

2004/2005年连江县冬季沿坡地地面气温 观测和分析研究*

蔡文华¹⁾ 潘卫华¹⁾ 张辉²⁾ 兰忠明²⁾

¹⁾(福建省气象科学研究所,福州 350001) ²⁾(福建省农业科学院土壤肥料研究所,福州 350013)

摘 要

中亚热带地区种植亚热带果树易遭冬季低温冻害,而坡地逆温的最大增温效应往往比目前所采取的一些防冻措施的效应要好。研究坡地逆温特征,选择适宜的坡位种植果树对避免或减轻低温给果树造成的损失有重要的应用意义。据福建省连江县2004/2005年度冬季低温考察资料分析,对于相对高差小于50m的小山坡,晴天最低气温随高度的增加而增加,越近坡顶,最低气温越高;对于相对高差不足100m的小山坡,在相对高差约9/10附近的山坡中上部,晴天最低气温常出现最高,逆温效应最明显。汇总几个山坡地的考察资料,分析得出坡地逆温具有以下两个特征:最大逆温出现的坡位与山坡的总高度差呈反相关;最大的逆温强度与排汇比和山坡总高度差有关。

关键词:低温考察;坡地逆温;地面气温

引 言

橄榄原产我国南部热带至亚热带地区,为我国特有的果品。生食味涩而甘,核壳可制成活性炭,核仁可榨油,果可入药,根也有舒筋活络之效^[1]。其耐储藏,便运输,宜加工,种植橄榄的经济效益一直较好。而福建省连江县地处中亚热带,地理位置偏北,避冻条件不及南部地区。福建省异常冻害年(1999/2000年)^[2],连江县出现-3.6℃低温,橄榄生产遭到较大损失(据统计资料分析^{①②},低温冻害使连江县橄榄的采摘面积比冻前约减少1/4)。橄榄为多年生果树,一旦遭受重或严重冻害,恢复不易。经历1999/2000年冬大冻害,浦口等乡镇仍存活10~20年生的橄榄树。可见只要利用有利的地形小气候种植橄榄树是可以避免或减轻低温所造成的冻害。本文对连江县2004/2005年冬季坡地低温考察资料进行分析,继而汇总其他几处冬季坡地低温考察资料,对坡地逆温特征进行初步分析。

1 考察点的设置和考察内容

年度极端最低气温(T_D)常由平流降温后再辐射降温(A型低温)引起,也有仅为平流降温(B型低温)产生。连江县A、B型低温分别占98%、2%。使橄榄遭受重或严重冻害的低温都出现在A型。A型低温,由于辐射冷却,山坡地常形成上暖下冷的逆温现象。连江县浦东农场四周环山,仅东面有一狭小的出口。坡底垄田和坡上种植约40hm²的橄榄树。2004年12月30日—2005年1月29日在该农场的两个山坡进行考察。主要是观测日最低气温(t_d),用于分析 t_d 随海拔高度(H)变化情况。

朝东的山坡从坡顶到坡底部设8个点(下称东坡组),8个点的 H 分别为110,101,96,85,73,56,39,30m;朝北的山坡从坡顶到坡底部设5个点(下称北坡组),5个点的 H 分别为78,68,53,40,29m。两组山坡都以 H 最高为1号点,随着 H 的下降,测点代码号逐渐增加。东坡的4至8号点和北坡的1

* 福建省科技厅重点项目“福建名优果树生态区域选择与示范研究”(2004N033)资助。

2005-05-30收到,2006-06-05收到再改稿。

① 福建省统计局.福建农村经济年鉴.2000.

② 福建省统计局.福建农村经济年鉴.2001.

至5号点都位于橄榄园中。利用最低温度表悬挂在杆上进行观测,最低温度表感应部位离地1.5 m。2005年1月1日和26日两个晚上,由于风太大,吹动了最低温度表,造成部分记录异常,故不用这两天的数据。

2 考察情况分析

把资料分为晴天(含多云天)和阴雨天两类。阴雨天两组山坡 t_d 基本上是山坡下部比上部高,山顶最低, t_d 随 H 的升高呈下降趋势。 t_d 随 H 的递减率东坡组为 $-1.0\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$; 北坡组为 $-0.39\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ 。晴天两组山坡都存在山坡底部 t_d 最低、中上部或山顶 t_d 最高的逆温现象。

