

中国东北地区农业水土资源匹配格局

刘彦随, 甘红, 张富刚

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 水土资源匹配系数 (R_i), 是指表征特定区域农业生产可供水资源与耕地资源在时空上适宜匹配的量比关系。依据东北地区 1997~2002 年土地利用、水资源和人口数据, 从水土资源总量及其匹配的动态分析入手, 构建了农业水土资源匹配分析模型。模拟分析表明: 东北地区农业水土资源匹配欠佳且区内差异较大, 占全国 16.68% 的耕地面积仅拥有占全国 4.01% 的水资源量, 水土匹配系数为 1.153, 低于全国平均水平 (1.441)。根据市域尺度 R_i 值的差异性, 将东北农业水土资源的匹配程度划分为匹配较优、良好、一般、较差和极差等 5 个等级。区域水利工程建设, 是增强水土资源匹配程度的根本途径, 东北农田水利重在“北水南调”等大型骨干工程与中小水利工程的配套建设, 重视发展井渠结合、节水高效的现代灌溉农业。
关键词: 水土资源; 匹配系数; 空间差异; 灌溉农业; 中国东北地区

1 引言

水土资源是人类赖以生产与生活的基本资料。水土资源短缺及其匹配错位是农业现代化进程中长期的、根本性的制约因素^[1,2]。随着我国工业化和城市化的快速发展, 农业水土资源被挤占的势头仍难以逆转, 必将影响到国家可持续食物安全^[3]。东北地区是全国最大的粮食生产基地, 国家“九五”计划以来年粮食产量和商品粮调出量分别占全国的 13.3% 和 33.3%。在全国粮食生产重心“北进东移”的格局背景下, 优化东北地区水土资源配置, 提高农业综合生产能力, 既是推进东北“老工业”基地振兴战略的重要途径, 也是保障国家食物安全的必然要求。

水土资源的时空耦合是农业生产的先决条件。但已有文献通常将水资源和土地资源分别进行研究^[4], 或以 GIS 与模型方法为基础进行水土资源动态变化^[5], 以及水土资源优化管理与决策分析^[6,7]。有关水土资源开发与优化配置的研究也多偏重于水资源^[8], 而将二者结合起来开展特定区域水土资源匹配状况评价及其时空差异性分析的研究成果较少。2000 年以来, 国家层面有关区域水土资源优化配置与持续利用的研究相继开展。2000 年、2002 年中国科学院分别启动知识创新工程重大项目: “西部生态环境演变规律与水土资源可持续利用研究”和“东北地区农业水土资源优化调控机制与技术体系研究”。2001 年、2004 年中国工程院启动了重大咨询项目: “西北地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究”和“东北地区有关水土资源配置、生态与环境保护和可持续发展的若干战略问题研究”。这些重大项目的组织实施, 带动了国内高校、科研院所有关水土资源野外台站、人才队伍建设, 大大促进国内区域水资源与土地资源耦合理论及其优化配置战略的集成研究。本文以我国东北地区 (三省) 为例, 通过对农业水资源与土地

收稿日期: 2006-02-18; 修订日期: 2006-04-20

基金项目: 国家重点基础研究计划 (2006CB400505); 国家自然科学基金项目 (40171007); 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-SW-19-01-03) [Foundation: National Basic Research Program of China, No.2006CB400505; National Natural Science Foundation of China, No.40171007; The Key Knowledge Innovation Project of CAS, No. KZCX1-SW-19-01-03]

作者简介: 刘彦随 (1965-), 男, 陕西绥德人, 研究员、博士生导师, 中国地理学会会员, 主要从事土地科学和农业与乡村发展研究, 发表中英文学术论文 110 余篇, 出版著作 6 部, E-mail: liuys@igsnr.ac.cn

资源利用态势的模拟分析, 深入探讨区域农业水土资源匹配状况的定量评价方法, 构建模型并揭示市域尺度农业水土资源匹配程度及其空间差异性, 为东北地区国家粮食安全基地建设、水土资源高效利用与管理决策, 提供参考依据。

