



三北防护林体系建设水资源承载能力研究

三北防护林体系建设水资源承载能力研究立足于服务国家三北工程建设战略需求，针对影响防护林布局和建设进程的重要自然要素——水资源，揭示三北地区水资源时空格局和三北工程区水资源承载能力，探索不同类型区域水资源与林带优化配置对策，为国家部署三北防护林五期工程及其可持续发展提供科学依据。

一、我国三北地区水资源时空格局

三北地区作为三北防护林工程区的大背景区域，其水资源时空变化必然对工程区的水资源格局及其承载能力产生重大影响，因此，有必要对整个三北地区的水资源时空格局进行总体分析。

（一）三北地区水资源现状格局

1. 水资源总量分布格局

1998～2007年三北地区多年平均水资源总量为4190.1亿立方米，约占全国总量的14.9%；1998～2007年三北地区多年平均地表水资源量3607.8亿立方米，地下水资源量2061.6亿立方米，分别约占全国的14.1%、25.5%。总体而言，水资源条件总体较差。

2007年，三北地区水资源总量为3795.2亿立方米，地表水资源量为3246.7亿立方米，地下水资源量为1733.4亿立方米，人均水资源量637.84立方米，仅为全国平均水平的1/3，每平方千米国土面积上的水资源量9万立方米，约为全国平均水平的1/4，按国际标准，总体属于重度缺水地区（见表2-1）。

表2-1 2007年三北地区水资源统计

区名	水资源总量 (亿立方米)	人口总量 (亿人)	人均水资源量 (立方米/人)	地表水资源量 (亿立方米)	地下水资源量 (亿立方米)
东北区	1100	1.17	940	908	412
华北区	554	3.75	148	302	424
西北区	2142	1.03	2079	2037	897
三北地区	3795.2	5.95	637.84	3247	1733.4
全国	25255	13.2	1916	24243	7617

注：数据来源于《中国水资源公报 2008》。

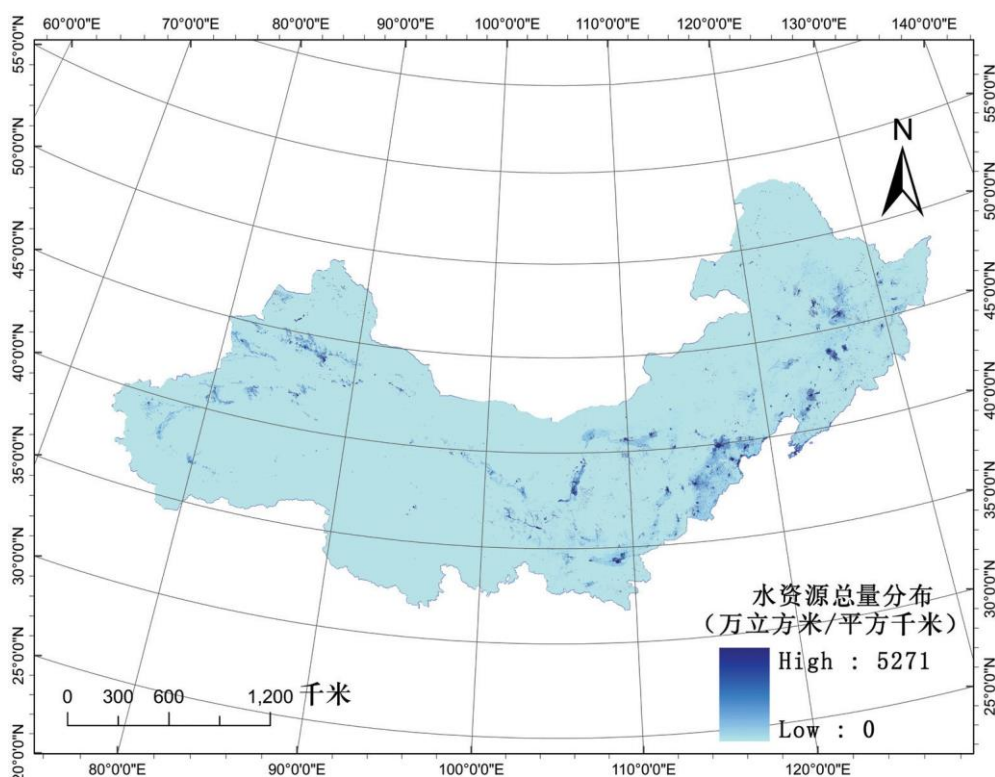


图2-1 三北地区水资源总量分布

三北地区东南部水资源条件总体优于西北部，水资源主要分布在河川径流量大的区域，东北地区松花江、嫩江、黑龙江流域，华北地区海河流域，西北地区黄河流域及塔里木河、疏勒河、黑河、石羊河等内陆河流域中上游，河套平原、宁夏平原，黄土高原区中南部、天山北麓等区域水资源量相对较多。内蒙古高原西部的阿拉善地区、河西走廊以北地区、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、塔克拉玛干沙漠、准噶尔盆地、塔里木盆地、柴达木盆地等区域径流较小，水资源量相对较少（见图 2-1）。

2. 降水量分布格局

三北地区多年平均降水量约为 16 345 亿立方米，约占全国多年平均降水量的 28.3%，是全国降水量偏少的区域。

降水量呈东南部高于西北部、山地高于周围平原，迎风坡高于背风坡，盆地边缘高于盆地中心的总体分布特征。东北华北平原农区南部多年平均降水量为 700 ~ 900 毫米，少数县区多年平均降水量超过 1000 毫米。西北地区阿尔泰山、天山、祁连山、昆仑山、阿尔金山等高大山体截获一部分降水。以阿尔泰山为例，随着海拔升高，降水量逐渐增加。海拔 1000 米以下年降水量为 250 毫米左右；海拔 1000 ~ 1500 米年降水量为 250 ~ 350 毫米；海拔 1500 米以上年降水量为 350 ~ 500 毫米。塔里木盆地南缘和北缘年降水量 50 ~ 70 毫米，西缘和东缘年降水量 20 ~ 50 毫米，盆地中心不到 20 毫米；柴达木盆地年降水量 50 毫米以下；

罗布泊洼地以南库姆达格沙漠，年降水量仅 10 毫米；吐鲁番盆地的托克逊地区多年平均降水量只有 4 毫米（见图 2-2）。

根据三北地区多年平均降水量等值线图将全区划分为 3 个降水带（见图 2-3）。以 400 毫米多年平均降水量等值线为界的中雨带，分布包括从大兴安岭西麓南下通辽、张北、榆林、兰州至玉树，自东北斜向西南、华北东南部、陕西南部等地区；多年平均降水量 200 ~ 400 毫米的少雨带，包括内蒙古东部的呼伦贝尔高原、锡林郭勒高原、鄂尔多斯东部、银川平原、黄河上游以及祁连山、天山、阿尔泰山山麓地带；多年平均降水量在 200 毫米等值线以下的缺雨带，包括内蒙古高原西部的阿拉善高原、河西走廊、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、塔克拉玛干沙漠、准噶尔盆地、塔里木盆地、柴达木盆地等区域。

新疆北部天山、阿尔泰山山麓地带，东北珲春、延吉地区，陕西省大部分地区多年平均降水量等值线分布密集，即该区域多年来降水区域分布差异很大。

内蒙古呼伦贝尔高原、锡林郭勒高原、鄂尔多斯东部，黑龙江省北部，吉林、辽宁西部，华北东部、银川平原、黄河上游等区域多年平均降水量等值线分布相对较稀疏，即该区域多年来降水区域分布差异较小。

内蒙古阿拉善高原、河西走廊、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、塔克拉玛干沙漠、准噶尔盆地、塔里木盆地、柴达木盆地等区域多年平均降水量等值线分布稀疏，即该区域降水区域分布差异较小。

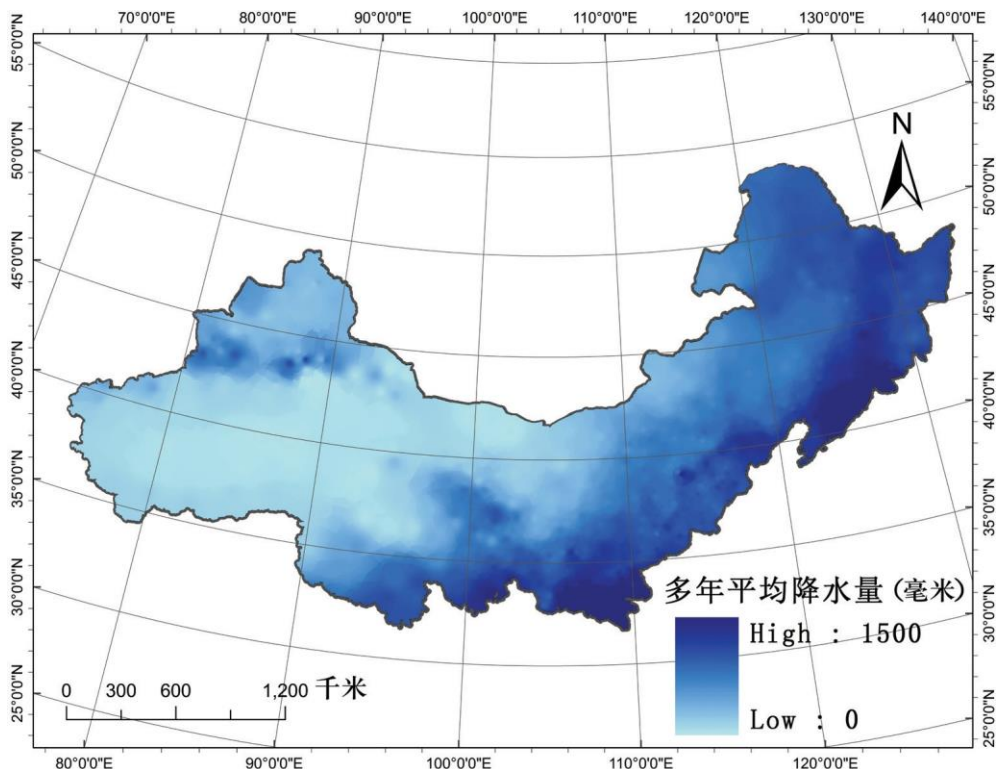


图2-2 近50年三北地区多年平均降水量分布

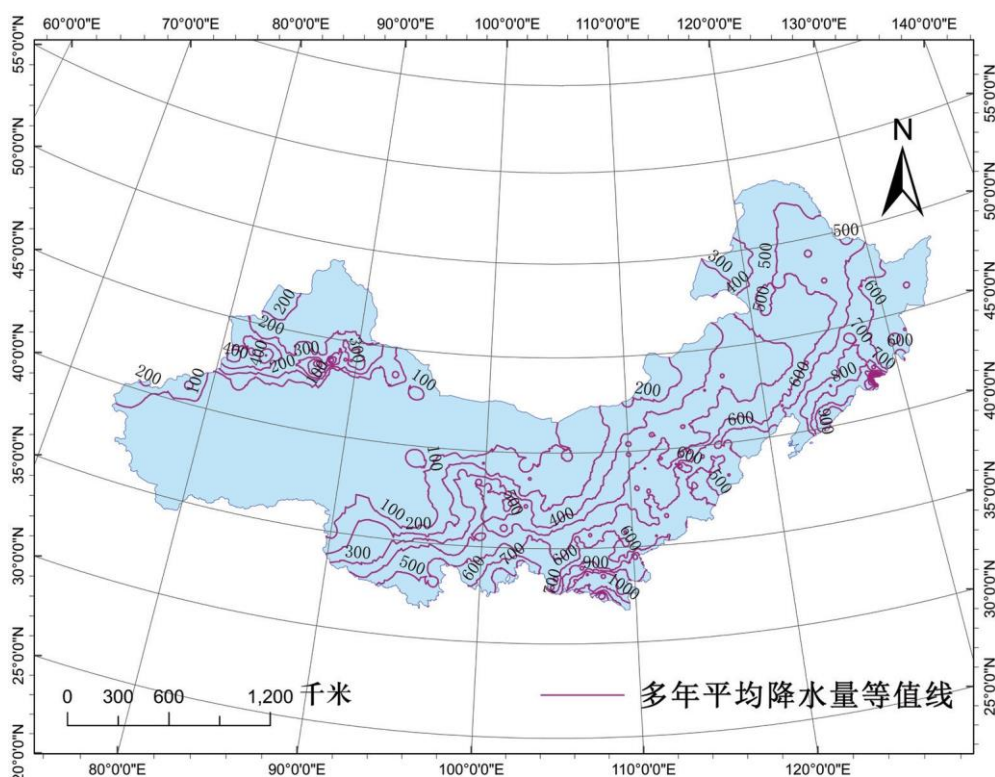


图2-3 三北地区多年平均降水量等值线图

3. 地表水资源分布格局

根据各省统计数据，三北地区地表水资源量分布相对丰裕地区主要在吉林省、辽宁省和陕西省，境内地表水资源量均在 12 万立方米 / 平方千米以上，其中陕西省地表水资源量达 17.15 万立方米 / 平方千米；青海、黑龙江、天津地表水资源量均在 6 万立方米 / 平方千米以上；新疆、甘肃、山西、宁夏、北京地表水资源量偏低，介于 3 万~ 6 万立方米 / 平方千米；内蒙古、河北省地表水资源量均低于 3 万立方米 / 平方千米，属于地表水资源相对贫乏地区（见图 2-4）。

4. 地下水资源分布格局

三北地区地下水资源量丰裕地区主要在北京、陕西、山西、河北、辽宁五省市，境内地下水资源量均在 4.5 万立方米 / 平方千米以上，其中北京地下水资源量超过 10 万立方米 / 平方千米；青海、宁夏、天津、吉林、黑龙江地下水资源量均在 3.8 万立方米 / 平方千米以上；新疆、甘肃、内蒙古地下水资源量均低于 3.5 万立方米 / 平方千米，地下水资源较为贫乏（见图 2-5）。

5. 生活用水分布格局

三北地区生活用水量较高的地区主要在人口密集的区域。东北华北平原农区、沿黄地带、新疆天山北麓等地区城市化水平较高，人口相对集中，生活用水量高于其他区域（见图 2-6）。

