

南极半岛海洋气候区的土壤

III. 冻-融作用与水分状况

陈杰¹ 龚子同¹ 阮心玲¹ Blume HP²

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008;

2 Institute of Plant Nutrition and Soil Science, University of Kiel, Kiel, D-24098 Germany)

摘要 自由水活动在南极海洋性气候区土壤形成与演化过程中发挥极为重要的作用。本文对土壤自由水的来源、冻-融作用、永冻层和活动层动态以及自由水参与下的物质迁移过程等几个方面进行了论述, 讨论了上述不同过程的影响因素以及土壤发生学意义, 指出以土壤水形态转化和自由水活动为基础的土壤过程具有显著的微域性特点, 是决定本区土壤发生类型与分布模式的重要因素之一。

关键词 南极; 土壤水分状况; 冻-融过程; 永冻层; 淋溶过程

中图分类号 S151¹.3

南极大部分地区寒冷、干燥的气候特征成为土壤发生、发育的限制性因素。由于非自由态水分在风化作用和土壤过程中的作用相对极小, 因此, 南极大部分地区、尤其是南极内陆地区缺少自由水参与的土壤发育过程相当微弱, 土壤形成演化过程极为缓慢。与南极其它地区不同, 南极海洋性气候区独特的地理位置和相对温暖、湿润的气候条件 (一般年份温度变幅从 +12 °C ~ -12 °C; 降水从 200 mm ~ 1000 mm) 决定了本区土壤在一年内至少有一段时间、甚至整个夏季有自由水活动。自由水在南极海洋气候区土壤的发生、发育过程中具有决定性的重要意义, 对地表冰缘过程、冻-融作用及冻扰过程、生物活动及有机质积累、土壤颜色分化、物质淋溶淀积、灰化与潜育化过程、盐分及其再分配模式等土壤性状和内部过程均具有深刻影响^[1,2]。与南极其它地区相比, 本区土壤的发生过程、土壤类型、土壤性状以及分布特征均具有显著区别。

1 土壤自由水的来源及其影响因素

南极海洋性气候区土壤自由水有 4 个主要来源: 夏季降雨、地表雪融水、溪流水扩散与侧渗以及土壤内部固态水的消融作用 (thawing action)。本区降水的主要形式为降雪, 主要集中在 5 ~ 10 月份。但降雨和雨夹雪 (sleet) 也时有发生, 主要集中在

夏季^[3]。本区夏季气温较高, 譬如在南极半岛西海岸附近的欺骗岛 (Deception Island), 夏季平均气温超过 0 °C 的时间几乎达到 4 个月, 地表积雪绝大部分融化。需要指出的是, 地表积雪的融化对土壤自由水分的贡献不仅取决于地表温度状况, 同时取决于地表潜在水分条件即积雪厚度, 因此, 即使在一个很小范围内, 那些影响地表温度与积雪分配的微域环境因素 (micro-environmental factors of particular site) 如微地形部位、坡度与坡向、风向与风速、地表反照率 (albedo of ground surface)、地表平滑程度 (surface roughness)、地表土壤与岩石的颜色等, 均可能对融雪过程产生的自由水量产生重要的影响。

南极海洋性气候区内夏季由积雪融化形成的地表径流汇集而成的季节性溪流分布相当广泛, 主要通过自由水的侧渗与扩散作用对发育于谷畔、坡底等地势比较低洼的土壤的水分状况产生影响。即使土壤表面雪融水供给不足, 这些区域内的土壤至少在一段时间内仍然含有丰富的自由水。因此, 在南极海洋性气候区内, 土壤地表温度状况、潜在水分条件即积雪厚度只能决定原地融雪水进入土壤的数量, 而并不能最终决定土壤自由水含量高低 (图 1)。

