

呼伦贝尔草原大气浑浊度的 测量和尘埃输送的初步探讨

周允华 项月琴 谢贤群*

(中国科学院地理研究所)

提 要

利用相对日射表和玻璃滤光片,于1974—76年的4—7月份在呼伦贝尔草原进行了大气浑浊度的测量。根据测量结果,研究了半干旱草原尘埃输送的特性。通过不同测点的对比,分析了草原开垦对尘埃输送的影响。

近年来,关于大气气溶胶在热量平衡中的作用及其对气候变化的影响问题,越来越受到人们的重视。世界气象组织(WMO)建议成立全球本底污染监测网,并选用大气浑浊度作为其中的一个重要项目,来监测大气气溶胶的现有水平和长期变化趋势^[1]。有关大气浑浊度的测量已在世界许多地区广泛开展起来。

尘埃是大气气溶胶的重要组成部分,沙漠和干旱地区是大气尘埃的重要源地,土地开垦又是人类影响大气含尘量的重要方面。因此,对干旱地区大气浑浊度的测量,有助于探索自然气溶胶的输送规律和研究人类农业活动对大气污染的影响。

一、大气浑浊度的观测和计算

1. 观测仪器和计算方法

Ångström 提议测点上空整层垂直气柱内气溶胶对太阳辐射的减弱系数 τ_a 和波长 λ 的关系可写成下列经验关系式^[2,3]:

$$\tau_a = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (1)$$

式中 α 和 β 是两个与波长无关的常数, β 被定义为 Ångström 浑浊度系数,取决于测点上空垂直气柱内气溶胶粒子总数; α 称波长指数,同粒子体分布有关,平均值可取 1.3。

我们用苏制 AT-50 相对日射表并配上国产锐截止型有色玻璃滤光片 HB₁₁ 来进行大气浑浊度系数 β 的测量。滤光片的透光性能,用分光光度计作了精确测定和精心挑选,透光界限为 0.630 微米。根据日射表测出的太阳直接辐射通量值 I 和罩上滤光片 HB₁₁ 后的辐射通量值 I' ,就可根据方程(2)计算出大气浑浊度系数值 β :

1978年1月31日收到修改稿。

* 参加本工作的还有田国良、鲍士柱、单福芝等同志。

$$I - \frac{1}{\Phi} I' = \left(\frac{R_0}{R} \right)^2 \int_0^{0.630} I_{0\lambda} e^{-(\tau_1 + \tau_2 + \beta \lambda^{-1.3})m} d\lambda \quad (2)$$

式中 Φ 是滤光片 HB₁₁ 的主带平均透过率, R 和 R_0 分别为地-日距离和地-日平均距离, $I_{0\lambda}$ 为大气外界波长为 λ 的太阳光谱辐照, τ_1 和 τ_2 分别为测点上空垂直气柱内空气分子的和 O_3 的减弱系数, m 为相对大气质量。

对所使用的每一台相对日射表,都用 Ångström 绝对日射表作了长时间的鉴定,从而测定了仪器的温度效应^[4]。在计算辐射通量值时,对不同的电表温度,取用了不同的仪器常数。

大气浑浊度系数 β 的计算是根据文献^[1]中附表 1 的资料,作成列线图来查算的。因为该图仅适用于标准海平面的情况,为了考虑测站海拔高度的影响,采用了资料^[5]规定的方法,用绝对大气质量 $m' = \frac{p}{p_0} m$ 来代替相对大气质量 m ,从图中查出的 β 值再乘以 $\frac{p}{p_0}$,即得到测点上空真正的大气浑浊度系数值(其中 p 和 p_0 分别为测点的气压和标准大气压)。

2. 测点的选择:

我们于 1974—76 年在呼伦贝尔草原进行了连续三年的大气浑浊度观测。呼伦贝尔草原位于我国黑龙江省西部,属干旱和半干旱草原,地势辽阔坦荡。春季(4—5月)晴天多,日照强,降水少,加之气旋活动频繁,多大风天气,是土壤风蚀严重的季节。而 6 月至 7 月上旬则是草原的初夏季节,西风气流平直,强度也比春季弱,低层暖湿气流开始来到,降水增多,新草和庄稼也都长出,它和春季形成明显对照。所以我们把观测时间选择在春季和初夏的季节里。