2.1 连江县浦东农场坡地逆温

2.1.1 东坡组坡地逆温

东坡组晴天 t_d 随 H 的变化情况如图1所示。图例中“01-02”,“01-03”,...表示日期(月-日),“平均”则表示晴天 t_d 的平均值。 H 最低的8号点 t_d 最低。 t_d 最高常出现在3号点(几率为8/12,其中1次与4号点并列),也有出现在2号点和4号点(几率都为2/12),还有1次出现在坡下部的6号和7号点。8号点至3号点,随 H 升高, t_d 呈上升的趋势;它们之间高差为66 m,温差($\Delta t_{d3} = t_{d3} - t_{d8}$)为 $0.7 \sim 3.1\text{ }^\circ\text{C}$,3号点至1号点随 H 升高 t_d 呈下降的趋势。最大的逆温出现在1月6日,3号点比8号点高 $3.1\text{ }^\circ\text{C}$, γ 最大为 $4.7\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ 。

各测点同山坡底的高差(Δh_i)与山坡顶同山坡底的高差(即山坡总高差,用 ΔH 表示)之比,称为相对坡位,用 G 表示($G_i = \Delta h_i / \Delta H$)。晴天各个测点与8号点的温差($\Delta t_{di} = t_{di} - t_{d8}$)与 G_i 的点聚图如图2

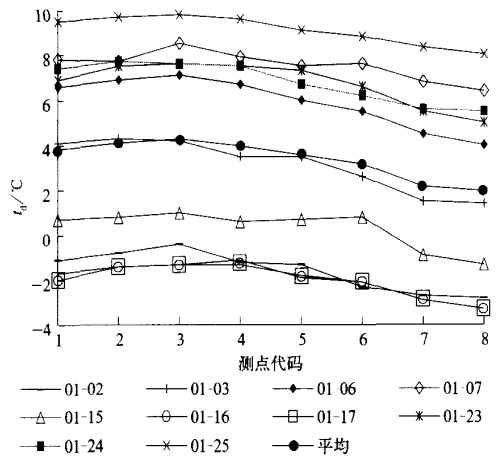


图1 连江县浦东农场东坡组 t_d 随 H 变化曲线图

所示。从图2可见, Δt_d 与 G 的分布呈一元二次方程曲线趋势。 Δt_d 与 G 相关分析数据见表1。经分析, ΔH 为80 m的山坡,冷空气下泄不畅,晴天引起的辐射逆温表现为:

$$\Delta t_d = -0.1035 + 4.9961 \times G - 2.8523 \times G^2 \quad (1)$$

即: $\Delta t_d = 2.0842 - 2.8523 \times (G - 0.8758)^2$

由式(1)可知,当 $G = 0.8758$ 时,逆温效应最大,该坡位的 t_d 平均比坡底高约 $2.1\text{ }^\circ\text{C}$ 。

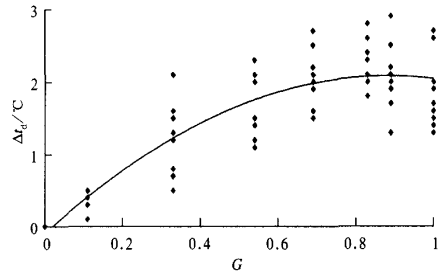


图2 东坡组 Δt_d 与 G 点聚图

表1 东坡组和北坡组 Δt_d 与 G 的相关分析

	自变量 G	R	U	Q	S_r	B_0	B_1	B_2	F	$F_{0.01}$
东坡组 Δt_d	一次回归	0.85	45.15	17.84	0.48	0.246	2.174			
	二次回归	0.89	50.43	12.55	0.40	-0.103	4.996	-2.852	154.685	4.895
北坡组 Δt_d	一次回归	0.86	32.27	11.40	0.46	-0.114	2.103			
	二次回归	0.86	32.41	11.27	0.47	-0.054	1.603	0.497	74.786	5.044

注:表中 R 为相关系数; U 为回归平方和; Q 为残差平方和; S_r 为剩余均方差; B_0, B_1 和 B_2 为回归系数; F 为回归检验的统计量; $F_{0.01}$ 是相应的信度为0.01的 F 值。

