

沼泽湿地与多年冻土的共生模式 ——以中国大兴安岭和小兴安岭为例

孙广友¹, 金会军^{2*}, 于少鹏³

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州 730002; 3. 哈尔滨学院, 黑龙江 哈尔滨 150000)

摘要:以中国大、小兴安岭为例,在前期沼泽湿地与多年冻土共生机制研究基础上,构建了沼泽湿地与多年冻土的共生模式,并发现不同尺度空间上,共生模式的主导特性并不相同:在大尺度空间上为“结构型共生模式”;在中尺度空间上为“功能型共生模式”;在小(微)尺度空间上为“过程型共生模式”。三者间,后者依次是前者的基础。微观过程型共生模式又分为3类:第一类为厚泥炭沼泽与稳定多年冻土的强共生模式,第二类为中厚泥炭沼泽与亚稳定多年冻土的中强度共生模式,第三类为薄(或无)泥炭沼泽与不稳定多年冻土的弱共生模式。沼泽湿地与多年冻土共生模式的构建,对揭示该共生体的形成演化规律具有理论价值,对冻土保护提供了新思路。

关键词:沼泽湿地;多年冻土;共生模式;大兴安岭和小兴安岭

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1672-5948(2008)04-479-07

湿地与冻土都是地球表面分布广泛,并对人类生存极为重要的环境系统^[1,2]。冻土学的经典理论将矿质体作为研究主体,对其地表生命层的研究相对薄弱;湿地科学对两者的关系除少数定性分析外^[3~11]。也未能将融冻作用纳入湿地综合过程进行系统研究^[12~18]。

为此,作者曾探讨了湿地与冻土两者的共生机制^[19]。在此基础上,本文根据系统论原理,共生机制必然表现为相应的共生模式^[20]。以沼泽湿地和多年冻土都广泛分布的大、小兴安岭山地为例^[21~23],运用地理空间结构和环境分异理论,分析沼泽与多年冻土共生体在大、中、小(微)3种尺度空间的特征,构建了相应尺度上的共生模式。

1 大尺度空间的结构型共生模式

地理学空间结构理论认为,地理事物具有空间属性,并表现为等级序列和不同形态^[24]。地理事物的物质高级别分布形式具有占据大尺度空间的属性。共生性地理事物的结构特征在大尺度空间上的突出表现便是占有同一空间,具有同位性,或称二维重叠^[24~26]。事实证明,大、小兴安岭沼泽湿

地与多年冻土在大尺度二维空间结构型上,具有这种结构型共生模式。

1.1 大、小兴安岭沼泽湿地的边界

大兴安岭和小兴安岭山地南北长1 000余km,东西宽800余km,占有不同自然地带的巨大空间尺度^[25]。由于该区北、西北与东北三面皆为国际界河,界河外侧因纬度更高而使沼泽湿地与多年冻土的分布都具有自然连续性。因此本文边界讨论的关键是南界。该区年降水量为650 mm,年蒸发量为800~1 000 mm,湿润系数较高^[4];再加之山地和缓,河谷开阔,冰缘地貌广泛,成为中国山地沼泽最典型的地区。据前人和作者研究^[27~29],沼泽南界受山地格局的控制,呈现出不对称的“W”形(图1)。

1.2 大、小兴安岭多年冻土的边界

同上,这里重点论证多年冻土的南界。周幼吾等在这方面做了综合性工作,最后形成了相对合理的界限^[4]。作者考虑到以下事实:①大兴安岭南端黄岗梁山发育有多年冻土;②大兴安岭山脊呈南北走向,南部海拔渐高具有抵偿纬度降低的降温效应,使岛状多年冻土区沿主脊南伸;③伊勒呼里山

