

# 三北地区农田防护林面积的多尺度遥感估算\*

郑 晓<sup>1,2,3</sup> 朱教君<sup>1,2,\*</sup> 闫 妍<sup>1,2,3</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院沈阳应用生态研究所森林与土壤生态国家重点实验室, 沈阳 110016; <sup>2</sup>辽宁省生态公益林经营管理重点实验室, 沈阳 110016; <sup>3</sup>中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要** 农田防护林是三北防护林体系工程重要组成部分, 准确估算农田防护林(林带)的数量与空间分布对了解该林种防护效应的发挥程度及促进农田防护林体系建设进程具有重要作用。本研究利用多尺度遥感影像获取林带长度, 结合实地调查的林带宽度, 估算三北地区(东北西部、华北北部和西北大部; 依据地貌特征, 将三北地区划分为东北、华北、黄土高原和蒙新4区)农田防护林面积。东北和华北区的林带长度通过建立 Landsat TM 和 SPOT5 解译得到的林带长度的关系获得; 黄土高原和蒙新区则通过建立有林带农田面积(基于 Landsat TM 获得)和林带长度(基于 CBERS-02B 获得)关系获得。结果表明: 至2008年, 三北地区农田防护林(包括中龄林、成熟林、过熟林; 不包括新造林、未成林和部分残次林; 下同)总长度为  $106.40 \times 10^7$  m, 其中, 东北区  $23.82 \times 10^7$  m, 华北区  $6.07 \times 10^7$  m, 黄土高原区  $25.58 \times 10^7$  m, 蒙新区  $50.93 \times 10^7$  m; 三北防护林体系工程农田防护林面积约为  $130.31 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> ( $114.98 \times 10^4 \sim 145.64 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>), 其中, 东北区  $42.88 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> ( $37.52 \times 10^4 \sim 48.24 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>), 华北区  $10.79 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> ( $9.56 \times 10^4 \sim 12.29 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>), 黄土高原区  $25.58 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> ( $22.70 \times 10^4 \sim 28.45 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>), 蒙新区  $50.93 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> ( $45.20 \times 10^4 \sim 56.66 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>); 估算的平均精度为 89.54%, 其中, 东北和华北区 79.27%, 蒙新和黄土高原区 99.80%。

**关键词** 防护林; 三北地区; Landsat TM; SPOT5; CBERS-02B

**中图分类号** S750 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)5-1355-09

**Estimation of farmland shelterbelt area in the Three-North Shelter/Protective Forest Program regions of China based on multi-scale remote sensing data.** ZHENG Xiao<sup>1,2,3</sup>, ZHU Jiao-jun<sup>1,2,\*</sup>, YAN Yan<sup>1,2,3</sup> (<sup>1</sup>State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110164, China; <sup>2</sup>Key Laboratory for Management of Non-commercial Forests, Liaoning Province, Shenyang 110016, China; <sup>3</sup>University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32** (5): 1355–1363.

**Abstract:** Farmland shelterbelt is an important component in the Three-North Shelter/Protective Forest Program. To accurately estimate the quantity and spatial distribution of the farmland shelterbelts in the Three-North regions (west of Northeast China, north of North China, and most part of Northwest China) is of significance to understand the protective effect of these shelterbelts and to promote their construction processes. Based on the multi-scale remote sensing data to acquire shelterbelt length and the field survey data to obtain shelterbelt width, this paper estimated the farmland shelterbelt area in the Three-North regions that were topographically divided into four areas, *i. e.*, Northeast China, North China, Loess Plateau, and Northwest China. The shelterbelt length in Northeast China and North China was acquired from the relationships between the shelterbelt lengths from SPOT5 and Landsat TM, while that in Loess Plateau and Northwest China was obtained from the relationships between the shelterbelt lengths from CBERS-02B and the farmland areas from Landsat TM. The results indicated that in 2008, the total length of the farm-

\* 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05060400)、国家自然科学基金项目(31025007)和中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-YW-08-02)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: jiaojunzhu@iae.ac.cn

收稿日期: 2012-10-29 接受日期: 2013-02-28

land shelterbelts (including middle-aged, mature, and over-mature shelterbelts, and excluding new planted, un-matured, and part of declined shelterbelts) in the Three-North regions was  $106.40 \times 10^7$  m, including  $23.82 \times 10^7$  m in Northeast China,  $6.07 \times 10^7$  m in North China,  $25.58 \times 10^7$  m in Loess Plateau, and  $50.93 \times 10^7$  m in Northwest China, and the total area of the farmland shelterbelts was about  $130.31 \times 10^4$   $\text{hm}^2$  ( $114.98 \times 10^4 - 145.64 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ), including  $42.38 \times 10^4$   $\text{hm}^2$  ( $37.52 \times 10^4 - 48.24 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ) in Northeast China,  $10.92 \times 10^4$   $\text{hm}^2$  ( $9.56 \times 10^4 - 12.29 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ) in North China,  $25.58 \times 10^4$   $\text{hm}^2$  ( $22.70 \times 10^4 - 28.45 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ) in Loess Plateau, and  $50.93 \times 10^4$   $\text{hm}^2$  ( $45.20 \times 10^4 - 56.66 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ) in Northwest China. The mean accuracy of the estimation was 89.54% (79.27% in Northeast and North China, and 99.80% in Loess Plateau and Northwest China).

