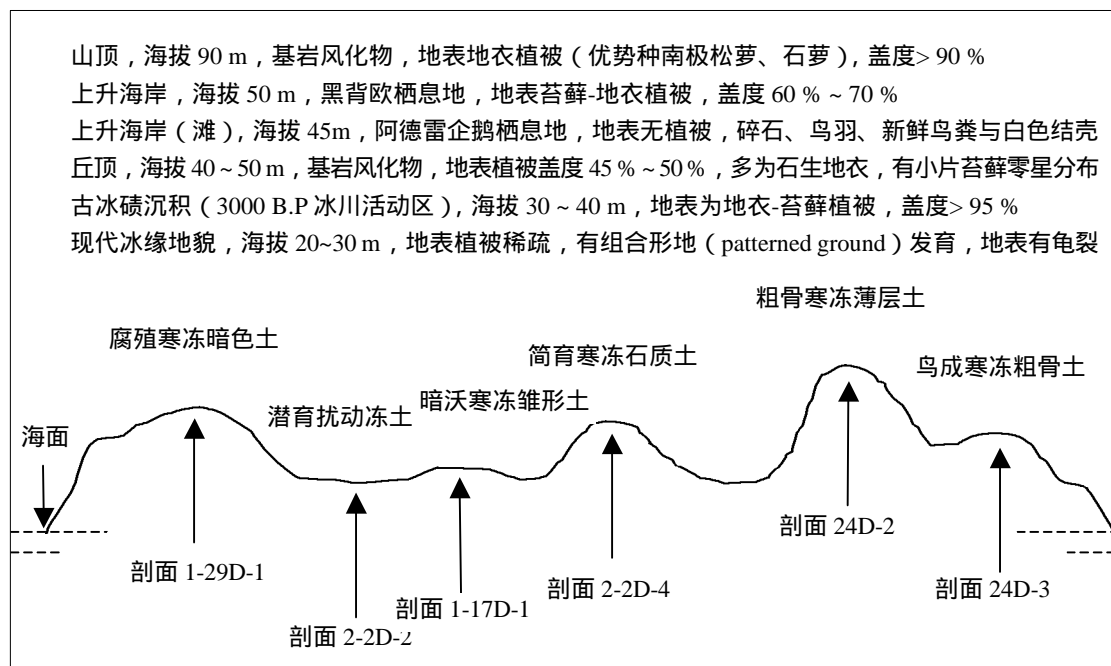


图2 南极海洋气候区菲尔德斯半岛典型土壤景观系列分布示意图

Fig. 2 A sketch showing major soil landscape series in Fildes Peninsula, the maritime Antarctic

土壤景观是特定空间内自然环境因素相互作用的结果在时间序列上的表达, 是一种相对稳定的自然状态。因此, 当特定空间内自然景观发生变化, 土壤性状、类型、分布以及综合的土壤景观表现就会随之发生变化。近年来南极海洋气候区气候变化

剧烈, 不仅进一步促进以冰缘地貌过程为主要营力的地表不稳定性, 而且对本区内的生物活动强度与范围产生直接影响。图2中景观 可能由于企鹅因气候变化发生迁徙、栖息地废弃而中断土壤的海洋性有机物输入, 同时地表遭受径流的侵蚀和下行水

淋洗作用而导致土壤发育与演化方向发生改变,随着时间推移,土壤景观内部发生分化甚至整个土壤景观发生演变,形成新的土壤景观^[11]。

理论上,只有当成土过程的速率大于土壤自然侵蚀速率,土壤才能发生、发展并保持演化过程在时间序列上的连贯性,进而产生土壤形状分化与剖面层次发育,形成特定的土壤景观。但在地表强烈不稳定的南极海洋气候区,地表侵蚀过程与沉积覆盖作用强烈,土壤发育中断现象在时间序列的相当频繁、在空间上的相当普遍。譬如,图 2 中景观中的土壤随时间的推移,基岩风化程度提高、土层厚度增加、地表植被发育和有机质积累过程加强而由石质土逐渐发育为薄层土。相反,景观 的粗骨寒冻薄层土也可能由于表层细土物质侵蚀、地表植被退化而导致土壤演化方向发生改变,最终退化为粗骨土或石质土。对于图 2 中的景观,土壤形成与演化过程在时间序列上有二种可能的方向:继续保持目前的发生、发育方向,随着冰缘地貌过程减弱或停止、地表渐趋稳定、植被逐渐繁茂,最终从潜育扰动冻土演化为冻土的其他发生类型;其次,周边区域强烈的冰缘地貌过程可能导致景观 不断承接泥石流、倒石堆、坡面蠕流等新的沉积物质,土壤与地表原有与外界的物质、能量交换界面被破坏、某些土壤发育过程中断,同时土层厚度增加,永冻层埋深与活动层特性改变,最终导致土壤脱离原来的冻土发育方向,从而演化为另外的土壤景观。