收稿日期:2008-03-12;修订日期:2008-07-26

基金项目:国家冻土工程重点实验室项目(SKLFSE200405)和大庆—海拉尔输油管线冻土环境与工程研究项目(D2004-2)资助。

作者简介:孙广友(1939-),男,黑龙江省哈尔滨人,研究员,从事地理学及湿地学研究。E-mail:sun_guangyou@163.com

*通讯作者:金会军,研究员。E-mail:jinhuijun2003@yahoo.com

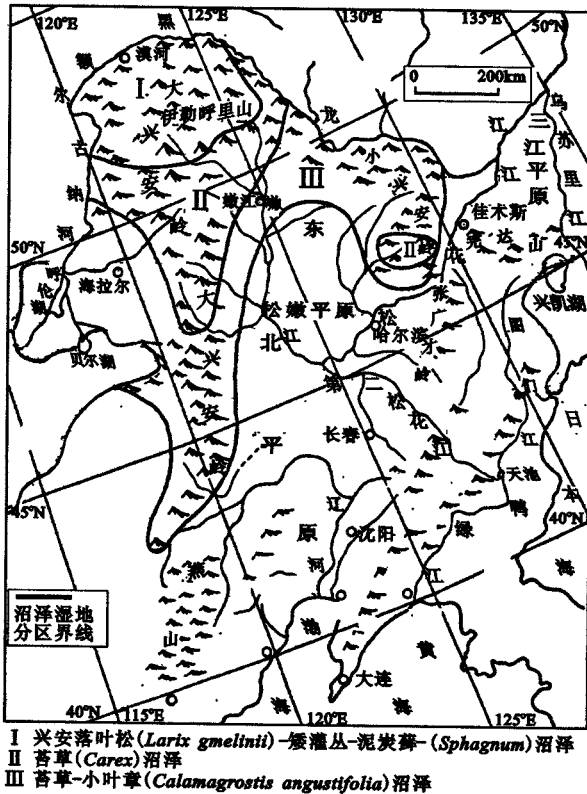


图1 大、小兴安岭山地沼泽湿地分区

Fig. 1 The mire subregions of the Daxing'an and Xiaoxing'an Mountain range

呈东西向展布,山顶面稳定在海拔1 000 m以上,具有多年冻土带东延效应;④小兴安岭南段主峰处有片状多年冻土分布^[21]。据此,本文对上述冻土南界进行了局部修正(图2)。

对比图1和图2可知,沼泽湿地与多年冻土的南界都呈“W”型,有着相当好的拟合性,说明两者在大尺度空间上具有重叠性,其物质能量场亦具有拟合性,是两者结构共生模式存在的证据。

2 中尺度空间的功能型共生模式

受环境变化的制约,大尺度空间的地理系统必然表现出区内分异性——分区。分区同样表征为多种属性,而功能是其重要属性之一。沼泽湿地与多年冻土作为共生事物亦如此。

2.1 沼泽湿地分区

沼泽分区可依据不同的指标体系。郎惠卿最早以优势沼泽类型将该区定为大、小兴安岭落叶松—狭叶杜香 (*Ledum palustre*)—泥炭藓森林沼泽区^[14],但由于该区沼泽类型的高度镶嵌性,一直无人做出二级分区。作者根据实地考察并结合参与

编制的中国沼泽图(1:400万)^[27],以沼泽率(沼泽面积/区域面积)为分区的主导指标,将本区沼泽率>0.30定为强度发育区,0.10~0.30为中度发育区,<0.10为弱发育区,从而将研究区的沼泽湿地划分为3个二级区:I大兴安岭北部沼泽强发育区;II大兴安岭中部及小兴安岭南端岛状区沼泽中度发育区;III大小兴安岭南部沼泽弱发育区(见图1)。

沼泽强发育区主要分布在大兴安岭北端,年平均气温<-5℃的范围内^[4],是大兴安岭最冷湿、海拔较高、逆温效应突出的地区。以兴安落叶松—偃松 (*Pinus pumila*)—泥炭藓沼泽、苔草—泥炭藓