在草原上选了四种不同类型的观测点,测点之间相距最近的为 52 公里,最远的为 166 公里。测点状况及观测日期列于表 1。

各测点的观测按统一规定,选择在日周 5° 的视角内无云的天气条件下,自日出至日落,每小时一次,按地方时正点观测,若观测时受云的影响,则在半小时内补测一次。三年

表 1 测点状况和观测日期

测点名称	东经	北纬	海拔高度(米)	测点状况	开垦率*	观测日期
孟根楚鲁	119°48'	48°48'	654	干草原	未开垦	1975年5月2日—6月22日 1976年4月24日—7月6日
巴克西农牧场	119°55'	49°19'	667	半干旱的半开垦区	14%	1975年5月3日—6月20日 1976年4月17日—6月25日
上库力农场	120°28'	50°15'	618	半湿润的半开垦区	38%	1974年6月20日—6月28日 1975年5月4日—6月22日
完工	118°53'	49°11'	605	沙丘干草原	未开垦	1974年6月8日—7月10日** 1975年5月4日—6月26日

* 开垦率系指该农(牧)场已开垦的面积和总面积之比。

** 这一年测点设在陈巴尔虎旗(东经 119°26', 北纬 49°19', 海拔高度 577 米),该点距完工 44 公里,这里的下垫面状况和完工大致相同,故合并在一起列出。

来,四个测点共观测 1639 次。

二、呼伦贝尔草原春季和初夏大气浑浊度的特点

图 1 和图 2 分别给出了 1975 年和 1976 年各测点浑浊度系数 β 的逐日变化图, 图中每个点子是当天全部观测资料的平均值。

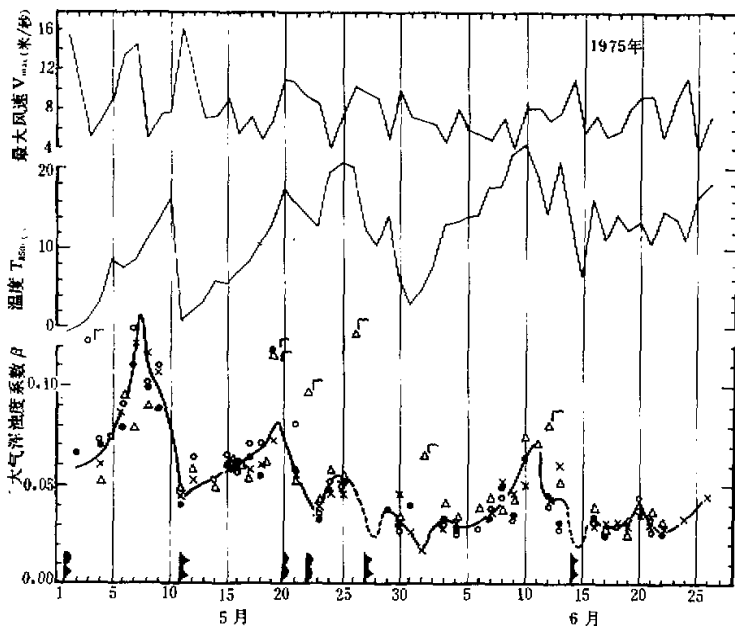


图 1 呼伦贝尔草原各测点大气浑浊度系数 β 及海拉尔逐日最大风速 V_{max} 和 19 时 (北京时) 850 毫巴的气温 T_{850} 的逐日变化图。符号 ∇ 表示该日测站曾出现过烟幕。

图中最下方标出的是锋面性质和过境日期。

(○ 巴克西农牧场, ● 孟根楚鲁, △ 上库力农场, × 完工)

各测点每年各月浑浊度系数的月平均值 $\bar{\beta}$ 和标准差 δ 列于表 2, 表中最下面一行列出了春季 (4 月下半月—5 月) 的和初夏 (6 月—7 月上旬) 的浑浊度季节平均值和标准差, 用以代表呼伦贝尔草原的季节平均状况。

