

中国的冻土

赵其国 王浩清 顾国安

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

中国冻土面积大,分布规律特殊,对于研究世界冻土的形成、分布具有重要意义。

中国冻土有高纬度冻土和高海拔冻土两种。高纬度冻土分布于东北地区,北纬 $53-46^{\circ}\text{N}$,面积 $38.2 \times 10^4 \text{km}^2$,纬度高而海拔较低,这类冻土的一系列特征主要受高纬度的影响;高海拔冻土主要分布于青藏高原和西部高山,面积 $176 \times 10^4 \text{km}^2$,占北半球高海拔冻土面积的75.7%,居世界首位,大部分分布于北纬 35°N 以南,最南达 27° 左右,纬度低而海拔高,其一系列特征主要受海拔高度的影响。

两类冻土的土壤类型和性状各具特点,差异很大。高纬度冻土具有湿寒特点,植被为森林,土壤有机质含量高, pH 低,不含 CaCO_3 , 盐基不饱和;高海拔冻土具有干寒特点,植被为草原和荒漠,土壤有机质含量很低, pH 高,盐基饱和,大多富含石灰,部分含石膏磐层。

目前中国及国际上均未将冻土列为独立的土壤分类单元,我们建议在中国土壤中,增设一个冻土土纲,下设正常冻土(高纬度冻土)和高寒冻土(高海拔冻土)两个亚纲。

关键词 冻土,分布,特性,系统分类

冻土是指温度低于 0°C ,并出现冻结现象的土壤。我国冻土的分布面积甚广,特别是分布于高海拔地区的冻土独具特色。过去对冻土的研究,大多限于地质、工程地质学范畴;近年来,通过高山高原地区的土壤资源调查,对冻土的土壤特性有了较深入的研究。本文在总结过去资料基础上,对我国多年冻土的分布、特性及分类问题进行初步论述。

一、冻土的面积与分布

据我国冻土学家调查研究^[1-3],我国多年冻土面积约215万 km^2 ,占国土总面积的22.3%,仅次于前苏联和加拿大,居世界第三位。其中高海拔多年冻土面积约176.6万 km^2 ,占全国多年冻土面积的82.2%,占北半球高海拔多年冻土面积(233.1万 km^2)的75.7%,居世界首位。高纬度多年冻土面积约38.2万 km^2 ,占全国多年冻土面积17.8%。如果将多年冻土加上冻深 $>0.5\text{m}$ 的季节冻土,则总面积高达658万 km^2 ,占全国国土面积的68.6%。可见中国冻土分布,在世界上占有重要地位。

我国多年冻土主要分布于东北的大、小兴安岭,西部高山及青藏高原地区,尤以西藏、青海、黑龙江、内蒙、新疆五省(区)面积最大,甘肃、四川、山西、吉林等省也有小面积分布(表1)^[3]。

我国冻土的分布规律,主要表现在高纬度及高海拔两类冻土的分布特点之上。首先,

表 1 我国多年冻土区
Table 1 Permanent gelisol regions in China

地区 Region	面积 Area		冻土类型 Type of gelisols
	$\times 10^4 \text{km}^2$	%	
青藏高原	150.0	69.8	高海拔多年冻土
大、小兴安岭	38.2	17.8	高纬度多年冻土
祁连山	13.4	6.2	高海拔多年冻土
天山	9.8	4.6	高海拔多年冻土
阿尔泰山	3.4	1.6	高海拔多年冻土

从地理分布状况看,高纬度冻土连片分布于东北地区,范围较小(南北跨纬度 13° , 东西跨经度下 15°),地形变化不大,分布状态几乎只受纬度地带性单一因素的控制;此外,冻土层的年平均地温及其年变化深度、冻土的厚度、冻土地面分布的连续性等,均随纬度变化而呈明显的一维性变化(表 2)。

表 2 东北高纬度多年冻土的地学状态^[3]

Table 2 The geoscience status of high-latitude permanent gelisols in Northeast China

冻土地区 Gelisol region	年均气温 ($^\circ\text{C}$) Mean annual temperature	年均地温 ($^\circ\text{C}$) Mean annual soil temperature	冻土分布的连续性 (%) Distribution continuity of gelisols	冻土厚度 (m) Depth of gelisols	地温年变化深度 (m) Annual variation depth of soil temperature (m)
I 连续的	< -5	$(-4.4) - 3.5 - 1.0$	70—80, 大片连续	100—50	12—16
II 岛状融区	$-5 - -3$	$-1.5 - -0.5$	50—60, 岛状融区	50—20	14—15 居多
III 岛状的	$-3 - 0$	$-1.0 - 0$	10—30, < 5 岛状冻土	20—5	

高海拔冻土的地理分布状态颇为复杂,表现在纬度、经度和垂直高度三维方向的变化都很明显。其分布范围跨纬度 22° , 跨经度 30° , 海拔高度跨 6000 多米。这类冻土的年均温度,冻土层厚度,年、季和昼夜冻融变化的频度和深度,以及冻土垂直分布的下界高程等特征,既随海拔高度,也随纬度、经度变化而变化,呈现了明显的三维变化特征(表 3、表 4、图 1)。

