塔克拉玛干沙漠腹地沙地咸水灌溉(技术)研究

徐新文　李丙文　王晓静

(中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐　830011. E-mail: sms@ms.xjb.ac.cn)

摘要　自1997年起在塔克拉玛干沙漠腹地, 针对沙地咸水灌溉的方式、灌溉制度和咸水灌溉后沙地土壤的水盐分布及动态变化等方面进行了试验研究. 结果表明, 在沙漠腹地利用地下咸水建立沙漠公路生物防沙体系时, 可选用滴灌的方式给苗木灌水(地势平缓的地段也可采用沟灌); 滴灌制度为在林带栽植当年的灌溉周期为20天, 灌溉量为30 kg/m^{2}次, 但随着林龄的增加灌溉量可以适当增加, 灌溉周期可以延长.

关键词　沙地　咸水　灌溉技术

塔里木沙漠公路南北贯通塔克拉玛干沙漠, 属世界上穿越流动沙漠最长的等级公路. 公路沿线强烈的风动力条件、流动性的地表特征和松散的地层结构所构成的风沙环境对公路运行造成了严重危害. 根据塔克拉玛干沙漠环境条件和中国的具体国情, 确定的塔里木沙漠公路沙害治理方针是: 以机械防沙、保证沙漠公路的畅通为基础; 以生物固沙、建立和恢复生态为奋斗目标, 实现沙漠公路安全长久运行[1]. 沙漠公路生物防沙体系建设研究的过程中会遇到了一系列困难, 特别是沙地咸水灌溉技术是公路生物防沙体系建设成败的关键[2]. 因此, 自1997年起, 在塔克拉玛干沙漠腹地沙地, 我们围绕沙地咸水灌溉技术, 分别从灌溉方式和灌溉制度等方面开展了一系列的试验研究.

1　试验区的环境条件

1.1　气候条件

试验区地处塔克拉玛干沙漠腹地, 在塔中四油田地区的沙漠公路上, 气候特征是: (1)降雨稀少, 气候干燥. 年降雨量一般低于50 mm, 而年蒸发量高达3000 mm 左右. 7月份的平均相对湿度为35%, 最小相对湿度为7%; (2)夏季酷热, 冬季寒冷. 夏季极端最高气温高达44.5℃, 地表最高达73℃; 冬季最低气温可达−27℃, 地面可达−29℃; (3)风大、风频、风期长. 塔中地区风期从3月至9月长达7个月, 风向以东偏北为主, 极值风速可达30 m·s^{-1}; (4)风沙危害严重, 小沙丘每年的移动速度在10 m以上[2].

1.2　立地条件

沙层深厚、沙垄高大, 地形复杂. 复合沙垄顶部与垄间洼地的高差在50 m以上, 复合沙垄上, 次一级沙丘的高度一般为5~10 m. 塔中四油田基地内部的道路全部穿行在流动沙丘(垄)之间, 除个别垄间低地的局部有稀少的几株柽柳和沙拐枣分布(郁闭度小于5%)外, 道路两旁基本无其他天然植物生长.

地下水埋深差异较大, 复合沙垄顶部的地下水位在60 m以下, 而在垄间只有3~8 m, 个别低地只有1 m左右. 浅层地下水全部为咸水, 井水的矿化度一般在4~5 g·L^{-1}. 水质情况如表1所示.

沙漠公路沿线的土壤以流动风沙土为主, 风沙土总的剖面形态特征是整个土体干燥, 机械组成以细、中细沙为主, 松散呈单粒状结构, 土壤发育微弱、层次简单而不明显, 在形态上很大程度保持着母质状态, 土壤的容重大、孔隙度低、持水力差[3]. 风沙土的理化特征是: 土壤肥力低、养分缺乏, 盐分含量高, 试验区流动风沙土的土壤盐分状况如表2所示.