2 东北地区水土资源结构及其匹配分析

2.1 水资源构成及其利用

利用 1997~2002 年的水资源公报数据测算, 东北地区平均水资源总量为 $1112 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中地表水资源量为 $894 \times 10^8 \text{ m}^3$, 地下水资源量为 $441 \times 10^8 \text{ m}^3$, 地表与地下水资源重复计算量为 $223 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。可见, 东北地区水资源以地表水为主, 约占水资源总量的 $2/3$ 。黑龙江、吉林、辽宁三省的水资源量依次为 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $333 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $179 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。东北人均水资源量为 $1042 \text{ m}^3/\text{人}$, 黑龙江、吉林、辽宁三省的人均水资源量分别为 $1590 \text{ m}^3/\text{人}$ 、 $1234 \text{ m}^3/\text{人}$ 和 $427 \text{ m}^3/\text{人}$ 。按照人均水资源量水平, 东北属于缺水地区, 辽宁省则属于严重缺水地区 ($\leq 1000 \text{ m}^3/\text{人}$)。

1997~2002 年, 东北年均用水量 $538.4 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中农业、工业和生活用水量分别为 $367.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $124.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $46.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, “三水”结构比为 68.2:23.2:8.6。东北三省之间的用水结构差异较大。吉林省农业用水 $82 \times 10^8 \text{ m}^3$, 比重为 75.2%, 分别高出辽宁、黑龙江的 11.1% 和 9.6%。黑龙江省工业用水 $82 \times 10^8 \text{ m}^3$, 比重为 28.8%, 分别高出吉林、辽宁的 13.2% 和 8.6%; 辽宁省生活用水 $21 \times 10^8 \text{ m}^3$, 比重为 15.7%, 分别高出黑龙江、吉林的 10.1% 和 6.5%; 东北人均用水量为 $495 \text{ m}^3/\text{人}$, 黑龙江人均用水量最高, 达 $755 \text{ m}^3/\text{人}$, 高出东北人均用水量 52.5%; 东北农田灌溉用水量 $8059 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 高于全国 $7151 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 的水平。黑龙江省农田灌溉用水量达 $8918 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 高出全国平均水平 24.71%。

2.2 土地资源构成及其利用

2002 年东北三省的土地利用详查变更数据表明, 东北土地面积为 $79.18 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中耕地 $21.30 \times 10^4 \text{ km}^2$, 园地 7752 km^2 , 林地 $37.81 \times 10^4 \text{ km}^2$, 牧草地 $3.64 \times 10^4 \text{ km}^2$, 居民工矿用地 $3.10 \times 10^4 \text{ km}^2$, 交通用地 9492 km^2 , 水域 $4.69 \times 10^4 \text{ km}^2$, 未利用地 $6.78 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。东北土地利用具有以农林业用地为主的结构特点, 林地、耕地比重分别高出全国 23.44% 和 13.58%, 而牧草地、未利用地比重低, 分别低于全国 23.06% 和 17.12%。

东北地区耕地资源丰富。2002 年人均耕地 $0.309 \text{ hm}^2/\text{人}$, 是全国人均耕地面积 $0.102 \text{ hm}^2/\text{人}$ 的 3 倍。而且耕地质量较优, 一等耕地比重 60.96%, 远高于全国 41.32% 的水平。从耕地坡度来看, 东北地区 70.24% 的耕地在 2° 以下, 远高于全国 54.44% 的水平, 耕地集中连片, 适合大型机械耕作, 说明东北地区的农业耕作条件优越, 具备水土资源优化配置的立地环境。

20 世纪 90 年代, 水田与旱地转换是东北地区最为显著的区域特征之一^[9]。旱地改水田速度为 $709.5 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 水田变旱地的速度为 $402.3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 分别占同期全国各类转换总量的 91.9%、92.7%。过去 10 年间, 新增水田 $33.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占旱地总转出量的 40.17%。黑龙江省水田面积表现出持续快速增长的态势, 其增加量占东北地区的 80%。

2.3 水土资源匹配的状况分析

以东北地区 36 个地级市为基本地域单元, 以水资源量为度量指标, 把各地级市按照水资源量大小进行 5 个等级划分, 并在东北地区地级市行政区划图上对不同等级地域进行差异区分 (图 1)。土地垦殖率可以反映区域耕地资源的丰度。以东北地区市 (县) 域为单元计算垦殖率, 并依据其大小划分为 4 个垦殖类型区 (图 2)。对比图 1 和图 2 可以看出, 东北地区水资源与耕地资源的空间分布存在明显的错位现象。东北水资源具有较大的空间差异性与较强的空间集聚性, 呈现出“北丰南欠、东多西少”、“边缘多、腹地

少”的特点，而耕地则以中部平原居多，垦殖率在40%以上的地区集中在“沈阳—长春—哈尔滨”一线及三江平原。大兴安岭地区、黑河市、伊春市、哈尔滨市、牡丹江市和延边朝鲜族自治州6个地级市的土地面积占东北地区土地总面积的33.8%，而其水资源量占43.4%，再加上齐齐哈尔市、绥化市、佳木斯市、吉林市、白山市、通化市、丹东市等7个富水区域，其水资源丰富区的水资源量比重达70.2%。

