

# 高寒地区寒冻雏形土的持水特性<sup>\*</sup>

曹广民 李英年 鲍新奎

(中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站 西宁 810001)

**摘 要** 讨论了高寒地区寒冻雏形土两个主要土类草毡寒冻雏形土和暗沃寒冻雏形土的持水特性及影响因素。寒冻雏形土具有较高的持水能力,其植物根系分布层(0-20cm)饱和含水量为79.8-143.7%,田间持水量可达33.7-99.6%,且暗沃寒冻雏形土的持水能力高于草毡寒冻雏形土。寒冻雏形土的高持水性能主要与其高有机质含量、低容重有关。

**关键词** 寒冻雏形土;水分特征曲线;持水特性;持水量

水分是生物圈重要的组成部分,是大气—土壤—植被之间物质循环和能量流动的介质,水分条件直接影响着植物细胞的膨润增长、营养物质迁移及其光合作用,并成为有机体的组成成分。青藏高原寒冻雏形土分布区,环境条件极为严酷,太阳辐射强烈,风速大,空气湿度低,天气干旱,水面蒸发量(1160.3mm)明显大于区域降水量(400-700mm),水分供求矛盾十分突出,因此,研究其土壤水分特性、持水能力,对牧业生产具有重要的实际意义。关于我国大部分地区土壤持水特性已有大量报道<sup>[1-5]</sup>,而对青藏高原寒冻雏形土仅见少量水分动态变化方面的报道<sup>[6,7]</sup>,很少涉及到土壤持水特性方面的内容。本文分析了寒冻雏形土的水分特征和持水能力,旨在为高寒草地合理利用措施的选择提供理论依据。

## 1 供试样地

### 1.1 自然地理概况

供试土样采集于青海东北部祁连山地中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站综合试验场(37°37'N、101°19'E,海拔3200m,简称青北)和青海南部果洛州甘德县青珍山哑口(33°44'N、99°23'E,海拔4420m,简称青南)。两地年平均气温-1.7℃(青北)—-2.9℃(青南),最热月平均气温<10℃,最冷月平均气温<-15.0℃;年降水量为570(青南)—598mm(青北),降水主要分布于暖季的5—9月,占年降水量的79—81%;两地年蒸发量在1104(青北)—1232mm(青南)之间,无四季之分,相对无霜期仅20天左右。供试土样的基本物理性状列于表1。

### 1.2 供试材料和方法

土壤水分特征曲线:在青北研究样地采集自然土柱,置于1000ml玻璃烧杯中,埋入负压计,用称重法测定土壤含水量,负压计测定土壤水吸力,绘制土壤水分特征曲线。测定脱水变化曲线时,将土柱灌水饱和,然后任其自然蒸发脱水,定时(每日08、12、16、24时)测定各蒸发

\* 中国科学院生态网络研究课题资助。

过程的土壤含水量与水吸力,至土柱水分不再蒸发,即负压计读数达最大且数值稳定为止;测定吸水变化曲线时,给土柱分次定量加水,平衡后测定其含水量和对应的水吸力,至土柱水吸力不再变化,约为零时为止。

表1 寒冻锥形土的基本物理性状

土类	采样地点	深度 (cm)	容重 (g <sub>cm</sub> ) <sup>-3</sup>	有机物质		机械组成(粒径:mm)		
				粗有机物质*	有机质	2-0.05	0.05-0.002	<0.002
草毡寒冻锥形土	青北	0-20	0.72	12.85	105.4	594.0	266.2	139.9
		20-40	0.94	2.40	47.7	560.2	219.4	98.0
	青南	0-11	0.59	97.8	302.4			
		11-25	0.86	4.10	124.4			
		25-51	0.97	2.10	81.3			
暗沃寒冻锥形土	青北	0-20	0.52	12.95	206.3	828.3	53.7	118.0
		20-40	1.12	3.90	128.2	792.9	22.6	184.5

\* 粗有机物质指筛分法分离出来的草毡状有机土壤物质主要是半分解的植物根系。

土壤田间持水量及容重测定:在研究样地,采用围框灌水法测定土壤饱和含水量、田间持水量,用环刀法测定土壤容重。

有机物质测定:采集土壤样品,通过筛分法,测出草毡状有机土壤物质(包括半分解的植物根系),用丘林法测定土壤有机质,吸管法测定土壤机械组成。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 寒冻锥形土的水分特征曲线

土壤水分特征曲线,能揭示出土壤含水量与土壤吸水之间的内在联系。通过试验分析,以土壤含水量  $\theta_v$  为纵坐标,水吸力  $S$ (基膜吸力,下同)为横坐标绘出寒冻锥形土的水分特征曲线,见图1和图2。

