

大连地区旱情趋势及农业抗旱减灾长期对策研究

周惠成*, 张丹, 何斌, 吴丽, 王福兴

(大连理工大学水利工程学院, 辽宁大连 116024)

摘要: 揭示了大连市农业干旱的影响因素及工业挤占农业用水的现象;应用 Mann-Kendall 方法对大连站 1951~2007 年的平均气温和年总降水量趋势进行了检验. 结果表明:大连地区的年均气温呈现显著的上升趋势,年总降水量呈现不显著下降的趋势,而且这种趋势越来越明显. 针对大连地区资源型缺水的实际情况,提出了加强大连地区农业节水灌溉建设,以建立良好的节水灌溉工程管理体制;实行中水灌溉提高水资源利用效率;开展工农农业水权转换解决区域工农业用水矛盾;建立抗旱减灾决策支持系统的 4 项建议. 对 4 项建议的可行性进行了研究,结果表明这是缓解大连地区干旱缺水,促进区域经济可持续发展的有效途径.

关键词: 旱情趋势;抗旱减灾;中水回灌;农业水权

中图分类号: S423 **文献标志码:** A

0 引言

自古以来,旱灾同洪水一样,是我国人民的心腹之患,每年由旱灾造成的粮食损失占全部自然灾害损失的一半以上. 20 世纪 80 年代以来,由于全球气候异常、可用水资源量减少及社会经济发展对干旱敏感度提高等综合因素作用^[1,2],我国旱灾损失呈上升趋势.

大连市属于资源型缺水城市,长期遭受干旱困扰. 1843~2007 年间,全市共发生旱灾 51 次,其中给人民生命财产造成重大损失的是 1988~1990 年 3 a 旱灾和 1999~2003 年 5 a 连旱. 随着全球气候的变暖,大连地区干旱问题日益突出,抵御干旱,降低旱灾损失已刻不容缓. 目前的减灾措施大都从宏观角度出发,拘泥于用水理念、水资源管理及工程设施建设等方面的探讨^[3,4],在解决实际问题时缺乏具体措施和对农业用水可持续发展战略的思考. 因此,探求干旱发展趋势,研究长期减灾对策在解决大连地区水资源短缺和农业干旱中显得尤为重要.

针对上述问题,本文将探求大连地区干旱演进趋势,研究农业节水潜力,分析在大连实行中水

回灌和农业水权转换机制的可行性,给出抗旱决策支持系统设计框架,从长期可持续发展角度探索解决大连地区农业干旱的对策.

1 大连地区农业干旱影响因素及旱情变化趋势分析

1.1 大连地区农业干旱影响因素分析

大连地处欧亚大陆东岸,东濒黄海,西临渤海,本应湿润,可又偏干旱. 一方面是由大连所处地理位置决定的. 极涡强度偏弱,中高纬环流平直,遏制冷空气南下,控制东北南部^[5],使得大连的春旱多于夏旱和秋旱,西南部重于东北部. 区域内河流源短流急,年际和季节变化大,降水的 75% 以上集中在 6~9 月,成为大连水旱灾害频繁的根本原因. 另一方面,人类的活动加速了大连地区水资源供需矛盾. 水利设施的修建改变了水资源的区域和季节分布,造成地下水位下降、湖泊萎缩等生态系统的破坏,使流域水资源减少,迫使农业灌溉可用水量逐年减少. 除所处地理位置和人类活动影响外,经济迅猛发展带来的工业挤占农业用水问题,也成为大连农业干旱的一个重要因素. 20 世纪 90 年代后,由于经济的快速发展,需

收稿日期: 2008-10-15; 修回日期: 2010-11-22.

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点资助项目(2007BAB28B01).

作者简介: 周惠成*(1958-),男,教授,博士生导师, E-mail: hczhou@dlut.edu.cn.

