

# 我国沙地水分分布状况及其意义\*

冯 起 程国栋

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

**摘 要** 按生物气候带、干燥度、沙地土壤水分平均含量和降水量组合等特点, 将我国沙地和沙漠分为荒漠带、半荒漠带、干草原带、半湿润带和南方湿润带五个沙漠区(青藏高原区除外)归纳分析各沙区水分运动基本规律、稳定含水率和有效储水量等项目, 探讨影响我国沙地水分分布状况的主要因子, 提出了我国不同沙带固沙造林具体措施和适宜选用的植物种。最后讨论各沙地开发和农业生产方向以及灌溉农业的经济效益和未来的发展趋势。

**关键词** 沙地水分特征, 沙地固沙造林, 沙地灌溉效益

**中图分类号** S152.7

沙地作为一种裸露的生态系统, 因风沙活动强烈, 基质贫瘠, 生物活动极微弱, 特别是干旱地区沙地, 其制约因素中最重要的因素是沙地的水分分布状况及其量值; 沙地水分状况及其平衡也是沙区开发利用最重要的依据。我国沙地不仅分布在干旱、半干旱地区, 而且分布于半湿润及至湿润地区。如此明显差异的气候条件, 决定了沙地水分分布状况明显不同。过去有关沙地水分方面的报道多限于研究者工作区<sup>[1~5]</sup>, 而对不同地带沙地水分分布状况、水分含量变化和农业开发及其影响因子方面的研究较少<sup>[6]</sup>。本文在野外定点测定沙土壤水理特性和引用前人定位长期观察的资料基础上, 对我国不同地带沙地水分分布、以及与气象各要素关系、沙地植被、沙地开发等方面进行探讨, 旨在为沙地开发和利用提供些基本数据和结论。

## 1 研究区选择及研究方法

### 1.1 研究区选择

本文选取我国不同生物气候带的代表性沙地(沙漠), 包括干旱区的塔克拉玛干沙漠、河西走廊、阿拉善地区、腾格里沙漠, 半干旱的毛乌素沙地、盐池沙地、河北沙漠化土地以及位于半湿润区的黄河冲积沙地, 科尔沁沙地和位于湿润地区的南昌亚热带风沙化土地。各研究区的沙地分布位置如图 1。

### 1.2 研究方法

沙地由于粒径组成较粗(1~0.05mm 占 80% 以上), 土壤水分含量较低、土壤持水量低、水分渗漏强

\* 国家重点科技攻关项目(96-912-03-03)与96—博士后基金资助

收稿日期: 1997-07-22; 收到修改稿日期: 1998-01-12

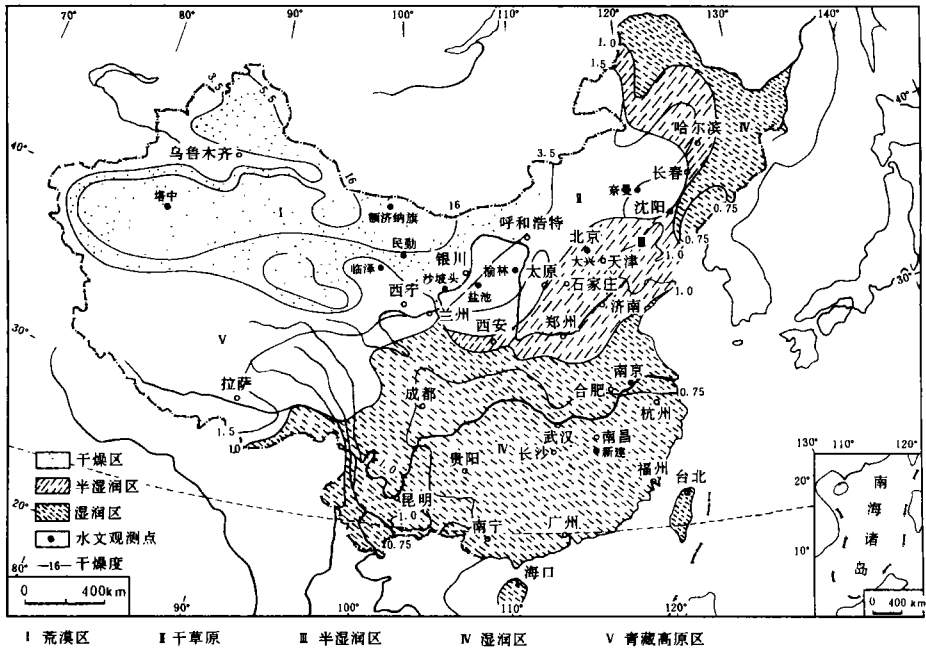


图1 我国沙地水分定点观测位置及分区示意图

Fig.1 Diagrammatic sketch of location for moisture observation of fixed site and regionalization of sandy lands in China

烈,但沙土 1m 以下土层含水量常稳定在一定数值内,所以本文选择易受气象要素影响而变化的 0~1m 之内土层的土壤水分参数及分布状况进行探讨。采用实地仪器测量法(中子水分仪、负压计、蒸渗计、烘干法等),对野外数据进行归纳统计,聚类分析等方法对沙地水分进行分类,并采用典型相关分析的方法研究水分与气象要素和植被等关系。

