

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0148

黄绍琳, 鲁春霞, 刘一江. 张家口市高耗水农作物种植结构及需水量时空格局变化. 草业科学, 2020, 37(7): 1293-1301.

HUANG S L, LU C X, LIU Y J. Spatio-temporal patterns of crop planting structure and water requirement in the Zhangjiakou region, northern China. Pratacultural Science, 2020, 37(7): 1293-1301.

张家口市高耗水农作物种植结构 及需水量时空格局变化

黄绍琳^{1,2}, 鲁春霞^{1,2}, 刘一江³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116000)

摘要: 通过对张家口市不同尺度的农作物种植结构、需水量时空格局变化进行分析研究, 揭示其变化特征, 以便为农业结构节水提供重要依据。研究表明: 1) 2005–2015年, 张家口市农作物种植结构总体上仍向高耗水方向转变, 高耗水农作物种植面积增加了24.75%, 水浇地种植面积增加了6%; 2015年坝上和坝下高耗水农作物种植面积分别较2005年增加了33.97%和20.7%, 坝上的雨养作物总种植面积减少了58.5%, 而坝下增加了48.51%, 坝上较坝下变化更为剧烈。2) 由于高耗水作物种植面积增加, 2015年需水量比2005年增加了2.74亿~3.89亿 m³; 尽管蔬菜种植结构在向节水和高收益方向转变, 但总种植面积扩大使得蔬菜生产需水量增大, 2015年比2005年增加了684.44万~684.59万 m³。3) 从空间分布来看, 张家口市作物生产需水量呈增加趋势, 2015年坝上和坝下的农作物需水量分别比2005年增加了22.36%~22.42%和21.46%~21.81%, 其中坝上的康保、沽源和坝下的张家口市区、崇礼需水量增加较多, 2015年比2005年分别增加了41.19%~41.59%、38.86%~44.78%、43.83%~52.42%和42.67%~45.26%。高耗水作物种植规模的增大是需水量增加的主要原因。

关键词: 种植结构; 作物需水量; 时空格局变化; 张家口

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2020)07-1293-09

Spatio-temporal patterns of crop planting structure and water requirement in the Zhangjiakou region, northern China

HUANG Shaolin^{1,2}, LU Chunxia^{1,2}, LIU Yijiang³

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. School of Geographical Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116000, Liaoning, China)

Abstract: Zhangjiakou in northern China is a region with serious water shortage. Agriculture is the largest user of water resources; therefore, conserving water by changing planting structures is crucial. Here, we studied the changes in spatio-temporal patterns of crop planting structure and water requirement at different spatial scales in the Zhangjiakou region. The results showed that 1) from 2005 to 2015, the crop planting structure changed to high water-consuming crops. The planting area of high water-consuming crops increased by 24.75%, and the area of irrigated farmland increased by 6%. At the same time, the planting area of high water-consuming crops on Bashang plateau and Baxia area increased by 33.97% and 20.7%, respectively. The total planting area of rainfed crops decreased by 58.5% in Bashang plateau but increased by 48.51% in Baxia area. 2) Because of the increase in the planting area of high water-consuming crops in Zhangjiakou, the water

收稿日期: 2020-03-24 接受日期: 2020-06-08

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2017ZX07101001)

第一作者: 黄绍琳 (1990-), 女, 河南民权人, 硕士, 主要从事植物生态学研究。E-mail: 1169848066@qq.com

通信作者: 鲁春霞 (1965-), 女, 陕西宝鸡人, 副研究员, 博士, 主要从事资源与环境研究。E-mail: lucx@igsnr.ac.cn

requirement in 2015 was higher by 274 million~389 million·m⁻³ than that in 2005. Although the structure of vegetable planting showed changes toward the direction of water saving and high income, the total planting area of vegetable crops increased, which led to a 6.84 million~6.85 million·m⁻³ higher water requirement in 2015 than that in 2005. 3) In 2015, the water requirement of crops in Bashang and Baxia area increased by 22.36%~22.42% and 21.46%~21.81%, respectively. The water requirement of crops at Kangbao County, Guyuan County in Bashang and Zhangjiakou and, Chongli District in Baxia increased by 41.19%~41.59%, 38.86%~44.78%, 43.83%~52.42%, and 42.67%~45.26%, respectively, compared to that in 2005. The main reason for the increase in water requirement is increase in the planting area of high-water consumption crops.

Keywords: crop planting structure; water requirement; spatio-temporal pattern; Zhangjiakou

Corresponding author: LU Chunxia E-mail: lucx@igsnr.ac.cn

2015年《京津冀协同发展规划纲要》^[1]正式公布实施,张家口地区的发展定位是“建设生态水源涵养区”,为京津冀发展提供良好的生态功能支撑。张家口市毗邻京津,是京津冀地区的重要生态屏障和水源涵养地,多年来承担着京津冀地区防风固沙、水土保持、饮用水供给等多项生态功能,对于维护京津冀生态平衡具有举足轻重的意义。近几十年来,张家口向北京的输出径流量^[2]从1950年代的约21亿m³降至近几年不足1亿m³,直接威胁到首都的水安全甚至生态安全。因此,维持好张家口的水资源安全对维护首都生态环境具有十分重大的意义。

