

文章编号: 1008-2786-(2009)2-0188-07

山地丘陵坡地逆温效应对果树避冻的影响

兰忠明¹, 张辉^{1*}, 蔡文华²

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

摘要: 通过对3个县8个山坡地的考察, 探索山地丘陵坡地逆温效应对果树避冻的影响。试验对三年来冬季观测到日最低温度(t_d)进行拟合处理, 运用趋势线分析探究温差(Δt_d)与相对坡位(G)之间的总体趋势, 采用相关回归方差分析方法对 Δt_d 与 G 进行差异显著性检验。结果表明: Δt_d 与 G 相关达到极其显著水平。对于高差(ΔH) < 50 m的山坡, 晴夜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 $76 \text{ m} \leq \Delta H < 150$ m的山坡, 在该山坡相对坡位0.63以上, 晴夜最低气温常出现最高, 逆温效应明显。总高差不足150 m山坡最大逆温效应出现的坡位 G 与山坡总高差成反比, 即随着 ΔH 的增加, 最大逆温效应出现的坡位 G 值逐渐变小。利用这些结果进行果树科学合理建园, 发展山区特色果业, 对不耐寒果树安全避冻意义重大。

关键词: 果树; 逆温; 山坡; 温差; 坡位

中图分类号: P463.21⁺2, S161.2⁺4

文献标识码: A

福建省土地面积为 $12.14 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中山地丘陵占80%以上^[1]。山地丘陵气候十分复杂, 除受纬度和海、陆影响外, 还受海拔、坡度、坡向、水体、植被等种种因素影响而具有独特的气候状态, 即山地小气候。根据下垫面类别的不同, 可分为农田小气候, 森林小气候, 湖泊小气候等等。本文主要探索研究山地丘陵的森林小气候。福建省常见的耐冻力弱的果树主要有荔枝、龙眼、枇杷、橄榄等^[2]。如果这些果树种植前没有选择较好的地理位置或没有采取较好防寒防冻措施, 在强冷空气来袭时, 这些不耐寒果树必定在很大程度上会受到冻害, 给实际生产带来巨大损失。目前国内对这些不耐寒果树受冻害及防冻措施研究报道甚多^[3-8], 对山地丘陵坡地逆温效应影响果树避冻的实际效果以及最佳山坡位的选择研究甚少。本试验通过对福建省各地丘陵山坡地逆温效应的研究, 来探索山区小气候环境的分布规律和特征, 并利用此规律发展福建省山区果树栽

培, 对不耐寒果树避冻具有重要的现实意义, 而且可为果树种植栽培及农业生产提供重要的理论指导依据。

1 材料与方法

1.1 考察点设置

从福建省各站极端最低气温(t_d)出现日的天气状况分析, TD通常由平流降温后的晴夜辐射降温(A型低温)引起的, 也有仅为平流型降温产生(用B型表示), 使福建省不耐寒果树遭受重冻害和严重冻害的低温都出现在A型低温。A型低温: 由于辐射冷却, 冷空气密度大量下沉, 山坡地常形成上暖下冷的逆温现象^[3]。蔡文华、张辉、兰忠明等于2003~2006年连续3个冬季分别在闽北缘地带福鼎市秦屿镇日岙村及白琳镇白岩村龙眼园选择2个山坡、闽东福州市连江县浦东农场橄榄园选择2个山

收稿日期(Received date): 2008-06-11; 改回日期(Accepted): 2008-10-31。

基金项目(Foundation item): 福建省科技厅重点项目(NO. 2004N033-2007S0060); 福建省财政专项“福建省农业科技创新团队建设基金”(STIF-Y01)。[Key Item of Fujian Provincial Department of Science & Technology(NO. 2004N033-2007S0060); Fujian Financial Item and Construction Item of Agricultural Science & Technology Innovative Team(STIF-Y01)]

作者简介(Biography): 兰忠明(1981-), 男(畲), 在读研究生, 研究实习员, 主要从事农业生态环境研究。[Lan Zhongming(1981-), male mainly engaged in agricultural ecology environment] E-mail: lzn361@yahoo.com.cn Tel: 13635288425

* 通讯作者(Corresponding Author): 张辉 - E-mail: huizhang@188.com

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

坡、闽东福州市闽侯县白沙镇孔原村展望农场选择 4 个山坡各进行为期 1 个月考察, 三年来共进行 8 个山坡地低温考察。试验采用最低温度表观测日最低气温 (t_d), 采用 GPS 定位仪测定海拔、坡向、经纬度。数据分析过程中每个坡均以测点的最高海拔为