### 1.3 测定方法

土壤颗粒组成测定 > 0.1mm 的粗粒部分采用筛分法, < 0.1mm 的颗粒部分,以司蠓克斯<sup>1)</sup>定律为基础,利用土粒在静水中的沉积规律,将不同直径的土壤颗粒按粒级分开,加以收集、烘干、称重,并计算各粒级颗粒含量,最后据美国农业部土壤质地分类,进行土质命名。粗粒分析误差在 10g/kg 以下,粉(砂)粒级误差小于 15g/kg;土壤容重:在野外采用定容积的钢制环刀(100cm<sup>2</sup>),多次切割自然状态下的土样,然后在烘箱烘干,最后得烘干后土重为容重。饱和含水量测定仍采用环刀法,把按测容重方法取得土体和环刀,先称重,后放入水中浸泡,使环刀上开口与水面齐平,下开口用滤纸垫平,在水中置放 4~8 小时后称重,后再放入水中重复以上操作,直到浸泡后环刀与土体重测量误差小于 2% 后方可,后烘干环刀中土体,经计算得饱和含水量值。土壤最大吸湿系数测定在放置饱和硫酸钾溶液的干燥器中测定。土壤水凋萎含水量采用土壤最大吸湿水乘一系数(沙地取 2.0~2.3)。以上测定误差均小于 2%。

1) USDA. Soil Conservation Service, 1984, Procedures for Collecting Soil Samples and Methods of Analysis for Soil Survey. P17, Soil Survey Investigations Reports No. 1

## 2 不同沙地土壤水分分布状况

据沙地土壤水分分布和变迁规律可以把中国沙地大致划分为以下几个自然带: 荒漠带、半荒漠带、干草原带、半湿润带、亚热带湿润带五种类型。

### 2.1 荒漠带

荒漠带沙丘水分观测分别在塔干、阿拉善高原西南的额济纳旗和民勤进行的, 如图 1。本区沙地水分含量较低, 平均含水量小于 3%, 表层干沙层变化在 10~40cm 之间, 小于 1% 含量在 0~20cm 之间出现如图 2。含水率为 1.2% 的土层从 3 月至 6 月由 10cm 降至 40cm; 40cm 以下湿度较稳定, 其含水率变化在 2%~3%。本区降水分布在 6~8 月, 每次降雨不超过 50cm 入渗深度, 这样少量的降水在高温和强烈蒸发下 (如表 1), 所浸润的表沙层迅速变干。因此 6~8 月之间的含水率变化不大, 甚至有减少趋势。如偶遇一场 > 10mm 暴雨, 0~20cm 沙地水分在雨后 2~3 天恢复原来含水率, 40cm 以下含水率稍有增加, 但很快又

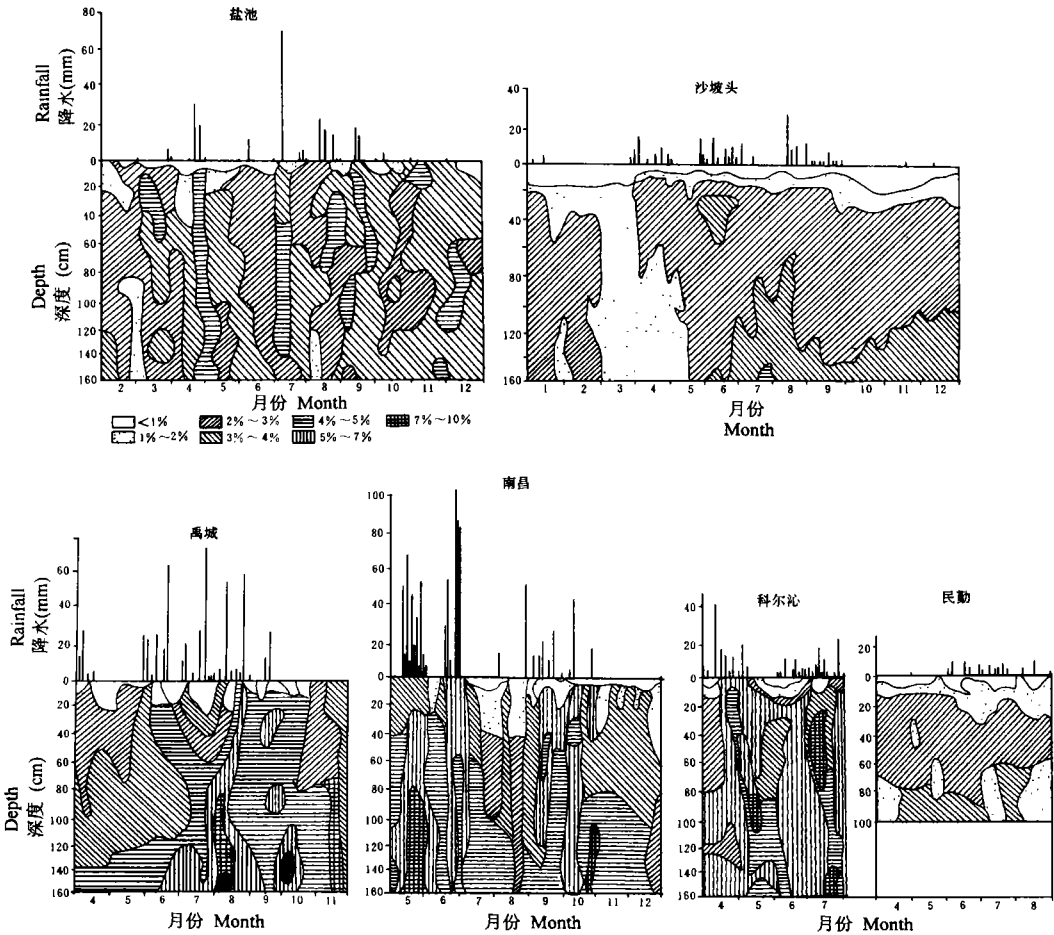


图2 不同地带平水年沙地水分动态变化

Fig.2 Moisture dynamical variations of sandy lands of different zone in normal years

