

沙地凝結水特征*

郑若霭

(中国科学院地理研究所)

在极端干旱的沙漠地区,如何充分利用水源,是治理沙漠的重大问题之一。沙漠地区的凝結水问题早在1940年以前苏联就已经有了研究^[1,2],而在我国还是近年来才开展的^[3]。

但是,远在三百多年前,我国劳动人民在干旱的条件下,采取了抑制土壤水分蒸发、促进水汽凝結的农业技术措施,与自然界展开了斗争。例如,“砂田”就是甘肃省农业生产上的一个很大特色,它使很多没有灌溉条件的地方可以获得高额而稳定的产量,同时使瓜、果、蔬菜等作物扩大了种植范围^[4,5]。这些都表明了砂田对土壤最主要的作用是减少土壤水分的无效蒸发、促进水汽凝結,提高了砂田的水分,因而对作物的生长是有利的。

作者于1959—1961年在甘肃省民勤连续进行凝結水的研究工作,前一段时间主要进行仪器与观测方法的试验研究,1961年进行了较定量的研究。工作是在绿洲与流动沙丘交界地带的流动沙丘上进行的。民勤位于荒漠边缘,在沙漠包围之中,气候干燥、常年降雨量不足120毫米,分配极不均匀,明显地集中于8月,该月雨量通常占年雨量的50%左右。逐年雨量变化亦大,相对年较差达70%左右。最多雨年超过150毫米,最少雨年不足100毫米,属典型干燥大陆性气候(表1)。

表1 观测地区气象资料*

緯度	經度	海拔高度 (米)	气温(°C)			年降水量 (毫米)	年平均风 速(米/秒)	干燥度
			1月	7月	年平均			
38°43'	103°06'	1367.0	-9.9	23.8	-7.9	119.7	2.6	5.3

* 资料取自民勤气象站

观测主要在夏季(6—8月)多雨期间进行。1961年夏季雨量为49.8毫米(其中8月份为31.8毫米),占多年平均雨量的40%以上,因此所得结果是比较多雨条件下的凝結水情况。该季正值植物生长需水的重要时期,所以其意义尤为重要。

水分观测用称重法与电测法同时进行。称重法是使用1/100扭力天平,测定时称取自然条件下的沙样重量,用两次称得的重量之差来计算凝結水量。一般日凝結水总量是根据当日傍晚和次晨两次沙样重量之差求得,逐时凝結水量是根据每两小时沙样重量之差而得。电测法主要是在沙缸试验中应用。沙缸中装入风干沙,各层埋置电测仪的感湿元件,然后进行定时连续观测,根据水分变化资料求取凝結水量。沙中水汽凝結量和大气

* 参加该项工作的尚有中国科学院地理研究所吴中柱同志及兰州大学地质地理系实习同学。在工作中得到耿宽宏同志的帮助,本文最后经吕炯教授详加审阅,谨此致谢。

水汽凝結量的測定,是将称重的沙样进行复盖和隔絕法进行的。将空气中水汽隔絕时,測得的凝結水量是沙中水汽凝結量;将沙中水汽隔絕时,測得的凝結水量是大气中水汽凝結量。由于試驗工作的經驗不够成熟,仪器及觀測方法还不够十分精密,很多問題尚待进一步研究。这里仅从凝結水的形成規律方面作一簡略的报导。

一、沙地凝結水的形成規律

松散的沙粒与土壤都有吸附汽态水的作用(称吸湿性),在沙面总的凝結水量中包括:大气中水汽在沙面凝結量和沙中汽态水在沙面的凝結量,本文所指的凝結水量即包括这两部分。关于夜間沙面凝結水的生成,从表 2 中可以看出,在觀測期間每天早晨都能发现凝結水的出現;但根据逐日的觀測資料发现每天的凝結水量又各不相同,三个月中累积的凝結水量总共 2.9 毫米,为同期降水量的 5.9%,其中以 8 月份凝結水量最大,达 1.6 毫米。夏季的日平均凝結水量为 0.03 毫米左右,并且明显地集中于 8 月,8 月份凝結水量占夏季总凝結水量的 55%。

表 2 1961 年夏季沙面凝結水量

月 份	6	7	8	总 計
降水量(毫米)	15.0	3.0	31.8	49.8
总凝結水量(毫米)	0.59	0.68	1.58	2.90
日平均凝結水量(毫米)	0.020	0.022	0.051	0.033
与降水量比(%)	3.9	22.7	4.9	5.9