1 号点, 随海拔下降, 测点代码依次编号。各测点同坡底的高差 (Δh_i) 与该山坡总高差 (ΔH) 之比, 称为相对坡位 (G)。各测点同坡底的温度差值, 称为温差 (Δt_i)。考察点设置见表 1。

表 1 考察点设置
Table 1 Settings of investigation

坡编号 Sloping number	考察时间 Investigation time	地点 Site	坡向 Sloping direction	经纬度 Latitude and longitude	测点数 Observation point	各观察点海拔 H (m) Height above sea level of every observation (m)
1	03. 12. 13~ 04. 1. 13	福鼎白岩 Fuding Baiyan	座东朝西 Seat east towards west	E 120° 14' 51. 3", N 27° 14' 30. 3"	9	136, 100, 88, 81, 65, 45, 17, 10, 4
2	03. 12. 13~ 04. 1. 13	福鼎日岙 Fuding Riao	座东北朝西南 Seat northeast towards southwest	E 120° 16' 47", N 27° 06' 55"	5	101*, 66, 46, 25, 18
3	04. 12. 30~ 05. 1. 29	连江浦东 Lianjiang Pudong	座西朝东 Seat west towards east	E 119° 36' 31. 6", N 26° 36' 31. 6"	8	110, 101, 96, 85, 73, 56, 39, 29
4	04. 12. 30~ 05. 1. 29	连江浦东 Lianjiang Pudong	座南朝北 Seat south towards north	E 119° 36' 31. 6", N 26° 36' 31. 6"	5	78, 68, 53, 40, 29
5	05. 12. 10~ 06. 1. 10	闽侯孔原 Mihou Kongyuan	座东南朝西北 Seat southeast towards northwest	E 119° 06' 50. 8", N 26° 14' 51. 9"	6	108, 95, 89, 78, 69, 62
6	05. 12. 10~ 06. 1. 10	闽侯孔原 Mihou Kongyuan	座西朝东 Seat west towards east	E 119° 05' 47. 6", N 26° 14' 55. 5"	6	126, 113, 106, 98, 85, 78
7	05. 12. 10~ 06. 1. 10	闽侯孔原 Mihou Kongyuan	座西北朝东南 Seat northwest towards southeast	E 119° 05' 02. 1", N 26° 15' 01. 9"	5	142*, 129, 116, 106, 84
8	05. 12. 10~ 06. 1. 10	闽侯孔原 Mihou Kongyuan	座西北朝东南 Seat northwest towards southeast	E 119° 05' 45. 1", N 26° 14' N 50. 1"	8	180, 157, 144, 136, 126, 116, 114, 104, 94

注: 各观测点海拔都是从坡顶到坡底, * (坡腰到坡底) 除外
Note: Height above sea level of every observation is from top of slope to bottom of slope except * (from top of middle to bottom of slope)

1. 2 数据处理及分析方法

把资料分为晴天 (含多云天) 和阴雨天两类。阴雨天山坡 t_d 基本上是山坡下部比上部高, 山顶为最低, t_d 随海拔的升高呈下降趋势。晴天山坡都存在山坡底 (或下) 部 t_d 最低、中上部或山顶 t_d 最高的逆温现象。由于所观测的阴雨天温度都是在 0℃ 以上, 对果树不会造成冻害, 因此研究冬季阴雨天的最低温度变化规律对果树的避冻影响意义不大。使果树遭受冻害的低温都是由冷平流过后的晴夜辐射降温引起的, 故文中主要是对晴天的 t_d 进行回归方差分析。

2 结果与分析

2. 1 2003~ 2004 年冬季考察

1 号坡共设 9 个点, 山坡总高差 (ΔH) 为 132

m, 该坡周围种植多年生龙眼、荔枝等果树, 其北面为与山体走势平行的沙埕湾水体, 辐射降温冷空气下沉后排泄容易。对实测资料进行趋势分析, 晴天各测点同 9 号点的温差 ($\Delta t_{di} = t_{di} - t_{d9}$) 与 G_i 的点聚图如图 1 所示, Δt_d 与 G 的分布呈一元二次方程曲线趋势。单因素方差分析 (ANOVA) 检验的显著水平 $0.00 < \alpha = 0.01$ 达到极其显著。经分析, 1 号坡晴天引起的辐射逆温表现为: $\Delta t_d = 0.7314 - 1.5528(G - 0.6374)^2$, 从该方程可以看出当 $G \approx 0.64$ (山坡中上部处) 时, 逆温效应最大, 该坡位的 t_d 平均比坡底高约 0.73℃ (图 1)。