恢复原状(图 2)。

## 2.2 半荒漠带

测点设在沙坡头(图 1)。该地在雨季(6月)前小于 1% 的含水量分布在表层 10cm 以上沙层内,40cm 以下常保持在 2%~3% 的含水量,为稳定湿度。雨后沙丘含水率增加到 3%~4%,最大达 4%~5%。干沙层厚度不一,有时为 10cm,有时为 40cm,雨季的含水量则增加(图 2)。对该区域研究表明,降水 40mm 以上时,3%~4% 的水分可浸透 3m 深土层,当降水小于 30mm 时,仅浸透 2m 的土层;降水 10mm 以上才能浸透干沙层,降水 10mm 以下均被表层蒸发掉,对 40cm 以下土层影响不大。

## 2.3 干草原地带

观测点选在宁夏盐池和陕北榆林和科尔沁沙地奈曼(图 1)。该区域雨季沙丘水分充足,平均达 3%~4%,最高达 4%~5%。雨后沙丘水分迅速减少到 2%~3%,干沙层均不超过 20cm(图 2)。从含水率垂直分布状态看,7~8 月份 1~2cm 处含水量增加到 4%~5%。由于该区域雨季稍多如表 1,年变化不如半荒漠大,因此雨季其沙层最大含水率出现的时间长而变化也小,旱季干沙层厚度增加缓慢。

东北科尔沁沙地气温较低,蒸发量小如表 1,沙层含水率稳定在 3%~5% 之间,大气降水可直接下渗,100cm 以下含水率随降水变化而提高至 4%~5%,但随着无雨日增加,含水率缓慢地恢复到原来的状态。

表1 中国沙地(沙漠)气象要素值

Table 1 Meteorological element values of sandy lands (deserts) in China

沙地名称	气象站	降水量	蒸发量	蒸发/降水	气温(℃)
Sand land name	Meteorological station	Precipitation (mm)	Evaporation (mm)	Evaporation/precipitation	Air temperature
塔克拉玛干沙漠	肖塘	52.7	3171.5	60.18	11.4
额济纳沙地	额济	40.4	3900.0	90.5	8.5
腾格里沙漠	沙坡头	185.6	3000.0	16.16	9.6
河西走廊沙漠	临泽	113.4	2341.0	20.64	7.6
毛乌素沙地	盐池	296.0	2179.0	7.36	7.6
黄河冲积沙地	禹城	616.0	2229.0	3.62	13.1
	夏津	565.5	2203.0	3.86	12.7
科尔沁沙地	奈曼	362.1	1729.6	4.90	6.3
河北沙地	大兴	645.0	1838.7	2.85	11.5
南昌亚热带风沙化土地	新建	1481.0	1623.0	1.09	17.7

## 2.4 半湿润地带

半湿润地带观测点包括禹城、夏津、大兴(图 1)。该区域 10~40cm 的土层土壤水分较活跃,尤其 10~30cm 处土壤水对降水响应较快,只要有 > 10mm 的降水,其水分含量马上就增大。无雨日增多时,水分含量骤减,经过 4~5 日无雨后,表层含水量马上下降到 4%~5%。遇到 20mm 的降水可使 40~100cm 的土层含水率提高 3%~5%。但经过 5~6 天以后,表层可形成几个厘米的干沙层;100cm 以下土层同样也会受到降水的影响,使含水率提高 2%~3%。60~100cm 稳定含水率变化在 5%~6%。深层大于 100cm 土层的含水率,

可稳定在 7%~11%(图 2)。

## 2.5 亚热带风沙地

亚热带风沙地以江西南昌为例(图 1)。该区域风沙地质地均一,沙土水理特性如表 3、表 4。

在两个少雨时期 12 月~3 月和 7 月~8 月,其中 7 月初至 8 月中旬,特别是 8 月中旬,0~160cm 的沙层出现 1%~3% 的低含水量,到 9 月沙层含水量有所提高。整个沙层(0~100cm)含水率稳定在 3%~6% 范围内,5~6 月平均 8%~9%。7~8 月平均为 2%~3%,9~12 月平均为 4%~5%,12 月~3 月少雨期平均含水量变化在 3%~5%(图 2)。

## 3 沙地水分变化规律

据以上各自然带沙地水分状况多年分析,可把我国沙地土壤水分分布和动态从不同深度上划分为以下几个阶段(图 3 和表 2)。

表2 我国沙地1m厚土层含水率变化  
Table 2 Soil moisture variations in the soil layer of 1m (%)