凝結水是在夜間沙面温度低于近地层气温时生成的。表 3 的資料是在干燥的 5 月間取得,該日风速較大,大气中水汽凝結出現的时间較迟、延續的时间亦較长。在午夜 1 时后才由蒸发过程轉为凝結过程。从大气中水汽在沙面的凝結来看,凝結現象只延續到 5 时左右,从沙丘内部的水汽在沙面凝結来看,凝結現象可延續到 9 时,这主要是由于汽态水的移动方向深受温度梯度的影响,而在 9 时以前沙层的温度梯度仍指向沙面,所以这时汽态水是由深层向表层移动而凝結。并且,凝結現象延續的时间是随不同的天气条件而变化的。

表 3 沙面水分逐时变化(毫米) (1961. 5. 21—22)

时 間	19	21	23	1	3	5	7	9	11	13
大气中水汽凝結量	0.232	0.173	0.156	0.149	0.149	0.156	0.137	0.095	0.026	0.019
沙中水汽凝結量	0.113	0.125	0.113	0.107	0.113	0.107	0.149	0.225	0.201	0.107
总 計	0.345	0.298	0.269	0.256	0.262	0.263	0.286	0.320	0.227	0.126
沙面温度(°C)	14.0	9.0	5.7	3.8	2.2	1.5	12.3	28.5	42.3	46.5
绝对湿度(0.5 米高)(毫巴)	5.2	6.3	6.2	6.9	6.4	6.2	6.1	4.5	5.5	2.6
风速(0.5 米高)(米/秒)	4.1	0.1	1.1	2.1	2.3	3.5	3.6	4.7	3.6	3.7

过去的研究結果曾經指出,在总的凝結水量中,沙中汽态水凝結量和大气中水汽凝結量几乎是各占一半的。但是,根据我們觀測的結果表明,个别日期两者比重的差异最大时可达 60% 以上(表 4),如 9 月 4 日,沙中汽态水凝結量为 0.002 毫米,大气水汽凝結量达

表 4 不同来源水汽凝水量比较 (1961 年)

日期 (日/月)	干沙层厚 度(厘米)	凝結水量(毫米)			凝結水所占%		观测时气象条件(8时)		
		沙中 汽态水	大气水汽	总 計	沙中汽 态水	大气水汽	相对湿度 (%)	风 速 (米/秒)	最低温度 (°C)
4/9	8—10	0.002	0.008	0.010	20.0	80.0	81	1.7	8.8
19/9	6	0.031	0.044	0.075	41.6	58.4	84	1.7	7.2
16/9	4—5	0.055	0.037	0.092	59.7	40.3	78	1.5	7.5
14/9	3	0.053	0.015	0.068	77.5	22.5	91	2.0	10.5
11/9	0	0.025	0.010	0.035	71.4	28.6	81	1.9	—
12/9	0	0.023	0.072	0.095	24.1	75.9	99	0.0	—
平 均		0.032	0.031	0.063	50.2	49.8	—	—	—

0.008 毫米,成 1 与 4 之比。表 4 还指出,在不同的干沙厚度下,沙中汽态水凝結量有显著的差异;虽然各次观测的小气候条件不尽相同,但随着沙面干沙层厚度的增加,沙中汽态水凝結量相应地减少是很明显的。例如,9 月 4 日在干沙层厚度为 8—10 厘米时,大气中水汽凝結量占 80%,沙中水汽凝結量只占 20%,即是說在总的凝水量中有 4/5 的水汽是来自大气中。又如,9 月 14 日在干沙层厚度为 3 厘米时,沙中汽态水凝結量占 77.5%,大气中水汽凝結量只占 22.5%。总凝水量与干沙厚度的关系如图 1 所示。

干沙厚度对沙面总凝結水量有显著的影响,这主要是因为干沙层愈厚时,沙中下层的汽态水愈不易通过干沙层而上达地面参加凝結,这样就减少了向沙面的凝結量。所以,随干沙层的加厚,沙中汽态水凝結部分所占的比重逐渐减小。图 2 即表示了总凝結水量中沙中汽态水凝結量所占比重与干沙厚度的关系。

