

冻结期土壤水盐动态的研究*

刘子义

(新疆生产建设兵团农二师二十二团农科站)

焉耆盆地是天山南麓的山间盆地，海拔1048—1205米。年平均气温8—8.6℃，最低气温-30.4℃，日平均气温低于0℃的时间从11月中、下旬至翌年3月上旬，没有积雪覆盖。土壤冻结时期为11月中旬至4月中旬，约五个月，冻结深度为0.7—1.15米，属于季节性冻土地区。

冻结期土壤水分、盐分的活动规律及其与地下水的相互关系，是研究盐碱土改良利用、防止返盐、巩固脱盐效果不可少的一个重要环节。我们于1980—1982年开展了这项观测工作。供试土壤为粉砂质轻壤。

一、冻层土壤水分动态

根据水盐变化的特征，土壤的冻融过程大致可分为四个阶段：

1. 从地表温度降到0℃时开始，到土壤有稳定冻结层出现，是夜冻日消的冻融交替阶段。一般年份是10月下旬至11月中旬。该阶段夜间地表冻层接纳汽态凝结水，白昼融冻蒸发散失。白昼总蒸发量大于夜间凝结水量，土壤水分减少。

2. 从土壤上部有稳定冻结层到冻层达最大深度为冻层发展阶段。冻层以每昼夜0.9—1.2厘米的速度向下发展，到2月中旬达最大深度。冻层平均含水率由23.9%增加到41.3%，储水量由154立方米/亩增加到191.1立方米/亩，净增37.1立方米/亩(表1)。冻层内土壤水分的分布并不是均匀的，而是随着冻层的发展，形成一个逐渐向下推移的冻结核心(图1)，核心处就是冻结层中含水率最高的部位，随着冻层的发展，核心处含水率由33.3%增加到53.0%。而地表0—5厘米土层则失水形成松散的干土层，含水率由22.5%减少到12.3%。进入冻层的水分以固态形式存在于土壤孔隙中，由于冰的冻胀作用，使土体膨胀，土壤平均容重由1.38克/厘米³减小到0.991克/厘米³，孔隙率高达62.6%(表2)。

在冻层向下发展的过程中，冻层以下存在着一个含水率最低的紧实层，随着冻层的发展向下推移(图1，表2)。元月17日冻层深度为50厘米时，40—50厘米土层容重为1.183克/厘

* 参加观测工作的有：董树信、宋德民、朱德康等同志，盐分分析由本站化验室承担。

团技术员测定，在地表干燥，无植被情况下，每次刮八级大风时，可吹走2厘米厚的细土。我们在哈巴河县前哨公社调查，一块三年苜蓿地，周围有林带保护，土层已增厚12厘米，当然那里风沙更大，灌溉也带来一些细土，加上苜蓿枝叶的覆盖，效果尤为明显。林带降低风速，截留尘沙，保护土层的作用是显而易见的。而且林带还能降低地下水位，起到生物排水作用和解决职工部分用材。

表 1 冻结期土壤水盐变化

冻融过程		发展阶段		稳定阶段		融冻阶段	
土壤容重(克/厘米 ³)		1.380	0.991	0.991	0.991	0.991	1.20
水	含水率 (%)	23.9	41.3	41.3	41.2	41.2	24.2
	储水量(立方米/亩)	154.0	191.1	191.1	190.6	190.6	135.6
盐	增减量(±立方米/亩)	+37.1		-0.5		-55.0	
	含盐量 (%)	0.452	0.889	0.889	0.864	0.864	0.681
分	储盐量(公斤/亩)	2912.3	4113.4	4113.4	3997.7	3997.7	3815.5
	增减量(±公斤/亩)	+1201.1		-115.7		-182.2	