土壤自由水的另一个重要来源是土体内部固态

①国家自然科学基金 (40001011) 资助项目。



a 地表雪融水在坡面扩散形成的湿润土壤带



b 融雪溪流扩散在坡底形成的湿润土壤带

图 1 南极海洋气候区雪融作用形成的土壤自由水

Fig. 1 Moisture available in soils from snow-melting in the maritime Antarctic

水的消融作用。南极海洋性气候区的土壤夏季大部分时间处于消融状态，内部消融作用对土壤水有效性 (moisture availability) 和自由水分状况的影响程度主要取决于土壤地表状况和土壤自身性状。首先，任何影响土壤与大气发生热交换过程的地表因素都会不同程度地影响土壤的消融作用的强度；其次，土壤的土层厚度、层次分化、永冻层 (permafrost layer) 与基岩埋深等剖面特征对土壤发生消融作用的深度产生重要影响；而土壤有机质含量、机械组成、结构、容重以及孔隙度等决定持水量的土壤属性是消融作用产生土壤自由水数量的最终决定因素。

2 土壤冻-融过程与剖面形态发育

南极海洋性气候区土壤冻结期 7~9 个月，消融期 3~5 个月，土壤潜在含水量高，年内水分形态转化时间集中，是南极土壤冻-融交替过程最为强烈的地区，深刻影响着本区土壤的发生、发育与演化进

程^[4]。冻-融过程的实质是土壤和风化壳中不同形态水分之间相互转化的过程，土壤自由水是这一过程的产物，同时也是土壤冻扰作用的物质基础。与土壤自由水含量的空间变化一样，土壤冻-融过程同样受微域环境因素和土壤自身属性的深刻影响。

2.1 土壤冻-融过程的特点与影响因素

受地形部位、地貌类型、沉积年龄，地表植被状况以及土壤发育程度等微域环境因素和土壤自身属性的综合影响，南极海洋性气候区土壤冻-融过程表现出鲜明的微域性特点。即使在几十米甚至几米的距离之内，具体地点的不同导致土壤冻-融交替作用发生的时间（从冻结转入消融以及从消融转入冻结）、土壤冻结期与消融期持续的时间长短、冻-融作用发生的深度与强度，以及土壤水分动态变化规律具有明显差异（图 2）。

一般而言，发育在新近沉积物上土壤深厚、砾石含量少的土壤冻-融作用强烈。以南极海洋性气候

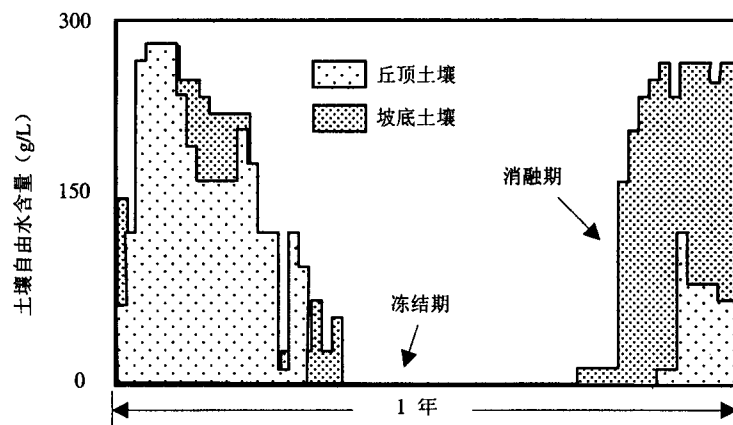


图 2 微区地形部位对冻-融作用及土壤自由水动态的影响

Fig. 2 Variations of freeze-thaw cycle and soil moisture dynamics resulting from site difference within a small area

区的乔治王岛为例，这类土层深厚的土壤多分布在地形部位较低、地势较为开阔的区域，外部水分和热量条件较好，加上土层深厚，细粒物质含量高，易于吸收和保持水分，土壤潜在含水量较高，具备了发生强烈冻-融过程的良好外在条件和内在物质基础。南极海洋性气候区内此类土壤冻扰特征一般较明显，地表以石环 (stone circle)、细土环为标志的组合形地 (patterned ground) 发育强烈。分布于坡面上的土壤，常见蠕移和泥流现象 (creep and solifluction)。