2 号坡共设 5 个点, 该坡周边环山, 仅西南伸向淤泥地有一冷空气的狭窄出口, 辐射降温冷空气下沉后不易排泄。该龙眼园上部约为山坡总高度的 101/165 处, 坡顶 165 m 未设点 (路难开辟), ΔH 为 147 m, 而 1 号点 (坡腰) 与 5 号点的高差为 83 m。

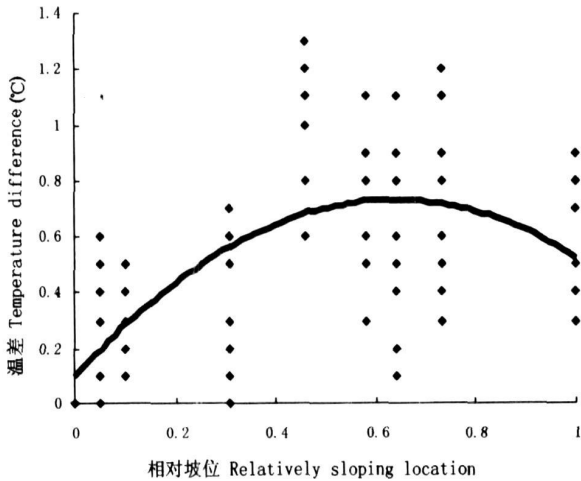


图 1 1号坡温差与相对坡位点聚图
Fig 1 No.1 temperature difference and relatively sloping location scatter diagram

对实测资料进行趋势分析,晴天各测点同 5号点温差 ($\Delta t_{li} = t_{li} - t_{l5}$)与 G_i 点聚图如图 2所示, Δt_{li} 与 G 的分布呈一元二次方程曲线趋势。ANOVA 检验的显著水平 $0.00 < \alpha = 0.01$ 达到极其显著。经分析,该坡晴天引起的辐射逆温表现为: $\Delta t_{li} = 2.8092 - 6.6491(G - 0.6329)^2$ 。从该方程可以看出当 $G \approx 0.63$ (山坡中上部处)时,逆温效应最大,该坡位的 t_{li} 平均比坡底高约 2.8°C 。从 1号坡和 2号坡两组山坡趋势分析,可以得出种植果树时应尽量选择山坡的中上部,才会尽可能避免或减轻低温对果树造成的冻害。有事实证明,1991/1992 冬季和 1999/2000 冬季两次能使龙眼遭受严重冻害的强低温,确没有使考察的两组山坡的中上部的龙眼树发生冻害(当地果农介绍),因此该地逆温效应应功不可没。

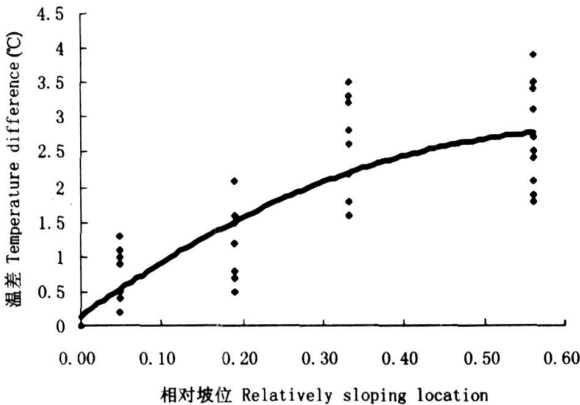


图 2 2号坡温差与相对坡位点聚图
Fig 2 No.2 temperature difference and relatively sloping location scatter diagram

2.2 2004~2005 冬季考察

3号坡共设 8个点, ΔH 为 81 m,坡所在的农场四周环山,仅东面有一狭小出口,坡底垄田和坡上种植约 40 hm^2 的橄榄树。对实测资料进行趋势分析,晴天各测点同 8号点的温差 ($\Delta t_{li} = t_{li} - t_{l8}$)与 G_i 的点聚图如图 3所示, Δt_{li} 与 G 的分布呈一元二次方程曲线趋势。ANOVA 检验的显著水平 $0.00 < \alpha = 0.01$ 达到极其显著。经分析,3号坡晴天引起的辐射逆温表现为: $\Delta t_{li} = 2.0944 - 2.823(G - 0.8839)^2$,从该方程可以看出当 $G \approx 0.88$ 时,逆温效应最大,该坡位的 t_{li} 平均比坡底高约 2.1°C 。

