

垦荒的若干小气候效应*

马玉堂 姚文权 徐兆生**

(中国科学院地理研究所)

提 要

本文应用呼伦贝尔草原开垦地和未垦地连续两年的野外观测资料,分析了垦荒后春夏之交(5—6月)土壤热、水状况,贴地层大气动力、热力状况及地表热量平衡特征等发生的变化。指出,垦荒的小气候效应是多方面的和明显的,特别各种热力效应尤为显著。因而,垦荒这一人类活动对气象状况的影响是值得重视的。

一、引 言

人类活动对气象状况的影响是人们普遍注意的一个问题^[1]。垦荒,是近年来我国东北和西北地区广泛进行的一项生产活动,对于它所引起的各种气象效应缺少系统的观测研究。考虑到这方面的研究不但可以对气候资源的合理利用提供科学依据,也可以为人类活动影响气候的研究提供物理参数,我们于1975年和1976年连续两年在开垦面积较大的呼伦贝尔草原,选取典型地块进行了专门的小气候观测,得到了一些有意义的结果。

二、观 测 方 法

场地的选择。测点选在草原中部海拉尔附近的巴克西(北纬 $49^{\circ}19'$,东经 $119^{\circ}55'$),这里是半干旱草原与半湿润森林草原的过渡地带,地形平坦开阔,具有较好的代表性。观测场在开垦地和未垦地同时建立,进行对比观测。两观测场相距2公里。所选开垦地地块面积为 400×1600 平方米,观测场位于地块中部。

观测时间选在春夏之交的5—6月,这主要是考虑到在农、牧业生产上这是关键时期,在气候上是季节转换时期,因而小气候效应具有典型意义。

观测期间,开垦地麦苗高度平均6厘米左右,播种行距15厘米,地表裸露明显。未垦地草高平均10厘米左右,覆盖比较严密。

观测项目主要有风向、风速、气温、地温、土壤湿度及短时间的辐射平衡观测等。风和气温的观测是以梯度观测的方式设计的,仪器的设置高度分别为0.2米、0.5米、

* 本文于1981年2月21日收到,1981年9月8日收到修改稿。

** 江爱良先生指导并参加了这一工作。另外,郑战军、杜懋林同志也参加了野外观测。

1 米、2 米、4 米和 8 米。风的观测采用 75 M-1 型电子风速仪，气温的观测采用 7151 型多点测温仪。地温的观测分地面、5 厘米、10 厘米、15 厘米和 20 厘米分别采用套管地面温度表和曲管地中温度表观测。土壤湿度分 0—5 厘米、10 厘米、20 厘米、30 厘米和 50 厘米用烘烤称重法测量。辐射平衡用苏式辐射平衡表观测。

每天的观测时间，一般天气下三次，即北京时间 08 点、14 点和 20 点。这里春季大风天气为其特点，所以大风天气下从 08 点到 20 点每小时观测一次。另外，选择典型晴日进行全天昼夜每小时观测。

三、土壤热、水状况的变化

土壤热状况的宏观表现首先是土壤温度。图 1 是观测时间 0—20 厘米土层内温度的平均分布状况。我们首先看到的一个特点是，14 点和 20 点的土壤温度都是开垦地大于未垦地，而 08 点则是相反。但 08 点的差值并不大，14 点和 20 点的差异却很明显。以 14 点为例，平均而言，开垦地的地面温度要比未垦地高 4—5℃，5 厘米处的温度高 3℃左右，10 厘米处高 2℃左右，20 厘米处仍可高 0.6℃左右。