沙地名称 Sand land names	地点 Location	土层厚度 Soil layer (cm)						平均 Average	有效储水量 Available water storage (mm)	地下水埋深 Water table (m)
		0~10	10~20	20~40	40~60	60~80	80~100			
塔克拉玛干	肖塘	0.67	0.68	1.05	1.35	2.12	2.06	1.46	13.98	3~4
腾格里沙漠	沙坡头	0.38	0.79	3.21	3.50	3.38	2.41	2.6	33.65	3~4
额济纳旗沙地	额旗	0.66	0.81	1.79	2.41	3.23	2.32	2.27	20.16	2~3
毛乌素沙地	盐池	0.51	0.58	2.76	3.78	4.27	3.84	3.03	34.95	3~4
黄河冲积沙地	禹城	0.85	0.97	3.9	5.7	7.6	6.7	4.96	53.10	2.5
	夏津	0.88	3.6	4.1	4.7	5.7	5.6	4.46	46.37	3~4
科尔沁沙地	奈曼	0.86	2.88	3.07	3.98	3.74	4.31	3.55	50.66	3.0
河北沙地	大兴	0.67	2.95	3.88	4.57	4.5	3.63	3.67	39.30	2.7
南方亚热带沙地	新建	0.57	2.83	3.88	4.89	5.03	4.12	3.90	48.69	3.0

### 3.1 沙地水分垂直变化

3.1.1 表层干沙层 由于沙质在湿润时有较高的导水率,而在干燥时导水率很低,可以在干沙层与湿沙层间见到明显的锋面,从而判别干沙层的存在<sup>[7]</sup>。干沙层一般湿度变化在 0.75% 以下,半湿润区和亚热带区稍高一点,但均小于萎调含水量。荒漠区与半荒漠区干沙层一般变化在 0~20cm 之间,在连续无雨的干旱较长的季节(1~4 月)可达 40cm<sup>[8]</sup>。干草原区和半湿润区一般变化在 0~10cm,最高达 20cm<sup>[9~11]</sup>。南方亚热带区变化在 0~10cm 之间<sup>[4]</sup>。

干沙层随表土湿度日变化呈现明显的日周期变化,其变化趋势与地下 10cm 处地温相类似<sup>[12~13]</sup>。干沙层日变化较差为 1~3cm,干沙层在流沙地四季存在,春季较厚,雨季随降水变化而变化。

3.1.2 剧烈变化层 在土层为 40~60cm 处为我国沙地剧烈变化层的下界。从干沙层

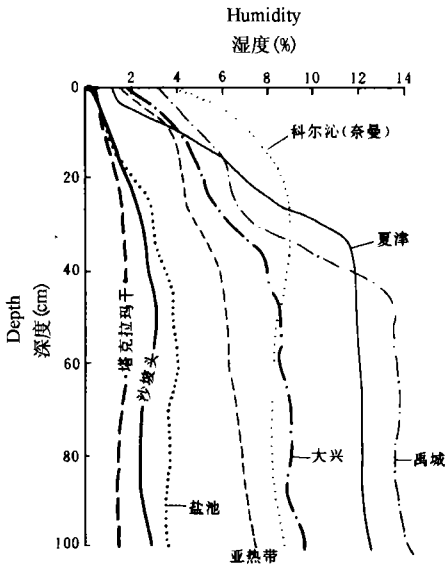


图3 8月份不同地带沙地水分垂直分布图

Fig.3 Diagram of moisture distribution in the soil profile of sandy lands of different zone in August

以下至 60cm 处,尽管有干沙层保护,但易受表层和浅层(0~20cm)的温、湿度变化的影响,水分运动极为活跃,并随季节变化很大。在荒漠区和半荒漠区剧烈变化层为 60cm 以下,在半湿润区与干草原区为 40~50cm<sup>[13~14]</sup>。40~60cm 也是干旱沙地蒸发的下限<sup>[15]</sup>,在半湿润区和干草原一般认为 50cm 为剧烈变化层的下限。

该层水分变化呈现以下几种状况:下层较湿型,即初春和晚秋。初春干沙层较厚,春天地温回升快,蒸发强烈;晚秋多晴天,天气干燥,蒸发量大,干沙层以下水分多用于蒸发,使含水量从地表到深层逐渐增加,土壤水流向上。

上层较湿型,在春和秋(南方为初夏)降水不稳定季节,超过 10cm 的降水可使表层干沙层潮湿,但浸湿厚度不大,出现短暂的几天上湿型。

**全湿型:**在雨季(亚热带为 3~7 月,其他地区为 7~9 月),沙地水分受降水影响,超过 20cm 的降水可使干沙层完全湿润,并有部分水下渗,使整个水分剧变层出现高含水期。荒漠区含水率可达 4%~5%,干草原区可达 6%~7%,湿润区可达 10%~15% 之间,亚热带区可达 8%~9% 之间。

**反 S 型:**这种类型含水量剖面出现在冬季土壤冻结时期,表层有秋季干沙层存在,20cm 以上含量较小为 1%~5%,20~40cm 沙层由于季节冻土层作用,含水量较高。半湿润和干草原区可达 6%~7%,荒漠区含水率可达 2%~4%,亚热带为 5%~7%。40cm 以下含水量又随深度增加减少。部分干沙层较厚的荒漠区这一类型含水率剖面较少。

**3.1.3 较稳定层** 从 40~60cm 向下到 100~160cm 处为沙地水分较稳定层。该层土壤水分常年保持在一定范围内:荒漠区为 2%~4%,半荒漠区为 3%~4%、干草原区为 3%~5%、半湿润区为 8%~9%,亚热带区保持在 5%~6% 范围内。尽管该区域沙地水分仍受气象和植被的影响变化,但变化较 40~60cm 沙层缓慢的多,变化后很快调整到常态。多雨季节常与地下水相联系。

**3.1.4 深部稳定层** 在 100~160cm 以下沙层或更深层的沙层含水量不易受地面气象要素影响,水分运行较缓慢,变化范围不大。100~160cm 沙层储水量在 30~100mm 之间,含水量多呈随深度增加有所增加,而且梯度不大。春、夏、秋、冬四季含水率变化不大。夏季由于个别湿润区降水较多,使地下水位上升,影响到该层,土壤含水率达饱和。