2　沙地咸水灌溉方式研究

2.1　沟灌

沟灌是传统的灌水方式. 它即可开水平沟, 也可沿等高线开沟, 根据灌水需要, 沟还可大可小, 运用方便, 受地形制约小, 所以基地路生物防沙技术示范一期工程中被选用. 经过一年的灌溉运行, 采用沟灌营造的1.2 km长的基地路生物防护林已实现当年营造, 当年成林. 灌溉制度为12天左右浇灌一次, 灌溉量为450 m^3·(hm^2·次)$^{-1}$. 梭梭、柽柳、沙拐枣三类灌木的成活率均达90%以上, 平均株高分别达到45, 63和104 cm.

由图1可以看出: (1)沟灌一年后水的渗透深度已>420 cm, 在5~40 cm深度土壤含水率无明显变化规律, 但含水率均>2%, 可以满足植物对水分的需要;

表1 试验井井水水质状况

水样	pH	电导率 /ms·cm^{-1}	矿化度 /g·L^{-1}	总盐 /g·L^{-1}	化学成分/g·L^{-1}					
					HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^++Na^+
井水	8.13	6.06	4.04	3.912	0.079	1.497	1.005	0.108	0.150	1.073

表2 试验区土壤盐分状况

取样深度 /cm	pH	干涸残渣 /g·kg^{-1}	易溶性盐含量/g·kg^{-1}						
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^++Na^+
0~25	9.3	1.26	0.02	0.12	0.39	0.27	0.04	0.04	0.32
25~50	9.1	1.68	0.02	0.09	0.71	0.27	0.07	0.02	0.51

(2)土壤电导率在5~300 cm 范围内普遍较低，从320 cm 开始略在增加，也就是说用咸水沟灌一年后，在300 cm 范围没有积盐层发生. 从320 cm 开始有少量盐分积累，但造林当年苗木的根系主要分布在 200 cm 以上. 通过上述分析可知，在沙漠腹地利用咸水在沙地上沟灌造林是可行的，但是田间管理较费工.

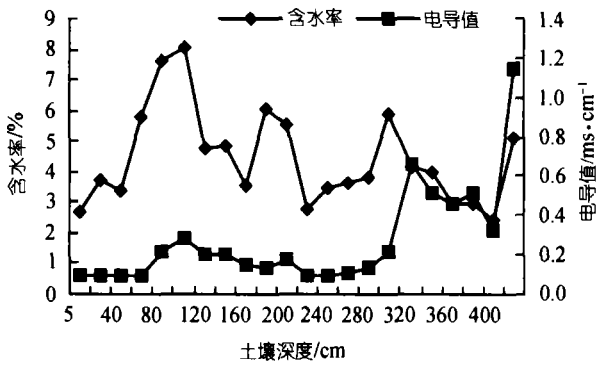

图1 沟灌造林地土壤水盐状况

2.2 喷灌

为了探索在沙漠腹地咸水滴灌的技术指标和可行性，我们开展了沙地咸水喷灌试验，试验地划分为4个地块分别种植沙拐枣、白梭梭、柽柳及三种植物混交，单块面积约 50 m^2. 喷水间隔为 15 天，单次喷水时间 4 h，灌溉量为 810 m^3 (hm^2 · 次)$^{-1}$. 于7月份与11月份在喷灌试验地分别取样，对200 cm 范围内的土壤含水率和电导率进行测定，并对所取得的资料进行了分析整理，其结果如图2和图3所示. 由图2可以看出，7月和11月份土壤含水率变化规律基本一致，除0~20 cm 土壤含水率较低外，20~200 cm 范围内沙土的含水率均>3%，能够满足荒漠植物生长的需要[4].