**Key words:** farmland shelterbelt; the Three-North regions; Landsat TM; SPOT5; CBERS-02.

中国东北西部、华北北部和西北大部分地区(简称三北地区),植被稀少,气候恶劣,风沙危害和水土流失十分严重,木料、燃料、肥料、饲料非常缺乏,农牧业产量低而不稳,人民生活长期处于较低水平(林业部西北华北东北防护林建设局, 1993; 朱教君等, 2003; 姜凤岐等, 2009)。为了从根本上改变三北地区的生态环境和人民群众的生产、生活条件,1978年11月国务院正式批准三北防护林体系工程建设。三北防护林主要类型包括:农田防护林、水土保持林、水源涵养林、防风固沙林等;其中,农田防护林是三北防护林体系工程重要组成部分(范志平等, 2002; 梁万君等, 2008; 朱金兆等, 2010)。

农田防护林是为防止自然灾害(风沙、干旱、干热风、霜冻等),改善小气候、土壤、水文条件,创造有利于农作物和牲畜生长繁育的环境,保证农牧业高产、稳产,并对人民的生活提供多种效用的人工林生态系统(曹新孙, 1983)。三北防护林体系工程建设30年来(1978—2008),准确估算农田防护林的数量与空间分布,这对了解该林种防护效应的发挥程度及促进农田防护林体系建设进程具有重要作用(Wang & Zhou, 2003; 封斌等, 2005; 徐鹏等, 2012)。

农田防护林的形式主要有两种:一是林带形式,即在农田周边营造带状林分,往往形成农田林网;二是农林间作形式,即在农田内部间种树木(曹新孙, 1983)。由于农林间作形式在三北地区农田防护林的比重较小,且在遥感影像中不易辨识,因此,本研究估算的农田防护林数量是指林带形式的农田防护林数量。目前,获取大范围的农田防护林(林带)数量数据主要是通过统计数据,但是统计数据在统计过程中由于边界不明确性,造成重复统计,多报、漏报时有发生(刘平等, 2001)。近年来,利用遥感影

像(例如,Landsat TM 影像)获取中尺度区域范围的林带数量信息成为了研究重点(邓荣鑫等, 2010),但也存在一些问题:首先,Landsat TM 影像仅能提取林带长度>6个像元,即180 m的林带;如果提高其精度,需要利用高分辨率影像(如SPOT5 影像),而在整个三北地区利用高分辨率影像,无论在人力还是财力方面均难以完成。其次,Landsat TM 影像的分辨率相对较低,不能直接提取其宽度,为了获取林带面积,需要与地面调查的林带宽度数据相结合。

为此,本文以三北防护林体系工程区为研究区,利用多尺度遥感数据:SPOT5、CBERS-02B(高分辨率影像),Landsat TM(中分辨率影像),结合地面调查数据,建立高分辨率影像和中分辨率影像在农田防护林监测的回归关系,精确估算三北地区农田防护林的面积。本研究的主要目的是建立三北地区农田防护林面积的多尺度遥感估算方法,从而明确三北防护林体系工程建设30年来(截止到2008年),现存农田防护林数量信息,为农田防护林的建设、发展与效益评价,以及开展进一步相关研究提供基础数据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

三北防护林体系工程建设区(简称“三北地区”)位于 $73^{\circ}26'E-127^{\circ}50'E$ ,  $33^{\circ}30'N-50^{\circ}12'N$ ,行政区划上包括13省市,551个县区,遥感监测面积约为 $398.82 \times 10^4$   $\text{km}^2$ (图1)(由于矢量数据边界容差问题,造成本研究区域面积不同于国家林业局于2001年公布三北防护林的13省市,551个县区,面积 $402.9 \times 10^4$   $\text{km}^2$ )。在三北地区的区划上,国家林业局的《中国林业区划》将三北地区分为东北区,华北区,黄土高原区和蒙新区,但是,没有相关文件