2.1.2 北坡组坡地逆温

北坡组晴天 t_d 随 H 的变化情况如图3所示。由图3可见, H 最低的5号点 t_d 最低。 t_d 最高大都出现在1号点,几率为10/12,其中1次与2号点并

列;也有出现在2号点(几率为2/12)和3号点(几率为1/12)。随着 H 的升高, t_d 呈上升的趋势。1号点与5号点的高差49 m,温差($\Delta t_{d1} = t_{d1} - t_{d5}$)为 $0.7 \sim 2.8\text{ }^\circ\text{C}$,平均温差($\Delta T_{d1} = T_{d1} - T_{d5}$)为

1.95 °C, γ 为 3.98 °C/100 m。最大的逆温出现在 1 月 23 日, Δt_d 为 2.8 °C, γ 最大为 5.71 °C/100 m。

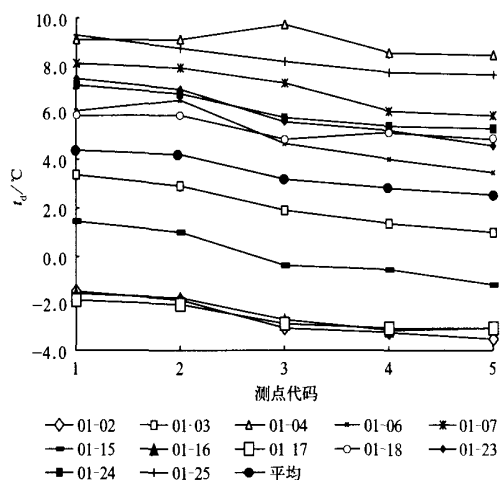


图 3 连江县浦东农场北坡组 t_d 随 H 变化曲线图

晴天各测点同 5 号点的温差 ($\Delta t_{di} = t_{di} - t_{d5}$) 与 G_i 的点聚图如图 4 所示, 相关分析数据见表 1。从表 1 可见, 一元二次回归方程的 S_r 为 0.47, 而 Δt_d 与 G_i 的一元一次回归方程的 S_r 为 0.46。故用一元一次方程拟合:

$$\Delta t_d = -0.1138 + 2.1027 \times G \quad (2)$$

从式(2)可知, ΔH 是不足 50 m 的小山丘, 最大的逆温效应在坡顶, 坡顶 t_d 平均比坡底高约 2.0 °C。

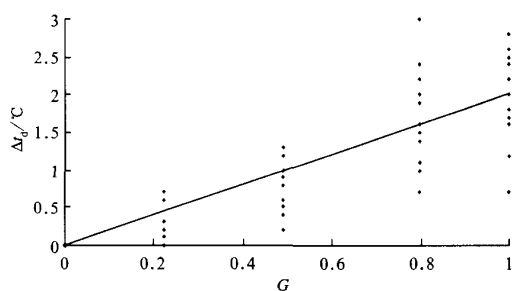


图 4 北坡组 Δt_d 与 G 点聚图

2.2 坡地逆温特征初步分析

1983 年 1 月在景德镇查坑林场布了 11 个点 (H 分别为 410, 375, 340, 305, 270, 245, 220, 195, 170, 145, 120 m); 2003 年 12 月 13 日—2004 年 1 月 13 日在福鼎市白岩村布了 9 个点 (H 分别为 136, 100, 88, 81, 65, 45, 17, 10, 4 m) 和日岙村布了 5 个点 (H 分别为 100, 66, 46, 25, 18 m); 2005 年 12 月 10 日—2006 年 1 月 10 日在闽侯县白沙镇考察了 4 个坡: A 坡 5 个点 (108, 102, 95, 89, 78 m)、B 坡 6 个点 (140, 127, 120, 103, 87, 80 m)、C 坡 5 个点 (142, 129, 116, 106, 84)、D 坡 8 个点 (180, 157, 144, 136, 126, 116, 104, 94 m)。这 7 个坡除了景德镇查坑是用最低温度表放在百叶箱内进行观测外, 其他与连江浦东相同。根据以上的坡地低温考察资料, 用上述方法计算 7 个坡各个测点的 G 及它们与坡底的温差 (Δt_d), 建立各坡 Δt_d 与 G 的关系式。结果见表 2。

