

NOAA - AVHRR 多通道卫星资料在辽东半岛地区大雾监测中的应用

王团团, 邹善勇, 刘晓初 (辽宁省大连市气象局, 辽宁大连 116001)

摘要 基于 NOAA - AVHRR 多通道资料, 统计分析了白天和夜间可见光通道、中红外通道及热红外通道下晴空地表、雾区、云区等地物的通道光谱特征, 总结了白天和夜间雾区识别的一些指标, 利用统计分析方法结合一定的图形处理方法对雾区进行自动识别。最后对 2014 年 4 月 8 日一次大雾天气过程进行了试验, 雾区识别的结果与地面观测结果比较一致, 表明该方法对识别雾区有一定作用, 但对夜间的轻雾不能进行有效识别。

关键词 NOAA; 卫星资料; 大雾监测; 辽东半岛

中图分类号 S164 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)12-236-04

Application of NOAA-AVHRR Multi-channel Satellite Data in Fog Monitoring in Liaodong Peninsula

WANG Jian-jian, ZOU Shan-yong LIU Xiao-chu (Dalian Meteorological Bureau, Dalian, Liaoning 116001)

Abstract This paper analyzes characteristics of optical spectrum under clear air, fog, cloud regions at channels of visual light, intermediate infrared and thermal infrared at daytime and nighttime based on NOAA-AVHRR multi-channel satellite data. Moreover, this paper concludes indices for identifying fog at daytime and nighttime by using statistical method along with graphic processing method. Finally, a test for fog event occurred on 8th April 2014 is performed. The result consists with observations. It indicates the method derived has limited use in identifying fog region, but is not effective in identifying nighttime light fog.

Key words NOAA; Satellite data; Dense fog monitoring; Liaodong Peninsula

大雾造成的近地面层低能见度, 对航空、公路交通、海洋航运造成很大影响。由于大雾对人们的生产生活影响较大, 国内外利用多种方式对大雾进行监测, 其中卫星遥感由于覆盖范围广、实时性强等特点在应用中越来越受到重视。国内从 20 世纪 80 年代末起利用各种卫星资料进行了大雾监测的研究^[1-5], 如戴丛蕊等^[2]依据雾区在可见光波段和中红外波段与云区不同的光谱特性, 利用光谱通道 1-3-4 组合进行大雾监测, 对无云地表、中高云和低层云雾进行分离, 从而实现白天雾的监测; 周红妹等^[3]研究了不同时相可见光遥感图像下垫面反射率与云雾反射率之间的相对关系, 并通过计算分析图像反射率的相对变化率自动生成准雾区动态判别阈值, 在此基础上, 采用基于图像游程编码的快速连通区域标记技术, 结合纹理分形分析、形态分形分析、平滑度分析、模板特征分析等实用方法, 对气象卫星遥感图像进行雾自动识别和云雾分离。

大连地区由于三面环海, 大雾天气出现频率较高, 但常规观测站点较少, 很难对大范围的大雾天气进行监测。为了利用卫星资料在大雾监测方面的优势, 国内一些专家也进行了大量研究, 分析了卫星遥感监测下海雾的分布特征和大雾生消特点^[6-9]。笔者基于 NOAA - AVHRR 多通道资料, 统计分析了白天和夜间可见光通道、中红外通道及热红外通道下晴空地表、雾区、云区等地物的通道光谱特征, 总结了大连地区白天和夜间雾区识别的一些指标, 利用统计分析方法结合一定的图形处理方法对雾区进行自动识别。

1 资料和方法

1.1 气象观测数据 以能见度 < 1 km 作为海雾次数的统计标准, 利用 2013 ~ 2015 年大连周边沿海气象站的能见度资料, 分析大连周边沿海海雾的时空变化特点, 为大雾卫星遥

感监测提供基础背景资料。雾的次数指各个站点每天 4 个观测时次(02:00, 08:00, 14:00, 20:00)中能能见度在 1 km 以下的次数。

1.2 卫星遥感数据 大连市气象局目前能实时或准实时接收 NOAA - 16/17/18、FY - 1C/1D 气象卫星和 EOS 环境卫星观测数据, 该研究开展大雾卫星遥感监测主要采用 NOAA 卫星数据源。NOAA 卫星的甚高分辨率扫描辐射仪 AVHRR 设置有 5 个探测通道(表 1)。