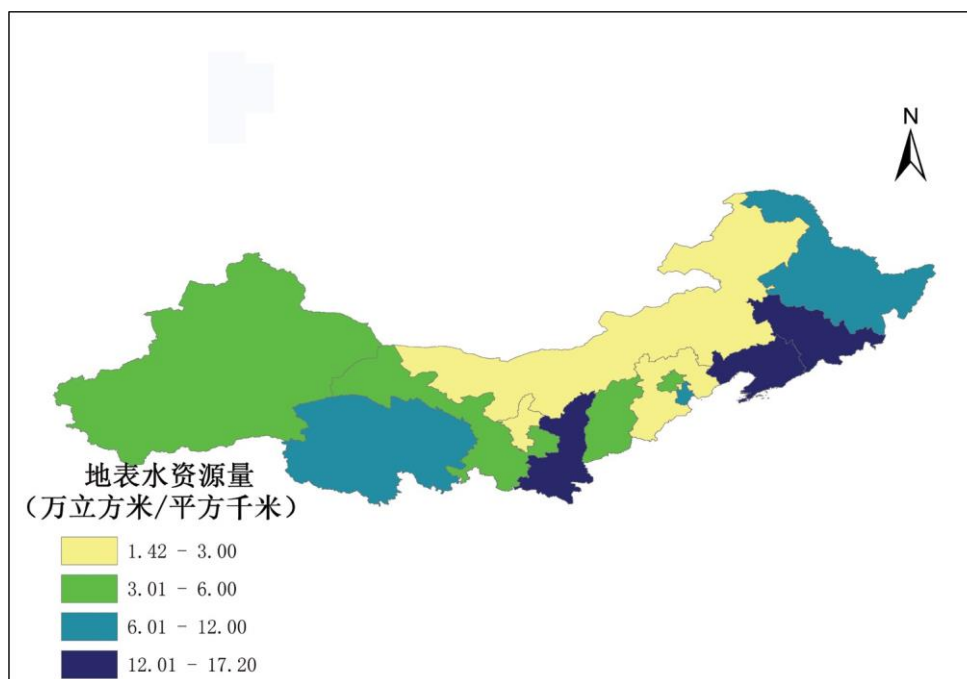


图2-4 三北地区分省地表水资源量分布

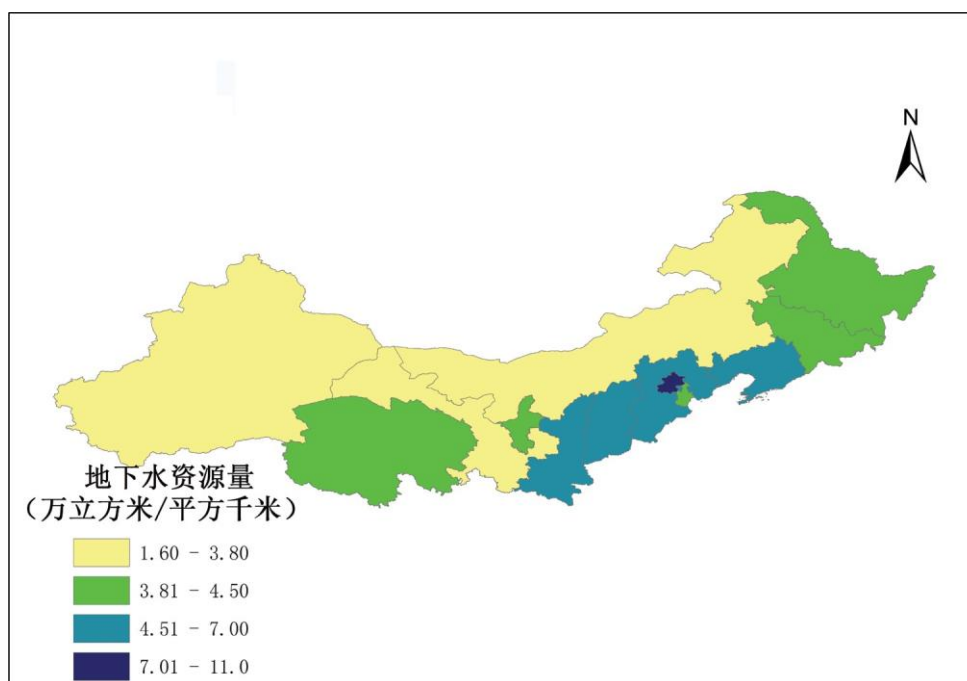


图2-5 三北地区分省地下水资源量分布

6. 工业用水分布格局

三北地区工业用水量分布与工业、城市分布吻合。京津冀都市圈、东北老工业基地、沿黄河城市带和兰新铁路沿线地区工业用水量较大。东北地区是我国重要的老工业基地，工业

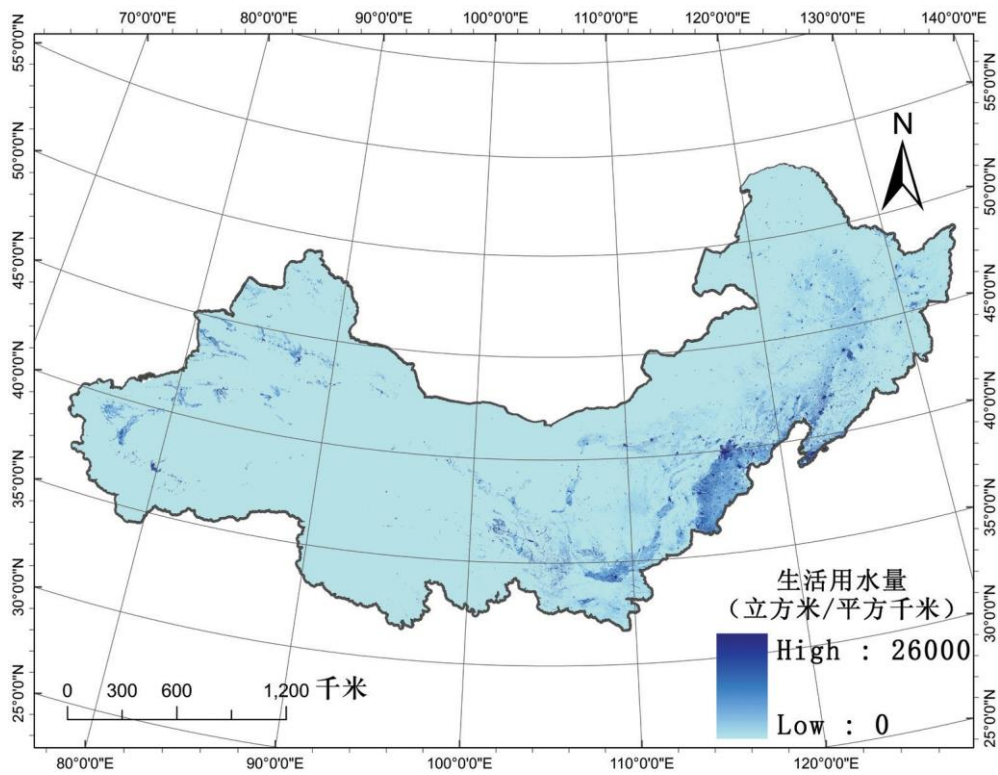


图2-6 三北地区生活用水量分布

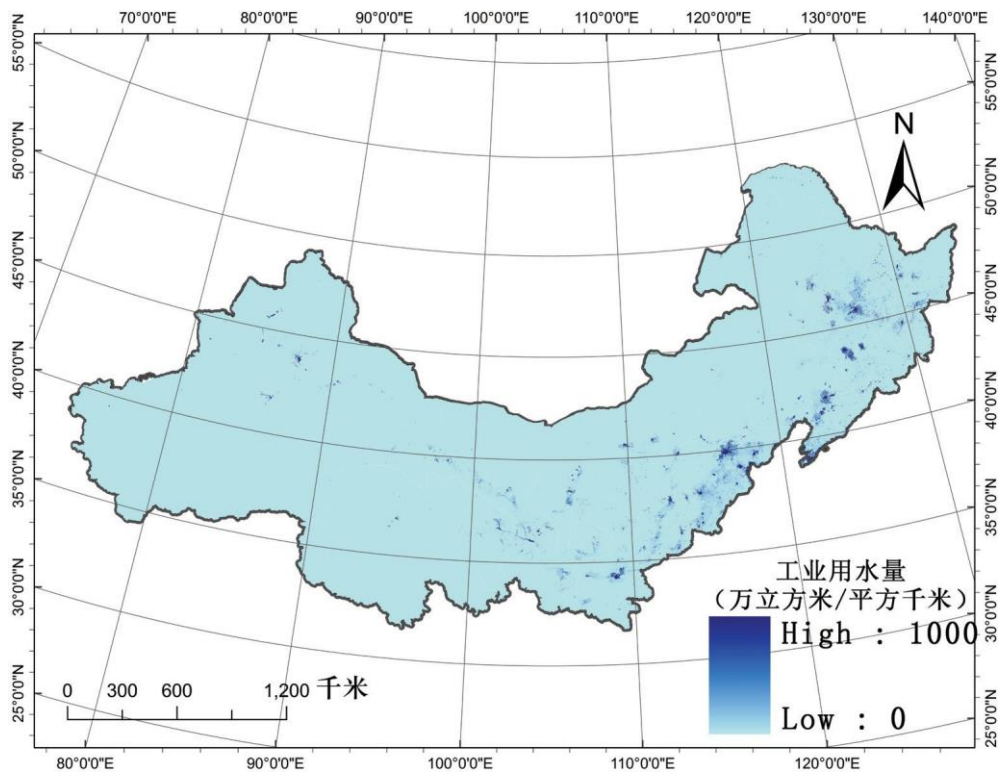


图2-7 三北地区工业用水量分布

化和城市化需水量较大。以北京和天津为代表的京津冀都市圈正步入工业化后期阶段，工业和城市用水量较大。沿黄河城市带和兰新铁路沿线地区是我国西北地区城市最密集、工业最发达的地区，是我国西部开发重点经济带，是西北地区的工业用水集中地。远离城市带和重要交通沿线的边缘地区工业化和城市化水平较低，工业用水量尚小（见图 2-7）。

（二）三北地区水资源演变趋势

1. 水资源总量演变趋势

1998～2007年，三北地区水资源总量呈现总体稳定、偶有波动的演变趋势。1998年，长江流域、松花江流域等地区降水量突增，发生罕见洪水灾害，受其影响，该年相关省区水资源总量显著高于其他年份，属偶然性突变。自1999年以来，水资源总量整体波动不大，除2003、2005两年随降水量的增加，出现了小幅波动以外，整体趋势平缓稳定（见图 2-8）。

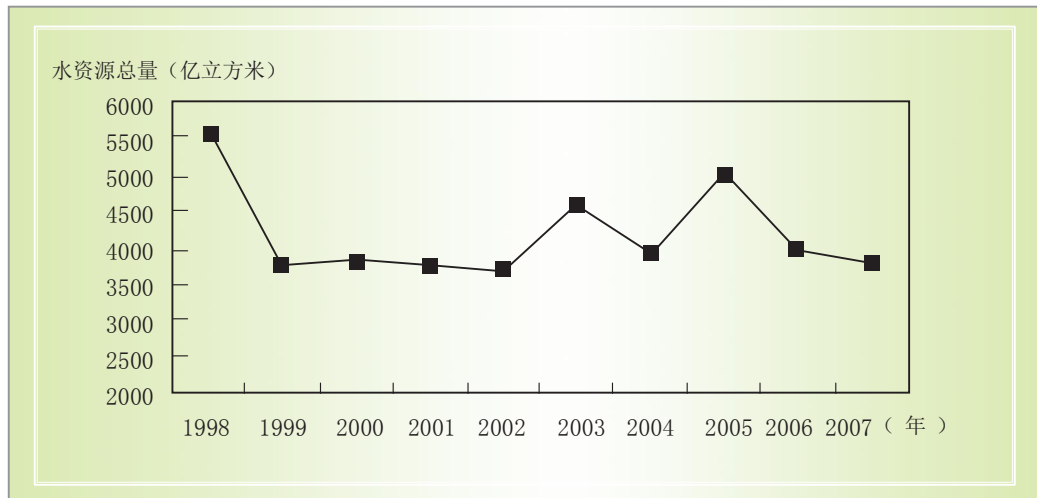


图2-8 三北地区水资源总量变化趋势图

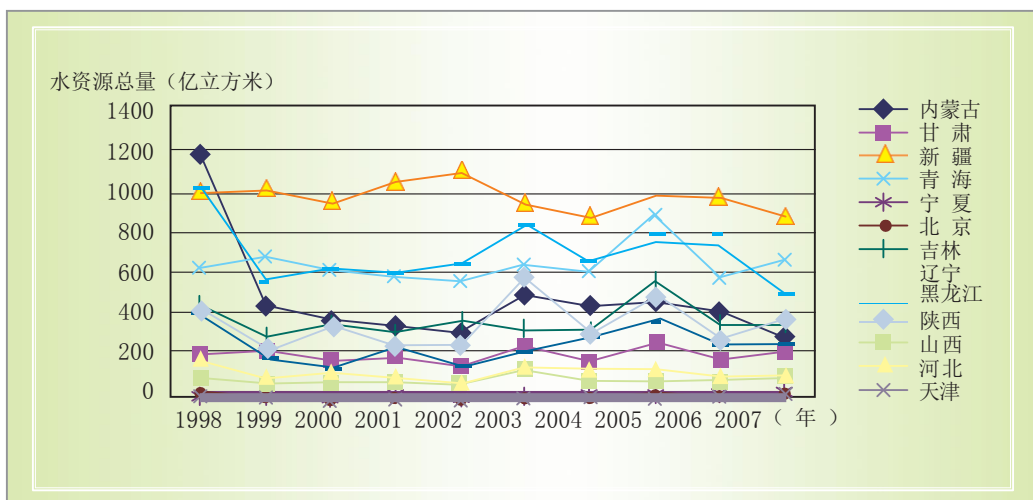


图2-9 三北地区分省水资源总量变化趋势图

分省区数据来看，三北地区各省区自身水资源总量长期趋势不变，偶有波动。至 2007 年，水资源总量减少幅度相对较大的省区是黑龙江、内蒙古，较自身十年平均值减少 192.5 亿立方米、175.7 亿立方米；水资源总量增加幅度相对较大的省区是青海、河北，较十年平均值增加 25.5 亿立方米、22.3 亿立方米，（见图 2-9）。

2. 降水量演变趋势

三北地区降水量变化呈现稳定状态，大体稳定在 15 000 亿立方米左右；降水量与水资源总量变化趋势具有高度的一致性，说明自然降水变化是年度水资源总量变化的主要原因，降水量是最重要的水资源条件评价因子。各省区除个别年份出现较大波动外，总体数据变化不大（见图 2-10，图 2-11）。

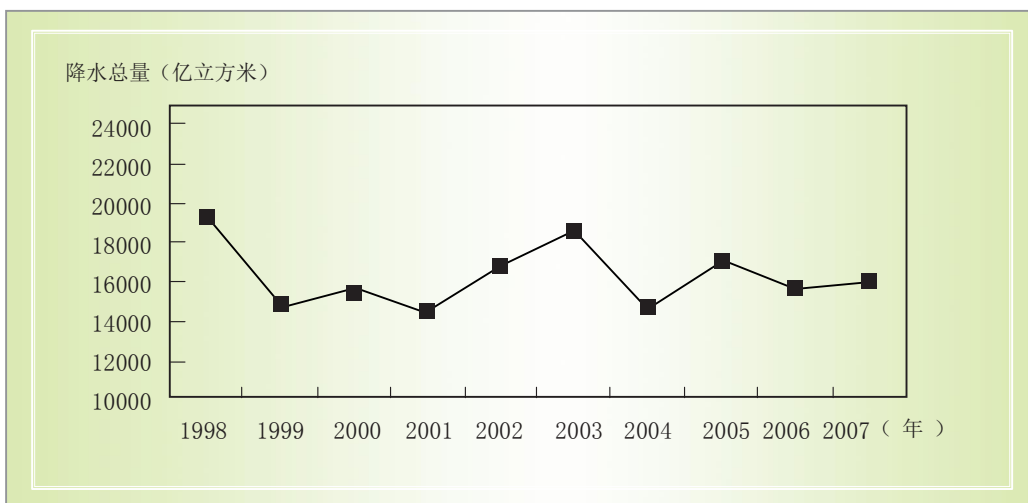


图2-10 三北地区降水总量变化趋势图

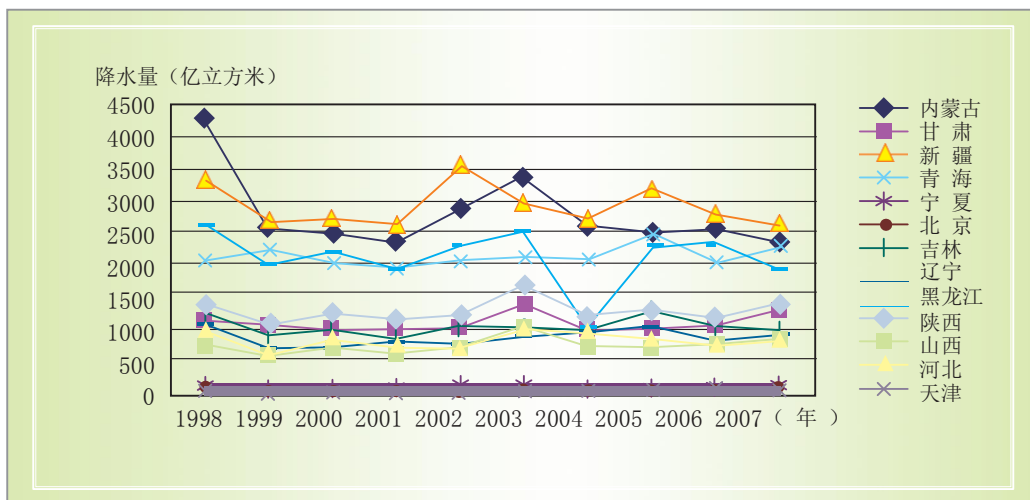


图2-11 各省区降水量变化趋势图

3. 地表水资源量演变趋势

三北地区地表水资源总量与降水量变化趋势基本一致，受降水影响，个别年份地表水资源量出现波动，其他年份较为稳定（见图 2-12）。三北地区各省份地表水资源量也呈大体稳定状态，在总趋势上基本保持不变。仅在 1998 年出现较大增量，在 2003、2005 两年略有小幅波动（见图 2-13）。

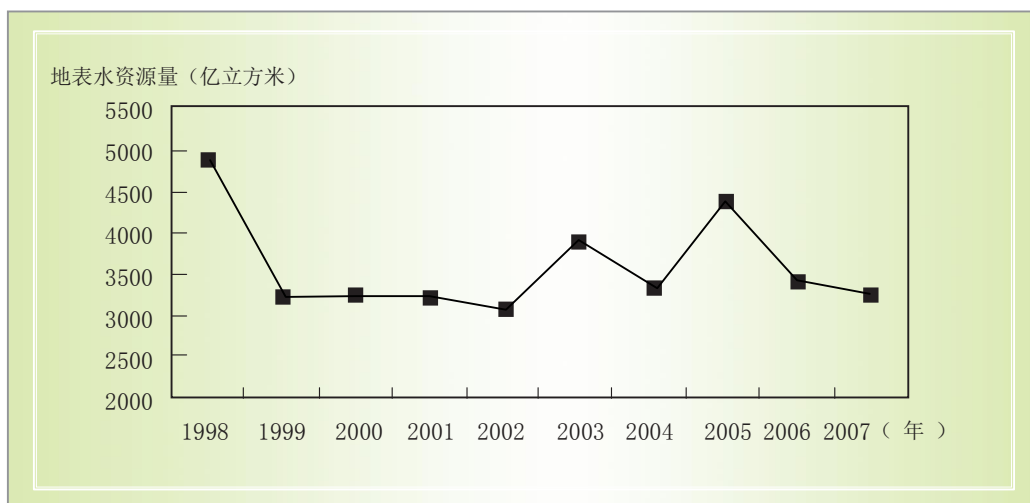


图2-12 三北地区地表水资源总量变化趋势

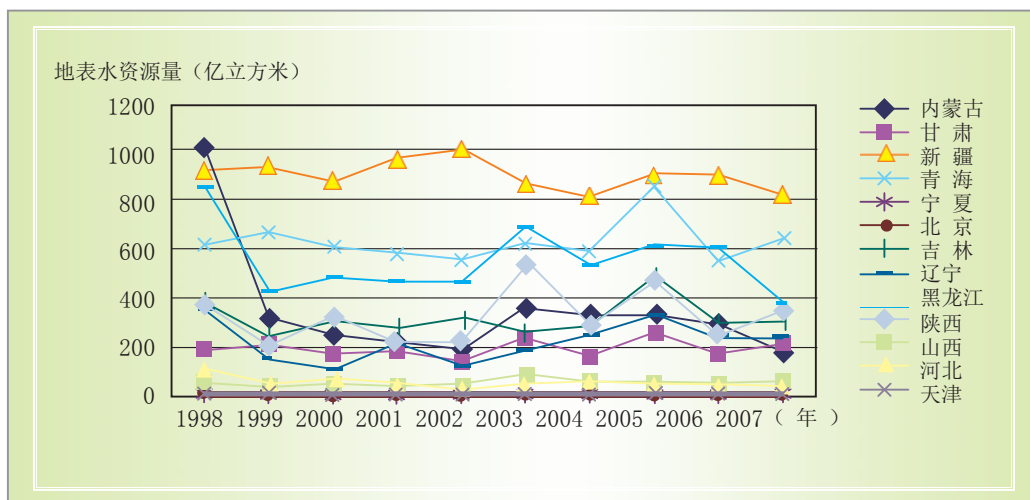


图2-13 三北地区分省地表水资源量变化趋势

4. 地下水资源量演变趋势

三北地区地下水资源总量呈现逐渐下降的基本态势（见图 2-14），这是人为过度开采地下水的结果。在降水较多的年份，地下水资源量有所反弹，说明降水对地下水的补给作用较大，在降水量相对稳定的年份，人为超采地下水必然导致地下水资源量降低。

从各省份来看，新疆、内蒙古等地下水资源量出现明显下降趋势，其中新疆的地下水演

变波动最为明显，这是近年来该地区过度开荒，农业灌溉用水增加所致。天津、甘肃、山西等地下水资源量变化不大（见图 2-15）。

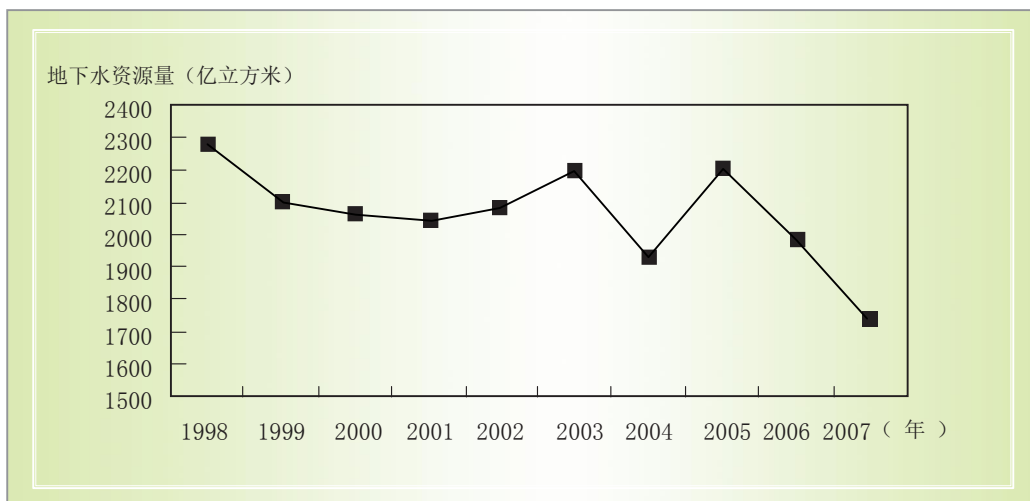


图2-14 三北地区地下水资源总量变化趋势

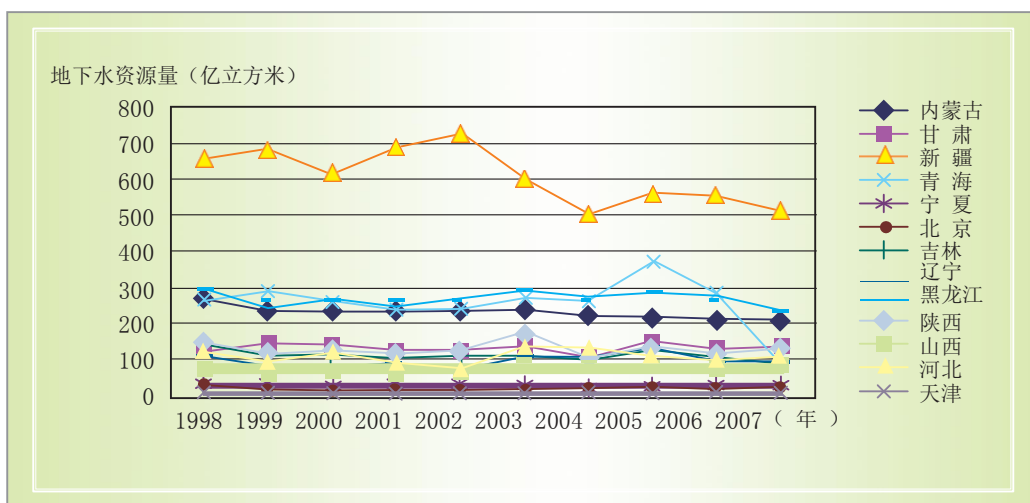


图2-15 三北地区分省地下水资源量变化趋势

5. 用水量演变趋势

(1) 农业用水量

三北地区农业用水总量波动较大，经历了从 1999 ~ 2003 年的下降、2003 ~ 2007 年有所回升的趋势（见图 2-16），整体波动幅度在 150 亿立方米左右。1999 ~ 2003 年的农业用水减少直接得益于退耕还林政策的作用，2003 年以后，农业用水量有所回升，这与部分地区“退耕”政策有所松动，甚至开荒加剧不无关系。农业用水节水潜力较大，在不增加耕地面积条件下，未来农业用水应呈下降趋势。

分省来看，大部分省区保持在每年 200 亿立方米以下的农业用水水平，且基本稳定；新

疆和黑龙江农业用水量最高，且波动较大（见图 2-17）。新疆农业用水近十年来呈现出上升趋势，黑龙江农业用水走势与三北地区总体走势基本吻合，说明这两个省份的农业用水变化是造成三北地区农业用水总量变化的重要原因。资料显示，新疆近年来耕地面积呈增加趋势，是造成农业用水增加的直接原因。