水量的增加,大连市的干旱现象更有加重趋势,1999~2003 年连续 5 a 大旱,导致工业和城市生活大量挤占农业用水,给大连市农业和农村发展带来巨大的损失和压力。

为保证大连的城市和工业供水安全,枯水年政府采用挤占农业用水的方法来缓解城镇缺水压力,使得农业灌溉可用水量逐年下降(图 1)。自从 1999 年大旱年后,农业的耗水量从 1999 年的 $6.79 \times 10^8 \text{ m}^3$ 下降到 2004 年的 $2.97 \times 10^8 \text{ m}^3$,不足历史均值的一半。而在总水量较低的 1999~2004 年中,工业的淡水消耗量总趋势在增加,从 1999 年的 $1.95 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增到 2006 年的 $2.79 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。这部分水一部分是重复利用的中水,另一部分是依靠挤占农业用水而来。在碧流河的引水工程中,这种工业挤占农业用水的现象也可得以说明(图 2)。1997 年 10 月,引碧三期工程建成后,碧流河水库设计多年平均供水量达到 $4.03 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中设计每年向城市及工业供水 $3.645 \times 10^8 \text{ m}^3$,向农业供水 $0.385 \times 10^8 \text{ m}^3$,设计灌溉水田面积 4 207 ha。自 1999 年枯水年以来,为保证大连城市供水安全,从 2000 年后碧流河不再为农业供水。

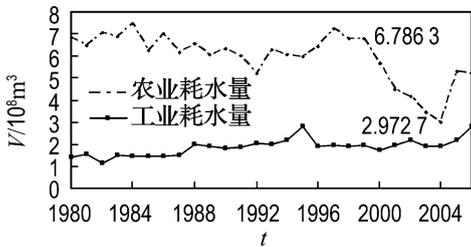


图 1 大连市 1980~2006 年工农业用水变化趋势图

Fig. 1 Change tendency of industrial and agricultural water using from 1980 to 2006 in Dalian

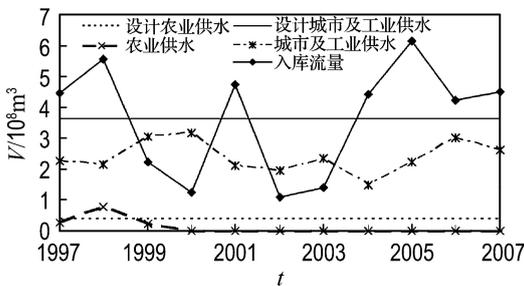


图 2 碧流河水库向城市及工业、农业供水情况
Fig. 2 Water supply to city & industry, agriculture by Biliu River Reservoir

自然和人为因素共同作用及工业经济快速发展,导致大连市淡水资源短缺,城乡生活及工业与农田争水的现象频繁发生,农业可取水量出现负增长。这些导致农业干旱发生的种种因素,成为现代农村可持续发展不可忽视的问题。

1.2 基于 Mann-Kendall 的大连地区自然干旱趋势分析

降雨和气温变化是影响旱情变化的主要因素,本文对大连站的 1951~2007 年年均气温和年总降水量序列采用 Mann-Kendall 检验,分析其发展趋势。

Mann-Kendall^[6]是一种非参数统计检验方法,被广泛应用于评估气候要素和水文序列趋势分析。假设序列无趋势,采用双边趋势检验,给定显著水平 α 下,若 $|z| \leq z_{\alpha/2}$,接受原假设,序列变化趋势不显著; $|z| > z_{\alpha/2}$,拒绝原假设,则原序列具有显著的变化趋势。 z 为正值表示增加趋势,负值表示下降趋势。经计算得气温 $z_t = 6.23$,降水 $z_p = -1.34$,在 0.05 显著水平下, $z_{\alpha/2} = 1.96$,因此,气温呈显著上升趋势,而降水的下降趋势不明显。

对大连站 1951~2007 年年均气温时间序列分析(图 3)发现,多年平均气温为 $10.6 \text{ }^\circ\text{C}$,最高年均气温 $12.3 \text{ }^\circ\text{C}$,比多年均值高出 $1.7 \text{ }^\circ\text{C}$ 。大连站 1951~2007 年的 57 a 间,年均气温升高了近 $2 \text{ }^\circ\text{C}$,以每 10 a 近 $0.36 \text{ }^\circ\text{C}$ 的速度递增。这与全球 20 世纪后半期的总体增温趋势是相同的^[7,8],但数值上略高于全球的上升水平。进入 20 世纪 80 年代后期,大连站的这种气温增长趋势更为明显,这主要是由于大连市正处在 1965 年以来 100 a 尺度的干旱期,这个干旱期可能持续到 21 世纪后半叶,才能逐步得以缓解^[9]。

