

温显罡, 马舒庆, 杜波, 等. 草温与露点温度对结露和结霜指示性分析[J]. 气象, 2012, 38(6): 745-750.

草温与露点温度对结露和结霜指示性分析^{* 1}

温显罡^{1,2} 马舒庆¹ 杜波¹ 廖明水³ 赵乃君⁴

1 中国气象局气象探测中心, 北京 100081

2 福建省永定县气象局, 龙岩 364100

3 北京市密云县气象局, 北京 101500

4 北京市平谷区气象局, 北京 101200

提 要: 利用密云国家基准气候站和电白国家基准气候站 2009—2010 年自动站的观测记录和人工结露、结霜观测资料, 以及平谷国家一般气象站 2010 年 12 月至 2011 年 5 月自动站的观测记录和天气现象自动化观测资料, 分析了结露、结霜与地面气象要素关系。结果表明: 诸多气象要素中, 草温和草温与露点温度差对露或霜结成具有指示性作用; 电白站 95.0% 结露发生在日最小草温与露点温度差 $< 1.1^{\circ}\text{C}$ 时, 密云站 95.0% 结露发生在日最小草温与露点温度差 $< 1.2^{\circ}\text{C}$ 时, 密云站 95.0% 结霜发生在日最小草温与露点温度差 $< 1.3^{\circ}\text{C}$ 时; 结露主要发生在最低草温 -0.5°C 以上, 从平谷站自动天气现象观测资料分析可以看出结露发生在 0°C 以上, 结霜发生在 0°C 以下; 很多情况, 百叶箱高度上的空气中的水汽含量并未达到饱和, 而贴地(或贴近地物)的空气中的水汽含量达到饱和; 日最小草温与露点温度差 $< 3.1^{\circ}\text{C}$ 时, 电白、密云站不出现露、霜的比率分别是 16.8% 和 11.7%; 因土壤湿度南方比北方大, 草温与露点温度差为正的比例南方较北方大。

关键词: 露, 霜, 指示性, 地面气象要素, 草温, 草温与露点温度差

Indicative Analysis of Grass Temperature and Dew-Point Temperature to the Occurrence of Dew and Frost

WEN Xiangang^{1,2} MA Shuqing¹ DU Bo¹ LIAO Mingshui³ ZHAO Naijun⁴

1 CMA Meteorological Observation Centre, Beijing 100081

2 Yongding Meteorological Station of Fujian, Longyan 364100

3 Miyun Meteorological Station, Beijing 101500

4 Pinggu Meteorological Station, Beijing 101200

Abstract: Based on the data of dew and frost from 2009 to 2010 recorded by automatic weather station (AWS), manual observation data in Miyun and Dianbai National Reference Climatological Stations and the AWS records and the weather observation data of Pinggu Ordinary Climatological Station from December 2010 to May 2011, the relationships between surface meteorological factors and dew or frost were analyzed. The results show that: the grass temperature and the difference between grass temperature and dew-point temperature can be an indicator of dew and frost; 95.0% dews occur in the conditions of the difference being $< 1.1^{\circ}\text{C}$ in Dianbai Station, and 95.0% dews and 95.0% frosts occur when the difference is $< 1.2^{\circ}\text{C}$ and $< 1.3^{\circ}\text{C}$ respectively in Miyun Station. Dew mainly occurs when the minimum grass temperature is -0.5°C , from the analysis of automatic present weather observation data in Pinggu Station, it can be seen that dew occurs when the temperature is above zero, while frost occurs when the temperature is below zero. In many cases, the water-vapor content of atmosphere at the height of thermometer-screen

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906032)资助

2011 年 7 月 6 日收稿; 2012 年 2 月 28 日收修定稿

第一作者: 温显罡, 主要从事天气现象自动化观测研究. Email: wxgfjly@sina.com

is not saturated, while the water-vapor content of ground-hugging (or close to the surface features) atmosphere is saturated. In the conditions of the difference between the minimum grass temperature and the dew-point temperature in a day being $<3.1^{\circ}\text{C}$, the proportion of no dew and frost is 16.8% and 11.7% in the two stations. The proportion of positive difference between grass temperature and dew-point temperature in the South China is larger than that in the North China because the soil moisture in the South China is larger than that in the North China.