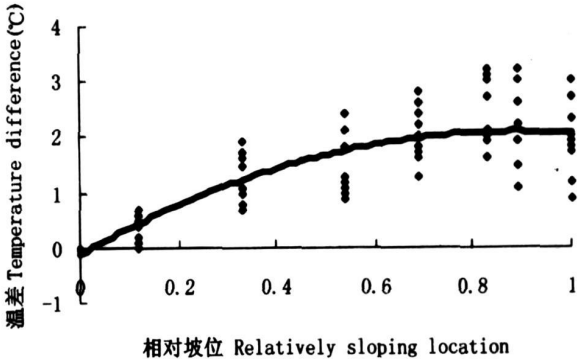


图 3 3号坡温差与相对坡位点聚图
Fig.3 No.3 temperature difference and relatively sloping location scatter diagram

4号坡共设 5个点, ΔH 为 49 m,该坡周围植被情况与 3号坡相似。对实测资料进行趋势分析,晴天各测点同 5号点的温差 ($\Delta t_{li} = t_{li} - t_{l5}$)与 G_i 的点聚图如图 4所示, Δt_{li} 与 G 的分布呈一元线性回归趋势。ANOVA 检验的显著水平 $0.00 < \alpha = 0.01$ 达到极其显著。经分析,冷空气下泻又不畅,4

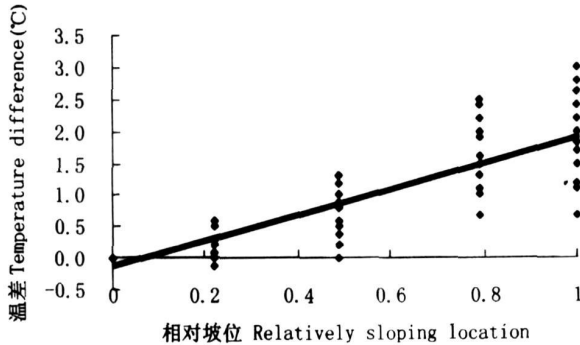


图 4 4号坡温差与相对坡位点聚图
Fig.4 No.4 temperature difference and relatively sloping location scatter diagram

号坡晴天引起的辐射逆温表现为: $\Delta t_i = -0.1254 + 2.0408G$, 从该方程可知, ΔH 不足 50 m 的山坡, 最大的逆温效应在坡顶即 $G = 1$ 坡顶 t_i 平均比坡底高约 1.92°C 。2005-01-01 和 15 的强低温使得该农场离坡底 15 m 以内的橄榄树普遍受冻, 而离坡底 49 m 以上的橄榄树基本上不受冻, 这也印证了坡地逆温对橄榄树冻害所产生的影响。

2.3 2005~2006 冬季考察

5 6 7 8 号坡周围地面植被主要为多年生枇杷、柑橘、杜鹃、桉木、桂木、乌药、毛冬青、三花冬青、莢迷、黄瑞木等。5 号坡共设 6 个点, ΔH 为 46 m。该坡晴天各测点同 6 号点的温差 ($\Delta t_{di} = t_{di} - t_{d6}$) 与 G_i 的点聚图如图 5 所示, Δt_{di} 与 G_i 的分布呈一元线性回归趋势。ANOVA 检验的显著水平 $0.00 < \alpha = 0.01$ 达到极其显著。经分析, 5 号坡晴天引起的辐射逆温表现为: $\Delta t_i = 1.9322G + 0.4615$ 从该方程可知, ΔH 不足 50 m 的山坡, 最大的逆温效应在坡顶即 $G = 1$ 坡顶 t_i 平均比坡底高约 2.4°C 。

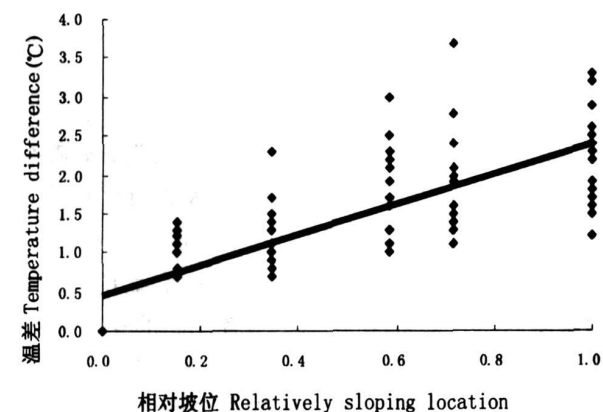


图 5 5 号坡地温差与相对坡位点聚图

Fig. 5 No. 5 sloping field temperature difference and relatively sloping location scatter diagram