3 农业水土资源匹配系数及其测算

3.1 数据来源

(1) 水资源数据。《中国水资源公报》(1997~2002年)，中国水利部；《辽宁省水资源公报》(1997~2002年)，辽宁省水利厅；《吉林省水资源公报》(1997~2002年)，吉林省水利厅；《黑龙江省水资源公报》(1997~2002年)，黑龙江省水利厅。

(2) 耕地数据。全国及东北三省的土地利用详查变更数据，来自1997~2002年国土资源公报；1990~2002年东北地区有效灌溉面积、1980~2002年东北主要农作物播种面积，均根据东北三省各年统计年鉴数据整理。

(3) 人口数据。全国人口数据来自2003年《中国统计年鉴》；东北地级市人口数据来自2003年《辽宁省统计年鉴》、2003年《吉林省统计年鉴》和2003年《黑龙江省统计年鉴》。

3.2 测算模型

(1) 基本概念。农业水土匹配系数，是反映特定区域农业生产可供的水资源和耕地资源时空适宜匹配的量比关系，采用单位面积耕地可拥有的水资源量来表示。将该系数引入区域水土资源匹配测度，就是要揭示一定区域尺度水资源和土地资源时空分配的均衡状况与满足程度。区域水资源与耕地资源分布的一致性与时比水平越高，其匹配度就越高，农业生产的基础条件就越优越。

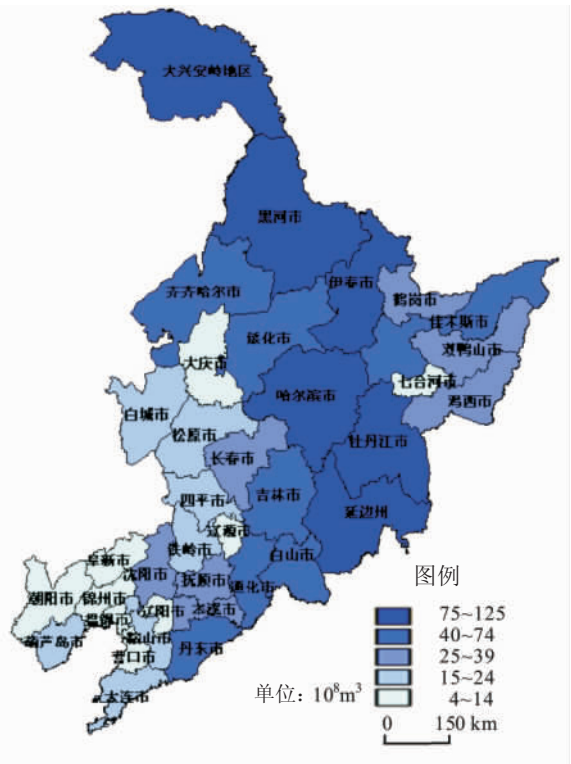


图1 2002年中国东北地区水资源空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of water resources in Northeast China

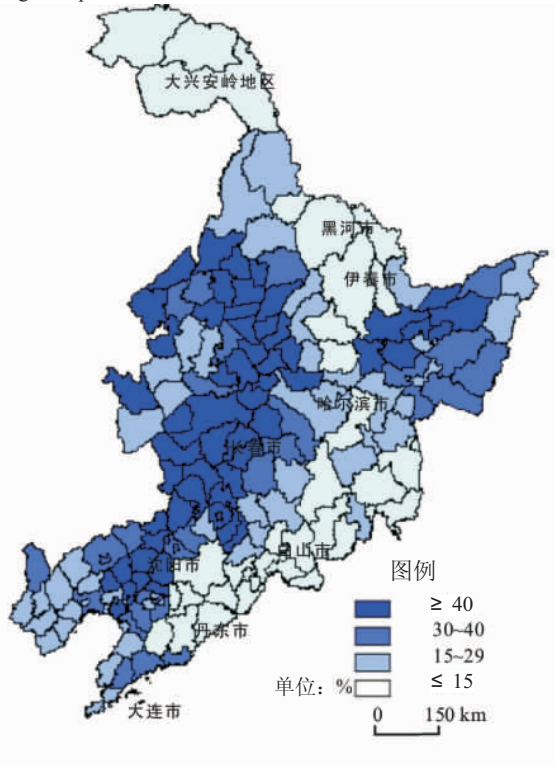


图2 2002年中国东北地区耕地资源空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of arable land in Northeast China