Key words: dew, frost, indicative, surface meteorological factors, grass temperature, difference between grass temperature and dew-point temperature

引 言

露和霜是地面气象观测的内容。露是水汽在地面及近地面物体上凝结而成的水珠(霜融化成的水珠,不记露);霜是水汽在地面和近地面物体上凝华而成的白色松脆的冰晶,或由露冻结而成的冰珠^[1]。《地面气象观测规范》中指出它们的形成条件:露是在晴朗少风湿度大的夜间、地表温度 0°C 以上发生;霜是在晴朗微风湿度大的夜间、地面温度在 0°C 以下发生^[1]。在实际观测工作中发现,当百叶箱相对湿度不大时也会形成露,当相对湿度不大且百叶箱气温在 0°C 以上时也会形成霜。因此,分析露和霜的形成与地面观测要素的关系,探寻结露、结霜过程中具有指示性作用的气象要素,能够为天气现象自动化观测系统的质量控制提供依据,对地面气象自动化观测业务具有重要的现实意义。

1 资料来源

本文所用地面气象资料(包括分钟数据:百叶箱相对湿度、露点温度、草面温度,日数据:天气现象)来源于:

(1) 密云国家基准气候站和电白国家基准气候站 2009—2010 年自动站的观测记录和人工结露、结霜观测资料。

(2) 平谷国家一般气象站 2010 年 12 月至 2011 年 5 月自动站的观测记录和天气现象自动化观测资料。

露和霜是在地面及近地面物体上凝结(凝华)而成的^[2],所以在分析时引用了近几年才有的草温资料,同时还用了草温与露点温度差。草温与露点温

度差是指草温与百叶箱内测得的露点温度的差值 $t_g - t_d$, t_g 为草温, t_d 为露点温度。

平谷站 2010 年 12 月至 2011 年 5 月天气现象自动化观测结露、结霜观测资料给出结露、结霜发生时间。在现行地面观测业务中,露和霜是不记录起止时间的,因此在分析密云国家基准气候站和电白国家基准气候站资料时,采用了日最低草温和日最小草温与露点温度差资料,而不是结露、结霜时的草温和草温与露点温度差。

2 分析方法

2.1 结露、结霜的气象要素分析

自动站的观测记录,以正午 12 时为日界。从图 1 可以看出,露点温度日变化较小,草温日变化较大。从图 1a 可以看出,平谷 5 月 23 日 14 时左右时草温开始下降,在 20 时左右时草温与露点温度相等直至比露点温度更低,通过结露、结霜自动观测资料可以知道,平谷站 5 月 23—24 日的结露过程,开始结露的时间是 23 日 20:23;结露时的草温为 9.7°C ,露点温度为 9.9°C 。从图 1b 可以看出,平谷 12 月 4 日 13 时左右时草温开始下降,在 17 时左右时草温与露点温度相等直至比露点温度更低;而通过结露、结霜自动观测资料可以知道,平谷站 12 月 4—5 日的结霜过程,开始结霜的时间是 4 日 17:20;结霜时的草温为 -6.6°C ,露点温度为 -7.3°C 。从图 1c 可以看出,平谷 12 月 5 日 13 时左右时草温开始下降,但直到 12 月 6 日 12 时,草温都高于露点温度 2°C 以上,平谷站 12 月 5—6 日未结露或霜。从以上举例可以看出,当草温低于露点温度时,发生凝结,当草温大于露点温度可能凝结,也可能不凝结。

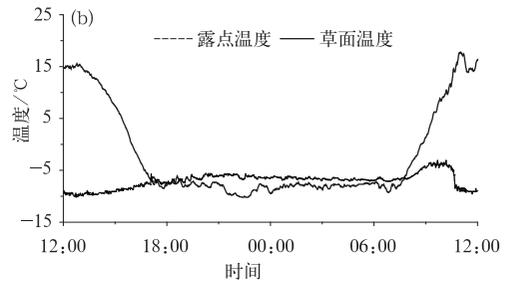
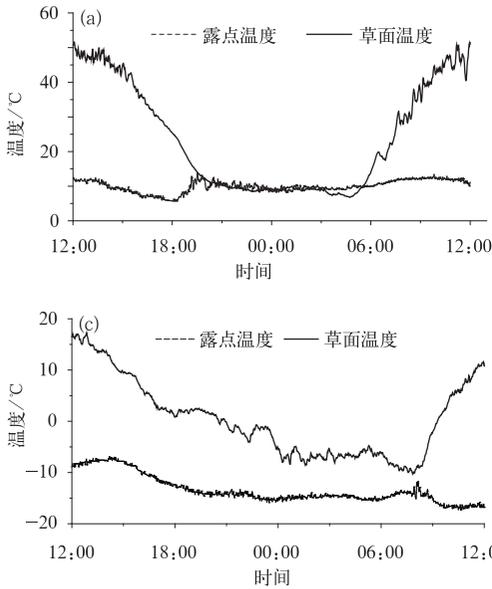