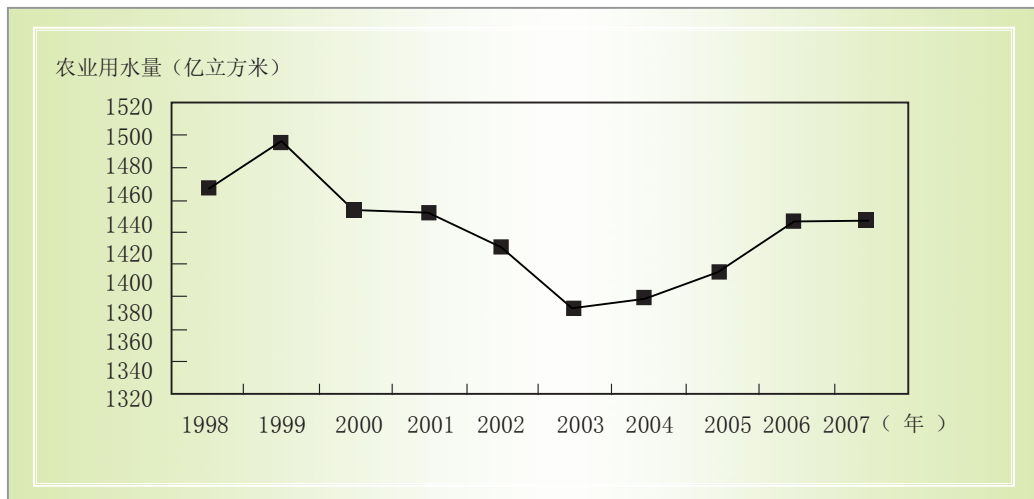


图2-16 三北地区农业用水总量变化趋势

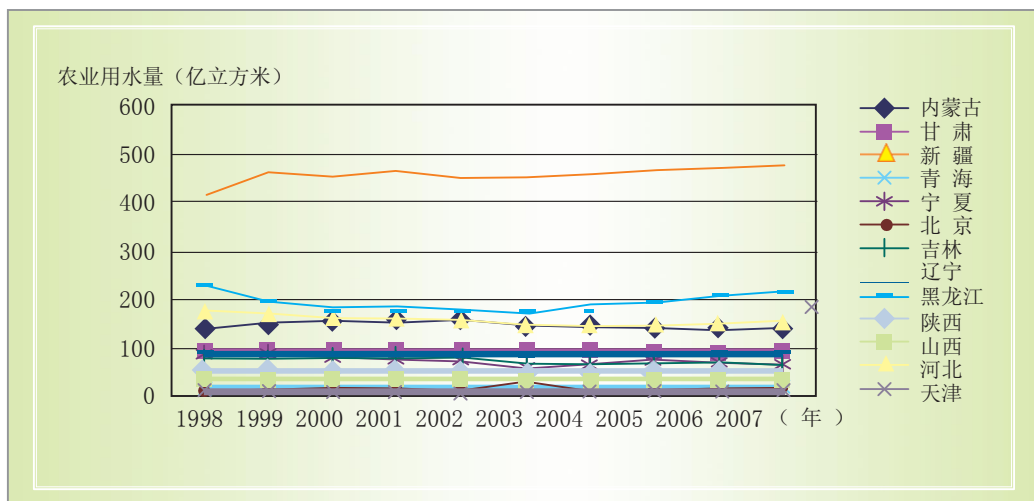


图2-17 三北地区分省农业用水量变化趋势

(2) 工业用水量

工业用水总体呈现波动态势（见图 2-18）。三北地区工业用水量占总用水量比重远小于农业用水量，各省年均工业用水量均保持在 100 亿立方米以下。东北地区工业比重高，特别是重工业比重大，工业耗水量相对较大。其中黑龙江是工业用水量最大且波动幅度最大的省份；西北地区工业比重低，工业用水量水平也较低；华北地区居中（见图 2-19）。

考虑各地区工业化所处的阶段，结合过去十年工业用水的变化规律，可以判断，未来工

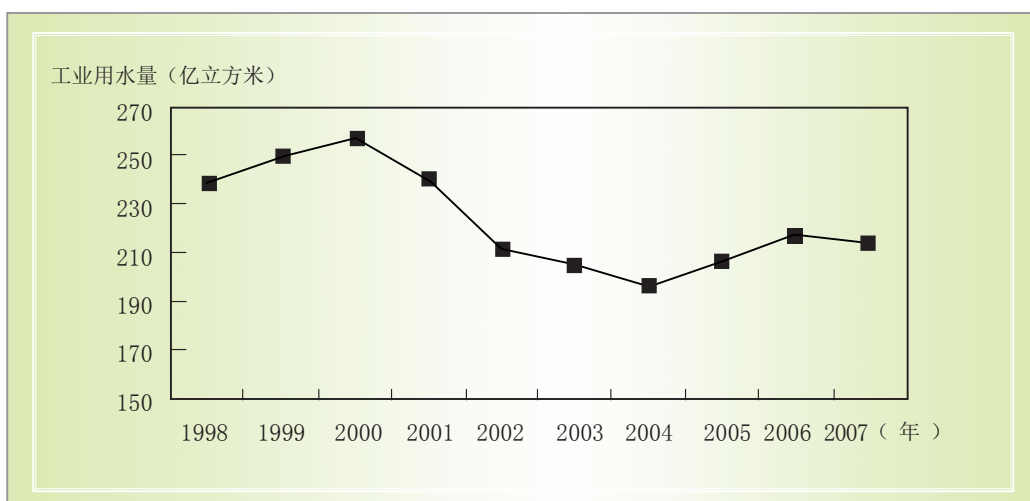


图2-18 三北地区工业用水总量变化趋势

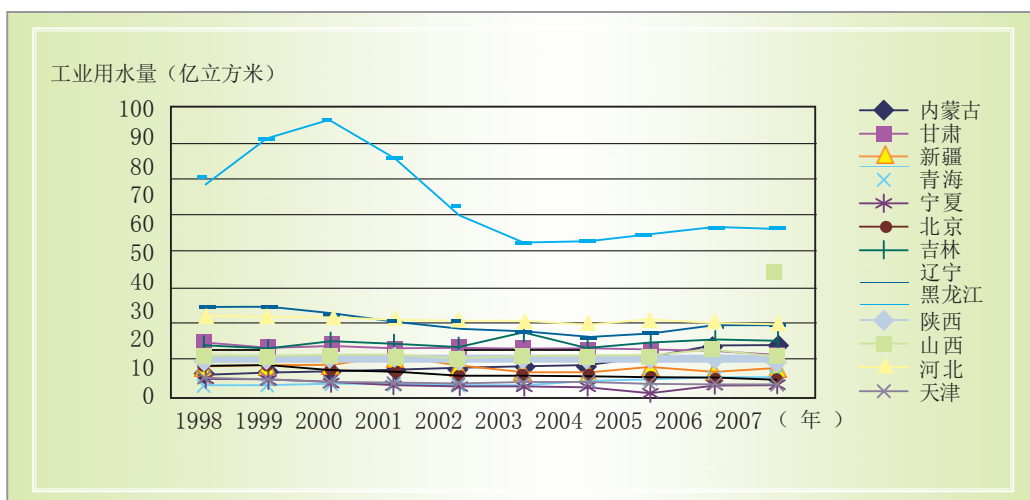


图2-19 三北地区分省工业用水量变化趋势

业用水总体将维持在一定水平，呈小幅波动趋势，部分处于工业化初级阶段的地区，工业用水量将小幅上涨；已进入工业化中级阶段的地区，工业用水量将进入稳定阶段；部分处于工业化后期阶段的地区，如北京工业用水量已出现下降趋势。

(3) 生活用水量

随着经济的不断发展、人口规模的不断扩大和人民生活水平的日益提高，三北地区各省区生活用水量呈现明显上升趋势。从总量看，三北地区生活用水总量 2007 年比 1998 年增长了近 1/4，这种趋势还将持续（见图 2-20）。

从分省数据来看，生活用水量增长趋势较明显的是东北、华北地区，随着城市化水平的逐渐提高，对生活用水的消耗也日益增加。宁夏、青海等经济水平和城市化水平相对较低的省份，生活用水量则呈现出相对稳定的状态，增长趋势不明显（见图 2-21）。但随着城市化水平的提高，未来这些地区生活用水量将会出现上升的趋势。

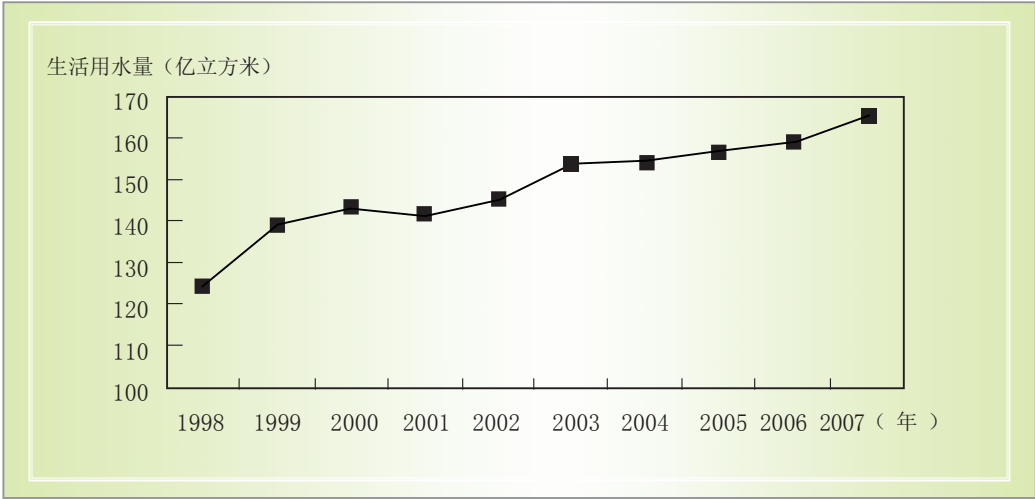


图2-20 三北地区生活用水总量变化趋势

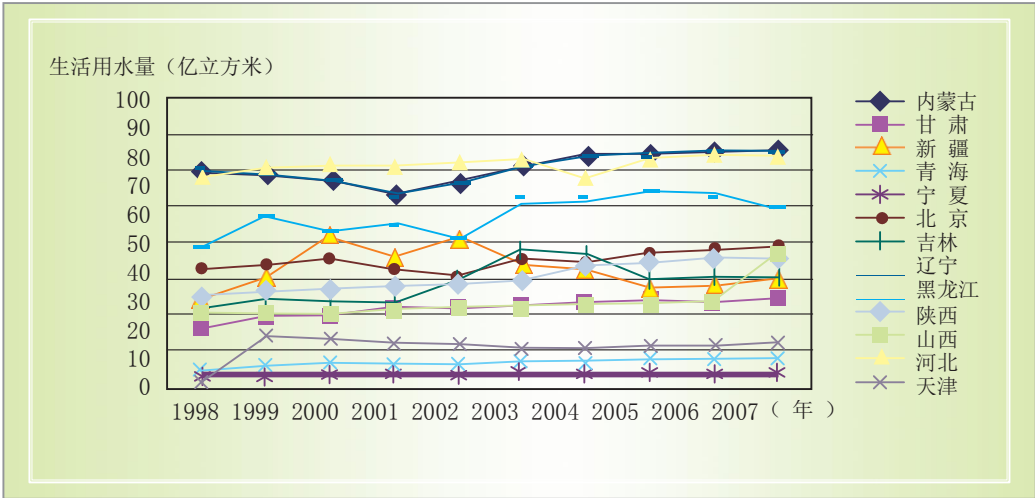


图2-21 三北地区分省生活用水量变化趋势

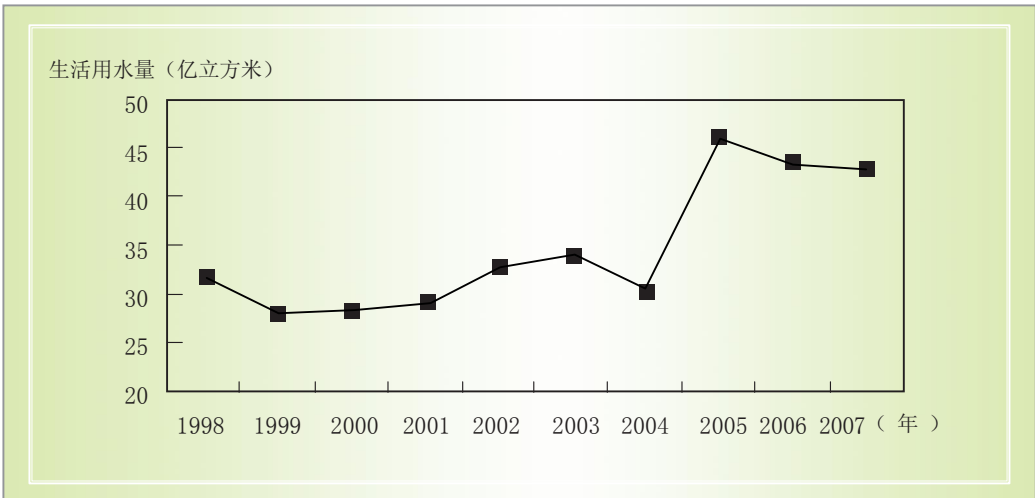


图2-22 三北地区生态用水总量变化趋势

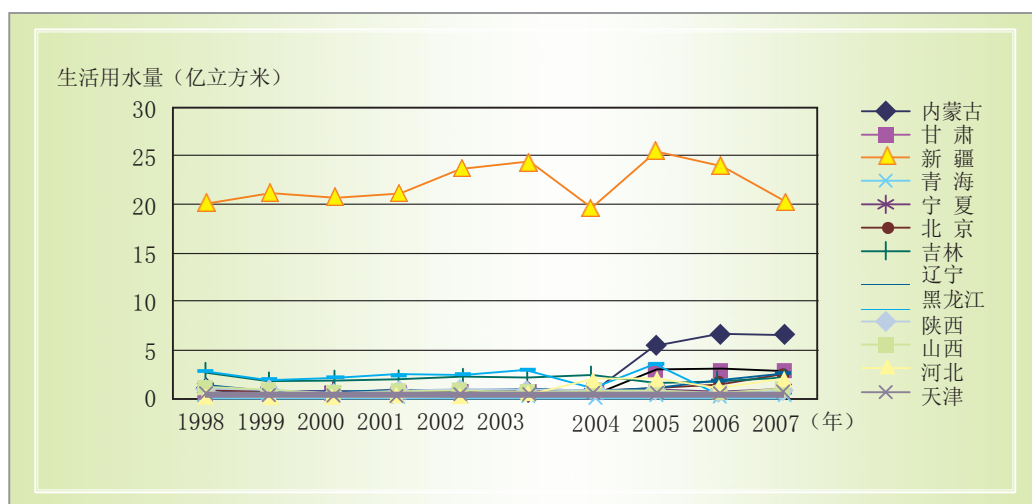


图2-23 三北地区分省生态用水量变化趋势

(4) 生态用水量

1998年以来,三北地区生态用水量总体呈波动上升趋势,十年来生态用水量增长了将近一倍,特别是2004年以后,出现了大幅度上涨。在分省数值上,生态用水量较多的是新疆、内蒙古、甘肃等省区。近十年来,生态补水、生态修复、城市建设绿化等活动受到重视,生态用水量也相应逐步增加,其中增长幅度较大的是内蒙古、甘肃等省区(见图2-22,图2-23)。

6. 气候变化、调水工程和造林工程对区域水资源的影响

三北地区未来水资源演变趋势受到众多自然、人为因素影响。其中,最主要的两大因素是气候变化和跨流域调水工程,同时植树造林工程本身对区域的水资源带来一定的影响。

(1) 东北地区

从气候变化的趋势看,近50年来,东北地区是中国增温最快、范围最大的地区之一,气候变暖尤为显著,且降水普遍减少,干旱化趋势显著^①。未来30~50年,东北地区呈现干旱化的趋势不会改变。到21世纪后期,考虑人类排放增加的影响,中国东北地区气温将可能较目前变暖3℃左右,降水可能转为增加。

东北地区目前没有较大型的区外跨流域调水工程。在东北区内部,对未来水资源配置有较大影响的是东北地区“北水南调”工程,即:将松花江流域的部分水量调往辽河,以补充辽河中、下游及吉林省和内蒙古沿线地区用水工程。该项工程预计至2020年前建设完成,此项工程的实施将提高吉林、辽宁两省水资源量。对平衡东北地区水资源南少北多的态势有重大改善作用,同时,由于水资源的合理调配,也将在一定程度上缓解东北地区干旱化程度。

植树造林对区域水资源的影响较为复杂,主要表现在对径流量的影响上,包括对地下的影响。在降雨量相对较高的东北地区,通过营造森林可以缓解径流,通过涵养一部分水源,

^① 居辉,熊伟,许吟隆,林而达.气候变化对中国东北地区生态与环境的影响.中国农学通报,2007(04):

使降雨细流化，可起到调节地下水资源的作用。

(2) 华北地区

近 50 年华北地区气候总体呈暖干化趋势^①。在未来的 30 年中，华北地区将成为我国大陆增温最显著、增温幅度最大的地区。到 2030 年，华北地区冬季增温幅度将上升 2.5℃左右^②。华北地区的暖干化趋势将可能加剧其水资源短缺的形势。

一直以来，华北地区水资源短缺问题受到了国家的高度重视。为满足华北地区未来的水资源需求，国家开展了多项调水工程，其中，南水北调中线工程可缓解京津冀地区水资源危机，为华北沿线城市生活、工业增加供水 64 亿立方米，增供农业用水 30 亿立方米。东线工程从长江下游引水，基本沿京杭运河逐级提水北送，向黄淮海平原东部供水，终点天津。东线工程实施后可基本解决天津市、河北省部分城市的水资源紧缺问题。此外，引黄入晋工程也将在很大程度上解决山西省未来的水资源需求问题。因此，综合考虑两项影响因素，以及华北地区水资源利用效率较高的特点，未来华北地区水资源供需矛盾形势将有所缓解，水资源量能够满足科学合理的生态建设需求。

华北地区降雨量一般在 400 毫米以上，植树造林对调节区域水循环也具有正向作用，尤其对地下水资源过度开采的地区，森林具有较好的保水和调节地下水的功能。

(3) 西北地区

西北地区受到全球变暖趋势影响较大，预计到 2050 年以前，在 CO₂ 倍增条件下，西北地区年平均气温将增加 2.7℃；年平均降水量将增加 25%^③。如果综合人为因素并结合自然因素变化，预测到 2050 年西北地区可能变暖 2.0℃，降水将增加 19%。其中甘肃最多，为 23%，内蒙古最少，为 14%，年净流量也将呈增加趋势，增幅约为几个至十几个百分点^④。用全球环流耦合模式模拟预测分析，由于 CO₂ 含量增加，中国西部地区温度、降水及湿度均呈显著增加趋势，且比全球增加大得多，未来整个西部地区气候将呈变暖变湿趋势^⑤。未来 20～30 年气候变化对西北地区缺水状况可能会有一定缓解，但该地区是我国多条大江大河的发源地，气候变暖导致江河源头冰雪过快融化，将影响到全流域的水生态系统的稳定性。

工程调水方面，随着南水北调西线工程的推进，未来几十年黄河干流水资源量会得到一定补充，通过青海湖等水域的调节作用，一定程度上将缓解西北地区青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西等省干旱缺水的问题，但是西北地区毕竟是我国水资源条件最差的区域，水资源总体形势仍不容乐观。

① 秦大河主编. 2005. 中国气候与环境演变 (上卷). 北京: 科学出版社. 562

② 柳艳香, 吴流文, 郭裕福, 颜京辉. 华北地区未来 30 年气候变化趋势模拟研究, 气象学报, 2007 (01): 45 ~ 51

③ 高学杰, 赵宗慈, 丁一江. 区域气候模式对温室效应引起的中国西北地区气候变化的数值模拟冰川冻土, 2003 (02): 165 ~ 169

④ 赵宗慈, 徐影, 罗勇, 20 世纪中国极端气温变化监测及其 21 世纪展望, 大气科学战略——中国气象学会第 25 次全国会员代表大会暨学术年会论文集, 2002: 82 ~ 86