高海拔冻土的形成和发育,是海拔高度的变化起着决定性的作用,同时纬度也有明显影响。因而,高海拔冻土的一系列特征既呈现明显的垂直分带性,也表现出纬向递变的规律。纬度的变化对高海拔多年冻土的分布下界影响很大,它随纬度降低而升高,南北相差可达 3 000m 之多。经度的变化引起水陆位置关系和干湿程度的变化,因而使高海拔冻土在东西方向发生海洋性和大陆性特点的分异,冻土特征也受其影响而在经度方向发生变化。由图 1 可看到,西部高山冻土下界比东部要高 800—1 100m,东西部高山冻土的分布下界分别沿纬度方向连线后,保持着这样的高差间隔而形成两条相互平行的线。此外,东部海洋性山地的雪线低,并与冻土下界接近甚至高于雪线;而西部高山高原雪线甚高并与冻土下界分离,高山区冻土下界要低于雪线 1000—1300m,高原区冻土下界比雪线低

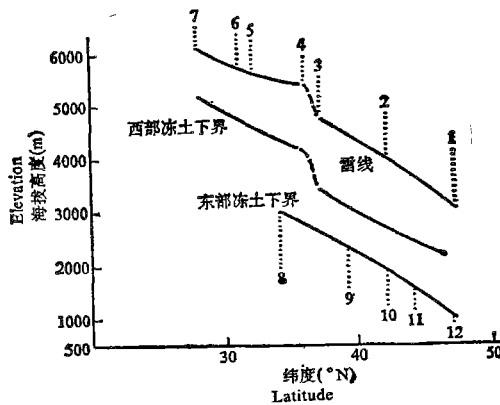
表 3 西部高海拔多年冻土的温度和厚度^[43]
 Table 3 The temperature and depth of western high-altitude permanent gelifsols

地 区 Region	海拔 (m) Altitude	年均地温(°C) Mean annual soil temperature	地温年变化深度 (m) Annual change depth of soil temperature	冻土厚度 (m) Thickness of gelifsol	纬度变化 (N) Latitude
阿尔泰山	2800 以上	最低 -4.0—-5.0		最厚 100—200	48° 北
天 山	奎先达坂	-0.1—-0.2		16	南 31°30'
	莫托沙拉	-2.0—-2.5		110—150 120—170	
祁 连 山	木里	-0.6—-2.3	13—17	30—95	
	洪水坝			79.3, 139.3	
	热水	-0.1—-1.5 和更低	10—14 有时 6—7	0.6—11.0, 20—90	
	海晏、门源			5—35, 一般 10—20	
青 藏 高 原	高平原及 河谷地带	0—-0.5 -0.5—-1.5	9—10	0—25 25—60	
	高山(昆仑山、唐古拉山)	-1.5—-3.5 < -3.5	12—16	60—120 >120(实测 128)	
	及丘陵地带	-4—-5		140—175	
	西藏公路沿线				
连 续 冻 土 区	西大滩	0—-0.5		<20	
	安多—黑河	0—-0.5		<25	
高 状 冻 土 区					

表 4 高海拔多年冻土下界高度与纬度的关系^[2]

Table 4 The relation of lower-limit height with latitude of high-altitude manent gelisols

地点 Location	下界高度(海拔 m) Altitude of lower-limit	纬度 (N) Latitude (N)
阿尔泰山	2200	48°00'
天山	2700	43°00'
博利舒依兴干山	1900	44°00'
长白山	1800—2000	42°00'
五台山	2400	39°05'
太行山	3000	34°00'
祁连山(北坡)	3500	38°20'
(南坡)	3480	37°30'
西大滩	4150	35°40'
青藏公路(121 道班)	4610	32°00'
(125 道班)	4640	31°41'
西道梁	4760	31°08'
谷露	4800	30°40'
喜马拉雅山(北坡)	5200	28°10'



1.阿尔泰山, 2.天山, 3.祁连山, 4.昆仑山, 5.唐古拉山, 6.念青唐古拉山,
7.喜马拉雅山, 8.太白山, 9.五台山, 10.长白山, 11.黄岗梁山, 12.阿尔山。

图 1 我国高山高原冻土分布下界的海拔高度与纬度的关系^[3]

Fig. 1 Relationship of frozen soil distribution with elevation and latitude

800—1100m。

值得指出的是, 高纬度和高海拔两类冻土空间分布的表现形式也各有特点。高纬度冻土随纬度的变化由北而南以连续、不连续、岛状分布等形式依次呈规律的平面展布, 每种类型的分布区域成片相连。而高山冻土的情况不同, 它多以独立山体为单位, 自峰顶到山麓沟谷, 呈垂直分带分布, 在投影平面上大都呈不连续的岛状和环状, 并彼此交错, 呈现出独特的镶嵌分布图式^[2]。

二、冻土的类型和性状

冻土是气候和地质地理因素综合作用的产物。其中, 纬度和海拔高度的变化以及海洋性和大陆性气候的空间分异, 对冻土类型及其性状起明显影响, 从而导致形成高纬度冻土和高海拔冻土两大成因类型。