图 3 给出了春季和初夏的浑浊度平均日变化曲线, 该图是把三年来各测点的观测结果全部合并在一起加以统计, 以反映呼伦贝尔草原浑浊度在不同季节里的日变化特点。

从上述这些图和表中, 可以看到如下一些特点:

(1) 就同一天而言, 各测点大气浑浊度在数值上大致相近, 逐日变化的趋势也是一致的, 反映了草原大气比较均一的特性 (其中受烟幕影响的日子除外)。

(2) 草原春季大气浑浊度明显偏高, 标准差也大, 而初夏的浑浊度和标准差都显著降低了。草原上这种季节差异是值得注意的, 因为一般而言, 大气浑浊度是随着空气湿度的

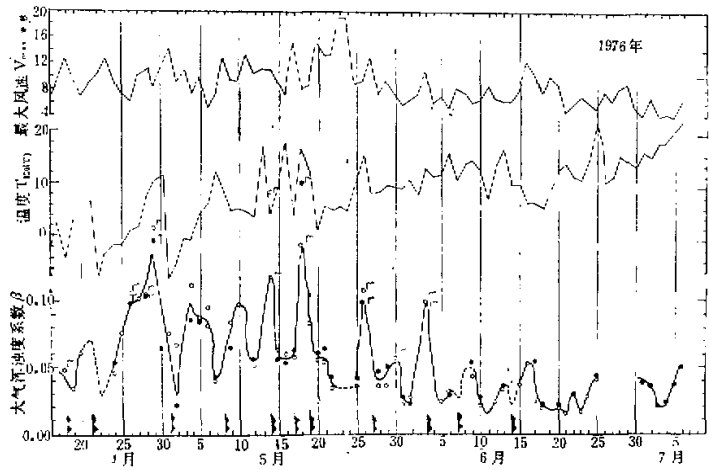


图2 说明和符号同图1

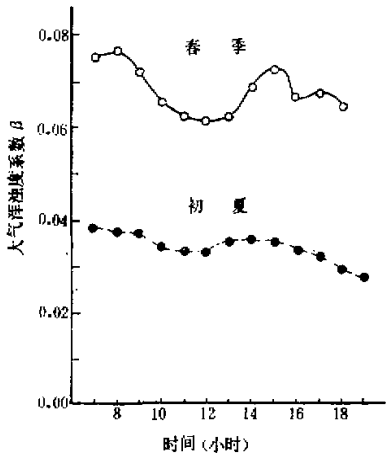


图3 呼伦贝尔草原春季(4月下半月—5月)和初夏(6—7月上旬)大气浑浊度系数 β 的平均日变化曲线。

表2 各测点大气浑浊度系数的月平均值 $\bar{\beta}$ 和标准差 δ 及各月观测天数M和观测次数N

测 点 名 称	年份	4月(下半月)				5 月				6 月				7 月(上半)			
		$\bar{\beta}$	δ	M	N	$\bar{\beta}$	δ	M	N	$\bar{\beta}$	δ	M	N	$\bar{\beta}$	δ	M	N
孟 根 楚 鲁	1975					0.062	0.025	20	124	0.036	0.012	14	118				
	1976	0.097	0.033	5	29	0.058	0.029	22	122	0.027	0.018	15	111	0.033	0.010	6	41
巴克西农牧场	1975					0.072	0.029	18	101	0.035	0.011	12	67				
	1976	0.078	0.040	10	54	0.064	0.035	23	126	0.029	0.015	17	98				
上库力农场	1974									0.034	0.006	5	37				
	1975					0.063	0.024	18	110	0.043	0.017	17	109				
完 工	1974*									0.021	0.019	5	37	0.049	0.021	7	52
	1975					0.068	0.026	18	116	0.039	0.013	18	187				
季 节 平 均		春季: $\bar{\beta} \pm \delta = 0.067 \pm 0.029$								初夏: $\bar{\beta} \pm \delta = 0.036 \pm 0.017$							