⑤ 张英娟, 黄文杰, 俞永强, 冯锦明. 中国西部地区未来气候变化趋势预测气候与环境研究. 2004 (2): 342 ~ 349

西北地区地域类型多样，造林对水资源的影响更为复杂。如在黄土高原地区，具备一定的降雨条件，又是水土流失极其严重的地区，通过造林，可以起到很好的水土保持作用；在一些干旱地区选择合适的树种适地而种、适度规模发展，能起到改善水资源、防止土壤侵蚀的作用；在一些极度干旱地区，通过封育，保护天然植被（草本植物、灌木等）对当地水资源不造成任何影响，因为那是根据当地环境而自然生存下来的。

（三）三北地区农林牧业水资源配置及现状

农林牧业一直是用水大户，目前可利用水资源的大部分仍用于农业生产。因此，提高农业用水效率，节约出一定比例水资源用于生态建设，是三北地区解决造林缺水的重要途径之一。

1. 三北地区农林牧业用水现状

（1）农业灌溉用水量

2001年以来，北京、河北、山西、内蒙古、吉林、青海、宁夏、陕西等省、自治区、直辖市农业灌溉用水量均有不同程度的下降，而天津、辽宁、黑龙江、甘肃、新疆则有不同程度的上升（见表 2-2）。

（2）林牧业灌溉用水量

2001年以来，内蒙古、黑龙江、宁夏等地林牧业灌溉用水有所减少，其他省区的林牧业用水均有不同程度的增长（见表 2-3）。

表2-2 三北地区农业灌溉用水量

单位：亿立方米

地 区	2001年	2005年	2007年
北 京	14.59	8.75	8.29
天 津	9.86	13.37	13.55
河 北	153.6	140.83	141.94
山 西	34.96	31.22	32.98
内 蒙 古	138.25	130.7	128.14
辽 宁	81.96	83.95	88.08
吉 林	67.79	63.59	64.58
黑 龙 江	176.95	178.4	208.78
陕 西	50.51	47.28	50.34
甘 肃	89.74	87.56	90.28
青 海	19.21	19.13	17.72
宁 夏	69.69	65.74	57.81
新 疆	377.45	362.14	379.45

注：数据来源于《中国水资源公报 2002》、《中国水资源公报 2006》、《中国水资源公报 2008》。

表2-3 三北地区林牧业灌溉用水量

单位：亿立方米

地 区	2001年	2005年	2007年
北 京	2.81	3.92	3.45
天 津	0.11	0.22	0.29
河 北	7.63	9.39	9.65
山 西	1.31	1.45	1.34
内 蒙 古	18.49	13.18	12.66
辽 宁	2.07	3.21	3.59
吉 林	9.64	2.79	2.95
黑 龙 江	11.66	13.68	5.97
陕 西	4.27	4.94	5.17
甘 肃	6.51	7.42	5.78
青 海	1.29	1.94	2.75
宁 夏	8.54	6.53	6.94
新 疆	86.39	102.22	97.32

注：数据来源于《中国水资源公报 2002》、《中国水资源公报 2006》、《中国水资源公报 2008》，这里林牧业用水是指通过工程措施用于林业和牧草地灌溉的可计量的用水数量，包括城市绿化用水等，不包括天然降水等对林地和牧草地的灌溉水。

2. 三北地区农林牧业用水效率

(1) 农田灌溉用水效率

利用万元农业产值的灌溉用水量指标来衡量不同地区农业用水经济效率（见表 2-4），宁夏和新疆的农田灌溉用水经济效率最低，万元农业产值的灌溉用水量最高，而北京农业用水经济效率最高。青海、宁夏、新疆农田灌溉用水效率提高最快，万元农业产值的灌溉用水量减少了一半以上，相当于农田灌溉用水经济效率提高 1 倍以上。

从农田亩均灌溉用水指标来看，总体上呈下降趋势，说明农田灌溉用水效率总体在提升。西北地区农田灌溉用水指标最高，东北地区居中，华北地区最低，说明西北地区农田灌溉用水

表2-4 三北地区万元农业产值的灌溉用水量（立方米/万元）

单位：立方米/万元

地 区	2001年	2005年	2007年
北 京	1626.46	869.89	717.88
天 津	1136.89	1371.41	1152.18
河 北	1707.85	1119.48	865.98
山 西	1827.84	1108.12	1022.17
内 蒙 古	4494.91	2758.01	2065.38
辽 宁	1628.94	1311.48	1051.70
吉 林	1670.31	1227.31	1006.70
黑 龙 江	3927.05	2482.63	2148.07
陕 西	1496.96	999.78	799.89
甘 肃	3533.17	2412.86	1968.05
青 海	6646.53	5249.61	3604.50
宁 夏	14110.11	8327.73	5202.42
新 疆	10820.12	6077.74	4947.20

效率最低，华北地区效率最高。宁夏是农田亩均灌溉用水量最高的省区，达到 911 立方米 / 亩^①，山西是农田亩均灌溉用水量最低的省区，约为 213 立方米 / 亩，用水效率最高与最低区域之间指标值相差 4 倍之多（见表 2-5）。西北地区的农田灌溉用水效率总体低下，节水潜力较大。

保证粮食安全是保持一定农业用水的必然要求。从全国平均水平看，每生产一吨粮食耗水 1173 立方米，华北地区最低，每吨粮食耗水量为 929 立方米，西北地区最高，为 2495 立方米，东北地区水平接近全国平均水平。华北地区每吨粮食耗水量为全国平均水平的 80% 左右，而西北地区为全国平均水平的 2 倍以上（见表 2-6）。

（2）林牧业灌溉用水效率

表2-5 三北地区农田亩均灌溉用水指标

单位：立方米/亩

地 区	2001年	2005年	2007年
北 京	332	230	225
天 津	231	306	303
河 北	250	227	228
山 西	217	209	213
内 蒙 古	435	378	366
辽 宁	468	454	504
吉 林	463	403	393
黑 龙 江	635	595	531
陕 西	312	287	313
甘 肃	598	559	580
青 海	618	616	575
宁 夏	1253	987	911
新 疆	821	753	758

表2-6 全国及三北地区单位粮食生产耗水量

单位：立方米/吨

年份	全国	华北	东北	西北
1998	1127	980	1116	2216
1999	1103	919	1024	2457
2000	1192	960	1370	2523
2001	1209	986	1252	2591
2002	1210	989	1155	2501
2003	1208	1015	1197	2643
2004	1137	919	1052	2483
2005	1204	891	1276	2539
2006	1161	838	1138	2574
2007	1192	838	1251	2478
平均值	1173	929	1177	2495

注：数据来源于历年《全国农业统计提要》、《中国农业统计资料》以及《中国农业用水报告》和计算所得。

① 1 亩 = 0.067 公顷。

利用万元林牧业产值的灌溉用水量指标来衡量不同地区各种林牧业用水经济效率（如表 2-7），宁夏和新疆的林牧业灌溉用水经济效率最低，万元林牧业产值的灌溉用水量最高，而天津、辽宁、吉林林牧业用水经济效率最高。黑龙江、吉林、内蒙古林牧业用水效率提高最快，2001～2007 年万元林牧业产值的灌溉用水量减少了 2/3 以上，相当于农田灌溉用水经济效率提高两倍以上。

表2-7 三北地区万元林牧业产值的灌溉用水量

单位：立方米/万元

地区	2001年	2005年	2007年
北 京	225.95	246.84	229.52
天 津	13.29	15.62	25.19
河 北	97.68	75.48	75.13
山 西	118.81	86.41	83.10
内 蒙 古	744.56	268.10	199.59
辽 宁	38.15	32.50	29.49
吉 林	380.36	53.41	41.97
黑 龙 江	447.69	246.08	86.63
陕 西	301.94	215.26	165.67
甘 肃	718.39	507.84	381.59
青 海	375.05	362.53	398.07
宁 夏	2378.25	1175.74	1082.24
新 疆	5838.28	5031.84	3751.74

3. 基于农业用水效率的节水潜力分析

(1) 农业用水效率综合分析

确定农业用水效率综合分析模型为 $Y=AF(X_1, X_2, X_3, X_4 \dots)$ ，其中 Y 表示产出，以农业总产值作为农业产出指标， X_1 表示农业用水量， $X_2, X_3, X_4 \dots$ 表示农用地面积、劳动力、物质投入等，可以用其中农业用水的投入产出弹性来衡量农业用水效率。模型运算的输出结果为水资源投入产出弹性，它能反映水资源利用的边际性。在此采用计量经济研究前沿领域的面板协整模型进行分析，包括面板数据的单位根检验、协整检验和面板协整方程估计。三北防护林工程区 13 个省、自治区、直辖市 1997～2008 年的面板数据来源于《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》和《中国水资源公报》以及中国科学院地理科学与资源研究所中国自然资源数据库。运用面板单位根检验对实际农业总产值和农业用水量进行单位根检验，各个时间序列均为一阶单整过程。采用面板协整检验，可知实际农业总产值变量、农业用水变量在长期趋于一致，即非平稳时间序列之间存在协整关系。接下来运用 OLS 和 DOLS 方法对协整方程进行估计，最终估计结果（见表 2-8）。

三北地区农业总产值对于农业用水总量的弹性系数，即农业用水资源投入产出弹性为 0.45 左右。由各个省区的变系数模型个体系数可知三北防护林区域的农业用水效率分布格局。按照 DOLS 方法，农业用水效率排名为青海、宁夏、天津、新疆、甘肃、北京、山西、

内蒙古、黑龙江、陕西、吉林、辽宁、河北。可以看出，河北的农业用水效率最高，东北三省区与内蒙古、陕西、山西农业用水效率也较高，这些地方也是我国重要的农牧业主产

表2-8 农业总产值—用水协整系数最小二乘法(OLS)与动态最小二乘法(DOLS)估计结果

	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6
	OLS	DOLS (1)	DOLS (2)	DOLS (2)	OLS	DOLS (1)
常数项	4.043526*** 10.69428	3.655881*** 7.148247	2.939208*** 4.758975	2.494605*** 7.128663	3.526791*** 12.68675	3.351663*** 9.529474
农业用水	0.191451** 2.139064	0.288682** 2.381284	0.457110*** 3.121209	0.562769*** 7.079460	—	—
截面固定效应					变系数模型个体系数	
北京	-0.412616	-0.213937	0.079151	—	0.232219** 2.235050	0.323029** 2.458623
天津	-0.519360	-0.327126	-0.004679	—	0.189007* 1.700119	0.278248** 1.964107
河北	1.320208	1.257583	1.116801	—	0.554031*** 10.05789	0.597505*** 8.585788
山西	-0.013805	0.039344	0.174937	—	0.333540*** 4.235544	0.385632*** 3.874164
内蒙古	0.323361	0.246926	0.103423	—	0.359693*** 6.432963	0.398559*** 5.654046
辽宁	0.998144	0.978556	0.928057	—	0.529350*** 8.504976	0.575686*** 7.300104
吉林	0.587510	0.578760	0.547592	—	0.447878*** 6.908553	0.493737*** 6.034747
黑龙江	0.556977	0.422626	0.235920	—	0.394694*** 7.478264	0.427277*** 6.380302
陕西	0.323510	0.323008	0.345105	—	0.401226*** 5.763113	0.445952*** 5.053658
甘肃	-0.137525	-0.185475	-0.254379	—	0.274497*** 4.492308	0.314680*** 4.077600
青海	-1.550021	-1.454988	-1.267048	—	-0.146819 -1.607423	-0.088483 -0.766250
宁夏	-1.460486	-1.455079	-1.474287	—	-0.027473 -0.425060	0.019999 0.244626
新疆	-0.015895	-0.210199	-0.530595	—	0.273299*** 5.993063	0.304085*** 5.270870
时间固定效应						
1997	-0.368205	—	—	—	-0.374185	—
1998	-0.296000	—	—	—	-0.300865	—
1999	-0.305466	-0.321364	—	—	-0.309988	-0.325312
2000	-0.278997	-0.300406	-0.300077	—	-0.281237	-0.302595
2001	-0.204461	-0.223661	-0.205840	—	-0.205984	-0.225562
2002	-0.124310	-0.125226	-0.135515	—	-0.125934	-0.130088
2003	0.020067	-0.005171	5.29E-06	—	0.025724	-0.001714

(续)

	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6
	OLS	DOLS (1)	DOLS (2)	DOLS (2)	OLS	DOLS (1)
2004	0.155937	0.137183	0.136836	—	0.163375	0.143000
2005	0.233915	0.205749	0.217615	—	0.239685	0.211320
2006	0.292779	0.274341	0.286976	—	0.293610	0.274718
2007	0.380905	0.358556	—	—	0.379115	0.356234
2008	0.493836	—	—	—	0.496685	—

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著。

区和商品粮基地；农业用水效率最低的地区为宁夏、青海等西北地区。

青海、宁夏的弹性系数为负值，不十分显著，但可以说明由于用水量和农业产值不成比例，导致用水量的提高已不能带来农业总产值的增加；相反，河北、辽宁等地区的用水量相对较低而农业用水产值较高，用水量的提高仍能够带来农业总产值的明显增加。

西北地区甘肃、新疆、宁夏和青海的农业用水效率很不理想，而该区域有相当的国土属于生态脆弱区，农业用水又不合理，必然影响其他用水，造成缺水—用水效率低的恶性循环，不利于持续性发展。

(2) 农业节水潜力与水资源配置方向

水资源利用结构偏差能反映各地区提高水资源利用率的潜力并给出重新调整水资源配置的方向。分析模型为：

$$R_j = y_j / \sum y_j - W_j / \sum W_j$$

其中， W_j 为j地区农业用水量， y_j 为j地区的农业产出， R_j 即为j地区的水资源配置结构偏差。

结构偏差分析结果（见表2-9）。从纵向来看，1997～2008年三北防护林区域各个省级行政单位农业用水资源利用结构偏差变化不大，基本均为在小幅波动中缓慢增长，而新疆维吾尔自治区农业用水资源利用结构偏差甚至有明显下滑的趋势。从横向来看，12年来各个省级行政单位农业用水资源利用结构偏差排名变化不大，其中河北省农业用水资源利用结构偏差最大，而新疆维吾尔自治区农业用水资源利用结构偏差最小。内蒙古自治区由1997年和2002年的第11位上升为第8位，黑龙江省由1997年和2002年的第9位下降为第11位。

2008年三北地区农业用水资源利用结构偏差递减顺序为：河北、辽宁、吉林、陕西、山西、北京、天津、内蒙古、青海、甘肃、黑龙江、宁夏、新疆，排名靠后的省区水资源利用潜力较低。如果要设计水资源重新配置方案，在不影响整个区域和保证每个地区供水满足基本要求的前提下，调配方向应从水资源利用潜力较低的地方向较高的地方转移，以提高水资源总体利用效率。从提高全区的农业用水效率来看，如果从区外调水解决区内用水问题，应首先考虑河北、辽宁和北京、天津等地。但由于调水存在着运输成本和水资源损耗，所以提高水资源利用效率应以部门布局调整为主、空间布局调整为辅，即以水资源

表2-9 1997年、2002年、2008年三北区农业水资源利用结构偏差排名情况

名次	省区(直辖市)	1997	名次	省区(直辖市)	2002	名次	省区(直辖市)	2008
1	河北	0.105147	1	河北	0.125954	1	河北	0.119108
2	辽宁	0.079134	2	辽宁	0.098348	2	辽宁	0.091315
3	吉林	0.037555	3	吉林	0.035137	3	吉林	0.052581
4	陕西	0.031386	4	陕西	0.032077	4	陕西	0.039624
5	山西	0.028302	5	山西	0.023718	5	山西	0.014315
6	北京	0.01432	6	北京	0.021042	6	北京	0.011066
7	天津	0.01328	7	天津	0.017549	7	天津	0.007702
8	青海	-0.00535	8	青海	-0.00526	8	内蒙古	0.002154
9	黑龙江	-0.01394	9	黑龙江	-0.01545	9	青海	-0.00594
10	甘肃	-0.01485	10	甘肃	-0.01867	10	甘肃	-0.0168
11	内蒙古	-0.02446	11	内蒙古	-0.0305	11	黑龙江	-0.01883
12	宁夏	-0.04909	12	宁夏	-0.04071	12	宁夏	-0.03292
13	新疆	-0.20144	13	新疆	-0.24324	13	新疆	-0.26338

利用效率提高潜力大的地区为重要对象，以调整农业生产结构和加强节水技术的应用作为主要途径。西北地区的省区排位普遍靠后，也就是说这些地区水资源利用潜力比较低，这与西北地区缺水状况和生态脆弱性很不协调，西部省份应在提高水资源利用效率方面抓紧实施有效措施，提高农业用水的合理性，以避免占用大量生态用水，制约持续性发展。

总之，三北地区农业用水效率较低，平均农业用水效率仅为 0.45 左右。在其他投入保持不变的情况下，达到目前的产量可减少一半的用水量，而且农业用水效率地区间差异很大。其次，西北地区甘肃、新疆、宁夏和青海的农业用水效率很不理想，农业用水浪费严重。而该区域有相当的国土属于生态脆弱区，农业用水效率低，必然影响其他用水，造成缺水—低效率用水的恶性循环，不利于持续性发展。另一方面也表明西北地区是农业节水最具潜力的区域，该地区应加大节水设施与技术的改造与投入，采取有利于用水效率提高的方法与措施。2002 年水利部就曾在甘肃省张掖市作为农业节水的第一个试点单位，拉开了构建节水型社会的良好开端。最后，农业用水配置不够理想，应适当调整区域间的水源调配方案。可依据水资源利用结构偏差分析把握水资源调整配置的方向，还可确定各地区提高水资源利用效率的潜力，在潜力较大的地区，应加紧调整农业生产结构、加强节水技术措施的制定和实施等。

二、三北防护林工程不同区域水资源承载力分析

三北五期工程建设区分为 4 个大区。一是风沙区，主要是指呼伦贝尔、科尔沁和毛乌素 3 大沙地为主的干旱半干旱地区；二是西北荒漠区，主要是指 200 毫米年降水量线以西的干旱荒漠区；三是黄土高原丘陵沟壑区，主要是指陕西、甘肃、宁夏、山西、内蒙古、青海等

区域内的黄土自然分布区；四是东北华北平原农区，含与风沙区过渡的山区、浅山区。本研究从这四个大区的角度予以分析。

（一）水资源承载力的内涵和分区标准

三北工程区水资源承载力评价的核心工作是对水资源约束下的新增造林适宜性进行评价。水资源约束下新增造林适宜性评价是指：以水资源条件为评价标准，在保证经济社会可持续发展和生态环境不恶化的前提下，在某个特定的地域单元增加造林的适宜程度。一般是，某一地域单元水资源条件越好，增加造林的适宜程度越高。按照适宜程度的基本标准，本研究根据水资源可承载新增造林的能力程度，将研究区新增造林适宜性程度分为适宜、较适宜和次适宜三种类型。

“适宜新增造林区”属于水资源弱约束区，水资源本底条件好，自产水资源丰富，新增造林用水主要靠降水即可满足，能够支撑新增造林，在林种上以种植乔木为主。

“较适宜新增造林区”属于水资源中度约束区，水资源本底条件一般，自产水资源量不高，但通过提高用水效率后，能够满足维持经济社会可持续发展和保证生态环境不恶化所需的水资源量，能够缓解水资源供需矛盾，一定条件下可以承载新增造林，适宜种植小乔木和灌木等低耗水型的植被。

“次适宜新增造林区”属于水资源强约束区，水资源本底差，同时维持经济社会可持续发展和保证生态环境不恶化所需的水资源量相对较高，只有通过大幅度地提高供水能力和提高用水效率，才能满足用水需求，适宜种植低耗水型的灌木和草本植被。

（二）总体方案与结论

1. 技术路线（见图 2-24）。

三北工程区不同区域水资源承载力分析采用以下步骤：

第一步：按照第一篇的基本要求，遵循适度创新的原则，将三北工程区 632 个县划分为风沙区、西北荒漠区、黄土高原丘陵沟壑区和东北华北平原农区四个大区。

第二步：针对各大区，在分析大区水资源基本特征的基础上，利用年均降水量、供水量、需水量等指标进行分县新增造林的适宜性评价。评价标准为：

年均降水量 $P_a \geq 400$ 毫米，则为适宜新增造林区；

年均降水量 $P_a < 400$ 毫米，而且当水资源利用效率在未来十年提高 10%，维持供水量不变时（S1 情景），可以保证水资源供给量 $>$ 水资源需求量，则该区域为较适宜新增造林区；

年均降水量 $P_a < 400$ 毫米，而且至少当水资源利用效率在未来十年提高 10%，同时，供水能力系数在每年提高 1.2% 时（S2 情景），才能保证水资源供给量 $>$ 水资源需求量，则为次适宜新增造林区。