高纬度冻土和高海拔冻土都形成于负温环境下, 这是它们在发生上的共性和本质联系。但除此而外, 它们之间在环境条件和土壤性态特征等方面均很不相同(表 5、表 8), 并各自具有不同的土壤类型。兹分别对这两类冻土的特点及类型分述如下。

表 5 两类冻土区的水热条件差异¹⁾

Table 5 The difference of hydrothermal conditions between two types of gelisol region

冻土区 Gelisol region	东北高纬度冻土区	西部高海拔冻土区
纬度 (N) Latitude	53°30'—46°36'	49°—27°
冻土分布高度 (m) Distribution height of frozen soil	一般 500—1 000	一般 3 000—6 000
年平均气温 (°C) Mean annual temperature	0—5.8	-2.0—-6.7 和更低
年降水量 (mm) Annual precipitation	400—600	东 500—400 中 400—200 西 <100
年蒸发量 (mm) Annual vaporation	900—1 200	1 400—1 800 1 800—2 000 2 000—3 000
干燥度 (D) Aridity	<1—1.5	2—3 3.5—6.5 15—35
气温变化(°C) Variation of temperature	年较差 Annual	40—54
	日较差 Daily	10—12
日照时数 (小时/年) Insolation time (hr/yr.)	2 500—2 600	2 600—3 200
太阳辐射年总量 Annual total amount of solar radiation (J/cm ²)	1 200—1 400	1 400—1 700 (高山区) 1 700—2 000 (高原区)

1) 根据参考文献[3]作了部分修正。

表6 东北高纬度多年冻土的主要理化性质⁽¹⁾
 Table 6 The main physico-chemical properties of high-latitude permanent gelisols in the Northeast

剖面 Profile	地点 Location	深度 (cm) Depth	粘粒 (<0.001 mm, Clay g/kg)	有机质 (g/kg) Organic matter	pH	盐基饱和度 (%) Base- saturation percentage	SiO ₂ /R ₂ O ₃		土壤类型 Soil type
							全土 Whole soil	胶体 Colloid	
兴 78-03	黑龙江塔河 蒙克山 海拔约 700m 52°20'N	A ₀	—	—	—	—	—	—	—
		5—12	—	562.2	4.4	43.3	—	—	—
		12—19	—	180.6	4.3	27.2	—	—	—
		19—28	—	60.0	4.3	32.2	—	—	—
		28—40	—	40.8	4.8	32.9	—	—	—
		40—60	—	20.7	5.0	38.4	—	—	—
兴-129	黑龙江乎中 太白山 海拔 1 000m 51°50'	A ₀	—	—	—	—	—	—	—
		3—7	65	270.2	3.97	14.6	4.77	2.75	—
		7—13	110	47.6	3.95	4.3	5.71	2.40	—
		13—30	250	62.6	4.60	3.2	2.39	2.44	—
呼 78-01	内蒙喜桂图旗 兔渡河 海拔 700m 48°05'	A ₀	—	—	—	—	—	—	—
		2—4	—	215.6	6.4	87.5	5.70	—	—
		4—12	285	112.0	5.3	86.0	5.35	2.82	—
		12—28	317	99.6	5.7	74.2	5.58	2.78	—
		28—39	218	38.3	5.2	88.2	5.53	2.69	—
		39—47	—	20.3	5.4	—	5.05	2.55	—
兴-112	黑龙江古莲 海拔 660m 52°10'	A ₀₀	—	—	—	—	—	—	—
		0—20	—	—	—	—	—	—	—
		A120—35 G35—45	390	464.8 247.3	5.6 5.5	62.7 47.8	1.48 1.23	1.66 1.43	冰冻潜育土

(一) 高纬度冻土

主要分布于高纬度低海拔的东北地区。地处北纬 53° — $46^{\circ}36'$, 东经 116° — 131° 之间。地形以低山、丘陵及台原为主, 海拔一般 800—1 000m, 最高峰 2 000m。植被为针叶林及森林草原。这类冻土的年均温(4 — 5.8°C), 年降雨量 400—600mm, 年蒸发量 900—1 200mm, 日照时数 2 500—2 600 小时/年, 太阳辐射年总量 $1\,200 \times 4.187$ — $1\,400 \times 4.187$ 焦耳/ cm^2 (见表 5)。高纬度冻土的土壤特征是: 土层浅, 质地粗, 表层有冷冻结皮, 由于气候冷湿, 故土壤具有冷冻及潜育两种过程。

东北高纬度冻土区的主要代表性土壤类型有寒棕壤、寒灰黑土、冰冻潜育土、冰冻泥炭土四种。

寒棕壤和寒灰黑土为地带性土壤类型, 分布于山地丘陵。大兴安岭东部和北部湿度较大, 生长森林植被, 为寒棕壤分布区; 西部湿度较小, 并渐向森林草原过渡, 主要为寒灰黑土分布区。河谷洼地和部分山麓缓坡受季节或常年性积水影响, 多潜育土和泥炭土分布。几类土壤的理化性质列于表 6。