地表植被生长良好的土壤冻-融作用微弱。覆盖

度>50%的植被对土壤冻-融活动具有显著的抑制作用。一方面，植被稳定生长表明沉积物历史久远，地表冰缘活动趋于停止，组合形地已由物质分选阶段、形成和变形阶段，进入最后的稳定阶段，削弱了冻-融作用发生的物质基础。另一方面，茂密的植被能在一定程度上影响土壤对太阳辐射的吸收，阻碍土壤与大气之间直接的热量交换，同时，植被在夏季影响土壤对融雪自由水分的承接。另外，由于植被对土壤的固结作用，冻-融作用的顺利进行受到抑制^[5]。

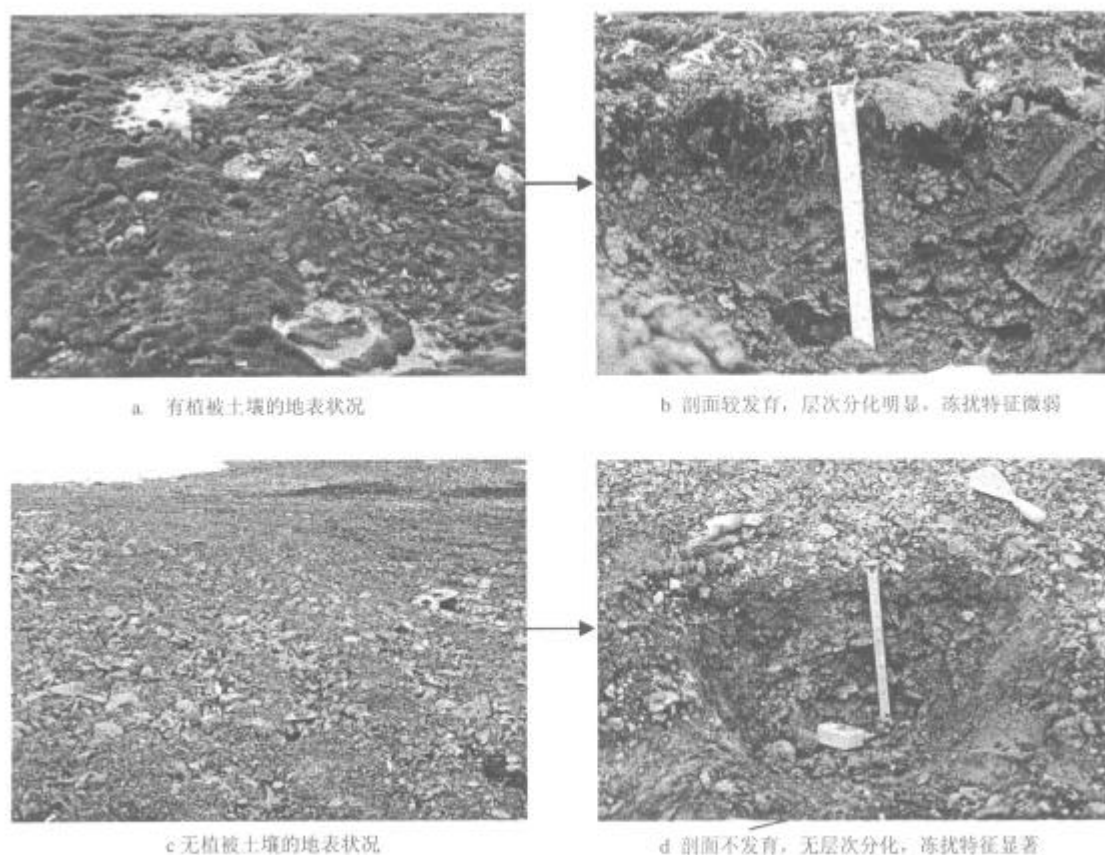


图3 地表植被状况对冻-融过程与冻扰作用的影响

Fig. 3 Significance of ground vegetation on freeze-thaw cycle and cryoturbation

分布海拔与坡向是影响土壤冻-融活动强弱的重要因素。尽管海拔越高，岩石的物理风化作用越强，但总体而言，土壤的冻-融活动一般较微弱。首先，岩石风化产生的细粒物质受风力作用搬运和雪融水的冲刷，因此土壤的土层一般较薄，砾石含量高，粗骨性为其机械组成的特征，吸收和持水能力较弱，缺乏发生强烈冻-融作用的内部基础。外部因素方面，由于风力较强，降雪难以在海拔高处积聚，