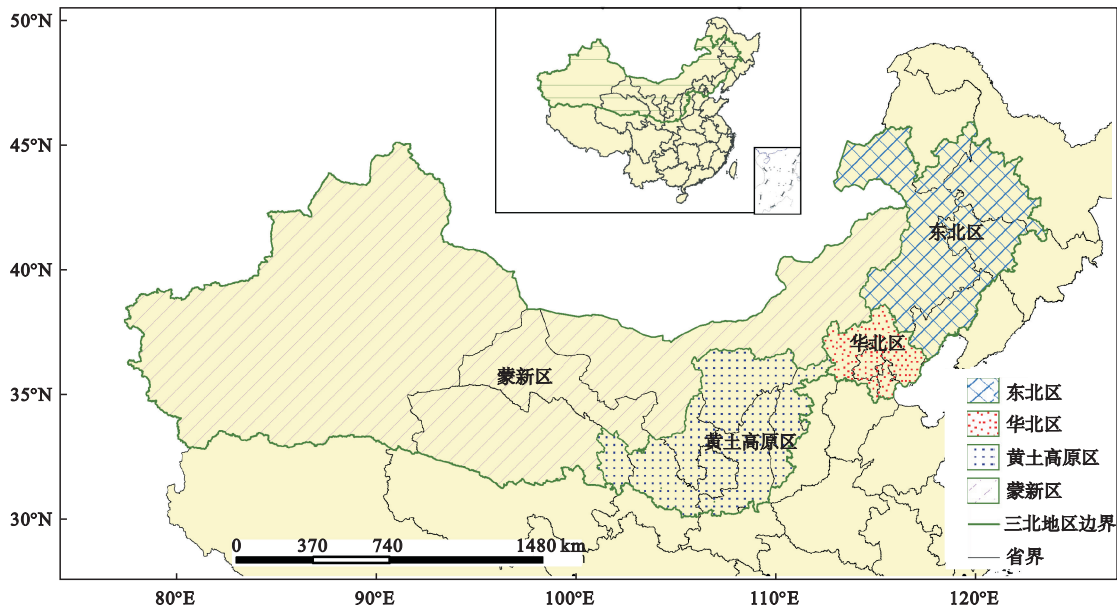


图 1 三北地区位置以及分区示意图  
Fig. 1 Location and division of the Three-North regions

和图件明确说明该分区的具体范围。为此,本研究根据地貌特征明确了这 4 个区域的具体范围(图 1)。东北区位于内蒙古自治区陈巴尔虎旗-托兰石市-莫力旗以南,黑龙江省讷河市-五常县、吉林省榆树市-公主岭市、辽宁省昌图县-盘山县以西,河北省东缘省界和内蒙古克什克腾旗-宁城县以东的区域,共 4 省市,113 县区;华北区位于河北省蔚县-大城县以北的华北境内区域,包括河北北部、北京和天津的全部,共 3 省市,76 县区;黄土高原区位于内蒙古自治区磴口县-呼和浩特市以南,青海省同仁县、甘肃省临夏县-天水市、陕西省宝鸡县-大荔县、山西省万荣县-临汾市以北,山西天镇县-平鲁县-原平市-汾西县以西,青海省门源回族自治县-贵德县以东,共 6 个省市,211 县区;蒙新区位于新疆省南缘省界、青海省格尔木市-贵南县、甘肃省天祝藏族自治县、宁夏回族自治区以北,内蒙古自治区东乌珠穆沁旗-多伦县以西,共 4 省市,151 县区(图 1)。东北区的农田防护林主要集中在东北西部以及内蒙古东部平原;华北区主要集中在华北的北部,如天津、秦皇岛等区域;黄土高原主要集中在河套平原区、汾渭平原区;蒙新区主要集中分布在河西走廊和新疆绿洲区域,这些区域基本是我国北方传统的农业耕作区和粮食主产区,较其他区域开展农田开发与耕作的时间较早,农田防护林在此区域建设的规模相对较大,水平较高(梁宝君, 2007)。

1.2 遥感数据的来源及预处理

本研究使用的数据:多时相 Landsat5 TM 影像、SPOT5 影像以及中巴资源卫星 CBERS-02B 星 HR 全色影像。

Landsat TM 影像采用 4(R)、3(G)、2(B)波段合成易于识别的标准假彩色影像(罗格平等, 2003)。由于农田防护林与农田作物在 TM 标准假彩色影像上均表现为红色,在作物生长的旺季,两者较难区分,根据农作物和农田防护林的生长特点, TM 影像选择 5 月上旬和 10 月中上旬,此时作物处于播种期或收割期,而农田防护林处于展叶或尚未落叶期,容易提取农田防护林信息(邓荣鑫等, 2011)。理想状态上全区利用统一时期的 TM 影像,然而三北地区面积较大,并对提取农田防护林信息要求遥感影像的时相比较,因此影像在年份上采用邻近年份。本研究采用的影像是 2007、2008、2009 年无云的 landsat5 TM 影像。TM 影像从美国地质勘探局(United States Geological Survey, USGS)数据中心(<http://www.edc.usgs.gov>)下载获得。制图标准:比例尺为 1 : 100000,按照 2 mm 的上图标准,相当于 200 m 的实际长度,提取成图的最小长度为 Landsat TM 影像的 6 个像元。

SPOT5 影像是法国 SPOT 系列卫星的第 5 号卫星,其视场宽度为 60 km,覆盖范围约为 3600 km<sup>2</sup>,全色波段影像的空间分辨率为 2.5 m。制图标准:比例尺 1 : 10000,按照 2 mm 的上图标准,相当于 20



m 的实际长度,提取成图的最小长度为 8 个像元。中巴卫星影像(CBERS-02B 星 HR 卫星影像)空间分辨率为 2.36 m。制图标准:比例尺 1:10000,提取的最小长度约为 8 个像元。SPOT5 影像与 CBERS-02B 星 HR 卫星影像分别与 Landsat TM 影像进行影像之间配准处理,使误差(root mean square)在 0.5 个像元以内(即<15 m)。

所有遥感影像均采用 Albers 正轴等面积双标准纬线割圆锥投影。

### 1.3 农田防护林长度的估算方法

**1.3.1 东北区和华北区直接监测法** 东北区和华北区的农田分布集中,农田林网密度高,因此,这两个区域利用 ArcGIS 9.3 软件对 2008 年的 Landsat TM 影像进行人机交互目视解译,逐条林带提取林带长度信息,并于 2009 年 7 月到实地核查,正确率达到 95% 以上。

由于 Landsat TM 影像的分辨率 30 m,林带小于 180 m 的无法提取。为了更为准确的估算农田防护林数量信息,本研究利用高分辨率 SPOT5 影像(分辨率为 2.5 m)提取的结果对 Landsat TM 影像(分辨率为 30 m)提取的结果进行校正。选取一景 SPOT5 影像,与 Landsat TM 影像进行叠加,按随机取样方法建立 Landsat TM 影像解译结果与 SPOT5 解译结果的校正关系,以此作为东北和华北农田防护林面积校正的经验公式,具体校正方法如下:(1)以一景 SPOT5 影像覆盖的区域为典型区,利用人机交互目视解译方法形成基于 SPOT5 高分辨率影像的林带长度信息;(2)根据典型区范围,提取相同范围内 Landsat TM 影像的林带长度信息;(3)对典型区进行均匀划分,形成样地。提取每个样地基于 SPOT5 和 Landsat TM 林带信息的结果;(4)随机选取 80% 的样地数据,建立 SPOT5 和 Landsat TM 回归关系,校正 Landsat TM 影像解译的东北区和华北区林带长度信息;(5)利用剩余 20% 的样地数据,对校正结果进行验证。

**1.3.2 蒙新区和黄土高原区间接估算法** 蒙新区和黄土高原区的农田防护林主要集中在河西走廊,新疆绿洲区域,汾渭平原以及河套地区(均为有水源的区域)。这些区域分布比较分散,面积较大,利用 Landsat TM 提取农田防护林对时相要求较高,在此区域范围内符合要求的影像较少。此外,蒙新区和黄土高原区林带较为稀疏,未形成大规模的林网型,林带的行数相对较小,在 Landsat TM 影像反应