(1) 寒棕壤 土层一般较浅薄, 砾石含量较高, 地面枯枝落叶层发育良好, 土壤腐殖质含量高, 酸性强, 盐基不饱和, 剖面具有冻融特征。一部分土壤有泥炭化、灰化、表潜等现象和特征。以兴 78-03 剖面为例说明。

兴 78-03 剖面位于黑龙江省塔河地区蒙克山, 北纬 $52^{\circ}20'$, 海拔 700m, 植被为樟子松-松香-苔藓, 年均温 -3°C 。0—5cm (A_0) 死地皮物; 5—12cm (A_1) 疏松砂质有菌丝体, 有冰屑; 12—19cm (A_2) 灰白色粉砂粒, 半腐解物, 有大冰屑; 19—28cm (A_2B) 黄棕色, 含小冰块; 28—40cm (B) 黄棕色砂土, 半风化岩屑, 土体冻结; 40—60cm (BC) 半风化物母质及冻层。按理化分析结果(表 6)有如下特点: 土层浅薄, 呈强酸性 (pH 4.4—5.5), 有机质含量高, 表层达 562.2g/kg, 呈泥炭化特征, 粘土矿物以水云母为主, 土壤出现冻土层, 这类土壤生产力甚低。

(2) 寒灰黑土 腐殖质层深厚, 土壤呈微酸性反应, 盐基饱和度较高, 淋溶淀积程度比较轻微。以呼 78-01 剖面为例说明。

呼 78-01 剖面在内蒙呼盟喜桂图旗免渡河, 北纬 $48^{\circ}05'$, 海拔 800m。0—2 cm 为枯枝落叶和草本残体层; 2—4cm 为半腐解粗有机质层; 4—28cm 为腐殖质层, 暗棕灰色, 有无定形 SiO_2 粉末淀积于结构面上; 28—47cm, 浅棕灰色, 仍有 SiO_2 白色粉末。

(3) 冰冻潜育土 这类土壤的主要性态特征可举兴-112 剖面为例说明。

兴-112 剖面位于大兴安岭伊勒呼里山北部古莲县河谷地带, 北纬 $52^{\circ}30'$, 年均温 -5°C , 冬季最低温 -30°C , 河谷积水常年处于冻结状态, 植被为落叶松-松香-水藓等, 有明显冰冻沼泽过程。海拔 600m, 落叶松林下为大片水藓。0—20cm 为水藓层 (A_{00}), 疏松富弹性, 吸水量高(冰冻水); 20—35cm 为半腐解水藓层 (A_1), 此层为冰土; 35—45cm 为黑色粘土层 (G), 具潜育特征, 夹有大量碎石块与冰块, 为永冻层。

这类土壤的主要特征是: 土层浅薄, 土壤冻湿, 含石英、高岭石和硅藻, 排水通气不良, 有机质含量高, 但有效养分低, 林木生长困难。

(二) 高海拔冻土

主要分布在我国青藏高原及西北高山区, 地处北纬 27° — 49° , 东经 $72^{\circ}30'$ — 103° 之间, 海拔 3 000—5 000m 以上, 地势高拔, 地域辽阔, 深居内陆。其中青藏高原是我国高海拔冻土的主要分布区, 平均海拔 4 000m 以上, 最高峰海拔 8848m。气候的主要特征是

寒干旱。从东至西, 植被由高寒草甸—高寒草原—高寒荒漠依次递变。冻土地区年均温—2—-6.7℃, 年降雨量一般为 200—300mm, 西部最低仅几十毫米, 东部半湿润区可达 400—500mm。年蒸发量 1400—3000mm, 干燥度 2—6, 西部荒漠区干燥度可高达 30—50。日照时数 2600—3200 小时/年, 太阳辐射年总量 $1400 \times 4.187 - 2000 \times 4.187$ 焦耳/cm² (表 5)。在上述气候环境影响下, 高海拔冻土的土壤性质主要表现为: 地表有多角形寒冻裂缝, 土体出现冻扰特征 (Cryoturbation), 结构松散, 颗粒粗屑, 土壤养分贫瘠, 具有盐积石膏化、钙积化及融冻化过程。

高海拔冻土的主要代表性土壤类型有寒漠土、寒冻土、寒毡土、寒腐棕土四类。这四类土壤均为地带性土壤类型。寒漠土分布于西部干旱半干旱的高寒荒漠和高寒草原地带, 在北部天山、祁连山一带分布于 4000m 以上高山, 在南部帕米尔、喀喇昆仑山一带分布于 5000m 以上高原高山。寒冻土主要分布于青藏高原东部半干旱半湿润地区的高山最上部, 在拉萨一带的分布高度在 5300m 以上, 向东至昌都—四川横断山区一带的分布高度降至 4800—5000m 以上。寒毡土紧接寒冻土之下分布, 下界高程主要受纬度变化控制, 北纬 40° 一带在 3000m 左右, 北纬 30° 一带在 4800m 左右, 常具有良好的高寒草甸植被。寒腐棕土分布于半湿润地区, 常与寒毡土呈复区分布, 但多在寒毡土垂直带幅的下部、水平带幅的东部, 植被主要是高寒灌丛和针叶林。这几类土壤的理化性质列于表 7。