潜在水分来源相对缺乏，加上消融期间自由水易于流失，土壤冻-融作用因此受到限制。土壤冻-融作用在南极海洋性气候区受坡向影响巨大，由于冻-融作用赖以发生的水分和热量条件北坡均优于南坡，加上北坡强烈的寒冻风化作用 (frost weathering) 使土壤的土层厚度不断加深、细粒物质含量不断加大，为进一步的冻-融作用提供了良好的土壤条件，因此分布于北坡的土壤其冻-融作用明显强于南坡。

2.2 土壤冻-融作用对土壤形态发育的影响

普遍存在于南极海洋性气候区的冻-融作用对本区土壤发生、发育以及形态特征产生深刻影响,对土壤的形成演化具有两方面的重要意义。首先,冻-融过程中以冰冻风化为主导形式的物理风化作用显著增加了土体中细粒物质的含量,为土壤属性的发育提供物质基础;同时,冻扰作用有效促进土壤物质的混合和在剖面的重新分配。另一方面,冻-融活动不断搅乱土体内部的层次分化,破坏土壤结构和剖面的整体发育,对土壤的形成与演化产生消极影响。强烈冻-融作用下,土壤的外在和内部形态属性表现出独有的形态特征。

盛夏消融期,南极海洋性气候区内土体深厚、细土含量高的土壤不同程度地表现出明显的翻浆现象,表现出泥泞、陷足的地表特征,在坡底及谷地,某些土壤湿陷深度可达到 60 cm 或更深。在那些发育不连片、呈斑块状分布的土壤地表,风化碎屑及崩解岩石缝隙中的细土在冻-融作用下受挤压而突出地表现的现象十分普遍(图 4)。



图 4 消融期内地表特征明显的土壤翻浆现象

Fig. 4 Frost boiling during thawing period

植被稀疏或无植被土壤地表裂隙发育,宽度一般几毫米。地表粗糙,细土物质瘤状形态发育明显,瘤状结构直径一般< 5 mm。表层土壤有海绵状和气

孔状结构发育,这是土壤冻-融过程导致的典型形态特征。海绵结构在南极海洋性气候区的各种土壤中均有不同程度的发育,而气孔状结构多形成于冻-融作用强烈的土壤。土壤表层海绵与气孔状结构之下的土壤中,有明显的鳞片状结构层,为土壤冻-融活动产生的另一个典型的形态特征。鳞片结构层中粉砂级颗粒含量比上覆和下伏土层为高,土体深厚的土壤鳞片结构层结构发育程度较好。

由于土壤物质冻-融交替下不断发生扰动作用(stirring process),致使冻-融活动强烈的土壤不能稳定地进行层次分化与剖面发育。总体而言,南极海洋性气候区成土作用和土壤发育、演化程度要远远高于南极大陆的绝大多数土壤,但土壤层次的分化和剖面整体发育方面却不如某些南极内陆的土壤。一般情况下,冻-融过程越强烈,剖面的层次分化就越不明显。例如发育在坡积物和冲积物上的土壤,尽管土层深厚,剖面的内部层次却十分凌乱,而在冰缘地貌活动强烈的区域,土壤基本上没有明显的剖面分化^[6]。