图 1 平谷草温、露点温度日变化图
Fig. 1 Daily variations of grass temperature and the dew-point temperature at Pinggu Station

2.2 草温与结露、结霜的关系分析

草面温度是草间距地 6 cm 高度处的温度(简称草温)。夜间地面温度均高于草温,由此可以肯定草温在夜间受地面长波冷却辐射的影响大于地面温度。同时,当近草面和近地面层空气含有大量水汽后,一方面由于水汽发生凝结,释放出凝结潜热,使空气增温;另一方面,由于水汽的增加,使空气的热传导性能大大加快,导致大量热量从近地面层空气向高层空气散发^[3-5]。两者相比,发生热传导丢失的热量要远远大于吸收的凝结潜热。由于植物的根系深入土壤,从土壤中吸收水分,通过叶面进行蒸发,因此有草的整个土壤失去的水分比无植物覆盖的裸地多,有植物覆盖层的蒸发也比无植物覆盖层的裸地多,温度下降得快。因而草面较地表面更容易出现露或霜,草温能更好地反映出露或霜形成的温度变化过程^[6-7]。

2.2.1 平谷站资料分析

为此,统计了平谷站开始进行天气现象自动化观测组网试验以来的结露、结霜时的草温和露点温度情况,从 2010 年 12 月 1 日至 2011 年 5 月 31 日观测到露 27 天,霜 72 天。从图 2 和图 3 可以看出,结露或霜时的草温分界比较明显。从图 2 可以看出,当草温 > 1.3°C 时,有露结成。

从图 3 可以看出,当草温 < -0.3°C 时,有霜结成。

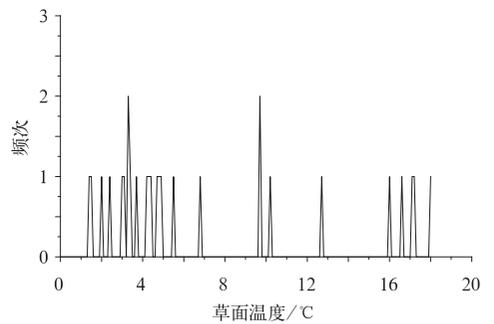


图 2 平谷站 2010 年 12 月至 2011 年 5 月自动观测到结露时的草温分布图
Fig. 2 The frequency of the grass temperature when dew occurs recorded by AWS at Pinggu Station from December 2010 to May 2011

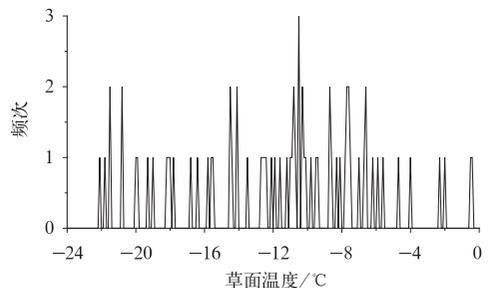


图 3 平谷站 2010 年 12 月至 2011 年 5 月自动观测到结霜时的草温分布图
Fig. 3 The frequency of the grass temperature when frost occurs recorded by AWS at Pinggu Station from December 2010 to May 2011

2.2.2 密云站资料分析

密云站 2009 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日有露 319 日(为便于分析,先结露再结霜的情况只按霜日统计),有霜 203 天,另有 208 天无露或霜。从图 4 中可以看出,当日最低草温 $> -2.5^{\circ}\text{C}$ 时有露结成;95.0% 的露发生在当日最低草温 $> -0.5^{\circ}\text{C}$ 时。

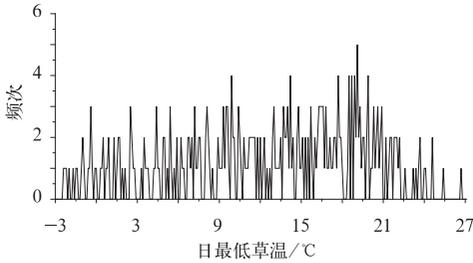


图 4 密云 2009—2010 年日
最低草温的结露分布图

Fig. 4 The frequency of daily minimum
grass temperature when dew occurs
at Miyun Station from 2009 to 2010