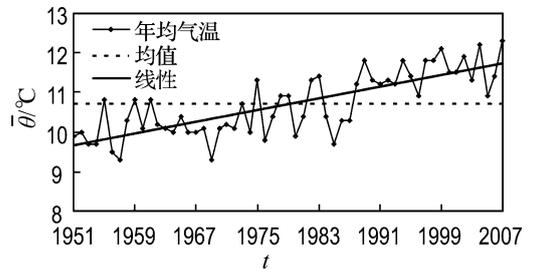


图 3 大连站 1951~2007 年年均气温时间序列分析
Fig. 3 The time series analysis of average temperature from 1951 to 2007 in Dalian Station

大连站 57 a 的年均降水量为 617.2 mm; 最大值 970.2 mm, 最小值 258.2 mm, 变差高达 712 mm(图 4), 说明降水量的年际分布极不均匀。进入 80 年代之后, 大连站降雨量在均值以下的年数在增加, 在近 20 a 的年降水量分析中, 有 12 a 的降水距平为负值, 在近 10 a 中, 有 7 a 的降水距平为负值, 这说明大连站的年总降雨量在逐年减少, 总体呈持续波动减少趋势, 大连地区的干旱现象也在逐年加剧。气温的升高、降水量的减少使得大连地区的“干”“旱”同时发展。

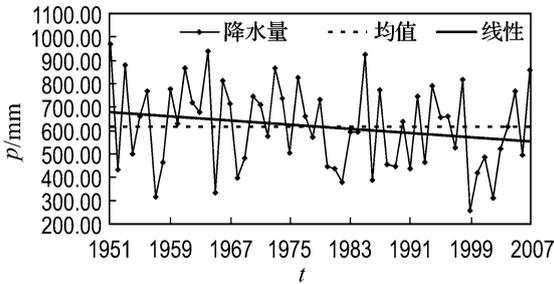


图 4 大连站 1951~2007 年年降水量时间序列分析

Fig. 4 The time series analysis of precipitation from 1951 to 2007 in Dalian Station

2 大连地区农业抗旱减灾长期对策研究

面对旱情的扩展, 应采取积极的抗旱减灾措施来应对。抗旱减灾是指组织社会力量, 采取工程措施和非工程措施, 合理开发、调配、节约和保护水资源, 建立监测预报系统, 预防和减少因水资源短缺产生不利影响的各种活动。本文从农业节水灌溉、农业中水回灌、工农业水权转换和建立抗旱决策支持系统四方面, 对农业抗旱减灾长期对策进行探讨。

2.1 加强农田灌溉基础设施建设, 积极推进农业节水灌溉

农业节水灌溉在大连市起步较早。从 20 世纪 80 年代普及管道输水灌溉以来, 大连市一直致力于节水灌溉, 先后推广了喷灌、滴灌等先进节水灌溉技术。但大连有相当部分地区仍采用传统灌溉方式, 许多灌溉工程维护管理不善。2005 年有效

灌溉面积为 107 207 ha, 节水灌溉面积为 40 247 ha; 农业用水 $5.29 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占总用水量的 41.6%; 农业灌溉水利用率为 40%~45%, 接近全国 45% 的平均水平, 但远远低于发达国家 70%~80% 的水平。“十一五”期间, 大连市计划总投资 3.5 亿元用于发展节水灌溉, 至 2010 年, 农业节水灌溉面积将达到 96 000 ha, 其中节水工程面积将达到 69 333 ha, 节水措施面积将达到 26 667 ha。节水灌溉规划工程实施后, 预计可节约农业用水量 $0.65 \times 10^8 \text{ m}^3$, 典型灌区灌溉水利用系数达到 65%; 当大连市灌溉水利用率达到 75% 水平时, 节水量约为 $1.3 \times 10^8 \text{ m}^3$, 将近大连 2006 年工业需水量的一半。因此, 大连农业节水潜力巨大, 推广节水灌溉, 建立高效农业, 将成为缓解大连缺水压力的有效途径。