(1) 寒漠土 多发育于碎屑状和易溶盐-石膏风化壳上, 属永冻土带。植被多为高寒荒漠, 稀疏单调, 覆盖度 1—5%。土被不连片, 地面时有石环, 龟裂和孔状结皮层等冻融特征。土层浅, 颗粒粗, 砾石含量较高。粘粒含量 <200g/kg, 阳离子交换量 2—4cmol (+)/kg 土。土壤呈碱性, 剖面中常见钙积层、石膏聚积层或盐积层。这类土壤, 由于气候严寒、干旱、植被稀疏, 一般均未利用。兹举 TA6-147 剖面为例说明。

TA6-147 剖面在喀喇昆仑空喀山口附近, 海拔 5100m。地面可见融冻作用形成的舌状泥流。0—1cm, 结皮层, 干, 淡棕带灰, 多量海绵状孔隙, 地面有白色盐霜; 1—10cm, 淡棕带灰, 砂壤土夹大量砾石, 弱团块状结构; 10—29cm, 棕色中壤土夹大量砾石; 29—50cm, 棕带麻灰色, 轻壤土夹大量砾石; 50—80cm, 棕色, 中壤土夹大量砾石。

(2) 寒冻土 在高山垂直带中, 寒冻土分布位置与寒漠土相当。与寒漠土比较, 寒冻土的主要性态特征是 pH 多呈中性, CaCO₃ 仅有痕量或不含, 反映了湿度增加对成土过程和土壤性质具有重要影响。以拉萨-5001 剖面为例说明。

拉萨-5001 剖面在城关区明朱则日峰顶, 海拔 5600m, 母质为花岗岩风化物, 土被很不连续, 地表有少量垫状点地梅, 贴地有较多黑色壳状地衣, 厚 0.2cm, 全剖面微冻。0—5cm, 土壤因强烈冻胀作用而呈瘤状凹凸, 密布气孔而呈发酵状, 土色褐灰, 重砾质砂壤土; 5—20cm, 灰黄褐色, 重砾质砂壤土, 弱鳞片状结构; 20—34cm, 砾石 40% 左右, 较大石块; 34—55cm, 砂砾层, 大量 10—25cm 直径的大石块, 单粒结构, 冻结。理化性质见表 7。

(3) 寒毡土 生长以高山嵩草占绝对优势的高山草甸植被。嵩草株高仅 2—3cm, 叶片纤细, 茵茵似毯, 根系极发达, 盘根错结形成草毡层, 厚 5—10cm, 极其坚密坚韧, 这是寒毡土剖面形态的最大特点。以拉萨-7175 剖面为例说明。

拉萨-7175 剖面在西藏曲水县拉卓坎牧点, 山前台地顶部, 海拔 4900m, 花岗岩残积物, 嵩草植被覆盖度 70—80%, 草毡连片, 地面有少量冻裂皱褶。0—8cm, 草毡层, 根土紧密缠绕, 整体性很强, 根极多, 实测干根重量约占土重的 10% 以上, 暗棕灰色, 粉砂粘壤土, 草毡层破碎后细土部分为屑粒状结构;

表 7 高海拔多年冻土的主要理化性质^[5-8]
 Table 7 The main physico-chemical properties of high-altitude permanent gelsols

剖面 Profile	地点 Location	纬度—经度 Latitude- Longitude	深度 (cm) Depth	粘粒 <0.002mm (g/kg) Clay	有机质 (g/kg) Organic matter	pH	CaCO ₃ (g/kg)	石膏 (g/kg) Gypsum	全盐 (g/kg) Total salt	土壤类型 Soil type
TA _g -147	西藏 空喀山口 5 100m	34°21' — 79°00'	0—1	—	4.0	9.0	70	16.3	19.68	普通寒漠土
			1—10	—	5.8	8.3	71	3.1	2.72	
			10—29	—	12.1	9.4	138	0.6	1.33	
			29—50	—	5.7	9.6	146	0.2	1.32	
			50—80	—	3.1	9.3	162	—	1.01	
K87-33	新疆 甜水海 4 900m	35°30' — 79°0'	0—1	274	2.3	8.5	592.0	10.2	4.2	石膏寒漠土
			1—10	144	2.2	8.7	305.5	174.9	1.3	
			10—23	155	3.8	8.5	418.4	50.3	0.7	
			23—38	143	5.1	8.7	565.9	25.3	0.5	
			38—55	174	1.0	8.7	467.0	200.2	—	
			55—80	190	2.0	8.5	701.3	30.6	—	
80—100	235	3.0	8.5	553.8	128.3	—				
可-27	青海 可可西里山 4 680m	35°00' — 91°40'	0—3	408	11.0	9.2	204.1	91.9	8.6	碱化寒漠土
			3—15	379	11.0	9.9	182.3	76.0	2.3	
			15—30	624	4.1	9.5	156.5	57.3	3.1	
			30—50	586	5.9	9.2	153.8	47.7	2.7	