* 这一年测点在陈巴尔虎旗。

增加而增大的,这是因为大气气溶胶中吸湿性盐核的存在,当空气湿度增加时对光学起作用的大粒子(半径大于 0.1 微米)数目也随之增加的缘故^[6]。可是,呼伦贝尔草原的观测结果则相反,虽然这里春季主要是变性的干冷极地大陆气团所控制而初夏则比较温暖和湿润,可是这里的大气浑浊度却是春季的显著高于初夏,这种偏高应该是这里春季大气含尘量大大增加的结果,而标准差的偏大则反映了这个季节大气含尘量很不稳定的特性,关于这一点,下节还要详述。

(3) 草原春季浑浊度系数平均日变化曲线呈正弦波形,早晨高,上午低,下午又回升,傍晚再降低(图 3)。早晨的偏高与大气低层的逆温有关,有时出现晨霾和烟幕,加之测点设在离居民点(有数百或上千人口)不远的地方,早晨逆温有利于取暖和炊烟产生的烟粒的堆积。下午浑浊度的升高则显然反映了下垫面湍流输送的加强,造成了大气含尘量的增高。初夏浑浊度的平均日变化曲线不仅数值大大下降,而且日变化也比较平缓,上午略高于下午。

三、春季尘埃源地的探讨

为了探讨呼伦贝尔草原春季大气含尘量大幅度增高的原因,有必要先对影响大气浑浊度的因素作一分析。

1. 大气浑浊度与气团变性

三年的观测,出乎意料的是没有发现因大风天气使大气浑浊度显著增高的现象,甚至常常在连续三天六级以上大风的天气条件下,大气浑浊度日平均值仍不超过春季的平均结果。这说明在草原上,大风并没有能刮起足够多的尘土以至使大气浑浊度增高。

可是,另一方面,从图 1 和图 2 却可以看到:在春季,浑浊度逐日变化趋势却和气温变化趋势一致,特别是在强烈的冷空气入侵以后高压持续时间较长的时段内,二者吻合得很好。1976 年春季气旋活动频繁,加上烟幕影响(图 2),浑浊度和气温变化比较零乱,但二者变化趋势相同这一事实仍是明显可见的。结合逐日天气图的分析可看到:每当冷锋过境,一股新的干冷气团抵达呼伦贝尔草原时,虽然往往因锋面过境伴随大风天气,可是浑浊度却处于最低水平。此后,一方面气温逐日回升,一方面浑浊度逐日增高,二者同时达到最高值,直至另一次冷锋过境,一股新的干冷气团抵达为止,此时大气浑浊度和气温再次同时出现大幅度突降(见图 1 和图 2)。这些事实表明,刚刚入侵到呼伦贝尔草原的干冷极地大陆气团的尘埃含量本来是很低的,在干旱的草原上,由于下垫面的加热作用,在气温迅速回升的同时,大量尘埃也由干燥的地面不断地通过湍流输送进入大气,使大气含尘量逐日增高。因此,冷锋过境后气温的迅速回升和大气浑浊度的迅速增高,都反映了寒冷的和干净的极地大陆气团在干旱的草原上空迅速变性的过程。

2. 尘埃输送的速率

大气浑浊度系数 β 和单位截面的垂直气柱内半径在 0.1—1 微米之间的气溶胶粒子质量 M 之间具有近似关系式: $M \approx 0.5\beta$ (克/平方米)^[7],根据图 1 和图 2 中的四次干冷气团

的变性过程, 可以计算出大气浑浊度的每日增加率 $\Delta\beta/\Delta t$ 是 0.005—0.015/日, 平均为 0.010/日。由此可以估计出草原上空大气含尘量的每日增加率约为 5 毫克/平方米·日。

Volz^[7] 在分析了欧洲大气浑浊度观测网的测量资料后发现: 在一个风速很小, 高压持续时间很长的时段内, 中欧不少地区观测到大气浑浊度的增加率也是 0.01/日。他指出: 这可能是中欧工业烟粒污染的结果。由此可见, 中欧地区和呼伦贝尔草原的春季大气浑浊度具有大致相同的增加率。可是, 草原春季的风速要比中欧的大很多, 考虑到尘埃的平流输送, 我们相信: 春季草原的下垫面单位面积上向大气的尘埃输送速率至少不会低于工业发达的中欧地区因人类活动造成的烟粒输送速率。