(2) 测算模型。水土匹配系数测算, 是依据区域年度水资源年报和土地资源详查变更数据, 以市域为基本单元, 计算农业水资源量与耕地面积匹配水平。农业水资源量是根据东北多年用水结构(农业用水、工业用水、生活用水)中农业用水的比重来确定的。测算模型为

$$R_i^{ul} = W_i \alpha / L_i \quad (1)$$

式中: R_i^{ul} 为 i 市域水土资源匹配系数, W_i 为 i 市域水资源量 (10^8 m^3), L_i 为 i 市域耕地面积 (10^4 hm^2), α 为市域农业用水比重。根据 1997~2002 年农业用水比重的平均值, 辽宁、吉林、黑龙江和东北地区的 α 均值分别为 64.1%、75.2%、65.6% 和 68.2%。

省域水土资源匹配系数, 反映了省内各市域水土资源匹配系数的均值水平, 测算模型为

$$R_j^p = \sum_{i=1}^n R_i^{ul} / n \quad (2)$$

式中: R_j^p 为 j 省域水土资源匹配系数, R_i^{ul} 为 j 省内 i 市域水土资源匹配系数, n 为 j 省内 i 市域的数量。东北地区水土资源匹配系数取辽宁、吉林和黑龙江三省的平均值。

3.3 水土资源匹配系数测算

基于 1997~2002 年东北地区水资源量及耕地面积统计数据, 运用测算模型, 得出东北地区不同市域尺度的水土资源匹配系数(表 1)。辽宁、吉林、黑龙江和东北地区的水土资源匹配系数分别为 0.396、1.371、1.693 和 1.153。同理, 根据 1997~2002 年全国水资源量、耕地面积数据及 α 平均值(取 69.1%), 计算得出全国水土资源匹配系数为 1.441。

4 东北地区农业水土资源匹配格局

根据表 1, 在 GIS 技术支持下进行市域尺度水土资源匹配的空间分析(图 3)。依据 R_i 值的积聚与离散的分异特征, 将农业水土资源匹配系数划分为 5 个等级: A. 匹配程度较优 ($0.73 < R_i \leq 11.73$); B. 匹配程度良好 ($0.23 < R_i \leq 0.73$); C. 匹配程度一般 ($0.16 < R_i \leq 0.23$); D. 匹配程度较差 ($0.13 \leq R_i \leq 0.16$); E. 匹配程度极差 ($0 < R_i < 0.13$)。

表 1 2002 年中国东北地区各市域水土资源及其匹配系数

Tab. 1 Land and water resources and its matching coefficient in cities of Northeast China in 2002

市(区)	水资源量 / 10^8 m^3	耕地面积 / hm^2	水土匹配系数 (R_i)	市(区)	水资源量 / 10^8 m^3	耕地面积 / hm^2	水土匹配系数 (R_i)
沈阳	21.84	680695	0.219	通化	45.18	195195	1.578
大连	5.81	264780	0.150	白山	59.25	51216	7.889
鞍山	13.51	244692	0.376	松源	137.86	972049	0.967
抚顺	16.77	127413	0.898	白城	17.05	500551	0.232
本溪	18.16	78984	1.568	延边	18.29	227762	0.548
丹东	37.20	208492	1.217	哈尔滨	119.92	1425100	0.574
锦州	5.50	404774	0.093	齐齐哈尔	32.88	1775600	0.136
营口	3.76	120040	0.214	鸡西	42.68	246500	1.181
阜新	3.82	356173	0.073	鹤岗	28.01	862900	0.221
辽阳	8.72	180073	0.330	双鸭山	26.41	814600	0.221
盘锦	0.92	133129	0.047	大庆	10.27	450200	0.156
铁岭	10.19	540729	0.130	伊春	52.23	86400	4.122
朝阳	7.10	471267	0.103	佳木斯	46.00	552300	0.568
葫芦岛	4.27	226148	0.130	七台河	12.88	102400	0.858
长春	28.66	1089553	0.179	牡丹江	118.05	593300	1.357
吉林	49.93	464687	0.733	绥化	28.25	1490700	0.139
四平	9.94	690502	0.098	黑河	53.40	468600	0.777
辽源	2.53	153548	0.112	大兴安岭	69.64	40500	11.725