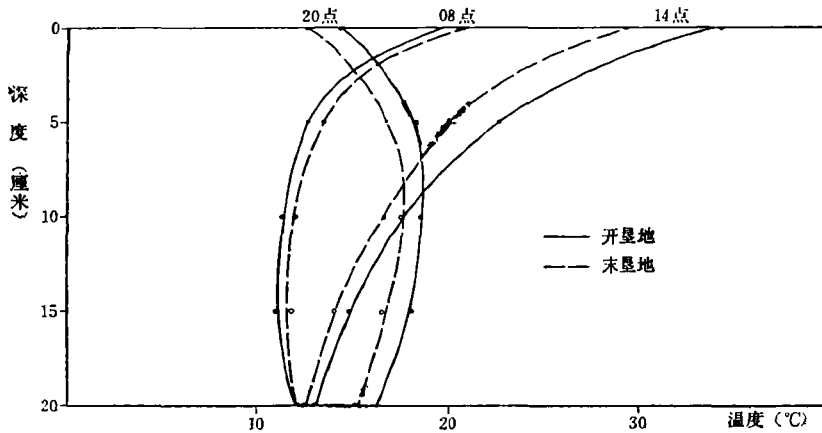


图 1 开垦地和未垦地土壤温度的平均垂直分布

08 点与 14 点和 20 点的不同特征说明，垦荒对土壤温度状况的影响不是单向性的。图 2 给出了观测期间 4 个典型晴日土壤温度昼夜变化的平均全日过程。垦荒后温度在白天基本上都是变高的，而夜间则是变低的。这种变化随着土壤深度增加而减弱，并且以位相落后的特点向下层传递。这里需要说明，我们所选晴日往往都是冷空气活动过后的典型晴日，所以温度的日过程有回暖特征，同时，20 厘米处温度的对比与图 1 也稍有差异。温度变化的非单向性，使垦荒后土壤温度的日较差明显增大。就晴天平均而言，地面

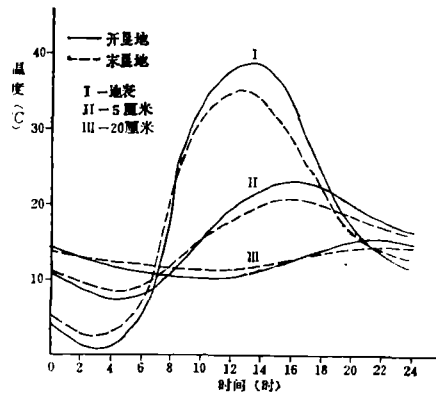


图 2 晴天开垦地和未垦地土壤温度的平均日变化

的日较差要增大 6°C 左右。

垦荒引起的这种温度效应反映了垦荒后土壤热量收支和某些物理属性的变化。这主要是与辐射平衡密切有关的地表反射率以及土壤比热、容积热容量及其影响性因素土壤容量和土壤湿度等。我们选择典型晴日对以上各物理量作了实测和计算，结果见表 1。

表 1 开垦地与未垦地有关物理量的测量结果 (0—20 厘米)

观测日期	开 垦 地				未 垦 地			
	容 重 ($\text{克}/\text{cm}^3$)	湿 度 (%)	容积热容量 ($\text{卡}/\text{cm}^3\cdot\text{度}$)	地表反射率 (%)	容 重 ($\text{克}/\text{cm}^3$)	湿 度 (%)	容积热容量 ($\text{卡}/\text{cm}^3\cdot\text{度}$)	地表反射率 (%)
1975.5.20.	1.10	18.3	0.486	5月26日至 6月24日平均	1.16	20.8	0.542	5月26日至 6月24日平均
1975.6.10.	1.10	18.8	0.496		1.16	22.6	0.562	
平 均	1.10	18.6	0.491	16	1.16	21.7	0.552	19

其中，土壤比热（干土）取决于土壤性质，我们观测的地带为砂壤黑钙土，比热取为 0.26 卡/克·度^[2]。

土壤温度状况和物理属性决定着土壤热通量。图 3 给出了晴日下土壤热通量的平均日过程。热通量值按规范法计算^[2]：

$$F = \frac{C_{pn}}{t} \left(S_1 - \frac{K_n}{d} S_2 \right) \quad (1)$$

式中 F 为热通量值， C_{pn} 为土壤容积热容量， t 为两相邻观测时间间隔(分)， S_1, S_2 是取决于土壤温度的特征系数， d 为取决于所选取的土壤深度系数， K_n 为土壤导温系数，按相应的规范法求取。

结果表明，无论白天、夜间垦荒后土壤热通量的绝对值都是增大的（06 点和 18 点前后略有减小），日总量也是增大的，平均开垦地为 28.2 卡/厘米²·日，未垦地为 19.7 卡/厘米²·日，前者是后者的 1.43 倍。

根据图 3 的资料计算了导温系数，开垦地平均为 7.20 厘米²/小时，未垦地为 3.81 厘米²/小时，前者是后者的 1.89 倍。结果与其他有关文献一致。导温系数的这种变化反映了垦荒后草根层的破坏，因为草根层象泥炭一样导温率是很小的^[3]。