张家口市属于半干旱地区,是一个严重的资源型缺水城市,全市水资源总量约为18亿m³,人均水资源占有量在400m³左右,不足全国平均值的1/5,常年平均降水量在400mm左右,耕地亩均水资源占有量不足160m³,不到全国平均值的1/10^[3]。农业用水是张家口市的用水大户。根据2016年《张家口市水资源公报》^[4]数据显示,农业用水量占全年总供量的71%,其中70%以上来自地下水。尤其在坝上高原内流区,农业发展完全依靠地下水,导致地下水超采问题十分突出^[5]。据统计,20世纪80年代初张家口坝上地区泉眼多达190处,而据2013年调查结果,仅存泉眼14处,且尚义县大青沟镇的浅层水水位埋深已下降至40多m^[6],张家口市地下水位正以每年1~7m的速度迅速下降^[7]。农业水资源过度开发利用是加剧张家口地区水资源短缺的重要因素,对区域水资源安全与可持续发展产生了较大的威胁。

过去几十年来,张家口地区农业种植结构从传统的旱作雨养农业为主逐步向灌溉农业发展,水

浇地^[8]从20世纪50年代初的5.1万hm²扩到21世纪初的24.4万hm²。随之,作物种植结构从以粮食作物为主,向经济作物种植规模不断扩大转变。尤其是20世纪90年代以来,张家口地区利用海拔高、光照足、温差大、病虫害少、能与大部分地区错季上市的独特优势,蔬菜种植规模不断扩大,已经成为张家口市的特色主导产业^[9-10]。到2009年全市蔬菜产业用10%左右的耕地面积创造了种植业50%左右的产值^[11]。但由于蔬菜种植耗水量更大,几乎85%的农业用水量用于蔬菜生产^[12]。在地表径流量不断减少、地下水位持续下降的情势下,亟待引导种植耗水量低、经济效益高的作物品种,优化种植结构,这是张家口市提高农业生产的自然降水利用效率和推进农业结构节水的需要,也是破解水资源供需矛盾、维护水源涵养功能的重要途径。

在水资源作为刚性约束的条件下,作物需水量是衡量农作物水分供应状况的指标,是优化种植结构的重要考量因子。鉴于此,本研究在分析张家口市2005-2015年主要作物种植结构变化的基础上,评估主要作物需水量的时空格局变化,揭示张家口市种植结构演变趋向,其结果对于张家口市建立节水型作物种植结构,提高水资源利用效率,保障水资源安全有重要价值和意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

张家口市地处河北省西北部,位于113°50′-116°30′E,39°30′-42°10′N,东靠河北省承德市,东南毗连北京市,南邻河北省保定市,西、西南与山西省接壤,北、西北与内蒙古自治区交

界, 全市总面积 3.68 万 km², 地形条件复杂。属于温带大陆性季风气候, 昼夜温差大、光资源丰富, 无霜期长, 热量充足, 雨热同季, 年均温在 10℃ 以下, 多年平均降水量在 400 mm 左右。境内阴山山脉横贯中部, 将全市划分为坝上和坝下两个地形区。坝上因地势高, 暖湿空气经军都山和坝头的两次骤然阻挡, 水汽来源不丰富, 降水量较少, 年降水量为 330~400 mm。坝下降水量的分布趋势和地形密切相关, 地域间差异很大, 山区因地形对暖湿空气的抬升作用, 降水较多, 年降水量在 400~500 mm。

张家口地区耕地资源丰富, 人均耕地 3 亩 (0.2 hm²) 左右, 远高于全国人均水平。坝上四县集中了大部分耕地, 而南部和东部山区则较少耕地分布, 由于坝上高原灌溉用水缺乏, 因此旱地比例较高, 而水浇地则主要分布在坝下区域。农作物种植以粮食作物为主, 主要种类包括玉米 (*Zea mays*)、薯类、莜麦 (*Avena chinensis*)、谷子 (*Setaria italica*)、小麦 (*Triticum aestivum*) 以及豆类 (*Leguminosae*) 等。目前粮食作物播种面积 48 万 hm² 左右, 占全市农业播种面积的 70% 以上, 其中玉米占比达 35% 左右, 马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 播种面积占比 20% 以上。经济作物种植包括蔬菜类、油料、糖料 (甜菜) 以及中药材等类型, 其中以蔬菜种植为主, 播种面积为 10 万 hm² 左右, 占全市经济作物播种面积的 50% 左右。在坝上地区蔬菜种植较为集中, 播种面积几乎占全市的一半左右。张家口市栽培的蔬菜品种不断丰富, 目前有 36 个系列, 主要品种有大白菜 (*Brassica pekinensis*)、圆白菜 (*Brassica oleracea*)、芹菜 (*Apium graveolens*) 和架豆 (*Phaseolus vulgaris*)、西红柿 (*Solanum lycopersicum*)、菠菜 (*Spinacia oleracea*) 等。

1.2 研究方法

张家口市种植的作物中, 主要灌溉作物有春玉米、薯类和蔬菜类^[13], 它们属于高耗水作物, 即生长过程中需水量大。谷子需水量与油料作物需水量接近且较低, 因此本研究忽略估计; 莜麦、豆类、油料等作物大都依靠自然降水, 属于雨养旱作种植, 耗水量相对较低。本研究主要评估张家口市农作物种植规模及其生产需水量 (指作物全生育期需水量) 的变化。作物种植结构分析主要依靠