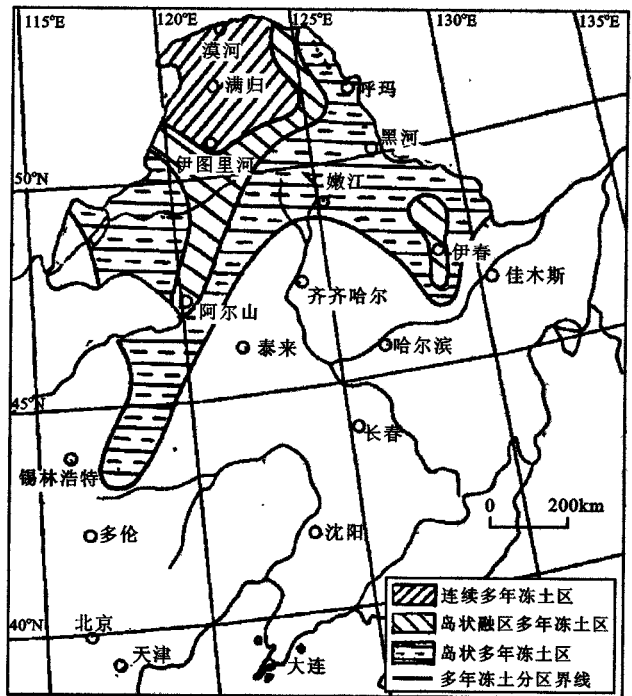
图2 大、小兴安岭多年冻土分布的南界
(根据文献[23]编绘)

Fig. 2 The south boundary of permafrost distribution in the Daxing'an and Xiaoxing'an Mountain range (revised from literature [23])

沼泽为主,矮灌丛[狭叶杜香、笃斯越桔 (*Vaccinium uliginosum*)]—泥炭藓沼泽、丛桦 (*Butula fruticosa*)—苔草—泥炭藓沼泽以及苔草沼泽等多种类型都得到强烈发育,它们呈“披覆式”覆盖了平缓的夷平面至宽谷的谷底。沼泽率高达30%~50%,河谷最高可达65%。沼泽中度发育区,分布在大兴安岭中部及小兴安岭南端岛状区,并随山脊南凸。以矮灌丛(狭叶杜香、笃斯越桔)—泥炭藓沼

泽为主,丛桦—苔草—泥炭藓沼泽及苔草沼泽等也较发育,但因河谷切割较深,苔草—泥炭藓沼泽减少。沼泽弱发育区包括大兴安岭南段及其东西两翼山麓带。该区苔草—小叶章沼泽为主导景观,虽然山脊同样有点状兴安落叶松—偃松—泥炭藓沼泽,河源沟头局部有矮灌丛(狭叶杜香、笃斯越桔)—泥炭藓沼泽,但数量明显减少,并逐渐过渡到山地外围的松嫩平原芦苇(*Phragmites australis*)、草甸沼泽。

2.2 多年冻土分区

周幼吾等^[4]曾对大、小兴安岭多年冻土进行分区,作者在此基础上作了适当修正并重新分区^[23]:①连续多年冻土区。位于大兴安岭北部,大体位于年平均气温 -5°C 等温线范围内,冻结指数 $>3\ 600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,冻土呈大面积分布,约占总面积的70%~80%。冻土厚达60~80 m,最厚达120 m。地下冰厚度大、延伸广,冰锥、石海等冷生构造发育。低温使本区成为大、小兴安岭多年冻土最稳定的地区。②岛状融区多年冻土区。大体分布在年平均气温 $-5\sim-3^{\circ}\text{C}$ 的范围内。除大兴安岭中部外,小兴安岭南段主峰处也有一个闭合小区,冻土连续系数为30%~60%,厚度多为20~50 m,年平均气温为 $-4\sim-3^{\circ}\text{C}$ 。大中型河流的河床下皆无多年冻土存在,冻土稳定性降低。③岛状多年冻土区。分布在岛状融区多年冻土区的外围至南界,年平均气温 $-0.5\sim-2.5^{\circ}\text{C}$ 。冻土连续系数在5%~30%,冻土厚度一般为5~20 m,属于高温不稳定冻土区。

2.3 沼泽湿地与多年冻土分区的内在联系

由上述可见,在本区中尺度的沼泽湿地与冻土各划分为3个区,但空间分布上却出现高度一致性:大兴安岭北部沼泽强发育区与连续多年冻土区吻合;大小兴安岭中部沼泽湿地中度发育区与岛状融区多年冻土区吻合;大小兴安岭南段及山地外围沼泽弱发育区与岛状多年冻土区吻合。这表明在两者的形成发育上彼此发挥着互相促进的积极效应。这显然是分区的体现:沼泽湿地发育愈强的地区,多年冻土发育也愈厚,愈稳定,反之亦然。