6 号坡共设 6 个点, ΔH 为 48 m。该坡晴天各测点同 6 号点的温差 ($\Delta t_{di} = t_{di} - t_{d6}$) 与 G_i 的点聚图如图 6 所示, Δt_{di} 与 G_i 的分布呈一元线性回归趋势。ANOVA 检验的显著水平 $0.00 < \alpha = 0.01$ 达到极其显著。经分析, 6 号坡晴天引起的辐射逆温表现为: $\Delta t_i = 2.3188G + 0.4118$ 从该方程可知, ΔH 不足 50 m 的山坡, 最大的逆温效应在坡顶即 $G = 1$ 坡顶 t_i 平均比坡底高约 2.7°C 。

7 号坡共设 5 个点, 坡顶 160 m 处未设点, ΔH 为 76 m。该坡晴天各测点与 5 号点的温差 ($\Delta t_{di} =$

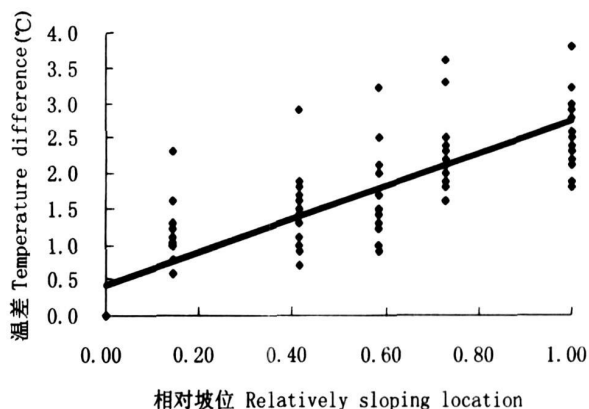


图 6 6 号坡地温差与相对坡位点聚图

Fig. 6 No. 6 sloping field temperature difference and relatively sloping location scatter diagram

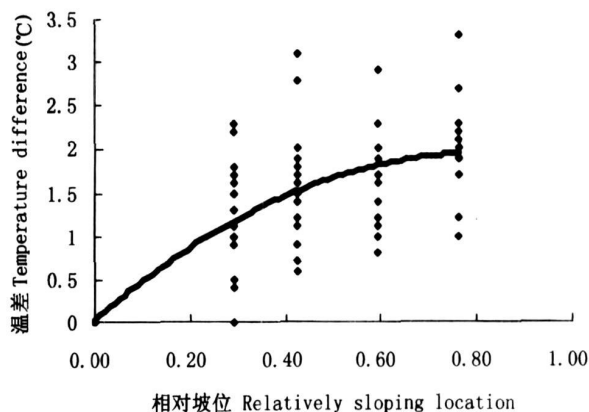


图 7 7 号坡地温差与相对坡位点聚图

Fig. 7 No. 7 sloping field temperature difference and relatively sloping location scatter diagram

$t_{di} - t_{d5}$) 与 G_i 的点聚图如图 7 所示。从图 7 可见, Δt_{di} 与 G_i 的分布呈一元二次方程曲线趋势。ANOVA 检验的显著水平 $0.00 < \alpha = 0.01$ 达到极其显著。经分析, 7 号坡晴天引起的辐射逆温表现为: $\Delta t_i = 1.9519 - 2.978(G - 0.8031)^2$, 从该方程可以看出当 $G \approx 0.80$ 时, 逆温效应最大, 该坡位的 t_i 平均比坡底高约 1.95°C 。

8 号坡共设 8 个点, ΔH 为 86 m。该坡晴天各个测点与 8 号点的温差 ($\Delta t_{di} = t_{di} - t_{d8}$) 与 G_i 的点聚图如图 8 所示, Δt_{di} 与 G_i 的分布呈一元二次方程曲线趋势。ANOVA 检验的显著水平 $0.00 < \alpha = 0.01$ 达到极其显著。经分析, 8 号坡晴天引起的辐射逆温表现为: $\Delta t_i = 1.2204 - 1.8975(G - 0.8563)^2$, 从该方程可以看出当 $G \approx 0.86$ 时, 该坡位的 t_i 平均比坡底高约 1.2°C 。