统计学方法。农作物总生产需水量计算公式如下:

$$W_c = \sum_{i=1}^N A_i \times V_i$$

式中: W_c 为总需水量 (m³); N 为作物种类; A_i 为第 i 种作物的种植面积 (hm²); V_i 为第 i 种作物全生育期单位面积需水量 (m³·hm⁻²)。

依据已有文献^[7, 14-16] 中不同作物的需水量确定了不同农作物全生育期单位面积需水量参数 V_i (表 1)。

表 1 张家口市主要耗水作物的需水量
Table 1 Water requirement of main water consumption crops in Zhangjiakou

作物 Crop type	需水量 Water requirement m ³ ·hm ⁻²
玉米 Corn	2065~5070
薯类 Tubers	4100~4900
蔬菜 Vegetables	4000~5500
芹菜 Celery	4500~5300
大白菜 Chinese cabbage	4400~5200
蔬菜种类 Vegetable variety	
圆白菜 Cabbage	4400~5200
西红柿 Tomato	3750~4048
菠菜 Spinach	1600

1.3 数据来源及数据分析

本研究中所用农作物种植面积数据来自于 2005–2015 年《张家口经济年鉴》^[17], 年鉴中作物主要统计了玉米、谷子、莜麦、豆类、薯类、油料和蔬菜, 蔬菜种类主要统计了规模化种植的芹菜、大白菜、圆白菜、西红柿和菠菜等种类, 因此本研究中评估总生产需水量时也以已有统计数据为依据。水浇地和旱地数据来自土地利用调查数据。不同作物的需水量数据来自已有相关参考文献^[7, 14-16]。采用 Excel 2016 制图, 并进行不同农作物总需水量的方差分析; 各区 (县) 农作物总需水量时空变化图采用 ARCMAP10.2 软件制图。

2 结果与分析

2.1 张家口市近年来农作物种植结构及其时空格局变化

2.1.1 市域尺度上农作物种植结构时间变化

近十来年, 张家口市农作物种植结构发生了较

为明显的变化，即高耗水农作物种植规模及其占比在增大，而雨养型农作物种植规模及其占比在减少。张家口市的莜麦、豆类和油料等作物种植面积占比呈缩减趋势，三者的种植面积占比分别从2005年的9.22%、7.11%和7.31%下降为2015年的7.59%、3.5%和6.76% (图1)。实际上，这3种作物生产耗水量较小，以旱作雨养型种植为主。玉米、薯类、蔬菜类的种植面积占比则分别从2005年的19.73%、9.48%和9.95%增大为2015年的22.82%、13.09%和13.39%，这3类作物生长过程中需水量大，需要灌溉才能保证较高的产量。因而其种植规模及其占比的扩大，意味着在市域尺度上，张家口市农业种植结构尚未向适水型和节水型种植结构方向转变。

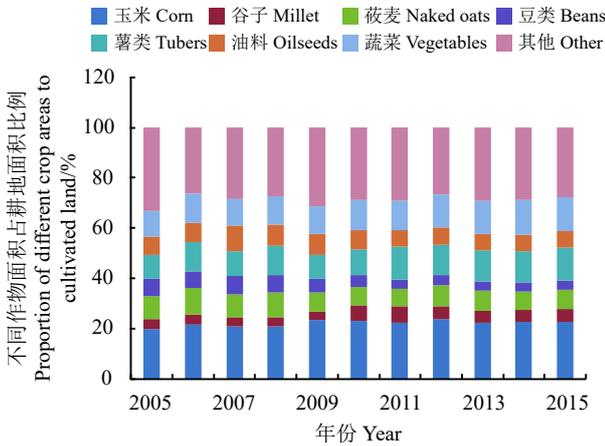


图1 张家口市农作物种植结构变化
Figure 1 Changes in crop planting structure in Zhangjiakou

实际上，张家口市土地利用类型中旱地和水浇地面积占比变化也反映了农业种植结构向不利方向演变。2005年时旱地和水浇地面积分别占总耕地面积的比重为82.35%和15.35%，到2015年时则变为78.02%和21.37%，水浇地面积占比增大了6%左右 (图2)。

2.1.2 坝上和坝下地区农作物种植结构的时空变化

张家口高耗水作物的总种植规模在空间上呈现坝上和坝下地区同时扩大的态势 (图3)。坝上地区的高耗水作物以薯类和蔬菜为主，玉米种植面积相对较少，种植总面积由2005年的9.32万hm²增加到2015年的12.5万hm²，增加了34.12%。其中，

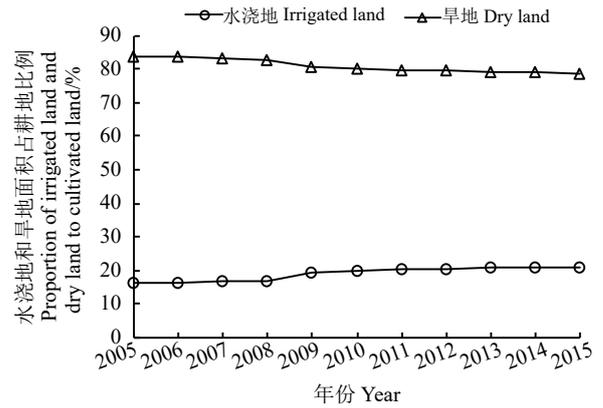


图2 张家口市水浇地和旱地面积占比变化
Figure 2 Change in the proportion of irrigated land and dry land in Zhangjiakou