3 永冻土层特性及其对土壤水分状况的影响

地球上 37 % 的永久冻土(permafrost) 分布在南极地区。事实上,只有 25 % 的南极陆地下伏有永冻层^[7]。南极 3 个生态-气候带,即南极横贯山脉生态-气候带、南极半岛及其附近岛屿生态-气候带以及东南极海洋性生态-气候带的无冰区(ice-free area)面积,分别占南极无冰区总面积的 55 % (30400 km²)、14 % (8000 km²) 和 4.6 % (2500 km²)^[2]。由于气候、植被、土壤、永冻层特性、冰缘地貌过程的类型与强度方面存在显著差异,不同生态-气候带内永冻层(permafrost layer)及活动层(active-layer)对土壤水分状况以及土壤发生、发育的影响程度明显不同(表 1)。

南极海洋性气候区内的南极半岛及其附近岛屿

表 1 南极不同生态-气候区地区永冻层与地下冰特征^[7]

Table 1 Characteristics of permafrost and ground-ice in the different eco-climatic regions of Antarctica.

生态气候区	纬度 (°S)	永冻层分布	永冻层		活动层		地下冰类型*
			形式	含水量 (g/L)	厚度 (cm)	含水量 (g/L)	
南极半岛及附近岛屿	61 ~ 72	不连续	湿	160 ~ 200	40 ~ 150	58 ~ 210	icd, pi, rg, iw
东南极海洋性气候区	66 ~ 71	连续	湿, 干 (?)	60 ~ 220	60 ~ 150	15 ~ 280	iw, icd, th, pi
南极横贯山脉	71 ~ 87						
海岸地区		连续	湿	61 ~ 770	30 ~ 60	10 ~ 100	iw, icd
内陆谷底		不连续	干	16 ~ 95	20 ~ 40	3 ~ 30	iw, sw, rg, icd
内陆谷坡		连续	干, 湿	—	20 ~ 30	3 ~ 20	iw, sw, rg, icd
高低山谷		连续	干, 湿	—	20 ~ 25	3 ~ 30	iw, sw, rg, icd
高原边缘		连续	干, 湿	13 ~ 300	15 ~ 20	3 ~ 40	iw, sw, rg, icd

* iw - 冰楔体; sw - 砂楔体; rg - 石冰川; pi - 冰丘; icd - 冰芯漂砾物。

地区,夏季消融期永冻层埋深一般在 40 ~ 150 cm 之间^[7,8],多呈不连续分布,潜在含水量丰富。永冻层的下限称为永冻界面(permafrost table),由于受气候波动和其它因素的影响,不同年份永冻界面出现的深度有所不同,但永冻层(土壤或岩石)的温度必须连续 2 年(two consecutive years)保持在 $^{\circ}\text{C}$ 以下。永冻界面以上受冻-融作用影响的层次称为活动层,是发生冻胀分选(frost sorting)、ice segregation(冰间离)、以及翻浆和泥流现象的主要层次。活动层的界定对于南极内陆的绝大多数土壤没有实际意义,因为南极内陆土壤中含水量极低,通常 $< 30 \text{ g/L}$ ^[8],这样低的水分条件基本达不到冻结土壤的最低要求(含水量 50 g/L),冻-融过程无从谈起。从这一意义上说,深厚的活动层及其层内强烈的冻-融过程是南极海洋性气候土壤形成与演化方面区别于南极其它地区土壤的最显著特点之一。上文中已

经详细论述了本区土壤的冻-融过程以及对土壤发育的影响,这里不再赘述。

南极海洋性气候区永冻层埋深一般在 40~150 cm 之间,这意味着本区内土层浅薄的土壤其剖面中不会有永久冻层出现。在土层厚度可达永冻层的土壤中,消融期内地表自由水入渗以及土壤固态水融化形成垂直运动的水流,由于永冻层的顶托作用,往往在永冻界面处发生滞水现象,致使周年内的冻-融作用在这一部位更加强烈。在水温条件较好的土壤中,剖面下部在滞水的作用下,土壤甚至有明显的潜育特征发育。对于土层较薄的土壤,由于剖面中没有永冻层阻隔,消融期即使形成下行水流,也会通过剖面底部风化母岩的裂隙发生快速渗漏,很难在下部土体形成滞水,土壤没有明显的潜育现象。因此,土壤剖面中有无永冻层出现,会导致土壤水分动态的差异,进而对其上活动层的冻-融作用产生重要影响(图 5)。