表 1 NOAA - AVHRR 的主要参数

Table 1 Main parameters of NOAA - AVHRR

通道号 Channel No.	观测波长 Observed wavelength// μm	观测项目 Observed items	分辨率 Resolution ratio//km
1	0.58 ~ 0.68 (可见光通道)	云、雾、烟、雪	1.1
2	0.725 ~ 1.100 (近红外)	植被、水陆边界	1.1
3	3.55 ~ 3.93 (中红外)	表面温度、云	1.1
4	10.3 ~ 11.3 (热红外 1)	表面温度、云	1.1
5	11.5 ~ 12.5 (热红外 2)	表面温度、云	1.1

1.3 遥感资料监测大雾的基本原理和方法 NOAA - AVHRR 覆盖了从可见光到热红外范围, 在可见光和近红外通道。在可见光通道卫星接收的辐射主要是反射的太阳辐射, 当太阳和卫星的角度参数固定时, 云或地表反射率越高, 卫星接收的辐射就越大, 在卫星图像上表现为亮度越亮。在白天中红外通道测得的辐射不仅包含有地面、云层自身发射的辐射, 且含有地面和云层反射的太阳辐射; 但在夜间, 由于云雾在这一波段的辐射率比其在远红外通道的小, 利用两者的差异有助于识别低层云雾^[10]。卫星在长波红外通道接收到的辐射是地面和云雾面发射的长波辐射, 太阳辐射可以完全忽略^[11]。在一定条件下, 卫星在长波红外通道接收的辐射仅与物体本身的温度有关。

2 NOAA - AVHRR 多通道光谱特征

2.1 白天 NOAA - AVHRR 可见光通道和近红外通道的反射率廓线 从图 1 可以看出, 云区可见光通道反射率较高,

反射率值基本在 45% 以上。雾区、云和陆地混合区的反射率较为接近,由于雾层厚度及雾滴粒子大小等原因,雾区的反射率变化范围较大,但高于晴空陆地和晴空水面,反射率基本大于 15%。晴空陆地的反射率高于晴空水体,晴空水体反射率最低,曲线也较为平滑。对于晴空水体区域,可见光通道反射率 < 10%,在可见光通道表现为可见光通道反射率高于近红外通道反射率,且两者差值较稳定。对于晴空陆地区域,表现为近红外通道反射率高于可见光通道反射率。因此可以利用可见光通道和近红外通道区分出晴空水体、晴空陆地和较厚的云。

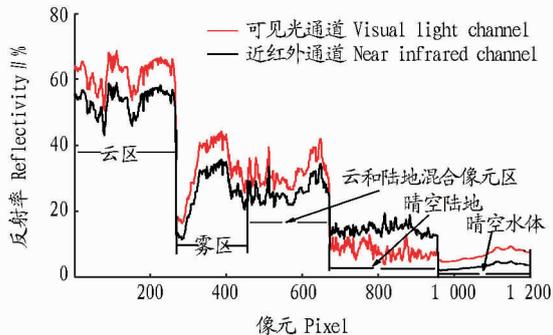


图 1 白天 NOAA - AVHRR 可见光通道和近红外通道的反射率廓线

Fig. 1 Reflectivity profile of NOAA - AVHRR visual light channel and near infrared channel at daytime

由图 2 可见,对于云区,中红外通道亮温无明显变化,由于云顶温度较低,热红外通道观测的亮温明显低于其他区域;对于晴空陆地热红外通道亮温较高,且值变化较大;虽然对于雾区和晴空水面,热红外通道亮温变化较平缓,但雾区的中红外通道与热红外通道差值较大。

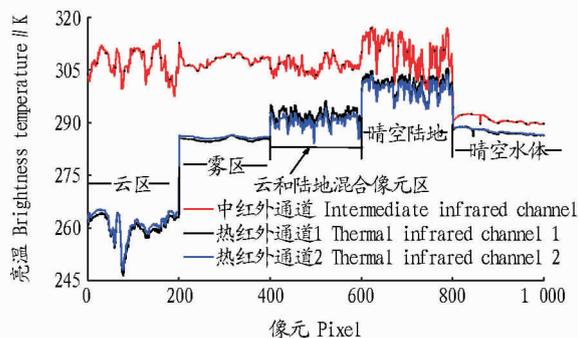


图 2 白天 NOAA - AVHRR 中红外通道和热红外通道的亮温廓线

Fig. 2 Brightness temperature profile of NOAA - AVHRR intermediate infrared and thermal infrared channel at daytime