第三步：结合未来各区域水资源特征、区位特征、区域调水的可能性和气候变化等供水影响因素以及前期防护林建设的实际经验，对典型地区评价结果进行定性的修正。

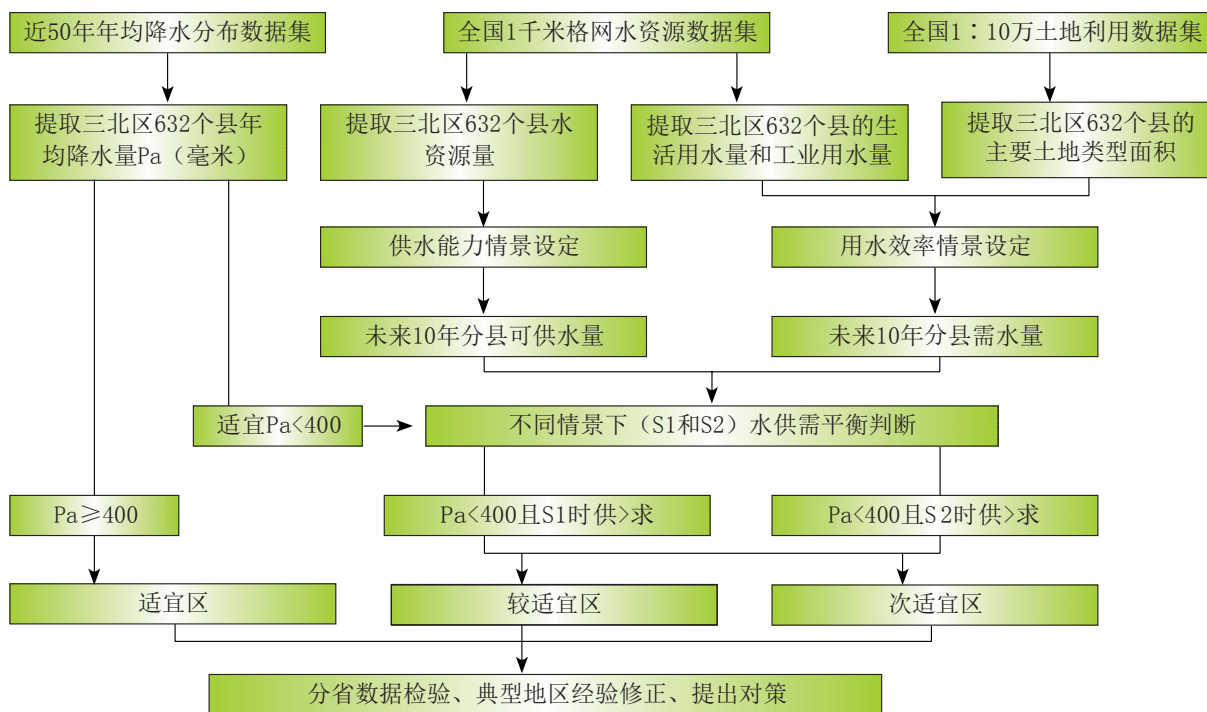


图2-24 水资源承载力分析技术路线，其中P表示次降水量， P_a 表示前期降水量

注：数据来源于中国科学院资源环境数据中心：全国降雨分布数据集；中国科学院数据共享网：全国1千米格网水资源数据集；中国科学院数据共享网：全国1:10万土地利用数据集；中华人民共和国水利部：1999～2007年各年份中国水资源公报；各省区水资源公报及用水定额标准。

2. 具体指标处理

(1) 降水量

以近50年年均降水量为标准。

(2) 供水量

可用水量 = 水资源量 × 供水能力系数

年度水资源量主要受气候条件变化的影响，但除极端气候年份之外，其他年份水资源量相对稳定。分县年均水资源量从全国1千米格网水资源数据集中提取，结合各省水资源公报进行修正。

已有研究成果显示，我国供水能力系数年增长率约为1.2%，以2008年各省供水能力系数为基准，结合情景假设，可推测未来10年的供水能力系数。

(3) 需水量

需水量 = 生活需水量 + 工业需水量 + 农业灌溉需水量 + 草地生态需水量 + 林地生态需水量

农业灌溉需水量 = \sum 不同耕地类型面积 × 单位面积耕地灌溉需水定额

耕地主要分为水田和旱地两种类型进行计算。

草地生态需水量 = \sum 不同草地类型面积 × 单位面积草地灌溉需水定额

草地主要分高密度草地、中密度草地和低密度草地三种类型进行计算。林地生态需水量 = \sum 不同林地类型面积 \times 单位面积林地灌溉需水定额林地主要分有林地、灌木林地和其他林地三种类型计算。

所有地类面积数据从全国 1:10 万土地利用数据集中提取。

3. 总体结论

按照上述方法和技术路线测算结果显示，三北工程区水资源约束下适宜造林的县区有 385 个，较适宜造林的县区有 187 个，次适宜造林的县区有 60 个；东北华北平原农区和黄土高原丘陵沟壑区，水资源约束力相对较小，大部分地区为适宜造林区，少数地区为较适宜造林区，极个别地区为次适宜造林区；西北荒漠区和风沙区水资源约束力相对较大，大部分地区为较适宜造林区，少部分地区为适宜造林区和次适宜造林区（见表 2-10，图 2-25）。

表2-10 三北防护林工程区水资源承载能力总体结论

区域	适宜造林县区数	较适宜造林县区数	次适宜造林县区数	合计
风沙区	27	30	6	63
西北荒漠区	15	78	44	137
黄土高原丘陵沟壑区	128	68	10	206
东北华北平原农区	215	11	0	226
三北工程区	385	187	60	632*

（三）风沙区水资源承载力

1. 风沙区范围

三北工程区风沙区包括内蒙古、黑龙江西部、吉林西部、宁夏北部和陕西北部部分地区，共涉及 63 个县级行政区，其中，涉及内蒙古自治区 26 个县区、黑龙江省 9 个县区、吉林省 14 个县区、陕西省 9 个县区、宁夏回族自治区 5 个县区（见表 2-11）。

2. 风沙区水资源基本特征

水资源条件总体特征：水资源条件总体较差，总量较少，供给能力一般，用水效率低；东部地区略好于西部地区，沿黄地带略好于边远地区。

降水量：宁夏北部地区普遍低于 200 毫米，属于干旱地区；陕西北部地区不足 400 毫米，属半干旱地区；内蒙古西部地区低于 200 毫米，属干旱地区；内蒙古中部地区为 300 ~ 400 毫米，属半干旱地区，内蒙古东部地区、黑龙江西部和吉林西部地区介于 400 ~ 500 毫米，属于半湿润地区。

沿黄部分地区尽管降水量小，自产水资源量少，但具备近邻黄河的地域优势和利用引黄河水的便利条件，供水能力近年来有所提高。

水资源利用效率较低：宁夏农业灌溉亩均用水量近 1000 立方米左右，是三北地区农业用水效率最低的地区，同时说明该地区农业节水潜力较大。

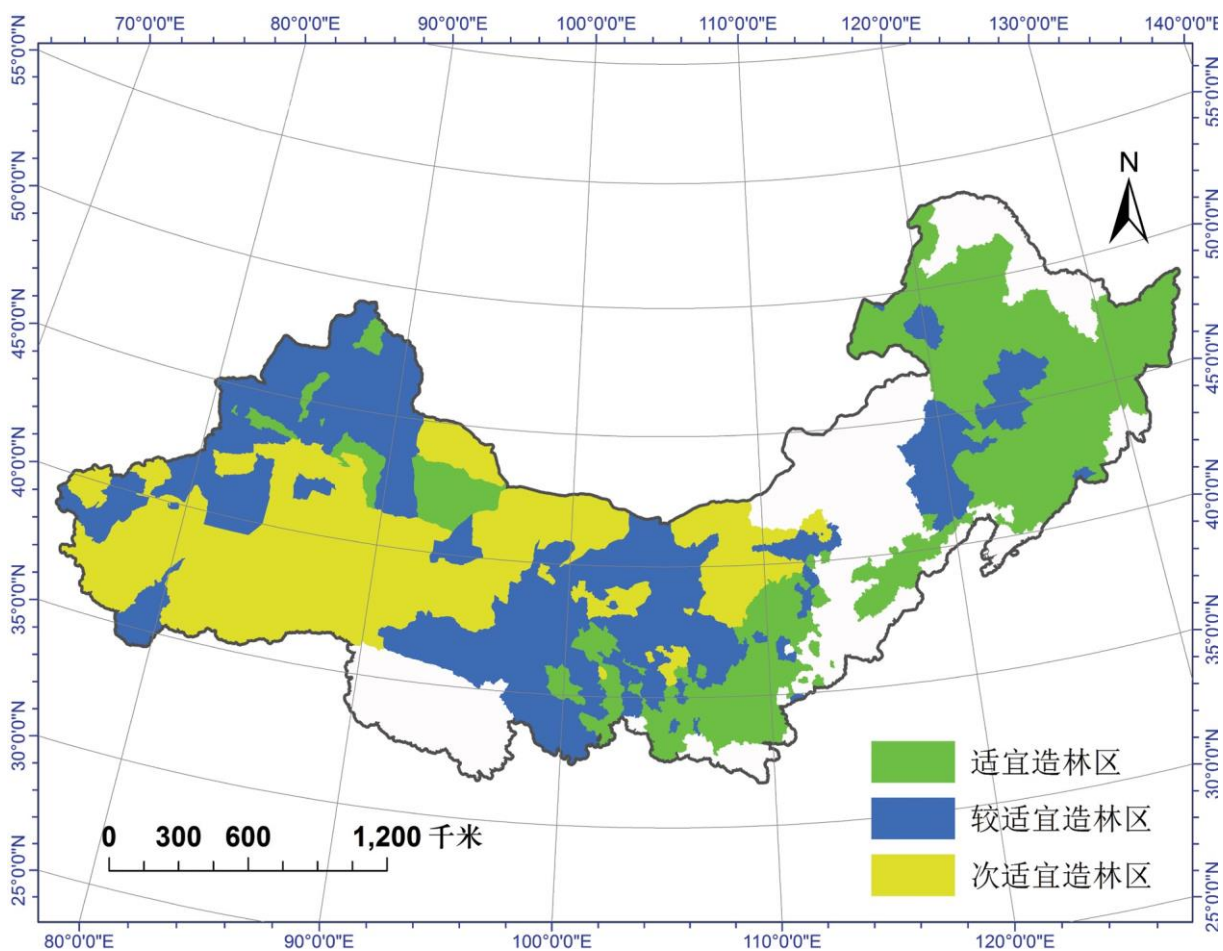


图2-25 三北工程区水资源承载力评价结果分布图

表2-11 北部风沙区63个县级行政区

区域	省份	县区名	县区数
北部风沙区	内蒙古	阿尔山市、东胜市、乌审旗、伊金霍洛旗、海拉尔市、满州里市、鄂温克族自治旗、新巴尔虎右旗、新巴尔虎左旗、陈巴尔虎旗、鄂伦春自治旗、科尔沁右翼中旗、奈曼旗、扎鲁特旗、科尔沁左翼中旗、突泉县、通辽市科尔沁区、科尔沁左翼后旗、开鲁县、库伦旗、赤峰市元宝山区、红山区、鄂托克旗、鄂托克前旗、杭锦旗、准格尔旗	26
	黑龙江	齐齐哈尔市郊区、龙江县、讷河县、泰来县、甘南县、富裕县、杜尔伯特蒙古族自治县、大庆市郊区、肇源县	9
	吉林	农安县、通榆市、大安市、公主岭市、梨树县、镇赉县、双辽市、白城市洮北区、扶余县、洮南市、长岭县、乾安县、前郭尔罗斯蒙古族自治县、松原市宁江区	14
	陕西	吴旗县、神木县、府谷县、横山县、靖边县、定边县、米脂县、佳县、榆林市榆阳区	9
	宁夏	兴庆区、平罗县、灵武市、盐池县、同心县	5
合计			63

3. 风沙区水资源承载能力分析结果

风沙区水资源约束下适宜造林的县区有 28 个, 较适宜区 30 个, 次适宜区 6 个(见表 2-12)。

适宜造林县区主要分布在内蒙古东部、黑龙江和吉林西部、陕西北部地区。内蒙古东部、黑龙江和吉林西部地区, 降水量相对较高, 同时部分地区处于辽河、嫩江等流域范围内, 地表河网密度较高, 地表水条件相对较好, 总体适宜造林。其中, 科尔沁沙地地区适宜建设以基干林带为主的防风固沙林, 宜通过人工造林种草与封沙育林育草相结合, 提高林草植被覆盖度。陕北毛乌素沙漠边缘地区适宜建设以樟子松为主的防风固沙林, 结合封育, 以植被恢复为基础, 建立多功能防护林体系。

较适宜造林县区主要分布在河套平原、宁夏平原、内蒙古东部和吉林西部部分地区。宁夏平原、河套平原降水条件很差, 属于干旱地区, 但具有近邻黄河主干道的便利优势, 尤其在黄灌区, 农业灌溉用水量很大, 大部分地区耕地亩均灌溉用水量超过 800 立方米, 节水潜力较大, 可以通过农业节水缓解林牧业和生态需水的紧张。从空间分布来看, 越是近邻黄河干流的县区, 新增造林的潜力越大, 适宜建设农田防护林和防风固沙林。内蒙古东部呼伦贝尔地区在合理利用天然草场的基础上, 应加强牧场防护林、以樟子松为主的防风固沙林和草植被建设, 同时结合草场封育管理, 保护草场和沙地疏林。

次适宜造林区零星分布在内蒙古中部、内蒙古西部部分边缘地区, 这些地区降雨较小,

表2-12 北部风沙区分县水资源承载力结果

区域	省份	适宜造林区县 (27个)	较适宜造林区县 (30个)	次适宜造林区县 (6个)
北部风沙区	内蒙古	阿尔山市、鄂伦春自治旗、科尔沁右翼中旗、科尔沁左翼后旗、科尔沁左翼中旗、突泉县、库伦旗	东宁市、海拉尔市、满州里市、鄂温克族自治县、新巴尔虎右旗、新巴尔虎左旗、陈巴尔虎旗、扎鲁特旗、开鲁县、红山区、奈曼旗、赤峰市元宝山区、通辽市科尔沁区	乌审旗、伊金霍洛旗、杭锦旗、准格尔旗、鄂托克旗、鄂托克前旗
	黑龙江	龙江县、讷河县、泰来县、甘南县、富裕县、齐齐哈尔市郊区	大庆市郊区、肇源县、杜尔伯特蒙古族自治县	
	吉林	农安县、公主岭市、梨树县、双辽市、扶余县、洮南市、松原市宁江区	大安市、前郭尔罗斯蒙古族自治县、镇赉县、乾安县、长岭县、通榆市、白城市洮北区	
	陕西	米脂县、佳县、榆林市榆阳区、神木县、府谷县、横山县、靖边县	定边县、吴旗县	
	宁夏		兴庆区、平罗县、灵武市、盐池县、同心县	

一般都为干旱地区，同时远离黄河干流，地表水供水条件有限，同时维持自身生产、生活和生态的需水量较大，水供需矛盾较为突出，宜种植需水量小的小乔木（如梭梭）和灌木类防风固沙林种和草种，或者通过封育，保护和恢复植被。

地处毛乌素沙漠核心地带的乌审旗，自然条件上属于次适宜造林区，但该旗在麻黄、樟子松造林方面取得了较大成功，通过近 30 年的造林，该旗新增森林面积近 33 万公顷，森林覆盖率从 10% 提高到了 30%，其成功造林经验值得借鉴。

（四）西北荒漠区水资源承载力

1. 西北荒漠区范围

三北防护林工程区西北荒漠区包括新疆、内蒙古西部、甘肃西部和青海北部地区，共涉及 137 个县级行政区，其中涉及新疆维吾尔自治区 94 个县区、内蒙古自治区 12 个县区（旗）、青海省 11 个县区、甘肃省 20 个县区（见表 2-13）。

西北荒漠区是三北工程区区域面积最大，自然条件最为复杂的区域，区内拥有准格尔、塔里木、柴达木三大盆地，拥有阿尔山、天山和祁连山等山地水源涵养地，拥有关于我国生态安全的河西走廊等广大绿洲。该地区还是黄河、长江等大江大河的源头和我国沙尘暴的主要策源地，其生态区位非常重要。

表2-13 西北荒漠区137个县级行政区

区域	省份	县区名	县区数
西北荒漠区	新疆	伊宁县、乌鲁木齐市天山区、沙依巴克区、新市区、水磨沟区、霍城县、新源县、南泉区、东山区、伊吾县、乌恰县、伊宁市、昭苏县、巩留县、察布查尔锡伯自治县、尼勒克县、特克斯县、额敏县、托里县、塔城市、裕民县、吉木乃县、和布克赛尔蒙古自治县、克拉玛依市、头屯河区、石河子市、奎屯市、和田市、和田县、墨玉县、皮山县、洛浦县、策勒县、于田县、民丰县、尉犁县、若羌县、且木县、库尔勒市、阿克苏市、沙雅县、阿瓦提县、新和县、喀什市、疏勒县、伽师县、巴楚县、阿克陶县、麦盖提县、岳普湖县、莎车县、泽普县、叶城县、疏附县、英吉沙县、博湖县、塔什库尔干县、布尔津县、福海县、哈巴河县、青河县、富蕴县、阿勒泰市、昌吉市、玛纳斯县、呼图壁县、吉木萨尔县、阜康市、精河县、乌苏市、沙湾县、乌鲁木齐县、米泉市、博乐市、温泉县、阿拉山口管理区、奇台县、木垒哈萨克自治县、吐鲁番市、鄯善县、托克逊县、哈密市、轮台县、和硕县、焉耆回族自治县、和静县、库车县、阿图什市、柯坪县、乌什县、温宿县、拜城县、阿合奇县、巴里坤哈萨克自治县	94
	内蒙古	固阳县、达拉特旗、乌拉特中旗、乌拉特后旗、阿拉善左旗、阿拉善右旗、额济纳旗、包头白云鄂博区、乌海市海勃湾区、海南区、乌达区、磴口县	12
	青海	大柴旦行委、茫崖行委、冷湖行委、乌兰县、德令哈市、都兰县、格尔木市、刚察县、天峻县、祁连县、海晏县	11
	甘肃	嘉峪关市、玉门市、酒泉市、敦煌市、金塔县、肃北蒙古自治县、阿克塞哈萨克族自治县、瓜州县、张掖市、临泽县、高台县、民勤县、凉州区、古浪县、金昌市金川区、永昌县、民乐县、山丹县、肃南裕固族自治县、天祝藏族自治县	20
合计			137

2. 西北荒漠区水资源基本特征

水资源条件总体特征：水资源条件总体差，总量较少，分布不均，水资源供给能力差，用水效率不高，是我国三北地区水资源约束最强烈的区域。

降水量：新疆大部分地区在 200 毫米以下，属于干旱地区；甘肃河西走廊地区多在 200 毫米以下，部分地区在 100 毫米以下，属于干旱地区，内蒙古阿拉善地区为 100 毫米以下，属于干旱地区。青海北部大部分地区在 300 毫米以下，属于干旱半干旱地区。

供水能力：普遍较差。部分地区（如河西走廊）存在跨流域调水的可能；较多地区为我国主要大江大河的源头区域，大规模开发水资源可能对全国水生态系统产生全局性的影响，存在用水风险。

用水效率：虽然西北荒漠区水资源紧缺，但存在着人均用水量高、农田灌溉用水定额高、单位 GDP 用水量高的问题。农田平均每亩实灌定额 617 立方米，比全国平均高 40%；万元 GDP 用水 1736 立方米，比全国平均高 1.85 倍。

3. 西北荒漠区水资源承载能力分析结果

西北荒漠区水资源约束下适宜造林的县区 15 个，较适宜县区 78 个，次适宜县区 44 个（见表 2-14）。

该地区普遍降雨量小，造林的适宜性在空间上具有很强的河流指向性。适宜造林县区主要分布在新疆天山北麓绿洲地区、青海东北部地区。这些地区降雨量虽然不高，但河流密度较大，能够保证造林需水。该区域为我国主要大江大河的源头地区，宜种植云杉、青杨、新疆杨、祁连圆柏、油松等为主要树种的水源涵养林和水土保持林。