3 小(微)尺度空间的过程型共生模式

地理系统的小(微)尺度空间可以是一个具有剖面意义的地表单元^[20],蕴含垂向过程的物质—能量信息。沼泽湿地与多年冻土在二维空间上是

合一的,但在第三维上是上下叠置的。因此,两者小(微)尺度空间的共生过程主要从第三维的叠置关系上进行分析,从而获得本质认识。

3.1 沼泽湿地类型

按国际湿地分类系统,该区湿地属于自然湿地中的沼泽湿地(marsh)及河流湿地(river wetland)两大类^[30]。但由于三维地带规律交叉,地貌与水文结构、以及逆温效应等因素,使该区沼泽湿地类型复杂。本文采取综合分类原则^[31,32],将主要沼泽类型划分为3组10类(表1)。

为了建立共生模式,就必须进行典型沼泽类型分析,本文以沼泽植被发育到顶极群落、沼泽土壤剖面具有典型发生层系、生态景观显著性较高(区域主要生态景观类型之一)3个指标,划分出3种代表性沼泽类型:①苔草—泥炭藓沼泽;②狭叶杜香—泥炭藓沼泽;③苔草—小叶章沼泽。

闫敏华1990年7~9月对该区沼泽湿地辐射平衡进行了较系统的观测研究^[33,34],两种沼泽植被下垫面的热量平衡特征既有一致性(表2),又有差异性。沼泽土壤热通量(Q_s)占沼泽表面辐射平衡(B)的比例很小,约为10%,而潜热通量(LE)所占比例较高,为70%左右。这说明到达沼泽表面的热量主要用于其蒸散发过程,而进入土壤的热量很少,即沼泽植被和积水层起到了屏蔽热量的作用,因此该区冻土得以存在和发育。周幼吾等^[4]也指出,冻土发育取决于夏、冬两个半年土壤的热平衡^[4]。

3种典型沼泽湿地的土壤特性也明显不同,并直接影响到其多年冻土的物理特性(表3)。

3.2 小尺度共生模式分类

3.2.1 厚泥炭沼泽(苔草—泥炭藓沼泽)与厚多年冻土的强共生模式

苔草—泥炭藓沼泽占据了宽谷谷底和阶地的低洼地带,复杂的植被包括丛桦—棉花莎草(*Eriophorum gracile*)、灰脉苔草(*Carex appendiculata*)—瓣囊苔草(*Carex lehmanii*)及玉簪苔草(*Carex globularis*)—泥炭藓等群落。苔草—泥炭藓沼泽土壤包括沼泽土的各种土壤类型,尽管其持水量略小于矮灌丛—泥炭藓沼泽土壤,但多种水源复合补给使地表常年积水,可向土壤深部最大限度地输送水分;其泥炭层最大厚度达170 cm,在饱水情况下是一个巨大的热能耗散库,在冻土发育上,这两大特点较矮灌丛—泥炭藓沼泽更为优越,因而下部发育