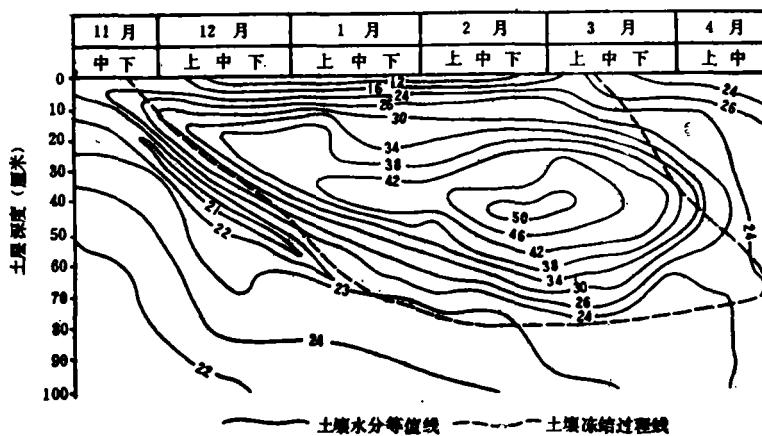


图 1 冻层土壤水分历时等值线

表 2 冻结期土壤容重及含水率变化

日期 (日/月)	土层深度(厘米)	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	平均	冻层深度 (厘米)
28/11	容重(克/厘米 ³)	1.202	1.439	1.431	1.451	1.338	1.406	1.380	10
	含水率 (%)	27.8	21.5	25.3	27.9	20.0	20.9	23.9	
17/元	容重(克/厘米 ³)			0.920	1.183	1.554	1.380		50
	含水率 (%)			43.2	39.1	18.3	26.6		
30/元	容重(克/厘米 ³)			0.889	1.117	1.196	1.454		60
	含水率 (%)			45.6	42.3	36.1	20.4		
4/2	容重(克/厘米 ³)	1.024	1.221	1.148	1.038	0.859	0.654	0.991	70
	含水率 (%)	35.9	30.2	37.8	41.4	48.6	53.9	41.3	
	孔隙率 (%)	61.3	53.9	56.7	60.8	67.6	75.3	62.6	

米³, 含水率为39.1%, 而50—60厘米土层容重达1.554克/厘米³, 含水率为18.3%, 60—70厘米土层容重为1.380克/厘米³。到元月30日, 冻层深度达60厘米时, 50—60厘米土层容重减少到1.196克/厘米³, 含水率增加到了36.1%, 而60—70厘米土层容重增加到1.454克/厘米³, 含水率减小为20.4%。该层可能是土壤冻结过程中膨胀挤压形成的。

冻层土壤水分的聚积量与地下水埋深及土地耕作(秋耕与否)有关。地下水埋深愈小, 产

生的温度梯度愈大，热毛管流愈强，所以冻层含水率愈高；反之，埋深愈大含水率愈小。调查资料表明，冻结初期地下水埋深为1.9—2.1米时，冻层平均含水率为35.6%；埋深为1.4—1.6米时，冻层含水率为41.3%。秋耕后造成的疏松耕层对土壤水分的聚积有抑制作用，与未秋耕地相比，冻层平均含水率低4—5%。

3. 从冻层达到最大深度至地表开始融冻，为冻层发展阶段。该阶段，冻层停止向纵深发展，但是冻结核心部位及其上部临近土层(20—50厘米)含水率仍有增加的趋势，核心下部临近土层水分有减少的趋势。冻层以下没有明显的紧实层。

4. 从表层开始融冻到冻层融透，为融冻阶段。融冻过程主要是自上而下进行的(图1)，融冻速度为每昼夜1.83厘米。自下而上融冻的开始期与表层是一致的，但其速度很慢，约为每昼夜0.27厘米。在这一阶段，整个冻层开始释水(图2)。由于融冻过程主要是自上而下进行的，上部冻层释放的水分在冻层融透之前不能下渗，大量蒸发散失，其水量为63.4毫米，占该阶段总释水量的76.9%。在重力作用下向下运行补给底土和地下水的水量为19.1毫米，占总释水量的23.1%。冻层融透后，土壤水分动态就开始了地下水通过毛管上升补给，地表蒸发消耗的运行过程。

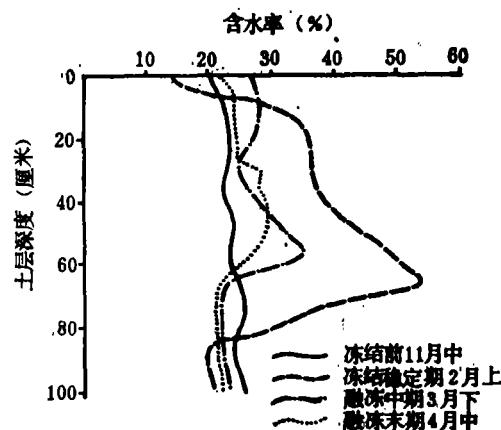


图2 冻结期土壤含水率变化

二、冻结层土壤水分的聚积、释放与地下水的关系

冻层中超过冻结始期含水量部分的水分主要来源于地下水。其运动形式有二：一是由于冻层发展阶段土壤上层温度高于底层，这种温度梯度产生了地下水向上运行的热毛管流，这是主要的；其次是水汽凝结形式。以这两种形式进入冻层中的水分，是以固态形式存在于土壤孔隙中，达到过饱和状态的重力水。观测资料表明(表1)，土壤冻结期进入冻层的水量达55.6毫米，按给水度0.07计算，可使地下水位下降79.4厘米，是秋冬地下水位下降的主要因素，但是这部分水并没有排出土壤—地下水这个联合体。到融冻阶段，除大部分蒸发散失外，还有19.1毫米下渗回补地下水，可使地下水位升高27.3厘米，是早春地下水位上升的重要因素。因此，土壤冻层中水分的聚积、释放过程，实际上是地下水动态的一种特殊形式。