表 2 几处坡地逆温情况

年份	地点	H_G /m	H_D /m	ΔH /m	B	测点数	Δt_d 与 G 的关系式
1982/1983	景德镇查坑	410	120	290	0.0250	11	$\Delta t_d = 3.0084 - 8.3745 \times (G - 0.6106)^2$
2003/2004	福鼎白岩	136	4	132	0.3750	9	$\Delta t_d = 1.0455 - 2.0614 \times (G - 0.6725)^2$
2003/2004	福鼎日岙	100*	18	165	0.0347	5	$\Delta t_d = 2.8256 - 6.9986 \times (G - 0.6309)^2$
2004/2005	浦东东坡	110	30	80	0.0417	8	$\Delta t_d = 2.0842 - 2.8523 \times (G - 0.8758)^2$
2004/2005	浦东北坡	78	29	49	0.0417	5	$\Delta t_d = -0.1138 + 2.1027 \times G$
2005/2006	闽侯 A 坡	108	78	30	0.0939	5	$\Delta t_d = 0.1209 + 1.044 \times G$
2005/2006	闽侯 B 坡	140	80	60	0.0564	6	$\Delta t_d = 0.4621 + 2.1576 \times G$
2005/2006	闽侯 C 坡	142*	84	80	0.3033	5	$\Delta t_d = 1.9520 - 3.2996 \times (G - 0.7630)^2$
2005/2006	闽侯 D 坡	180	94	86	0.1278	8	$\Delta t_d = 1.2220 - 1.9202 \times (G - 0.8558)^2$

注: H_G 和 H_D 分别为最高和最低测点的海拔高度, “*” 表示该山坡最高测点不在山坡顶, ΔH 为山坡总高差。

2.2.1 最大逆温出现的坡位 (G) 与山坡总高度差 (ΔH) 的关系

当 Δt_d 与 G 关系式为 $\Delta t_d = b_0 + b_1 \times G$ ($b_1 > 0$) 时, 最大的逆温效应在坡顶, 即最大逆温出现的坡位是 $G=1$; 当 Δt_d 与 G 的关系式为 $\Delta t_d = b_0 - b_1 \times (G - b_2)^2$ ($b_1 > 0, b_2 > 0$) 时, 最大逆温出现的坡位是 $G = b_2$ 。

山坡最大逆温出现的 G 与山坡总高差 ΔH 点聚图如图 5 所示。从图 5 可见, G 与 ΔH 呈幂函数线型分布。 G 和 ΔH 的相关系数 R 为 -0.92, $r_{0.001} = 0.90$, 即其相关系数 $R > r_{0.001}$, G 与 ΔH 密切相关。其回归方程为:

$$G = 2.7689 \times (\Delta H)^{-0.2751} \quad (3)$$

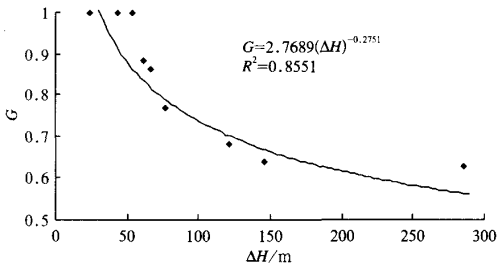


图5 最大逆温出现的坡位 G 与 ΔH 点聚图

随着 ΔH 的增加,其最大逆温出现的 G 呈负幂函数线性下降趋势。若已知山坡总高差 ΔH,用式(3)求算山坡的最大逆温坡位,对于果园最佳坡位的选择可提供参考依据。

2.2.2 最大逆温强度(ΔT_d)与排汇比(B)、山坡总高差(ΔH)的关系

福建省使果树遭受冻害的低温常由冷空气过境后的晴夜辐射降温引起的。由于辐射冷却,冷空气下沉。为表达冷空气下沉后汇集和排泄的情况,以可排泄的方位(即角度 β)与 360°之比,称之为排汇比(B)来表达。当考察地为弧山时,冷空气辐射冷却时可向四周排泄,β为 360°;当考察地四周部分为山体,部分开阔时,以坡底点为圆心,坡底点至坡顶点的水平投影距离为半径作圆,开阔地所占的圆心角即 β;当山坡地被山环绕时,以坡顶至排泄口间的最大水平投影的直线距离为直径作圆,排泄口与圆心的夹角即为 β。B = β/360°, 1 ≥ B > 0。当 Δt_d 与 G