表 1 大、小兴安岭沼泽湿地主要类型

Table 1 The main mire types of the Daxing'an and Xiaoxing'an Mountain range

沼泽类型		地貌类型		水文特征		土 壤		植被特征
组	类	位置	微地貌	水源补给	pH	类型	泥炭厚度 (cm)	优势种/总盖度 (%)
矮 灌 丛— 泥炭藓沼泽	落 叶 松 (<i>Larix</i>)—狭 叶 杜 香—泥炭藓沼泽	平 缓 岭 顶 缓坡	大藓丘	降水为主	4.9 ~ 5.5, 地表 潮湿	泥炭土	50 ~ 100	狭叶杜香、泥炭 藓/100
	、落 叶 松—笃 斯 越 桔—泥 炭 藓 沼泽	缓坡	泥炭丘	降水、地下水	5.0 ~ 6.5, 地表 潮湿	泥炭土	50 ~ 80	笃斯越桔、落叶 松、泥炭藓/100
	泥炭藓沼泽	缓坡、牛扼湖	藓丘	降水、坡水	5.0 ~ 5.5	泥炭土	< 30	狭叶杜香/100
	丛桦—苔草—泥 炭藓沼泽	缓坡	小泥炭丘	降 水、地 下水	5.5 ~ 6.5, 地表 潮湿	泥 炭 沼 泽 土、泥炭土	30 ~ 80	柴桦、泥炭藓/ 90 ~ 100
	苔 草—泥 炭 藓 沼泽	平坦谷底	草丘群	降 水、河 水、地下水	6.0 ~ 7.0, 季节 积水	泥 炭 沼 泽 土、泥炭土	< 20	苔草、泥炭藓/ 100
	丛桦—苔草沼泽	平缓谷底	大草丘	降 水、河 水、地下水	6.0 ~ 7.0, 季节 积水	泥 炭 沼 泽 土、腐质沼 泽土	< 30	丛桦、苔草/90
丛 桦—苔 草沼泽	乌拉苔草 (<i>Carex meyariana</i>)沼泽	河漫滩、低 洼地	平浅凹地	降 水、河 水、地下水	6.0 ~ 7.0, 季节 积水	泥 炭 沼 泽 土、腐质沼 泽土	< 30	乌拉苔草/80 ~ 100
	漂筏苔草 (<i>C. pseudocuraica</i>) 沼泽	沼泽河漫 滩、古河道	平浅凹地	降 水、河 水、地下水	5.5 ~ 6.5, 常年 积水	泥 炭 沼 泽 土、腐质沼 泽土	< 30	漂筏苔草/80 ~ 100
	毛苔草 (<i>C. lasi- ocarpa</i>)沼泽	沼泽低漫 滩、古河道	点状草丘	降 水、河 水、地下水	5.5 ~ 6.5, 常年 积水	泥 炭 沼 泽 土、泥炭土	< 30	毛苔草/80 ~ 100
苔 草—小 叶章沼泽	苔草—小叶章 沼泽	河漫滩、阶地	小草丘	降 水、河 水、地下水	6.0 ~ 7.0, 季节 积水	泥 炭 沼 泽 土、泥炭土	< 30	小叶章、苔草/ 80

表 2 1990 年 7 月 25 日大兴安岭典型沼泽湿地日间热量平衡特征

Table 2 The features of heat balance of typical marshes in Daxing'an Mountain range

沼泽类型	表层厚度 (cm)		辐射平衡 [B, J/(cm ² ·d)]	土壤热通量 [Q _s , J/(cm ² ·d)]	Q _s /B (%)	感热通量 [P, J/(cm ² ·d)]	P/B (%)	潜热通量 [LE, J/(cm ² ·d)]	LE/B (%)
	草被层	泥炭层							
丛桦—泥炭藓沼泽	35.0	0.5	3 040.69	216.08	7.1	252.68	8.3	2 571.93	84.6
兴安落叶松—狭叶 杜香—泥炭藓沼泽	30.0	< 0.2	2 216.46	339.30	15.3	365.13	16.5	1 512.03	68.2

注:表 2 根据文献[34]资料编制。

表3 大、小兴安岭沼泽湿地—多年冻土系统的物理参数
Table 3 The physical parameters of marsh - permafrost system in the Daxing'an and Xiaoxing'an Mountain range

类 型	沼泽体(沼泽基础层)物理参数							冻土体(冻土活跃层)物理参数						
	土壤 结构	厚度 (m)	孔隙度 (%)	含水率(%)/ 持水量(%)	容重(干) (g/cm ³)	热容量 [J/(cm ³ ·℃)]	热流值 [J/(cm ² · ℃·min)]	冻土温度 (℃)	最大 厚度 (m)	最大 融深 (m)	年变 厚度 (m)	含冰量 (%)	冷生构造	冻土性质
矮灌丛	根系层	0.25	95	95/1 800	0.3	2.805	0.004 1	2.1(1991) 4.2(1977)	40~68	0.8~1.2	15	40~80(裂 隙冰,层状 冰等)	冰丘,冻胀 丘,地下冰 丰富	稳定或较稳 定
一泥炭	泥炭层	<1.0	85	9/2 000	0.1		0.006 2							
藓沼泽	潜育层	<0.3	30	37/600	1.3	2.099	0.014 7							
	基质层		<30	54.1/	>1.3									
苔草—	根系层	0.30	87	95/1 500	0.25	2.805	0.004 1		60~130	1.3	15	40~80(裂 隙冰,厚层 状冰等)	冰锥,地下 冰丰富	稳定
泥炭藓	泥炭层	<1.7	85	91/1 200	0.3		0.006 2							
沼泽	潜育层	<0.5	25	30/600	1.3	2.099	0.014 7							
	基质层		<25	<20/	>1.3									
苔草—	根系层	<0.2	84.5	85/1 200	0.3	2.805	0.004 1	0~1(1991)	<10	3~5	18	10~30(层 状冰为主)	构造冰	不稳定
小叶章	泥炭层	<30	80	78/900	0.35		0.006 2							
沼泽	潜育层	<0.3	25	30/600	1.3	2.099	0.014 7							
	基质层		<25	<20/	>1.3									