续表 7

剖面 Profile	地点 Location	纬度— 经度 Latitude— Longitude	深度 (cm) Depth	粘粒 <0.002mm (g/kg) Clay	有机质 (g/kg) Organic matter	pH	CaCO ₃ (g/kg)	石膏 (g/kg) Gypsum	全盐 (g/kg) Total salt	土壤类型 Soil type
拉萨-5001	西藏拉萨 明朱则日峰 顶 5 600m	29°30' — 91°10'	0—5	127	16.2	7.5				寒冻土
			5—20	137	7.5	7.5				
			20—34	155	5.0	7.5				
			34—50	146	4.2	7.5				
拉萨-717	西藏曲水 拉卓坎 4 900m	29°30' — 90°30'	(<0.001mm)							寒盐土
			0—8	54	112.5	6.0				
			8—20	73	69.9	5.8				
			20—35	80	38.9	5.8				
			35—50	73	27.3	5.9				
			50—65	29	13.5	6.2				
65—90	13	4.3	6.6							
拉萨-9009	西藏 墨竹工卡 4 800m		0—6	150	184.6	6.0	0		盐基饱和度 85	寒腐棕土
			6—19	144	90.2	5.3	0		68	
			19—30	118	43.9	5.3	0		48	
			30—98	99	22.7	5.7	0		49	
			98—110	52	4.1	5.8	0		94	

8—20cm, 灰棕色, 粉砂壤土, 屑粒+弱团块状结构, 根多; 20—35cm, 浅棕色, 粉砂壤土, 弱鳞片状结构, 根少; 35—50cm, 黄棕灰色, 土色较上、下层明显发暗, 块状-鳞片状结构; 50—65cm, 灰黄棕色, 砂壤土, 石质含量 35%, 孔隙和土体内有少量较模糊的灰棕色铁锰斑块和条纹; 65—100cm, 母质层, 灰黄-灰色, 岩块占 90% 以上, 细粒部分为砂土, 呈单粒-弱鳞片状结构。

(4) 寒腐棕土 主要形成于高山灌丛与嵩草草甸混生植被或纯灌丛植被下。分布高度与寒毡土基本相同, 只是分布上限一般略低, 但最高也可达 5 200—5 300m。灌丛茂密地段, 草甸植物消失, 灌丛遮阴潮湿, 常存大量苔藓群体贴地生长, 加速土壤酸化和酸性淋溶, 局部形成漂灰层, 也可有泥炭化现象。这类土壤有机质含量颇高, 土壤呈微酸性, 盐基饱和度明显低于寒毡土。以拉萨-9009 剖面为例说明。

拉萨-9009 剖面在墨竹工卡县念多牧点附近高山东北坡, 海拔 4 800m。花岗岩残坡积物, 植被由高山柳、小叶杜鹃、金露梅灌丛与嵩草、圆穗蓼混生, 植被覆盖度 85%, 其中灌丛 >60%, 地面有少量苔藓。0—6cm 为松散草根层并有薄层枯枝落叶, 土色暗灰色, 砂粘壤土, 屑粒+团粒结构, 少量砾石; 6—19cm, 暗灰褐色, 砂壤土, 屑粒+团粒结构, 草根和灌木根多; 19—30cm, 棕灰色, 砂壤土, 灌木根多; 30—98cm, 灰棕色, 砂壤偏砂, 砾石 40%, 灌木根较多; 98—110cm, 砂壤土, 石质约 50%, 有大石块, 灌木根少量; 110cm 以下, 砂砾层, 石质 >75%, 多大石块, 尚有少量灌木根。

高纬度冻土和高海拔冻土具有明显不同的性态特征, 可以简明总结于表 8。

表 8 两类冻土性质特征的主要差异

Table 8 The main differences in properties between two kinds of gelisols

冻土类型 Type of gelisol	有机质含量 Content of organic matter	土壤酸碱性 Soil acidity and alkalinity	盐基饱和度和 Base-saturation percentage	CaCO ₃ 含量 Content of CaCO ₃	石膏含量 Content of gypsum	盐分状况 Salt regime
高纬度多 年冻土	高, 很高	强酸性— 微酸性	全部不饱和	全部无	全部无	局部低洼处 水湿积盐
高海拔多 年冻土	低, 极低 部分较高	中性—强碱性 部分微酸性	饱和	大部富含, 部分无	广大荒漠地带 普遍含有, 甚至 形成石膏磐	广大荒漠地 带干旱积盐

三、冻土的分类问题

冻土在世界上分布的面积很广, 但迄今为止, 具有大面积冻土的国家, 均未将这类土壤列为独立的土壤分类单元。

加拿大在 1977 年的土壤分类系统中, 将具有冻融作用的土壤, 按温度状况分为 5 个区: 即极冷北极区 (Arctic) (年均温 < -7°C); 亚北极区 (Subarctic) (年均温 -7—-2°C); 冷冻区 (Cryoboreal) (年均温 2—8°C); 寒冷区 (Cold) (年均温 > 5°C); 冷凉区 (Boreal) (年均温 5—8°C), 并在 9 个主要大土类中列入冷冻土亚类。