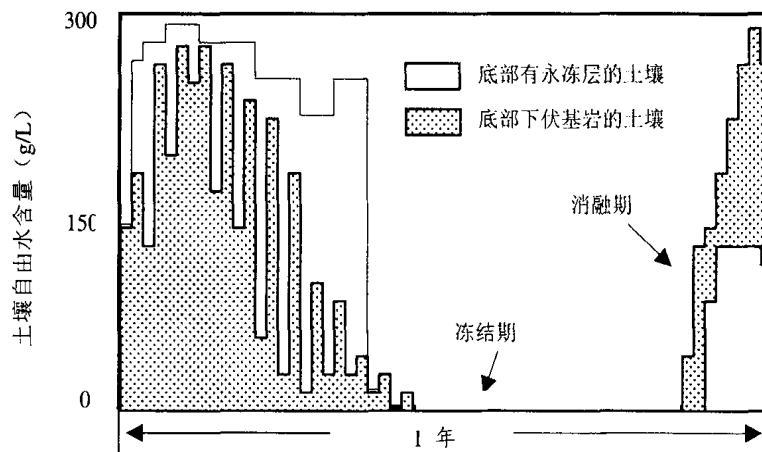


图 5 消融期内永冻层对土壤水分动态的影响

Fig. 5 Impact of permafrost on soil moisture dynamics in the lower part of a profiles

4 土壤自由水运动与物质迁移

南极海洋性气候区绝大部分土壤内部有明显的物质迁移现象。强烈的冻-融交替过程和冻扰作用是土壤有机质、细粒矿物质在剖面中移动和重新分配的重要机制之一,但夏季消融期发生在土壤中的下行自由水流是物质发生迁移更为重要的途径。除发育于新近沉积物上的年幼土壤之外,南极海洋性气候区的土壤表层均呈强弱不一的酸性特征,土体内一般不含碳酸钙。这显然不是冻扰作用导致物质移动的结果,而是自由水参与下土壤淋溶作用的结果。

由于夏季雪融水在重力作用下的下行运动远强于同期蒸发作用下的上行运动,南极海洋性气候区的绝大多数土壤均表现出不同程度的淋溶与淀积过

程,与南极大陆相比,这是本区土壤形成和发育中的又一大特点(表 2)。淋溶作用导致部分土壤表层结构破坏,表现为裂隙加大、气孔和海绵状结构消失、团聚体分散造成土壤表层发生板结和结壳现象。

在发生年龄较大、发育程度较好、地表稳定且有良好植被的土壤中,自由水下行运动造成的物质迁移导致淋溶表层(leached surface layer AE)的形成与分化,表现出灰化作用(podzolization)的一些迹象,可溶盐与有机质随自由水进入剖面下层。有机质迁移在某些土壤剖面中表现出明显的舌状延伸的形态特征,到达剖面下部后多以有机-金属螯合物胶膜的形式附着于土壤矿物质颗粒表面。除淋溶作用外,伴随自由水沿土壤较大裂隙发生物理性渗漏也是物质发生移动的途径之一。在下行水流途经的土

壤或岩石裂隙表面,常见厚度在 0.3 ~ 3mm 之间的粘粒胶膜,在某些土壤底部的石质接触面上,甚至可见细土物质的积累。由于强烈的冻扰作用,南极海洋性气候区的土壤一般没有清晰的淀积层发育。但对乔治王岛 37 个不同层次的土壤样品的分析结

果显示,剖面中下部土壤的平均阳离子代换量 (35.12 cmol/kg) 明显高于表层土壤 (28.11 cmol/kg),这表明淋溶作用是剖面下部土壤中可溶盐和粘粒含量相对增加的结果^[10] (表 2)。

土壤剖面下部 Fe、Mn 斑纹 (Fe and Mn mottle)