4.1 水土资源匹配的区域特征

东北地区水土资源匹配系数为 1.153, 低于全国的平均水平 (1.441)。确切地讲, 东北地区土地资源的比较优势明显, 而水资源的瓶颈问题相对突出, 并非惯称的“水土资源丰富”。从水土资源构成比例来看, 东北地区耕地面积约占全国的 16.68%, 而其水资源量仅占全国的 4.01%; 从水土资源平均水平来看, 东北人均耕地面积 $0.309 \text{ hm}^2/\text{人}$, 是全国人均耕地面积 $0.102 \text{ hm}^2/\text{人}$ 的 3 倍, 而人均水资源量为 $1042 \text{ m}^3/\text{人}$, 地均水资源量为 $1,413 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 却分别是全国平均水平的 47.7% 和 48.9%。水土资源的这种大组合态势决定了东北地区农业水土资源匹配程度差异, 并长期落后于全国平均水平。农田有效灌溉面积占耕地比重是反映农业水利保障能力和水土资源匹配程度的重要指标, 近 10 多年来, 东北地区农田有效灌溉面积占耕地比重略有上升, 即由 1990 年的 18.60% 上升到 2002 年的 27.38%, 上升幅度达到 8.79%, 同期全国的由 35.14% 上升到 42.18%, 上升幅度为 7.04%, 但总体上要比全国平均水平低 16%, 这与东北地区作为全国最重要的商品粮基地的定位很不相称。

4.2 水土资源匹配的空间差异

东北三省地貌类型多样、区域差异明显, 自东而西由湿润、半湿润区过渡到半干旱地区, 水土资源的时空分布很不均衡, 由此决定了水土资源匹配系数的区域差异性。水土资源匹配的总体特点是: 东部优于西部, 林区优于农区。匹配程度较优的地区包括大兴安岭、白山、伊春、通化、本溪、牡丹江、丹东、鸡西、松源、抚顺、七台河、黑河、吉林等市; 匹配程度良好的地区包括哈尔滨、佳木斯、延边、鞍山、辽阳、白城等市; 匹配程度一般的地区包括鹤岗、双鸭山、沈阳、营口、长春等市; 匹配程度较差的地区包括大庆、大连、绥化、葫芦岛、铁岭、齐齐哈尔等市; 匹配程度极差的地区包括辽源、四平、朝阳、锦州、阜新、盘锦等市 (图 3)。

4.3 水土资源匹配差异的原因

(1) 农业灌溉用水增长迅速。长期以来, 东北地区粮食生产战略需求的增长性与其水资源供给不足的约束性呈失衡发展态势, 农业结构调整中“旱改水”的兴起, 更加剧了东北地区水土资源区域性的不匹配程度。以黑龙江省为例, 种植结构经历了一个由以“小麦、大豆和玉米”为主, 逐渐过渡到为以“水稻、大豆和玉米”为主的过程^[10]。水稻播种面积比重由 1980 年的 2.4% 增至 2002 年的 16.7%, 增加了 5.9 倍, 小麦播种面积比重则由 1980 年的 24.1% 下降到 2002 年的 2.6%, 下降了 8.3 倍。而同期小麦净灌溉用水量由 $25.26 \times 10^8 \text{ m}^3$ 下降到 2002 年的 $2.94 \times 10^8 \text{ m}^3$, 水稻净灌溉用水量则由 $9.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增至 $69.52 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。按照定额灌溉标准^[11], 作物灌溉总用水量由 $126.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增至 $184.2 \times 10^8 \text{ m}^3$, 增长了 45.1%。传统灌区和新增水稻种植区成为农业灌溉用水的主体, 加剧了农业

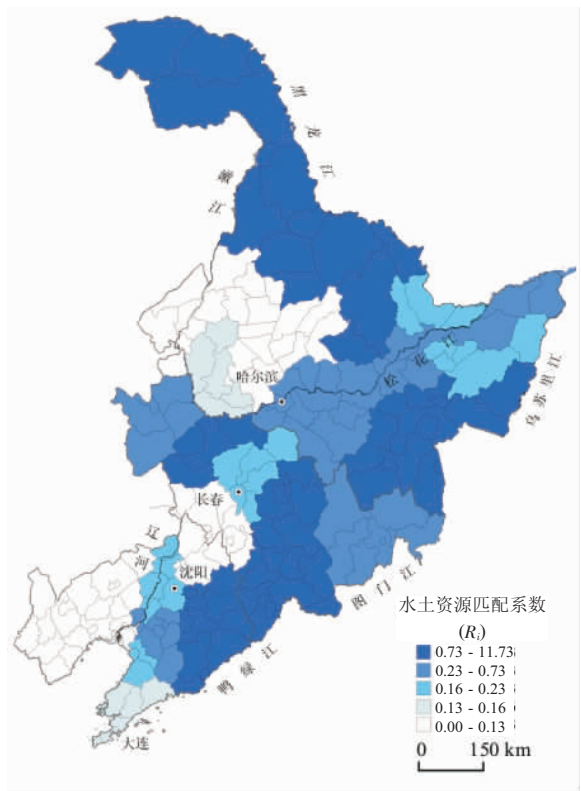


图 3 2002 年中国东北地区水土资源匹配格局
Fig. 3 Patterns of water and land resources matching of Northeast China in 2002