困难,所以蒙新区和黄土高原区不能满足直接提取林带的条件。然而,这两个区域的林带均分布在河流冲积平原的农田或绿洲农田上,该类型的农田在 Landsat TM 影像上的色泽和纹理较为清晰。因此,本研究利用 Landsat TM 提取此类型农田(即色泽和纹理较为清晰、分布于河流冲积平原或绿洲的农田),并把这类农田定义为“有林带农田”。在确定“有林带农田”时,除了利用 Landsat TM 影像的色泽和纹理辨别外,还利用了该区 Google Earth 提供的高清影像以及相关的文献和文件说明辅助。蒙新区和黄土高原区间接估算法首先通过利用 Landsat TM 监测蒙新区和黄土高原区的“有林带农田”数量,然后采用高分辨率影像“抽样”的方法确定林带的长度关系式,进而估算林带数量信息。具体步骤如下:(1)确定典型区域面积,随机选取 Landsat TM 影像中有林带农田,并确定其面积;(2)在该农田范围内利用高分辨率 CBERS-02B 星 HR 全色影像(分辨率为 2.36 m),通过人机交互目视解译方法提取林带长度信息(提取长度大于 8 像元的带状防护林);(3)对典型区域进行样地划分,为了统计方便,选择样地大小为 10000 m×10000 m(即 100 km<sup>2</sup>)。提取每个样地林带长度(基于 CBERS-02B 星 HR)和有林带农田面积(基于 Landsat 影像);(4)随机选取 80% 的样地数据,建立有林带农田面积(基于 Landsat TM 影像)与林带长度(基于 CBERS-02B 星 HR 全色影像)的回归关系;(5)利用 Landsat TM 影像提取蒙新区和黄土高原区有林带农田的面积;(6)根据有林带农田的面积((5)的结果)及回归关系式((4)的结果),估算蒙新区和黄土高原区林带的长度;(7)利用剩余的 20% 的样地数据,对估算结果进行验证。

**1.3.3 校正/估算方法的验证** 为了说明校正估算方法的正确性和数据的精度,在不同研究区利用随机预留的 20% 样区数据进行精度验证。方法采用均方根的变形,公式如下(1):

$$Pre = 1 - \frac{(\sum_{i=1}^n (x_{p,i} - x_{o,i})^2 / n)^{0.5}}{x_o} \times 100\% \quad (1)$$

式中,Pre 为精度(%),i 为第 i 个样区,n 为样区数量, $x_{p,i}$  为第 i 个样区中基于 Landsat TM 相关数据估算得到的林带长度(m), $x_{o,i}$  为基于 SPOT5/CBERS-02B 影像直接解译的林带长度(m), $\bar{x}_o$  为基于

SPOT5/CBERS-02B 影像的各样区林带长度的平均值。*Pre* 值越大说明校正/估算方法越精确,也反映校正/估算后防护林长度的精确性。

1.4 农田防护林面积的估算方法

由于遥感影像分辨率的限制,仅能提取林带长度。为了获得各区农田防护林的面积,各区林带的平均宽度便成为计算农田防护林面积的关键。本研究通过典型区调查法以及相关的研究成果来确定林带宽度,结合遥感监测的林带的长度信息确定三北地区农田防护林的面积。

2 结果与分析

2.1 东北区和华北区 SPOT5 与 Landsat TM 校正回归关系

为了建立 SPOT5 和 Landsat TM 在林带长度监测的校正转换回归关系,选取的典型区是一景 SPOT5 影像,行政区划上包括吉林省农安县、德惠县、九台市部分地区。将典型区平均分为 100 个样地(图 2),样地的面积为 5109 hm<sup>2</sup>,除去无林地和极少林地分布的样地区(13 个),以及异常样地(9 个),得到有效样本数为 78 个。利用 80% 的样地信息(62 个),建立 SPOT5 和 Landsat TM 在林带长度解译的回归关系(图 3a,公式 2):

$$L_{SPOT} = 1.5002L_{TM} (R^2 = 0.68, P < 0.001) \quad (2)$$

式中,*L<sub>TM</sub>* 为 TM 影像解译林带长度(单位:m),*L<sub>SPOT</sub>* 为 SPOT5 影像解译林带长度(单位:m)。

利用剩余的 20% 的样地数据(16 个),对校正回归关系式进行验证(图 3b),结果精度*Pre*值(公

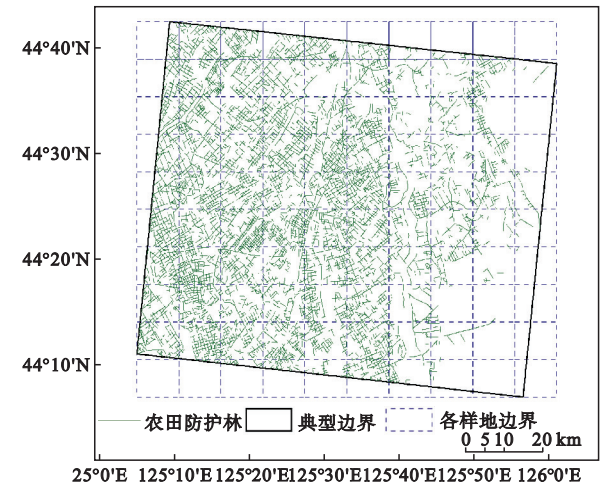


图 2 东北、华北典型区农田防护林样地分布示意图  
Fig. 2 Distribution of sample plots for farmland shelterbelt in the typical region of the Northeast and the North China