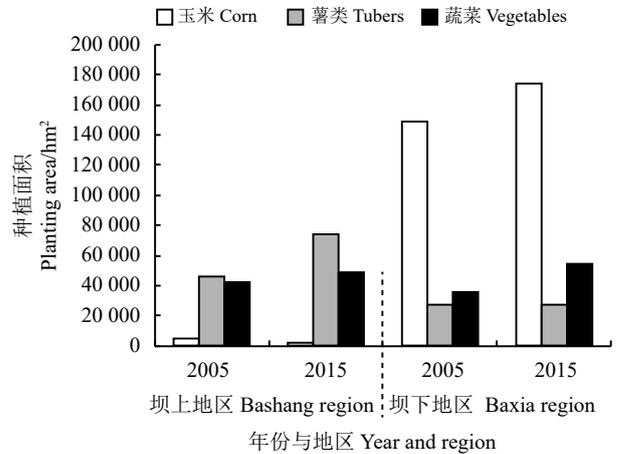


图3 坝上和坝下地区高耗水作物种植结构变化
Figure 3 Changes in the planting structure of high water consumption crops in the Bashang and Baxia areas of Zhangjiakou

薯类和蔬菜的种植面积分别由2005年的4.63和4.2万hm²增加到2015年的7.36和4.91万hm²。坝下地区的高耗水作物种植总面积由2005年的21.16万hm²增加到2015年的25.54万hm²，增长了20.7%。其中，玉米和蔬菜的种植规模分别从2005年的14.87和3.54万hm²增加到2015年的17.39和5.41万hm²；而薯类的种植面积保持稳定。由此表明，张家口市坝上和坝下地区的农作物种植结构总体上仍向着高耗水方向演变，尤其是缺水的坝上地区，高耗水作物种植面积增长更快。坝下地区蔬菜种植面积逐渐赶上坝上地区，张家口市蔬菜生产坝上坝下发展不平衡的状况得到缓解，这与张倩等^[18]的研究结果相符。

过去十多年间，张家口市雨养作物的种植面积

总体减少了 3.78 万 hm^2 ，在空间上表现为坝上地区减少，坝下地区增加 (图 4)。2015 年坝上地区豆类、油料和苜麦种植面积比 2005 年分别减少了 1.74 万、0.43 万和 5.76 万 hm^2 ，而谷子种植面积增加了 0.17 万 hm^2 ，雨养作物总种植面积减少了 58.5%。2015 年坝下地区豆类种植面积比 2005 年减少了 1.1 万 hm^2 ，而谷子和苜麦的种植面积分别增加了 0.69 万和 4.44 万 hm^2 ，油料种植面积变化不大，雨养作物总种植面积增加了 48.51%。

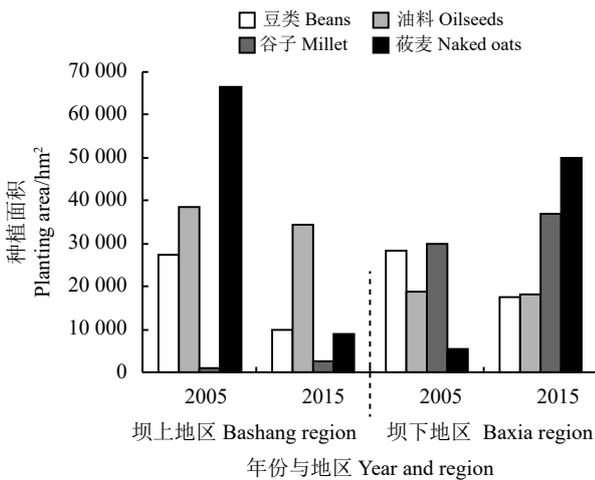


图 4 张家口坝上和坝下地区雨养作物种植结构变化
Figure 4 Changes in the planting structure of rain fed crops in the Bashang and Baxia areas of Zhangjiakou

2.1.3 蔬菜种植结构变化

经过 30 多年的发展，蔬菜种植业已成为张家口市农业的支柱性产业，蔬菜生产规模和产量持续扩大，种类结构组成也在不断丰富。在 2005–2015 年，蔬菜种植面积从 7.74 万 hm^2 增加到 10.32 万 hm^2 ，增加趋势明显。

在大规模种植的蔬菜种类中，生产需水量高的大白菜、圆白菜和芹菜种植规模位列前 3 (图 5)，2005 年三者种植面积达 4.28 万 hm^2 ，占全市蔬菜总面积的 55%；2015 年三者种植面积为 4.19 万 hm^2 ，占全市蔬菜种植面积的比重下降为 41%，主要是芹菜和大白菜种植面积缩减。

与此同时，菠菜和西红柿等需水量较低的蔬菜种类生产规模呈扩大趋势，种植面积分别从 2005 年的 1 062 和 2 810 hm^2 增加到 2015 年的 2 264 和 5 175 hm^2 ，增长率分别达 113.18% 和 84.16%。实际上，近年来张家口市主动适应水资源约束，在稳