3. 动力和热力条件对大气浑浊度的影响

在动力和热力条件都有利的情况下, 大气含尘量能急速增高。作为一个例子, 图 4 给出了 1975 年 5 月 8 日四测点大气浑浊度瞬时值的日变化曲线, 图中同时标出了海拉尔的风速和风向。

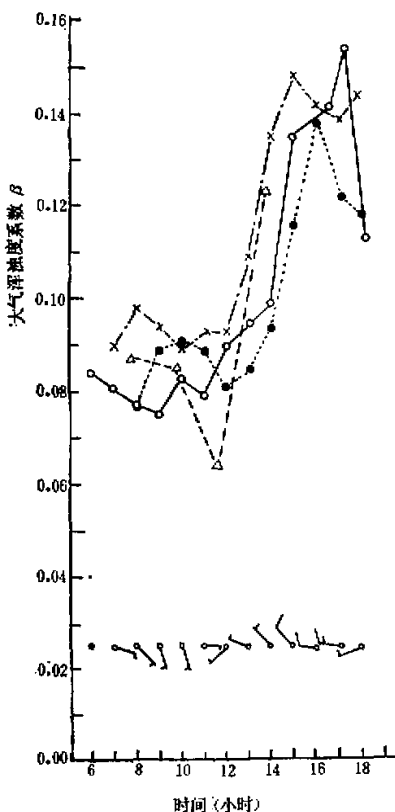


图 4 1975 年 5 月 8 日呼伦贝尔草原四测点大气浑浊度系数 β 的日变化曲线。(○) 巴克西, (●) 孟根楚鲁, (△) 上库力, (×) 完工)

从图 4 可以看到: 草原全天风速不大, 但 13 时以后四测点的浑浊度值却突然猛增将近一倍。在地面天气图上, 这天上午草原正处于一个弱高压控制之下, 14 时弱高压东南移, 草原位于槽前弱辐合带(图 5 虚线)的前缘, 20 时辐合带推移至草原地区(图 5 实线), 可见 8 日下午大气低层存在一个微弱的辐合上升气流, 加上这天天气晴朗, 风速不大, 下垫面辐射增温很快, 近地层大气处于强烈的热力不稳定状态, 因而造成了尘埃不断地向上输送, 导致了大气含

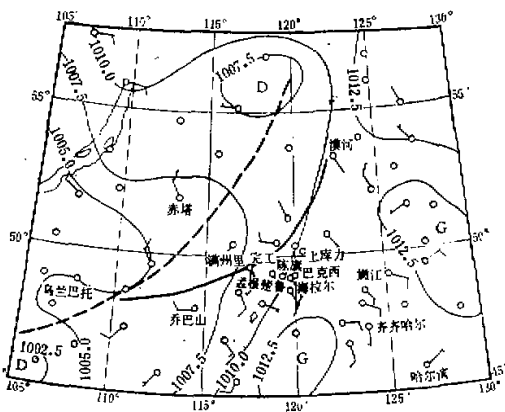


图 5 1975 年 5 月 8 日 20 时(北京时间)的地面气压形势。图中粗实线为气流辐合线, 虚线为 14 时辐合线位置。

尘量的大幅度增加。

4. 土壤湿度对大气浑浊度的影响

大气浑浊度的年际变化是很有趣的,1976年5月份各测点的浑浊度月平均值都比1975年5月份的有所下降,特别是半开垦点巴克西农牧场更明显(见表2)。1975年草原的春季风速不算太大,但旱情严重,而1976年正相反,虽风速很大,但降水也较多(见表3)。这年草原春季浊度的降低说明对浑浊度影响最大的不是风速而是降水,表明了土壤湿度的增加对下垫面尘埃输送的抑制作用。

表3 各测点1975年和1976年月降水量和月平均风速的比较

测 点 名 称	年 份	月 降 水 量 (毫米)		月 平 均 风 速 (米/秒)	
		5 月	6 月	5 月	6 月
孟 根 楚 鲁	1975	2.7	88.0	5.6	4.2
	1976	17.7	41.6	7.0	(缺测)
巴 克 西 农 牧 场	1975	2.2	76.0	3.5	2.2
	1976	39.6	79.3	5.2	3.2
上 库 力 农 场	1975	13.2	21.9	4.7	3.2
完 工	1975	11.8	53.1	5.2	3.7