### 3.2 时间变化规律

气候条件随季节变化呈周期变化,沙地水分具有明显的时间变化规律。按沙地水分变化趋势、剖面水分分布及与气象条件的关系,将沙地水分年内变化按季节划分如下阶

段:

春季水分变化较微~弱失水阶段。这一阶段从3月上旬开始到5月下旬,(南方为1~3月上旬或7~8月)除雨雪短期出现表层湿润外,沙地几乎连续为干沙层覆盖,同期降水小而少,即使1次较大的降雨(>10mm),亦很快被蒸发掉,成为失水阶段<sup>[16]</sup>。从沙地水分动态(图4)分析,4月开始(亚热带为3月上旬)40cm沙层内水分有减少趋势,而在一般年份,若无较大降雨,其沙地水分损失将更为迅速。春天失水深度可达90cm,春末夏初,沙地含水量达到最低值,干沙层厚达10~40cm。荒漠区由于干沙层厚40cm,沙层平均保持1%~2%含水量,半荒漠区20~40cm含水量降至1%~3%,个别年份可影响到深层。半湿润和干草原区土壤水分分别保持在5%~4%、3%~4%之间。该期不利于农业生产和栽种,为农业补充水分的时期。

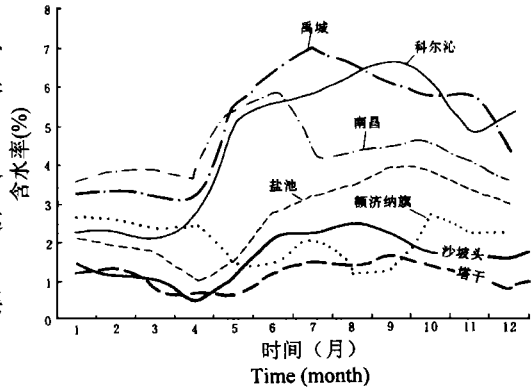


图4 不同地带沙地水分季节变化

Fig.4 Seasonal variations of moisture contents in sandy lands of different zone

夏季水分变化剧烈~降水补给阶段。南方亚热带从3月下旬至7月,半湿润与荒漠区为6月中旬至8月下旬属雨季,气温较高,潜在蒸发量为年内极值。由于该期降水量多,次降水量在荒漠区大于10mm,半荒漠区大于20mm,半湿润区25mm以上降水较其他季节频繁。干旱区大多以暴雨形式降雨,半湿润区降水也较集中,亚热带雨量充沛。连续雨日在半湿润区达4~6天以上,亚热带时间更长。

由于沙地入渗快,持水量小,因此随雨季到来,降水不仅对土壤水分有大量补给,而且可以下渗补给地下水。在水分动态图上,常出现有自下而上的含水量高的连续期,使上下沙层处于湿润状态如图2。同层沙地含水量通常高出春季的1%~3%(荒漠区)、2%~4%(半荒漠区)和2%~6%(湿润区)。这个阶段所持续的时间完全取决于雨季的起迄时间。

秋季变化缓慢~失水阶段。9月到11月下旬,随气温逐渐降低,地温也缓慢下降。由于多秋旱,最长无雨日长达20~25天。在降水较少年份,补给沙地水分即少。因此,除补给地下水外,补充沙地水量仍不多,所以沙地水分仍以消耗为主,但各层含水量均比春季高约1%~3%。由于气温下降,蒸发速率减缓,沙地表层水分损失速度愈来愈慢。秋季多晴天,干沙层厚度达0~6cm左右,10月份较厚,可以达8~15cm。在连续无雨日达10天以上时,沙地水分难以维持农作物的正常生长,故该期也是农业补充灌溉时期。

冬季沙地水分变化微弱~调整阶段。12月到2月中旬(南方为10月~1月),由于气温在0℃以下(12月份平均气温为<0℃),沙层上部20cm处发生冻结,沙地水分多以气态形式向上层转移,受气温变化的影响,处于冻融交替状态,并使该区域湿沙土疏松。受冬季干燥风影响,表层干沙层仍有少量水分散失,但这时在20~40cm的沙层内的含水量仍可以维持秋后状况,其下部沙层水分可以逐步调整为自然状态。冬季表层干沙层存在,对冬季保墒有明显作用。

## 4 影响沙地水分因子

### 4.1 沙土矿物、机械组成

沙土矿物及机械组成和营养状况,直接影响着沙地水热状况和其他理化生性状。沙

表3 我国沙地1m厚土层机械组成

Table 3 Mechanical composition in the soil layer of 1m of sandy lands in China

沙地名称	地点	盐酸洗失量 Solution loss (%)	各级粒径含量(mm)(%)					物理性	
			粗沙 Coarse sand 1~ 0.25	细沙 Fine sand 0.25~ 0.05	粗粉沙 Coarse silt 0.05~ 0.01	细粉沙 Fine silt 0.01~ 0.005	粗粘沙 Coarse clay 0.005~ 0.002	粘粒 Clay <0.002	粘粒 Physical clay (<0.01)
塔克拉玛干沙漠	肖塘	0.1	1.17	97.60	1.02	0.11	0	0	0.11
腾格里沙漠	沙坡头	0	5.38	93.38	0.33	0.12	0.36	0.43	0.91
额济沙地	额旗	1.1	9.27	81.95	4.52	0.28	0.73	0.22	1.23
毛乌素沙地	盐池	1.25	9.86	87.45	0.33	0.44	0.67	0	1.17
黄河冲积沙地	禹城	1.87	0	92.3	2.21	0.52	2.38	0.72	3.62
	夏津	1.86	0	90.5	4.93	1.04	1.11	0.56	2.71
科尔沁沙地	奈曼	2.96	42.19	52.76	0.82	0.01	0.43	0.12	0.56
河北沙地	大兴	0.44	1.25	80.03	17.06	1.00	0	0.2	1.2
南方亚热带沙地	新建	0.37	0	85.08	13.63	0.09	0.27	0.56	0.92