式 1) 为 79.27%。

2.2 蒙新区和黄土高原区林带的长度与有林带农田的面积回归关系

本文选择的样地有敦煌市、安西县、酒泉市、肃南裕固族自治县、高台县、永昌县、民勤县、武威市 8 个县市的局部区域作为典型区。样地大小取 10000 m×10000 m,即 100 km<sup>2</sup>(图 4),得到有效样本数为 38 个,利用 80% 的样地数据(30 个)建立了蒙新区和黄土高原区的有林带农田面积(基于 Landsat TM 影像提取)与林带长度(基于 CBERS-02B 星 HR 全色影像提取)的回归关系(图 5a,公式 3):

$$L_{CB} = 0.00954A_{farm}, (R^2 = 0.89, P < 0.001) \quad (3)$$

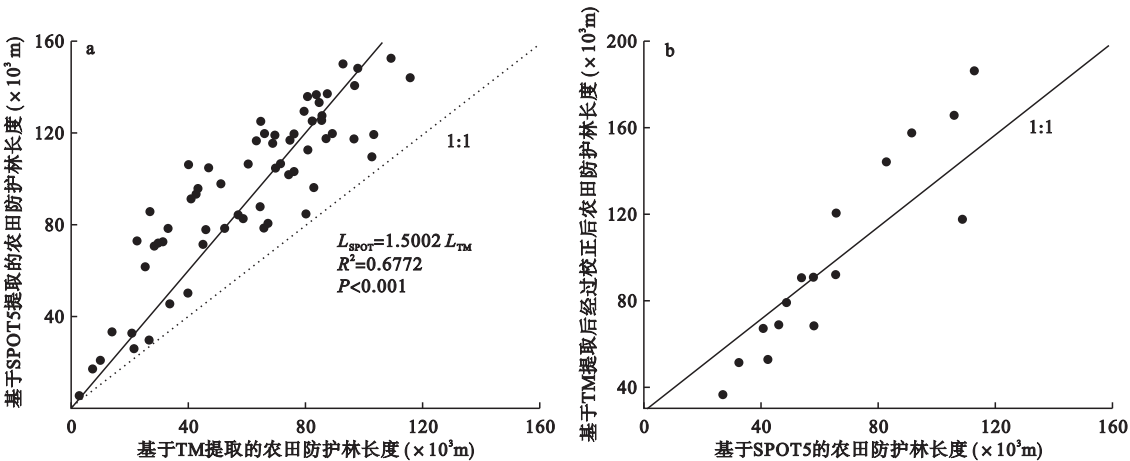


图 3 典型区基于 SPOT5 和 Landsat TM 的农田防护林长度回归关系(a)以及结果验证散点图(b)  
Fig. 3 Regression relationship between farmland shelterbelt length from SPOT5 and from Landsat TM, and the scatter diagram for the shelter length between derived from SPOT5 and from the estimated values using the corrected regression method in the typical region of the Northeast and the North China

式中, $L_{CB}$ 为中巴卫星影像解译林带长度(m), $A_{farm}$ 为 Landsat TM 影像解译有林带农田的面积( $m^2$ )。

利用剩余的 20% 的样地数据(8 个),对估算关系式进行验证(图 5b),结果为:精度 Pre 值(公式 1)为 99.80%。

2.3 东北、华北地区农田防护林长度

基于 Landsat TM 影像,利用人机交互目视解译方法,形成东北、华北区农田防护林分布图(图 6)。

经过 Landsat TM 与 SPOT5 的校正回归公式(2)校正,农田防护林结果为:东北地区农田防护林的长度为  $23.82 \times 10^7$  m,其中,黑龙江和吉林的农田防护林分别占东北区农田防护林的 41.69% 和 33.07%。华北地区农田防护林的长度约为  $6.07 \times 10^7$  m,其中河北占 54.65%(表 1)。

2.4 蒙新、黄土高原区农田防护林长度结果

利用 Landsat TM 影像,采用目视解译方法提取

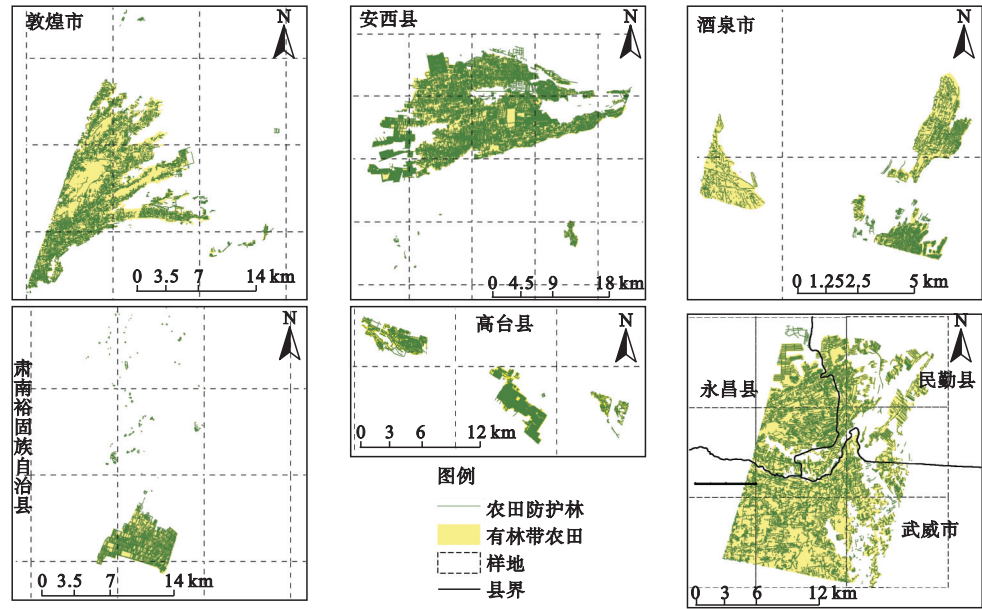


图 4 蒙新和黄土高原典型区有林带农田面积 (Landsat TM) 和农田防护林长度 (CBERS-02B HR) 样地分布示意图  
Fig. 4 Distribution of sample plots for farmland with shelterbelt (Landsat TM) and farmland shelterbelt (CBERS-02B HR) in typical regions for the Northwest and the Loess Plateau, China