表 2 近年来福鼎、连江、闽侯山坡地逆温考察汇总

Table 2 Overall observation of temperature inversion among Fuding Lianjiang and M inhou during these years

考察时间 Investigation time	考察地点 Investigation site	H_G /m	H_D /m	ΔH /m	测点数 Observation point	Δt_d 与 G 的关系式 Relation between Δt_d and G
03. 12. 13~ 04. 1. 13	福鼎白岩 Fuding Baiyan	136	4	132	9	$\Delta t_d = 0.7314 - * (G - 0.6725)^2$
03. 12. 13~ 04. 1. 13	福鼎日岙 Fuding Riao	101*	18	147	5	$\Delta t_d = 2.8092 - 6.6491* (G - 0.6329)^2$
04. 12. 30~ 05. 1. 29	连江浦东 iv Lianjiang Pudongiv	110	29	81	8	$\Delta t_d = 2.0944 - 2.823* (G - 0.8839)^2$
04. 12. 30~ 05. 1. 29	连江浦东 ④ Lianjiang Pudong④	78	29	49	5	$\Delta t_d = - 0.1254 + 2.0408* G$
05. 12. 10~ 06. 1. 10	闽侯孔原 iv M inhou Kongyuaniv	108	62	46	6	$\Delta t_d = 0.4615 + 1.9322* G$
05. 12. 10~ 06. 1. 10	闽侯孔原 ④ M inhou Kongyuan④	126	78	48	6	$\Delta t_d = 0.4118 + 2.3188* G$
05. 12. 10~ 06. 1. 10	闽侯孔原 ④ M inhou Kongyuan④	142†	84	80	5	$\Delta t_d = 1.9519 - 2.978* (G - 0.0.8031)^2$
05. 12. 10~ 06. 1. 10	闽侯孔原 ⑤ M inhou Kongyuan⑤	180	94	86	8	$\Delta t_d = 1.2204 - 1.8975* (G - 0.8563)^2$

注: H_G 和 H_D 分别表示最高和最低测点的海拔, H_G 加“*”表示该山坡最高测点不在山坡顶, ΔH 为山坡总高差。
Note H_G and H_D respectively represent the highest and the lowest height of every observation point and H_G^* figures that the highest point is not at the top of hillside. Total height difference is ΔH .

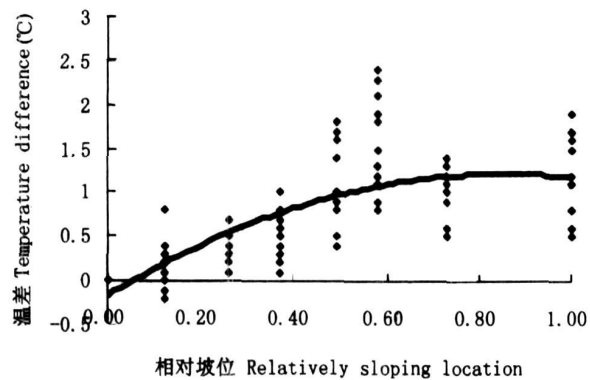


图 8 8号坡温差与相对坡位点聚图

Fig. 8 No. 8 sloping field temperature difference and relatively sloping location scatter diagram

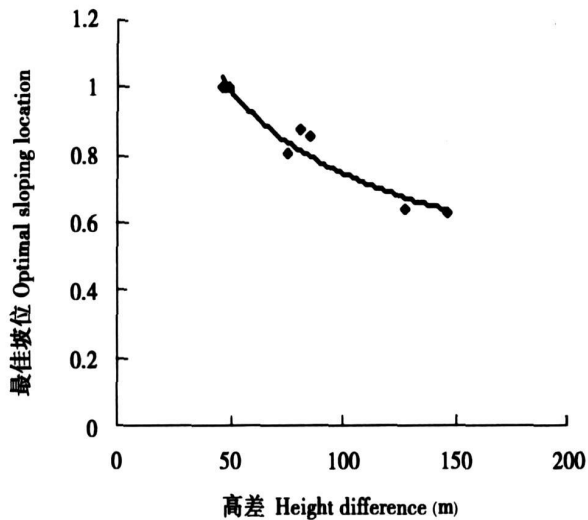
2.4 Δt_d 与 G 以及 G 与 ΔH 的关系

从以上的分析结果可以看出, $\Delta H < 50$ m, 其回归方程都符合一元一次线性回归趋势, 其关系式为: $\Delta t_d = b_0 + b_1 * G (b_1 > 0)$, $G = 0$ 即坡底的温度是最低的, $G > 0$ 各点温度都比坡底高, 越往坡顶 t_d 就越高, $G = 1$ 即坡顶, 逆温效应最大。76 m $\leq \Delta H < 150$ m, 其趋势回归方程都符合一元二次曲线回归趋势, 其关系式为 $\Delta t_d = b_0 - b_1 * (G - b_2)^2 (b_1 > 0, b_2 >$