图 4 是整个观测期间 0—50 厘米土层土壤湿度的平均状况（水分对干土的百分比），

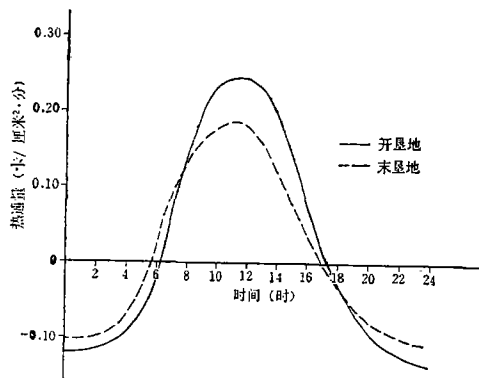


图 3 晴天开垦地和未垦地土壤热通量的平均日变化

表明垦荒对土壤湿度的影响在上、下层是不一样的。0—10 厘米湿度变小，且越向地表变化越显著。10—50 厘米湿度变大，自 20 厘米向下其变化量基本一样。湿度的这种变化一方面反映了垦荒后地表裸露造成的地面蒸发速度的增快，另一方面也反映了垦荒后土壤透水、保水性能的改善。

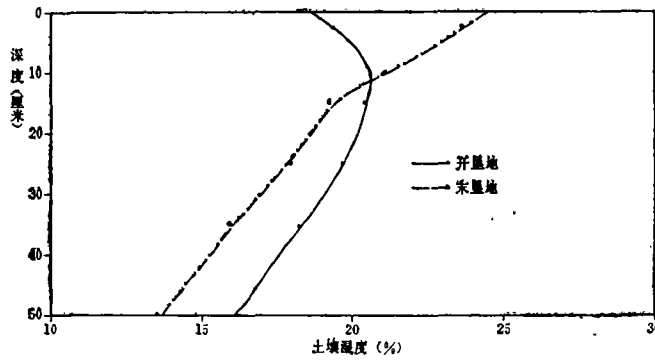


图 4 开垦地和未垦地土壤湿度的平均垂直分布

四、大气贴地层动力、热力状况的变化

我们从贴地层风速廓线和温度廓线着手研究这个问题。图 5 a 和图 5 b 分别是观测期间风速廓线和温度廓线的平均状况。首先看到各时刻的廓线都较好的近似为对数规律，因而我们可以对贴地层的动力、热力问题用对数规律进行分析。

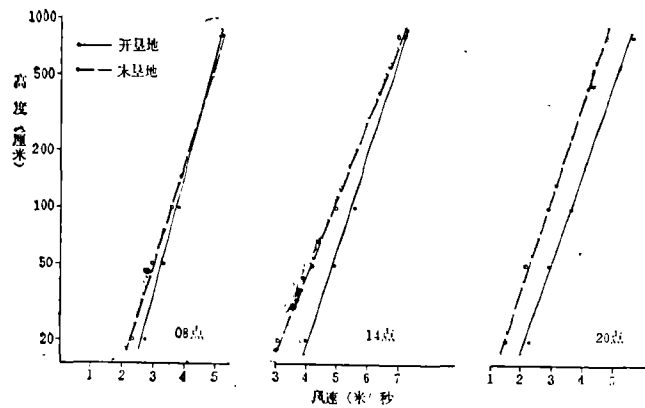


图 5 a 开垦地和未垦地平均风速廓线

图 5 清楚地表明，垦荒后风速廓线和温度廓线都发生了明显的变化。其中 08 点的变化较小，14 点和 20 点的变化较大。尤其中午的温度廓线变化最为突出。垦荒后白天风速变大，风速垂直梯度值¹⁾变小。中午前后更是这样。平均而言，14 点 1 米高度风速增加 0.5 米/秒左右，而 0.2 米高度风速增加 1.0 米/秒左右。与此相应，风速梯度值减小 20% 左右。温度的变化与风速有所不同，白天开垦地的温度梯度值与温度一样都是增大的，平均而言，14 点 1 米高度的温度增加 1.2°C 左右，而 0.5 米高度要增加 1.5°C 左右。与此相应温度梯度值增大 1 倍以上。