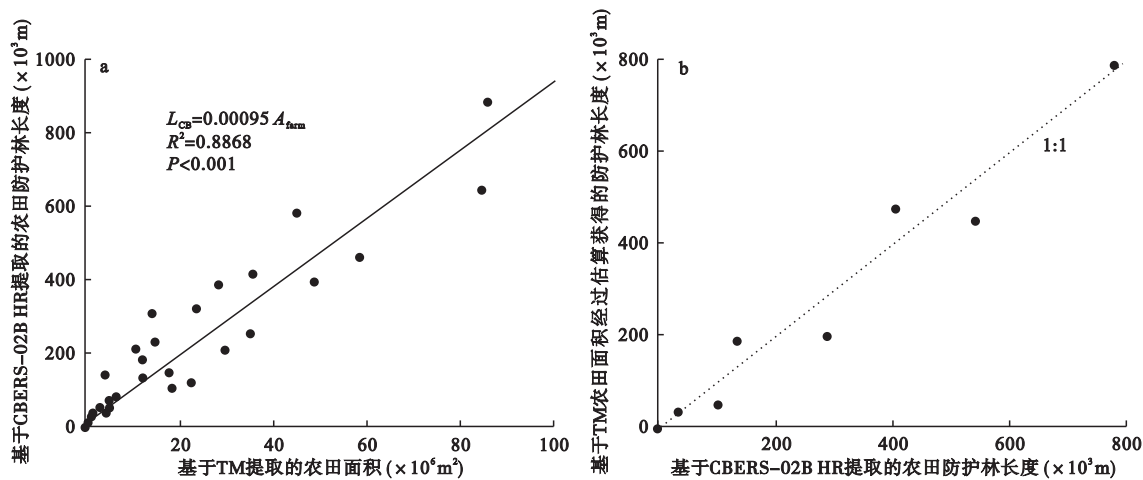


图 5 蒙新和黄土高原典型区有林带农田的面积(基于 Landsat TM 提取)与林带的长度(基于 CBERS-02B HR 提取)回归关系(a)和结果验证散点图(b)  
Fig. 5 Regression relationship between the area of farmland with shelterbelt (based on Landsat TM) and the length of shelterbelt (based on CBERS-02B HR), and the scatter diagram between the shelter length derived from CBERS-02B HR and from Landsat TM in typical regions of the Northwest and the Loess Plateau, China



蒙新区和黄土高原区有林带农田区域(图7)。利用公式(3)估算各区域农田防护林长度信息,结果表明:黄土高原区的农田防护林长度为 $25.58\times10^7$  m,蒙新地区的农田防护林长度为 $50.93\times10^7$  m。以省份而言,新疆的农田防护林最多,为 $31.47\times10^7$  m(表1)。

2.5 三北农田防护林面积

2.5.1 东北区 对东北地区林带的宽度进行随机抽样调查,共调查林带105条,基本包括两种形式:纯农田型和林路/林渠结合型(两者比例为6:4),纯农田型林带行数为3~6行(取平均4.5行),林路/林渠结合型林带行数为6~12行(取平均值9行);两种类型林带的株行距80%为2.0 m×2.0 m~2.5 m×2.5 m(取平均值2.25 m);林带两侧多有1~2行灌木(取平均值1.5行),灌木密度为1.0 m×1.0 m;两种类型林带两侧各1.5 m为林带用地;因此,确定林带平均宽度为纯农田型14 m( $3.5\times2.25+1.0\times1.5\times2+1.5\times2\approx14$  m),林路/林渠结合型24 m( $2.25\times8+1.0\times1.5\times2+1.5\times2=24$  m),最后权重得到林带的平均宽度为18 m( $14\times0.6+24\times0.4=18$  m)。

2.5.2 华北区 华北地区实地调查和研究成果(张均营等,1994;崔淑军,2006;王恭档等,2008)表明,华北地区林带的分布与东北区具有相似性,因此,采用东北区的调查数据,林带平均宽度值取18 m。

2.5.3 黄土高原和蒙新地区 黄土高原和蒙新区野外调查和相关的研究成果(赵文俊等,2000;刘平和孙清江,2001;郭学斌,2002;封斌等,2005)表明,

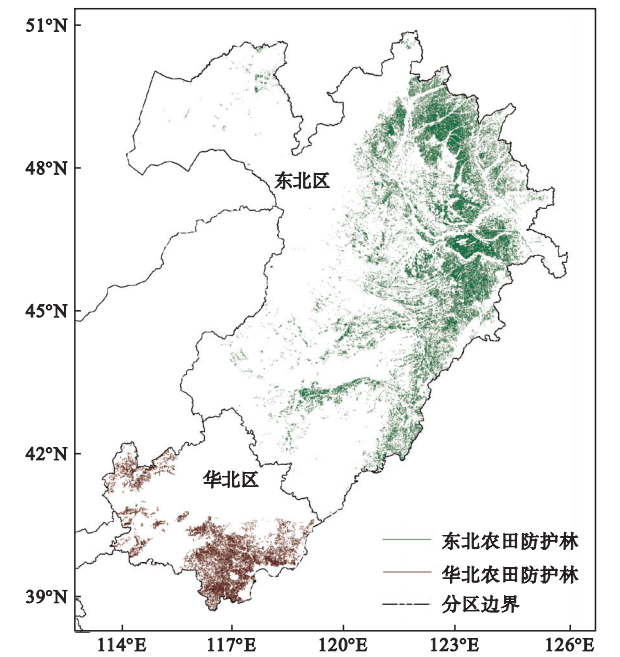


图6 基于Landsat TM影像的东北、华北地区农田防护林分布图  
Fig.6 The distribution of the farmland shelterbelt in the Northeast and North China based on Landsat TM

林带行数大多数集中在2~4行(取平均值3行);林带的株行距2.0 m×2.0 m~2.5 m×2.5 m(取平均值2.25 m);林带两侧多有1行灌木,灌木密度为1.0 m×1.0 m~1.5 m×1.5 m(取平均值1.25 m);林带两侧各1.5 m的林缘宽度。因此林带宽度平均值为10.0 m( $2.25\times2+1.25\times2+1.5\times2=10$  m)。