灌溉用水区域分配的矛盾。

(2) 农田水利设施不配套。东北资源性缺水与工程性缺水并存。现有大型农田水利设施, 大多数是 20 世纪 80 年代以前修建的, 农业水利设施陈旧, 近 20 多年来由于管理、资金、家庭承包制度等原因, 少有修缮与新建。大多数灌区没有永久性取水工程, 地表水不够用就超采地下水, 依靠掘井灌溉, 不仅增加了农业生产成本, 而且造成地下水严重浪费, 部分地区地下水位下降并出现大面积的漏斗。如辽宁地下水超采区达 2100 km², 年超采地下水 4×10^8 m³。中南部的太子河流域地下水年开采量已占其全年总供水量的 50%, 且主要集中在平原区, 开采率超过 90%^[12]。东北三省农田有效灌溉面积从 1996 年后呈快速增长的态势(图 4), 而农田有效灌溉用水量并非同步增长, 辽宁省的不增反减, 黑龙江省的波动很大(图 5)。1990~2002 年, 东北三省农田灌溉面积增长 65.5%, 而农田灌溉用水量仅增长 1.4%。可见, 东北地区灌溉供水能力有限, 主要是缺乏大型控制性农业水利工程, 致使农业灌溉用水量不足、保障率低下。三江平原“两江一湖”(黑龙江、乌苏里江和兴凯湖干流沿岸)地区的过境水资源量达 2673×10^8 m³, 是地下水资源的 15 倍, 但因缺少水源工程, 水资源利用率仅为 8.17%, 而该地区的 55.2×10^4 hm² 水田中依靠井灌的面积高达 78%^[13]。

(3) 土地退化改变水土资源配置格局。从理论上讲, 有效灌溉面积增加有利于增强农业水土资源匹配水平, 但如果脱离区域水资源实际承载能力, 便会造成水资源过度开发, 引发土地退化等生态环境问题^[14], 进而改变区域水土资源配置格局。当前水资源短缺和土地退化是制约东北农业可持续发展的主要瓶颈, 特别是黑土退化和土壤盐渍化成为东北农业生产面临的严峻问题。黑土地被大量开垦后, 由于用养失调, 加之土壤侵蚀, 造成严重水土流失^[15]。大规模的农业开发使三江平原下垫面性质发生巨大变化^[16]。水资源的不合理开发利用还直接引发内陆土壤盐渍化, 进而引起区域水分循环改变与水资源的重新分配。目前松嫩平原的盐渍土面积达 327×10^4 hm², 约占该平原面积的 21%。近几年来, 被称为黑龙江四大粮仓的呼(兰)、海(伦)、巴(彥)、拜(泉)的不少地方因退化而出现“十春九旱, 不打粮”的状况^[17]。

5 结论与讨论

(1) 东北地区耕地资源优势明显, 但水资源短缺问题突出。从总量来看, 占全国 16.68% 的耕地仅拥有占全国 4.01% 的水资源量; 从平均水平来看, 东北人均耕地面积

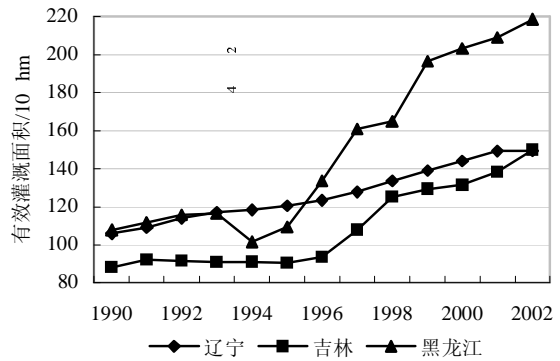


图 4 1990~2002 年中国东北地区有效灌溉面积变化
Fig. 4 Changes of efficient irrigation areas during 1990-2002 in Northeast China