从图 5 中可以看出,当日最低草温 $< -1.3^{\circ}\text{C}$ 时有霜结成;95.0% 的霜发生在当日最低草温 $< -3.8^{\circ}\text{C}$ 时。

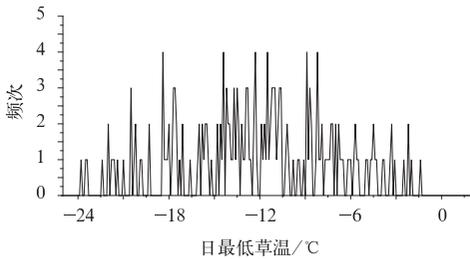


图 5 密云站 2009—2010 年日
最低草温的结霜分布图

Fig. 5 The frequency of daily minimum
grass temperature when frost occurs
at Miyun Station from 2009 to 2010

2.2.3 电白站资料分析

经统计,电白站 2009 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日有露 471 天(无霜),另有 259 天无露或霜;从图 6 中可以看出,结露发生在当日最低草温 $> -0.7^{\circ}\text{C}$ 时,95.0% 的露发生在当日最低草温 $> 10.9^{\circ}\text{C}$ 时。

从密云和电白站的资料分析可以看出,结露主要发生在最低草温 -0.5°C 以上。从平谷站自动天气现象观测资料分析可以看出结露发生在 0°C 以上,结霜发生在 0°C 以下。

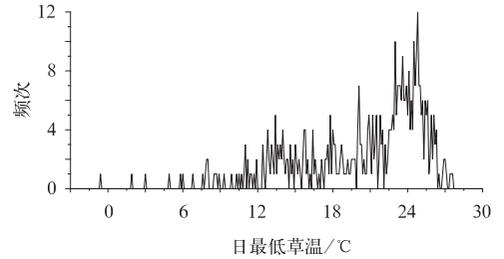


图 6 电白站 2009—2010 年日
最低草温的结露分布图

Fig. 6 The frequency of daily minimum
grass temperature when dew occurs
at Dianbai Station from 2009 to 2010

2.3 草温与露点温度差与结露、结霜的关系分析

露点温度是指空气在水汽含量和气压都不改变的条件下,冷却到饱和时的温度(简称露点)。温度露点差的意义是用来衡量湿度的参量,温度露点差越大,表示湿度越小;温度露点差越小,表示湿度越大;当温度露点差近于 0°C 时,表示空气达到近似饱和状态^[3]。由于在草温观测高度(6 cm)没有湿度观测。因此,采用草温与百叶箱露点温度差来分析距地 6 cm 高度处的湿度情况。

为了分析以上 2.1 节所述的一些现象是否具有代表性,统计了平谷站 2010 年 12 月至 2011 年 5 月结露、霜时的草温与露点温度差,密云国家基准气候站和电白国家基准气候站 2009—2010 年的日最小草温与露点温度差。

从图 7 可以看出,平谷站结露或霜时的草温与露点温度差的分布区间基本一致,出现露时的草温与露点温度差分布在 $-3.7 \sim 1.8^{\circ}\text{C}$ 之间,出现霜时的草温与露点温度差的分布在 $-3.9 \sim 1.9^{\circ}\text{C}$ 之间。其中有 95.0% 的露分布在草温与露点温度差 $< 1.1^{\circ}\text{C}$ 时;有 95.0% 的霜分布在草温与露点温度差 $< 1.7^{\circ}\text{C}$ 时。

从图 8 中可以看出,电白站当日最小草温与露点温度差 $< 3.1^{\circ}\text{C}$ 时有露结成,其中有 95.0% 的露分布在日最小草温与露点温度差 $< 1.1^{\circ}\text{C}$ 时;密云站当日最小草温与露点温度差 $< 2.3^{\circ}\text{C}$ 时有露结成,其中有 95.0% 的露分布在日最小草温与露点温度差 $< 1.2^{\circ}\text{C}$ 时;密云站当日最小草温与露点温度差 $< 3.1^{\circ}\text{C}$ 时有霜结成,其中有 95.0% 的霜分布在日最小草温与露点温度差 $< 1.3^{\circ}\text{C}$ 时。

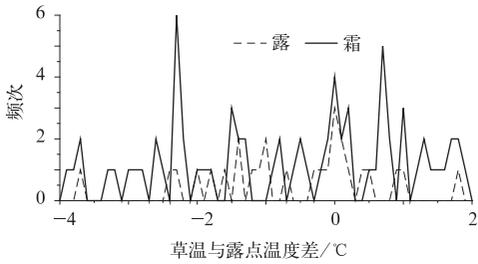


图 7 平谷站 2010 年 12 月至 2011 年 5 月自动观测到结露、霜时的草温与露点温度差分布图

Fig. 7 The frequency of difference between grass temperature and the dew-point temperature when dew or frost occurs recorded by AWS at Pinggu Station from December 2010 to May 2011