注:沼泽体物理参数资料源自文献[9]、[20]、[27]、[35]和[36];冻土体物理参数资料源自文献[4]。根系层相当于土壤基本层的表层,泥炭层含泥炭土、泥炭腐殖质沼泽土和泥炭沼泽土。潜育层主要为草甸沼泽土和腐殖质沼泽土。基质层为矿质土类。矮灌丛—泥炭藓沼泽典型剖面以大兴安岭北部阿木尔河谷北沟为例^[9]:0~20 cm为泥炭藓层(含木本根系);20~120 cm为泥炭层及腐殖质沼泽土;120~300 cm为含土冰层;300~1 410 cm为含黏土及砂的圆砾层;1 410~1 960 cm为角砾层。苔草—泥炭藓沼泽典型剖面以小兴安岭汤红岭为例^[27]:0~30 cm为根系层(含灌木根);30~150 cm为泥炭层;150~190 cm为腐殖质沼泽土层;>190 cm为含黏土砂砾层。苔草—小叶章沼泽典型剖面以大兴安岭南坡科洛河谷为例^[20]:0~19 cm为根系层;19~25 cm为泥炭沼泽土层;25~80 cm为腐殖质沼泽土层;80~100 cm为含黏土砂砾层。

了较厚多年冻土层,冻土层厚度一般为 50 ~ 100 m,最大探明厚度出现在霍拉盆地,为 130 m^[36]。由于这一模式的水与负热流的传导率高,具有使多年冻土稳定发育的功能,因此称之为沼泽湿地与多年冻土的强共生模式。

3.2.2 中厚泥炭沼泽(矮灌丛—泥炭藓沼泽)与中厚多年冻土的中强共生模式

该模式包括狭叶杜香—泥炭藓沼泽与笃斯越桔—泥炭藓沼泽两类,考虑两类灌丛生境接近,故将其并称为矮生灌丛。泥炭藓层的隔热性、高持水量以及中厚泥炭层的高含水性所产生的“冷”效应,使双向冻结速率提高,对冻土发育十分有利。但是,由于主要依靠大气降水补给,雨后不产流,春、秋季水量往往不足,故不能如前一类模式,在整个生长期向下面的冻土层充分供水,冷生构造也不如前一类丰富,冻土层厚度也相对较薄,流向冻土层的水与负热流的传导率变小,故称之为沼泽湿地与多年冻土的中强共生模式。

3.2.3 薄(或无)泥炭沼泽(苔草—小叶章沼泽)与薄多年冻土的弱共生模式

苔草—小叶章沼泽宏观上分布在大、小兴安岭外围山麓面上,微观上分布于苔草沼泽的边缘带,属于富营养环境。苔草中包括嫩囊苔草、乌拉苔草等,伴生有东北甜茅(*Glyceria triflora*)、小白花地榆(*Sanguisorba parviflora*)、柳叶绣线菊(*Spiraea salicifolia*)等,是一种湿、中生的混合群落,常形成低草丘。无苔藓地被层的泥炭层较薄,一般 < 30 cm,或无泥炭层。地表一般仅季节性积水。虽然生长季的植被仍有与前两类相似的屏蔽作用,但土层的冷效应远低于前者,冻结土壤在暖季融深大,冻结速率也低,因而这类沼泽促进冻土发育的功能相对较低,在其保护下,仅发育了零星的岛状多年冻土。一般厚度在 5 ~ 10 m,最厚可达 20 m。可见,这是一种功能较弱的共生模式,故称为沼泽湿地与多年冻土弱共生模式。

4 结 论

沼泽湿地与多年冻土的共生模式因大、中、小(微)尺度空间而异。其中,大尺度空间为结构型共生模式,中尺度空间为功能性共生模式,小(微)尺度空间为过程性共生模式。它们分别对共生体的存在起到空间结构控制、功能控制及发育过程控制作用。低阶共生模式是高阶的基础。