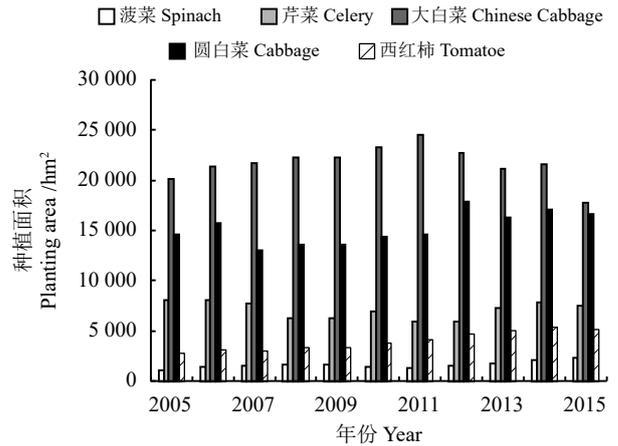


图 5 张家口市蔬菜种植结构变化
Figure 5 Changes in the vegetable planting structures in Zhangjiakou

定蔬菜种植规模的同时，种植结构也在不断优化。一方面压缩耗水量高的芹菜和大白菜等露地蔬菜种植，另一方面，选择节水高效的品种，扩大设施蔬菜种植面积。2016 年全市架豆、菜花 (*Brassica oleracea*)、西兰花和青椒 (*Capsicum annuum*) / 彩椒 (*Colourful pepper*) 的种植面积分别达到 11 006、8 793、5 927 和 3 960 hm^2 ，已经形成了较大的种植规模。这表明张家口市在蔬菜产业发展中已经开始有序地推进结构节水，力争高效节水与高经济效益的双赢。

2.2 张家口市主要农作物生产需水量变化

2.2.1 市域尺度高耗水农作物生产需水量的时空变化

基于张家口市高耗水农作物种植规模变化，计算了主要作物的生长需水量状况。估算结果表明，随着玉米、薯类和蔬菜三大类高耗水作物种植面积扩大，生产需水量明显增加。从 2005 年到 2015 年，张家口市农作物生产的总需水量增加了 2.74 亿~3.89 亿 m^3 (图 6)，其中，玉米、薯类和蔬菜的需水量分别增加 0.6 亿~1.14 亿、1.11 亿~1.33 亿和 1.03 亿~1.42 亿 m^3 ，玉米增加的需水量达到显著水平 ($P < 0.05$)，而薯类和蔬菜增加的需水量在水平 $0.05 < P < 0.1$ 上达到显著。可见，玉米、薯类和蔬菜生产规模扩大引起需水量显著增大。

蔬菜种植结构变化在生产需水量上反映较为显著。2015 年圆白菜、西红柿和菠菜的总需水量较 2005 年分别增加了 891 万~1 053 万、886.88 万~

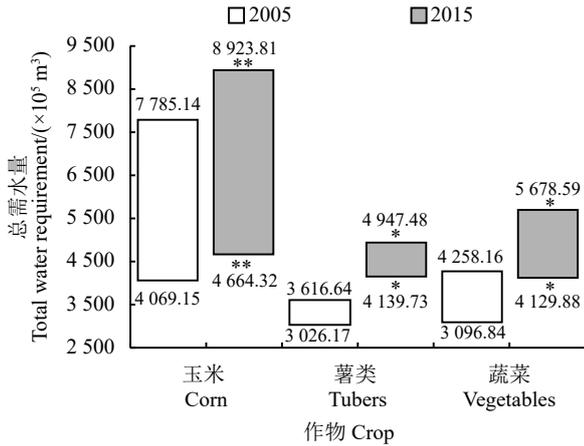


图 6 张家口市高耗水农作物的总需水量

Figure 6 Total water requirement of high water consumption crops in Zhangjiakou

*和**分别表示总需水量在 0.1 和 0.05 水平上达到显著差异; 图 7 同。

* and ** within the same column indicate significant differences of total water requirement at the 0.1 and 0.05 levels, respectively; this is applicable for Figure 7 as well.

957.83 万和 192.32 万 m^3 , 而芹菜和大白菜的总需水量分别减少了 241.2 万~284.08 万和 1 044.56 万~1 234.48 万 m^3 (图 7)。其中, 圆白菜增加的需水量达到显著水平 ($P < 0.05$), 芹菜和大白菜减少的需水量均达到显著水平 ($P < 0.05$), 而西红柿和菠菜的需水量变化均不显著。尽管高耗水的芹菜和大白菜种植面积减少, 耗水较低的菠菜种植面积迅速增加, 但与 2005 年相比, 2015 年上述 5 种蔬菜总面积增加了 2 682 hm^2 , 使得蔬菜生产的需水量增加了 684.44 万~684.59 万 m^3 。由于张家口蔬菜品