由图3可以看出，7月和11月土壤电导率的变化规律一致，除土壤表层电导率值较高外，10~200 cm

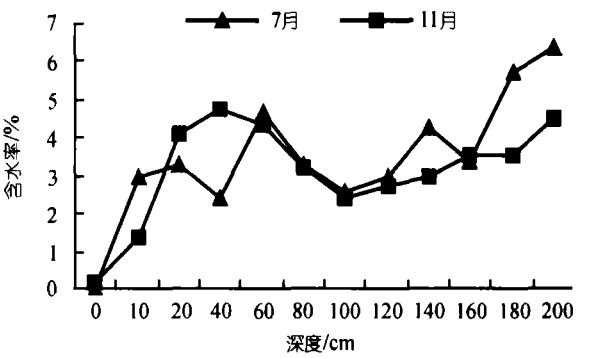

图2 喷灌条件下土壤水分状况

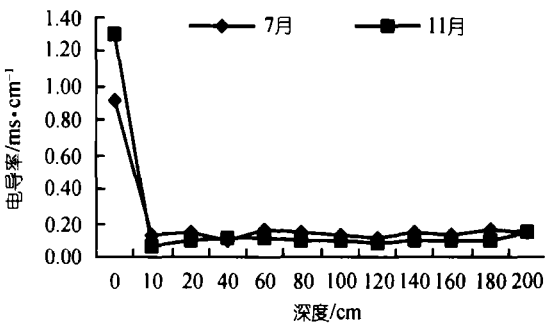

图3 喷灌条件下土壤盐分状况

范围土壤电导值均比较小，这说明喷灌试验地除表层有盐分积累外，根系主要分布层内土壤无积盐发生. 并且11月份和7月份相比 0~200 cm 范围内土壤电导率均低. 通过对喷灌试验地水盐分布状况的分析可知，在塔中沙漠腹地利用当地咸水，采用喷灌的方式营造基地路生物防沙林是可行的，但由于塔中地区夏季炎热、蒸发强烈，喷灌最好选在早晚进行.

2.3 滴灌

为掌握沙地咸水滴灌后盐分状况，我们选择在沙质较均匀的沙垄空旷地做滴水实验，并对滴灌试验进行了取样分析，土壤盐分积累状况如图 4 所示.

从图 4 可以看出，除地表有盐分积累外，0~200 cm 范围内无明显积盐层发生. 植物的根系也主要分布在这一层，所以不会造成盐害. 从目前滴灌造林试验地的情况看，没有出现异常，苗木生长良好.

为了探明沙地咸水滴灌后土壤盐分的动态变化，对试验区林地土壤溶液的电导率进行了连续取样监测，实测结果如图 5 所示. 由图 5 可以看出，土壤各层没有出现严重的积盐现象. 土壤溶液的电导率呈逐年递减的趋势，电导值均在 0.4 ms·cm^{-1} 以下. 第 4 年各层土壤溶液的电导值为 0.1 ms·cm^{-1} 左右，最大也仅为 0.3 ms·cm^{-1}. 试验结果表明，在塔中沙漠腹地利用咸水在流动沙丘、沙垄上营造生物防沙林，采用滴灌是可行的.

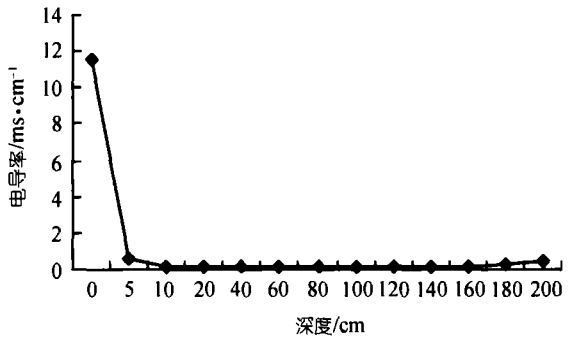

图 4　累积滴灌后土壤盐分状况

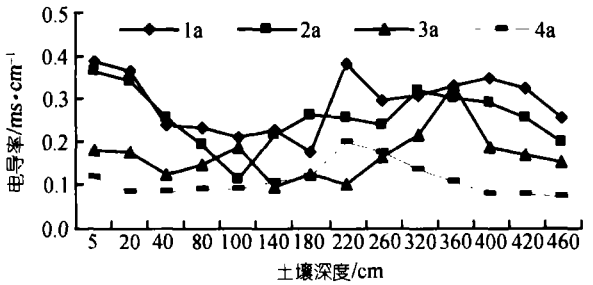

图 5　咸水滴灌后土壤电导率的年际变化

2.4　灌溉方式的选择

通过对沟灌、喷灌和滴灌 3 种灌溉方式以及对不同灌溉方式条件下试验地的水盐在土壤中的分布状况和植物生长发育状况的分析研究，建议在沙漠腹地沙漠油田基地路生物防沙体系建设的过程中，灌溉方式可选用滴灌，在地势平缓的地段也可以采用低压管道输水结合小沟灌溉的方式.