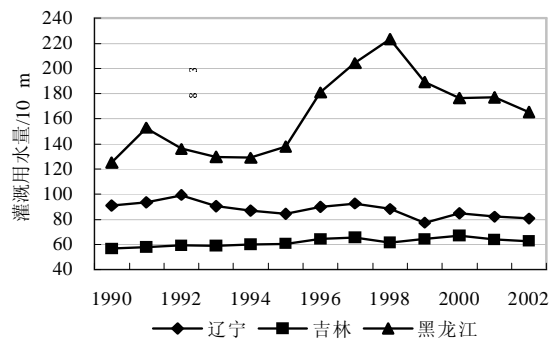


图 5 1990~2002 年中国东北地区农田灌溉用水量变化
Fig. 5 Changes of irrigation water use during 1990-2002 in Northeast China

0.309 hm²/人，是全国人均耕地面积的 3 倍，而人均水资源量为 1042 m³/人，地均水资源量为 1413 m³/hm²，分别是全国平均水平的 47.7%和 48.9%。可见，东北地区并非惯称的“水土资源丰富”。东北水资源瓶颈，既有资源性缺水的自然约束，也有工程性缺水的人为后果。水利设施老化、供水能力低下，这与东北作为全国最重要的商品粮基地的定位很不相称。

(2) 水土资源匹配系数，是表征特定区域农业生产可供水资源与耕地资源在时空上适宜匹配的量比关系，是测度一定区域水资源和耕地资源时空分配均衡状况与满足程度的定量指标。东北农业水土资源匹配欠佳且区内差异较大。2002 年，农业水土匹配系数为 1.153，低于全国平均水平 (1.441)。辽宁水土匹配系数仅 0.396，远低于吉林 (1.371) 和黑龙江 (1.693)。水利设施建设是增强农业水土资源匹配程度的根本途径，东北农田水利重在“北水南调”等大型骨干工程与中小水利工程的配套建设，重视发展井渠结合、节水高效的现代灌溉农业。

(3) 农业水土匹配程度评价，侧重于一定区域水资源与土地资源数量匹配的测度，为评判区域农业可持续发展的基础条件和进行农业发展的科学规划，提供宏观决策依据。农业水土资源总量会因水利设施建设与科技进步而扩大，也会因工业化、城市化过程中农业水土资源的“非农化”转移而减少，因而农业水土资源的评价决策应充分考虑其匹配边界的动态性。从提高农业综合生产能力的角度，水土匹配程度评价还应细化到对不同地区土地利用适宜性及其不同种植作物生理需水适应性的微观状况评价，据此进行流域或县域中小尺度的水土资源时空优化配置，才更具有实践操作性。这也是需要进一步深化研究的重要方面。

参考文献 (References)

- [1] Francisco J, Montero R, Antonio B R. Land and water use management in vine growing by using geographic information systems in Castilla-La Mancha, Spain. *Agricultural Water Management*, 2005, 77: 82-95.
- [2] Lester R Brown, Brian Halweil. China's water shortage could shake world food security. *World Watch*, 1998, 11(4): 10-18.
- [3] Liu Yansui, Wu Chuanjun. Situation of land-water resources and analysis of sustainable food security in China. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(3): 270-275. [刘彦随, 吴传钧. 中国水土资源态势与可持续食物安全. *自然资源学报*, 2002, 17(3): 270-275.]
- [4] Yao Huarong, Wu Shaohong, Cao Mingming. Spatial optimum allocation of regional water-land resources. *Resources Science*, 2004, 26(1): 99-106. [姚华荣, 吴绍洪, 曹明明. 区域水土资源的空间优化配置. *资源科学*, 2004, 26(1): 99-106.]
- [5] Xu Y Q, Mo X G, Cai Y L. Analysis on groundwater table drawdown by land use and the quest for sustainable water use in the Hebei Plain in China. *Agricultural Water Management*, 2005, 75: 38-53.
- [6] Sawaya K, Olmanson L, Heinert N et al. Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 88: 144-156.
- [7] Carter N, Kreuzwiser R, de Lo R. Closing the circle: linking land use planning and water management at the local level. *Land Use Policy*, 2005, 22: 115-127.
- [8] Feng Yaolong, Han Wenxiu, Wang Hongjiang et al. Study on the sustainable development oriented optimal allocation to region water resources. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2003, (3): 133-138. [冯耀龙, 韩文秀, 王宏江等. 面向可持续发展的区域水资源优化配置研究. *系统工程理论与实践*, 2003, (3): 133-138.]
- [9] Zhang Guoping, Liu Jiuyuan, Zhang Zengxiang. Spatial temporal changes of cropland in China for the past 10 years based on remote sensing. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3): 323-332. [张国平, 刘纪远, 张增祥. 近 10 年来中国耕地资源的时空变化分析. *地理学报*, 2003, 58(3): 323-332.]
- [10] Liu Yansui, Lu dadao. The basic trend and regional effect of agricultural structure adjustment in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3): 381-389. [刘彦随, 陆大道. 中国农业结构调整基本态势与区域效应. *地理学报*, 2003, 58(3): 381-389.]
- [11] Shi Yulin, Lu Liangshu. China's Agricultural Water Demand and High Efficient Farming Construction of Water Saving. Beijing: Publishing House of Irrigation Works and Water-Electricity of China, 2001. 144-145. [石玉林, 卢良恕. 中国农业需水与节水高效农业建设. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 144-145.]
- [12] Liu Zuoxin. On water saving agriculture and water resource sustainable utilization in northeastern China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1737-1742. [刘作新. 试论东北地区农业节水与农业水资源可持续利用. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1737-1742.]