综上所述,本研究确定2008年三北地区内农田防护林面积约为 $42.88\times10^4$  hm<sup>2</sup>(东北区)+ $10.92\times$

表1 东北、华北地区基于TM影像解译和SPOT5校正后的农田防护林长度,以及黄土高原、蒙新区有林带农田面积(基于TM影像)及其对应的农田防护林长度(基于CBERS-02B关系式)  
Table 1 Length of farmland shelterbelt based on TM and SPOT5 corrected in Northeast and North China, and the area of farmland with shelterbelt (based on TM) and the length of farmland shelterbelt (based on the CBERS-02B regression equation) in Loess Plateau and Northwest China

区域	省份	TM 解译的林带长度 (10 <sup>4</sup> m)	基于 SPOT5 校正的林带长度 (10 <sup>4</sup> m)	区域	省份	TM 解译的有林带农田的面积 (hm <sup>2</sup> )	基于 CBERS-02B 回归关系的林带长度(10 <sup>4</sup> m)
东北区	黑龙江	6619.95	9931.45	黄土高原区	内蒙古	413659.28	3929.76
	吉林	5251.17	7877.96		陕西	936824.70	8899.83
	辽宁	1310.95	1966.73		山西	559923.49	5319.27
	内蒙古	2696.34	4045.13		宁夏	531197.33	5046.37
	合计	15878.42	23821.27		青海	250520.60	2379.95
华北区	北京	525.68	788.64	蒙新区	合计	2692125.39	25575.19
	天津	1308.21	1962.62		内蒙古	793966.88	7542.69
	河北	2210.20	3315.81		新疆	3312873.12	31472.29
	合计	4044.08	6067.07		甘肃	1139563.76	10825.86
					青海	115020.81	1092.70
					合计	5361424.57	50933.53

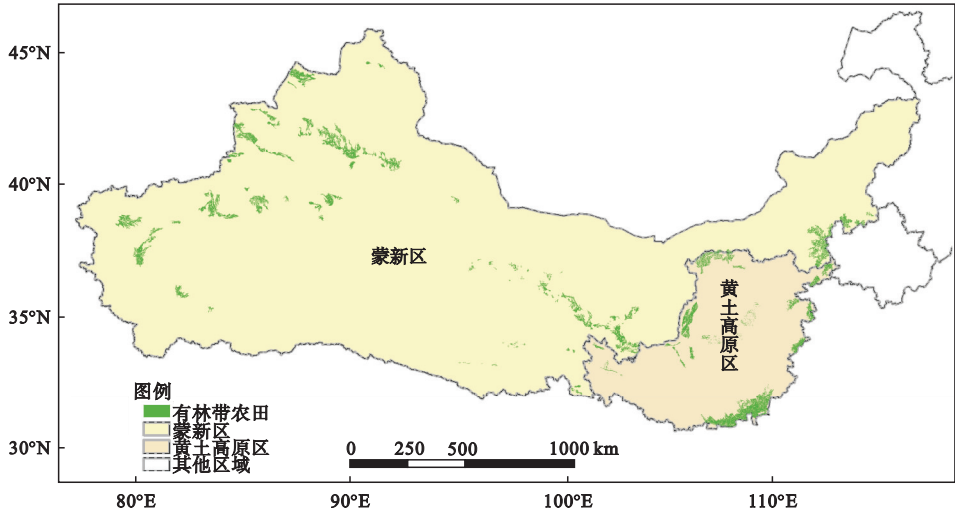


图 7 基于 Landsat TM 影像的蒙新区和黄土高原区有林带农田的分布图  
Fig. 7 Distribution of farmland with shelterbelt in Northwest China and Loess Plateau based on Landsat TM images

$10^4 \text{ hm}^2$  (华北区) +  $25.58 \times 10^4 \text{ hm}^2$  (黄土高原区) +  $50.93 \times 10^4 \text{ hm}^2$  (蒙新区) =  $130.31 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

3 讨 论

3.1 遥感监测农田防护林长度引起的误差

3.1.1 遥感影像的局限性造成部分林带缺失引起的误差 第一,为了区分林带和周围农田,本研究使用 TM 影像的月份是 5 月上旬和 10 月中上旬。新造林或林龄低于 2 年的林带由于冠层未达到闭合状态,此部分林带即使在 5 月上旬和 10 月中上旬在遥感影像上也无法与周围农田区分;第二,通过校正/估算后提取的最小长度约为 8 个像元(基于 SPOT5/CBERS-02B 影像),约为 20 m。在高分辨率遥感影像中长度小于 20 m 的残次林带也不能解译出来。因此,本研究农田防护林监测的对象是:中龄林、成熟林、过熟林;不包括新造林、未成林及部分残次林。

3.1.2 林带长度估算过程中存在的误差 首先,农田防护林提取是利用专家目视解译的方法,尽管此方法被认为是目前较为准确(Zheng *et al.*, 2012),且实地考察正确率达到了 95% 以上,然而与真值仍有一定的差距;其次,在校正/估算计算过程中,由于高分辨率遥感影像与地面调查的缺乏,如何利用多尺度遥感影像准确获取三北地区的农田防护林信息成为了难点。华北区和东北区在农田防护林的经营方式、林带空间分布和宽度等方面具有很高的相似性,因此,华北区采用东北地区的估算方法。而黄土高原区的农田防护林与蒙新区的农田防护林尽管有较大的差异,但就整个三北的农田防护林而言,黄土

高原与蒙新区极为相似,表现为林带的分布区比较分散,林带行数较少,因此黄土高原采用蒙新区的估算方法;最后,在校正/估算计算结果中,校正/估算方程的平均  $R^2$  为 0.77,平均精度为 89.54%,其中,东北和华北区的校正方程的  $R^2$  为 0.65,精度为 79.27%;蒙新和黄土高原地区的估算方程的  $R^2$  为 0.89,精度为 99.8%,与真值存在一定差距。