的关系式为 Δt_d = b₀ + b₁ × G 时,最大的逆温强度 ΔT_d 为 G = 1 时 Δt_d 的计算值,即 ΔT_d = b₀ + b₁; 当 Δt_d 与 G 的关系式为 Δt_d = b₀ - b₁ × (G - b₂)² 时,最大的逆温强度 ΔT_d = b₀。ΔT_d 与 B 的分布见图 6。ΔT_d 与 B, ΔH 的相关数据见表 3。从表 3 可见, ΔT_d 与 ln B 的相关系数为 -0.74, 通过信度为 0.05 的检验, ΔT_d 与 ln B 的相关密切。ΔT_d 与 ln B, ln(ΔH) 的复相关系数为 0.83, F = 6.3991, F_{0.05} = 5.14, F > F_{0.05}, ΔT_d 与 ln B, ln(ΔH) 的回归效果好^[3]。从表 3 可见,二元一次方程的 S_r 比一元一次方程的 S_r 小,因此用 ln B, ln(ΔH) 来表达 ΔT_d。它们的关系式为:

$$\Delta T_d = -1.1345 + 0.4119 \times \ln(\Delta H) - 0.5043 \times \ln B \quad (4)$$

从式(4)可见,当 B 相同时, ΔT_d 随 ΔH 增加而增大; 当 ΔH 相同时,由于 1 ≥ B > 0, B 越小, ΔT_d 越大。

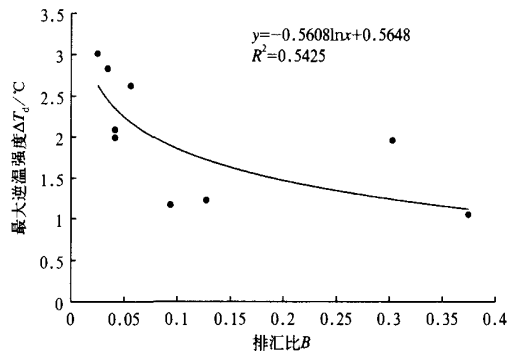


图6 最大逆温强度 ΔT_d 与排汇比 B 点聚图

表3 坡地逆温特征的相关统计

因变量	自变量	R	U	Q	S _r	B ₀	B ₁	B ₂	F	F _{0.05}
ΔT _d	ln(ΔH)	0.51	1.11	3.19	0.68	-0.4829	0.5528		2.4459	
	ln B	-0.74*	2.34	1.97	0.53	0.5648	-0.5608		8.3021	
	ln(ΔH), ln B	0.83	2.93	1.37	0.48	-1.1345	0.4119	-0.5043	6.3991	5.14

注: R, U, Q, S_r, B₀, B₁, B₂, F 含义同表 1; F_{0.05} 是相应的信度为 0.05 的 F 值; * 为通过信度 0.05 的检验。

3 小结与讨论

1) 冬季晴夜,山坡地的最低气温都存在中上部比坡底高的逆温现象。当 ΔH ≤ 60 m 时, Δt_d = b₀ + b₁ × G (b₁ > 0), 即山坡顶的最低气温最高, ΔT_d = b₀ + b₁; 当 300 m > ΔH ≥ 80 m 时, Δt_d = b₀ - b₁ × (G - b₂)² (b₁ > 0, b₂ > 0), G = b₂ 时,最低气温最高, ΔT_d = b₀。平均最大逆温强度从表 2 可见以 3.0 °C 为最大。

2) 不足 300 m 的山坡最大逆温强度出现的坡

位 G 与山坡总高差 ΔH 成反相关,随着 ΔH 的增加,最大逆温强度出现的 G 呈下降的趋势。

3) 最大逆温强度 ΔT_d 与排汇比 B 和山坡总高差 ΔH 有关,当 B 相同时, ΔT_d 随 ΔH 增加而增大; 当 ΔH 相同时,由于 1 ≥ B > 0, B 越小, ΔT_d 越大。

4) 2004/2005 年冬,浦东农场坡底出现 -3.4 °C 低温。经调查,离坡底 30 m 以下的地方橄榄都有冻害,越靠坡底,冻害越严重; 68 ~ 85 m (目前农场种植橄榄的最高高度) 的坡上则基本无冻害。事实上以考察的东坡为例, ΔH 为 80 m, 最大逆温强度所处坡位 G 为 0.8758, 该坡位的 H (H = 80 × 0.8758 + 30) 为