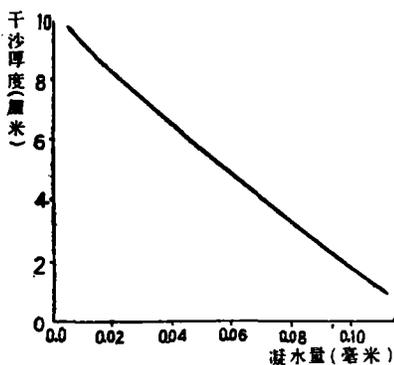


图 1 沙面总凝水量与干沙厚度的关系

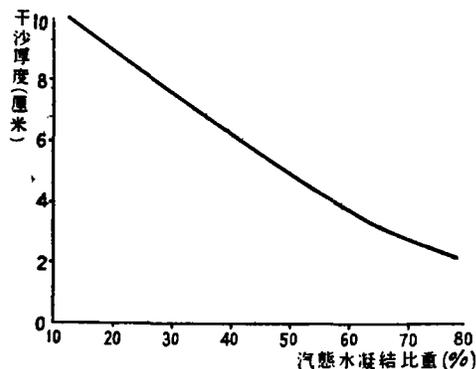


图 2 沙中汽态凝水量比重与干沙厚度的关系

由降水和灌溉后凝結水量增加的事实証明,地面因降水或灌溉而十分湿润时,凝結水量就显著增加。如表 5 所示,6 月 1 日至 21 日平均凝結水量为 0.005 毫米,降水后第一天(即 6 月 26 日)测得的凝結水量达 0.081 毫米,比降水前平均值增加 16 倍。以后随沙面的逐渐干燥,凝水量也逐渐减少。至降水后第七天凝水量已减少到 0.014 毫米,即比降水后第一天的凝水量减少了約六分之五,但减少的速度是随天数的增加趋于緩慢的。灌溉后湿润地的凝結水变化規律亦相类似,在灌溉后的第四天凝結水量出現最大值,如图 3 所示。

表 5 沙面湿润前后的凝水量(毫米)(1961年)

	降水前 4 天	降水后 1 天	降水后 7 天	降水后 11 天
日 期	6 月 21 日	6 月 26 日	7 月 2 日	7 月 6 日
凝 水 量	0.002	0.081	0.014	0.007

注: 6 月 25 日降水 15.0 毫米, 6 月 1—21 日平均凝水量 0.005 毫米。

表 6 不同天气条件下凝結水量(1961年)

日 期	天 气 型	绝对湿度 (毫巴)	风速(米/秒)	沙面最低温度 (°C)	凝水量(毫米)
7 月 12 日	阴	16.8	2.0	16.7	0.0201
7 月 21 日	阴	19.8	4.3	14.0	0.0097
7 月 31 日	晴	16.8	2.0	14.0	0.0488