0), 最大逆温出现的坡位是 $G = b_2$ 。汇总近 3 a 来各地山坡地逆温考察资料见表 2。由表 2 所汇总的 8 个回归方程可得出山坡最大逆温出现的 G 与山坡总高差 ΔH 的关系, 其点聚图如图 9 所示, G 与 ΔH 呈幂函数曲线分布, G 与 ΔH 二者之间的相关系数 $R(G, \Delta H) = -0.97^{**}$, $r_{0.001} = 0.925$, $R(G, \Delta H) > r_{0.001}$, G 与 ΔH 相关极其显著。其回归方程为: $G = 4.9851 * (\Delta H)^{-0.4119}$, 随着 ΔH 的增加, 其最大逆温出现的坡位 G 呈负幂函数曲线下降趋势即反相关。若已知山坡总高差 ΔH , 根据该回归方程就可以估算出山坡最大逆温出现的坡位, 对于果园最佳坡位的选择可提供重要的理论参考依据。

3 结论

通过 3 a 冬季山坡地低温考察, 可以得出丘陵山坡坡地逆温效应的总体趋势, 冬季晴夜, 丘陵山坡地的最低气温都存在山坡中上部 ($G > 0.63$) 出现最大逆温现象。当 $\Delta H < 50$ m 时, $\Delta t_d = b_0 + b_1 * G (b_1 > 0)$, 随着 G 的增大, Δt_d 也越大, 当 $G = 1$ 时, $\Delta t_d = b_0 + b_{10}$ 。当 76 m $\leq \Delta H < 150$ m 时, $\Delta t_d = b_0 - b_1$

图 9 最大逆温出现的 G 与 ΔH 的关系Fig. 9 Relation between G and ΔH

* $(G - b_2)2(b_1 > 0, b_2 > 0)$, 当 $G = b_2$ 时, 达到最大逆温效应, $\Delta t_d = b_{0b}$ 。从以上分析可以看出 2003/2006 冬季考察出现的平均最大逆温强度是 2003/2004 福鼎日岙 2.8°C 。对于 ΔH 不足 150 m 的山坡来说, 从图 9 可知, 最大逆温强度出现的 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。因此不耐寒果树应尽量种植在山坡的中上部 (山坡坡位 0.63 以上), 逆温效果好, 可以在很大程度上减少低温对果树造成的直接冻害, 可以说这是一个无形的防护措施。切忌把果树种植在低洼地带 (冷空气的堆积地)。不少果农往往因为低洼地带水肥条件好、便于栽培种植管理, 而在低洼地带开辟果园且种植抗寒力差的果树, 结果常常果树冻害频发, 甚至老而无功。

一般情况下, 坡向北坡受冻最重, 西坡次之, 东坡和南坡较轻。近 3 a 本试验选择的 8 个随机山坡坡向都不尽相同, 我们知道不同坡面 (包括不同坡向和坡度) 可接受的日照和辐射强度都不相同, 但对于研究山坡地逆温效应而言, 坡向不同对逆温效应大小及最佳坡位影响不大, 对于此深层次原因有待于进一步研究。冬季晴夜, 福建省 A 型辐射降温经常存在, 应充分利用山区地形、小气候以及丘陵山坡坡面的逆温暖带提高作物的种植上限高度^[9], 开发种植忍耐低温能力不同的果树, 就常种植果树而言, 柑橘耐低温能力较强, 可种植于山坡下部。而对于龙眼、荔枝、枇杷、橄榄等较不耐寒果树, 可依据其

耐低温能力差别, 分层引种各式特色果树, 坚持利用山区逆温暖带这一优势层, 合理进行立体农业布局, 对于冬季或早春冷空气突袭, 可以在很大程度上避免果树受冻。但也不宜过度夸大丘陵山坡地的逆温效果, 在强低温来袭时, 不可麻痹需配套加强其它防寒防冻措施。

参考文献 (References)