表4 我国沙地水分物理常数

Table 4 Moisture physical constants of sandy lands in China (%)

沙地名称	地点	比重	容重	孔隙度	毛管上升高度	凋萎湿度	田间持水量	饱和含	有效水
Sand land names	Location	Specific gravity	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Porosity	Capillary height (m)	Wilting moisture	Field water holding capacity	Saturated moisture content	Available moisture
塔克拉玛干沙漠	肖塘	2.53	1.41	46.0	53.0	0.54	2.23	35.2	1.69
腾格里沙漠	沙坡头	2.69	1.56	41.5	54.5	0.65	3.3	27.5	2.65
额济沙地	额旗	2.57	1.40	43.7	50.0	0.73	3.55	31.7	2.82
毛乌素沙地	盐池	2.57	1.45	44.23	75.0	0.52	4.98	29.5	3.46
黄河冲积沙地	禹城	2.65	1.53	43.4	73.4	1.62	10.82	29.0	9.2
	夏津	2.43	1.36	45.1	52.1	1.05	8.72	33.49	8.07
科尔沁沙地	奈曼	2.63	1.70	35.37	65	0.57	4.89	19.74	4.32
河北沙地	大兴	2.65	1.65	44.7	60.5	1.05	7.51	27.32	5.86
南方亚热带沙地	新建	2.56	1.48	39.69	57.2	0.61	4.74	27.02	4.72

地土壤物理特性如容重、孔隙率、田间持水量等,随沙土矿物成分、机械组成和有机质含量不同而有差异(表3)。一般盐渍化沙地吸湿性最大,而淋溶石英沙地最小。本文所讨论的



沙地大多为淋溶性石英沙地<sup>[17]</sup>,最大吸湿性不超过 3%。土壤持水性主要取决于土壤的物理粘粒的含量、土壤孔径分布和土壤质地。田间持水量的大小影响着土壤水分对植物的有效性<sup>[18~19]</sup>。对在沙地机械组成中,粘粒( $< 0.002\text{mm}$ )含量小于 1%, $< 0.01$  的物理性粘粒亦很少。粘粒直接影响着沙地田间持水量和凋萎湿度,也影响着毛管上升高度和恒定渗透率。对农业利用来说,有效水分含量,即土壤水分的调节水库对植物生长的意义最大。根据不同类型土壤水分分析,以田间持水量与凋萎湿度计算的土壤有效水和土壤物理性粘粒呈简单相关,与粘粒含量很少的沙质土呈直线相关(表 2-4)。粘粒增加的土壤土,有效水分可达最大值如禹城沙地(表 4);粘粒进一步增加为粘质土时,尽管田间持水量可以增加,但有效水减少。

#### 4.2 气象要素

沙地土壤水分研究,认为气温、降水和初始土壤含水量对土壤水分的季节变化起着重要作用,并采用一些经验公式计算,预报 0~100cm 土层各季的土壤水分<sup>[20]</sup>。实际上以上因素控制着季节水分变化,其中初始含水量对各季沙地水分变化都有影响,以春秋季节影响最大,并随着剖面深度增加而影响增大;降水量对各沙地水分有明显影响,雨季降水量大而集中,对沙地水分补给较大。如图 2、3、5、7~9 月份降水较大时,沙层土壤含水率有明显提高。

气温主要通过地表高温引起表层沙土孔隙中水分损失,并形成干沙层,同时通过气温影响,使多孔隙沙土上层产生蒸发。地面气温越高、越干燥,受热空气吸压就越高,甚至可以超过毛管吸力的数倍,而引起沙地水分蒸发。大气相对湿度对沙地水分也产生明显影响,并可以采用公式计算<sup>[21]</sup>。随着气温上升,引起水汽压上升,空气相对湿度降低出现下层沙层的蒸发<sup>[22]</sup>;风对沙地水分也有影响,干热风可使沙地中蒸发的水分很快散失,形成较大的空气温度梯度,加强沙地水分蒸发;另一方面还通过风蚀,使吹蚀出露的下伏沙层加快水分损失。

#### 4.3 植被条件

由表 5 可看出,在半荒漠区或荒漠区植物影响沙地水分一般从 5 月初开始,6、7 月最强。由于植被作用,使 1.0~2.0m 沙层湿度平均减小 1%~2%,仅存在 1%~3% 有效水;人工植被区经过 10~15 年以后,沙层水分状况日趋恶化,降水后水分有所升降,但很难使全部沙层湿度提高到 2%~3% 水平状态,即使年降水量达 200mm 以上,下渗深度仅达 60~110cm,120cm 以下土壤水仍保持在 1.5% 以下,使这里的人工植被由深根植物转到藓类、浅根的一年生植物,发生植被演替。

表5 半荒漠区0—50cm深土壤层平均含水量季节变化(%)