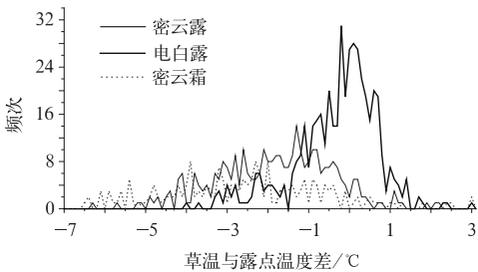


图 8 密云、电白站 2009—2010 年日最小草温与露点温度差的结露、霜分布图

Fig. 8 The frequency of difference between grass temperature and the dew-point temperature when dew and frost occur in Miyun and Dianbai Stations from 2009 to 2010

3 讨论

3.1 草温与露点温度差为正分析

从图 7 可以看到,有结露、霜时的草温与露点温度差可达到 1.9°C。为什么草温与露点温度差的值为正数时也会出现结露、霜呢?为此,统计分析了平谷站 2010 年 12 月至 2011 年 5 月自动观测到结露、霜时的百叶箱相对湿度和草温与露点温度差关系。在 99 个样本点中,草温与露点温度差为正的有 36 个。

从气象学上讲,贴地(或贴近地物)出现露、霜时,贴地(或贴近地物)的水汽是达到饱和的^[3]。从图 9 可以看出,当结露、霜时的草温与露点温度差为正时,百叶箱相对湿度较小;也就是说,当贴地(或贴

近地物)的水汽是达到饱和出现露、霜时,如果百叶箱相对湿度较小,则草温与露点温度差值可能为正。这也说明,结露或霜时仅要求贴地(或贴近地物)的气温低于露点,此时百叶箱高度上的气温一般仍高于露点,也就是说,百叶箱高度上的空气中的水汽含量并未达到饱和,而贴地(或贴近地物)的空气中的水汽含量达到饱和。

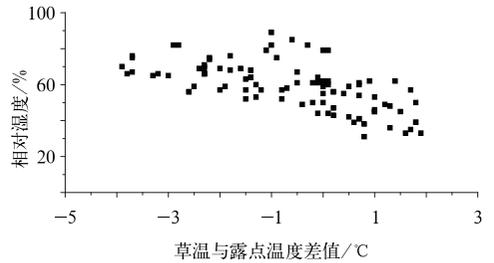


图 9 平谷站 2010 年 12 月至 2011 年 5 月自动观测到结露、霜时的百叶箱相对湿度和草温与露点温度差关系分析图

Fig. 9 The relationship between relative humidity from thermometer-screen and the difference of grass temperature and dew-point temperature when dew or frost occurs

3.2 不结露、霜日分析

经统计,2009 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日密云站有 208 天无露或霜,其中日最小草温露点差 < 3.1°C 的有 153 天(图 10)。其中,降水天数 72 天,积雪天数有 12 天。扣除降水和积雪的 84 天,还有 69 天无露、霜日最小草温露点差 < 3.1°C。那么在最小草温露点差 < 3.1°C 时,不出现露、霜的比率是 11.7%(图 11)。

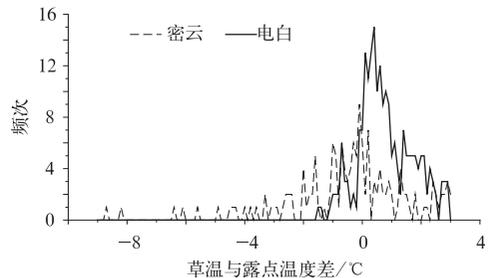


图 10 密云、电白站 2009—2010 年日最小草温与露点温度差的无结露、霜分布图

Fig. 10 The frequency of the difference between daily minimum grass temperature and dew-point temperature when no dew or frost occurs in Miyun and Dianbai Stations from 2009 to 2010