较适宜造林地区主要包括塔里木盆地、准格尔盆地和柴达木盆地边缘绿洲地区、塔里木河上游地区、河西走廊主要河流上中游地区、内蒙古西部高原地区等。这些地区农业相对发达，水资源条件相对较差，且人口密度低，宜以保护天然荒漠植被为重点，加大封育力度，建设以沙生灌木为主的荒漠绿洲防护林体系。在塔里木盆地、准格尔盆地适宜建设保护平原绿洲的农田防护林，以小乔木和灌木为主；柴达木盆地、内蒙古西部高原地区可采取综合措施营造防风固沙林，结合封沙（山）育林育草和轮封轮牧等措施保护和恢复植被；河西走廊主要河流的上游地区以营造祁连山水源涵养林为主，结合封育等措施恢复上游草场植被。

次适宜造林区主要分布在河流的下游地区和沙漠边缘地区。如河西走廊石羊河、黑河、疏勒河流域下游地区，降雨量小，地表河流水量逐年减少，水资源矛盾突出，这些地区造林宜以灌、草为主，可建设一批上规模的封育保护区，促进植被休养生息，提高植被覆盖度，遏制荒漠扩展，保护周围绿洲。

地处塔克拉玛干与布古里两大沙漠之间的莎车县，自然条件相当恶劣，是次适宜造林区的典型代表，近年来，该县通过科技手段，培育优质苗木，在发展特色经济林方面取得了较大的成功。仅 2007 年全县就完成新造林 17 669.8 公顷，其中经济林 17 427.3 公顷，林果业纯收入达 18 796 万元，按农村人口计算，林果业人均纯收入达 370 元。这充分说明，依靠科技手段，选择合理的造林模式，在部分次适宜区也是可以取得造林成功的。

表2-14 西北荒漠区分县水资源承载力结果

区域	省份	适宜造林区县 (15个)	较适宜造林区县 (78个)	次适宜造林区县 (44个)
西北荒漠区	新疆	乌鲁木齐市天山区、沙依巴克区、新市区、水磨沟区、南泉区、米泉市、东山区、尼勒克县、克拉玛依市、头屯河区、石河子市、阿勒泰市、哈密市、吐鲁番市	伊宁县、霍城县、新源县、伊宁市、昭苏县、巩留县、察布查尔锡伯自治县、额敏县、托里县、裕民县、和布克赛尔蒙古自治县、吉木乃县、和田市、塔城市、和田县、奎屯市、阿克苏市、库尔勒市、特克斯县、沙雅县、新和县、喀什市、疏勒县、伽师县、阿克陶县、岳普湖县、疏附县、博湖县、布尔津县、福海县、哈巴河县、青河县、玛纳斯县、呼图壁县、昌吉市、精河县、阜康市、奇台县、吉木萨尔县、木垒哈萨克自治县、乌鲁木齐县、富蕴县、温泉县、温宿县、鄯善县、托克逊县、焉耆回族自治县、博乐市、乌什县、阿图什市、库车县、英吉沙县、沙湾县、柯坪县、乌苏市	莎车县、伊吾县、乌恰县、墨玉县、皮山县、洛浦县、策勒县、于田县、尉犁县、若羌县、且末县、民丰县、阿瓦提县、巴楚县、麦盖提县、泽普县、叶城县、塔什库尔干县、拉山口管理区、巴里坤哈萨克自治县、和硕县、和静县、拜城县、阿合奇县、轮台县
	内蒙古		乌拉特后旗、阿拉善左旗、阿拉善右旗、磴口县、乌海市海勃湾区、海南区	固阳县、额济纳旗、包头白云鄂博区、达拉特旗、乌拉特中旗、乌海市乌达区
	青海	海晏县	格尔木市、刚察县、天峻县、祁连县、乌兰县、德令哈市、都兰县	大柴旦行委、茫崖行委、冷湖行委
	甘肃		嘉峪关市、敦煌市、临泽县、高台县、肃南裕固族自治县、天祝藏族自治县、金昌市金川区、古浪县、凉州区、民乐县	玉门市、酒泉市、金塔县、肃北蒙古自治县、阿克塞哈萨克族自治县、张掖市、民勤县、永昌县、山丹县、瓜州县

（五）黄土高原丘陵沟壑区水资源承载力

1. 黄土高原丘陵沟壑区范围

三北工程区黄土高原丘陵沟壑区包括陕西中北部、宁夏南部、青海东北部部分地区、甘肃东北部、山西西部地区 and 内蒙古南部部分地区，涉及 206 个县级行政区，其中陕西省 55 个，宁夏回族自治区 17 个，青海省 18 个，甘肃省 50 个，山西省 44 个，内蒙古 22 个（见表 2-15）。

2. 黄土高原丘陵沟壑区水资源基本特征

水资源条件总体特征：水资源条件相对较好，地表水资源量较少，但降水量相对较高，受地形地貌等自然条件影响，水资源利用具有一定难度，供水能力和用水效率总体不高，但通过一定的工程手段，做好水土保持工作，可以解决水短缺问题。

降水量：大部分地区降水量介于 400 ~ 600 毫米，属于半干旱向半湿润的过渡地带。

供水能力：水土流失严重，有一定供水难度，供水能力不强。

2-15 黄土高原丘陵沟壑区206个县级行政区

区域	省份	县区名	县区数
黄土高原丘陵沟壑区	陕西	铜川市王益区、印台区、耀县、宜君县、陇县、千阳县、麟游县、永寿县、彬县、长武县、旬邑县、淳化县、韩城市、澄城县、白水县、合阳县、黄陵县、富县、洛川县、宜川县、黄龙县、子洲县、延安市宝塔区、延长县、延川县、子长县、安塞县、志丹县、甘泉县、绥德县、吴堡县、清涧县、宝鸡县、凤翔县、岐山县、扶风县、三原县、乾县、礼泉县、蒲城县、富平县、泾阳县、渭南市临渭区、高陵县、武功县、兴平市、大荔县、咸阳市秦都区、杨陵区、西安市阎良区、潼关县、西安市未央区、西安市霸桥区、眉县、渭城区	55
	宁夏	原州区、海原县、西吉县、隆德县、泾源县、彭阳县、银川市西夏区、金凤区、永宁县、贺兰县、惠农县、吴忠市利通区、红寺堡区、陶乐县、青铜峡市、中卫县、中宁县	17
	青海	西宁市郊区、大通回族土族自治县、民和回族土族自治县、乐都县、平安县、互助土族自治县、湟中县、湟源县、化隆回族自治县、循化撒拉族自治县、贵德县、共和县、贵南县、尖扎县、同仁县、同德县、兴海县、门源回族自治县	18
	甘肃	清水县、秦安县、甘谷县、武山县、西峰市、会宁县、天水市北道区、秦城区、张家川回族自治县、定西县、通渭县、陇西县、渭源县、临洮县、漳县、平凉市、泾川县、灵台县、兰州市城关区、七里河区、西固区、安宁区、红古区、永登县、皋兰县、榆中县、白银市白银区、平川区、永靖县、广河县、和政县、康乐县、积石保安族东乡族撒拉族自治县、东乡族自治县、岷县、临夏市、临夏县、崇信县、华亭县、庄浪县、静宁县、庆阳县、环县、华池县、合水县、正宁县、宁县、镇原县、靖远县、景泰县	50
	山西	娄烦县、隰县、朔州市平鲁区、永和县、原平市、忻府区、宁武县、静乐县、神池县、五寨县、岢岚县、河曲县、保德县、偏关县、方山县、离石市、中阳县、交口县、兴县、临县、柳林县、石楼县、岚县、乡宁县、吉县、蒲县、大宁县、古交市、右玉县、孝义市、文水县、交城县、汾阳市、汾西县、襄汾县、太原市晋原区、万柏林区、尖草坪区、清徐县、河津市、稷山县、万荣县、尧都区、新绛县	44
内蒙古	察哈尔右翼中旗、和林格尔县、清水河县、卓资县、凉城县、呼和浩特市新城區、赛罕区、回民区、玉泉区、土默特左旗、包头市昆都仑区、清山区、东河区、九源区、石拐区、土默特右旗、武川县、临河市、五原县、乌拉特前旗、杭锦后旗、托克托县	22	
合计			206

水资源利用效率：青海东北部部分地区、甘肃东北部、宁夏南部水资源利用效率较低，耕地亩均灌溉用水量在 500 立方米以上，陕西中北部和山西西部用水效率相对较高，耕地亩均灌溉用水量在 300 立方米左右。

3. 黄土高原丘陵沟壑区水资源承载能力分析结果

黄土高原丘陵沟壑区水资源约束下适宜造林的县区 126 个，较适宜县区 68 个，次适宜县区 10 个（见表 2-16），水资源承载能力相对较强。

表2-16 黄土高原分县水资源承载能力结果

区域	省份	适宜造林区县 (128个)	较适宜造林区县 (68个)	次适宜造林区 县(10个)
黄土高原丘陵沟壑区	陕西	铜川市王益区、印台区、耀县、宜君县、陇县、千阳县、麟游县、永寿县、彬县、长武县、旬邑县、淳化县、韩城市、澄城县、白水县、合阳县、黄陵县、富县、洛川县、宜川县、黄龙县、延长县、延川县、安塞县、甘泉县、宝鸡县、凤翔县、岐山县、扶风县、三原县、乾县、礼泉县、蒲城县、富平县、泾阳县、渭南市临渭区、高陵县、武功县、兴平市、大荔县、咸阳市秦都区、杨陵区、西安市阎良区、潼关县、西安市未央区、西安市霸桥区、眉县、渭城区、子洲县、绥德县、吴堡县、清涧县	延安市宝塔区、子长县、志丹县	
	宁夏	原州区、隆德县、泾源县、彭阳县、西吉县	银川市西夏区、金凤区、红寺堡区、贺兰县、惠农区、吴忠市利通区、青铜峡市、中卫县、中宁县、陶乐县	海原县、永宁县
	青海	互助土族自治县、化隆回族自治县、循化撒拉族自治县、同仁县、大通回族土族自治县、湟中县、湟源县、门源回族自治县、同德县、兴海县	西宁市郊区、平安县、民和回族土族自治县、乐都县、贵德县、共和县、贵南县	尖扎县
黄土高原丘陵沟壑区	甘肃	天水市北道区、秦城区、张家川回族自治县、清水县、秦安县、甘谷县、武山县、渭源县、漳县、泾川县、灵台县、岷县、临夏市、临夏县、崇信县、华亭县、庄浪县、环县、华池县、合水县、正宁县、宁县、镇原县	靖远县、景泰县、定西县、通渭县、陇西县、临洮县、平凉市、兰州市城关区、七里河区、西固区、安宁区、红古区、永登县、榆中县、皋兰县、永靖县、广河县、和政县、康乐县、积石保安族东乡族撒拉族自治县、东乡族自治县、西峰市、静宁县、庆阳县	白银市白银区、平川区、会宁县
	山西	隰县、原平市、忻府区、神池县、岢岚县、河曲县、保德县、偏关县、方山县、离石市、中阳县、交口县、兴县、临县、柳林县、岚县、乡宁县、吉县、古交市、右玉县、孝义市、文水县、交城县、汾阳市、汾西县、襄汾县、太原市晋原区、万柏林区、尖草坪区、清徐县、河津市、稷山县、万荣县、尧都区、新绛县、	娄烦县、永和县、蒲县、宁武县、静乐县、朔州市平鲁区、五寨县、大宁县、石楼县	
	内蒙古	清水河县、卓资县、凉城县	呼和浩特市新城区、和林格尔县、赛罕区、回民区、玉泉区、土默特左旗、土默特右旗、临河市、包头市昆都仑区、清山区、东河区、九源区、石拐区、杭锦旗后旗、托克托县	察哈尔右翼中旗、武川县、五原县、乌拉特前旗

黄土高原丘陵沟壑区大部分县区降水量超过 400 毫米，因而大部分地区都适宜新增造林，部分地区降雨量介于 300 ~ 400 毫米，通过提高用水效率和供水能力都可以满足造林用水需求。

黄土高原丘陵沟壑区大体可分为黄土高原丘陵沟壑区和平原区，丘陵沟壑区宜结合小流域治理，营造以刺槐、油松、侧柏等为主的水土保持林，人工种植保土、保水能力强的乔木和灌木，适当营造用材林、经济林和薪炭林，沟底川地可适当种植以杨树为主的速生丰产林，在向阳缓坡地带可适当发展干果类、水果类经济林，同时落实退耕还林（草）政策，建立林草—果树—农田复合生态经济防护林体系。

平原区应以保护和改善农业生产条件，提高农业经济效益为目的，大力营造农田防护林，通过人工植被种草，建设独具特色的林粮、林果、果粮相结合的生态经济型防护林体系。

（六）东北华北平原农区水资源承载力

1. 东北华北平原农区范围

东北华北平原农区涉及我国东北、华北地区 7 个省（自治区、直辖市），一共 226 个县级行政区。东北区主要包括内蒙古东北部、黑龙江省、吉林省和辽宁省大部分地区，涉及 157 个县级行政区，其中黑龙江省 61 个县区，吉林省 32 个县区和辽宁省 55 个县区，内蒙古自治区 9 个县区（旗、市）；华北地区主要包括北京、天津和河北部分地区，涉及 69 个县级行政区，其中北京市 4 个区，天津市 8 个县区，河北省 57 个县区（见表 2-17）。

2. 东北华北平原农区水资源基本特征

（1）东北地区水资源总体特征

水资源条件较好，总量丰沛，供水能力较强，但利用效率不高。水资源承载能力总体较高。降水量：大部分地区年降水量在 500 毫米以上，少部分地区在 800 毫米以上，属于半湿润地区。

供水能力：地表河网密集，供水条件便利，供水能力较强。

用水效率：用水效率总体较低，辽宁和黑龙江两省亩均灌溉用水量在 500 立方米以上，吉林省在 300 立方米以上。

（2）华北地区水资源总体特征

水资源总量较少，但降水量相对较高，供水能力强，利用效率高。

降水量：大部分地区介于 500 ~ 700 毫米，属于半湿润地区。

供水能力：具有强供水能力，尤其是京津地区拥有利用外部水源的独特优势，在南水北调工程竣工后，这一地区的供水能力将得到进一步加强。

用水效率：该区在整个三北地区水资源利用效率最高，北京市城市用水总量已出现递减趋势。农业灌溉亩均用水量介于 200 ~ 300 立方米，也是整个三北地区亩均用水量最少的区域。

3. 东北华北平原农区水资源承载能力分析结果

东北华北平原农区是三北工程区中水资源条件最好、水资源约束最小、水资源承载能力最强的区域，绝大多数地区适宜造林，可支撑三北五期工程新增造林。该地区降水量普遍超过 500 毫米，同时具有利用区外水源和实施跨流域调水的条件，也是我国三北地区供水能力

表2-17 东北华北平原农区226个县级行政区

区域	省份	县区名	县区数
东北华北平原农区	黑龙江	哈尔滨市郊区、呼兰县、明水县、依安县、林甸县、克山县、克东县、拜泉县、宾县、双城市、巴彦县、绥化市北林区、安达市、海伦市、肇东市、望奎县、兰西县、青冈县、肇州县、阿城县、佳木斯市郊区、萝北县、绥滨县、同江市、抚远县、富锦市、桦川县、集贤县、双鸭山市郊区、桦南县、鹤岗市郊区、北安市、嫩江县、铁力市、五大连池市、庆安县、绥棱县、木兰县、通河县、依兰县、汤原县、友谊县、林口县、海林市、宁安市、牡丹江市郊区、穆棱市、东宁县、绥芬河市、密山市、虎林市、鸡西市郊区、鸡东市、五常市、尚志市、延寿县、方正县、饶河县、宝清县、七台河市郊区、勃利县	61
	吉林	长春市郊区、双阳区、榆树市、德惠市、四平市铁西区、铁东区、九台市、伊通县、靖宇县、辽源市郊区、东辽县、江源县、吉林市郊区、永吉县、东丰县、梅河口市、磐石市、舒兰市、蛟河市、桦甸市、辉南县、柳河县、通化县、集安市、长白县、临江市、安图县、抚松县、敦化市、通化市东昌区、二道江区、白山市八道江区	32
	辽宁	新民市、黑山县、彰武县、昌图县、康平县、法库县、辽中县、台安县、沈阳市苏家屯区、东陵区、于洪区、新城子区、盘锦市双台子区、兴隆台区、铁法市、太和区、开原市、新宾县、清原县、本溪县、西丰县、凤城市、宽甸满族自治县、岫岩县、桓仁、凌源县、建昌县、阜新市细河区、清河门区、朝阳市双塔区、龙城区、北票市、建平县、喀左县、朝阳县、葫芦岛市南票区、北镇市、抚顺市顺城区、抚顺县、本溪市平山区、明山区、溪湖区、南芬区、辽阳市弓长岭区、义县、阜新县、鞍山市千山区、海城市、大石桥市、辽阳市太子河区、辽阳县、灯塔市、铁岭市银州区、清河区、铁岭县	55
	内蒙古	阿荣旗、莫力达瓦达斡尔自治旗、额尔古纳市、乌兰浩特市、科尔沁右翼前旗、霍林郭勒市、扎兰屯市、牙克石市、扎赉特旗	9
	北京	顺义区、通州区、朝阳区、大兴县	4
	天津	静海县、宁河县、东丽区、西青区、津南区、北辰区、宝坻县、武清县	8
	河北	滦县、廊坊市安次区、固安县、永清县、霸州市、文安县、大城县、三河市、香河县、涿州市、大厂县、石家庄市郊区、正定、辛集市、晋州市、深泽县、无极县、藁城市、新乐市、栾城、赵县、高邑、保定市郊区、定州市、定兴、望都、高阳、安新、雄县、容城、高碑店市、安国市、博野、蠡县、清苑、深州市、武强、饶阳、安平、任丘市、河间市、肃宁、献县、青龙县、遵化县、迁西县、唐山市郊区、易县、涞源县、涞水县、承德市双桥区、营子区、双滦区、迁安县、玉田县、丰润县、卢龙县	57
合计			226

最强、用水效率最高的区域（见表 2-18）。

东北华北平原农区从自然地理特征上主要以平原为主，丘陵和山地较少。在平原地区宜以营造农田防护林、草场防护林和水土保持林为主，通过人工种植、退耕还林（草）等措施，防治土地沙化和荒漠化，提高土地生产能力。少数丘陵地区，如小兴安岭地区、长白山地区宜以加强天然林保护和培育恢复森林植被为目的，通过人工造林、封山育林、退耕还林等措施，建设完善的林业生态体系。少数山地地区，如燕山山地宜以营造水源涵养林为主，在保护好现有植被的基础上，开展以小流域为单元，生物措施与工程措施相结合、植树造林与人工封

表2-18 东北华北平原农区分县水资源承载能力结果

区域	省份	适宜造林区县 (215个)	较适宜造林区县 (11个)	次适宜造林区县 (0个)
东北华北平原农区	黑龙江	哈尔滨市郊区、呼兰县、明水县、依安县、林甸县、克山县、克东县、拜泉县、宾县、双城市、巴彦县、绥化市北林区、海伦市、望奎县、青冈县、阿城县、佳木斯市郊区、萝北县、绥滨县、同江市、抚远县、富锦市、桦川县、集贤县、双鸭山市郊区、桦南县、鹤岗市郊区、北安市、嫩江县、铁力市、五大连池市、庆安县、绥棱县、木兰县、通河县、依兰县、汤原县、友谊县、林口县、海林市、宁安市、牡丹江市郊区、穆棱市、东宁县、绥芬河市、密山市、虎林市、鸡西市郊区、鸡东市、五常市、尚志市、延寿县、方正县、饶河县、宝清县、七台河市郊区、勃利县	肇州县、安达市、肇东市、兰西县	
	吉林	长春市郊区、双阳区、榆树市、德惠市、四平市铁西区、铁东区、九台市、伊通县、靖宇县、辽源市郊区、东辽县、江源县、吉林市郊区、永吉县、东丰县、梅河口市、磐石市、舒兰市、蛟河市、桦甸市、辉南县、柳河县、通化县、集安市、长白县、安图县、抚松县、敦化市、通化市东昌区、二道江区、白山市八道江区、	临江市	
东北华北平原农区	辽宁	新民市、黑山县、彰武县、昌图县、康平县、法库县、辽中县、台安县、沈阳市苏家屯区、东陵区、于洪区、新城子区、盘锦市双台子区、兴隆台区、铁法市、太和区、开原市、新宾县、清原县、本溪县、西丰县、凤城市、宽甸满族自治县、岫岩县、桓仁、建昌县、阜新市细河区、清河门区、朝阳市双塔区、龙城区、葫芦岛市南票区、北镇市、抚顺市顺城区、抚顺县、本溪市平山区、明山区、溪湖区、南芬区、辽阳市弓长岭区、义县、阜新县、鞍山市千山区、海城市、大石桥市、辽阳市太子河区、辽阳县、灯塔市、铁岭市银州区、清河区、铁岭县	北票市、凌源县、朝阳县、建平县、喀左县	
	内蒙古	阿荣旗、莫力达瓦达斡尔自治旗、牙克石市、额尔古纳市、乌兰浩特市、科尔沁右翼前旗、扎兰屯市、扎赉特旗	霍林郭勒市	
	北京	顺义区、通州区、朝阳区、大兴县		
	天津	静海县、宁河县、东丽区、西青区、津南区、北辰区、宝坻县、武清县		
	河北	滦县、廊坊市安次区、固安县、永清县、霸州市、文安县、大城县、三河市、香河县、涿州市、大厂县、石家庄市郊区、正定、辛集市、晋州市、深泽县、无极县、藁城市、新乐市、栾城、赵县、高邑、保定市郊区、定州市、定兴、望都、高阳、安新、雄县、容城、高碑店市、安国市、博野、蠡县、清苑、深州市、武强、饶阳、安平、任丘市、河间市、肃宁、献县、青龙县、遵化县、迁西县、唐山市郊区、易县、涞源县、涞水县、承德市双桥区、营子区、双滦区、迁安县、玉田县、丰润县、卢龙县		
合计				