3.2 农田防护林宽度引起的误差

由于遥感影像分辨率的局限性造成不能直接提取农田防护林的宽度,如果对三北地区的每一条林带的宽度全部进行实地调查,无论人力还是财力都难以完成,因此采用典型区实地调查以及相关的文献获得林带平均宽度。本研究对各区设定了不同的平均林带宽度来估算农田防护林面积,这是引起农田防护林面积误差的最大来源。假如各区的平均林带宽度稍微发生变化,农田防护林的面积就会出现较大的差异。根据相关文献和实际调查,东北、华北区形成了完整的农田林网,其林带宽度较大,误差约在  $\pm 1$  行之间(2.25 m),黄土和蒙新区未形成类似于东北-华北区完整农田林网,其宽度较小,林带宽度误差约  $\pm 0.5$  行(1.125 m)。取  $\pm 1$  行作为东北、华北区平均林带宽度的范围值,  $\pm 0.5$  行作为黄土高原、蒙新区的平均林带宽度的范围值,可以得到各区农田防护林面积的范围,结果为:东北区  $37.52 \times 10^4 \sim 48.24 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ;华北地区为  $9.56 \times 10^4 \sim 12.29 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ;黄土高原区为  $22.70 \times 10^4 \sim 28.45 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ;蒙新区为  $45.20 \times 10^4 \sim 56.66 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ;三北地区的农田防护林面积合计为  $114.98 \times 10^4 \sim$



145.64×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>。以上农田防护林面积的范围为以后三北地区农田防护林的相关研究提供参考。

尽管存在以上误差,但这些误差对于研究结果没有实质影响,并且本文的方法对于在大、中区域尺度获取基础数据提供了重要参考,为未来防护林的进一步研究提供了基础。

**致谢** 参加本文遥感解译的有中国科学院东北地理与农业生态研究所李颖研究员课题组、中国科学院沈阳应用生态研究所朱教君研究员课题组、中国科学院遥感应用研究所吴炳方研究员课题组、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所颜长珍研究员课题组的研究人员,特此致谢!

## 参考文献

- 曹新孙. 1983. 农田防护林学. 北京: 中国林业出版社.
- 崔淑军. 2006. 围场农田防护林体系现状及建设对策. 防护林科技, (增刊): 82-83.
- 邓荣鑫, 李 颖, 张树文, 等. 2010. 农田防护林经营阶段的遥感识别方法. 农业工程学报, **26**(增刊2): 64-68.
- 邓荣鑫, 李 颖, 张树文, 等. 2011. 基于 TM 影像的农田防护林信息提取研究. 农业系统科学与综合研究, **27**(1): 12-16.
- 丁松爽, 苏培玺. 2009. 河西走廊绿洲农田防护林对玉米光合特性及产量的影响. 应用生态学报, **25**(5): 1066-1071.
- 范志平, 曾德慧, 朱教君, 等. 2002. 农田防护林生态作用特征研究. 水土保持学报, **16**(4): 130-133, 140.
- 封 斌, 高保山, 麻保林, 等. 2005. 陕北榆林风沙区农田防护林结构配置与效益研究. 西北林学院学报, **20**(1): 118-124.
- 郭学斌. 2002. 山西北部农田防护林的防风功能及结构研究. 林业科学, **13**(3): 217-220, 251.
- 姜凤岐, 于占源, 曾德慧, 等. 2009. 三北防护林呼唤生态文明. 生态学杂志, **28**(9): 1673-1678.
- 梁宝君. 2007. 三北农田防护林建设与更新改造. 北京: 中国林业出版社.
- 梁万君, 王福维, 林玉梅, 等. 2008. 吉林省农田防护林网中杨树、玉米、大豆及秸秆利用经济效益分析. 生态学杂志, **27**(6): 1043-1046.
- 林业部西北华北东北防护林建设局. 1993. 中国三北防护林体系建设总体规划方案. 银川: 宁夏人民出版社.
- 刘 平, 孙清江. 2001. 新疆平原人工林造林面积计算技术标准研制. 新疆农业大学学报, **24**(2): 49-53.
- 罗格平, 周成虎, 陈 曦. 2003. 干旱区绿洲土地利用与覆被变化过程. 地理学报, **58**(1): 63-72.
- 王恭档, 王俊山, 刘晓杰, 等. 2008. 廊坊市农田防护林效益分析. 林业实用技术, (6): 2.
- 徐 鹏, 邹春静, 李苗苗, 等. 2012. 吉林省农安地区农田防护林生态经济效益分析. 现代农业科技, (1): 204-205, 209.
- 张均营, 吴炳奇, 李春阳. 1994. 从生态型向生态经济型的过渡: 论华北半干旱地区农田防护林的过去、现在和未来. 河北林业科技, (2): 47-50.
- 赵文俊, 赵鲁平, 孟宪虹. 2000. 河西地区农田防护林建设现状及发展对策. 甘肃林业科技, **25**(2): 59-62.
- 朱教君, 姜凤岐, 范志平, 等. 2003. 林带空间配置与布局优化研究. 应用生态学报, **14**(8): 1205-1212.
- 朱金兆, 贺康宁, 魏天兴. 2010. 农田防护林学. 北京: 中国林业出版社.
- Wang HJ, Zhou H. 2003. A simulation study on the eco-environmental effects of 3N Shelterbelt in North China. *Global and Planetary Change*, **37**: 231-246.
- Zheng X, Zhu JJ, Yan QL, et al. 2012. Effects of land use changes on the groundwater table and the decline of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantations in southern Horqin Sandy Land, Northeast China. *Agricultural Water Management*, **109**: 94-106.

**作者简介** 郑 晓,女,1982年生,博士研究生,主要从事遥感与生态相结合的森林生态、防护林工程研究。E-mail: zhengxiao303@163.com

**责任编辑** 李凤芹