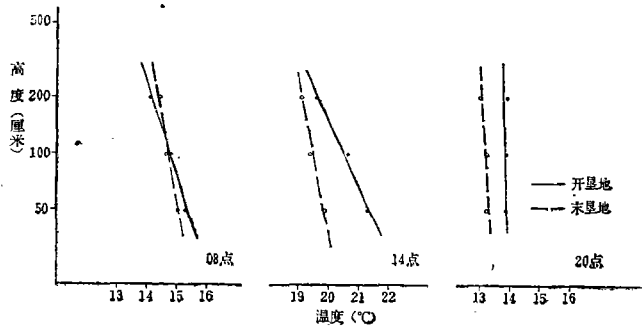


图 5b 开垦地和未垦地平均气温廓线

需要指出，20 点的廓线特点与上述有所不同，这时风速梯度值有增大的趋势，而温度梯度值有减小的趋势。这反映了垦荒对要素廓线的影响在白天和夜间有着不同的表现。

湍流是贴地层要素廓线的重要控制性因子，我们进而讨论影响湍流活动的动力因素——下垫面粗糙度和热力因素——温度层结在垦荒之后的变化。下垫面粗糙度 Z_{00} 通过各日 20 点的风速廓线图求解取。温度层结用 0.5 米与 2.0 米高度间的气温差反映。

图 6a 给出了 Z_{00} 的各旬平均值，并同时给出了开垦地麦苗及未垦地牧草的平均高度。可见垦荒后下垫面粗糙度的变小是明显的，5 月 Z_{00} 的平均值为 0.5 厘米左右，只是

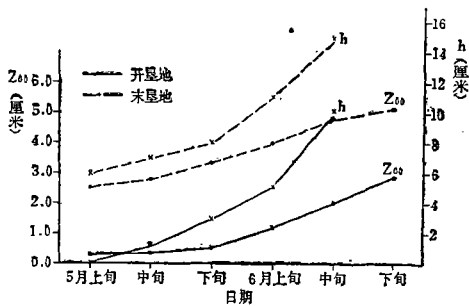


图 6a 开垦地与未垦地下垫面粗糙度变化的对比(h 线为植株平均高度的变化)

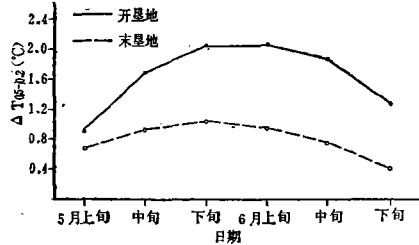


图 6b 开垦地与未垦地 0.5~2.0 米间气温差(14 点)的对比

1) 文中的梯度值皆指其绝对值。

未垦地的大约 1/6, 6 月平均值为 2 厘米左右, 也不及未垦地的一半。比较草高和麦苗高度还发现, 二者高度相同时, 粗糙度也不一样。如植株高都为 10 厘米时, 未垦地的粗糙度为 3.8 厘米, 而开垦地只有 2 厘米。这反映了植株疏密对粗糙度的影响。

图 6 b 是观测期间 14 点 0.5 米与 2.0 米高度间温差的旬平均变化过程。开垦地的热力不稳定性显著增大。变化最突出的 5 月下旬至 6 月上旬期间, 开垦地的温差平均 2°C , 未垦地平均 1°C , 二者有成倍之差。温差最大值出现在 5 月下旬至 6 月上旬是符合最大梯度出现时间比最高温度出现时间提前的理论结果的。

我们还对 1 米高度的湍流系数作了计算^[4]:

$$K_1 = 0.104 \Delta u \left[1 + 1.38 \frac{\Delta T}{(\Delta u)^2} \right] \quad (2)$$

其中 K_1 为 1 米高度的湍流系数, ΔT , Δu 分别是 0.5 米与 2.0 米间的气温差和风速差。 K_1 的平均白日变化过程见图 7。

由图可知, 尽管垦荒后下垫面粗糙度大大减小, 白天湍流活动还是增强的。这说明, 对于湍流活动而言, 垦荒后的热力效应比其动力效应有更重要的作用。由于湍流活动对贴地层内许多物理过程具有支配作用, 所以垦荒后的热力效应就有着更为广泛而深刻的意义。

需要指出, 08 点和 20 点湍流系数的对比与白天主要时刻的特征不一样。这时开垦地的湍流系数反比未垦地小些。可见, 垦荒对湍流活动的影响是使其趋于极端化, 即白天湍流活动更强, 夜间湍流活动更弱。