育相结合的综合治理，绿化荒山，恢复植被，保持水土，涵养水源。造林以培育针阔混交防护型用材林为主，条件适宜的低山地区可以进行以林果业为主的综合开发，陡坡农地退耕还林还草，多林种配置绿化荒山荒坡荒沟，形成综合防护体系。

三、三北防护林体系水资源与林带结构优化配置

目前，三北工程存在对灌木功能、原生植被的保护、管理重视不够，树种、林型较单一，水资源利用、防护林体系结构不尽合理，投资力度小等问题。

（一）三北防护林体系林带结构优化配置原则

1. 建立一个复合型的防护林系统

建立一个符合三北地区自然和经济规律，高生产力的、自然与人工相结合的、以木本植物（包括乔木和灌木）为主体的多林种、多树种、多层次、稳定的、多形式的林农、林牧、林副、林渔等复合型的防护林系统。

2. 遵循生态建设规律，因地制宜，适地适树

三北地区地域辽阔，西北、华北北部、东北地区自然条件、水资源状况、气候特点、地带性植被群落各不相同，特别是水资源状况差异尤其显著，而防沙治沙固土又是一项复杂的系统工程，因此要遵循生态建设规律，因地制宜，适地适树。

3. 乔、灌、草结合

三北地区干旱半干旱面积相当大，植被稀疏，且多大风、风沙。无论从群落的适应性考虑，还是着眼于防护效益，均应加大灌木、草本植物的比重，坚持以灌草为主，乔灌草相结合的原则。

4. 以乡土种为主

任何天然植被均有其优势种和伴生种，共同组成和谐、稳定的复层、混交结构。优势种对地带性的生态条件有最好的适应性，具有较强的繁殖更新能力，是适宜群居的种群。因此，选择地带性植被优势种作为主要造林树种是选择适宜树种的重要原则。

5. 人工建设与天然恢复结合

因多种因素造成三北地区存在大面积的水土流失、土地沙化、荒漠化和土壤盐渍化，多年的实践证明，许多地方依靠天然植被恢复可取得事半功倍的效果。所以，在三北防护林体系结构配置过程中，要遵循人工建设与天然恢复相结合的原则。

（二）北部防风固沙防护林林带结构优化配置

北部林业生态工程建设的主攻方向是控制沙漠化侵蚀，固定流动沙丘，扭转沙进人退的局面。三北五期工程优先抓好毛乌素、科尔沁、呼伦贝尔三大沙地的集中治理。这一区域虽自然条件相对较好，但草原退化、土地沙化现象仍较严重。

1. 保护现有植被，辅以人工植被建设

北部风沙区治理风蚀荒漠化，成为草原区经济可持续发展的关键。以三北风沙线为主干，建立农田保护网，减轻风沙危害。包括：①加强封沙育林育草。重点保护现有草地植被，大力加强草场建设，恢复和改良退化草场。在条件适合的地区，通过封禁，并辅以人工补播补种方式，加速植被恢复；生态恶化地区建立无人区，促进生态恢复。凡是通过封育能够恢复植被的地块要以自然修复为主；凡是有保护价值的林地、湿地、沙地、草原，都要按照法律和政策划定自然保护区。②建立人工草场。通过水利建设、围栏、牧场防护林网建设和草场改良，建立人工草场，提高草场载畜力。③推行牧业集约化。大力推广先进的放牧技术，建立“草库伦”，实行划区轮牧和舍饲相结合，变粗放经营为集约经营，提高牧业集约化生产水平。④推广飞播造林种草。在半干旱及半湿润地区，成规模地推广沙地飞播花棒、踏郎、柠条、沙棘、沙打旺、沙蒿等林草植被。

2. 建立植被防护体系，保障绿洲持续发展

除在绿洲内部建立农田防护林体系外，应建立以灌木为主，乔、灌、草相结合的沙漠前沿与绿洲边缘植被防护体系。其要点是：①采取综合措施，营造、封育、保护并重，建立以灌木为主，乔、灌、草结合的阻沙林带。②采取带状混交配置及“两行一带”配置模式。③因地制宜，适地适树。优先选择乡土树种，适宜的抗旱性强、抗风蚀沙埋能力强、耐瘠薄或耐盐碱的固沙造林树种（包括灌木和草本植物）。④在风沙危害较轻的沙区和冬季有风吹雪的农牧区内部配置由乔木组成两侧或仅一侧的边行，配置一行灌木的疏透结构林带。在风沙危害严重沙区和农牧区风沙前缘，采用由乔灌木树种组成，带幅较宽，行数较多，造林密度较大的紧密结构。

3. 适度发展沙区特色林沙产业

北部风沙区在坚持生态优先的前提下，适当配置特用林、用材林、经济林、薪炭林（含林木生物质能源林），加大林沙资源的培育和开发利用，建设各类特色经济林基地，改造低产低效林，建设生物质能源发电原料基地，大力扶持、培育龙头企业，加大产业基地建设，逐步建立起龙头带基地、基地联农户的沙产业新格局。

4. 选择适宜的植被类型

根据沙地的自然条件、特点，因地制宜地选择适宜的植被类型。其植被类型大约有 5 种：①流动、半流动沙丘先锋植被类型，主要有小黄柳、差巴嘎蒿、木岩黄芪，其共同特点是根系发达，无性繁殖能力强，在流动沙丘和半流动沙丘上生长比较旺盛，甚至成为单优群落。②固定、半固定沙地灌木、半灌木植被，主要有小叶锦鸡儿、欧李、东北木蓼群落等。③固定沙地草本植被，主要有糙隐子草、冰草、甘草、益母草等。④沙质草甸植被。主要有小红柳群落、蒙古柳群落、罗布麻群落、羊草群落、野古草群落、牛鞭草、芦苇群落，杠柳等。⑤沙地森林植被。其划分为两类：一是天然森林植被；二是人工森林植被。

5. 因地制宜地配置林草复合经营模式

根据不同的立地条件，因地制宜地配置林草复合经营模式：

(1) 带、片、网结合的群团状防风固沙模式

采取造、封、管结合，乔、灌、草结合，点（城乡居民点、灌区、工矿区等）、线（铁路、公路沿线）、面（大片天然草地、沙地等）结合，建立带、片、网相结合的群团状防风固沙林体系。

3 “两行一带”模式

“两行一带”模式分两种：其一，“两行一带”兼用型立体混农模式，在保证林业生产的前提下，发展了灌溉农业，形成高效林带与农田有机结合的混农林业模式；其二，“两行一带”杨树丰产林模式，其优化结构是林带由 2 行组成，呈品字形排列，带间距旱作区、灌区分别为 15 米和 20 米左右，造林密度为 405 株 / 公顷。

3 旱地混农林间作模式

该模式主要适宜于地势较平坦、相对高差小于 5 米，平缓、轻度沙化地或弃耕地的旱作农田，采用 1 年生杨树苗造林，造林当年就可间作农作物，造林成活率、保存率分别达到 85%、80%。间作能显著提高林地早期收益，造林后约 3 年内单产比对照地提高 5% ~ 15%，7 ~ 8 年后，弃耕还牧种植多年生豆科牧草或天然恢复牧草植被，鲜草产量可达 3600 ~ 8250 千克 / 公顷，直至轮伐期。

4 以草灌建设为中心，农林牧协调发展模式

通过防护林的固沙作用，实现林—草—畜—粮系统良性循环，建成以草地灌木建设为中心的生态型农林牧协调发展模式。建成以草、灌为主，乔、灌、草结合的防风固沙绿色防护体系。既强调乔木林高空层次、灌木林低空层次防风固沙作用，又充分发挥草地、农田的生态经济功能

5 农林牧“三层”复合经营模式

在行洪河道河滩沙地，在保证行洪安全的前提下，构建草、林、果“三层”种植带。在成片起伏的流动沙地上，逐步推进“三层”林草复合经营模式。第一层，建立防护林和风沙障；第二层，在沙源封锁的基础上，逐步营造沙生植物，建设综合防护体系；第三层，对灌丛杂草沙丘地，条件成熟就配套建设水利设施，发展经济林或经济作物。

在流动沙地的防风前沿地带，建立较密集的防风固沙障碍林；非防风前沿地带，种植灌木，设置沙蒿、杨柳等活障碍物；在防风固沙障碍林、活障碍物的基础上，发展农业。

在北部干旱、半干旱区推广林果粮经高经济效益的“三层”结构立体种植模式。第一层，在其外围营建乔木阻沙林带；第二层，在主林带内以果树为副林带，实行林果间作；第三层，在果树行间种植粮食作物、经济作物、蔬菜、药材等。

6 窄林带、小网格、密集型防护林网模式

在风沙危害严重地区的农田外围，划出 200 ~ 500 米封育带或固沙林带。在封育带与农田之间，建立阻沙林带，内部建设窄林带、小网格的农田林网；对风沙危害不严重地区，仅在农田外围林网增加 1 ~ 2 行即可，其内采用窄林带、小网格模式。在固定沙丘地及沙土地上，建设密集型防护林网，发展以经济果木为主的名优特瓜果生产基地。

（三）西北荒漠绿洲防护林林带结构优化配置

西北荒漠绿洲素有“沙漠明珠”之称。其面积虽很小，但水、土、光、热资源配合较好，集中着西北荒漠地区绝大多数的耕地，也是人口最密集、工农业最发达的地区。西北荒漠绿洲防护林建设是保护西北荒漠绿洲的战略举措。

1. 西北荒漠绿洲防护林林带“三层”结构配置模式

（1）山地的森林水源涵养层

西北山地“湿岛”是绿洲水源的形成地，即山地森林水源涵养层。其生态环境的变化对平原绿洲影响很大。因此，西北荒漠地区的山地森林均应作为生态型水源涵养林严加保护。加强封山、育林、育草工作，保护、封育西北荒漠山区水源涵养林，增强水源涵养能力，就是保护天然绿洲。因此，对塔里木盆地、柴达木盆地、黑河流域等上游山区的植被已经退化的都要严格封禁保护，并加大山地水源涵养林保护、建设力度，维系绿洲良性运行。

（2）绿洲—沙漠之间的天然植被过渡层

天然植被在人工绿洲和沙漠之间形成了将两者相互隔离开的过渡带，它是人工绿洲最重要的生态屏障。目前，绿洲外围天然植被来自两方面的胁迫。其一是人类不断垦荒；其二是人与生态争水。从长远看，这一过渡带的不断变窄，将最终使人工绿洲与沙漠直接相连，导致绿洲不可避免地衰亡。因此，保护好绿洲外围的天然植被，是保证绿洲生态安全的根本大计。例如沿塔里木河下游原来生长有大片的胡杨林和其他植物，它们形成了分割塔里木河下游库鲁克库姆沙漠和塔克拉玛干大沙漠的绿色屏障。若库鲁克库姆沙漠和塔克拉玛干大沙漠连为一体，塔里木盆地的生态环境就不堪设想，这不仅危害新疆，而且影响到国家东部地区。

保护好西北荒漠地区山麓平原、河谷沿岸的天然植被，维持自然生态系统的稳定性，是恢复脆弱生态环境及重建生态平衡的重要途径。实践表明，人工防护林与外围天然植被的良好结合，能有效地阻止风沙入侵绿洲。

（3）绿洲内部农田防护林层

绿洲农田防护林林带结构优化配置战略是：优化内部、强固外围。绿洲内部农田防护林体系建设，突出抓好树种、林种结构的更新改造和优化调整，建立保护农田、改善绿洲内部环境和有利于提高土地生产力的农田防护林体系。主林带沿水渠高密度配置，其宗旨是有效防止风蚀、沙压农田，持续、稳定地为农作物生产奠定良好的环境基础。在此前提下，副林带尽量选择经济树种，达到防护林体系生态、经济效益的和谐统一。

绿洲内部防护林林带结构主要包括：带网林、间作林、片状林、阻沙林、景观林、绿化林以及小面积的用材林、能源林、经济林、种苗等类型，形成群团状的农田防护林林带结构配置模式。农田林带（网）以小网格、窄林带为主，网格面积一般农区在 20 公顷以内，风沙区不超过 10 公顷。牧区一般采取宽林带大网格，网格面积一般牧区在 33 公顷以内，风沙区不超过 20 公顷。林带（网）与经济果林及居民点附近的片林、庭院林、林草双层草场结合在一起，构成群团状结构防护林结构，强化防护效益。

2. 优化绿洲防护林林带结构配置

(1) 筛选、引进适栽树种，建混交林带

筛选、引进抗逆性强、防风效益好的河北杨、新疆杨、廊坊杨等适栽树种营造农田林网；为减缓黄斑星天牛等蛀干害虫的危害，根据多树种合作抗御天牛理论，营造混交林是防御天牛的根本措施，通过调整树种结构，逐步减少杨树林带比例，增加抗性免疫树种比例，提高林分的稳定性，增加生物多样性，减少被病虫害危害的风险。基本配置模式：高抗天牛的杨树品种、免疫树种、诱饵树种的比例为 50% ~ 45% : 50% ~ 45% : 0 ~ 10%（一般是 5% ~ 10%）。与此同时，林网中不断耐瘠抗冻树种、针叶树种，营造针阔混交、乔灌搭配的多树种林带，改造以杨树为主的格局，提高林网的抗逆性和稳定性。实践表明，针阔混交配置是西北荒漠绿洲农田防护林更新改造的主要方向。

(2) 经济树种上带，发展阳光产业

经济林树种上带，如南疆用核桃、大枣、桑树、巴旦杏等特色经济林树种改造农田林网的副林带，发展阳光产业。主要方式有三：①用核桃等树体高大的树种营造副林带；②改造渠、路两侧的林带，在向阳面配置经济林树种；③在林网内推行林农混作，在毛渠两侧栽桑树、巴旦杏、红枣等经济林。充分利用荒漠绿洲光热资源，发展阳光产业，实行林粮间作等立体种植，杨树大林带，果树小网格，提高农田防护林体系的经济效益。

3. 绿洲牧区林带配置模式

牧区，在保护、管理好现有森林资源的基础上，封山（封沙、封滩）育林与植树造林相结合，以营造基本草牧场防护林，防风固沙林和城镇、定居点绿化为重点，努力扩大森林覆盖面积，形成群团状的防护林结构。牧区林带配置结构一般分四种情况：①人工草地、饲料地防护林。其配置方法采用田、渠、路、林相结合，组成窄林带、小网格的疏透结构防护林，每个网格保护面积不超过 20 公顷，林带面积一般占防护面积 10% ~ 22%。②打草地（半人工草场）防护林。其配置形式通常有网状、带状两种。网状的林带占草场面积 6% ~ 8%。带状配置时，横对当地主要害风，并沿草库伦四周营造一圈“镶边”林带，外缘再密植 1 ~ 2 行带刺灌木或亚乔木作生物围栏。③冬春草场防护林。选择在土壤与水文条件好的低洼地、河湖滩地、盆地、沟谷及饮水点附近，营造群团状防护林或饲料林。④防风固沙林。在沙漠与绿洲交界的边缘，营造紧密结构的防沙林带；在流动半流动沙丘地区，以灌木为主，乔、灌、草结合。

4. 绿洲新农村林业配置模式

为结合新农村建设，美化、绿化、效益化绿洲新农村环境，其配置模式是：大力建设村边、宅边、渠边、田边和路边的锁边工程，即“五边绿化”，开展乡村环境绿化美化和身边增绿行动，建立生态防护型、生态经济型和生态景观型等适宜发展模式。

(四) 黄土高原生态经济型防护林林带结构优化配置

黄土高原采取生物措施与工程措施相结合，坚持山、水、林、田、路综合治理，建设以生态经济型水土保持林为主，促进农林牧业协调发展。

1. 生态经济型防护林林带结构优化配置构想

(1) 建设具有多功能的防护林体系

黄土高原属温带半干旱—暖温带半湿润地区，水土保持林的营造，应紧密结合林果业、用材林、薪炭林等基地建设，构成具有多功能的防护林体系，既发挥生态防护功能、景观功能，又发挥经济效益和社会效益。

(2) 统一规划，重点突破，因地制宜选择不同营林模式

从黄土高原水土流失现状出发，按流域布局，以小流域为单元，以防止水土流失为重点，以小流域综合治理为突破口，统一规划梁、峁、沟、川、塬，山、水、田、林、路，因地制宜选择不同营林模式，集中连片，规模治理，重点突破，以尽快恢复林草植被。

2. 不同营林模式优化配置

(1) 水土保持复合生态工程建设模式

山、水、田、林、路及塬边、沟头、坡面、地埂进行综合治理，防、治、用三者融为一体，选择稳定性、耐旱性强、蒸发强度小的树种，集中连片营造农田防护林、水土保持林、护路林、护塬林、保沟林、地边埂植物篱，坡面植草，构建群团状的水土保持复合生态工程建设模式，达到护塬、保沟、固土作用的同时，发挥区域光、热、水、土等自然资源优势。

(2) 针阔、乔灌混交型水土保持林营建模式

充分发挥针阔叶树种各自保持水土的能力，利用带状、块状等各类混交类型，营建林分结构稳定的针阔混交型森林群落；利用灌木的保水、固土功能、饲草特性和乔木树种的稳定特性，营建乔灌混交型水土保持与饲料林。

(3) 村镇绿化林业发展模式

结合社会主义新农村建设，改善村镇及农民生产、生活环境，防护与道路、村庄、水系、房前屋后、庭院、地边绿化结合，创建绿化、美化、效益化的生态环境保护型、绿化美化型、经济效益型和生态景观型等不同类型的群团状的村镇林业发展模式。

(4) 乔灌型、灌草型封山育林模式

充分利用黄土丘陵区森林草原地带的自然修复能力，辅以人工营林（草），在河流两岸及直观坡面大力营造水土保持功能强的防护型乔灌树种，并配置灌草植被，构建乔灌型、灌草型封山育林模式，改善生态环境，增强河岸及直观坡面的防护功能，控制水土流失。

3. 不同立地类型防护林体系配置模式

(1) 梁峁顶、沿河阶地与平原区防护林体系配置模式

梁峁顶水土保持林和水源涵养林的配置主要是沿分水岭带状造林，并选择抗风、耐干旱和根系发达的树种或灌木，并加大灌木比重。沿河阶地与平原区是比较适宜发展森林植被的地段，森林是水土保持的主体。通过营造农田、渠道、道路防护林、城镇、居民点绿化林及复合农林业（果粮、经粮、果草等间作），构筑群团状防护林体系。

(2) 坡面防护林体系配置模式

护坡林为灌木比重占到 60% 以上的乔、灌混交模式；凹形斜坡上部、下部宜分别营造以灌木为主的护坡林和以果、灌为主的混交林；直线型坡、支离破碎的坡面宜分别营造以乔

木为主和以灌木为主的乔灌混交林。沟底建块状林和小片丰产林，或刺槐 + 油松、油松 + 沙棘、油松 + 侧柏、侧柏 + 沙棘、刺槐 + 侧柏、油松 + 山杨等乔灌混交林。