Table 5 Seasonal variations of moisture content in the soil layer of 0—50cm sandy land in semi-desert zone (%)

测定地段	1983			1984			1985		
	5月	8月	11月	4月	7月	11月	4月	7月	11月
Observation site	May	Aug.	Nov.	Apr.	Jul.	Nov.	Apr.	Jul.	Nov.
人工植被地段	0.7	2.0	2.3	2.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9
流沙	2.2	3.2	2.5	3.0	2.6	2.1	2.2	2.4	2.8

干草原地区固定沙丘上植被盖度增加,因而减少表层土壤水分的蒸发,使表层内水分含量增加 1%,但 20cm 土层比流沙内相应层减少了 0.5%,20cm 以下土层水分均减少 2%~3%,使沙层有效水分大大降低。半湿润地区与亚热带地区种植植物后沙地水分平均减少 3%~4% 和 2%~3%,1m 土层有效水分分别降低 20~40mm 和 20~30mm。

## 5 固沙造林

沙地水分的研究,找出了各地带流沙表层干沙层一般厚为 10~40cm,含水率变化在 0.5%~2% 之间。40~60cm 以下沙层含水率较大,含水率变化在 2%~8% 之间,除去各地的凋萎含水率,有效水分变化较大。荒漠区为 1%~2%,半荒漠地区为 3.0%~4.0%、干草原为 3.0%~4.5%、半湿润地区为 4.5%~6%、亚热带地区为 4%~5.5% 如表 2。但是在雨季由于各地带雨量不同,雨季长短各异,强烈影响沙地水分,一般雨后沙丘水分可提高 1%~4% 左右。沙地 1m 土层有效储水量从荒漠带到湿润带逐渐增加如表 2。由此可见在东北半干旱沙地,不仅依靠天然降水可以在上面造林,而且有时还含有剩余的水分透过沙丘而形成径流。因此本地造林的控制因子已不是沙地水分状况,而是沙地瘠薄,肥力水平低以及质地粗疏,不易保水保肥。所以注意采用施肥和掺土以后,本地完全可以选用一些经济价值较高的植物品种如草林犀、苜蓿、紫云英等草类,木本植物可选用樟子松、油松、钻天杨、黄柳等。经兰州沙漠所多年(10 年)试验,东北沙地成功地引种樟子松、黄柳等防风固沙林<sup>[10]</sup>。在干草原地区流沙几乎采用种植植物方法来固定,但由于这一地区流沙沙层中的土壤水分含水量较少,因此需要更为耐旱的植物种,如花棒、柠条、籽蒿、沙竹等。在选用乔灌木树种时,要考虑该地区的沙层是否含有可溶性盐类,选用沙枣、胡杨、小叶杨、旱柳和怪柳等,在条件较好的地方可种榆树。榆林和盐池多年固沙林的实践认为干草原种植沙柳和蒿类较为成功,小叶杨为其主要乔木树种。在种植时,因这一地区干沙层较厚可采用育苗和长枝插条法较好。在荒漠与半荒漠区由于沙地水分条件进一步恶化,植物固沙方法不适用本区域,应首先采用生物固沙方法把流沙固定,后种植耐旱条件最好的花棒、籽蒿和沙拐枣,在塔干沙漠石油公路沿线草方格沙带,第二年生长有一年生的短命植物,固沙带经几年后沙表层土壤有所改善,可望发展一些固沙植物。

半湿润沙地(荒泛区),水量条件较好,沙物质较细,物理性粘粒含量较高,土壤改良较容易,经科研人员在黄泛区 10 多年的封沙育草育树,建立防护林,引水渠,建立高效农田和果树体系,3 年后沙地土壤水分提高了 2%~3%,有机质含量提高了 3~4 倍,粘粒增加 1.83 倍,可见该区改良方向为建立高效农业和种植业基地。

亚热带风沙土,由于该地水分和立地条件较好,固沙选择马尾松、并逐渐更新到湿地松、胡枝子等,以建立防风固沙体系和灌溉系统建设为先导,进行种草养畜,提供有机肥改良土壤结构,然后种植果树和经济作物<sup>[23]</sup>。从新建试验站多年(5 年)试种结果表明,亩产西瓜 1500~2000kg,草莓 400kg,油菜籽 100kg,达到充分利用水力资源<sup>[4]</sup>。

总之据沙地降水量与土壤水分动态变化可以把我国沙区固沙植物分以下几个区:

第一区,土壤平均含水量在 3.5% 以上,降水量在 400mm 以上的沙区以乔木、灌木、半灌木固沙,发展高效农业和经济作物。

第二区,土壤平均含水率在 2.0%~3.5% 之间的,降水在 250~400mm 之间,可采用灌木、半灌木固沙。

第三区,土壤含水率在 1.5%~2.0% 之间,降水量在 100~250mm 之间可采用机械固沙和植物固沙区,并必须加强防护林建设和其主固沙工程。

第四区,土壤含水量在 1.5% 以下,降水小于 100mm 沙地采用低湿沙地固沙和工程固沙、灌溉固沙。

## 6 沙地灌溉

沙地农作物栽培在灌溉条件下,可以收到当年垦殖,当年有产值的结果。新垦沙地最适宜种植瓜类作物如西瓜、南瓜等,薯类作物像红薯、甜菜、土豆等,油料作物如花生、大豆、油菜,特别是根菜类、块茎类等。粮食作物如小麦、包谷等,均都生长良好,并可获取较高产量。这些农作物中,种植豆科作物可以固氮、增加沙地肥力;种植小麦、油菜可以增加沙地春季地面盖度,防止风蚀。以花生和小麦为例,半湿润地区新垦灌溉沙地三年后的产量,可以达到花生 0.15~0.45kg/m<sup>2</sup>,小麦达到 0.23~0.38kg/m<sup>2</sup>(表 6)。