三、冻层土壤盐分动态

土壤中盐分的运动是由水运载的。上述地下水进入冻层的两种运动形式中，汽态水是不载盐的，而热毛管流则是载盐的。热毛管流运行结果必然使冻层土壤盐分增加，增加的程度决定于上升的水量和矿化度。调查资料表明，封冻前地下水埋深1.4—1.6米，冻层含盐量由0.452%增加到0.889%，储盐量增加了1201公斤/亩；埋深1.9—2.1米，含盐量由0.213%增加到0.274%，储盐量仅增加270.4公斤/亩。冻层中盐分的分布特点与水分的分布不一致，并没有在水分聚积的冻结核心处形成盐分聚积(图3)，这说明冻层形成后，水分向冻结核心聚积的过程是以汽态凝结形式为主的。在冻层发展阶段，随热毛管流进入冻层的盐分，在10—

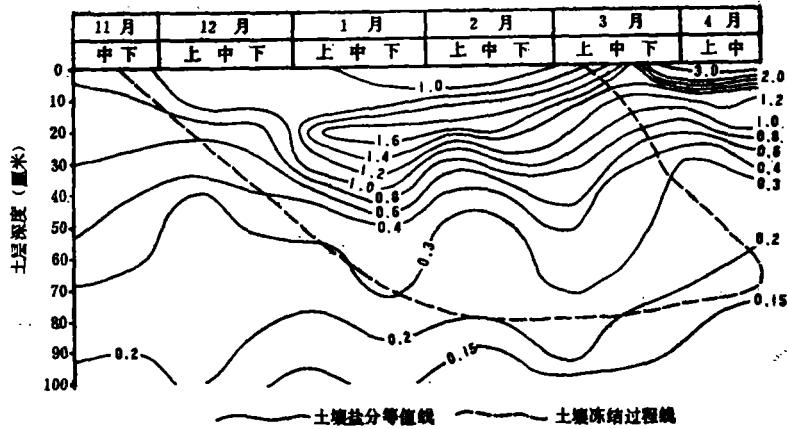


图3 冻层土壤盐分历时等值线

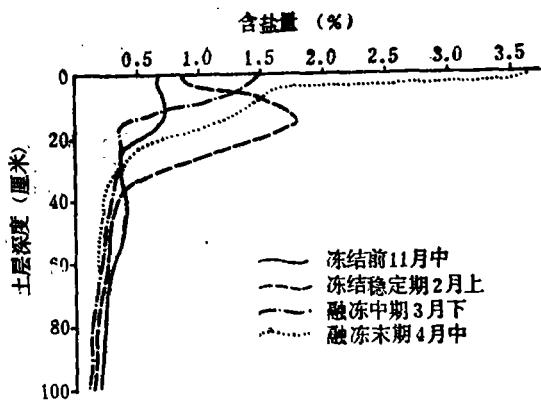


图4 冻结期土壤含盐量变化

30厘米土层形成了一个盐分聚积层。直到表层开始化冻时，随着水分的蒸发迅速向0—5厘米土层聚积(图4)。冻层融透时，下行的水流仅对底土层盐分有一定的淋洗作用。资料表明，在3月上旬至4月中旬的融冻时期，0—5厘米土层含盐量由1.25%增加到3.56%，而30—100厘米土层含盐量由0.35%减少到0.18%。盐分的表聚，产生了较大的危害性，影响春播作物的发芽出苗。

四、小 结

从上述分析中可以看出，所谓春季返盐，实际上主要是在秋冬季节土壤冻结过程中，随着热毛管流将盐分带入耕作层的。盐分的聚积量主要受封冻前地下水位及矿化度的影响。因此，防止春季返盐的工作，关键在于秋冬季节。主要措施是：

1. 加强排水能力：加快封冻前地下水位的下降速度，使封冻前地下水埋深达到两米以下，减少冻层水分的聚积。
2. 及时秋耕晒垡，保持耕层疏松，抑制热毛管流向冻层中的聚积。
3. 在地下水矿化度高，春季返盐严重的地区，适当推迟秋灌，使封冻时土壤中含蓄较多的淡水，减少矿化地下水向冻层的聚积。
4. 春季表层化冻时，及时顶凌耙地，使0—10厘米土层保持疏松，防止10—30厘米土层聚积的盐分向播种层聚积。