随着湍流活动的变化, 垦荒后贴地层内各种物理量的湍流输送也发生相应的变化。我们讨论动量和显热湍流输送通量的变化。根据扩散理论我们知道它们分别可以写成

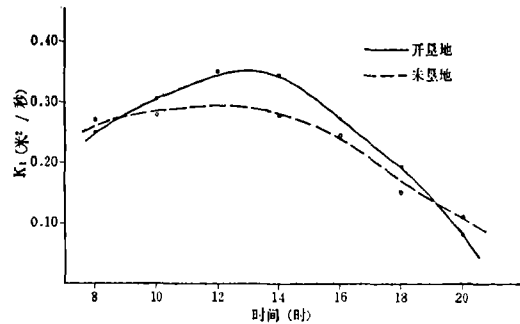


图 7 开垦地与未垦地晴天湍流系数 K_1 的平均白日变化

$$\tau = \rho K \frac{du}{dz} \quad (3)$$

$$P = -C_p \rho K \frac{dT}{dz} \quad (4)$$

其中 τ 为湍流粘滞应力, P 为显热通量, ρ 为空气密度, C_p 为定压比热, K 为湍流系数。

根据廓线的对数性和贴地层的常通量性, 湍流系数随高度是线性增加的。据此, (3)、(4)式可具体写成

$$\tau = 0.72 \rho K_1 \Delta u \quad (3)'$$

$$P = -0.17 \rho K_1 \Delta T \quad (4)'$$

式中 ΔT 、 Δu 的取值与(2)式相同。

用(3)'、(4)'式计算了各晴日湍流粘滞应力及显热通量, 图 8 a 和图 8 b 是它们的平均白日变化。

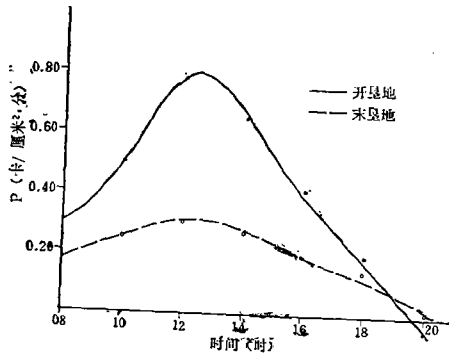


图 8 a 晴天开垦地和未垦地湍流热通量的平均白日变化

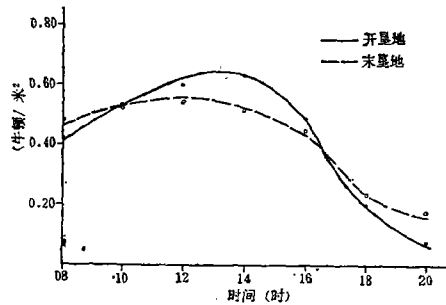


图 8 b 晴天开垦地和未垦地湍流粘滞应力的平均白日变化

首先图 8 a 的结果是令人瞩目的。它表达了垦荒后湍流显热通量异乎寻常的变大, 特别是中午前后, 开垦地竟可达未垦地的将近 3 倍。白日总量平均而言, 在开垦地为 $334.2 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot (\text{日})$, 未垦地为 $146.4 \text{ 卡/厘米}^2 \cdot (\text{日})$ 。前者也有后者的 2.3 倍之多。变化是巨大的。

湍流粘滞应力的变化没有显热通量显著, 但垦荒后它在中午前后的增大和其他时刻的减小是清楚的。从通量来看也说明了垦荒的热力效应比其动力效应要大得多。

我们还计算了 14 点的经验理查逊数^[6], 表明开垦地为未垦地的 2 倍。所有这些变化, 都归根结底表明垦荒后贴地层内的湍流能量平衡发生了新的调整。

五、地表热量平衡特征的变化

忽略植物光合作用消耗的能量, 地表热量平衡方程为

$$B = P + LE + F \quad (5)$$

式中 B 为辐射平衡, E 为蒸发、蒸腾总量, L 为潜热系数, 其他同前。由于资料的限制, 我们只讨论白天的情况。根据 1976 年 5 月 26 日—6 月 24 日间比较系统的观测资料 (包括辐射平衡观测) 进行计算, 得到开垦地和未垦地热量平衡各分量的平均白日总量, 结果见图 9。

计算中, F 先按(1)式计算出瞬时值, 然后数值积分求其总量。 P 总量则按气候学方法计算^[4]

$$\bar{P} = \frac{2}{\pi} T_e \bar{P}_m \quad (6)$$

式中 \bar{P} 为 P 的平均白日总量, T_e 为计算白天的时间(根据辐射平衡和温度日过程资料, 白日时间取在 7—19 点, 即 T_e 为 12 小时), \bar{P}_m 为白日 P 最大值的平均值, 最大值一般用 13 点的 P 代表^[4]。