(3) 侵蚀沟防护林体系配置模式

侵蚀沟防护林的营造应结合工程措施，沟头修筑围堰，围堰外密植灌木，堰内栽植乔灌混交林。侵蚀沟沟坡造林应选择根系发达、郁闭早的乔、灌木。

4. 生态经济型防护林林带结构配置模式

在土壤侵蚀模数基本居于允许范围内，结合新农村建设与林业特色，恢复森林植被与绿化、美化、效益化齐头并进；建立高效、稳定的包括庭院经济林和农田经济林的生态经济型防护林体系，实现区域生态、经济与社会协调可持续发展。

5. 生态经济型景观林结构配置

其结构配置主要包括：①环村景观林。②村镇道路绿化选择生长迅速、冠形优美、抗病虫能力强、经济价值高的树种作为主栽树种。按照“三季有花、四季长绿”的模式进行配置。

③生态经济型庭院绿化林。④绿色文化广场景观林。⑤生态经济型农田景观林。开发利用适宜林木生长的农田，或农林间作，栽植苹果、梨、枣等经济林。

6. 建立优良树种引繁基地，推广优良树种、品种

为了适应林带结构优化配置的需要，通过对乡土树种的筛选及引种、选优等办法，建立优质树种引繁基地；推广四倍体刺槐、针叶树、杨树速生优良品种以及生长迅速、抗逆性强的欧美系列、中林系列等杨树新品种；推广优质高酸度苹果、核桃、柿子、红枣、沙枣、大果沙棘等良种及其丰产栽培技术；建立经济价值高、水土保持作用强的优质品种丰产园，促进黄土高原产业结构调整；发展抗逆性强、牲畜喜食的四翅滨藜、柠条、沙棘、花棒、踏郎等既保持水土，又提供饲料的水土保持型饲料灌木树种。

(五) 东北华北平原高效农田防护林林带结构优化配置

其基本构架：以建设农田防护林为重点，构建多林种、多树种、多层次并举，网、带、片、乔、灌、草结合，农林牧业彼此镶嵌，县县毗连，融为一体的区域性防护林林带结构。

1. 东北黑土漫岗地农田防护林林带结构优化配置

黑土漫岗地生态环境建设以水土保持林为重点，通过生物、工程和耕作等措施的立体式复合型配置模式，实现高水高蓄、坡水分蓄、沟水节节拦蓄，有效控制水土流失；并通过产业结构调整，粮、畜、林果、药杂等多种经营，建立优质高效的水土保持生态经济系统。

在岗脊坡顶栽植水土保持林；林地与耕地交界处开挖截水沟，形成水土保持林与截水沟组合的配置模式；在 3~5 度的坡耕地修筑配置植物篱的地埂；在 5~7 度的坡耕地修成梯田或营林；大于 7 度的坡耕地退耕还林还草；荒山荒坡地采用鱼鳞坑整地，营造水土保持林和用材林；沟缘线，沿沟缘线修筑营建植物篱的沟边埂；在沟底修谷坊或建塘坝，营造沟底防冲林，形成高效的群团状的黑土漫岗地农田防护林林带结构。

2. 东北平原高效农田防护林林带结构优化配置

东北平原农区防护林的主导功能是保障农业生产的生态需求，最大限度地挖掘木材生产

潜力，方便农业规模经营和机械化耕作。

(1) 林带结构配置

东北平原高效农田防护林林带结构优化配置的基础是：首先，停止天然林砍伐；第二，保护天然草地和湿地资源。在这基础上，完善、提高其林带结构功能，构建统一的、区域性的高效农田防护林林带结构。

其结构优化配置总体构架，以现有农田防护林网为基本骨架，以保护农田黑土不流失为重点，充分利用空间资源，按农业区划、区域性土壤、灾害性气候特点，优化林带结构配置。营造林主要采取 3~5 行、500 米 × 500 米的宽林带、大网格的速生丰产型用材林农田防护林建设模式。林带为疏透结构或通风结构，主林带走向以南北方向为宜，副林带垂直于主林带。农田防护林与农林间作、“四旁”绿化等融为一体，建成高标准、群团状式的高效农田防护林林带结构配置。

林带结构优化配置模式包括：①更新原有防护林带，采取乔、灌结合，增加灌木比重，构建双层防护配置。②推行“栽针保阔”。主要造林树种有落叶松、红皮云杉、樟子松、小黑杨、小青杨、旱柳、胡枝子、丁香、沙棘及灌木柳类等，发展天然混交林。③结合新农村建设，搞好锁边工程。④用材型主、副林带配置模式。在提高林带防护功能的同时，在短期内提供干型好、生长快、出材率高的木材。

(2) 合理确定林带结构与走向

林带结构：东北平原高效农田防护林林带结构选用疏透结构或通风结构。疏透结构通常由 4 行以上乔木，两侧再各配一行灌木组成。通风结构一般为乔木组成，不配置灌木。东北平原高效农田防护林林带宜栽植在呈网状分布的渠边、路边和田边的空隙地上，尽量与护路林、护岸林、护渠林、环村林以及成片造林相结合，做到林网、路网、水网三网合一，构成纵横连亘的群团状的农田林网。

林带走向：以主林带垂直于主风来确定林带走向。主林带走向设置基本以南北方向为宜，副林带垂直于主林带设置。林网设计主要采用“宽林带、大网格”的模式，营造 3~5 行、500 米 × 500 米的宽林带、大网格。

(3) 选择适宜树种，构建混交模式

东北平原高效农田防护林林带结构的树种宜选择生长迅速、抗性强、防护功能大及经济价位高的乡土树种，或符合上述条件而经过引种试验、证实适生于当地的外来树种。避免选择根蘖性强、遮阴及胁地严重的树种；避免使用和当地主要农作物有共同病虫害的中间寄生树种。树种主要选择双阳快杨、小青黑杨、樟子松、旱柳等。

配置模式采取树种混交配置，如针、阔叶树种混交模式，常绿与落叶树种混交模式，乔木与灌木树种混交模式，经济林与用材林混交模式等，并采用带状、块状或行状混交方式，构造高效、稳定的农田防护林林网。

3. 华北平原高效农田防护林林带结构优化配置

本区北起燕山南麓，西以太行山、嵩山东麓为界。南以桐柏山和淮河一线为界，东界为渤海，南部与山东山地丘陵区分界，黄河横贯中部。

(1) 林带结构优化配置的主导功能

其主导功能是：确保农田稳产、高产、高效；提升城乡绿化一体化水平；带动农民增收致富。

(2) 林带结构优化配置模式

总体构架：以现有农田防护林网为基本骨架，以防风固沙林、速生丰产用材林和水源涵养林为主，以农田防护为重点，充分利用空间资源，按农业区划、区域性土壤、灾害性气候特点，优化农田防护林林带结构配置；在地域上，林带与环城、环村、沿河、沿路结合，实行“群团、宽带”配置；农田防护林林带与农林间作、“四旁”绿化、速生丰产用材林、薪炭林、经济林、果园等融为一体，建成防护功能突出，景观与效益结合，多林种、多树种、多层次、网带片结合，乔、灌、草配套，高标准、群团状、宽林带的农田防护林林带结构。

林带设置：平原农区大面积的农田，应营造纵横交织的林带，每块农田都由四条林带所围绕，以降低或防御来自任何方向的害风，起到全面的防护作用。主、副林带形成网格，构成林网。林带配置在呈网状分布的渠边、路边和田边的空隙地上，尽量与护路林、护岸林、护渠林、环村林以及成片造林相结合，构成纵横连亘的农田林网，做到林网、路网、水网三网合一。这既可节省耕地，又能构成综合的防护林体系，扩大防护功能。

林带结构配置与走向：华北平原高效农田防护林林带结构，包括主林带、副林带，必要时还可设辅助林带。主林带与主要害风方向垂直，防止主要害风；防止主要害风以外的林带称副林带，它一定要垂直于主林带。主林带选择疏透结构，副林带或辅助林带采用通风结构或疏透结构。疏透结构由4行以上乔木，两侧再各配一行灌木组成。有效防护距离在 $25H$ （ $25H$ 表示林带高度的25倍）的范围内。通风结构一般为乔木组成，不配置灌木，其防护距离最远，适用于风速不大的灌溉区，或风害不严重的壤土农田或无台风侵袭的水网区。

林带间距与宽度：林带网格是由主、副林带之间的距离所构成。华北平原地区主林带距离为200～300米，副林带距离为500～600米，网格面积要大于10公顷，而小于20公顷。

林带宽度是指林带两侧边行树木之间的距离，再加上两侧各1～15米的林缘宽度。两行的林带宽度应大于4米的窄林带，其优点是占地少，消耗水分少，生长稳定而防护效果好。

网格与带距：一般土壤疏松且风蚀严重的农田，主、副带距分别为150米、300米，网格约4.5公顷；有一般风害的壤土或砂壤土农区，主、副带距分别为200～250米、400米左右，网格约8～10公顷；风害不大的灌区，主、副带距分别为250米、400～500米，网格约10～15公顷。

树种选择与模式

农田防护林树种选择：选择种源丰富、表现良好的乡土树种；速生丰产、干形通直、树冠较窄、生长稳定、寿命长、抗性强的树种；经济价值高、产量大的木本粮油树种和果树做伴生树种；避免选择、使用根蘖性强、遮阴、胁地严重以及和当地主要农作物有共同病虫害的中间寄生树种。

符合上述条件而经过引种试验、证实适生于当地的外来树种，主要以毛白杨、河北杨、北京杨、群众杨、合作杨、新疆杨等落叶阔叶树种为主。

采取混交模式：运用带状、块状或行状方式，采取树种混交模式，其模式配置包括：针、

阔叶树种混交，常绿与落叶树种混交，乔木与灌木树种混交，经济林木与用材树种混交等。

(3) 高效防护林林带结构配置与多功能结合

与新农村建设结合：华北平原高效农田防护林林带结构配置要紧紧密结合新农村建设，大力发展生态型保护林、生态型经济林和生态型景观林，包括五个部分：①环村林带建设。

②村镇道路绿化。③庭院绿化。④绿色文化广场建设。⑤生态经济型农田景观林建设。

与速生型用材林结合：为了提高华北平原木材自给率，也为了发挥农田防护林的多种功能，在提高林带防护功能的同时，配置以短期内提供干型好、生长快、出材率高的速生型用材林。其配置模式：主林带 4 ~ 6 行，副林带 2 ~ 4 行，通常配置窄冠型杨树，主、副林带呈品字形栽植。

四、对策措施

(一) 因地制宜，分区治理

三北地区覆盖范围广，不同地区水资源条件差异较大，在防护林建设上，不能采用统一的治理方案。林区的分布、治理措施的应用、种植树种的选择、成林养护的手段都必须与当地水资源状况相适应。因此，在三北防护林建设过程中，最重要的就是因地制宜，分区域治理。

在治理方案上，西北干旱地区生态建设应以自然修复为主，这些地方是沙化比较严重的地区，防风固沙是首要任务；在半干旱农牧交错地带，应侧重生态系统养护，退耕还林还草为这些地区的工作重点；在天然林区和草原区，环境保护是重点，要封山禁牧，减少人为破坏，以保护天然林草植被为主。

在治理措施上，针对不同区域的水资源利用状况，灵活运用人工造林、封山封沙育林和飞播造林等措施，实行乔、灌、草结合，带、片、网结合，多树种、多林种结合，建设一个功能完备、结构合理、系统稳定的大型防护林体系。在黄土高原等重点水土流失区，还应实行生物措施与工程措施相结合，按山系、按流域综合治理，建设以水土保持林为主的区域性防护林体系。

在树种选择上，必须以实际情况和科学规划为基础，根据三北防护林工程区不同的水资源条件，选取不同的防护林培育种类。三北地区杨树等绿色乔木树种种植较广，虽然易于形成大范围的覆盖面积，但这类树种属于高耗水类型。在降水量极少的地方，不宜盲目扩大人工造林面积，特别是种植杨柳树等乔木林，要避免造成大量耗水却难以成林的后果。

此外，还应该考虑到不同地区的地质构造和河流补给特征，重视地下水的勘察、保护和合理利用。

(二) 适当提高封育比例，降低水约束

三北地区水资源紧缺，生态压力大。大部分缺水地区本土植被种类经过长期的自然选择，更为适合当地的气候，不应贸然种植新的物种破坏种间平衡。而且种植手段对水资源要求高，需水量大，保证防护林存活成本高。所以，在水资源稀缺区，应充分重视封育。采用逐步推进式

防护手段，首先以保护现有植被不受侵害为主要目的。适当扩大封育范围，重视保护。其次，注意采集本土植物样本，获取植物种子，辅以人工播撒、种植。最后，待本地植被形成规模后，配合其他树种的种植，并最终形成新的防护林带，实现逐层推进，最大限度节约水资源。

（三）重视低耗水植被种植，提高存活率

草本植被具有用水少、易于成活等优点，在风沙严重、水源缺乏的沙地扩展区，应更加重视固定沙地草本植被的种植，如糙隐子草、冰草、甘草、兴安胡枝子、飞燕草、茵陈蒿、大籽蒿、百里香、雾冰草、狗尾草、斜径黄芪、网果胡卢巴、黄蒿、天门冬、防风、益母草等。通过草本植被的固沙作用，抑制沙地的扩展，形成阻隔风沙的第一层防护体系。

在草本植被隔离风沙区的后方，种植大面积灌木类植被等抗旱性强的品种。通过草灌结合，实现自然过渡。如种植毛条、沙柳等；易沙埋的地方需选择抗风蚀沙埋能力强的品种如沙打旺、柠条等；贫瘠地块需选择耐瘠薄的品种如花棒、踏郎、沙棘、沙枣等；盐碱化地块选择耐盐碱的树种，如圣柳等。在最内层，可以培育针叶林和针阔混交林，形成由外到内的草—灌—林圈层结构。这种结构能够在最大程度节约用水的前提下，保证植被较高的存活率。

（四）依靠科技手段，提高用水效率

在合理利用水源的基础上，充分依靠科技手段，提高水资源的利用效率。在不同地区，针对不同的地质、水文条件，采用不同的实用技术手段，可有效地提高水资源利用效率，根据国内外实践经验，可以通过工程技术手段和生物技术手段提高水资源利用效率。在三北地区，农业用水效率提升空间较大，可通过腹膜灌、微灌、渗灌等田间高技术节水手段、农作物抗旱品种选育、栽培模式、水肥耦合等农艺节水手段和高水效农林复合型农业提高水资源利用效率。通过提高效率，节约农业用水，可适当增加生态用水，进而缓解水资源供需矛盾。

（五）保护水源，提倡全民节水

三北地区水资源十分有限，近年来随着社会经济的发展，工业、农业、生活用水居高不下，真正用于林业建设的水资源盈余空间越来越小。因此，必须重视保护水源和节约用水。一方面对水源地进行生态治理修复、严防水源污染，另一方面通过大力宣传，建立起全社会节约用水的良好风气，并通过各项政策、法规、技术的应用和推广，提高各行业用水效率，为三北地区的生态修复、林业建设开拓出更多的用水空间。

第一，重视保护水源。重视水利工程建设、维护，对水源地、河网进行重点保护、治理；重视地下水勘测、保护，严禁过度开采地下水，对地下水进行长期监测，防止地下水污染。对污染水源、偷采地下水的行为进行坚决打击和处罚。

第二，大力宣传节约用水，加强节水管理。通过各地区政府、用水单位、社区等基层组织，加强对节水工作的领导，层层建立节水责任制。各级水行政主管部门要加强节约用水管理工作。宣传部门、新闻媒体要加大节水宣传力度，鼓励居民形成良好的节水习惯，增强全社会人民爱惜水、保护水、节约水的意识，形成人人节约用水的良好风尚。

第三，建立用水规范，对用水指标进行必要的管制和制约。通过水价改革，根据不同用水量采用不同的收费制度等措施，调节城镇居民的用水量。对产业领域进行用水评估和规范，通过行政指令、用水量指标交易等措施，对年度用水计划外的新增用水实行总量控制。严格限制新上耗水量大的用水项目，淘汰高耗水、高污染的行业。

第四，推广节水技术、节水设施，淘汰落后的耗水工艺、设备，规范行业用水过程。通过政府出资、出台优惠政策等措施，鼓励社会对节水项目的投资。对污水处理、中水回用等环保型产业进行补贴，促进水资源循环利用。

（六）增加投入力度，提高供水能力

提高供水能力是缓解三北地区水资源压力，服务三北防护林建设的重要途径之一。提供供水能力可以从以下两个方面着手：①通过工程措施提高对现有水资源的调配能力。主要通过扩大水利设施覆盖面、增加小规模输水线路等措施来实现。②建立雨水蓄积系统，更多地利用降水，起到增加水源供应量的作用。近年来，西北部分地区在有条件（一般年降雨量在300毫米左右或以上）的地区，兴修水窖、水池等集雨工程，在解决群众生活用水的同时，配合节水措施，也部分地解决了生产用水，通过种植果树、蔬菜等经济作物，取得了较好的效果。

以上两项提高供水能力的措施都需要增加资金投入，单靠林业部门是难以实现的，必须通过多部门合作、多渠道融资的方式解决。建设资金来源应以中央拨款为主、地方政府配套和吸纳社会投资为辅。

（七）探索水权流转模式，开拓林业新水源

三北地区农业用水比例大，用水效率普遍较低，农业节水的潜力较大，将农业节约出来的水资源以水权的形式向林业用水流转，存在理论上的可能。实践中可积极探索水权流转的可行模式，开拓林业新水源。操作上政府可通过调动农民田间节水增效积极性、加大农田节水措施的资金补助力度，也可建立政府农业节水补偿机制，还可通过财政扶持农业节水工程建设与投资重大水利工程建设等方式，推进农业用水向生态用水的转移。

（八）建立部门协调机制，提高水资源调配能力

三北地区覆盖范围广，各区域情况复杂多样。防护林建设所需水资源的跨区分配、整体协调、资金安排等依靠各地区分别协调很难达到良好的效果。应该由林业部门、水利部门成立专门的林业建设水资源管理部门，可由主管人员成立水资源调配协商小组，负责统一协调。合理地安排相邻地区的水资源空间调配，最大限度地照顾到全部区域的水资源需求。

（九）健全管理机制，重视保护造林成果

三北地区水资源有限，防护林工程建设成果来之不易，必须十分重视对造林成果的保护，做好后续维护工作。只有保证人工林建成后能够真正存活，并不断壮大，才能使大量的水资

源用之有效，才能从真正意义上实现水资源的节约。否则，边造林、边失林，必定造成有限水资源的大量浪费。

在以往的造林工作中曾经出现重建设轻维护的现象，使得耗资巨大的人工林，在建成一段时间之后由于得不到必须的维护而大量枯死，造成巨大的损失。因此，必须对已建成的防护林成果严加监管，妥善维护。核心在于必须建立起一套行之有效的维护监管体系。要认真落实管护责任制，把管护工作同集体林权制度改革结合起来，切实将管护责任落实到人头。对防护林所在的具体县区，必须建立起专管领导责任制。由省、市、县等各级政府的主要领导负责监督协调，由各地区林业部门负责监管维护的具体实施。同时，要加强依法管护，广泛深入地宣传《森林法》、《防沙治沙法》、《水土保持法》等法律法规，提高全社会的法律意识。要做好林地的确权发证工作，确保林地不流失、用途不变更。要依法严厉查处乱砍滥伐、毁林开垦、非法侵占林地等违法犯罪行为，坚决遏制边治理、边破坏现象的发生。

此外，在具体工程建设的质量管理上，还应该严格依照建设标准做好监测、检验和科学评价工作。对建设成果的质量严格把关，确保防护林体系真正能长久存活下去，起到生态修复、生态保护的作用，从根本上将有限的水资源用于实处。

（十）推广生态经济，实现生态建设与经济发展的双赢

三北地区的生态脆弱区，往往经济水平发展较低，人民生活水平亟待提高。防护林工程的建设必须与当地经济发展、人民生活水平提高联系起来，才能最大限度地得到地方人民的支持，才能从根本上调动地方政府、百姓的积极性，自主加强对林业的维护，实现水资源的高效利用。

因此，在三北防护林地区，必须大力推广生态经济。依据地方特色，着力培育和发展中药材种植加工、沙棘深加工、花卉、苗木、林果、森林旅游等生态产业。健全、完善林区承包经营机制，在适宜地区鼓励地方企业、个人承包、经营林区，多渠道吸引社会资本投入到林业开发、建设项目当中，实现生态建设和经济发展活动的有机结合。

研究人员：董锁成 李泽红 孙 枫 李荣生 石广义 刘佳骏
李富佳 李 飞 杨旺舟 李 宇 孙庆来