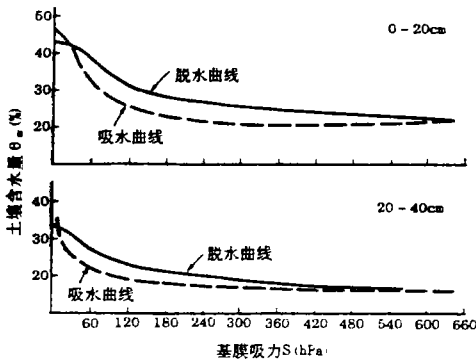


图1 草毡寒冻锥形土水分特征曲线

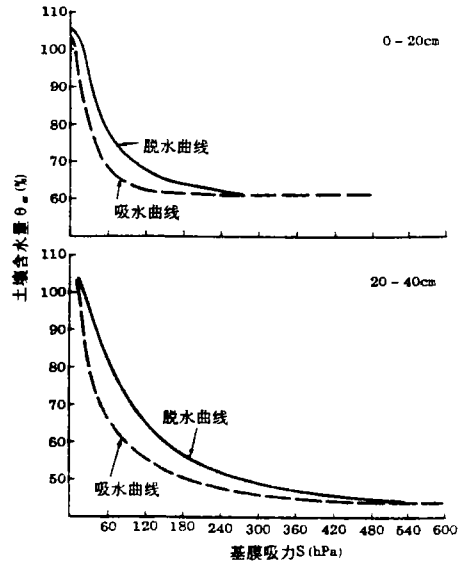


图2 暗沃寒冻锥形土水分特征曲线

由图1、图2看出,青藏高原高寒地区寒冻锥形土的土壤水吸力变化在0-650hPa之间:

含水量变化在 15.4 - 105.7% 之间。草毡寒冻锥形土吸力变化较大, 为 5.3 - 666.7hPa, 而持水量较低, 仅为 22.4%; 暗沃寒冻锥形土, 水吸力为 13.3 - 599.9hPa, 土壤含水量变化高达 59.8%, 比草毡寒冻锥形土高 37% 以上, 并且同一土壤水吸力状况下, 暗沃寒冻锥形土含水量明显高于草毡寒冻锥形土。从水分特征曲线来看, 持水曲线在 75 - 600hPa 之间变化平稳, 在 75hPa 以下的低吸力段, 曲线变化幅度较大, 暗沃寒冻锥形土变化更为明显。

寒冻锥形土的水分特征曲线可用幂指数曲线  $\theta_g = a \cdot S^{-b}$  方程进行模拟回归<sup>[8]</sup>, 式中:  $\theta_g$  为土壤含水量(%); S 为水吸力(hPa); a、b 为回归系数。其方程的回归参数见表 2。

表 2 寒冻锥形土的水分特征曲线模拟方程

土 类	深度 (cm)	状态	模拟方程		$\theta_g = a \cdot S^{-b}$ r
			a	b	
草毡寒冻锥形土	0 - 20	脱水	86.7417	0.2152	-0.9511(n=45)
		吸水	82.5191	0.2289	-0.9839(n=21)
	20 - 40	脱水	61.3056	0.2009	-0.9816(n=49)
		吸水	40.8222	0.1470	-0.9845(n=17)
暗沃寒冻锥形土	0 - 20	脱水	241.1606	0.2711	-0.9888(n=54)
		吸水	180.9505	0.2377	-0.9788(n=24)
	20 - 40	脱水	150.4098	0.1511	-0.9605(n=40)
		吸水	114.5309	0.1039	-0.8562(n=16)

由表 2 可见, 寒冻锥形土的含水量与水吸力具有很好的负相关关系, 均达极显著水平( $P < 0.001$ )。据此可对高寒地区寒冻锥形土的水吸力和含水量进行互相推算, 以应用于田间水分的调控管理。

## 2.2 寒冻锥形土的持水性

寒冻锥形土分布区, 海拔高, 气温极低。严酷的气候环境条件下, 形成了以适应寒冷气候的耐寒性中生、多年生草本植物, 植物地下根系发达, 主要分布于 0 - 20cm 的土壤表层<sup>[9]</sup>, 土壤有机物质含量丰富, 容重较低, 特别是土壤草毡表层及暗沃表层的存在, 它们均具有较强的持水性能, 使土壤含水量保持较高的水平, 有较长时间的饱和水分状况<sup>[10]</sup>。寒冻锥形土的持水量列于表 3。