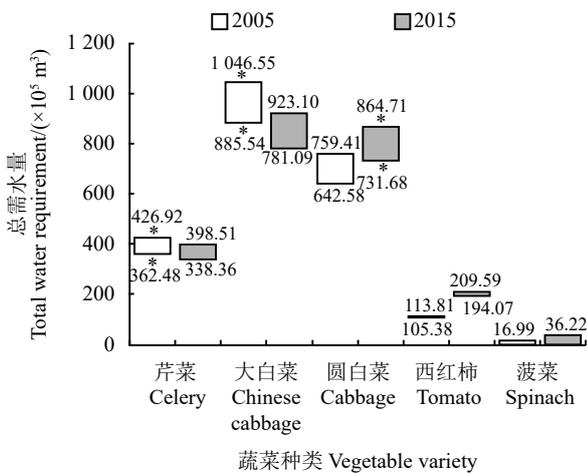


图 7 张家口市不同蔬菜品种的总需水量

Figure 7 Total water requirement of different vegetable varieties in Zhangjiakou

种有 36 种之多, 而《张家口经济年鉴》^[17] 只统计了上述 5 种蔬菜, 因此该估算结果与实际情况有一定出入。

2.2.2 坝上和坝下地区农作物种植的需水量时空变化

近十年来, 张家口市坝上、坝下地区以及各区(县)的农作物需水量大都呈上升趋势(图 8)。坝上和坝下地区 2015 年农作物需水量分别比 2005 年增加了 22.36%~22.42% 和 21.46%~21.81%。其中坝上四县中康保、沽源和尚义县的需水量都增加, 2015 年较 2005 年分别增加了 41.19%~41.59%、38.86%~44.78% 和 21.07%~21.84%, 而张北县需水量减少了 9.41%~9.49%。

坝下地区中, 只有万全县的农作物需水量减少了 12.19%~13.4%, 其他县区都是增加的, 张家口市市区、崇礼区、涿鹿、怀来、阳原、宣化区、赤城、蔚县和怀安县分别增加了 43.83%~52.42%、42.67%~45.26%、28.88%~35.01%、28.81%~30.22%、21.55%~27.54%、22.65%~23.17%、22.43%~29.85%、19.13%~21.62% 和 7.13%~14.33%。

张家口市坝上地区农作物种植结构的变化, 增加了农业需水量, 加剧了坝上水资源矛盾。坝上地区天然降雨少, 地表水多为季节性的内陆河, 水量不丰, 大约只占供水量的 5%, 地表水资源量普遍较少, 康保尤其突出。因此, 农作物灌溉主要依赖地下水。随着高耗水作物种植面积增加, 坝上地区局部地下水集中开采, 超采严重, 造成地下水位下降。有资料表明, 坝上地区地下水位均有不同程度下降, 2005 至 2015 年 10 年间下降了 2.1 m。康保、沽源地表水资源量较少, 但是近年来两县的种植结构反而向高耗水方向变化, 水资源安全受到更大威胁。

张家口坝下地区的水资源量相对于坝上较为丰富, 但是近年来坝下地区地表水资源量也在不断减少, 尤其是张家口市市区和宣化地区。坝下地区的地下水位下降幅度也比较大。2005 至 2015 年 10 年间地下水位平均下降了 6.5 m, 以柴宣盆地下降幅度最大为 15 m。其中, 张家口市市区、宣化地下水降幅较大, 其次是涿鹿、怀来, 蔚县、阳原降幅最小。应该严格控制张家口市市区和宣化地区的高耗水农作物种植面积增加。