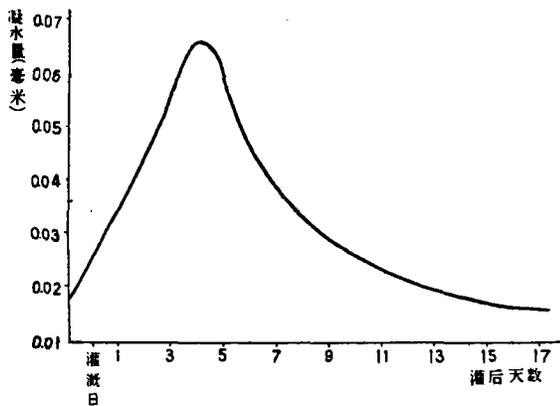


图 3 灌溉后地面凝水量变化

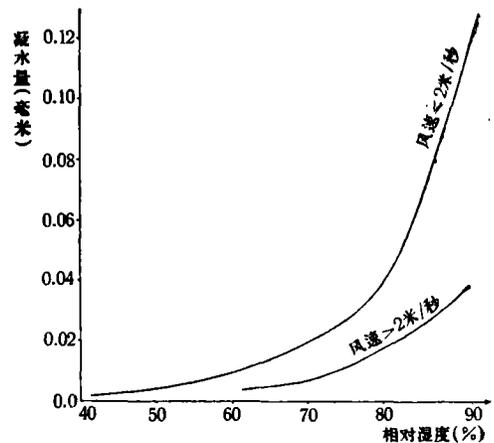


图 4 凝水量与相对湿度的关系

控制凝結水生成的小气候条件每天都有巨大的差异, 所以每天凝結水的数量亦不相同, 表 6 即是不同天气条件下的凝結水資料。对比 12 日与 31 日的观测資料不难看出, 虽然近地层空气湿度与风速条件均相同, 但晴天的凝結水量較阴天的多 1 倍多, 这主要是因为晴天(31 日)沙面充分輻射冷却, 最低温度較阴天(12 日)低 2.7°C 之故。比較 21 日与 31 日的資料清楚地显示出风速的影响, 这两天地面最低温度是相同的, 21 日的空气湿度虽然較大, 但因风速較強, 凝結水量只有 31 日的 1/5。从图 4 可以看出, 风速不同, 总凝結水量与相对湿度的关系曲綫是不同的。风速对凝結水量与饱和差关系的影响也相类似(图 5)。显而易见, 当湿度条件相同时, 风速增大, 凝結水量总是較少。

作者多次观测的結果表明, 大气水汽凝結量与近地层空气湿度、风速的关系如图 5 所示, 从图 5 中可以看出, 凝結水量和饱和差存在着一定的关系, 当饱和差增大时(即空气湿度減小时)凝水量减小。但这种关系在饱和差大于 10 毫巴时便很不明显, 因为这时空气已极端干燥, 可供凝結的水汽已很少。当空气湿度很大、趋于饱和时, 凝結水量的大小几

乎又与空气湿度无关,这时凝結水的形成主要是受风速大小所控制。

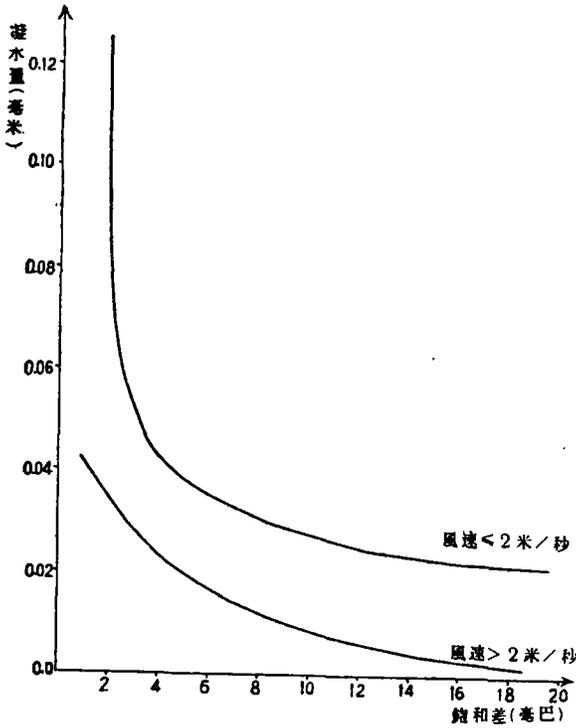


图5 凝水量与饱和差的关系

(50—60厘米)水分由原来的0.005毫米增加到0.014毫米,增加近3倍,至8月25日整层水分亦增加1倍多。毫无疑问,水分的增加除大气中水汽凝結外,别无其他来源。从数量上来看,大气水汽参与沙中内部的凝結作用十分微弱,在0—60厘米沙层中,三个月由于这种凝結所增加的水量不过0.06毫米左右;虽然在短时期内这种凝結作用很微弱,但从长年来看,大气凝結水对沙丘水分的补给作用似乎是不容忽视的,这种作用可能是沙丘中湿沙层¹⁾水分来源的一个组成部分。这种意见是否正确,尚待进一步的研究。

表7 沙缸中干沙的水分变化(毫米)(1961年)

深度 (厘米)	0	5	10	15	20	30	40	50	60	总水量
5月26日	0.005	0.005	0.003	0.003	0.005	0.007	0.007	0.005	0.005	0.051
6月25日	0.005	0.007	0.007	0.007	0.009	0.009	0.009	0.010	0.010	0.082
7月25日	0.003	0.005	0.005	0.007	0.009	0.009	0.009	0.010	0.010	0.078
8月25日	0.005	0.010	0.010	0.009	0.009	0.014	0.014	0.014	0.014	0.113