2.2 夜间 NOAA - AVHRR 中红外和热红外通道亮温廓线 对于夜间的卫星图像(图 3),云区的热红外通道亮温较低,比较容易区分,晴空陆地和晴空水面的中红外通道亮温(T_3)与热红外通道 1 亮温值(T_4)较接近,且晴空陆表的热红外通道亮温值平滑度较差,对于晴空水体和雾区,中红外通道值变化相对比较平缓,其中雾区中红外通道亮温值(T_3)小于热红外通道 1 亮温值(T_4),一般 $T_4 - T_3 > 1.5$ K,热红外通道 2 亮温(T_5)比热红外通道 1 亮温(T_4)高,一般 $T_5 - T_4 >$

0.5 K。通过对一段时间内雾区热红外通道 2 的统计分析表明,雾区热红外通道 2 的亮温标准差大部分小于 10 K。

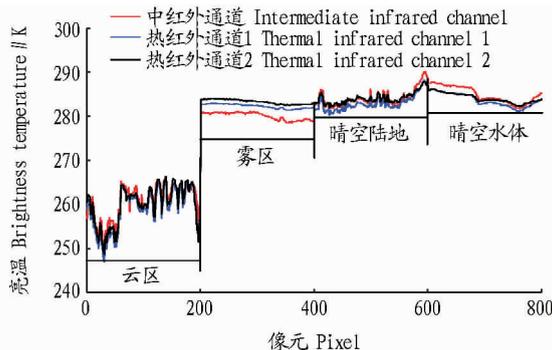


图 3 夜间 NOAA - AVHRR 中红外通道和热红外通道的亮温廓线

Fig. 3 Brightness temperature profile of NOAA - AVHRR intermediate infrared and thermal infrared channel at nighttime

总的来说,对于白天的 NOAA18 资料,由于雾区的可见光通道反射率高于晴空地表、低于厚的云,雾区的热红外通道亮温与晴空水面接近,变化比较平滑,中红外通道与热红外通道的亮温差值较晴空水面大。对于夜间资料,雾区的热红外亮温与晴空地表接近,高于中高云的亮温,且雾区各通道亮温变化平缓,中红外通道亮温小于热红外通道亮温,利用这些特征可以识别大部分雾区。

3 大雾检测流程

根据前面描述的 NOAA - AVHRR 光谱特征及不同区域的通道廓线特征,由于热红外通道 1 与热红外通道 2 在白天值差别很小,因此对于白天的图像,选用 1、2、3、5 通道进行大雾识别,夜间由于没有可见光和近红外通道资料,选用中红外通道和热红外通道 1、2。

3.1 白天大雾检测流程

(1) 为了实现雾区的自动检测,可以通过以下方法进行低层云雾的识别:当接收到一幅图像后,读取各个通道的值,利用可见光通道特征,将可见光反射率 $R_1 < 10\%$ 的区域判识为晴空区域,将晴空区域中可见光通道反射率(R_1)高于近红外通道反射率(R_2)的区域识别为晴空水表,将晴空区域中 $R_1 < R_2$ 的区域判识为晴空陆表。这样就可以获得晴空水表区域的热红外通道 2 的平均值 T_{b5} ,对于当天晴空水表区域不易确定的情况, T_{b5} 则用邻近日期的资料获取晴空水表亮温替代。

(2) 利用可见光通道的反射率和热红外通道 2 的亮温值,将热红外通道 2 的亮温值与晴空水表区域的热红外通道 2 平均亮温值 T_{b5} 进行比较,将热红外通道 2 的亮温值低于 $T_{b5} + 15$ K 以上区域标记为云区。

(3) 雾区的可见光通道反射率一般高于 15%,因此,在剔除云区后,可以根据可见光通道反射率初步判识出低可信度雾区,由于雾区一般为连续成片,将低可信度雾区分为一个个连通区域,并对各个连通区域进行标记。