表6 沙地发展灌溉的农业产量变化表

Table 6 Agricultural production variations caused by irrigation

沙地分布区 Location	气候特点 Climate characteristics		灌溉前产量 Yield before irrigation	灌溉后产量 Yield after irrigation
	气候区 Climatic zone	降水量(mm) Precipitation	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>
河西走廊沙地(临泽)	干旱区	113	0	0.3
毛乌素沙地西部(盐池)	半干旱区	296	0.099	0.21
科尔沁沙地(奈曼)	半湿润区	362	0.0150	0.25
黄海平原沙地(禹城)	半湿润区	616	0.75	0.38
亚热带(南昌沙地)	亚热带区	1481	0.1	0.5

但是沙地农业种植必须进行稳定性农业生态系统建设,其中包括农田防护林体系、灌排水利体系、防风蚀耕作体系和沙地农业栽培和培肥体系等。在农林牧果土地利用结构上进行合理配置,以便促进沙地灌溉农业稳定协调发展。

## 参 考 文 献

1. 陈文瑞,张继贤. 流动沙丘的水分状况与固沙造林. 见:治沙研究(第四号). 北京:科学出版社,1962.27
2. 邹本功,陈广庭. 科尔沁草原土地沙漠化过程及整治. 见:中国科学院兰州沙漠研究所集刊(第4号). 北京:科学出版社,1995.79~84
3. 冯 起,高前兆. 禹城沙地水分动态规律及其影响因子. 中国沙漠,1995,15(2):151~157
4. 张继贤. 我国亚热带湿润地区风沙化土地水分状况与化学性质. 中国沙漠,1989,9(1):75
5. 刘新民,蒲锦春等. 几种固沙植物的水分关系. 中国沙漠,1986,16(4):24~29
6. 冯 起. 沙地水分的研究进展. 中国沙漠,1993,13(2):9~1
7. 姚贤良等. 土壤物理学. 北京:农业出版社,1989. 131

8. 朱震达等. 中国的沙漠化及治理. 北京: 科学出版社, 1989. 15~20
9. 陈广庭, 杨泰运等. 山东省黄河冲积平原风沙化土地的研究. 中国沙漠, 1989, 9(1): 19~25
10. 刘新民, 赵哈林主编. 科尔沁沙地生态环境综合整治的研究(第1集). 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993. 88~90
11. 冯起. 半湿润沙地干沙层特性的初步研究. 干旱区研究, 1994, 11(1): 24~26
12. 方正三等. 甘肃民勤沙地水分初步研究. 见: 1960年全国地理学术会议论文集(自然地理). 北京: 科学出版社, 1962. 85
13. 冯起. 半湿润沙地水分动态和水平衡状况的探讨. 干旱地区农业技术研究, 1995, 13(1): 25~29
14. 李孝芳等. 沙区土壤调查和试验研究总结. 治沙研究(第四号). 北京: 科学出版社, 1959. 187~195
15. 刘元波, 陈荷生等. 沙地降雨入渗水分动态. 中国沙漠, 1995, 15(1): 143~150
16. 王积强. 中国北方地区若干蒸发实验研究. 北京: 科学出版社, 1990. 145
17. 赵文智. 我国不同地带沙地盐分特征研究. 地理科学, 1995, 15(4): 316~317
18. 邵明安, 杨文治, 李玉山. 黄土区土壤水分有效性的动力学模式. 科学通报, 1987, 32(18): 143~1423
19. 邵明安, 杨文治, 李玉山. 植物根系吸收土壤水分的数学模型. 土壤学报, 1987, 24(4): 295
20. 兰州沙漠研究所沙坡头沙漠科学研究所著. 包兰铁路沙坡头段固沙原理与措施. 银川: 宁夏人民出版社, 1991. 230~250
21. 邵明安, 杨文治, 李玉山. 土壤~植物~大气边缘体中的水流阻力及相对重要性. 水利学报, 1986, (9): 8~10
22. 冯起, 高前兆. 沙地土壤水分动态模拟研究. 土壤通报, 1997. 50~51
23. 何兴东. 亚热带沙地湿地松造林的初步研究. 中国沙漠, 1993, 13(1): 58~62

## MOISTURE DISTRIBUTION AND MOVEMENT IN SANDY LANDS OF CHINA

Feng Qi Cheng Guo-dong

*(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Academia Sinica, Lanzhou 730000)*

### Summary

Based on the assemblage characteristics of bioclimatic zone, aridity, mean moisture content of sandy land, precipitation, etc, five zone, i. e., desert, semidesert, steppe, subhumid and humid zone were divided for sandy lands and deserts of China. The moisture movement, stable moisture contents and available moisture storages in each zone are summed up and analysed. The main factors affecting moisture dynamical variations of sandy lands are discussed. The concrete measures for afforestation and selection of tree species in different sandy zones are put forward. Finally, the development and agricultural production directions, economic benefit of irrigation agriculture, and future development tendency of different sandy lands are discussed.

**Key words** Moisture characteristics of sandy land, Fixation and afforestation on sandy land, Irrigation benefit of sandy land