二、促进沙地凝結水的試驗

沙面有水分凝結是肯定的事实,只是数量太少。因此,如何进一步促进与提高凝結水

1) 通过流动沙丘的水分研究发现,我国流动沙丘沙层的某一深度均有一层悬着的湿沙层,这层湿沙层的水分来源尚待查明。

凝結水(包括大气水汽凝結与沙中水汽凝結)形成后的运动方向亦可分为两部分:一部分在沙面受热后經蒸发又回到空气中;另一部分在沙面受热后以汽态形式向下扩散,遇冷在沙层中凝結成液态水,长期保存于沙丘中可供植物利用。前一部分可称为无效凝結水,后一部分称为有效凝結水。关于这两部分凝結水的活动状况及比例关系尚待进一步研究;但应该指出,本文上述的凝結水也包括有效与无效两部分的凝結水。有效凝結水是根据沙缸試驗发现的,試驗初期沙缸内装入风干沙,試驗过程中严格防止降水侵入,在沙丘含水量极少的情况下,沙缸可以认为是透水的。经过三个月后,除表层以外,其余各层水分均显著增加(表7),特别是底层

等問題,是值得重視和研究的。

試驗是在过去的工作基础上进行的,試驗包括两个方面:即沙面凝結水的促进与提高和沙中凝結水的促进与提高。

促进沙面凝結水的試驗是将不同粒径的沙粒試样装入沙容器中,并加上不同顏色的复盖物,然后定期对各个容器分別进行称重測定。測定的結果表明,采用不同复盖物和不同粒径两种措施对沙面凝結水量都有不同的影响。在不同顏色的复盖物(灰色的砾石、黑色的煤渣)下,凝結水量也不同,其中以深色复盖面增加凝結水的效果較为显著(表 8),与对照沙样(自然状况下的沙样)比較,最大时可以多出 60% 以上(7 月 11—12 日),就从黑色复盖物的平均凝水量 0.046 毫米來說,比对照沙样也多 15%。灰色复盖的沙样,凝結水量也有所增加,最大时可比对照沙样多 40%,其平均凝結水量也比对照沙样多 10%。复盖面顏色的不同对白天的吸热及夜間的散热均有影响,顏色愈深,夜間的散热愈快,温度降低亦愈多,愈有利于凝結水的生成。在三种不同顏色的复盖物中,其凝結水量以黑色为最大,灰色次之,对照沙样最小。

表 8 不同顏色复盖面及不同粒径沙样凝水量(毫米)(1961 年)

日 期	对 照 (混合沙样 淡黄色)	不同复盖物		不 同 粒 径 (毫米)			
		灰 色	黑 色	<0.1	0.1—0.2	0.2—0.4	0.4—1.0
7 月 11—12 日	0.020	0.028	0.033	0.029	0.021	0.024	0.015
7 月 14—15 日	0.017	0.019	0.022	0.022	0.022	0.019	0.014
7 月 23—24 日	0.013	0.018	0.017	0.022	0.016	0.010	0.009
7 月 27—28 日	0.029	0.034	0.031	0.037	0.029	0.018	0.014
8 月 7—8 日	0.121	0.120	0.128	0.121	0.111	0.102	0.100
平 均	0.040	0.044	0.046	0.046	0.040	0.035	0.030

在不同粒径的沙样中,粒径愈小,吸附水汽凝結的沙粒总表面积也愈大。表 8 中小于 0.1 毫米粒径的沙样,凝水量平均为 0.046 毫米,較对照沙样(不同粒径混合沙样)要多 15%,最大时可多 69%。当沙粒粒径超过 0.2 毫米时,其凝結水量較混合的对照沙样反而减少。这可能是由于对照沙样中含有 <0.2 毫米的沙粒,使吸附水汽凝結的比表面增大的結果。凝結水量与沙粒粒径的关系是一个近似反比的关系,如图 6 所示。

上述試驗虽然不是在沙丘上直接进行的,但試驗結果証明了改变沙层的沙粒粒径、孔隙度以及在沙丘表面采取不同措施改变顏色,都会对凝結水的生成起一定的作用,这就为提高与促进凝結水的工作提供了一定的理論依