(4) 由于雾区面积一般较大,对一些像元数 < 100 的连通区进行剔除。

(5) 由于雾区的热红外通道 2 的亮温变化比较平滑,亮温值与晴空水体比较接近。在剔除了零散的小面积连通区后,对剩下的连通区域的热红外通道 2 进行统计,在满足标准差 < 10 K 的连通区中挑出标准差最小的连通区,将其标记为高可信度雾区,然后将其他连通区热红外通道 2 的平均值与高可信度雾区进行比较,比较接近的标记为雾区;如果所有连通区的标准差均大于 10 K,则认为当前图像中无雾区。

3.2 夜间大雾检测流程

(1) 夜间晴空水表亮温 T_{b5} 用白天资料的晴空水表亮温进行替代。将热红外通道 2 的亮温值低于 T_{b5} 15 K 以上区域

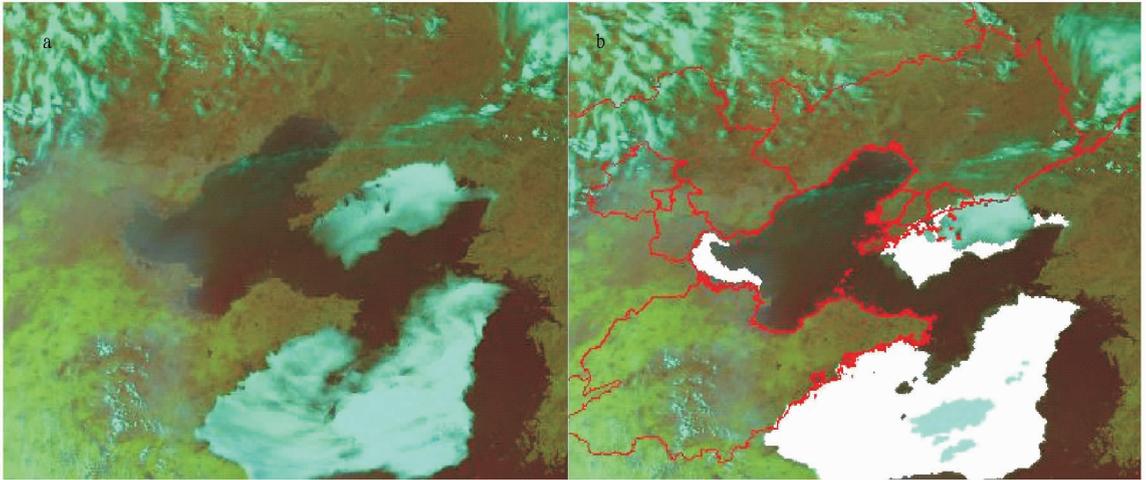
标记为云区。

(2) 在剔除云区后,将热红外通道 1 与中红外通道的亮温差 > 1.5 K、热红外通道 2 与热红外通道 1 亮温差 > 0.5 K 的区域标记为一个连通区域,剔除像元数 < 100 的连通区。

(3) 进行白天检测第(5)步。

4 大雾监测应用个例分析

由图 4~5 可见,雾区检测结果与地面实况范围接近,大部分的雾区均被检测出来,渤海湾有一块雾区被识别出来,实际上是由于霾造成的,黄海北部和黄海中部各有一片雾区,但部分被剔除,可能是由于抬升造成平滑度下降而被剔除。



注:白色区域为叠加了雾区自动识别出来的结果。
Note: White region is the result of automatic recognition of the fog area.

图 4 2014 年 4 月 8 日 15:03 卫星遥感图像 (a) 和雾区自动识别结果 (b)

Fig. 4 Satellite image and fog area automatic recognition at 15:03 on 8th April 2014

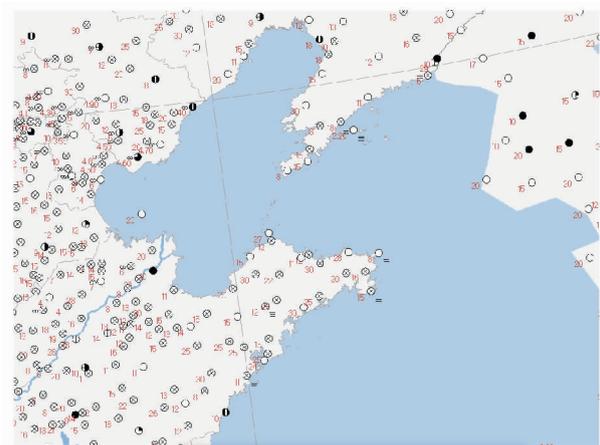


图 5 2014 年 4 月 8 日 14:00 地面实况

Fig. 5 Ground situation at 14:00 on 8th April 2014

从最接近卫星图像时间的地面实况资料(图 6)可以看出,在山东半岛东部到朝鲜半岛西部地区有大雾天气,这与雾区的检测结果(图 7b)对应较好,但在辽东半岛东部及华北有大片轻雾区没有识别出来,说明该方法在夜间对轻雾识别效果不好。