辐射平衡用实测值。潜热通量 LE 则按(5)式用余项法求取。

图 9 表明, 垦荒后地表热量平衡发生了重大调整。最为突出的变化是湍流显热通量大大增加及潜热通量显著减少。前者约增加 70%, 后者约减少 60%。土壤热通量的相对变化也较大, 增加 40% 左右, 但其绝对值较小。辐射平衡的变化是较小的, 只增加 3% 左右, 这可能是垦荒后下垫面反射率和有效辐射的变化对它的影响在某种程度上互相抵销的缘故。因为垦荒后虽然反射率减小, 但有效辐射却是增大的^[6]。

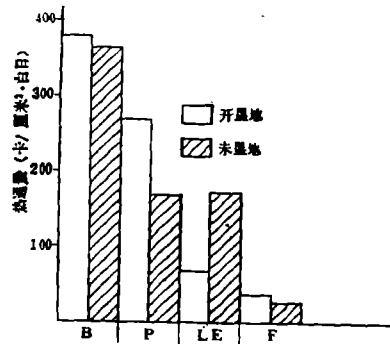


图 9 开垦地和未垦地地表热量平衡各分量平均白日总量(7—19 点)的对比

六、小 结

1. 垦荒后土壤和下垫面的许多物理属性都发生了变化。其中地表反射率、土壤容量、容积热容量等都变小, 而导温系数变大。导温系数的变化最突出, 平均增大 90% 左右。
2. 与土壤物理属性密切相关的土壤温度状况和土壤热通量变化明显。14 点平均而言, 开垦地的地面温度升高 4—5°C。温度日较差平均增大 6°C 左右。流入土壤中的热量增加 40%。
3. 垦荒后土壤湿度的变化在 0—50 厘米土层内呈现两种表现。0—10 厘米湿度变小, 10—50 厘米湿度变大。土壤透水、保水性能明显改善。
4. 垦荒后贴地气层风速、温度廓线有很大变化。14 点平均, 1 米高度上风速增大 0.5 米/秒, 气温增高 1.2°C, 而风速梯度值减小 20% 左右, 气温梯度值则增大约 1 倍。
5. 垦荒后下垫面粗糙度明显变小, 平均为未垦地的 1/6—1/2。贴地气层白天热力不稳定性显著增强, 14 点 0.5—2.0 米间气温差开垦地大约为未垦地的 2 倍。而晴天 14 点湍流热通量可增至 3 倍。垦荒的热力效应对湍流活动的影响比其动力效应要大得多。
6. 垦荒后地表热量平衡各分量发生了重要的调整。湍流显热通量的增加和潜热通量的减少最为突出。春、夏之交平均, 显热输送增加 70%, 而潜热输送减少 60%。

(参考文献、外文提要转 326 页)

ULTRA LOW-LEVEL JETS AND THE HEAVY RAIN IN EARLY SUMMER OVER SOUTH CHINA

Li Jian-hui

(Air Force Institute of Meteorology)

Abstract

In this paper, the eight cases of heavy rain over South China are analysed. It shows that the process of the heavy rain associated with the 1—2 ultra low-level jets—southerly jets of sub-synoptic scale at low-level in boundary layer. It is a significant factor of heavy rain in early summer over South China.

(上接 360 页)

参 考 文 献

- [1] Будыко М. И., Климат и жизнь, л. Гидрометеониздат, 439—470, 1971.
- [2] 中央气象局研究所, 热量平衡观测法 (印发), 1960.
- [3] 萨鲍日尼科娃 С. А., 小气候与地方气候, 科学出版社, 37—40, 1955.
- [4] 希德科 М. И., 地表面热量平衡, 科学出版社, 52—53, 62—63, 1960.
- [5] Машкова, Г. Б., Хачатурова, Л. М., Способы определения состояния устойчивости атмосферы по наземным данным, Труды ИЭМ, вы. 23(88), М. Гидрометеониздат, 18—19, 1979.
- [6] 谢贤群等, 海拉尔东部开垦地与草场地表热量平衡及其对尘埃输送的影响, 地理学报, 33卷第2期, 科学出版社, 156—159, 1979.

SOME MICROCLIMAIC EFFECTS OF RECLAMATION

Ma Yu-tang Yao Wen-quan Xu Zhao-sheng

(Institute of Geography, Academia Sinia)

Abstract

In this paper, the field observation data of cultivated land and uncultivated land at Hulunbeier for two years in succession are used. The authors analysed the variations of soil hydro-thermal condition, atmospheric dynamic and thermodynamic condition near the ground, and surface heat balances during the period between Spring and Summer (May-June after reclamation. It is indicated that the microclimatic effects of reclamation are many sided and obvious, especially, the thermodynamic effects. So one must pay attention to the influences of reclamation such a human activity on climatic conditions.