由于沼泽类型的物理、化学与生物特性的差异,小(微)尺度空间上沼泽湿地与多年冻土的过程型共生模式又划为 3 种:①强共生模式,厚泥炭沼泽与稳定多年冻土组合;②中强共生模式,中厚泥炭沼泽与亚稳定多年冻土组合;③弱共生模式,薄(或无)泥炭沼泽与不稳定多年冻土组合。它们分别对应稳定的连续多年厚层冻土区、较稳定的融区中厚层多年冻土区和不稳定的岛状薄层多年冻土区。

共生必然会在物质、能量、信息流过程上表现为正激励效应。共生模式的探索是以系统论为基础,将生态过程引入冻土发育机制,实现冻土物理过程、化学过程及生物过程的有机结合,对现代冻土学理论建设有一定价值。同时进一步阐明了湿地对冻土发育的作用,冻土的退化首先表现为沼泽的退化。因此,通过保护沼泽湿地来保护冻土不但是重要途径,亦是最优生态保护。本文提供了通过保护湿地来保护冻土的新思路,有一定实践意义。

大、小兴安岭多年冻土的分布是一个复杂问题,即使本文作者的阶段性见解亦不尽相同。共生模式的定量分析及数学模型建立则有待进一步探讨。

参考文献

- [1] 孙广友,于少鹏,王海霞. 湿地与人类[C]//路甬祥. 科学与中国——院士专家巡讲团报告集第二辑. 北京:北京大学出版社,2006:231 ~ 245.
- [2] 赵学敏. 湿地:人类与自然和谐共存的家园[M]. 北京:中国林业出版社,2005:1 ~ 17.
- [3] 郎惠卿. 兴安岭和长白山地森林沼泽类型及其演替[J]. 植物学报,1981,23(6):470 ~ 477.
- [4] 周幼吾,邱国庆,郭东信,等. 中国的冻土[M]. 北京:科学出版社,2000:9 ~ 20,40 ~ 60,150 ~ 210.
- [5] 王春鹤. 中国东北冻土区融冻作用与开发建设[M]. 北京:科学出版社,1998:5 ~ 109.
- [6] 中国科学院长春地理研究所沼泽研究室. 三江平原沼泽[M]. 北京:科学出版社,1983:3 ~ 86.
- [7] 赵魁义,张文芬,周幼吾,等. 大兴安岭森林火灾对环境的影响与对策[C]. 北京:科学出版社,1994.
- [8] 张文芬. 大小兴安岭山区沼泽及其林业利用[C]//黄锡畴. 中国沼泽研究. 北京:科学出版社,1988:198 ~ 206.
- [9] 鲁国威. 中国东北部兴安落叶松植被与多年冻土的环境变化特征[C]//中国科学院兰州冰川冻土所. 第三届全国冻土学术会议论文选集. 北京:科学出版社,1989:37 ~ 42.
- [10] 张汉文. 大兴安岭北区植被与冻土的关系[C]//中国科学院兰州冰川冻土所. 第二届全国冻土学术会议论文选集. 兰州:甘肃人民出版社,1983:81 ~ 84.
- [11] 陈亚明,印艳华. 大兴安岭森林开发对冻土季节性融化层的影响[C]//中国科学院兰州冰川冻土所. 第五届全国冻土学