5 结论和讨论

运用卫星资料可以实现对大雾生消变化的连续观测,具

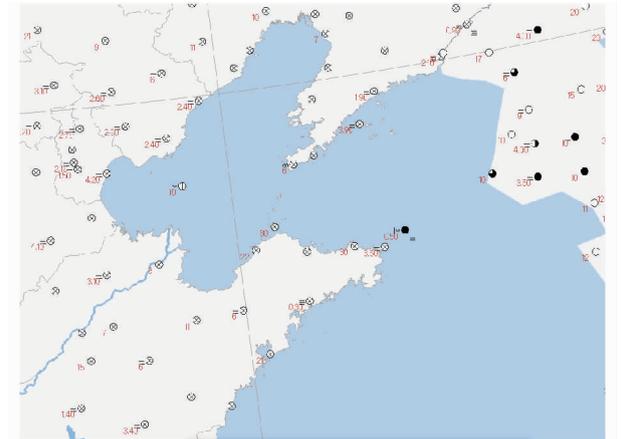
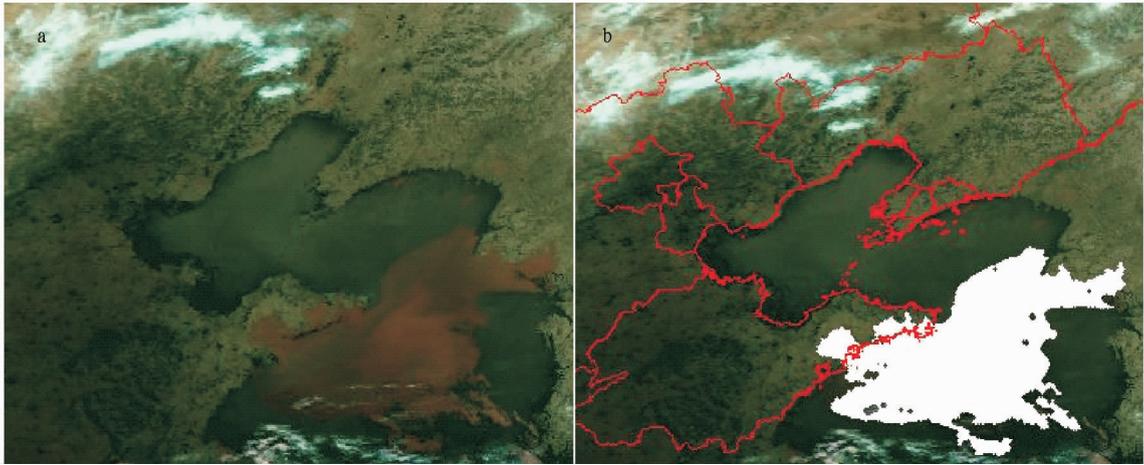


图 6 2014 年 4 月 8 日 05:00 地面实况

Fig. 6 Ground situation at 05:00 on 8th April 2014

有常规方法所没有的许多优点。该研究基于 NOAA - AVHRR 的光谱特征,分析了白天和夜间可见光通道、中红外通道及热红外通道下晴空地表、雾区、云区等的通道统计特征,总结了白天和夜间雾区识别的一些指标,利用多通道组合方法并结合一定的图形处理方法和统计方法对雾区进行识别。最后对一次大雾天气过程进行了试验,雾区识别的结果与地面观测结果比较一致,表明该方法对识别雾区有一定



注:白色区域为叠加了雾区自动识别出来的结果。

Note: White region is the result of automatic recognition of the fog area.