以促进农业结构调整、建设节水高效农业为目标, 需继续采取以下措施: 加大投入, 完善农业灌溉基础设施及工程配套建设; 大力推广节水灌溉技术, 对老灌区全面实施节水改造; 改良水土管理和变革农作物的种植方式; 制定节水灌溉的政策、法规, 建立良性的节水灌溉工程运行管理机制, 提高水分利用效率和经济效益。

2.2 开辟非传统水源, 建立农业中水回灌体系

《农业灌溉水质标准》及《城镇污水处理厂污染物排放标准》等标准的制定, 为中水回灌提供了标准和依据。大连属资源型缺水地区, 而中水回灌是解决农业缺水的重要途径之一, 需深入研究与尝试。

(1) 大连市中水回灌用水量可行性分析

根据大连市“十一五”发展规划, 城乡生活用水和工业排污量在逐年增加(表 1)。随着污水处理技术的进步, 污水处理率也在提高。2010 年污水处理率将达到 79%, 除去工业回用量, 中水将有 $2.39 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的剩余; 到 2020 年, 污水处理率达到 83% 时, 中水余量增至近 $3.96 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。对于以农业生产为主的北三市, 2010 年污水处理率若达到 70%, 有 $0.39 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的中水余量; 到 2020 年, 若处理率增至 80%, 中水余量达到 $0.90 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。因而, 实行农业中水灌溉大有潜力可挖。

表1 大连市2010、2020年中水回用余量预测

Tab.1 Reclaimed water recycle surplus forecast of 2010 and 2020 in Dalian

水平年	分区	排污量/ 10^8 m^3	污水处理率/%	污水处理量/ 10^8 m^3	工业回用率/%	工业回用量/ 10^8 m^3	中水余量/ 10^8 m^3
2010	北三市	0.75	70	0.53	25	0.13	0.39
	大连全市	4.85	79	3.82	36	1.42	2.39
2020	北三市	1.61	80	1.29	30	0.39	0.90
	大连全市	8.09	83	6.75	41	2.79	3.96

(2)大连市中水回灌水质可行性分析

大连春柳河水质净化厂是我国第一个中水回用示范工程,对其处理出水的6项主要水质化验指标进行检测,均能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)(表2)要求.但满足城镇污水处理厂二级排放标准,并不都能直接用于农业灌溉,如二级出水氨氮含量 $\leq 25 \text{ mg/L}$ 即

可排放,对于水作农业灌溉 $\leq 12 \text{ mg/L}$ 的标准显然超标;另外,还存在二级出水回灌第一类污染物(总砷、总镉等)可能超标问题.而关于悬浮物(SS)、生化需氧量(BOD_5)、化学需氧量(COD)等指标的要求,农业灌溉并没有二级出水标准严格,可适当放宽尺度,减小处理成本.

表2 大连春柳河污水处理厂出水与污水排放二级标准、农业灌溉水质标准对比

Tab.2 The contrast of Dalian Chunliuhe sewage plant water, sewage disposal secondary water and agricultural irrigation water standard

标准	pH	$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$					$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$					阴离子表面活性剂
		SS	BOD_5	COD	氨氮	总磷	总汞	总镉	六价铬	总砷	总铅	
春柳处理出水(\leq)	7.59	18	18.9	39.5	23.45	1.41						
国家二级标准(\leq)	6~9	30	30	100	25	3.0	0.001	0.01	0.05	0.1	0.1	2.0
水作农业灌溉标准(\leq)	5.5~8.5	150	80	200	12	5.0	0.001	0.005	0.1	0.05	0.1	5.0

(3)大连市中水回灌综合效益分析

中水回灌,实现污水资源化,是解决农业灌溉缺水问题的有效途径,可带来巨大的经济、社会和生态环境效益.首先,它提供了经济的新水源,减少了由于远距离引水所需的巨大工程投资.由于农业发展本身需要大量的灌溉用水,但比其他用途的水质指标要低,中水回灌农田,可降低污水处理成本.其次,中水回灌降低了污水排放量和水资源的浪费现象,具有潜在的社会效益和生态环境效益.

开展农业中水灌溉是一项长期规划,更是一个艰巨的任务,还存在很多亟待解决的问题,如政策管理体制、水质标准、安全保障体系、处理技术、运营模式及人们对中水回灌产品安全的担忧等.但农田中水回灌作为一项远景规划,对于降低污

水处理经济成本,提高水资源利用效率极具潜力和研究价值.