美国在土壤系统分类中, 首先划分出 3 个与土壤冷冻有关的温度等级, 即永冻土温 (Perigelic), 土壤年均温 < 0°C; 冷冻土温 (Cryic), 土壤年均温 0—8°C; 冷性土温 (Frigid), 土壤年均温 < 8°C。然后, 按冷冻性质分别将各种冷冻土列入相应的土纲和亚纲中, 如: 始成土中的冷冻火山灰始成土 (Cryandept)、冷冻淡色始成土 (Cryochrept); 新成土纲

中的冷冻冲积新成土 (Cryofluent); 冷冻砂质新成土 (Cryopsamment); 淋溶土纲中的冷冻性冷冻淋溶土 (Cryoboralf); 软土纲中的冷冻性冷凉软土 (Cryoboroll); 灰土纲中的冷冻正常灰土 (Cryothod); 有机土纲中的冷冻半分解有机土 (Cryohemist) 等。

1992年我国出版的《中国土壤系统分类》首次方案中^[9], 首先按土壤温度将冷冻土的温度状况分为三组, 即永冻土壤温度状况(年均土温 $<0^{\circ}\text{C}$); 寒性土壤温度状况(年均土温 $<8^{\circ}\text{C}$); 和冷性土温度状况(年均土温 $0-8^{\circ}\text{C}$, 夏季温度低于寒性土温), 然后按冻土的诊断层与诊断特性分别将冻土列入不同的土纲中。值得提出的是, 按中国实际情况, 在干旱土纲及均腐殖质土纲中, 列出高寒干旱土和高寒均腐殖质土, 即将低纬度高山高原区的冷冻土列入分类方案中, 这是中国冻土分类的特色。

鉴于冻土在中国的广泛分布及其特殊性, 我们设想, 在中国的土壤分类方案中建议将冻土列为一个单独的土纲, 其下分正常冻土(高纬度冻土)及高寒冻土(高海拔冻土)两个亚纲。高纬度冻土亚纲中包括寒棕壤、寒灰黑土及冰冻潜育土和冰冻泥炭土等土类; 高海拔冻土亚纲中包括寒漠土、寒冻土、寒毡土和寒腐棕土等土类。在土类中, 再按诊断特性区分为若干亚类。将这种设想的分类方案列入表9, 并针对上述土纲、亚纲及土类列出检索表以供讨论参考。

表9 我国冻土土纲的系统分类(试拟)

Table 9 Chinese classification of the order of gelisols (trial proposal)

亚纲 Suborder	土类 Group	亚类 Subgroup	亚纲 Suborde	土类 Group	亚类 Supgroup
正常冻土 (高纬度冻土)	寒棕壤	普通寒棕壤 灰化寒棕壤 潜育寒棕壤 泥炭寒棕壤	高寒冻土 (高海拔冻土)	寒漠土	普通寒漠土 超钙寒漠土 石膏寒漠土 盐积寒漠土 碱化寒漠土
	寒灰黑土 冰冻潜育土	普通寒灰黑土 暗寒灰黑土		寒冻土 寒毡土	普通寒冻土 灰寒冻土 普通寒毡土 锥形寒毡土
	冰冻泥炭土			寒腐棕土	普通寒腐棕土 漂灰寒腐棕土 泥炭寒腐棕土 表潜寒腐棕土

关于冻土的分布、形成, 特别是系统分类, 是一个复杂的课题, 不少问题有待深入研究解决, 但随着科技进步与土壤资源不断开发, 世界冻土的研究, 必将进入一个新的阶段。

中国冻土检索

冻土土纲检索:

具有永冻(年均土温 $<0^{\circ}\text{C}$)或寒冻(年均土温 $0-4^{\circ}\text{C}$)土壤温度状况和冻融特征。

冻土亚纲检索:

欧亚大陆多年冻土南界以北,具永冻或寒冻土壤温度状况和冻融特征。

1. 正常冻土(高纬度冻土)

欧亚大陆多年冻土南界以南的高山高原,具永冻或寒冻土壤温度状况和冻融特征。

2. 高寒冻土(高海拔冻土)

1. 正常冻土土类、亚类检索:

正常冻土中具硅铝特性、湿润水分状况、暗腐殖质表层、浅棕色 B 层

1.1 寒棕壤

寒棕壤中 B 层全部或部分亚层盐基饱和度 $>50\%$

1.1.1 普通寒棕壤

寒棕壤中暗腐殖质表层具有潜育特征

1.1.3 表潜寒棕壤

寒棕壤中具有灰化淀积现象的亚层

1.1.2 灰化寒棕壤

寒棕壤中暗腐殖质表层具有泥炭状物质聚积现象

1.1.4 泥炭寒棕壤

正常冻土中具均腐殖质表层、半干润水分状况,落叶性

有机土壤物质聚积现象

1.2 寒灰黑土

寒灰黑土中均腐殖质表层干亮度 >3.5

1.2.1 普通寒灰黑土

寒灰黑土中均腐殖质表层干亮度 <3.5

1.2.2 暗寒灰黑土

正常冻土中具有潮湿土壤水分状况和潜育现象

1.3 冰冻潜育土

正常冻土中具 1m 以上有机土壤物质

1.4 冰冻泥炭土

2. 高寒冻土土类、亚类检索:

高寒冻土中具有干旱土壤水分状况和弱腐殖质

表层,并具有 CaCO_3 , 和/或石膏,和/或可溶盐聚积特征

2.1 寒漠土

寒漠土具有钙积层或钙积现象,和/或石膏、盐积现象

2.1.1 普通寒漠土

寒漠土中具有超钙积层或石灰磐、有或无石膏、盐积现象

2.1.2 超钙寒漠土

寒漠土具有石膏聚积层

2.1.3 石膏寒漠土

寒漠土中具有超盐积层或盐磐

2.1.4 盐积寒漠土

寒漠土中具有碱化现象

2.1.5 碱化寒漠土

寒漠土中具有龟裂特征

2.1.6 龟裂寒漠土

寒漠土 0—30cm 土层有机质加权平均 10g/kg

2.1.7 灰寒漠土

高寒冻土中具有半干润土壤水分状况和弱腐殖质表层,

不具有 CaCO_3 、石膏、盐积特征

2.2 寒冻土

寒冻土中 0—30cm 土层有机质加权平均 $<10\text{g/kg}$

2.2.1 普通寒冻土

寒冻土中 0—30cm 土层有机质加权平均 $>10\text{g/kg}$

2.2.2 灰寒冻土

高寒冻土中具有 $>5\text{cm}$ 纤维质草毡状有机土壤物质聚积特征

2.3 寒毡土

寒毡土中草毡层连续展布,坚韧紧密

2.3.1 普通寒毡土

寒毡土中草毡层间断稀疏

2.3.2 锥形寒毡土

高寒冻土中具有灌丛或森林枯枝落叶层和暗腐殖质表层

2.4 寒腐棕土

寒腐棕土中具有灌丛或森林枯枝落叶层和暗腐殖质表层

2.4.1 普通寒腐棕土

寒腐棕土中具有漂白现象的亚层

2.4.2 漂灰寒腐棕土

寒腐棕土中具有泥炭状物质聚积现象

2.4.3 泥炭寒腐棕土

参 考 文 献

1. 徐敦祖、郭东信, 1982: 1; 400万中国冻土分布图的编制。冰川冻土, 第4卷2期。
2. 程国栋、王绍令, 1982: 试论中国高海拔多年冻土带的划分。冰川冻土, 第4卷2期。
3. 周幼吾、郭东信, 1982: 我国多年冻土的主要特征。冰川冻土, 第4卷1期。
4. 中国科学院南京土壤研究所黑龙江队, 1982: 黑龙江省与内蒙古自治区东北部土壤资源。科学出版社。
5. 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1985: 西藏土壤。科学出版社。
6. 顾国安、高以信、龚子同, 1992: 中国高寒干旱土。中国土壤系统分类探讨(中国土壤系统分类研究丛书编委会), 科学出版社。
7. 顾国安、张连弟、黎泽斌, 1992: 青藏高原碱土的发生类型。土壤学报, 第29卷4期, 442—446页。
8. 王浩清、王敬轩主编, 1993: 西藏拉萨土地资源。中国农业科技出版社。
9. 中国科学院南京土壤研究所中国土壤系统分类课题组、中国土壤系统分类课题研究协作组, 1992: 中国土壤系统分类(首次方案)。科学出版社。

GELISOLS OF CHINA

Zhao Qiguo, Wang Haoqing and Gu Guoan

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008)

Summary

China has a large area of gelisols distributed with a particular pattern, which is of great importance to the research on formation and distribution of gelisols in the world.

The gelisols of China have two types: high-latitude and high-altitude gelisols. High-latitude gelisols are distributed in the Northeast region, 53—46°N latitude, with an area of $38.2 \times 10^4 \text{ km}^2$. As their latitude is high but altitude is low, the soils have a series of characteristics influenced by the high latitude. High-altitude gelisols mainly occur in the Qinghai-Xizang plateau and western high mountains, with an area of $176 \times 10^4 \text{ km}^2$ which accounts for 75.7% of the total area of high-altitude gelisols in the Northern Hemisphere and ranks the first in the world. Most of them are dispersed in the regions south to 35°N latitude, and some even to 27°N latitude. Their location is high in altitude but low in latitude, and their characteristics are affected by the altitude.

The two kinds of gelisols differ greatly in soil types and properties. High-latitude gelisols, covered by frost, possess humid and cold features, high content of soil organic matter, low soil pH and unsaturated base, but do not contain CaCO_3 . High-altitude gelisols, however, have arid and cold characteristics, low content of soil organic matter, high soil pH and saturated base; most of them are rich in lime; some contain gypsic and gypsipanic horizon; their vegetation is steppe and deserta.

At present, the gelisols have not yet been regarded internationally as an independent classification unit. We suggest to add an order of gelisols, which contains two suborders of Orthic gelisols (High-latitude gelisols) and Altocryic gelisols (High-altitude gelisols), in Chinese soil classification system.

Key words Gelisols, Distribution characteristics, Taxonomic classification