- [13] http://chinaneast.xinhuanet.com/2005-12/14/content_5810621.htm
- [14] Zhang Bai, Cui Haishan, Yu Lei. Land degradation in western semi-arid area of Northeast Plain. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2003, 19(1): 30-32. [张柏, 崔海山, 于磊. 东北平原西部半干旱地区土地退化研究. *农业系统科学与综合研究*, 2003, 19(1): 30-32.]
- [15] Liu Y S, Wang D W, Gao J. Land use/cover changes, the environment and water resources in Northeast China. *Environmental Management*, 2005, 36(5): 691-701.
- [16] Yan Minhua, Deng Wei, Ma Xuehui. Climate variation in the Sanjiang Plain disturbed by largescale reclamation during the last 45 years. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(2): 159-170. [闫敏华, 邓伟, 马学慧. 大面积开荒扰动下的三江平原近 45 年气候变化. *地理学报*, 2001, 56(2): 159-170.]
- [17] Zhang Xianxing, Jiang Dongfeng, Niu Zhandong. Denudation and countermeasure of black soil in Song-nen Plain. *Agro-environment and Development*, 2002, (5): 32-34. [赵宪兴, 姜东峰, 牛占东. 浅谈松嫩平原黑土的剥蚀与治理. *农业环境与发展*, 2002, (5): 32-34.]

Analysis of the Matching Patterns of Land and Water Resources in Northeast China

LIU Yansui, GAN Hong, ZHANG Fugang

(*Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China*)

Abstract: Northeast China is an important base to the national food security. There are more problems in achieving optimal allocation of land and water resources as well as sustainable utilization. At present water resources shortage and land degradation are the two most important factors restricting agricultural sustainable development in Northeast China. Improving the matching degree of land and water resources and guaranteeing supplement level of irrigated water resources have becoming long-term goals of people to promote the high-efficient utilization of agricultural resources and upgrade the comprehensive productivity of food. The matching coefficient of land and water resources (R_i), which is an indicator to reflect the proportion of water supply and cultivated land resources in spatio-temporal scale in a specific zone. The purpose of using this indicator is to investigating the balance between water supply and land resources in temporal and spatial distributions and their corresponding matching degree. Based on the dynamic analysis of gross land and water resources and their matching degree in Northeast China, this paper establishes a matching model of agricultural water and land resources. Simulation analyses indicate that the matching degree of land and water resources in Northeast China is not as good as expected, and there are distinct differences among this region. Northeast China, which processes 16.68% of the total cultivated land in the whole country, while only takes up 4.01% of the total water resource. In average, the per capita cultivated land in Northeast China is 0.309 hm², three times that of the whole country. However, the per capita water resources in Northeast China is 1042 m³, which is only 47.7% of the whole country. The matching coefficient is 1.153, which is lower than the whole country (1.441). According to different values of R_i , the matching degree of water and land resources in Northeast China is classified into 5 degrees: excellent ($0.73 < R_i \leq 11.73$), better ($0.23 < R_i \leq 0.73$), moderate ($0.16 < R_i \leq 0.23$), worse ($0.13 \leq R_i \leq 0.16$) and worst ($0 < R_i < 0.13$). Accordingly, the basic approach of enhancing the match of land and water resources is to construct water conservancy projects in Northeast China. Attention should be paid to large-scale water transportation projects like "North to South Water Transfer Project", supplement by midium- and small-scale water conservancy projects. Moreover, development of high-efficiency, water-saving modern agriculture with well-trench irrigation system should be strengthened as well.

Key words: land and water resources; matching coefficient; spatial differences; irrigation agriculture; Northeast China