表 2 南极海洋性气候区典型暗沃寒冻锥形土剖面性状 (南极乔治王岛菲尔德斯半岛)

Table 2 Properties of Mollic-gelic Cambisol in the Fildes Peninsula, King George Island, the maritien Antarctic

土层编号	深度 (cm)	颜色	砾石含量 (g/kg)	砂粒含量 (g/kg) *	粉粒含量 (g/kg) *	粘粒含量 (g/kg) *	pH (H ₂ O)	有机 C (g/kg)
1-17d-1	0 ~ 7	2.5YR5/4	249	572	385	47	5.20	26.27
1-17d-2	7 ~ 13	2.5YR3/4	163	567	373	60	5.22	32.60
1-17d-3	13 ~ 24	5YR7/1	547	541	373	86	5.24	7.08
1-17d-4	24 ~ 50	10YR7/1	339	471	460	69	6.10	1.16
1-17d-5	50 ~ 65	10YR7/2	392	438	489	73	6.67	2.03

土层编号	深度 (cm)	C/N	代换性盐基 (cmol/kg)				CEC (cmol/kg)	Ca ₂ CO ₃ (g/kg)	交换性 Al (cmol/kg)
			Ca	Mg	K	Na			
1-17d-1	0 ~ 7	10.4	2.43	3.15	0.50	0.97	34.32	0	—
1-17d-2	7 ~ 13	11.2	1.79	2.09	0.39	0.70	36.56	0	—
1-17d-3	13 ~ 24	10.3	8.44	1.07	0.58	0.85	33.45	0	—
1-17d-4	24 ~ 50	13.6	16.61	13.17	0.93	1.07	35.24	0	—
1-17d-5	50 ~ 65	13.5	—	—	—	—	36.30	0	—

* < 2 mm 土壤物质中各级颗粒的含量。

的出现是土壤中自由水活动和物质迁移的又一个重要佐证。南极海洋性气候区的某些土壤在消融期至少有一段时间内土壤水分处于饱和状态,干湿交替的氧化-还原环境为 Fe、Mn 斑纹的发育提供了条件。而对于那些剖面底部长时间有滞水存在的土壤,潜育特征明显,并在一些土壤中发现了由富集的各种不同形态的 Fe 转化形成的蓝铁矿 (vivianite)。

5 主要结论

(1) 南极海洋性气候区土壤消融期长达 3 ~ 5 个月,来源于夏季降雨、地表雪融水、溪流水扩散与侧渗以及土壤固态水的消融作用的土壤自由水在南极海洋气候区土壤的形成与演化过程中具有重要意义,是本区土壤发生、发育及其属性明显区别于南极内陆地区的主要因素。

(2) 南极海洋性气候区是南极冻-融作用最强烈的地区,冻-融作用一方面促进土壤的物理风化和物质在剖面中的再分配过程,另一方面,冻-融作用搅乱土体内部的层次分化,破坏土壤结构和剖面的整体发育。本区大多数土壤具有明显的冻-融作用下的形态特征。

(3) 南极海洋性气候区永久冻土总面积 8,000 km²,占南极永久冻土分布总面积的 14 %。本区永冻层埋深一般在 40 ~ 150 cm 之间,潜在含水量较

高,活动层深厚。永冻层在剖面的出现与埋深,不仅影响活动层内的冻-融作用的强度,而且是土壤自由水分动态的重要影响因素。

(4) 本区绝大部分土壤内部有明显的物质迁移现象,自由水参与的土壤淋溶过程导致有机质、碳酸钙及其它可溶盐、土壤粘粒向下部土体移动,上部土层多呈强弱不等的酸性特征。一些土壤中有明显的淋溶表层,中下部土体矿质颗粒表面覆被有机-金属复合物和粘粒胶膜,但淀积层发育一般不明显。

(5) 自由水供给、冻-融作用、永冻层埋深和活动层状况均受微环境因素如微地形、微气候以及土壤自身和地表状况等的影响,因此以自由水活动为基础的土壤过程可能在较小的范围内表现出显著的差异,从而形成了南极海洋性气候区土壤类型与分布具有明显的微域性特点。