2.3 推进工农业水权转换,开展工农业用水水权转换机制研究

进行工农业水权转换是目前解决工农业生产中水资源供需矛盾的一种有效方法.目前,大连市对工业挤占农业用水实行政策性补偿,但补偿费用不足以发展节水灌溉,难于形成工农业发展的良性循环.

水权也称水资源产权,它是产权渗透到水资源领域的产物,主要指水资源的所有权以及由水资源开发利用而产生的使用权^[10],我国的水资源所有权归国家所有,本文涉及到的水权转让指的是水资源使用权的转让.农业水权转让就是用水权理论,确立水权控制体系,建立水权转让机制,

既要保障农民的用水权利,又要保障工业用水,使工农业互惠互利、同步协调发展^[1]。水权的转让并不是放弃农业灌溉,而是通过农业的高效节水和加强管理方式,把农业节余下来的水权转让给城市,实现农业用水水权的转让,即实现农业水权在农业和工业主体之间的转移,配置给市场主体水权,并根据每个市场主体对水需求的数量变化,允许通过市场主体协商而非行政强制使水权转移,达到农业和工业和谐发展的目的。通过水权转让一方面开展节水改造工程使灌区工程现状得到改善,渠系水利用系数得到提高,输水损失减少,水费支出降低,增加农民的经济效益;另一方面为工业提供了生产用水,使区域经济快速发展。

要使节水农业健康发展,并充分调动节水主体的积极性,应确定合理的水权转让价格。目前对挤占农业用水的补偿只是枯水年政府对农业的一种行政补偿,没有合理考虑水资源价值、节水工程费用等。为使节水农业健康发展,充分调动节水主体的积极性,应确定合理的水权转让价格。以“十一五”节水工程投资为依据,大连市工农业水权转让价格为 2.3~3.0 元/m³,而碧流河、英那河引水水价 3.0 元/m³,大伙房水库引水价格 6.0 元/m³,海水淡化价格为 4.0~6.0 元/m³,因此,大连市的农业水权转让价格低于跨流域引水水价及海水淡化水价。依据“十一五”规划目标实施节水灌溉后,大连地区的农业将节约 0.65×10⁸ m³ 的灌溉用水,再加上中水回灌量,节约的灌溉水将超过 1×10⁸ m³,可将这部分水作为工业生产和城市生活用水,解决大连农业干旱和区域资源型缺水问题。

2.4 建立基于遥感等新技术的抗旱减灾决策支持系统

大连市的抗旱减灾决策支持系统还比较薄弱,旱灾程度和损失大都来自各级政府的通告,对土壤墒情的监测资料缺乏实时和有效性,无法准确全面对旱情进行评估,原本的防灾变成了救灾。因此,从理论和实践上深入研究干旱的演变规律,以现代技术为基础,应用实时有效的监测和传输手段,对旱情实时有效地评价,建立基于抗旱减灾的决策支持系统,对于科学指导用水,降低干旱灾害具有重要的现实意义。

抗旱减灾决策支持系统拟采用 3S 技术与信息管理(MIS)技术,依靠计算机网络平台(图 5),根据地面观测、土壤墒情实测资料与卫星遥感监测结果,结合未来气候趋势预测,对实测的降雨、土壤墒情、作物长势、水资源调配等信息进行分析处理和综合评价,对未来干旱影响范围、持续时间、强度变化等进行预警,不定期发布干旱预警公报。当预报有较大范围或程度严重的干旱发生、发展时发布干旱预警公报。规划实施建设后,可为抗旱指挥机构等部门提供基础信息,进一步提高抗旱减灾决策能力,合理制定抗旱措施,最大限度降低干旱造成的损失,为进行科学的灌溉、合理调整农业的产业结构、促进农业的可持续发展提供基础信息,实现抗旱指挥中的决策支持作用。