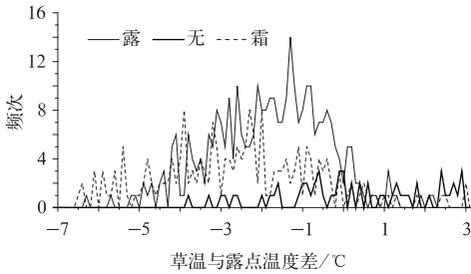


图 11 密云站 2009—2010 年日
最小草温与露点温度差结露、
霜与无结露、霜的对比分布图

Fig. 11 The comparison of the differences between daily minimum grass temperature and dew-point temperature when no dew or frost occurs in Miyun Station from 2009 to 2010

2009 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日电白站有 259 天无露或霜,其中日最小草温露点差 $< 3.1^{\circ}\text{C}$ 的有 219 天(图 10)。其中,降水天数 124 天,扣除降水的 124 天,还有 95 天无露霜日最小草温露点差 $< 3.1^{\circ}\text{C}$ 。那么在最小草温露点差 $< 3.1^{\circ}\text{C}$ 时,不出现露、霜的比率是 16.8%(图 12)。

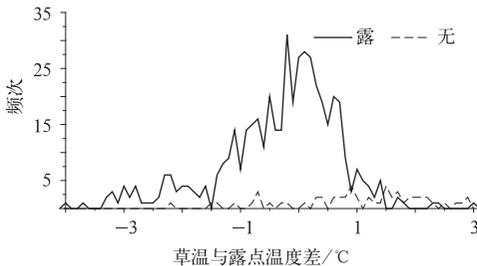


图 12 电白站 2009—2010 年日
最小草温与露点温度差结露
与无结露的对比分布图

Fig. 12 The comparison of the differences between daily minimum grass temperature and dew-point temperature when dew and no dew occur in Dianbai Station from 2009 to 2010

3.3 南北方差异分析

从以上统计分析看,密云、平谷(代表北方)与电白(代表南方)主要的差异就是:结露时,北方站最低草温的平均值偏低;从结露、霜时的日最小草温与露点温度差分布来看,草温与露点温度差为正的比

例电白站较密云站大,电白站占 40.6%,密云站只占 8.0%。依照 3.1 节的结论,说明结露、霜时贴地(或贴近地物)的空气湿度比百叶箱高度的空气湿度大得多。根据张文君等^[8]的研究,中国土壤湿度的分布为东北、华南湿,华北、西北干。这也印证说明了草温与露点温度差为正的比例电白站较密云站大的原因。

4 结 论

诸多气象要素中,草温和草温与露点温度差对露或霜结成具有指示性作用。

(1) 电白站 95.0% 结露发生在日最小草温与露点温度差 $< 1.1^{\circ}\text{C}$ 时,密云站 95.0% 结露发生在日最小草温与露点温度差 $< 1.2^{\circ}\text{C}$ 时;密云站 95.0% 结霜发生在日最小草温与露点温度差 $< 1.3^{\circ}\text{C}$ 时。

(2) 结露主要发生在最低草温 -0.5°C 以上。从平谷站自动天气现象观测资料分析可以看出结露发生在 0°C 以上,结霜发生在 0°C 以下。

(3) 很多情况,百叶箱高度上的空气中的水汽含量并未达到饱和,而贴地(或贴近地物)的空气中的水汽含量达到饱和。

(4) 日最小草温与露点温度差 $< 3.1^{\circ}\text{C}$ 时,电白、密云站不出现露、霜的比率分别是 16.8% 和 11.7%。

(5) 因土壤湿度南方比北方大,草温与露点温度差为正的比例南方较北方大。

致谢:感谢广东电白和北京密云、平谷气象站提供的地面气象观测资料。

参考文献

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社, 2003.
- [2] 成都气象学院. 气象学[M]. 北京:农业出版社,1979.
- [3] 李爱贞,刘厚凤. 气象学与气候学基础[M]. 第二版. 北京:气象出版社,2004.
- [4] 王海军. 两种湿球温度估计方法比较及误差分析[J]. 气象, 2011,37(4):497-502.
- [5] 苑跃,赵晓莉,王小兰,等. 相对湿度自动与人工观测的差异分析[J]. 气象,2010,36(2):102-108.
- [6] 赵艳玲,李静锋,刘泳梅. 利用草温预报霜的分析[J]. 安徽农业科学,2009,37(3):1248-1250.
- [7] 李蕊,牛生杰,汪玲玲,等. 三种下垫面温度对比观测及结冰气象条件分析[J]. 气象,2011,37(3):325-333.
- [8] 张文君,周天军,宇如聪. 中国土壤湿度的分布与变化 I. 多种资料间的比较[J]. 大气科学, 2008,32(3):581-597.