3　沙地咸水滴灌溉制度

3.1　试验方法

针对不同树种、灌溉量和灌溉周期，采用正交设计正交表为 Lg(34)进行试验，试验号及内容如表 3 所示. 试验于 4 月 15 日布置，5 月 5 日补一次水(8 h)，从 5 月 15 日起灌溉周期与灌溉量按试验安排进行. 于 1999 年 10 月对试验的每块样地进行打钻取样，对土样的土壤含水和土壤电导值进行了分析测定，对各样地的树木的生长情况进行了调查.

3.2　试验结果

在沙漠腹地营造公路生物防护林带，在种植的当年，根系最深虽然可以达到 1.5 m，甚至 2.0 m，但根系的分布主要还是在 1.0 m 之内. 因此，我们把咸水灌溉后，地表 1.0 m 之内土壤的含水率、土壤电导值和林木的生长现状作为确定咸水灌溉周期和灌溉量的指标，进行分析探讨.

(1) 不同灌溉周期不同灌水量浇灌后，沙地表以下 1.0 m 范围内土壤的平均含水率如表 4 所示.

由表 4 可以看出，地表以下 1.0 m 范围内土壤的平均含水率，除了当灌溉量为 15 kg·m^{-2} 时，含水率随灌水周期的延长而有下降的趋势外，灌溉量为 30 和 60 kg·m^{-2} 的情况，土壤的平均含水量与灌溉周期之间并无明显的变化规律. 在灌溉周期相同的条件下，灌溉量与土壤平均含水率之间也没有明显规律. 但是土壤的平均含水率均在 2%~5%之间，在沙地条件下土壤的含水量在 2%以上基本上可以满足耐旱沙生植物的需要[4]，从土壤含水率的角度来讲，无论灌溉量是每平方 15, 30 还是 60 kg，灌水周期是采用 10 天、20 天还是 30 天均可.

(2) 不同灌溉周期、不同灌溉量，灌溉后样地地表以下 1.0 m 范围内土壤的平均电导值如表 5 所示.

由表 5 可以看出，①在灌溉为 15 和 30 kg·m^{-2}，土壤中地表以下 1.0 m 范围内的平均含盐量随灌溉期的延长有上升的趋势. 当灌溉量为 15 kg·m^{-2} 时，只有当灌溉周期为 10 天时含盐量较低，灌溉周期延长到 20 天，土壤中的平均含盐量就成倍的增加. 而当灌溉量为 30 kg·m^{-2} 时，灌溉周期为 10 天和 20 天时，差异并不显著，只有当灌溉周期延长到 30 天时土壤中的平均含盐量才有明显增加；②当灌溉量为 60 kg·m^{-2} 时，地表以下 1.0 m 范围内土壤的平均电导值与灌溉周期之间无明显的变化规律，但是土壤中的平均含盐量均比较低；③当灌溉周期为 10 天时，土壤的平均电导值与灌溉量之间无明显的规律；④当灌溉周期为 20 天和 30 天时，地表 1.0 m 范围内土壤的平均含盐量都有随灌溉量的增加而减少的趋势.