参考文献

- 1 Barsch D and Stälein G. Frost dynamics and permafrost in ice-free areas of the Antarctic Peninsula. Polarforschung, 1984, 54: 11 ~ 119
- 2 Bockheim JG. Permafrost distribution in the southern circumpolar region and its relation to the environment: a review and recommendations for further research. Permafrost and Periglacial Processes, 1995, 6: 27 ~ 45

- 3 Everet KR. A survey of soils in the region of the Southern Shetland Islands and adjacent parts of the Antarctic Peninsula. Ohio State Univ. Inst. Pol. Stud. Rep., 1976, 58:44
- 4 陈杰, 龚子同, 南极海洋性气候区土壤水分动态变化研究. 极地研究, 1999, 11(4): 241 ~ 254
- 5 Blume HP, Beyer L, Kalk E and Kuhn D. Weathering and soil formation. In: Beyer L and Boelter M. eds. Geoecology of Antarctic Ice-free Coastal Landscapes. Berlin, Springer-Verlag, Ecological Studies, 2002, 154: 115 ~ 138
- 6 Chen J, Gong ZT and Blume HP. Soils of Fildes Peninsula, King George Island, the maritime Antarctic: Part I: Formation processes and pedogenetic particularities. Chinese Journal of Polar Science, 2000, 11(1): 25 ~ 38
- 7 Bockheim J and Hall KJ. Permafrost, active-layer dynamics and periglacial environments of continental Antarctica. South African Journal of Science, 2002, 98: 82 ~ 90
- 8 Blume HP, Beyer L, Kalk E and Kuhn D. Soils and soilscapes. In: Beyer L and Boelter M. eds. Geoecology of Antarctic Ice-free Coastal Landscapes. Berlin, Springer-Verlag, Ecological Studies, 2002, 154: 91 ~ 113
- 9 Campbell IB, Claridge GGC and Balks MR. The effects of human activities on moisture content of soils and underlying permafrost from the McMurdo Sound region, Antarctica. Antarctic Science, 1994, 6: 307 ~ 314
- 10 陈杰, 龚子同, Blume HP. 南极菲尔德斯半岛地区土壤中主要元素的迁移与富集. 极地研究, 2000, 12(2): 81 ~ 88

SOILS IN THE MARITIME ANTARCTIC

III. FREEZE-THAW PROCESS AND MOISTURE DYNAMICS

CHEN Jie¹ GONG Zi-tong¹ RUAN Xin-ling¹ Blume HP²

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;

2 Institute of Plant Nutrition and Soil Science, University of Kiel, Kiel, D-24098 Germany)

Abstract Availability of free water plays a most important role in soil-forming and developing processes in the maritime Antarctic. Source and generation of free water, freeze-thaw process, permafrost and active-layer dynamics, and material translocation induced by leaching are expatiated in the article. Meanwhile, various factors driving and limiting the above-mentioned processes are analyzed. And pedogenetic significance of these water-based processes within soils is discussed. It is pointed out that within soils activities induced by moisture availability could vary greatly due to site difference in a small distance, thus, to some extent, determining genesis and development of individual soils and distribution pattern of soils in this region.

Key words Maritime Antarctic, Soil moisture, Freeze-thaw, Permafrost, Leaching process

(上接第 4 页)

PHOSPHORUS RESOURCE OF CHINA AND PHOSPHATE

FERTILIZER PRODUCTION AND CONSUMPTION

I. P RESOURCES AND P FERTILIZERS PRODUCTION OF CHINA

LU Ru-kun

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

Abstract Phosphorus resources of China, and production and consumption of phosphate fertilizer in recent years were reviewed.

The P fertilizers produced in China before 1990s used to be low-graded. In recent years the situation has been changing rapidly. In 2002 the high-graded P fertilizers amounted to 45% of the total output of P fertilizers in China.

Key words Phosphate rock, Phosphate fertilizer