5. 尘埃源地

综合上述分析,可以看到:呼伦贝尔草原的春季:(1)大气含尘量与风速无关;(2)干净的极地大陆气团抵达本地区后,大气含尘量是逐日累积的;(3)在天气晴朗,风速很小,下垫面辐射增温强烈的情况下,一旦发生气流的辐合上升运动,大气含尘量就大幅度增加;(4)对大气含尘量影响最大的不是风速而是降水。根据这四种迹象,可以推断:春季草原上空较多的尘埃既不是外地吹来的,也不是大风从本地刮起的,主要是因为春季的干旱,近地层大气热力不稳定引起的下垫面尘埃垂直湍流输送的结果。草原的植被覆盖对于保护土壤不受大风的吹蚀起了极为重要的作用。

Joseph^[8] 在分析了耶鲁撒冷的大气浑浊度测量结果后指出:每年的4—6月份,在刮大风的日子,那里的大气浑浊度显著增高,他据此计算了大风扬起的尘埃总量,并把它推广到全球所有的干旱地区,从而估计出全球干旱地区的尘埃输送量。可是我们的观测表明:在干旱地区,仅考虑大风的动力扬尘作用而不考虑热力不稳定对尘埃湍流输送的影响是不够的,因为它是长时期持续起作用的因素,不可忽视。特别是在有植被覆盖的地区,热力作用可能更为重要,因为在这里大风的吹蚀作用受到很大抑制。Joseph 自己也发现,他的计算结果比其它研究者按其它途径计算的结果明显偏低,可能这是其原因之一。

四、草原开垦对大气浑浊度的影响

1976年5—6月间,我们在巴克西农牧场的草地和开垦地上进行了热量平衡的对比较

测, 测量表明: 在晴朗的天气条件下, 草原开垦后近地层大气的热力不稳定性大大增加了, 湍流热通量可以比草地的高数倍乃至十几倍。植被破坏, 表土干松, 不但大大有利于大风的吹蚀, 也有利于尘埃的湍流输送。因此, 测点开垦程度的差异, 必然对大气浑浊度

产生影响。图 6 和图 7 给出了两年的 5 月和 6 月各测点大气浑浊度系数 β 的平均日变化曲线。

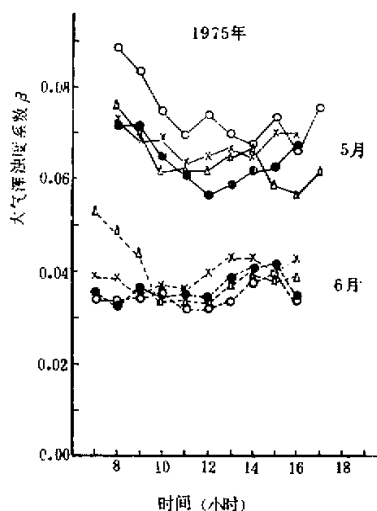


图 6 呼伦贝尔草原各测点大气浑浊度系数 β 的平均日变化曲线。(○ 巴克西农牧场, ● 孟根楚鲁, △ 上库力农场, × 完工)

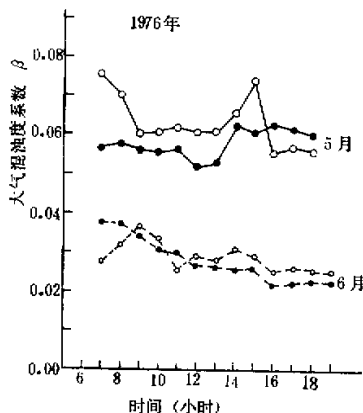


图 7 说明和图例同图 6。

从这些图中可以看到: 虽然半开垦点的开垦率很小(见表 1), 又是“插花式”分散开垦, 尚不足以使各测点的大气浑浊度产生显著差异, 但其影响还是表现出来了。两年的 5 月份, 半开垦点巴克西农牧场的浑浊度都较高, 特别是在 12—15 时湍流输送强烈的时段内, 两年分别比草原点孟根楚鲁高 20% 和 15% 左右。半开垦点上库力和沙丘点完工居中, 下午要比孟根楚鲁高 10% 左右, 这里又一次显示出土壤湿度对尘埃湍流输送的影响, 从表 3 可看到: 1975 年 5 月份巴克西降水最少, 干旱最严重, 而上库力却因接近大兴安岭林区, 属半湿润的森林—草原过渡地带, 虽然也是半开垦区, 但大气含尘量就比干旱的巴克西少些。完工位于沙丘地带, 既干旱, 风又大, 但因有植被覆盖, 大气含尘量反而比半开垦点巴克西农牧场低些。