- [1] Bureau of statistics of Fujian Province Statistics Yearbook of Fujian Province 2004[M]. Beijing: China Statistics Press, 2005 [福建省统计局. 福建统计年鉴 2004[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005]
- [2] Tang Longquan. A microclimate regions for preventing chilling of tropical and subtropical fruits in Changtai County Fujian province[J]. *Subtropical Plant Science*, 2003, 32(4): 33~35 [汤龙泉. 福建长泰热带、亚热带果树避冻气候区划[J]. 亚热带植物科学, 2003, 32(4): 33~35]
- [3] Cai Wenhua, Lin Xinjian, Zhang Hui. Investigation of low temperature of sloping field in winter and selection of Longan and Lychee in Fuding Fujian province[J]. *Meteorological Monthly*, 2005, 31(9): 79~82 [蔡文华, 林新坚, 张辉. 福鼎市冬季坡地低温考察和龙眼、荔枝园地选择[J]. 气象, 2005, 31(9): 79~82]
- [4] Li Jian, Li Meigui. Investigation on freezing injury to fruit trees in Fujian in 1999[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2002, 31(3): 343~346 [李健, 李美桂. 1999 年冬季福建果树冻害及其特点[J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2002, 31(3): 343~346]
- [5] Shen Hongbo, Chen Xuesen, Zhang Yanyan in Advances of the studies on the inheritance and breeding of cold hardiness variety in fruit crops[J]. *Journal of Fruit Science*, 2002, 19(5): 292~297 [沈洪波, 陈学森, 张艳敏. 果树抗寒性的遗传与育种研究进展[J]. 果树学报, 2002, 19(5): 292~297]
- [6] Davies FS, Zahran G. Gibberellic acid, fruit freezing and post-freeze quality of Hamlin oranges[J]. *Hortotechnology*, 2006, 16(2): 301~305
- [7] Chen Xuesen, Shen Hongbo, Zhang Yanyan in Freezing injury investigation of apricot and sweet cherry flowers[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(4): 373 [陈学森, 沈洪波, 张艳敏. 杏及大樱桃花器官冻害调查[J]. 园艺学报, 2001, 28(4): 373]
- [8] Zhang Weiguang, Cai Wenhua, Lin Xinjian, et al. Microclimate zone selection of introducing Longan and Lichi seeds to northeast of Fujian[J]. *South China Fruits*, 2004, 33(2): 30~33 [张伟光, 蔡文华, 林新坚, 等. 闽东北龙眼、荔枝引种的小气候区选择[J]. 中国南方果树, 2004, 33(2): 30~33]
- [9] Liu Wenjie, Li Hongmei. Evaluation on mountainous region inversion resource of Xi Shuang Ban Na[J]. *Territory & Natural Resource Study*, 1997, 3: 36~39 [刘文杰, 李红梅. 西双版纳山地逆温资源评价[J]. 国土与自然资源研究, 1997, 3: 36~39]

Effect of Sloping Field Temperature Inversion on Fruits' Avoiding Freezing Injury in Mountainous Region

LAN Zhongming¹, ZHANG Hui¹, CAI Wenhua²

(1 Soil and Fertilizer Institute of Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 350013, China;

2 Meteorological Institute of Fujian, Fuzhou 350001, China)

Abstract The test explored the effect of sloping field temperature inversion on fruits' avoiding freezing injury in mountainous region where investigated eight hillsides through three counties. The test applied trending line analysis to explore general trend and adopted regression and correlation ANOV analysis methods to test the significance of difference between relatively sloping location and temperature difference where observed low temperature (t_l) was fitting treatment through three years in winter. The results indicated that correlation between Δt_l and G was extremely significant, and to $\Delta H < 50$ m the lowest temperature was increasing by the height, and nearer top of slope, the lowest temperature was higher in fine night, and to $76 \text{ m} \leq \Delta H < 150 \text{ m}$ and $G > 0.63$ (mid-high hillside) the lowest temperature usually appeared high and the effect of temperature inversion was obvious. When the total height difference (ΔH) is less than 150 m, the sloping location (G) where the maximum temperature inversion is opposite to the total height difference of hillside. Namely, the sloping location (G) where the maximum temperature inversion is descending with the increase of ΔH . Using these results to build scientific fruit garden and develop characteristic fruit industry in mountainous areas, the significance was very important to avoid freezing injury on non-endure cold fruit.

Key words fruit tree; temperature inversion; hillside; temperature difference; sloping location