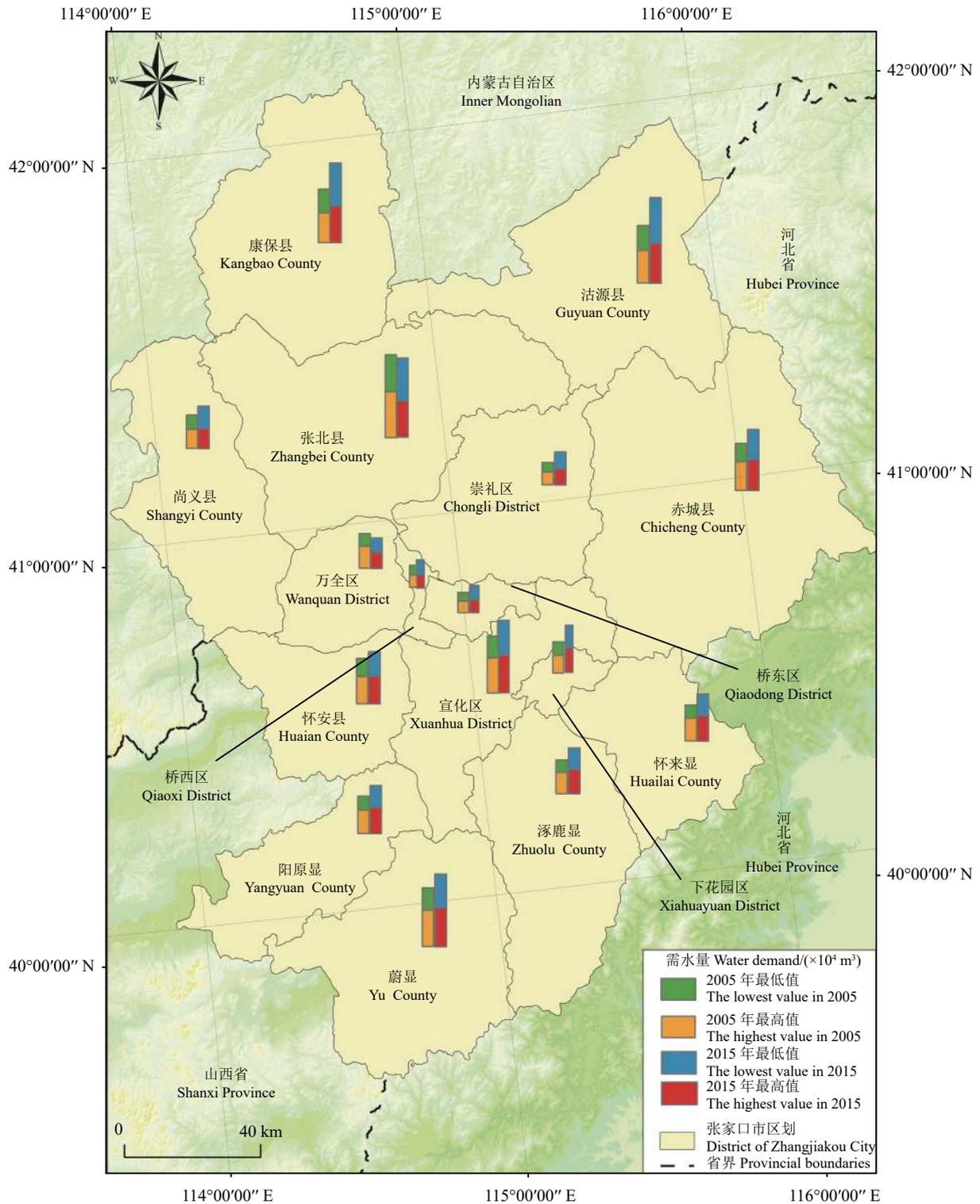


图 8 张家口市各区(县)农作物总需水量时空变化
 Figure 8 Trend of total crop water requirement in Zhangjiakou

3 讨论

张家口市作为京津冀西北水源涵养区，其水资源的合理利用和保护尤为重要。2016年《张家口

市水资源公报》^[4]显示农业用水占全年总供水量的71%，农业用水占较大比重，尤其由于近年高耗水作物的扩大种植，根据张家口近年降雨、气温

数据,可知张家口干旱趋势明显,区域内蒸发强度增大,高耗水作物种植面积增加导致灌溉地表水和地下水量也相应增加,使得张家口水资源形势更加严峻,这与冀峰等^[19]的研究结果较为符合。

本研究结果表明,虽然蔬菜种植结构在向水资源节约化、品种精细化、效益更高方向发展,但是由于高耗水作物(玉米、薯类和蔬菜等)种植面积的增加,同时雨养作物(豆类、油料和苜蓿等)种植面积减少,因此对张家口市农作物种植整体来说,还是向着更为耗水的方向演变。

因此,张家口地区应积极调整农作物种植结构,推行雨养高效种植制度,压缩有效灌溉面积,推广高效节水灌溉技术,提高农田灌溉水有效利用率。其中,坝上地区逐步压减白菜、芹菜、薯类等耗水量大的作物种植,发展架豆、西兰花、西红柿和菠菜等低耗水蔬菜品种,以发展高效节水蔬菜为主,并大力推进杂谷杂豆、苜蓿、胡麻等特色优势产业和高效旱作农业。坝下柴宣盆地、涿怀盆地和蔚阳盆地重点发展设施节水蔬菜,减少玉米种植,扩大饲料用玉米种植。由于张家口特殊的地理区位,可适度发展特色杂粮、特色林果等特色农业,增加张家口农业竞争力。同时,也可加大农业基础设施建设投资、采用更加严格的节水技术等等,减轻水资源压力,保障水资源安全。

4 结论

本研究通过对张家口市坝上、坝下地区及各区(县)农作物种植结构、需水量时空格局变化的分析研究,得出以下结论:

1) 2005至2015年间,张家口市农作物种植结构总体上仍向高耗水方向演变,高耗水农作物种植面积增加了24.75%,水浇地种植面积增加了6%;2015年坝上和坝下高耗水农作物种植面积分别较2005年增加了33.97%和20.7%,坝上的雨养作物总种植面积减少了58.5%,而坝下增加了48.51%,坝上较坝下变化更为剧烈。

2) 由于张家口市高耗水作物种植面积增加,2015年需水量比2005年增加了2.74亿~3.89亿 m^3 。灌溉用水增加导致地下水位大幅下降;虽然蔬菜种植结构在向节水和高收益的方向转变,但蔬菜总种植面积扩大,使得蔬菜生产需水量增大,2015年比2005年增加了684.44万~684.59万 m^3 。

3) 从空间分布来看,张家口市作物生产需水量呈增加趋势,2015年坝上和坝下的农作物需水量分别比2005年增加了22.36%~22.42%和21.46%~21.81%,其中坝上的康保、沽源和坝下的张家口市、崇礼需水量增加较多,2015年比2005年分别增加了41.19%~41.59%、38.86%~44.78%、43.83%~52.42%、42.67%~45.26%。高耗水作物种植规模的扩大是需水量增加的主要原因。

参考文献 References:

- [1] 中央人民政府. 京津冀协同发展规划纲要, 2015.
Central People's Government. Beijing, Tianjin and Hebei Coordinated Development Plan Outline, 2015.
- [2] 张克阳, 李春光. 张家口市水资源现状分析. *海河水利*, 2010(6): 10-11.
ZHANG K Y, LI C G. Analysis on the current situation of water resources in Zhangjiakou. *Haihe Water Conservancy*, 2010(6): 10-11.
- [3] 王强, 康慕谊, 邢开雄. 基于水资源约束的张家口坝上生态经济发展研究. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2011, 47(6): 618-624.
WANG Q, KANG M Y, XING K X. Ecologically sound economic development in Bashang district of Zhangjiakou based on available water resources. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2011, 47(6): 618-624.
- [4] 张家口市水务局. 张家口市水资源公报, 2016.
Zhangjiakou Water Supply Bureau. *Water Resources Bulletin of Zhangjiakou*, 2016.
- [5] 张晓辉, 方彦舒. 张家口市地下水超采现状及综合治理. *河北水利*, 2018(12): 36-37.
ZHANG X Y, FANG Y S. Current situation and comprehensive treatment of groundwater over exploitation in Zhangjiakou City. *Hebei Water Conservancy*, 2018(12): 36-37.