- 术会议论文选集(下). 兰州:甘肃人民出版社,1996:1 087 ~ 1 091.
- [12] Mitsch W J, Gosselink J G. 1993. Wetlands[M]. New York: Van Nostrand Reinhold. 3 ~ 20.
- [13] 赵魁义,孙广友,杨永兴,等. 中国沼泽志[M]. 北京:科学出版社,1999:3 ~ 52.
- [14] 郎惠卿,金树人. 中国沼泽[M]. 济南:山东科学技术出版社,1983:5 ~ 35.
- [15] 左平,宋长春,钦佩. 从第七届国际湿地会议看全球湿地研究热点及进展[J]. 湿地科学,2005,3(1):66 ~ 73.
- [16] 孙广友. 美国湿地研究进展[J]. 地理科学,1997,17(1):87 ~ 90.
- [17] 孙广友. 中国湿地科学的进展与展望[J]. 地球科学进展,2000,15(6):666 ~ 672.
- [18] 杨永兴. 国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望[J]. 地球科学进展,2002,17(4):508 ~ 514.
- [19] 孙广友. 试论沼泽湿地与冻土的共生机理[J]. 冰川冻土,2000,22(4):309 ~ 315.
- [20] 牛文元. 理论地理学[M]. 北京:商务出版社,1992:641 ~ 808.
- [21] 尹怀宁. 关于小兴安岭东段沼泽形成问题[J]. 植物生态与地植物丛刊,1984,3(3):101 ~ 110.
- [22] 张养贞. 大小兴安岭山地和呼伦贝尔高原的沼泽土壤资源及其利用[C]//黄锡畴. 中国沼泽研究. 北京:科学出版社,1988:207 ~ 215.
- [23] 孙广友,于少鹏,王海霞. 大小兴安岭多年冻土的主导成因及分布模式[J]. 地理科学,2007,22(1):68 ~ 74.
- [24] 陆大道. 区域发展及其空间结构[M]. 北京:科学出版社,1995:1 ~ 55.
- [25] 陈述彭,鲁学军,周成虎. 遥感技术与地理信息统概论[M]. 北京:科学出版社,1999:15 ~ 23.
- [26] 任美镔,杨纫章,包浩生. 中国自然地理纲要[M]. 北京:商务印书馆,1979:41.
- [27] 王化群,吕宪国,赵魁义,等. 中国沼泽图[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [28] 郎惠卿. 中国湿地植被[M]. 北京:科学出版社,2000:1 ~ 102.
- [29] 杨永兴,杨富亿. 黑龙江干流水梯级开发对沼生水生生态环境影响的研究[C]//孙广友. 黑龙江干流梯级开发对右岸自然环境与社会经济发展的影响. 长春:吉林科学技术出版社,1995:116 ~ 127.
- [30] 国家林业局《湿地公约》履约办公室. 湿地公约履约指南[M]. 北京:中国林业出版社,2001:16.
- [31] 孙广友,于少鹏,王海霞. 湿地科学的性质、结构与创新前缘[C]//中国地理学会. 地理学发展方略和理论建设. 北京:商务出版社,2004:241 ~ 252.
- [32] 孙广友. 试论沼泽综合分类系统[J]. 地理学报,1998,53(增刊):141 ~ 148.
- [33] 闫敏华. 大兴安岭森林火灾对沼泽小气候的影响[J]. 地理科学,1993,13(4):389 ~ 390.
- [34] 闫敏华. 森林火灾对大兴安岭林区沼泽热量平衡和小气候的影响[D]. 长春:中国科学院长春地理研究所,1991.
- [35] 柴岫. 泥炭地学[M]. 北京:地质出版社,1990:125,236 ~ 248.
- [36] 张则有. 泥炭及其应用[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1992:5 ~ 57.

The Symbiosis Models of Marshes and Pemafrst ——A Case Study in Daxing'an and Xiaoxing'an Mountain Range

SUN Guang-You¹, JIN Hui-Jun², YU Shao-Peng³

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Changchun 130012, Jilin, P. R. China; 2. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, Gansu, P. R. China; 3. Harbing College, Harbin 150000, Heilongjiang, P. R. China)

Abstract: This paper's author discussed the symbiosis mechanism of marshes and pemafrst in 2000. Based on that paper, the symbiosis models of marshes and permafrost were further discussed in this paper. The Daxing'an and Xiaoxing'an Mountain range are not only permafrost areas, but also important areas of marshes in the high latitude of Northeast China. Therefore, the mountains are typical regions to study the relationship between the marsh and permafrost.

The symbiosis models of marshes and permafrost were raised: ①the symbiosis distribution of marshes and permafrost on lager scale; ②the functional symbiosis model on the middle scale; ③the process symbiosis model on smaller space. The third model could be divided 3 types: ①steadier and stronger marsh - permafrost symbiosis model with thicker peat layer; ②steady and strong marsh - permafrost symbiosis model with thick peat layer; ③weak marsh - permafrost symbiosis model without peat layer.

Keywords: marsh; permafrost; symbiosis model; Daxing'an and Xiaoxing'an Mountain range