表 3 寒冻锥形土的持水量

土 类	采样地点	深度 (cm)	饱和含水量		田间持水量		凋萎含水量		吸湿水	
			(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)
草毡寒冻锥形土	青北	0 - 20	104.4	150.4	53.6	77.1	12.5	18.0	3.90	5.62
		20 - 40	94.7	178.0	35.9	67.4	11.9	22.3	2.32	4.36
	青南	0 - 11	140.2	91.0	82.0	53.2			4.54	2.95
		11 - 25	84.3	101.4	51.5	62.0			3.54	4.26
		25 - 51	69.1	174.4	39.4	99.2			2.88	7.26
暗沃寒冻锥形土	青北	0 - 20	143.7	178.2	99.6	123.6	15.4	19.1	6.59	8.17
		20 - 40	79.8	178.6	53.1	118.9	8.10	18.1	5.59	12.6

由表 3 可见, 寒冻锥形土的持水能力极强, 土壤饱和含水量达 69.1 - 143.7%, 植物根系分布层(0 - 20cm)的贮水量在田间持水量时为 771.3 - 1235.5tha<sup>-1</sup>。同时可以看出, 草毡寒冻锥形土与暗沃寒冻锥形土其水分特征有所差异, 根系分布层, 后者饱和含水量时(1781.6tha<sup>-1</sup>)

较前者(1503.5tha<sup>-1</sup>)大 278.1tha<sup>-1</sup>;二者在凋萎含水量时基本相同,平均为 186.1tha<sup>-1</sup>;草毡寒冻锥形土以无效水为主,占植物根系分布层总贮水量的 48.7%,有效水仅占总贮水量的 39.4%,而暗沃寒冻锥形土却以有效水为主,占根系分布层总贮水量的 58.6%,无效水只占 30.7%,表明暗沃寒冻锥形土有更充足的水分为植物生长所利用,剖面下部常呈还原状态,多见锈纹锈斑。

影响寒冻锥形土持水量的因素是土壤容重及有机物质含量。分析表明,寒冻锥形土的饱和含水量 y<sub>s</sub>(%)与土壤容重 C<sub>S</sub>(gcm<sup>-3</sup>)呈显著的线性负相关关系(P<0.01),可用方程:y<sub>s</sub> = 203.13-123.39C<sub>S</sub>(r = -0.9125, n = 7)来表示,表明容重越小,土壤饱和含水量越大。而田间持水量 y<sub>f</sub>(%)与土壤有机质 x(gkg<sup>-1</sup>)呈线性正相关关系(P<0.01),其回归方程为:y<sub>f</sub> = 11.30 + 0.38x(r = 0.9544, n = 7),即土壤有机物质含量越高,田间持水量越大。

### 2.3 寒冻锥形土的比水容量

土壤持水能力,仅能反映植物可能利用的水量,而供水强度与速率的大小则取决于土壤比水容量的大小。

所谓土壤比水容量是指在土壤吸力变化一个单位时,土壤吸入或释放的水量,即土壤水分特征曲线的斜率。通过对寒冻锥形土水分特征曲线经验方式  $\theta_g = a \cdot S^b$  求一个导数,可得寒冻锥形土的比水容量变化方程:

$$C_{(\theta)} = d\theta_g/ds = a \cdot b \cdot s^{-(b+1)}$$

不同吸力状况下,寒冻锥形土的比水容量见表 4。

表 4 寒冻锥形土的比水容量 (ml·hPa<sup>-1</sup>·cm<sup>-3</sup>)

吸力 (hPa)	草毡寒冻锥形土		暗沃寒冻锥形土	
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	0-40cm
0.1	0.4989	0.4590	1.0506	1.2791
0.2	0.2149	0.1997	0.4353	0.5744
0.3	0.1313	0.1227	0.2600	0.3596
0.4	0.0925	0.0869	0.1804	0.2579
0.5	0.0766	0.0664	0.1358	0.1993
0.6	0.0565	0.0534	0.1077	0.1615
0.7	0.0469	0.0444	0.0886	0.1353
0.8	0.0399	0.0378	0.0747	0.1158

由表 4 看出,草毡寒冻锥形土与暗沃寒冻锥形土比水容量均随土壤水分吸力的增大而渐趋减小;同一土壤,随土层深度的增加,比水容量亦渐趋减小。由表 4 还可以看出,同一土壤吸力状况下,暗沃寒冻锥形土比水容量较草毡寒冻锥形土高 2—3 倍,即二类土壤水分吸力变化相同数量,暗沃寒冻锥形土吸入或释放的水量是草毡寒冻锥形土的 2—3 倍。