- [6] 河北水文工程地质勘察院. 张家口市坝上地区地下水水资源勘察评价报告, 2014.
Institute of Hydroengineering Geological Prospecting of Hebei. Report on the investigation and evaluation of groundwater resources in Bashang area of Zhangjiakou City, 2014.
- [7] 刘娟, 魏东玲, 王宇红, 任丽莉, 沈福英, 刘守义. 水资源合理利用的蔬菜产业结构调整研究. 河北北方学院学报(自然科学版), 2014, 30(2): 46-50.
LIU J, WEI D L, WANG Y H, REN L L, SHEN F Y, LIU S Y. Vegetable industrial structure adjustment in Zhangjiakou based on rational use of water resources. Journal of Hebei North University(Natural Science Edition), 2014, 30(2): 46-50.
- [8] 李全. 新世纪张家口灌溉农业决策方向的反思. 河北水利水电技术, 2004(4): 3-6.
LI Q. Thinking about the orientation of Zhangjiakou irrigated farming's decision in the new century. Hebei water conservancy and Hydropower Technology, 2004(4): 3-6.
- [9] 刘尚金. 浅谈张家口市的蔬菜产业化. 农业与技术, 2017, 37(9): 34-35, 38.
LIU S J. On the industrialization of vegetables in Zhangjiakou. Agriculture and Technology, 2017, 37(9): 34-35, 38.
- [10] 杨万军, 苏浴源. 张家口市蔬菜产业发展现状与分析. 农业科技通讯, 2017(6): 17-20.
YANG W J, SU Y Y. The current situation and analysis of vegetable industry in Zhangjiakou. Agricultural Science and Technology Communication, 2017(6): 17-20.
- [11] 杨玉成. 张家口用 10% 耕地面积创造种植业一半以上产值. [2009-12-20]. <http://www.chncps.com/techan/mrft/2009/516/0951621345937012B71C6H5421ICD94.html>.
- [12] 吕彦彬, 王玉斌. 适度规模, 节约用水, 促进张家口蔬菜产业健康发展. 中国蔬菜, 2012(23): 17-18.
LYU Y B, WANG Y B. Moderate scale, saving water and promoting the healthy development of vegetable industry in Zhangjiakou. Chinese Vegetables, 2012(23): 17-18.
- [13] 刘淑慧. 坝上高原区节水灌溉措施节水量研究. 保定: 河北农业大学硕士学位论文, 2008.
LIU S H. Study on water saving irrigation measures and water saving in Bashang Plateau. Master Thesis. Baoding: Hebei Agricultural University, 2008.
- [14] 李春强, 李保国, 洪克勤. 河北省近 35 年农作物需水量变化趋势分析. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 359-363.
LI C Q, LI B G, HONG K Q. Trend of crop water requirement in recent 35 years in Hebei Province. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(2): 359-363.
- [15] 张大中. 西红柿、大葱的喷灌技术研究. 灌溉排水学报, 1983, 2(4): 25-31.
ZHANG D Z. A study on spray irrigation technology of tomato and onion. Journal of irrigation and drainage, 1983, 2(4): 25-31.
- [16] 刘中培, 于福荣, 焦建伟. 石家庄平原区降水变化与农业生产的适应性研究. 安徽农业科学, 2012, 40(22): 11363-11366.
LIU Z B, YU F R, JIAO J W. Study on the adaptability of precipitation change and agricultural production in Shijiazhuang plain. Anhui Agricultural Science, 2012, 40(22): 11363-11366.
- [17] 张家口市统计局. 张家口经济年鉴, 2005-2015.
Zhangjiakou Municipal Bureau of Statistics. Zhangjiakou Economic Yearbook, 2005-2015.
- [18] 张倩, 鲁建斌, 于峰, 郑海光, 李刚. 河北省张家口市蔬菜生产变化趋势及优势品种分析. 中国蔬菜, 2018(4): 15-18.
ZHANG Q, LU J B, YU F, ZHENG H G, LI G. Analysis on the trend and dominant varieties of vegetable production in Zhangjiakou, Hebei Province. Chinese Vegetables, 2018(4): 15-18.
- [19] 冀峰, 邓大鹏, 马立山, 董惠芳. 张家口市水资源承载力研究及水资源合理利用分析. 河北建筑工程学院学报, 2012, 30(2): 25-28.
JI F, DENG D P, MA L S, DONG H F. Water resources carrying capacity of Zhangjiakou City and rational use of water resources. Journal of Hebei Institute of Architecture and Civil Engineering, 2012, 30(2): 25-28.

(执行编辑 苟燕妮)