综上所述,南极海洋气候区影响成土过程的自然因素变异的微域性特点客观上造成本区土壤属性高度的空间可变性、土壤景观的多样性与复杂性。另一方面,自然成土因素在时间序列上的快速演变造成土壤发育速度与演化方向、土壤类型分异和分布格局频繁发生变化,最终导致空间上的土壤景观重塑。

2 主要结论

(1) 南极海洋气候区独特的地表环境导致本区土被具有发育上微域性和空间分布上不连续性的显著特点。

(2) 本区土壤表现出属性上强烈的空间可变性和类型上高度的空间分异性,气候特征与地貌活动历史所导致的本区成土因素在空间上的强烈异质性

是造成这一结果的根本原因。

(3) 成土环境强烈的空间变化导致本区土壤景观具有多样性特征,而自然环境的快速变化导致本区土壤景观同时具有时间序列上的高度可变性特点。

(4) 南极海洋气候区环境变化大背景下土壤发生、发育与演化的方向与速率变化,最终将在时间序列上对土壤可变性特征产生重大影响,并在空间系列上重塑本区土壤景观。

参考文献

- 1 McCraw JD. Soils of Taylor Dry Valley, Victoria Land, Antarctica, with notes on soils from other localities in Victoria Land. *N. Z. J. Geol. Geophys.*, 1967, 10: 498 ~ 539
- 2 Tedrow JCF. Soils of the Polar Landscapes. New Brunswick: Rutgers University Press, 1977, 638
- 3 Campbell IB, Claridge GGC. Antarctic soils, weathering processes and environment. Amsterdam, Elsevier Science Publisher, 1987, 43 ~ 70
- 4 陈杰, 龚子同, Blume HP. 南极半岛海洋气候区的土壤有机质积累过程. *土壤*, 2003, 35 (5): 364 ~ 369
- 5 谢又予. 中国南极长城站地区(菲尔德斯半岛)地貌与沉积. 北京: 海洋出版社, 1993, 215 ~ 263
- 6 Chen J, Gong ZT. Role of Lichens in Weathering and Soil-forming Processes in Fildes Peninsula, Antarctic. *Pedosphere*, 1995, 5 (4): 305 ~ 314
- 7 Blume HP, Beyer L, Kalk E, Kuhn D. Soils and soilsapes. In: Beyer L, Boelter M. eds. *Geocology of Antarctic Ice-free Coastal Landscapes*. Berlin, Springer-Verlag, Ecological Studies, 2002, 154: 91 ~ 113
- 8 ISSS/WRB (International Soil Science Society-World Reference Base for Soil Resources). World Reference Base for Soil Resources. Rome, ISSS-ISRIC-FAO, World Soil Resources Reports 84, 1998
- 9 张甘霖. 土系研究与制图表达. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001, 46 ~ 64
- 10 张学雷, 陈杰, 张甘霖, 檀满枝. 海南岛成土母质的地形多样性分析. *土壤学报*, 2004, 41 (2): 170 ~ 175
- 11 陈杰, 龚子同. 气候变化对南极海洋性气候区土壤发生与演变的影响. *第四纪研究*, 2004, 24 (2): 167 ~ 174

SOILS IN THE MARITIME ANTARCTIC . SPATIAL VARIABILITY AND SOIL LANDSCAPE

CHEN Jie GONG Zi-tong

(*State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)* Nanjing 210008)

Abstract Through analysis of natural conditions and ground surface features of the maritime Antarctic region, it was first found that the soil catena in the region was characterized by discontinuity. Meanwhile, based on knowledge of their soil-forming factors and their spatial variation, strong spatial variability of attribute and high differentiation of type of the soils formed in this region was demonstrated. Finally, the spatial diversity and complexity of the soil landscapes in the maritime Antarctic region were discussed. And it was concluded that accelerated changes in environmental factors influencing genesis and development of soils would ultimately lead to reshaping of soil landscapes.

Key words Antarctic, Soils, Spatial variability, Landscape

(上接第 339 页)

主要参考文献

- 1 国土资源部. 2003 年我国土地资源公报. 中国国土资源报, 2004 年 4 月 12 日第 2 版
- 2 国土资源部, 国家统计局, 全国农业普查办公室. 关于

土地利用现状调查主要数据成果的公报. 2001 (http://www.stats.gov.cn)

- 3 董元华, 张桃林. 基于农产品质量安全的土壤资源管理与可持续利用. 土壤, 2003, 35 (3): 182 ~ 186