### 2.4 寒冻锥形土的持水性能对畜牧业生产的影响

寒冻锥形土的高有机质,低容重,使土壤保蓄较多的水分,加之高原独特的气候条件,水热同期,植物生长季短,自然降水主要集中于植物生长季的 5—9 月,植物消耗水分最多的季节也是降水较多的时期,水分能得到及时补充。观测资料表明,植物生长季的 5—9 月土壤平均含水量,草毡寒冻锥形土分别为 43.2%、30.6%、44.6%、45.5%、44.4%;暗沃寒冻锥形土分别为 88.1%、84.3%、93.8%、85.1%、81.6%,远高于它们的凋萎含水量(草毡寒冻锥形土为 12.5%,暗沃寒冻锥形土为 15.4%)。同时,冬季土壤冻结,土壤水分不易散失,因此,在通常状况下,寒冻锥形土水分状况不会成为限制生产力的障碍因子。但遇干旱年份或生育期降水不均,土壤含水量便迅速下降,虽然仍高于凋萎含水量,但满足不了植物蒸腾蒸散的需要,将对牧草生长有一定的影响。

(下转第 46 页)

## 参 考 文 献

- 1 杨向杰. 加强土地管理 实现耕地总量动态平衡. 土壤, 1996, 28(6): 281-284
- 2 赵其国. 从现代土壤学看江苏省持续发展中的问题. 土壤, 1996, 28(4): 169-175
- 3 袁从祎. 我国农业发展战略的决策——持续农业. 见: 邹超亚主编. 中国高功能高效益耕作制度研究进展. 贵阳: 贵州科技出版社, 1990, 21-27
- 4 孙耀邦. 土壤耕作技术与应用. 中国农业出版社, 1995, 1
- 5 张洪程, 戴其根, 钟明喜等. 稻田套播麦高产高效轻型栽培技术研究. 江苏农学院学报, 1994, 15(4): 19-23
- 6 陈后庆, 沈新平, 刘世平等. 麦套稻生长发育及产量形成的研究. 江苏农学院学报, 1994, 15(4): 30-33
- 7 黄细喜, 刘世平, 陈后庆等. 江苏稻麦复种合理轮耕制的研究. 土壤学报, 1993, 30(1): 9-17
- 8 董百舒, 王振忠, 许学前等. 江苏稻麦两熟田稻季的合理耕作及轮耕制. 耕作与栽培, 1992, 3: 6-10
- 9 刘世平, 庄恒扬, 沈新平等. 苏北轮耕轮培优化模式研究. 江苏农学院学报, 1996, 17(4): 31-37
- 10 赵诚斋. 太湖地区水稻土的物理特性与少免耕的关系. 土壤学报, 1989, 26(2): 101-107
- 11 黄细喜, 邵达三, 张洪程. 新型耕作技术及理论. 南京: 东南大学出版社, 1991, 1-16



(上接第30页)

## 参 考 文 献

- 1 梁音, 史德明, 杨艳生, 吕喜玺. 长江三峡地区侵蚀土壤水分特征研究. 土壤, 1993, 25(4): 201-204
- 2 李小刚, 杨治, 谢恩波. 甘肃几种旱地土壤低吸力段持水性能的初步研究. 土壤通报, 1994, 25(4): 155-157
- 3 茹连梅. 陕西黄土的水分特征曲线及其水分特征初步分析. 土壤通报, 1991, 22(2): 61-64
- 4 陈良富, 李洪建, 刘太维. 晋西北砖窑沟流域几种主要土壤的持水特性. 土壤通报, 1994, 25(5): 199-200
- 5 赵文智. 河北坝上半干旱/半湿润过渡带土壤水分状况研究. 中国沙漠, 1996, 16(2): 105-111
- 6 鲍新奎, 李英年, 曹广民. 寒毡土(亚高山草甸土)湿度的时空动态及其应用. 高寒草甸生态系统(第四集). 北京: 科学出版社, 1995, 19-26
- 7 鲍新奎, 李英年, 陈义明. 寒冻毡土水分变化规律及其在系统分类中的应用. 见: 龚子同主编. 中国土壤系统分类新论. 北京: 科学出版社, 1994, 360-368
- 8 D. 希勒尔著(华孟等译). 土壤和水一物理原理与过程. 北京: 农业出版社, 1981, 65-68
- 9 王启基, 杨福困, 史顺海. 高寒矮嵩草草甸地下生物量形成规律的初步研究. 高寒草甸生态系统国际学术讨论论文集. 北京: 科学出版社, 1989, 83-94
- 10 鲍新奎, 曹广民, 高以信. 草毡表层的形成环境和发生机理. 土壤学报, 1995, 32(增刊): 45-52