表3 种、灌溉量和灌溉周期

1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号	8号	9号
柽柳	柽柳	柽柳	梭梭	梭梭	梭梭	沙拐枣	沙拐枣	沙拐枣
15kg/株	30kg/株	60kg/株	30kg/株	60kg/株	15kg/株	60kg/株	15kg/株	30kg/株
10天	20天	30天	30天	10天	20天	20天	30天	10天

表4 不同灌溉量不同灌溉周期条件下土壤含水率(%)

灌溉量 /kg·m^{-2}	周期/d		
	10	20	30
15	5.44	2.80	2.56
30	2.69	3.10	2.90
60	4.18	3.64	4.61

表5 不同灌溉量不同灌溉周期条件下土壤的平均电导值 (单位 ms·cm^{-1})

灌溉量/kg·m^{-2}	周期/d		
	10	20	30
15	0.203	0.787	0.944
30	0.270	0.329	0.600
60	0.208	0.190	0.268

表6 不同树种、不同灌溉量、不同灌溉周期的株高平均值

项目	树种			灌溉量			灌溉周期		
	柽柳	梭梭	沙拐枣	15 kg/m^2	30 kg/m^2	60 kg/m^2	10天	20天	30天
株高/cm	37	82	122.	71	82.	88	84	83	75

通过上述分析，在沙漠腹地利用咸水滴灌时，灌水量越大，灌溉周期越小越好. 但在差异不大的情况下，从经济的角度而言应当是选择总灌水较少的组合方式. 因此，我们认为从咸水灌溉后地表 1.0 m 范围内土壤积盐的状况来看，在造林的当年可以采用灌溉周期为 10 天，灌溉量为 15 kg·m^{-2}，也可以采用灌溉周期为 20 天，灌溉量为 30 kg·m^{-2}.

(3) 从表 6 可以看出：①在沙漠腹地咸水灌溉条件下，不同树种的株高差异最大，其中在沙地上种植沙拐枣当年平均株高可达 122 cm，梭梭次之，可以达到 82 cm，柽柳生长最慢，株高只有 37 cm；②不同灌溉量对林木株高的影响状况是，随灌溉量的增加植株当年株高增大，但是灌溉量 30 kg·m^{-2} 时比 15 kg·m^{-2} 植株当年的平均株高增加了 11 cm，而灌溉量 60 kg·m^{-2} 时只比 30 kg·m^{-2} 增加了 6 cm. 也就是说，植株的平均株高随灌溉量的增加而增加的，株高增加的速度随灌溉量的变大有变缓的趋势；②在不同灌溉周期条件下，苗木当年的平均株高随灌溉周期的缩短而增加. 但是灌溉周期 10 天和 20 天之间差异不大. 因此，在塔克拉玛干沙漠腹地利用 4~5 g·L^{-1} 的咸水，采用滴灌的方式营造公路生物防沙林，在造林当年较适宜的灌溉制度是 20 天左右灌水一次，每次的灌水量 30 kg·/m^{-2}.

4 结论

试验结果表明，在沙漠腹地利用地下咸水建立沙漠公路生物防沙体系时，灌溉方式可选用滴灌的方式给苗木灌水(地势平缓的地段也可采用沟灌)；滴灌制度为在林带栽植当年的灌溉周期以 20 天为宜，灌溉量应选择 30 kg·m^{-2} 次为佳. 而且咸水滴灌后沙地土壤各层没有出现严重的积盐现象. 土壤溶液的电导率呈逐年递减的趋势. 要想在沙漠腹地建立起合理的沙地咸水可持续灌溉制度，仍需在不同林龄、不同灌溉周期与灌溉定额条件下，沙地土壤盐分积累的规律及对植物生长发育的影响应等方面继续开展研究.

致谢 本工作为中国科学院重要方向项目(KZCX3-SW-342)和西部开发科技行动项目(2005BA901A21)资助.

参 考 文 献

1 中国石油天然气总公司塔里木石油勘探开发指挥部. 塔里木沙漠石油公路. 北京：石油工业出版社, 1996. 503
2 孙书彭. 塔中沙漠油田基地路生物防沙体系建设得可行性分析. 干旱区研究, 2002, 19(4): 21—23
3 夏训诚. 塔克拉玛干沙漠地区土壤与土地资源(第一版). 北京：科学出版社, 1994. 36—38
4 徐新文. 塔中沙漠油田基地路生物防沙技术示范——沙地咸水灌溉制度实验研究. 土壤通报, 2001, 32: 112—114.

(2005-07-20 收稿, 2006-01-16 收修改稿)