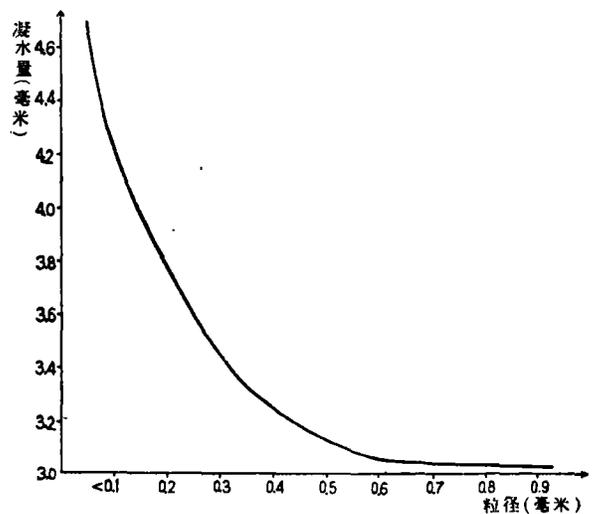


图 6 凝水量与沙粒径的关系

据。

最后,再简单地谈一谈促进与提高沙中凝结水的试验结果:该试验是直接沙丘上进行的,试验主要的根据是改变温度对凝结水形成的影响。我们采用了不同颜色的复盖物:砾石(灰色,平均粒径0.5—1.0厘米),煤渣(黑色,平均粒径1厘米)及熟石灰(白色,平均粒径1—2厘米)。复盖面积各为4平方米,厚度平均5厘米。

试验结果表明,从6月20日至9月7日,在采取不同颜色复盖物的措施下,10—15厘米沙层中增加的有效凝结水量为0.1—0.6毫米。其中复盖砾石的最大,为0.55毫米;煤渣次之,为0.34毫米;熟石灰最小,为0.12毫米。虽然凝结水量增加的不多,但和同期未加措施的裸沙地水分减少了0.28毫米相比,仍然形成了鲜明的对照。因此,进行沙面复盖措施,改变温度状况的研究,在抑制沙丘水分蒸发与促进凝结水方面是具有实际意义的。

三、结 论

1. 沙漠地区是有凝结水存在的,在民勤地区,1961年夏季三个月的凝结水量为2.9毫米,为同期降水量的5.9%。虽然在短时间内这种凝结作用很微弱,但从长年来看,凝结水对沙丘水分的补给作用还是不容忽视的。

2. 凝结水的形成与消失,实际上是凝结与蒸发过程的相互转化。凝结水是在夜间沙面温度低于近地层空气温度时生成的;日出后,沙面温度高于近地层空气温度时,凝结水即开始汽化而消失。这种相互转化的时间是随天气条件的不同而有所差异的。

3. 沙漠地区的凝结水是由空气中的水汽与沙丘中的汽态水两部分凝结而成。凝结水量的大小,决定于近地层空气湿度、空气温度、风速等小气候条件和沙中温度、沙中水分以及干沙层厚度等因素。

4. 改变沙层的沙粒粒径、孔隙度,在沙丘表面采取不同措施改变颜色(各种复盖物),对凝结水的生成能起一定的促进作用。这项研究在抑制沙丘水分蒸发及提高沙层含水量方面是有意义的。

摘 要

本文总结了我国沙漠地区凝结水的试验研究工作。阐述了凝结水的特征、形成规律及凝结水量与气候条件的关系。定量地讨论了研究地区夏季(1961年6—8月)的凝结水量。并根据提高凝结水的试验,初步证明改变沙粒粒径、孔隙度、沙丘表面颜色,对促进凝结水的生成能起一定的作用。

参 考 文 献

- [1] В. В. Тугаринов Н.В. Масалитин: опыты конденсации водяных паров воздуха метеорология и гидрология. 1937, № 1.
- [2] В. Ф. Пушкарев: изучение элементов водного баланса почвы с помощью гидравлических испарителей. труды всесоюзного гидрологического съезда, том ленинград 1959.
- [3] 耿宽宏: 沙地水分测定及其水分变化规律。地理, 1961年第1期。
- [4] 吕忠恕、陈邦瑜: 1955。甘肃砂田的研究。农业学报, 6卷3期。
- [5] 吕忠恕、陈邦瑜、田春如: 1958。甘肃砂田改良的一种方法。土壤学报, 6卷1期。

**STUDIES ON THE CHARACTERISTICS OF SWEAT IN THE
SAND-DUNES OF DESERT AREAS,
CENTRAL KANSU**

J. A. CHENG

(Institute of Geography, Academia Sinica)

(ABSTRACT)

The present paper deals with the experimental studies on the condensation of water vapor in relation with climatic conditions in the sand-dunes of desert areas of central Kansu. Field experiments were carried out in the summer of 1961. Increase of condensed water can be effectively accomplished by the proper regulation of particle size and porosity of the sand-dunes, and also by a dark colored covering.