100 m,即海拔高度为110 m的东坡,在H为100 m附近,逆温效应最大,果树的避冻效果最佳。因此东坡的橄榄园可适当再往上一些。

5) 2004/2005年冬,连江县气象局 T_D 为 $-0.7\text{ }^\circ\text{C}$,仅比常年偏低 $0.2\text{ }^\circ\text{C}$ 。在连江有记录以来的47年由低到高排列中,序号为16;其几率为2.3年1遇。按中国气象局的气候评价标准为正常年景。在正常年景果树遭受冻害,说明不是因地适树,

其生产成本低,不适合经济栽培和可持续发展,故浦东农场离坡底30 m以下的地方宜改种其他耐寒的橙、柚、柑桔之类的果树。

参考文献

- [1] 俞德浚.中国果树分类学.北京:农业出版社,1979:323-326.
- [2] 蔡文华,陈惠,张星,等.区域性冬季低温冻害评价方法的研究.气象,2001,27(增刊):8-11.
- [3] 魏淑秋.农业气象统计.福州:福建科学技术出版社,1985:98-113.

Investigation and Analysis on Surface Air Temperature of Sloping Fields of Lianjiang County in 2004/2005 Winter

Cai Wenhua¹⁾ Pan Weihua¹⁾ Zhang Hui²⁾ Lan Zhongming²⁾

¹⁾(Meteorological Institute of Fujian , Fuzhou 350001) ²⁾(Soil and Fertilizer Institute of Fujian , Fuzhou 350001)

Abstract

The technique of inverse temperature of sloping fields as an effective method to prevent the frozen loss is applied to protect these fruit trees in practice. Comparison of results from the traditional methods which are laborious and costly in protecting fruit trees shows that the maximal increasing temperature effect of inverse temperature of sloping fields is excellent. By analyzing the characters of inverse temperature of sloping fields, to select appropriate regions for planting these fruit trees is significant in avoiding or mitigating the freezing harm to them. According to the investigation statistics data of low temperature of 2004 and 2005 in Lianjiang, the effect of low temperatures in sloping fields is studied. The results reveal that the temperature gap (Δt_d), which denotes difference between the low temperature of observation spot in sunlight days (t_d) and the temperature at the bottom of sloping fields, is increasing with the increase of altitude where the hills with relative total altitude gaps (ΔH) are 49 m. Along with the distance close to the top of the sloping fields, Δt_d and t_d are larger and larger. Furthermore, t_d is the highest, and the inverse temperature is prominent where the middle or upper parts of the hills with ΔH are 100 m and relative altitudes ratios, which is the ratio (G) between the relative altitudes gaps of observation spot and ΔH are 0.90 approximately. As a result, based on the investigation in the study, a conclusion can be drawn that the inverse temperature of sloping fields has three characters as follows: in unclouded nights, the inverse temperature phenomenon that the temperature at the top or middle of the sloping fields is higher than at the bottom of the sloping fields exists at the hills. If $\Delta H \leq 60$ m, the formula can be acquired: $\Delta t_d = b_0 + b_1 \times G$ ($b_1 > 0$), which means t_d at the top of the sloping fields is the highest, and the maximum of inverse temperature (ΔT_d) can be calculated from the formula: $\Delta T_d = b_0 + b_1$. Else if $300 \text{ m} > \Delta H \geq 80$ m, they reveal that Δt_d can be calculated from the formula: $\Delta t_d = b_0 - b_1 \times (G - b_2)^2$ ($b_1 > 0, b_2 > 0$), when G equals b_2 , t_d is the highest and ΔT_d equals b_0 ; considering the hills where the relative altitude gaps are less than 300 m, the location of the ratio (G) where the maximum inverse temperature exists is opposite to ΔH , and with the increase of ΔH , G is descending; ΔT_d is correlated with the amount of push-join (B) (which denotes the ratio between the azimuth of the push-join and 360°) and ΔH of hills. When the B are identical, with the increase of ΔH , ΔT_d is increasing accordingly. When ΔH are identical, because of the restrictive condition $1 \geq B > 0$, with the decrease of B , ΔT_d is increasing contrarily.

Key words: low temperature investigation; inverse temperature of sloping fields; Surface air temperature