至于 6 月份, 各测点平均日变化曲线没有明显差异, 这是因为此时风速显著减小, 降水增多, 土壤湿度增大, 地面新草和庄稼也都长出, 下垫面差异已不明了。

比较特殊的是 6 月份上库力早晨浑浊度明显偏高(图 6), 这是因为它位于大兴安岭西北麓的低山丘陵河谷地带, 早晨大气低层可能有较厚的逆温层的存在。

五、结 语

通过呼伦贝尔草原三年的大气浑浊度测量, 对比较干旱的草原地区的尘埃输送问题,

得到下列几点认识:

(1) 呼伦贝尔草原春季大气含尘量明显增高, 尘埃源地就是草原本身。扬尘的原因在于春季的干旱。在此季节里, 下垫面尘埃输送的平均速率不低于 5 毫克/平方米·日, 和工业发达的中欧地区产生的工业烟粒至少具有相同的量级。在我国东北西部和内蒙东部的广阔荒地和草原中, 呼伦贝尔草原是风速较小而降水又较多的地区, 土质和植被条件也是最好的。因此, 这里春季尘埃输送的特性, 具有广泛的代表性, 这里的尘埃输送速率可视为广大干旱地区春季尘埃输送的最低限度值。

(2) 人们在研究自然气溶胶来源时, 往往比较重视大风的动力扬尘作用。可是, 我们的研究表明: 大风的动力作用并不总是起着主导作用的, 至少在干旱的草原上是如此, 因为在这里植被覆盖对于保护土壤不受大风的吹蚀起了极为重要的作用。这里的尘埃主要是通过湍流输送进入大气的, 近地层大气热力不稳定对于尘埃的湍流输送起了重要作用。

(3) 草原开垦后大气浑浊度的增高表明了土壤风蚀程度的加剧。植被破坏, 表土干松, 不仅有利于大风的吹蚀, 也因为增加了近地层大气的热力不稳定度, 从而有利于尘埃的湍流输送。土壤中这种细小的物理性粘粒长期大量耗损的结果, 必然使土壤肥力减退, 土质变劣, 并降低了土壤抗风蚀的能力, 从而加速土壤的沙化过程。关于这一点, 竺可桢同志曾有所论述^[9]。我们的观测表明: 尘埃的垂直输送与土壤湿度密切相关。因此, 如果要在这里选择合适的地点进行小规模开垦, 则设法发展水利灌溉, 增加土壤湿度, 应该是抑制土壤风蚀的一个有效途径。

参 考 资 料

- [1] WMO Operations manual for sampling and analysis techniques for chemical constituents in air and precipitation. WMO-No. 299, 1971.
- [2] A. Ångström, *Geografiska Annaler*, V. 11 (1929), 156—166.
- [3] A. Ångström, *Geografiska Annaler*, V. 12 (1930), 130—159.
- [4] 周允华、鲍士柱、单福芝: 热电式相对日射表湿度效应的测量, 《气象》, 1978 年, 第 2 期.
- [5] *Annals of the International Geophysical Year*, Vol. V, 1958.
- [6] G. Yamamoto, et al. *J. Meteor. Soc. Japan*, Ser. II, V. 46 (1968), N. 4, 287—300.
- [7] F. E. Volz, *Tellus*, V. 21 (1969), No. 5, 625—630.
- [8] J. H. Joseph, *J. Appl. Meteor.*, V. 12 (1973), N. 5, 792—797.
- [9] 竺可桢, 论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系, 地理学报, 第 30 卷 (1964), 第 1 期, 第 1 页.