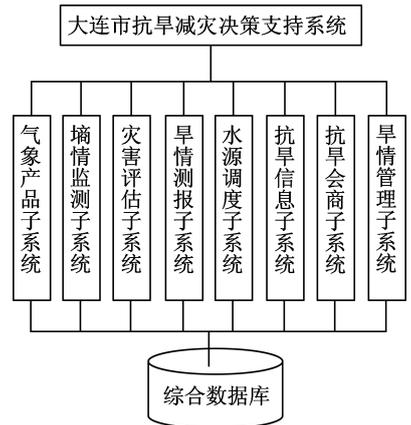


图 5 大连市抗旱减灾决策支持系统示意图

Fig. 5 DSS of drought mitigation in Dalian

3 结 论

(1)采用 Mann-Kendall 相关检验,对大连站近 57 a 气温和降雨变化趋势进行检验,发现年均气温呈显著上升趋势,年总降水量呈不显著下降趋势,进入 1980 年后,这种年均气温上升和年总降水量下降趋势明显加快。年均气温升高、年总降水量减少及城市生活和工业挤占农业用水等一系列问题的出现,表明大连市的旱情在逐年加重。

(2)在抗旱减灾对策中,节水是一个永恒的话题,大连市农业节水潜力约为 1.3×10⁸ m³,相当于 2006 年大连工业耗水量的一半,建立抗旱减灾决策支持系统属于非工程性的减灾措施;农业中水回灌体系和工农业水权转换体制研究是解决水

资源短缺的新途径,将成为未来区域型缺水地区抗旱减灾研究的新方向.同时,要加强水资源保护与管理,合理调配水资源,只有传统方法和新途径并用,方可为政府抗旱减灾的决策提供有力的技术支撑和科学保障,解决工农业需水矛盾,促进国民经济可持续快速发展.

参考文献:

- [1] WILHITE D A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions [C] // WILHITE D A, ed. **Drought: A Global Assessment**. London & New York: Rutledge, 2000:3-18
- [2] QIN Da-he, DING Yi-hui, WANG Shao-wu, *et al.* Ecological and environmental change in west China and its response strategy [J]. **Advances in Earth Science**, 2002, **17**(3):314-319
- [3] 闫淑春. 我国干旱灾害影响及进行减灾对策研究 [D]. 北京:中国农业大学, 2005
- [4] 杨芳清,杨廷友. 特大旱灾原因分析及对策措施[J]. 中国防汛抗旱, 2007(1):27-30
- [5] 王富强,许士国. 东北区旱涝灾害特征分析及趋势预测[J]. 大连理工大学学报, 2007, **47**(5):735-739 (WANG Fu-qiang, XU Shi-guo. Characteristics analysis and trend forecast of drought and flood in Northeast China [J]. **Journal of Dalian University of Technology**, 2007, **47**(5):735-739)
- [6] 周芬. Kendall 检验在水文序列趋势分析中的比较研究[J]. 人民珠江, 2005(增刊 2):35-37
- [7] MCCARTHY J, CANZIAN O F, LEARY N. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability** [M]. Cambridge:Cambridge University Press, 2001
- [8] MOORE III B. **Challenges of a Changing Earth. Global Change Conference** [M]. New York:Springer, 2002
- [9] 孙立娟. 1999~2002 年大连干旱少雨环流形势特征分析[J]. 辽宁气象, 2004(3):12-13
- [10] 姜文来. 资源资产论[M]. 北京:科学出版社, 2003
- [11] 汪恕诚. 建立水权转让机制保障经济社会可持续发展[N]. 内蒙古日报, 2004-03-30

Study of drought tendency and long-term strategy of agriculture drought mitigation in Dalian

ZHOU Hui-cheng*, ZHANG Dan, HE Bin, WU Li, WANG Fu-xing

(School of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The influential factors of agricultural drought in Dalian are revealed, and the phenomenon of diverting agricultural water to the industrial water is introduced. Mann-Kendall checkout results show that the annual average temperature has a significant increase during 1951-2007 in Dalian Station, while the precipitation has a decreasing trend, and this change becomes increasingly obvious these years. In order to resolve the water shortage problem in Dalian, the response measures of better agricultural water-saving irrigation management system construction, water using efficiency improvement by water recycle in irrigation, mechanisms of industrial and agricultural water rights conversion and decision support system (DSS) of drought mitigation are proposed. It works on the feasibility of the four methods, and the results show that the methods are the effective approaches for drought and water shortage alleviation and economic sustainable growth.

Key words: drought tendency; drought mitigation; water recycle in irrigation; agricultural water rights