图7 2014年4月8日03:40卫星图像及雾区自动识别结果

Fig. 7 Satellite image and fog area automatic recognition at 03:40 on 8th April 2014

作用,但对夜间的轻雾不能进行有效识别。

由于大雾的成因较多,不同季节、不同浓度、下垫面的雾区在各个通道上的特征值变化范围也较大,尤其是区分低云和雾区的难度较大。这些问题在今后还需继续研究。

参考文献

- [1] 孙涵,孙照渤,李亚春. 雾的气象卫星遥感光谱特征[J]. 南京气象学院学报,2007,27(3):289-301.
- [2] 戴丛蕊,徐虹,金燕. 卫星遥感资料在云南大雾监测中的应用[J]. 云南地理环境研究,2008,20(6):51-54.
- [3] 周红妹,葛伟强,柏桦,等. 气象卫星大雾遥感自动识别技术研究[J]. 热带气象学报,2011,27(2):152-160.
- [4] 黄子革,潘长明,王贵钢,等. MODIS 卫星海雾检测技术研究[J]. 海洋

测绘,2010,30(2):70-73.

- [5] 张春桂,何金德,马治国. 福建沿海海雾的卫星遥感监测[J]. 中国农业气象,2013,34(3):366-373.
- [6] 曹祥村,邵利民,李晓东. 黄渤海一次持续性大雾过程特征和成因分析[J]. 气象科技,2012,40(1):92-99.
- [7] 吴晓京,李三妹,廖蜜,等. 基于20年卫星遥感资料的黄海、渤海海雾分布季节特征分析[J]. 海洋学报,2015,37(1):63-72.
- [8] 何月,张小伟,蔡菊珍,等. 基于 MTSAT 卫星遥感监测的浙江省及周边海区大雾分布特征[J]. 气象学报,2015,73(1):200-210.
- [9] 李亚春,孙涵,徐萌,等. 卫星遥感图上大雾消散特点的分析研究[J]. 遥感技术与应用,2002,17(1):17-20.
- [10] 纪瑞鹏,代付,班显秀. NOAA/AVHRR 图像资料在大雾灾害监测中的应用[J]. 防灾减灾工程学报,2004,24(2):149-152.
- [11] 李亚春,孙涵,徐萌. 气象卫星在雾的遥感监测中的应用与存在的问题[J]. 遥感技术与应用,2000,15(4):224-227.

(上接第177页)

表8 2种林分各层次多样性比较

Table 8 Comparison of the diversities of different layers of two forest stands

林分类型 Stand type	层次 Layer	物种数 Species number	多样性指数 H Diversity index	优势度指数 C Dominance index	均匀度指数 J Evenness index
杉木米楮混交林 Mixed plantation of Chinese fir and <i>Castanopsis carlesii</i>	灌木层	41	2.63	0.09	0.79
	层间层	12	2.12	0.08	0.98
	草本层	10	0.95	0.36	0.54
	合计	63	2.67	0.11	0.72
杉木纯林 Pure plantation of Chinese fir	灌木层	21	1.49	0.37	0.59
	层间层	6	1.40	0.19	0.95
	草本层	12	0.80	0.56	0.44
	合计	39	1.40	0.40	0.46

3 结论与讨论

笔者通过对闽北丘陵地区2种杉木人工林林分下植被调查研究,发现杉木米楮混交林多样性指数高于杉木纯林,说明针阔混交林林下植被丰富度高于针叶纯林。在林业生产中,可优先推荐针阔混交林栽培模式,在实践生产活动中,还需要考虑立地条件和当地社会需求,可根据实际需要,发展针阔混交林套种模式,有利于杉木人工林的可持续发展。

参考文献

- [1] 陈秀兰,何勇,张丹丹,等. 中国森林生态恢复与重建生态效益评价研究进展[J]. 林业经济问题,2008,28(3):192-196.
- [2] 马梅. 人工林地力衰退问题研究[J]. 林业科技管理,2002(3):26-29.
- [3] 胡觉,彭长清,甘世书,等. 我国人工林变化动态及增长潜力分析[J]. 林业资源管理,2014(4):6-8.
- [4] 赵良平. 森林生态系统健康理论的形成与实践[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2007,31(3):1-7.
- [5] 席一,尤振. 岷江上游退化森林生态系统的恢复与重建[J]. 安徽农业科学,2006,34(23):6281-6282,6285.
- [6] 温佐吾,冯燕. 集体林区影响人工林培育质量的非技术因素分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2010,34(6):149-152.